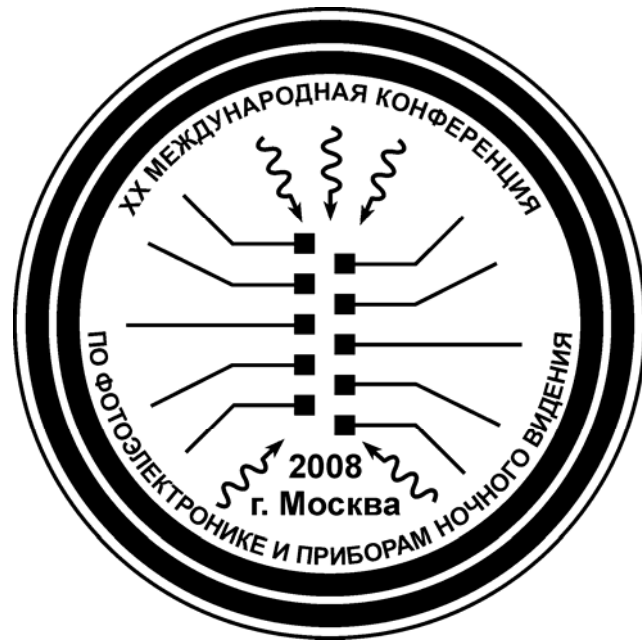


ФГУП «НПО «Орион»



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

27-30 мая 2008

Москва, Россия

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

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

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

и проводится при поддержке:

*Федерального агентства по
промышленности,
Федерального агентства по науке и
инновациям,
Российской Академии наук,
Правительства г. Москвы*

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

27-30 мая, 2008• Москва, Россия

Т Е З И С Ы Д О К Л А Д О В

**Государственный научный центр Российской Федерации
Федеральное государственное унитарное предприятие НПО «Орион»
Москва, 2008**

Международный программный комитет

Председатель – Филадельф А.М., ФГУП «НПО «Орион», Россия

Заместитель председателя, Пономаренко В.П., ФГУП «НПО «Орион», Россия

Заместитель председателя, Дирочка А.И., ФГУП «НПО «Орион», Россия

Ученый секретарь – Бурлаков И.Д., ФГУП «НПО «Орион», Россия

Члены комитета:

Асеев А.Л. – ИФП СО РАН

Бугаев А.С. – МФТИ, Россия

Гуляев Ю.В. – ИРЭ РАН

Ежов В.П. – ОАО «Завод Сапфир», Россия

Елютин А.В. – «Гиредмет», Россия

Иванов В.П. – ФНПЦ ГИПО, Россия

Рыжий В.И. – University of AIZU, Япония

Крохин О.Н. – ФИ РАН

Kumar Vikram – Solid State Phys. Lab., Индия

Кудрявцев Н.Н. – МФТИ, Россия

Пожела Ю.К. – ИФП, Литва

Попов Г.Н. – ЦКБ «Точприбор», Россия

Rogalski Antoni – WAT, Польша

Салаев Э.Ю. – Институт физики, Азербайджан

Сигов А.С. – МИРЭА, Россия

Сизов Ф.Ф. – ИФП НАНУ, Украина

Солдатенков В.А. – ФГУП «Геофизика-НВ», Россия

Степанов Р.М. – ЦНИИ «Электрон», Россия

Tribolet Philippe – Sofradir, Франция

Яковлев Ю.П. – ФТИ РАН

Организационный комитет

Председатель – Филадельф А.М., ФГУП «НПО «Орион»

Заместитель председателя, Корнеева М.Д., ФГУП «НПО «Орион»

Заместитель председателя, Гринченко Л.Я., ФГУП «НПО «Орион»

Ответственный секретарь – Романишина М.И., ФГУП «НПО «Орион»

Члены комитета:

Волков К.А. – ФГУП «НПО «Орион»

Дирочка А.И. – ФГУП «НПО «Орион»

Проскурин В.М. – ФГУП «НПО «Орион»

Левинских К.А. – ФАП

Токарев А.М. – ФГУП «НПО «Орион»

Шабаров В.В. – Правительство г. Москвы

Общая информация

Время и место проведения

Конференция проводится 27-30 мая 2008 г. в ФГУП «НПО «Орион» по адресу:

г. Москва, ул. Косинская, д.9, корпус 2Г (вблизи станции метро «Выхино»).

Регистрация

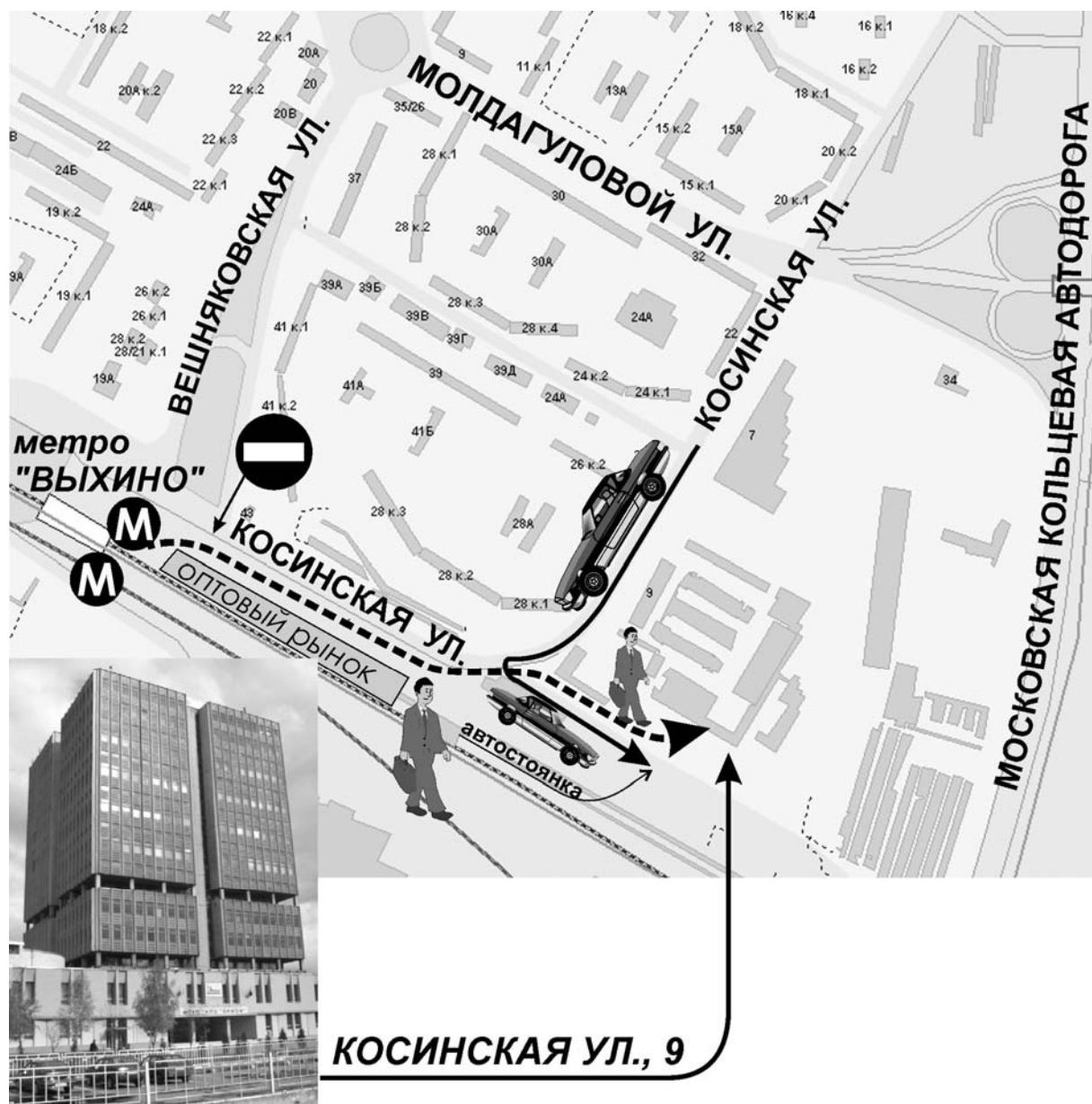
Регистрация участников, выдача материалов конференции и отметка командировочных удостоверений проводятся 26 мая 2008 г. с 12.00 до 18.00 и 27 мая 2008 г. с 8.30.

Организационный взнос

Установлены следующие размеры организационного взноса, включающего оплату за участие в научной и социальной программе, издание тезисов и трудов конференции. Оргвзнос для зарубежных участников составляет 135 EUR, для участников из России и стран СНГ сумму, эквивалентную 40 EUR (20 EUR – для студентов и аспирантов, 30 EUR для докладчиков). 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. (495)-374-94-00, (495)-374-81-20, (495)-374-40-41



П01 Современное состояние, перспективы и проблемы развития ИК фотоэлектроники

Пономаренко В.П., Филачев А.М., Гринченко Л.Я.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Разработаны физико-технологические основы изготовления функционально-законченных фотоэлектронных модулей (ФЭМ) на основе тройных твердых растворов CdHgTe ($\Delta\lambda=8-12$ мкм) и антимонида индия InSb ($\Delta\lambda=3-5$ мкм), включающих матричные фотоприемные устройства (МФПУ) формата 256×256 с кремниевой охлаждаемой микроэлектроникой считывания, блоки сопряжения (БС), блоки электронной обработки фотосигналов (БЭО) и микрокриогенные системы охлаждения (МКС) азотного уровня температур интегрального типа. Конструкции МФПУ унифицированы и базируются на одной и той же микрокриогенной системе замкнутого типа, работающей по циклу Стирлинга. Указанные ФЭМ представляют собой матричные формирователи тепловизионного видеосигнала 2-го поколения для задач тепловидения и тепловеленгации в двух основных спектральных диапазонах прозрачности атмосферы. Для быстродействующих (широкополосных) оптико-электронных систем лазерной локации разработаны гетеродинные фотоприемные устройства на длину волны $\lambda=10,6$ мкм с пороговой чувствительностью $1\cdot 10^{-19}$ Вт·Гц⁻¹. Для задач гидрометеорологического мониторинга атмосферы разработаны фотоприемные устройства на области спектра 3.5-4, 6-9 и 9-12 мкм с обнаружительной способностью $(0.7-1)\cdot 10^{11}$ см·Гц^{1/2}·Вт⁻¹. Приведены результаты создания гибридных многорядных фотоприемных устройств на основе PbS ($\Delta\lambda=1-3$ мкм) и PbSe ($\Delta\lambda=3-5$ мкм) с электроникой предварительной обработки в “холодной” зоне для задач космического мониторинга поверхности суши и океана.

Проанализированы проблемы и состояние полупроводникового материаловедения фоточувствительных материалов (CdHgTe, InSb, InGaAs, PbS, PbSe); обсуждаются основные направления их развития, вытекающие из требований к элементной базе оптоэлектроники. Сформулированы требования к микроэлектронной компонентной базе для обработки фотосигналов и системам генерации холода в фотоэлектронных модулях нового поколения. Дан общий обзор состояния и перспектив развития элементной базы оптоэлектроники на ближайшую перспективу.

П02 Инфракрасные фотоприемники на квантовых точках: состояние и перспективы

Rogalski A.

Institute of Applied Physics, Military University of Technology, Варшава, Польша

В докладе представлено существующее положение с развитием ИК фотоприемников на квантовых точках (КТИФП) и их место в семействе ИК фотоприемников. Проведено сравнение исследованных характеристик КТИФП с другими типами ИК фотоприемников. Модель на основе принципиальных ограничений характеристик позволяет провести прямое сравнение различными технологиями ИК материалов. При этом предполагается, что характеристики определяются термической генерацией в области чувствительности приемников. Проведено сравнительное изучение HgCdTe фотодиодов, ИК приемников с квантовыми ямами, фотодиодов на II типа сверхрешетках, фотоэмиссионных приемников с барьером Шоттки, приемниками на основе легированного кремния и сверхпроводящих высокотемпературных приемников.

HgCdTe фотодиоды имеют лучшие характеристики по сравнению с другими типами приемников. Теоретические оценки показывают, что ожидать конкуренции с ними можно только со стороны фотодиодов на II типа сверхрешетках и КТИФП. При этом последние теоретически превосходят ИК приемники с квантовыми ямами по чувствительности к нормальному падению излучения, меньшему темновому току, более высокой рабочей температуре, более высокой чувствительности и обнаружительной способности.

Сравнение характеристик КТИФП с HgCdTe приемниками ясно показывает, что КТИФП больше подходят для более высоких рабочих температур. Можно ожидать, что прогресс в технологии и конструкции этих приемников позволит достичь высокой чувствительности и быстродействия, пригодных для практических применений таких матриц при комнатной температуре.

Сопоставление теоретических оценок и экспериментальных данных показывает, приборы на КТИФП пока еще не полностью показали свои потенциальные преимущества и можно ожидать достижения этими приемниками более высоких характеристик. Достигнутые пока недостаточно высокие характеристики КТИФП в общем случае связаны с неоптимальной зонной структурой и недостаточной возможностью контроля размеров квантовых точек и однородности этих размеров.

П03 Магнитные, акустические и фотонные свойства метаматериалов

Никитов С.А., Гуляев Ю.В.

Институт радиотехники и электроники РАН, Москва, Россия

П04 Новые задачи для высокоэффективного применения ИК техники
TRIBOLET Philippe
SOFRADIR, Франция

За последнее десятилетие был достигнут значительный прогресс в области ИК технологий, который открыл возможности использовать ИК технику в целом ряде военных задач. Однако нынешнее поколение ИК фотоприемников по-прежнему имеет ограничения по дальности распознавания цели, ограничения, связанные с размерами приемников, с их надежностью, а также со способностью обеспечить работу в любых погодных условиях. Поэтому для создания настоящего ИК фотоприемника третьего поколения сначала необходимо решить указанные задачи.

Разработка новых технологий в «Софрадир» нацелена на решение именно этих задач. Перед «Софрадир» стоит задача снижения производственной себестоимости, использования пикселей меньшего размера в матрицах большего формата, использования лавинных фотодиодов, а также разработки двухспектральных ИК фотоприемников.

Задача снижения производственной себестоимости также связана с расширением возможностей ИК технологий. Это означает повышение качества используемых материалов с одновременным переходом на использование пикселей меньшего размера для обеспечения более высокого разрешения – важный аспект для поддержания себестоимости на стабильном уровне.

В среднем диапазоне ИК спектра «Софрадир» предлагает целое семейство ИК фотоприемников с размером пикселя 15 микрон, обеспечивающих от средней до очень большой дальности обнаружения и идентификации целей. Более того, новые режимы работы ИК фотоприемников, такие как использование лавинных фотодиодов, открывают дорогу к разработке новых перспективных систем, в частности, имеющих меньший размер и стоимость.

Наконец, для подготовки производства ИК систем следующих поколений, «Софрадир» разработал двухспектральные ИК фотоприемники, что позволит совершить новый шаг в направлении улучшения характеристик ИК систем.

Ключевые слова: инфракрасные фотоприемники, длинноволновые, средневолновые, КРТ, лавинные фотодиоды, матрицы фокальной плоскости.

П05 Состояние разработок ИК матриц в Куньминском институте физики

Xiao-Ping Chen

Куньминский институт физики, Куньмин, Китай

Представлены последние достижения разработок ИК фокальных матриц в Куньминском Институте Физики. Основная линия для производства фотоприемников имеет аппаратуру и оборудование, предназначенное для диффузионных процессов с HgCdTe, выращивания заготовок CdZnTe, установки жидкофазной эпитаксии, планарное оборудование для фокальных матриц, оборудование для конструирования и изготовления мультиплексоров, оборудование для вакуумных криостатов и холодильников.

Массово могут выпускаться матрицы на основе HgCdTe формата 288x4 (длинноволновый ИК диапазон), 320x256 (средний ИК диапазон).

Матрицы на основе HgCdTe формата 576x6 (длинноволновый ИК диапазон), 1152x6 (длинноволновый ИК диапазон), 640x512 (средний ИК диапазон), а также матрицы на квантовых ямах формата 320x256 – на стадии единичных образцов.

Охлаждаемые матрицы формата 1Kx1K, Barium-Strontium-Titanate (BST) матрицы 320x240 и 640x480, неохлаждаемые микроболометрические матрицы, дву- и многоцветные матрицы на квантовых ямах находятся в разработке с ожидаемым практическим выходом в течение 2-х – 5-ти лет.

П06 Инфракрасные фотоприемники второго поколения на основе оптимизированных ГЭС КРТ МЛЭ

Варавин В.С., Васильев В.В., Дворецкий С.А., Захарьяш Т.И., Клименко А.Г., Марчишин И.В., Михайлов Н.Н., Предеин А.В., Сусяков А.О., Сидоров Ю.Г., Якушев М.В., Асеев А.Л.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Проведены разработка конструкции и технология изготовления инфракрасных (ИК) фотоприемников (ФП) второго поколения на основе ГЭС КРТ МЛЭ дырочного типа проводимости с различным распределением состава по толщине для реализации предельных параметров в условиях их функционирования.

Выращивание ГЭС КРТ МЛЭ на подложках из GaAs и Si с прецизионным контролем постоянства состава и его изменений проводится по разработанной лабораторной и промышленно-ориентированной технологии с эллипсометрическим контролем в процессе роста с составами для спектральных диапазонов 3–5 и 8–12 мкм. Эллипсометрический контроль позволяет проводить выращивание квантовых наноструктур для разработки нового класса ИК ФП в дальней области спектра (терагерцы). Электрические параметры ГЭС КРТ МЛЭ варьируются в широком диапазоне за счет собственных точечных дефектов и при легировании примесными атомами (индий и мышьяк).

