

**XVIII Международная
научно-техническая конференция
по фотоэлектронике
и приборам ночного видения**

25-28 мая 2004

Москва, Россия

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

XVIII Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения организована

*Государственным научным центром РФ –
Федеральным государственным унитарным
предприятием «НПО «Орион»*

и проводится при поддержке:

*Министерства промышленности, науки и
технологий РФ,*

Российского агентства по обычным вооружениям,

Российской академии наук,

Правительства г. Москвы,

*Российского отделения Международного общества
по оптической технике (SPIE/RUS)*

**XVIII Международная научно-техническая конференция
по фотоэлектронике и приборам ночного видения**

25-28 мая, 2004 • Москва, Россия

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

**Государственный научный центр Российской Федерации
Федеральное государственное унитарное предприятие НПО «Орион»
Москва, 2004**

Программный комитет

Филачев А.М., *председатель*, ФГУП «НПО «Орион»
Пономаренко В.П., *зам. председателя*, ФГУП «НПО «Орион»
Дирочка А.И., *зам. председателя*, ФГУП «НПО «Орион»
Кин С.Г., *ученый секретарь*, ФГУП «НПО «Орион»

Члены комитета:

Алферов Ж.И., академик РАН – ФТИ РАН
Асеев А.Л., чл.-корр. РАН – ИФП СО РАН
Багаев С.Н., академик РАН – «Астрофизика», Россия
Бугаев А.С., академик РАН – МФТИ, Россия
Гибин И.С. – СНИИОС, Россия
Гуляев Ю.В., академик РАН – ИРЭ РАН
Елютин А.В., академик РАН – «Гиредмет», Россия
Иванов В.П. – ФНПЦ ГИПО, Россия
Рыжий В.И. – University of AIZU, Япония
Kozłowski Lester J. – Rockwell Science Center, США
Крохин О.Н., академик РАН – ФИ РАН
Kumar Vikram – Solid State Phys. Lab., Индия
Кудрявцев Н.Н., чл.-корр. РАН – МФТИ, Россия
Покрышкин В.И. – ЦКБ «Пеленг», Белоруссия
Попов Г.Н. – ЦКБ «Точприбор», Россия
Rogalski Antoni – WAT, Poland
Сагинов Л.Д. – ФГУП «НПО «Орион» Россия
Салаев Э.Ю. – Институт физики, Азербайджан
Сизов Ф.Ф. – ИФП НАНУ, Украина
Степанов Р.М. – ЦНИИ "Электрон", Россия

Организационный комитет

Филачев А.М., *председатель*, ФГУП «НПО «Орион»
Корнеева М.Д., *заместитель председателя*, ФГУП «НПО «Орион»
Гринченко Л.Я., *заместитель председателя*, ФГУП «НПО «Орион»
Дирочка А.И., *ответственный секретарь*, ФГУП «НПО «Орион»

Члены комитета:

Авсеенко И.М. - РАВ
Акопов Э. И. – SPIE/RUS
Бугаев А.С. - РАН
Волков К.А. – ФГУП «НПО «Орион»
Евтихийев Н.Н. – Правительство г. Москвы
Проскурин В.М. – ФГУП «НПО «Орион»
Нечипоренко В.П. – Минпромнауки РФ
Романишина М.И. – ФГУП «НПО «Орион»
Сагинов Л. Д. – ФГУП «НПО «Орион»
Токарев А.М. – ФГУП «НПО «Орион»

Общая информация

Время и место проведения

Конференция проводится 25-28 мая в ФГУП «НПО «Орион» по адресу: г. Москва, ул. Косинская, д.9, корпус 2Г (вблизи станции метро «Выхино»).

Регистрация

Регистрация участников, выдача оргнаборов и отметка командировочных удостоверений проводятся на 1-м этаже.

Организационный взнос

Установлены следующие размеры организационного взноса, включающего оплату за участие в научной и социальной программе, издание тезисов и трудов конференции, ланч и т.д. Оргвзнос для зарубежных участников составляет 135 EUR, а для участников из России и стран СНГ сумму, эквивалентную 40 EUR (20 EUR – для студентов и аспирантов, 30 EUR для докладчиков). Каждый доклад может иметь только одного представляющего автора. Взнос может быть оплачен при регистрации.

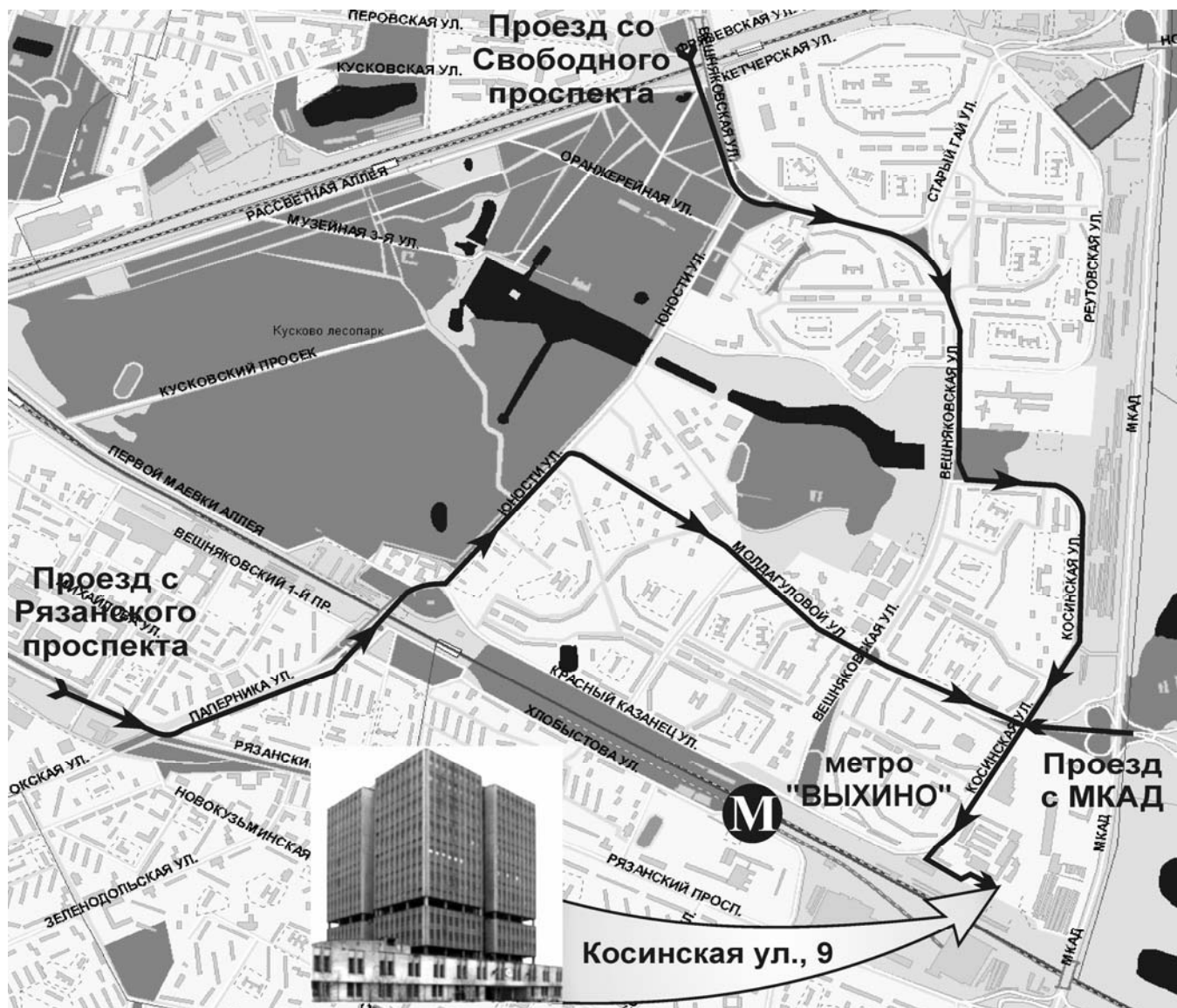
Проезд на конференцию:

Метро «Выхино»,

1-й вагон из центра, выход налево – на улицу Косинская

111538, Москва, ул. Косинская, дом 9

Тел. (095)-374-94-00, (095)-374-94-01, (095)-176-16-39



У01П. Фотоэлектронные модули для перспективных оптико-электронных систем в ИК-области спектра

Пономаренко В.П., Филачев А.М.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Россия, Москва

Проведен анализ современного состояния фотоэлектроники для оптико-электронного приборостроения в ИК-области спектра. Рассмотрены основные физико-технологические проблемы создания фотоэлектронных модулей (ФЭМ) для второго поколения оптико-электронной аппаратуры.

Приведены последние результаты разработки фотоприемников и фотоприемных устройств на основе Si, Ge, InSb, CdHgTe, PbS, PbSe, InGaPAs для лазерной локации и дальнометрии, оптической связи, тепловидения и тепlopеленгации в спектральных диапазонах 1-3, 3-5 и 8-14 мкм. Наибольшее развитие получили технологии матричных фотоприемных комплексов из CdHgTe с кремниевыми мультиплексорами предварительной обработки фотосигналов и системами глубокого охлаждения Сплит-Стирлинга (интегрального и дифференциального типов). Для субматричных ФЭМ реализованы форматы 2x96, 2x256 (с накоплением по 2-м элементам) и 4x288 (с накоплением по 4-м элементам). Для матричных ФЭМ из CdHgTe и InSb реализованы форматы 128x128 и 384x288. Обсуждаются перспективы и проблемы создания тепловизионной и тепlopеленгационной аппаратуры новых поколений на основе таких фотоэлектронных модулей, а также с использованием новых фотоприемных устройств из PbSe. Приведены оптимальные структурно-технологические схемы ОЭС на основе матричных ФЭМ.



У02П. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью и КМДП – фотоприёмники: состояние и перспективы

Костюков Е.В., Кузнецов Ю.А., Скрылёв А.С., Чернокожин В.В., Шилин В.А.*

ФГУП НПП «Пульсар», Москва, Россия

**ИППМ РАН, Москва, Россия*

Современные фотоприёмники на основе кремниевых линейных и матричных фоточувствительных приборов с зарядовой связью (ФПЗС) и структур на основе КМДП для видимого диапазона спектра ($\lambda = 0,35-1,0$ мкм) представляют собой уникальный технический и научный инструмент для создания на их основе фотоприёмных устройств интеллектуальных фотонных систем наземного, воздушного и космического базирования.

Одним из основных преимуществ этих фотоприёмников является собственно сам материал, из которого он изготовлен. Такие свойства кремния, как высокая технологичность, низкая себестоимость, очень высокая однородность легирования примесями *n*- и *p*-типа, отличная механическая прочность, надёжность и долговечность позволяют создавать на этом материале фотоприёмники очень высокого качества. Особенно актуальным это становится в настоящее время, когда предъявляются повышенные требования не только к параметрам качества фотоприёмников, но и к условиям их эксплуатации.

Даны прогнозные оценки и показаны перспективы развития кремниевых многоэлементных фотоприёмников видимого диапазона спектра на основе приборов с зарядовой связью и КМДП структур.

Приводятся данные по организации и конструкции фотоприёмников на основе ПЗС и КМДП структур ведущих мировых фирм: Sony, Dalsa, Reticon, Kodak, Fairchild и других.

Показаны перспективы и основные направления развития кремниевых многоэлементных фотоприёмников: увеличение формата, уменьшение размеров фоточувствительных элементов, увеличение быстродействия, для КМДП приборов – расширение функциональных свойств в части обработки видеоинформации на кристалле (окно «интереса», схемы ДКВ и АЦП.)

Приведена номенклатура выпускаемых и находящихся в разработке приборов, особенности конструкций и технологий изготовления линейных и матричных фотоприёмников на основе ПЗС и КМДП структур.

У03П. Состояние и перспективы применения термоэлектричества в оптоэлектронике

Анатычук Л.И.

Институт термоэлектричества, Черновцы, Украина

В работе приводится описание двух основных возможностей применения термоэлектричества в фотоприемных устройствах:

- для охлаждения фотоприемников (эффект Пельтье);
- для создания неселективных сенсоров (эффект Зеебека).

Анализируются фотоприемники, которые удобно сочетаются с термоэлектрическим охлаждением и соответствующие им рациональные области температур охлаждения. Приводятся данные о достижениях в области компьютерного проектирования как термоэлектрических холодильников для фотоэлектронных изделий, так и в целом оптоэлектронных систем с термоэлектрическим холодильником. Рассматриваются особенности технологии изготовления термоэлектрических модулей для оптоэлектронных устройств, в том числе и для случаев эксплуатации в вакууме. Даются сведения о тенденциях улучшения термоэлектрической добротности материалов, антидиффузионных слоев, механической и ресурсной стойкости. Приводятся примеры эффективных сочетаний оптоэлектронных устройств с термоэлектрическим охлаждением.

Приводятся также данные об использовании продольных и поперечных эффектов Зеебека для создания термоэлектрических сенсоров, особенности их конструкций и технологий производства параметры и характеристики приемников, рациональные области применений. Рассматриваются пути дальнейшего улучшения качества таких изделий.

У04П. Состояние и тенденции развития телевизионных фотоэлектронных приборов

Васильев И.С., Степанов Р.М., Суриков И.Н.

ОАО «ЦНИИ «Электрон», Санкт-Петербург, Россия

Анализируются результаты работ по созданию телевизионных фотоэлектронных приборов, выполненных в ОАО «ЦНИИ «Электрон». Рассмотрены проблемы освоения отечественного и зарубежных рынков. Обсуждаются тенденции развития ИК и УФ фотоэлектронных приборов, высокочувствительных телевизионных ночных приборов, широкоформатных и быстродействующих приборов с зарядовой связью, а также фотоэлектронных умножителей.

У05П. Низкоразмерные полупроводниковые ФПУ в ИК-микрофотозлектронике

Сизов Ф.Ф.

Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН, Киев, Украина

Несмотря на заметные достижения в параметрах неохлаждаемых ФПУ малого и среднего формата, в настоящее время значительные усилия исследователей направлены на разработку ИК ФПУ с улучшенными характеристиками. А это требует использования охлаждаемых до низких температур крупноформатных ФПУ, работающих, по крайней мере, в двух спектральных диапазонах, что позволяет снизить влияние шумов, увеличить контраст цели, дальность распознавания и обнаружения.

На сегодня большинство охлаждаемых ФПУ построено на ФД КРТ и ФР на квантовых ямах (КЯ), из которых м. б. созданы многоцветные ФПУ, хотя некоторые другие низкоразмерные полупроводниковые системы (напр., сверхрешетки (СР) II типа или фотодетекторы на квантовых точках), могут преодолеть некоторые ограничения сегодня наиболее используемых фоточувствительных структур. Сравнены параметры ФПУ из упомянутых полупроводниковых систем, обсуждены их преимущества и ограничения.

Монолитные многоцветные ФПУ имеют преимущества по сравнению с одновременно используемыми дискретными одноцветными ФПУ из-за улучшенных габаритно-весовых характеристик, уменьшения потребляемой мощности, упрощения конструкции и др., и, т.о., стоимости. Ближайшей целью двухцветных ФПУ III поколения является создание ФПУ размерностью, по крайней мере, 1280x720, функционирующих в средневолновом и длинноволновом (MW/LW) диапазонах, что требует уменьшения шага матриц. Для крупноформатных КРТ ФПУ использование технологии МЛЭ кажется предпочтительным, т.к. эта низкотемпературная технология ($T_{\text{growth}} \approx 180 - 190 \text{ C}$) позволяет использовать подложки большого размера на основе Si или GaAs.

Существенным недостатком КРТ в настоящее время является трудность изготовления крупноформатных однородных ФПУ LWIR диапазона. В тоже время разработаны крупноформатные ФПУ на основе КЯ из GaAs для MW и LW диапазонов, хотя они и имеют ряд недостатков. Основными преимуществами фотоприемников на основе КЯ является развитость технологии GaAs, большая однородность и высокий процент выхода, а также относительная простота реализации многоцветных структур. В то же время они требуют более низких температур захлаживания, по сравнению с КРТ ФПУ того же спектрального диапазона со сравнимыми чувствительностями; время интегрирования из-за их низкой квантовой эффективности является более длинным (частота полных кадров, как правило, не превышает 50 Гц по сравнению с $f \approx 800 \text{ Гц}$ для КРТ ФПУ).

Узкие спектры фотоответа КЯ являются достоинством для многоцветных ФПУ. Созданы 4-х-цветные вертикально интегрированные ФПУ, в других конструкциях многоцветность ФПУ на КЯ достигнута использованием оптических резонаторов.

Рассматривая преимущества и ограничения крупноформатных ФПУ на КЯ и стоимость их изготовления, можно сделать заключение о том, что в ближайшем будущем они имеют возможность стать эффективной альтернативой для ИК ФПУ III поколения. Для систем предыдущих поколений, по-видимому, трудно найти альтернативу КРТ ФПУ, в особенности LWIR диапазона.

Функционирование в ИК диапазоне очень длинных волн (VLWIR) различных типов ФПУ также обсуждено. В частности, рассмотрено состояние вопроса с фотоприемниками на основе напряженных СР II типа, имеющих большую квантовую эффективность, обсуждены их достоинства и недостатки.

У06П. Разработка промышленно-ориентированной технологии выращивания ГЭС КРТ МЛЭ на подложках (013)GaAs

Михайлов Н.Н., Сидоров Ю.Г., Дворецкий С.А., Варавин В.С., Карташев В.А.,
Смирнов Р.Н., Анциферов А.П., Придачин Д.Н., Якушев М.В.,
Сабина И.В., Асеев А.Л.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Для создания широкого спектра фотоприемных устройств инфракрасного диапазона требуется материал КРТ с контролируемым уровнем концентрации носителей заряда, их высокой подвижностью и большими временами жизни неосновных носителей заряда. Для разработки многоэлементных ИК детекторов возрастают требования к однородности состава по площади пластины. В настоящее время в мире разрабатываются ИК детекторы следующего поколения – многоспектральные детекторы с одновременным детектированием двух и более длин волн. Отсюда возникают требования к возможности выращивания эпитаксиальных структур с заданным распределением состава по толщине пластины.

В работе представлены результаты по разработке промышленно-ориентированной установки молекулярно-лучевой эпитаксии “Обь-М”, разработке на ней промышленно ориентированной технологии выращивания ГЭС КРТ МЛЭ на подложках (013)GaAs. В работе показано, что использование оригинальной системы источников молекулярных пучков позволяет получить однородность состава по площади подложки диаметром 2”, равную ± 0.001 без ее вращения. Использование разработанного в ИФП СО РАН автоматического эллипсометра ЛЭФ-755 и автоматизированной системы управления технологическим процессом позволяет воспроизводимо и контролируемо получать гетероэпитаксиальные слои КРТ с заданным распределением состава по толщине структуры.

На основе проведенных физико-химических исследований процесса роста как буферных слоев ZnTe, CdTe, так и КРТ удалось оптимизировать технологические режимы получения эпитаксиальных структур и снизить плотность прорастающих дефектов до величины $< 8 \times 10^2 \text{ см}^{-2}$. Для воспроизводимого получения преднамеренно нелегированных слоев КРТ с $n = (2 \div 5) \times 10^{14} \text{ см}^{-3}$, $\mu > 8 \cdot 10^4 \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$ и $\tau > 3 \text{ мкс}$, дополнительно была произведена оптимизация условий выращивания КРТ с использованием метода Бокса-Уилсона (метод крутого восхождения).

Для устойчивого получения эпитаксиальных слоев КРТ n-типа проводимости с заданным уровнем легирования разработана технология выращивания легированных индием в процессе роста ГЭС КРТ МЛЭ.

У01. Проблемы создания фотоприёмных устройств со сверхбольшими фотоприёмниками ИК-диапазона

Завадский Ю.И., Кузнецов Ю.А., Чернокожин В.В., Крошин В.М.*,
Белоконев В.М.**, Дегтярёв Е.В.***

ФГУП НПП «Пульсар», Москва, Россия

**ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс», Самара, Россия*

***МО РФ, Москва, Россия*

****22 ЦНИИ МО РФ, Мытищи, Моск. обл., Россия*

В зарубежной литературе приводятся данные о разработке и изготовлении образцов сверхбольших линейных и матричных ИК фотоприёмников фокальной плоскости (ФФП), изготовленных на основе различных полупроводниковых материалов и интегрированных со схемами считывания и предварительной обработки (ИС СПО). Все эти материалы и структуры на их основе обладают существенно отличающимися фотоэлектрическими свойствами, матрицы отличаются форматом и быстродействием. Однако можно заметить, что в целом ряде случаев пороговые характеристики (пороговая мощность, обнаружительная способность) не отражают потенциальных возможностей, заложенных в величинах квантовой эффективности, фоновой облучённости и времени накопления, определяющих значение этих характеристик в режиме ОФ.

Общими ограничениями являются три основных фактора: ограниченность динамического диапазона выходного устройства ИС СПО, ограниченность накопительных зарядовых емкостей в ИС СПО, неравномерность чувствительности массива ФЧЭ. Однако, для случая сверхбольших приборов возникает дополнительно ряд проблем таких, как увеличенная фоновая нагрузка, снижающая пороговые характеристики, необходимость обеспечения механической прочности ФФП гибридной конструкции и быстрого выхода ФПУ на режим и другие.

Рассмотрены пути оптимизации сверхбольших ИК фотоприёмников и ФПУ на их основе в направлении снижения роли ограничений, обусловленных конструктивными и технологическими факторами.

У02. Многоэлементные ФПУ с ВЗН 4×288 для дальней инфракрасной области спектра с ПЗС + КМОП фокальными процессорами

Овсюк В.Н., Васильев В.В., Захарьяш Т.И., Сусяков А.О., Талипов Н.Х., Михайлов Н.Н., Варавин В.С., Сизов Ф.Ф.*, Рева В.П.*, Голенков А.Г.*, Деркач Ю.П.*, Забудский В.В.*, Коринец С.В.*

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия
**Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН, Киев, Украина*

Для спектрального диапазона 8-12 мкм спроектированы и изготовлены охлаждаемые многоэлементные ФПУ формата 4×288 с временной задержкой накопления заряда (ВЗН) и возможностью осуществлять отключение каждого из 1152 фоточувствительных элементов (КРТ - фотодиодов) непосредственно в холодной зоне с помощью фокального процессора (функция деселекции дефектных элементов). ФПУ представляет собой гибридную сборку фотодиодной линейки на основе соединений кадмий-ртуть-теллур (КРТ) и кремниевой схемы считывания – фокального процессора.

Диоды изготавливались на гетероэпитаксиальных слоях КРТ, выращенных методом МЛЭ. Фотоприемная линейка форматом 4×288 элементов изготавливалась по технологии, использующей ионную имплантацию бора с энергией до 150 кэВ для формирования p-n переходов. Диэлектрическим покрытием являлся низкотемпературный диоксид кремния с нанесенным сверху плазмохимическим нитридом кремния. Толщина фоточувствительного слоя 12 мкм. Гибридизация с фокальным процессором осуществлялась через индиевые микроконтакты. Длина волны в максимуме спектральной чувствительности $9,8 \div 10,1$ мкм. Длинноволновая граница спектральной чувствительности - $\lambda_{0,1} = 11,5 \div 12,0$ мкм.

В результате проведенных исследований по улучшению технологии МЛЭ КРТ-слоев, формирования фотодиодов (ФД) и технологии гибридизации удалось снизить количество дефектных элементов до 0 из 1152, повысить однородность фотоэлектрических параметров ФД и достичь удельной обнаружительной способности ФД $D \lambda^* = 1 \cdot 10^{11} \text{ Вт}^{-1} \text{ Гц}^{1/2} \text{ см}$ (апертура 45° , $T_{\text{фона}} = 295 \text{ К}$).

Фокальный процессор изготовлен по n-канальной, четырехфазной ПЗС + КМОП технологии. Входной каскад организован на основе метода прямой инжекции и обеспечивает управление временем накопления, режимами деления (partition) и вычитания постоянной составляющей (skimming) входного заряда, задает рабочую точку фотодиодов. Разброс пороговых напряжений входных транзисторов не превышает 15 мВ, нелинейность передаточных характеристик заряд-напряжение менее 1%. По ПЗС технологии изготовлены двести восемьдесят восемь 4-х битных ВЗН регистров и восемь 36-битных выходных регистров. По КМОП технологии построены схемы смесителей и усилителей выходных сигналов, а также последовательные регистры деселекции дефектных элементов. Четыре аналоговых выхода выводят информацию о 288 информационных каналах на максимальной частоте 4 МГц. Максимальная скорость строчной развертки составляла 50 кГц (время накопления входного заряда 20 мкс).

По результатам измерений средняя удельная обнаружительная способность в максимуме спектральной чувствительности ФПУ $D \lambda^*$ апертура $28^\circ \times 64^\circ$ для центральных элементов, $T_{\text{фона}} = 295 \text{ К}$ составляет не менее $1,8 \cdot 10^{11} \text{ Вт}^{-1} \text{ Гц}^{1/2} \text{ см}$, среднеквадратичное отклонение $D \lambda^*$ по работающим каналам – 15%, количество неинформационных каналов – 0. Однородность фотоэлектрических и пороговых параметров ФПУ объясняется как высоким качеством фотодиодных линеек, так и организацией ВЗН непосредственно в холодной зоне (на выход фокального процессора передается суммарная информация от 4-х ВЗН – диодов).

У03. Многорядное матричное фотоприемное устройство формата 4x288 элементов на основе фотодиодов из КРТ

Филачев А.М., Пономаренко В.П., Сагинов Л.Д., Соляков В.Н., Бурлаков И.Д., Мансветов Н.Г., Болтарь К.О., Климанов Е.А., Акимов В.М., Полунеев В.В.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Приведены результаты разработки, исследований и испытаний многорядного матричного фотоприемного устройства (МФПУ) формата 4x288 элементов на спектральный диапазон 8-12 мкм. Охлаждаемый фотоприемный модуль МФПУ представляет собой гибридную сборку матричного фоточувствительного элемента (МФЧЭ) из КРТ и охлаждаемой кремниевой БИС. Гибридизация модуля осуществляется посредством стыковки МФЧЭ на чип кремниевой БИС с использованием индиевых столбчатых микроконтактов.

МФЧЭ выполнены на основе эпитаксиальных слоев КРТ, в которых сформированы фотодиоды. Топология расположения фоточувствительных элементов (ФЧЭ) представляет собой восемь линеек по 144 отдельных ФЧЭ, при этом четыре линейки сдвинуты на половину шага относительно других четырех линеек (шахматное расположение). При сканировании изображения в перпендикулярном линейкам направлении формируется 288 строк изображения, при этом реализуется режим временной задержки и накопления (ВЗН) с суммированием сигналов от четырех ФЧЭ. Шаг ФЧЭ составляет 56 мкм вдоль линеек и 42 мкм поперек линеек. Эффективный размер отдельных ФЧЭ составляет $(28\pm 5)\times(28\pm 5)$ мкм².

Кремниевая БИС обеспечивает считывание, интегрирование, усиление и мультиплексирование сигналов отдельных ФЧЭ на восемь выходных шин. БИС управляется четырьмя тактовыми сигналами, использует четыре напряжения питания, два из которых регулируются и обеспечивают подачу напряжений смещения на ФЧЭ. Стабилизатор напряжений смещения в БИС позволяет снизить требования на допустимые уровни пульсаций по регулируемым напряжениям.

Охлаждаемый фотоприемный модуль размещается в вакуумном криостатируемом корпусе, рассчитанном на стыковку с микрокриогенными системами охлаждения, работающими по циклу Стирлинга. Рабочая температура модуля 80⁻⁵ К. Охлаждаемая диафрагма с апертурным углом поля зрения около 30° уменьшает фоновый ток более чем в 5 раз.

Конструкция МФПУ предусматривает возможность выполнения в едином конструктиве электронного блока для согласования входов и выходов МФПУ с модулями аналого-цифровой обработки и формирования прецизионных напряжений.

Исследованы основные фотоэлектрические параметры МФПУ с длинноволновой границей фоточувствительности в диапазоне от 10,5 мкм до 11,5 мкм. При этом средние значения удельной обнаружительной способности превышают 10¹¹ Вт⁻¹Гц^{1/2}см. Вольтовая чувствительность составляет около 10⁸ В/Вт. Число дефектов менее 2 %.

У04. МФПУ смотрящего типа формата 384x288 элементов спектрального диапазона 8-12 мкм на основе фотодиодов из $Cd_xHg_{1-x}Te$

Болгарь К.О., Бурлаков И.Д., Головин С.В., Яковлева Н.И., Стафеев В.И., Акимов В.М.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Разработано и исследовано матричное фотоприемное устройство (МФПУ) формата 384x288 элементов спектрального диапазона 8-12 мкм. Эпитаксиальные слои (ЭС) соединения кадмий-ртуть-теллур (КРТ) выращивались методами молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) на подложках GaAs и жидкофазной эпитаксии (ЖФЭ) на подложках CdZnTe. Концентрация носителей в материале p-типа составляла величину порядка 10^{16} см^{-3} , а подвижность – более $400 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ при временах жизни 20-30 наносекунд.

МФПУ формата 384x288 элементов состоит из матрицы фотодиодов, сформированных в эпитаксиальном слое КРТ p-типа проводимости и кремниевого МОП-мультиплексора, осуществляющего построчное накопление и считывание сигналов матрицы фотодиодов. Матрица фотодиодов и МОП-мультиплексор состыкованы при помощи индиевых столбов размером 15x15 мкм суммарной высотой $10 \div 15$ мкм таким образом, что каждый фотодиод подсоединен In столбом к входу своей ячейки МОП-мультиплексора. Шаг фотодиодов в каждом направлении 35 мкм, размер имплантированных областей n-типа $18 \times 18 \text{ мкм}^2$.

Исследованы гистограммы и диаграммы распределения по МФПУ тока фотодиодов в рабочей точке, фоточувствительности и удельной обнаружительной способности D^* МФП с граничной длиной волны по уровню $\lambda_{0.5} = 10,3 \div 11,7$ мкм. Среднее значение удельной обнаружительной способности D^* при $T = 80 \text{ К}$ превышает $3 \cdot 10^{10} \text{ Вт}^{-1} \cdot \text{Гц}^{1/2} \cdot \text{см}$.

Реализована работа МФПУ в реальном масштабе времени с частотой кадров 25 Гц и обработка получаемых ИК-изображений.

У05. Параметры сигналов многорядных фотоприемников на основе КРТ с учетом коррекции неоднородности чувствительности

Филачев А.М., Пономаренко В.П., Сагинов Л.Д., Соляков В.Н., Бурлаков И.Д.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Проведен сравнительный анализ разработанных многорядных матричных фотоприемников (МФПУ) для режима временной задержки и накопления и МФПУ ведущих зарубежных фирм. Принятая в ФГУП «НПО «Орион» организация МФПУ без суммирования сигналов в фокальной плоскости позволяет реализовать схемотехнику БИС считывания и мультиплексирования при более низких технологических нормах. Однако число сигнальных выводов из холодной зоны и соответственно число параллельно работающих АЦП возрастает пропорционально числу линеек в МФПУ.

Влияние разброса вольтовой чувствительности каналов МФПУ на параметры тепловизионных систем заключается в том, что при однородной засветке сигналы отдельных фоточувствительных элементов (ФЧЭ) и соответственно - каналов МФПУ (после суммирования сигналов в режиме ВЗН) отличаются, что приводит к появлению полос в направлении сканирования на тепловизионном изображении. Разброс чувствительности устраняется коррекцией в схемах аналого-цифровой обработки. Возможности такой коррекции ограничиваются разрядностью аналого-цифровых преобразователей (АЦП) и диапазоном изменения сигналов по отношению к шуму системы регистрации. Для проведения коррекции необходимо, чтобы выходные сигналы ФЧЭ с учетом разброса вольтовой чувствительности во всем диапазоне изменения освещенности лежали в пределах диапазона входных сигналов АЦП. Точность коррекции должна быть такой, чтобы неоднородность скорректированных сигналов не превышала уровень шумового сигнала. С другой стороны, точность воспроизведения сигналов не превышает единицу дискретизации измеряемого АЦП сигнала (единицу счета АЦП). Поэтому оптимальный результат коррекции достигается, если коэффициент предварительного усиления до АЦП выбран таким, чтобы значение шума составляло около одной единицы дискретизации АЦП.

Проведены расчетные оценки влияния разброса вольтовой чувствительности на параметры изображения и определены возможности коррекции неоднородности чувствительности фоточувствительных элементов при изменении температуры объекта наблюдения для различных значений апертурного угла поля зрения фоточувствительного элемента и квантовой эффективности. Для проведения коррекции неоднородности чувствительности с точностью до одной единицы счета АЦП необходимо, чтобы отношение максимального значения чувствительности к минимальному не превышало отношения числа дискретов счета АЦП к динамическому диапазону выходных сигналов ФЧЭ. Показано, что для проведения коррекции неоднородности чувствительности с точностью до одной единицы счета АЦП в температурном диапазоне сцены от -60°C до $+60^{\circ}\text{C}$ 12-разрядного АЦП недостаточно. При применении 14-разрядного АЦП коррекция неоднородности чувствительности может быть проведена, если отношение максимальной чувствительности к минимальной не будет превышать 3,3.

В работе приведены результаты исследований показателей долговременной и кратковременной стабильности параметров МФПУ и возможности коррекции неоднородности этих параметров многорядного матричного фотоприемного устройства.

У06. Матричные фотоприемные устройства на основе антимонида индия форматов 64×64, 128×128, 256×256, 384×288 элементов

Филачев А.М., Бурлаков И.Д., Чишко В.Ф., Касаткин И.Л.,
Лопухин А.А., Пасеков В.Ф., Дирочка А.И.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Матричные фотоприемные устройство (МФПУ) на основе антимонида индия «смотрящего типа» широко применяются за рубежом для создания различных тепловизионных и тепlopеленгационных систем, что обусловлено высокой технологичностью, большой чувствительностью и быстродействием фотоприемников на основе антимониде индия. МФПУ состоят из матрицы фотодиодов из InSb и кремниевого мультиплексора, механически и электрически соединенных между собой при помощи индиевых микростолбиков. МФПУ выполнялись с накоплением фотосигнала на периферии за время опроса строки (построчное накопление) или в соответствующей каждому фотодиоду ячейке мультиплексора (покадровое накопление). Способы считывания определяют функциональные возможности МФПУ (прогрессивное считывание, режим «мгновенной фотографии», изменение формата и т.д.)

Разработаны и исследованы МФПУ формата 64x64 с шагом 70 мкм и форматов 128x128, 256x256 и 384x288 элементов с шагом 35 мкм.

Матрица фотодиодов имеет меза-структуру с общей базовой областью. Размер фоточувствительной площадки элемента 30x30 мкм при ортогональном шаге 35 мкм. Поскольку регистрируемое излучение поступает через базовую область, то для увеличения квантовой эффективности ее толщина при помощи химико-механической обработки доводилась до толщины 15-20 мкм с последующей приклейкой криогенным клеем на просветленную с обеих сторон кремниевую подложку.

Индиевые микростолбики получали методом термического напыления индия с последующим химическим травлением. Точность совмещения при стыковке не хуже 2 мкм.

Мультиплексор (МП) содержит матрицу ячеек накопления, с которых при помощи статических горизонтальных и вертикальных сдвиговых регистров производилось считывание фотосигнала. Ячейка накопления, как правило, содержит емкость накопления величиной примерно 1 пФ, согласующий (подпороговый) транзистор, транзистор, работающий в режиме истокового повторителя и тестовый транзистор, позволяющий тестировать работоспособность МП.

Измерение характеристик проводилось в заливном азотном криостате при апертурном угле $2\theta \cong 40^\circ$. Величина фонового тока фотодиодов лежит в диапазоне $(0.8 \div 1) \cdot 10^{-9}$ А, что позволяет реализовать в МФПУ время накопления до $T_n = 3 \cdot 10^{-3}$ с. Токовая чувствительность фотодиодов $S_{i\lambda m} = (1 \div 1.2) \text{ А} \cdot \text{Вт}^{-1}$, что соответствует квантовой эффективности $\eta = 0,3 \div 0,35$. Вольтовая чувствительность МФПУ $S_{u\lambda m} = 8 \cdot 10^9 \text{ В} \cdot \text{Вт}^{-1}$, величина шума $U_{ш} \cong 7 \cdot 10^{-4}$ В при времени накопления $T_n = 2 \cdot 10^{-3}$ с. Величина удельной обнаружительной способности $D^*_{\lambda m} \cong (1,5 \div 2) \cdot 10^{11} \text{ Вт}^{-1} \text{ Гц}^{1/2} \text{ см}$.

У07. Быстродействующее матричное фотоприемное устройство формата 128×128 элементов на основе InSb с покадровым накоплением и функцией дальномера

Пономаренко В.П., Бурлаков И.Д., Чижко В.Ф., Касаткин И.Л., Лопухин А.А.,
Пасеков В.Ф., Приходько В.Н.* , Сюняев Л.З.* , Панфиленко А.К.**

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

**ФГУП «НПО «ГИПО», Казань, Россия*

***ООО НПО «Микротелеком», Минск, Белоруссия*

Разработано матричное фотоприемное устройство (МФПУ) форматом 128x128 элементов на основе антимонида индия, содержащее: матрицу фотодиодов из InSb и кремниевую БИС считывания и обработки сигнала, которые гибридизированы при помощи индиевых столбиков, охлаждаемую диафрагму и фильтр, датчики температуры охлаждения, вакуумный корпус с германиевым входным окном. МФПУ охлаждается с помощью микрокриогенной системы (МКС), работающей по циклу Сплит-Стирлинга с линейным приводом МСМГ-3А-0,6/80 (2-ой класс).

Матрица фотодиодов имеет базовую область толщиной 10÷15 мкм и получена методом химико-механической полировки пластины InSb толщиной ~450 мкм с последующей приклейкой криогенным клеем на несущую кремниевую подложку. Размер фоточувствительных площадок 30x30 мкм. Ортогональный шаг матрицы 35 мкм.

Кремниевая БИС содержит: матрицу ячеек считывания и накопления фотосигнала, состоящую из подпорогового транзистора, 2х ключевых транзисторов и накопительной емкости; задающий регистр и регистр считывания; блок управления, осуществляющий реализацию различных режимов работы; выходные устройства. Матрица ячеек накопления с шагом 35x35 мкм и величиной емкости накопления 0,78 пФ содержит индиевые столбики для механической и электрической стыковки с матрицей фотодиодов. Организация накопления покадровая.

В МФПУ предусмотрены два режима работы: тепловизионный режим с временем кадра ~1 мс и режим дальномера, когда с высокой скоростью в течение 12 тактов опрашиваются 8 элементов центральной зоны, причем хотя бы один из них в любой момент времени может принимать входной (отраженный) сигнал.

Проведены экспериментальные измерения характеристик МФПУ при апертурном угле поля зрения $2\theta=38^\circ$. Установлено, что величина шума возрастает с увеличением времени накопления пропорционально $\sqrt{T_n}$ в диапазоне $T_n \leq 2 \cdot 10^{-3}$ с, а сигнал линейно возрастает с увеличением T_n . Кадровая частота достигает 1000 Гц. При использовании объектива с $D:F=1:1,4$ получено температурное разрешение $(1\div 2) \cdot 10^{-2}$ К.

У08. Перспективы разработок монокристаллических охлаждаемых матричных ИК-приборов для комплексированных многоспектральных систем обнаружения в диапазонах 1,5-5 и 8-12 мкм

Арутюнов В.А., Васильев М., Иванов В.Г., Прокофьев А.Е., Степанов Р.М.

ОАО «ЦНИИ «Электрон», Санкт-Петербург, Россия

Рассматривается современное состояние разработок кремниевых охлаждаемых матричных ИК фотоприемников (МФП) с фоточувствительными элементами на барьерах Шоттки (БШ) и фотоприемных устройств (ФПУ) на их основе, выполненных в последние годы в ОАО "ЦНИИ "Электрон". Приводятся основные параметры широкоспектральных монокристаллических МФП 256x256 элементов на силициде платины (1,2-5,5 мкм) и силициде иридия (1,2-10,5 мкм), а также МФП 512x512 элементов на силициде платины. Результаты лабораторных и полигонных испытаний ИК камер с использованием разработанных МФП БШ продемонстрировали правильность выбранного направления, позволили получить опыт эксплуатации МФП БШ и выявить пути их совершенствования применительно к работе по малоразмерным объектам. Рассмотрены факторы, ограничивающие дальнейшее улучшение пороговой чувствительности разработанных МФП БШ при работе по мелким деталям изображения. На основе сделанных оценок числа фотонов, регистрируемых каждым элементом МФП в разных спектральных диапазонах, и собственного шума МФП оценены предельно допустимые величины квантовой эффективности МФП БШ диапазонов 1,5-1,7 мкм, 3-5 мкм и 8-12 мкм и прогноз их достижения в «классических» БШ и в многослойных БШ следующего поколения.

Обсуждаются специфические требования к МФП БШ, работающим в многоспектральных ИК системах обнаружения малоразмерных объектов. Отмечается перспективность разработок большеформатных МФП БШ с повышенной чувствительностью в монокристаллическом исполнении на основе кремния с использованием современной технологии СБИС и с применением новой технологии получения и обработки многослойных тонкопленочных структур силицидов металлов и полупроводников в СВЧ плазме высокой плотности.

Рассматриваются перспективы дальнейшего расширения единого ряда широкоспектральных монокристаллических и гибридных кремниевых ИК МФП с охлаждением до температур 50-150 К на основе кремниевой технологии с проектными нормами 0,5 мкм в целях оснащения спектрально-цифровых ИК систем с большой рабочей дальностью.

У09. Матричные микроболометрические приемники форматов 160×120 и 320×240

Тарасов В.В., Здобников А.Е., Кудрявцев П.Н., Четверов Ю.С., Жуков А.А., Машевич П.Р.*, Овсяк В.Н.***, Клемин С.Н.***, Шаповал С.Ю.****

ОАО «ЦНИИ «ЦИКЛОН», Москва, Россия

**ОАО «Ангстрем», Москва, Россия*

*** Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия*

**** ФГУП «НПП «Пульсар», Москва, Россия*

*****ИПТМ РАН, Моск. обл., Черноголовка, Россия*

В последние годы для тепловизионных систем используют микроболометрические приемники, обладающие рядом существенных преимуществ по сравнению с аналогами – относительной дешевизной, малыми энергопотреблением, массой и габаритами, а также отсутствием охлаждающих устройств. В этой связи создание отечественных неохлаждаемых матричных микроболометрических приемников с воспроизводимой технологией их изготовления является крайне актуальной задачей.

В докладе представлены два конструктивно-технологических варианта неохлаждаемых матричных микроболометрических приемников (ММБП) для диапазона длин волн 8-12,5 мкм. Электрические схемы и топология мультиплексоров для ММБП форматов 320x240 и 160x120 разработаны и изготовлены специалистами ОАО "Ангстрем". Их структурные схемы однотипны и включают следующие основные блоки:

- блок управления матрицей коммутаторов микроболометрических приемников, подключаемых построчно к мостовым схемам столбцовых усилителей;
- блок строки столбцовых усилителей с элементами выборки-хранения;
- блок сдвигового регистра выборки столбцов со схемой управления считыванием информации;
- блок коммутатора внешнего смещения;
- блок выходного усилителя – повторителя;
- блок формирователя тактов;
- блок формирователя напряжений смещения;
- блок тестового столбцового усилителя.

Кристаллы интегральных микросхем мультиплексоров форматов 160x120 и 320x240 имеют следующие геометрические размеры: X=10160 мкм, Y=11080 мкм и X=16130 мкм, Y=19240 мкм соответственно. На кристаллах выполнено по 46 контактных площадок.

В ИФП СО РАН и ОАО "ЦНИИ "ЦИКЛОН" разработана топология и технология изготовления ММБП на кристаллах мультиплексоров. Технология основана на травлении полиимидных "жертвенных" слоев при формировании микромостиковых структур из нитрида кремния и травлении структур с управляемым профилем в условиях ЭЦР-плазмы. Процесс получения термочувствительного слоя окиси ванадия с ТКС не хуже 1,8 %/град осуществляется ВЧ реактивным магнетронным распылением. Особенностью реализованных конструктивно-технологических вариантов ММБП является использование для подвески микромостиковых структур алюминиевых контактов высотой 2-2,5 мкм, выполненных в виде столбиков, сформированных на поверхности кристаллов мультиплексоров. Наличие столбиков позволяет обеспечить высокий уровень воспроизводимости технологии изготовления.

Представлены результаты измерений основных характеристик элементов ММБП: частотная зависимость обнаружительной способности и чувствительность.

У10. Неохлаждаемые микроболометрические матричные приемники ИК-излучения на основе золь-гель VO_x

Овсяк В.Н., Шашкин В.В., Демьяненко М.А., Фомин Б.И.,
Васильева Л.Л., Соловьев А.П.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Разработана технология изготовления матричных неохлаждаемых микроболометрических приемников ИК-излучения мостикового типа, пригодная для создания полноформатных ФПУ. Последовательность технологических операций включает: нанесение алюминиевых контактов и зеркал; формирование окон в жертвенном слое – полиимиде; нанесение нижнего слоя нитрида кремния толщиной 0,15 мкм и вскрытие в нем окон до контактов; формирование титановой разводки и островков слоя окислов ванадия; нанесение верхнего слоя нитрида кремния толщиной 0,15 мкм и формирование рисунка мостиковой структуры; удаление полиимида в кислородной плазме. Термочувствительные слои оксидов ванадия получали золь-гель методом, состоящим в нанесении при комнатной температуре тонкого слоя раствора алкоксидов ванадия $VO(OR)_n$, в его дальнейшем высушивании и отжиге с образованием пленки оксидов ванадия VO_x и в последующем восстановлении в водородной среде. Достоинством этого метода является высокая чистота исходных реагентов (алкоксидов), простота и дешевизна используемого оборудования, а также минимальные трудности при увеличении размеров подложек.

Изготовлены макетные неохлаждаемые матричные микроболометрические приемники (ММБП) форматом 160x120 с шагом 51 мкм. Ширина несущих балок из нитрида кремния составляла 2-3 мкм. Ширина титановой шины, проходящей по балке – 2 мкм. Зазор между болометром и зеркалом 2-2,5 мкм. Сопротивление болометра при комнатной температуре R_b составляло около 100 кОм, температурный коэффициент сопротивления (ТКС) $\alpha = 2,0$ %/К. Спектральный диапазон чувствительности, определенный по уровню 0,5, составлял 8,3-13,5 мкм. Измерения шумов болометра показали, что параметр $f_0/I^2 R_b$, характеризующий $1/f$ шум, в лучших образцах был равен $3 \cdot 10^6$ Дж⁻¹. Здесь f_0 - частота, на которой спектральная плотность $1/f$ шума сравнивается со спектральной плотностью шума Джонсона, I - ток, протекающий через микроболометр.

Использовались кремниевые мультиплексоры формата 160x120, разработанные ОАО «Ангстрем» совместно с ОАО ЦНИИ «Циклон». Считывание сигнала с элементов микроболометрической матрицы основано на использовании потенциальной мостовой схемы Уитстона, в одном из верхних плеч которой используются микроболометрические элементы, закрытые от воздействия падающего ИК излучения, а нижние плечи моста выполнены из «закороченных по температуре» микроболометров, т.е. выполненных без вакуумного зазора. Такая схема включения обеспечивает сохранение баланса моста даже при значительном разогреве чувствительных элементов матрицы в процессе считывания сигнала, который может достигать значений ≈ 15 К для микроболометров, имеющих ТКС $\alpha = 2$ %/К. Кроме того, использованная потенциальная мостовая схема, в отличие от токовой, менее чувствительна к шумам напряжения смещения и величине сопротивлений болометров.

На основе изготовленных ММБП созданы макеты ФПУ форматом 160x120, состоящие из малогабаритного вакуумного корпуса, снабженного просветленным германиевым окном. Внутри корпуса имеется термоэлектрический охладитель и транзисторный датчик температуры для стабилизации температуры ММБП. Измерены распределения чувствительности и шумов по матрице ФПУ. Пороговая облученность ФПУ составляла менее $3 \cdot 10^{-5}$ Вт/см².

У11. Матричные фотоприёмники с зарядовой связью с межстрочным переносом

Костюков Е.В., Михайличенко О.В., Скрылёв А.С., Трунов С.В.*

ФГУП «НПП «Пульсар», Москва, Россия

**ОАО «НИИМЭ и завод Микрон», Москва, Россия*

Матричные ФПЗС с межстрочным переносом разработаны для отечественных видеокамер, в т.ч. цветного изображения и для систем наблюдения и вскрытия обстановки. Особенности этих приборов являются:

- фотодиодные ячейки накопления с удвоенной ёмкостью за счет слоя аккумуляции дырок на их поверхности,
- встроенное под фотодиодами вертикальное устройство антиблуминга в виде n-p-n структуры, обеспечивающим возможность работы в режиме электронного затвора,
- двуполярное трехуровневое управление вертикальными 4-фазными регистрами матричной области, работающими в режиме двойной синхронизации,
- а также простой в управлении 2-фазный выходной регистр.

Разработка и освоение в производстве ряда матричных ФПЗС с межстрочным переносом и дальнейшее развитие этого направления позволяют создать ряд специальных телевизионных систем, имеющих широкий спектр применения. Встроенное устройство “антиблуминга” и простой способ реализации электронного управления временем экспозиции, позволяет расширить время накопления от десятков микросекунд до десятков секунд в диапазоне рабочих температур от минус 60⁰С до +60⁰С без дополнительного охлаждения. Это обеспечивает диапазон рабочих освещенностей телевизионных устройств матричных ФПЗС от 10⁻² лк до 10⁵ лк без применения электромеханических диафрагм. Фотоэлектрические параметры приборов приведены в таблице.

Параметр	ФПЗС23М	ФПЗС24М	ФПЗС25М
Число элементов (Г х В)	500x582	756x581	752x582
Оптический формат, дюйм	2/3	2/3	1/2
Размеры фотоэлемента (Г х В) мкм	17x11	11x11	8,6x8,3
Эффект. антиблуминга, xE _{нас}	300	300	300
Чувствительность, В/(мкДж/см ²) λ=0,66 мкм	10,0	7,0	4,5
Напряжение насыщения, В	0,5	0,3	0,2
Частота вывода информации, МГц	9,6	15,0	15,0

У07П. Пироэлектрические многоэлементные приемники излучения инфракрасного диапазона

Певцов Е.Ф., Чернокожин В.В.*

*Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики
(технический университет), Москва, Россия*

**ФГУП «НПП «Пульсар», Москва, Россия*

Выполнен обзор современного состояния разработок пироэлектрических матричных инфракрасных приемников излучения в фокальной плоскости. Рассмотрены основные методы формирования пленок с пироэлектрическими свойствами, а также технологические, конструктивные и схемотехнические решения, использующиеся при создании многоэлементных приемников на их основе. Предложена полная схема расчета и проведен анализ предельных характеристик пироэлектрических приемников, основывающийся на оптимизации соотношения сигнала к шуму. Показано, что основной проблемой при создании матричных пироэлектрических приемников является совместимость технологических процессов формирования тонких пироэлектрических пленок с базовыми процессами микроэлектроники. Главными преимуществами применения сегнетоэлектрических материалов в качестве преобразователей излучения в электрические сигналы являются дифференциальный характер отклика и возможность электронного управления коэффициентами преобразования. Предложены соответствующие схемотехнические решения, реализующие коррекцию неоднородности чувствительности и аналоговое матричное перемножение сигналов. Обсуждаются результаты экспериментальных исследований с электронными схемами коррекции на основе рекурсивных фильтров, а также экспериментальные данные, подтверждающие принципиальную возможность создания нового поколения приемников, реализующих аналоговый принцип коррекции чувствительности.

Работа выполнена в рамках выполнения задания по ФЦП «Интеграция науки и высшего образования России» (проект Ф0038/889) и при поддержке Минобрнауки РФ (проект №03.01.209).

У12. Пирозлектрические матрицы для тепловизионных систем

Меркин С.Ю., Березкин Н.А., Москвина Н.Н., Станская Т.Б., Степанов Р.М.

ОАО «ЦНИИ «Электрон», Санкт-Петербург, Россия

В последние годы стали интенсивно развиваться технологии неохлаждаемых матричных инфракрасных (ИК) приемников. Неохлаждаемые матрицы для тепловизионных приборов могут быть построены на основе пирозлектрических тепловых приемников, которые, в отличие от квантовых, не имеют длинноволновой границы чувствительности, а также без охлаждения могут быть чувствительными в области спектров от ультрафиолетового до радио диапазонов. Достигнутые характеристики сопоставимы с аналогичными для охлаждаемых приемников.

Первые попытки разработок неохлаждаемых до криогенных температур ИК матричных приемников и тепловизионных камер на их основе были предприняты в восьмидесятых годах рядом исследовательских лабораторий в Англии, Австралии и США. Промышленный выпуск начат с 1996 г. в США.

В настоящее время имеется несколько зарубежных фирм, выпускающих камеры на неохлаждаемых ИК матрицах:

- камера PalmIR 250 фирмы Raytheon (США).
- камера Thermacam PM695 фирмы FLIR SYSTEMS BOSTON (США).
- Камера PV-320 фирмы Elctrophysics (США).
- камера Fire Optic фирмы Infrared Components Corporation-ICC, (США).
- камера Argus-II TIC фирмы MSA (американское отделение английской фирмы EEV).
- И т.д.

Ряд камер выпускаются на базе пирозлектрической матрицы фирмы Raytheon (США), а ряд фирм выпускают на базе неохлаждаемой микроболометрической матрицы U-3000 фирмы Boeing (США).

Основной особенностью матричного приемника и камеры на его основе является сочетание высоких технических характеристик с отсутствием криогенного охлаждения, с компактностью, автономностью, низкой энергоемкостью, простотой и удобством в обращении, а также относительно низкой ценой.

Предлагаемая к разработке в ОАО "ЦНИИ "Электрон" пирозлектрическая матрица будет характеризоваться следующими параметрами:

- число элементов- 320x240;
- размер элемента- 50x50 мкм;
- NETD (эквивалентная шуму разность температур) на крупной детали в спектральном диапазоне 8-14 мкм, при оптике $F/D=1,0$ - не более 0,07 К;

Особенности неохлаждаемых матриц позволяют предполагать высокий спрос и уверенную реализуемость матричных приемников и тепловизионной камеры на его основе.

В докладе приводятся принцип построения пирозлектрической матрицы, основные параметры, ключевые проблемы при разработке матричного приемника, а также рассматриваются области применения.

У13. 128-канальное фотоприёмное устройство на основе фоторезистора из селенида свинца

Аракелов Г.А., Бочков В.Д., Дrajников Б.Н., Казарова Ю.А.,
Малюгин Ю.А., Сивенкова В.Н., Трифонов П.В., Храпунов М.Л.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

В докладе представлена разработка фотоприёмного устройства (ФПУ), предназначенного, главным образом, для применения в тепловизионных приборах, работающих в области спектра 3÷5 мкм и где развёртка изображения осуществляется с помощью качающегося зеркала.

Основной особенностью представленного ФПУ является сопряжение фоторезистивных фоточувствительных элементов (ФЧЭ) с мультиплексорами, по своим схемотехническим особенностям предназначенными для сопряжения с фотодиодами.

Рассматриваемый ФПУ состоит из 128-элементного фотоприёмника (ФП) и электронного устройства усиления и коммутации (ЭУУК).

ФП включает в себя:

- 128-элементный фоторезистивный ФЧЭ из селенида свинца;
- два 64-канальных мультиплексора;
- 3-х каскадный термоэлектрический охладитель (ТЭО);

В ФЧЭ фоточувствительные площадки (ФЧП) сгруппированы в две линейки по 64 в каждой и расположены в шахматном порядке. Для поддержания требуемого вакуума в состав ФП входит газопоглотитель.

В мультиплексорах осуществляется поканальное “интегрирование” в заряды токов, протекающих через ФЧП, преобразование этих зарядов в напряжения и коммутация их на аналоговые выходы фотоприёмника Вых.1 и Вых.2.

Управляющие и питающие напряжения для мультиплексоров поступают на ФП из ЭУУК.

В ЭУУК осуществляется дискретно-аналоговая поканальная компенсация разброса темновых токов, протекающих через ФЧП, при помощи малошумящего 8-разрядного цифро-аналогового преобразователя (ЦАП), применение которого позволяет установить коэффициент усиления выходного усилителя 10.

Работой всего ФПУ управляет сверхбыстродействующий микроконтроллер семейства SX фирмы UVIСOM.

Был изготовлен и испытан макетный образец ФПУ, в котором получены температура охлаждения ФЧЭ – минус 70⁰С при T_{окр.}=20⁰С и среднее значение удельной обнаружительной способности 3·10¹⁰ Вт⁻¹Гц^{1/2}см.

У08П. Ультрафиолетовые приборы оптоэлектроники на основе гетероструктур AlGaN/GaN

Юнович А.Э., Широков С.С.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Гетероструктуры типа AlGaN/GaN за последнее десятилетие широко используются для разработок фотоприемников, светодиодов и инжекционных лазеров в ультрафиолетовой (УФ) области от 400 до 250 нм. Структуры выращиваются методами молекулярно-лучевой эпитаксии и газовой эпитаксии из металло-органических соединений (MOVPE). Эти методы позволяют создавать многослойные структуры с квантовыми ямами, толщина которых может быть порядка десятков ангстрем. Широкозонные нитриды III группы ($E_g(\text{AlN})=6,5$ эВ; $E_g(\text{GaN}) = 3,5$ эВ) имеют гексагональную кристаллическую структуру, они являются химически и термически стабильными. Решены проблемы легирования GaN и AlGaN акцепторами, так что концентрация дырок в p- областях p-n- переходов может достигать 10^{18} см^{-3} . Выращивание пленок GaN на сапфире методом MOVPE позволяет понизить плотность проникающих дислокаций до $5 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2}$. Это значительно уменьшает старение оптоэлектронных приборов на основе GaN и увеличивает срок их службы. GaN имеет ряд преимуществ по сравнению с кубическими соединениями. Скорость насыщения в сильном поле и энергия оптического фонона в GaN выше, чем в GaAs. Работы по оптоэлектронным приборам на основе нитридов были посвящены последние Конференции [1, 2].

На основе AlGaN/GaN созданы УФ фотоприемники (ФП) разных типов: фотоспротивления, фотодиоды Шоттки, структуры металл-полупроводник-металл, лавинные фотодиоды, фототранзисторы, p-n или p-i-n переходы [3]. Эти ФП являются солнечно слепыми, т. е. их чувствительность в видимой и инфракрасной области на 3-5 порядков меньше чувствительности в УФ области. Чувствительность разных ФП изменяется в пределах от 2 мА/Вт до 10000 А/Вт, время отклика изменяется в пределах от 100 пс до часов, а минимальный поток регистрируемых фотонов составляет 500 фотонов/секунду. ФД на основе GaN являются низкошумящими приборами, их темновой ток может быть меньше 1 фА. Размер ФД может достигать $2 \times 2 \text{ мкм}^2$, что позволяет объединять такие элементы в матрицы и создавать новые устройства.

Разработаны светодиоды (СД) на основе гетероструктур AlGaN/GaN с длиной волны до 278 нм и мощностью 0,02 мВт при постоянном токе 20 мА и 1 мВт при импульсном токе 100 мА. Мощность более длинноволновых излучателей (340 нм) достигает 1 мВт при токе 20 мА. В конструкциях СД применяются множественные квантовые ямы и конструкции типа «flip-chip», что существенно увеличивает интенсивность излучения, мощность и внешний квантовый выход.

На основе гетероструктур InGaN/GaN создают лазеры с оптической накачкой, излучающие в диапазоне от 370 нм до 470 нм. Минимальный порог таких лазеров при комнатной температуре составляет 35 кВт/см^2 , максимальная мощность 80 Вт, а полуширина основной линии излучения 0,04 нм.

Ультрафиолетовые (УФ) светодиоды (СД) и фотодетекторы (ФД) находят широкое применение в устройствах передачи и хранения информации, медицине, системах безопасности.

[1] NATO Advanced Research Workshop “UV solid-state light emitters and detectors”. Vilnius, Lithuania, June 2003.

[2] 8th Wide-Bandgap III-Nitride Workshop. Richmond, Virginia, USA, Sept. 2003.

[3] E. Monroy, F. Calle, J. L. Pau, E. Muñoz. AlGaN-based UV photodetectors. The Fourth European GaN Workshop, Nottingham, UK, July 2000.

У14. Фотодиоды с большим диаметром чувствительной площадки для спектрального диапазона 0,9-2,55 мкм

Куницына Е.В., Андреев И.А., Михайлова М.П., Пархоменко Я.А., Яковлев Ю.П.

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

В данной работе представлены последние результаты в области создания фотодиодов на основе твердых растворов GaInAsSb для спектрального диапазона 0,9-2,55 мкм. Были разработаны и исследованы высокоэффективные GaInAsSb/GaAlAsSb меза-фотодиоды с большим диаметром чувствительной площадки 2,0-2,8 мм.

Токовая монохроматическая чувствительность в максимуме спектра ($\lambda_{\text{макс}}=2,0-2,2$ мкм) для данных фотодиодов имеет значение $S_{\lambda}=1,0-1,1$ А/Вт, что соответствует квантовой эффективности 0,6-0,7 без антиотражающих покрытий. Нанесение пленок SiO₂ позволило нам достигнуть увеличения чувствительности почти на 30% на длине волны, близкой к $\lambda=2$ мкм. Однако при этом также существенно возросла величина обратных темновых токов фотодиода и, следовательно, ухудшилось соотношение сигнал/шум.

Емкость фотодиодов составляет 1000-3000 пФ при нулевом смещении, что является хорошим результатом для фотодиодов с диаметром рабочей площадки 2,0-2,8 мм. Нелинейность выходного сигнала фотодиодов не превышает 0,1%.

Нами исследовались обратные вольт-амперные характеристики фотодиодов при различных температурах. Экспериментальные данные наилучшим образом согласуются с зависимостью для генерационно-рекомбинационного тока ($I \sim T^{3/2} \exp(-E_g/2kT)$, $\tau_{\text{eff}}=10^{-7}-10^{-8}$ с). Отклонение экспериментальной зависимости от расчетной для Г-Р тока при низких температурах связано с возрастанием влияния туннельной компоненты темнового тока, температурная зависимость которой более слабая и которая становится определяющей в узкозонных материалах при высоких напряжениях и низких температурах ($T < -20^{\circ}\text{C}$).

Обнаружительная способность фотодиодов, оцененная по измеренной величине уровня шумов и ампер-ваттной чувствительности, в максимуме спектра достигает величины $D^*(\lambda_{\text{макс}}, 1000, 1)=(0,8-1,0) \times 10^{11}$ Вт⁻¹Гц^{1/2}см.

У15. Неохлаждаемые p -InAsSbP/ n -InAs фотодиоды для оптоэлектронных сенсоров

Сукач А.В., Тетеркин В.В., Старый С.В., Зотова Н.В.*, Карандашев С.А.*, Матвеев Б.А.*, Ременный М.А.*, Стусь Н.М.*, Талалакин Г.Н.

Институт физики полупроводников им. В. Е. Лашкарева НАН, Киев, Украина

**Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия*

Значительный интерес к InAs фотодиодам (ФД) обусловлен их широким применением для обнаружения вредных выбросов в атмосфере. Высокие эксплуатационные показатели InAs ФД объясняются стабильностью их параметров на протяжении длительного срока эксплуатации, низким уровнем шума, высокой скоростью фотоответа. Технология их производства относительно хорошо развита.

p -InAsSbP/ n -InAs ФД были получены методом жидкофазной эпитаксии. Согласованные по постоянной решетки эпитаксиальные слои InAsSbP ($E_g=0.43$ эВ при $T=300$ К) толщиной 3 мкм были выращены на поверхности (111)В подложек InAs. В процессе выращивания слои легировались добавлением Zn в расплав с целью получения слоев с концентрацией дырок порядка 10^{18} см⁻³. Монокристаллические подложки имели n -тип проводимости с концентрацией электронов $n=(2\div 3)\times 10^{16}$ см⁻³. Для выделения меза-структур с площадью $A=1.45\times 10^{-3}$ см² использовалась стандартная фотолитография. Формирование резких p - n переходов было подтверждено измерениями барьерной емкости. Омические контакты к слоям p^+ -InAsSbP формировались термическим напылением сплава Au:Zn с последующим термическим отжигом в атмосфере H₂. Контакты к n -InAs были получены испарением In.

В температурном интервале 77-290 К прямые ветви ВАХ описывались экспоненциальной зависимостью $I = I_o [\exp(eU / \beta kT) - 1]$, где β - коэффициент идеальности. Величина тока насыщения для двух актуальных значений температуры 290 К и 228 К равнялась 10^{-5} и 10^{-6} А, соответственно. Обратные ветви ВАХ достаточно хорошо аппроксимировались степенной зависимостью $I \sim U^\gamma$, причем показатель степени $\gamma \approx 0.6$ в интервале смещений $U = 0\div 0,2$ В. Коэффициент идеальности изменялся от значения равного 2 при 77 К до 1.4 при 290 К. Это означает, что темновой ток определяется вкладом двух механизмов: объемной диффузией и генерационно-рекомбинационным током обедненной области. В исследованных ФД произведение дифференциального сопротивления при нулевом смещении на площадь $R_{o,A}$ имело типичные значения $2\div 3 \Omega \times \text{см}^2$ при $T=290$ К.

По сравнению с имеющимися в продаже ФД, спектральные зависимости фотоответа были более широкими. В частности, в интервале длин волн $\lambda=2.5\div 3.35$ мкм токовая чувствительность $S_i=0.7\div 0,8$ А·Вт⁻¹ практически не зависела от длины волны. Удельная обнаружительная способность D_λ^* (3,3 мкм, 800 Гц, 1 Гц) изменялась в пределах $2,5\div 3,0\times 10^9$ Вт^{-1/2}Гц^{1/2}см при $T=300$ К. Очевидно, что такие ФД с широкой областью фоточувствительности более подходят для использования в газовых анализаторах.

Быстродействие ФД исследовалось путем возбуждения фотоносителей GaAs лазером. Было установлено, что время фотоответа не превышало длительность лазерного импульса $\tau=15$ нс. Это означает, что быстродействие в исследованных ФД определяется постоянной RC цепочки и может быть улучшено.

У16. Линейные фотоприёмники с зарядовой связью высокого разрешения с числом элементов до 12000

Кирдяшев Р.К., Костюков Е.В., Маклаков М.А., Скрылёв А.С., Трунов С.В.*

*ФГУП «НПП «Пульсар», Москва, Россия
ОАО «НИИМЭ и завод «Микрон», Москва, Россия

Рассмотрены особенности конструкции и технологии изготовления фоточувствительных приборов с зарядовой связью (ФПЗС) с размером фоточувствительной ячейки 7х7 (6,5х6,5 для MPL12288H) мкм и т.н. «комбинированной» организацией, характеризующейся наличием билинейного считывания информации с единого линейного массива фоточувствительных элементов и её мультиплексированием в зарядовой форме перед детектированием в одном выходном устройстве.

В совместной разработке ФГУП НПП «Пульсар» и ОАО «НИИМЭ и завод «Микрон» находится семейство из четырех типов линейных ФПЗС. Все приборы оснащены устройством антиблуминга, способным работать в режиме электронного затвора. Правила проектирования этих приборов основаны на изопланарной ПЗС-технологии с объёмным п-каналом "МикроПульс".

Тип ЛФПЗС	MPL4096H	MPL6144H	MPL8192H	MPL12288H
Параметры				
Число фотоэлементов, N, шт.	4096	6144	8192	12288
Эффективность антиблуминга, Ka, отн. ед.	≥300	≥300	≥300	≥300
Напряжение насыщения, U _{нас} , В	≥1,0	≥1,0	≥1,0	≥1,0
Чувствительность, S _ц , В/лк·с	≥4	≥4	≥4	≥4
Коэффициент передачи модуляции, K _м , %	≥60	≥60	≥60	≥60
Неравномерность выходного сигнала, δU _с , %	≤15	≤15	≤15	≤15
Неравномерность темнового сигнала (при времени накопления t _н =1мс), δU _т , %	≤1	≤1	≤1	≤1
Диапазон спектральной чувствительности, D _λ , мкм	0,35-1,1	0,35-1,1	0,35-1,1	0,35-1,1
Максимальная тактовая частота, f _т , МГц	≥20	≥20	≥20	≥20

У17. Модуль фотоприемного устройства ИК-диапазона

Акимова Н.М., Астахов В.П., Грибанов А.А., Долганин Ю.Н., Загулин В.В.,
Карпов В.В., Корольков В.П., Крашенинников В.С., Кузнецов Н.С., Савченко М.А.

ОАО «Московский завод «Сапфир», Москва, Россия

Разработан унифицированный модуль ФПУ для инфракрасных систем кругового обзора. Модуль состоит из унифицированного корпуса и сменных блоков приемника излучения (БПИ) и предварительного усилителя (БПУ).

БПИ представляет собой унифицированный криостат с держателем, на котором закреплен унифицированный растр с многоэлементным приемником излучения. Токоведущие дорожки растра с помощью многожильного кабеля соединяются с контактами цоколя и выводятся наружу. Приемник излучения представляет собой однорядную линейку, с числом элементов до 128 и топологией: размер 100x80 мкм, шаг 100 мкм. В качестве приемника излучения используются: либо фотодиодная линейка из InSb (на спектральный диапазон 3-5 мкм), либо фоторезистивная линейка из КРТ (на спектральный диапазон 8-14 мкм).

Фотодиодная линейка построена по топологии с охранными кольцами, что позволило при зазоре между чувствительными площадками 20 мкм снизить коэффициент фотоэлектрической связи до значений, меньших одного процента.

Фоторезистивная линейка из КРТ построена по топологии с частичным затемнением чувствительной площадки. Это позволило, во-первых, уменьшить влияние эффекта «выметания зарядов», во-вторых, увеличить собственные шумы фоторезистора без уменьшения порога чувствительности и, наконец, уменьшить долю пограничных шумов в генерационно-рекомбинационном шуме фоторезистора за счет уменьшения относительной доли периметра в площади чувствительного элемента.

БПУ для фотодиода собран по гибридной технологии и оригинальной схемотехнике. Он обеспечивает режим работы короткого замыкания фотодиода, полосового усиления ($3 \cdot 2 \cdot 10^5$ Гц с коэффициентом преобразования 25 МОм), обратного смещения на фотодиоде с высокой точностью и имеет минимальные размеры (8 каналов в корпусе 35x25x12 мм³).

БПУ для фоторезистора имеет следующие параметры: коэффициент усиления –2000; ток смещения на фоторезисторе до 5 мА; полоса пропускания $3 \cdot 2 \cdot 10^5$ Гц; спектральная плотность ЭДС-шума не более 1,5 нВ/Гц^{1/2}.

Характеристики ФПУ: удельная обнаружительная способность в максимуме спектральной чувствительности не менее $5 \cdot 10^{10}$ Вт⁻¹Гц^{1/2}см для диапазона 8-14 мкм и $2 \cdot 10^{11}$ Вт⁻¹Гц^{1/2}см для диапазона 3-5 мкм.

У18. Многоканальное высокочувствительное фотоприёмное устройство с малым временем выхода на рабочий режим на основе фоторезистора из CdHgTe

Алексеевичева В.С., Ильева А.П., Липин М.В.* , Поповян Г.Э.,
Трошкин Ю.С., Филатов А.В., Эсаулов Ю.Н.

*ГНЦ ФГУП «НПО» Орион», Москва, Россия
ООО НТК «Криогенная техника», Омск, Россия

Приведены результаты разработки и исследования первого отечественного 96-ти канального фотоприёмного устройства на основе вакуумного фоторезистора из CdHgTe для спектрального диапазона 8...12 мкм, работающего с микрокриогенной системой охлаждения типа Сплит-Стирлинга (МКС) с линейным приводом и холодопроизводительностью 1,3 Вт. Фотоприёмное устройство имеет время выхода на рабочий режим (100К) не более 3 мин, при этом на частоте работы поршня МКС получен низкий уровень наводок на каналы ФПУ (не более 20%). Это достигнуто за счет разработки вакуумной конструкции фоторезистора с низкой величиной теплопритоков (не более 0,35 Вт) и использования специального мягкого теплопередающего демпфирующего устройства на гильзе МКС с усилием сжатия не более 1,0 кг/см². В области чувствительных элементов фоторезистора расположены два кремниевых термодатчика (диод и резистор), один служит для осуществления обратной связи с МКС, второй – для автономного контроля температуры фоторезистора. В вакуумной области фоторезистора находятся четыре геттеронасоса, которые обеспечивают длительное сохранение низких теплопритоков фоторезистора в процессе эксплуатации. Фотоприёмное устройство имеет следующие основные тактико-технические параметры:

- размер чувствительной площадки 0,035x 0,035 мм, шаг в линейке 0,070 мм;
- удельная обнаружительная способность более $8 \cdot 10^{10} \text{ Вт}^{-1} \text{ Гц}^{1/2} \text{ см}$ в максимуме спектральной чувствительности;
- вольтовая чувствительность (1,0-2,0) $10^9 \text{ В} \cdot \text{Вт}^{-1}$ в максимуме спектральной чувствительности (коэффициент усиления блока предусилителей 5000);
- плоский угол зрения не менее 24 град;
- рабочий диапазон частот (3,0 – 1,2 10^5 Гц);
- напряжение питания МКС 27 (+3,-5) В;
- потребляемая мощность в стационарном режиме не более 55 Вт, включая питание МКС, блока предварительного усиления и фоторезистора.

У19. Охлаждаемое ФПУ для малогабаритных тепловизоров

Возьмилов П.Н., Горбунов Е.К., Климанов Е.А., Поповян Г.Э.,
Посевин О.П., Трошкин Ю.С., Филатов А.В., Эсаулов Ю.Н.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

В ФПУ, используемых в переносных и портативных тепловизорах, особую роль играют их массо-габаритные параметры и энергопотребление.

Разработанное 32-х канальное ФПУ для спектрального диапазона 8...12 мкм состоит из фоторезистора на основе материала КРТ, охлаждаемого миниатюрной МКС типа Стирлинга, и блока предварительного усиления (БПУ).

Сборка фотоприемника начинается с монтажа линейки из 32-х фоточувствительных элементов (ФЧЭ) с размерами чувствительных площадок 35х30 мкм и зазорами между ними 10 мкм непосредственно на гильзе от охладителя МКС и формирования системы электрических выводов от ФЧЭ через металлокерамический цоколь во внешние цепи. После установки металлического колпака с входным окном из просветленного германия проводится длительная вакуумная откачка фоторезистора с температурным обезгаживанием. Затем проверяются фотоэлектрические параметры и фоторезистор монтируется на охладителе МКС. Вакуумная конструкция фоторезистора, применяемые конструкционные материалы, технология сборки и режимы вакуумирования обеспечивают низкий уровень теплопритоков и позволяют использовать МКС с холодопроизводительностью не более 0,2 Вт. Напряжение с датчика температуры, расположенного на одной подложке с ФЧЭ, используется для автоматического включения тока смещения ФЧЭ при выходе на рабочий режим охлаждения

(~80 К) и подается через гальваническую развязку на блок управления режимом работы МКС. В БПУ для усиления сигналов и подачи токов смещения на ФЧЭ использованы операционные усилители на бескорпусных микросхемах "Элан-2Б" с токами потребления не более 4 мА в каждом канале.

Основные характеристики изготовленного ФПУ:

- обнаружительная способность каждого канала в максимуме спектральной чувствительности не менее $4 \cdot 10^{10} \text{ Вт}^{-1} \text{ Гц}^{1/2} \text{ см}$;
- апертурный угол 40 угл. град.;
- динамический диапазон сигнала 500;
- рабочий частотный диапазон 40 Гц...120 кГц;
- полная потребляемая мощность в рабочем режиме не более 9,0 Вт;
- полная масса 1,2 кг.