Проведены численное моделирование требуемой конструкции ГЭС КРТ МЛЭ для широкого класса ИК ФП для спектральных областей 3 – 5 и 8 – 12 мкм для температур 80К и 210 К.

Для линейчатых охлаждаемых ИК ФП (форматом 288×4 элементов) на границах фоточувствительного однородного слоя КРТ выращивают широкозонные слои для пассивации поверхности фоточувствительного однородного слоя. При использовании планарной технологии такие слои обеспечивают уменьшение паразитных токов утечки. Получены ИК ФП с одно- и двухпроходным сканированием с вольтовой чувствительностью $(2\div 4)\times 10^8$ В/Вт и обнаружительной способностью $(1,5\div 2,5)\times 10^{11}$ см \times Гц $^{1/2}\times$ Вт $^{-1}$ с длинноволновой границей $\lambda_{0,5} = 10,5\div 10,7$ мкм

Для матричных охлаждаемых ИК ФП (форматом 320×256 элементов) ГЭС КРТ МЛЭ имеют дополнительный высоколегированный широкозонный слой перед фоточувствительным однородным слоем для уменьшения последовательного сопротивления и создания коротковолнового фильтра. Это позволяет создать одинаковые условия напряжения смещения на каждом диоде матрицы и получить спектральную характеристику с чувствительностью только в требуемом среднем или дальнем диапазонах. ИК ФП на основе таких ГЭС КРТ МЛЭ имеют вольтовой чувствительностью $(1\div 3)\times 10^8$ В/Вт и пороговой облученностью $(1,5\div 2,5)\times 10^{-7}$ Вт/см 2 с длинноволновой границей $\lambda_{0,5} = 10,1\div 10,6$ мкм

Выращивания варизонных *P-p* переходов с потенциальным барьером в слоях КРТ позволяет реализовать предельные параметры матричных ИК ФП при повышенных температурах. Так для ИК ФП (формат 128×128 элементов) для спектрального диапазона 8-12 мкм отношение сигнал/шум диодов близко к значениям идеального диффузионно-ограниченного диода.

В ИФП СО РАН разработаны и изготовлены ИК ФП второго поколения форматами 128×128 , $320 \times 240(256)$, 1×576 и 4×288 для спектральных диапазонов 8-12 и 3-5 мкм, работающие при температуре 80К и 210К и ФПУ на их основе. Получены тепловые изображения с $NEDT = 9 \div 25$ мК. Изготовлены первые матричные фотоприемники на основе ГЭС КРТ МЛЭ (К) для спектрального диапазона 3-5 мкм с форматом 128×128 с $NEDT 0,2 - 0,3$ К.

П07 Предельные параметры многоэлементных гибридных МДП ИК ФПУ на InAs и приборов на их основе

Курышев Г.Л., Ли И.И., Базовкин В.М., Валишева Н.А., Гузев А.А., Ефимов В.М., Ковчавцев А.П., Половинкин В.Г., Строганов А.С.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Приведены результаты экспериментального обследования различных линейчатых и матричных гибридных модулей и инфракрасных систем (термографа, ИК микроскопа, быстродействующего спектрографа) на основе InAs ПЗИ приемников излучения. Показано, что в коротковолновом ИК диапазоне основные параметры тепловизионных приборов не уступают аналогичным приборам в ИК диапазоне 5-12 мкм.

Для тепловизора на основе матрицы (128x128) получено температурное разрешение близкое к теоретическому пределу ограничениями флуктуациями фона $T=300$ К (0.025 градуса при 100 кадрах в секунду). Температурное разрешение можно существенно повысить за счет суммирования фотосигналов с нескольких кадров вплоть до 128 циклов накопления. Зависимости NETD(N) достаточно близки к зависимости $1/N^{1/2}$, где N-количество циклов накопления, а NETD(N) улучшается с 25 мК при одном цикле накопления до 4 мК при 128 циклах накопления.

Ряд конструктивных и технологических приемов, а именно, режим с внутренним накоплением сигналов в ПЗИ фотоприемнике, конструкция устройств считывания, обеспечивающая коррелированную выборку фотосигналов в каждом цикле считывания и разработка технологии InAs МДП структур с плотностью поверхностных состояний ниже $2 \cdot 10^{10}$ см⁻² позволили снизить за последние 5 лет угловую частоту шумов типа 1/f до частот порядка 1 с⁻¹.

Приведены временные зависимости среднеквадратичного шума по ансамблю фоточувствительных элементов матрицы. Высокая временная стабильность параметров прибора дает возможность проводить тепловизионные исследования объектов с температурным разрешением ~ 8 мК при максимальном пространственном разрешении и обнаруживать крупномасштабные объекты с температурным контрастом всего 2-3 мК.

Тепловизионный микроскоп на основе гибридной микросхемы матричного фотоприемного устройства InAs 128x128, с шагом элементов 50 мкм в диапазоне длин волн $2.5 \div 3.1$ мкм при 20-кратном оптическом увеличении позволил получить пространственное разрешение 3.5 мкм при использовании объектива с фокусным расстоянием 15 мм. Оригинальная математическая обработка изображения, позволяет при отношении сигнал/шум > 20 почти вдвое улучшить пространственное разрешение. Достигнутое температурное разрешение составляет 0.2 К и 0.015 К для объектов, имеющих температуру 300 К и 450 К соответственно.

На основе гибридного линейчатого модуля формата 1x384 разработан быстродействующий ИК спектрограф (0.5-3.0 мкм) DIMS-384, обеспечивающий регистрацию спектров с временами 0.1-0.2 мс. Спектральное разрешение до ~ 0.3 нм на элемент. При фиксированном положении дифракционной решетки регистрируемый диапазон длин волн ~ 120 нм.

В настоящее время разработана конструкция многомодульного стыкуемого линейчатого ФПУ 4x384 (1536 элементов) с быстродействием до 60 мкс, а также

реализована малоформатная (8x8) матрица для регистрации импульсных оптических сигналов с энергией 8×10^{-17} Дж/элемент. Достигнутые параметры для ИК – приборов данного диапазона являются близкими к предельно достижимым.

**П08 Приемники терагерцового диапазона с использованием
плазменного резонанса**

Victor Ryzhii, Maxim Ryzhii, Akira Satou, Taiichi Otsuji*, Michael S. Shur**

University of Aizu, Япония

**Research Institute of Electrical Communication Tohoku University, Sendai, Япония*

***Department of Electrical, Electronics, and System Engineering, Rensselaer Polytechnic
Institute, Troy, США*

П09 Приемники излучения миллиметрового и субмиллиметрового (ТГц) диапазонов

Сизов Ф.Ф.

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

Разработка приемников излучения (ПИ) для мм и субмиллиметрового диапазонов длин волн активно ведется на протяжении последних 2-3 десятилетий. Технологии мм и суб-мм (терагерцового – ТГц) диапазонов спектра оказались успешными, например, в применениях в биологии для неразрушающего (в связи с неионизирующим излучением и его малой мощностью) исследования биологических объектов. Эти технологии активно используются в диагностике плазмы, выявлении наркотических и взрывчатых веществ, в системах безопасности для обнаружения скрытых веществ и оружия, астрономии (наблюдение галактик, излучения галактической пыли, фонового излучения), контроля содержания почтовых отправлений и др. [1,2].

Относительная прозрачность атмосферы в этих спектральных диапазонах при плохих погодных условиях делает необходимым разработки систем навигации, функционирующих в них. Это, в свою очередь, обуславливает необходимость разработок экономически обоснованных приемников излучения в многоэлементном исполнении, которые могли бы быть использованы в системах технического зрения, эксплуатируемых в реальном масштабе времени в этих участках спектра.

Рассмотрены физические свойства и характеристики основных приемников излучения разного типа для рассматриваемых спектральных диапазонов. Кратко рассмотрены свойства приемников излучения с прямым и гетеродинным детектированием, оптимальные спектральные области их применения и предельные характеристики. Приводятся характеристики основных квантовых приемников излучения для ТГц области спектра, включая сверхрешетки, условия их использования и ограничения.

Представлены некоторые характеристики детекторов выпрямляющего типа (диоды с барьером Шоттки). Рассмотрены основные типы тепловых приемников излучения в применении к мм и суб-мм диапазонам спектра, ограничения и возможные области их применения. Приведены основные характеристики сверхпроводящих болометров, СИС (сверхпроводник-изолятор-сверхпроводник) приемников излучения, болометров на горячих носителях, а также приемников излучения на основе плазменного резонанса двумерного электронного газа.

1. *Siegel P.H.* THz technology: an overview // Intern. J. High Speed Electronics and Systems. - 2003. – V. 13. P. 351 – 394.

2. *Brown E.R.* Fundamentals of Terrestrial Millimeter-Wave and THz Remote Sensing, in: Terahertz Sensing Technology, V. 2. N.-Y.: World Scientific, 2003. – P. 1 – 103.

П10 Матричные микроболометрические приемники для инфракрасного и терагерцового диапазонов

Демьяненко М.А., Есаев Д.Г., Овсяк В.Н., Фомин Б.И., Асеев А.Л., Князев Б.А.*,
Кулипанов Г.Н.*, Винокуров Н.А.*

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

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

В работе представлены результаты работ по конструированию, изготовлению и приведены результаты измеренных параметров матричных неохлаждаемых микроболометрических приемников ИК и терагерцового диапазонов, разработанных в ИФП СО РАН.

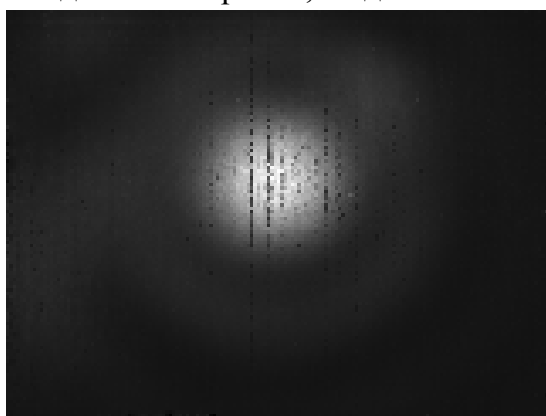
Формат матрицы приемников составляет 160x120 и 320x240 элементов. Область спектральной чувствительности 8 – 14 мкм с максимумом чувствительности на длине волны 11 мкм. Для ИК диапазона температурное разрешение составляет менее 0,1К. Пороговая мощность в этом диапазоне составляла 6×10^{-11} Вт.

Представлены результаты исследования поглощающей способности элементов болометрического приемника (микромостиков из нитрида кремния и собственно термочувствительного элемента – оксида ванадия) в терагерцовом диапазоне. Показано, что поглощение в пленках оксида ванадия толщиной 0,1 мкм составляет около 10% в спектральном диапазоне 50-100 мкм, что обуславливает фоточувствительность в этой области спектра.

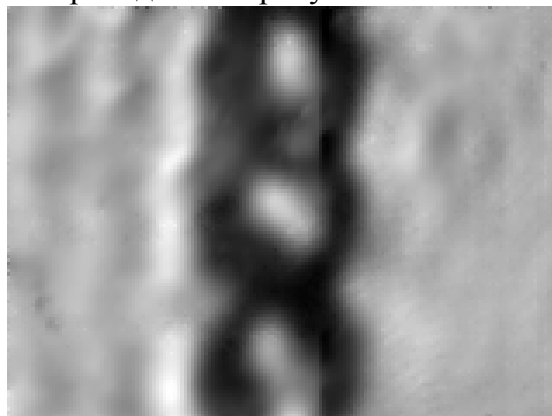
Демонстрируются результаты регистрации различных объектов на просвет и на отражение, в том числе и за преградой из диэлектрических материалов, в терагерцовом диапазоне с использованием излучения лазера на свободных электронах (ИЯФ СО РАН) на длине волны 130 мкм. Продемонстрирована возможность регистрации изображения движущихся объектов с рекордной скоростью, до 90 кадров/сек. На длине волны 130 мкм пороговая мощность составила 3×10^{-8} Вт.

Обсуждаются пути повышения чувствительности приемников в терагерцовом диапазоне путем сопряжения элементов матрицы болометрических приемников с приемной антенной, оптимизированной для диапазона 0,2 – 1 ТГц.

Примеры изображений, полученных с использованием излучения лазера на свободных электронах, на длине волны 130 мкм приведены на рисунках.



Изображение отверстия диаметром 4 мм



Изображение ювелирной цепочки с размером звена 3 мм

П11 Многоканальные устройства предпроцессорной обработки сигналов для многоэлементных ИК ФПУ

Ли И.И.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Низкий контраст изображения в ИК диапазоне, разброс фотоэлектрических и электрофизических параметров в многоэлементных ИК ФПУ, определяет необходимость начальной (предпроцессорной) обработки сигналов для формирования ИК видеоизображения. Неоднородность параметров часто является основной причиной, ограничивающей чувствительность многоэлементных ИК ФПУ. Это относится практически к любым многоэлементным сенсорам, в которых всегда присутствует определенный разброс фотоэлектрических, электрофизических, либо других параметров. Поэтому для ИК ФПУ следующих поколений одной из основных задач становится формирование ИК видеоизображений и последующей процессорной обработки сигналов, таких как распознавание образов и т.д. в фокальной плоскости ИК ФПУ кремниевыми устройствами считывания.

Разработка систем формирования ИК видеосигналов в интегральном исполнении с устройствами считывания начались практически одновременно с разработкой гибридных, многоэлементных ИК ФПУ. Однако вследствие конструктивных недостатков такие устройства до сих пор не нашли широкого применения.

В работе рассмотрены системные и схемотехнические решения построения адаптивных устройств предпроцессорной обработки сигналов в интегральном исполнении с устройствами считывания, решающие основную задачу формирования ИК видеосигналов – вычитание аддитивных неинформационных компонент сигналов индивидуально для каждого фотоприемного канала. Приводятся результаты экспериментального обследования таких устройств. Показано, что предложенные схемотехнические решения устройств предпроцессорной обработки не ограничивают чувствительности ИК ФПУ и позволяют решить проблему временного дрейфа параметров ИК ФПУ, а также существенно снизить требования к динамическому диапазону измерительного канала, и, следовательно, снизить энергопотребление, стоимость, весогабаритные показатели тепловизионных систем на их основе.

П12 Необходимость и перспективы разработок больших фокальных поверхностей с твердотельными фотоприемниками для неатмосферных систем обнаружения РКО

Иванов В.Г.* , Каменев А.А. * , Степанов Р.М.
ОАО «ЦНИИ «Электрон», С-Петербург, Россия
*НИЦ 4-го ЦНИИ МО, С-Петербург, Россия

Характерными особенностями ОЭА обнаружения РКО (в особенности внеатмосферной, высотной ОЭА) являются широкий угол поля зрения (например, для охвата полем зрения диска и лимба Земли с геостационарной орбиты этот угол составляет около 18 градусов, а с более низких орбит - до 110 градусов) и предельно высокая чувствительность при работе по «точечным» целям. Неизбежным следствием этих особенностей является использование широкоугольных телескопов с максимально большой апертурой. Расчет показывает, что диаметр фокальной поверхности даже при светосиле телескопа 1:1 существенно превышает 10 см, а ее форма близка к сферической со стрелой сегмента 1-2 см. Как следствие, фотоприемники (ФП) для ОЭА обнаружения также неизбежно должны представлять собой «большие фокальные поверхности» (БФП) со сферичностью различного радиуса. В докладе рассматривается ряд путей построения «смотрящих» матричных БФП. Расчет, конструирование, изготовление и испытания БФП настолько отличаются от принятых сегодня норм построения ФП для тепловидения, что БФП целесообразно отнести к отдельной подотрасли формователей сигналов изображения. Показано, что формат БФП определяется требуемой точностью определения координат целей и может достигать до 6000*6000.

Необходимая вероятность обнаружения в ИК БФП диапазона 2–10 мкм может быть получена при пороговой чувствительности (с учетом временных режимов формирования и считывания видеосигналов) от 10^{-14} до 10^{-15} Вт/элемент. В связи с этим, практически все типы перспективных БФП для указанного ИК диапазона в настоящее время создаются на базе полупроводниковых материалов с собственным поглощением (КРТ, арсенид индия, сурьмянистый индий) или на основе полупроводников с «квантовыми ямами» (QWIP). Для обнаружения «холодных» РКО требуется использовать ИК диапазон 16 – 25 мкм. Для этого диапазона решение проблемы создания ФП с квантовыми эффективностями 10 – 25% потребует разработки новых принципов фотоприема и новых технологий создания ФП.

Совершенствование ФП и БФП для систем обнаружения идет в направлении усложнения конфигурации и увеличения формата, разработки технологии «бесшовной» сборки ФП в БФП, расширения области спектральной чувствительности, создания многоспектральных БФП, уменьшения собственных шумов БФП до 5-10 электронов на выборку.

В докладе дается характеристика состояния ведущихся в настоящее время работ рядом фирм США, Франции, Японии по созданию БФП, в том числе для оснащения специализированной ОЭА космических средств наблюдения за РКО.

Созданные в настоящее время в РФ образцы ФП отстают от передовых зарубежных разработок ФП для аппаратуры обнаружения, особенно работающей в ИК области спектра. В настоящее время реальной задачей может стать ускоренная разработка матричных ФП с массивом до 1000*1000 элементов для БФП диапазона

спектра 2,5-5 мкм с пороговой чувствительностью порядка $5 \cdot 10^{-14}$ Вт/элемент. Следующая задача – создание БФП диапазона спектра 16 – 25 мкм. Для УФ и видимого диапазонов спектра необходимо создание ЭОП с размером фотокатода до 100 мм и с радиусом кривизны 200-300 мм.