У20. Субматричные фоторезисторы из гетероэпитаксиальных структур КРТ 0,1 эВ, полученных методом МЛЭ с мультиплексором в холодной зоне

Сусов Е.В., Смолин О.В., Ларцев И.Ю.,
Сидоров Ю.Г.*, Варавин В.С.*, Михайлов Н.Н.*

ФГУП «Альфа», Москва, Россия

**Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия*

Полученная методом МЛЭ на подложке из GaAs с буферным слоем CdZnTe гетероэпитаксиальная структура КРТ с варизонными слоями снизу и сверху от рабочего слоя постоянного состава, $x \sim 0,2$, минимальной толщины (3-3,5 мкм) и возрастанием ширины запрещенной зоны в варизонных слоях от слоя постоянного состава $x=0,2$, обеспечила увеличение темнового сопротивления фоторезисторов до 300-400 Ом а также, при щадящих методах выделения пикселей, размерами 50x50, 35x35, 30x30 мкм, увеличение вольт – ваттной чувствительности до $\sim 10^6$ В/Вт, при токах смещения < 1 мА. Увеличение более чем в 10 раз вольтовой чувствительности и шумов при обнаружительной способности $D^*_{\lambda_m} \geq 5 \cdot 10^{10}$ Вт⁻¹Гц^{1/2}см позволило разработать и применить КМОП мультиплексор, обеспечивающий предварительное усиление, частичное оцифровывание и коммутацию в холодной зоне (80 К) субматричных фоторезисторов форматов 4x144и 2x288 элементов. Постоянная составляющая от тока смещения устраняется мультиплексором с использованием мостовой схемы, содержащей затененные пиксели. Стыковка ФЧЭ с мультиплексором производится через индиевые столбики. Применение мультиплексора в холодной зоне ФЧЭ позволяет снять проблему электрических выводов и теплопритоков по ним. Снижение тепловыделения в одном пикселе до ~ 10 мкВт позволяет в перспективе увеличить число ФЧЭ фоторезистора до $\sim 10^4$ пикселей. Спектральная характеристика фоторезистора из ГЭС КРТ МЛЭ с варизонными слоями перекрывает большую часть окна прозрачности атмосферы 8-14 мкм, что очень важно для применения в тепловизионной технике.

У21. Сравнительный анализ фотоэлектрических параметров КРТ фоторезисторов на основе объемных монокристаллов и эпитаксиальных структур, выращенных методом МЛЭ

Комов А.А., Курбатов А.В., Ларцев И.Ю., Никитин М.С., Чеканова Г.В.

ФГУП «Альфа», Москва, Россия

Исследованы фотоэлектрические параметры фоторезисторов на основе тройных сплавов $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ ($x \approx 0,19-0,22$ и $0,25-0,35$) – вольтовая чувствительность S_U , обнаружительная способность D^* , спектральная плотность низкочастотного шума V_n , относительная характеристика спектральной чувствительности S_λ , вольт-амперная характеристика $I-V$, сопротивление R и их зависимости от плотности потока фонового излучения с температурой $T_{\text{bgr}} \approx 300$ К. Длина волны, отвечающая максимуму спектральной чувствительности фоторезисторов, находилась в пределах, $3,0 \leq \lambda_{\text{max}} \leq 5,5$ мкм и $10,0 \leq \lambda_{\text{max}} \leq 13,0$ мкм.

Фоторезисторы были изготовлены на основе пластин объемных монокристаллов $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ (ОМК КРТ) и многослойных гетероструктур $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$, выращенных методом МЛЭ (ГЭС КРТ МЛЭ). Фоточувствительные элементы фоторезисторов обоих типов имели аналогичную топологию. Размер пикселя фоточувствительного элемента составлял 35×35 мкм; 50×50 мкм; $0,1 \times 0,1$ мм; $0,25 \times 0,25$ мм; 1×1 мм и 2×2 мм.

Показано, что фоторезисторы, как на основе ОМК КРТ, так и ГЭС КРТ МЛЭ являются ВЛР детекторами. Значения удельной обнаружительной способности $D^*(\lambda_{\text{max}}, \text{FOV} \leq 30^\circ)$ достигают $\approx (0,7-1,0) 10^{11}$ Вт⁻¹Гц^{1/2}см при температуре ФЧЭ 78-95 К.

Сравнительный анализ параметров показал, что при одинаковом напряжении смещения и плотности потока фонового излучения, фоторезисторы, изготовленные на основе ГЭС КРТ МЛЭ, превосходят аналогичные приборы на основе ОМК в 2-3 раза по вольтовой чувствительности S_U и обладают существенно меньшей спектральной плотностью низкочастотного Фликкер-шума типа “1/f”. Частота отсечки “1/f” в фоторезисторах на основе ГЭС КРТ МЛЭ в 2-3 раза меньше, чем в приборах на основе ОМК.

У22. Глубокоохлаждаемые фотоприёмные устройства на основе плёнок PbSnTe<In> и PbSnGeTe<In>

Акимов А.Н., Васильева Л.Ф., Климов А.Э., Смолин О.В.*, Супрун С.П.,
Сусов Е.В.*, Шумский В.Н.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия
**ФГУП «Альфа», Москва, Россия*

Низкая концентрация носителей заряда без освещения и большие времена жизни в тонких плёнках PbSnTe<In> (СОТ<In>), полученных методом МЛЭ на ВаF₂ позволили создать на их основе фоторезисторы с темновым сопротивлением свыше 10⁸ Ом (T ≤ 16 К) и свыше 10¹² Ом (T ≤ 7 К) и многоэлементные фотоприёмные устройства (МФПУ) на их основе с NEP ≤ 10⁻¹⁸ Вт/Гц^{0,5} [1].

Вес и потребляемая мощность систем охлаждения на указанный диапазон температур ограничивают области использования таких МФПУ. Однако повышение рабочей температуры МФПУ до T = 22÷30 К радикально изменило ситуацию, поскольку системы охлаждения этого температурного диапазона по своим характеристикам уже близки к требованиям, предъявляемым к устройствам, размещаемым на борту космических аппаратов.

При этом пороговые характеристики рассматриваемых МФПУ в указанной области рабочих температур существенно лучше характеристик ИК устройств, работающих при температуре около T = 80 К, а область их чувствительности может распространяться до 14÷16 мкм и более. Имеющиеся возможности формирования фоторезисторов на основе плёнок СОТ<In>, выращенных на кремниевых подложках, открывают новые возможности для создания на их основе МФПУ большого формата, как в гибридном, так и в монолитном исполнении.

В работе представлены результаты по разработке технологии получения плёнок СОТ<In> и созданию многоэлементных приемников излучения на их основе, по исследованию параметров разработанных устройств, а также рассматриваются перспективы повышения однородности свойств плёнок и ФЭПП.

1. А.Э. Климов, В.Н. Шумский. В сб. «Матричные фотоприёмные устройства ИК-диапазона». Новосибирск, Наука, 2001, глава 6.

У23. Фотоэлектромагнитный приемник ИК излучения на основе $Cd_xHg_{1-x}Te$

Казиев Ф.Н., Насибов И.А., Ибрагимов Т.И., Гусейнов Э.К.

Институт физики Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджан

Представлены результаты разработки и исследования неохлаждаемого фотоэлектромагнитного (ФЭМ) приемника на основе монокристаллов $Cd_xHg_{1-x}Te$ состава $x = 0,24-0,25$ для ИК диапазона спектра 3-5 мкм.

Проведен расчет зависимости фотоэлектрических параметров ФЭМ детектора от уровня акцепторного легирования полупроводникового материала. Показано, что оптимальное акцепторное легирование ($p = 5 - 6 n_i$, где n_i - концентрация собственных носителей заряда) позволяет существенно повысить как вольтовую чувствительность, так и удельную обнаружительную способность детектора.

Представлена конструкция модифицированного ФЭМ детектора, позволяющая дополнительно повысить его вольтовую чувствительность. Конструкция неохлаждаемого ФЭМ приемника включает два кольцеобразных постоянных магнита (Alnico), в которые плотно вставлены цилиндрические сердечники из материала с высокой магнитной проницаемостью для увеличения магнитного потока. Сердечники направляют магнитный поток сквозь элемент. Подложка с чувствительным элементом монтируется на медном основании и располагается точно между полюсами (сердечниками магнита). Кольцеобразные магниты плотно вдеваются в две железные оправы, которые снаружи прижимаются друг к другу винтами (для замыкания магнитной цепи). Индукция магнитного поля в зазоре (около 2 мм) между полюсами составляет 0,7- 0,8 Т.

Приведены параметры изготовленного ФЭМ детектора для диапазона спектра 3–5 мкм.

У24. Эпитаксиальный SPRITE-фотоприемник

Алиев А.А., Гусейнов М., Мамедов М.

Институт физики Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджан

Фотоприемники типа SPRITE имеют ряд преимуществ по сравнению с обычными матрицами фоторезисторов и фотодиодов. Однако ряд технологических и конструктивных затруднений связанных с изготовлением токовых и считывающего контактов не позволяют таким приемникам вытеснить матричные фотоприемники. Вместе с тем предъявляются высокие требования по однородности исходных кристаллов, как вдоль элемента, так и между элементами, что также затрудняет отбор блоков SPRITE-фотоприемников.

Ранее нами была предложена конструкция матрицы фотоприемников МДП на основе эпитаксиальных слоев КРТ, выращенных в канавках, заранее созданных на подложке, с дальнейшим использованием подложки в качестве контактного раstra и межсоединений элементов матрицы. Использование аналогичной конструкции для изготовления SPRITE-фотоприемников позволяет избежать сложностей, указанных выше.

Эпитаксиальные слои выращиваются в канавках глубиной до 20 мкм, шириной 65 мкм и длиной 700-2000 мкм, с зазором не более 10 мкм, созданных одним из известных способов травления или резки. После выращивания эпитаксиальный слой выросший вне канавок на поверхности подложки удаляется, и в результате получается плоскость с рядом полосок эпитаксиальных пленок КРТ, окруженных материалом подложки. Затем напылением, либо электрохимическим осаждением на концы этих полосок наносится металлизация для токовых контактов и подводящие к ним токоведущие дорожки. Далее на область считывания и часть токоведущей дорожки тянущего контакта наносится тонкий слой диэлектрика, после чего формируется металлизация считывающих контактов и их токоведущие дорожки, полностью закрывающие область считывания и далее проходящие по покрытой диэлектриком токоведущей дорожке тянущего контакта, а также все контактные площадки для подсоединения выводов блока элементов.

Таким образом, в данной конструкции решаются указанные выше технологические проблемы, связанные с изготовлением блока SPRITE-фотоприемников по обычной планарной технологии. Кроме того, предложенная конструкция имеет еще ряд преимуществ:

- Область считывания имеет форму квадрата, что приводит к одинаковому для носителей, дрейфующих на периферии и в середине элемента, пути до тянущего контакта, тем самым, препятствуя расплыванию пакета носителей, а большая ширина контакта препятствует сильной аккумуляции носителей в области считывания, улучшая разрешающую способность;

- Считывающий контакт наносится на всю ширину элемента, приводя к одновременной регистрации носителей дрейфующих по всей ширине элемента, что недостижимо при изготовлении расщепленных контактов;

- Варизонное поле эпитаксиальной пленки прижимает неравновесные носители к более узкой части, что также уменьшает размывание пакета носителей;

- Высокая однородность эпитаксиальных пленок позволяет уменьшить число токовых контактов до двух, то есть изготовить оба токовых контакта общими для всех элементов блока.

У25. Кремниевые фотодиоды и фототранзисторы со встроенными слоями квантовых точек Ge для области 1.3 – 1.5 мкм

Якимов А.И., Двуреченский А.В., Никифоров А.И., Кириенко В.В.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Одним из важнейших направлений развития перспективных способов передачи информации является разработка волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) и связанных с ними фотонных приборов, работающих в ближнем окне пропускания атмосферы (1,3-1,55 мкм). Представляется необходимым создания на одном и том же чипе всего набора компонентов ВОЛС: модуляторов, демодуляторов, мультиплексоров, светоизлучающих устройств и, естественно, фотоприемников. Для уменьшения стоимости таких систем нужно, чтобы все компоненты могли быть интегрированы в современную кремниевую технологию СБИС и сформированы на кремниевых подложках. Однако сам кремний прозрачен для фотонов с длиной волны больше 1,1 мкм. Хорошей чувствительностью в области ~1.5 мкм обладают германиевые фотодетекторы. В связи с этим возникает проблема создания гетероструктур Ge/Si, фоточувствительных при комнатной температуре в диапазоне телекоммуникационных длин волн 1,3-1,55 мкм.

В настоящей работе сообщается о создании Ge/Si фотодетекторов для ближней ИК области спектра, содержащих в качестве активного элемента слои нанокластеров Ge. Средние размеры нанокластеров в плоскости составляли ~10 нм, слоевая плотность $(0,3-1) \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$, число слоев в структурах варьировалось от 12 до 36. Фотодетекторы представляли собой либо *p-i-n* фотодиоды, либо *n-p-n* биполярные фототранзисторы, в базу которых была встроена многослойная Ge/Si гетероструктура с самоорганизующимися nanoостровками Ge. Конструктивно фотоприемники выполнялись в виде обычных вертикальных устройств с засветкой со стороны *p-n* перехода или гетероперехода, либо в виде латеральных волноводов на подложках кремний-на-изоляторе, освещаемых с торца. Было показано, что максимальная квантовая эффективность реализуется в волноводных структурах с длиной волновода $L > 3 \text{ мм}$, величине обратного смещения $U > 3 \text{ В}$, и при комнатной температуре в телекоммуникационном ИК диапазоне достигает значения 21% и 16% на длинах волн 1,3 и 1,55 мкм соответственно. Работа выполнена при поддержке ИНТАС 2001-0615.

У26. Разработка высоконадежного охлаждаемого фоторезистора на основе PbSe для тепловой диагностики железнодорожных составов

Степанушкин А.Г., Годованюк В.Н., Пундик В.И., Дудницкий Н.П.

ОАО «ЦКБ РИТМ», Черновцы, Украина

В работе приводятся результаты разработки охлаждаемого фоторезистора УФРО-2, на основе селенида свинца. Изложены некоторые особенности технологии изготовления и конструкции фоторезистора, позволившие достигнуть значений времени наработки на отказ в непрерывном режиме $t_{нар.} > 10000$ часов.

Основные параметры изделия:

- | | |
|---|---|
| - размер фоточувствительного элемента | 1·1 мм ² ; |
| - удельная обнаружительная способность в максимуме спектральной чувствительности $D_{\lambda max}^*$, не менее | $3 \cdot 10^{10}$ Вт ⁻¹ Гц ^{1/2} см |
| - вольтовая чувствительность, не менее | $2 \cdot 10^5$ В/Вт; |
| - рабочий спектральный диапазон, | 1 – 4,8 мкм |

Охлаждаемые фоторезисторы УФРО – 2 выпускаются серийно и отлично зарекомендовали себя в составе комплексов АСДК, применяемых для тепловой диагностики букс и тормозных колодок железнодорожных составов.

У27. Разработка высокочувствительного ФПУ «Спектр», используемого в составе Фурье-спектрометра проекта «Марс-Экспресс»

Степанушкин А.Г., Годованюк В.Н., Шевчук В.В., Дудницкий Н.П.

ОАО «ЦКБ «Ритм», Черновцы, Украина

В докладе представлены результаты разработки высокочувствительного фотоприемного устройства на основе селенида свинца, выполненной по заказу Института космических исследований РАН, г. Москва.

Конструкция ФПУ представляет собой металlostеклянный корпус, внутри которого расположены ПУ и фоточувствительная структура на основе PbSe. Охлаждение фоточувствительной структуры происходит через внешний радиатор, выходящий в открытое космическое пространство.

Электрическая часть ФПУ выполнена по гибридно-пленочной технологии с применением бескорпусных комплектующих изделий. При коммутации использовался метод объемно-пленочного монтажа.

В работе представлены результаты экспериментальных исследований фотоэлектрических параметров и характеристик изделий «Спектр».

Впервые, для фотоприемников этого класса, получены рекордные значения удельной обнаружительной способности в максимуме спектральной характеристики $D^*_{\lambda_{\max}} = (7-12) \cdot 10^{10} \text{ Вт}^{-1} \text{ Гц}^{1/2} \text{ см}$ при оптимальном охлаждении.

У28. Ультрафиолетовый фотоприёмник для спектрального диапазона (0,19 ÷ 0,28) мкм на природном алмазе типа 2а

Алтухов А.А., Гаврилов В.В., Ерёмин В.В., Киреев В.А., Митёнкин А.В.

ЗАО «УралАлмазИнвест», Москва, Россия

Получены одноэлементные фотоприёмники, с уровнем фотоэлектрических параметров близким к расчётному для спектрального диапазона 0,19÷0,28 мкм. Чувствительность к видимому свету и ИК - излучению отсутствует. При падении на фотоприёмник прямых солнечных лучей, создающих энергетическую облучённость более $1 \cdot 10^{-3}$ Вт/см² наблюдается фотоответ, обусловленный, по-видимому, активацией локальных центров в запрещённой зоне алмаза. Порог чувствительности по направлению на Солнце не ниже $P_{\text{пор}}=1,3 \cdot 10^{-5}$ Вт/Гц^{1/2}. В спектральном диапазоне 0,19÷0,28 мкм при $\lambda_{\text{max}}=0,225$ мкм порог чувствительности близок к расчётному $P_{\text{пор}}=(1-2) \cdot 10^{-14}$ Вт/Гц^{1/2}. В корпусе фотоприёмника, в так называемой «холодной зоне», размещён операционный усилитель с коэффициентом усиления $K=100$. Дополнительного охлаждения фотоприёмник не требует.

Рассмотрены физические принципы фотоприёма на природном алмазе и перспективы развития многоэлементных алмазных фотоприёмников.

У09П. Основные научно-технические достижения и направления развития цифровой техники для матричных фотоприемных модулей

Гибин И.С.

ГУП «Сибирский НИИ оптических систем», Новосибирск, Россия

Под тепловизионными системами второго поколения понимают системы, использующие многоэлементные приемники, обеспечивающие высокую плотность считывания информации в фокальной плоскости. Они превосходят предыдущие по качеству изображения, пороговой чувствительности, массе и габаритам, простоте обслуживания и т. п. Число элементов в таких системах достигает 10^3 . Создаваемое такими системами тепловое изображение сопоставимо с изображением современных телевизионных систем по числу элементов разложения и частоте кадров.

Отличием ФПУ второго поколения является не только увеличенное число фотоприемных элементов. Как правило, это фотоприемные матрицы, размер которых по одному направлению равен размеру полукадра или даже полного кадра телевизионного стандарта, а по второму направлению размер существенно меньше.

Значительная разница между первым и вторым поколениями приводит к необходимости изменить принципы построения модулей электронной обработки (МЭО) для ФПУ второго поколения.

В докладе рассматривается ряд функций МЭО, связанных с его местом в системе обработки данных и управления тепловизионным приемником. Приводится структурная схема МЭО, разработанного в ГУП «СНИИОС», и обсуждаются его технические характеристики.

Развитие оптико-электронной аппаратуры привело к созданию комплексных многосенсорных систем, в которых применяются приборы, основанные на использовании различных физических принципов.

Основными предпосылками комплексирования оптико-электронной аппаратуры являются: различное воздействие противодействующих факторов естественного и искусственного происхождения на различные каналы получения видеoinформации и необходимость создания автоматизированных систем распознавания, способных работать в условиях сильных комплексных помех.

В 2001 г. в ГУП «СНИИОС» были разработаны принципы и алгоритмы комплексирования разноформатных многоспектральных изображений, методы и алгоритмы относительной координатной привязки изображений различных каналов, методы и алгоритмы компиляции многоканальных и многоспектральных изображений. По результатам исследований был создан и испытан экспериментальный образец модуля комплексирования каналов, выполненный на базе нейропроцессоров NM 6403.

В 2003 г. в ГУП «СНИИОС» была проведена разработка методов обнаружения и опознавания малоразмерных объектов, классификации истинных и ложных целей, поскольку выделение и опознавание малоразмерных летающих объектов привлекает особое внимание.

Для решения задач многоканального автоматического сопровождения протяженных целей в реальном масштабе времени в ГУП «СНИИОС» в 2001-2003 г.г. был создан экспериментальный образец трехканальной системы цифровой обработки. Система цифровой обработки построена по магистральному принципу, что позволяет легко наращивать мощность вычислительной системы за счет увеличения количества установленных однотипных вычислительных модулей МЦ4.04 (до 7 шт.), содержащих четыре нейропроцессора с фиксированной точкой Л1879ВМ1 разработки ЗАО НТЦ «Модуль» (Россия, г. Москва).

У29. Схема считывания информации для инфракрасных (ИК) матриц с временной задержкой и накоплением (ВЗН) формата 576х6

Деркач Ю.П., Коринец С.В., Рева В.П., Сизов Ф.Ф.*

Институт микроприборов, Киев, Украина

**Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН, Киев, Украина*

Схема считывания для матрицы ИК фотодиодов формата 576х6 спроектирована в виде 4-х блоков 144х6 с размером пикселя 56х43 мкм². Сдвиг между элементами в направлении перпендикулярном сканированию ¼ пикселя (рис.1).

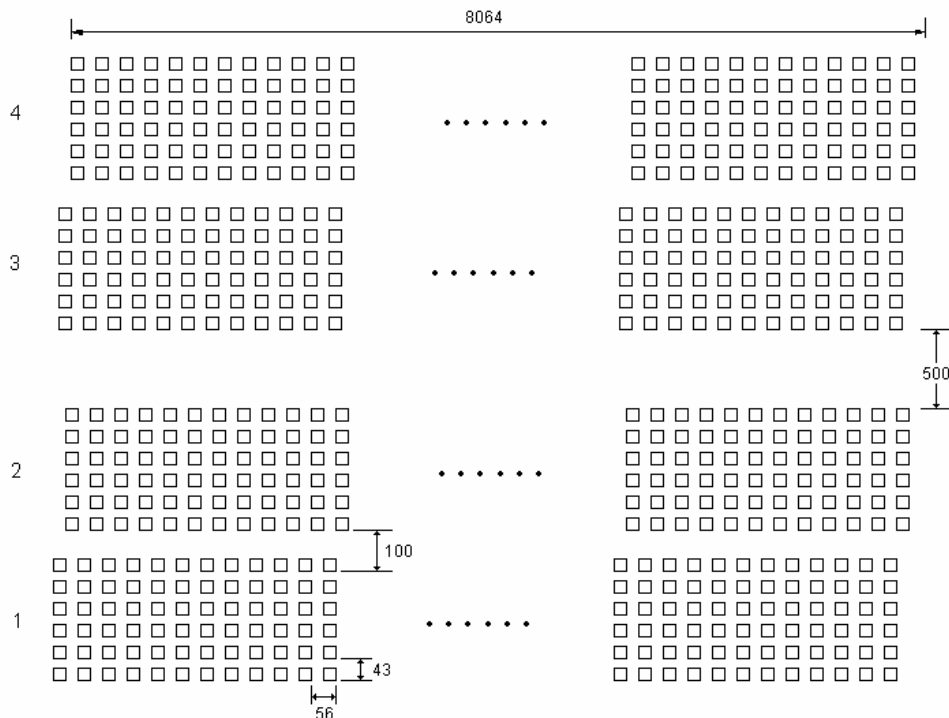


Схема считывания изготавливается по КМОП технологии, характеризующейся следующими основными параметрами: проектные нормы 0,6 мкм, 2 уровня поликристаллического кремния, 2 уровня металла.

Схема реализует функции временной задержки и накопления по 6 элементам с двунаправленным сканированием, деселекции «мертвых» элементов, подстройки коэффициента усиления, изменения формата изображения, изменения времени накопления, 8-уровневого программирования входной зарядовой емкости, прямого тестирования выбранных элементов. Для управления схемой используется последовательный и параллельный цифровые интерфейсы. Основные параметры схемы считывания:

1. максимальная входная зарядовая емкость – 2.7 пК;
2. величина программируемой входной зарядовой емкости – 0.33 пК, 0.67 пК, 1.0 пК, 1.3 пК, 1.7 пК, 2.0 пК, 2.3 пК, 2.7 пК;
3. зарядовая емкость на выходе регистра ВЗН – ≥ 2.0 пс (1×10^7 электронов);
4. размах выходного сигнала – ≥ 2.8 В;
5. среднеквадратичный шум ≤ 400 мкВ;
6. динамический диапазон – ≤ 77 дБ;
7. нелинейность – $\leq 2\%$;
8. количество видеовыходов – 8;
9. частота вывода информации – 5 МГц;
10. рассеиваемая мощность – ≤ 100 мВт.

У30. КМОП мультиплексор для субматричного фоторезистора на ГЭС КРТ МЛЭ, работающего в холодной (80 К) зоне ФЧЭ

Володин Е.Б., Джхунян В.Л., Машевич П.Р., Ларцев И.Ю.*, Смолин О.В.*, Сусов Е.В.*

ОАО «Ангстрем», Зеленоград, Россия,

**ФГУП «Альфа», Москва, Россия*

Приводится предварительная конструкция КМОП интегральной схемы (ИС), содержащая аналоговые и цифровые цепи для линейчатой матрицы фоторезисторов из КРТ формата 288x2 дальнего ИК диапазона. Ячейки ИС способны работать либо с внутренней компенсацией постоянного смещения, либо с компенсацией от внешнего источника. При внутренней компенсации подавляется шум и пульсации питающих напряжений, а также зависимость от температурных изменений и градиентов.

Особенности ИС

- соединение с фоторезисторами из КРТ через индиевые столбики
- 288x2 –канальная ИС содержит 512 усилителей и разделена на две части в каждой из которых 144x2 четных и нечетных каналов принадлежат к четной и нечетной части ИС
- автосканирование обеспечивает динамический диапазон до 10^5
- 4,- 8-ми разрядных цифровых выхода
- 4 аналоговых выхода для дополнительной оцифровки внешним АЦП части сигнала составляющей долю младшего разряда внутреннего 8-разрядного АЦП
- регулируемая длительность интегрирования T_i в усилителях
- селекция величины интегрирующих конденсаторов C_i в усилителях, обеспечивающая изменение чувствительности коэффициента усиления к времени интегрирования от 10 до 80 мкс
- коэффициент усиления усилителей $C_i T_i = 10 \div 4000$
- простой интерфейс, требующий двух тактовых последовательностей и четырех отдельных с возможностью разъединения источников питания
- КМОП технология: 2 металла, 1 поликремний, топологическая норма 1,2 мкм.

УЗ1. Кремниевые схемы считывания различных форматов для многорядных фотоприёмных устройств на основе фотодиодов из КРТ

Акимов В.М., Болтарь К.О., Бурлаков И.Д., Климанов Е.А., Соляков В.Н.,
Сагинов Л.Д., Шукин С.В., Хромов С.С.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Представлены результаты разработок опытных образцов кремниевых охлаждаемых схем считывания сигнала с многорядных фотодиодных матричных фотоприёмных устройств (МФПУ) на основе КРТ форматов 2×256 и 4×288 для спектрального диапазона 8...12 мкм, предназначенных для работы в режиме временной задержки и накопления (ВЗН).

Рассмотрено влияние схемотехники и топологии сдвиговых регистров на величину максимальной частоты считывания сигнала.

Проведено сравнение применяемых схемотехнических решений с аналогичными отечественными и зарубежными разработками.

Приведены результаты испытаний схем в МФПУ и их сравнение с данными для отечественных и зарубежных аналогов.

Показано, что разработанная технология изготовления обеспечивает достаточно высокий процент выхода ИС без дефектных каналов и обеспечивает для МФПУ 4×288 элементов реализацию среднего значения обнаружительной способности более $1 \times 10^{11} \text{ Вт}^{-1} \text{ Гц}^{1/2} \text{ см}$ при работе в ВЗН режиме по четырём элементам.

У32. Кремниевые матричные БИС мультиплексоров для ИК фотоприёмных устройств «смотрящего» типа

Акимов В.М., Болтарь К.О., Бурлаков И.Д., Васильева Л.А., Климанов Е.А., Лисейкин В.П., Пономаренко В.П., Сагинов Л.Д., Щукин С.В., Юнгерман В.М.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Россия, Москва

Представлены результаты разработок охлаждаемых кремниевых БИС мультиплексоров для матричных фотоприёмных устройств (МФПУ) «смотрящего» типа для ИК диапазона спектра на основе КРТ и антимонида индия формата 128×128, 256×256 и 384×288 элементов. Для ФПУ диапазона 8...12 мкм использовалось построчное накопление сигнала, для диапазона 3...5 мкм — накопление в ячейке. БИС изготовлены как по n-канальной (для КРТ), так и p-канальной (InSb) МОП-технологии с минимальными размерами 2 мкм. Рассмотрены варианты схемотехнической и технологической реализации БИС.

Приведены основные электрические и конструктивные параметры разработанных БИС.

У33. Принципы построения и результаты исследования тракта тепловизионного канала 2-го поколения

Шушарин С.Н.

ФГУП «НПО «ГИПО», Казань, Россия

В докладе рассмотрена блок-схема цифрового электронного канала обработки сигналов тепловизора второго поколения на базе субматричных фотоприемных устройств формата 2 x 256 и 4 x 288 элементов.

Проведены базовые схемно-технические решения с использованием сигнальных цифровых процессоров ведущих фирм-производителей.

Рассмотрены и реализованы технические решения на базе цифровых процессоров, обеспечивающих связь и протокол информационного обмена с управляющей системой комплекса заказчика.

В докладе рассмотрены схемно-технические решения с использованием программируемых логических интегральных схем (ПЛИС).

Приведены оценки выигрыша в габаритно-объемных характеристиках за счет использования ПЛИС.

Рассмотрен и проанализирован комплекс программно-отладочных средств ведущих фирм-производителей, необходимых при разработке тепловизионных приборов второго поколения на базе ПЛИС и цифровых процессоров таких фирм, как INTEL и др.

Приведена блок-схема электронного тракта тепловизора второго поколения с учетом результатов предварительных испытаний в составе вертолетной обзорно-прицельной системы ОПС-24Н, разработки ФГУП ПО УОМЗ.

У34. Инфракрасные объективы тепловизионных приборов и лазерные средства измерений их параметров

Иванов В.П., Бугаенко А.Г., Лукин А.В., Мельников А.Н., Морозов А.Е.

ФГУП «НПО «ГИПО», Казань, Россия

В основу современного проектирования и производства тепловизионных приборов (ТВП) нового поколения положен модульный принцип. Поэтому важнейшим звеном в технологической цепочке производства ТВП являются операции измерения и паспортизации основных технических параметров, входящих в прибор функциональных модулей. К ним относятся оптический модуль (входной инфракрасный объектив), модуль электронного преобразования и модуль видеоконтрольного устройства.

В докладе рассматриваются вопросы метрологического обеспечения разработки и производства оптических модулей ТВП нового поколения – инфракрасных (ИК) объективов, созданных в Федеральном государственном унитарном предприятии "Научно-производственное объединение "Государственный институт прикладной оптики". Параметрический ряд этих ИК объективов позволяет проектировать и изготавливать ТВП новых поколений широкого применения – воздушного, наземного, возимого и носимого видов.

Приведено теоретическое обоснование основных характеристик ИК объективов, подлежащих контролю в процессе производства и сертификации готовой продукции.

В ФГУП "НПО ГИПО" разработаны лазерные средства измерений и методики выполнения измерений, с помощью которых проводятся измерения рабочих и задних фокальных отрезков рассматриваемых ИК объективов, их диаметры наименьших кружков рассеяния и направленные коэффициенты пропускания на лазерных длинах волн от 9,2 до 11 мкм.

Качество разработанных и изготовленных ИК объективов оценено по результатам проверок в составе модульного ТВП на основе неохлаждаемой микроболометрической матрицы.

Следующим этапом совершенствования лазерных средств измерений является разработка и внедрение зеркальных коллиматоров с переменными окулярами на основе применения асферических поверхностей высших порядков, которые позволят, в том числе, проводить измерения параметров по полю зрения в заданном спектральном диапазоне.

У35. Современные тенденции в промышленной технологии изготовления полимерных оптических элементов для приборов ночного видения

Гоев А.И., Князева Н.А., Потелов В.В., Сеник Б.Н.

ОАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева», Красногорск, Моск. обл., Россия

Одним из основных условий успешного продвижения приборов ночного видения на внутреннем и внешнем рынках сбыта является минимизация себестоимости их изготовления и уменьшение весогабаритных характеристик

Предприятие ОАО «Красногорский завод им. С.А.Зверева» в течение 10 лет успешно производит целую гамму приборов ночного видения гражданского назначения. В оптических схемах изделий максимально используются оптические полимерные элементы средней точности.

Основные преимущества полимерных оптических элементов заключаются в низкой себестоимости их изготовления, возможности изготовления элементов со сложной геометрической формой, в том числе асферических и дифракционных элементов, с учетом особенностей их крепления в оптических приборах.

Подробно рассматривается комплексный подход к вопросу освоения массового производства полимерных оптических элементов: детальный анализ конструкций оптических элементов, математическое моделирование на этапе разработки конструкции прессформы в части оптимизации литниковых систем, моделирование технологического процесса литья под давлением, с учетом конкретного типа термопластавтомата и используемого полимерного материала. Работы выполняются совместно с инженерной фирмой АБ «Универсал» в системе «Moldflow».

Предлагаются к рассмотрению конкретные примеры изготовления асферических оптических элементов для окуляров и гибридных объективов приборов ночного видения, с учетом специфики изготовления прессформ, формообразующих пуансонов, технологических возможностей используемых термопластавтоматов ведущих мировых фирм «Demag», «Arburg», применяемых полимерных материалов: полиметилметакрилата (ПММА), поликарбоната (ПК), материалов Топас - новый класс полимерных материалов, свойства которых могут варьироваться в процессе полимеризации в широком диапазоне.

У36. Оптические системы для приборов ночного видения

Волков В.Г., Леонова Г.А, Саликов В.Л., Украинский С.А.

ФГУП «Альфа», Москва, Россия

Описываются новые схемы оптических систем для приборов ночного видения: объективы, телескопические насадки, окулярные системы, оптика осветителей. Рассматриваются их возможности и основные характеристики.

У37. Канал наведения на основе матричного ФПУ для мобильного лазерного комплекса

Алексеев Ю.В., Муравьев Б.П., Приходько В.Н., Сунцов В.В., Хисамов Р.Ш.

ФГУП «НПО «ГИПО», Казань, Россия

Разработан и успешно прошел натурные испытания экспериментальный образец канала наведения лазерного луча на источник ИК излучения.

Канал наведения (КН) выполнен в виде автономного модуля, который стыкуется с лазерной установкой и работает по командам устройства управления (УУ). Обмен данными с УУ осуществляется в стандарте RS-485. УУ обеспечивает согласованную работу КН и лазерной установки.

В состав КН входит матричное ИК фотоприемное устройство (МФПУ) с объективом, система сканирования, оптическая система лазерного канала и электронный блок обработки информации.

Система сканирования обеспечивает перемещение поля зрения МФПУ, составляющего 2×2 , в пределах зоны обзора 360×90 .

Принцип работы КН следующий. УУ передает КН приблизительные угловые координаты цели (с ошибкой не более $\pm 0,5^\circ$). Система сканирования наводит поле зрения МФПУ в указанную точку, в результате чего на матрице появляется изображение цели. Дальнейшее точное наведение КН выполняет самостоятельно, совмещая изображение цели с центром матрицы путем подачи управляющих команд приводам системы сканирования. Оптические оси МФПУ и лазерного канала совмещены, вследствие чего положение изображения цели в центре матрицы соответствует направлению лазерного луча точно на цель.

По результатам испытаний время наведения с момента получения целеуказания от УУ составляет не более 0,5 с, ошибка наведения – не более $\pm 2'$.

Блок обработки информации включает в себя плату преобразования сигналов МФПУ в цифровой вид, плату цифрового ввода/вывода, плату процессора и плату управления приводами сканера. Плата процессора выполняет ввод и обработку изображения, подает команды управления приводам и осуществляет информационный обмен с УУ. Управление двигателями приводов осуществляется микроконтроллерами AVR ATmega с программным обеспечением, реализующим алгоритм ПИД (пропорционально-интегрально-дифференциального) регулирования.

МФПУ выполнено на основе PtSi, формат матрицы 256×256 элементов. Рассматривается возможность применения МФПУ на основе InSb, обладающего намного большей чувствительностью и быстродействием, что позволит существенно повысить дальность действия КН, сократить время наведения и повысить точность за счет использования сигнала обратного блеска в качестве управляющего сигнала.

Габариты КН – $450 \times 520 \times 200$ мм, масса – 20 кг.

УЗ8. Дифракционные структуры для уменьшения бликования приборов ночного видения

Белозеров А.Ф., Лукин А.В., Ньюшкин А.А., Хорохоров А.М.*, Ширанков А.Ф.*

ФГУП «НПО «ГИПО», Казань, Россия

*МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Основной причиной сильного бликования приборов ночного видения (ПНВ) является отражение излучения от поверхности фотокатода, который нанесен на задней поверхности защитной пластины (входного окна ЭОПа).

Если бликование наружной поверхности защитной пластины можно резко снизить за счет специального многослойного просветляющего покрытия, то для поверхности фотокатода такого "простого" решения нет.

Предлагается принципиально новый путь решения этой проблемы. Он заключается в использовании специальных дифракционных структур в качестве оптических элементов, осуществляющих резкое ослабление эффекта световозвращения (уменьшение бликующей способности). В этом случае блик уменьшается за счет ухода энергии из нулевого порядка дифракции в другие (высшие) порядки, при этом возможно значительное ослабление эффекта световозвращения.

На рисунке 1 показан пример использования защитной пластины в качестве входного окна ЭОПа, которая позволяет значительно снизить его бликующую способность за счет увода излучения в корпус объектива со световыми ловушками.

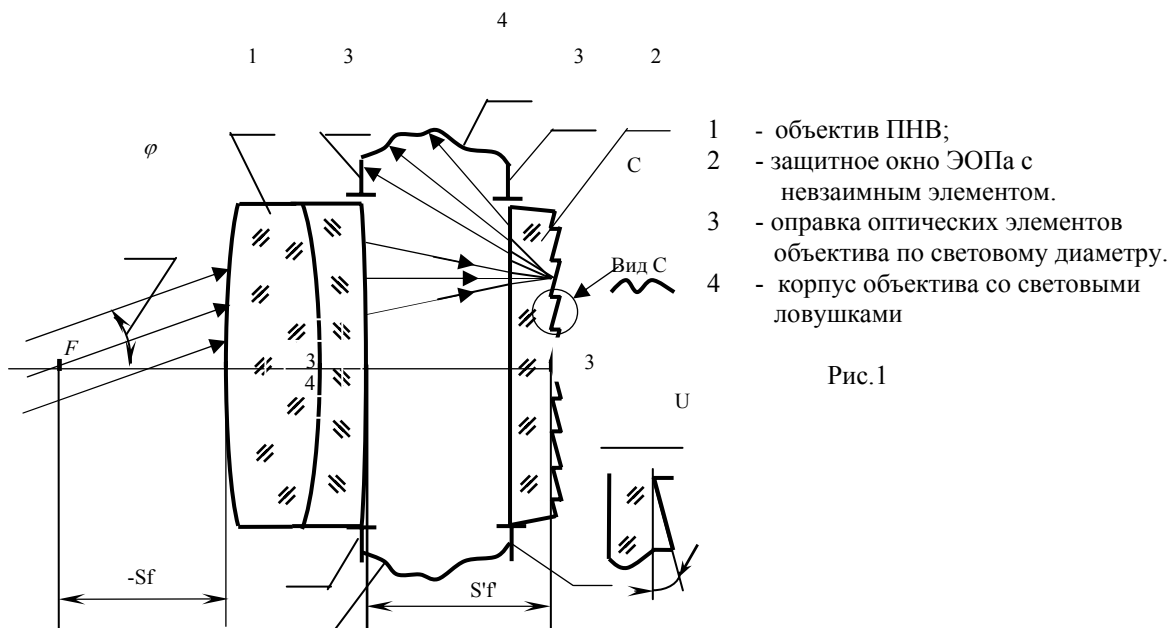


Рис.1

У39. Влияние условий полирования на качество обработки оптических поверхностей элементов из селенида цинка для изделий, работающих в ИК-диапазоне

Гаврищук Е.М., Потелов В.В.* , Сенник Б.Н.* , Тимофеев О.В.

*Институт химии высокочистых веществ РАН, Нижний Новгород, Россия
ОАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева», Красногорск, Моск. обл., Россия

Оптический материал - поликристаллический селенид цинка (ZnSe) является основным конструкционным материалом для изготовления оптических элементов изделий, работающих в ИК-диапазоне в жестких эксплуатационных условиях, больших перепадов давления и температуры.

Область прозрачности материала перекрывает очень высокий спектральный диапазон $\approx 0,5-21$ мкм.

Показатель преломления для длины волны 2 мкм составляет 2,4472.

Коэффициент объемного расширения равен $77 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

В настоящее время также широко применяются мощные CO₂-лазеры, работающие на длине волны 10,6 мкм. Проходные оптические элементы, применяемые для формирования и передачи мощного лазерного излучения, обычно изготавливаются из поликристаллического селенида цинка, получаемого методом химического осаждения из газовой фазы (ZnSe-CVD). Необходимым условием применения указанных оптических элементов является отсутствие дефектов на их оптических поверхностях, образующихся в процессе механической обработки.

Одним из актуальных вопросов сегодняшнего дня является достижение максимальной чистоты обработки оптических поверхностей.

Исследовано влияние времени обработки и удельного давления на качество поверхности поликристаллического селенида цинка при его механическом полировании с использованием мелкодисперсного абразива на полировальниках из пекоканифольных смол. Показано, что при использовании в качестве абразива оксида алюминия с величиной зерна 1 мкм, а в качестве смазывающе-охлаждающей жидкости дистиллированной воды, поверхность, отвечающая 4 классу чистоты (ГОСТ 11141-84) с отклонением от плоскостности менее 0,5 интерференционного кольца на диаметре образца до 40мм, может быть получена при давлении на образец 30-35 кПа и времени полирования более 225 мин. Экспериментально определенная скорость полирования при оптимальных режимах составила 0,03 мкм/мин.

У40. ИК-диоды для приборов ночного видения

Вилисов А.А., Малютенко В.К.*

ОАО НИИ полупроводниковых приборов, Томск, Россия

**Институт физики полупроводников им. В. Е. Лашкарева НАН, Киев, Украина*

Светоизлучающие диоды широко применяются в различных приборах и устройствах автоматики, управления, передачи информации, локации, подсветки ИК-телекамер и приборов ночного видения, особенно в режимах активно-импульсной засветки. Постоянной тенденцией развития ИК диодов является повышение их мощности излучения. Это достигается как повышением эффективности электролюминесценции полупроводниковых структур, так и увеличением рабочего прямого тока через диод.

Принцип действия активно-импульсных приборов ночного видения (АИПНВ) заключается в импульсном подсвете объектов наблюдения и синхронном стробировании приемного устройства. То есть, для достижения приемлемых характеристик АИПНВ по дальности наблюдения необходим ИК источник с достаточно высокой силой излучения, а для повышения разрешающей способности по определению расстояния высокое быстродействие диода.

На базе излучающего диода АЛ148; разработаны различные модификации мощных излучателей ИК и видимого диапазона. Используются различные конструкции излучающего кристалла на основе излучающих двойных гетероструктур в системе AlGaAs и несколько типов концентраторов излучения. Эти разработки позволили увеличить силу излучения от 0,5 Вт/ср (диод АЛ148) до (15-20) Вт/ср (ТОМ120Н2) при прямом токе 1А. Что касается быстродействия, то в содружестве с материаловедами (НИИМВЭ) созданы ИК-диоды с временами нарастания и спада импульса излучения (2-3 нс) почти с теми же энергетическими характеристиками диодов, что может обеспечить разрешение не хуже 0,5...1,0 м при дальности до нескольких км.

Рабочая длина волны излучателя выбрана в ближней инфракрасной области спектра (0.80...0.90) мкм, что позволяет достичь низкого поглощения и рассеяния излучения атмосферой и обеспечить скрытность наблюдений. При длительности импульса 100 нс диоды могут работать при амплитудах тока до 300 А, что означает возможность достижения силы излучения в несколько тысяч Вт/ср.

С помощью системы ИК микровидения исследовано распределение температуры по площади контакта диода в рабочем режиме и оптимизирован процесс посадки кристалла на держатель.

С использованием мощных излучающих диодов разработаны АИПНВ и компактная зрительная трубка для наблюдения и измерения расстояний в условиях плохой видимости.

У41. Перспективные фотоприемные устройства с новыми фотокатодами

Айнбунд М.Р., Васильев И.С., Вилькин Е.Г., Забелина Л.Г., Левина Е.Е., Пашук А.В., Петров А.С., Русанова Т.А., Степанов Р.М., Суриков И.Н.

ОАО «ЦНИИ «Электрон», Санкт-Петербург, Россия

Пеленгаторы атакующих ракет и высокоточные прицельные каналы, входящие в состав средств противодействия, включают в себя как ИК (3,5-5 и 8-12 мкм), так и УФ (0,20-0,29 и 0,32-0,365 мкм) оптико- электронные каналы.

Улучшение характеристик аппаратуры, использующей фотодетекторы, связано в первую очередь с повышением характеристик фотокатодов и освоением новых областей спектра.

Начаты работы по разработке фотокатодов с отрицательным электронным сродством для УФ- области спектра на основе GaN и GaAlN. Ожидается, по крайней мере, двукратное увеличение чувствительности и более высокая солнечная слепота по сравнению с традиционными TeCs и TeRb фотокатодами. На экспериментальных образцах GaN в настоящее время уже получена чувствительность 25 мА/Вт на длине волны 275 нм, что соответствует лучшим образцам TeCs и TeRb фотокатодов.

Освоение диапазона 0,95–1,6 мкм является одной из актуальнейших проблем для решения задач круглосуточных систем ВВТ. В ночных условиях в диапазоне 0,95–1,6 мкм повышается контраст объектов, и снижаются атмосферные потери. Это позволяет повысить дальность действия пассивных систем в 2-2,5 раза. Кроме того, использование такой системы с лазерной подсветкой обеспечивает наблюдение изображения с высоким разрешением, а также обнаружение и идентификацию цели на более дальних расстояниях.

Для продвижения в ИК- область проводятся работы по созданию фотокатодов с тянущим полем (с междолинным переносом электронов) на основе структур InP-InGaAS. На этих фотокатодах ожидается получение квантовой эффективности 5-10% и более (до 25-30%) в диапазоне 0,95-1,6 мкм.

На основе этих фотокатодов для УФ и ИК- областей спектра намечается создание высокочувствительных гибридных приборов (как в виде сочленения усилителей яркости и ПЗС- матрицы, так и в виде единого электровакуумного прибора, включающего фотокатод и ПЗС- матрицу), телевизионных камер, а также создание координаточувствительных фотоумножителей.

У42. ЭОП с 1,06-мкм-InGaAs-фотокатодом

Долгих А.В., Локтионов В.И., Сахно В.И.

ОАО «Катод», Новосибирск, Россия

Большой практический интерес для специальных военных и полицейских применений представляют электронно-оптические преобразователи (ЭОП) с фотокатодом отрицательным электронным средством чувствительным к излучению 1,06-мкм-лазера, используемого в качестве целеуказателя, источника узконаправленной подсветки цели или дальномера. Для ряда научных, криминалистических и телевизионных применений интересны ЭОПы с «синей» границей $\sim 0,3$ мкм и «красной» границей $\sim 1,3$ мкм. За 30 лет исследовательских работ в этом направлении изучена физика $A_{III}B_V$ -фотокатодов и достигнуты значительные результаты. В конечном итоге коммерческий успех производства таких приборов в настоящее время определяется качеством фотокатодных гетероэпитаксиальных структур (ГЭС) и проработанностью технологии их обработки в процессе изготовления фотокатодного узла (ФКУ).

В настоящей работе описаны технология изготовления InGaAs-ОЭС-фотокатода и результаты испытаний ЭОПов с такими фотокатодами.

С 1999 г. в ОАО «Катод» освоено производство ЭОПов с GaAs-фотокатодами с типичными значениями фоточувствительности ~ 1800 мкА/лм. В настоящей работе, как базовая, использовалась технология GaAs-фотокатодов.

При разработке нового InGaAs-фотокатода:

1. Разработана фотокатодная ГЭС, отвечающая жёстким требованиям работы в приборе (чистота поля зрения, стабильность, яркость темного фона) и условиям технологической обработки. В настоящей работе использовались ГЭС, изготовленные по нашим техническим требованиям в ООО «Сигм+», г. Москва и в ПО «Север», г. Новосибирск.

2. Усовершенствованы средства контроля качества исходных ГЭС и на каждой технологической операции. В настоящей работе использовались методы, аппаратура и технические средства, применяемые для GaAs-фотокатодов. В начале работы, когда фотолюминесценция ГЭС была слаба, её величину и спектры измеряли на высокочувствительной аппаратуре в ИФП СО РАН, г. Новосибирск.

3. Выбрано термически согласованное стекло и отработана технология термокомпрессионной сварки ГЭС со стеклом, обеспечивающих минимальную деградацию их люминесцентных свойств. В настоящей работе опробовались стекла А54-1, С52-2, С57, склейка А54-1 – С52-2 (0,3 мм).

4. Разработана технология селективного травления подложки и стопорного слоя и финишного травления поверхности фотокатода, обеспечивающего получение «зеркальной», атомарно-чистой (без продуктов реакции) поверхности фотокатода перед его загрузкой в вакуумную установку сборки приборов.

5. Разработана технология вакуумной обработки фотокатодов, обеспечивающей получение наибольшей и стабильной фоточувствительности и наименьшего темного тока.

Обсуждаются полученные результаты.

У43. Разработка научно – технических основ и создание технологии получения многощелочных фотокатодов в СВВ камерах, индивидуально-групповым способом

Локтионов В.И., Нестеров И.А

ОАО «Катод», Новосибирск, Россия

Рассмотрены и проанализированы различия в изготовлении многощелочных фотокатодов в баллонах – контейнерах и в камере сверхвысокого вакуума (СВВ). Рассмотрены особенности подготовки фотокатодного узла (ФКУ), перед напылением фоточувствительных слоев на подложку, описано устройство камеры СВВ для формирования многощелочных фотокатодов. Пересмотрен теоретический взгляд о том, что для сохранения чувствительности многощелочного фотокатода, требуется сохранение сложившегося в результате формирования фотокатода давления паров цезия.

С помощью монополярного масс – спектрометра МХ7304, были измерены парциальные давления остаточных газов после подготовки СВВ камеры к нанесению фоточувствительных слоев. Получены спектры остаточных газов при проведении обезгаживания ФКУ в СВВ камере. Выяснено, что основными продуктами десорбции при обезгаживании ФКУ в СВВ камере являются CO , H_2 , CO_2 и H_2O .

Сформировано первое необходимое условие для формирования многощелочных фотокатодов в СВВ камерах. Давление остаточных газов не должно превышать $6,7 \cdot 10^{-11}$ торр. Проведенные эксперименты по термическому и электронному обезгаживанию экранно – корпусных узлов (ЭКУ) на промышленной линии изготовления ЭОП супер.2⁺ поколения показали, что для гарантированной долговечности ЭОП, равной 5 тыс.ч., необходимо обеспечить газовыделение не более $n_i/n_e \leq 4 \cdot 10^{-4}$ ион/эл.с.

Таким образом, теоретически получено, что давление остаточных газов на последней стадии формирования фотокатода в СВВ камере, при его переносе из объема формирования в камеру сборки, на последней стадии электронного обезгаживания ЭКУ и в камере сборки, где также выполняется предварительная герметизация ЭОП, не должно превышать $6,7 \cdot 10^{-11}$ торр.

У44. Разработка GaAs фотокатода для электронно-оптического преобразователя со спектральной характеристикой, продвинутой до $\lambda=0,36$ мкм

Долгих А.В., Сахно В.И., Дуб А.Д., Граца Е.В.*

ОАО «Катод», Новосибирск, Россия

**ФГУП ПО «Север», Новосибирск, Россия*

Оптимально сконструированный A_3B_5 фотокатод в сравнении с классическим мультищелочным фотокатодом имеет от 2 до 10 раз большую квантовую эффективность, к тому же более равномерную во всем спектральном диапазоне фоточувствительность. Длинноволновая граница фоточувствительности определяется шириной запрещенной зоны полупроводникового материала, а коротковолновая граница определяется прозрачностью в этой области спектра материала подложки фотокатодного узла, просветляющего покрытия и «оконного» слоя гетероэпитаксиальной структуры.

ОАО «Катод» выпускает электронно-оптические преобразователи с GaAs фотокатодами с типичной квантовой эффективностью $Q \sim 35\%$ в спектральном диапазоне 0,55-0,9 мкм (с $S_{\text{инт}}=1800$ мкА/лм).

Используя имеющуюся технологию, как базовую, в предлагаемой работе проведен расчет AlGaAs/GaAs – гетероэпитаксиальной структуры, отработана технология роста гетероэпитаксиальных структур и на ее основе технологии изготовления фотокатодных узлов для электронно-оптических преобразователей. Измерены и приведены спектральные зависимости фоточувствительности таких фотокатодов. На уровне 1% от максимального значения квантовой эффективности «синюю» границу удалось сдвинуть до $\lambda=0,36$ мкм.

Полученные результаты показали, что основным фактором, ограничивающим сдвиг коротковолновой границы фоточувствительности в «синюю» область спектра является прозрачность «оконного» слоя структуры.

У45. Получение гетероструктур с квантовыми ямами для двухспектральных ИК-фотоприемников методом МОС-гидридной эпитаксии

Мармалюк А.А., Падалица А.А., Никитин Д.Б., Будкин И.В.,
Сабитов Д.Р., Сухарев А.В., Андреев А.Ю., Булаев П.В.

ФГУП НИИ «Полюс», Москва, Россия

Для ряда задач необходимы фотоприемники с одновременной чувствительностью как в области 3-5, так и в области 8-12 мкм. Одним из возможных вариантов реализации двухспектральной чувствительности является использование гетероструктур с множественными квантовыми ямами на основе твердых растворов GaAs.

В данной работе рассмотрены вопросы получения гетероструктур, состоящих из двух частей: первая с квантовыми ямами GaAs/AlGaAs для получения фоточувствительности в диапазоне 8-12 мкм, вторая с квантовыми ямами InGaAs/AlGaAs для диапазона 3-5 мкм.

Указанные гетероструктуры выращивались на установке МОС-гидридной эпитаксии при пониженном давлении “СИГМОС-130” с горизонтальным кварцевым реактором и вращающимся графитовым подложкодержателем емкостью 3x2”. Температура роста варьировалась в диапазоне 720-770°C, давление в реакторе поддерживалось на уровне 60 мм.рт.ст. Гетероструктура состояла из набора квантовых ям GaAs (InGaAs) толщиной 2-6 нм и барьеров Al_xGa_{1-x}As (x=0.25-0.35) толщиной 40-50 нм, помещенных между контактными слоями n+GaAs. В качестве подложек использовались пластины полуизолирующего GaAs диаметром 51 мм.

Продемонстрированы результаты рентгеновских, фотолюминесцентных, фотовольтаических и вольт-фарадных измерений, подтверждающих получение гетероструктуры с двумя требуемыми областями.

Представленные результаты указывают на принципиальную возможность использования метода МОС-гидридной эпитаксии для получения двухспектральных гетероструктур с квантовыми ямами для ИК-фотоприемников.

У46. Основные версии базовой технологии мелкоструктурных МКП

Кулов С.К., Кесаев С.А., Макаров Е.Н., Бугулова И.Р., Алкацева Т.Д.,
Беришвили Н.В., Македонова Л.А., Пергаменцев Ю.Л.

ООО ВТЦ «Баспик», Владикавказ, Россия

В мировой практике известен ряд версий базовой технологии изготовления МКП на основе свинцово-содержащих стекол методом с удалением опорной стеклянной жилы.

1. Технология, разработанная в 70-х гг. фирмами Varian, Mullard, используемая фирмами Galileo (США), Hamamatsu (Япония) с не принципиальными изменениями в течение длительного времени, по крайней мере, до середины 90-х гг. для изготовления МКП с монолитным обрамлением (МКПО) с диаметром каналов 5-12 мкм.

2. Технология ГОИ им. С.И. Вавилова, разработанная в конце 70-х гг. и внедренная (после промышленной доработки) на заводе «Гран» в начале 80-х гг. при разработке МКП 10-34 (без монолитного обрамления).

3. Технология изготовления МКПО на базе высокотемпературных стекол: внедрена фирмами Litton и ИТТ (США) в середине 90-х гг., фирмой Photonis (Франция) в конце 90-х гг.

Исследования и анализ показали, что указанные версии не обеспечивают в полной мере механической прочности и формоустойчивости конструкции МКПО, а также требуемый уровень основных параметров МКП.

Разработанная и внедренная в середине 90-х гг. версия технологии ВТЦ «Баспик» базировалась на отечественных рабочих стеклах и направленном изменении свойств рабочих стекол на протяжении техпроцесса за счет оптимального учета и использовании взаимодиффузионных процессов в системе жила-оболочка, а также внедрения новых методов физической и химической обработки. Это позволило решить проблему монолитного обрамления, механической прочности и формоустойчивости (в том числе на хранении пластин), высокотемпературного обезгаживания, снижения газосодержания и соответственно газовыделения МКП, улучшения ЧПЗ и порога сотовой структуры.

В настоящее время разрабатывается и внедряется новейшая версия технологии ВТЦ «Баспик», отличающаяся более глубоким и оптимальным воздействием на рабочие материалы техпроцессе изготовления МКП. Экспериментальные результаты показывают перспективность данного направления развития технологии МКП.

У47. Качество рабочих поверхностей микроканальных пластин

Кулов С.К., Кесаев С.А., Бугулова И.Р., Пергаменцев Ю.Л.,
Ахполов К.А., Мануков С.И., Бояджиди В.Ю., Беришвили Н.В.

ООО ВТЦ «Баспик», Владикавказ, Россия

Технический уровень, качество и надежность микроканальных пластин (МКП) в конечном итоге определяются качеством и чистотой рабочих поверхностей, в том числе резистивно-эмиссионного слоя каналов и торцов МКП, включая вход и выход каналов.

В течение ряда лет проводится систематическое изучение рабочих поверхностей МКП и их свойств в следующих направлениях: рельеф поверхности на микро- наноуровне; химические и структурные дефекты поверхности и их классификация; локальная и интегральная диагностика на основе современных методов диагностики поверхности и изучения характеристик МКП; влияние технологических факторов и различных методов физико-химической обработки на состояние поверхности; газосодержание и газовыделение стенок каналов МКП; поведение поверхности МКП на хранении в условиях контакта с атмосферой.

Состояние поверхности каналов и торцов МКП определяется различной технологической предысторией формирования этих поверхностей. Операции вытяжки световодов, спекания блоков, механообработки, химической обработки при вытравливании опорной жилы существенно определяют свойства поверхности. На термоводородной обработке поверхность пластины претерпевает химические и структурные трансформации. Дальнейшее изменение состояния поверхности возможно на финишных операциях изготовления МКП и при хранении, в техпроцессе изготовления и при работе ЭОП.

На наноуровне поверхность является чрезвычайно шероховатой. На поверхности при определенных условиях возможно формирование тонких многокомпонентных силикатных пленок с преобладанием щелочной составляющей. На торцах пластины, в зоне входа и выхода каналов могут формироваться микронные и субмикронные частицы на основе щелочных соединений. Указанные новообразования - существенный фактор стабильности усиления каналов, шумов и автоэлектронных явлений, газовыделения МКП на сроке службы ЭОП. В связи с этим, важное значение придается разработке технологических методов уменьшения шероховатости каналов, ликвидации инородных слоев и новообразований. Эти задачи в основном решаются в новейшей версии технологии изготовления МКП ВТЦ «Баспик».

У48. Мелкоструктурные МКП для техники ночного видения

Кулов С.К., Кесаев С.А., Макаров Е.Н., Пергаменцев Ю.Л.,
Беришвили Н.В., Бояджиди В.Ю., Попугаев А.Б., Полина Т.В.

ООО ВТЦ «Баспик», Владикавказ, Россия

В последние годы стал особо актуальным вопрос разработки, освоения в производстве и применения в электронно-оптических преобразователях (ЭОП) мелкоструктурных микроканальных пластин (МКП) с пределом разрешения до 70-90 пар лин/мм. Анализ современных мелкоструктурных МКП зарубежных изготовителей, таких, как Galileo, Litton, Photonics, показывает наличие дефектов структуры каналов и рабочих поверхностей, а уровень основных параметров существенно не отличается от уровня параметров МКП периода конца 80-х годов.

ВТЦ «Баспик» в период 1995-2002 гг. разработал и освоил в производстве МКП с диаметром каналов 6-10 мкм, углом наклона каналов 5-12°, с монокристаллическим обрамлением и параметрами на уровне зарубежных аналогов. Ежегодно для комплектации ЭОП выпускается более 20 тыс. МКП. Качество МКП ВТЦ «Баспик» обеспечивает текущие требования применения в ЭОП 2+ и 3 поколения, выпускаемые ОАО «Катод» (г. Новосибирск) и ФНТЦ АО «Геофизика-НВ» (г. Москва). Однако в связи с повышением требований к ЭОП новейших поколений необходимо в ближайшие годы решить ряд серьезных задач качества и надежности МКП. ВТЦ «Баспик» решает эти задачи, в частности, в рамках выполнения ОКР «Миллиард-МКП» по разработке МКП с каналами 5 мкм. Основные требования к МКПО 18-5: предел разрешения не менее 65 пар.лин/мм при зазоре МКП-экран 0,5 мм и напряжении 7 кВ; ни одной темной или светлой точки диаметром более 50 мкм в поле зрения; фактор шума не более 1,6-2,0; температура обезгаживания не менее 490°C, минимальная наработка не менее 10⁴ ч.

Исследования показывают, что реализация этих требований возможна в рамках принятой в ВТЦ «Баспик» версии базового технологического способа изготовления МКП. Подлежат корректировке и системной оптимизации: конструкция МКП, ряд ключевых технологических операций. При этом особое внимание уделяется: повышению качества базовых структурных элементов - многожильных стержней, оптимизации структуры каналов по границам спекания, оптимизации материала и конфигурации покрытия контактных электродов, внедрению специальной физико-химической обработки заготовок МКП, приводящей к оптимизации свойств рабочих поверхностей.

У49. Моделирование режимов усиления тока МКП методами теории электрических цепей

Беркин А.Б., Васильев В.В.

Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

Расширение диапазона линейного усиления микроканальной пластины (МКП) позволяет улучшить характеристики ЭОП. В настоящее время отсутствуют методы расчета, связывающие технологические параметры эмиссионно-резистивного слоя (ЭРС) МКП с параметрами усиления. Разработанная на базе теории электрических цепей расчетная модель позволяет решить эту задачу.

В предложенной модели отдельный канал МКП рассматривается как активная среда с непрерывно распределенным по длине усилением. Эквивалентная схема канала представлена цепочкой четырехполюсников из R-C элементов и генераторов наведенного тока. Методом контурных токов получены конечно-разностные уравнения, из которых определяется распределение электрического поля вдоль оси канала $E(z)$ при заданном распределении тока $I(z)$. В свою очередь, ток корректируется множителем $E(z)/E_0$, учитывающим изменение усиления в сечении z по сравнению с линейным режимом, для которого $E(z) = E_0$. Итерационная процедура дает согласованные функции $E(z)$ и $I(z)$.

Входными параметрами задачи являются входной ток МКП, напряжение на МКП, сопротивление и емкости ЭРС, усиление в режиме малого тока (полученное экспериментально или из шаговой модели усиления МКП).

Проведены модельные расчеты для МКП 18-10, которые показали хорошее совпадение с экспериментальными характеристиками. Показано, также, что уменьшение сопротивления эмиссионного слоя при фиксированном токе проводимости расширяет динамический диапазон линейного усиления МКП.

Модель и алгоритм могут быть использованы как для расчета режимов усиления постоянного тока, так для расчета переходных характеристик МКП.

Модель позволяет определить оптимальную структуру эмиссионно-резистивного слоя для получения заданных выходных параметров МКП.

У50. Оценка качества тепловизионного канала III поколения

Бугаенко А.Г., Морозов А.Е., Ахметшин А.Ф.

ФГУП «НПО «ГИПО», Казань Россия

Качество системы «тест-объект–тепловизионный канал–оператор» можно с достаточной корректностью оценить с помощью температурно-частотной характеристики ($\Delta T_{MP} = f(\nu)$). При этом в качестве исследуемых составных частей тепловизионного канала (ТВК) могут служить: объектив, блок приема и обработки сигнала, а также видеоконтрольное устройство [1]. Если использовать специальную измерительную аппаратуру [2] и методически правильно подготовленную группу операторов-наблюдателей в качестве постоянных составляющих системы, то оценку свойств каждой из частей ТВК, используя в качестве независимых переменных технические характеристики исследуемой части, можно получить сопоставлением измеренных ТЧХ, причем в той ее ветви, которая представляет наибольший интерес с точки зрения назначения тепловизионного канала.

Учитывая возросший интерес разработчиков ТВК к использованию в качестве фотоприемного устройства матриц, имеющих различную чувствительную основу и разные спектральные области применения, в ФГУП НПО ГИПО были проведены измерения ТЧХ ТВК на матрице U 3000 на основе WOx, трех матриц на основе аморфного кремния типа IR-108 (все зарубежного производства) с объективом $f=150$ и $F/1,3$. ТЧХ ТВК на матрице U 3000 существенно лучше, а ТЧХ ТВК на матрицах типа IR-108 только приближаются к ТЧХ ТВК на короткой охлаждаемой линейке с оптикой $F/2$. Рекламное значение NETD матрицы U 3000 составляет ≤ 50 мК. NETD матриц на основе аморфного кремния составляет 100...85 мК. Причем эти характеристики приведены для оптики с $F/1$, что подразумевает необходимость больших диаметров оптики и проблемы размещения таких ТВК на носителях.

1. Е.В. Ласточкин, Ю.И. Белоусов, А.Б. Утенков «Влияние типа отображающего устройства на качество изображения штриховых миш в тепловизионных приборах», «Оптический журнал», т.67 №12, 2000 г.

2. А.Г. Бугаенко «Аппаратура для оценки характеристик тепловизионных систем», «Оптический журнал», т.69 №4, 2002 г.

У51. Принципы построения сканирующей системы тепловизора второго поколения

Редькин С.Н.

ФГУП «НПО «ГИПО», Казань, Россия

Доклад посвящен описанию конкретной реализации оптико-механического блока сканирующей системы тепловизора второго поколения. Как известно, в тепловизорах второго поколения за счет использования субматричных фотоприемных устройств (СМФПУ) построение кадра (полукадра) осуществляется за один цикл работы сканера, как правило, в виде колеблющегося плоского зеркала сравнительно небольшого размера.

Наиболее распространен формат СМФПУ 4х288. При геометрической длине СМФПУ не менее 8 мм на величину полевых монохроматических и хроматических aberrаций оптической системы накладываются достаточно жесткие требования. Кроме того, немаловажным параметром является прозрачность оптической системы.

Предлагаемая оптическая система состоит из входного объектива, сканирующего зеркала, проекционного объектива, СМФПУ и блока обработки сигналов и отображения видеoinформации. Микросканер обеспечивает за счёт сдвига изображения на половину ширины строки чересстрочный принцип сканирования. Результирующий кадр строится из двух полукадров.

Использование принципа сканирования в сходящемся пучке лучей позволило уменьшить число линз во входном объективе до двух и применить простейший высокопрозрачный двухзеркальный проекционный объектив. В ряде случаев возможно использовать однолинзовый входной объектив с асферической поверхностью, что недостижимо в сканирующих системах, работающих в параллельных пучках.

У52. Новая жизнь старых тепловизоров

Васильева И.В., Корнейчик В.Л., Красовская М.Г., Кудряшов А.А.,
Прокопова Е., Чеча Э.П.

ОАО «Пеленг», Минск, Белоруссия

Развитие тепловизоров в мире прошло несколько стадий развития от сканирующих приборов на одноплощадочных фотоприемниках до приборов на длинных линейках с накоплением и завершается в настоящее время третьим поколением приборов на основе смотрящих матриц. Дороговизна оптических материалов для тепловизионной техники обусловила развитие в технологии оптики как в части создания новых материалов и покрытий, так и в части технологии обработки оптических поверхностей (асферических, киноформных). Технология фотоприемников на КРТ приблизилась к теоретическому пределу чувствительности. Примером является мировой бестселлер – приемник 288x4 от SOFRADIR, на основе которого разработаны лучшие мировые образцы тепловизоров, такие как Catherine и Iris. Успехи в микроэлектронике и микропроцессорной технике и связанное с ними развитие обработки изображения сделало тепловизионные приборы более легкими и компактными.

Но вернемся на грешную землю постсоветского пространства. После развала СССР предприятия, занимающиеся разработкой тепловизоров, остались один на один со своими проблемами и во многом утратили свой технологический потенциал. В этой связи ОАО Пеленг на этом этапе принял решение о модернизации разработанных тепловизоров первого и второго поколений.

При принятии решения о модернизации наряду с наработанными на предприятии техническими решениями в первую очередь анализировалась доступность и отработанность отечественных фотоприемников. В результате было принято решение по разработке тепловизора на базе изделия “Прогресс-2”, который в свое время прошел государственные испытания в составе танка Т80 и незаслуженно забытый в силу вышеупомянутых обстоятельств. Модернизация проводилась с использованием фотоприемника 96x2 (4x48) производства НПО Орион. По договору с НИИ ФООЛИОС был выполнен эскизный проект. Новая разработка обеспечила новое качество прибора с улучшенными характеристиками по качеству изображения и повышенной дальностью при существенном снижении весогабаритных характеристик и энергопотребления.

В ОАО Пеленг были проведены разработки оптических схем телескопических насадок. Была разработана насадка с переменным увеличением 8x/3x целиком из германия, с использованием асферических и дифракционной поверхностей. Однако из-за технологических сложностей изготовление было признано нерентабельным. Были разработаны альтернативные насадки с применением только сферических поверхностей. Анализ показал, что второй вариант обладает более оптимальным соотношением цена/качество.

ОАО Пеленг совместно с ОАО ТПТ г Москва провели разработку тепловизионного прибора наблюдения на базе тепловизора со SPRITE- приемником производства НПО Орион. Испытания показали достаточную надежность прибора и перспективы его использования в военных и гражданских целях. В результате был сделан вывод, что рано списывать со счетов этот дешевый и надежный фотоприемник.

У53. Упрощенный показатель эффективности воздушной тепловизионной аппаратуры

Овсянников В.А., Филиппов В.Л.

ФГУП «НПО «ГИПО», Казань, Россия

Общеизвестные показатели эффективности поисковой аппаратуры, такие, как интенсивность или среднее время поиска объекта, применительно к воздушной тепловизионной аппаратуре (ВТА) строчного типа с широким углом обзора слишком сложны для практической реализации. Поэтому в качестве упрощенного показателя эффективности этой ВТА целесообразно использовать максимальную эффективную производительность S_M – просматриваемую ВТА в единицу времени максимизированную по высоте носителя площадь местности, при которой обеспечивается разрешение на местности не хуже заданного значения A^* , определяемого требуемой вероятностью обнаружения или распознавания объекта.

Анализ показал, что для объемных (видимая площадь объекта от угла визирования β не зависит) или плоских (видимая площадь пропорциональна $\cos \beta$) объектов оптимальное значение H_0 высоты носителя ВТА, при котором $S_M = \max$, составляет

$$H_0 = H_H A^* / \left\{ H_H \left[1 + (\alpha/2)^2 \right]^n \right\};$$

$$\alpha = \begin{cases} L/H \\ \min(L/H; 2,8); \end{cases} \quad n = \begin{cases} 1/2 & \text{- объемный} \\ 3/4 & \text{- плоский} \end{cases}$$

где L – ширина полосы захвата местности с высоты H ; A_H – разрешение на местности в надире, обеспечиваемое с некоторой нормированной высоты H_H , рассчитываемое на основе температурно-частотной характеристики ВТА.

При этом соответствующее значение показателя эффективности равно $S_M = \alpha V H_0$, где V – скорость носителя ВТА.

У54. Методические аспекты и результаты натурных испытаний тепловизионных приборов 3-го поколения

Белозеров А.Ф., Бугаенко А.Г., Михайлов Е.Н., Морозов А.Е.

ФГУП «НПО «ГИПО», Казань, Россия

Натурные испытания тепловизионной техники, как результирующая оценка ее основных характеристик, занимают особое место среди методов контроля и испытаний тепловизионных приборов (ТВП). Эффективность этих работ достигается развитием накопленного научно-практического опыта реализации испытаний ТВП 1-го поколения, активной деятельностью по разработке и совершенствованию методического обеспечения и технических средств контроля тактико-технических и оптико-энергетических параметров ТВП 2-го и 3-го поколений при натурных испытаниях.

Результатом этого является создание строго регламентирующей процедуру проводимых испытаний нормативно-технической и методологической базы, которая:

- определяет порядок, методы и условия испытаний, состав и параметры используемой измерительной техники, в том числе регистрирующей теплофизическое состояние целей и окружающей среды;

- обеспечивает получение достоверных данных;

- позволяет корректно выполнять обработку и анализ результатов измерений, соответствующих реальным условиям испытаний, а также приведение их с целью достижения сопоставимых и представительных оценок к некоторым нормированным условиям.

Особенности построения и свойств ТВП 3-го поколения, набор параметров, характеризующих их техническое совершенство и функциональные возможности, определяют специфику методического обеспечения и технических средств испытаний. В ходе оценочных испытаний ТВП:

- выполнена оценка их функционирования при широком спектре внешних условий и воздействий;

- проведена апробация и практическая отработка методов оценки тактико-технических параметров приборов;

- экспериментально подтверждены основные критерии оценки дальности действия.

Натурные испытания подтвердили правильность методических разработок, позволили достоверно оценить применимость ТВП 3-го поколения с учетом интересов каждого из потенциальных заказчиков и определить направления работ для совершенствования ТВП.

У55. К вопросу об обнаружении, распознавании и идентификации посредством тепловизионных приборов ростовой фигуры человека

Овсянников В.А., Пантелеев Н.Л., Филиппов В.Л.

ФГУП «НПО «ГИПО», Казань, Россия

Общеизвестные критерии обнаружения, распознавания и идентификации (критерии Джонсона) ориентированы в основном на вскрытие объектов бронетанковой техники. Расширение круга задач, решаемых в настоящее время посредством тепловизионных приборов (ТВП) вынуждает уточнить данные критерии применительно к наблюдению ростовой фигуры человека (РФЧ). При этом под обнаружением будем понимать выделение объекта из фоновых неоднородностей, под распознаванием – установление его принадлежности к классу «человек» (по характерной фигуре), под идентификацией – установление принадлежности человека к типу «военнослужащий» или «гражданский» (по различию в экипировке).

Для анализа использовались экспериментальные значения дальностей обнаружения, распознавания и идентификации, полученные с помощью некоторых образцов ТВП одновременно для РФЧ (D) и танка (D_T), для которого требуемые значения A_T разрешения на местности хорошо известны ($A_T = 1,5$ м – обнаружение, $A_T = 0,6$ м – распознавание, $A_T = 0,3$ м – идентификация). Тогда искомые значения критериев Джонсона C определяются формулой пересчета вида

$$C = \frac{h}{2A}; \quad A = \frac{\alpha A_T D}{D_T},$$

где h – эквивалентный размер РФЧ ($h = 1$ м);

α – коэффициент, учитывающий (через средство температурно-частотной характеристики ТВП) различие тепловых контрастов данных объектов и коэффициентов пропускания атмосферы на дистанциях D и D_T .

Полученные значения C , в среднем равные 0,9 – при обнаружении, 2 – при распознавании и 4 – при идентификации РФЧ, не противоречат и результатам специально выполненным в НПО ГИПО экспериментальных оценок в контролируемых условиях дальности вскрытия РФЧ посредством ряда образцов ТВП.

У56. Экспериментальные исследования радиационных контрастов военнослужащих в среднем и дальнем инфракрасных диапазонах электромагнитного спектра

Каплан В.Г., Липатов В.В., Яцък В.С.

ФГУП «НПО «ГИПО», Казань, Россия

Обострившаяся террористическая деятельность вызвала необходимость разработки для спецслужб и пограничных войск индивидуальных высокоэффективных средств поиска нарушителя и выявления скрытых огневых позиций стрелков. Для решения указанной проблемы необходим выбор такого метода обнаружения, при котором обеспечивается устойчивое выделение признака бойца от окружающего фона. Одним из таких методов является фиксация радиационного контраста теплового излучения.

В докладе приводятся результаты экспериментальных исследований радиационного контраста военнослужащего в диапазонах 7,6-11,8 мкм и 1,9-5,5 мкм в разных фоновых ситуациях соответствующих летне-осеннему сезону. По результатам исследований отмечены особенности суточного изменения контраста.

1. Для объектов, расположенных внутри разного рода закрытых строений, можно ожидать положительный контраст в ночное время и отрицательный в дневное время суток.

2. Наиболее стабильное формирование радиационного контраста военнослужащего происходит в ночное время при его нахождении в условиях естественного обдува и составляет в диапазоне 7,6...11,8 мкм для головы 4,6...6,6 К, для туловища 2,2-3,5 К, для видимой проекции бойца 2,3-3,6 К; а в диапазоне 1,9-5,5 мкм соответственно для головы 4,7-6,5 К, для туловища 2,2-2,4 К и 2,4-2,5 К для видимой проекции бойца.

3. Различия тепловой инерционности формы и снаряжения бойцов может приводить к различию радиационного контраста более чем в 2 раза при одних и тех же условиях эксперимента.

У57. Оценка предельно достижимой разности температур, эквивалентной шуму, и эффективного значения элементарного поля зрения тепловизионных приборов

Овсянников В.А., Филиппов В.Л.

ФГУП «НПО «ГИПО», Казань, Россия

Наименьшее значение разности температур, эквивалентной шуму ΔT_0 , достигается для несканирующих тепловизионных приборов (ТВП), использующих фотонные охлаждаемые или тепловые неохлаждаемые матричные фотоприемники (МФП), работающие в режиме ограничения фоном. Для считающегося оптимальным значения относительного отверстия дифракционно-ограниченного объектива $D : f = \lambda : \alpha$ (λ – эффективная длина волны, α – размер элемента МФП) и практически максимальных значений его коэффициента пропускания 0,8, квантовой эффективности фотонного МФП 80% и времени накопления 0,04 с можно получить для типовых фотодиодных МФП на InSb ($\Delta\lambda = 3-5$ мкм, $\lambda = 5$ мкм) и КРТ ($\Delta\lambda = 8-14$ мкм, $\lambda = 10$ мкм) минимальные значения $\Delta T_0 = 0,007$ К и $0,001$ К (независимо от α и D), а для тепловых МФП при $\alpha = \alpha_{\min} = 20$ мкм и тех же $\Delta\lambda - \Delta T_0 = 0,35$ К и $0,007$ К соответственно (также независимо от D).

При этом эффективное значение элементарного поля зрения несканирующих ТВП приближенно составляет

$$\delta = 0,41\delta_0 \sqrt{1,95 + 1/kn}; \quad \delta_0 = 2,44\lambda/D$$

(где k – коэффициент заполнения МФП; n – число выборок на элемент). При $k = n = 1$ имеем $\delta = 0,7 \delta_0 = 1,7 \lambda/D$, что для $\lambda = 5$ мкм и $D = D_{\max} = 0,3$ м дает $\delta = 0,028$ мрад, а для $\lambda = 10$ мкм - $\delta = 0,057$ мрад; при использовании в ТВП микросканирования ($k = 1, n = 4$) $\delta = 0,6 \delta_0 = 1,5 \lambda/D$, т. е. на 15 % меньше.

У58. Моделирование характеристик матричного фотоприемного устройства в составе тепловизионной системы

Балоев В.А., Иванов В.П., Латыпов Я.М.

ФГУП «НПО «ГИПО», Казань, Россия

Интенсивное развитие приемников инфракрасного излучения дало возможность разработки и создания многочисленных инфракрасных систем. Одним из перспективных путей создания современных инфракрасных систем с высокими характеристиками является применение фотоприемных устройств второго поколения – многорядных линейных матриц, работающих в режиме временной задержки и накопления.

Многоэлементные фотоприемники обладают, как правило, значительным разбросом чувствительности между элементами. Различия в чувствительности каналов тепловизионного прибора приводят к появлению на выходном изображении так называемого геометрического шума, который характерен как для тепловизионных приборов с фотоприемниками в виде линейки чувствительных элементов, так и для тепловизионных приборов с матричными фотоприемниками. Таким образом, геометрический шум практически неизбежно присутствует в тепловизионных приборах с многоэлементными фотоприемниками. В тепловизионных приборах с матричными фотоприемниками геометрический шум выглядит как не изменяющееся от кадра к кадру, случайное от прибора к прибору распределение яркости строк.

В тепловизионных приборах с матричными фотоприемниками зачастую геометрический шум превалирует над временным шумом и, соответственно, оказывает определяющее влияние на основные характеристики тепловизионного прибора. Существенной особенностью геометрического шума является то, что он фиксирован от кадра к кадру. Если в случае временного шума происходит повышение отношения сигнал/шум от кадра к кадру за счет интегрирующих свойств глаза, то для геометрического шума аналогичного повышения отношения сигнал/шум от кадра к кадру не происходит.

Для исключения указанных дефектов изображения применяются различные методы выравнивания чувствительности каналов, в частности выравнивание по сигналам от двух протяженных излучателей с температурами T_1 и T_2 . Эффективность такого выравнивания зависит от исходного разброса обнаружительной способности многоэлементного фотоприемника.

В работе проведены расчетные эксперименты по оценке влияния исходного разброса на результаты коррекции геометрического шума и, следовательно, на результирующую температурно-частотную характеристику тепловизионного прибора. Показано, что существенную роль играет не только количество дефектных каналов, но и количество каналов с чувствительностью, отличающейся от среднего значения.

У59. Оптические покрытия для современных тепловизионных систем

Гайнутдинов И.С., Сабиров Р.С., Иванов В.А., Несмелов Е.А.,
Алиакберов Р.Д., Сафин Р.Г.

ФГУП «НПО «ГИПО», Казань, Россия

Интенсивное развитие в последнее десятилетие многоспектральных и многофункциональных оптоэлектронных систем привело к увеличению числа оптических элементов в тепловизионных приборах и расширению спектральных диапазонов, в которых они применяются.

Разработка оптических покрытий для тепловизионных приборов нового поколения включает в себя синтез конструкции интерференционного покрытия с удовлетворением требования многоспектральности рабочего диапазона, выбор и исследование материалов для реализации синтезированного покрытия и разработку технологии нанесения этого покрытия.

Нами разработаны следующие типы оптических покрытий для тепловизионных приборов:

- многослойные просветляющие покрытия для оптических элементов из германия с пропусканием более 96% в области спектра 9,0–11,5 мкм и двухдиапазонные для области спектра 3,0–5,0 мкм и 8,0–12,0 мкм с остаточным отражением менее 3% (без просветления потери на отражения для этих элементов составляют 59%);

- просветляющие покрытия на элементах из ZnSe, обеспечивающие остаточное отражение не более 4% в области спектра 0,6–0,9 мкм и 8,0 – 12,0 мкм (без просветления потери на отражение для такого элемента составляют 31%);

- просветляющее покрытие с остаточным отражением менее 0,1% на лазерных длинах волн из области спектра 0,4 – 1,6 мкм для оптических деталей из стекла К-8 и кварца;

- теплоотражающее покрытие на основе окиси индия, легированной двуокисью олова, имеющее отражение в области спектра 8 – 12 мкм более 85% и прозрачность в видимой области более 90%;

- высокоотражающие интерференционные зеркала, обеспечивающие отражение более 98% от падающего потока излучения при углах падения до 60°. Значительная сложность достижения столь высоких коэффициентов отражения обусловлена поляризационными эффектами при больших углах падения излучения.

У60. Автоматизированный контроль технологических параметров, как непрерывный контроль качества. Тенденции развития технологического оборудования для микрофотоэлектроники

Козлов А.Н., Зайцев Д.Ю., Садовский Р.А., Филачев А.М.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Рассмотрены вопросы ионного травления полупроводниковых материалов, используемых в микрофотоэлектронике. Вопросы напыления контактных площадок при производстве элементов микрофотоэлектроники. Проведен анализ повторяемости процессов вакуумного напыления. Осуществлен выбор контролируемых параметров в течение всего технологического процесса, для обеспечения контроля качества выпускаемых изделий. Намечены тенденции развития контроля качества при производстве изделий микрофотоэлектроники.

У61. Анизотропное ионноплазменное травление, как основной инструмент трёхмерного формообразования в объёмных микротехнологиях

Лурье М.С., Пятышев Е.Н.

*С.-Петербургский государственный политехнический университет,
Санкт-Петербург, Россия*

1. Приводимый в докладе анализ различных видов микротехнологии показывает, что наименьшими ограничениями в конструировании изделий, но и наибольшими отличиями от классических микроэлектронных технологий характеризуются объёмные микротехнологии.

Для этих микротехнологий важнейшей операцией является 3D-формообразование с литографическим разрешением по плоскости чипа в микронном диапазоне размеров и глубиной вытравливания до многих десятков микрон. Реальным технологическим процессом, способным обеспечить эти характеристики, на сегодняшний день являются только процессы плазменного травления. При этом важнейшими параметрами процесса и оборудования являются вертикальность боковых стенок структуры и достижимая глубина обработки.

2. В лаборатории микротехнологии СПбГПУ спроектирован и изготовлен экспериментальный действующий макет установки плазменного травления, специализированный для решения задач объёмных микротехнологий. Установка содержит систему откачки, систему энергообеспечения (в т.ч. генератор ВЧ на 13,56 МГц), пятиканальную систему газообеспечения, элементы контроля режима и рабочую камеру с системой согласования и возбуждения разряда. Эта лабораторная установка в течение нескольких лет используется при разработке и опытной изготовлении различных сенсорных преобразователей микросистемной техники.

3. На макете установки разработан базовый технологический процесс глубокого анизотропного реактивного ионноплазменного травления кремния. Оптимизированы режимы травления и состав многокомпонентной плазмообразующей смеси. В соответствии с техническими требованиями на ряд изготавливаемых изделий, разработанная базовая технология РИПТ обеспечивает следующие параметры процесса:

- минимальная ширина элементов кремниевой структуры – 6 мкм
- глубина травления до 60 - 80 мкм;
- отклонение боковой стенки от вертикали 0,5-1 углов. град.

4. При изменении состава плазмообразующей среды и рабочих режимов могут быть реализованы на той же установке и другие процессы плазменной обработки, например, травление защитных слоев нитрида и оксида кремния, травление ряда металлических плёнок, осаждение наноразмерных углеродных трубок, что использовалось в ряде разработок лаборатории. В докладе приводятся ряд электронно-растровых иллюстраций фрагментов различных изделий и их заготовок.

У62. Формирование гибридных структур фотоприемных устройств на основе HgCdTe

Билевич Е.О., Апатская М.В., Сизов Ф.Ф.

Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН, Киев, Украина

Одним из этапов создания фотоприемных устройств (ФПУ), на основе тонкопленочных диодов HgCdTe является процесс гибридизации, который позволяет создать электрическое и механическое соединение с кремниевыми схемами считывания. Это соединение должно обеспечивать надежный омический контакт; иметь линейную вольтамперную характеристику и низкое электрическое сопротивление; а также создавать пластичное механическое соединение, компенсирующее разность коэффициентов теплового линейного расширения HgCdTe и Si при низкой рабочей температуре ФПУ.

Нами разработана технология гибридизации схем считывания сигнала с линейками фоточувствительных элементов, которая предусматривает формирование индиевых столбиков, как на схемах считывания, так и на линейках фотоприемников путем оплавления без доступа воздуха при температуре (~155-160°C) предварительно сформированных индиевых площадок. Формирование индиевых контактов непосредственно на алюминиевых шинах микросхемы приводит к получению сильно шумящих, за счет межслойного сопротивления In-Al, контактов, свойства которых ухудшаются со временем. Использование переходных слоев металлов обеспечивает уменьшение переходного сопротивления и увеличивает смачивание и адгезию индия, но при этом возможна взаимная диффузия с образованием твердых интерметаллических растворов, что увеличивает (на порядок) сопротивление контакта. Учет всех этих фактов, как и совершенствование технологии формирования индиевых контактов, приводит к улучшению механической прочности и электрических параметров соединения. При создании контактных систем был применен титан, в качестве нижнего контактирующего слоя (0,1-0,15 мкм), так как он обладает высокой коррозионной стойкостью и механической прочностью, на который для улучшения адгезии к индию наносился слой никеля (0,35-0,45 мкм). Также, для повышения механической прочности соединения были использованы вспомогательные ряды индиевых шариков, не принимающих участия в электрическом соединении. В результате проведенных исследований свойств индиевых пленок, полученных в разных технологических режимах, было установлено, что металлизация должна иметь мелкозернистую структуру и быть равномерной по толщине. Это дает возможность уменьшить уход размеров элементов при фотолитографическом процессе формирования необходимого рисунка металлизации и обеспечивает однородность получаемых контактов по высоте. После формирования индиевых шариков, линейки фотоприемников на основе эпитаксиальных слоев HgCdTe и кремниевые схемы считывания точно позиционируются одна относительно другой и приводятся в механический контакт. Качественный электрический и механический контакт создается путем холодного сваривания шариков индия благодаря прикладыванию механической нагрузки на протяжении определенного времени.

Предложенная технология формирования гибридного соединения дает возможность получать действующие ИК-фотоприемные устройства на основе фотодиодов HgCdTe и кремниевых схем считывания.

У63. Получение эпитаксиальных гетероструктур КРТ методом химического осаждения из паров МОС и ртути на подложках из GaAs

Девярых Г.Г., Моисеев А.Н., Котков А.П., Гришнова Н.Д.

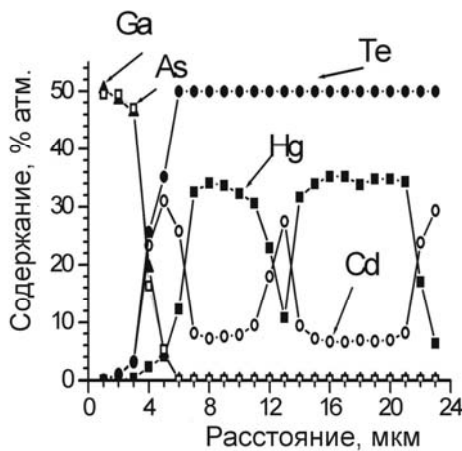
Институт химии высокочистых веществ РАН, Нижний Новгород, Россия

Метод химического осаждения из паров МОС и ртути (МОСVD) является перспективным методом получения эпитаксиальных структур на основе $Cd_xHg_{1-x}Te$ (КРТ) для матричных фотоприемников (МФП) среднего и дальнего ИК-диапазона.

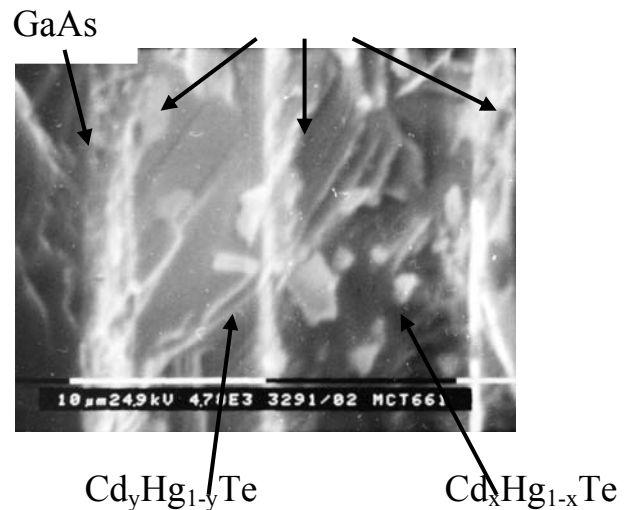
В докладе будут представлены результаты применения МОСVD-метода для получения различных гетероструктур КРТ на подложках из полуизолирующего GaAs. С использованием описанной в [1] методики получены:

- эпитаксиальные структуры $Cd_xHg_{1-x}Te/CdTe/GaAs$ с $x=0,24 \div 0,25$ для изготовления светофильтров к фотоприемным устройствам дальнего ИК-диапазона;
- эпитаксиальные структуры $CdTe/Cd_xHg_{1-x}Te/CdTe/GaAs$ p-типа с $x=0,213 \div 0,224$ для МФП дальнего ИК-диапазона. Толщина слоя КРТ 12-5-14 мкм, толщина защитного слоя CdTe 0,5 ÷ 1 мкм. Разброс состава (x) на площади 4,5 см² не превышает ± 0,002. При 77 К концентрация дырок составляет величину $(1 \div 3) \cdot 10^{16}$ см⁻³, подвижность 300 ÷ 500 см²/(в·с), полуширина кривой качания 2 ÷ 2,5 угл. минуты;
- эпитаксиальные структуры $CdTe/Cd_xHg_{1-x}Te/CdTe/Cd_yHg_{1-y}Te/CdTe/GaAs$ для детекторов на дальний ИК-диапазон, интегрированных со светофильтрами $x=0,21 \div 0,22$, толщина 9 ÷ 10 мкм, $y=0,23 \div 0,24$, толщина 4 ÷ 7 мкм. Электрофизические параметры и разброс состава по площади аналогичны приведенным выше данным.

Полученные образцы переданы для проведения испытаний в НПО «Орион».



a)



b)

У64. Формирование гетероструктур на основе соединений кадмий – ртуть – теллур в системе полупроводник-электролит

Божевольнов В.Б., Яфясов А.М., Коноров П.П.

НИИ физики им. В.А. Фока СПбГУ, Санкт-Петербург, Петродворец, Россия

Гетероструктуры на основе соединений $Cd_xHg_{(1-x)}Te$ представляют большой научный интерес и имеют широкие практические применения в качестве различных фотоэлектрических преобразователей в ИК – области спектра. Эти гетероструктуры формируются путем осуществления контакта двух материалов кадмий – ртуть – теллур (КРТ) с различным составом. При этом наиболее распространенными методами получения гетероструктур являются методы молекулярно-лучевой эпитаксии и молекулярного наслаивания.

В настоящей работе формирование гетероструктур на основе материалов $Cd_xHg_{(1-x)}Te$ с составом $x = 0,32$ и одновременный контроль их электрофизических свойств осуществлялись в электрохимической ячейке с использованием метода эффекта поля в электролитах. В основе этого метода лежит изменение электродного и поверхностного потенциалов полупроводникового электрода при его поляризации в электролите. Для изменения состава материала в измерительную ячейку, содержащую водный электролит, вводился комплексообразователь, подобранный таким образом, чтобы возникающие комплексы кадмия были устойчивы в большем интервале потенциалов, чем комплексы ртути. В результате за счет преимущественного ухода комплексов кадмия в раствор в некоторой области электродных потенциалов происходило обеднение поверхности кадмием. Это соответствовало образованию у поверхности образца слоя, обогащенного ртутью, состав которого соответствовал $x < 0,32$ и обладал меньшей шириной запрещенной зоны по сравнению с исходным материалом. В результате происходило образование гетероструктуры $Cd_{0,20}Hg_{0,80}Te - Cd_{0,32}Hg_{0,68}Te$, представляющей собой слой узкозонного полупроводника на поверхности исходного образца КРТ. Толщина и состав слоя определялись из вольт - фарадных характеристик (ВФХ). Дополнительно контроль параметров узкозонного поверхностного слоя проводился методами ИК - поглощения. Возникающий на контакте разрыв энергетических зон приводит к двумеризации электронного газа в области гетероструктуры. Показано, что процесс формирования поверхностного слоя $Cd_{0,20}Hg_{0,80}Te$, останавливается с появлением разрыва зон. Толщина слоя составляла 200-400 нм.

Полученные результаты показывают возможности применения системы полупроводник-электролит для формирования низко-размерных квантовых структур с использованием эффекта поля в электролите как в качестве формирующего фактора, так и в качестве метода контроля "in situ" за процессами формирования таких структур.

У65. Исследование свойств эпитаксиальных слоев CdHgTe, выращенных методом ЖФЭ, и характеристик регистрирующих ИК-модулей на их основе

Денисов И.А., Смирнова Н.А., Белогорохов А.И., Флоренцев А.А., Шматов Н.И.,
Прошкин Ю.Н.*, Ларина Г.В.*, Базарова Л.Н.*

ФГУП «ГИРЕДМЕТ», Москва, Россия
**ОАО «Московский завод «Сапфир», Россия*

В настоящее время промышленное производство фоторезисторов (ФР) базируется на использовании объемных кристаллов $Cd_xHg_{1-x}Te$ (КРТ). Вместе с тем, практика работы с фотодиодными устройствами показывает исключительную перспективность использования эпитаксиальных слоев (ЭС) КРТ, выращенных методом ЖФЭ, при создании ИК-регистрирующих модулей. По сравнению с объемным материалом использование ЭС КРТ толщиной 10-15 мкм позволяет снизить трудоемкость и удельный расход полупроводникового материала при изготовлении ФР и повысить их фотоэлектрические параметры за счет совершенства структуры ЭС.

Представлены результаты исследований структурных, оптических, электрофизических и фотоэлектрических свойств ЭС КРТ, выращенных методом ЖФЭ в запаянной кварцевой ампуле из растворов-расплавов на основе Те на подложках $Cd_{0,96}Zn_{0,04}Te$ (111) диаметром до 37 мм. Показано что, плотность дислокаций в ЭС находится на уровне $N_d=(1\div 5)\cdot 10^4 \text{ см}^{-2}$, полуширина кривой дифракционного отражения $\sim 20\div 40''$. После низкотемпературного отжига в течение нескольких суток ЭС имели n-тип проводимости с концентрацией электронов на уровне $n=(1\div 5)\times 10^{14} \cdot \text{см}^{-3}$ и их подвижностью до $3\cdot 10^5 \text{ см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$ при 77 К. Время релаксации фотопроводимости составляет $\tau\sim 1,5 \text{ мкс}$.

С использованием ЭС изготовлены многоэлементные ИК-модули на основе двумерных охлаждаемых ФР с малыми размерами фоточувствительных площадок, исследованы области их спектральной чувствительности, фотоэлектрические параметры, их стабильность после воздействия механических и климатических факторов.

Проведена сравнительная оценка основных параметров ФР на основе ЭС и объемного полупроводникового материала.

Показана перспективность и экономическая эффективность использования ЭС при промышленном производстве модульных ФР.

У66. Влияние низкотемпературного отжига на электрические и структурные характеристики эпитаксиальных слоёв кадмий-ртуть-теллур и марганец-ртуть-теллур

Несмелова И.М., Рыжков В.Н., Гумаров Г.Г.* , Петухов В.Ю.* , Андреев В.А.

ФГУП «НПО «ГИПО», Казань, Россия

**Казанский физико-технический институт КНЦ РАН, Казань, Россия*

Экспериментальные и теоретические исследования показали, что наличие в решётке твёрдого раствора МРТ ионов Mn приводит к увеличению доли ионности Hg-Te связи, так что можно ожидать более высоких значений энергии активации образования дефектов и более совершенной структуры в МРТ по сравнению с твёрдым раствором КРТ.

Целью данной работы является исследование влияния технологических режимов при изготовлении фотоприёмников на электрофизические свойства эпитаксиальных слоёв твёрдых растворов КРТ и МРТ и сопоставление полученных результатов.

Известно, что ряд технологических операций при изготовлении элементов оптоэлектроники таких, как фотолитография, травление, создание электрических контактов, нанесение антиотражающего покрытия, проводятся при повышенных температурах, что может привести к изменению электрофизических параметров исходного материала.

Исследовались слои, полученные методом жидкофазной эпитаксии из теллуровых растворов-расплавов и подвергнутые длительному отжигу в парах ртути при высоких температурах с целью снижения концентрации носителей заряда.

Низкотемпературный отжиг эпитаксиальных слоёв проводился последовательно при температурах 120°C и 200°C, каждый продолжительностью два часа. Перед экспериментом и после каждого режима отжига измерялись электрические параметры образцов при 300 и 77 К (электропроводность, концентрация носителей заряда при 0,05 Т и 1,5 Т) и проводился рентгеноструктурный анализ.

Результаты эксперимента убедительно показали стабильность электрофизических свойств твёрдых растворов МРТ по сравнению с тройными соединениями КРТ: 85% образцов КРТ уже при отжиге 120°C изменили концентрацию и подвижность носителей заряда, а в ряде случаев и тип проводимости, лишь 15% образцов МРТ изменили параметры только при температуре 200°C.

У67. Технологические аспекты изготовления микроболометрических матриц

Либерова Г.В., Кулыманов А.В., Трошков А.Е., Киселева Т.В., Гришина Т.Н.,
Шарипов А.Г., Кравченко Н.В.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Технология изготовления МБМ матриц основана на «микромеханической» технологии, включающей такие низкотемпературные процессы, как катодное распыление, ионноплазменное травление, фотолитографические процессы, создание «жертвенных» слоев с применением полиимидных смол и их удаления. Основная масса процессов хорошо изучена, управляема и воспроизводима. Однако при проведении процессов встречаются некоторые трудности. Так возникают проблемы с удалением остатков полиимидной смолы, ранее подвергавшихся воздействию плазмы с галогеносодержащими газами: CF_4 , SF_6 , C_3F_8 и др. Анализ современных представлений о физико-химических особенностях и механизмах плазмохимического травления материалов показывает, что, несмотря на множество публикаций по плазме, на данный момент не существует обобщенной кинетической модели плазменного травления. В каждом конкретном случае травления подобных пленок в определенном реакторе и конкретном травителе используется своя методика удаления подобных остатков полиимидных смол. В нашем случае данная проблема решается методом обработки пластин с такими остатками в «плотной» плазме с последующей ультразвуковой обработкой. Существуют определенные трудности и при получении слоев VO_x требуемых номиналов, а также проведения фотолитографии по ним. Рассматриваются возможные варианты решения этих и других проблем. Дан анализ технологических ограничений при изготовлении МБМ.

У68. Плазмохимические обработки в технологии изготовления микроболометров

Жуков А.А., Жукова С.А., Четверов Ю.С.

ОАО «ЦНИИ «ЦИКЛОН», Москва, Россия

Необходимость применения и недостаточность изученности эффектов плазмохимических обработок полиимидных покрытий, применяемых в технологии формирования микроболометров в качестве «жертвенных» слоев, обуславливает актуальность представленной работы, в которой представлены результаты оптимизации плазмохимических процессов травления и модификации поверхности полимерных покрытий в технологии изготовления микроболометрических матриц форматов 160x120 и 320x240 пикселей. Материалом несущего и защитного элемента конструкции микроболометров служил нитрид кремния, а в качестве «жертвенного» слоя толщиной 2,5 мкм - размягчаемые и жесткоцепные полиимиды шести типов, полученные центрифугированием соответствующих растворов полиаминокислот в диметилацетамиде с дальнейшей двухстадийной термоимидизацией при температуре 558 ± 5 К.

При изготовлении микроболометрических матриц плазмохимические обработки применяли для модификации поверхности, вытравливания полиимидного "жертвенного" слоя и формирования топологического рельефа в полиимидном покрытии. Для оптимизации процессов плазмохимических обработок проведено комплексное исследование влияния компонентов плазмы на структуру и свойства тонких полиимидных покрытий. В работе использованы следующие методы исследований: вискозиметрия, оптическая и электронная микроскопия, методы определения углов смачивания, расчетные методы определения термодинамических характеристик поверхности Дана-Кейлбла-Фаукса и Гуда-Ван-Осса, метод измерения профиля рельефа с помощью профилографа, электронный структурно-химический анализ, рентгеновская дифрактометрия, ИК-спектроскопия, метод динамического конденсатора, метод определения коэффициентов диффузии с помощью микродиэлектрического датчика, метод измерения адгезии с помощью адгезиметра УКАП-1-100. Разработаны в среде MATCAD 2001 и применены программы расчета огибающих смачиваемости и работы адгезии в присутствии и отсутствии жидкости на межфазной границе адгезионных соединений.

Показано, что воздействие ВЧ-плазмы приводит к модификации поверхности полиимидных покрытий, что проявляется в увеличении свободной поверхностной энергии за счет ее электроно-донорной или полярной составляющей, раскрытию имидных циклов и накоплению зарядов в приповерхностных слоях образцов. В результате плазмохимической обработки происходит модификация структуры и свойств по всей толщины покрытия, что проявляется в появлении кристаллической фазы, протекании процесса дегидроциклизации в объеме покрытий, изменении состояния и количества воды, увеличении коэффициентов диффузии воды на начальной стадии сорбции. Наблюдается уменьшение адгезионной прочности соединений «полиимид – подложка» в присутствии влаги.

Проведенные исследования стойкости к плазме тонких полиимидных покрытий показали, что скорость их травления в кислородсодержащей плазме зависит от состава исходной полиаминокислоты и условий проведения процесса термоимидизации. Установлены зависимости углов профиля травления контактных отверстий в полиимиде от энергии ионов при травлении в ЭЦР-плазме кислорода и химического состава исходной полиаминокислоты. Выявлены основные закономерности при травлении полиимидных «жертвенных» слоев. Полученные результаты позволили обоснованно осуществить выбор полиимидного материала «жертвенных» слоев, а также способов и режимов плазмохимических обработок в технологии изготовления микроболометров.

У69. Эпитаксиальные слои PbSnTe<In> на Si

Акимов А.Н., Климов А.Э., Супрун С.П., Шумский В.Н.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Разработка МФПУ для дальнего ИК-диапазона на основе твердого раствора $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te<In>}$ (COT<In>) осложняется трудностью сопряжения эпитаксиальных слоев этого материала на монокристаллических подложках BaF_2 с мультиплексором, изготовленным на пластине кремния. Ранее сообщалось [1] о результатах по выращиванию COT на Si без буферных слоев, однако вследствие рассогласования постоянных решетки и коэффициентов термического расширения подложки и плёнки происходило растрескивание последней при охлаждении от температуры роста до комнатной. Нами были предприняты попытки получения плёнок COT<In> на Si методом локальной молекулярно-лучевой эпитаксии в окнах размером ~ 50 мкм. Перед эпитаксией подложки Si проходили обработку в смеси плавиковой кислоты и этилового спирта в боксе, заполненном парами азота. Слои COT<In> были получены при технологических режимах, близких к отработанным для роста на подложках BaF_2 . Были отработаны режимы равномерного введения индия по толщине пленки. В качестве источника индия была использована шихта соединения In-Te. При рабочей температуре источника скорость осаждения индия составляла около 40 нм/час. Выращены структуры COT<In> с составом от 0,2 до 1,5 ат. % на Si, и проведены измерения их свойств при низких температурах.

1. Васин О.И., Климов А.Э., Неизвестный И.Г., Шумский В.Н., Молекулярная эпитаксия пленок $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ на подложках Ge, Si, GaAs, InSb, BaF_2 , Поверхность, 7 (1985), 66.

У70. Эпитаксиальные, фоточувствительные гетеропереходы $Pb_{1-x}Sn_xSe(In)/PbSe_{1-x}S_x$, полученные в сверхвысоком вакууме

Салаев Э.Ю., Назаров А.М., Гаджиева С.И.

Институт физики Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджан

На сверхвысоковакуумной ($\leq 3 \div 5 \cdot 10^{-9}$ мм.рт.ст.) установке с безмасляной откачкой, методом “горячей стенки” в едином технологическом цикле получены изопериодические, эпитаксиальные гетеропереходы (ГП) p- $Pb_{1-x}Sn_xSe(In)/n-PbSe_{1-x}S_x$. Подложками служили свежесколотые грани (111) BaF_2 . В качестве источника использовались заранее синтезированные и легированные индием образцы $Pb_{1-x}Sn_xSe(In)$ ($x=0,07$) и $PbSe_{1-x}S_x$ ($x=0,12$). Легирование индием производилось с целью получения образцов с пониженной концентрацией. Структурное совершенство пленок контролировалось электронографическим, рентгенодифрактометрическим и электронномикроскопическим методами.

Определены технологические условия получения структурно совершенных эпитаксиальных пленок p- $Pb_{1-x}Sn_xSe(In)$ ($W_{1/2}=90 \div 100''$), n- $PbSe_{1-x}S_x$ свободных от вторичных включений и с оптимальными значениями электрофизических параметров, необходимых для изготовления фоточувствительных p-n гетеропереходов.

В структурном отношении компоненты ГП представляют идеально согласованную для эпитаксии пару.

Сняты вольт-амперные и спектральные характеристики ГП. Прямая ветвь ВАХ при малых смещениях подчиняется экспоненциальному закону $J=J_0 \exp(eU/\beta kT)$. При 77 К коэффициент β изменяется в интервале $1,5 \div 2$, что характерно для генерационно-рекомбинационного механизма протекания тока через область пространственного заряда. Максимальная фоточувствительность наблюдается при $\lambda_{max}=12,0$ мкм. Изготовлены многоэлементные фоточувствительные гетеропереходы с высокими техническими параметрами: $R_0A=1,0 \div 1,2$ Ом·см²; $\lambda_{max}=12,0$ мкм; $D_\lambda^*=(1 \div 1,5) \cdot 10^{10}$ Вт⁻¹Гц^{1/2} см, сравнимые с аналогичными величинами приведенные в литературе различных структур на основе $Pb_{1-x}Sn_xSe$.

У71. Твердотельные структуры с неоднородностями субмикронных и нано-размеров как материалы для термоэлектрических охладителей нового поколения

Булат Л.П., Логвинов Г.Н.*

Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий, С-Петербург, Россия

**Национальный политехнический институт, Мехико, Мексика*

Необходимым условием работы большинства элементов фото- и микроэлектроники является их термостабилизация, в том числе при низких температурах. Обычные методы термостабилизации и получения низких температур, такие как использование сжиженных газов и криогенной техники, становятся трудноосуществимыми и малоэффективными из-за малых габаритов элементов фото- и микроэлектроники. Исключительно удобным в данных условиях оказывается термоэлектрический метод охлаждения. Это обусловлено целым рядом преимуществ термоэлектрических охладителей, в первую очередь их малыми размерами, большим ресурсом работы, отсутствием движущихся частей, произвольной ориентацией в пространстве, гибкостью конструкции, простотой управления и экологической чистотой.

За последние два года появились принципиально новые экспериментальные данные, демонстрирующие возможность резкого увеличения термоэлектрической эффективности при использовании новых структур с неоднородностями субмикронных и наноразмеров. Эти результаты были получены на двух направлениях:

1. Резкое возрастание термоэлектрической эффективности до $ZT = 1.7$ (здесь Z – термоэлектрическая добротность, T – абсолютная температура) наблюдалось в термоэлементах, разработанных фирмой «Nanocooolers». Здесь искусственно создавались микроструктуры субмикронных и наноразмеров точечного типа. Возможной причиной возрастания добротности в таких структурах являются квантовые эффекты туннелирования электронов в приконтактной области.

2. Фирма «Cool Chips» предложила технологию создания твердотельных, так называемых термотуннельных структур с зазорами между слоями порядка десятков нанометров. Так был достигнут эксергетический холодильный коэффициент равный 55%, что превышает даже соответствующий коэффициент для компрессионных холодильных машин. Предполагается, что возрастание эффективности в подобных структурах обусловлено туннелированием электронов в процессе термоэлектронной эмиссии.

В настоящей работе проанализированы результаты, полученные фирмами «Nanocooolers» и «Cool Chips». Рассмотрены различные физические модели, которые могут пояснить существенное возрастание термоэлектрической эффективности в твердотельных структурах с неоднородностями субмикронных и наноразмеров: квантовые туннельные эффекты, дополнительное рассеяние фононов на границах неоднородностей, нелинейность транспортных явлений, обусловленная появлением больших градиентов температуры. Обсуждаются вопросы баллистического пролета и диффузионного транспорта носителей заряда, а также критерии применимости традиционного подхода к расчету твердотельных охладителей.

Данная работа выполнена при поддержке Министерства образования России, грант Е02-3.4-69.

У72. Тепловая модель конструкций многоэлементных приемников излучения и методика расчета температурных полей

Долганин Ю.Н., Козырев М.Е., Карпов В.В., Кузнецов Н.С.

ОАО «Московский завод «Сапфир», Москва, Россия

Разработаны тепловая модель и методика расчета температурных полей в элементах конструкции фотоприемников при равномерном и неравномерном распределении тепловых воздействий. Рассмотрены следующие виды воздействий:

- 1) Внешнее охлаждение (интегральное), определяемое материалом держателя;
- 2) Внешний нагрев (локальный), создаваемый при распайке контактов;
- 3) Внутренний нагрев (локальный), возникающий в дефектных местах конструкции, при протекании тока.

Показано, что при пайке контактных площадок индием возможен нагрев кристалла полупроводника под токоведущими дорожками с линейным градиентом температуры 0,2-0,3 К/мкм (для германиевой подложки толщиной ~0,5 мм). Полученные данные позволяют дать рекомендации по топологии контактных и фоточувствительных площадок.

Исследованы различные материалы держателя и, в частности, показано, что изменение теплопроводности даже в 2,5 раза приводит к увеличению неравномерности распределения температуры по радиусу раstra не более 30 мК/мм.

Разработана модель распределения температуры по кристаллу при наличии локального нагрева в дефектных местах конструкции фотоприемников.

У73. Вакуумные термоэлектрические холодильники для ПЗС космического назначения

Анатычук Л.И., Малышко В.В.

Институт термоэлектричества, Черновцы, Украина

Термоэлектрические охладители (ТЭО) удобно сочетаются с приемниками излучения для их температурной стабилизации и охлаждения. Особенно эффективно сочетание детекторов малых размеров с термоэлектрическими микрохолодильниками. Однако, встречаются случаи, когда объектом охлаждения являются детекторы больших размеров площадью 4-8 см², работающие в условиях космического вакуума, например ПЗС матрицы. К ТЭО для таких объектов предъявляются весьма жесткие и противоречивые требования: равномерность охлаждения, функционирование в условиях ограниченного теплоотвода, ограничения по потребляемой электрической мощности, высокая ударная стойкость в сочетании с длительным ресурсом работы и др.

В работе приводятся результаты исследований и разработки ТЭО для таких объектов. Разработаны компьютерные программы для нахождения оптимальных параметров ТЭО. Достигнуто охлаждение до -10÷-30°C при температурах рассеивающих элементов +60÷+80°C и потребляемой электрической мощности 1,5-4,5 Вт. Особенно сложные и интересные проблемы возникают при обеспечении ударной стойкости ТЭО до 2000 g, многократных циклических воздействиях и ресурсе работы до 20 лет. Теоретически и экспериментально установлена связь между механической стойкостью и геометрическими размерами ветвей и ансамбля из них. Установлено, что кристаллические материалы не обладают достаточной прочностью для решения таких задач. Были разработаны специальные методы получения термоэлектрического материала, обеспечивающие повышенную механическую прочность в сочетании с высокими значениями термоэлектрической добротности. Специально исследованы механизмы деградации в условиях космического вакуума, которые были учтены при решении задач ресурсной стойкости модулей. Особое внимание уделено разработке технологии толстых антидиффузионных слоев (30-50 мк), сочетающие низкое контактное электрическое сопротивление с высокими значениями адгезии. Совокупность приведенного позволила решить не только задачи создания высокоэффективных ТЭО для ПЗС космического назначения, но и в целом способствовало прогрессу в создании высококачественных термоэлектрических модулей охлаждения.

У74. Термоэлектрический модуль на уровень температуры ~195 К

Алиева Т.Д., Ахундова Н.М., Абдинов Д.Ш.

Институт физики Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджан

Разработан, изготовлен и испытан четырехкаскадный термоэлектрический модуль со следующими основными параметрами: площади тепловыделяющей и теплопоглощающей поверхностей 12x16 и 4x7 мм² соответственно, при температуре окружающей среды 295±2К температура теплопоглощающей поверхности $T_x=195\pm 2$ К; ток питания ~1,0 А; потребляемая мощность ~6,0 Вт; холодопроизводительность ~100 мВт; время выхода на режим $\tau\approx 90$, высота 12 мм, питание каскадов - последовательное.

Термоэлементы изготовлены из механически прочных экструдированных материалов на основе твердых растворов р- $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$ и n- $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ с размерами зерен ~ 315 мкм и ~1000 мкм соответственно. Четырехкаскадный модуль собран по разработанной нами методике за один технологический прием.

Применение экструдированного материала и разработанного технологического приема сборки модуля приводят к повышению надежности, упрощению конструкции и снижению себестоимости.

Модуль может применяться в термоэлектрических охладителях для фотоприемников.

У75. О некоторых особенностях оптимизации режимов электропитания термоэлектрических охладителей в составе фотоприемников

Аракелов Г.А., Ершова Л.Б.*, Громов Г.Г.*

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

**ЗАО «Российские материалы и технологии», Москва, Россия*

Распространенной практикой является выбор термоэлектрического охладителя (ТЭО) для использования в составе фотоприемника (ФП) по так называемым максимальным параметрам, а именно: максимальные ток I_{\max} , напряжение U_{\max} , перепад температур ΔT_{\max} и холодопроизводительность Q_{\max} .

При этом имеется в виду, что I_{\max} и U_{\max} не являются предельно допустимыми параметрами, а соответствуют режиму реализации перепада температур ΔT_{\max} при условии $Q=0$.

Данная практика обусловлена тем, что эти максимальные параметры являются основными элементами спецификации ТЭО в международной практике.

Однако теоретические и экспериментальные исследования показывают, что оптимальные ТЭО для применения в ФП и их режимы работы определяются рядом факторов и условий эксплуатации. При известной величине теплового сопротивления стыкуемого с ФП теплосбрасывающего радиатора имеются рабочие значения $I_0 < I_{\max}$ и $U_0 < U_{\max}$, которые обеспечивают наиболее благоприятные режимы эксплуатации системы «ФП+радиатор». При прочих равных условиях из двух ТЭО с одинаковыми значениями I_{\max} предпочтительным в плане снижения энергопотребления являются ТЭО с большим значением U_{\max} .

В работе приведен пример оптимизации режима электропитания двухкаскадного ТЭО в составе 64-площадного ФП.

У76. Комплексный метод контроля качества конструкции и эксплуатационной надежности термоэлектрических модулей в составе оптоэлектронных приборов

Ершова Л.Б., Громов Г.Г., Драбкин И.А.*

ЗАО «Российские материалы и технологии», Москва, Россия

*Институт химических проблем микроэлектроники, Москва, Россия

В соответствии с международными и национальными стандартами к термоэлектрическим (ТЭ) модулям, применяющимся в оптоэлектронных приборах, предъявляются высокие требования по качеству и надежности. Стандартным критерием является измерение и спецификация электрического сопротивления (R) ТЭ модуля. На стадии изготовления производители также контролируют ТЭ добротность (Z) модуля, измеряемую по методу Хармана [1,2,3]. В работе [4] был предложен комплексный метод контроля качества ТЭ охладителя по результатам измерений R , Z и константы времени модуля (τ). В развитие этого подхода в данной работе предлагается использовать данный комплексный метод измерения (R, Z, τ) для оценки качества конструкций с применением ТЭ модулей, а также для контроля надежности и определения отказов ТЭ модулей в процессе эксплуатации в составе оптоэлектронных приборов. Приведены теоретические основы данного подхода и экспериментальные результаты. Измерения проводились с помощью Z, R, τ -метров серии DX4065 и DX4165 производства ЗАО «PMT».

1. V.P.Babin, S.M.Gorodetskiy. Thermoelectric modules quality testing by a manufacturer. Proc. XIV Int. Conf. on Thermoelectrics, June 27-30, St. Petersburg, Russia, 1995, pp. 338-340

2. R.J. Buist. A new method for Testing Thermoelectric materials and Devices/Proc.XI Int. Conf. on Thermoelectrics. October 7-9, 1992, Arlington, TX, USA.

3. Gromov G., Yershova L *et al*, “Z-meter: Easy-to-use Application and Theory”. Proc. VI Eur. Workshop on Thermoelectrics, Freiburg, September, 2001.

4. L.B. Yershova, G.G. Gromov, I.A.Drabkin. Complex Express TEC Testing. Proc. XXII Int. Conf. on Thermoelectrics, August 17-21, La Grande Motte, France, 2003 (printing)

У77. Электронный механизм формирования отрицательных U-центров под воздействием ИК излучения в PbSnTe:In и PbSnGeTe:In

Тугушев В.В., Сусов Е.В., Смолин О.В.

ФГУП «Альфа», Москва, Россия

Механизмы фотовозбуждения носителей в узкозонных полупроводниковых сплавах PbSnTe:In и PbSnGeTe:In продолжают оставаться предметом дискуссий на протяжении многих лет. Такие необычные эффекты, как долговременная релаксация фотопроводимости, стабилизация уровня Ферми при легировании, а также появление длинноволнового (десятки и сотни микрон) «хвоста» в спектрах фотопоглощения, могут быть качественно объяснены в модели центра с отрицательной корреляционной энергией [1]. При одноквантовом поглощении ИК излучения происходит переход центра In из основного одновалентного состояния s^2p^1 с энергией E_0 в возбужденное двухвалентное состояние s^1p^2 с энергией E_1 . Переход возбужденного электрона в зону проводимости сопровождается одновременной зарядовой и структурной релаксацией центра In в трехвалентное метастабильное состояние s^0p^3 с энергией E_2 , лежащее по энергии ниже промежуточного s^1p^2 , но выше основного s^2p^1 . Природа относительной устойчивости состояния s^0p^3 в последнее время все чаще связывается с «механизмом переменной валентности» [1,2]. В нашей работе предложена реализация данного механизма, обусловленная сильным обменно-корреляционным взаимодействием электронов на In в матрицах PbSnTe и PbSnGeTe. В рамках модели электронного спектра для полупроводников группы A_4B_6 были рассчитаны энергии возбуждений различных конфигураций из основной одновалентной конфигурации центра замещения в металлической подрешетке:

$$E_1 - E_0 = \Delta E_0(J), \quad E_2 - E_0 = 2\Delta E_0(J) + U, \quad U = -\Delta E_0(2J) + 2\Delta E_0(J) + V \quad (1)$$

Здесь $\Delta E_0(J)$ -энергия одночастичного возбуждения центра с локальным потенциалом J ; U -корреляционная энергия двух электронов на центре, V -энергия кулоновского отталкивания. Расчет величины $\Delta E_0(J)$ является чрезвычайно громоздким, так как учитывает не только переход электрона с s на p уровень, но и перестройку электронной плотности в матрице полупроводника вокруг дефекта. В идеализированной модели прямоугольной плотности состояний получается более простое выражение:

$$\Delta E_0(J) \approx W4/\pi^2 [(2JN_0 - 1)/JN_0]^2 \quad (2)$$

где W -эффективная ширина полосы разрешенных состояний в матрице, N_0 - средняя по зоне Бриллюэна плотность состояний в полосе энергий электронов, участвующих в образовании валентной связи с дефектом. Условие обращения выражения (2) в нуль ($2JN_0=1$) означает исчезновение связанного состояния на дефекте. В условиях сильного взаимодействия дефекта с матрицей ($2JN_0 > 1$) величина (2) отрицательна, а при $2JN_0 < 1$ всегда $\Delta E_0(J)=0$. Условие отрицательности корреляционной энергии $U < 0$ выполняется, если удовлетворяется соотношение:

$$\Delta E_0(2J) - 2\Delta E_0(J) > V. \quad (3)$$

В узкозонных полупроводниках типа A_4B_6 из-за гигантской (несколько сотен) диэлектрической проницаемости потенциал V составляет величину менее 10^{-1} эв. При разумных предположениях ($JN_0 \approx 1$ и $W \approx 3-5$ эв) получаем $[\Delta E_0(2J) - \Delta E_0(J)] \approx (1-3)10^{-1}$ эв, то есть обменно-корреляционное притяжение может превышать прямое кулоновское отталкивание электронов. Заметим, что величина $|U|$ может заметно увеличиться при учете «деформационного» механизма [3].

1. Б.А.Волков, Л.И.Рябова, Д.Р.Хохлов УФН 72, 875, 2002
2. И.А.Драбкин, Б.Я.Мойжес ФТП 15,625,1981
3. О.А.Панкратов, Б.А.Волков ЖЭТФ 88, 164, 1985.

У78. Фотопроводимость сплавов $Pb_{1-x}Ge_xTe$, легированных галлием и иттербием

Скипетров Е.П., Зверева Е.А., Волкова О.С., Голубев А.В., Слынько В.Е.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Исследованы гальваномагнитные свойства ($4,2 \leq T \leq 300$ К, $B \leq 0,1$ Тл) и кинетика фотопроводимости ($T \leq 60$ К) высокоомных сплавов $Pb_{1-x}Ge_xTe$ ($x \leq 0,06$), легированных галлием и иттербием, в условиях контролируемой подсветки образцов GaAs-светодиодом или тепловым источником инфракрасного (ИК) излучения.

Показано, что в сплавах $Pb_{1-x}Ge_xTe$, легированных галлием и иттербием, долговременные процессы релаксации фотопроводимости, связанные с фотоионизацией расположенного в запрещенной зоне примесного уровня, наблюдаются при температурах $T \leq T_c \approx 60$ К и $T \leq T_c \approx 30$ К соответственно. При гелиевых температурах наблюдается эффект задержанной фотопроводимости, причем, при максимальных значениях интенсивности ИК подсветки в зависимости от типа и концентрации примеси удельное сопротивление кристаллов уменьшается на 2-4 порядка.

Кинетика спада фотопроводимости носит сложный долговременный характер и может объясняться наличием, по крайней мере, двух механизмов рекомбинации неравновесных носителей заряда, для которых времена жизни существенно отличаются друг от друга. Проведённые оценки показали, что быстрая составляющая характеризуется временами релаксации $\tau_1 < 0,1$ с, а медленная - $\tau_2 = 10^0 - 10^3$ при $T < T_c$. Полученные результаты объясняются фотоионизацией электронов с примесного уровня, расположенного в запрещённой зоне, в зону проводимости (в сплавах, легированных галлием) или из валентной зоны на примесный уровень (в сплавах, легированных иттербием) при ИК подсветке в предположении янтеллеровской природы глубоких примесных центров. В рамках этой модели по температурным зависимостям времени релаксации τ_2 оценена высота энергетического барьера, разделяющего примесные и зонные состояния в конфигурационном пространстве при низких температурах: $W = 23 \pm 3$ мэВ для сплавов $Pb_{1-x}Ge_xTe:Ga$ и $W = 12 \pm 2$ мэВ для сплавов $Pb_{1-x}Ge_xTe:Yb$.

Обнаружено, что в легированных галлием сплавах $Pb_{1-x}Ge_xTe$ кинетика нарастания фотопроводимости имеет аномальный характер. После включения подсветки на кривых нарастания фотопроводимости кроме обычного положительного фотоотклика, характерного для $PbTe:Ga$, обнаружены аномальные участки задержки фототклика и пик отрицательной фотопроводимости. Показано, что эти эффекты наблюдаются лишь при достаточно высокой интенсивности подсветки, а время задержки фототклика уменьшается с ростом интенсивности фотовозбуждения. Результаты обсуждаются в рамках модели, согласно которой при ИК подсветке происходит переход, по крайней мере, части образца из ромбоэдрической в кубическую фазу из-за опустошения дефектных центров в результате активации электронов с примесного уровня в зону проводимости и перестройки кристаллического окружения дефектных центров.

У79. Фотоэлектрические и оптические свойства эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xTe(Ga)$

Нуриев И.Р., Фарзалиев С.С., Фараджев Н.В., Садыгов Р.М.

Институт физики Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджан

В настоящей работе представлены результаты исследования фотоэлектрических и оптических свойств эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xTe(Ga)$ ($0,01 \leq x \leq 0,05$) выращенных методом конденсации молекулярных пучков в вакууме 10^{-4} Па на подложках BaF_2 . В качестве источника использовались заранее синтезированные и легированные галлием твердые растворы $Pb_{1-x}Mn_xTe(Ga)$ с соответствующим химическим составом. Структурное совершенство пленок контролировалось электронографическим, рентгенодифрактометрическим и электронномикроскопическим методами.

Установлено, что эпитаксиальные пленки $Pb_{1-x}Mn_xTe(Ga)$ с концентрацией носителей заряда $n, p(77\text{ K}) = 5 \cdot 10^{15} \div 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, с более совершенной кристаллической структурой ($W_{1/2} = 90 \div 100^\circ$), толщиной $0,5 \div 1$ мкм, растущих плоскостью (111) на свежесколотых гранях BaF_2 с применением компенсирующего источника паров Te , без включения второй фазы при температурах подложки $T_p = 653 \div 673 \text{ K}$ и скоростях конденсации $8 \div 10 \text{ \AA/сек}$ являются фоточувствительными при температуре жидкого азота (77 K). Максимум спектра фотопроводимости пленок смещается в сторону более коротких волн с ростом x , что объясняется увеличением ширины запрещенной зоны с ростом количество марганца в исследуемых образцах.

Построена спектральная зависимость коэффициента оптического поглощения эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xTe(Ga)$ ($0,01 \leq x \leq 0,05$) толщиной $1 \div 5$ мкм при 77 K . Показано, что с ростом содержания марганца в исследуемых образцах край спектральной зависимости коэффициента оптического поглощения смещается в сторону коротких волн. Этот факт также объясняется увеличением ширины запрещенной зоны как в случае спектральной зависимости фотопроводимости. Значения ширины запрещенной зоны (E_g) для образцов различного состава вычисленные из оптических измерений и спектральной характеристики фотопроводимости находятся в удовлетворительном согласии.

У80. Транспортные и фотоэлектрические свойства нанокompозита: термически окисленный пористый кремний-сегнетоэлектрик

Григорьев Л.В., Тер-Нерсесянц В.Е., Соколов В.И.* , Сорокин Л.М.*

СПбГУ, НИИ физики, Санкт-Петербург, Россия

**Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия*

В настоящее время актуальна проблема реализации на основе кремниевой технологии, как пироэлектрической приемной матрицы, так и системы обработки сигнала. Нанесение сегнетоэлектрических слоев на поверхность кремния представляет собой трудно разрешимую задачу из-за плохой воспроизводимости свойств сегнетоэлектрической пленки. В свою очередь, гетероэпитаксия кремния на сегнетоэлектрическую подложку возможна с рядом ограничений: требуется нанесение системы буферных слоев под слой Si, в результате чего в приповерхностном слое Si имеется большое количество дефектов, что напрямую сказывается на фотоэлектрических свойствах.

В настоящей работе представлены на рассмотрение результаты исследований механизмов токопереноса и фотоэлектрических свойств кремниевого нанокompозита - термически окисленного пористого кремния заполненного сегнетоэлектриком.

Исследуемые образцы нанокompозита готовились в два этапа. На первом этапе был изготовлен термически окисленный нанопористый кремний (ТОНК), представляющий нанопористую диэлектрическую матрицу. Далее нанопоры матрицы заполнялись сегнетоэлектриком KDP. После высушивания при комнатной температуре, на поверхность нанокompозита были нанесены тонкие металлические электроды.

Для полученных образцов нанокompозита изучение электрофизических свойств и фотоэлектрических свойств проводились в рамках исследования вольт-амперных характеристик (ВАХ) в темноте и при освещении, исследования фотостимулированной емкости и проводимости, зависимости величины пироотклика от интенсивности, длины волны и частоты модуляции падающего света. Были проведены исследования дисперсии диэлектрической проницаемости нанокompозита в диапазоне 10 кГц –10 МГц как в темноте, так и при освещении. Структурные изучения материала проводились в рамках исследования поверхности нанокompозита электронной и оптической микроскопии. В результате проведенных исследований нанокompозита при комнатной температуре, предлагается к рассмотрению модель туннельного токового транспорта по длине наноразмерных нитей термического окисла. Величина комплексной диэлектрической проницаемости нанокompозита превышает значения соответствующие для KDP. Такой эффект объясняется влиянием проводимости в матрице ТОНК на поведение мнимой компоненты диэлектрической проницаемости. Для построения модели шумового процесса требуется дополнительное исследование. Вид кривой дисперсии диэлектрической проницаемости нанокompозита соответствует дисперсии KDP с учетом эффектов, обусловленных ограниченной геометрией сегнетоэлектрика и наличием проводимости.

У81. Фотоэлектрические явления в композитах полимер-полупроводник

Кулиев М.М.

Институт радиационных проблем Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджан

На данном этапе развития электроники ведутся интенсивные работы по созданию устройств, использующие гибридную структуру сегнетоэлектрик - электролюминофор, сегнетоэлектрик-фотопроводник, сегнетоэлектрик-полупроводник и возможности замены этих структурных элементов на композиционные материалы системы полимер-сегнетоэлектрик, полимер-полупроводник.

В данной работе исследованы возможности целенаправленного изменения фоторезистивных и фотовольтаических свойств фотокомпозитов путем предварительной обработки их компонентов в условиях действия электрического разряда в воздушной среде.

В качестве полимерной матрицы использованы полярный полимер ПВДФ, полиолефины ПЭ и ПП, а в качестве фоточувствительного наполнителя – CdS, CdSe, CdTe, ZnSe и GaSe. Фотокомпозиты получены методом горячего прессования порошковой смеси полимера и полупроводника. Образцы освещались белым светом интенсивностью 40 мкВт/см².

Более эффективным фоторезисторным композитом оказался ПВДФ+60% об. CdS ($R_t/R_c=10^4$).

На примере композиционных фоторезисторов ПЭВП+40% CdS и ПП+40% CdS изучено влияние предварительной обработки порошка полимера электрическим разрядом на отношение R_t/R_c . Эксперименты показали, что фоточувствительность указанных фоторезисторов достигает максимума при времени обработки $t=2$ ч ($8 \cdot 10^5$ и $9 \cdot 10^5$ соответственно).

Композиционные системы полимер-полупроводник проявляют и фотовольтаический эффект. В этом случае образцы получали на поверхности проводящего стекла, отжигали при температуре 373 К в течение 2 часов.

С увеличением объемного содержания CdS до 25% значение фото-э.д.с. растет, а затем стремится к насыщению. Величина фото-э.д.с. зависит от свойств полимерной матрицы, размера частиц фотопроводника, толщины образца и условия получения.

При прочих равных условиях композиты ПЭВП+CdS генерируют больше фото-э.д.с. (0,8 В).

Электроразрядовая обработка полимерной фазы композита существенно (до 50%) увеличивает и величину фото-э.д.с.

Рассмотрены также вопросы, связанные с влиянием на фото-э.д.с. фотокомпозитов добавление третьей компоненты (до 15% об.) – сегнетопьезокерамики типа ПКР.

У82. Характеризация фоточувствительных резистивных элементов на основе КРТ в режиме наведенного тока

Смолин О.В., Сусов Е.В., Якимов Е.Б.

ФГУП «Альфа», Москва, Россия

Использование эпитаксиальных пленок КРТ позволяет получать линейки фоточувствительных резистивных элементов (ФЧЭ) с хорошей однородностью и чрезвычайно высокими параметрами. Для дальнейшей оптимизации технологии изготовления ФЧЭ необходимо контролировать параметры материала в готовых элементах и влияние технологических обработок на эти параметры. С этой целью были проведены исследования ФЧЭ в растровом электронном микроскопе методом наведенного тока. Было получено распределение тока, возникающего в ФЧЭ при его возбуждении электронным пучком, в зависимости от положения пучка. Такое распределение позволяет оценить однородность распределения фоточувствительности элементов, выявить области с повышенной скоростью рекомбинации неравновесных носителей заряда, оценить значение эффективной диффузионной длины и скорости поверхностной рекомбинации на боковых поверхностях элементов. Исследования проводились в растровом электронном микроскопе JSM-840A (JEOL) при энергиях пучка 30-35 кэВ, приложенных напряжениях до 50 мВ и температурах порядка 90-100 К. При использованных энергиях электронов глубина проникновения пучка составляла несколько мкм, что позволяло генерировать неравновесные носители заряда непосредственно в пленке КРТ. Выявлено повышение скорости рекомбинации на границах элементов, что связано с дефектами, возникающими при плазменном травлении. Проведено моделирование распределения сигнала и из сравнения экспериментальных профилей с рассчитанными оценены значения эффективной диффузионной длины и скорости рекомбинации на боковых гранях элемента, для которых получены значения 5-10 мкм и $3\cdot 10^4$ см/с, соответственно. Моделирование позволило оценить также максимальную концентрацию неравновесных носителей заряда при возбуждении сфокусированным электронным пучком, которая в использованных условиях достигала либо несколько превышала равновесную концентрацию носителей заряда. Показано, что понижение скорости поверхностной рекомбинации на боковых гранях ФЧЭ путем оптимизации режимов травления позволяет повысить фототок более чем в два раза.

У83. Источники шумов многоэлементных фотодиодов из антимонида индия

Мирошникова И.Н., Гуляев А.М.

Московский энергетический институт (ТУ), Москва, Россия

Проведены сопоставления результатов ускоренных испытаний экспериментальных образцов, полученных в ходе отработки базовой технологии фотодиодов на основе антимонида индия для изделия ФУЛ-132, на заводе «Сапфир» в тесной связи со специалистами НИИПФ, со спектрами плотности мощности шума, измеренными через 12 лет после изготовления.

Показано, что наблюдаемое возрастание шумов приборов связано с утечками по поверхности. Представлены дополнительные аргументы за то, что источниками шумов служит атомарная сурьма, находящаяся на границе анодный окисел-антимонид индия. Показано, что экранирование области выхода р-п-перехода на поверхность снижает избыточный шум, а подача потенциала на экран управляет величиной шумового сигнала.

У84. Воздействие ионизирующего излучения на электрические и фотоэлектрические свойства фотодиодов на основе $Cd_x Hg_{1-x}Te$

Эминов Ш.О., Раджабли А.А., Ибрагимов Т.И.

Институт физики Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджан

В работе представлены результаты изучения воздействия импульсного гамма-излучения и нейтронного облучения на фотоэлектрические и электрофизические свойства р-п- переходов в $(Cd_x Hg_{1-x}Te)$ КРТ, полученных диффузией различных элементов (Cu, Ag, Au, Hg, Pt), а также ионной имплантацией различных ионов (B^+ , Al^+ , P^+).

При исследовании амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) ионно-имплантированных р-п переходов установлено, что наибольшую граничную частоту 250-300 МГц (по уровню 0,7) имеют р-п переходы, легированные ионами фосфора P^+ , р-п переходы, легированные ионами Al^+ имели граничную частоту 150-200 МГц, а легированные ионами бора – 50-75 МГц. После термообработки граничная частота р-п переходов по уровню 0,7, полученных легированием ионами Al^+ увеличилась от 180 МГц до 300 МГц, то же время граничная частота по уровню 0,5 увеличилась от 380 МГц до 800 МГц.

Вольтамперные характеристики (ВАХ) р-п переходов, измеренные непосредственно после имплантации, не имели выраженного диодного характера из-за большого туннельного тока. После термического отжига параметры р-п перехода значительно улучшились: R_0 выросло в 3-5 раз, а ВАХ приобрели типичный диодный вид. ВАХ р-п переходов, полученных имплантацией фосфора, отличаются от ВАХ диодов полученных имплантацией бора и алюминия в худшую сторону.

р-п переходы, полученные диффузией, а также полученные ионной имплантацией, после термообработки были подвергнуты воздействию импульсного гамма-излучения мощностью $1,0 \cdot 10^{10} \leq P_\gamma \leq 2,0 \cdot 10^{10}$ Рад/с и импульсного нейтронного облучения с плотностью потока $8 \cdot 10^{11} \leq \Phi_n \leq 6 \cdot 10^{12}$ см⁻² и с длительностью импульсов $10^{-8} \leq \tau \leq 10^{-4}$ с.

В результате ионизирующего облучения граничная частота р-п переходов, полученных легированием ионами Al^+ , достигла 450 МГц. В то же время граничная частота по уровню 0,5 после облучения увеличилась до 1 ГГц. ВАХ диодов также значительно улучшились.

В то же время заметных изменений в значениях электрофизических и фотоэлектрических параметров, в том числе АЧХ и ВАХ р-п переходов, изготовленных диффузионным способом, не было обнаружено.

Воздействие ионизационного излучения на свойства р-п переходов объяснены в рамках механизмов формирования радиационных дефектов в кристаллической структуре.

У85. Оптические фильтры на основе тонких пленок α -Ag₂Te для ИК-области

Алекперова Ш.М., Алиев А.А., Джалилова Х.Д., Ахмедов М.

Институт физики Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджан

Теллурид серебра классифицируется как узкозонный полупроводник. Моноклинная α -фаза Ag₂Te стабильна ниже 406К, имеет 12 атомов в элементарной ячейке.

Из холловских измерений определены: концентрация носителей заряда $n=9 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, подвижность $\mu=3000 \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$, удельная проводимость $\sigma=4,3 \cdot 10^3 \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$.

Тонкие пленки α -Ag₂Te толщиной $d=0,4 \div 0,45 \text{ мкм}$ получены вакуумным напылением Ag₂Te на свежесколотую поверхность NaCl, либо оптическое стекло, подогретых до $T=350 \div 370 \text{ К}$ при давлении $P=10^{-3} \text{ Па}$. Идентичность пленок α -Ag₂Te с исходной шихтой установлена электронографически.

Спектры пропускания $T(\lambda)$ и отражения $R(\lambda)$ сняты на двухлучевом спектрометре «Specord IR» и продублированы на ИКС-29 в интервале длин волн $2,5 \div 25 \text{ мкм}$. Спектр отражения снят при нормальном падении неполяризованного света. Спектр поглощения рассчитан по известной номограмме из экспериментальных спектров $T(\lambda)$ и $R(\lambda)$.

В рамках дисперсионных соотношений Крамерса-Кронига проведен детальный анализ $R(\lambda)$ через более дифференцированные оптические функции – диэлектрические проницаемости $\varepsilon_1(\omega)$ и $\varepsilon_2(\omega)$, коэффициенты поглощения $\alpha(\omega)$, преломления $n(\omega)$ и характеристических электронных потерь $-\text{Im} \varepsilon^{-1}(\omega) = \frac{\varepsilon_2(\omega)}{\varepsilon_1^2(\omega) + \varepsilon_2^2(\omega)}$.

Впервые установлено, что в ИК спектре отражения α -Ag₂Te за плазменным минимумом (1050 см^{-1}) имеется два дополнительных минимума (760 см^{-1} и 500 см^{-1}), обусловленных взаимодействием плазмонов и длинноволновых продольных оптических фононов. Пики в триплетной структуре спектра $-\text{Im} \varepsilon^{-1}(\omega)$ совпадают по энергиям с плазменным и дополнительными минимумами.

За краем фундаментального поглощения ($0,105 \text{ эВ}$) имеется область ($0,08 \div 0,056 \text{ эВ}$) внутризонного поглощения, где выполняется зависимость $\alpha \sim \lambda^2$ согласно закону Друде-

Лоуренса $\alpha = \frac{e^2 n}{8m \cdot \pi^2 \hbar c^3 \tau} \lambda^2$ и достигает 10^4 см^{-1} .

Таким образом, структурные особенности $R(\lambda)$, $\alpha(\lambda)$ и оптических функций $\varepsilon_1(\omega)$, $\varepsilon_2(\omega)$ и $-\text{Im} \varepsilon^{-1}(\omega)$ обусловлены взаимодействием свободных электронов с колебаниями решетки поляризуемых ионов и неселективным поглощением свободными носителями.

Указанные особенности оптических свойств тонких пленок α -Ag₂Te позволяют применить данный материал в качестве оптических фильтров в аппаратуре работающей в ИК диапазоне спектра.

У10П. ПНВ. Современное состояние и перспективы развития

Попов Г.Н., Голубев П.Г., Кандауров А.С., Сеницын Ю.А., Южик И.Б.

ФГУП «ЦКБ «Точприбор», Новосибирск, Россия

В докладе представляются:

1 Созданные и находящиеся в разработке приборы всех видов:

-прицелы ночного видения для стрелкового и артиллерийского вооружений на базе ЭОП 2⁺ и 3-го поколений, в том числе дневно-ночные, панкратические, прицелы по оптико-электронным средствам и т.д.;

-приборы ночного видения разведывательные;

-приборы ночного видения для БТГ (дневно-ночной механика-водителя и активно-импульсный командира танка);

-приборы ночного видения для лазерных комплексов;

-ночной телевизионный активно-импульсный и тепловизионный приборы разведки для подвижных разведывательных пунктов;

2 Новые направления и достижения в приборах ночного видения:

-приборы ночного видения на основе ЭОП с импульсным питанием;

-приборы ночного видения с телевизионным выходом и соответственно, обработкой изображения и служебной информации;

--тепловизионные приборы ночного видения на базе микроболометрических матриц;

-приборы ночного видения на базе ЭОП с импульсным питанием с реализацией в них дополнительных функций обнаружения ОЭС и дальнометрирования;

-ПНВ на базе ЭОП 3⁺ и 4-го поколений;

-широкопольные (до 80÷100)° очки ночного видения с повышенной помехозащищенностью.

У11П. Современные достижения и мировые тенденции развития микрокриогенных систем для фотоприемных устройств

Громов А.В., Ермаков В.М., Карагузов В.И., Липин М.В., Ляпин В.И.

ООО «НТК «Криогенная техника», Омск, Россия

Представлены современные достижения и мировые тенденции развития микрокриогенных систем для фотоприемных устройств. Описаны результаты разработок микрокриогенных систем на температурные уровни 4,5 К, 15 К, 25 К, 80 К с холодопроизводительностью от 0,2 до 10 Вт для охлаждения линейных и матричных фотоприемных устройств на основе PtSi, HgCdTe, InSb, Si<Ga>, SIS. Рассмотрены перспективные типы микрокриогенных систем. Показаны возможности создания фотоприемных устройств и криогенных систем по единым нанотехнологиям.

У12П. Сверхрешетки на основе InAs/GaInSb как перспективный материал для третьего поколения инфракрасных приемников

Энтони Рогальский

*Институт прикладной физики, Военный технологический университет,
Варшава, Польша*

К настоящему времени два поколения (семейства) многоэлементных приемников использовались для работы в ИК-области спектра: сканирующие системы (первое поколение) и смотрящие системы (второе поколение). Третье поколение разработано в настоящее время. В общем понимании третье поколение ИК-систем обеспечивает более широкие возможности, такие, как большее число пикселей, большее число кадров, лучшее тепловое разрешение наряду с возможностью работы в многоцветном режиме и другие преимущества, которые можно обеспечить, выполнив систему на одном кристалле.

В третьем поколении представлены два главных конкурента: КРТ-фотодиоды и фотоприемники на квантовых ямах (QWIP-фотоприемники) на основе AlGaAs/GaAs.

Однако в длинноволновой ИК-области спектра материал КРТ не обеспечивает требований к двумерным ИК-матрицам большого формата из-за металлургических проблем эпитаксиальных слоев, таких как неравномерность чувствительности и наличие дефектных элементов.

Суперрешетки на основе системы InAs/GaInSb, выращенные на подложке из GaAs, кажутся более привлекательными по сравнению с матрицами на КРТ, поскольку имеют хорошую равномерность по поверхности и диапазон длинноволновой границы спектральной чувствительности от 3 до 20 мкм. Недавно опубликованные результаты показали, что в средней ИК-области спектра могут быть получены высокие характеристики фокальных матриц на основе суперрешеток InAs/GaInSb.

Принимая во внимание эти многообещающие результаты, становится очевидным, что технология антимонидных суперрешеток является конкурентоспособной по отношению к двухцветной КРТ-технологии и имеет потенциальное преимущество перед стандартной технологией получения структур $A^{III}B^V$ из-за более низкой цены и, следовательно, более дешевого серийного производства.

У86. Новый тип материалов для высокочувствительных инфракрасных фотоприемников

Акимов Б.А., Брандт Н.Б., Рябова Л.И., Хохлов Д.Р.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Легирование сплавов на основе теллурида свинца некоторыми элементами III группы, в частности, индием, приводит к появлению ряда новых эффектов, не характерных для исходного материала. К числу таких эффектов относятся стабилизация уровня Ферми и задержанная фотопроводимость, наблюдающаяся при низких температурах. Указанные свойства позволяют построить уникальные фотоприемные системы инфракрасного диапазона на основе рассматриваемых материалов. Основные преимущества этих фотоприемных систем по сравнению с традиционными сводятся к следующему.

Стабилизация уровня Ферми приводит к высокой степени однородности электрофизических свойств кристаллов, временной стабильности их характеристик, высокой радиационной стойкости, по крайней мере, на 4 порядка превышающей соответствующий параметр у аналогов. В зависимости от состава сплава уровень Ферми может быть стабилизирован в запрещенной зоне. В этом случае при низких температурах реализуется полужолирующее состояние узкощелевого полупроводника, чрезвычайно привлекательное с точки зрения создания фотоприемной системы на его основе.

Эффект задержанной фотопроводимости при низких температурах обеспечивает внутреннее интегрирование сигнала излучения, что является принципиально новой особенностью данных полупроводников по сравнению с традиционно используемыми. Разработаны методы быстрого гашения задержанной фотопроводимости, позволяющие работать в режиме периодического накопления и последующего быстрого сброса сигнала. Более того, при определенном режиме гашения задержанной фотопроводимости квантовая эффективность материала повышается до $\sim 10^2$. Работа фотоприемного устройства в указанном режиме продемонстрирована на специально разработанных макетах.

Локальное освещение части образца фотоприемника приводит к локальному возбуждению неравновесных носителей заряда, которые не диффундируют в неосвещенные области при низких температурах. Исходя из этого, на основе рассматриваемых сплавов могут быть созданы непрерывные монолитные фотоприемные устройства, запоминаящие инфракрасное изображение целиком. Разработана идея простого метода считывания информации с такой матрицы.

Проведено прямое сравнение параметров фотоприемников на основе теллурида свинца с лучшими мировыми аналогами с использованием одной и той же криогеники и считывающей электроники. Показано, что токовая чувствительность приемников излучения на основе теллурида свинца на несколько порядков величины выше. Обнаружена задержанная фотопроводимость в фотоприемниках на основе теллурида свинца при монохроматическом освещении излучением с длиной волны 241 мкм, что является новым «мировым рекордом» красной границы фотоэффекта для нетепловых приемников излучения.

У87. Разработка новых материалов и фотоприемников для инфракрасной техники

Годованюк В.Н., Горбатюк И.М.*, Добровольський Ю.Г.**,
Остапов С.Э.*, Раренко И.М.*, Рюхтин В.В.

ОАО «ЦКБ «Ритм», Черновцы, Украина

**Черновицкий национальный университет им. Ю. Федьковича, Черновцы, Украина*

***Институт термоэлектричества, Черновцы, Украина*

В настоящее время на кафедре полупроводниковой микроэлектроники Черновицкого Национального университета им. Ю. Федьковича, в тесном взаимодействии с ОАО «ЦКБ Ритм» достигнуты новые результаты в развитии теории и практики твердых растворов узкозонных полупроводников. Разработан новый полупроводниковый материал – монокристаллический полупроводниковый твердый раствор HgCdMnZnTe . Материал получен с помощью выращивания методом модифицированной зонной плавки.

Проведены исследования гальваномагнитных явлений в полученных образцах, которые после выращивания имели р-тип проводимости. С помощью оптических и гальваномагнитных измерений определена ширина запрещенной зоны. Она составляет 0,08–0,3 эВ. Концентрация собственных носителей заряда составляет от $3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ до $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Их подвижность достигает $7 \cdot 10^4 \text{ см}^2 \text{ В} \cdot \text{с}$. Также определены концентрация и энергия активации примесей. Показано, что по сравнению с традиционным КРТ полученный материал имеет меньшую концентрацию носителей и большую эффективную массу электронов при равной ширине запрещенной зоны. Основные зонные параметры полученного материала хорошо согласуются с моделью Кейна.

В ОАО «ЦКБ Ритм» – головном предприятии Министерства промышленной политики Украины по научно-техническому обеспечению направления: «Разработка твердотельных фотоприемников, фотоприемных устройств и оптопар» разработаны и серийно выпускаются новые фотодиоды на основе кремния для систем ориентации. К ним относятся УФД14М – четырехэлементный р-і-n фотодиод и УФД16М – одноэлементный р-і-n фотодиод. Обе конструкции фотодиодов устойчивы к воздействию фонового излучения. Результат достигнут благодаря оптимизации конструкции кристалла фотодиода. Дополнительной особенностью фотодиодов является малое напряжение смещения на р-n переходе – не более 2 В.

Разработана конструкция крышки и технология клеивания лейкосапфирового входного окна для фотоприемника. Это позволило заменить дорогостоящий и энергоемкий технологический процесс впаивания входного окна фотоприемника с использованием специальных серебрясодержащих паст. Новая конструкция изделия выдерживает удар более 15000 г. Качество и надежность изделия подтверждена проведенными в полном объеме квалификационными испытаниями.

У13П. ИК –«микровидение» электронных и тепловых процессов в полупроводниковых приборах

Малютенко В.К.

Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН, Киев, Украина

Тепловизионные камеры традиционно используются в электронной промышленности для бесконтактных измерений температуры печатных плат, состоящих из набора стандартных элементов (интерес представляют области локального повышения температуры как источники деградации печатных плат). Будучи эффективным путем отбраковки дефектных плат, этот традиционный статический и с низкой разрешающей способностью подход не позволяет, в принципе, исследовать физическую природу локального разогрева.