Проведенный анализ показывает необходимость в ближайшее время разработать и начать реализовывать в РФ комплексную целевую программу НИОКР по созданию современных БФП для ОЭА обнаружения РКО, так как иначе Россия останется «без глаз» в Космосе.

П13 Мощные светодиоды в средней ИК-области спектра (1.6-4.6 мкм) на основе A^3B^5 гетероструктур для метрологических применений

Яковлев Ю.П.

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

Светодиоды в средней ИК-области спектра перспективны для метрологии тепловых приемников, приборов ночного видения и для экологического мониторинга.

Здесь мы представляем две серии светодиодов – первая серия на основе GaInAsSb/GaAlAsSb гетероструктуры для спектрального диапазона 1.6-2.5 мкм и вторая серия на основе InAs(Sb)/InAsSbP гетероструктуры для диапазона 2.8-4.6 мкм. Уникальная технология была использована для выращивания изопериодных гетероструктур к подложкам GaSb и InAs, в основе которой были метод жидкостной эпитаксии (LPE) и метод газотранспортной эпитаксии из металлоорганических соединений (MOCVD). Наша гибкая технология позволяет создавать светодиоды во всем спектральном диапазоне путем изменения состава активных слоев гетероструктуры GaInAsSb и InAs(Sb) соответственно.

Различные конструкции гетероструктур будут продемонстрированы для изготовления мощных светодиодов (1.4-4.6 мкм), включая асимметричные GaInAsSb/GaAlAsSb и InAs(Sb)/InAsSbP гетероструктуры, а также симметричные GaAlAsSb/GaInAsSb/GaAlAsSb гетероструктуры и тиристорные гетероструктуры типа n-GaSb-p-GaSb-nGaInAsSb-p-AlGaAsSb. Стандартная фотолитография была использована, чтобы изготовить меза- и флип-чипы диаметром 300-500 мкм, которые затем монтировались на специальном корпусе с параболическим отражателем.

Электролюминесцентные и оптические характеристики светодиодов были изучены. Зависимости интенсивности излучения от тока как в непрерывном, так и импульсном режимах будут представлены для всех типов светодиодов.

Все излучающие светодиоды (1.6-4.6 мкм) могут работать при комнатной температуре, как в непрерывном, так и в импульсном режимах. Высокое быстродействие таких светодиодов (время выключения $\tau \cong 20 \div 50$ nsec) делает возможным использовать для питания светодиодов высокочастотную модуляцию (сотни мГц) или наносекундный импульсный режим. Механизм излучательной и безызлучательной рекомбинации для таких светодиодов был изучен. Оптическая мощность 2-3 mW в непрерывном режиме и пиковая мощность до 270 mW (длительность импульса 200 nsec) были достигнуты для диапазона длин волн 1.8-2.4 мкм.

П14 Нетрадиционные методы термостабилизации элементов фото- и микроэлектроники

Булат Л.П.

*Санкт-Петербургский государственный университет
низкотемпературных технологий, С-Петербург, Россия*

Использование традиционных методов охлаждения, как правило, не в состоянии обеспечить необходимый уровень термостабилизации современных элементов фото- и микроэлектроники с точки зрения массогабаритных параметров, долговечности и надежности. С другой стороны, микроминиатюризация элементов фото- и микроэлектроники часто требует отвода потоков тепла вплоть до $(10^2 - 10^3)$ Вт/см² от небольших участков (spot cooling), такой теплоотвод, конечно, не может быть осуществлен традиционными методами. В этой связи наиболее интересными и перспективными методами термостабилизации является использование твердотельных охлаждающих систем.

Разновидностью твердотельных методов охлаждения является термоэлектрический метод. Он достаточно хорошо зарекомендовал в решении задач термостабилизации элементов фото- и микроэлектроники. Однако ему присущ недостаток – низкий холодильный коэффициент, а допустимая потребляемая мощность часто ограничена. Есть все основания считать, что использование нанотехнологий для создания эффективных термоэлектрических материалов позволит увеличить холодильный коэффициент таких охладителей. Но известны и иные методы твердотельного охлаждения, которые, по-видимому, могут оказаться эффективными для термостабилизации элементов фото- и микроэлектроники. Речь идет об электрокалорическом и магнитокалорическом методах охлаждения, которые и рассматриваются в настоящей работе.

Электрокалорический эффект состоит в увеличении температуры диэлектрика при создании в нем электрического поля и соответствующего уменьшения температуры при выключении этого поля в адиабатических условиях. Наибольшая величина эффекта достигается в сегнетоэлектриках вблизи температуры фазового перехода. Сегнетоэлектрики, обладающие существенными значениями электрокалорического эффекта, в основном имеют структуру перовскита. Для уменьшения применяемых в электрокалорических установках электрических напряжений стараются использовать тонкие керамические пластины и пленки толщиной от 100 мкм до 100 нм вместо массивных сегнетоэлектрических образцов. Так, известно, что на пленках из $\text{PbZr}_{0.95}\text{Ti}_{0.05}\text{O}_3$ толщиной 350 нм было получено охлаждение $\Delta T=12\text{K}$. Естественный способ увеличения перепада температур в электрокалорическом охладителе – это каскадирование активных структурных элементов.

Магнитокалорический эффект – аналог электрокалорического эффекта, но здесь для изменения температуры используется не электростатическое, а постоянное магнитное поле. Эффект состоит в изменении температуры пара- или ферромагнетика при адиабатическом изменении напряженности магнитного поля. Несмотря на относительно большую величину магнитокалорического эффекта, практическое создание магнитокалорического охладителя сталкивается с техническими трудностями из-за необходимости формирования сильных магнитных полей. Однако использование нанокompозитов в качестве рабочих веществ

магнитокалорической холодильной машины должно существенно снизить требуемые напряженности магнитных полей.

Вообще, есть все основания утверждать, что переход к нанотехнологиям позволит создавать материалы, в которых будет наблюдаться существенное увеличение как электрокалорического, так и магнитокалорического эффектов.

У01 Исследование фотоэлектрических параметров МФПУ на основе антимонида индия

Касаткин И.Л., Лопухин А.А., Патрашин А.И., Чишко В.Ф.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Проведены экспериментальные исследования зависимости фотоэлектрических параметров МФПУ на основе антимонида индия формата 256x256 от таких характеристик холодных диафрагм, как расстояние до МФЧЭ и формы отверстий, а также зависимости параметров от времени накопления.

Известными параметрами являются площадка ФЧЭ, ёмкости накопления в ячейках и напряжения перезарядки емкостей накопления. Измерены темновые токи ФЧЭ (при нулевом фоне) I_d , фоновые сигналы и шумы, а также спектральная чувствительность ФЧЭ.

По экспериментальным значениям для разных диафрагм вычислены такие фотоэлектрические параметры, как амперваттная чувствительность, ограниченная шумом облученность (NEI), ограниченная шумом мощность (NEP), удельная обнаружительная способность (D^*), динамический диапазон и ограниченная шумом разность температур (NEDT). Полученные параметры сравниваются с предельными параметрами, рассчитанными для МФПУ.

У02 Исследование времени корректируемости для МФПУ на основе InSb

Чишко В.Ф., Дирочка А.И., Касаткин И.Л., Лопухин А.А.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Вследствие разброса характеристик матричных фотоприемников на основе InSb по площади МФП необходимо проведение двухточечной коррекции для уменьшения геометрического шума. Для ответа на вопрос: как и с какой периодичностью надо ее проводить, необходимо провести исследование долговременной стабильности МФПУ. Основной причиной нестабильности МФПУ на основе InSb является нестабильность темновых токов и их зависимости от напряжения смещения на согласующих транзисторах и от температуры охлаждения. Показано, что для улучшения стабильности надо, с одной стороны, стабилизировать напряжение смещения на согласующих транзисторах и температуру МФП, а с другой - надо уменьшать термомеханические напряжения.

Для рассмотрения долговременной стабильности МФПУ исследовался показатель корректируемости C , характеризующий отношение пространственного к временному шуму, по изменению которого определялось время долговременной стабильности, показывающее длительность времени, в течение которого после проведенной коррекции пространственный шум увеличивается до значений, больших временного шума.

По измеренным зависимостям показателя корректируемости МФПУ формата 256x256 на основе InSb с МКС типа «Интегральный Стирлинг» от времени работы установлено, что время долговременной стабильности уменьшается с увеличением температуры охлаждения: от 55мин при $T=80\text{K}$ до 17мин при 90К и 10мин при 100К, что является сильным ограничивающим фактором работы МФПУ при повышенных температурах, так как это приводит к необходимости высокой частоты перекоррекции.

У03 Неохлаждаемое микроболометрическое фотоприемное устройство форматом 320x240 на основе золь-гель VO_x

Демьяненко М.А., Фомин Б.И., Есаев Д.Г., Овсяк В.Н., Васильева Л.Л., Волков С.А., Марчишин И.В., Четверов Ю.С.* , Здобников А.Е.* , Кудрявцев П.Н.* , Володин Е.Б.** , Ермолов А.Е.** , Усов П.П.** , Чесноков В.П.** , Машевич П.Р.**
Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

**ОАО «ЦНИИ «Циклон», Москва, Россия*

***ОАО «Ангстрем», Москва, Россия*

Разработана технология изготовления неохлаждаемых микроболометрических ИК фотоприемных устройств, состоящих из матричного микроболометрического приемника (ММБП) мостикового типа, термоэлектрического стабилизатора температуры и малогабаритного вакуумного корпуса, снабженного просветленным германиевым окном и газопоглотителем. ММБП выполнен в интегральном исполнении и представляет собой матрицу микроболометров (ММБ) сформированных на матричном мультиплексоре.

Мультиплексор формата 320x240, ориентированный на базовую КМОП-технологию с топологической нормой 1,2 мкм, разработан ОАО «Ангстрем» совместно с ОАО «ЦНИИ «Циклон». Считывание сигналов с элементов ММБ, работающих в режиме импульсного смещения, организовано построчно с использованием мостовых схем, построенных из выбранной строки матрицы чувствительных микроболометров и вынесенных за пределы матрицы строки «термически закороченных» и столбца чувствительных, но затенённых микроболометров. Мультиплексор включает в себя: матрицу коммутирующих ключей; 8 внутренних источников постоянного напряжения; блок формирования 10 импульсных напряжений; вертикальный регистр выбора строки; 320 дифференциальных усилителей и устройств временного хранения (УВХ) сигнала; выходной регистр, коммутирующий УВХ к выходному усилителю мощности. Для функционирования мультиплексора необходимо 3 тактовых и 7 постоянных внешних напряжений.

Последовательность разработанных в ИФП СО РАН технологических операций, используемых для формирования ММБ на мультиплексоре, включает: нанесение жертвенного слоя – полиимида и формирование в нем окон; нанесение нижнего слоя нитрида кремния толщиной 0,15 мкм и вскрытие в нем окон до алюминиевых контактов к мультиплексору; формирование нихромовой разводки и островков слоя оксидов ванадия; нанесение верхнего слоя нитрида кремния толщиной 0,15 мкм и формирование 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, отжиге и восстановлении в водородной среде. Шаг матрицы микроболометров равен 51 мкм. Ширина несущих балок из нитрида кремния ≈ 1,6-2 мкм. Сопротивление болометра при комнатной температуре ≈ 50 кОм, температурный коэффициент сопротивления α ≈ -2%/К. Спектральный диапазон чувствительности, определенный по уровню 0,5, составляет 8,3-13,5 мкм.

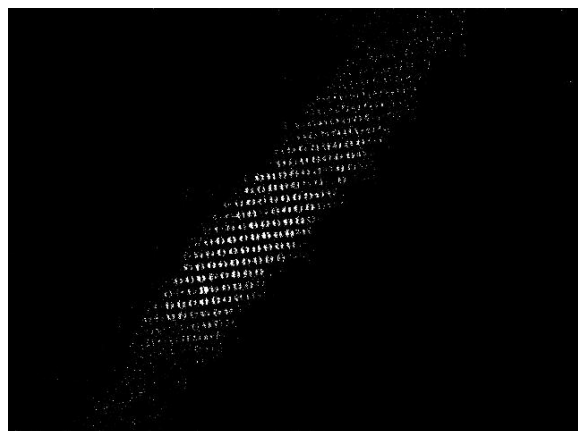
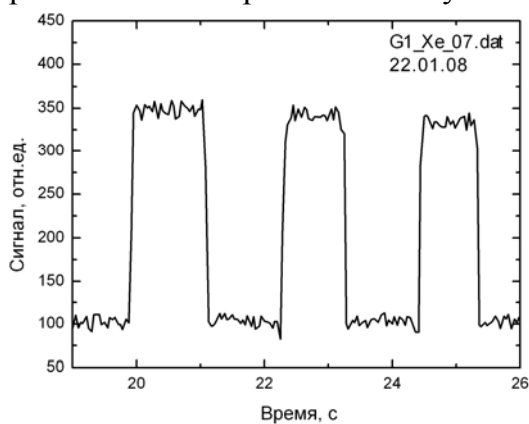
Измерены распределения чувствительности и шумов по матрице ФПУ. Достигнута разность температур, эквивалентная шуму, менее 100 мК при угле зрения 60°. Получены качественные тепловые изображения при частоте кадров 50 Гц.

У04 Неохлаждаемый матричный приемник ИК излучения на основе термопневматического микромеханического преобразователя с оптоэлектронной системой считывания

Гельфанд А.В., Паулиш А.Г., Федоринин В.Н.

*Филиал Института физики полупроводников СО РАН «КТИ ПМ»,
Новосибирск, Россия*

В работе исследованы характеристики неохлаждаемого матричного приемника ИК-излучения на основе термопневматического микромеханического преобразователя (ММП). Термопневматический ММП (ячейка Голея) представляет собой полый цилиндр, заполненный газом, в котором один торец является поглотителем излучения, а противоположный торец представляет собой гибкую мембрану с зеркальным покрытием. Поглощение излучения приводит к нагреву газа, заполняющего ММП, который, расширяясь, деформирует мембрану. Деформация мембраны регистрировалась поляризационно-оптическим способом с использованием видимого излучения светодиода ($\lambda=650$ нм) и кремниевой ПЗС камеры. В настоящей работе создана матричная структура размерностью 200×200 с размером элемента $\varnothing 100$ мкм, сформированная на пластине ZnSe, прозрачной в диапазоне 0.6-20 мкм. В качестве поглощающего слоя использовались слои SiO₂, которые имеют полосу поглощения в диапазоне 9-12 мкм. Толщина поглощающего слоя выбиралась таким образом, чтобы в нем поглощалось более 80% ИК-излучения. Мембрана представляла собой комбинацию слоев SiO₂, Al и полиимида суммарной толщиной ~ 0.15 мкм. В качестве газа, заполняющего объем элемента ММП, использовался ксенон. На рисунке слева показана временная зависимость отклика элемента ММП при прерывистой засветке ИК-излучением, справа – изображение тела, нагретого до 200°C. Собственная температурная чувствительность, измеренная по зависимости величины сигнала от давления в ячейке, составила 0.014 К. Время срабатывания приемника менее 50 мс, что обеспечивает работу прибора на частоте 20 Гц. Оптический способ считывания сигнала, при котором приемник излучения и система считывания пространственно разнесены, существенно снижает степень интеграции фотоприёмного модуля, упрощает технологию изготовления, и, тем самым, снижает стоимость прибора. Соответствующим выбором материала поглощающего слоя и входного окна могут быть изготовлены как селективные, так и широкополосные приемники излучения.



У05 ИК фотоприемники формата 288×4 с двунаправленным сканированием изображения

Васильев В.В., Предеин А.В., Варавин В.С., Михайлов Н.Н., Дворецкий С.А.,
Рева В.П.*, Сидоров Ю.Г., Сизов Ф.Ф.*, Сусяков А.О., Асеев А.Л.
Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия
**Институт физики полупроводников НАН, Киев, Украина*

Использование до настоящего времени линейчатых инфракрасных (ИК) фотоприемников (ФП) формата 288×4 с режимом ВЗН обусловлено тем, что применение двунаправленного сканирования позволяет реализовать полноэкранный формат изображения размерностью 576×768. Наличие четырех параллельных столбцов позволяет реализовать режим ВЗН для увеличения обнаружительной способности (D^*) в ~2 раза и снизить количество дефектных каналов.

Разработана технология выращивания ГЭС КРТ МЛЭ с варизонными слоями, состав в которых увеличивается на поверхности и границе раздела с буферным слоем. Такой профиль состава позволяет подавлять поверхностные токи утечек и реализовать диодов с близкие к предельным параметрами, определяемыми практически диффузионным током через р-п переход. Фоточувствительные элементы (ФЧЭ) ИК ФП формата 288×4 изготовлены на основе ГЭС КРТ МЛЭ р-типа проводимости по планарной технологии с формированием р-п перехода имплантацией ионами бора. Фотодиоды характеризуются следующими типичными параметрами: темновые токи $I_T = 2-5$ нА, максимальное дифференциальное сопротивление $R_{d\max} = (5-7) \times 10^8$ Ом для $\lambda_{\max} = 9,5-10$ мкм и $\lambda_{0,5} = 10,0-10,5$ мкм.