В работе демонстрируется иной подход в исследовании динамических электронных процессов, ответственных за характеристики отдельных полупроводниковых приборов, с помощью ИК камеры высокой разрешающей способности во времени (микросекунды) и пространстве (микрометры). Основное внимание уделяется двумерной визуализации процессов диффузии и дрейфа носителей тока в базе прибора и избыточному локальному нагреву, сопровождающему процессы токопереноса. Целью исследования являются локальные электронные процессы, ответственные за отрицательную и положительную люминесценцию (междузонные электронные переходы) и неравновесное тепловое излучение (внутри зонные электронные переходы) в базе прибора. Изучаемыми параметрами являются время жизни носителей и скорость поверхностной рекомбинации, диффузионная длина и свойства контактов.

Система ИК микро видения состоит из зеркального ИК микроскопа, совмещенного со сканирующей тепловизионной камерой (спектральные диапазоны 3-5 мкм и 8-12 мкм, охлаждаемые фотодетекторы HgCdTe, пространственное разрешение < 20 мкм). Время экспозиции варьируется от 0,4 мс (длительность строки) до 40 мс (длительность кадра), а минимально разрешимый временной интервал составляет 10 мкс. Возможна запись динамических тепловых картин в режиме реального времени со скоростью 25 кадров в секунду с воспроизведением ТВ-подобного цветного изображения. Сбор информации и обработку изображения (определение усредненной излучательной способности, снижение шума путем усреднения слабых сигналов, внешний запуск) выполняет компьютер. Параллельный видеоканал, оборудованный ПЗС камерой, позволяет легко локализовать объект размером $1 \times 1 \text{ мм}^2$ на оптической оси системы и обеспечить его фокусировку. Измеряемым параметром является локальная мощность ИК излучения (или эффективная температура микрообъекта).

Светодиоды и лазерные диоды (пространственное распределение излучения и тепловые барьеры), модуляторы ИК излучения (однородность модулируемого потока), термоэлектрические холодильники (локальная эффективность охлаждения и джоулев нагрев) – лишь часть приборов, технология и параметры которых оптимизированы с помощью предложенной методики.

У88. Тепловизионный микроскоп

Базовкин В.М., Гузев А.А., Ковчавцев А.П., Курышев Г.Л.,
Ларшин А.С., Половинкин В.Г.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

В работе рассматриваются конструкция, технические параметры и примеры применения тепловизионного микроскопа. Прибор разработан на основе гибридной микросхемы матричного фотоприемного устройства InAs 128×128. Размерность фотоприемной матрицы 128×128, шаг элементов 50 мкм, рабочий диапазон длин волн 2,5÷3,1 мкм.

Особенностью конструкции данного прибора является применение сферического зеркала для экранирования избыточного теплового потока. Применение такого экрана позволило уменьшить фоновый поток, увеличить время накопления и улучшить температурное разрешение в 8 раз.

Проведен анализ экспериментальных зависимостей сигнала и шума от времени накопления и температуры объекта. Показано, что анализ зависимости шума от сигнала позволяет «сосчитать» электроны, то есть определить количество электронов на бит АЦП.

При использовании ИК объектива со светосилой 1:1.8 (разработка и изготовление КТИПМ СО РАН г. Новосибирск) и 10^x оптическом увеличении получено температурное разрешение 0,4 К и 0,015 К для объектов, имеющих температуру 300 К и 450 К, соответственно. Пространственное разрешение прибора в этих условиях составило ~7 мкм при дифракционном пределе разрешения 2,5÷3,0 мкм. Использование специализированного объектива может улучшить этот параметр до величины близкой к дифракционному пределу. Проверена возможность улучшения пространственного разрешения при помощи численной обработки изображения. Показано, что при отношении сигнал/шум > 20 можно улучшить разрешение примерно в два раза, то есть до величины ~3-4 мкм.

Приведены примеры применения ИК микроскопа для наблюдения ИК излучения при лавинном пробое барьера Шоттки на GaAs и контроля качества сборки гибридных интегральных схем линейчатых и матричных ФПУ на основе InAs.

У89. Видиконы, чувствительные в средней инфракрасной области с фотомишениями на структурах полупроводник – диэлектрик

Ковтонюк Н.Ф., Мисник В.П., Соколов А.В.

ФГУП «ЦНИИ «Комета», Москва, Россия

Исследуется механизм электронных процессов в фотомишениях видиконов на основе структур полупроводник-диэлектрик из узкозонных полупроводников (арсенид индия, антимонид индия) с учетом стекания электронного заряда через слой диэлектрика и релаксации неравновесной обедненной области в полупроводниковом слое. Для достижения высокой чувствительности фотомишени максвелловское время релаксации в диэлектрике с утечкой должно быть соизмеримо с длительностью кадра и временем существования обедненного состояния в полупроводниковом слое.

Получена зависимость длины неравновесной обедненной области от времени при разных величинах фото- и термогенерации и получены выражения для вычисления времени накопления с учетом тока утечки в слое диэлектрика. Расчетное время накопления при температуре 80 К в фотомишениях из узкозонных полупроводников $\sim 10^{-3}-10^{-1}$ сек. Экспериментальное значение времени накопления в структурах из арсенида индия $\sim 6 \times 10^{-2}$ с. При этом пороговая чувствительность видикона $\sim 10^{-13}-10^{-14}$ Вт/элемент, а обнаружительная способность $D^* \approx 10^{13}-10^{14}$ см $\sqrt{\text{Гц}}$ /Вт. Экспериментальные значения пороговой чувствительности $\sim (0,5-1) \times 10^{-13}$ Вт/элемент.

Разрешающая способность видикона при входных мощностях изображений меньших 10^{-5} Вт/см 2 ограничивается диаметром электронного луча (~ 30 мкм). При входных мощностях существенно больше 10^{-5} Вт/см 2 наблюдается диффузионное расплывание изображений. Приводятся соответственные оценки величины возникающей зоны нечувствительности с учетом временной задержки диффузионного потока при заполнении обедненной области. Обсуждаются технологические возможности по устранению диффузионного расплывания при больших интенсивностях входных изображений.

У90. Высокие технологии изготовления систем ночного видения с ЭОП. Состояние и итоги 2003 г.

Локтионов В.И.

ОАО «Катод», Новосибирск, Россия

Рассмотрено состояние и итоги разработки технологии систем ночного видения с ЭОП, разработанных ОАО «Катод». Усовершенствование технологий ЭОП, достигнутые ОАО «Катод», разделяются на три полностью обоснованные направления.

I. Беспленочные ЭОП

Исключение ионно-барьерной пленки позволяет полностью реализовать потенциал, заложенный в GaAs фотокатоде. Созданный в ОАО «Катод» беспленочный ЭОП, по сравнению с базовым ЭОП 3^{го} поколения, имеет значительно лучшие технические характеристики. Чувствительность увеличена в 3 раза, отношение сигнал-шум в 1,5 раза, ореольность уменьшилась в 2,8 раза. На базе беспленочных ЭОП созданы системы ночного видения, обеспечивающие увеличение дальности работы ПНВ в 1,5 раза.

II. Технология 25 мм ЭОП

Использование 25 мм ЭОП в системах ночного видения позволяет существенно улучшить характеристики ПНВ. 25 мм ЭОП позволяют при тех же кратностях увеличить угол поля зрения в 1,5 раза или при сохранении угла поля зрения увеличить в 1,5 раза кратность ПНВ, что существенно увеличивает дальность. Основным достижением ОАО «Катод» является обеспечение размером 25 мм ЭОП, равным размерам стандартного 18 мм ЭОП. Это обстоятельство позволяет существенно улучшить характеристики существующих ПНВ, выполненных на базе 18 мм ЭОП, путем замены ЭОП, объективов и окуляров с сохранением существующих корпусов, что сокращает временные и финансовые затраты в 3-4 раза. По такому принципу ОАО «Катод» созданы 60° очки ночного видения.

III. Технология безореольных ЭОП с автоматическим стробированием

Исключение из состава ЭОП ионно-барьерной пленки позволяет снизить напряжение фотокатод-МКП в 4 раза и уменьшить входной промежуток с 0,1-0,2 мм до 0,025-0,05 мм, что уменьшает ореольность в 2,8 раза. Использование разработанных ОАО «Катод» источников питания с автоматическим стробированием повышает срок службы ПНВ, обеспечивает значительное расширение диапазона рабочих освещенностей ПНВ и комфортную работу в условиях интенсивных световых полей.

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

Секция А

А01. Оптические переключатели на основе монокристаллов $TlInSe_2$

Годжаев Э.М., Рагимов Р.С., Рустамов В.Д.

Азербайджанский технический университет, Баку, Азербайджан

При исследовании тензометрических особенностей кристаллов $TlInSe_2$ нами обнаружен новый эффект, заключающийся в изменении тензочувствительности под действием электромагнитного излучения. Чувствительность кристаллов к деформации под действием света приводит к новым пьезорезистивным эффектам.

Величина пьезорезистивного эффекта сильно зависит от интенсивности и спектрального состава света. Относительное изменение коэффициента тензочувствительности на единицу интенсивности света. (1 люкс) в процентах независимо от степени деформации одного и того же порядка.

Данный эффект в сущности не имеет ничего общего с пьезооптическими и фотомеханическими эффектами.

Названный эффект в монокристаллах $TlInSe_2$ имеет огромную возможность применения их в создании новых уникальных переключателей быстрого действия. Это связано с тем, что эти кристаллы имеют высокую тензочувствительность, обладают значительной гибкостью и механической прочностью на разрыв при размерах $0.25 \times 1 \times 10$ мм. Образцы выдерживают деформацию на изгиб радиусом кривизны $6 \div 8$ мм, обеспечивают раскалывание в нужном направлении на нитевидные образцы с зеркальными гранями и требуемой геометрической конфигурацией. Последняя особенность обеспечивает простейшую технологию изготовления тензодатчиков на их основе.

В связи с этим в настоящей работе сообщается о возможности создания на основе вышеизложенного эффекта нового оптического переключателя.

Известно, что использование $TlInSe_2$ многоканальных тензостанций при многоточечной тензометрии приводит к усложнению схемы измерения, увеличению веса, а также габаритов электронного оборудования и возникновению электрических помех. Механические переключатели, устанавливаемые у входа соответствующих каналов тензостанций, не обладают необходимым быстродействием и поэтому лишь частично могут изменить соотношение числа измерительных датчиков и каналов регистрации.

Целью настоящей работы является устранение выше перечисленных недостатков многоточечной тензометрии. Указанная цель достигается тем, что подключение тензодатчиков из монокристаллов $TlInSe_2$ к каналу регистрации производится путем последовательного зондирования самих датчиков электромагнитным излучением оптического диапазона. Данный способ многоточечной тензометрии отличается тем, что обеспечивает проведение записи по одному единственному каналу тензометрических информаций от множества точек испытываемой конструкции. Размещенные в различных точках и подключенные параллельно между собой идентичные датчики посредством одной линии связываются общим для всех датчиков каналом регистрации. Информация от каждого датчика поступает в общий канал лишь в момент облучения его электромагнитным излучением. Перемещая узкий световой зонд соответствующим образом по участку испытываемой конструкции с тензодатчиками, записывается распределением механической нагрузки, напряжения или же деформации по координатам размещенных датчиков.

Таким образом, данный способ позволяет исключить множество соединительных отводов и помехи от них, сократить число каналов регистрации, уменьшить вес и габариты используемого электронного оборудования при многоточечном тензометрировании.

Предлагаемый оптический переключатель при этом отличается существенным быстродействием (10^{-4} - 10^{-5} сек). Из анализа полученных материалов установлено проявление сильного пьезорезистивного эффекта вдоль тетрагональной оси монокристаллов и усиление его с оптической подсветкой, обусловленное многодолинной эллипсоидальной моделью изоэнергетических поверхностей.

А02. Метод неразрушающего технологического контроля при создании микроболометрических мостовых структур с помощью электронного растрового микроскопа

Абрамов А.А., Дицман С.А., Каган Н.Б., Либерова Г.В., Эскин Ю.М.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Россия, Москва

В ходе изготовления микроболометрических структур мостового типа важное место занимает их неразрушающий контроль на различных стадиях процесса. В сообщении рассмотрены вопросы осуществления такого контроля с помощью растрового электронного микроскопа типа JEOL-35 для микроболометрических структур с шагом 50...80 мкм, минимальным топологическим размером ~ 3 мкм и высотой моста $\sim 2,5$ мкм. Визуальная проверка качества проводимых процессов на разных этапах изготовления велась для структур, содержащих, в частности, пленки полиимида (жертвенный слой), нитрида кремния (несущий и поглощающий слой), оксидов ванадия (термочувствительный слой), титана (электропроводящий слой). Обсуждаются способы подавления вредного влияния поверхностного электростатического заряда, возникающего при наблюдении пленок диэлектрических материалов.

А03. Развитие современных приборов и методов для анализа материалов микрофотоэлектроники

Креопалов В.И., Потапкин О.Д.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Развитие микроэлектроники и материалов для микрофотоэлектроники способствовало новой стадии совершенствования электронного приборостроения. Доказательством этого факта является не только развитие новых принципов приборостроения фирмами, которые специализируются на развитии электронных микроскопов, но и собственные электронно-оптические разработки приборостроения фирм микроэлектронной промышленности.

Одним из важнейших приборов контроля полупроводниковых структур является Просвечивающий Электронный Микроскоп. Важнейшими тенденциями здесь являются коррекция сферической аберрации и кома с помощью блока объективной апланатической линзы, утонение образца непосредственно в камере объектов ПЭМа, развитие новых детекторных систем и принципов детектирования, использование энергетических фильтров.

Несмотря на то, что идеология построения корректора сферической аберрации, включающего гексапольные корректоры, была сформулирована давно, практическая реализация затруднялась длительной и невоспроизводимой процедурой юстировки. Развитие процессоров для быстродействующих компьютеров и CCD камер способствовали алгоритмизации и полной автоматизации процесса юстировки прибора *in situ*. В результате на модифицированном приборе фирмы «Филипс» с ускоряющим напряжением 200 кВ достигнута разрешающая способность 1,4 ангстрема. Примечательно, что известная фирма микроэлектроники IBM имеет собственные разработки микроскопа с коррекцией сферической аберрации (разрешающая способность ПЭМ 1 ангстрем).

Важным этапом в микроэлектронике является стадия выращивания полупроводникового кристалла. Контроль состояния поверхности материала на этой стадии также способствует

созданию полупроводниковых материалов с минимальным числом дефектов. Важными приборами для контроля ступенек роста и перестройки структуры поверхности являются фотоэмиссионный и низковольтный отражательный микроскоп (НОЭМ). Интерес к этим приборам настолько высок, что многие фирмы микроэлектроники имеют здесь свои собственные разработки. НПО «ОРИОН» имеет опыт в конструировании таких приборов. Некоторые из этих проектов имеют целью достигнуть разрешающей способности 20 ангстрем (НОЭМ) за счёт коррекции сферической аберрации. Здесь чрезвычайно перспективно использование ФЭМ с синхротронным источником излучения, который позволяет исследовать очень тонкие поверхностные слои и изменяя длину волны излучения осуществлять неразрушающий контроль химического состава по глубине.

Другим прибором, на который следует обратить внимание, является низковольтный (менее 1 КэВ) (15-35 ангстрем) растровый микроскоп, разрешающая способность которого гораздо лучше традиционного растрового микроскопа с магнитными линзами (35-50 ангстрем). К преимуществам таких приборов относится и тот факт, что информационная глубина выхода вторичных излучений является очень низкой. НПО "ОРИОН" имеет опыт в разработке такого класса приборов. Здесь тоже существует тенденция коррекции сферической и хроматической аберрации объективных линз таких приборов.

Процесс миниатюризации микротранзистора, например, определяется ориентацией решётки кремния вблизи полупроводниковой границы, типом и числом дефектов в приграничной области. Для того чтобы контролировать этот процесс необходимы электронно-оптические приборы с новыми возможностями. Таким образом, развитие приборов и методов контроля материалов микрофотоэлектроники позволит технологам уменьшить число дефектов вблизи границ раздела, производить анализ совершенства полупроводниковой структуры на различных технологических стадиях её изготовления.

А04. Новые высокочувствительные виброустойчивые пировидиконы для диапазона длин волн 8-14 мкм

Березкин Н.А., Меркин С.Ю., Москвина Н.Н., Степанов Р.М.

ОАО «ЦНИИ «Электрон», Санкт-Петербург, Россия

В ЦНИИ «Электрон» разработаны пироэлектрические видиконы нового поколения с высокой чувствительностью и повышенной виброустойчивостью. По чувствительности они на порядок превосходят обычные пировидикон (ЛИ-492, Р-8093, ТН-9851 и т.п.). Пировидикон ЛИ-513 с электромагнитной фокусировкой и отклонением может использоваться с малогабаритной фокусирующе-отклоняющей системой ФОС-27В-20.

Пировидикон «Ковер» с электростатическим отклонением и электромагнитной фокусировкой позволяет уменьшить габариты и массу прибора с системой фокусировки, улучшить равномерность тока сигнала и тока пьедестала.

Приборы имеют следующие основные характеристики :

чувствительность в режиме обтюрации - 25 мкА/Вт

разрешающая способность - 350 тв лин/растр

виброустойчивость – 50 м/с²

Разработанные пировидиконы позволяют создать тепловизионную камеру, которая по своим характеристикам сравнима с камерой на неохлаждаемых матричных приемниках (NETD ≤ 0,1 К, разрешающая способность ≥ 300 тв лин/растр при оптике F/D=1).

А05. Усовершенствованная полупроводниковая ионизационная камера на основе ЭОП при температуре термоэлектрического охладителя

Хайдаров З.Х.

Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан

Фотографические методы регистрации излучений считаются наиболее информативными методами изучения ряда физических процессов. Среди многочисленных методов регистрации инфракрасных излучений перспективным остается полупроводниковая фотографическая система. Для диагностики лазерного излучения, контроля и наблюдения процессов термоядерного синтеза полупроводниковая ионизационная камера (ПИК) является самой совершенной. Возможности ПИКа далеко не исчерпаны.

В настоящей работе предлагается новая конструкция ПИКа, с возможной стыковкой электронно-оптическим преобразователем (ЭП-16) или видеоконтрольным устройством (ВКУ). Для наблюдения инфракрасных изображений в области длин волн $\lambda = 1,1 \div 4,2$ мкм используются фотоприемники из кремния легированного платиной, а для $\lambda = 8 \div 11$ мкм - фотоприемники из кремния легированного серой. Нами были проведены ряд исследований в полупроводниковой ионизационной системе, результаты которых привели к *Нюу-Хау*, так как ПИК остается работоспособной при температуре термоэлектрического охладителя в далекой инфракрасной области спектра.

До этого момента в ПИКе невозможно была эксплуатация полупроводников на основе тройных соединений для более длинноволновых областей спектра, по причине относительно малых удельных сопротивлений фотоприемников. Предварительные исследования показывают, что использование монокристаллического $Hg_{1-x}Cd_xTe$ в ПИКе с *Нюу-Хау*, при ином расположении фотоприемников чем ранее, охватывает камерой инфракрасную область $\lambda = 0,8 \div 30$ мкм. Это позволяет создать приборы ночного видения в качественно новом уровне.

А06. Пятикаскадный термоэлектрический охладитель

Тагиев М.М., Абдинова Г.Д.

Институт физики Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджан

Разработан, изготовлен и исследован пятикаскадный термоэлектрический охладитель (ТЭО) на уровень температуры $\sim 175 \pm 5$ К.

Термоэлементы изготовлены из экструдированных образцов твердых растворов на основе теллуридов висмута и систем Bi-Sb. При этом в первом, втором и третьем каскадах использованы термоэлементы, изготовленные из экструдированного материала n-Bi₂Te_{2.7}Se_{0.3} и p-Bi_{0.5}Sb_{1.5}Te₃, а в четвертом и пятом каскадах в качестве n-ветвей были использованы n-Bi₈₅Sb₁₅ с примесью 0,005 ат.% Pb и n-Bi₈₅Sb₁₅ с 0,0005 ат.% Te, соответственно.

Потребляемая мощность разработанного ТЭО ~ 12 Вт, холодопроизводительность ≤ 30 мВт; ток питания $\sim 1,8-2,0$ А, время выхода на режим $\tau \approx 140$ с.

Изготовленный охладитель успешно прошел все виды механических и климатических испытаний, предусмотренные для приборов соответствующего класса.

Разработанный охладитель отличается высокой надежностью параметров и пригоден для эксплуатации в составе электронных приборов.

А07. Блок электронной обработки сигналов многорядных матричных фотоприемных устройств

Соляков В.Н., Медведев А.С., Катаев О.В.* , Петручук И.В.* , Трунов Г.Л.*

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

**НИИ МВС ТРТУ, Таганрог, Россия*

В работе представлены результаты разработки и исследований параметров блока электронной обработки сигналов (БЭО) многорядных матричных фотоприемных устройств (МФПУ). БЭО предназначен для работы с МФПУ, разрабатываемыми ФГУП «НПО «Орион». БЭО осуществляет функции преобразования аналоговых сигналов МФПУ в цифровую форму, выполнения цифровой обработки полученной информации и отображения ее на экране черно-белого монитора. Формат окончательно формируемого изображения соответствует полному телевизионному стандарту (576 строк, 768 столбцов).

В структуру БЭО входят следующие основные узлы: АЦП, цифровые линии задержки, сумматоры, модули замены дефектных элементов, модули коррекции неоднородности сигналов МФПУ, цифровой тракт формирования видеосигнала, модуль видеопамати, модуль формирования телевизионного видеосигнала, устройство управления и синхронизации, интерфейс связи с управляющей ПЭВМ.

Устройство управления и синхронизации (УУС) формирует последовательность управляющих импульсов для МФПУ, обеспечивает синхронность ввода сигналов с оптико-механической разверткой изображения, выдает сигналы управления опорными источниками излучения, используемыми для коррекции неоднородности чувствительности каналов МФПУ. Используя интерфейс связи с управляющей ПЭМ можно изменять алгоритмы работы БЭО и проводить передачу оцифрованных сигналов МФПУ в оперативную память ПЭВМ для обработки и вычисления фотоэлектрических параметров МФПУ. При работе в составе оптико-механической сканирующей системы каждая линейка фоточувствительных элементов (ФЧЭ) регистрирует освещенность в вертикальном столбце изображения и преобразует ее в напряжение выходного сигнала. Выходные сигналы МФПУ от фоточувствительных элементов (ФЧЭ) в соседних линейках суммируются с задержкой для реализации режима ВЗН. БЭО рассчитан на работу с чересстрочным оптико-механическим сканированием, в видеопамати поочередно вводятся четные и нечетные строки изображения. Предусмотрена возможность ввода четного и нечетного полукадров при прямом и обратном ходе сканирования, а также двух полукадров при одинаковом направлении сканирования.

Сигналы отдельных ФЧЭ имеют значительный разброс и нелинейную зависимость от температуры. Поэтому необходимой функцией БЭО является корректировка неоднородности изображения, формируемого на экране монитора. Для решения этой проблемы используется алгоритм двухточечной коррекции неоднородности изображения. Для оптимизации коррекции при различных температурах наблюдаемой сцены предусмотрена возможность изменения температуры опорных источников излучения и подстройки диапазона входных сигналов АЦП. Для реализации этого разработаны и реализованы алгоритмы формирования сигналов подстройки температуры опорных источников и смещения диапазона входных напряжений АЦП. Для улучшения качества тепловизионного изображения при наличии в МФПУ отдельных дефектных ФЧЭ предложен и реализован алгоритм процедуры замены сигналов дефектного ФЧЭ, использующий результаты калибровки по сигналам от опорных источников излучения.

А08. Методика и аппаратная реализация исследования некоторых электрофизических и фотоэлектрических параметров МФПУ на основе InSb

Чишко В.Ф., Касаткин И.Л., Лопухин А.А., Пасеков В.Ф.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Рассмотрена методика исследования электрофизических и фотоэлектрических параметров матричных фотоприемных устройств (МФПУ) на основе антимонида индия.

Разработан экспериментальный автоматизированный стенд на основе персонального компьютера для исследования характеристик матричных фотоприемных устройств для спектрального диапазона 3-5 мкм на основе антимонида индия.

Показано, что при использовании мультиплексоров возможно корректное определение некоторых электрофизических и фотоэлектрических параметров матричных фотодиодов.

Приведены результаты исследования МФПУ по характерному распределению темновых токов, чувствительности, шумов, пороговых параметров по матрицам фотодиодов в зависимости от напряжения смещения. Результаты измерений приведены в виде графиков сетевой поверхности и гистограмм.

А09. Тестирование мультиплексоров и фоточувствительных сборок матричных фотоприемников в процессе изготовления

Чишко В.Ф., Касаткин И.Л., Лопухин А.А., Пасеков В.Ф.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Рассмотрены методы тестирования мультиплексоров и фоточувствительных сборок матричных фотоприемников в процессе изготовления матричных фотоприемных устройств на диапазон 3-5 мкм из антимонида индия форматом 128x128 элементов.

Специально разработанное зондовое устройство позволяет тестировать мультиплексоры и фоточувствительные сборки как при комнатной температуре, так и при температуре жидкого азота.

Рассмотрены результаты тестирования после конкретных технологических операций в процессе изготовления фоточувствительных сборок форматом 128x128.

Приведены изображения, полученные при тестировании фоточувствительных сборок матричных фотоприемников.

Отмечены характерные дефекты и обоснована их связь с технологическими процессами изготовления матричных фотоприемников на основе антимонида индия.

А10. Режим «мгновенной фотографии» в МФПУ на основе InSb формата 128x128 элементов

Чишко В.Ф., Дирочка А.И., Касаткин И.Л., Лопухин А.А.,
Пасеков В.Ф., Эннс В.Н.*

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

**ОАО «Завод «Ангстрем», Зеленоград, Россия*

Рассмотрена возможность реализации режима «мгновенной фотографии» в МФПУ на основе антимонида индия формата 128x128 элементов.

Обосновано использование такого режима в мультиплексорах, предназначенных для считывания сигналов с матрицы фотодиодов, и приведена конкретная схема реализации.

Обсуждаются вопросы реализации схемы ячейки мультиплексора с двумя емкостями для получения предельных характеристик МФПУ.

Приведены результаты тестирования мультиплексоров, предназначенных для МФПУ, реализующего режим «мгновенной фотографии».

A11. Специфика требований к кремниевым мультиплексорам, предназначенным для обработки сигналов с МФПУ на основе InSb

Чишко В.Ф., Касаткин И.Л., Лопухин А.А., Пасекон В.Ф., Рябова А.А.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Рассмотрены требования к кремниевым мультиплексорам (МП), предназначенным для обработки сигналов матричных фотоприемных устройств на область спектра 3-5 мкм на основе антимонида индия форматом до 256x256.

Проанализировано несколько вариантов схем ячеек считывания, учитывающих требования по накоплению в ячейке, тестированию мультиплексоров, организации режима «snap-shot».

Приведены рекомендации и требования для топологии кремниевых мультиплексоров, вытекающие из технологии создания МФПУ с индиевыми столбиками для механической и электрической стыковки с матрицей фотодиодов.

Проведен анализ выхода годных МП на отдельных технологических операциях и выявлены специфические дефекты, возникающие в мультиплексорах на примере кремниевых мультиплексоров форматом 128x128.

A12. Механическая прочность ветвей термоэлектрических модулей Пельтье при их односторонней фиксации

Ащеулов А.А., Добровольский Ю.Г., Романюк И.С.*

Институт термоэлектричества, Черновцы, Украина

**КТБ «Фотон-Кварц», Черновцы, Украина*

Рассмотрены прочностные характеристики ветвей термоэлектрических модулей Пельтье (ТЕМ) в статическом режиме работы. Расчет механической прочности проводился на основе уравнения совместности деформаций для статически неопределенных систем, которыми является каждый ТЕМ. Оценка механических напряжений, возникающие в ветвях ТЕМ под действием градиента температуры, проведена при трех вариантах соединения ветвей и толщины пропоя: а) длина ветви и толщина слоев пропоя на торцам ветвей соответствует номинальным значениям; б) длина ветви находится на верхней границе допуска, а слой пропоя - на нижней границе; в) длина ветви находится на нижней границе допуска, а слой пропоя - на верхней границе.

В реальных условиях эксплуатации ТЕМ используются два случая - одно- и двухсторонняя фиксация рабочих граней ТЕМ. Преобладающим является случай односторонней фиксации ТЕМ, а именно его горячей грани. Холодная грань обычно жестко не фиксируется.

В пределах закона Гука и выражений для температурных деформаций, получены выражения, определены нормальные напряжения в ветвях ТЕМ. Величины эксплуатационных механических напряжений в ТЕМ с односторонней фиксацией в случаях разброса геометрических размеров ветвей в пределах допусков (Σ_a , Σ_b , Σ_c), так и разброса в пределах допусков вместе с минимальным и максимальным значениями модуля Юнга (Σ_T^{\min} , Σ_T^{\max}) приведены в таблицах 1 и 2 соответственно.

Таблица 1.

$\Delta T, K$	30	40	26	$\Delta T, K$	30	40	26
Σ_a	5,7	6,26	4,98	Σ_T^{\min}	1,2	1,58	0,4
Σ_B	2,13	9,5	6,18	Σ_T^{\max}	11,32	15,12	9,8
Σ_c	2,43	3,24	1,2				

Таблица 2.

Анализ полученных данных показывает, что величина эксплуатационных напряжений ветвей ТЕМ с односторонней фиксацией в 2,5-3 раза меньше, чем в случае ТЕМ с двухсторонней фиксацией рабочих граней при одинаковых условиях.

Результаты расчетов позволяют на этапе проектирования определить механическую прочность ТЕМ в зависимости от условий сборки и эксплуатации. Учет этих факторов позволяет избежать появления суммарных механических напряжений, которые могут стать причиной нарушений механической целостности ТЕМ, вплоть до их разрушения.

А13. 128 канальная микросхема первичного преобразования с цифровой коррекцией передаточной функции в каждом канале

Бородин Д.В., Бочков В.Д.*, Осипов Ю.В., Храпунов М.Л.*

ООО «РТК Импекс», Москва, Россия

**ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия*

Микросхемы первичного преобразования сигнала с линеек чувствительных элементов (ЧЭ) обычно осуществляют параллельное интегрирование фототока с последующим последовательным выводом сигнала. Для увеличения эффективной зарядовой ёмкости, из входного тока желательно вычесть до интегрирования его темновую (фоновую) составляющую. Однако в случае большого разброса ЧЭ по чувствительности и темновому току, например в случае фоторезисторов на основе халькогенидов свинца, вычитание некоторого, одинакового для всех каналов, тока, оказывается малоэффективным. Возможно индивидуальное аналоговое запоминание тока в каждом канале с последующим вычитанием, однако потребуется достаточно частое повторение процедуры запоминания или глубокое охлаждение. Кроме того, при значительном разбросе по чувствительности, выравнивание выходного сигнала происходит лишь вблизи одной интенсивности засветки.

Разработана 128 канальная КМОП микросхема, позволяющая индивидуально, в каждом канале, цифровым образом с шести разрядной точностью, задавать ток, вычитаемый из входного, а также в пределах 15% корректировать коэффициент преобразования.

Возможен как автоматический выбор оптимального кода выравнивания общей передаточной функции приемного устройства самой микросхемой по двум интенсивностям засветки с последующим его выводом для контроля, так и внешняя запись кода потребителем.

Для проверки микросхемы и определения поканального разброса её собственной передаточной функции введён узел, обеспечивающий подачу на вход каждого канала идентичного, не зависящего от технологической неоднородности, тока.

После окончания времени интегрирования проводится двойная коррелированная выборка и последовательный вывод сигнала на один дифференциальный выход.

Приведены результаты исследований.

A14. Матричный мультиплексор формата 256x256 с кадровым, строчным или произвольным временем накопления для фотоприемных устройств

Бородин Д.В., Осипов Ю.В.

ООО «РТК Импекс», Москва, Россия

На основе разработанных и опробованных ранее на мультиплексоре формата 128x128 схемотехнических и топологических решениях, создан матричный КМОП мультиплексор формата 256x256. Он может быть использован в гибридных, собранных методом flip-chip сборки на индиевых столбах, фотоприемных устройствах на основе рентгеночувствительных фотоматриц, матриц на основе квантовых ям, антимонида индия и др.

Как и ранее, в данной схеме сохранены функции: “окна” (опрос меньшей произвольной области матрицы за пропорционально меньшее время); вычитания до интегрирования в каждой ячейке из втекающего в неё фототока некоторой темновой (фоновой) составляющей, общей для всех ячеек и задаваемой внешним образом; двойная коррелированная выборка.

Для проверки микросхем используется фототок, генерируемый видимым светом в расположенном на входе в каждой ячейке кремниевом фотодиоде, имитирующем фототок от матрицы чувствительных элементов. Кроме того, в схему каждой ячейки введен транзистор, позволяющий подать на её вход потенциал питания микросхемы или втекающий ток.

В зависимости от установленного режима работы микросхемы, могут быть задействованы 4 или 8 дифференциальных аналоговых выходов с максимальной частотой вывода информации более 10 МГц по каждому из них.

Время интегрирования фототока может быть установлено равным времени кадра (окна) или времени строки и определяться тактовой частотой. Вывод информации и интегрирование фототока (в других ячейках) проводится одновременно. В случае произвольного времени накопления (определяемого длительностью внешнего импульса), моменты начала и окончания интегрирования во всех ячейках матрицы совпадают, а вывод информации происходит после завершения времени интегрирования.

В таблице представлены основные параметры микросхемы.

Формат	256x256
Размер ячейки, мкм ²	35x35
Зарядовая ёмкость, е	Более 2*10 ⁷
Количество диф. выходов	4 или 8
Время интегрирования	1)время кадра (окна) 2)время строки 3)произвольное
Частота вывода сигнала, МГц	Более 10
Максимальная кадровая частота при кадре 256x256, 4 выхода, кГц	0,5
Диапазон изменения выходного сигнала, В	Более 2
Рассеиваемая мощность при кадре 256x256, мВт	50

A15. Робастная фильтрация импульсных помех на изображениях в системах реального времени

Анисимов О.В., Шунто В.Н., Рудаков В.И.

Институт микроэлектроники и информатики РАН, Ярославль, Россия

При решении задачи обработки изображений, представленных в виде массива данных, проблема устранения аномальных значений имеет чрезвычайно важное значение. Это может привести к оценкам, не согласующимся с реальными данными.

Существующие методы обработки изображений позволяют устранить импульсные и мультипликативные помехи. Исключение резко выделяющихся аномальных значений в изображении из дальнейшей обработки можно производить с использованием робастных алгоритмов обработки. С мультипликативными помехами достаточно хорошо справляются медианные фильтры. Но данные алгоритмы обработки требуют выполнения ряда условий, наиболее значимыми из которых являются необходимость получения исходных данных для обработки анализируя значения по всему полю кадра и большой временной интервал обработки изображения.

Работа в реальном масштабе времени требует нахождения оптимального соотношения между временем обработки каждого кадра изображения и качественными показателями устранения аномальных помех на данном кадре.

В предлагаемой работе рассматривается комплексный подход к решению задачи фильтрации импульсных помех на изображениях, включающий в себя:

- непрерывную оценку параметров изображения,
- учет критериев оптимальности,
- методов отбраковки аномальных значений.

При фильтрации изображений используются робастные алгоритмы обработки данных, оставаясь в рамках рекуррентных алгоритмы построения фильтров.

A16. Перспективная система обработки сигналов многорядного матричного фотоприемного устройства ИК – диапазона на основе сигнальных контроллеров серии «Мультикор»

Соляков В.Н., Медведев А.С., Жегалов С.И., Хомутова М.П., Александров Ю.Н.*,
Петричкович Я.Я.*, Солохина Т.В.*, Глушков А.В.*, Крымов А.А.*

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

**ГУП НПЦ «ЭЛВИС», Зеленоград, Россия*

Представлены результаты разработки перспективной системы обработки сигналов многорядных матричных фотоприемных устройств (МФПУ) ИК диапазона спектра, реализующей режим временной задержки и накопления сигналов (ВЗН). Обработка сигналов ведется с использованием цифровых сигнальных контроллеров серии «Мультикор», разработанных ГУП НПЦ «ЭЛВИС», г. Зеленоград.

Показано, что для МФПУ формата 4x288 полностью цифровая система обработки, работающая в реальном времени, может быть построена на двух сигнальных контроллерах МС-24 серии «Мультикор». Формируемые видеокadres содержат 768x576 пикселей и следуют с частотой 25 Гц. Все процедуры обработки реализуются программно. Для реализации режима ВЗН с суммированием сигналов 4-х фоточувствительных элементов (ФЧЭ) входной поток от МФПУ в схему обработки имеет исключительно высокую интенсивность – 128 МБайт/с (данные 16-разрядные, параллельный ввод сигналов 8-ми линеек ФЧЭ с частотой 8 МГц), что и определяет сложность системы обработки.

Система включает три функциональных подсистемы: ввода, обработки и вывода. Ввод обеспечивается 8-канальным 14-ти разрядным АЦП с частотой оцифровки 8МГц, буфером FIFO –(256 слов x 64 бита), системой синхронизации ввода с оптико-механической системой

сканирования, системой переключения режимов ввода данных/калибровки, а также средствами DMA-процессора МС-24.

Входной DMA-поток 16 МГц x 64 бита использует 20% ресурсов DMA-обменов МС-24, еще 10% - обмен между контроллерами; остальные 70% доступны для организации внутренних DMA-обменов для обслуживания обработки.

Первичная и вторичная обработки выполняются на двух МС-24, объединенных в 2-процессорный конвейер по Link-магистральной. Первичная обработка включает суммирование сигналов отдельных ФЧЭ с задержкой для реализации режима ВЗН, компенсацию разброса уровней сигналов и чувствительностей отдельных ФЧЭ, исключение неисправных элементов, а также обработку калибровочных данных и адаптацию коэффициентов коррекции под ее результаты. Вторичная обработка может быть как поэлементной (гистограммное контрастирование, временное сглаживание, регулировка яркости и контраста, пересчет в псевдоцвета и др.), так и покадровой, с использованием 1D/2D-процедур. Основные форматы обработки: 16/8 бит, целый и дробный, с аппаратной поддержкой блочной плавающей точки, а также 32-битные с целой и плавающей точкой (IEEE-754).

Суммарный пиковый вычислительный ресурс системы составляет 3200 Моп/с по 16-битным форматам, 7200 Моп/с по 8-битным и 1200 Мфлор/с. В пересчете на элемент изображения он дает до 250, 500 и 100 операций/пиксел, соответственно, и обеспечит выполнение многих процедур обработки в реальном времени.

Подсистема вывода обеспечивает буферизацию данных, цифро-аналоговое преобразование, формирование видео сигналов для монитора, а также общую синхронизацию. Пропускная способность линк-порта МС-24 вполне достаточна для отображения в псевдоцвете. Эта же подсистема выполняет прием команд оператора и отображение служебной информации одновременно с тепловизионным изображением.

А17. Электронно-лучевые процессоры сверхбыстрой обработки информации, получаемой с фотоприёмников

Васичев Б.Н., Фатьянова Г.И.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Работа посвящена решению чрезвычайно актуальной проблемы - разработке физико-математических основ и конструктивному исполнению вакуумных сверхминиатюрных электронно-лучевых устройств нового поколения для быстрой обработки информации, получаемой с фотоприёмников. Результаты теоретических и экспериментальных исследований микровакуумных ячеек показали, что существуют оптимальные геометрические показатели, при которых микроячейки обладают наименьшими абберациями. Разработан оптимальный алгоритм формирования электронно-лучевых голограмм с заданными свойствами с помощью управляемых микровакуумных электронно-лучевых ячеек. Методом численного эксперимента исследовались свойства низковольтных (от 100 до 1000 В) электронно-оптических систем с магнитными линзами в миниатюрном исполнении с микрометровыми межэлектродными размерами.

Разработаны элементы и структура построения управляемых микровакуумных электронно-лучевых ячеек - процессоров и электронно-оптических транспарантов на их основе для быстрого ввода информации.

Эти устройства могут использоваться так же:

- как быстродействующие вычислительные среды для формирования из них систем сверх быстрой обработки электрических сигналов;
- для формирования систем, обеспечивающих экспонирование топологических слоёв микроструктур фотоприемных матриц методом многолучевой низковольтной литографии;
- для формирования наноструктур с помощью фурье-голограмм.

Возможны и другие применения - это датчики для измерения неэлектрических величин, переключатели, ЭОПы и очки для ночного видения и распознавания образов, прицелы, карманные микроскопы, ионизация зон акупунктурных точек и т.д.

A18. О новых режимах работы фотоприемников

Карпов В.В., Савченко М.А.

ОАО «Московский завод «Сапфир», Москва, Россия

Как известно, для понижения уровня шумов фоточувствительных элементов фотоприемников в диапазоне 3-14 мм ФЧЭ охлаждаются в температурном интервале $30\text{K} \leq T \leq 80\text{K}$.

Эффективный шум при произвольной ангармоничности определяется квантовыми флуктуациями, которые существенны в области низких температур. При увеличении эффективной температуры шумов* за счет внешних помех может оказаться, что эффективные температуры сигнала и шума совпадают. Это эквивалентно тому, что в сигнале происходит фазовый переход, который может быть как переходом второго рода (амплитуда сигнала разрывна в точке фазового перехода) так и первого рода (амплитуда меняется скачком). Отстройка фотоприемника от помех связана с увеличением энергии сигнала, т.е. его амплитуды. При скачкообразном фазовом переходе возможны связанные фононные состояния – солитоны [1]. Таким образом, сигнал может передаваться в виде солитонов, которые устойчивы к воздействию высокочастотного электромагнитного поля, т.е. фотоприемник переходит в более устойчивый режим работы с некоторым повышением удельной обнаружительной способности.

* Увеличение шумов может быть вызвано колебаниями фоточувствительного элемента относительно входного окна или колебаниями монтажных проводов и корпуса фотоприемника.

1. Долганин Ю.Н., Карпов В.В., Савченко М.А. и др Тезисы докладов на международной конференции по оптико-электронным приборам. М, стр.111, 2003 г.

A19. Прибор для обнаружения движущегося источника теплового излучения

Рагимов С.С., Алиев С.А., Араслы Д.Г.

Институт физики Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджан

Термоэлектрические приемники теплового излучения являются одной из разновидностей полупроводниковых приемников излучения и широко применяются в практике. Способность работать в широком диапазоне ИК-излучения делают такие приемники более актуальными. С этой целью предлагается приемник теплового излучения, работающий на основе термоэлектрического эффекта Зеебека и предназначенный для обнаруживания и прослеживания источника теплового излучения. Предлагаемый приемник излучения состоит из термоэлектрических элементов с размерами $0,8 \times 0,8 \times 1\text{ мм}^3$, собранных из полупроводниковых p - и n - ветвей (p -ветвь- на $\text{Bi}_{0,5}\text{Sb}_{1,5}\text{Te}_3$ и n -ветвь на $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$). Эти элементы размещены на диэлектрической теплопроводящей пластине, которая вмонтирована на медный корпус. Это делается для увеличения теплоотвода и, соответственно, получаемого на выходе сигнала. Особое внимание уделено электрическому соединению этих элементов. Для того, чтобы свести к минимуму общий фон и получить чистый сигнал от элемента, который находится под действием излучения (активный элемент), соединения элементов выполнены в следующем порядке: p и n тип элементы чередуются и электрически соединены между собой холодный спай с горячим спаем (т.е. ++; --). Такое соединение компенсирует ЭДС всех элементов, а в

регистрирующее устройство поступает сигнал только от активного элемента. Следует отметить, что лучи, проходя через линзу, попадают на активный элемент. В силу того, что элементы чередуются в зависимости от движения источника излучения сигнал на выходе от элемента к элементу изменяет полярность, проходя через нулевую точку и фиксирует перемещение источника излучения.

Данный прибор может быть использован в промышленности и в различных электронных системах в качестве электронного сторожа, в технике ИК-излучения, для определения местонахождения и направления движения источника теплового излучения.

А20. Инфракрасные фотоприёмники генераторного типа

Ирматов С.Х., Найманбоев Р., Хатамов С.О.

Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан

В работе рассмотрены вопросы возникновения аномально высокого фото напряжения в сложных узкозонных полупроводниковых пленках.

Фотоприёмники генераторного типа (ФГТ) являются электрическим генератором со световым питанием, которые при освещении приводят к генерации аномально большого фотонапряжения. На базе ФГТ могут быть созданы оптоэлектронные устройства с новыми функциональными и эксплуатационными свойствами. На основе твердых растворов (CdHg)Te можно изготавливать фотоприёмники генераторного типа (ФГТ) на различные диапазоны спектра (от 1,5 до 20 мкм). Особенно широкое применение могут найти фотоприёмники на диапазоне спектра 8-14 мкм, которые, в отличие от обычных фотоприёмников, тонкопленочные ФГТ могут обеспечивать высокую чувствительность при 200 К с термоэлектрическим охлаждением.

Поликристаллические слои (CdHg)Te чувствительные в ИК-области спектра получались напылением высокоомного HgTe и CdTe из отдельного тигеля в вакууме $\sim 10^{-5}$ мм рт. ст. на различные подложки (стекло, кварц, слюда, сапфир и керамика) нагретые до 200-250°C и расположенные под углом 40° по направлению молекулярного пучка. Толщина поликристаллических слоев находилась в пределах 1,5-2 мкм, а сопротивление составляло 10^8 - 10^{10} Ом.

Изготовленные поликристаллические слои (CdHg)Te генерировали аномально большие фотонапряжения ~ 400 в/см. Температурные измерения показывают, что с понижением температуры фотонапряжения ФГТ резко возрастают. Исследования угловых и люкс-вольтовых зависимостей фотонапряжения ФГТ показали, что изучаемые слои (CdHg)Te являются батареями супермногослойных структур *n-p-n* – переходов и механизм возникновения высоковольтного фотонапряжения имеющие в них фотовольтаическую природу. Исследованиями на большом количестве образцов выявлено, что избыток кадмия в слоях (CdHg)Te может существенно влиять на величину фото напряжения, при этом фотонапряжения возрастают, РС слоев уменьшаются. Избыток кадмия (CdHg)Te слоях достигался напылением его из отдельного тигеля. Интересно отметить, что при освещении фоточувствительных тонких слоев (CdHg)Te ФГТ когерентным излучением, структура переходит на фотозлектретное состояния без внешнего поляризирующего электрического поля. ФГТ на основе тонких слоев (CdHg)Te очень чувствительны к магнитным полям. Поэтому целесообразно провести на этих слоях (CdHg)Te фотомагнитные измерения на когерентных излучениях в ИК-области спектра. Нами также подготовлены соединения $Cd_xHg_{1-x}Te$ синтезированного сплавлением компонентов в соответствии со стехиометрией в эвакуированных ($\sim 10^{-4}$ мм рт.ст.) и запаянных кварцевых ампулах. В качестве исходных компонентов использованы особо чистые элементы кадмия, теллура и ртути. Из подготовленного соединения $Cd_xHg_{1-x}Te$ термическим испарением в вакууме получены тонкие слои. Свежеполученные слои $Cd_xHg_{1-x}Te$ не были чувствительны в ИК-области спектра. Однако, после специальной, предварительной термической обработки слои стали

чувствовать ИК-излучения. При том, они под действием ИК-излучения генерировали аномально большие фотонапряжения более высоких температурах.

A21. Исследование новой конструкции датчика-источника работающего на основе явления аномального фотонапряжения

Касымахунова А.М., Жабборов Т.К., Халилов Д.А.

Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан

Известно, световое излучение, поступающее на фотоприёмную поверхность из полупроводниковых материалов, не полностью преобразуется в электрическую. Поскольку основная часть энергии излучения превращается в тепло, одним из авторов настоящей работы, доказана эффективность комбинирования их в единую конструкцию с термоэлектрическими преобразователями. Такой прибор может быть успешно применен в качестве автономного источника электрической энергии постоянного тока для потребителей малой и средней мощности.

В настоящем приводятся результаты исследования датчика-источника разработанного по аналогичной технологии в комплекте с термопреобразователем. На фотоприёмной поверхности прибора использованы фотопленки из теллурида кадмия. Принцип работы ее основан на возникновении аномального фотонапряжения при освещении ее поверхности. Тепловая энергия, полученная в результате длительного стационарного освещения дополнительно преобразуется в электрическую на пленочных термоэлементах. Они вмонтированы в тыльную часть фотопленки через электроизолирующую, теплопроводящую пластинку. Фотопленка получена на стеклянной подложке. Оба преобразователя работают на отдельных электрических цепях. Причем верхняя часть прибора выполняет функцию датчика, а нижняя источника электроэнергии.

В основе теоретических исследований оптических и тепловых параметров прибора заложен анализ спектральных характеристик оптического излучения в результате взаимодействия с веществом и анализ явлений переноса с помощью термодинамики необратимых процессов.

Для приведения длин волн, измеренных при стандартной атмосфере к длинам волн в пустоте, использовалось дисперсионное уравнение для стандартной атмосферы в интервале длин волн 2000 ÷ 13500 А.

$$(n_j - 1)10^8 = 6432,8 + \frac{294910}{(146 - \sigma^2)} + \frac{25540}{(146 - \sigma^4)}$$

здесь $(n_j - 1)$ представляет собой преломляемость стандартной атмосферы; σ - волновое число в пустоте, т.е. число волн в пустоте на протяжении 1 мк или $1/\lambda_{\text{ВАК}}$, где значение $\lambda_{\text{ВАК}}$ выражено в микронах; отсюда $\lambda_{\text{ВАК}} = n \lambda$.

Проведенные исследования с использованием этого выражения, прежде всего, позволяют установить главные общие свойства явлений переноса.

Одним из преимуществ разработанной конструкции является то, что к фотоэлектрической части не предъявляются требования связанные с необходимостью получения высоких напряжений на выходе верхней пленки (т.е. аномальных фотонапряжений). Термоэлектрическая часть прибора, вырабатывая электроэнергию, позволяет работать автономно в местах труднодоступных для человека. Таким образом, рекомендуемый датчик, источник имеет достаточно весомую жизненную перспективу.

A22. Высокоэффективные фототермоэлектрические преобразователи

Касымахунова А.М., Полвонов Ф.Ю.

Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан

Разработанные и исследованные фототермоэлектрические преобразователи (ФТП), в настоящее время, являются одним из перспективных конструкций прибора. Однако, физические аспекты, связанные с различной конфигурацией преобразователя, все еще являются предметом исследований.

В рекомендуемой конструкции ФТП использованы фототермоэлектрические преобразователи с одно и двухкаскадными фотоэлектрическими преобразователями (ФЭП). Эти два вида ФТП смонтированы на общем холодильнике. В целом они представляют ФТП спаренную конструкцию. Свет от источника излучения попадает на концентрирующую систему, состоящую из линз Френеля, отражаясь на поверхности ФТП.

Полученные зависимости к.п.д. ФЭП, от значения интегральной мощности падающей на поверхность прибора показали, что с ростом концентрации падающего излучения первоначальная тенденция роста к.п.д. преобразователя уменьшается. А при более высоких плотностях наблюдается насыщение. Сопоставления измерений с опубликованными результатами показывают, что увеличение температуры ФЭП также приводит к ухудшению параметров фотоэлектрического образца.

Во всех исследованиях в образцах из кремния максимальная мощность (W^{MAX}), полученная при оптимальной нагрузке, сильно зависит от температуры. Температурная зависимость максимальной мощности в исследованном интервале температур $-100 \div -20^\circ\text{C}$ аппроксимируется прямой линией наклоном $0,33 \pm 0,01\%/^\circ\text{C}$. Абсолютная величина температурного коэффициента мощности составляет $\delta_w = -0,39\%/^\circ\text{C}$ при температурах $-20 \div +60^\circ\text{C}$. Его значение при более низких температурах ($-140 \div -60^\circ\text{C}$) заметно растёт. На этом участке характеристики температурного коэффициента положительны и равняется $\delta_w = 0,56 \pm 0,01\%/^\circ\text{C}$, и к.п.д. фотопреобразователя растёт. В температурном интервале $-60 \div 0^\circ\text{C}$ максимальная мощность не только не возрастает, но и, по-видимому, из-за существенного уменьшения оптимального напряжения падает. В этом интервале оптимальный ток практически постоянен. Мощность фотопреобразователей падает со значением $\delta_w = -0,23 \pm 0,01\%/^\circ\text{C}$ и его к.п.д. уменьшается.

Полученные результаты гетерофотопреобразователей (ГФЭП) согласуются с данными ранее опубликованных работ. Форма графика зависимости максимальной мощности от температуры нелинейная. Исследования зависимости характеристик ГФЭП от уровня интенсивности света показали, что с ростом плотности падающего излучения от $0,5$ до $3,0 \text{ Вт/см}^2$ коэффициент заполнения вольтамперной характеристики уменьшается.

Что касается общей энергетической высокоэффективности прибора, то можно отметить следующее: увеличение значения интегральной мощности на поверхности ФЭП приводит к увеличению коэффициента полезного действия прибора, вплоть до температур $100 \div 120^\circ\text{C}$. Дальнейшее увеличение интенсивности света приводит к ухудшению к.п.д. ФЭП. Однако, этот спад к.п.д. ФЭП утилизируется ростом к.п.д. термопреобразователя. В области температур $110 \div 130^\circ\text{C}$ к.п.д. прибора на стороне ФТП с двухкаскадным ФЭП имеет пологий характер. Дальнейшее увеличение температуры соответствует снижению этого параметра. Обратное наблюдается при изучении зависимости $\eta = f(T)$ на противоположной стороне ФТП. Здесь, в отличие от ФТП с двухкаскадным ФЭП, из-за резкого снижения $\eta_{фэп}$, которую можно объяснить спектральным «ухудшением» светового излучения уменьшается общий к.п.д. ФТП с однокаскадным ФЭП. Несмотря на это, данный параметр выше по сравнению с $\eta_{фэп}$, находящегося при равных условиях.

A23. Тепловой приемник излучения на основе легированной поликристаллической пленки CdSe

Каримов М.А., Юлдашев Н.Х.

Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан

Обнаружено резкое уменьшение темновой электропроводности σ_d , т.е. температурное гашение темновой проводимости (ТГТП) в специально термообработанных высокоомных ($R > 10^9$ Ом) пленках CdSe(Cd:Cu:Cl) в интервале температур 150÷300 К. В этих пленках впервые наблюдалась отрицательная примесная фотопроводимость (инфракрасное гашение темновой проводимости - ИКГТП). Оказалось, что многократные циклы нагрев-охлаждение исследованных пленок, произведенные в темноте, в диапазоне $T = 77 \div 473$ К, в течение $t \approx 30$ мин, как в вакууме $10^{-2} \div 10^{-5}$ мм. рт. ст., так и на воздухе, не влияют на зависимость $\sigma_d(T)$ и на спектр ИКГТП $\sigma_d(\lambda)$. Измерение σ_d через год не обнаружило какого-нибудь существенного изменения в спектрах $\sigma_d(T)$ и $\sigma_d(\lambda)$. Последнее свидетельствует о равновесности измеряемой величины σ_d и воспроизводимости наблюдаемых эффектов.

Поликристаллические пленки CdSe размерами 5×25 мм² и толщиной $5 \div 10$ мкм, получались со скоростью роста $80 \div 100$ Å /с при испарении порошка CdSe в квазизамкнутом вакууме $10^{-4} \div 10^{-5}$ мм.рт.ст. на нагретую до $523 \div 573$ К стеклянную подложку. Они термообработывались тремя способами, а именно – отжигались в вакууме 10^{-4} мм. рт.ст. при температуре 750 К в течение ~ 90 мин и на воздухе в присутствии паров CdCl₂ или CuCl₂ при температуре $750 \div 800$ К в течение 6÷8 мин. Изготовленные таким образом пленки оказались сильно компенсированными ($\sigma_d \approx 10^{-5} \div 10^{-6}$ Ом⁻¹·м⁻¹ при 300 К) и обладали высокой фоточувствительностью (соответствующая $\sigma_{ph} \sim 10^{-1} \div 10^{-2}$ Ом⁻¹·м⁻¹ при интенсивности естественного света $\sim 10^2$ Лк). Холловские измерения проводились в переменном электрическом и магнитном полях. Спектры ИКГТП снимались на спектрометре типа ИКС-14.

Предложена модель бикристалла, объясняющая эффекты ТГТП и ИКГТП. В равновесном состоянии при эффективном действии поверхностных акцепторных уровней рекомбинационные г-центры в ОПЗ оказываются частично заполненными, а s-центры, связанные с двухкратно-заряженной вакансией кадмия V_{Cd}^{11} , опустошаются и превращаются в однозарядное состояние V_{Cd}^1 (г-центр), что приводит к увеличению концентрации г-центров в ОПЗ. Поглощение фононов при ТГТП или квантов ИК излучения при ИКГТП в ОПЗ может вызывать переходы электронов из валентной зоны на пустые уровни г-центров. Образованная при этом свободная дырка будет участвовать в процессах рекомбинации со свободными электронами зоны проводимости через г- и s-центры либо через поверхностные уровни, в результате чего средняя концентрация равновесных электронов проводимости, а значит, и темновая проводимость уменьшаются.

Исследованные поликристаллические образцы могут быть применены в качестве приемников слабого ИК-излучения в диапазоне $\lambda = 1 - 3$ мкм при $T < 300$ К.

A24. Разработка чувствительных фотоприемников ИК-излучения для преобразователей изображения на основе компенсированного кремния

Султанов Н.А.

Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан

Разработана технология легирования кремния платиной для изготовления фотоприёмников ИК-излучения. Изготовлены образцы пластинок кремния легированного платиной диаметром $\varnothing = 10 \div 30$ мм, толщиной $d = 1 - 3$ мм, зеркально полированной поверхности. Они будут реализованы как фотоприемники ИК-излучения, работающие с

фоточувствительностью в интервале $h\nu=0,25-0,4$ эВ. Конкретно они представляют собой особый интерес как ИК-фотоприемники для пространственно-временных модуляторов света (ПВМС) со структурой металл-диэлектрик-полупроводник - диэлектрик-металл (МДПДМ).

Необходимость постановки задачи выражается в улучшении качества фотоприемников на основе компенсированного кремния, смещения чувствительности в более длинноволновую сторону. Для решения этих задач необходимо произвести выбор примесей и разработать технологию легирования этих примесей.

В настоящее время одной из важнейших задач практического использования кремния, компенсированного платиной, является создание на его основе принципиально новых приборов. К числу таких приборов относятся ПВМС со структурой МДПДМ, обладающие чувствительностью в широком диапазоне длин волн (0,4-4 мкм), предназначенные для преобразования и обработки оптических изображений. В таких структурах в качестве фоточувствительного материала используется компенсированный кремний, который позволяет уменьшить инерционность, а также дает возможность благодаря удачной спектральной согласованности кремния с твердотельными и полупроводниковыми лазерами создать малогабаритные и многофункциональные пары для систем оптической обработки информации.

Основным преимуществом ПВМС с примесной фоточувствительностью, по сравнению с МДПДМ-структурами на основе полупроводников с собственной фоточувствительностью в том же диапазоне, является значительно большее время рабочего состояния, обеспечиваемое благодаря низкому темпу темновой генерации носителей заряда. Существенно также, что фотогенерация с примесных центров происходит по всему объему полупроводника, вследствие чего исключается влияние поверхностной рекомбинации на эффективный квантовый выход носителей.

А25. Фотодетектор для регистрации рентгеновского и ультрафиолетового излучений на основе гетероструктур CdTe-ZnSe

Отажонов С.М.

Ферганский университет, Фергана, Узбекистан

Создана перспективная пара полупроводников CdTe-ZnSe, в которой, кроме прямой передачи световых сигналов, будет обеспечено накопление зарядов. Фотодетектор данного типа будет работать без внешнего источника, если поликристаллический слой CdTe будет обладать аномально большим фотонапряжением (АФН). Изучено влияние внешнего электрического поля на фотопроводимость и фото ЭДС этой структуры в диапазоне длин волн света 0,4-2,7 эВ. Обнаружен новый интересный, на наш взгляд, эффект при измерении фотопроводимости в направлении приложенного статистического электрического поля. Приложенное поле стимулирует возникновение АФН – эффекта в области края собственного поглощения CdTe. При этом возникновение АФН приводит к изменению "знака" фотопроводимости, хотя выделенный сигнал АФН совпадает со знаком фото-ЭДС. Это обусловлено тем, что приложенное электрическое поле втягивает носителей в область, где они асимметрично рассеивают к направленному движению носителей тока. При создании перестраиваемых по частоте фотоприемников можно использовать данный эффект, где имеет место инверсия знака в спектре фотоответа.

На основе гетероструктуры CdTe-ZnSe, разработаны сцинтиляционные фотодетекторы ионизирующего излучения (рентгеновских и ультрафиолетовых), где роль сцинтиллятора играет ZnSe, а CdTe играет роль детектора люминесценции ZnSe, при этом эффективность поглощения излучения люминофора повышается до 80%.

А26. Высокочувствительный матричный ФППЗ с числом элементов 768×580 для систем ночного видения

Тимофеев В.О.

ОАО «ЦНИИ «Электрон», Санкт-Петербург, Россия

Представлены основные технические характеристики высокочувствительного ФППЗ с кадровым переносом заряда для видимого и ближнего ИК диапазонов. Прибор содержит секцию накопления (СН) с высокой квантовой эффективностью, секцию памяти, выходной регистр, обеспечивающий перенос заряда на частоте 15 МГц при размахе управляющих импульсов не более 10 В и два симметричных выходных узла, необходимых для эффективного подавления тактовой помехи сброса во внешнем дифференциальном усилителе. Вычитание тактовой помехи позволяет реализовать высокое предварительное усиление перед схемой ДКВ при работе с малыми зарядовыми пакетами.

Основные технические характеристики ФППЗ

Размеры секции накопления	13,06 x 9,79 мм (соответствует 1")
Число элементов	СН – 768 x 288, СП – 768 x 288
Размер фоточувствительного элемента	СН – 17(г) x 34(в) мкм, СП – 17(г) x 21(в) мкм
Fill-фактор по открытой от поликремния области	40 %
Заряд, соответствующий полной яме	500 000 e
Шум считывания на частоте 15 МГц с ДКВ	12 e (СКО)
Темновой ток при -30°C	Не более 15 e / эл-т / с
Напряжение насыщения	Не менее 2000 мВ
Интегральная чувствительность	Не менее 400 мВ/лк
Монохроматическая чувствительность на $\lambda = 0,67$ мкм	Не менее 15 В/см ² ·мкДж
Пороговая освещенность от источника типа «А» при отношении сигнал/шум равном 1	Не более 10 ⁻⁴ лк
Напряжение темнового сигнала при $T_n=1,0$ с	0,12 мВ
Неэффективность переноса заряда в диапазоне (0,001 – 0,9) $U_{нас}$	Не более 0,01
Глубина модуляции на отметке 600 ТВЛ	Не менее 65 %

Конструктивно прибор выполнен в металлокерамическом корпусе с входным окном в виде волоконно-оптической пластины и предназначен, в основном, для стыковки с ЭОПами 2+-го и 3-го поколений с диаметром выходной ВОП≈18 мм при создании гибридных ночных телевизионных приборов. Также возможно использование ФППЗ с входным стеклянным окном в составе высокочувствительной сумеречной камеры без применения ЭОПов с пороговой чувствительностью 10⁻³ лк при отношении сигнал/шум равном 3.

А27. Дельта – легированный ИК-фотодиод нового типа

Селяков А.Ю.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Предложена новая структура δ -легированного $p-n$ перехода, позволяющая подавить диффузионный и генерационный темновые токи, а так же темновой ток, обусловленный рекомбинацией на контактах металл - полупроводник. Проанализирована физика работы такого ИК фотодиода и определены оптимальные параметры каждого элемента

предложенной структуры. Рассчитаны пороговые характеристики δ -легированного ИК фотодиода нового типа. Показано, что температура BLIP режима такого ИК фотодиода существенно больше, чем у обычного фотодиода на основе $p - n$ перехода из того же полупроводника. Так, температура BLIP режима δ -легированного ИК фотодиода нового типа на основе InSb равна 160 К, а при $T = 200$ К его обнаружительная способность равна $D^* = 3 \times 10^{10} \text{ Вт}^{-1} \text{ Гц}^{1/2} \text{ см}$, при этом температура BLIP режима фотодиода нового типа на основе InAs равна 195 К, а температура BLIP режима фотодиода нового типа на основе $\text{InAs}_{0.88}\text{Sb}_{0.12}$ равна 175 К.

A28. Оптроны для нового поколения систем связи, измерительной техники и силовой электроники

Ермаков О.Н., Стахарный С.А.

ОАО «НПП «Санфир», Москва, Россия

Представлен краткий обзор тенденций развития оптронных технологий. Будучи одним из основных типов оптоэлектронных приборов, включающих в себя как излучающие, так и фотоприёмные элементы, оптроны являются мощным инструментом современной технологии электронных систем. В течение своей почти полувековой истории оптроны непрерывно развивались, завоёвывая всё новые области применения, включая средства связи, измерительную технику, силовую электронику.

Основные тенденции развития оптронных технологий связаны с дальнейшим увеличением коэффициента передачи по току, коэффициента гальванической развязки, напряжения изоляции, а также с уменьшением времени задержки. Рассмотрены теоретические аспекты улучшения основных параметров оптронов.

Подчёркивается, что в настоящее время оптроны являются одним из ключевых элементов современной реальной интегральной оптоэлектроники. Приведены примеры оптоэлектронных ИС с использованием оптронов.

Представлены экспериментальные данные по оптическим характеристикам оптронных сред, включая КНС – структуры, а также основные характеристики различных типов оптронов, при этом основное внимание уделено эффектам отрицательного дифференциального сопротивления и мультистабильности.

A29. Сравнительный анализ органических и неорганических структур для интегральной оптоэлектроники

Ермаков О.Н.

ОАО «НПП «Санфир», Москва, Россия

Современная оптоэлектроника успешно использует широкое разнообразие оптоэлектронных сред с различной степенью структурного беспорядка, включая как неорганические (монокристаллические, поликристаллические, аморфные) и органические структуры, позволяющие разрабатывать и изготавливать многоэлементные оптоэлектронные приборы.

Проведён сравнительный анализ органических и неорганических структур, пригодных для целей интегральной оптоэлектроники. В качестве модельных систем были выбраны твёрдые растворы $\text{In} - \text{Ga} - \text{As} - \text{P}$, $\text{In} - \text{Ga} - \text{Al} - \text{N}$, а также т.н. органические электролюминесцентные (OLED) структуры.

Исследованы оптические (люминесценция, пропускание), фотоэлектрические и электрофизические характеристики перечисленных выше структур, а также проведён анализ полученных данных с учётом эффектов зонной структуры, эффектов беспорядка и сильного поля. Показано, что структуры широкозонных твёрдых растворов GaAsP , рассогласованных по постоянной решётки с прозрачной подложкой GaP, с большой энергией связи (~ 20 мэВ)

свободных квазипрямых экситонов могут рассматриваться в качестве модельной системы для анализа новых перспективных структур на основе широкозонных нитридов на сапфировых подложках.

Подчёркивается, что с точки зрения разработчика оптоэлектронных приборов в оптических характеристиках широкозонных нитридов и органических структур наблюдаются поразительные аналогии, а именно: большая величина стоксовского сдвига между полосами люминесценции и поглощения, практически та же спектральная форма полос люминесценции с большой полушириной, большая светоотдача (>1 лм / Вт), проявление эффекта оптического усиления, хорошие волноводные свойства.

В то же время проявляются и определённые отличия, а именно: степенная зависимость ВАХ, другой характер их трансформации в органических структурах под действием оптической засветки, а также более сильное проявление деградационных процессов в OLED – структурах.

Предложена концепция гибридной полимерно / твердотельной оптоэлектроники, позволяющей сочетать достоинства обоих рассмотренных типов структур, что иллюстрируется технологией полимерно / твердотельных СИД с широкой цветовой гаммой.

А30. Оптоэлектронные датчики для прикладной спектроскопии: проблемы проектирования

Ермаков О.Н.

ОАО «НПП «Сапфир», Москва, Россия

Оптоэлектронные датчики, включающие в себя как излучательные, так и фотодетекторные элементы, в настоящее время широко используются в различных областях применения, позволяя определять широкий набор параметров внешних воздействий (механических, электрических, магнитных, температурных, радиационных и т.д.), при этом одним из наиболее важных типов оптоэлектронных датчиков являются приборы для прикладной спектроскопии.

Подчёркивается, что для проектирования оптоэлектронных датчиков необходим многоуровневый подход с учётом оптимизации оптической схемы, конструкции, схемы обработки сигнала и тщательного подбора используемых оптоэлектронных компонентов.

Рассмотрены проблемы проектирования, связанные с необходимостью обеспечения оптической развязки возбуждающего и регистрируемого излучения, линейностью передаточной характеристики, что иллюстрируется несколькими примерами, включая возбуждение и регистрацию стоксовской и антистоксовской люминесценции, определением цветовых характеристик.

Представлены данные по специализированным оптоэлектронным компонентам, включая RGB – фотоприёмники, многоцветные СИД и ФД.

Рассмотрены проблемы высокостабильных СИД, необходимых для использования в качестве источников опорного широкополосного и узкополосного излучения на основе рекомбинации соответственно горячих и термолизованных носителей.

Подчёркивается, что будущее развитие оптоэлектронных датчиков лежит в русле интегральной оптоэлектроники.

А31. Фотоприемник на основе $Cd_xHg_{1-x}Te$ с управляемой спектральной характеристикой

Исмаилов Н.Д.

Институт физики Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджан

Известно, что спектральная характеристика фоточувствительности фоторезисторов толщиной порядка длины диффузии неосновных носителей заряда зависит как от объёмных

параметров полупроводника так и от состояния поверхности. Для твёрдых растворов $Cd_xHg_{1-x}Te$ (КРТ) состояние поверхности существенно влияет на их фотоэлектрические свойства. Осаждение тонких плёнок различных металлов на поверхность КРТ существенно изменяет параметры его фоточувствительности. В частности осаждение на поверхность тонких плёнок алюминия увеличивает время фотоответа до 20 раз и фоточувствительность в коротковолновой (КВ) области спектра.

В данном сообщении описываются экспериментально изученные свойства фотоприёмника на основе КРТ, покрытого полупрозрачным слоем алюминия, спектральная характеристика фоточувствительности которого может управляться приложенным напряжением как в КВ области так в области длинноволнового края. Экспериментальные образцы изготовлялись на основе монокристаллов КРТ ($x < 0,3$) n-типа проводимости с $N_d = (1-4) \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ и подвижностью $\mu_n = (3-6) \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{В с}$. На поверхность фоточувствительных слоёв размерами $2 \times 4 \times 0,1 \text{ мм}^3$ с омическими контактами для формирования поверхностно-барьерных структур осаждались плёнки алюминия толщиной 180 \AA . Алюминиевый затвор замыкался на анодный контакт. Без напряжения смещения сигнал, регистрируемый на нагрузочном резисторе, обусловлен поверхностно-барьерным фототоком, чей спектр фоточувствительности подобен спектру фототока диода Шоттки. При приложении напряжения появляется объёмный фототок, имеющий максимум на длинноволновом краю спектра фоточувствительности. При изменении напряжения, в зависимости от доли вклада этих компонент в общий фототок, спектр фоточувствительности будет меняться как в КВ области так и на длинноволновом краю. Анализ полученных результатов проведён в соответствии с теорией, учитывающей фотопроводимость приповерхностной области пространственного заряда и рекомбинацию в ней. Вычисленные данные согласуются с результатами эксперимента.

А32. Быстродействующие высокочувствительные ITO-p GaSe-Cu фотодиоды

Бабаев С., Гасанов И., Исмаилов Н., Мамедов Т.Г., Мамедов Т.С.

Институт физики Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджан

Слоистые полупроводниковые материалы открывают новые возможности для создания высокочувствительных фотоприёмников видимого и ультрафиолетового диапазонов спектра. Отсутствие оборванных связей на поверхности этих материалов обеспечивает малую скорость поверхностной рекомбинации неосновных носителей заряда. Этим обуславливается слабая зависимость квантового выхода внутреннего фотоэффекта от длины волны излучения в области фундаментального поглощения в этих материалах. В данном сообщении приводятся результаты экспериментального изучения свойств быстродействующих высокочувствительных в области спектра $0,30-0,62 \text{ мкм}$ фотодиодных структур ITO(In_2O_3/SnO_2)-pGaSe-Cu. Фоточувствительные структуры изготавливались на основе монокристаллов GaSe, выращенных методом Бриджмена с удельным сопротивлением $\rho = 10^3-10^4 \text{ Ом}\cdot\text{см}$. Омические контакты формировались методом вакуумного осаждения с последующим отжигом слоёв меди, а барьерный контакт - путём магнетронного распыления в вакууме ITO через маску на свежесколотую поверхность слоёв GaSe толщиной $30-60 \text{ мкм}$. Фотодиоды $\varnothing 1 \text{ мм}$ имели темновые токи утечки $\sim 10^{-9} \text{ А}$, дифференциальное сопротивление $\sim 10^{11} \text{ Ом}$ и выдерживали обратное приложенное напряжение до 100 В . Спад фоточувствительности в спектральной области $0,3-0,6 \text{ мкм}$ не наблюдался, а в ультрафиолетовой области фоточувствительность в некоторых случаях увеличивалась в несколько раз. При приложении обратного напряжения фототок растёт, особенно сильно в интервале напряжений $20-60 \text{ В}$, и достигает значений, превышающих более чем в 500 раз значения его при нулевом смещении. Вольт-ёмкостные $C^{-2}(V)$ зависимости при обратных напряжениях линейны и при $60-70 \text{ В}$ барьерная ёмкость $C_b \leq 1 \text{ пФ}$. При вышеуказанных

напряжения быстрое действие фотодиодов определяется величиной $\tau = C_{об} (R_l + R_v)$, где R_l - сопротивление нагрузки, R_v - сопротивление объема полупроводника, и вычисленные значения $\tau \leq 1$ нс. Постоянная времени τ определялась путём подачи на структуру прямоугольных импульсов напряжения. Наименьшее измеренное значение $\tau = 40$ нс и, к сожалению, ограничивалось измерительными возможностями приборов. Тем не менее, фотодиодные структуры ИТО-р GaSe-Cu могут рассматриваться как перспективные для применений в оптоэлектронике.

А33. Влияния ионизирующих излучений на фотоэлектрические свойства фотодиодов на основе селенида индия с термоэлектрическим охладителем

Аскеров К.А., Гаджиева В.И., Абдинов Д.Ш.

Институт физики Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджан

Исследовано влияния имитирующих факторов ядерного взрыва и протонного облучения на фотоэлектрические свойства фотодиодов на основе селенида индия с термоэлектрическим охладителем (ТЭО). Исследуемые фотоприемники были подвергнуты следующим типам ионизирующих излучений:

- на воздействие поражающих факторов ядерного взрыва с уровнем нейтронов с энергией $> 0,1$ МэВ и флюенсом $3,0 \cdot 10^{12}$ см⁻² и импульсного гамма-излучения с мощностью $1,0 \cdot 10^{10}$ Р/с;

- на воздействие протонного излучения с флюенсом $5,0 \cdot 10^{13}$ см⁻².

До и после вышеуказанных видов ионизирующего излучения измерялись спектральные характеристики, амплитудно-частотные характеристики, монохроматическая и вольт-ваттная чувствительность фотодиодов с ТЭО. Установлено, что импульсное гамма-излучение и импульсное нейтронное облучение приводит к улучшению фотоэлектрических и частотных характеристик исследуемых фотодиодов. Показано, что большие флюенсы протонного облучения облегчают процесс образования комплексов в межслойном промежутке слоистого селенида индия, вследствие чего несколько ухудшаются фотоэлектрические параметры фотодиодов. При этом в характеристических параметрах термоэлектрических охладителей практически изменения не наблюдались. Результаты проводимых исследований показывают, что такие виды фотоприемников с ТЭО можно рекомендовать для работы в условиях повышенной радиации.

А34. Определение тепловых параметров микроболометров из электрических измерений

Чистохин И.Б., Демьяненко М.А.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Точное определение тепловых параметров сенсоров на основе терморезистивных микроболометров представляет большой интерес для многих приложений. Наиболее важными параметрами являются температурный коэффициент сопротивления, тепловая постоянная времени, теплоемкость и теплопроводность.

Тепловые процессы болометра в общем случае не линейны, что затрудняет их анализ. Часто используемое приближение малых разогревов, при которых изменение сопротивления болометра ΔR_b много меньше его начального сопротивления R_{b0} при исходной температуре, с одной стороны, требует использования малых сигналов, что понижает точность измерения и, следовательно, понижает точность определения тепловых параметров. С другой стороны, повышение сигналов приводит к некорректности использования данного приближения, что также понижает точность определения тепловых параметров.