Кремниевые схемы считывания (мультиплексоры) к линейкам фотодиодов изготовлены по КМОП технологии. Они обеспечивает следующие основные функции: режим временной задержки и накопления (ВЗН) для каждого канала, состоящего из 4-х фотодиодов, двунаправленное ВЗН сканирование, линейное преобразование заряд-напряжение, при необходимости деселекцию любого из 1152-х фотодиодов, управление схемой при помощи последовательного и параллельного интерфейса. Мультиплексор позволяет получать выходное напряжение не менее 2.5 В для информационного заряда порядка 2-х пКл, динамический диапазон 80 дБ, нелинейность 1%.

Разработана технология изготовления In столбов на мультиплексорах и ФЧЭ. Гибридизация ФЧЭ с мультиплексорами осуществляется методом холодной сварки на индиевых столбах с контролируемой величиной давления.

Линейчатые ИК ФП формата 288×4 характеризуются следующими основными параметрами при ~78К: вольтовая чувствительность $S_v = (4,0-4,5) \times 10^8 \pm 9\%$ В/Вт; $D^*_{\lambda\max} = (1,5-1,9) \times 10^{11} \pm 16\%$ см×Гц^{1/2}×Вт⁻¹.

У06 Двухцветная фокальная матрица 128×4×2 на основе HgCdTe и ее применение

Jin-Yi Wang, Ling Jin, Pin-Yi Zhang

Куньминский институт физики, Куньмин, Китай

Представляется двухцветная (средний и длинноволновый ИК-диапазоны) фокальная матрица на основе КРТ форматом 128x4x2. Фоточувствительные элементы изготовлены из двойных слоев КРТ, выращенных методом жидкофазной эпитаксии. р-п переходы формировались с помощью ионной имплантации, а сборка с мультиплексором проводилась с помощью индиевых столбиков. ИК оптическая система была единой для средне- и длинноволнового излучения, при фокусировке на матрицу применялась оптическая хроматическая коррекция.

У07 Двухспектральные матричные фотоприемники на основе структур с квантовыми ямами

Казаков А.А., Зверев Г.М., Куликов В.Б., Котов В.П., Бутягин О.Ф.,
Чередниченко О.Б., Курнявко Ю.В., Мармалюк А.А., Солодков А.А.*

ФГУП «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха» Москва, Россия

**ФГУ «22 ЦНИИ МО РФ, Мытищи, Россия*

Представлены результаты разработки и исследования двухспектральных матричных фотоприемников на основе структур с квантовыми ямами. Фотоприемник формата 320x256 элементов состоял из фоточувствительной матрицы, электрически связанной с кремниевым мультиплексором и имел фоточувствительность в спектральных диапазонах 3-5мкм и 8-12 мкм. Фотоприемник обладал возможностью формировать изображения отдельно в каждом из указанных диапазонов. Проведены исследования спектральных и пороговых характеристик фотоприемников. Получены изображения от различных источников излучения в указанных спектральных диапазонах.

**У08 Длинноволновая фокальная матрица 320×240 на основе
квантовых ям**

Yan-Li Shi

*Северная компания инфракрасных технологий, отделение фотоприемников,
Куньмин, Китай*

Длинноволновая фокальная матрица 320x240 на квантовых ямах с граничной длиной волны 9,2 мкм была разработана и изготовлена в течение одного года в Куньминской Северной компании инфракрасных технологий. Уже на первых образцах были получены разность температур, эквивалентная шуму (NETD), равная 45 мК, и хорошая однородность (неоднородность чувствительности менее 10%). Матрица была получена методом МЛЭ и оптимизирована для работы в режиме «переход граница – квазиконтинуум».

При формате 320x240 площадь чувствительного элемента составляла 28x28 мкм при шаге 30x30 мкм. Двумерная решетка с шагом 2.8 мкм, полученная технологией реактивного ионного травления, присоединялась методом оптического контакта. Фотоприемная матрица соединялась со схемой считывания индиевыми столбиками и утоньшалась до примерно 300 мкм. Сборка помещалась в криостат, объединенный с холодильником Стирлинга, что обеспечивало рабочую температуру матрицы 65К. В докладе представлены методология получения матрицы, результаты измерений и полученные изображения.

У09 Смотрящая К-МОП матрица формата 320x240 элементов для спектрального диапазона 3-5 мкм на основе PtSi

Карпов В.В., Никифоров А.Ю., Белин А.М.*, Золотарев В.И.*, Попов А.Д.*

ОАО «Московский завод «Сапфир», Москва, Россия

**ОАО «Ангстрем», Москва, Россия*

Разработаны матрицы смотрящего типа на основе диодов Шоттки в качестве фотоприемных элементов. В разработке применен классический режим накопления фотосигнала на электрической емкости диодов Шоттки, с последующим считыванием фотопотенциала через истоковые повторители, размещенные непосредственно в ячейках.

Разработаны две схемы считывания: первая включает в себя построчное считывание фотопотенциала (прогрессивная развертка) с записью значений фотопотенциала в горизонтальный регистр хранения и выборку информации сдвиговым регистром. Вторая схема содержит столбцовую схему ДКВ, позволяющую считывать разность потенциалов между уровнем «черного» и уровнем фотосигнала. Схемы содержат столбцовые истоковые повторители напряжения и выходной истоковый повторитель на основе р-канального МОП транзистора.

Матрицы разработаны применительно к К-МОП технологическому маршруту на р-кремнии с нормами проектирования 1,2 мкм, двойным карманом, одним уровнем поликремния и двумя уровнями алюминиевой металлизации. Для изготовления применялись пластины кремния КДБ-12 диаметром 150 мм.

Основные характеристики матриц:

- максимальный уровень выходного напряжения видеосигнала матриц 2,5 В;
- темновой уровень шума (шум считывания) – 0,5 мВ;
- коэффициент преобразования заряд-напряжение 3мкВ/электрон (типичен для фотодиодов Шоттки);
- длинноволновая граница отсечки составляет - 5-5,1 мкм;
- параметр токовой чувствительности фотодиодов ~0,1А/Вт;
- габаритные размеры фотоприемной матрицы - 10460x9180 мкм;
- фоточувствительное поле матрицы – 9260 x 6912 мкм;
- контактные площадки 150 мкм x 150 мкм;
- стыковочные площадки – 9 × 0,5 мм (2 штуки);
- покрытие площадок- Ti-Al-Ni.

У10 Болومترические приемники терагерцового излучения

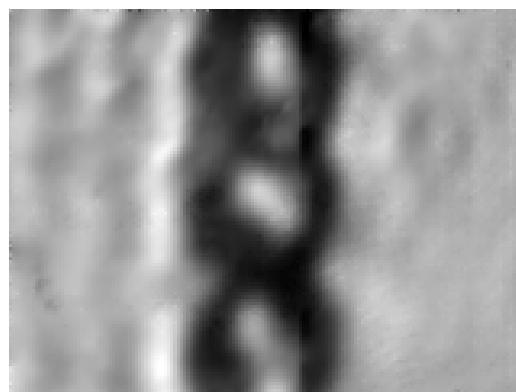
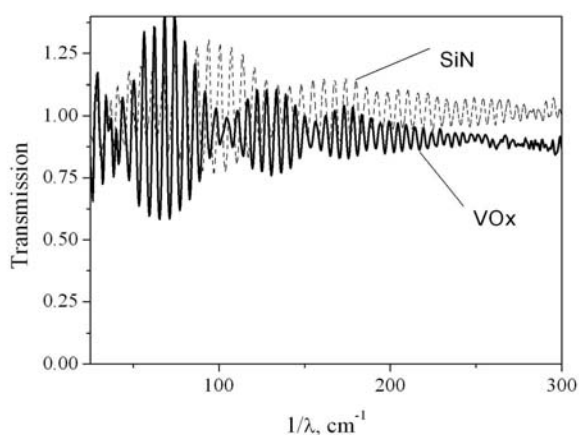
Демьяненко М.А., Есаев Д.Г., Марчишин И. В., Овсяк В.Н.,
Фомин Б.И., Князев Б.А.*

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

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

Одним из вариантов использования в системах некогерентной регистрации терагерцового излучения, в которых регистрируется только интенсивность сигнала, является использование болометрических приемников. Под действием излучения происходит нагрев термочувствительного элемента болометра и изменение его электрического сопротивления, что и фиксируется регистрирующей аппаратурой.

Разработанные и изготовленные в ИФП СО РАН матричные болометрические приемники форматом 120x160 элементов для ИК-диапазона 8–14 мкм использовались также для регистрации терагерцового излучения. Шаг матрицы фоточувствительных элементов составлял 51 мкм, размер пикселя – около 48 мкм. Ниже на рисунке слева приведен спектр пропускания в терагерцовом диапазоне основных элементов болометрического приемника – пленок нитрида кремния (основа поддерживающих мостиков) и оксида ванадия (собственно термочувствительного элемента) нанесенных на сапфировую подложку. Видно, что поглощение в пленке двуокиси ванадия составляет около 10%, что является достаточным для регистрации терагерцового излучения. На рисунке справа приведены примеры изображения ювелирной цепочки (диаметр звена 3 мм), полученные с использованием болометрической матрицы при подсветке объектов излучением лазера на свободных электронах (ИЯФ СО РАН) с длиной волны 130 мкм (2,3 ТГц).



Была проведена регистрация изображения на просвет и на отражения, в том числе и за преградой из диэлектрических материалов, при подсветке излучением лазера. При регистрации движущихся объектов достигнута скорость считывания до 90 кадров/сек. Пороговая мощность на длине волны 130 мкм (2,3 ТГц) составляла $200 \text{ пВт/Гц}^{1/2}$.

В целях повышения чувствительности приемников проведено сопоставление параметров различных конструкций планарных приемных антенн терагерцового диапазона, произведен выбор оптимальной конфигурации и разработан способ сопряжения антенны с элементами микроболометрической матрицы.

У11 Планарные детекторы для матричных систем видения в миллиметровом диапазоне длин волн

Закамов В.Р., Шашкин В.И., Мурель А.В.

Институт физики микроструктур РАН, Нижний Новгород, Россия

Интерес к видению различных объектов в миллиметровом диапазоне длин волн в последнее время существенно возрос. Это связано с потенциально широкими возможностями метода для применения в системах автоматического контроля, сканирующих охранных камерах и для диагностики в медицине. Излучение миллиметрового диапазона является неионизирующим и, следовательно, является безопасным для здоровья при умеренных уровнях мощности. Дальнейшее развитие систем видения в трехмиллиметровом и более коротком диапазоне длин волн связано с оптимизацией приемников: низкобарьерных диодов Шоттки и простых эффективных антенн для изготовления двумерных приёмных матричных систем.

Нами в течение ряда лет изучались и разрабатывались диоды с барьером Шоттки Al/GaAs, содержащие дельта-легированный слой кремния вблизи контакта [1]. При правильно подобранной глубине залегания дельта-слоя и величине легирования вершина потенциального барьера металл-полупроводник становится туннельно-прозрачной, что приводит к снижению эффективной высоты барьера Шоттки от 0.7 до 0.1 эВ. Такие диоды способны эффективно детектировать без подачи дополнительного напряжения смещения. В последнее время нами были разработаны модифицированные щелевые антенны на частоту 94 ГГц на основе фольгированного диэлектрика. В середину щели антенны монтировались диоды. Величина вольт-ваттной чувствительности детекторов составляет около 10000В/Вт [2]. Исследования по взаимовлиянию планарных детекторов показали возможность их плотной компоновки в матрицу с периодом $3\lambda/2$ (4.5 мм) [3].

В данной работе был сделан следующий шаг в развитии простой активной системы видения на основе линейки детекторов из 8 элементов со схемой усиления и преобразования сигнала в каждом канале. В качестве источника излучения используется генератор на лампе обратной волны, с выводом излучения рупором с коэффициентом усиления около 75. Расстояние от конца рупора до плоскости детектирования составляет около 1.5м. Сканирование плоскости размером 28x25см осуществляется с шагом равным $3\lambda/2$ или $3\lambda/4$. Перемещение линейки осуществляется электромеханически с управлением от компьютера, который также накапливает данные и производит их математическую обработку. Общее время получения изображения составляет несколько минут и ограничено временем перемещения линейки детекторов. Результатом сканирования является изображение объекта размером до 14000 пикселей.

В результате исследований было продемонстрировано, что матричные системы детекторов на основе низкобарьерных диодов с приповерхностным дельта-легированием позволяют получать изображения объектов в миллиметровом диапазоне длин волн, обнаруживать скрытые объекты, а также изучать явления дифракции и интерференции.

1. В.И. Шашкин, В.Л. Вакс, В.М. Данильцев, А.В. Масловский, А.В. Мурель, С.Д. Никифоров, Ю.И. Чеченин. Микроволновые детекторы на основе

низкобарьерных планарных диодов Шоттки и их характеристики. Изв. Вузов – Радиофизика, т.48, №6, с.544-551 (2005).

2. V.I. Shashkin, Yu.A. Drjagin, V.R. Zakamov, S.V. Krivov, L.M. Kukin, A.V. Murel, Y.I. Chechenin. Millimeter-wave Detectors Based on Antenna-coupled Low-barrier Schottky Diodes. International Journal of Infrared and Millimeter Waves, 28, 11, p.945-952 (2007).

3. В.И. Шашкин, Ю.А. Дрягин, В.Р. Закамов, С.В. Кривов, Л.М. Кукин, А.В. Мурель, Ю.И. Чеченин. Планарные детекторы для многоэлементных систем радиовидения иллиметрового диапазона длин волн. Известия вузов. Радиофизика, т.50, №12, с. (2007) .

У12 Вакуумный субматричный фотоприемный модуль ФУК-140М формата 4x288 элементов для спектрального диапазона 8-12 мкм, работающий в режиме ВЗН

Гиндин Д.А., Карпов В.В., Кузнецов Н.С., Крашенинников В.С., Петренко В.И., Семенов В.И., Васильев В.В.*

ОАО «МЗ «Сапфир», Москва, Россия

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

Разработанный субматричный фотоприемный модуль предназначен для работы в составе тепловизионных приборов и каналов, использующих сканирующие устройства для формирования изображения (режим ВЗН).

Состав модуля:

- вакуумный металлокерамический криостат;
- фоточувствительный модуль, состоящий из кристалла фотодиодных элементов (материал ГЭС КРТ МЛЭ) и кремниевого мультиплексора;
- термодатчик диодный;
- охлаждаемая диафрагма;
- узел геттерной откачки.

Основные параметры модуля:

- формат, количество ФЧЭ 288x4 (144x4x2);
- размеры ФЧЭ, мкм 28x25;
- шаг расположения ФЧЭ, мкм 56x43;
- область спектральной чувствительности, мкм 8-12;
- номинальное значение частоты выходного сигнала, МГц 4;
- средняя вольтовая чувствительность, В·Вт⁻¹ $\geq 5 \cdot 10^7$;
- средняя удельная обнаружительная способность на $\lambda_{\text{макс}}$, см·Гц^{1/2}·Вт⁻¹ $\geq 1,5 \cdot 10^{11}$;
- динамический диапазон выходного сигнала, дБ, ≥ 60 ;
- размеры полости для теплообменника, $d \times l$, мм 6x71;
- рабочая температура в зоне криостатирования, К 78±2;
- время выхода на рабочий температурный режим при охлаждении системой микрокриогенной МСМГ-3В 1/80, мин ≤ 5 ;
- масса, г 150

Модуль удовлетворяет требованиям эксплуатации в аппаратуре специального применения.

Состояние отработки модуля – завершена опытно-конструкторская разработка, этап освоения

У13 Принципы построения БИС считывания, использующих аналого-цифровое преобразование фотосигнала

Кузнецов П.А., Климанов Е.А.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Обосновывается целесообразность развития перспективных мультиплексоров по пути создания кристаллов БИС с выполнением первичной аналогово-цифровой (АЦ) обработки фотосигнала: цифро-аналоговой компенсацией темновых (фоновых) токов фотоприемников; аналого-цифровым преобразованием выходного сигнала мультиплексоров. Для упрощения схемотехнических решений и повышения их эффективности, предлагается использование принципа параллельности, состоящего в том, что, во-1-х, простейшее одноразрядное АЦ преобразование производится в каждом канале БИС (т.е. параллельно); во-2-х, вводится накопитель (память) цифровых кодов, определяющий их разрядность; в-3-х, считыванию на выход БИС подвергается уже не аналоговый, а цифровой сигнал. Применение принципа параллельности позволяет увеличить время АЦ преобразования с длительности одного пиксела до периода опроса каналов (приблизительно на 2 порядка), что значительно упрощает схемотехнику БИС мультиплексора, и, кроме того, устраняются такие недостатки аналогового считывания как: коммутационные помехи; переходные процессы, искажающие форму пиксела; межканальная взаимосвязь; шумы считывающих устройств (выходной повторитель, коммутатор); широкая полоса пропускания пикселов, много большая оптимальной полосы сигнала. Приводятся структурные схемы предлагаемых устройств и результаты компьютерного моделирования их функционирования.

У14 Влияние конструктивно-технологических ограничений схем считывания на параметры ИК ФПУ

Рева В.П., Сизов Ф.Ф.*

Институт микроприборов НАН Украины, Киев, Украина

**Институт физики полупроводников НАН им. В.Е. Лашкарёва, Киев, Россия*

Достижение практически предельных характеристик ИК фотодиодов привело к тому, что параметры ИК ФПУ сегодня определяются, в основном, параметрами схем считывания. Конструктивные особенности схем считывания для ИК ФПУ – большие размеры кристаллов и необходимость функционирования при криогенных температурах, изменяют подход к выбору технологии изготовления схем считывания (СС). Часто более высокие характеристики МДП-транзисторов не гарантируют получение функционирующих схем. Сравниваются 1.2 мкм КМОП технологии изготовления СБИС в производстве СС.