В данной работе проводится анализ нелинейной кинетики саморазогрева и электрических сигналов микроболометров, включенных в разных режимах (при постоянном напряжении или токе, а также подключенного в одно из плеч мостовой схемы Уитстона), при подаче импульсного смещения. Получены аналитические приближения, предсказывающие стабильный и нестабильный режим работы микроболометра, установлены области наибольшей точности определения тепловых параметров для каждого из режимов включения. Обсуждаются преимущества и недостатки различных схем измерения.

Предложен метод определения температурного коэффициента сопротивления, тепловой постоянной времени, теплоемкости и теплопроводности по измерениям кинетики электрических сигналов при подаче на микроболометр импульсных смещений.

Экспериментальная апробация метода проводилась на микроболометрах, изготовленных на основе термочувствительных слоев оксидов ванадия, полученных золь-гель методом с последующим восстановлением в водородной среде, и мембран из нитрида кремния, имеющих различные конструктивные параметры. Показано, что данный метод позволяет проводить экспрессное измерение основных тепловых характеристик микроболометров: тепловой постоянной времени, теплоемкости, теплопроводности и температурного коэффициента сопротивления.

A35. Особенности варизонных фотодиодов с немонотонным координатным профилем ширины запрещенной зоны

Соколовский Б.С., Писаревский В.К., Власов А.П., Ильчук Г.А.*

*Львовский национальный университет им. Ив. Франко, Львов, Украина
Национальный университет «Львовская политехника», Львов, Украина

В работе теоретически исследованы свойства варизонного фотодиода, в котором ширина запрещенной зоны линейно увеличивается от металлургической границы p - n -перехода до омических контактов. Предполагалось, что фотодиод освещается со стороны прозрачного омического контакта сильнопоглощающим монохроматическим излучением.

В приближении полного истощения области объемного заряда свободными носителями заряда произведен аналитический расчет равновесной энергетической диаграммы фотодиода и проанализирована её зависимость от градиента ширины запрещенной зоны.

Для расчета координатного распределения концентрации неравновесных носителей заряда в базовых областях фотодиода при его освещении использовались диффузионно-дрейфовые уравнения, в которых было учтено наличие квазиэлектрических полей, обусловленных градиентами дна зоны проводимости и потолка валентной зоны. На основе найденных пространственных профилей концентрации неравновесных носителей заряда рассчитаны фототок короткого замыкания и темновой ток варизонного фотодиода и их зависимости от толщины базовой области и градиента ширины запрещенной зоны.

Показано, что исследуемый тип фотодиода обладает по сравнению с соответствующим гомозонным фотодиодом меньшим темновым током, большим коэффициентом собирания фотоносителей и существенно большей областью спектральной чувствительности.

Численные оценки произведены для случая фотодиода на основе твердого раствора $CdHgTe$ переменного состава.

А36. Характеристики фотодиодов с тонкой базовой областью на основе антимонида индия

Чишко В.Ф., Дирочка А.И., Касаткин И.Л., Лопухин А.А.,
Пасеков В.Ф., Голубков А.В.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Гибридный вариант построения матричных фотоприемных устройств с использованием фотоприемников с собственным поглощением предусматривает освещение со стороны базовой области.

Толщина базовой области определяет величину квантовой эффективности и уровень взаимосвязи между элементами матричного фотоприемника (МФП), что особенно важно при малых размерах пикселей и расстояний между ними. Для антимонида индия диффузионная длина дырок в n-области лежит в диапазоне $L_p \approx 20 \div 30$ мкм, что при коэффициенте собственного поглощения $K \approx 10^4 \text{ см}^{-1}$ приводит к необходимости иметь толщину базовой области в пределах $(2 \div 3)K^{-1} = (2 \div 3) \text{ мкм} < d < L_p \approx 20 \div 30$ мкм. Разработанная технология изготовления МФП обеспечивает устойчивое получение МФП с толщиной базовой области $d \geq 15$ мкм. У таких МФП проведены измерения вольтовой чувствительности, спектрального распределения фоточувствительности и уровня темнового тока. Получены следующие значения: величина токовой чувствительности $S_{i\lambda, \max}$ лежит в пределах $(0,8 \div 1,5) \text{ А} \cdot \text{Вт}^{-1}$ в зависимости от толщины базовой области, максимум спектральной чувствительности расположен при $\lambda_m = 5,4$ мкм, уровень темновых токов в диапазоне обратных смещений не более 0,3 В не превышал $5 \cdot 10^{-11}$ А.

А37. Инфракрасные фотоэлектронные сенсоры на основе гетероструктур пористого кремния и кадмий-ртуть-теллура

Монастырский Л.С., Оленич И.Б., Кавыч В.И., Власов А.П.

Львовский национальный университет им. И. Франко, Львов, Украина

ИК сенсоры формировались в приповерхностном p-n слое пористого кремния (porSi) путем имплантации ионов ртути с энергиями 5-8 эВ в тлеющем разряде. Вольт-амперные характеристики имели нелинейный вид со значением выпрямляющего коэффициента 2-3. Полученный p-n переход имеет фоточувствительность в области длин волн 0,8-1,0 мкм. Уровень фоточувствительности отличался для разных электрических напряжений приложенных к p-n переходу. PorSi-cSi гетероструктуры под действием излучения азотного лазера люминесцировали не только в видимой, но и в инфракрасной области спектра - 1,1-1,4 мкм. Такое же излучение было и в гетероструктуре Al_2O_3 -porSi-cSi, но с меньшей интенсивностью.

Нами были нанесены слои кадмий-ртуть-теллура (КРТ) на porSi. Тонкие слои CdTe были нанесены с помощью лазерного напыления. Гетероструктуры CdTe-porSi-Si и CdTe-Si-porSi использовались для изотермического нанесения из паровой фазы слоев CdHgTe. Процесс роста контролировался давлением паров Hg. Так были сформированы гетероструктуры CdHgTe-porSi-Si и CdHgTe-Si-porSi. В первом случае мы сформировали гетероструктуры типа МОП, во втором случае мы получили структуры с ростом ширины запрещенной зоны от 0,3-0,4 эВ (КРТ) до 2,8-3,0 эВ (porSi). Были исследованы принципиальные особенности сформированных гетероструктур. Такие структуры перспективны для формирования фотодетекторов для спектральной области от УФ до ИК.

А38. Фотоприемное устройство на основе 64 – элементных фоточувствительных структур на селениде свинца

Бочков В.Н., Дрожников Б.Н., Храпунов М.Л.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Сообщается о разработке малогабаритного фотоприемного устройства для использования в переносных тепловизионных приборах гражданского применения, а также спектрометрах, охранных устройствах и т.д. Выпускается в двух модификациях в зависимости от топологии фоточувствительных площадок:

ФУР 129Л – 2×32 элемента с шахматным расположением

ФУР 129Л – 01 – 1×64 с однолинейчатым расположением фоточувствительных элементов.

Высокие параметры D^* и S_v достигнуты в газонаполненной конструкции на двухкаскадном ТЭО с улучшенными характеристиками, позволяющими получить минус $55\div 67^\circ\text{C}$ при температуре окружающей среды 20°C .

Высокая вольтовая чувствительность и помехозащищенность достигается применением встроенных предусилителей.

Приведены основные фотоэлектрические параметры и характеристики ФПУ.

А39. МФПУ смотрящего типа с накоплением в ячейке на основе ЭС КРТ для спектрального диапазона 3-5 мкм

Болтарь К.О., Яковлева Н.И., Бурлаков И.Д., Климанов Е.А., Сагинов Л.Д.,
Юнгерман В.М., Рудневский В.С., Акимов В.В.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Разработано и исследовано матричное фотоприемное устройство (МФПУ) формата 128x128 элементов для спектрального диапазона 3-5 мкм с накоплением сигнала в ячейке каждого элемента. Фоточувствительные элементы МФПУ изготовлены на основе фотодиодов в эпитаксиальных слоях соединения кадмий-ртуть-теллур (КРТ), выращенных методом жидкофазной эпитаксии (ЖФЭ) на подложках CdZnTe. Шаг фоточувствительных элементов 50 мкм. Накопление фототоков и мультиплексирование сигналов чувствительных элементов в два выходных канала осуществляется в холодной зоне МФПУ при помощи кремниевой БИС. Накопительные конденсаторы в каждой ячейке МФПУ имеют емкость 1 пФ.

Экспериментально реализована работа МФПУ с кадровой частотой 50 Гц как в режиме накопления сигнала в нескольких строках МФПУ (от 2 до 128 строк) со считыванием сигнала, так и в режиме “snap-shot” с накоплением в течение времени кадрового синхроимпульса длительностью до 4 мс. Синхронизация периода накопления осуществляется от внешнего синхросигнала. Для МФПУ с граничной длиной волны 5,7 мкм максимальное время накопления без переполнения накопительных конденсаторов составляет 400 мкс и 1 мс для МФПУ с граничной длиной волны 5,0 мкм. Угловая апертура диафрагмы составляла 60° .

А40. Ультрафиолетовый радиометр диапазона 300 ÷ 400 нм

Ащеулов А.А., Бутенко В.К., Докторович И.В., Дунаенко А.Х., Фотий В.Д.

КТБ «Фотон – Кварц», Черновцы, Украина

В настоящее время определенное распространение получили радиометры ультрафиолетового диапазона, которые характеризуются относительно высокой частотной погрешностью.

В представляемом докладе приводится конструкция и характеристики радиометра на область с рабочим спектральным диапазоном от 300 до 400 нм.

Радиометрическая головка радиометра состоит из корпуса с соосно расположенным фотоприемником на основе арсенида галлия и составным оптическим фильтром. Особенностью радиометрической головки является то, что неравномерность фотодиода компенсируется подбором количества, толщины и материалов стеклянных дисков, формирующих оптический фильтр.

Электронный блок радиометра состоит из преобразователя ток – напряжение (ПТН), двух аналого-цифровых преобразователей для регистрации сигнала на жидкокристаллическом индикаторе (ЖКИ) и вывода информации на персональный компьютер, а также блока питания. ПТН построен на основе МДМ – усилителя, который позволяет измерять токи на уровне 10^{-12} А.

Фотосигнал с фотоприемника поступает на вход ПТН с регулируемым дискретно коэффициентом усиления. Электронный усилитель позволяет установить прямой отсчет показаний фотометра при его калибровке. Диапазон измерения энергетической освещенности от $1 \cdot 10^{-10}$ до $2 \cdot 10^{-4}$ Вт/см² получен за счет применения в конструкции электронного усилителя активных элементов с малым коэффициентом шума, а монтаж входных цепей выполнен с использованием керамических печатных плат, имеющих высокое удельное сопротивление.

Радиометр позволяет измерять энергетическую освещенность создаваемой естественными или искусственными точечными немодулированными источниками излучения в спектральном диапазоне от 300 до 400 нм и имеет следующие основные характеристики:

- относительная спектральная характеристика чувствительности соответствует:
 $\lambda_{0,1}^{\prime} = (290 \pm 5)$ нм; $\lambda_{0,5}^{\prime} = (300 \pm 5)$ нм; $\lambda_{0,9}^{\prime} = (310 \pm 5)$ нм;
 $\lambda_{0,1}^{\prime\prime} = (390 \pm 10)$ нм; $\lambda_{0,5}^{\prime\prime} = (400 \pm 5)$ нм; $\lambda_{0,9}^{\prime\prime} = (420 \pm 10)$ нм.
- диапазон измерения энергетической освещенности от $1 \cdot 10^{-10}$ до $2 \cdot 10^{-4}$ Вт/см² при нелинейности характеристики спектральной чувствительности $\leq 2\%$;
- предел основной относительной погрешности $\leq 10\%$;
- индикация цифровая;
- размеры электронного блока $210 \times 150 \times 75$ мм;
- масса не более 0,8 кг.

А41. Приемники лазерного излучения на основе АОТ

Ащеулов А.А., Дунаенко А.Х., Фотий В.Д.

КТБ «Фотон-Кварц», Черновцы, Украина

Вопрос регистрации лазерного излучения различной мощности, а также плотности его распределения в поперечном сечении был и остается актуальным. В настоящем докладе представлены пути его решения путем использования явления поперечной термоЭДС.

На основе закона Буггера-Ламберта решено неоднородное уравнение теплопроводности для анизотропной пластины с учетом ее оптических характеристик в случаях параллельного, антипараллельного и взаимоперпендикулярного направлений лучистого потока и градиента температуры. Получены выражения для поперечной термоЭДС анизотропных оптикотермоэлементов (АОТ) разных типов и параметров приемников на их основе.

Проанализированы возможности новых термоэлектрических приборов различных типов - линеек, координатно-чувствительных приемников, а также твердотельных видиконов на основе АОТ, работающих в режимах поверхностного и объемного поглощений, а также оптического пропускания.

Проведена оптимизация их конструкции и так же оценка предельных параметров. Показана возможность контроля лазерных потоков больших плотностей, и создания

устройств на их основе, работающих в режиме проходящей мощности в спектральном диапазоне 0,5-30,0 мкм.

Определена группа материалов, позволяющая реализовать предложенные устройства. К ним относятся: CdSb, CdS, ZnSb, CdAs₂, ZnAs₂, GeTe и ряд других.

А42. БолOMETрические структуры на основе соединения титана

Жуков А.Г., Бажинов А.Н., Рябов В.Н., Ворович Э.Б.

ФГУП «НПП «Исток», Фрязино, Моск. обл., Россия

Основной тенденцией в развитии неохлаждаемых болометрических многоэлементных приёмников излучения в настоящее время является создание крупноформатных матриц на 320×240 элементов и более. Эти матрицы используются в дорогостоящих тепловизионных приборах обнаружения, наведения, навигации. Но также существует ряд задач, где требуются неохлаждаемые, относительно недорогие приёмники излучения с существенно меньшим количеством приёмных элементов для применений в малоформатных ИК-камерах теплового контроля, в устройствах дистанционного определения температуры.

В ФГУП НПП «Исток» начата разработка малоформатных болометрических линеек и матриц. В качестве термочувствительного материала болометра выбрано соединение Ti, хорошо согласующееся с Si-технологией и имеющее температурный коэффициент сопротивления около -1,3%/К. Слой термочувствительного материала располагается в мембране из SiO₂, закреплённой на кремниевой подложке. В мембранах линеек и матриц предусмотрены отверстия, через которые производится вытравливание жертвенного слоя с образованием полости под мембраной. В мембране над термочувствительным слоем располагается поглощающий излучение слой из Mo ($R_{\square} \approx 200 \text{ Ом}$).

Приёмные ячейки линейки устроены традиционным способом: мембрана крепится к подложке на двух держателях. Внутри держателей расположены электроды из Mo, которые соединяют термочувствительный слой мембраны с контактными площадками из Al на подложке. Контактные площадки из Al соединены с помощью алюминиевых проволочек с электродами корпуса приёмного модуля.

Приёмные ячейки матриц устроены аналогичным образом. На подложках и мембранах матрицы нанесена разводка, обеспечивающая электрический выход через корпус приёмного модуля. Величины сопротивлений болометров составляют 150...200 кОм, разброс величин сопротивлений не превышает 5% от средней величины.

Из электрических и частотных измерений определены значения обнаружительной способности (D^*) и постоянной времени (τ). Для D^* достигнуты значения $(6-8) \cdot 10^7 \text{ Вт}^{-1} \text{ Гц}^{1/2} \text{ см}$ (700 К, 30 Гц). В зависимости от возможных вариаций технологии изготовления болометров и давления в корпусе были получены значения τ , равные 0,1...0,01 сек.

Тепловая проводимость от болометрических площадок к местам их закрепления для различных технологических исполнений составила $4...13 \cdot 10^{-7} \text{ Вт/К}$.

Область спектральной чувствительности болометрических структур с указанным порядком расположения резистивной и поглощающей плёнки находится в интервале длин волн от 6 мкм (относительный коэффициент поглощения равен 0,42) до 14 мкм (0,1). Изготовлены и исследуются структуры, у которых оптическое расстояние между поглощающим слоем и металлизированным дном полости составляет $\lambda/4n$ (n – показатель преломления среды).

Разработаны конструкции 64-элементной линейки (шаг 0,1 мм) и матрицы размерностью 8×8 (шаг 0,12 мм). Линейки и матрицы помещены в многовыводные металlostеклянные корпуса.

Дальнейшие работы направлены на совершенствование технологии изготовления болометров, повышение их чувствительности и стабильности.

А43. Неохлаждаемое фотоприемное устройство для спектрального диапазона 1,8...2,4 мкм

Андреева Т.А., Гаврушко В.В., Кузюков С.Г., Прошкин Ю.Н., Сапожников А.А.Ю
Чупраков А.М., Шленский А.А.

*ФГУП «Гиредмет», Москва, Россия
Новгородский государственный университет, Новгород, Россия*

Получившие интенсивное развитие в 80-е годы прошлого века в работах советских и зарубежных ученых многокомпонентные твердые растворы $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}$ выращенные на подложках антимида галлия находят все более широкое применение для создания оптоэлектронных приборов (фотоприемников, светодиодов, лазеров), которые используются в ИК спектрометрии, системах пожарной и охранной сигнализации, тепловизионных устройствах. В частности, на основе этого материала могут быть созданы фотодиоды для спектрального диапазона 1,8...2,4 мкм, работающие без охлаждения, которые способны составить серьезную конкуренцию традиционным для этого спектрального диапазона фоторезисторам на основе PbS. Особенно заметным это преимущество будет проявляться для случаев регистрации быстро протекающих процессов и при использовании фотоприемников в широком интервале температур.

Целью настоящего сообщения является представление результатов совместной работы ФГУП «Гиредмет» и Новгородского госуниверситета по созданию высокоэффективного, работающего без охлаждения ФПУ на основе твердого полупроводникового раствора $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}$.

Фоточувствительные структуры получены методом жидкофазной эпитаксии 4-х компонентного соединения на подложке n GaSb. Состав твердого раствора являлся предельным для используемого технологического метода и определялся областью несмешиваемости в системе In-Ga-As-Sb. Длинноволновая граница чувствительности эпитаксиального слоя достигала 2,4 мкм. При толщинах 1,5-2 мкм рассогласование периодов решетки эпитаксиальных слоев и подложки не превышало $1 \cdot 10^{-3}$. Концентрация подвижных носителей заряда в слое находилась на уровне $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$.

Фотодиоды получены методом мезотехнологии с защитой поверхности стабилизирующим окислом. Для реализации высокой пороговой чувствительности в едином корпусе располагались фотодиод и предварительный усилитель. Предварительный усилитель выполнен по тонкопленочной технологии с использованием бескорпусных низкошумящих ИС. Дополнительным преимуществом фотоприемного устройства является защита фотодиода от воздействия губительных статических зарядов, появление которых возможно при монтаже изделий.

Для разработанного ФПУ при комнатной температуре получены следующие значения основных параметров (в качестве источника излучения использовалось АЧТ 800 К): интегральная вольтовая чувствительность $S_u = 3 \cdot 10^4 \text{ А/Вт}$, удельная обнаружительная способность $D^* = 9 \cdot 10^8 \text{ Вт}^{-1} \text{ Гц}^{1/2} \text{ см}$.

А44. Термоэлектрические приемники излучения повышенной чувствительности для измерительной техники

Анатычук Л.И., Демчук Б.Н., Разиньков В.В.

Институт термоэлектричества, Черновцы, Украина

Рассмотрены возможности повышения точности измерений мощности лазерного излучения в микроваттном диапазоне. Показано, что в реальных условиях при использовании современных усилителей напряжения возможно существенно повысить чувствительность системы датчик-усилитель только в случае создания датчиков с высокой вольт-ваттной чувствительностью.

Рассмотрены пути создания таких датчиков при использовании современных технологий и высокочувствительных термоэлектрических материалов.

Представлен параметрический ряд датчиков с величиной вольт-ваттной чувствительности от 0,2 до 10 В/Вт и постоянной времени 1-2 с. Рекордные значения вольт-ваттной чувствительности достигнуты путем применения современных технологий, обеспечивающих достижения повышенной плотности термопарных ветвей (до 10^4 штук/см²).

Рассмотрены вопросы обеспечения временной и термической стабильности датчиков, расширения их динамического диапазона, уменьшения постоянной времени.

А45. Термоэлектрические пленочные приемники излучения микроваттного диапазона

Анатычук Л.И., Разиньков В.В.

Институт термоэлектричества, Черновцы, Украина

Приведены результаты анализа современного состояния и перспектив дальнейшего развития пленочных термоэлектрических приемников излучения.

Рассмотрены новые технологические методы получения пленок термоэлектрических материалов повышенной термоэффективности, перспективных для создания на их основе высокочувствительных приемников излучения.

Представлены варианты конструктивного исполнения пленочных термоэлектрических приемников излучения со значениями вольт-ваттной чувствительности 100-500 В/Вт и постоянной времени 10-60 мс, что превышает известные аналоги. Установлена возможность создания приемников с вольт-ваттной чувствительностью 1000 В/Вт.

Рассмотрены особенности применения термоэлектрических приемников излучения в основе высокочувствительных ИК систем.

А46. Кремниевые КМОП-мультиплексоры формата 1×128 для многоэлементных фоторезисторов на основе PbS и PbSe

Бурлаков И.Д., Заславский А.В., Кузнецов П.А., Климанов Е.А.,
Хромов С.С., Щукин С.В.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Приводятся результаты разработки схемотехнических решений двух вариантов ИС кремниевых охлаждаемых КМОП мультиплексоров формата 1×128, предназначенных для усиления и коммутации сигналов с многоэлементных фоторезисторов на основе PbS и PbSe.

В состав ИС входят трансимпедансные усилители, устройство выборки-хранения (УВХ) и выходной коммутатор со схемой управления.

Рассмотрены особенности схемотехники разработанных ИС, позволяющие компенсировать значительные темновые токи фоторезисторов и формировать оптимальную частотную характеристику фотоприёмного устройства (ФПУ).

Проведено компьютерное моделирование параметров мультиплексоров с помощью программы Micro-Cap 6 и их сравнение с экспериментальными результатами.

А47. Линейные фотоприёмники с зарядовой связью высокого разрешения с числом элементов до 12000

Кирдяшев Р.К., Костюков Е.В., Маклаков М.А., Скрылёв А.С., Трунов С.В.*

ФГУП «НПП «Пульсар», Москва, Россия

**ОАО «НИИМЭ и завод «Микрон», Москва, Россия*

Рассмотрены особенности конструкции и технологии изготовления фоточувствительных приборов с зарядовой связью (ФПЗС) с размером фоточувствительной ячейки 7x7 (6,5x6,5 для MPL12288H) мкм и т.н. «комбинированной» организацией, характеризующейся наличием билинейного считывания информации с единого линейного массива фоточувствительных элементов и её мультиплексированием в зарядовой форме перед детектированием в одном выходном устройстве.

В совместной разработке ФГУП НПП «Пульсар» и ОАО «НИИМЭ и завод «Микрон» находится семейство из четырех типов линейных ФПЗС. Все приборы оснащены устройством антиблуминга, способным работать в режиме электронного затвора. Правила проектирования этих приборов основаны на изопланарной ПЗС-технологии с объёмным п-каналом "МикроПульс".

Тип ЛФПЗС	MPL4096H	MPL6144H	MPL8192H	MPL12288H
Число фотоэлементов, N, шт.	4096	6144	8192	12288
Эффективность антиблуминга, Ка, отн. ед.	≥300	≥300	≥300	≥300
Напряжение насыщения, U _{нас} , В	≥1,0	≥1,0	≥1,0	≥1,0
Чувствительность, S _ц , В/лк·с	≥4	≥4	≥4	≥4
Коэффициент передачи модуляции, К _м , %	≥60	≥60	≥60	≥60
Неравномерность выходного сигнала, δU _с , %	≤15	≤15	≤15	≤15
Неравномерность темнового сигнала (при времени накопления t _н =1мс), δU _т , %	≤1	≤1	≤1	≤1
Диапазон спектральной чувствительности, D _λ , мкм	0,35-1,1	0,35-1,1	0,35-1,1	0,35-1,1
Максимальная тактовая частота, f _т , МГц	≥20	≥20	≥20	≥20

А48. Матричные фотоприёмники с зарядовой связью с временной задержкой и накоплением

Костюков Е.В., Маклаков А.М., Скрылёв А.С., Трунов С.В.*, Крошин В.М.**

ФГУП «НПП «Пульсар», Москва, Россия

**ОАО «НИИМЭ и завод Микрон», Москва, Россия*

***ГНП РКЦ «ЦСКБ-ПРОГРЕСС», Самара, Россия*

Матричные приёмники имеют конструкцию, которая обеспечивает регистрацию движущегося изображения в режиме временной задержки и накопления заряда – ВЗН. В них используется принцип многократного накопления информационного заряда, перемещающегося под электродами фоточувствительной области синхронно с движением соответствующей этому заряду проекции изображения. Это увеличивает чувствительность пропорционально количеству строк матричной секции. Основное преимущество режима ВЗН

– увеличение времени экспозиции без потери геометрического разрешения, что позволяет улучшить характеристики приёмника при низких уровнях освещенности.

Фотоэлектрические параметры приборов приведены в таблице.

Параметр	МРМ768х128 TDI 7х7	МРМ 1024х128 TDI 6х6
Число элементов (Г х В)	768х128	1024х128
Размеры фотоэлемента (Г х В) мкм	7х7	6х6
Электронная регулировка чувствительности, отн.ед.	2,4,8,16,32	2,4,8,16,32
Апертура фотоэлемента, мкм	7х7	6х6, 6х12, 12х6, 12х12
Чувствительность, В/(мкДж/см ²) ¹	10,0	10,0
Напряжение насыщения, В	0,7	0,5
Коэфф. передачи модуляции, %	60	60
Частота вывода информации, МГц	15,0	15,0
Спектральный диапазон, мкм	0,4...1,1	0,4...1,1
Динамический диапазон, отн.ед.	10 ³	700

Матрица ВЗН типа МРМ 1024х128 TDI 6х6 кроме функции электронной регулировки чувствительности обладает возможностью перестройки апертуры фоточувствительного элемента в диапазоне 6х6 мкм, 6х12 мкм, 12х6 мкм и 12х12 мкм, что позволяет эффективно использовать её в условиях быстро меняющихся облучённостей и скорости движения изображения.

А49. Кремниевый спектрально-избирательный фотоприемник

Джулиев Х.Х.

Физико-технический институт НПО «Физика-Солнце» АН, Ташкент, Узбекистан

Целью выполнения данной работы является создание спектрально-избирательного кремниевого фотоприемника высокотемпературной диффузией примесных атомов бора в монокристаллический кремний n-типа проводимости при помощи нагрева солнечным излучением. Легирование примесей бора в кремний проводилось на оптической кварцевой подложке с помощью концентрированного солнечного излучения в фокусе солнечного концентратора с диаметром 1000 мм и фокусным расстоянием 800 мм с автоматической следящей системой за перемещением Солнца по азимуту.

Легирование примеси проводилось при естественном, неоднородном распределении освещения, т.е. при наличие градиента температурного поля, величина которого определяется конструкцией солнечного концентратора. Температура на поверхности пластины кремния имеет ступеньчатообразный характер и уменьшается в радиальном направлении к границам образца. Определена глубина залегания р-n-перехода на различных легированных участках методом косого шлифа под углом 1⁰. Глубина диффузии бора по краям образца составляла 0,3÷0,5 мкм, в центральной части 1,5÷2 мкм.

Удельное сопротивление n-Si составляли 4-4,5 Ом·см. Геометрические размеры образцов S=22х14 мм², толщина d~0,4-0,5 мм.

Источником акцепторной примеси использовали пластины нитрида бора. Температура на легируемой поверхности кремния контролировалась хромель-алюмелевой термопарой. Температура в фокальном центре легируемой пластины составляла 1050±20⁰С, по краям 850±20⁰С. Время экспонирования света при диффузии 20÷30 минут.

С обеих поверхностей легированных бором пластин кремния удаляли боросиликатное стекло травлением в 48% HF.

На очищенную от стекла легированную бором фронтальную поверхность, в вакууме, через маску гребенчатой формы напылялись слои TiNiCu для формирования токоотводящего контакта. На тыльную, не легированную поверхность, в качестве омического контакта полосками шириной 1 мм, длиной 2-2,5 мм, припаивался сплав In+Ga (97%+3%).

Проведены исследования темновой ВАХ полученных диодных структур. В диодных структурах, расположенных вблизи к границе образца, формируются более резкие р-п-переходы.

Исследовалась спектральная чувствительность полученных структур $I_{\phi} \sim f(h\nu)$ с помощью зеркального монохроматора МСД-4. Установлено, что в приграничных участках образец более чувствителен к длинноволновой части ультрафиолетового излучения, тогда как по мере приближения к центральной части образца реакция полученного фотоприемника к видимой и ближней ИК-области спектра излучения больше, в зависимости от глубины залегания р-п-перехода в объеме образца.

A50. Фотоприёмник в ближней ИК-области поглощения на основе CdTe – SiO₂ - Si

Отажонов С.М.

Ферганский университет, Фергана, Узбекистан

Здесь рассматривается влияние внешнего электрического поля в статическом режиме и в режиме коронного разряда, приложенного между слоем CdTe и оксидированной кристаллической пластиной Si на фото чувствительность пленки CdTe в диапазоне длин волн света 0,5-3,1 мкм. Измерялись спектральные зависимости тока короткого замыкания ($I_{кз}$), сечения захвата фотона (СЗФ) и удельной фотопроводимости пленок CdTe. Показано, что спектры $I_{кз}$ обладают ярко выраженными максимумами (1,06 мкм для одной полярности и 0,7 мкм для другой полярности фото - ЭДС). С увеличением напряжения коронной зарядки ($U_{кр} > 80$ В) и статического электрического поля ($U_{вн} > 100$ В) фоточувствительность возрастает в максимуме более чем в 1000 раз, а частота инверсии $I_{кз}$ смещается в коротковолновую область спектра и постепенно инверсия исчезает.

Предполагается, что указанные изменения происходят под влиянием заряда, встроенного в слое окисла или на границе раздела слоя Si и полупроводникового слоя CdTe.

Предлагаемая гетероструктура CdTe - SiO₂ - Si может работать в качестве отдельного фотоприемника (в области 0,5-3,1 мкм), а также в качестве составной части матричного прибора, что позволяет управлять как спектральной фоточувствительностью, так и величиной максимальной чувствительности фотоприемника.

A51. Фототензодатчик в диапазоне ИК-излучения на основе пленки CdTe:Ag с аномальным фотовольтаическим свойством

Отажонов С.М., Султонов Ш.Д., Юлдашев Н.Х.

Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан

Поликристаллические пленки CdTe, легированные примесью Ag и обладающие фотовольтаическим свойством, выращивались методом термовакуумного испарения на нагретой до (500÷550) К подложке из органического стекла с толщиной 0,1 мм. Скорость роста слоя CdTe и угол напыления составляли (1,2÷1,7) нм/с и (40÷45)^о, его толщина – (0,3÷0,7) мкм, а давление остаточных газов в квазизамкнутом объеме – (10⁻³ ÷ 10⁻⁴) мм рт. ст. Образцы при комнатной температуре генерировали аномально большое фотонапряжение (АФН) $V_{АФН} \sim 300$ В/см при освещении естественным светом интенсивностью $L \approx 10^4$ лк, при этом сила тока короткого замыкания $I_{кз} \sim 10^{-8}$ А. Обнаруживалась заметная фототензочувствительность в спектральном диапазоне (0,8÷3,0) мкм – значение $V_{АФН}$ в

монохроматическом свете существенно изменялось под действием внешней механической нагрузки. Специально собранное устройство, включающее консольную балку, давало возможность одновременно с деформацией (одностороннее растяжение или сжатие) еще и освещать исследуемый образец монохроматическим светом. Фотонапряжение измерялось электрометром ЭД 0,5-М.

Исследован спектр коэффициента фототензочувствительности

$$K_v = \frac{V_{\text{АФН}} - V_{\text{АФН}}^0}{V_{\text{АФН}}^0 \cdot \varepsilon},$$

где $V_{\text{АФН}}$, $V_{\text{АФН}}^0$ - значения АФН при наличии и отсутствии деформации, ε - величина относительной деформации. Экспериментальный спектр K_v имеет максимум в области края собственного поглощения вблизи энергии фотона $h\nu=1,3$ эВ при деформации растяжения $\varepsilon = +2 \cdot 10^{-3}$ отн. ед. ($K_v \approx 800$) и $h\nu=1,37$ эВ при сжатии $\varepsilon = -2 \cdot 10^{-3}$ отн. ед. ($K_v \approx 300$). Высокая фототензочувствительность пленок CdTe:Ag, по-видимому, обусловлена обратимой миграцией ионов Ag^+ и вакансий кадмия (V_{Cd}^- , V_{Cd}^{--}) в области потенциальных барьеров. В работе приводятся также результаты экспериментов по изучению влияния внешней механической нагрузки на вольт-амперную, люкс-амперную и люкс-вольт-амперную характеристику образцов.

Исследованные пленки CdTe:Ag могут быть применены как фотоприемник ИК излучения и фототензодатчик в спектральном диапазоне (1,0-3,0) мкм.

А52. Фотоэлектрические свойства диодов Шоттки с электрическим полем пятен

Мамедов Р.К.

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

Многие различие фотоэлектрических характеристик и свойств диодов Шоттки (ДШ), изготовленных на основе реального контакта металл-полупроводник (РКМП), от соответствующих характеристик и свойств идеального ДШ, в том числе деградация спектральных характеристик, достаточно хорошо интерпретируются с учетом дополнительного электрического поля, т.е. поля пятен, в приконтактной полупроводниковой области РКМП.

Известно [1] что, при непосредственном контакте металла с полупроводником возникают контактные разности потенциалов как между контактирующими поверхностями металла и полупроводника, имеющими работу выхода порядка 4-5 эВ, так и между контактной поверхностью границы раздела, имеющей высоту потенциального барьера порядка 1 эВ и к ней примыкающими свободными поверхностями металла и полупроводника, имеющими работу выхода порядка 4-5 эВ. Основное электрическое поле, возникающее из-за контактной разности потенциалов между контактирующими поверхностями металла и полупроводника, охватывает всю приконтактную область полупроводника. А дополнительное электрическое поле, возникающее из-за контактной разности потенциалов между контактной поверхностью границы раздела и к ней примыкающими свободными поверхностями металла и полупроводника, охватывает периферийную приконтактную область полупроводника. Кроме того, РКМП практически всегда имеет неодинаковую высоту барьера вдоль границы раздела, особенно по периферии контакта, где вступают в контакт с полупроводником различные грани кристаллитов металла, разность в работе выхода которых достигает до 1 эВ. Взаимодействие микроконтактов с различными высотами потенциальных барьеров также обуславливает возникновение электрического поля пятен в приконтактной полупроводниковой области РКМП. Локальные высоты потенциальных барьеров этих микроучастков (т.е. высоты барьеров не взаимодействующих микроучастков) меняются в широком интервале, т.е. от

максимального до такого минимального значения, что микроучастки с такой высотой барьера обладают омическими свойствами. Напряженности дополнительного электрического поля, в отличие от основного электрического поля, противоположно направляются для различных микроучастков контактной поверхности РКМП.

В данном докладе представляются результаты исследований фотоэлектрических процессов, происходящих в РКМП с электрическим полем пятен. Показано, что отклонение от закона Фаулера при низких частотах, в широком диапазоне температур и смещений для ДШ с различными контактными структурами, изготовленными на основе Si и GaAs, находится в согласии со свойствами РКМП с электрическим полем пятен.

1. Мамедов Р.К., Контакты металл-полупроводник с электрическим полем пятен, Баку, БГУ, 2003, 231 с.

A53. Фоторезисторы на основе новых монокристаллов $TlIn_{1-x}Fe_xS_2$

Керимова Э.М., Мустафаева С.Н., Гусейнова Д.А., Абасова А.З.

Институт физики Национальной Академии Наук Азербайджана, Баку, Азербайджан

Изучение физических свойств соединений типа $TlB^{III}C_2^{VI}$ (B-In, Ga; C-S, Se) и твердых растворов на их основе имеет важное практическое значение в плане установления закономерностей свойство- состав и управления их оптическими и фотоэлектрическими свойствами.

Целью настоящей работы явилось изучение влияния частичного замещения индия железом в монокристаллах $TlInS_2$ на их спектры фототока. Следует отметить, что указанное замещение придает кристаллам магнитные свойства, которые могут быть полезными в плане воздействия магнитного поля на их оптические и фотоэлектрические свойства.

Ниже приведены результаты изучения спектров фототока новых смешанных кристаллов $TlIn_{1-x}Fe_xS_2$ ($x=0,001\div 0,01$). Исследуемые составы были синтезированы сплавлением исходных компонентов (Tl, In, Fe и S) в кварцевых ампулах по соответствующей стехиометрии. Было установлено, что температура плавления и температура кристаллизации поликристаллов $TlIn_{1-x}Fe_xS_2$ с увеличением концентрации железа понижаются. Исходя из температур плавления и кристаллизации был подобран оптимальный режим и методом Бриджмена-Стокбаргера были выращены смешанные монокристаллы $TlIn_{1-x}Fe_xS_2$ ($x=0,001\div 0,01$). Скорость перемещения фронта кристаллизации при этом составляла 0,9 мм/час.

Полученные таким образом монокристаллы состава $TlIn_{1-x}Fe_xS_2$ расслаивались в двух плоскопараллельных плоскостях естественного скола. Цвет кристаллов по мере повышения в них содержания железа изменялся от светло-оранжевого до темно-коричневого.

Исследуемые образцы имели размеры $(0,05\times 3,0\times 1,5)$ мм³. Electroдами к образцам служил вплавленный индий. При изучении фотоэлектрических свойств монокристаллов $TlIn_{1-x}Fe_xS_2$ монохроматический свет падал перпендикулярно слоям естественного скола, а внешнее электрическое поле более было приложено вдоль слоев.

Сравнительные спектральные характеристики фоторезисторов из $TlInS_2$, $TlIn_{0,999}Fe_{0,001}S_2$, $TlIn_{0,995}Fe_{0,005}S_2$ и $TlIn_{0,99}Fe_{0,01}S_2$ показали, что максимум спектральной чувствительности вследствие частичного замещения $In\rightarrow Fe$ смещается от 2.4 до 1.2 эВ. Т.е. диапазон спектральной чувствительности монокристаллов $TlIn_{1-x}Fe_xS_2$ расширяется в сторону длинных волн по мере роста содержания железа в кристаллах и охватывает ближнюю инфракрасную область. В результате такого замещения значительно повышалось быстродействие изученных фоторезисторов.

A54. К вопросу о возможности повышения степени стабильности параметров и характеристик ИК-фотоприемников

на основе пленок $CdS_{1-x}Se_x$

Абдинов А.Ш., Мамедов Г.М., Гасанов Г.А.*

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

**Нахичеванский государственный университет, Нахичевань, Азербайджан*

Путем исследования фотохимической реакции в пленках с $0 \leq x \leq 0,8$, до и после термической обработки (ТО), в работе изучены возможности повышения степени стабильности основных параметров и характеристик ИК фотоприемников на их основе.

Изучаемые пленки с толщиной $2 \div 9$ мкм, получались методом электрохимического осаждения из водного раствора $CdCl_2 + Na_2S_2O_3 + SeO_2$ на подложках Мо, а термическая обработка осуществлялась при температурах $t=100 \div 400^\circ C$. Длительность ТО менялась в пределах $\tau=3 \div 12$ минут.

Установлено, что при охлаждении находящихся под воздействием непрерывного белого света нетермообработанных пленок $CdS_{0,4}Se_{0,6}$ от 300 до 80 К их фоточувствительности в области длин волн $0,68 \div 0,82$ мкм значительно увеличивается. После термической обработки при температуре $380^\circ C$ в течение 7 мин, во-первых, спектр фоточувствительности этих пленок расширяется в более длинноволновую сторону, во-вторых, на кривых спектрального распределения фоточувствительности появляется ярко выраженный дополнительный максимум при $\lambda=1,05$ мкм.

Обнаруженное при охлаждении под воздействием непрерывного белого света, изменение фоточувствительности нетермообработанных пленок $CdS_{1-x}Se_x$ обнаруживалось и в ранних работах. При этом оно объяснялось захватом электронов, связанных с вакансией кадмия г-центрами ($\epsilon_r = \epsilon_c - 0,15 \div 0,19$ эВ). Наблюдаемый нами на спектре фоточувствительности после термической обработки дополнительный максимум при $\lambda=1,05$ мкм свидетельствует о возникновении новых фотоактивных центров, возникших при распаде донорно-акцепторных пар (комплекса) в изучаемых пленках. Определена энергия активации этих комплексов ($\epsilon_r = \epsilon_c - 0,09 \div 0,12$ эВ), которые, скорее всего, состоят из г-центра и донора.

Выяснено, что наблюдаемая в изучаемых пленках $CdS_{1-x}Se_x$ фотохимическая реакция имеет обратимый характер. Так как, после освещения ИК светом образцы возвращаются в исходное состояние.

A55. Детекторы теплового излучения на основе эвтектики InSb-FeSb

Рагимов Р.Н., Мамедов И.Х., Араслы Д.Г., Халилова А.А., Джаббаров Р.М.

Институт физики Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджан

С целью создания приемников ИК-излучения на термомагнитном эффекте Нернста-Эттингсгаузена (Н-Э) исследованы кинетические коэффициенты: электропроводность, теплопроводность, термоэдс, коэффициент Холла, магнитосопротивление и эффект Н-Э под действием ИК-излучения в эвтектической композиции InSb-FeSb.

InSb-FeSb получен путем сплавления InSb с 0,65 вес % FeSb вертикальным методом Бриджмена со скоростью перемещения фронта кристаллизации 1 мм/мин. При этом строго выполнено требование перпендикулярности плоскости фронта кристаллизации направлению роста кристалла. Металлографический анализ показал, что металлическая фаза FeSb в матрице InSb распределена равномерно и сформирована в виде параллельно

ориентированных игл с диаметром 0,5 мкм, длиной 20-100 мкм, плотностью $2,2 \cdot 10^4 \text{ мм}^{-2}$. Полученный кристалл имел концентрацию электронов $n=1,10^{17} \text{ см}^{-3}$.

Исследования проведены при различных направлениях электрического тока I , магнитного поля B , теплового потока ΔT и направления роста металлических включений x . Вследствие закорачивания металлическими включениями наблюдается анизотропия кинетических коэффициентов. Определены безразмерный коэффициент поперечного термомагнитного эффекта Н-Э ε_y при $T=300 \text{ К}$ в магнитном поле до 0,65 Тл. Получено, что ε_y в эвтектической композиции InSb-FeSb при $\Delta T \parallel x \parallel B$ по сравнению с гомогенным InSb увеличивается в несколько раз, достигая значения $\varepsilon_y > 2$, а теплопроводность уменьшается.

На основе измеренных кинетических коэффициентов оценены основные характеристические параметры: удельная чувствительность, добротность, фактор добротности, обнаружительная способность и инерционность тепловых преобразователей с чувствительным элементом InSb-FeSb. Расчетные значения параметров при 300 К сопоставлены с данными перспективных для термомагнитных преобразователей материалов. Получено, что эвтектическая композиция InSb-FeSb может служить материалом для детектора теплового потока. Наиболее оптимальные условия работы детектора- $T=300 \text{ К}$ и $B=0,6 \text{ Тл}$.

А56. Фотоприемники концентрированного излучения на основе $\text{Cu}_3\text{Ga}_5\text{Se}_9$.

Гусейнов А.Г., Мамедов Р.М.

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

В работе оптического гетеродинного приемника (ОГП), при приеме мощного лазерного излучения, в результате теплового эффекта технические характеристики фотоприемника ухудшаются и возникают некоторые проблемы в эксплуатации этих приборов. Полупроводниковые материалы, использованные в изготовлении ОГП имеют отрицательное отношение к тепловому эффекту, т.к. с их нагревом уменьшается фоточувствительность и сильно изменяется отношение: сигнал – измерение.

Исследование фотоэлектрических и люминесцентных свойств $\text{Cu}_3\text{Ga}_5\text{Se}_9$ показало, что использование данного кристалла в качестве фотоприемника в ОГП позволяет не только решать вышеупомянутые проблемы, но и в некоторой мере улучшать и расширять диапазон технических параметров ОГП.

Установлено, что отжиг монокристаллов $\text{Cu}_3\text{Ga}_5\text{Se}_9$, приводит к усилению фоточувствительности и уменьшению времени релаксации, а также, при определенных дозах облучения, к изменению типа проводимости. Эти эффекты позволили создать быстродействующий и высокочувствительный фоторезистор и фотодиод на основе анизотипного перехода n - p - $\text{Cu}_3\text{Ga}_5\text{Se}_9$. Наилучший диапазон рабочей температуры фоторезистора 300–400 К. Спектральная чувствительность фоторезистора охватывает спектральный диапазон 0,54 – 0,88 мкм при температуре 360 К. Максимальная интегральная чувствительность при этом составляет 18 мА/Лм.

Фотоэлектрические свойства монокристаллов существенно определяются их предисторией. Во время выращивания монокристаллов, десорбция легколетучих компонентов из жидкой фазы приводит к образованию катионов или анионной вакансии в твердой фазе. Концентрация этих вакансий сильно влияет на механизм рекомбинации неравновесных носителей.

В результате облучения кристаллов мощным лазерным излучением некоторые атомы меди или галлия занимают вакантные узлы селена, вследствие чего происходит компенсация донора. Электропроводность, обусловленная донорным уровнем, уменьшается, а фоточувствительность образцов увеличивается в результате уменьшения сечения захвата рекомбинационных центров.

Термический отжиг в парах селена показал, что атомы селена замещают вакантные анионные узлы и междоузлия в кристаллической структуре. Последующим лазерным отжигом избыточные атомы в междоузлиях можно перевести на оставшиеся вакансии.

Таким образом, при помощи термической диффузии и лазерного отжига, имеется возможность управлять фотоэлектрическими свойствами кристалла.

А57. Полупроводниковые оптические фильтры для фотоприемников

Глебов Ю.А., Зверева Н.Ю., Ревзина О.Г., Казарова Ю.А., Шендерович Л.С.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Рассмотрены оптические фильтры из полупроводниковых материалов, используемые для ограничения коротковолновой спектральной чувствительности фотоприемников. Дана сравнительная оценка возможности разных материалов при совмещении функций фильтров и вакуумноплотных входных окон с учетом стойкости к воздействию технологических факторов при механической обработке, просветления и заделке в корпус. Рассмотрено влияние нагрева и охлаждения на оптические свойства фильтров. Приведены результаты последних исследований по разработке способов сдвига спектральной границы пропускания с помощью многослойных интерференционных покрытий, например, “превращения” кремния в германий.

А58. Антиотражающие покрытия для фотоприемных модулей матричных фотоприемных устройств

Болтарь К.О., Бурлаков И.Д., Седнев М.В.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

В матричных фотоприемных устройствах (МФПУ) на основе эпитаксиальных структур КРТ регистрируемое излучение поступает к фоточувствительному слою через подложку, выполненную, как правило, из арсенида галлия или теллурида кадмия с малой добавкой цинка (~4%).

Антиотражающие покрытия, нанесенные непосредственно на подложку охлаждаемого фотоприемного модуля, позволяют уменьшить потери падающего излучения и улучшить пороговые характеристики МФПУ. Применение многослойных интерференционных покрытий для просветления подложки по ряду причин не всегда оправдано и возможно.

Для уменьшения отражения в определенном спектральном диапазоне в технологическом цикле изготовления охлаждаемых фотоприемных модулей целесообразно использование однослойного покрытия оптической толщиной, равной четверти длины волны падающего излучения и показателя преломления $n_{\text{слоя}} \approx \sqrt{n_{\text{подложки}}}$.

Выбор материала слоя, прозрачного в ИК-диапазоне, с необходимым показателем преломления ограничен, особенно, для диапазона 8÷12 мкм. Кроме того, определенные требования на выбор материала слоя накладывают условия эксплуатации покрытия при криогенной температуре (80 К) и требования стойкости к термоциклированию.

Представлены результаты исследований по выбору материала слоя антиотражающих покрытий для теллурида кадмия и арсенида галлия.

Показано, что нанесение разработанных антиотражающих покрытий позволяет уменьшить отражение от теллурида кадмия на ~20% и от арсенида галлия на ~30%.

А59. Оптический фильтр ИК-фотоприемника на основе эпитаксиального слоя КРТ, выращенного методом эпитаксии из металлоорганических соединений

Болтарь К.О., Яковлева Н.И., Бурлаков И.Д., Стафеев В.И., Седнев М.В.,
Пермикина Е.В., Моисеев А.Н.* , Котков А.П.* , Гришнова Н.Д.*

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

**Институт химии высокочистых веществ АН, Нижний Новгород, Россия*

Оптические фильтры, устраняющие чувствительность ИК-фотоприемника вне полосы прозрачности атмосферы, улучшают распознавание удаленных объектов за счет уменьшения шумов, вызванных турбулентностью атмосферы. Оптические фильтры, расположенные в охлаждаемой зоне ИК-фотоприемника, снижают фототок, вызванный фоновым ИК-излучением, что повышает удельную обнаружительную способность и диапазон рабочей температуры ИК-фотоприемника.

Экспериментально исследован оптический фильтр для спектрального диапазона 8-12 мкм, изготовленный на основе эпитаксиального слоя КРТ, выращенного методом эпитаксии из металлоорганических соединений.

В качестве подложки фильтра служит пластина GaAs ориентации (111)В толщиной 400 мкм. Эпитаксиальный слой соединения кадмий-ртуть-теллур (КРТ) толщиной 4 мкм выращивался методом химического осаждения из паров металлоорганических соединений и ртути (МОС) при пониженном давлении (0,2 атм.) и температуре 350°C. Мольная доля CdTe в эпитаксиальных слоях $Cd_xHg_{1-x}Te$ составляла $x=0,24$. Тыльная сторона подложки полировалась. На фильтр с обеих сторон нанесены однослойные просветляющие покрытия на длину волны максимального пропускания 10 мкм.

Экспериментально исследованы спектры пропускания фильтра при $T=80$ К, как при перпендикулярном, так и при падении ИК-излучения под углом к поверхности. В отличие от интерференционных фильтров, спектр пропускания слабо изменяется от угла падения излучения. Пропускание в диапазоне длин волн 8-12 мкм превышает 80%. Пропускание на длине волны 7 мкм составляет 40%, 6 мкм – 10%, 5 мкм – менее 2%. Крутизна спада пропускания фильтра в коротковолновой области может быть улучшена путем увеличения толщины слоя КРТ в 2-3 раза.

А60. Релаксационная оптика: проблемы развития и применения

Трохимчук П.П.

Волынский госуниверситет им. Леси Украинки, Луцк, Украина

Луцкий биотехнический институт

Международного научно-технического университета, Луцк, Украина

Для дальнейшего развития технологической базы миниатюризации элементов оптико-электронных систем, включая фотоприемники, большое значение имеет развитие нового раздела как фундаментальной, так и прикладной физики, релаксационной оптики (РО).

Релаксационной оптикой называется раздел физики, который описывает процессы неадиабатического (необратимого) воздействия оптического излучения с веществом. Необходимость создания такого раздела физики возникла при решении вопроса о возможности создания лазерных и ионно-лазерных структур (так называемый лазерный и импульсный отжиг на полупроводниках, в том числе на антимониде и арсениде индия. Основу этого раздела физики составляет хронологически-концентрационно-энергетическая классификация возможных эффектов РО и создание на основе этой классификации соответствующих моделей первичных (в основном кинетических, квантовых), вторичных (в основном динамических, волновых), а также смешанных эффектов, процессов и явлений. РО

является новым синтезом на границе неравновесной термодинамики, фотохимии, физики критических явлений и т.п.

Перспективы развития РО следующие. В экспериментальной части – создание более прецизионных источников облучения с различными временно-спектральными характеристиками, поиск материалов со сравнительно большими временами релаксации для проведения соответствующих модельных экспериментов. В теоретическом плане – построение соответствующих цепочек уравнений, а также аналитическое и численное моделирование соответствующих им процессов. Очень интересным с физической точки зрения представляется изучение процессов РО, связанных с процессами собственного поглощения оптического излучения.

В плане применения эффекты РО могут быть использованы для перевода материала из одного стабильного состояния в другое или из одного более равновесного в менее равновесное состояние и наоборот. В технологическом аспекте явления РО могут быть использованы для селективного отжига дефектов, как в объеме, так и на поверхности материала, создания инверсных слоев различной стабильности, создания автоколебательных структур и т.п.

А61. Узкополосные голограммные фильтры как эффективное средство защиты фотоприемных устройств приборов ночного видения от воздействия мощных лазерных пучков

Белокопытов А.А., Буйнов Г.Н., Шигапова Н.М.

ФГУП «НПО ГИПО», Казань, Россия

В настоящее время одной из актуальных задач разработчиков оптико-электронных приборов и систем различного назначения является поиск и создание средств защиты фотоприемных устройств и органов зрения операторов от воздействия мощного лазерного излучения. ФГУП «НПО ГИПО» владеет технологией изготовления узкополосных голограммных фильтров (Notch-фильтров), которая позволяет разрабатывать уникальные и серийно производить стандартные оптические фильтры с высокими техническими характеристиками. Эти фильтры обладают высокой лучевой прочностью и обеспечивают эффективное подавление лазерного излучения до 6 порядков и выше при высоком коэффициенте пропускания вне полосы подавления до 90%, могут иметь одновременно одну или несколько полос подавления в диапазоне 0,4-1,5 мкм. Notch-фильтры могут быть изготовлены как на плоских, так и на выпуклых или вогнутых поверхностях диаметром до 80 мм. В докладе представлены схемы регистрации и аттестации фильтров, а также технические характеристики некоторых фильтров для разных длин волн.

А62. Объектив с дискретным изменением фокусного расстояния для работы в области спектра 3...5 мкм

Лебедев О.А., Нужин А.В.*, Нужин В.С., Солк С.В.

ФГУП НИИКИ ОЭП, Сосновый Бор, Ленинградская область, Россия

**ГОИ им. С.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия*

Разработан, изготовлен и исследован линзовый ИК объектив для работы в области спектра 3...5 мкм. Объектив имеет дискретное изменение фокусного расстояния $f^*=174/74$ мм, относительное отверстие 1:1,6, поле зрения $3^\circ/9^\circ$ и предназначен для работы с матричным фотоприёмником.

Объектив состоит из семи линз, изготовленных из монокристаллических материалов - германия и кремния. Все рабочие поверхности - сферические, что облегчает серийное производство объектива. Смена увеличения осуществляется устройством револьверного

типа, а перефокусировка и компенсация термоаббераций за счёт перемещения общего для обоих каналов двухлинзового компонента. Объектив предназначен для работы на дистанциях от 200 м до «бесконечности» при температурах от -10°C до $+50^{\circ}\text{C}$. Диаметр кружка рассеивания содержащий 83,8% энергии в центре и по полю составляет: для $f^*=174$ мм 15 мкм и 27 мкм соответственно, для $f^*=74$ мм 16 мкм и 40 мкм. Проектирование, изготовление и контроль объектива проводились по рекомендациям, описанным в работе [1]. Однако усложнение конструкции объектива потребовало разработки новых оригинальных методик, применяемых, как на стадии сборки, так и на стадии испытаний объектива. Были разработаны и апробированы следующие методики:

- определение качества объектива по функции рассеивания края, что позволяет существенно повысить соотношение сигнал-шум при измерении распределения энергии в изображении тест-объекта;
- измерение непараллельности оптических осей при смене увеличений с помощью специального приёмного теста;

Объектив успешно прошёл климатические и виброударные испытания.

А63. О новом методе дистанционного измерения температуры

Бакуменко В.Л., Бегучев В.П., Сагинов Л.Д., Свиридов А.Н.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Предлагаемый метод решает задачу создания предельно простых дешёвых и портативных оптических пирометров, пригодных для бесконтактного измерения температуры объектов, в том числе в диапазоне близком к температуре окружающей среды. Метод сочетает в себе приемлемую для большинства применений точность измерения температуры ($\approx 1^{\circ}\text{C}$) и малое время подготовки прибора для измерений (несколько секунд). На предлагаемый метод предприятием ФГУП «НПО «ОРИОН»» получен Патент РФ № 2194255 с приоритетом от 29.09.99 г.

Главная особенность метода состоит в использовании для оперативной калибровки пирометра в качестве опорного источника инфракрасного излучения полости рта оператора. Возможность использования полости рта оператора в качестве оперативного источника сравнения подтверждают дистанционные измерения температур полости рта по ИК-излучению у группы здоровых людей. Для измерений использовались стандартные тепловизионная камера и пирометр. Оба прибора могли измерять температуру с абсолютной ошибкой не более $0,1^{\circ}\text{C}$. При соблюдении определённых простых условий проведения измерений разброс температур полости открытого рта у разных людей оказался не более $0,7^{\circ}\text{C}$.

Использование полости рта оператора в качестве оперативного источника позволяет исключить из конструкции пирометра тепловой источник сравнения. Это снижает энергопотребление, увеличивает срок работы между зарядкой источников питания, повышает надёжность и значительно уменьшает стоимость изготовления прибора. Предложенная схема пирометра и алгоритм его калибровки позволяют сохранять установленную погрешность измерения, даже в случаях возможного ухудшения параметров оптики (запотевание, частичное ухудшение пропускание объектива и др.).

Приводятся основные технические характеристики лабораторного макета пирометра, использующего предложенный метод и подтверждающего возможность создания такого прибора.

А64. Методика калибровки измерительных установок, использующих абсолютно черное тело

Бакуменко В.Л., Бегучев В.П., Дегтярёв Е.В., Кожанов И.А.,
Сагинов Л.Д., Свиридов А.Н.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Одной из основных задач метрологического обеспечения разработок ИК-фотоприемников, в том числе крупноформатных многоэлементных фотоприемных устройств (МФПУ), является точное и метрологически обоснованное определение облученности на поверхности фоточувствительных элементов (ФЧЭ) измеряемого ФПУ, создаваемой абсолютно черным телом (АЧТ) с заданной температурой и диаметром излучающего отверстия.

Известна методика измерения облученности в плоскости матрицы фоточувствительных элементов фотоприемных устройств (ФЧЭ ФПУ), основанная на измерении модулированного потока излучения от АЧТ. В качестве образцового средства измерения используется пироэлектрический приемник (ПП). Абсолютная калибровка ПП проводится с помощью образцового АЧТ.

Суммарная погрешность при измерениях по этой методике зависит не только от погрешностей установки и поддержания температуры АЧТ и определения коэффициента излучения АЧТ, но и от погрешностей поддержания частоты вращения оптического прерывателя излучения АЧТ, точностью его изготовления и позиционирования и настройки контура узкополосного усилителя.

Предлагаемая методика измерений абсолютной облученности основана на измерении постоянного потока излучения от АЧТ и исключает погрешности, связанные с модуляцией потока. Измерение облученности производится с помощью неселективного термоэлектрического приемника фирмы "MICRON INSTRUMENT COMPANY, INC.", калиброванного с помощью эталонного АЧТ. Точность предлагаемой методики существенно выше по сравнению с методикой модулированного потока.

В работе дано описание методик измерения облученности по модулированному и немодулированному потокам излучения АЧТ и проведен сравнительный анализ погрешностей этих методик.

А65. Методика измерений относительной спектральной чувствительности образцового приемника излучения

Бакуменко В.Л., Бегучев В.П., Брюхов А.С., Сагинов Л.Д., Свиридов А.Н.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

В сообщении обсуждается методика выполнения измерений относительной спектральной чувствительности образцового фотоприемника в спектральном диапазоне 1-14 мкм.

Методика выполнения измерений относительной спектральной чувствительности образцового фотоприемника в спектральном диапазоне 1-14 мкм основана на последовательном облучении фотоприемника потоками излучения с известными длинами волн и мощностями. Спектральные потоки излучения выделяются из излучения образцового абсолютно черного тела (АЧТ) с помощью узкополосных спектральных фильтров с известными характеристиками.

Подобная методика не нуждается в образцовых радиометрах, которые необходимо ежегодно калибровать в организациях Госстандарта. Метрологическая обоснованность этой методики может быть подтверждена средствами измерений, которыми располагает предприятие.

Для реализации методики был разработан макет установки, содержащий АЧТ, набор узкополосных интерференционных спектральных фильтров и блокирующие фильтры для подавления паразитного пропускания интерференционных фильтров в длинноволновой области. В качестве калибруемого образцового приемника (ОП) использовался пироэлектрический модуль МГ-30.

Подробно описана последовательность измерений и расчетов погрешностей. В результате которых определяется спектральная чувствительность образцового приемника и погрешность её измерения. Спектральная характеристика образцового фотоприёмника может использоваться в качестве аппаратной характеристики спектральных приборов для измерения относительной спектральной чувствительности ИК ФП и МФПУ.

Проведены измерения коэффициентов пропускания узкополосных спектральных ИК-фильтров и расчеты интенсивностей спектральных потоков излучения, выделяемых из излучения АЧТ этими фильтрами

Выполнены расчеты эквивалентных спектральных фильтров и сделана оценка погрешностей. Показана возможность уменьшения случайных погрешностей при определении параметров эквивалентных фильтров.

Проведены измерения напряжения ОП при облучениях спектральными потоками в диапазоне длин волн 1-14 мкм и расчеты погрешностей измерений, проводимых по описываемой методике.

А66. Анализ микрофотографий материалов микрофотоэлектроники по изображениям полос равной толщины

Гришина Т.А., Потапкин О.Д.,

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Представлен и обоснован метод экспериментального подтверждения формулировки динамического дифракционного взаимодействия электронов с полем кристаллической решётки, полученной в [1-3] с использованием представлений волновой электронной оптики и достижений теории передаточных функций. В основе метода анализ соотношений контраста и периодичности осцилляции интенсивности в полосах равной толщины на светлопольных и темнопольных изображениях клинообразного монокристалла.

Рассматриваются результаты кинематической теории дифракции для соединений арсенида галлия. Объектом экспериментальных исследований служили денситограммы экспериментальных микрофотографий клинообразного монокристалла кремния. Микрофотографии были получены на приборе Н-800 фирмы Хитачи при ускоряющем напряжении 200 кВ, при нескольких ориентациях кристаллической решётки объекта по отношению к освещающему пучку.

Установлено, что контраст и периодичность полос равной толщины на экспериментальных микрофотографиях находятся в хорошем соответствии с результатами теории, разработанной в [1-3]. Результаты анализа денситограмм сравниваются с аналитическими результатами кинематической и динамической теории дифракции.

1. Гришина Т.А., Васичев Б.Н., Потапкин О.Д. // Прикладная физика, 2002, вып. 4, с.5
2. Гришина Т.А., Васичев Б.Н., Потапкин О.Д. // Прикладная физика, 2002, вып.4, с. 14
3. Гришина Т.А., Васичев Б.Н., Потапкин О.Д. // Прикладная физика, 2003, вып.1, с.5

А67. «Физическая» теорема Нётер в фотонике и computer science

Правильщиков П.А.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

В первой половине 20-го века была доказана знаменитая “физическая” теорема Э. Нётер, устанавливающая связь между свойствами *симметрии* физической системы и

законами сохранения. Теорема утверждает, что для всякой физической системы, уравнения движения которой могут быть получены из *вариационного принципа*, каждому однопараметрическому непрерывному преобразованию, оставляющему *вариационный функционал* инвариантным, соответствует один дифференциальный *закон сохранения*. Совокупность однопараметрических непрерывных преобразований вместе с операцией их композиции образует некоторую группу (например, *группу Лоренца*, *группу Пуанкаре*, или в некоторых случаях, *симметрическую группу S_n*). В методологическом плане теорема Нётер является самым универсальным средством, позволяющим находить законы сохранения в классической и квантовой механике, в теории поля и других отраслях научного знания, так как позволяет явно выписать сохраняющуюся величину. Заметим, что наиболее часто в качестве *вариационного принципа* при использовании теоремы Нётер выступает *принцип наименьшего действия* или *принцип Ферма* (в оптике и фотонике).

В *computer science* (информатике) было установлено, что решение почти всех проблем может быть представлено как *движение* в некотором лабиринте Λ . В частности, *лабиринтная модель* может быть представлено решение систем различных уравнений и решение **NP-полных** (переборных) задач. Позднее было показано, что и *процесс* построения тестов, *процесс* диагностического моделирования и *процесс верификации* с помощью известных **D-алгоритмов** для объектов диагностирования разных классов (дискретных и аналоговых устройств, модулей программного обеспечения и т.п.) может быть представлено как движение в *диагностическом лабиринте Λ^{∂}* . Там же в был доказан *диагностический аналог теоремы Нётер* для лабиринтов, которые подчиняются такому *вариационному принципу*, как *принцип Ферма* (подобные лабиринты обозначаются символом $\Lambda_{\min}^{\partial}$). *Диагностический аналог теоремы Нётер* устанавливает связь между свойствами *минимальных лабиринтов $\Lambda_{\min}^{\partial}$* и *законом сохранения перебора*. Количественная форма этого закона для *комбинационных устройств (КУ)* при использовании последовательных **D-алгоритмов** построения тестов имеет вид: **(1) $Pr_{\min} = 2N - m - n$** , где N - число дуг в *логической сети КУ*; m - число выходов **КУ**; n - число входов **КУ**.

Вероятность p выполнения последовательного **D-алгоритма** по *минимальной траектории* (т.е. *движения по минимальному маршруту M_{SFmin}* в лабиринте $\Lambda_{\min}^{\partial}$) с ростом размерности *объекта диагностирования* быстро уменьшается. Поэтому для преодоления ограничений *закона сохранения перебора (1)* необходимо использовать новую архитектуру вычислительных средств с механизмом гипермассового параллелизма, а также *параллельно-последовательные D-алгоритмы*. Такая новая архитектура представляет собой разновидность архитектуры “*процессор в памяти*”, которую в последнее время стали использовать в **США** для значительного ускорения обработки изображений высокого качества, формирования цифровых образов местности и моделирования функционирования радарных устройств.

Теперь уместно вернуться к *принципу Ферма* в оптике и фотонике. Этот *принцип* утверждает, что при движении из точки **A** в точку **B** в среде с переменным коэффициентом преломления луч света (*фотон*) выбирает путь с наименьшим временем. Используя известный методологический метод обобщающей переформулировки задачи и зная способы применения *принципа Ферма* в *computer science*, можно высказать утверждение, что дискретная математика и *лабиринтная модель движения*, подчиняющегося *принципу Ферма*, пригодны для описания движения фотона. На основе этой модели можно объяснить известные и предсказать новые явления, а также вычислить параметры лабиринтной модели данного движения.

А68. Построение аппаратно-программных комплексов цифровой обработки изображений фотоэлектронных модулей

Бехтин Ю.С., Баранцев А.А., Соляков В.Н.*, Медведев А.С.*

Рязанская государственная радиотехническая академия, Рязань, Россия

**ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия*

Улучшение качества изображений, получаемых с помощью многоэлементных фотоэлектронных модулей (ФЭМ), связывают в первую очередь с эффективным подавлением геометрического шума темнового тока, чувствительности и дефектов [1]. В последнее время перспективным считается построение аппаратно-программных комплексов, решающих в совокупности задачи предварительной калибровки элементов ФЭМ, подавления дефектов, улучшения визуального качества путем регулирования яркости, контрастности, изменения размеров изображения, пространственно-временной обработки и т.п. Такая идея становится вполне реализуемой с ростом быстродействия современных цифровых процессоров обработки сигналов.

В первой части доклада рассматриваются вопросы построения алгоритмов обработки изображений, сформированных с помощью ФЭМ, способных эффективно и в реальном масштабе времени решать некоторые из вышеперечисленных задач, в частности задачи подавления геометрического шума чувствительности и дефектов. Одна из идей, положенная в основу исследований, заключается в представлении искажений, вносимых неоднородностью коэффициентов передачи каналов ФЭМ, как последствия воздействия мультипликативного шума.

Результаты проведенных исследований показали, что для линейчатых ФЭМ с точки зрения эффективности и простоты реализации необходимо применять алгоритмы адаптивной фильтрации мультипликативных помех, использующие локальную, то есть в пределах окрестности каждого пикселя, статистику. Для матричных фотоприемников обосновывается необходимость применения других методов, в частности вейвлет-преобразований (wavelet) [2,3].

Во второй части доклада приводятся практические результаты по созданию аппаратно-программных комплексов для линейчатых ФЭМ размером 2×256 и матричных ФЭМ (боллометров) размером 320×240 . Данные комплексы построены на специализированной плате аналого-цифрового ввода сигналов ФЭМ через шину PCI персонального компьютера. Рассматриваются перспективы создания мобильных программно-аппаратных комплексов, имеющих USB интерфейс.

1. Кругликов С.В. Методы и средства подавления структурных помех многоэлементных фотоприемников // Аналитический обзор № 4628 за 1970-1987 гг. М., 1989.
2. Воробьев В.И., Грибунин В.Г. Теория и практика вейвлет-преобразования. С-Петербург.: ВУС, 1999.
3. Yu.Bekhtin. Optimal Subband Wavelet Thresholding using Noisy and non-Noisy Data of Images. 2nd IEEE Region 8 EURASIP Symposium on Image and Signal Processing and Analysis, Pula, Croatia, June, 2001.

А69. Изучение физических свойств тензочувствительных плёнок $(\text{Bi Sb})_2\text{Te}_3$ под действием лазерного излучения

Убайдуллаев М.И.

Ферганский государственный университет, Фергана, Узбекистан

Нами в работе были изучены электрофизические свойства тензочувствительных плёнок на основе $(\text{BiSb})_2\text{Te}_3$ Pb в интервале температур $0,5 \div 300$ К. Определено, что сопротивление образцов в данном температурном интервале остается практически неизменным, а

тензочувствительность плёнок с понижением температуры вплоть до 4,2 К возрастает. Шумовое напряжение, генерируемое плёнкой в диапазоне частот $1,5 \div 150000$ Гц, также не меняется, и в интервале температур $4,2 \div 300$ К преобладает шум со спектром типа $1/\nu$. Предложена модель, объясняющая указанные выше особенности поведения тензоплёнок при низких температурах. В данной работе сообщается о влиянии ЛО на электрофизические свойства тензочувствительных плёнок на основе $(\text{BiSb})_2\text{Te}_3$. Облучения плёнок были проведены при помощи лазерной установки ОМГ-20, работающей в режиме модулированной добротности

$$(\lambda = 1.06 \text{ мкм}; \tau_b = 3 \cdot 10^{-8} \text{ с}; E_u = 1,5 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Дж}}{\text{см}^2});$$

лазерный луч падал на поверхность плёнки перпендикулярно к её поверхности. Продолжительность облучения изменялось от 1 до 5 минут. Во время отжига непосредственных измерений температуры образца не проводилось. После проведения отжига снимались тензохарактеристики вольтамперные и шумовые характеристики. Методика снятия перечисленных характеристик подробно описано в работе [1].

Все характеристики плёнки после ЛО были сняты в течение 10 суток с определёнными интервалами времени (каждые 30 минут).

Впервые обнаружено аperiодическое изменение свойств плёнок на основе $(\text{Bi Sb})_2\text{Te}_3$ после ЛО. Предложен механизм, объясняющий физическую сущность наблюдаемого явления.

А70. Технология изготовления ИК-приемников из кремния, легированного таллием

Султанов Н.А.

Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан

Технология легирования кремния таллием в процессе выращивания монокристаллов связана с определёнными трудностями, так как таллий не растворяется в кремнии ни в твердом, ни в жидком состоянии; имеет большую упругость пара при температуре плавления кремния, активно взаимодействует с кислородом и кварцем, а также во время диффузии происходит заметная эрозия поверхности кристаллов.

Таллий обладает очень низким коэффициентом диффузии. В связи с этим в последние годы основные исследования Si (Tl) были выполнены на имплантированных слоях. При имплантации, в условиях отсутствия аморфизации, около трети внедренных атомов таллия располагаются в узлах, остальные - в тетраэдрических междоузлиях. Таллий в положении замещения создает акцепторный уровень $E_v+0,3$ эВ, а междоузельный таллий создает донорный уровень $E_c+0,28$ эВ. $E_c-0,28$ эВ.

Целью данной работы было изготовление ИК-приемников и измерение их параметров в монокристаллах, выращенных по методу Чохральского.

Слитки p-Si (Tl) имели удельное сопротивление при комнатной температуре порядка 2-80 Ом.см. при подвижности дырок $400-500 \text{ см}^2/\text{В.с}$. Для измерения спектров фотопроводимости и ИК-поглощения были использованы образцы с высоким сопротивлением при 77 К. Размеры использованных образцов $10 \times 5 \times 0,8 \text{ мм}^3$. Контакты были изготовлены путем сплавления алюминия или напайвания сплава 97% In+3% Ga. Основные измерения фотопроводимости производились при модулированном, с частотой 30 Гц, освещении и температуре 77 К. Типичный спектр фотопроводимости имеет длинноволновую границу фотоответа при $h\nu \geq 0,2$ эВ. В области 0,25-0,3 эВ спектральная зависимость фототока I_ϕ имеет немонотонный характер, связанный с термооптическими переходами через возбужденные состояния атомов таллия. В целом спектры фотопроводимости объемных кристаллов p-Si (Tl) подобны спектрам фоточувствительности образцов, полученных путем ионной имплантации таллия с последующей диффузионной разгонкой.

Измерения температурной зависимости фотоответа показали, что фоторезисторы из p-Si (T1) имеют заметную чувствительность при ≤ 90 К в широком диапазоне длин волн $h\nu \approx 0,2 \div 0,8$ эВ.

A71. Разработка эластифицированных эпоксидных композиций для фотоприемников и фотоприемных устройств

Хитрова Л.М., Филатов А.В., Поповян Г.Э., Трошкин Ю.С.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Разработаны низковязкие клеевые композиции марок "Орион-70" и "Орион-73", содержащие в своем составе только отечественные исходные компоненты, которые синтезированы в России в последние два года. Количественные составы и режимы отверждения компонентов подобраны по оптимальному сочетанию физико-технических характеристик. По результатам исследования характеристик компонентов, а именно: адгезионной прочности склеек разнородных материалов, криостойкости, стойкости к циклическому изменению температуры (более 500 термоциклов) и химстойкость к органическим растворителям и кислотным травителям, - были выработаны рекомендации по их использованию. Композиция марки "Орион-70" предназначена для использования в технологии изготовления охлаждаемых полупроводниковых фотоприемников, например из CdHgTe. Композиция марки "Орион-73", обладая повышенной эластичностью (до 30%), что является нетривиальным для класса эпоксидных полимеров, рекомендуется для использования в качестве заливочного материала в технологии фотоприемников и фотоприемных устройств.

A72. Оптимизированный материал для р-ветвей термоэлектрических охладителей на основе твердого раствора $\text{Bi}_{0,5}\text{Sb}_{1,5}\text{Te}_3$

Бархалов Б.Ш., Алиев Р.Ю., Багиева Г.З., Мустафаев Н.Б., Магеррамова К.И.

Институт физики Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджан

Разработан оптимизированный высокопрочный термоэлектрический материал для положительной ветви термоэлектрических охладителей на основе твердого раствора $\text{p-Bi}_{0,5}\text{Sb}_{1,5}\text{Te}_3$, легированного атомами редкоземельного металла диспрозия.

Образцы были получены методом горячей экструзии из предварительно синтезированного и оптимально легированного атомами диспрозия исходного твердого раствора. Полученные образцы подвергались оптимизирующему отжигу в вакууме $\sim 10^{-2}$ Па при температуре ~ 720 К в течение 60 часов. Термоэлектрические параметры измерялись в направлении оси экструзии в интервале температур $80 \div 300$ К. Выявлено, что для образцов, легированных 0,01 ат.% Dy в интервале температур $300 \div 200$ К коэффициент термо-э.д.с. α сохраняет достаточно высокие значения ($\sim 270, 230$ и 200 мкВ/К соответственно при температурах 300, 250 и 200 К), что в совокупности с низким значением коэффициента теплопроводности χ ($13,9 \cdot 10^{-3} \div 14,2 \cdot 10^{-3}$ Вт/см·К) и достаточно высоким коэффициентом электропроводности σ ($700 \div 1000$ Ом·см⁻¹) в указанном интервале температур, а также в сочетании с высокой механической прочностью позволяет рекомендовать разработанный материал для использования его в качестве материала для р-ветви термоэлектрических охладителей на уровень температур до 200 К.

А73. Конструкционные полимерные клеи повышенной технологичности для сборки фотоприемников и фотоприемных устройств

Антипова М.А., Яснова К.И., Дрожников Б.Н.

ГНЦ ФГУП «НПО» Орион», Москва, Россия

Повышенный интерес, проявляемый в последние годы к созданию фотоприемников на основе различного рода полупроводниковых структур для гражданского применения, поставил задачу максимального сокращения технологического цикла их сборки с целью рентабельности серийного производства.

Поскольку значительная часть объема сборки фотоприемников и фотоприемных устройств приходится на операции с использованием различного рода полимерных материалов (лаков, клеев, герметиков и др.), вопрос сокращения технологического цикла в ряде случаев может быть решен применением полимерных составов с ускоренным режимом их полимеризации и отверждения.

Нами разработаны такого рода материалы на основе полиэфиро- и полиорганосилоксануретанов, способные отверждаться в десятки раз быстрее известных полимерных клеев и герметиков. Это позволяет значительно увеличить производительность при изготовлении разработанных приемников и тем самым снизить конечную себестоимость продукта. В статье приводятся составы разработанных материалов, физико-химические и клеящие свойства.

А74. Исследование зависимости электрофизических параметров пленок КРТ МЛЭ от уровня легирования In

Бахтин П.А., Дворецкий С.А., Варавин В.С., Коробкин А.П., Михайлов Н.Н., Сидоров Ю.Г., Смирнов Р.Н., Якушев М.В.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

В работе исследованы гетероэпитаксиальные пленки $Cd_xHg_{1-x}Te$ (КРТ), выращенные методом МЛЭ на подложках GaAs и легированные In в процессе роста по всей толщине пленки. Легирование осуществлялось с помощью потока In из дополнительного источника, величина потока задавалась температурой In в источнике. Были выращены пленки с $x \approx 0,22$ и толщиной $10 \div 12$ мкм с разным уровнем легирования. После роста пленки имели n-тип проводимости с концентрацией электронов в диапазоне от $5 \cdot 10^{14}$ до $1,3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. С помощью метода ВИМС было установлено, что концентрация электронов в пленках КРТ линейно зависит от уровня легирования In во всем исследованном диапазоне. Получены зависимости подвижности электронов и времени жизни неосновных носителей заряда от уровня легирования. Подвижность и концентрация носителей заряда в пленках КРТ измерялись с помощью эффекта Холла в диапазоне магнитных полей $0,05 \div 1$ Тл и $T=77$ К, время жизни измерялось с помощью бесконтактного СВЧ метода. С увеличением уровня легирования наблюдается снижение подвижности от $1,2 \cdot 10^5$ до $3 \cdot 10^4 \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$, что качественно соответствует теоретическим расчетам. Время жизни носителей снижается от 6 мкс при $n=5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ до 0,04 мкс при $n=1,3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Падение времени жизни с ростом уровня легирования определяется механизмом Оже-рекомбинации.

А75. Влияние низкотемпературных отжигов на электрофизические параметры пленок CdHgTe

Бахтин П.А., Дворецкий С.А., Варавин В.С., Коробкин А.П., Михайлов Н.Н., Сидоров Ю.Г.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Исследовано влияние низкотемпературных отжигов ($70\div 200^\circ\text{C}$, $1\div 2000$ час) на электрофизические параметры нелегированных пленок $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ (КРТ) n-типа проводимости и пленок КРТ, легированных индием в процессе роста. Пленки КРТ с $x \approx 0,22$ и толщиной $10\div 12$ мкм были выращены методом МЛЭ на подложках GaAs. Нелегированные пленки имели концентрацию электронов $(2\div 4)\cdot 10^{14}$ см^{-3} , а легированные $(5\div 10)\cdot 10^{14}$ см^{-3} .

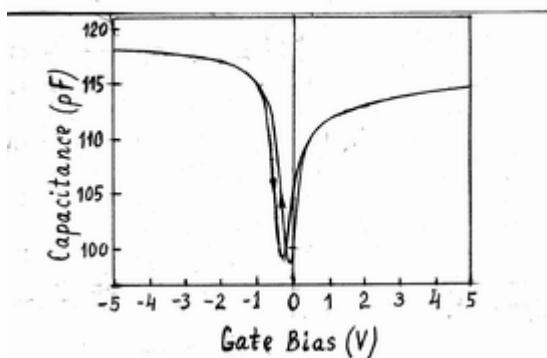
Было исследовано влияние защитных покрытий (анодный оксид (АО), CdTe и диэлектрик) и легирования индием на изменение электрофизических параметров пленок КРТ при отжигах. При последовательных отжигах измерялись магнетопольные зависимости проводимости и коэффициента Холла и время жизни не основных носителей при 77 К.

Отжиг при температуре около 210°C в течение 20 часов в инертной атмосфере переводит образцы в р-тип, а последующий отжиг в этом режиме в парах ртути позволяет обратимо получить n-тип проводимости. Такое поведение и наблюдаемое снижение проводимости в образцах без защитного покрытия и уменьшение времени жизни не основных носителей в процессе отжигов при $70\div 200^\circ\text{C}$ объясняются образованием вакансий ртути. Вакансии ртути являются акцепторами и генерируются при повышении температуры за счет выхода атомов ртути из образца. В наибольшей степени процесс выхода ртути замедляется в образцах с нанесенным анодным оксидом (АО) и время начала изменения параметров пропорционально толщине АО. Предложена модель защитного действия АО, по которой АО является резервуаром ртути, которая диффундирует вглубь образца. Использование тонких защитных слоев CdTe и диэлектрика для стабилизации электрофизических параметров КРТ n-типа проводимости при температурах выше комнатной оказалось менее результативным, чем с помощью АО.

А76. Плазмохимическое осаждение пленок оксинитрида кремния для пассивации поверхности КРТ

Васильев В.В., Дульцев Ф.Н., Машуков Ю.П., Парм И.О., Соловьев А.П.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия



Осаждение диэлектрических плёнок с плазменной активацией реагентов для пассивации КРТ затруднено в связи с сильным воздействием плазмы на поверхность. Материал КРТ р типа под воздействием плазмы обычно конвертируется в n тип. В качестве механизма конверсии в данное время предлагаются как радиационные повреждения приповерхностной области, так и образование и диффузия междоузельной ртути вглубь полупроводника. Указанные процессы приводят к образованию донорных центров и нейтрализации акцепторов в объеме КРТ.

Нами разработана установка с планарно-индукционным источником плазмы нового поколения. Данный источник плазмы позволяет проводить процессы осаждения при низких энергиях ионов, что позволяет минимизировать повреждения вносимые ионной компонентой плазмы. Плёнки оксинитрида кремния

выращивались при комнатной температуре подложки в режимах с низкими энергиями ионов. На рисунке показана вольт-фарадная характеристика (ВФХ), измеренная при температуре 80 К на частоте 500 кГц, площадь МДП структур составляла $0,5 \times 0,5 \text{ мм}^2$. Был использован объёмный $p\text{-Cd}_{0,225}\text{Hg}_{0,775}\text{Te}$ с концентрацией дырок при температуре жидкого азота $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Вид ВФХ типичен для КРТ указанного состава. Расчеты показывают, что глубина модуляции ёмкости примерно соответствует данной концентрации дырок, а высокая крутизна левой части кривой указывает на отсутствие заметного количества поверхностных состояний внутри запрещённой зоны. Тангенс угла диэлектрических потерь на указанной частоте не превышает $1 \cdot 10^{-2}$. Плотность токов утечки при температуре 80 К не превышает $1 \cdot 10^{-9} \text{ А/см}^2$ при $5 \cdot 10^5 \text{ В/см}$. Проведено комплексное исследование физико-химических свойств получаемых плёнок с использованием методов эллипсометрии, адсорбционной порометрии, ИК спектроскопии, РФЭС. Пористость плёнок составляет 7%. Установлено содержание кислорода и водорода в плёнках на уровне 10 ат. %.

А77. Оптимизация формы поверхности тонкопленочного ИК-приемника

Григорьев Л.В., Соколов В.И.*

СПбГУ, НИИ физики, Санкт-Петербург, Россия

**Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия*

Создание неохлаждаемых многоэлементных ИК-приемников на основе болометрических и пироэлектрических матриц позволяет отказаться от дорогостоящего и громоздкого охлаждающего модуля, при сохранении высокой чувствительности к регистрируемому излучению. Тем не менее, при относительно простой реализации ИК-приемника встает проблема получения максимального отклика от приемной площадки, что приводит к необходимости оптимизации формы площадки для падающего ИК излучения.

В данной работе представлены на обсуждение результаты численного моделирования теплопередачи в тонкопленочных системах, кремниевых нанокompозитах и оптимизации формы приемных площадок для ИК-микроболометров и тонкопленочных пироприемников.

В качестве материала для чувствительного слоя микроболометра использовались тонкие пленки двуокиси ванадия, полученные магнетронным ионно-плазменным распылением. Для тонкопленочного пироприемника был изготовлен нанопористый диэлектрик-термически окисленный пористый кремний, впоследствии заполненный сегнетоэлектриком. Поверх слоя нанокompозита, для создания электрических контактов, наносили тонкие слои Al. Чувствительные слои микроболометров и тонкопленочных пироприемников капсулировали внутрь диэлектрика для сохранения, при последующих операциях травления.

Задача получения максимального сигнала с чувствительной площадки прибора может быть сведена к задаче оптимизации формы приемной площадки. В этом случае, следует искать условный экстремум целевой функции при сумме линейных и нелинейных ограничений. Для создания матрицы значений целевой функции решалась обратная задача теплопередачи в системе тонких пленок и нанопористых материалов. Решение обратной задачи относится к классу некорректных задач по Адамару [1]. Применение метода регуляризации Тихонова-Лаврентьева [2] и итерационных методов регуляризации, к задаче с нелинейными ограничениями, позволило определить вид двумерной зависимости распределения температуры в тонкопленочном приемном узле. Проведя цикл условной оптимизации целевой функции, стало возможным нахождение оптимальной (в рамках заданных к оптимизации параметров) формы тонкопленочного пироприемника и микроболометра.

Для проверки модельных расчетов были изготовлены макеты ИК микроболометра и тонкопленочного пироприемников. Сравнение их характеристик с расчетными показали хорошее согласие.

1. Дж.Бек, Б.Блакуел, Ч.Сент-Клер «Некорректные обратные задачи теплопроводности» М., Мир, 1989
2. А.Н.Тихонов, В.Я.Арсенин «Методы решения некорректных задач», М., Наука, 1975

A78. Оптимизация травильных композиций на основе растворов системы H_2O_2 – HBr –винная кислота для химической обработки $CdTe$, легированного примесями $Ga, Ge, Sn, As + Cl, Sb$

Стратийчук И.Б., Томашик В.Н., Томашик З.Ф., Фейчук П.И.

Институт физики полупроводников им. В. Е. Лашкарева НАН, Киев, Украина

В процессе изготовления фотоприемных устройств одной из актуальных является проблема химической обработки поверхности полупроводниковых кристаллов, что вызывает необходимость детального изучения и оптимизации как состава травильных композиций, так и технологических режимов.

Анализ природы компонентов и состава травителей показали перспективность использования смесей H_2O_2 – HBr –винная кислота ($C_4H_6O_6$) для химической обработки поверхности $CdTe$. В работе в воспроизводимых гидродинамических условиях исследованы кинетика и механизм травления указанного материала в бромвыделяющих смесях H_2O_2 – HBr – $C_4H_6O_6$ и построены диаграммы Гиббса с разграничением областей растворов на полирующие и неполирующие. Для исследований использовали монокристаллические образцы нелегированного и легированного Ga ($1,29 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$), Ge ($2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$), Sb ($2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$), Sn ($2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$) и $As + Cl$ ($2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$) теллурида кадмия, выращенные методом Бриджмена. Установлено, что легирование $CdTe$ вышеуказанными примесями приводит в большинстве случаев к небольшому увеличению скорости травления по сравнению с нелегированным материалом, а величина областей полирующих растворов остаётся практически одинаковой. Скорость полирования (v) исследуемых полупроводниковых материалов при этом изменяется в пределах 1,5–19 мкм/мин. Оптимизацию состава травильных композиций по скорости травления, шероховатости протравленной поверхности, загрязнению её компонентами травителя проводили с помощью данных, полученных из диаграмм Гиббса, и результатов металлографического и профилографического анализов.

Для полирующих растворов, содержащих 8 об. % H_2O_2 + 72 об. % HBr + 20 об. % $C_4H_6O_6$ (раствор 1) и 10 об. % H_2O_2 + 10 об. % HBr + 80 об. % $C_4H_6O_6$ (раствор 2) были построены зависимости v исследуемых материалов от скорости вращения диска и температуры и установлено, что процесс травления в исследуемых растворах протекает по диффузионному механизму. Эти данные использованы для оптимизации технологических режимов процесса химико-динамического полирования (ХДП) и контролируемого снятия тонких слоев полупроводникового материала в подобранных травильных смесях.

Травильные композиции системы H_2O_2 – HBr – $C_4H_6O_6$ готовят непосредственно перед применением, соблюдая порядок смешивания компонентов и охлаждая разогревающую смесь водой со льдом. После приготовления растворы выдерживают 80–120 мин до прекращения газовой выделению и установления равновесия. Процесс ХДП поверхности $CdTe$, $CdTe(Sb)$, $CdTe(Sn)$, $CdTe(Ga)$, $CdTe(As,Cl)$ и $CdTe(Ge)$ в полученных травителях рекомендуется проводить при 294 К и $\gamma = 86 \text{ мин}^{-1}$. Пластины после травления необходимо промывать сначала в 0,1 М растворе $Na_2S_2O_3$, затем дистиллированной водой и высушивать потоком сухого воздуха.

А79. Разработка полирующих травителей на основе растворов $\text{H}_2\text{O}_2 - \text{HCl}$ – винная кислота для удаления тонких слоёв с поверхности монокристаллов CdTe и $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$

Лукиянчук Э.М., Томашик З.Ф., Томашик В.Н.

Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН, Киев, Украина

В формировании поверхности с соответствующими электрофизическими параметрами и стехиометрическим соотношением основных компонентов большую роль играет её химическая обработка.

Целью данной работы является разработка медленных полирующих травителей на основе системы $\text{H}_2\text{O}_2 - \text{HCl}$ – винная кислота ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$) для снятия тонких слоёв с поверхности монокристаллов CdTe и $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$, а также выбор режимов обработки поверхности оптимизированными травителями для применения в технологических операциях.

Для исследований использовали монокристаллические образцы CdTe p -типа с концентрацией дырок $[h] = 8,5 \cdot 10^{15} - 1,2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ и их подвижностью $\mu_h = 100 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$, ориентированные в направлении (110) и номинально нелегированные, а также номинально нелегированный $\text{Cd}_{0,22}\text{Hg}_{0,78}\text{Te}$ p -типа. Исследуемые образцы имели поверхность площадью приблизительно $0,5 \text{ см}^2$ и толщину 1,5-2 мм. Для приготовления травителей использовали 35 % H_2O_2 и 37,5%-ную HCl (марки “х.ч”), а также 27 %-ную $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$ (марки “чда”), при этом необходимо соблюдать последовательность смешивания компонентов. После приготовления растворы охлаждали и выдерживали в течение 120 мин для установления равновесия химического взаимодействия перекиси водорода с соляной кислотой.

По результатам экспериментальных измерений с использованием математического планирования на симплексе построены изолинии одинаковых скоростей растворения для CdTe и $\text{Cd}_{0,22}\text{Hg}_{0,78}\text{Te}$, с помощью которых были определены концентрационные границы полирующих растворов и оптимизированы составы, пригодные для контролируемого удаления тонких слоев с поверхности. Микроструктуру полученных после травления образцов исследовали с помощью универсального контрольного микроскопа ZEISS JENATECH INSPECTION с цифровой видеокамерой при увеличении от $\times 25$ до $\times 1600$.

Установлено, что в растворах исследуемой системы максимальная (3,3 мкм/мин) и минимальная (1,4 мкм/мин) скорости растворения CdTe достигаются при соотношении компонентов в травильной композиции (об. %) $\text{H}_2\text{O}_2:\text{HCl}:\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6=9,5:85,5:5$ и $6,5:83,5:10$ соответственно. В травильных смесях состава $\text{H}_2\text{O}_2:\text{HCl}:\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6=5:(85-95):(0-10)$ максимальная скорость растворения твердого раствора $\text{Cd}_{0,22}\text{Hg}_{0,78}\text{Te}$ составляет 2,4 мкм/мин, а минимальная скорость растворения (1,2 мкм/мин) имеет место в травильной композиции $\text{H}_2\text{O}_2:\text{HCl}:\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6 = 6,5:83,5:10$.

Изучена кинетика процесса растворения и установлены гидродинамические и кинетические условия проведения химико-динамического полирования (ХДП). При травлении исследуемых образцов растворами системы $\text{H}_2\text{O}_2-\text{HCl}-\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$ образуются полированные поверхности хорошего качества. Процесс ХДП пластин проводится при 294 К и $\gamma = 86 \text{ мин}^{-1}$, после чего их обильно промывают дистиллированной водой и сушат потоком сухого воздуха.

А80. Фотоэлектретный эффект без внешнего поляризующего поля в полупроводниковых пленках

Набиев Г.А.

Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан

Исследованию фотоэлектретного эффекта, наблюдаемого при освещении полупроводников во внешних электрических полях посвящено достаточно много работ.

Интерес к изучению фотоэлектрического эффекта без внешнего поляризующего поля начался после того как Адировичем была показана возможность реализации и создания теории фотоэлектрического эффекта в полупроводниках с р-п-переходами. Роль поляризующего поля в таких структурах играют внутренние поля р-п-переходов. Обязательным условием наблюдения этого эффекта является существование в полупроводнике глубоких уровней, в которых локализуются неравновесные носители заряда. Фотоэлектрический эффект без внешнего поляризующего поля наблюдался в пленках ряда полупроводников ($\text{Na}_2\text{S Sb}_2\text{S}_3$, CdTe: Ag , $\text{Sb}_2\text{S}_3\text{: Se}$), генерирующих аномально-большие фотонапряжения (АФН).

Как известно, АФН-пленка представляет собой батарею последовательно включенных микрофотоэлементов, получаемых в едином технологическом режиме. Соответственно и фотоэлектрические напряжения $V_{\text{АФН}}$ в таких структурах должны складываться и достигать больших значений (пропорционально числу микрофотоэлементов). Поэтому исследование фотоэлектрического эффекта в АФН-пленках представляется более перспективным, чем, например, в единичных р-п-переходах.

В данной работе приводятся результаты исследования фотоэлектрического эффекта в пленках Si:Ag , CdTe: Ag , а также анализ результатов исследований в других пленках.

Технология получения образцов основана на термическом испарении примесей и основного вещества из отдельных тиглей и последующего проведения диффузии в высоком вакууме.

Полученные пленки освещали, выключив свет, закорачивали электроды на несколько секунд, снова подключали к вольтметру и при этом появлялось фотоэлектрическое напряжение.

Изучение зависимости $\lg(I_t)$ от I (где I - интенсивность света, t - время фотополяризации) показало, что закон взаимозаменяемости, обязательный для фотоэлектрического эффекта, выполняется.

Развита теория фотоэлектрического состояния в полупроводниковых пленках с двумя глубокими уровнями.

По релаксационным кривым определены кинетические характеристики: время жизни неравновесных носителей, вклад уровней на фотонапряжение.

При освещении в полупроводниковой пленке создается избыточная концентрация носителей заряда, и часть из них оседает на глубоких уровнях. Затягивание релаксационных процессов в темноте связано с этими уровнями. При выключении света происходит постепенная генерация носителей, локализованных на этих глубоких уровнях.

Пленки, в которых наблюдается фотоэлектрический эффект, могут быть использованы как элементы памяти светового излучения.

А81. Фотоэлектрические свойства пленок $\text{A}^2\text{B}^2\text{C}^6$, осажденных из раствора

Абдинов А.Ш., Джафаров М.А., Насиров Э.Ф.

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

Широкозонные полупроводники типа A^2B^6 и твердые растворы на их основе являются перспективными материалами для фото- и оптоэлектроники. Это связано с комплексом замечательных свойств, присущих этим соединениям, что позволяет создать на их основе принципиально новых приборов твердотельной электроники.

Рассмотрены особенности фотоэлектрических свойств пленок $\text{A}^2\text{B}^2\text{C}^6$, в зависимости от технологических режимов их осаждения и термической обработки. Это важно как для уточнения механизма переноса заряда, так и для расширения функциональных возможностей на структурном уровне. Одним из важных в практическом отношении фотоэлектрических свойств пленок $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$, $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Se}$ и $\text{CdS}_{1-x}\text{Se}_x$ является изготовление приемников ближнего ИК диапазона со строго определенной длинноволновой границей, а генерация неосновных носителей с участием примесей позволяет использовать для преобразования

большую часть спектра солнечного излучения. Весьма важным являлось также установление закономерностей в поведении люминесцентных свойств пленок $A^2B^2C^6$ при замене в них катиона или аниона и на этой основе – установление аналогий между локальными центрами. Это позволило с новых позиций проанализировать огромный материал, накопленный к настоящему времени при изучении природы локальных центров в пленках $A^2B^2C^6$, а также предсказать свойства тех соединений, которые изучены еще недостаточно. Пленки содержали три полосы люминесценции в областях $\lambda_1=0,407\div 0,519$ мкм, $\lambda_2=0,62\div 0,635$ мкм и $\lambda_3=0,95\div 1,05$ мкм.

Благодаря возможности изготовления преобразователя большой площади и его высокой чувствительности - вероятной областью применения таких пленок может быть и регистрация изображений, создаваемых крупными телескопами при астрономических наблюдениях.

A82. Создание внутреннего геттера для современных ПЗС

Костюков Е.В., Поспелова М.А., Русак Т.Ф., Трунов С.В.*,
Облыгина Т.А.*, Никитина Г.И.*

ФГУП НПП «Пульсар», Москва, Россия

**ОАО «НИИМЭ и Микрон», Зеленоград, Россия*

Для улучшения параметров полупроводниковых приборов разные фирмы применяют как предварительные отжиги кремниевых пластин, так и трехстадийные циклы создания внутреннего геттера, состоящие из высокотемпературного отжига для образования свободной от дефектов зоны, отжига при температуре $650-800^{\circ}\text{C}$ для образования зародышей преципитатов и рост преципитатов при температуре $1000-1050^{\circ}\text{C}$.

Исследование отработанного нами ранее процесса создания внутреннего геттера в стандартных термодиффузионных печах завода «Микрон» показало, что уже после отжига при 1150°C образуются зародыши преципитатов. Согласно общепринятой теории при таком отжиге происходит только удаление кислорода из приповерхностной области пластины.

Показано, что исключение отжига при температуре $700-800^{\circ}\text{C}$, считающегося необходимым для формирования зародышей преципитатов, не влияет на общее падение концентрации межзельного кислорода в ходе всего цикла, характеризующее общее количество преципитировавшего кислорода.

Обнаружено, что уменьшение времени отжига при 1150°C с 6 часов до 5 минут мало влияет на общее падение концентрации межзельного кислорода в ходе всего цикла.

Полученные данные показывают, что и в наших условиях можно запускать на производство приборов пластины, прошедшие только один высокотемпературный отжиг, не заботясь о том, чтобы технологический цикл изготовления приборов начинался с отжига при $700-800^{\circ}\text{C}$.

Секция Б

Б01. Моделирование спектральной характеристики фоточувствительности МФПУ на основе КРТ

Болтарь К.О., Яковлева Н.И., Рожнов Р.В.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Спектральные характеристики фотодиодов широко используются для исследований и контроля качества фотодиодов на основе эпитаксиальных слоев (ЭС) КРТ. Обработка спектральных характеристик численными методами на ЭВМ позволяет провести оценку

квантовой эффективности фотодиодов, определить характеристики исходного ЭС КРТ, а также дать рекомендации по совершенствованию технологии.

В данной работе моделируется спектральная характеристика распределения fotocувствительности фотодиодов в ЭС КРТ. Учитывается влияние на вид спектральной характеристики толщины ЭС, распределения по толщине ЭС мольной доли x CdTe в HgCdTe, диффузионной длины неосновных носителей заряда, поверхностной рекомбинации на границах ЭС КРТ, напряжения на фотодиоде, отражение ИК-излучения на границах вакуум-подложка, подложка-ЭС, ЭС-вакуум. Создана программа ЭВМ, позволяющая по значениям указанных параметров рассчитывать спектральную характеристику фотодиодов.

Для построения модели спектральной характеристики распределения fotocувствительности:

- Проанализированы литературные данные зависимости коэффициента поглощения ИК-излучения от состава КРТ и длины волны излучения

- Определено распределение мощности ИК-излучения по толщине ЭС КРТ при освещении фотодиода со стороны подложки с учетом поглощения в эпитаксиальном слое и отражения ИК-излучения на границах вакуум-подложка, подложка-ЭС, ЭС-вакуум.

- Найдено распределение концентрации неравновесных носителей по толщине ЭС КРТ и плотность тока фотодиода на основании решения одномерных уравнений диффузии и непрерывности для неосновных носителей заряда с граничными условиями, учитывающими поверхностную рекомбинацию на границах ЭС КРТ.

Б02. Контроль пространственного распределения межзельного кислорода в кремнии с повышенным пространственным разрешением

Винецкий Ю.Р., Титов А.Г., Тришенков М.А., Хакуашев П.Е.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Межзельный кислород в кремнии, оптически активный на длине волны 1107 см^{-1} , ответственен за целый ряд процессов, протекающих при термообработках, и, в конечном счете, сказывающихся на проценте выхода полупроводниковых приборов самых различных типов – от цифровых устройств до фотоприемников. Несмотря на постоянное снижение размеров элемента ИС, стандартные методики не позволяют измерять распределение кислорода в кремниевых пластинах с локальностью лучше $\sim 7 \text{ мм}$.

Разработанный метод и экспериментальная установка позволяют существенно повысить степень пространственного разрешения в практическом диапазоне концентраций кислорода $10^{17}..5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, характерном для кремния, выращиваемого по методу Чохральского. Анализируются различные технические подходы к задаче реализации наилучшего пространственного разрешения; сравниваются методы самосвечения и просвечивания пластин, различные оптические схемы, базовые компоненты измерительной системы, источники помех и методы борьбы с ними. Показано, что достижимы значения эффективного диаметра пятна рассеяния до 35-100 мкм. Обоснован выбор принятого технического варианта на базе твердотельного перестраиваемого лазера (TLD). Обсуждаются преимущества такого решения, позволяющего не только решить проблемы регистрации сигнала при минимальном размере пятна облучения, но и путем специальной обработки результатов сканирования исключить влияние доминирующей интерференционной помехи, амплитуда которой может в “сырых” данных превышать полезный сигнал в десятки раз.

Представлены результаты измерений на промежуточной макете установки (с временно неоптимизированной оптической схемой), демонстрирующие возможность регистрации распределений кислорода с разрешением не хуже 1 мм даже в условиях заметной неравномерности толщины пластин. Обсуждаются возможности дальнейшего повышения разрешающей способности вплоть до 50-100 мкм при использовании оптимальной оптической схемы, разрабатываемой в настоящее время.

Б03. Влияния ионизирующих излучений на фотоэлектрические свойства фотодиодов на основе селенида индия с термоэлектрическим охладителем

Аскеров К.А., Гаджиева В.И., Абдинов Д.Ш.

Институт физики Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджан

Исследовано влияния имитирующих факторов ядерного взрыва и протонного облучения на фотоэлектрические свойства фотодиодов на основе селенида индия с термоэлектрическим охладителем (ТЭО). Исследуемые фотоприемники были подвергнуты следующим типам ионизирующих излучений:

- на воздействие поражающих факторов ядерного взрыва с уровнем нейтронов с энергией $>0,1$ МэВ и флюенсом $3,0 \cdot 10^{12}$ см⁻² и импульсного гамма-излучения с мощностью $1,0 \cdot 10^{10}$ Р/с;

- на воздействие протонного излучения с флюенсом $5,0 \cdot 10^{13}$ см⁻².

До и после вышеуказанных видов ионизирующего излучения измерялись спектральные характеристики, амплитудно-частотные характеристики, монохроматическая и вольт-ваттная чувствительность фотодиодов с ТЭО. Установлено, что импульсное гамма-излучение и импульсное нейтронное облучение приводит к улучшению фотоэлектрических и частотных характеристик исследуемых фотодиодов. Показано, что большие флюенсы протонного облучения облегчают процесс образования комплексов в межслойном промежутке слоистого селенида индия, вследствие чего несколько ухудшаются фотоэлектрические параметры фотодиодов. При этом в характеристических параметрах термоэлектрических охладителей практически изменения не наблюдались. Результаты проводимых исследований показывают, что такие виды фотоприемников с ТЭО можно рекомендовать для работы в условиях повышенной радиации.

Б04. Химическое модифицирование поверхности монокристаллов твердых растворов $Zn_xCd_{1-x}Te$ подвыделяющими травителями системы H_2O_2 –HI–молочная кислота

Томашик В.Н., Томашик З.Ф., Гуменюк О.Р.

Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН, Киев, Украина

Широкозонные полупроводниковые монокристаллические образцы твердых растворов $Zn_xCd_{1-x}Te$ являются перспективным материалом для изготовления детекторов рентгеновского и γ -излучения, а также применяются в качестве подложек в процессе выращивания эпитаксиальных пленок $Cd_xHg_{1-x}Te$. Проблема химической модификации поверхности таких образцов очень актуальна, поскольку в литературе этот вопрос освещен мало.

Для исследований использовали монокристаллические пластины твердых растворов состава $Zn_{0,04}Cd_{0,96}Te$ и $Zn_{0,2}Cd_{0,8}Te$ (нелегированные, p-типа). Травильные смеси готовили из следующих компонентов: 35 %-ной H_2O_2 , 54%-ной HI, а также 40 и 80% ной молочной кислоты ($C_3H_6O_3$), соблюдая порядок смешивания и охлаждая сосуд с травителем. Полученные травители выдерживали на протяжении 60 мин для установления равновесия химической реакции, протекающей при взаимодействии компонентов травителя.

Используя методику вращающегося диска, математическое планирование эксперимента, данные кинетических исследований, а также микроструктурного и профилографического анализов изучено химическое взаимодействие твердых растворов $Zn_xCd_{1-x}Te$ с травителями на основе растворов тройной системы H_2O_2 –HI– $C_3H_6O_3$. В указанной системе обнаружены большие области полирующих растворов, скорость химико-динамического полирования (ХДП) изучаемых твердых растворов в которых изменяется в

зависимости от концентрации используемой молочной кислоты. Необходимо отметить, что концентрационные границы полирующих областей также зависят от концентрации молочной кислоты. Из диаграмм Гиббса установлено, что применение в составе травителей более концентрированной (80%-ной) кислоты приводит к уменьшению скорости растворения исследуемых материалов и улучшению качества полированной поверхности. Скорость ХДП твердого раствора $Zn_{0,04}Cd_{0,96}Te$ при этом изменяется в интервале от 8 до 24 мкм/мин, а для $Zn_{0,2}Cd_{0,8}Te$ она несколько ниже и составляет 5-23 мкм/мин.

Из проведенных кинетических исследований (зависимость скорости травления от скорости вращения диска и температуры) следует, что процесс растворения монокристаллов $Zn_{0,04}Cd_{0,96}Te$ и $Zn_{0,2}Cd_{0,8}Te$ в полирующих растворах системы H_2O_2 – HI – $C_3H_6O_3$ носит диффузионный характер.

Разработана последовательность проведения технологических операций химической модификации поверхности $Zn_xCd_{1-x}Te$, позволяющая получить полированную поверхность высокого качества. Она включает подготовку (очистку) пластин, процесс ХДП, а также финишную отмычку полированных подложек в 1 М водном растворе тиосульфата натрия, дистиллированной воде и некоторых органических растворителях, которые хорошо растворяют как остатки йодных травильных композиций, так и продукты химического взаимодействия полупроводников с травителем.

Б05. Формирование эпитаксиальных пленок PbTe на кремниевых подложках диаметром 100 мм и исследование их свойств

Рудаков В.И., Мочалов Б.В., Смирнов И.М.

Институт микроэлектроники и информатики РАН, Ярославль, Россия

Эпитаксиальные пленки на основе соединений A^4B^6 , находят широкое применение во многих приборах и устройствах. Обычно их формируют на монокристаллических подложках со структурой флюорита. В последние годы интенсивно ведутся исследования по созданию пленок соединений A^4B^6 на кремниевых подложках. Однако получаемые пленки имеют небольшие размеры (около 40 мм), тогда как, в полупроводниковой технологии используются стандартные подложки больших размеров.

Описана установка для эпитаксии методом горячей стенки пленок соединений A^4B^6 на кремниевые подложки диаметром 100 мм, включающая вакуумную камеру, в которой находится эпитаксиальный реактор, высоковольтный блок и устройство управления. Эпитаксиальный реактор конструктивно выполнен в форме воронки, изготовленной из кварца. Общая длина составляет 336 мм, в том числе длина кварцевой трубы горячей стенки равна 196 мм, длина кварцевой трубки дополнительного источника – 180 мм; диаметр кварцевой трубы горячей стенки равен 77 мм, диаметр кварцевой трубки дополнительного источника составляет 14 мм. Эпитаксиальный реактор имеет три независимых зоны нагрева. Нагреватели в каждой зоне выполнены из танталовой ленты толщиной 0,25 мм и шириной 5 мм и представляют собой спирали, намотанные на кварцевые трубы. Контроль температурного режима осуществляется с помощью термопар типа хромель-алюмель. Доставка кремниевых подложек в эпитаксиальный реактор осуществляется с помощью транспортного устройства карусельного типа, в которое одновременно загружаются четыре пластины. Осаждение эпитаксиальных пленок на подложки происходит последовательно.

Полученные на данной установке экспериментальные образцы пленок PbTe на подложках типа КДБ-10 с ориентацией (100) имели сплошную зеркальную поверхность. Диаметр пленок составлял около 77 мм, что соответствует диаметру реактора. Таким образом, площадь пленок занимает около 80% площади кремниевой подложки. Были проведены исследования морфологии поверхности образцов с использованием электронного растрового микроскопа. Исследования показали, что поверхность представляет собой зернистую структуру с максимальным размером зерна 500 нм. Далее были проведены рентгенографические исследования. На рентгенограммах присутствовали рефлексы (200),

(400) PbTe, а также рефлекс (400) Si. Максимум интенсивности для (200) PbTe при $2\Theta=27,8$ равен 1416. В свою очередь, для (400) PbTe при $2\Theta=57,4$ максимум интенсивности равен 1889 и, наконец, для (400) Si. при $2\Theta=69,4$ максимум интенсивности составляет 63089.

Б06. Получение монокристаллов бинарных твердых растворов со ступенчатым распределением состава и примеси.

Тагиров У.И., Гахраманов Н.Ф., Ибрагимова А.Р.

Сумгаитский государственный университет, Сумгаит, Азербайджан

Твердые растворы, широко применяемые в твердотельной микроэлектронике, обычно обладают сильной сегрегацией при кристаллизации, что не только нарушает монокристалличность при росте кристалла, но и затрудняет получение однородных кристаллов вообще. Все это еще больше осложняется при их легировании. В настоящей работе разработан новый метод, позволяющий получать совершенные монокристаллы бинарных твердых растворов с одновременным ступенчатым распределением состава и концентрации легирующей примеси. Для этого при вытягивании из расплава используется цилиндрический подпитывающий слиток с начальным участком, имеющим форму параболоида вращения и цилиндрический тигель. Такая форма подпитывающего слитка уменьшает конституционное переохлаждение и способствует росту монокристалла. При изготовлении подпитывающего слитка постоянного состава в него добавляется выбранная примесь желаемой концентрации. Выращивание монокристалла начинается с чистого первого компонента и одновременно начинается подпитывание расплава. Рост кристалла производится в несколько этапов, число которых зависит от желания экспериментатора. Первый этап является подготовительным и служит для получения монокристалла твердого раствора с концентрациями второго компонента и примеси, равными их соответствующим значениям в подпитке. На первом этапе скорости перемещения и площади поперечных сечений растущего кристалла и подпитки одинаковы. Режим кристаллизации для следующих этапов выбирается согласно решению уравнения непрерывности потока вещества второго компонента, куда входят такие параметры, как скорости перемещения подпитки, кристалла и уровня поверхности расплава, площади поперечных сечений подпитки, кристалла и тигля и концентрация второго компонента в подпитке. Уравнение непрерывности потока для примеси решается отдельно.

Метод применен к системе твердых расплавов Ge-Si и примеси галлия в ней (для Ga в Ge коэффициент распределения $k=0,087$). В пяти этапах кристаллизации получены пять различных составов твердых растворов и концентраций галлия. Монокристалличность и однородность различных участков кристалла подтверждены снятием лауэграмм и измерением их электрофизических свойств.

Б07. Управление составом бинарных твердых растворов при вытягивании монокристаллов их усеченного конусообразного тигля с применением подпитки

Тагиров В.И., Джафаров Т.Г., Гахраманов Э.Н.

Сумгаитский государственный университет, Сумгаит, Азербайджан

В современной твердотельной электронике при изготовлении различных преобразователей и приборов часто приходится использовать полупроводниковые твердые растворы. При этом исходный материал должен обладать совершенством монокристалличности и однородным распределением состава. Сегрегация, имеющая место при кристаллизации, затрудняет получение монокристаллов с такими качествами. В настоящей работе предложен метод, сочетающий получение совершенных монокристаллов

бинарных твердых растворов так и их однородность по составу. С этой целью используется цилиндрический подпитывающий слиток в виде параболоида вращения и тигель в виде усеченного конуса. Такая геометрия способствует с одной стороны уменьшению конституционного переохлаждения у фронта кристаллизации, что обеспечивает рост совершенного монокристалла, и с другой стороны, приводит к росту кристалла с постоянным составом. Решение уравнения непрерывности потока второго компонента при кристаллизации с различными начальными условиями и их анализ позволяет выбирать технологический режим роста монокристалла желаемого состава. При этом используется три различных варианта: 1) объем израсходованного за единицу времени подпитывающего слитка равен объему кристалла, выращенного за тот же промежуток времени. В этом случае состав выращенного монокристалла в однородном участке равен составу подпитывающего слитка; 2) объем подпитывающего слитка больше объема кристалла. При этом можно получать однородные кристаллы, в которых концентрация второго компонента больше, чем в подпитывающем слитке; 3) объем подпитывающего слитка меньше объема кристалла. В этом случае содержание второго компонента в выращенном кристалле меньше, чем в подпитывающем слитке.

Применением предложенного метода получены однородные монокристаллы твердых растворов Ge-Si различных составов. Монокристалличность и однородность кристаллов установлены рентгенографическим и металлографическим методами, а так же измерением их электрофизических свойств.

Б08. Температурные зависимости параметров фотодиодов на основе HgCdTe

Бунчук С.Г., Голенков О.Г., Гуменюк-Сычевская Ж.В., Забудский В.В., Лысюк И.А.

Институт физики полупроводников им. В. Е. Лашкарева НАН, Киев, Украина

Эпитаксиальные плёнки $Hg_{1-x}Cd_xTe$ являются основными материалами для производства инфракрасных приборов в диапазоне длин волн 8-14 мкм. В работе мы исследовали температурные зависимости вольтамперных характеристик (ВАХ) фотодиодов, формирующих 128 элементную фотодиодную линейку.

Исследованные фотодиоды получены на пленке $Hg_{1-x}Cd_xTe$, выращенной на подложке CdZnTe методом жидкофазной эпитаксии с последующим имплантацией ионов бора. Затем структуры были сгбридизированы с ПЗС схемами считывания с помощью индиевых столбиков. Для данных диодов оптимальное рабочее обратное смещение 0,1-0,2 В. Поэтому параметром, служащим критерием качества фотодиода, взято $RA(V)$, где R , дифференциальное сопротивление, A – площадь диода. Наша задача состояла в том, чтобы исследовать температурную стабильность дифференциального сопротивления в области используемых напряжений. Были измерены ВАХ фотодиодных структур в температурном диапазоне 77–120 К.

Экспериментальные кривые для фотодиодных линеек были описаны уравнениями баланса носителей заряда на уровнях ловушек в запрещенной зоне с учетом двух основных механизмов переноса заряда: туннелирования через ловушки (ТАТ), и рекомбинации/генерации Шокли-Рида-Холла (SRH). Другие существенные транспортные механизмы, которые происходят без участия ловушек в запрещенной зоне учтены аддитивно. Получено хорошее согласование экспериментальных и теоретических ВАХ и дифференциального сопротивления во всем температурном диапазоне. Показано, что изменение формы $RA(V)$ с возрастанием температуры связано с перераспределением вкладов ТАТ, SRH и диффузионных токов. Кроме того, проанализировано влияние температурной зависимости времени жизни носителей для разных типов Шокли-Ридовских центров в запрещенной зоне (таких как металлические вакансии и уровни р-типа, связанные с внешним легированием). Мы оценили влияние концентрации центров Шокли-Рида на температурную стабильность параметров HgCdTe диодов.

Б09. Исследование механических свойств гетероструктур HgCdTe методом наноиндентирования

Сизов Ф., Билевич Е., Цибрий З., Сидоров Ю.*, Рихтер А.**, Рис Р.**, Кубика К.**

Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН, Киев, Украина

**Институт физики полупроводников РАН, Новосибирск, Россия*

***Университет прикладных наук, Вильдау, Германия*

Кадмий - ртуть - теллур (КРТ) - является важным материалом для применения в микрофотоэлектронных инфракрасных (ИК) приборах и матрицах. Контактное нагружение полупроводников, особенно, хрупких материалов, таких как КРТ - сложный процесс, который включает разлом, деформацию, релаксацию, механохимическое взаимодействие и фазовые трансформации. Гетероструктуры КРТ были выращены с помощью молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) на подложках GaAs (013) с буферными слоями ZnTe/CdTe, и жидкофазной эпитаксии (ЖФЭ) на монокристаллических подложках CdZnTe (111) и были исследованы методом наноиндентирования для определения возможных фазовых трансформаций около границы гетеропереходов. Метод наноиндентирования, возможно, единственный метод, который дает возможность исследовать степень неэластичной деформации без значительного разрушения образца.

Эксперименты по наноиндентированию были выполнены с помощью прибора HYSITRON Triboscope присоединенного к цифровому сканирующему силовому микроскопу (CCM) Nanoscope IV. Основное устройство Triboscope - электростатический преобразователь - конденсатор с тремя пластинами, к средней пластине присоединен индентор. Диапазон применяемого напряжения до 600 V, что приводит в результате к электростатической силе, которая передвигает индентор по поверхности образца и составляет при максимальной нагрузке – 6,3 мН, в зависимости от площади и плоскости пластины конденсатора. Первичные данные (напряжение, изменение емкости) преобразуются в (нагрузку F , глубину h), и в результате строятся зависимости $F(h)$. После полного снятия нагружения область индентирования может быть оценена с помощью того же самого индентора, который представляет собой алмазную трехгранную прямоугольную пирамиду. Этим методом можно получить следующие параметры материала: максимальная глубина проникновения и индентирования, глубина остаточного отпечатка после снятия нагружения, максимальное затраченное усилие, нанотвердость и модуль Юнга. Все эксперименты были выполнены при комнатной температуре в нормальных условиях.

Для исследования зависимостей нагружения - снятия нагрузки в зависимости от положения отпечатка индентора на плоскости поверхности, образцы были сколоты на воздухе или механически отполированы поперек плоскости роста гетероструктуры. Полученные с помощью ССМ изображения поверхности гетероструктур, выращенных методами МЛЭ и ЖФЭ, показывают различный размер отпечатков наноиндентора, в зависимости от их положения на поверхности сечения. Анализ $F(h)$ - кривых демонстрирует различия между зависимостями нагружения - снятия нагрузки на разных участках около границы гетероструктуры, выращенных обоими методами. Около, или на гетерогранице GaAs/ZnTe/CdTe и в слое КРТ присутствуют эффекты (изменение наклона кривой зависимости нагружение - снятие нагрузки), которые могут быть связаны с фазовым переходом от структуры сфалерита к структуре хлорида натрия. Аналогичный эффект отсутствует в подложках GaAs при использовании такого же нагружения. Резко выраженный эффект (скачок на кривой зависимости нагружение - снятие нагрузки) выявлен для структур выращенных ЖФЭ, который так же является следствием фазовых переходов в HgCdTe и CdZnTe: от сфалерита к хлориду натрия.

Методом наноиндентирования были выявлены и исследованы фазовые переходы под высоким давлением в CdTe и твердых растворах, на его основе для структур HgCdTe/CdTe/ZnTe/GaAs и HgCdTe/CdZnTe, которые были выращены методами МЛЭ и ЖФЭ.

Б10. Длинноволновая ИК фоточувствительность в CdTe-PbTe гетероструктурах

Мовчан С.П., Тетеркин В.В.

Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН, Киев, Украина

Полупроводники A_2B_6 и A_4B_6 являются важными материалами для производства современных приборов инфракрасной (ИК) техники. Среди других полупроводников свойства бинарных соединений CdTe и PbTe изучены наиболее полно. Научный и прикладной интерес к гетероструктурам CdTe-PbTe обусловлен возможностью создания на их основе эффективных ИК фотоприемников. Указанные полупроводники имеют разную кристаллическую структуру, а их физические характеристики (ширина запрещенной зоны, диэлектрическая проницаемость, эффективные массы носителей, времена их жизни и др.) значительно различаются. Это означает, что физические явления в указанных гетероструктурах могут характеризоваться значительным разнообразием.

Монокристаллические эпитаксиальные слои CdTe были получены методом «горячей стенки» в вакуумной системе с остаточным давлением газов 10^{-5} Па. Их толщина изменялась в пределах от 0,1 до 0,8 мкм. Слои с наилучшими структурными и электрическими параметрами были получены при следующих условиях: $T_{\text{подложки}}=280^\circ\text{C}$, $T_{\text{стенки}}=400^\circ\text{C}$, $T_{\text{источника}}=360^\circ\text{C}$ и скорости роста 10 нм/мин. Из исследований эффекта Холла было установлено, что выращенные таким образом эпитаксиальные пленки имели n-тип проводимости. Их удельное сопротивление при комнатной температуре изменялось в пределах от $\sim 10^3$ до $\sim 10^5 \Omega \times \text{см}^2$. Полуширина кривых качания составляла $270'' - 500''$. Для приготовления изотипных и анизотипных гетероструктур использовались подложки PbTe n- и p-типа проводимости. Исследовались как простые CdTe-PbTe, так и двойные PbTe-CdTe-PbTe гетероструктуры. Профили распределения элементов на гетерограницах, полученные с помощью ВИМС, указывают на их резкий характер.

В исследованных гетероструктурах наблюдалась фоточувствительность в длинноволновом ИК диапазоне спектра, где оба полупроводника не являются фоточувствительными. Фотоответ возрастал в гетероструктурах с большей толщиной эпитаксиальных слоев CdTe. На спектральных зависимостях фотоответа наблюдаются два участка с длинноволновой границей близкой к 6 мкм и 8,0-8,5 мкм. Необходимо отметить, что фотоответ на обоих участках имел один и тот же знак. Очевидно, что более коротковолновый участок связан с межзонным возбуждением носителей в PbTe. Для объяснения фоточувствительности в более длинноволновой области спектра анализируются две модели. В первой предполагается, что переходы оптические переходы осуществляются с участием дефектных состояний на гетерогранице. Во второй модели предполагается наличие инверсного слоя в PbTe. В обеих моделях потенциальный барьер определяется разрывом зон в зоне проводимости.

Были исследованы также вольтамперные и высокочастотные ($f=1$ МГц) вольт-фарадные характеристики в температурном интервале 77-300 К. Отметим, что ВАХ имели нелинейный характер при толщине эпитаксиального слоя $\text{CdTe} \geq 0,4$ мкм. При меньших толщинах наблюдались практически линейные ВАХ. Из предварительного анализа ВАХ можно сделать вывод о преимущественном вкладе генерационно-рекомбинационной и туннельной составляющих в общий темновой ток гетероструктур.

Б11. Особенности АФН-эффекта в полупроводниковых пленках с демберовским и барьерным механизмами

Набиев Г.А., Тешабаева А.Р.

Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан

Эффект аномально-больших фотонапряжений (АФН-эффект) обнаруженный в пленках CdTe исследован и в пленках ряда полупроводников.

Научный интерес вызывает его аномальный характер, т.е. генерация фотонапряжений превышающих ширину запрещенной зоны полупроводников.

Практические аспекты АФН-эффекта связаны с возможностью прямой генерации светом высоких напряжений без создания в оптоэлектронных схемах каскадов промежуточного усиления.

Особый интерес представляет исследование АФН-эффекта в полупроводниковых пленках с узкой запрещенной зоной, у которых длинноволновая граница $V(\lambda)$ сдвинута в инфракрасную область.

В данной работе приведены результаты исследования АФН-эффекта в пленках CdTe, Si и халькогенидного соединения.

Технология таких пленок основана на косоугольном осаждении полупроводникового материала на подложку в высоком вакууме. Приводится технология получения пленок с равномерной толщиной по длине пленки. Снятие зависимости V от длины пленки показывает его равномерное распределение, что дает возможность использовать их дополнительно в качестве линейных датчиков перемещения.

Приводятся спектральные, ЛВХ, угловые характеристики АФН-эффекта в этих пленках.

Сопоставлены демберовская и барьерная модели АФН-эффекта. Из полученного для дембер-эффекта выражения в частном случае получается нормальный и аномальный дембер-эффекты. Показано, что аномальный дембер-эффект переходит в нормальный при выполнении не только условия $kd \gg 1$, $\kappa L \gg 1$, но и $\kappa D \gg S$.

Для р-п-р- модели, рассматривая общий случай, когда в функции генерации учитывается координатная зависимость, получено аналитическое выражение, из которого вытекают основные особенности АФН-эффекта. В случае, когда один из барьеров р-п-р-структуры более эффективен, чем второй аномальное фотонапряжение меняет знак при переходе от освещения со стороны первой р-области ко второй (аномальный фотовольтаический эффект). При переходе к освещению сильнопоглощаемым светом аномальное фотонапряжение меняет знак при углах освещения $0 \div 180^\circ$, т.е. аномальный фотовольтаический эффект в р-п-р-структуре становится нормальным.

Исследования, а также анализ литературных данных показывает, что наиболее перспективным материалом, в котором наблюдается АФН-эффект, для регистрации ИК-излучения является пленки халькогенидного соединения.

Б12. Использование тестовых структур для диагностики технологии изготовления фоторезисторов из КРТ

Дьяконов Л.И., Смолин О.В., Сусов. Е.В.

ФГУП «Альфа», Москва, Россия

Обычную групповую технологию изготовления резистивных фотоприемников предложено дополнить одновременным изготовлением тестовых структур. На рисунке показана типичная топология ИК – фотоприемника из КРТ на длину волны 8-12 мкм, состоящую из 32 элементов размером 50×50 мкм. Назовем ее рабочей структурой. Там же показан один из вариантов тестовой структуры, где фоточувствительные элементы имеют различную геометрию. В состав тестовой структуры введены также 3 холловских элемента

для измерений гальваномагнитных свойств КРТ по методу Ван-дер-Пау или в классическом варианте. Рабочая и тестовая структуры имеют в плане одинаковый размер. Они чередуются в плоскости таким образом, что каждая из тестовых структур окружена 8 рабочими. Этот фрагмент из 9 элементов транслируется по двум направлениям, заполняя всю площадь соответствующих фотошаблонов. После завершения технологического цикла получаем рабочие и тестовые структуры, сформированные в абсолютно идентичных условиях.

Что можно узнать из измерений тестовых структур ?

Во-первых – параметры материала из холловских измерений и влияние на них размерного фактора. Во-вторых, можно обнаружить участки элементов с пониженным сопротивлением. На тестовой структуре есть элементы, отличающиеся только шириной при одинаковой длине. Если поверхностное сопротивление элементов в направлении от одной боковой поверхности к другой одинаково, то зависимость проводимости упомянутых элементов от их ширины должна быть линейной и проходить через ноль. Если же, например из-за воздействия ионного пучка при разделении поверхностное сопротивление понижено у края элемента, то упомянутая зависимость не будет линейной, и сместится кверху вблизи нуля. Подобным же образом можно выявить высокоомные приконтактные участки. В-третьих, измеряя уже сами фоточувствительные свойства площадок разной конфигурации, можно делать выводы о скорости поверхностной рекомбинации неосновных носителей на боковых гранях элемента. Если, допустим, она велика, то с уменьшением ширины элемента будет резко падать его вольтовая чувствительность. В реальности информационные возможности тестовых структур могут оказаться еще более богатыми и полезными для глубокого понимания особенностей технологии изготовления ИК-фотоприемников.



Б13. Разделение приборных пластин на сапфировой основе на кристаллы методом лазерного управляемого термораскалывания

Гиндин П.Д., Кондратенко В.С.* , Наумов А.С.** , Черных С.П.**

ОАО “Московский завод “Сапфир”, Москва, Россия

**Московская государственная академия приборостроения и информатики, Москва, Россия*

***Агентство технологических исследований “ЮниСапф”, Зеленоград, Россия*

Отличительной особенностью метода лазерного управляемого термораскалывания является то, что разделение материала происходит не за счет испарения материала вдоль линии резки, а за счет образования разделяющей трещины под действием напряжений растяжения, возникающих при поверхностном нагреве материала лазерным излучением и последующем охлаждении зоны нагрева с помощью хладагента.

В данной работе исследовано влияние анизотропии сапфира на режимы технологического процесса лазерного управляемого термораскалывания. Анизотропия

теплофизических и механических свойств сапфира, при резке в различных плоскостях ориентации, требует осуществлять дифференцированный энергетический вклад, обеспечивающий создание контролируемых разрушающих термических напряжений в каждой плоскости ориентации. Это обеспечивается либо уменьшением в 0,8 раза скорости резки в направлении, перпендикулярном базовому срезу, по сравнению со скоростью резки в направлении параллельном базовому срезу, либо соответствующим уменьшением плотности мощности лазерного излучения. Скорость резки подложки из сапфира с базовой ориентацией 0001 толщиной 0,09 мм составила 550 и 600 мм/сек.

Был выполнен комплекс работ и получен положительный результат по использованию метода лазерного управляемого термораскалывания для прецизионной резки приборных пластин из сапфира на кристаллы светоизлучающих диодов (СИД). Разработана и изготовлена установка для резки сапфировых подложек на чипы методом лазерного управляемого термораскалывания с помощью CO₂-лазера, со следующими параметрами:

- ширина реза равна нулю;
- минимальный размер отрезаемого чипа – 0,03 мм;
- толщина приборной подложки – 0,09 – 0,43 мм;
- скорость резки – 200 – 600 мм/сек;
- время резки 2-х дюймовой пластины на чипы СИД – менее 2 минут;
- процент выхода годных изделий – 99%;
- используемый лазер – CO₂-лазер мощностью 100 Вт;
- размер установки - 1500 x 1700 x 2250 мм;
- масса установки – 1500 кг;
- потребляемая мощность – 2,5 кВт.

Б14. Энергетический спектр и коэффициент поглощения ИК-излучения квантовыми точками

Серебренников П.С.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

В приближении эффективной массы проведен расчет энергетического спектра квантовых точек сферической и цилиндрической формы (отношение высоты много меньше радиуса – нанокластер “таблетка”) в гетеросистеме Si_{1-x}Ge_x/Si. Расчет проведен для ряда значений геометрических размеров нанокластеров и глубины потенциальной ямы – величины разрыва верха валентной зоны при переходе от Si_{1-x}Ge_x к Si. Энергия ионизации основного состояния сферического и цилиндрического кластеров радиуса 30 нм (высота цилиндрического кластера 10 нм) равна соответственно 142 и 112 мэВ при глубине потенциальной ямы 150 мэВ (эффективная масса дырки принята равной 0,044 m₀). В дипольном приближении получена вероятность фотоионизации квантовой точки при поглощении ИК фотона. В случае нанокластера – таблетки рассмотрено поглощение излучения с электрическим вектором волны как вдоль, так и поперек оси симметрии нанокластера. Рассчитан коэффициент поглощения ИК излучения системой хаотически расположенных квантовых точек.

Б15. Особенности формирования и применения ионнолегированных слоев в GaP

Петелин А.В., Сиваченко С.Д., Шестаков А.В.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

В последнее время разработки фотоприемников работающих в УФ-диапазоне привлекает разработчиков ряда систем, таких как головки самонаведения и оптические локаторы, т.к. в этом диапазоне повышается отношение сигнала к фоновой помехе. Один из основных приборов для регистрации в диапазоне 0,25-0,4 мкм является фотодиод на основе GaP, для изготовления которого используется контакт металл – п/п (барьер Шоттки). Однако это приводит к снижению квантового выхода в несколько раз.

Настоящая работа направлена на поиск альтернативного метода создания p-n перехода методом ионной имплантации.

В результате работы, были проведены несколько экспериментов по легированию эпитаксиального n-GaP различными примесями (Be^+ , Mg^+ , B^+ , Al^+). Для каждого экспериментального процесса были подобраны оптимальные дозы и энергии ионной имплантации. Большое внимание так же было удалено режимам отжига радиационных дефектов после проведения процесса ионной имплантации. Были проведены исследования физических свойств полученных структур.

Б16. Спектроскопия токовых шумов как высокоэффективный диагностический инструмент дефектно-примесной инженерии в имплантированном кремнии

Маковийчук М.И., Паршин Е.О., Кривелевич С.А., Чапкевич А.Л.*

Институт микроэлектроники и информатики РАН, Ярославль, Россия

**Московский комитет по науке и технологиям, Москва, Россия*

В процессе выращивания и последующих технологических обработок, связанных с формированием фотоэлектронных приборных структур в кристаллах кремния, возникают разнообразные кристаллографические дефекты и появляются нежелательные примеси, наличие которых может оказывать отрицательное воздействие на характеристики и выход годных приборов. Поэтому изучение различных аспектов состояния и поведения структурных дефектов и примесей является чрезвычайно актуальной научной и технической проблемой.

Решение указанных проблем возможно с помощью целенаправленного управления дефектно-примесным взаимодействием (ДПВ), обеспечивающего требуемые параметры создаваемых структур и приборов на их основе. Это и является предметом дефектно-примесной инженерии.

Важнейшим фактором успехов в области инженерии дефектов в кремнии является тесное взаимодействие академической науки и исследований, выполняемых на производстве.

Для практической реализации дефектно-примесной инженерии в этом случае необходим высокоэффективный диагностический метод, дающий возможность:

- обеспечить проведение научных изысканий проблемы ДПВ, отличающихся высокой чувствительностью к структурным нарушениям и информативностью результатов;
- обеспечить проведение экспресс-анализа в цеховых условиях:

Особое место среди новых электрофизических методов контроля, удовлетворяющим требованиям дефектно-примесной инженерии, занимает метод совместного контроля слоевого сопротивления и его спектральной плотности низкочастотных токовых флуктуаций в исследуемых структурах – метод спектроскопии токовых шумов (СТШ) структурно-неупорядоченных кремниевых систем.

Представлены примеры практической реализации СТШ в качестве диагностического инструмента дефектно-примесной инженерии для решения технологических проблем кремниевой фотоэлектроники.

Б17. Время жизни носителей заряда в ГЭС КРТ МЛЭ с неоднородным распределением состава и уровня легирования

Войцеховский А.В., Коханенко А.П., Федорова Н.В., Филатов М.Ф.,
Варавин В.С.* , Дворецкий С.А.* , Сидоров Ю.Г.* , Михайлов Н.Н.*

Томский государственный университет, Томск, Россия

**Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия*

Использование метода молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) позволяет получать гетероэпитаксиальные слои CdHgTe (ГЭС КРТ) с высокой степенью однородности и с заранее заданными профилями состава и уровня легирования.

В работе представлены результаты экспериментальных и теоретических исследований влияния включений областей с заданным распределением состава и уровня легирования на фотоэлектрические характеристики эпитаксиальных структур на основе ГЭС КРТ МЛЭ при поверхностном и объемном возбуждении в температурном диапазоне 77-300 К.

Расчеты проведены на основе разработанного программного комплекса, позволяющего исследовать основные особенности взаимодействия электромагнитного излучения ИК диапазона с ГЭС КРТ МЛЭ. Программа позволяет провести расчет основных фотоэлектрических свойств: спектральную характеристику фотопроводимости, эффективные и объемные времена жизни носителей заряда, функцию генерации фотоносителей, вольт-ваттную чувствительность и обнаружительную способность фоторезисторов на их основе при различных параметрах наноразмерных слоев эпитаксиальных структур.

Показано, что возможно управление энергетической диаграммой ГЭС КРТ МЛЭ с целью повышения их рекомбинационных и фотоэлектрических параметров, снижения шумовых токов и увеличения рабочей температуры. Полученные результаты позволяют объяснить высокие экспериментальные значения времени жизни носителей заряда (4-5 мкс) в эпитаксиальных структурах КРТ с высоколегированным слоем n-типа проводимости.

Б18. Процессы радиационного дефектообразования в варизонных структурах КРТ МЛЭ при ионной имплантации

Войцеховский А.В., Григорьев Д.В., Коротаев А.Г., Коханенко А.П., Талипов Н.Х.*

Томский государственный университет, Томск, Россия

**Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия*

Полупроводниковые твердые растворы теллурида кадмия ртути (КРТ) являются одним из основных материалов для создания собственных фотоприемников среднего и дальнего ИК-диапазонов. При создании на основе КРТ фоточувствительных элементов, типа фотодиодных структур, широкое применение находит ионная имплантация. В работе было проведено исследование процессов радиационного дефектообразования в эпитаксиальных пленках КРТ, выращенных методом МЛЭ, при ионной имплантации аргона и молекулярного азота.

Облучение эпитаксиальных пленок КРТ, выращенных в ИФП СО РАН, проводилось в диапазоне доз 10^{12} - 10^{15} см⁻². Параметры облучения: энергия ионов $E=150$ кэВ, плотность тока ионов $j=0,01$ - $0,1$ А·см⁻². Особенностью исследованных образцов было наличие широкозонного варизонного слоя в приповерхностной области эпитаксиальной пленки. Распределение концентрации электронов по глубине полупроводника после ионной имплантации определялось методом дифференциальных холловских измерений.

Результаты измерения профилей пространственного распределения электрически активных дефектов показали хорошее качественное соответствие ионной имплантации в эпитаксиальных пленках и в объемном материале КРТ, различия имеются только в значениях объемной концентрации электронов в максимумах профилей распределения.

Моделирование процесса радиационного дефектообразования в МЛЭ КРТ проводилось путем совместного решения уравнений диффузии и комплексообразования для междоузельных атомов ртути и вакансий ртути. Проведенный теоретический расчет показал, что полученные экспериментальные результаты измерений профилей распределения электрически активных радиационных дефектов, можно объяснить влиянием варизонного приповерхностного слоя на процессы миграции первичных радиационных дефектов и комплексообразования.

Б19. Фотоэлектрические и шумовые характеристики $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}/\text{Si}$ гетероструктур

Войцеховский А.В., Коханенко А.П., Несмелов С.Н., Ляпунов С.И. *, Юрьев В.А. **

Сибирский физико-технический институт, Томск, Россия

**ЗАО «Матричные технологии», Москва, Россия*

***ИОФ РАН, Москва, Россия*

Гетероструктуры $p^+-\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}/p\text{-Si}$ перспективны для создания инфракрасных детекторов, действующих в спектральных диапазонах 3-5 и 8-12 мкм. Высокая однородность и хорошая стабильность свойств матриц фокальной плоскости на основе GeSi-детекторов могут быть достигнуты при использовании высокоразвитой кремниевой технологии. Важным преимуществом детекторов на основе гетероструктур $p^+-\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}/p\text{-Si}$ перед детекторами на основе барьеров Шоттки PtSi/p-Si является возможность управления граничной длиной волны GeSi-детекторов путем изменения концентрации бора и состава германия в силициде германия. В данной работе представлены расчеты шумовых, фотоэлектрических и пороговых характеристик GeSi-детекторов с внутренней фотоэмиссией при различных геометрических и электрических параметрах гетероструктур. Рассчитаны энергетические диаграммы, темновые токи и внутренняя квантовая эффективность многослойных GeSi-детекторов при различных параметрах слоев (числе и толщине слоев, составах германия и концентрациях бора в слоях). С учетом процессов рассеяния горячих носителей в слоях силицида германия получены выражения для пороговых характеристик (температуры ограничения фоном и NETD) и установлены параметры слоев GeSi, оптимальные для конкретных тепловизионных применений.

Проведены экспериментальные исследования шумовых и фотоэлектрических характеристик GeSi-слоев, созданных при различных режимах молекулярно-лучевой эпитаксии. При помощи методик Ричардсона и Фаулера определены высоты потенциальных барьеров, значения эмиссионного коэффициента Фаулера и эффективной постоянной Ричардсона. Сделаны выводы о возможности использования исследованных гетероструктур при создании инфракрасных детекторов.

Б20. Определение длины диффузии носителей в ЭС КРТ по измерениям fotocувствительной площади фотодиода

Болтарь К.О., Яковлева Н.И.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Уменьшение геометрических размеров p-n - переходов fotocувствительных элементов (ФЧЭ) до величины $\sim 20 \times 20 \text{ мкм}^2$ при шаге менее 30 мкм в матричных фотоприемных устройствах (МФПУ) на основе фотодиодов из КРТ требует повышения точности оценки

длины диффузии неосновных носителей заряда в эпитаксиальных слоях (ЭС) КРТ для учета при проектировании и оценки фотоэлектрической взаимосвязи в МФПУ.

Предложен метод определения диффузионной длины неосновных носителей заряда, характеризующей боковую диффузию в периферийных направлениях от р-п перехода, исходя из экспериментально измеренных размеров фоточувствительной площадки фотодиода. Альтернативный данному методу расчет длины диффузии исходя из значений экспериментально измеренного времени жизни неосновных носителей заряда и коэффициента диффузии в ЭС КРТ представляется менее надежным из-за влияния поверхностной рекомбинации на границах ЭС КРТ на результаты измерения времени жизни носителей и большой погрешности оценки коэффициента диффузии на основе соотношения Эйнштейна.

Разработана математическая модель и отработана вычислительная программа для оценки диффузионной длины неосновных носителей заряда по экспериментальной зависимости сигнала фотодиода от перемещения оптического зонда вдоль фоточувствительной площадки фотодиода. Анализируется корреляция полученных данным методом оценок диффузионной длины для фотодиодов из КРТ диапазонов 8-12 и 3-5 мкм с результатами других методов и технологией получения фотодиодов.

Б21. Исследование характеристик неплоскостности поверхности эпитаксиальных слоев КРТ, выращенных различными методами (ЖФЭ, МЛЭ и МОС)

Болтарь К.О., Кудров В.Б., Дерюгин М.В., Бурлаков И.Д., Ложников В.Е., Головин С.В.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Неплоскостность поверхности и ростовые дефекты эпитаксиальных слоев (ЭС) полупроводникового соединения кадмий-ртуть-теллур (КРТ), выращенных различными методами, имеющие высоту более 1 мкм, оказывают негативное влияние на ряд технологических процессов изготовления матричных фоточувствительных элементов на основе фотодиодов из КРТ, особенно на процессы фотолитографии и стыковки матрицы фоточувствительных элементов (МФЧЭ) индиевыми столбиками с кремниевыми схемами обработки сигнала. Неплоскостность поверхности ЭС также может приводить к неоднородности характеристик и является причиной дефектов отдельных элементов МФЧЭ.

Каждый способ эпитаксиального выращивания ЭС КРТ имеет присущие этому способу особенности неровности поверхности и геометрических размеров ростовых дефектов.

Исследованы и проанализированы характеристики неплоскостности поверхности ЭС КРТ, выращенных методом жидкофазной эпитаксии (ЖФЭ) по ТУ1778-288/0-0198396-03 (ФГУП «ГИРЕДМЕТ»), молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) по ТУ 1778-003-03533808-2003 (ИПФ СО РАН) и химического осаждения из паров металлоорганических соединений и ртути (МОС) (Институт химии высококачественных веществ РАН). Профилограммы поверхности ЭС КРТ, выращенных различными методами, получены на конфокальном профилометре типа РLц.

Б22. Получение гетероструктур с квантовыми ямами для двухспектральных ИК-фотоприемников методом МОС-гидридной эпитаксии

Мармалюк А.А., Падалица А.А., Никитин Д.Б., Будкин И.В., Сабитов Д.Р., Сухарев А.В., Андреев А.Ю., Булаев П.В.

ФГУП «НИИ «Полюс», Москва, Россия

Для ряда задач необходимы фотоприемники с одновременной чувствительностью как в области 3-5, так и в области 8-12 мкм. Одним из возможных вариантов реализации

двухспектральной чувствительности является использование гетероструктур с множественными квантовыми ямами на основе твердых растворов GaAs.

В данной работе рассмотрены вопросы получения гетероструктур, состоящих из двух частей: первая с квантовыми ямами GaAs/AlGaAs для получения фоточувствительности в диапазоне 8-12 мкм, вторая с квантовыми ямами InGaAs/AlGaAs для диапазона 3-5 мкм.

Указанные гетероструктуры выращивались на установке МОС-гидридной эпитаксии при пониженном давлении "СИГМОС-130" с горизонтальным кварцевым реактором и вращающимся графитовым подложкодержателем емкостью 3x2". Температура роста варьировалась в диапазоне 720-770°C, давление в реакторе поддерживалось на уровне 60 мм.рт.ст. Гетероструктура состояла из набора квантовых ям GaAs (InGaAs) толщиной 2-6 нм и барьеров $Al_xGa_{1-x}As$ ($x=0.25-0.35$) толщиной 40-50 нм, помещенных между контактными слоями n+GaAs. В качестве подложек использовались пластины полуизолирующего GaAs диаметром 51 мм.

Продемонстрированы результаты рентгеновских, фотолюминесцентных, фотовольтаических и вольт-фарадных измерений, подтверждающих получение гетероструктуры с двумя требуемыми областями.

Представленные результаты указывают на принципиальную возможность использования метода МОС-гидридной эпитаксии для получения двухспектральных гетероструктур с квантовыми ямами для ИК-фотоприемников.

Б23. Исследование характера изменения решеточных колебаний в зависимости от пространственного распределения цинка по глубине эпитаксиальных слоев $Cd_xHg_{1-x}Te$, выращенных на подложках $Cd_{1-y}Zn_yTe$

Белогорохов А.И., Денисов И.А., Смирнова Н.А., Флоренцев А.А., Пашкова Н.В.

ФГУП «Гиредмет», Москва, Россия

Исследованы оптические, структурные и электрофизические свойства эпитаксиальных слоев (ЭС) $Cd_xHg_{1-x}Te$, выращенных методом жидкофазной эпитаксии на подложках $Cd_{1-y}Zn_yTe$. После отжига в насыщенных парах ртути ЭС имели *p*- тип проводимости с концентрацией носителей заряда $(0,8-2,0) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ и их подвижностью до $600 \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$ при температуре жидкого азота. С помощью методов масс-спектрального и рентгенофазового анализа проведено исследование распределения цинка по глубине ЭС и в окрестности гетерограницы слой/подложка во взаимосвязи со структурным совершенством ЭС [1]. Из оптических спектров в области края основного поглощения получены значения ширины запрещенной зоны для различных значений состава материала ЭС в зависимости от количества цинка при поэтапном уменьшении толщины слоя в результате химического травления. Параллельно с этим проведены исследования изменений в дисперсионных зависимостях коэффициента отражения в области решеточных колебаний. Наблюдалась характерная картина перераспределения сил осцилляторов однофононных резонансов по мере продвижения от поверхности ЭС к гетерогранице. В ряде случаев имели место дополнительные локальные колебания. Для более полного понимания причин их появления в оптических спектрах были выращены ЭС твердых растворов замещения $Cd_xHg_{1-x-y}Zn_yTe$. В дополнение к этому были проведены теоретические расчеты частот основных оптических фононов $Cd_xHg_{1-x-y}Zn_yTe$ в рамках модели однородных ячеечных смещений. Из сравнения экспериментальных данных с результатами теоретических расчетов можно сделать вывод о том, что в непосредственной окрестности гетерограницы $Cd_xHg_{1-x}Te/Cd_{1-y}Zn_yTe$ в процессе роста ЭС при определенных условиях образуется тонкий слой твердого раствора $Cd_xHg_{1-x-y}Zn_yTe$, то есть цинк в данной области необходимо рассматривать не как примесь, а как один из компонентов катионной подрешетки. Следовательно, при рассмотрении вопроса о получении гетероструктур $Cd_xHg_{1-x}Te/Cd_{1-y}Zn_yTe$ необходимо всегда принимать во внимание диффузионные процессы на гетерогранице. Подобный факт можно рассматривать

и как альтернативу переходному слою, формирование которого иногда необходимо для согласования параметров кристаллических решеток слоя и подложки, а также для уменьшения количества различного рода дефектов в области интерфейса и их влияния на время жизни носителей заряда в ЭС.

1. Н.А. Смирнова, А.И. Белогорохов, И.А. Денисов, А.А. Флоренцев, Т.Г. Югова, Исследование структурного совершенства эпитаксиальных слоев гетероструктур CdHgTe/CdZnTe, Тезисы докладов VI Российской конф. по физике полупроводников, С.-Петербург, 2003, с. 239-240.

Б24. Исследования стабильности свойств ГЭС КРТ, $x \cong 0,2$, полученных методом МЛЭ

Дьяконов Л.И., Сусов Е.В., Смолин О.В., Никитин М.С.

ФГУП «Альфа», Москва, Россия

Гетероструктуры (ГЭС) КРТ, полученные методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ), все чаще используют для изготовления ИК фоточувствительных элементов (ФЧЭ). Одним из необходимых (хотя и недостаточных!) условий стабильной работы ФЧЭ – стабильность исходных электрофизических параметров самой ГЭС. В настоящей работе ГЭС КРТ термообработывали на воздухе при 90°C, наблюдая основных гальваномагнитных свойств структуры. Методом Ван-дер-Пау на образцах 7×7 мм² измеряли удельное сопротивление, концентрацию основных носителей и подвижность носителей как при 77 К, так и температурном интервале 77-300 К при различной напряженности магнитного поля. Полученные зависимости сравнивали с аналогичными свойствами, измеренными для близких по составу образцов объемного КРТ и структур КРТ, выращенных методом жидкофазной эпитаксии. Во всех случаях качественное отличие гальваномагнитных свойств КРТ разной природы наблюдается при наиболее низких температурах из исследованного интервала. На основании полученных данных сделаны выводы о стабильности ГЭС КРТ.

Б25. Влияние геометрии квантовой ямы на спектр фоточувствительности структур с множественными квантовыми ямами

Будкин И.В., Падалица А.А., Сабитов Д.Р., Никитин Д.Б., Сухарев А.В., Петровский А.В., Булаев П.В., Куликов В.Б., Мармалюк А.А.

ФГУП «НИИ «Полюс», Москва, Россия

Управление спектром фоточувствительности для фотоприемников среднего и дальнего ИК-диапазона является актуальной задачей для различных применений, связанных с селективным обнаружением излучения на определенную длину волны. Одним из преимуществ фотоприемников на основе структур с квантовыми ямами является возможность варьирования в широких пределах максимумом и шириной спектра фоточувствительности на этапе эпитаксиального роста, изменяя геометрию квантовой ямы.

Гетероструктуры для исследованных образцов выращивались на установке МОС-гидридной эпитаксии при пониженном давлении “СИГМОС-130” с горизонтальным кварцевым реактором и вращающимся графитовым подложкодержателем емкостью 3х2”. Температура роста составляла 770°C, давление в реакторе поддерживалось на уровне 60 мм.рт.ст. Во время роста варьировалась ширина квантовой ямы при постоянном значении содержания алюминия в барьере, и высота квантового барьера при постоянной толщине квантовой ямы. Содержание AlAs в барьере AlGaAs изменялось в диапазоне от 0,24 до 0,31, ширина GaAs квантовой ямы в диапазоне от 40 до 60 Å.

Изучалось, как влияние толщины квантовой ямы при фиксированном барьере, так и влияние высоты барьера при фиксированной толщине квантовой ямы на форму спектра.

Исследуемые образцы продемонстрировали контролируемое смещение максимума спектра fotocувствительности с 7 до 10 мкм. В качестве подложек использовались пластины полуизолирующего (100) GaAs.

Так же, в зависимости от геометрии квантовой ямы, рассмотрены образцы с переходами типа уровень-уровень, уровень-квазиуровень и уровень-континуум. Определены зависимости полуширины спектра от типа переходов. Экспериментальные данные хорошо согласуются с теоретическими расчетами, выполненными на основе численного решения уравнения Шредингера для прямоугольной квантовой ямы.