Используемые конструктивно-технологические ограничения (КТО) определяют конструкцию основных узлов СС – входных цепей стыковки с фотодиодами, блоков преобразования фототока и предварительной обработки сигналов, блоков, осуществляющих временную задержку и накопление, блоков мультиплексирования, выходных усилителей. Рассмотрено влияние КТО на наиболее распространенную схему прямой инжекции и, в частности, на конструкцию накопительной емкости. Уменьшение ее нелинейной составляющей повышает линейность преобразования, однако при определенном включении и использовании зарядо-чувствительных усилителей (ЗЧУ) нелинейный характер емкости приводит к улучшению характеристик преобразования заряд-напряжение. Приводятся примеры различных конструкций накопительных емкостей и схем ЗЧУ.

В СС возможно использование как аналогового, так и цифрового мультиплексирования. Первое, в сравнении с цифровым, дает более низкий геометрический шум, но большие межканальные связи. Для осуществления цифрового мультиплексирования необходимы малошумящие ЗЧУ и схемы выборки и хранения. Представлены конструкции различных типов мультиплексоров и оценены их предельные характеристики.

Выходной усилитель кроме низкого шума, высокой линейности, в том числе для малых сигналов, должен потреблять минимум энергии, т.к. СС работает в холодной зоне. Приводятся расчеты оптимального соотношения быстродействия и потребляемой мощности выходных усилителей. Приведены параметры СС формата 288x4 и 128x128, изготовленных на разных предприятиях по 1.2 мкм КМОП технологиям.

У15 Метод автоматизированного тестирования модулей электронной обработки сигналов в оптико-электронных приборах

Солодков А.А., Милосердов С.С.
ФГУ «22 ЦНИИ МО РФ», Мытищи, Россия

В состав современных оптико-электронных приборов входят модули электронной обработки сигналов (МЭОС), выполняющие функции выравнивания неоднородности сигналов от чувствительных элементов, замещения неработающих элементов, оптимизации яркости и контраста, улучшения качества изображений путем использования различных цифровых фильтров и т.д. Часто предлагается использовать «цепочки» алгоритмов обработки изображений, каждый из которых в отдельности дает положительный эффект, но интегральный эффект может быть несущественным.

Для тестирования и оценки эффективности МЭОС в настоящее время используется метод визуального контроля изменения качества изображения оператором-наблюдателем или результаты измерений простых показателей, характеризующих изображение, например, отношения сигнал/шум.

Операторный метод является традиционным, типовым и наиболее универсальным для тестирования и оценки эффективности МЭОС, однако он является затратным по ресурсам и объемным по времени и количеству требуемых психо-физиологических экспериментов с операторами-наблюдателями, что ограничивает его применение для получения в необходимых случаях оперативных оценок с требуемой степенью достоверности. Результаты измерений отношения сигнал/шум в зависимости от области измерения (в точке, в строке, в кадре изображения) не всегда адекватно отражают изменения качества изображения, в особенности, при применении цифровых фильтров.

Разработанный метод позволяет в автоматизированном режиме, т.е. без участия наблюдателя-оператора в принятии решений, а также без привязки к области измерения отношения сигнал/шум осуществлять тестирование МЭОС.

В основу метода положена реализованная на базе ПЭВМ процедура статистического оценивания последовательности видеоизображений тест-объекта с помощью алгоритма, обеспечивающего минимум среднеквадратического риска (алгоритма оптимального линейного приемника Зигерта-Котельникова). Решения, получаемые с использованием указанного алгоритма, при достаточно большом объеме статистических данных (около 500 кадров) адекватны решениям наблюдателей-операторов.

У16 Разработки методов получения цветного изображения с естественной цветопередачей в приборах низкоуровневого и инфракрасного видения

Wang Lingxue, Jin Weiqi, Shi Shiming, Zhao Yuanmeng
Пекинский технологический институт, Пекин, Китай

Зрение человека имеет очень узкий спектральный диапазон. При лунном или звездном освещении глаз теряет способность различать цвета и даже вообще не видит мелкие детали сцены. Приборы ночного видения (ПНВ) и тепловизоры расширяют диапазон видимости и способность наблюдения в темноте. Однако традиционные ПНВ и тепловизоры дают только черно-белое изображение. Поскольку глаз различает в сотни раз больше цветных оттенков, чем серых, «расцвечивание» черно-белого изображения позволяет получить большую информацию о целях и фоне и улучшить восприятие глубины и перспективы наблюдаемой сцены. Повышение информативности ночного видения достигается за счет многоцветных (много-полосных) ПНВ и тепловизоров ближнего, короткого, среднего и длинного ИК-диапазонов. Расцвечивание их изображений на основе предварительного слияния двух или более цветов является эффективным методом. Во-первых, делается возможным взаимная комбинация информации в двух полосах; во-вторых, разница в серых оттенках изображений становится разницей цветных изображений и получается полноцветное изображение. Однако прямое отображение двух изображений в цветовом пространстве дает ненатуральные цвета и ведет к зрительному утомлению при длительном наблюдении. Существуют два основных направления получения цветных ночных изображений: слияние двух- или многоцветных изображений на основе модели человеческого зрения и использование дневного изображения как образца для процесса наложения изображений. Последний метод называется технологией переноса цвета. В докладе представлены разработанный алгоритм и система получения цветного изображения в реальном времени с видимой натуральной цветопередачей для ПНВ и тепловизоров. Был исследован метод слияния изображений, основанный на снижении влияния второстепенных (боковых) свойств биологического видения, что обеспечивает повышения контраста в изображениях и переходов между ними, комбинируя полезную взаимную информацию и сужая динамический диапазон. Оптимальный алгоритм этого метода был реализован в системе реального времени системой из трех блоков ТМ 1300 DSP, содержащую двухканальный блок видеозахвата, усилительный модуль, основной модуль слияния изображений и модуль видеовыхода. Кроме того был предложен алгоритм переноса цвета в системе YUV (ахроматический и два цветоразностных сигнала). Низкоуровневое или тепловое изображение сначала соединяют в одно первичное цветное изображение (источник изображения) и потом его компоненты делятся в отношении дневного изображения к полученному источнику изображения. Распределение цвета и яркости с опорного дневного изображения трансформируются на источник изображения, в результате получается почти натуральное цветное изображение подобное дневному цветному изображению.

У17 Использование «аналоговой конвейерной обработки» для реализации функции ВЗН

Рева В.П., Деркач Ю.П., Коринец С.В., Голенков А.Г. *

Институт микроприборов НАН, Киев, Украина

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

Использование функции временной задержки и накопления позволяет улучшить соотношение сигнал/шум, обнаружительную способность и минимальную разрешаемую температуру в приемниках ИК излучения. Для осуществления этой функции необходимо хранение и суммирование аналоговой информации внутри кристалла схемы считывания. Это (при использовании технологий изготовления уровня не выше 0.25 мкм) предопределяет применение аналоговых методов. Обычно используются различные варианты приборов с зарядовой связью – схемы на «пожарных цепочках» (BBD), ПЗС с объемным и поверхностным каналом и другие. Физические ограничения по эффективности переноса ПЗС на низких температурах приводят к ухудшению динамических свойств ФПУ в целом. Различные коэффициенты передачи от разных ячеек ВЗН вносят нелинейность в выходной сигнал и не позволяют в полной мере улучшить соотношение сигнал/шум. Использование цифровых методов (АЦП преобразование в каждой ячейке, затем хранение и суммирование цифровых сигналов) требует либо использования очень высокого уровня технологии либо осуществления данной функции вне кристалла внешними средствами. Первый способ весьма дорогостоящий, второй не позволяет достичь предельных характеристик, из-за ухудшения соотношения сигнал/шум при выводе промежуточных сигналов. Альтернативой данным методам может являться использование «аналоговой конвейерной обработки» - хранению информации на емкостях, коммутируемых в определенной последовательности и подключаемых для суммирования к зарядочувствительному усилителю (ЗЧУ). Приводятся схемы и временные диаграммы работы ВЗН при использовании «аналоговой конвейерной обработки» для схемы считывания 576х6, изготовленной по 0.35 мкм проектным нормам.

У18 Адаптивный алгоритм многокадрового накопления пиросигнала в реальном времени

Боженко В.И., Кондратов О.П., Кондратов П.А., Ткаченко В.Ф.

Национальный университет “Львовская политехника”, Львов, Украина

Результативность дистанционного мониторинга тепловых объектов в значительной степени зависит от качества получаемых с помощью тепловизора изображений этих объектов в ИК диапазоне. Одним из применяемых действенных методов улучшения их качества является покадровое накопление полезного сигнала, позволяющее значительно снизить уровень асинхронных шумов. Известный алгоритм предполагает последовательное суммирование нескольких кадров с последующим их усреднением. При этом индикация изменений результирующего сигнала происходит через интервал времени, соответствующий выбранному количеству суммируемых кадров, что создает трудности при отслеживании динамики объекта и приводит к расфокусировкам и смазам изображения на экране монитора.

Предлагается алгоритм многокадрового накопления пиросигнала, в котором осуществлён переход от последовательного к параллельному суммированию кадров, для чего используются N субблоков памяти, соответствующих максимальному количеству накапливаемых оцифрованных попиксельно последовательностей пиросигналов N кадров. При каждом считывании и формировании пиросигналов производится синхронная попиксельная перезапись последовательностей оцифрованных пиросигналов из каждого предыдущего субблока памяти в последующий.

Здесь следует отметить, что в случае применения тепловизионной камеры на базе пировидикона (или пироэлектрической матрицы) в пиросигнале присутствует составляющая базового заряда (пьедестала) мишени. Поэтому с целью её компенсации и увеличения полезной составляющей пиросигнала после оцифровки следует подвергать разностной обработке – процедуре взаимовычитания “позитивного” и “негативного” полей кадра (полей, формируемых при открытом и закрытом obtюраторе камеры), в результате чего формируется последовательность разностных сигналов с минимальной составляющей пьедестала в каждом кадре.

Последовательность сигналов от каждого субблока памяти через коммутатор и узел масштабирования поступает на сумматор, на выходе которого формируется результирующий сигнал.

Решение о проведении операции многокадрового накопления, а также о количестве суммируемых кадров и “весе” каждого из них может приниматься в ручном режиме оператором или автоматически, как результат анализа процессором динамики пространственных и градиентных изменений теплового состояния объекта.

Предлагаемый алгоритм, по мнению авторов, близок к зрительному восприятию человеком статических и динамических картин в видимом диапазоне спектра, т.к. позволяет улучшить качество отображения объекта в статическом состоянии и свести к минимуму размытие границ изображения при перемещении объекта или изменении его теплового режима.

У19 Коррекция по сигналам сцены неоднородности многоэлементных фотоприемных устройств с микросканированием

Соляков В.Н.* , Жегалов С.И.* , Морозова В.Г.* **

*ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

**МФТИ, Долгопрудный, Россия

Рассматривается развитие метода коррекции неоднородности многоэлементных фотоприемных устройств (МФПУ) [1] в сочетании с микросканированием. Эффект микросканирования используется для точного сопоставления сигналов соседних элементов МФПУ и надежности оценивания связей всех его элементов. По связям определяются корректирующие коэффициенты и производится корректирование.

Точность оценки межэлементных связей зависит от сцены: чем однороднее по элементам падающий поток (в среднем и по изменениям), тем точнее коррекция. Это достигается либо усреднением множества различных сцен на большом интервале, либо использованием эталонного сигнала. Микросканирование решает задачу однородности потоков на более коротком временном интервале за счет того, что при микросканировании на соседние элементы МФПУ попадают полностью или частично потоки одних и тех же элементов сцены, с другой стороны, на один и тот же элемент попадают соседние элементы сцены. Это дает возможность точной сопоставимости сигналов соседних элементов посредством аппроксимации градиента потока на этих элементах. Для сканирующих МФПУ микросканированием следует считать сдвиги изображения вдоль линейки элементов ФПУ, обычно на половину элемента (высоты строки линейки) при каждом четном скане. Сдвиг на половину элемента обычно используется для повышения в два раза пространственной частоты дискретизации изображения. Для матричных («смотрящих») ФПУ микросканирование может также осуществляется для повышения частоты пространственной дискретизации. Для этого достаточно 4 положения изображения относительно матрицы: исходное положение, вправо на $\frac{1}{2}$ элемента, вниз на $\frac{1}{2}$, влево на $\frac{1}{2}$ элемента и вверх на $\frac{1}{2}$, т.е., возвращение в исходное положение. Скорость микросканирования может составлять 25 циклов в секунду.

Получено выражение для скорректированного сигнал в линейном приближении в случае с микросканированием, которое может быть представлено в виде

$$S_i^{\hat{e}}(t) = \Delta S_i(t) \cdot \hat{A}_i^{\hat{e}} + \Delta \hat{B}_i^{\hat{e}},$$

где первая составляющая содержит изменение потока на элементе относительно среднего значения в данный момент времени, а вторая составляющая содержит изменение среднего потока на i -м элементе относительно некоторого элемента, обозначенного индексом 1, общего для всех элементов ФПУ.

1. Болтарь К.О. и др. Метод коррекции неоднородности многоэлементных фотоприемных устройств по сигналам сцены// XIX Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения, Москва, Россия, 2006 г., тезисы докладов, с. 86.

У20 Нелинейная коррекция неоднородности тепловизионных фотоприемных устройств

Соляков В.Н., Жегалов С.И., Морозова В.Г.*, **

*ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

**МФТИ, Долгопрудный, Россия

Актуальной задачей для оптико-электронных систем обработки тепловизионных изображений является устранение неоднородности сигналов, обусловленной различиями в чувствительности элементов фотоприемных устройств (ФПУ). Для коррекции неоднородности обычно применяют двухточечную схему. Она исходит из предположения линейной зависимости сигнала элемента ФПУ от падающего на него потока и выравнивает сигналы элементов ФПУ относительно уровня сигнала некоторого усредненного элемента. В общем случае модель элемента не является линейной и двухточечная коррекция удовлетворительно работает в ограниченном динамическом диапазоне. С другой стороны, общая цель тепловизионного изображения предполагает получение распределения температуры на объектах наблюдаемой сцены (тепловой сцены), а попадающий на ФПУ поток не обязательно линейно зависит от температуры соответствующего элемента сцены. Указанные факторы актуализируют исследование нелинейной коррекции неоднородности и естественным шагом в этом направлении является разработка трехточечной коррекции.

Методология исследования полагает, что сигнал соответствует реальной («истинной») модели, предполагаемая модель является нелинейной (трехпараметрической), результаты коррекции соответствуют оценочной модели - оценке предполагаемой модели. Результаты коррекции «вбирают» в себя ошибки реализации предполагаемой модели, ошибки из-за конечности и неоднородности выборок сигналов, а также ошибку несоответствия предполагаемой модели «истинной».

Основным моментом в исследовании является параметрическое сопоставление потоков пар элементов ФПУ на интервале отсчетов сигналов T , и минимизация ошибки коррекции:

$$\sum_{t \in T} [\hat{A}_i \sqrt{S_i(t) + \hat{D}_i} + \hat{B}_i - \hat{A}_{i+1} \sqrt{S_{i+1}(t) + \hat{D}_{i+1}} - \hat{B}_{i+1}]^2 \rightarrow \min,$$

где $S_i(t)$ и $S_{i+1}(t)$ - сигналы элементов, $\hat{A}_i, \hat{A}_{i+1}, \hat{D}_i, \hat{D}_{i+1}, \hat{B}_i, \hat{B}_{i+1}$ - оцениваемые параметры коррекции. Для квадратичной модели сигнала определены условия точного решения коррекции. Для практического применения предложена упрощенная, линеаризуемая модель трехточечной коррекции.

У21 Результаты практического моделирования коррекции неоднородности многоэлементных фотоприемных устройств по сигналам сцены

Соляков В.Н., Жегалов С.И., Морозова В.Г.* **

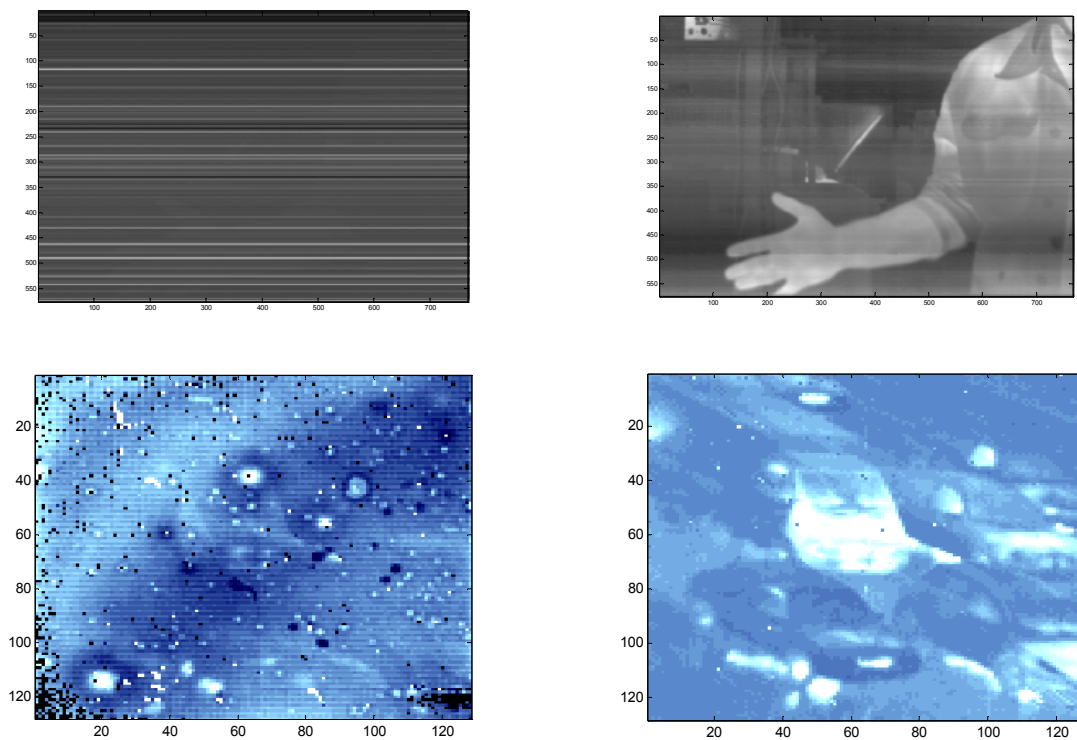
*ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

**МФТИ, Долгопрудный, Россия

Цель моделирования - исследование возможностей коррекции неоднородности по сцене, уточнение теоретических оценок точности, настройка параметров коррекции. Работа является продолжением работ [1] в направлении реализации метода и моделей коррекции, представленных в докладах на предыдущей конференции.