Б26. Разработка технологии и установки диффузионной сварки фотокатодных гетероэпитаксиальных структур со стеклянным входным окном для электронно-оптических преобразователей

Ахмадеев И.А., Долгих А.В., Корсунь П.П.

ОАО «Катод», Новосибирск, Россия

Диффузионная сварка фотокатодных гетероэпитаксиальных структур со стеклянным входным окном электронно-оптического преобразователя является одной из ключевых операций при изготовлении фотокатодных узлов, определяющих в конечном итоге величину fotocувствительности катода, пространственного разрешения, чистоты поля зрения и других характеристик приборов. Диффузионная сварка проводится в вакууме при температуре размягчения стекла $\sim 600^\circ\text{C}$. Существенная особенность диффузионной сварки стекла с (полупроводниковыми) фотокатодными структурами – пластическая деформация гетероструктур при остывании под действием термических напряжений в спае, которая сопровождается размножением дислокаций несоответствия на гетерограницах структуры, ухудшающих, в конечном итоге, эмиссионные свойства фотокатода.

Разработана технология, позволяющая свести к минимуму пластическую деформацию гетероструктур при сварке с подложкой. В соответствии с новой технологией разработана и изготовлена установка групповой диффузионной сварки гетероструктур со стеклянной подложкой, обеспечивающая процент выхода годных свыше 98% при суточной производительности 24 штуки.

Б27. Влияние термообработок на параметры фотодиодов, сформированных ионной имплантацией бора в гетероэпитаксиальные слои МЛЭ $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ p -типа

Васильев В.В., Овсяк В.Н., Протасов Д.Ю., Талипов Н.Х.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Проведены исследования влияния термообработок на параметры фотодиодных структур, изготовленных на основе гетероэпитаксиальных слоев $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$, выращенных методом МЛЭ (ГЭС МЛЭ КРТ). После выращивания и последующего отжига образцы ГЭС МЛЭ КРТ имели исходный p -тип проводимости с концентрацией дырок $(6-8)\cdot 10^{15}\text{ см}^{-3}$ и их подвижностью $450-500\text{ см}^2\text{ В}^{-1}\text{ с}^{-1}$. Состав ГС МЛЭ КРТ изменялся от $x=0,35$ на поверхности до $x=0,225$ в рабочем слое. В образцы ГЭС МЛЭ КРТ при комнатной температуре проводилась ионная имплантация бора для формирования $n-p$ переходов по планарной технологии. Энергия ионов бора варьировалась до 150 кэВ, доза – до $3\cdot 10^{14}\text{ см}^{-2}$. Постимплантационный отжиг не проводился. Диэлектрическим покрытием являлся низкотемпературный диоксид кремния с нанесенным сверху плазмохимическим нитридом кремния. Температура осаждения диэлектриков не превышала 100°C . Контакты к $n-p$ переходам изготавливались напылением индия. Изготовленные фотодиодные структуры подвергались изохронным и изотермическим отжигам в интервале температур $60-135^\circ\text{C}$ в

инертной атмосфере либо в вакууме. Измерения ВАХ фотодиодов проводились при температуре 77 К. Одновременно методом дифференциальных холловских измерений на аналогичных образцах–спутниках ГЭС МЛЭ КРТ, имплантированных и отожженных в тех же условиях, проводилось исследование ионно-имплантированного *n*-слоя.

Результаты измерений показали, что в случае отжига вплоть до $T=115^{\circ}\text{C}$ не наблюдается никаких ухудшений параметров фотодиодов. Более того, наблюдается существенное (в 2-3 раза) уменьшение темнового тока и увеличение динамического сопротивления R_d , величины R_0A и фототока диодов при температурах отжига $90\text{--}115^{\circ}\text{C}$ (рис.1, 2). По-видимому, данное улучшение параметров связано с частичным отжигом радиационных дефектов, генерированных ионной бомбардировкой, о чем свидетельствует увеличение подвижности электронов в *n*-слое после термообработок.

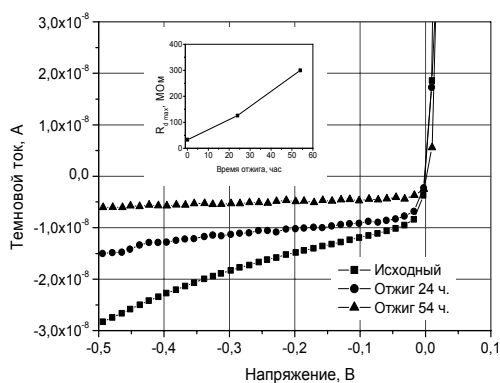


Рис. 1. Темновой ток диода для различных времен отжига при $T = 90^{\circ}\text{C}$ в вакууме.

На вставке показана зависимость R_d в максимуме от времени отжига.

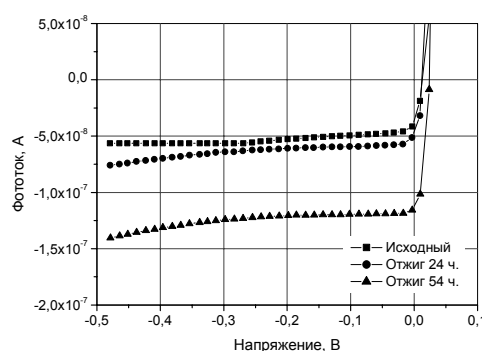


Рис. 2. Фототок диода для различных времен отжига при $T = 90^{\circ}\text{C}$ в вакууме (фоновая засветка при 300 К).

Б28. О влиянии имплантационного легирования кристаллов InSb бериллием на адгезионные свойства защитной плёнки SiO_x

Астахов В.П., Астахов М.В., Карпов В.В., Крапухин В.В., Мануйлова Л.К.

ОАО «Московский завод «Сапфир», Москва, Россия

Проведено исследование причин отслоения защитной плёнки SiO_x при производстве фотодиодов из антимонида индия по базовой технологии с применением имплантации ионов Be^+ . Плёнка SiO_x наносится методом термического напыления монооксида кремния на поверхность фоточувствительной структуры, покрытой анодной окисной плёнкой (АОП).

Характерным дефектом при производстве таких приборов является полное или частичное отслоение плёнки SiO_x от АОП. Установлено, что в тех случаях, когда отслоение является неполным, оно начинается от краёв кристалла или дефектов покрытия и, в большинстве случаев, останавливается на границе легированной области охранного кольца вокруг фоточувствительной площадки.

Это явление свидетельствует о повышенной адгезии плёнки SiO_x к АОП в зоне, подвергнутой ионной бомбардировке при формировании структуры. Отличие наблюдаемого эффекта ионной бомбардировки поверхности от ранее известных фактов повышения прочности адгезии покрытий к поверхностям, подвергнутым ионной обработке, состоит в том, что в данном случае улучшение адгезии наблюдается на поверхности АОП, сформированной на облученной поверхности InSb.

Обнаруженный эффект использован при проектировании топологии ФЧЭ из InSb. Вся пассивная поверхность кристалла легировалась ионами Be^+ одновременно с процессами формирования фоточувствительных площадок и охранного кольца. В сочетании с

повышением температуры нанесения плёнки SiO_x , ограниченным термической стойкостью АОП, это позволило исключить отслоение защитного покрытия ФД из InSb .

Б29. Исследование магнетопольевых зависимостей проводимости и коэффициента Холла в пленках n-CdHgTe, выращенных методом МЛЭ

Бахтин П.А., Дворецкий С.А., Варавин В.С., Коробкин А.П.,
Михайлов Н.Н., Сабина И.В., Сидоров Ю.Г.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

В работе исследованы магнетопольевые зависимости проводимости и коэффициента Холла (в диапазоне магнитных полей $0 \div 1$ Тл и $T=77$ К) нелегированных и легированных индием пленок n-типа проводимости $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$. Пленки $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ с $x \approx 0,22$ и толщиной $10 \div 12$ мкм были выращены методом МЛЭ на подложках из GaAs. Концентрация электронов в нелегированных пленках составляла $(1 \div 4) \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$. Легированные In пленки имели концентрацию электронов в диапазоне $5 \cdot 10^{14} \div 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. При увеличении магнитного поля от 0,05 до 1 Тл наблюдалось уменьшение проводимости σ и величины коэффициента Холла R_H в 3-5 раз в нелегированных и слабо легированных индием пленках ($n = 5 \cdot 10^{14} \div 10^{15} \text{ см}^{-3}$). Мы наблюдали слабое изменение этих параметров ($\sim 10\%$ от исходных) в сильнолегированных In пленках ($10^{16} \div 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$). Найдена причина такого поведения проводимости и коэффициента Холла.

Был проведен анализ экспериментальных данных в рамках модели, учитывающий существование двух типов электронов (с высокой и низкой подвижностью) в пленках КРТ. Получено хорошее соответствие между экспериментальными и расчетными данными. Подвижность низко подвижных электронов принимала значение около $10000 \text{ см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$.

Для изучения распределения параметров носителей по толщине пленки $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ были проведены измерения проводимости и коэффициента Холла при послойном травлении пленок. Для нелегированных пленок было установлено, что в травленных слоях подвижность по величине составляет $(1,3 \div 1,6) \cdot 10^5 \text{ см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$, а концентрация носителей - $(1 \div 4) \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$. По мере травления пленки мы наблюдали постепенное изменение подвижности и концентрации в пленках $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$. Для различных пленок, после травления, подвижность принимала значения $(3 \div 12) \cdot 10^3 \text{ см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$. Проводимость примерно на порядок превышала исходные значения. Мы думаем, что низко подвижные электроны локализованы в тонком слое ($0,1 \div 0,2$ мкм) у границы с буферным слоем. Возможной причиной высокой концентрации электронов с низкой подвижностью в этом слое может быть высокая плотность дислокаций несоответствия (сетка дислокаций) в КРТ вблизи границы с буферным слоем. Оценен вклад малоподвижных электронов в проводимость нелегированных пленок КРТ. Так же нами предложен способ уменьшения концентрации низко подвижных электронов.

Б30. Метод оптимизации технологических условий роста для выращивания высококачественных ГЭС КРТ МЛЭ

Михайлов Н.Н., Смирнов Р.Н., Сидоров Ю.Г., Дворецкий С.А

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Низкая концентрация, высокая подвижность основных носителей заряда и высокое время жизни неосновных носителей заряда - основные параметры, которые характеризуют пригодность ГЭС КРТ МЛЭ для их использования при изготовлении ИК фотоприемников. Для выращивания структур с высокими электрофизическими параметрами необходимо определить, и воспроизводимо поддерживать оптимальные условия роста.

Для оптимизации процессов роста КРТ приходится одновременно решать задачу нахождения требуемой температуры выращивания, соотношения потоков ртути и теллура для определения оптимальных условий роста. Найдено, что при высоких давлениях паров ртути в зоне роста (10^{-3} - 10^{-4} торр) наблюдается существенное взаимное влияние потоков ртути, теллура и кадмия, соотношение которых определяет скорость роста и состав КРТ. Температура поверхности растущего слоя КРТ определяется дополнительными потоками тепла от молекулярных источников и излучательной способностью растущего слоя. В свою очередь величина молекулярных потоков и температура роста существенно влияют на структурное совершенство и электрофизические свойства пленок КРТ. Следовательно, для оптимизации технологических условий необходимо выбрать метод, учитывающий большое количество параметров, влияющих друг на друга.

Оптимизация технологических процессов производилась с использованием метода Бокса-Уилсона (метод крутого восхождения) с учетом только линейной комбинации факторов. Была составлена база данных, в которую занесены измеренные во время роста эпитаксиальных слоёв КРТ значения температур источников кадмия, ртути и теллура, температура подложки, давление паров ртути, скорость роста слоя, значения эллипсометрических параметров, а также электрофизические характеристики выращенного слоя. Последовательные шаги по оптимизации технологических параметров позволили определить условия воспроизводимого получения ГЭС КРТ МЛЭ с параметрами: $n=(2\div 5)\times 10^{14}$ см⁻³, $\mu > 8\times 10^4$ см²В⁻¹с⁻¹ и $\tau > 3$ мкс для составов с $X_{\text{CdTe}} = 0,2\div 0,23$.

Данная методика также успешно использована для оптимизации технологических процессов при изменении конструкции технологической оснастки модуля КРТ, а также при выращивании ГЭС КРТ МЛЭ других составов.

Б31. Исследование электрофизических и фотоэлектрических свойств тонкопленочных структур VO₂ на интерфейсе SiO₂-Si

Григорьев Л.В., Тер-Нерсесянц В.Е., Соколов В.И.*

СПбГУ, НИИ физики, Санкт-Петербург, Россия

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

В настоящее время, актуальна проблема создания неохлаждаемых многоэлементных ИК-приемников на основе болометрических, пироэлектрических, термоэлектрических матриц. Согласно анализа публикаций в открытой печати [1, 2, 3] макеты тепловизионных приборов на основе неохлаждаемых матриц по температурной чувствительности приближаются к современным тепловизионным приборам на криогенных фотоэлектрических полупроводниковых приемниках. На сегодняшний день настала необходимость реализации на основе кремниевой технологии как приемной ИК-матрицы, так и системы обработки сигнала. В свою очередь, электрофизические и оптические свойства тонких пленок VO₂ сильно зависят как от технологии их создания, так от режима нанесения на подложку.

В работе представлены результаты исследований параметров оптически и электрически активных дефектов (ОАД и ЭАД), определяющих электрические и болометрические свойства получаемой пленки VO₂. Образцы плоскостных структур, на основе пленок VO₂, были получены магнетронным ионно-плазменным распылением ванадиевой мишени. После ознакомления с результатами предварительных исследований проведенных в [4] были подобраны оптимальные основные параметры процесса нанесения пленки. В настоящей работе температура подложки варьировалась в пределах от 723 К до 773 К, время напыления было равно 20 минутам, скорость напыления составляла около $2\cdot 10^{-10}$ м/с. В качестве металлических электродов были напылены полоски Ti. С целью уменьшения низкочастотных шумов, перед напылением Ti, приконтактные области очищались в плазме тлеющего разряда. Размеры исследуемой области составляли 1x5 мм.

Для полученных образцов были проведены исследования вольт-амперных характеристик (ВАХ), температурных зависимостей сопротивления от температуры, измерены токи термо- и фотопроводимости. Исследован спектр шума при токе в 1,5 мкА через исследуемую структуру. Сопротивление пленки диоксида ванадия, измеренное четырехзондовым методом, лежало в пределах от 17 до 28 кОм. Температурный коэффициент сопротивления для всех образцов составлял от 2,5%/К до 3,0 %/К. В рамках оптических измерений нами были исследованы спектры отражения и поглощения структуры VO₂-SiO₂-Si в диапазоне от 1 мкм до 12 мкм. Проведенные модельные расчеты спектров отражения и поглощения структур с оптическими характеристиками, взятыми из [5], показали хорошее согласие с экспериментом. Исследования поверхности пленки VO₂ методами оптической и электронной микроскопии позволили оценить величину структурных неоднородностей пленки для различных технологических режимов.

Б32. Тонкие слои CdTe для пассивации поверхности ГЭС КРТ МЛЭ

Михайлов Н.Н., Смирнов Р.Н., Сидоров Ю.Г., Дворецкий С.А., Варавин В.С.,
Сабина И.В., Гутаковский А.К., Ремесник В.Г.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Для пассивации поверхности инфракрасных фотоприемников (ИК ФП) на основе твердых растворов кадмий ртуть теллур (КРТ) применяют различные изолирующие покрытия. В случае гетероэпитаксиальных пленок КРТ, выращенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ), пассивация поверхности для последующего изготовления ИК ФП обычно проводится в едином технологическом процессе при выращивании широкозонных тонких пленок на основе КРТ и CdTe.

В работе проведено изучение влияния условий роста пассивирующих покрытий ГЭС КРТ МЛЭ и их параметров на электрофизические параметры ГЭС КРТ МЛЭ.

Пассивирующие покрытия на основе широкозонных варизонных слоев с составами на поверхности близкими к CdTe толщиной 0,4-0,6 мкм и слоев CdTe толщиной 0,05-0,3 мкм выращивались на поверхности однородного фоточувствительного слоя ГЭС КРТ МЛЭ толщиной 8±1 мкм и состава X_{CdTe}~0,22 мол. дол. Выращивание варизонного широкозонного слоя проводилось без остановки процесса. Выращивание слоя CdTe проводилось двумя способами: в едином процессе роста ГЭС КРТ МЛЭ при температуре ~180⁰С; с остановкой процесса роста ГЭС КРТ МЛЭ, охлаждением до 70⁰С и последующем росте слоя CdTe.

Структурное совершенство пассивирующего покрытия было изучено с помощью просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ). Концентрация и подвижность основных носителей заряда определялись из измерений эффекта Холла. Время жизни неосновных носителей заряда измерялись СВЧ методом по спаду неравновесной фотопроводимости. ГЭС КРТ МЛЭ после выращивания имели электронный тип проводимости.

Показано, что при выращивании без остановки процесса увеличение толщины слоя CdTe до 0,3 мкм приводит к уменьшению времени жизни на порядок и снижению концентрации электронов в 5-8 раз. ПЭМ показала присутствие в таких пассивирующих покрытиях сетки дислокаций. Выращивание слоев CdTe с остановкой процесса роста при пониженных температурах не приводит к появлению сетки дислокаций и изменению электрофизических параметров ГЭС КРТ МЛЭ. Обсуждаются возможные причины изменения параметров ГЭС КРТ МЛЭ. Одной из причин снижения времени жизни неосновных носителей может быть сетка дислокаций в приповерхностном слое.

Многоэлементные фоторезисторы на основе ГЭС КРТ МЛЭ с пассивирующим покрытием широкозонным варизонным слоем и слоем CdTe показали предельно высокие фотоэлектрические параметры [1]. Перспективным является применение таких пассивирующих покрытий для изготовления многоэлементных матриц фотодиодов.

1. Научно-технический отчет ФГУП «Альфа». «Исследование параметров гетероэпитаксиальных структур твердых растворов теллуридов кадмия-ртути, выращенных

методом молекулярно-лучевой эпитаксии (ГЭС КРТ МЛЭ), тестовых элементов и фотоприемников на их основе». Москва, 181 с., 2003

Б33. Антиструктурный теллур как донорный центр в пленках КРТ, выращенных методом МЛЭ

Сидоров Ю.Г., Михайлов Н.Н., Варавин В.С.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Эпитаксиальные структуры, выращиваемые методом молекулярно-лучевой эпитаксии без преднамеренного легирования инородными примесями, практически всегда проявляют n-тип проводимости. Уровень концентрации находится в интервале от 10^{14} см⁻³ до 10^{17} см⁻³ в зависимости от условий выращивания. Однозначного представления о природе донорных центров в пленках МЛЭ КРТ не существует. Отсутствие представлений о природе донорных центров не позволяет управляемо изменять их концентрацию для получения значений, необходимых для изготовления приборных структур.

При молекулярно-лучевой эпитаксии КРТ в молекулярном потоке теллура присутствуют в основном двухатомные молекулы. Рассмотрение адсорбционного слоя при МЛЭ соединений A^2B^6 показывает [1], что существуют активационные барьеры реакций десорбции и диссоциации двухатомных молекул элемента шестой группы на поверхности.

В настоящей работе рассмотрена модель антиструктурного теллура, как остаточного донора в пленках КРТ, выращенных методом МЛЭ, и проведена проверка модели путем изменения активности одноатомного теллура при прочих неизменных условиях выращивания. Активность одноатомного теллура в поступающем потоке изменялась за счет температуры верхней зоны источника теллура, а поток теллура при этом сохранялся неизменным. Экспериментально наблюдалось повышение концентрации электронов в пленках КРТ при повышении температуры верхней зоны источника теллура и понижение концентрации с повышением давления паров ртути, что качественно согласуется с моделью антиструктурного теллура как остаточного донора.

Наблюдаемое количественное расхождение с равновесной концентрацией антиструктурного теллура, по-видимому, связано с влиянием кинетики поверхностных процессов: кристаллизации КРТ с участием одноатомного теллура и ассоциации с образованием двухатомных молекул теллура.

Показано, что управляемое введение антиструктурного теллура может быть использовано как метод легирования донорными центрами с концентрациями от $5 \cdot 10^{14}$ см⁻³ до $5 \cdot 10^{17}$ см⁻³ без введения легирующей примеси.

1. Михайлов Н.Н. Сидоров Ю.Г., Дворецкий С.А., Якушев М.В., Швец В.А. Изучение процессов адсорбции и десорбции теллура на поверхности CdTe методом эллипсометрии. Автометрия, №4, 2000 г., с.124-130

Б34. Использование бромвыделяющих растворов систем $HNO_3 - HBr$ – растворитель для химико-динамического полирования поверхности монокристаллов InSb

Томашик В.Н., Кусяк Н.В., Томашик З.Ф.

Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН, Киев, Украина

Выбор оптимальных составов полирующих травителей для химико-динамического полирования (ХДП) InSb проводили с помощью данных диаграмм “состав травителя – скорость травления”, а также результатов металлографического и профилографического анализов поверхности. Изучение кинетических закономерностей растворения позволили оптимизировать технологические режимы ХДП.

Для исследований использовали монокристаллические подложки нелегированного InSb n-типа с ориентацией [211], имеющее удельное сопротивление 0,06 Ом·см. Образцы представляли собой пластины площадью 0,5 см² и толщиной 1,5-2 мм. Пластины предварительно шлифовали, механически полировали и снимали нарушенный слой толщиной 50-70 мкм, травителем, идентичным исследуемым композициям. Для приготовления травителей использовали 70%-ную HNO₃ и 40%-ную HBr (марки ос.ч.), а в качестве растворителей и модификаторов вязкости – диметилформамид (ДМФА), 40%-ную молочную кислоту (C₃H₆O₃) и этиленгликоль (ЭГ).

Из анализа диаграмм Гиббса были определены концентрационные границы полирующих травильных композиций в системах HNO₃ – HBr – растворитель и установлена взаимосвязь между величиной области полирующих растворов, скоростью травления и составом травильных смесей, причем отмечается существенное влияние природы растворителя на процесс ХДП. Так, последовательная замена ДМФА на C₃H₆O₃ и затем на ЭГ в составе травильных растворов исследуемых систем приводит к возрастанию скорости травления и расширению областей полирующих смесей. При этом уменьшается область растворов, в которых формируется поверхность типа “лимонная корка”.

При соотношении компонентов (об. %) HNO₃:HBr: ДМФА=(10-40): (7-90): (0-20) скорость ХДП антимида индия изменяется в интервале от 30 до 290 мкм/мин. В случае травильных смесей, содержащих (в об. %): 10-40 HNO₃, 50-90 HBr и 0-40 C₃H₆O₃ скорость ХДП составляет 30-340 мкм/мин, а при соотношении (в об. %): HNO₃ : HBr : ЭГ = (10-65) : (90-20): (45-0) скорость ХДП InSb варьирует от 1 до 470 мкм/мин, причем полирующие растворы в последней занимают 60% изученного концентрационного интервала. Во всех исследованных системах растворов максимальная скорость ХДП наблюдается в травителях, обогащенных бромистоводородной кислотой, а минимальная – в растворах, обогащенных растворителем.

Травители с большими скоростями съема материала с поверхности можно применять для быстрого утонения подложек, а также рекомендовать для разработки методик химической резки антимида индия. Процесс ХДП проводится при 295-297 К и скорости вращения диска 85 мин⁻¹. После травления образцы промывали большим количеством дистиллированной воды, в отдельных случаях дополнительно использовали 10% раствор NH₄OH, после чего снова промывали дистиллированной водой и сушили потоком сухого воздуха.

Б35. Влияние пленки Si₃N₄, осажденной в плотной плазме, на темновой ток и стабильность планарных InGaAs/InP pin-фотодиодов

Киселева Т.В., Кулыманов А.В., Огнева О.В., Трошков А.Е.,
Чинарева И.В., Шарипов А.Г.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Представлены результаты воздействия пленки Si₃N₄, осажденной в плотной плазме, на темновой ток и стабильность планарного InGaAs/InP pin-ФД. Указанная пленка осаждалась из смеси азота с моносиланом при температуре 270°C. Мощность плазменного разряда составляла 350 Вт, частота разряда – 13,56 МГц. Рабочее давление в камере составляло 10⁻⁴ тор, скорость роста пленки – 100 Å/мин.

Электрическая прочность пленки Si₃N₄, осажденной в плотной плазме, составляла (7-8)·10⁶ В/см, относительная диэлектрическая проницаемость – 6,9, содержание водорода – 15%, показатель преломления – 1,8-1,9.

Технология осаждения пленки Si₃N₄ в плотной плазме обеспечивает получение и стабилизацию плотности темнового тока планарного InGaAs/InP pin-ФД, в том числе при повышенной температуре, на уровне 10⁻⁵ – 10⁻⁶ А/см².

Б36. Трехмерный расчет влияния величины композиционного градиента варизонного Р-р гетероперехода на характеристики HgCdTe диода

Васильев В.В., Предеин А.В.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Фотодиоды на основе твердого раствора $Hg_{1-x}Cd_xTe$ дальнего ($\lambda_m=8-12$ мкм) ИК-диапазона характеризуются большими фоновыми и/или темновыми токами. Снижение этих токов в матрицах n^+ -р фотодиодов с высокоомным рабочим р-слоем необходимо для обеспечения постоянства напряжения смещения на диодах. В работе [1] описана одномерная детекторная структура, в которой фотоны поглощаются в узкозонном р-слое, а р-п переход располагается в более широкозонном Р-слое (заглавная буква означает более широкозонный слой). Варизонный Р-р гетеропереход этой структуры является потенциальным барьером (пропорциональным разности Δx в содержании кадмия) для неосновных носителей заряда рабочего слоя.

В настоящей работе численно рассчитываются характеристики n^+ -р фотодиода с вышеописанной структурой в трехмерной цилиндрической геометрии. Расчеты выполнены для тонкого (10 мкм) планарного диода малого радиуса r_j , с глубиной залегания р-п перехода z_j , в предположении диффузионно-лимитированных при 77 К токов. ИК излучение падает с тыльной стороны через подложку из GaAs. Содержание кадмия в рабочем слое $x=0,22$.

В современных фотоприемных матрицах (ФПМ) радиус диода r_j обычно меньше диффузионной длины неосновных носителей L_n , поэтому боковой ток вносит существенный вклад в общий ток фотодиода [2, 3]. Параметр f_{3d} , равный отношению токов трехмерного и одномерного фотодиодов с одинаковыми радиусами р-п перехода r_j , был вычислен при различной высоте потенциального барьера и обнаружено его резкое уменьшение, свидетельствующее о подавлении боковых токов, при увеличении Δx . В таблице ниже приведены результаты расчетов при $r_j = 5$ мкм, $L_n=25$ мкм, $z_j=0$.

Δx	0	0,01	0,02	0,03
Параметр f_{3d}	17	6,83	2,12	1,39

Величины дифференциального сопротивления при нулевом смещении (R_0A) и квантовой эффективности (η) были рассчитаны при различных значениях Δx . В отличие от одномерных расчетов [4] и трехмерных расчетов [3], выполненных при, возможно, больших величинах r/L_n , результаты наших расчетов показывают значительное уменьшение квантовой эффективности уже при малых величинах Δx .

Также выполнены расчеты токов фотодиода при различных величинах r_j и z_j , но при фиксированной величине композиционного градиента Δx . Результаты расчетов позволяют определить оптимальный композиционный профиль и глубину залегания перехода HgCdTe-фотодиода в ФПМ высокой размерности.

1. M.K. Ashby, N.T.Gordon, C.T.Elliott, C.L.Jones, C.D.Maxey, L.Hipwood and R.Catchpole J.Electron.Mater.32, 667 (2003)

2. V.Dhar and V.Gopal. Semicond. Sci. Technol. 16, 553 (2001)

3. J.Wenus, J.Rutkowski, A.Rogalski IEEE Trans. Electron. Devices,48, 1326 (2001)

4. K.Kosai and W.A.Redford J.Vacuum. Sci. Technol. A, 8, 1254 (1990)

Б37. Лазерное управляемое термораскалывание приборных пластин на основе кремния и арсенида галлия

Кондратенко В.С., Гиндин П.Д.* , Борисовский В.Е.* , Черных С.П.** , Наумов А.С.**

*Московская государственная академия приборостроения и информатики,
Москва, Россия*

**ОАО “Московский завод “Сапфир”, Москва, Россия*

***Агентство технологических исследований “ЮниСапф”, Зеленоград, Россия*

Лазерное управляемое термораскалывание давно и успешно применяется для прецизионного разделения стекла, керамики. В последнее время этот метод стал использоваться для разделения приборных пластин на подложках из монокристаллов сапфира и кварца.

Монокристаллы кремния и арсенида галлия по своим теплофизическим и оптическим свойствам существенно отличаются от указанных выше материалов. Поэтому здесь не применим CO_2 лазер, а используется полупроводниковый лазер с длиной волны излучения 808 нм. Кроме того, теплопроводность этих монокристаллов в 50...100 раз больше, чем у стекла. В связи с этим, для реализации процесса термораскалывания необходима более высокая концентрация мощности излучения. Поэтому особое значение придается оптической системе для фокусировки излучения.

Для фокусировки излучения лазера с апертурой $10 \times 10 \text{ мм}^2$ и с расходимостью более 10^{-2} радиан в эллиптическое пятно размером $1,6 \times 0,3 \text{ мм}^2$ был применен 4-х линзовый объектив с фокусным расстоянием $F_x/F_y=24,0/27,7 \text{ мм}$, приведенный на Рис. 1, обеспечивающий необходимое формирование лазерного пучка (Рис. 2).

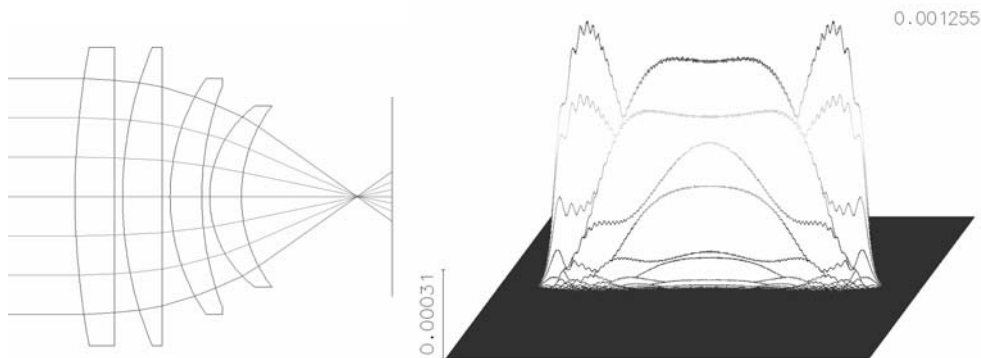


Рис.1

Рис. 2

В результате выполненных исследований был разработан технологический процесс лазерного управляемого термораскалывания пластин из кремния и арсенида галлия со следующими параметрами:

- мощность лазерного излучения	250 Вт
- скорость резки	100 - 500 мм/сек
- размер подложки	до 350 мм
- толщина подложки	50 - 650 мкм
- точность разделения	$\pm 25 \text{ мкм}$.

Б38. Модифицирование свойств КРТ при травлении в ВЧ-плазме

Писаревский В.К., Мансуров Л.Г.

Львовский национальный университет им. Ив. Франко, Львов, Украина

В работе представлены результаты исследований, направленные на улучшение характеристик фотоприёмных устройств на основе КРТ. Используются эпитаксиальные слои КРТ и монокристаллические образцы p - и n - типа проводимости состава $0,2 < x < 0,4$.

Эксперименты по травлению КРТ *p*-типа проводимости в ВЧ-плазме подтвердили тот факт, что обработка поверхности образцов ионами ртути и аргона приводит к конверсии типа проводимости и существенно влияет на время жизни неравновесных носителей заряда. При этом наблюдается изменение механизма рекомбинации. При оптимальном выборе энергии ионов ртути при травлении образцов КРТ *n*-типа проводимости возможно увеличение подвижности электронов в 2-3 раза при незначительном увеличении их концентрации.

Сравнение эффективности травления КРТ ионами ртути и аргона показывает, что более тяжелые ионы ртути увеличивают скорость травления материала почти на порядок.

Исследованы особенности процессов модификации в зависимости от параметров исходного материала, энергии ионов и времени травления. Показана возможность целенаправленного изменения электрофизических и рекомбинационных параметров КРТ.

Б39. Электрические и оптические свойства N-GaSb/n-GaInAsSb/N-GaAsSb изотипных двойных гетероструктур

Афраилов М.А., Озер М.

Улудагский университет, Отделение физики, Бурса, Турция

Б40. Выращивание кристаллов $Cd_{1-x}Zn_xTe$ из паровой фазы

Мельников А.А., Кульчицкий Н.А.

Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет), Москва, Россия

Халькогениды цинка и кадмия, а также твердые растворы на их основе являются широкозонными полупроводниками, обладающими высокой чувствительностью к электромагнитным волнам в вплоть до самых коротких, что обуславливает их широкое применение для таких электронных приборов как детекторы ядерного излучения, материалы ИК-оптики, солнечные батареи, элементы систем лазерного телевидения. Монокристаллы $Cd_{1-x}Zn_xTe$ используются в качестве подложек для эпитаксии твердых растворов $Hg_{1-x}Cd_xTe$. В последние годы большое внимание уделяется исследованиям и анализу свойств пленок и сверхрешеточных структур с квантовыми ямами на основе системы Cd-Zn-Te. Широкое внедрение приборов на основе таких материалов ограничивается технологическими проблемами получения совершенных монокристаллов и пленок. Наиболее совершенные монокристаллы и пленки халькогенидов цинка и кадмия получены методом осаждения из паровой фазы. Поэтому очень актуальным представляется разработка математических моделей процессов выращивания кристаллов и пленочных структур в таких системах.

В работе рассмотрены вопросы математического моделирования процессов выращивания кристаллов $CdZnTe$ в условиях химического переноса и физического транспорта компонентов квазибинарного соединения в системах $CdTe-ZnTe-H_2$, $CdTe-ZnTe-Ar$. Разработанная модель позволяет рассчитывать значения констант равновесия реакций, парциальных давлений компонентов, коэффициентов взаимной диффузии, массопотоков в системе, а также других параметров многокомпонентной реакционной газовой смеси в широких интервалах температур и исходного состава. Расчетные значения скоростей переноса от состава газовой смеси и величины кажущегося переохлаждения в условиях постоянного градиента хорошо согласуются с экспериментально полученными зависимостями.

Б41. Конверсия типа проводимости в легированных примесями 1-й группы монокристаллах $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ при ионном травлении

Богобоящий В.В., Ижнин И.И.*, Курбанов К.Р.**

Кременчугский государственный политехнический университет, Кременчуг, Украина

**НИИ материалов НПП «Карат», Львов, Украина*

***Институт экономики и новых технологий, Кременчуг, Украина*

Конверсия типа проводимости в вакансионно-легированном $p\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ при ионном травлении (ИТ) изучена достаточно хорошо [1] и применяется рядом фирм для создания фотодиодных матричных приемников ИК излучения [2]. Недавно получены данные о наблюдении p - n конверсии при ИТ в $p\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$, легированном примесями 1-й группы - Au [3], а также Cu и Ag [4]. В [4] был также предложен механизм такой конверсии, связанный с вытеснением примесных атомов из узлов подрешетки металла в междоузлия, где они являются донорами. Однако для обоснования этого механизма требуются более надежные экспериментальные данные, подтверждающие наблюдение именно глубинной конверсии, не связанной с образованием нарушенного поверхностного p^+ -слоя, а также данные о зависимости глубины конверсии от флюенса ионов и о распределении концентрации носителей по глубине p - n структур. Этим вопросам и посвящена настоящая работа.

В работе исследованы монокристаллические образцы $p\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ ($x=0,21-0,22$), легированные Cu, Ag или Au. Примесь вводилась из напыленного поверхностного источника в образцы $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ ($n \sim 3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$) в процессе термического отжига в насыщенных парах ртути при 573 К. Ионное травление осуществлялось ионами Ar^+ с энергией 500 эВ в течение 15-20 мин. при плотности тока $j=0,2-0,3 \text{ мА/см}^2$. Измерялись и анализировались методом спектров подвижности интегральные полевые зависимости коэффициента Холла и удельного сопротивления при 77 К образцов сразу после ИТ и в процессе изотермического отжига при 273 К и 293 К либо изохронного отжига в интервале температур 273-393 К.

Полученные экспериментальные данные впервые убедительно доказывают существование глубинной p - n конверсии типа проводимости $p\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$, легированного Cu, Ag или Au, при ИТ. При этом глубина конверсии оказывается такой же, как и в случае вакансионно-легированного материала при равных концентрациях акцепторных примесей и одинаковых режимах ИТ, а начальная концентрация донорных центров в основном объеме n -слоя соответствует исходной концентрации введенной акцепторной примеси. Обнаружено, что образовавшиеся донорные центры являются нестабильными и быстро релаксируют. Например, при 273 К постоянная времени релаксации составляет 300 и 65 мин. для примеси Cu и Ag, соответственно. Однако полной реконверсии из n - в p -тип не наблюдается; при этом остаточная концентрация электронов в конвертированном слое после релаксации соответствует концентрации примеси n -типа в исходных образцах. Показано, что необходимым условием существования такой конверсии является превышение концентрации междоузельной ртути в процессе ИТ над константой равновесия реакции образования донорного центра.

1. Мынбаев К.Д., Иванов-Омский В.И. ФТП, **37**, 1153 (2003).
2. Пономаренко В.П. УФН, **173**, 649 (2003).
3. Antoszewski J., Musca C.A., Dell J.M., Faraone L. J. Electr. Mater., **29**, 837 (2000).
4. Берченко Н.Н., Богобоящий В.В., Власов А.П., Ижнин И.И., Яковина В.С. Вестник Национального университета "Львовская политехника" Сер. Электроника, №459, 18 (2002).

Б42. Моделирование диффузии собственных дефектов в гетерогенных кристаллах $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$

Богобоящий В.В., Герасименко С.А., Емец В.В., Ижнин И.И.*

*Кременчугский государственный политехнический университет, Кременчуг, Украина
НИИ материалов НПП «Карат», Львов, Украина

Хорошо известно, что кристаллы узкощелевого $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ (КРТ), выращенные при достаточно высоких температурах, гетерогенны и требуют дополнительной обработки в парах Hg или медленными ионами для снижения концентрации активных собственных дефектов и получения материала n-типа [1]. Диффузионная природа процесса p-n конверсии КРТ впервые была показана в [2]; там же был предложен междоузельный механизм диффузии Hg в таких кристаллах. Позже модель диффузии Hg в гетерогенном КРТ была усовершенствована в [1, 3-4]. Было показано, что диффузия Hg происходит посредством междоузельных атомов Hg при низкой концентрации вакансий Hg и посредством вакансий – при их высокой концентрации.

В то же время, ни одна из моделей не рассматривает в деталях взаимодействие диффундирующей ртути и преципитатов Te; предполагается, что граница раздела гомогенной и гетерогенной части кристалла имеет пренебрежимо малую протяженность. На самом же деле при коротком отжиге, когда глубина проникновения Hg в КРТ сопоставима с типичным расстоянием между преципитатами, такое взаимодействие оказывает существенное влияние на распределение собственных дефектов и должно непременно учитываться при моделировании диффузии Hg. По этой причине существует потребность создания такой модели диффузии Hg в гетерогенных кристаллах КРТ, которая бы учитывала взаимодействие Hg и преципитатов Te в явном виде.

В представленной работе предлагается такая модель. Она представляет собой систему нестационарных уравнений диффузии, содержащих соответствующие функции непрерывно распределенных источников и стоков, и учитывает как макроскопическую диффузию и дрейф заряженных точечных дефектов ($\text{Hg}_I^{\cdot\cdot}$ и $V_{\text{Hg}}^{\prime\prime}$), так и локальные процессы взаимодействия этих дефектов между собой и с включениями Te – комплексами вакансий Hg. Модель содержит только такие параметры, которые уже определены эмпирически, за исключением вероятности захвата точечного дефекта включением Te. Показано, что в области границы раздела гомогенной и гетерогенной части кристалла локальное равновесие точечных дефектов и преципитатов заметно нарушено, поэтому расчет формы профиля распределения вакансий в рамках модели требует численного решения системы уравнений диффузии. Выполнены аналитические оценки основных характеристик распределения вакансий Hg и произведены численные расчеты для случая диффузии ртути в гетерогенный кристалл. Показано, что переходная область у границы раздела гомогенной и гетерогенной части кристалла имеет толщину не менее чем $d \sim 10$ мкм.

1. D. Shaw, P. Capper J. Mater. Sci.: Materials in Electronics, V.11, 169 (2000)
3. C.L. Jones, M.J.T. Quelch, P. capper et al. J. Appl. Phys., Vol.53, 9080 (1982)
4. H.F. Scaake, J.H. Tregilgas, J.D. Beck et al. J. Vac. Sci. Technol. B., Vol.A3, 143 (1985)
5. А.И. Елизаров, В.И. Иванов-Омский, В.В. Богобоящий, В.Р. Петренко, В.А. Петряков ФТП, т.19, 819 (1985)

Б43. Исследование эффекта фотоэлектрической утомляемости в соединении CdIn_2S_4 с примесью Cu

Зафар Латан Кадыроглы, Керимова Т.Г.

Институт физики Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджан

Одним из наиболее интересных фотоэлектрических эффектов, наблюдающихся в различных полупроводниковых веществах, является эффект фотоэлектрической утомляемости (ФЭУ), называемый также долговременной релаксацией II рода. Суть эффекта заключается в том, что фоточувствительность медленно уменьшается в процессе освещения образца. При этом фотоотклик, достигнув максимального значения в первые секунды после включения освещения, далее медленно спадает.

В настоящей работе сообщается об обнаружении и исследовании ФЭУ в кристаллах CdIn_2S_4 с примесью Cu . Монокристаллы получены газотранспортным методом, имели n-тип проводимости. Исследовались фоточувствительные, высокоомные в темноте, образцы с удельным сопротивлением $\rho_T \approx 10^6 \div 10^8 \text{ Ом}\cdot\text{см}$, кратностью темнового и светового сопротивления $R_T / R_C \approx 10^2 \div 10^5$ при 300 К.

В результате проведенных экспериментов выявлены следующие основные закономерности ФЭУ в образцах $\text{CdIn}_2\text{S}_4\langle\text{Cu}\rangle$.

1. ФЭУ вызывается как собственным, так и примесным светом.
2. Фоточувствительность образца после протекания процесса ФЭУ может быть восстановлена инфракрасной подсветкой из области оптического гашения фототока.
3. Процесс ФЭУ сопровождается изменением спектров фотопроводимости (ФП) и термостимулированной проводимости (ТСП).
4. Процесс ФЭУ может быть вызван лишь светом с интенсивностью L , большей некоторого $L_{гр}$. При $L < L_{гр}$ наблюдается медленная релаксация ФП с аномально большим временем.
5. На одном и том же образце наблюдается как медленный рост ФП, так и ФЭУ. После протекания процесса ФЭУ обнаруживается отрицательная остаточная проводимость ($\sigma_{оп}^-$), т.е. после выключения света надолго фиксируется уменьшенное значение проводимости. Отметим, что после медленного роста ФП обнаруживается положительная остаточная проводимость ($\sigma_{оп}^+$), т.е. после выключения света фиксируется повышенное значение проводимости.
6. При повторном включении света амплитуда фотоотклика уменьшается, т.е. обнаруживается фотоэлектрическая память.

Б44. Исследование фотоэлектретного состояния в полупроводниковых плёнках соединений $A^{II}B^{VI}$

Найманбоев Р., Хатамов С.О.

Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан

Полупроводниковые плёнки, находящиеся в фотоэлектретном состоянии, широко применяются в записывающих и передающих устройствах световых изображений, дозиметрических приборах и других областях оптоэлектроники. Вопросам получения на основе фоточувствительных плёнок фотоприёмников генераторного типа и их исследованию посвящена данная работа.

Исследование технологии получения показали, что из широкого класса соединений тонкие $A^{II}B^{VI}$ тонкие плёнки кристаллов ZnSe , ZnTe , CdTe , HgS , HgSe , HgTe , обладают фотовольтаическими свойствами. В связи с этим, исследования фотоэлектретного состояния без внешнего поляризирующего электрического поля в этих полупроводниковых плёнках с аномальным фотовольтаическим эффектом и разработка технологии их получения относятся к актуальным задачам физики полупроводников и диэлектриков.

Для получения фотоэлектретных пленок использована вакуумная установка, в рабочем объеме которой, ограниченном кварцевым колпаком, давление остаточных газов поддерживалось в пределах 10^{-1} – 10^{-5} мм.рт.ст. Для испарения полупроводника и легирующей примеси применены алундовые тигли. Толщина плёнок и степень её легирования управлялись никелевой шторкой, расположенной между подложкой и испарителями. Подогрев подложек производился с помощью печки, надетой на колпак.

Приведён оптимальный технологический режим получения пленочных фотоэлектретов, зависящий от большего числа параметров, таких как исходные массы материалов, скорость и время их испарения, степень вакуума, температура подложки, угол напыления, толщина пленки. Для получения фотовольтаических пленок из полупроводников ZnSe и HgSe использовано вакуумно-взрывное испарение полупроводниковых материалов, поскольку кристаллы $A^{II}B^{VI}$ характеризуются частично ионным типом связи. При взрывном испарении основного полупроводникового материала, эта связь не успевает нарушиться, в результате, по-видимому, образуются «крупноразмерные» тонкопленочные структуры, обладающие супервысоким внутренним фотоэлектрическим полем, вызывающим в пленке фотоэлектретное состояние.

Исследованы различные способы легирования фотовольтаических пленок из соединений $A^{II}B^{VI}$, приводящие к образованию фотоэлектретного состояния. Проведенное комплексное изучение их электрофизических, фотоэлектрических свойств позволило установить энергии активации глубоких примесных уровней, ответственных за возникновение фотоэлектретного состояния и генерации аномально-высоких фотонапряжений при примесном фотовозбуждении.

Б45. Изучение электрофизических свойств CdTe пленок с аномальным фотонапряжением, координирующим чувствительность автономного приемника оптического излучения

Рахимов Н.Р., Хатамов С.О.

Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан

APV пленки - функциональный конвертер, преобразующий легкий поток в аномальную высоту. В этой связи, изучение влияния внешних эффектов на свойства пленок играет важную роль в использовании их в различных средствах информации

Эта работа имеет дело с влиянием газового разряда и тепловой обработки на электрофизические свойства CdTe пленок с APV. Изменения в V_{apv} , R и J_{shc} были изучены в течение бомбардировки. В пленках были исследованы температурные зависимости V_{apv} R и J_{shc} .

Пленки типа APV CdTe были получены с помощью распыления CdTe порошка в вакууме 10^{-4} мм Hg ст. в подложке. Температура подложки изменялась от 100 до 300°C. Толщина пленки находилась в пределах 0,8-1,5 мкм.

Характеристики пленок типа APV

Чувствительность в/мм мW	1-3
Инерционность, с	0,8-1,0
Спектр излучения, мкм	0.3-1.2
Чувствительная область, мм	3·10
Габаритные размеры датчика, мм	20x20x25
Масса, кг, не более .	0,06

В процессе обработки полярность пленки осталась постоянной и освещение во всех измерениях было также постоянным ($I=5 \cdot 10^4$ Lx). Это показывает, что зависимость V_{apv} R и J_{shc} CdTe пленок при 20-180°C имеет запутанный характер, например, уменьшилась в одних экземплярах и увеличилась в других. Изменение в APV параметрах CdTe пленок - это функция температуры, которая, казалось, исчезает в окислительных частичках, образовавшиеся во время тепловой обработки. В результате, при конкретной температурной насыщенности, произошла обработка пленки в воздушном сопротивлении и постепенно

уменьшилось фотонапряжение. Увеличение в объёмах $V_{арv}$ R в течение их обработки в вакууме возможно объясняется утечкой кислорода в изученных образцах.

Б46. Исследование фонового излучения и возможности его ограничения в полупроводниковой ионизационной системе

Хайдаров З.Х.

Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан

Полупроводниковая ионизационная система работает в двух режимах: ждущем и стробирующем. В ждущем режиме в основном используются высокоомные полупроводники с $\rho \geq 10^7$ Ом·см при постоянном токе. В стробирующем режиме применяются, в том числе и относительно низкоомные фотоприемники при импульсном режиме. Во втором случае темновой ток и тем самым фоновое излучение на выходном экране полупроводниковой ионизационной камеры значительно больше.

Исследование зависимостей среднего тока от различных величин (фототок, длительность импульса, импульсное напряжение, давление газа и т.д.) в системе представляет значительный интерес не только для понимания физического механизма явлений, но и имеет прикладное значение.

В настоящей работе приводятся результаты экспериментальных исследований в плоской газоразрядной ячейке с полупроводниковым электродом. В рамках этой работы, показаны возможности ограничения фона, который является препятствием для повышения контрастности выходного изображения, и для улучшения характеристик системы в целом.

Метод ограничения фона основан на пороговом виде зависимостей среднего тока от длительности и величины импульсного напряжения, толщины зазора и давления газа, а также энергии падающего на фотоприемник излучения.

Проведенные исследования показывают, что задержка пробоя в газоразрядном промежутке является основным физическим фактором пороговых зависимостей.

Полученные “пороговые” зависимости среднего тока с регулированием величины порога подтверждают возможность реализации динамического ограничения фона на заданном уровне.

Б47. Влияние ионизирующих излучений на параметры фоточувствительных плёнок на основе арсенида галлия, фосфида галлия и теллурида кадмия, легированного селеном и цинком

Тохиров М., Тохиров К.

Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан

В последнее время все больше внимания уделяется работам, посвящённым ионизационно - стимулированной перестройке параметров полупроводниковых приборов. В данной работе рассмотрено влияние потока электронов, рентгеновских квантов, ультрафиолетовых и лазерных излучений на параметры фоточувствительных плёнок на основе арсенида галлия, теллурида кадмия, легированного селеном и цинком. Пленки получены термическим испарением полупроводникового соединения арсенида галлия, фосфида галлия и теллурида кадмия с одновременным испарением из отдельного тигля необходимой примеси селена и цинка.

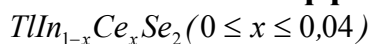
Облучение проводилось при температуре 80 К и 290 К в течение от 30 минут до 10 часов. После каждой серии облучения образцов проведены электрические, фотоэлектрические и фотоёмкостные измерения.

Анализ результатов воздействия ионизирующих излучений на фотоэлектрические и фотоёмкостные характеристики пленок фосфида галлия и теллурида кадмия с примесью

цинка и селена показывают, что ионизирующие излучения приводят к изменению оптоэлектронных параметров (памяти) полупроводниковых плёнок.

В работе также обсуждаются возможные механизмы воздействия ионизирующих излучений на оптоэлектронные свойства полупроводниковых пленок.

Б48. Акустофотовольтаический эффект в монокристаллах



Годжаев Э.М., Рагимов Р.С., Рустамов В.Д.

Азербайджанский технический университет, Баку, Азербайджан

При исследовании фотоэлектрических свойств монокристаллов $TlIn_{1-x}Ce_xSe_2$ нами обнаружен эффект, заключающийся в возникновении э.д.с. на концах ориентированного однородного непьезоэлектрического кристалла под действием равномерного электромагнитного излучения, вследствие воздействия на него звуковых волн.

В проводимых исследованиях монокристаллические пластинки $TlIn_{1-x}Ce_xSe_2$ ($0 \leq x \leq 0,04$) толщиной $0,2 \div 0,6$ мм и шириной $1 \div 2,0$ мм с двумя симметричными омическими электродами, отстоящими на расстоянии $d = 4 \div 10$ мм через короткий жесткий акустический контакт устанавливались на излучатель звуковых волн. При облучении электромагнитным излучением в отсутствие воздействия звуковых волн отсутствовала и заметная электродвижущая сила на электродах так же, как в темноте при воздействии звука. Однако, при одновременном воздействии света и звуковых волн (от 100 Гц до 107 Гц) на электродах появляется существенная э.д.с. Величина возникшей акустофотовольтаической э.д.с. зависит от интенсивности и спектрального состава света, а также от частоты и амплитуды звука, и может быть сведена к нулю абсолютным затемнением кристалла или же снятием акустических волн. Для различных образцов при амплитуде напряжения питания излучателя 10 В и освещенности 1000 лк максимальная величина возникшей фотоакустической э.д.с. варьировалась в пределах от 1,0 до 15 В. При более высоких интенсивностях «белого» света ($I \geq 1000$ люкс) наблюдалось полное насыщение люкс-вольтажной характеристики акустофотовольтаического эффекта и последующий спад ее с ростом интенсивности.

Выявленная фотоакустическая э.д.с. проявляет следующие специфические особенности: при постоянном освещении «белым» светом с изменением частоты акустических волн в направлении ее увеличения имела место периодическая инверсия знака суммарной акустофотовольтаической э.д.с. Форма и характер спектральной зависимости тока короткого замыкания управляется мощностью и частотой акустических волн, с изменением взаимной ориентации кристаллографических осей кристалла и действующих на него внешних (извне) волн, а также величиной межэлектродных расстояний. Вариацией указанных выше факторов можно придать спектру одного и того же кристалла монополярный, биполярный, триполярный и вообще заданный избирательный характер.

Частотная зависимость спектрального распределения тока короткого замыкания акустофотовольтаического эффекта, при распространении продольных акустических колебаний вдоль тетрагональной оси /001/ кристаллов изучена в интервале частот $0,325 \div 180$ кГц при $W_a = 7$ (в). Заметный АФВ – й эффект имеет место начиная с 0,325 кГц. Область спектральной чувствительности во всех рассмотренных частотах находилась в пределах чувствительности фотопроводимости кристаллов.

Отметим, что выявленные инверсные точки на спектре являются характерными точками, в которых материал совершенно не реагирует на световые кванты заданной энергии и не воспринимает звука с данной частотой, т.е. кристалл в указанных точках не «видит» и не «слышит». В остальных участках спектра, особенно в максимуме фоточувствительности кристаллы обладают высокой чувствительностью так же к восприятию звука. Поскольку обязательным условием генерирования э.д.с. является одновременное действие света и звука

на кристалл, то разработанные на этом принципе аппараты должны обладать уникальными особенностями, а именно видеть только при появлении звука и наоборот слышать при наличии освещения. Преобразователи на этом принципе могут стать модельными для представления логической взаимосвязи между зрением и слухом живого организма и откроют совершенно новые перспективы в указанном аспекте.

Б49. Теплоемкость твердых растворов $Cd_xHg_{1-x}Te$

Никифоров В.Н., Средин В.Г.

Военная академия РВСН им. Петра Великого, Москва, Россия

Исследованы акустические и калориметрические параметры $Cd_{1-x}Hg_xTe$ ($x=0,1; 19; 0,21; 0,31, 0,43$) в диапазоне температур 6–300 К. Непосредственно из калориметрических измерений по температурной зависимости удельной теплоемкости получены значения температуры Дебая T_D и параметра Грюнайзена γ в соответствии с $C = \gamma T + \frac{12\pi^4}{5} Nk \left(\frac{T}{T_D} \right)^3$. Значения температуры Дебая были получены нами также из измерений значений скоростей продольного и поперечного звука (при частотах порядка 1 МГц) [1]. Полученные значения представлены в таблице.

Температуры Дебая $T_{D ак}$ и $T_{D теп}$ для $Cd_xHg_{1-x}Te$

HgTe	$x = 0.19$	$x = 0.43$	CdTe
$T_{D ак}=143К$	$T_{D ак} = 144К$	$T_{D ак}=163К$	$T_{D ак}=166К$
$T_{D теп}=147К$ $\gamma=0.0828$	$T_{D теп}= 148К$ $\gamma=0.2035$	$T_{D теп}=157К$ $\gamma= 0.1558$	$T_{D теп}=158К$
	$\Delta S = 10.09 Дж К^{-1}$	$\Delta S = 10.25 Дж К^{-1}$	

Сопоставление результатов измерений указывает на систематическое расхождение между акустическими и калориметрическими значениями температуры Дебая [2], что связывается с вкладом в теплоемкость колебаний решетки, электронов проводимости и т.д., а также дефектов структуры материала (конфигурационный вклад). Так как концентрация свободных носителей в $Cd_xHg_{1-x}Te$ примерно на шесть порядков ниже, чем в металлах, их вкладом в теплоёмкость можно пренебречь. При вычитании из измеренной теплоемкости с решеточной $C_{реш}$, получен конфигурационный вклад $\Delta C_{конф}$, который сравнивался с теоретическими значениями, полученными на основе теории Брэгга-Вильямса [3]. В этом приближении нами получен конфигурационный вклад в теплоёмкость $\Delta C = (dE/dT)$ в пересчете на один атом, связанный со степенью упорядочения твердого раствора. А с помощью этих значений рассчитан конфигурационный вклад в энтропию $\Delta S = \int_6^{300} \Delta C \frac{dT}{T}$.

Наши измерения показывают, что эта величина изменяется с составом твердого раствора нелинейно, демонстрируя тенденцию к увеличению нелинейности вблизи эквимольного состава.

1. В.Г.Средин, В.Н.Никифоров, О.В. Васильева. Изв. вузов. Матер. электрон. техн. №3, с.61, 2000.
2. В.Г.Средин, В.Н.Никифоров. Тезисы докл. II междуна. конф. "Кристаллофизика 21 века", с.307. М., МИСиС, 2003.
3. М.А. Кривоглаз, А.А.Смирнов Теория упорядочивающихся сплавов, Физматгиз, 1958

Б50. Влияние легирования редкоземельными элементами на исходную и сенсibilизированную ИК-фоточувствительность слоистых кристаллов селенида индия

Абдинов А.Ш., Бабаева Р.Ф.* , Рзаев Р.М.* , Эйвазова Г.Х.

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

**Азербайджанский государственный экономический университет, Баку, Азербайджан*

В представленной работе сообщается о результатах, полученных при изучении влияния легирования некоторыми редкоземельными элементами (РЗЭ) на исходную и сенсibilизированную различными способами (фоновой подсветкой, воздействием электрического поля) ИК-фоточувствительность слоистых кристаллов селенида индия.

В результате проведенных исследований установлено, что при относительно низких температурах ($T \leq 150$ К) легирование РЗЭ типа гадолиния, гольмия и диспрозия заметно влияет как на длинноволновую границу ($\lambda_{кр}$) собственной фотопроводимости (при $T=77$ К и $N_{РЗЭ} \sim 10^{-5} \div 10^{-4}$ ат% смещая ее от 1,30 мкм до $\sim 1,45$ мкм), так и на спектр, люкс-амперную характеристику и кинетику сенсibilизированной в области примесного поглощения ИК-фоточувствительности. Обнаруженные при этом зависимости вышеуказанных параметров и характеристик от легирования определяются, в основном, процентным содержанием введенной примеси РЗЭ ($N_{РЗЭ}$), а не их материалом.

С ростом $N_{РЗЭ}$ помимо $\lambda_{кр}$, заметным образом меняются также ширина спектрального распределения ($\Delta\lambda_{ФП}$), скорость или время нарастания (τ_n) и спада (τ_c) сигнала при включении и выключении падающего на изучаемый кристалл света, соответственно, а также величина сенсibilизированной в области примесного поглощения ИК-фоточувствительности ($\Delta I_{ФП}$) в изучаемых материалах. Причем все эти изменения носят немонотонный характер. С ростом $N_{РЗЭ}$, до $N_{РЗЭ} \approx 10^{-4}$ ат % значения $\Delta I_{ФП}$ и $\Delta\lambda_{ФП}$ уменьшаются, а τ_n и τ_c увеличиваются. Далее, с ростом $N_{РЗЭ}$ от 10^{-5} ат % до $\sim 10^{-1}$ ат % наблюдается заметное увеличение $\Delta I_{ФП}$ и $\Delta\lambda_{ФП}$, а τ_n и τ_c при этом уменьшаются. В кристаллах n-InSe<РЗЭ> с $N_{РЗЭ}$ от 10^{-1} при $T \leq 150$ К наблюдается наиболее высокое значение $\Delta I_{ФП}$, спектр фоточувствительности протягивается вплоть до $\lambda = 4,20$ мкм, а значения τ_n и τ_c уменьшаются почти до 10^{-7} секунд.

Полученные результаты объясняются на основе предположения о зависимости степени упорядочения изучаемых кристаллов от $N_{РЗЭ}$.

В работе также предполагается возможность создания на основе изучаемых кристаллов n-InSe<РЗЭ> высокочувствительных фотоприемников в ближней ИК-области спектра.

Б51. Фоточувствительность гетеропереходов p-Si/n-Cd_{1-x}Zn_xS в видимой и ближней ИК-области спектра

Мамедов Г.М., Гасанов Г.А.*

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

**Нахичеванский государственный университет, Нахичевань, Азербайджан*

Представленная работа посвящена созданию анизотипных гетеропереходов p-Si/n-Cd_{1-x}Zn_xS с $0 \leq x \leq 0.6$ методом электрохимического осаждения и изучению их электрических и фотоэлектрических свойств. При исследованиях основное внимание было уделено зависимости свойств изучаемых гетеропереходов от состава пленок Cd_{1-x}Zn_xS и режима термической обработки (ТО) структуры.

Процесс электрохимического осаждения пленок Cd_{1-x}Zn_xS из водного раствора $CdSO_4 + ZnSO_4 + Na_2S_2O_3$ на пластины p-Si с удельным сопротивлением $\rho = 8 \div 20$ Ом·см, проводился в специальном кварцевом сосуде при 300 К. Электрический потенциал

осаждения и плотность тока через раствор при этом варьировались в пределах $-(0,4 \div 2,5)$ В и $(8 \div 45)$ мА/см² соответственно.

Установлено, что прямые ветви вольтамперных характеристик (ВАХ) изучаемых гетеропереходов при всех рассмотренных составах пленок $Cd_{1-x}Zn_xS$ в области относительно низких напряжений подчиняются экспоненциальному, а в области больших напряжений - линейному законам. Вычисленные значения экспоненциального множителя на основе результатов вольтамперных и вольт-фарадных измерений заметно отличаются от экспериментально найденных. Это свидетельствует о многоступенчатом характере процессов туннелирования или наличии в области пространственного заряда (ОПЗ) изучаемых структур узких каналов туннелирования. Исследование ВАХ показывает, что эффект выпрямления в исследуемых гетеропереходах зависит также от температуры и длительности термической обработки структур. Установлено, что наилучшее выпрямление ($\kappa = 800 \div 1200$) обеспечивается после термической обработки изучаемых гетеропереходов при $t = (350 \div 380)^\circ\text{C}$ и $\tau = (5 \div 8)$ мин.

Величина тока короткого замыкания и ход кривых спектральной чувствительности изучаемых гетеропереходов существенно зависят от режима термической обработки и состава пленок $Cd_{1-x}Zn_xS$. Спектр fotocувствительности структур $p\text{-Si}/n\text{-Cd}_{0,4}Zn_{0,6}S$, не подвергнутых термической обработке, охватывает область длин волн $0,5 \div 1,28$ мкм, и имеет максимумы при $0,6$ и $1,13$ мкм. С повышением температуры до 380°C и увеличением длительности термического отжига до 7 мин величина fotocувствительности растет, а ее спектр расширяется. При этом также наблюдается заметное смещение коротковолнового максимума в сторону более высоких энергий, а в области длин волн $0,8 \div 1,34$ мкм величина fotocувствительности увеличивается почти в $1,5 \div 2$ раза. При этом вольтовая чувствительность, обнаружительная способность и ток короткого замыкания изучаемых гетеропереходов достигают 4 В/Вт, $5 \cdot 10^6$ Вт⁻¹Гц^{1/2}см⁻¹ и $4,5$ мА/см² соответственно.

Б52. Фотоэлектрические свойства изотипных гетеропереходов $n\text{-InSe}\langle\text{PЗЭ}\rangle/n\text{-CuInSe}_2$ в видимой и ближней ИК-области

Абдинов А.Ш., Бабаева Р.Ф.^{*}, Исмаилов Р.М.^{**}, Эйвазова Г.Х.

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

^{}Азербайджанский государственный экономический университет, Баку, Азербайджан*

*^{**}Сумгаитский государственный университет, Сумгаит, Азербайджан*

В работе изучены фотоэлектрические свойства созданных на основе легированных различными редкоземельными элементами (PЗЭ) монокристаллов $n\text{-InSe}$ изотипных гетеропереходов $n\text{-InSe}\langle\text{PЗЭ}\rangle/n\text{-CuInSe}_2$.

Исследования проводились при температурах 77 К и 300 К в фотовольтаическом режиме в диапазоне длин волн $0,30 \div 4,50$ мкм. В качестве $n\text{-InSe}\langle\text{PЗЭ}\rangle$ слоев брались кристаллы $n\text{-InSe}$, легированные гадолинием, голмием и диспрозием с процентным содержанием введенной примеси $N_{\text{PЗЭ}} = 0 \div 10^{-1}$ ат%.

Установлено, что при освещении со стороны широкозонного компонента (со стороны слоев $n\text{-InSe}\langle\text{PЗЭ}\rangle$) fotocувствительность изучаемых гетеропереходов охватывает достаточно широкий диапазон длин волн. Причем, спектральный диапазон fotocувствительности, а также стабильность значений отдельных фотоэлектрических параметров и ход соответствующих характеристик при этом, заметным образом зависят от $N_{\text{PЗЭ}}$. При $N_{\text{PЗЭ}} = 0$ в области относительно низких температур $\lambda = 0,35 \div 1,25$ мкм. С дальнейшим ростом $N_{\text{PЗЭ}}$ спектр fotocувствительности сначала расширяется (при $N_{\text{PЗЭ}} = 10^{-5}$ ат%, $\lambda = 0,35 \div 1,34$ мкм), а далее постепенно сужается (при $N_{\text{PЗЭ}} = 10^{-1}$ ат% , $\lambda = 0,40 \div 1,15$ мкм). Как и в случае $n\text{-InSe}/n\text{-CuInSe}_2$, так и в случае $n\text{-InSe}\langle\text{PЗЭ}\rangle/n\text{-CuInSe}_2$, при облучении с энергией $\varepsilon_{g2} \leq h\nu \leq \varepsilon_{g1}$, (где ε_{g1} и ε_{g2} – значения ширины запрещенной зоны n -

InSe и n-CuInSe₂ соответственно) фоточувствительность почти не наблюдается, а при $h\nu \geq \varepsilon_{g1}$, хотя спектр фоточувствительности изучаемых структур хорошо согласуется со спектром фоточувствительности фоторезистора на основе n-InSe<PЗЭ>, величина фоточувствительности при более высоких значениях $h\nu$ заметно уменьшается.

При освещении гетероструктур n-InSe<PЗЭ>/n-CuInSe₂ со стороны слоя n-CuInSe₂ в фотовольтаическом режиме фоточувствительность их при 77 К значительно уменьшается относительно предыдущего случая, а при 300 К совсем исчезает.

Изучена также фоточувствительность исследуемых гетеропереходов при освещении кратковременными световыми импульсами достаточно большой мощности как в вентильном, так и в фотодиодном режимах. Оказалось, что полученные при этом результаты хорошо подчиняются существующим представлениям о формировании фотоэдс в диодных структурах.

Полученные результаты объясняются наличием барьера в валентной зоне, который препятствует пространственному разделению неосновных носителей заряда при освещении изучаемых структур со стороны узкозонного полупроводника, а также уменьшением глубины проникновения света в n-InSe<PЗЭ> при больших значениях $h\nu$, вследствие прямого перехода носителей в более высокую зону проводимости. При объяснении учитывалась и возможная зависимость степени упорядочения используемых кристаллов n-InSe<PЗЭ> от $N_{PЗЭ}$.

Б53. Действие поляризованного света на спектральные кривые фотопроводимости для монокристаллов MnGaInS₄

Нифтиев Н.Н., Тагиев О.Б.*, Гасанова С.Э.**, Талыбова Д.А.**

Азербайджанский государственный педагогический университет, Баку, Азербайджан

**Институт физики Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджан*

***Азербайджанский государственный медицинский университет, Баку, Азербайджан*

В настоящей работе приводятся результаты исследования действия поляризованного света на спектральные кривые фотопроводимости в монокристаллах MnGaInS₄.

Монокристаллы MnGaInS₄ были получены методом Бриджмена. Рентгенографическим методом установлено, что монокристаллы кристаллизуются в структуре однопакетного поли типа ZnIn₂S₄ с параметрами кристаллической решетки $a=3,81$; $c=12,17$ Å; $z=1$, пр.гр.РЗМ 1. Контакты в образцах создавали сплавлением индия на противоположные поверхности.

В результате исследования фотопроводимости в монокристаллах MnGaInS₄ без поляризованного света при различных температурах (77÷300 К) выявлено, что спектральная область фоточувствительности охватывает длины волн 0,400-0,800 мкм. При температуре 77 К на спектре обнаруживается один интенсивный пик для длины волны 0,510 мкм. С ростом температуры этот пик смещается в сторону длинных волн и при температуре 293 К на спектре фотопроводимости наблюдается пик при длине волны 0,556 мкм. Начиная с температуры 175 К с ростом температуры появляется волновой участок (0,640-0,720 мкм), который связан с примесной фотопроводимостью.

Получены спектры фотопроводимости для MnGaInS₄ при поляризованном свете в двух направлениях: $E||C$ и $E\perp C$ при комнатной температуре (293°К). Спектр фотопроводимости при $E||C$ особенно не отличается от спектра при неполяризованном свете., а при $E\perp C$ имеется два пика: первый пик, соответствующий интервалу энергии 2,38-2,02 эВ, смещается в сторону больших длин волн. Второй пик в области спектра 1,86÷1,66 эВ имеет большее значение фототока, чем в случае $E||C$. Для случая $E||C$ пик максимума спектрального распределения фотопроводимости соответствует $\lambda_{||} = 0,555$ мкм, а при $E\perp C$ максимум соответствует $\lambda_{\perp} = 0,568$ мкм. Разность длин волн между максимумами $\Delta\lambda = 0,013$ мкм, что при переходе к энергии дает $\Delta E = 0,05$ эВ. Это составляет 2,3% от энергии ширины запрещенной зоны. Используя зависимость спектральных кривых фотопроводимости монокристаллов MnGaInS₄ от угла между электрическим вектором поляризованной волны и

осью кристалла и проводя измерения при подходящей длине волны, можно получить чувствительный индикатор для угла поляризации падающего света.

Б54. Исследование спектров фототока монокристаллов твердых растворов $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$

Гасанов А.И., Гасанов Н.З., Керимова Э.М., Керимов Р.Н.

Институт физики Национальной Академии Наук, Баку, Азербайджан

Целью настоящей работы явилось изучение влияния частичного замещения галлия железом в монокристаллах $TlGaSe_2$ на их спектры фототока и выяснение перспективы их практического использования.

Приводятся результаты исследования спектров фототока монокристаллов твердых растворов $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$ ($x=0,001\div 0,01$) в интервале температур $77\div 300$ К. Синтезированные согласно стехиометрии и выращенные методом Бриджмена-Стокбергера монокристаллы $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$ скалывались вдоль плоскости естественного скола (001) и на их поверхность наносились электроды из эвтектики индий-галлий. Замечено, что с ростом процентного содержания железа расщепляемость монокристаллов ухудшается, что, видимо, связано с неравномерным распределением атомов железа и их частичным внедрением между анионовыми слоями кристаллической решетки $TlGaSe_2$. Свет из монохроматора падал перпендикулярно слоям монокристалла, а внешнее электрическое поле прикладывалось вдоль слоев. Напряжения соответствовали области линейного участка ВАХ, т.е. инжекции носителей заряда из контакта не было.

Установлено, что с понижением температуры фоточувствительность исследуемых кристаллов возрастает в десятки раз. Обнаружено температурное гашение фототока, а также активация фототока при температурах выше 150 К. Анализ показывает, что это обусловлено наличием уровней прилипания для дырок. Рекомбинация основных носителей в монокристаллах $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$ происходит по двум каналам: быстрому и медленному с участием уровней прилипания. Определены параметры уровней рекомбинации.

Примесная фотопроводимость у кристалла $TlGaSe_2$ имеет красную границу 1,0 эВ, а у твердых растворов $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$ достигает 0,8 эВ. Кроме того, в $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$ при азотных температурах обнаруживается появление нового максимума фототока в районе 1,9 эВ. Все это значительно расширяет спектральную область фоточувствительности изучаемых твердых растворов по сравнению с исходным кристаллом $TlGaSe_2$ и создает предпосылки для их практического применения в качестве приемников оптического излучения широкого диапазона.

Б55. Влияние качества поверхности и приповерхностных слоев стекла на чувствительность многощелочных фотокатодов, выращенных в сверхвысоковакуумных (СВВ) камерах

Локтионов В.И., Нестеров И.А.

ОАО «Катод», Новосибирск, Россия

Рассмотрены и проанализированы результаты создания индивидуально – групповой технологии формирования многощелочных фотокатодов в СВВ камерах. Дано краткое описание функций каждой СВВ камеры, входящей в состав фотокатодной части установки “переноса”. Представлен результат анализа стабильности технологии формирования фотокатодов в СВВ камерах. На основе представленного анализа высказаны предположения о причинах, которые приводят к ограничению уровня чувствительности в готовых вакуумных блоках. При проведении исследований были определены основные причины, влияющие на уровень чувствительности фотокатодов. Этими причинами являются, поверхностные загрязнения стеклянной подложки фотокатодного узла (ФКУ) и содержимое

трещиноватого слоя полированной поверхности стекла. Предложен комплексный метод очистки стекла. Суть данного метода заключается в применении ионного травления поверхности подложки ФКУ с последующим термическим отжигом. Для обоснования правильности выбранного метода очистки поверхности, был проведен анализ поверхности стекла методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. На основе анализа литературных данных о структуре трещиноватого слоя полированной поверхности и заключенных в нем активных компонент, сделан вывод о невозможности полного удаления содержимого трещиноватого слоя. Для предотвращения влияния содержимого трещиноватого слоя на формируемый фотокатод, была разработана технология “стопорного” поликристаллического слоя сурьмы (Sb).

На основе примененных технологических решений была спроектирована и изготовлена фотокатодная часть установки “переноса”. Поднят средний уровень интегральной чувствительности в готовых вакуумных блоках до 600 $\mu\text{A}/\text{лм}$, против 400 $\mu\text{A}/\text{лм}$, получаемых до анализа и устранения ограничения уровня чувствительности многощелочных фотокатодов сформированных в камерах СВВ.

Б56. Высокая наукоемкая серийная технология финишной очистки экранно-корпусного узла (ЭКУ) ЭОП с прямым переносом изображения

Локтионов В.И., Багдугев Р.И.

ОАО «Катод», Новосибирск, Россия

В ЭОП с прямым переносом изображения срок службы и шумы логически взаимосвязаны [1, 2]. В надежно герметизированных условиях сверхвысокого вакуума (СВВ) ЭОПах устанавливается отключенная атмосфера, предотвращающая воздействие на фотокатод. В рабочем режиме ЭОП фотокатоды подвергаются воздействию электронно-стимулированных газов из ЭКУ [2, 3]. Бомбардировка фотокатода положительными ионами вызывает ионно-электронную эмиссию, представляющую шумы [3]. Адсорбция выделяющихся из ЭКУ газов загрязняет поверхности Cs:O фотокатоде [2]. Остаточные электронно-стимулированные газы из ЭКУ представляющие в основном вода, кислород, CO_2 и другие, обладающие высоким коэффициентом прилипания. Адсорбция активных газов на поверхность фотокатода оказывает деградирующее воздействие на Cs:O по мере роста их количества. При этом падение чувствительности фотокатода можно найти из аналитического выражения, полученного из адсорбции [4]. Приведены расчетные падения чувствительности GaAs-фотокатодов в ЭОП без ионно-барьерной пленки в рабочем режиме при разных уровнях остаточного электронно-стимулированного газовойделения из ЭКУ. Расчеты показывают, что для достижения высокого отношения сигнал-шум и повышения долговечности ЭОП необходимо высокоэффективное обезгаживание ЭКУ вплоть до $n_i/n_e < 5 \cdot 10^{-4}$ ион/электрон, сек. Изложена методика определения остаточного электронно-стимулированного газовойделения ЭКУ.

Высокоэффективное обезгаживание ЭКУ до низкого уровня электронно-стимулированного газовойделения в процессе производства осуществляется на установке переноса комбинированным способом: двухстадийным прогревом и электронной бомбардировкой с контролем уровня остаточного электронно-стимулированного газовойделения [4, 7]. На первой стадии термического обезгаживания группы ЭКУ в первой СВВ термической камере достигается давление $P \leq 10^{-5}$ Па при $T=390 \div 400^\circ\text{C}$, а на второй стадии обезгаживания группы ЭКУ во второй СВВ термической камере давления газов при $T=390 \div 400^\circ\text{C}$ снижается ниже $P_2 < 10^{-6}$ Па. Последующее обезгаживание групп ЭКУ электронной бомбардировкой при максимальных плотностях электронного потока в СВВ камере электронной тренировки доводит до низкого уровня остаточного электронно-стимулированного газовойделения.