Процесс моделирования включает в себя ввод реальных сигналов, определение по ним корректирующих коэффициентов, корректирование и отображение на экране. Процесс осуществляется программой в среде MATLAB, ввод сигналов - из файлов предварительно записанных сигналов фотоприемного устройства (ФПУ). Моделировалась коррекция сигналов сканирующего ФПУ формата 4x288 элементов (пример на первой паре рисунков), и матричного формата 128x128 элементов (нескорректированный и скорректированный кадры – на второй паре рисунков).

Обработка реальных сигналов подтвердила правильность положенных в основу метода принципов. Вместе с тем, она показала необходимость настройки параметров по обнаружению дефектов и их обходу при формировании корректирующих коэффициентов, согласования одно- и двухпараметрической коррекции.



У22 Обработка тепловизионных изображений с низким тепловым контрастом

Соляков В.Н., Горелик В.Н., Тренин Д.Ю.*

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

*МФТИ, Долгопрудный, Россия

Известно, чтобы повысить информационность тепловизионной системы уже давно используется способ разбиения спектрального диапазона работы тепловизионного прибора на поддиапазоны. В этом случае контраст изображения сцены в определенных спектральных диапазонах для ряда объектов повышается. По этой причине, многоспектральное тепловидение естественно более информативно, и основные характеристики тепловизионного прибора, такие, как обнаружение и опознавание объектов могут быть существенно повышены при работе в более узких спектральных диапазонах при достаточной чувствительности прибора в поддиапазонах.

В данной работе предложен критерий, позволяющий исключить уменьшение контраста за счет суммирования разности сигналов, полученных в поддиапазонах, с различными знаками.

Разработан алгоритм обработки тепловизионных изображений, где яркость каждого индицируемого пикселя пропорциональна

$$K_o = \frac{\sum_{i=1}^n \left\{ \int R_i \varepsilon_{i\phi} d\lambda - \int R_i \varepsilon_{iо} d\lambda \right\}^2}{\sum_{i=1}^n \left\{ \int R_i \varepsilon_{i\phi} d\lambda + \int R_i \varepsilon_{iо} d\lambda \right\}^2},$$

где n – количество спектральных диапазонов работы прибора;

R_i – спектральная плотность мощности излучения АЧТ в i -ом диапазоне;

$\varepsilon_{i\phi}(\lambda)$ – спектральный коэффициент излучения фона;

$\varepsilon_{iо}(\lambda)$ – спектральный коэффициент излучения наблюдаемого объекта.

У23 Опознавание объектов с малым тепловым контрастом двухдиапазонной тепловизионной системой

Горелик Л.И., Полесский А.В., Соляков В.Н., Тренин Д.Ю.*

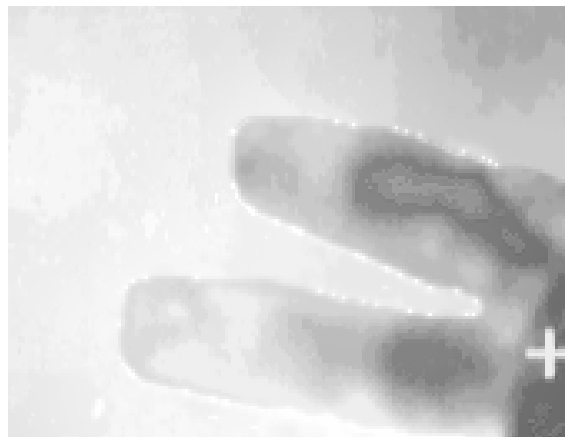
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

**МФТИ, Долгопрудный, Россия*

Проведены экспериментальные исследования по апробации алгоритмов обработки тепловизионных изображений объектов с малыми тепловыми контрастами, полученными двухдиапазонной тепловизионной системой. Система представляет собой два независимых и идентичных по оптическим характеристикам тепловизионных канала на основе матричных фотоприемных устройств (МФПУ) из InSb для спектрального диапазона 3...5 мкм и КРТ для спектрального диапазона 8...12 мкм. Приведены результаты обработки изображений объектов из материалов с различной излучательной способностью (металлы, полиэтилен, кожа) в соответствии с алгоритмами, предложенными ранее для многоспектральных тепловизионных систем, работающих по объектам с предельно малыми тепловыми контрастами.[1,2]



Слабый контраст: средний
и указательный пальцы руки – фон
(до обработки)



Результат обработки изображения

1. Горелик Л.И. Тренин Д.Ю. “Обработка тепловизионных изображений с предельно малым тепловым контрастом” Тезисы молодежной научной конференции «Физика и прогресс», С-Пб 2007

2. Тренин Д.Ю. «Обработка тепловизионных изображений с предельно малым тепловым контрастом» Труды 50-й научной конференции МФТИ Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук Часть 5 «Физическая и квантовая электроника» Москва-Долгопрудный, 2007

У24 Алгоритмы и программное обеспечение для обработки и анализа дифракционных картин микрообъектов

Власов Н.Г., Каленков Г.С.***, Каленков С.Г.*, Штанько А.Е.

МГТУ «Станкин», Москва, Россия

**МГТУ «МАМИ», Москва, Россия*

***МФТИ (ГУ), Москва, Россия*

В предыдущих работах был описан метод получения безлинзовых цифровых изображений микрообъектов, основанный на компьютерной обработке их дифракционных картин [1]. В докладе представлено программное обеспечение – голографическая студия - для работы с дифракционными изображениями, кратко представлен макет микроскопа и приведены результаты.

Макет безлинзового оптоволоконного микроскопа

Принципиальная схема оптоволоконного микроскопа представлена на рисунке 1 и была изложена в [2]. Система формирования двух когерентных сферических волн выполнена из одномодового световода с разветвителем Y-типа. Одно плечо формирует объектное поле 1, другое – опорная волна 2. Интерференционная картина регистрируется цифровой камерой 3.

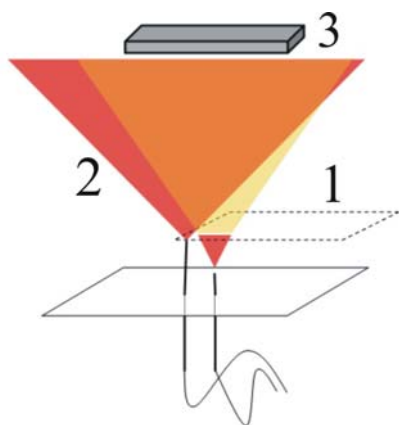


Рис. 1 Принципиальная схема оптоволоконного микроскопа

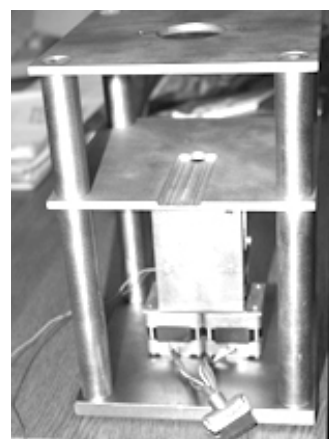


Рис. 2 Макет оптоволоконного микроскопа

Принцип работы микроскопа основан на методе фазовых шагов. Последовательно во времени регистрируются четыре цифровые голограммы, образованные интерференцией волнового поля дифракции излучения на объекте с опорным волновым полем, фаза которого при каждой экспозиции меняется на определенную величину [2]. Совместная обработка этих голограмм позволяет вычислить комплексное поле объекта в плоскости регистрации и построить его изображение. Макет микроскопа представлен на рисунке 2. В его состав входят моторизованные подвижки, управляемые через LPT порт компьютера, предназначенные для позиционирования наконечников оптоволоконна с точностью ~8мкм. Величина фазового шага регулируется пьезоэлементом, который позволяет позиционировать наконечник оптоволоконна с точностью ~0.1 мкм. Цифровые голограммы регистрируются ПЗС-матрицей фотокамеры (без объектива). В наших экспериментах использовалась матрица с числом пикселей 2048x3072.

Пакет программ анализа цифровых голограмм микрообъектов

Крупные математические пакеты, с длинным перечнем мощных алгоритмов, часто оказываются неудобными в использовании при решении задач с простой алгоритмической постановкой, но информационно емких. Как правило, крупные программы ориентированы на работу либо с символьными выражениями, либо с численными преобразованиями. Поэтому, например, представление волновых полей в математических пакетах в естественной комплексной форме и численные расчеты в такой форме, становятся отдельными задачами, требующими определенных навыков программирования и понимания внутренней логики пакета.

Предложено и разработано новое направление, связанное с обработкой дифракционных картин, полученных, в частности, в когерентном излучении. Создан набор базовых классов (библиотека) на языке C++. На основе этих классов создана программа - голографическая студия.

Основными частями предложенной программы являются: графический интерфейс с возможностью чтения, модификации и сохранения файлов и данных во всех основных графических форматах, синтаксический анализатор - анализатор строк выражений с обработкой тригонометрических функций, быстрого преобразования Фурье, процедур записи и считывания изображений и т.п., реализована поддержка макросов.

С помощью студии были восстановлены изображения по интерференционным картинам микрообъектов. Так, например, методом фазовых шагов было восстановлено изображение клеток лука (рис 3). Студия позволяет, в частности, моделировать каскад оптических преобразований для получения оптических транспарантов с заданными амплитудно-фазовыми характеристиками.

Работа выполнена при поддержке РФФИ: 06-07-08083-офи, 05-01-00551-а, 05-08-65391-а, 04-01-00650-а и грантом президента РФ НШ-2002.2003.1.

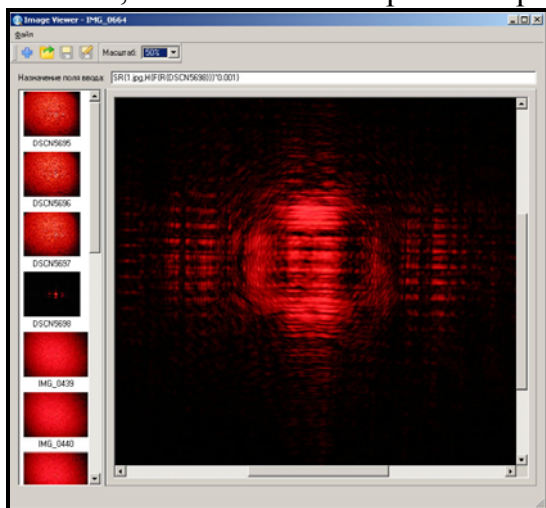


Рис. 3 Основное окно программы

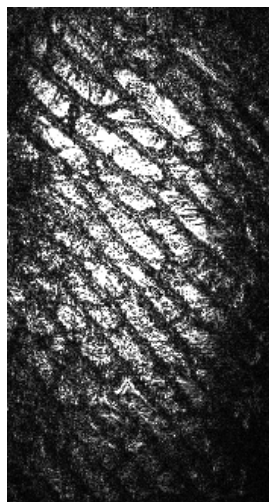


Рис. 4 Восстановленное изображение клеток лука

[1] «Non-Lens Digital Microscopy», Vlasov N.G., Kalenkov S.G., Krilov D.V., Shtanko A.E., Proc of SPIE, vol 5821, pp. 158 – 162.

[2] «Волоконно-оптический безлинзовый микроскоп», Власов Н.Г., Каленков Г.С., Каленков С.Г., Штанько А.Е., Сборник докладов ежегодной международной конференции «Математические методы распознавания образов» ММРО-13, Москва, 2007, стр. 291 – 295.

У25 Исследования стабильности параметров коррекции МФПУ

Соляков В. Н., Кортиков М.В.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Проведены исследования стабильности параметров двухточечной коррекции для матричного фотоприемного устройства (МФПУ) формата 256x256 элементов на спектральный диапазон 3-5 мкм на основе InSb. Двухточечная коррекция подразумевает определение двух параметров для каждого фоточувствительного элемента по измерениям сигналов при двух уровнях однородной засветки матрицы фоточувствительных элементов (МФЧЭ). В качестве этих параметров обычно выбираются уровень сигнала при более низком уровне засветки и дифференциальная чувствительность каждого элемента, определяемая как разность сигналов при двух уровнях засветки. В известных работах [1,2] для определения показателя корректируемости и долговременной стабильности использованы измерения сигналов после одноточечной коррекции при неизменных параметрах дифференциальной чувствительности. Эти измерения являются показателем возрастания геометрического шума МФПУ при неизменном уровне засветки, соответствующему условию одноточечной калибровки. Однако, при других уровнях засветки значение геометрического шума будет определяться как изменением параметров одноточечной коррекции, так и изменением дифференциальной чувствительности. В настоящей работе проведены одновременные измерения двух параметров, характеризующих двухточечную коррекцию, и их изменение во времени. Показано, что влияние нестабильности дифференциальной чувствительности приводит к появлению геометрического шума при уровнях засветки, близких к уровню второй калибровки, не меньших, чем изменение параметров одноточечной коррекции.

1. W. Gross, T. Hierl, M. Schulz, Correctability and long-term stability of infrared focal plane arrays, Optical Engineering, May 1999.

2. В.Н. Соляков, Р.Р. Файзуллин, Л.Д. Сагинов, А.В. Курбатов, В.В. Полунеев Исследование стабильности параметров и корректируемости многорядных матричных фотоприемников на основе КРТ фотодиодов // Тезисы XVII-й МНТК по фотоэлектронике и приборам ночного видения. – М., 2002.

У26 Фоточувствительные свойства структур In/ZnTe/CdTe/HgCdTe

Гузев А.А., Варавин В.С., Дворецкий С.А., Ковчавцев А.П., Курышев Г.Л., Ли И.И., Панова З.В., Сидоров Ю.Г., Якушев М.В.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Известно использование МДП-структур на основе HgCdTe в качестве фоточувствительных элементов спектрального диапазона 3-5 мкм. Однако для выращивания качественного подзатворного диэлектрика (двуокись и нитрид кремния) требуется проводить процесс с нагревом подложек до температур выше 180С, что резко ухудшает свойства полупроводниковых слоёв. Представляется перспективным использование широкозонных полупроводниковых пленок, выращенных на поверхности рабочего слоя вместо подзатворного диэлектрика непосредственно после окончания роста рабочего слоя.

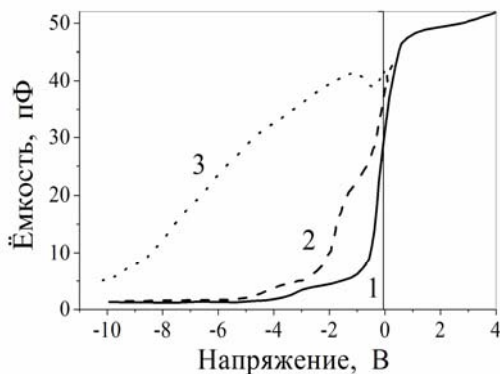


Рис. ВФХ структуры In/CdTe/ZnTe /HgCdTe при 78К на частоте 16 кГц без подсветки (кривая 1) и с разными уровнями подсветки в ИК-диапазоне: T~300К (кривая 2) и T~500К (кривая 3).

соответственно. На поверхность HgCdTe, толщиной 6-8 мкм, без изъятия образцов на атмосферу наносились последовательно слои широкозонных полупроводников CdTe и ZnTe. Эти слои при низких температурах имеют высокое сопротивление и могут использоваться в качестве изолирующих пленок. Приложенный потенциал между полупроводником и металлом в такой системе, как и в МДП-структурах, позволяет управлять изгибом энергетических зон в полупроводнике, создавая обеднение и инверсию при подаче постоянного напряжения или неравновесное обеднение при импульсном напряжении, реализуя при этом фотовольтаический режим считывания фотосигнала или режим неравновесного обеднения. Измерения ВАХ показали, что плотность тока в интервале напряжений $-10\text{В} < V < 4\text{В}$, составляла величину $(4-40) \times 10^{-10} \text{ А/см}^2$, что сравнимо с токами через диэлектрик, используемый в МДП-структурах на HgCdTe. Анализ ВФХ и $G(V)$ показал, что ростовая граница раздела HgCdTe/CdTe обладает малой плотностью встроенного заряда ($< 10^{11} \text{ см}^{-2}$), низким уровнем плотности поверхностных состояний ($< 5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2} \text{ эВ}^{-1}$) и малым гистерезисом ($< 1\text{В}$). Структуры обладают фоточувствительностью, что показывает рисунок на примере ВФХ при ИК подсветке. Здесь при непрозрачном металлическом электроде ($0,5 \times 0,5 \text{ мм}^2$). Подсветка осуществляется по периметру электрода.

Проведено исследование вольт-амперных характеристик (ВАХ), вольт-фарадных характеристик (ВФХ) и проводимости на переменном сигнале $G(V)$ при комнатной и азотной температурах структур In/ZnTe/CdTe/HgCdTe.

Гетероэпитаксиальные структуры теллурида кадмия и ртути для спектрального диапазона $\lambda_c = 3,6-4,4$ мкм выращены методом молекулярно-лучевой эпитаксии на подложках GaAs (310). Концентрация носителей заряда, подвижность и времена жизни при 78К составляли $(2-20) \times 10^{13} \text{ см}^{-3}$, $(0,15-1,5) \times 10^4 \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$ и 3-30 мкс,

У27 Особенности полупроводниковых материалов как оптических сред для инфракрасной области спектра

Астафьев Н.И., Несмелова И.М.
ФГУП «НПО ГИПО», Казань, Россия

Основными материалами для оптических элементов тепловизионных систем различного назначения являются моно- и поликристаллические полупроводники. В своём большинстве они удовлетворяют технологическим и эксплуатационным требованиям, но имеют ряд особенностей, определяющих оптимальные условия их использования. Знание этих особенностей необходимо разработчикам тепловизионных систем.

В настоящей работе рассмотрена связь коэффициента поглощения в ИК области спектра с типом проводимости и удельным сопротивлением полупроводника. Показано, что для отбора материала с минимальным коэффициентом поглощения эти сведения должны быть дополнены данными о величине подвижности основных носителей заряда материала. Обращено внимания на сильную температурную зависимость коэффициента поглощения. На примере германия, кремния, селенида цинка продемонстрирована связь предельной рабочей температуры с величиной запрещённой зоны полупроводника.

Теоретически и экспериментально исследовано влияние засветки из области собственного поглощения германия электронного типа проводимости на его прозрачность в области поглощения свободными носителями заряда. Расчёты показали, что коэффициент поглощения на длине волны 10 мкм нелинейно возрастает с повышением интенсивности коротковолновой засветки, при этом его рост заметно слабее для образцов с меньшим удельным сопротивлением. Даны оценки возможности применения селенида цинка в качестве оптической среды для ИК-систем.

Изучено пропускание германия в ИК области спектра непросветлённого, просветленного с одной поверхности и просветлённого с обеих поверхностей образца с фильтрацией и без фильтрации излучения из собственной области поглощения полупроводника. Показано, что фильтрация приводит к некоторому увеличению пропускания. Эти результаты указывают на необходимость применения фильтров, отсекающих излучение из собственной области поглощения полупроводника, для получения достоверных спектров пропускания на спектрофотометрах с высокотемпературными источниками излучения ($T > 1300^{\circ}\text{C}$).

У28 Локализованные состояния и чувствительность пленок PbSnTe:In в субмиллиметровой области спектра

Климов А.Э., Шумский В.Н.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

В литературе неоднократно обсуждалась роль локализованных состояний, ответственных как за возникновение долговременных релаксаций фототока в PbSnTe:In, так и за фоточувствительность в субмиллиметровой области спектра [1, 2]. Ранее [3] было установлено, что ток в пленках PbSnTe:In носит инжекционный характер и ограничен пространственным зарядом.

В данной работе проведен анализ вольтамперных характеристик пленочных структур PbSnTe:In с шириной запрещенной зоны около 0,06 эВ при $T=4,2$ К, измеренных в широком диапазоне скоростей изменения напряжения (0,1-100 мВ/с). Это позволило наблюдать динамику процессов, связанных с захватом электронов на ловушки. В рамках теории инжекционных токов, ограниченных пространственным зарядом в присутствии ловушек, рассчитано распределение ловушек по энергии в запрещенной зоне (рис. 1).

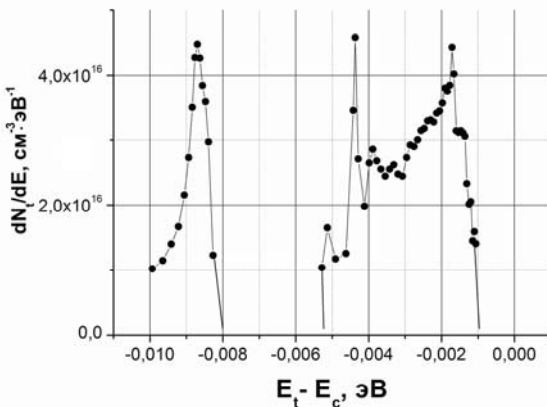


Рис. 1. Распределение ловушек по энергии в запрещенной зоне.

Чувствительность пленок PbSnTe:In в субмиллиметровом диапазоне длин волн была исследована на лазере на свободных электронах на длинах волн 130 и 198 мкм. Полученные результаты согласуются с развитыми в [3] представлениями о роли ловушек в PbSnTe:In. Обсуждаются пороговые и временные характеристики фотоприемников субмиллиметровой области спектра на основе пленочных структур PbSnTe:In.

[1] В. Akimov, A. Dmitriev, D. Khokhlov and L. Ryabova, Phys. Stat. Sol. (a) **137**, 9 (1993).

[2] A.N. Akimov, V.G. Erkov, V.V. Kubarev, E.L. Molodtsova, A.E. Klimov, and V.N. Shumsky, Semiconductors **40**, 164 (2006).

[3] A.N. Akimov, V.G. Erkov, A.E. Klimov, E.L. Molodtsova, S.P. Suprun and V.N. Shumsky, Semiconductors **39**, 533 (2005).

У29 Прогресс в коррекции чувствительности МФПУ по сигналам сцены

Jin Weiqi, Sui jing, Dong Liquan, Cao Fengmei, Cao Yang, Liu Chongliang, Liu Xiu
Пекинский политехнический институт, Пекин, Китай

С увеличением форматов ИК фокальных матриц геометрический шум, вызванный неоднородностью чувствительности отдельных приемников, становится одним из главных факторов, ограничивающим качество изображения. Для решения этой проблемы мы выбрали метод коррекции неоднородности (МКН), основанный на изображении сцены (СМКН), который успешно развивается в последние годы. Этот метод не требует покрытия всего изображаемого поля зрения; он обновляет усиление и смещение неоднородности сенсоров матрицы в соответствии с данными сцены. Он может также компенсировать температурный дрейф во время рабочего процесса. СМКН основан на адаптивной фильтрации, нейронной сети отдельного кадра, алгоритме постоянного статистического ограничения и оценке движения. Получены результаты по коррекции реального ИК видео и работы по СМКН находятся в прикладной стадии.

У30 Система обработки информации прибора ориентации по звездам КА

Исаков А.Н., Федосеев В.И., Абакумов В.М.
ОАО «НПП «Геофизика-Космос», Москва, Россия

Рассмотрены основные вопросы цифровой обработки сигналов в современных оптико-электронных приборах (ОЭП) ориентации по звездам. На примере разрабатываемого в ОАО "НПП "Геофизика-Космос" звездного прибора представлены возможные режимы работы приборов данного типа, изложены основные алгоритмы цифровой обработки информации.

Современные ОЭП ориентации по звездам имеют следующую структуру:

- оптическая система;
- ФПУ на базе ПЗС-матриц или матриц с активными пикселями;
- электронный тракт предварительной обработки сигнала;
- вычислительный узел.

Использование матричных ФПУ во многом определяет подход к разработке приборов данного типа: большой объем входной информации и высокий темп ее обновления требует создания сложных и эффективных алгоритмов ее обработки в вычислительном узле. Разработка алгоритмического обеспечения и его отработка на математических моделях является одним из наиболее важных этапов создания прибора.

В настоящее время в ОАО "НПП "Геофизика-Космос" разрабатывается ОЭП ориентации по звездам, в котором предусмотрены следующие режимы работы:

1. Режим готовности — реализуется сразу после включения прибора; в этом режиме прибор производит самотестирование и ожидает команды на последующие режимы.

2. Режим автономного определения ориентации (основной режим работы прибора). Прибор выполняет обнаружение и распознавание группы звезд, находящихся в его поле зрения, определяет углы ориентации собственной системы координат относительно геоцентрической и составляющие угловой скорости.

3. Режим прецизионного определения ориентации (реализуется при малых угловых скоростях КА). В этом режиме включаются дополнительные режимы накопления и фильтрации, позволяющие уменьшить шумовую погрешность.

4. Режим работы при больших угловых скоростях. Используется для измерения угловых скоростей.

5. Режим информационного комплексирования двух приборов. Этот режим позволяет уменьшить погрешность определения ориентации.

6. Режим информационного комплексирования с гироскопическими датчиками угловой скорости. Этот режим позволяет прогнозировать перемещение звезд в поле зрения прибора в динамических режимах функционирования КА в нештатных ситуациях.

7. Режим обнаружения — в этом режиме прибор выполняет обнаружение и распознавание группы звезд. Используется для анализа нештатных ситуаций.

8. Режим слежения включается по специальной команде после режима обнаружения. В этом режиме прибор выдает информацию об углах ориентации, угловой скорости и звездах, за которыми ведется слежение. Используется для анализа нештатных ситуаций.

Работа в каждом из приведенных режимов достигается за счет последовательного выполнения отдельных алгоритмов обработки информации. Также предусмотрены алгоритмы, выполняемые периодически, вне зависимости от режима.

В докладе приведен перечень основных функциональных алгоритмов, определены взаимосвязи между ними, указаны основные характеристики и условия эксплуатации прибора.

У31 Фотоумножитель с GaAs фотокатодом и кодирующим коллектором для быстродействующей системы формирования изображения в режиме счёта одиночных фотонов

Бакин В.В.* , Косолобов С.Н.* , Терехов А.С.* ** , Шайблер Г.Э.* , де-Бур В.Г.* ** ,
Плохотниченко В.Л.* ** , Бескин Г.М.* ** , Карпов С.В.* **

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

** *Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия*

*** *Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, Россия*

Чувствительность современных телевизионных систем, созданных на основе мегапиксельных кремниевых ПЗС – матриц, достигла столь высокого уровня, что позволяет регистрировать изображения в режиме счёта одиночных фотонов. К сожалению, однофотонная чувствительность ПЗС - систем достигается за счёт увеличения длительности кадра и поэтому такие системы могут эффективно использоваться только для регистрации «малоподвижных» сцен. Быстродействующие системы формирования изображений мегапиксельного формата, обладающие однофотонной чувствительностью, создаются на базе специализированных фотоумножителей (ФЭУ). ФЭУ состоит из полупрозрачного фотокатода, 2 или 3 микроканальных платин (МКП) и кодирующего коллектора (КК). Разработано и создано несколько типов кодирующего коллектора, таких как резистивный анод и сегментированный анод. КК вместе со специализированным электронным устройством позволяет вычислять положение центра масс электронного облака, вызванного эмиссией фотокатодом одиночного электрона. Компьютерное накопление такой информации позволяет получать картину двумерного распределения однофотонных событий. Выбор фотокатода и типа кодирующего коллектора зависит от применения ФЭУ. В данной работе сообщается о ФЭУ, предназначенном для астрофизических наблюдений. ФЭУ состоит из полупрозрачного GaAs-фотокатода с рабочим диаметром 18 мм и увеличенной чувствительностью в коротковолновой области спектра и двух МКП. В качестве КК использовались 16 независимых анодов, вписанных в круг диаметром ~25 мм. Фотография ФЭУ приведена на рис. 1.

Квантовая эффективность фотокатода в максимуме (длина волны ~630 нм) превышала 47%, а её распределение по площади, измеренное на длине волны 630 нм (см. рис. 2) показывает хорошую однородность. Измерены температурные зависимости скорости темновых счетов ФЭУ и квантовой эффективности фотокатода. В амплитудном распределении ФЭУ наблюдался одноэлектронный пик, а его коэффициент усиления превышал 10^6 . Для расчета центров электронных облаков разработана специализированная электроника. Показано, что пространственное разрешение системы составляет 25 мкм.



Рис.1 Фотоумножитель.

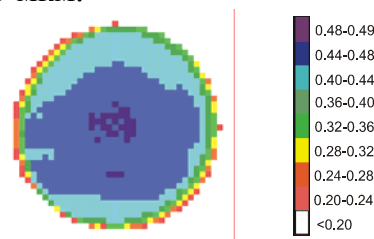


Рис. 2 Распределение по площади квантовой эффективности фотокатода фотоумножителя, измеренное на длине волны 630нм

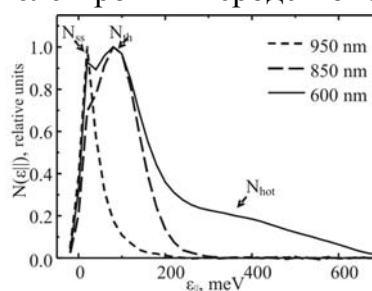
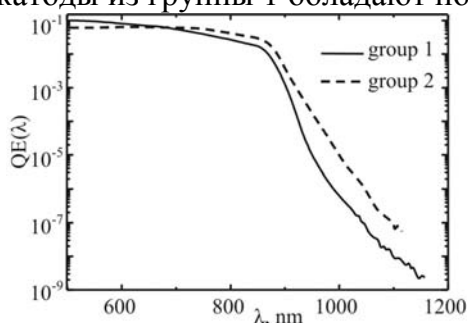
УЗ2 Энергетические распределения электронов, эмитированных мультищелочными фотокатодами с отрицательным и положительным электронным сродством

Забуслаев С.В., Нестеров И.А., Локтионов В.И., Бакин В.В.* , Шайблер Г.Э.* , Терехов А.С.*

ОАО «Катод», Новосибирск, Россия

* Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Несмотря на долгую историю разработок и конкуренцию с фотокатодами из GaAs, мультищелочные фотокатоды на основе $\text{Na}_2\text{KSb}(\text{Sb},\text{Cs})$ продолжают использоваться для решения ряда важных задач и поэтому дальнейшие исследования их свойств, направленные на улучшение параметров, сохраняют актуальность. В данной работе исследовались две группы фотокатодов, приготовленные по различным технологиям и отличающиеся отношением Δ квантовых эффективностей QE, измеренных на длинах волн 850 и 550 нм. В группу 1 входили фотокатоды с $\Delta < 0.2$, а группу 2 – фотокатоды с $\Delta > 0.5$. На рис. 1. приведены типичные спектры $QE(\lambda)$ для фотокатодов из обеих групп. Из рисунка следует, что при примерно равных интегральных чувствительностях 500 – 600 мкА/лм, инфракрасная чувствительность у фотокатодов группы 2 существенно выше. Кроме этого, в спектрах $QE(\lambda)$ фотокатодов обеих групп наблюдаются длинноволновые «хвосты» для $\lambda > 850$ нм, обусловленные фотоэмиссией с поверхностных состояний. Для получения дополнительных данных, были измерены энергетические распределения $N(\epsilon_{\parallel})$ эмитированных электронов. Измерения $N(\epsilon_{\parallel})$ проводились методом тормозящего напряжения, приложенного между фотокатодом и МКП. Результаты измерений для фотокатода из группы 2 показаны на рис. 2. Из рисунка следует, что при $\lambda > 900$ нм, форма пика $N_{ss}(\epsilon_{\parallel})$ соответствует фотоэмиссии с поверхностных состояний. При уменьшении λ до ~ 850 нм на высокоэнергетическом крыле пика $N_{ss}(\epsilon_{\parallel})$ появляется дополнительный пик $N_{th}(\epsilon_{\parallel})$. Форма $N_{th}(\epsilon_{\parallel})$ не зависит от энергии фотона - это указывает на то, что данный пик обусловлен эмиссией термализованных электронов и, следовательно, фотокатоды из группы 2 обладают эффективным отрицательным электронным сродством. Величина ОЭС, определённая по полуширине пика $N_{th}(\epsilon_{\parallel})$, равна 80 – 120 мэВ. При уменьшении λ до ~ 600 нм на высокоэнергетическом крыле $N_{th}(\epsilon_{\parallel})$ появляется «широкое» плечо $N_{hot}(\epsilon_{\parallel})$, обусловленное вкладом в фотоэмиссию нетермализованных электронов. Амплитуда и ширина $N_{hot}(\epsilon_{\parallel})$ увеличиваются с уменьшением λ . В распределениях $N(\epsilon_{\parallel})$, измеренных для фотокатодов из группы 1, пик $N_{th}(\epsilon_{\parallel})$ отсутствует и широкое плечо $N_{hot}(\epsilon_{\parallel})$ появляется непосредственно на высокоэнергетическом крыле пика $N_{ss}(\epsilon_{\parallel})$. Такое поведение $N(\epsilon_{\parallel})$ показывает, что фотокатоды из группы 1 обладают положительным электронным сродством.



**УЗЗ Новый метод определения отношения «сигнал/шум» и
распределения шумовых импульсов в
электронно-оптических преобразователях**

Xiang Shiming, Shi Feng, Guo Hui

Сианьский институт прикладной оптики, Сиань, Китай

Отношение «сигнал/шум» (С/Ш) и спектр распределение амплитуд шумовых импульсов (ШИАР) являются важнейшими параметрами, определяющими качество электронно-оптических преобразователей (ЭОП). На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований предлагается новый метод измерения этих параметров, в котором вместо ФЭУ используется калиброванный ПЗС, а спектральная электронная аппаратура заменена на программу MATLAB7,0, модифицированную для обработки и отображения измеряемых результатов. По сравнению с традиционным, новый метод обладает рядом новых свойств в теории и технике. Во-первых, сигнал с экрана ЭОП детектируется как двумерное шумовое изображение в пространственной области вместо одномерного сигнала шума в временной координате. Во-вторых, легко и быстро можно получить одновременно данные о С/Ш, ШИАР и другие данные о проверяемом приборе. В-третьих, новый метод может использоваться как исследовательский инструмент для анализа и обработки шумовых изображений в низкоуровневых технологиях посредством САМ моделирования. Предлагаемая идея и ее реализация могут оказаться полезным инструментом для специалистов в данной области.