Б57. Новый объектив для модернизированных ночных приборных комплексов

Козлов К.В., Кунделева Н.Е., Марчик В.А., Ходосевич В.М.

ОАО «Пеленг», Минск, Белоруссия

В работе [1] было сообщено о результатах модернизации ночных приборных комплексов. Было отмечено, что по критерию «стоимость- эффективность» проведение модернизации с использованием ЭОП «поколения 3» целесообразно при одновременной оптимизации характеристик входного объектива ПНВ.

Данная проблема стала еще более актуальной после появления ЭОП поколения 2+ с повышенными передаточными характеристиками, достигаемыми за счет увеличения разрешения до 60 штр/мм.

На основании поставленной задачи, был разработан новый объектив «Сириус-Н». Расчетные значения коэффициентов передачи модуляции в точке на оси на частоте 50 мм^{-1} нового объектива «Сириус-Н» приблизительно на 50% выше, чем у серийных объективах «Гелиос-ПА», «Сириус-ПА», что соответствует возросшим требованиям к входному объективу ПНВ.

Объектив содержит семь оптических компонентов, причем седьмой компонент выполнен в форме мениска, смещенного на заданную величину относительно основного блока линз. Это позволило увеличить поле зрения объектива до $2w=8^{\circ}$ за счет высокой коррекции кривизны поля зрения и аберраций широких наклонных пучков. Кривизна поля зрения не превышает 0,017 мм для края поля зрения. Такая степень коррекции аберраций позволила получить коэффициенты передачи модуляции в области спектра 540–900 нм не менее:

- 0.75 для точки на оси для частоты $N = 30 \text{ мм}^{-1}$;
- 0.58 для точки на оси для частоты $N = 60 \text{ мм}^{-1}$;
- 0.55 для $w = 4^{\circ}$ для частоты $N = 30 \text{ мм}^{-1}$;
- 0.28 для $w = 4^{\circ}$ для частоты $N = 60 \text{ мм}^{-1}$.

Предлагаемый объектив работает в широком спектральном диапазоне $\lambda = 540 - 900 \text{ нм}$, имеет фокусное расстояние 173,6 мм, относительное отверстие 1:1,7, входной зрачок диаметром 100 мм совпадает с первой поверхностью объектива.

Высокие значения коэффициентов передачи модуляции для всего поля зрения обеспечивают более высокую контрастность изображения объектов наблюдения по сравнению с серийными объективами «Гелиос-ПА» и «Сириус-ПА».

Результаты расчета объектива «Сириус-Н», в сравнении с серийными аналогами, были промоделированы путем синтеза изображения объекта (трехпальной миры) в программе «OPAL», а также анализом получаемого с помощью программы VOV изображения наблюдаемого объекта, находящегося в реальной обстановке местности на различных расстояниях от ПНВ. Проведенное компьютерное моделирование показало, что контраст полученных с помощью объектива «Сириус-Н» изображений значительно выше, вследствие более высоких значений коэффициентов передачи модуляции, а также благодаря увеличению масштаба изображения, что позволит увеличить дальность опознавания объектов наблюдения.

1. С.Т. Архутик, Е.И. Зайцева, К.В. Козлов. Результаты модернизации ночных приборных комплексов. Тезисы доклада XVII Международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и ПНВ. Москва, 2002, стр.167.

Б58. Малогабаритное видеоконтрольное устройство для телевизионных и тепловизионных прицельных устройств

Сосновик М.И., Васильев И.С., Маркизов А.С., Петров И.Н., Федотенков Ю.Ф.

ОАО «ЦНИИ «Электрон», Санкт-Петербург, Россия

Малогабаритное видеоконтрольное устройство предназначено для использования в составе телевизионной аппаратуры со стандартом разложения 625 строк.

ВКУ может быть встроено в передающую камеру либо использоваться в качестве самостоятельного (носимого) устройства. Размер изображения 9,0x12,0 мм. Разрешающая способность 400 твл. Наблюдение воспроизводимого изображения осуществляется посредством окуляра с 6÷8 кратным увеличением.

Б59. Плоский преобразователь изображений

Котенко В.П.

ГУП «Сибирский НИИ оптических систем», Новосибирск, Россия

В докладе рассматривается плоский преобразователь изображений из ближней ИК-области спектра (0,8-1,5 мкм) в видимую область (0,55-0,57 мкм). Преобразователь предлагается к использованию в ИК-микроскопах для микроэлектронной промышленности и в том числе в качестве замены инфракрасных насадок в оптических микроскопах.

Преобразователь содержит слой фотопроводника (для определенной длины волны) и организован по принципу структуры МДПДМ. Разработан, изготовлен и исследован макетный образец плоского преобразователя, продемонстрировавший следующие характеристики:

- чувствительность – 10^{-4} Вт/см²;
- разрешающая способность – до 30 линий/мм;
- входная и выходная апертура – 20 мм.

Б60. Преобразователь оптического изображения на основе гетероперехода $Cd_{1-x}Zn_xS-CdTe_{1-x}Se_x$

Джафаров М.А., Насиров Э.Ф., Тахмазова А.И.

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

В неидеальных гетеропереходах (ГП) наблюдается большой набор различных эффектов и явлений, связанных с появлением большого количества электрически активных дефектов на гетерогранице, принимающих участие в токопереносе, поглощении и излучении световых квантов. Перспективность практического применения неидеальных ГП связана в первую очередь с более экономичной технологией создания поликристаллических гетероструктур в сравнении с монокристаллическими. Одним из направлений в изучении неидеальных ГП является возможность применения критериев, разработанных в классической фотографической сенситометрии, к преобразователям оптического изображения в электрический сигнал на основе ГП $Cd_{1-x}Zn_xS-CdTe_{1-x}Se_x$. Рассмотрены особенности фотоэлектрических свойств ГП $Cd_{1-x}Zn_xS-CdTe_{1-x}Se_x$, в зависимости от технологических режимов их осаждения из раствора и термической обработки. При освещенности $1,45 \cdot 10^5$ лк фотоэлементы генерировали э.д.с. $0,5 \div 0,6$ В, ток $5 \div 8$ мА/см² и имели к.п.д. $\eta = 4 \div 5\%$. Спектральное распределение тока короткого замыкания позволяет охарактеризовать формирователь сигналов изображения на основе ГП $Cd_{1-x}Zn_xS-CdTe_{1-x}Se_x$ как зеленочувствительный по общепринятой классификации для фотографических слоев. Однако, структура может работать и во всей области видимого спектра, хотя с разной чувствительностью. Это позволяет получить три цветоотделенных изображения в основных

цветах и тем самым сформировать цветной видеосигнал. Преобразование оптического излучения в электрические сигналы на основе ГП $Cd_{1-x}Zn_xS-CdTe_{1-x}Se_x$ может быть использовано для регистрации слабых оптических изображений с последующей записью их элементов в память с возможной коррекцией фоточувствительности, а считывание изображения производится ИК-излучением.

Б61. Оценка рабочих характеристик оптико-электронных систем наблюдения

Горева Н.З., Эдельштейн Ю.Г.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Наиболее наглядное представление о возможностях оптико-электронных систем наблюдения (ОЭСН) дают рабочие характеристики (РХ), отражающие зависимость пространственного разрешения системы от входного воздействия (сигнала). Рассмотрена процедура расчета РХ телевизионных и тепловизионных систем наблюдения на основе общего подхода, опирающегося на следующие положения:

- отношение сигнал/шум (ОСШ) каждого звена ОЭСН–приемного устройства, видеосмотрового устройства и зрительного анализатора (глаза)-вычисляется независимо,
- пороговое, воспринимаемое глазом ОСШ многозвенной системы $Q_{пс}$ связано с ОСШ ее звеньев Q_i соотношением:

$$(1/Q_{пс})^2 = \sum (1/Q_i)^2 \quad (1)$$

Приводятся уравнения ОСШ для всех звеньев системы в зависимости от пространственной частоты, выражаемой числом полупериодов на высоту кадра (разрешаемых телевизионных линий).

ОСШ приемного устройства-основного звена ОЭСН | имеет следующий вид:

$$Q_{пс} = AC \frac{M}{N} t_{пс}(N) \sqrt{\tau_z F_k}$$

где – А-постоянный коэффициент, М-число строк в приемной матрице, N-число разрешаемых линий, τ_z -постоянная времени глаза F_k -частота кадров, $t_{пс}(N)$ -частотно-контрастная характеристика приемного устройства. Для телевизионных систем $C=KE/E_{пор}$ где К и Е-контраст и освещенность штрихового тест-объекта, $E_{пор}$ -пороговая освещенность ПЗС матрицы. Для тепловизионных систем $C=\Delta T_{мр}/\Delta T_{эш}$, где $\Delta T_{мр}$ -минимальная разрешаемая разность температур, $\Delta T_{эш}$ -разность температур, эквивалентная шуму.

Уравнение (1) решается на ПК в среде EXCEL с помощью инструмента “Подбор параметра” при $Q_{пс}=3$.

Приведены примеры сопоставления расчетных оценок и экспериментальных данных.

Б62. К вопросу об оценке электронно-оптических преобразователей по параметру «отношение сигнал/шум»

Эдельштейн Ю.Г.

ГНЦ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Отношение сигнал/шум (ОСШ) является одним из основных показателей качества электронно-оптических преобразователей (ЭОП), однако до настоящего времени в литературе не получили достаточного освещения вопросы, связанные с влиянием этого параметра на видимость в ПНВ.

Используя положения методики измерения ОСШ, можно получить полезное соотношение, отражающее зависимость между ОСШ ЭОП Q и его чувствительностью S [мкА/лм]:

$$Q = \vartheta \sqrt{S / f}, \quad (1)$$

где ϑ - коэффициент, зависящий от условий измерения ОСШ; при измерении в условиях, предусмотренных технической документацией предприятия “Катод” (г. Новосибирск), $\vartheta \approx 3,5$; условиям измерения фирм США и Европы соответствует значение $\vartheta \approx 1$.

f -т.н. фактор шума, представляющий собой отношение квадратов ОСШ на входе и выходе ЭОП), он характеризует избыточные шумы в ЭОП и не зависит от чувствительности, а связан с несовершенством процесса усиления, конструкции и технологии ЭОП. В частности, для ЭОП 2-го поколения при чувствительности 500 мкА/лм $f \approx 2$, а для ЭОП 3-го поколения при $S=1000$ мкА/лм, $f \approx 4$. Несмотря на разницу в чувствительности (и в стоимости), эти ЭОП равноценны по параметру ОСШ, а приборы с их использованием показывают одинаковую дальность.

Показано, что, используя (1), известное уравнение разрешающей способности ЭОП можно записать в следующем виде:

$$v \approx 125 t(v) Q C \sqrt{E}$$

Здесь v - пространственная частота, штр/мм; $t(v)$ -частотно-контрастная характеристика (ЧКХ) ЭОП; C -контраст теста на фотокатоде; E -освещённость фотокатода, лк.

В качестве обобщающего показателя информационных возможностей современных ЭОП и уровня их конструктивно-технологической отработки предложен критерий информативности (КИ), представляющий собой произведение предельной разрешающей способности ЭОП V в штр/мм и ОСШ: $КИ = VQ$. Для ЭОП поколений 2+ и 3 $КИ < 700$; известно о создании ЭОП SuperGen с многощелочным фотокатодом, имеющих $КИ > 1400$, и ЭОП 4-го поколения, характеризуемых $КИ > 1800$.

Практический смысл КИ заключается в том, что одинаковые приборы показывают тем более высокое качество изображения и дальность видения, чем выше значение КИ установленных в них ЭОП.

Б63. Комплекс прицельный универсальный ночного видения

Волков В.Г., Саликов В.Л., Украинский С.А.

ФГУП «Альфа», Москва, Россия

Рассматривается комплекс «Альфа-1962», имеющий универсальное назначение: он служит для ведения прицельной стрельбы из огнестрельного оружия, чтения карт, вождения транспортных средств, ремонтных работ и т.д. в условиях пониженной освещенности ночью и в сумерках. В состав комплекса входят ночной наголовный монокуляр, целеуказатель лазерный, насадка афокально-оптическая, осветитель инфракрасный, крепление на шлеме, оголовье, устройство зарядное. Приводятся основные характеристики комплекса.

Б64. Оптика для инфракрасных излучающих диодов

Лебедев О.А., Сабинин В.Е., Солк С.В.

ФГУП НИИКИ ОЭП, Сосновый Бор, Ленинградская область, Россия

В работе рассмотрены конструкции оптических элементов (ОЭ), работающих со светоизлучающими диодами (СИД) и предназначенные для получения коллимированных световых потоков. Появление излучающих диодов (ИД) ИК диапазона (до 7 мкм) вызвало потребность решения аналогичных задач. Эти решения могут развиваться по двум направлениям:

1. Использование известных схем с применением материалов, прозрачных в ИК диапазоне и коррекция формы оптических поверхностей с учётом рабочих длин волн. В ближнем ИК диапазоне (до 1,9 мкм) возможно использование полимерных материалов. Проведённые нами эксперименты показали принципиальную возможность использования для вакуумного прессования ОЭ низкоплавких инфракрасных стёкол (ИКС) типа ИКС-25 и ИКС-31 прозрачных до 15 мкм, что перекрывает диапазон излучения ИД.

2. Использование ОЭ только с зеркальными рабочими поверхностями. Такие ОЭ способны работать с ИД любого спектрального диапазона и могут использоваться в фотометрических устройствах встроенного контроля. Так, например, комбинация ИД с центрами полос излучения 2,9; 3,3; 3,8; 4,3 и 4,7 мкм позволяет макетировать излучатель, работающий в диапазоне 3-5 мкм.

Разработан и изготовлен излучатель, состоящий из ИД и двухзеркальной коллимирующей системы. Источник излучения расположен между параболическим зеркалом и W-аксиконом.

Б65. Оптико-электронная система ночного видения с увеличенным световым динамическим диапазоном

Зотиков А.Ф., Горбаченя Н.К.

ОАО «Пеленг», Минск, Белоруссия

Работа посвящена созданию оптико-электронной системы, предназначенной для эксплуатации в условиях высоких уровней фоновых засветок.

Система состоит из объектива, апертурной диафрагмы, фотоприемного устройства.

Фотоприемное устройство представляет телевизионную камеру, сочлененную волоконно-оптической план-шайбой с электронно-оптическим преобразователем 2 плюс поколения.

Повышение светового динамического диапазона оптико-электронной системы с непрерывным переменным изменением не менее, чем в 100 раз, достигается введением специального светофильтра с переменным по радиусу пропусканием.

Приведены расчетные зависимости и настроечные характеристики, экспериментальные данные.

Б66. Телевизионная измерительная система

Матюшенко В.Г., Горобинская Е.А., Жирков А.О.

ГНЦ ФГУП «Гос. НИИ авиационных систем», Москва, Россия

Для получения информации о форме объектов используются различные измерительные методы. В бесконтактных телевизионных системах информацию о размерах и форме объектов получают при обработке оцифрованных изображений, получаемых в приемных каналах.

Телевизионные измерительные системы разделяются на системы дальней и ближней видеограмметрии. В системах дальней видеограмметрии определяют геометрические параметры протяженных объектов, находящихся на значительных расстояниях, например, участков земной поверхности. Системы ближней видеограмметрии предназначены для измерения объектов, находящихся на конечных расстояниях, например, деталей сложной конфигурации. Несмотря на общность принципов обработки входной информации, методики юстировки таких систем отличаются между собой.

В докладе представлены разработанные аппаратура и методика для юстировки и калибровки систем ближней видеограмметрии. В качестве входных устройств в представленной измерительной системе используются телевизионные камеры с твердотельными ФПУ.

На основе анализа технологических и конструктивных параметров телекамер сформулированы требования к аппаратуре и методике юстировки, приведена блок-схема проведения эксперимента.

Методика юстировки включает в себя следующие разделы:

1. Определение следа оптической оси на ФПУ.
2. Определение заднего отрезка оптических систем приемных каналов.
3. Определение базы стереоскопического зонда.
4. Определение оптического увеличения в каналах зонда.
5. Обработка результатов.

В заключительной части доклада представлены полученные результаты юстировки, рассмотрены точностные характеристики.

Доклад снабжен иллюстративным материалом.

Б67. Новые ночные очки на ЭОП с твистером

Локтионов В.И., Един В.А., Кочмарев А.В., Касацкий Ю.В.

ОАО «Катод», Новосибирск, Россия

Ночные очки являются наиболее продаваемым товаром на рынке ПНВ, их доля продаж составляет более половины. В связи с этим многие производители разрабатывают и выпускают очки ночного видения (ОНВ). Однако при всем их разнообразии, ОНВ можно разделить в соответствии с оптической схемой на три основные группы. Первая группа PVS-7В и ее аналоги, вторая группа ОНВ-2⁺-1^х-200 и ее аналоги, третья группа GN (Simrad, Норвегия) и ее аналоги.

ОАО «Катод» разработаны новые очки ночного видения с уменьшенной длиной и массой и имеющие улучшенное качество изображения за счет обеспечения одинаковой конструкции левой и правой оптических ветвей и настройки окуляров непосредственно на выход твистера. Длина и масса уменьшены за счет исключения оптических элементов между выходом ЭОП и призмами во второй группе ОНВ, за счет чего длина ОНВ уменьшена на 35 мм. За счет сокращения длины естественно и уменьшается масса ОНВ, которая теперь не превышает 400 г. Данная конструкция потребовала создания оригинальной конструкции окуляров, которые при фокусном расстоянии 27,5 мм имеют задний отрезок более 50 мм, причем окуляры имеют симметричную конструкцию и настроены не на промежуточные изображения объекта, а непосредственно на выход твистера, за счет чего улучшено качество изображения.

Б68. Широкоугольные ночные очки на новом поколении ЭОП с рабочим диаметром фотокатода 25 мм

Локтионов В.И., Един В.А., Кочмарев А.В., Касацкий Ю.В.

ОАО «Катод», Новосибирск, Россия

Важным направлением в дальнейшем развитии ночной техники ОАО «Катод» считает создание новых поколений ЭОП с диаметром фотокатода равным 25 мм и что особенно важно, размеры 25 мм ЭОП должны соответствовать размерам 18 мм ЭОП. Такая стратегическая линия позволяет без больших материальных и временных затрат модернизировать уже существующие образцы ПНВ с улучшением их технических характеристик в 1,5 раза. Это достигается за счет того, что корпусная часть существующих ПНВ не меняется, а так как корпус обычно содержит все вспомогательные элементы, используемые в ПНВ, такие как: батарейный отсек, подсветки, переключатели, схему управления, кронштейны для крепления, рукоятки, систему выверок и т.д., то автоматически решаются еще десятки вопросов связанных с разработкой нового ПНВ. По оценкам наших специалистов затраты и сроки проведения работы могут быть сокращены в 3,5÷4 раза.

Использование 25 мм ЭОП в ОНВ позволяет увеличить угол поля зрения с 40° до 60° или при сохранении угла поля зрения увеличить фокусное расстояние объектива со стандартных 25 мм до 40 мм, что в свою очередь увеличивает дальность в 1,5 раза.

В результате выполненной разработки созданы два типа ОНВ: первые широкоугольные с углом поля зрения равным 60°, вторые длиннофокусные с увеличенным фокусным расстоянием объектива до 40 мм. В обоих ОНВ использован корпус от серийных ОНВ. В соответствии с этим использованы серийные переключатели, схемы управления, подсветки, ручки, кронштейны, батарейные отсеки. Дополнительно введены в состав корпуса индикация включения подсветки, индикация разряда батарей и нефиксируемая кнопка включения подсветки. В составах оптической схемы полностью сохранен серийный призмный блок и элементы его крепления в корпусе, а также сохранены элементы крепления ЭОП, технология крепления и герметизации окуляров и объективов к корпусу, а также технология герметизации самого корпуса и его элементов. В соответствии с новыми оптическими схемами разработаны новые объективы, окуляры и оборачивающие системы. Так как все детали, входящие в эти узлы, требуют практически только токарной обработки, то больших капиталовложений при разработке не потребовалось. Технические характеристики разработанных ОНВ приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Наименование характеристик	Широкоугольные ОНВ	Длиннофокусные ОНВ
Кратность, крат	1	1
Угловое поле зрения, град	60	40
Дальность, м*	200	300
Фокусное расстояние объектива, мм	25	40
Диапазон фокусировки объектива, м	0,25÷∞	0,25÷∞
Диоптрийная подвижка окуляров, дптр	+5 ÷ -6	+5 ÷ -6
Диаметр выходного зрачка, мм	10	14
Вынос выходного зрачка, мм	15	15
База, мм	58÷72	57÷73
Напряжение питания, В (2 элемента АА)	3	3
Время непрерывной работы, ч (без ИК)	100	100
Масса, г	470	480
Длина, мм	145	150
Ширина, мм	125	125
Высота, мм	60	60

Б69. Математическое моделирование бортовой аппаратуры для исследования алгоритмов микросканирования

Жидков П.М., Красоткин В.С.

ФГУП «ЦНИИ «Комета», Москва, Россия

Рассматривается математическая модель ИК ПЗС камеры для наблюдения Земли с космического аппарата. Целью исследований является выявление режимов использования ПЗС-камеры, оценка эффекта от применения микросканирования. Под микросканированием подразумевается обработка серии изображений, полученных с небольшим сдвигом относительно друг друга. Сдвиг может осуществляться, например, поворотом зеркала наведения. Дальнейшая обработка позволяет использовать эти последовательности для компенсации пространственной неоднородности ПЗС-матрицы без применения калибровок. Алгоритм обработки основан на алгебраических вычислениях.

Для моделирования используются синтезированные изображения, полученные с высоким пространственным и динамическим разрешением (в несколько раз больше разрешения моделируемой камеры). Исходное поле яркости, включающее излучение Земли, получают на модели фоновой обстановки в инфракрасном диапазоне. Рассматриваемая модель бортовой аппаратуры включает следующие эффекты:

- низкочастотная вибрация аппарата
- виньетирование
- дифракция и расфокусировка
- расчет облученности элементов матрицы, учитывая зазоры
- считывание накопленного заряда и аналого-цифровое преобразование.

Предполагается, что такие алгоритмы обработки позволят в реальной аппаратуре снизить уровень пространственной неоднородности до 0,1%, а за счет сниженного таким образом уровня шума удастся выделять более слабые сигналы в сложных фоновых условиях.

Б70. Поиск и распознавание объектов на базе нейросетевых алгоритмов и нейропроцессорных технологий

Кузнецов А.А., Опарин А.Н., Шишкин В.А.

ГУП «Сибирский НИИ оптических систем», Новосибирск, Россия

С внедрением новых технологий изображения оптического диапазона формируются многоэлементными датчиками сигналов, основанных на различных физических принципах. Получаемый поток видеoinформации с датчиков требует адекватных методов, алгоритмов и технических решений по его обработке, конечной целью которой, в нашем случае является обнаружение целевых объектов во входном кадре и их идентификация.

Метод обнаружения и опознавания основан на представлении фрагментов изображений инвариантными признаками с последующим распознаванием нейросетевыми алгоритмами целевых объектов на серии телевизионных кадров.

Ключевым для функционирования системы является реализация алгоритмов распознавания изображений по инвариантным признакам с одновременным выполнением жесткого требования - функционирование системы в режиме реального времени. Инвариантность к масштабу, повороту, положению достигается кодированием фрагментов изображения признаками второго порядка на основе гистограмм связи элементов

Классификатор системы обнаружения и распознавания работает по нейросетевому принципу имитируя НС типа персептрон, либо НС типа Кохонена с выходным слоем Гроссберга. Процесс распознавания с имитацией нейронов сети реализуется на векторно-матричном процессоре и не вносит временных проблем в работу системы.

Нейроподобное устройство поиска и обнаружения сформировано по многопроцессорной схеме с управлением от ЦП. Реализовано на основе шасси Comrast PCI и двух модулей цифровой обработки сигналов МЦ 4.04, которые содержат по четыре 64-разрядных процессора NM6403. При реализации алгоритма обработки изображений и обмена данными на каждом из модулей используется схема: один ведущий, остальные ведомые.

Входными данными для общего алгоритма обнаружения и опознавания являются монохромные изображения, поступающие с датчика видеосигнала. Результатом работы являются изображения с выделенными на них фрагментами в определенной цветовой кодировке, зависящей от типа обнаруженного объекта.

Во время обнаружения и распознавания объектов наблюдается наличие ложных целей (артефактов). Для борьбы с данным явлением применяются несколько способов. Обязательным является дообучение НС классификатора с добавленными изображениями артефактов в тренировочный набор (ТН) фоновых объектов. В определенный момент добавление новых изображений в ТН фонов приводит к срыву сходимости процесса обучения. В этом случае проводится распознавание двумя НС, соединенными каскадно.

Вторая НС обучается по ТН, составленному из изображений целей и изображений фонов, которые являются артефактами при распознавании на предыдущем этапе.

Таким образом, на экспериментальном образце устройства реализован ввод и цифровая обработка видеоизображений ТВ формата. Обработка видеоизображений, обнаружение, распознавание целей осуществляется в потоковом режиме с частотой 18 кадр/сек.

Применение дообучения, каскадное соединение НС классификатора, а также использование статистической фильтрации результата распознавания, позволяет проводить обнаружение и распознавание движущихся целей на всем изображении с минимальным количеством артефактов.

Б71. Обработка тепловизионных изображений для визуального распознавания

Стефанов В.А., Кравченко В.С.

ГНЦ ФГУП «Гос. НИИ авиационных систем», Москва, Россия

Как известно, при визуальной дешифровке оператором тепловизионных изображений фоноцелевой обстановки в реальном масштабе времени, что характерно для авиационных тепловых визиров, встречаются существенные трудности, препятствующие быстрому безошибочному распознаванию и позиционированию искомым объектов. Трудности вызваны как спецификой формирования тепловизионного изображения на экране индикатора, так и свойствами самого теплового излучения, что приводит к совершенно необычному для человека распределению контрастов в изображениях даже зрительно хорошо знакомых объектов и препятствует их быстрому и уверенному узнаванию. Подобные проблемы не встречаются при работе оператора с телевизионными изображениями этих же объектов. Более того, близость к зрительному памятного образу объектов и их телевизионных изображений делает возможной уверенную работу оператора при мешающем влиянии динамических и статических помех, а также распознавание объекта по фрагменту его полного изображения. Преимущества тепловизионного визирования фоноцелевой обстановки состоят в круглосуточности работы и значительно большей помехоустойчивости визира. При сохранении всех преимуществ тепловидения эффективность работы оператора с тепловизионным изображением можно значительно повысить, если подвергнуть изображение предварительной обработке путем преобразования в псевдотелевизионный вид, где отображаемая картинка привычна для зрения оператора. При работе с преобразованной картинкой оператор будет принимать решение о распознавании объектов за меньшее время, с меньшим числом ошибок, на большем расстоянии от объекта, при меньшей необходимой детализации. Исключается также необходимость предварительной тренировки и обучения операторов.

В докладе проанализированы особенности формирования изображений в видимом и тепловом спектральных диапазонах и выяснены причины снижения для оператора распознаваемости объектов по их тепловизионным изображениям. Это связано, в частности, с искажением абриса, маскированием составляющей радиационного контраста, потерей рельефных изотермических деталей внутри контура, влиянием теплопроводности на отображение резких границ. Разработаны методы выделения составляющих радиационного контраста в тепловизионных изображениях объектов для повышения их узнаваемости, проанализированы возможности восстановления контраста рельефных деталей внутри контура. Выработаны технические предложения по реализации предлагаемых методов обработки. Внедрение рассмотренных методов обработки тепловизионных изображений способствует повышению их информативности при решении задач визуального распознавания объектов.

Б72. Разработка программно-аппаратного комплекса выходного контроля параметров электронно-оптических преобразователей

Беркин А.Б., Макуха В.К., Степанов С.В.

Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

Обязательной технологической операцией в производстве является выходной контроль параметров электронно-оптического преобразователя (ЭОПа). Одним из препятствий роста производства является большое время, затрачиваемое на измерения параметров ЭОПа и качества изображения. Кроме того, измерение параметров вручную требует постоянного внимания оператора, что может привести к появлению ошибок в результатах. Наличие четкого алгоритма в измерении параметров позволяет использовать для этой цели компьютер. Автоматизация процесса должна уменьшить время проведения измерения, а самое главное - позволит снизить риск появления ошибок.

Анализ изображения ЭОПа невозможен без использования специального стендового оборудования, профессиональных видеокамер и плат захвата изображения, а так же без знания характеристик элементов задающего (излучатели) и приемного (видеокамера и плата захвата видеоизображения) тракта. Огромное внимание уделяется уменьшению шумов, учету характеристик оптической схемы и достижение повторяемости измерений.

Созданное программное обеспечение позволяет вычислять отношение сигнал/шум, коэффициент преобразования, коэффициент неравномерности свечения экрана, чистоту поля зрения и частотно-контрастную характеристику. Программное обеспечение существенно сокращает время расчета параметров, уменьшает риск возникновения ошибки, позволяет сохранять результаты измерений в базу данных и, при необходимости, распечатывать их.

Программа может быть использована и для решения других задач. Например, с помощью программы было измерено распределение интенсивности освещенности экрана ЭОП по произвольному вектору. Это дало возможность выявить характеристики электронного изображения ячеистой структуры МКП – в том числе среднюю ширину линии «сетки». Уменьшение яркости на линии сетки составляет 10 – 20% от фона экрана. Была получена зависимость ширины линии «сетки» от освещенности фотокатода.

Б73. Выделение малоразмерных объектов на предельной дальности

Горенок В.Н., Джигайло В.Н., Опарин А.Н.

ГУП «Сибирский НИИ оптических систем», Новосибирск, Россия

Создание высокоточных систем обнаружения, опознавания и наведения требует разработки методов и алгоритмов обнаружения и классификации объектов предельно малой размерности. Размерность изображения объекта в фокальной плоскости матричных приемников излучений, в соответствии с критерием Джонсона – Оверингтона, должна составлять для обнаружения 1-2 элемента, для опознавания не менее 8 элементов.

Методика обнаружения строится на анализе фрагмента изображения и его окружения. Для этого формируется маска, состоящая из центральной части и локального окружения.

Вводится понятие контраста фрагмента изображения относительно его окружения $K(x,y)$ на основе признаков a и b , который определяется формулой

$$K(x,y) = \begin{cases} 0, & \text{если } a \text{ и } b = 0 \\ (1+a) \times (1+b), & \text{если } a \text{ или } b \neq 0 \end{cases}$$

здесь $a = |M[x] - M[y]|$, $b = M[|x - y|]$, а $M[\bullet]$ – математическое ожидание, x и y – элементы изображения, принадлежащие соответственно центру маски и ее локальному окружению, x и y принадлежат двум непересекающимся множествам.

Маской определенного размера сканируется исследуемое изображение, вычисляется для каждого элемента контраст по формуле и формируется новое представление изображения. Именно это представление используется для дальнейших исследований. Каждому элементу изображения контрастов ставится в соответствие четыре признака $A_{ц}$ и $A_{окр}$, $B_{ц}$ и $B_{окр}$ характеризующих соответственно центр маски и ее локальное окружение.

Чем больше объект отличается от окружения, тем выше приписываемая ему оценка «отделенности». Сформированные признаки элементов изображения рассматриваются как компоненты векторов «отделенности» и на их основе определяются различные типы оценки «отделенности» фрагмента либо элемента изображения.

Оценки «отделенности» используются для обнаружения целеподобных образований на всем изображении с одновременным определением формы и размера маски для наилучшего выделения объектов с минимизацией количества ложных целей.

Построенная методика позволяет получить уточненные образы объектов для автоматического анализа и визуального восприятия, а также проводить сравнение оценок по всему изображению.

Для решения задач выделения динамических объектов предложена и опробована на кадрах документального видеофильма специальная оценка «отделенности», позволяющая формировать текущую координату объекта.

Разработанные методы и алгоритмы позволили реализовать выделение малоразмерных объектов на сценах аэрообстановки, полученных сканирующим ТПВ устройством.

На кадрах документального видеосюжета гибели космического летательного аппарата «Колумбия» промоделировано выделение и реконструкция точечного объекта, входящего в плотные слои атмосферы (целостный объект), а также фрагментов разрушенного корабля после входа в плотные слои атмосферы.

Б74. Обнаружение динамических малоразмерных объектов в различных спектральных диапазонах

Борисова И.В., Ерошкин Р.Э., Кузнецов А.А., Опарин А.Н., Осьминко А.Н.,
Попов П.Г., Шишкин В.А.

ГУП «Сибирский НИИ оптических систем», Новосибирск, Россия

Рассматриваются методы выделения и опознавания малоразмерных летающих объектов. Естественный фон, на котором наблюдается объект, дает большое количество ложных тревог. Задача обнаружения усложняется необходимостью ведения поиска на большом расстоянии, в том числе в условиях ограниченной прозрачности атмосферы, камуфлирующей окраской самой цели и возможностью ее частичного закрытия элементами окружающего фона, низким контрастом целей. Во многом это можно устранить при использовании каналов наблюдения, работающих в нескольких спектральных диапазонах.

Изображение малоразмерного объекта имеет всего несколько элементов разложения и по своим характеристикам близко к характеристикам случайного шума. Использование традиционных дифференциальных операторов непригодно для обнаружения малоразмерных объектов по причине выделения всех границ протяженных объектов. Интерес для нас в данном случае представляли объекты размером от 2×2 до 16×16 , которые не являются частью более крупного объекта.

Были разработаны и исследованы алгоритмы обработки изображений, основанные на спектральных, статистических, яркостных, геометрических, дифференциальных и топологических особенностях локальных участков изображений, содержащих малоразмерные объекты.

Использование видеоинформации от приборов, основанных на различных физических принципах действия, позволяет увеличить количество характерных признаков наблюдаемого объекта и уменьшить количество ложных тревог. Особое внимание уделялось эффективности работы алгоритмов с изображениями различных спектральных диапазонов,

поскольку для сокращения объема вычислений и аппаратуры желательно производить их обработку с помощью одного и того же алгоритма. Исследовались ТВ-видимый, ТВ-низкоуровневый и ИК 8-12 мкм каналы.

Данные исследования позволили сформировать системы информативных признаков для таксономии и идентификации малоразмерных объектов. Для снижения вероятностей ложной тревоги и пропуска цели в общую систему были введены динамические признаки объектов: скорость, ускорение, высота полета, характеристики траектории.

Обнаружение динамических объектов на последовательности входных изображений осуществляется по информации каждого кадра (статическая обработка) и информации межкадрового анализа (динамическая обработка). Чтобы предотвратить потерю объекта при кратковременном его пропадании или маскировке используется динамическая мера близости изображения. Для дальнейшего разделения выделенных объектов на шумовые образования и цели производится прослеживание траектории целей с предсказанием их местоположения. Для подтвержденных целей формируются бинарные векторы признаков, используемые для идентификации класса цели. Классификатор построен по нейросетевому принципу с имитацией нейросети типа Хэмминга.

Компьютерное моделирование на видеофильмах реальной аэрообстановки показало успешную классификацию целей 3 классов одновременно.

Б75. Многоканальная система цифровой обработки для тепловизионных систем наблюдения

Зорин А.А., Разумова И.И., Тарков В.А.

ГУП «Сибирский НИИ оптических систем», Новосибирск, Россия

Системы наблюдения специального назначения в настоящее время, как правило, содержат кроме канала видимого излучения низкоуровневый канал и тепловизионные каналы, работающие в различных спектральных диапазонах. Автоматические системы обработки информации, получающие изображения от различных каналов наблюдения, могут осуществлять совместную обработку информации для повышения надежности работы систем, улучшения качества или информативности изображений (визуальное комплексирование каналов) и т.п. При создании многоканальных систем обработки информации следует исходить из того, что изображения имеют различную размерность, масштаб и вид в зависимости от спектрального диапазона.

В настоящей работе рассматриваются принципы построения и результаты реализации многоканальной системы обработки информации в реальном времени, решающей задачу автоматического сопровождения объектов. При этом каналы обработки кроме реализации алгоритма фильтрации, оконтуривания и автоматического сопровождения осуществляют интерполяционную обработку изображений, что позволяет совместить изображения по масштабу и направлению оси визирования систем наблюдения. Таким образом, каждый из каналов независимо от других производит оценку текущих координат объектов. Однако для формирования окончательной оценки координат объектов на основе совместной обработки информации в каждом из каналов необходимо определять также степень достоверности полученных данных.

Трехканальная система цифровой обработки информации реализована с использованием вычислительных модулей NM4 с использованием нейропроцессоров NM6403 разработки ЗАО НТЦ «Модуль» (<http://www.module.ru>).

В системе исследованы различные алгоритмы автоматического сопровождения объектов.

При использовании корреляционного алгоритма автоматического сопровождения степень достоверности определения координат оценивалась нормированной величиной корреляционного пика, определяемой отношением значения корреляционного пика к значению автокорреляционного пика.

Для реализации автоматического сопровождения объектов использовалась также модифицированная нейросеть Хопфилда, при этом процесс ограничивался вычислением всего лишь одной итерации. Оценка достоверности полученных координат объектов основывалась на определении величины площади восстановления объекта нейросетью. Координаты объектов оценивались вычислением центра тяжести области восстановления объектов с помощью нейросети.

При использовании нейросетевого алгоритма достигается более устойчивая работа системы при изменении ракурса, поворотах объектов, но при этом требуются большие вычислительные ресурсы.

Б76. Селекция малоразмерных объектов на основе меры структурированности изображений

Адолина О.Л., Борисова И.В., Горенок В.Н., Джигайло В.Н., Попов П.Г.

ГУП «Сибирский НИИ оптических систем», Новосибирск, Россия

Анализируется двумерная структура изображения, трактуемая как некоторый порядок появления значений яркости элементов изображения. Для количественной оценки структуры вводится безразмерная величина - мера структурированности изображения (МСИ), не зависящая от яркости и контраста на изображении, что позволяет обрабатывать изображения, полученные от приборов, работающих в различных спектральных диапазонах, в частности, от приборов ночного видения и ТПВ приемников 8...14 мкм.

Введенная мера структурированности аналогична энергоследящему оператору Кайзера, но не в предметной области, а в частотной:

$$M = \frac{\sum_{\omega \neq 0} \omega^2 (A(\omega_x, \omega_y) - \bar{A})^2}{\sum_{\omega \neq 0} \omega^2 \bar{A}^2},$$

где $\omega = \sqrt{\omega_x^2 + \omega_y^2}$, ω_x, ω_y – номера частот дискретного спектра Фурье, $A(\bullet)$ – амплитуда спектра, \bar{A} – средняя амплитуда спектра.

Мера структурированности может применяться как к изображению в целом, так и к отдельным фрагментам изображения. При вычислении меры структурированности скользящего фрагмента изображения формируется гистограмма значений МСИ. Размеры фрагментов обработки определяются исходя из предполагаемых размеров интересующих объектов.

Введенная мера открывает возможность для автоматического разделения фрагментов изображения на неструктурированные (похожие на фон или на шум) и структурированные (все остальные). Для такого разделения нужна точка отсчета, в качестве которой выбиралось эталонное изображение – белый шум. Значение МСИ «идеального» белого шума равно 0. Однако конечное и дискретное приближение к белому шуму обладает локальной структурой. Локальная структура реальных изображений, элементы которых коррелированы между собой, обычно более сильна (по МСИ), чем локальная структура приближения к белому шуму, что вызывает смещение реальной гистограммы относительно гистограммы шума. Причем это справедливо для любого размера фрагментов.

Будем считать малоразмерными такие объекты, которые больше одного элемента изображения, но не могут быть разложены на самостоятельные составные части, а также отличаются по структуре от своего окружения. Порог для выделения малоразмерных объектов находится, исходя из соотношения между гистограммами исходного изображения и шума. Эта процедура может быть организована как итерационная, при использовании на каждом шаге множества выделенных объектов в качестве нового исходного изображения и

изменении размера фрагмента для эталонного изображения. Тем самым происходит уточнение классификации фрагментов.

Предлагаемая процедура выделения малоразмерных объектов может применяться в автоматическом режиме или в режиме диалога с оператором.

Б77. Совмещение изображений различных спектральных диапазонов

Борисова И.В., Кузнецов А.А., Попов П.Г.

ГУП «Сибирский НИИ оптических систем», Новосибирск, Россия

Для совместной поэлементной обработки изображений, зарегистрированных различными датчиками, необходимо выполнить предварительную взаимную привязку этих изображений. Предполагается, что проводится предварительная оптическая настройка каналов, но для целей сопровождения и синтеза изображений ее недостаточно. Поэтому необходимо окончательное совмещение каналов производить методами цифровой обработки изображений.

Метод цифровой привязки каналов реализован на базе модулей цифровой обработки сигналов МЦ 4.20, построенных на микропроцессорах NeuroMatrix® NM6403, под управлением ПЭВМ. Входными данными являлись изображения одинакового масштаба, поступающие по ТВ и ИК 8-14 мкм каналам.

Изображения кодируются с помощью фасетной модели: каждая точка изображения представляется как направление доминирующей ориентации ее локальной окрестности. В зависимости от своей ориентации окрестности разделяются на 5 классов. Ориентация четырех из них соответствует углам $0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4$ с горизонталью, пятый класс составляют окрестности с изотропной структурой. Классы нумеруются, и номер класса окрестности рассматриваемой точки изображения принимается в качестве признака этой точки. Ориентация локальных окрестностей устойчива к шумам и вариабельности шкалы яркости, что позволяет использовать эти признаки для описания изображений различных спектральных диапазонов.

Для разделения окрестностей на классы используется расширенный оператор Собела, учитывающий диагональные перепады яркости. Для вычисления степени анизотропии используется критерий

$$|G_m| - |G_n| > Q \text{ - окрестность анизотропна;}$$

$$|G_m| - |G_n| \leq Q \text{ - окрестность изотропна,}$$

где G_i - производные функции яркости по направлениям, $G_m = \max_{i=1,4}(|G_i|)$, n - направление, перпендикулярное направлению m , Q - порог, определяемый на основе эффекта отскока.

Осуществляется выбор оператором или в автоматическом режиме эталонного фрагмента для привязки. Эталонные фрагменты необходимо выбирать только в информационно насыщенных областях, что повышает точность привязки и уменьшает вероятность ложного отождествления. В автоматическом режиме выбирается фрагмент с максимальной суммарной анизотропностью.

Учитывая проведенную оптическую настройку каналов, поиск фрагмента, соответствующего эталонному, осуществляется не по всему второму изображению, а только в зоне поиска, окружающей предполагаемый фрагмент. По найденной позиции максимального совпадения с эталоном вычисляется относительное смещение изображений в каналах. После этого, для контроля, производится обратный поиск точки привязки найденного фрагмента на изображении, из которого выбирался эталон. При совпадении относительных координат привязка считается выполненной.

Б78. Видеопроектор реального времени для пиротепловизора и низкоуровневых телевизионных систем

Бодров В.Н., Кондратов П.С., Падалко Г.А.*

ГОУВПО МЭИ (ТУ), Москва, Россия

**ФГУП ПО «АОМЗ», Азов, Россия*

Повышение отношения сигнал/шум продолжает оставаться одной из важнейших задач, стоящих перед разработчиками тепловизионных и низкоуровневых ТВ систем. Одним из направлений эффективного шумоподавления и реставрации изображения является «глубокая» цифровая проработка исходного сигнала изображения в реальном масштабе времени с учетом решаемой задачи, а так же специфики работы приемных датчиков (приемников) изображения. В этой связи весьма актуальными становятся вопросы разработки современных встраиваемых аппаратных средств цифровой обработки зашумленных изображений в реальном масштабе времени.

Бурное развитие ПЛИС в последние годы заметно потеснило устройства обработки изображений на базе *DSP*. Это, в значительной мере, связано с тем обстоятельством, что наряду с мощным прогрессом ПЛИС, как аппаратных средств обработки, параллельно интенсивно развивался САПР для ПЛИС. Благодаря мощной программной поддержке ПЛИС стало возможным проводить достаточно быстро разработку и отладку сложных систем цифровой обработки сигналов. ПЛИС позволяют гибко изменять не только архитектуру процессора, но и оптимизировать структуру (его аппаратную часть), а так же варьировать режимы работы процессора.

В МЭИ уже более пяти лет ведутся работы по созданию устройств управления и обработки сигналов изображений в реальном масштабе времени на базе ПЛИС фирмы «*Altera*». В последнее время на базе микросхем серии «*Asex*» было разработано несколько образцов автономных встраиваемых видеопроекторов реального времени для обработки сигналов термоизображений пирозлектрического видикона.

Входной аналоговый сигнал оцифровывается быстрым 12-ти разрядным АЦП. Формат обрабатываемого изображения может изменяться от 1024x512 до 512x512 элементов и ниже. Процессор обладает возможностью принимать видеосигналы, как от стандартных, так и от нестандартных источников. Для этого сигналы строчной и кадровой синхронизации должны быть выделены отдельно. Процессоры позволяют реализовать достаточно сложные алгоритмы обработки изображения, а также организовывать разветвленные цепочки алгоритмов. Предусмотрена также возможность сохранения до 16 кадров выбранных кадров изображения в энергонезависимой флэш-памяти. Для последующей передачи сохраненных кадров в ЭВМ в состав процессора включен модуль, реализующий передачу данных через интерфейс *LPT*. Предусмотрена возможность вывода, как стандартного черно-белого изображения, так и полутоновых изображений в режиме цветового кодирования в формате стандарта PAL. Процессоры адаптированы для работы с любым типом дисплея.

Завершена разработка варианта быстрого процессора, выполненного на базе более мощной серии ПЛИС типа «*Cyclone*» фирмы «*Altera*». Этот процессор, обладая значительно большей производительностью, ориентирован на выполнение существенно более сложных алгоритмов обработки изображений. Так прямое преобразование Фурье, фильтрацию в частотной области и обратное преобразование Фурье т.е. восстановление обработанного изображения, процессор выполняет за время меньшее длительности одного ТВ-кадра. Другими словами, проведение спектрального Фурье анализа ТВ - сигнала и его фильтрацию процессор реализует в реальном масштабе времени. Процессор представляет собой четырехслойную печатную плату размером 172x95 мм.

В процессорах предусмотрена возможность подключения дополнительных модулей, таких как модуль интерфейса *USB*, модуль подключения *Compact Flash* и *MMC* карт. Возможен также одновременный ввод двух разнотипных изображений (например, тепловизионного и низкоуровневого телевизионного) по двум независимым каналам, их

одновременная обработка, и вывод с последующим масштабированием и совмещением изображений.

Б79. Алгоритм приведения результатов испытаний тепловизионного прибора к нормированным значениям параметров и условий визирования объекта наблюдения

Трестман М.М., Харькова Н.И.

ФГУП «НПО «ГИПО», Казань, Россия

Предлагается алгоритм определения дальности распознавания объекта наблюдения (ОН) для нормированных условий по результатам испытаний тепловизионного прибора (ТВП) в условиях, отличных от нормированных.

По априори известному видеобразу ОН в диапазоне спектральной чувствительности ТВП реструктурируют сигнатуру ОН, зафиксированную при проведении испытаний ТВП: вычисляют линейные размеры фрагментов ОН, излучение которых формирует видеобраз и соответствующие этим фрагментам разности радиационных температур (РРТ) относительно окружающего фона.

Фрагменты ОН замещают эквивалентными штриховыми мирами, различие которых адекватно распознаванию ОН, имевшему место в условиях испытаний ТВП.

Количество периодов эквивалентных мир вычисляют из условия баланса температурно-частотной характеристики (ТЧХ) ТВП и РРТ «мира-фон», приведенной к входному зрачку ТВП с учетом значений метеопараметров, вероятности, дальности распознавания ОН и зависимости последней от пространственной частоты различаемой эквивалентной миры.

Значения параметров эквивалентных мир и, в общем случае, ТЧХ ТВП корректируют под нормированные значения параметров ОН, условия визирования и значение заданной вероятности распознавания ОН.

Искомую дальность распознавания вычисляют, решая обратную задачу из условия баланса скорректированных ТЧХ ТВП и РРТ «мира-фон».

Ее значение – наименьшая из дальностей, при которой обнаруживаются все видеобразующие фрагменты ОН в нормированных условиях.

Абасова А.З. А53
Абдинов А.Ш. А54, А81, Б50, Б52
Абдинов Д.Ш. У74, А33
Абдинова Г.Д. А06
Абрамов А.А. А02
Адонина О.Л. Б76
Айнбунд М.Р. У41
Акимов А.Н. У22, У69
Акимов Б.А. У86
Акимов В.В. А39
Акимов В.М. У03, У04, У31, У32
Акимова Н.М. У17
Алекперова Ш.М. У85
Александров Ю.Н. А16
Алексеев Ю.В. У37
Алексеевичева В.С. У18
Алиакберов Р.Д. У59
Алиев А.А. У24, У85
Алиев Р.Ю. А72
Алиев С.А. А19
Алиева Т.Д. У74
Алкацева Т.Д. У46
Алтухов А.А. У28
Анатычук Л.И. У03П, У73, А44, А45
Андреев А.Ю. Б22
Андреев В.А. У66
Андреев И.А. У14
Андреева Т.А. А43
Анисимов О.В. А15
Антипова М.А. А73
Анциферов А.П. У06П
Апатская М.В. У62
Аракелов Г.А. У13, У75
Араслы Д.Г. А19, А55
Арутюнов В.А. У08
Асеев А.Л. У06П
Аскеров К.А. А33, Б03
Астахов В.П. У17, Б28
Астахов М.В. Б28
Афрайлов М.А. Б39
Ахмадеев И.А. Б26
Ахмедов И.А. У85
Ахметшин А.Ф. У50
Ахполов К.А. У47
Ахундова Н.М. У74
Ащеулов А.А. А12, А40, А41
Бабаев С. А32
Бабаева Р.Ф. Б50, Б52
Багдуев Р.И. Б56
Багиева Г.З. А72
Бажинов А.Н. А42
Базарова Л.Н. У65
Базовкин В.М. У88
Бакуменко В.Л. А63, А64, А65
Балоев В.А. У58
Баранцев А.А. А68
Бархалов Б.Ш. А72
Бахтин П.А. А74, А75, Б29
Бегучев В.П. А63, А64, А65
Белогорохов А.И. У65, Б23
Белозеров А.Ф. У38, У54
Белоконев В.М. У01
Белокопытов А.А. А61
Березкин Н.А. У12, А04
Беришвили Н.В. У46, У47, У48
Беркин А.Б. У49, Б72
Бехтин Ю.С. А68
Билевич Е.О. У62, Б09
Богобоящий В.В. Б41, Б42
Бодров В.Н. Б78
Божевольнов В.Б. У64
Болтарь К.О. У03, У04, У31, У32, А39
А58, А59, Б01, Б20, Б21
Борисова И.В. Б74, Б76, Б77
Борисовский В.Е. Б37
Бородин Д.В. А13, А14
Бочков В.Д. У13, А13, А38
Бояджиди В.Ю. У47, У48
Брандт Н.Б. У86
Брюхов А.С. А65
Бугаенко А.Г. У34, У50, У54
Бугулова И.Р. У46, У47
Будкин И.В. Б22, Б25
Буйнов Г.Н. А61
Булаев П.В. У45, Б22, Б25
Булат Л.П. У71
Бунчук С.Г. Б08
Бурлаков И.Д. У03, У04, У05, У06, У07,
У31, У32, А39, А46, А58, А59, Б21
Бутенко В.К. А40
Варавин В.С. У06П, У02, У20, А74, А75,
Б17, Б29, Б32, Б33
Васильев В.В. У02, У49, А76, Б27, Б35
Васильев И.С. У04П, У08, У41, Б58
Васильева И.В. У52
Васильева Л.А. У32
Васильева Л.Л. У10
Васильева Л.Ф. У22
Васичев Б.Н. А17
Вилисов А.А. У40
Вилькин Е.Г. У41
Винецкий Ю.Р. Б02
Власов А.П. А35 А37

Возьмилов П.Н. У19
 Войцеховский А.В. Б17, Б18, Б19
 Волков В.Г. У36, Б63
 Волкова О.С. У78
 Володин Е.Б. У30
 Ворович Э.Б. А42
 Гаврилов В.В. У28
 Гаврищук Е.М. У39
 Гаврушко В.В. А43
 Гаджиева В.И. А33, Б03
 Гаджиева С.И. У70
 Гайнутдинов И.С. У59
 Гасанов А.И. Б54
 Гасанов Г.А. А54, Б51
 Гасанов И.С. А32
 Гасанов Н.З. Б54
 Гасанова С.Э. Б53
 Гахраманов Н.Ф. Б06
 Гахраманов Э.Н. Б07
 Герасименко В.В. Б42
 Гибин И.С. У09П
 Гиндин П.Д. Б13, Б37
 Глебов Ю.А. А57
 Глушков А.В. А16
 Годжаев Э.М. А01, Б48
 Годованюк В.Н. У26, У27, У87
 Гоев А.И. У35
 Голенков А.Г. У02
 Голенков О.Г. Б08
 Головин С.В. У04, Б21
 Голубев А.В. У78
 Голубев П.Г. У10П
 Голубков А.В. А36
 Горбатюк И.М. У87
 Горбаченя Н.К. Б65
 Горбунов Е.К. У19
 Горева Н.З. Б61
 Горенок В.Н. Б73, Б76
 Горобинская Е.А. Б65
 Граца Е.В. У44
 Грибанов А.А. У17
 Григорьев Д.В. Б18
 Григорьев Л.В. У80, А77, Б31
 Гришина Т.А. А66
 Гришина Т.Н. У67
 Гришнова Н.Д. У63, А59
 Громов А.В. У11П
 Громов Г.Г. У75, У76
 Гузев А.А. У88
 Гуляев А.М. У83
 Гумаров Г.Г. У66
 Гуменюк О.Р. Б04
 Гуменюк-Сычевская Ж.В. Б08
 Гусейнов А.Г. А56
 Гусейнов Э.К. У23, У24
 Гусейнова Д.А. А53
 Гутаковский А.К. Б32
 Дворецкий С.А. У06П, А74, А75, Б17, Б29, Б30, Б32
 Двуреченский А.В. У25
 Девярых Г. Г. У63
 Дегтярёв Е.В. У01, А64
 Демчук Б.Н. А44
 Демьяненко М.А. У10, А34
 Денисов И.А. У65, Б23
 Деркач Ю. П. У02, У29
 Дерюгин М. Б21
 Джаббаров Р.М. А55
 Джалилова Х.Д. У85
 Джафаров М.А. А81, Б60
 Джафаров Т.Г. Б07
 Джигайло В.Н. Б73, Б76
 Джулиев Х.Х. А49
 Джуньян В.Л. У30
 Дирочка А.И. У06, А10, А36
 Дицман С.А. А02
 Добровольский Ю.Г. У87, А12
 Докторович И.В. А40
 Долганин Ю.Н. У17, У72
 Долгих А.В. У42, У44, Б26
 Дрбкин И.А. У76
 Дрожников Б.Н. У13, А38, А73
 Дуб А.Д. У44
 Дудницкий Н.П. У26, У27
 Дульцев Ф.Н. А76
 Дунаенко А.Х. А40, А41
 Дьяконов Л.И. Б12, Б24
 Един В.А. Б67, Б68
 Емец В.В. Б42
 Ерёмин В.В. У28
 Ермаков В.М. У11П
 Ермаков О.Н. А28, А29, А30
 Ерошкин Р.Э. Б74
 Ершова Л.Б. У75, У76
 Жаббаров Т.К. А21
 Жегалов С.И. А16
 Жидков П.М. Б69
 Жирков А.О. Б66
 Жуков А.А. У09, У68
 Жуков А.Г. А42
 Жукова С.А. У68
 Забелина Л.Г. У41
 Забудский В.В. У02, Б08
 Завадский Ю.И. У01
 Загулин В.В. У17
 Зайцев Д.Ю. У60

Заславский А.В. А46
Зафар Латан Кадыр оглы Б43
Захарьяш Т.И. У02
Зверева Е.А. У78
Зверева Н.Ю. А57
Здобников А.Е. У09
Зорин А.А. Б75
Зотиков А.Ф. Б65
Зотова Н.В. У15
Ибрагимов Т.И. У23, У84
Ибрагимова А.Р. Б06
Иванов В.А. У59
Иванов В.Г. У08
Иванов В.П. У34, У58
Ижнин И.И. Б41, Б42
Ильева А.П. У18
Ильчук Г.А. А35
Ирматов С.Х. А20
Исмаилов Н.Д. А31, А32
Исмаилов Р.М. Б52
Кавыч В.И. А37
Каган Н.Б. А02
Казарова Ю.А. У13, А57
Казиев Ф.Н. У23
Кандауров А.С. У10П
Каплан В.Г. У56
Карагусов В.И. У11П
Карандашев С.А. У15
Каримов М.А. А23
Карпов В.В. У17, У72, А18, Б28
Карташев В.А. У06П
Касаткин И.Л. У06, У07, А08, А09, А10
А11, А36
Касацкий Ю.В. Б67, Б68
Касымахунова А.М. А21, А22
Катаев О.В. А07
Керимов Р.Н. Б54
Керимова Т.Г. Б43
Керимова Э.М. А53, Б54
Кесаев С.А. У46, У47, У48
Кирдяшев Р.К. У16, А47
Киреев В.А. У28
Кириенко В.В. У25
Киселева Т.В. У67, Б35
Клемин С.Н. У09
Климанов Е.А. У03, У19, У31, У32, А39,
А46
Климов А.Э. У22, У69
Князева Н.А. У35
Ковтонюк Н.Ф. У89
Ковчавцев А.П. У88
Кожанов И.А. А64
Козлов А.Н. У60
Козлов К.В. Б57
Козырев М.Е. У72
Комов А.А. У21
Кондратенко В.С. Б13, Б37
Кондратов П.С. Б78
Коноров П.П. У64
Коринец С. В. У02
Корнейчик В.Л. У52
Коробкин А.П. А74, А75, Б29
Корольков В.П. У17
Кортаев А.Г. Б18
Корсунь П.П. Б26
Костюков Е.В. У02П, У11, У16, А47, А48,
А82
Котенко В.П. Б59
Котков А.П. У63, А59
Коханенко А.П. Б17, Б18, Б19
Кочмарев А.В. Б67, Б68
Кравченко В.С. Б71
Кравченко Н.В. У67
Крапухин В.В. Б28
Красовская М.Г. У52
Красоткин В.С. Б69
Крашенинников В.С. У17
Креопалов В.И. А03
Кривелевич С.А. Б16
Крошин В.М. У01, А48
Крымов А.А. А16
Кубика К. Б09
Кудров В.Б. Б21
Кудрявцев П.Н. У09
Кудряшов А.А. У52
Кузнецов А.А. Б70, Б74, Б77
Кузнецов Н.С. У17, У72
Кузнецов П.А. А46
Кузнецов Ю.А. У02П, У01
Кузюков С.Г. А43
Кулиев М.М. У81
Куликов В.Б. Б25
Кулов С.К. У46, У47, У48
Кулыманов А.В. У67, Б35
Кульчицкий Н.А. Б40
Кунделева Н.Е. Б57
Куницына Е.В. У14
Курбанов К.Р. Б41
Курбатов А.В. У21
Курышев Г.Л. У88
Кусяк Н.В. Б34
Ларина Г.В. У65
Ларцев И.Ю. У20, У21, У30
Ларшин А.С. У88
Латыпов Я.М. У58
Лебедев О.А. А62, Б64

Левина Е.Е. У41
Леонова Г.А. У36
Либерова Г.В. У67, А02
Липатов В.В. У56
Липин М.В. У18, У11П
Лисейкин В.П. У32
Логвинов Г.Н. У71
Ложников В.Е. Б21
Локтионов В.И. У42, У43, У90, Б55, Б56, Б67, Б68
Лопухин А.А. У06, У07, А08, А09, А10, А11, А36
Лукин А.В. У34, У38
Лукиянчук Э.М. А79
Лурье М.С. У61
Лысюк И.А. Б08
Ляпин В.И. У11П
Ляпунов С.И. Б19
Магеррамова К.И. А72
Макаров Е.Н. У46, У48
Македонова Л.А. У46
Маклаков А.М. А48
Маклаков М.А. А47
Маковийчук М.И. Б16
Макуха В.К. Б72
Мальшко В.В. У73
Малюгин Ю.А. У13
Малютенко В.К. У40, У13П
Мамедов А.К. У24
Мамедов Г.М. А54, Б51
Мамедов И.Х. А55
Мамедов Р.К. А52
Мамедов Р.М. А56
Мамедов Т.Г. А32
Мамедов Т.С. А32
Мансветов Н.Г. У03
Мансуров Л.Г. Б38
Мануйлова Л.К. Б28
Мануков С.И. У47
Маркизов А.С. Б58
Мармалюк А.А. У45, Б22, Б25
Марчик В.А. Б57
Матвеев Б.А. У15
Матюшенко В.Г. Б66
Машевич П.Р. У09, У30
Машуков Ю.П. А76
Медведев А.С. А07, А16, А68
Мельников А.А. Б40
Мельников А.Н. У34
Меркин С.Ю. У12, А04
Мирошникова И.Н. У83
Мисник В.П. У89
Митёнкин А.В. У28
Михайличенко О.В. У11
Михайлов Е.Н. У54
Михайлов Н. Н. У06П, У02, У20, А74, А75, Б17, Б29, Б30, Б32, Б33
Михайлова М.П. У14
Мовчан С.П. Б10
Моисеев А.Н. У63, А59
Монастырский Л.С. А37
Морозов А.Е. У34, У50, У54
Москвина Н.Н. У12, А04
Мочалов Б.В. Б05
Муравьев Б.П. У37
Мустафаев Н.Б. А72
Мустафаева С.Н. А53
Набиев Г.А. А80, Б11
Назаров А.М. У70
Найманбоев Р. А20, Б44
Насибов И.А. У23
Насиров Э.Ф. А81, Б60
Наумов А.С. Б13, Б37
Несмелов Е.А. У59
Несмелов С.Н. Б19
Несмелова И.М. У66
Нестеров И.А. У43, Б55
Никитин Д.Б. У45, Б22, Б25
Никитин М.С. У21, Б24
Никитина Г.И. А82
Никифоров А.И. У25
Никифоров В.Н. Б49
Нифтиев Н.Н. Б53
Нужин А.В. А62
Нужин В.С. А62
Нуриев И.Р. У79
Нюшкин А.А. У38
Облыгина Т.А. А82
Овсюк В.Н. У02, У09, У10, Б27
Овсянников В.А. У53, У55, У57
Огнева О.В. Б35
Озер М. Б39
Оленич И.Б. А37
Опарин А.Н. Б70, Б73, Б74
Осипов Ю.В. А13, А14
Остапов С.Э. У87
Осьминко А.Н. Б74
Отажонов С.М. А25, А50, А51
Падалица А.А. У45, Б22, Б25
Падалко Г.А. Б78
Пантелеев Н.Л. У55
Панфиленко А.К. У07
Парм И.О. А76
Пархоменко Я.А. У14

Паршин Е.О. Б16
 Пасеков В.Ф. У06, У07, А08, А09, А10, А11, А36
 Пашкова Н.В. Б23
 Пашук А.В. У41
 Певцов Е.Ф. У07П
 Пергаменцев Ю.Л. У46, У47, У48
 Пермикина Е.В. А59
 Петелин А.В. Б15
 Петричкович Я.Я. А16
 Петров А.С. У41
 Петров И.Н. Б58
 Петровский А.В. Б25
 Петручук И.В. А07
 Петухов В.Ю. У66
 Писаревский В.К. А35, Б38
 Полвонов Ф.Ю. А22
 Полина Т.В. У48
 Половинкин В.Г. У88
 Полунеев В.В. У03
 Пономаренко В.П. У01П, У03, У05, У07, У32
 Попов Г.Н. У10П
 Попов П.Г. Б74, Б76, Б77
 Поповян Г.Э. У18, У19, А71
 Попугаев А.Б. У48
 Посевин О.П. У19
 Пospelова М.А. У16, А82
 Потапкин О.Д. А03, А66
 Потелов В.В. У35, У39
 Правильщиков П.А. А67
 Предеин А.В. Б36
 Придачин Д.Н. У06П
 Приходько В.Н. У07, У37
 Прокопова Е.А. У52
 Прокофьев А.Е. У08
 Протасов Д.Ю. Б27
 Прошкин Ю.Н. У65, А43
 Пундик В.И. У26
 Пятышев Е.Н. У61
 Рагимов Р.Н. А55
 Рагимов Р.С. А01, Б48
 Рагимов С.С. А19
 Раджабли А.А. У84
 Разиньков В.В. А44, А45
 Разумова И.И. Б75
 Раренко И.М. У87
 Рахимов Н.Р. Б45
 Рева В.П. У02, У29
 Ревзина О. Г. А57
 Редькин С.Н. У51
 Ременный М.А. У15
 Ремесник В.Г. Б32
 Рзаев Р.М. Б50
 Рис Р. Б09
 Рихтер А. Б09
 Рогальский А. У12П
 Рожнов Р.В. Б01
 Романюк И.С. А12
 Рудаков В.И. А15
 Рудневский В.С. А39, Б05
 Русак Т.Ф. А82
 Русанова Т.А. У41
 Рустамов В.Д. А01, Б48
 Рыжков В.Н. У66
 Рюхтин В.В. У87
 Рябов В.Н. А42
 Рябова А.А. А11
 Рябова Л.И. У86
 Рябоштан Ю.Л. У45
 Сабинин В.Е. Б64
 Сабинина И.В. У06П, Б29, Б32
 Сабиров Р.С. У59
 Сабитов Д.Р. Б22, Б25
 Савченко М.А. У17, А18
 Сагинов Л.Д. У03, У05, У31, У32, А39, А63, А64, А65
 Садовский Р.А. У60
 Садыгов Р.М. У79
 Салаев Э.Ю. У70
 Саликов В.Л. У36, Б63
 Сапожников А.А. А43
 Сафин Р.Г. У59
 Сахно В.И. У42, У44
 Свиридов А.Н. А63, А64, А65
 Седнев М.В. А58, А59
 Селяков А.Ю. А27
 Сеник Б.Н. У35, У39
 Серебренников П.С. Б14
 Сиваченко С.Д. Б15
 Сивенкова В.Н. У13
 Сидоров Ю.Г. У06П, У20, А74, А75, Б09, Б17, Б29, Б30, Б32, Б33
 Сизов Ф.Ф. У05П, У02, У29, У62, Б09
 Синицын Ю.А. У10П
 Скипетров Е.П. У78
 Скрылёв А.С. У02П, У11, У16, А47, А48
 Слынько В.Е. У78
 Смирнов И.М. Б05
 Смирнов Р.Н. У06П, А74, Б30, Б32
 Смирнова Н.А. У65, Б23
 Смолин О.В. У20, У22, У30, У77, У82, Б12, Б24
 Соколов А.В. У89
 Соколов В.И. У80, А77, Б31
 Соколовский Б.С. А35

Солк С.В. А62, Б64
Соловьев А.П. У10, А76
Солохина Т.В. А16
Соляков В.Н. У03, У05, У31, А07, А16, А68
Сорокин Л.М. У80
Сосновик М.И. Б58
Средин В.Г. Б49
Станская Т.Б. У12
Старый С.В. У15
Стафеев В.И. У04, А59
Стахарный С.А. А28
Степанов Р.М. У04П, У08, У12, У41, А04
Степанов С.В. Б72
Степанушкин А.Г. У26, У27
Стефанов В.А. Б71
Стратийчук И. Б. А78
Стусь Н.М. У15
Сукач А.В. У15
Султанов Н.А. А24, А70
Султонов Ш.Д. А51
Сунцов В.В. У37
Супрун С.П. У22, У69
Суриков И.Н. У04П, У41
Сусяков А.О. У02
Сусов Е.В. У20, У22, У30, У77, У82, Б12, Б24
Сухарев А.В. У45, Б22, Б25
Сюняев Л.З. У07
Тагиев М.М. А06
Тагиев О.Б. Б53
Тагиров В.И. Б07
Тагиров У.И. Б06
Талалакин Г.Н. У15
Талипов Н.Х. У02, Б18, Б27
Талыбова Д.А. Б53
Тарасов В.В. У09
Тарков В.А. Б75
Тахмазова А.И. Б60
Тер-Нерсесянц В.Е. У80, Б31
Тетеркин В.В. У15, Б10
Тешабаева А.Р. Б11
Тимофеев В.О. А26
Тимофеев О.В. У39
Титов А.Г. Б02
Томашик В.Н. А78, А79, Б04, Б34
Томашик З.Ф. А78, АК79, Б04, Б34
Тохиров К. Б47
Тохиров М. Б47
Трестман М.М. Б79
Трифонов П.В. У13
Трищенко М.А. Б02
Трохимчук П.П. А60
Трошкин Ю.С. У18, У19, А71
Трошков А.Е. У67, Б35
Трунов Г.Л. А07, А47, А48, А82
Трунов С.В. У11, У16
Тугушев В.В. У77
Убайдуллаев М.И. А69
Украинский С.А. У36, Б63
Фараджев Н.В. У79
Фарзалиев С.С. У79
Фатьянова Г.И. А17
Федорова Н.В. Б17
Федотенков Ю.Ф. Б58
Федукова Н.В. У16
Фейчук П. И. А78
Филатов А.В. У18, У19, А71
Филатов М.Ф. Б17
Филачев А.М. У01П, У03, У05, У06, У60
Филиппов В.Л. У53, У55, У57
Флоренцев А.А. У65, Б23
Фомин Б.И. У10
Фотий В.Д. А40, А41
Хайдаров З.Х. А05, Б46
Хакуашев П.Е. Б02
Халилов Д.А. А21
Халилова А.А. А55
Харькова Н.И. Б79
Хатамов С.О. А20, Б44, Б45
Хисамов Р.Ш. У37
Хитрова Л.М. А71
Ходосевич В.М. Б57
Хомутова М.П. А16
Хорохоров А.М. У38
Хохлов Д.Р. У86
Храпунов М.Л. У13, А13, А38
Хромов С.С. У31, А46
Цибрий З. Б09
Чапкевич А.Л. Б16
Чеканова Г.В. У21
Чернокожин В.В. У02П, У01, У07П
Черных С.П. Б13, Б37
Четверов Ю.С. У09, У68
Чеча Э.П. У52
Чинарева И.В. Б35
Чистохин И.Б. А34
Чишко В.Ф. У06, У07, А08, А09, А10, А11, А37
Чупраков А.М. А43
Шаповал С.Ю. У09
Шарипов А.Г. У67, Б35
Шашкин В.В. У10
Шевчук В.В. У27
Шендерович Л.С. А57
Шестаков А.В. Б15

Шигапова Н.М. А61
Шилин В.А. У02П
Ширанков А.Ф. У38
Широков С.С. У08П
Шишкин В.А. Б70, Б74
Шленский А.А. А43
Шматов Н.И. У65
Шумский В.Н. У22, У69
Шунто В.Н. А15
Шушарин С.Н. У33
Щукин С.В. У31, У32, А46
Эдельштейн Ю.Г. Б61, Б62
Эйвазова Г.Х. Б50, Б52
Эминов Ш.О. У84
Эннс В.Н. А10

Эсаулов Ю.Н. У18, У19
Эскин Ю.М. А02
Южик И.Б. У10П
Юлдашев Н.Х. А23, А51
Юнгерман В.М. У32, А39
Юнович А.Э. У08П
Юрьев В.А. Б19
Якимов А.И. У25
Якимов Е.Б. У82
Яковлев Ю.П. У14
Яковлева Н.И. У04, А39, А59, Б01, Б20
Якушев М.В. У06П, А74
Яснова К.И. А73
Яфясов А.М. У64
Яцьк В. С. У56

Государственный научный центр Российской Федерации Федеральное государственное унитарное предприятие «НПО «Орион» развивается на базе созданного в 1946 году в Москве Научно-исследовательского института электронной оптики и инфракрасной техники (впоследствии НИИ прикладной физики - НИИПФ) и НИИ электронной и ионной оптики - НИИЭИО (затем НИИ «Орион»). В настоящее время ФГУП «НПО «Орион» является единственным в России Государственным научным центром в области фотоэлектроники.

В состав ФГУП «НПО «Орион» входят восемь научно-технических центров по всем актуальным направлениям современной фотоэлектроники. Общая научно-производственная площадь объединения, составляющая около 200 тысяч кв. метров, оснащена уникальным технологическим и метрологическим оборудованием. В 2003 году начата реконструкция производства фотоприемников и фотоэлектронных модулей, специализированных технологических линий и строительство новых производственных особо чистых участков на уровне мировых стандартов.

На предприятии работают около полутора тысяч высококвалифицированных специалистов, в том числе один член-корреспондент Российской академии наук, три действительных члена и два члена-корреспондента отраслевых академий, 15 докторов наук, 95 кандидатов наук. Подготовка инженерных кадров осуществляется на базовых кафедрах в вузах Москвы - МФТИ (ГУ), МИРЭА (ТУ) и МИЭТ (ТУ), а научных кадров - в аспирантуре ФГУП «НПО «Орион». В объединении с 1946 года были подготовлены научные специалисты высокой квалификации - свыше 30 докторов наук и более 200 кандидатов наук.

Ученые ФГУП «НПО «Орион» опубликовали несколько тысяч научных статей в отечественной и зарубежной печати, написали более 20 монографий, ряд из которых опубликован за рубежом.

Специалисты объединения успешно выступают с докладами на всероссийских и международных конференциях и симпозиумах.

Специалистами объединения создано около 1000 изобретений, из них около 100 защищены патентами на изобретения, полезные модели, промышленные образцы и товарные знаки.

В апреле 2001 года в г. Орландо (США) под руководством ФГУП «НПО «Орион» в рамках Международной конференции была проведена русская сессия «10 лет ИК-техники в России».

Межотраслевые совещания по фотоприемникам и фотоприемным устройствам, проводившиеся в НИИ прикладной физики в период с 1962 по 1991 год, с 1998 года были возобновлены в ФГУП «НПО «Орион» в новом качестве - как Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения. Кроме того, с 1996 года на предприятии регулярно проводится Всероссийский семинар «Проблемы теоретической и прикладной электронной оптики».

ФГУП «НПО «Орион», совместно с ВИМИ и Московским физическим обществом, является учредителем научно-технического журнала «Прикладная физика», главным редактором которого с 1998 года является генеральный директор объединения А.М. Филачев.

За выдающиеся достижения в области науки и техники лауреатами Государственных премий стали 48 сотрудников объединения. Многие сотрудники предприятия удостоены правительственных наград и почетных званий. В 1996 году ФГУП «НПО «Орион» был награжден дипломом и премией Международного общества по оптической технике (SPIE) за значительные достижения в области оптической технологии. Изделия ФГУП «НПО «Орион» были неоднократно отмечены специальными призами, дипломами, медалями (золотыми, серебряными и бронзовыми) на отечественных и зарубежных выставках в России (ранее в СССР) и различных странах мира - США, Германии, Великобритании, Франции, Швейцарии, Бельгии, Колумбии, Китае, Южной Корее.

В настоящее время на предприятии представлены все виды высоких технологий - вакуумная, диффузионная, ионно-плазменная, электронно-лучевая, лазерная и другие, что обеспечивает выполнение исследований, разработок и выпуск изделий на уровне лучших мировых достижений.

ФГУП «НПО «Орион» разрабатывает и производит в широкой номенклатуре разнообразную продукцию для оснащения оптико-электронных приборов, лазерных систем связи и локации, систем наблюдения, навигации и дальнометрии в интересах науки, промышленности, медицины, космической отрасли, в том числе:

- фотоприемники и фотоприемные устройства (в том числе линейчатые и матричные), для широкой области спектра - от ультрафиолетовой до дальней инфракрасной (от 0,2 до 120 мкм) на основе различных полупроводниковых материалов (Si, Ge, GaP, GaAsP, GaAs, InGaAs, PbS, PbSe, InSb, CdHgTe, Si:X, Ge:X);

- микроэлектронные схемы считывания, усиления и обработки фотосигналов (в том числе для работы при криогенных температурах);

- технологические устройства для ионно-плазменной обработки поверхности, нанесения тонкопленочных покрытий различного типа, ионного травления тонкопленочных покрытий и электронно-лучевой сварки.

ФГУП «НПО «Орион» проводит разработки и имеет возможности выпуска изделий фотоэлектроники по требованиям заказчика в рамках хозяйственных договоров и международных соглашений.