У34 Алгоритм обработки двухспектральных псевдоцветных изображений на базе характерных уровней

Ni Guoqiang Qin Qingwang Xiao Manjun

Пекинский технологический институт, Пекин, Китай

В докладе представлен алгоритм получения инфракрасного двухспектрального псевдоцветного совмещенного изображения на основе характерных уровней, использующий информационные характеристики детектирования и распознавания мишени на ее фоне, поскольку они имеют разные коэффициенты излучения на различных длинах волн. Совмещенное двухспектральное ИК изображение меньше подвержено действию неблагоприятных атмосферных и погодных условий, улучшая способность ИК системы к распознаванию целей. Алгоритм вводит псевдоцвета в процесс совмещения в соответствии с визуальными характеристиками зрения, для выделения мишени в ИК изображении на возможно более далеких расстояниях так, что слияние изображений дает для глаза более воспринимаемое цветным зрением изображение. Алгоритм использует правила слияния характерных цветов, которые обеспечивают лучшую возможность для последующей обработки изображения. Моделирование результатов показало хороший визуальный эффект наблюдения и хорошие объективные характеристики изображения.

У35 Прогрессивная и экономичная концепция контроля оптико-электронных систем на всех стадиях их жизненного цикла

Dario Cabib, R.A. Buckwald, Shimon Nirkin, Moshe Lavi, Oded Neria,
Claudia Ben Yaakov, Efraim Tzafir, Moshe Blau, Jacob Dolev
CI Systems Ltd., Израиль

На всех стадиях жизненного цикла оптико-электронных систем (разработка, производство, техобслуживание, профилактика) их контроль требует больших человеческих и временных затрат. Каждая подсистема (блок) и система в целом проверяются тестирующей системой печатных плат, содержащей оборудование для формирования требуемых параметров и программное обеспечение для проверки систем управления и контроля. Очень большая часть человеческих и временных затрат уходит на уточнение и перепрограммирование контрольных программ и на ручную установку определенных входных сигналов в узловых точках, определяемых программой испытаний.

Компанией CI была разработана программа управления контролем – СТЕ (CI Test Executive), являющаяся важным этапом в экономии человеческих и временных затрат, требуемых для контроля оптико-электронных систем. Концепция этой программы состоит в следующем:

- Программа может напрямую устанавливать связь с любым проверяемым блоком, способным выдать информацию для автоматической установки параметров перед контролем.

- Пользователь может легко перепрограммировать программу обмена информацией с проверяемым блоком через созданный специальный Excel файл, без помощи тестовой системы производителя.

- Интерфейсный экран автоматически отражает каждое новое перепрограммирование Excel файлом и новую программу проверки, созданную этим файлом.

- СТЕ может имитировать выходные сигналы схемы с введением ошибок с одновременным выводом на монитор, а также на другие элементы оборудования.

- Сигналы правильности проверяемой схемы передаются в режиме on-line для удобства и экономии времени контролера.

У36 Система вождения автомобилей ночью

Веселовский И.А., Добровольский Ю.А., Кошавцев Н.Ф., Лелейкин В.И.,
Локтионов В.И.*, Шустов Н.М.

Филиал ОАО «Катод» СКБ приборов ночного видения, Москва, Россия

**ОАО «Катод, Новосибирск, Россия*

Разработано три системы вождения автомобилей ночью:

- система вождения на основе ПЗС матрицы и инфракрасного осветителя на основе светодиодов, работающих в непрерывном режиме;
- система вождения на основе ЭОП, сочлененного с ПЗС матрицей, и осветителя на основе светодиодов, работающих в непрерывном режиме;
- импульсная система вождения на основе ЭОП, сочлененного с ПЗС матрицей, и осветителем на основе светодиодов, работающих в импульсном режиме стробирования симпульсным режимом ЭОП.

Системы вождения с непрерывным подсветом обеспечивают вождение автомобилей при спокойной световой обстановке на дороге (небольшое количество встречных автомобилей) и относительно хороших погодных условиях (метеорологическая дальность видения не менее 5 км). При наличии дымки, тумана, осадков, пыли, интенсивного встречного потока автомобилей вождение возможно только с импульсной системой вождения, исключаяющей свет обратного рассеяния и ослабляющей свет встречных фар.

У37 Высокопрецизионные лазерные технологии изготовления приборов ракетно-космической техники

Вятлев П.А., Полищук Г.М., Пичхадзе К.М., Сысоев В.К.
ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина», Химки, Россия

Повышение эксплуатационных характеристик приборов ракетно-космической техники во многом предопределяется технологиями их изготовления.

Одним из перспективных направлений обработки материалов является использование лазерного излучения для этих целей, которое благодаря своим высокоэнергетическим характеристикам, разнообразным спектральным, пространственно-временным параметрам и постоянному усовершенствованию этих свойств позволяет реализовать самые разнообразные технологии.

При обработке материалов лазерным излучением помимо высокой точности размерной обработки возможно увеличение качества изделий, как например таких, как прочность.

В представленной работе рассматривается ряд перспективных высокопрецизионных лазерных технологий:

- высокоточная лазерная перфорация титановых пластин для фильтров и экранно-вакуумной теплоизоляции, при этом перфорированный материал лазерным излучением обладает высокой механической прочностью;

- высокопрочная гибридная светолазерная сварка тонких материалов, таких как титан;

- высокоточное управляемое лазерное термораскалывание хрупких неметаллических материалов, таких как стеклянные термооптические покрытия космических радиаторов.

У38 Модель усиления тока для резистивно-связанных каналов МКП

Беркин А.Б., Васильев В.В.

Новосибирский государственный технический университет Новосибирск, Россия

Микроканальные пластины (МКП) широко используются для усиления яркости в электронно-оптических преобразователях. При низкой освещенности коэффициенты усиления тока одинаковы во всех каналах, имеет место режим линейного усиления и неискаженная передача изображения. Однако в режимах, близких к токовому насыщению, каналы с меньшим током имеют большее усиление, что вызывает изменение контраста изображения.

Если существует резистивная электрическая связь между каналами, обусловленная конечной величиной сопротивления межканальных промежутков, то усиление тока в отдельном канале становится зависимым от тока в смежных каналах. Поэтому перепад тока и контраст передаются через МКП иначе, чем в отсутствие связи. Чтобы выявить эффекты взаимодействия связанных каналов, необходимо рассчитать взаимно согласованные распределения тока и потенциала по длине каналов и определить тем самым выходные токи при заданных значениях токов на входе каналов.

В работе представлена расчетная модель для определения коэффициентов усиления и коэффициента передачи контраста в системе двух резистивно-связанных каналов МКП. Для построения эквивалентной схемы канал представлен N-звенной цепочкой резистивных элементов и генераторов наведенного тока. Входными параметрами задачи являются напряжение МКП, токи на входе каналов, сопротивления канала и межканального промежутка. Методами теории электрических цепей получены расчетные уравнения для определения распределения поля и токов в каналах. Максимальная погрешность вычислений в итерационной процедуре задается величиной 0.1%.

Показана возможность использования предложенной модели для исследования влияния резистивной связи между каналами на передачу контраста изображения через МКП. Максимальное ухудшение передачи контраста наблюдается при входных токах в канал МКП, соответствующих переходу от линейного к нелинейному режиму усиления.

Предлагаемая модель будет полезна как при разработке технологии изготовления МКП, так и при выборе режима ее работы в составе ЭОП.

У39 Развитие оптико-электронных приборов наблюдения и прицеливания в направлении от односпектральных к одноканальным многоспектральным системам на примерах работ ОКБ ОАО «РОМЗ»

Медведев А.В., Иваницкий В.Д., Князева С.Н.

ОАО «РОМЗ», Ростов-Ярославский, Россия

Обзор общих тенденций разработки и производства наблюдательных и прицельных приборов, работающих в различных областях спектра – от видимой до ближней и средней инфракрасной.

Обзор наиболее распространенных одноканальных узкоспектральных приборов производства ОАО «РОМЗ».

Обзор разработок ОАО «РОМЗ», включающих обширный спектр наблюдательных и прицельных приборов для работы в широкой области спектра: от многоканальных, в которых каждый канал предназначен для работы в достаточно ограниченной спектральной области, до одноканальных широкоспектральных, разработанных с использованием новых перспективных систем визуализации изображения, новых оптических материалов и покрытий.

У40 Мультиспектральный тепловизор с фильтрующим устройством на основе наклонного интерферометра Фабри-Перо

Свиридов А.Н., Филачев А.М., Пономаренко В.П., Бурлаков И.Д., Дирочка А.И.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Предложен мультиспектральный тепловизор (МСТ) с фильтрующим устройством на основе наклонного интерферометра Фабри-Перо. Разработана математическая модель и проведен расчет основных характеристик устройства. Отличительной особенностью и основным достоинством предложенного МСТ, является принципиальная возможность регистрировать быстропротекающие процессы, путем получения за один кадр их мгновенного “изображения с разноцветными строками”, т.е. изображения, в котором каждая строка отображает интенсивность излучения только с определенной длиной волны, соответствующей номеру этой строки от оптически сопряженной с этой строкой полосы сцены. Такое изображение получается без всякого сканирования за время накопления кадра $\sim 10^{-2} \dots 10^{-4}$ с.

При наблюдении сцены с медленным изменением температур, координат и других характеристик объектов этот же МСТ обеспечивает накопление пространственной и спектральной информации (“куба данных”) путем сканирования изображения в плоскости матричного приемника, осуществляемого с помощью качания установленного перед объективом зеркала вокруг оси, параллельной строкам матричного приемника излучения. В этом случае можно получать монохромные изображения в любой из N_y (где: N_y - число строк матричного приемника) узких спектральных полос, рабочего диапазона ФУ.

Ожидается, что подобные устройства могут быть пригодны для получения пространственной и спектральной информации о быстро протекающих явлениях, например, взрывах.

У41 Приборы ориентации по Земле на основе неохлаждаемых микроболометрических матричных приёмников для космических аппаратов (ПОЗ)

Пирогов М.Г., Видецких Ю.А., Федосеев В.И., Варламов В.И., Зензинов С.Ю., Колосов М.П., Стрижова Н.М., Гебгарт А.Я., Денисов В.В., Терехов М.А.
ОАО «НПП «Геофизика – Космос», Москва, Россия

В ОАО «НПП «Геофизика – Космос» разрабатывается семейство 2-х координатных оптико-электронных статических приборов ориентации по Земле (ПОЗ) для различных типов КА, принцип действия которых заключается в приёме излучения от Земли в ИК-диапазоне спектра, преобразовании его в электрические сигналы, несущие информацию о положении Земли в системе координат прибора, с помощью многоэлементного приемника ИК излучения. По информации, содержащейся в выходных сигналах приёмника, в цифровом вычислителе прибора определяются углы отклонения оси КА от направления на Землю по двум координатам.

Основной проблемой при создании ПОЗ является сочетание высокой точности, малой массы и большого срока службы. Отсюда вытекает основное направление работ – создание приборов на базе матричного болометрического приёмника.

Структурная схема ПОЗ представлена на рис. 1. Объектив ПОЗ – линзовый германиевый, поле зрения 176° , относительное отверстие 1:2 для спектрального диапазона 7...14 мкм, либо 1:1,3 для спектрального диапазона 14...16 мкм. Объектив имеет встроенную систему термостабилизации и внутренний калибровочный затвор – зеркало. ФПУ - болометрическая матрица формата 640 x 480 с размером пиксела 25 x 25 мкм. Модуль вычислительный (МВ) реализован на базе ЦСП 1879ВМ4, с тактовой частотой 250 МГц, внутренней статической оперативной памятью общим объемом 2 Мбит. В МВ реализованы следующие алгоритмы : наземной и полётной калибровки, предобработки кадров, поиска и обнаружения Земли, определения координат центра изображения Земли. Общий вид ПОЗ представлен на рис. 2.

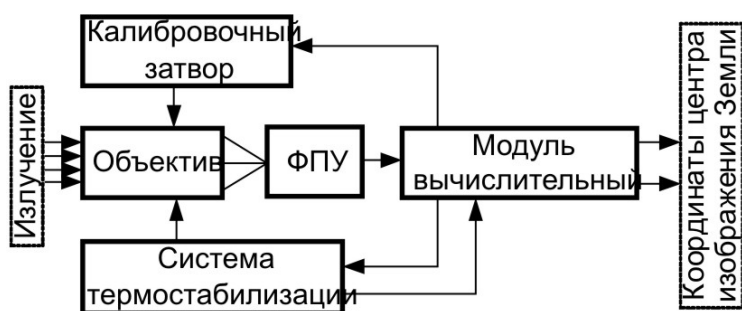


Рис. 1. Структурная схема ПОЗ

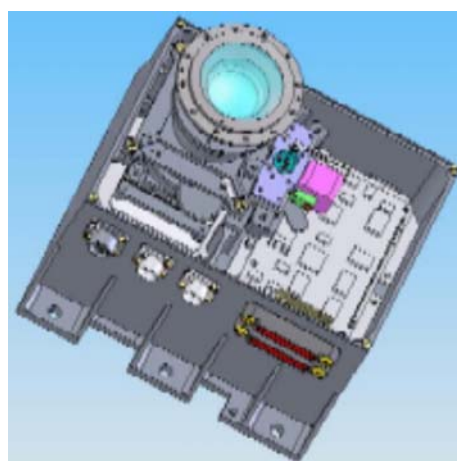


Рис. 2. Общий вид ПОЗ

Сводка основных характеристик ПОЗ представлена в таблице 1.

Таблица 1.

Характеристика	Значение
Диапазон высот	180÷ 40000 км
Предельная погрешность	< 5 угл. мин.
Случайная составляющая погрешности (3σ)	< 3 угл. мин.
Масса прибора	< 2 кг
Потребляемая мощность	~ 6.5 Вт
Ресурс прибора	150 тыс. часов

Кроме указанного ПОЗ разрабатывается также вариант для высот 12000÷40000 км массой ~ 1.1 кг на основе болометрической матрицы формата 320 x 240 с предельной погрешностью 3.5 угл. мин.

У42 Активно-импульсный прибор ночного видения для области спектра 0,9 – 1,7 мкм

Белоконев В.М., Волков В.Г., Леонова Г.А., Саликов В.Л.
ФГУП «Альфа», Москва, Россия

Рассматривается схема и описываются основные технические характеристики портативного активно-импульсного ночного бинокля. Он обеспечивает распознавание ростовой фигуры человека в пассивном режиме на дальности до 500 м (звездная ночь), в активно-импульсном режиме – на дальности до 800 м. Угол поля зрения бинокля в пассивном режиме составляет 10° , в активно-импульсном режиме $1,5 \times 0,75^\circ$, точность измерения дальности не хуже ± 10 м, масса не более 3 кг, энергопотребление не более 5 Вт при питании от напряжения 12 В постоянного тока.

**У43 Модернизация системы поиска и наведения Су-27 на основе
двухцветной матрицы 768x8**

Fan hongbo, Kang Rixin

Куньминский институт физики, Куньмин, Китай

Предлагается модернизация бортовой инфракрасной системы поиска и слежения (IRST) истребителя Су-27 на основе двухцветной матрицы второго поколения формата 768x8, работающей в средне- и длинноволновой ИК области, без изменения формы и размеров и интерфейсов имеющейся системы. Благодаря методу пассивного дальнометрирования, модернизированный вариант IRST может определять дальность на более дальних расстояниях и с большей точностью, что также способствует повышению характеристик системы. Модернизация повышает совместные возможности поисковой системы и системы бортового оружия и, в конечном счете, повышает тактико-технические характеристики истребителя.

**У44 Исследование технологических возможностей создания
многоспектральных ИК-приборов**

Потелов В.В., Сеник Б.Н.

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

Одной из актуальных задач сегодняшнего дня является решение целого ряда технических проблем, связанных с расширением возможностей оптико-электронных приборов и комплексов, а именно: возможность одновременного функционирования в видимом и ИК диапазонах, что очень важно как для изделий гражданского, так и специального назначения (повышение информативности и обеспечение более широких эксплуатационных характеристик изделий).

В докладе рассмотрены два основных аспекта проблемы:

– исследование оптических и физико-химических параметров целого ряда оптических кристаллов (ZnS, ZnSe, KCl, NaCl и др.) позволяющих обеспечить расчет и изготовление оптической системы объектива с высокими выходными параметрами;

– возможность синтеза оптических покрытий, работающих в широком видимом и ИК диапазонах;

– приведены некоторые результаты экспериментальных работ, направленных на создание принципиально нового класса оптических покрытий, работающих в спектральном диапазоне от 2,0 до 12,5 мкм.

1. Сеник, Б.Н. Применение кристаллов в перспективных разработках гиперспектральных оптических систем / Б.Н. Сеник // Прикладная физика. – 2007. – №3. – С.134-141.

2. Гайнутдинов, И.С. Интерференционные покрытия для оптического приборостроения / И.С. Гайнутдинов, Е.А. Несмелов, И.Б. Хайбуллин – Казань: «ФЭН», 2002. – С. 259-264.

У45 Низкочастотный шум в модулях формирования тепловизионного сигнала на основе смотрящих МФПУ формата 256x256

Болтарь К.О., Бурлаков И.Д., Полунеев В.В., Яковлева Н.И.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Анализируется стабильность тепловизионного изображения модуля формирования тепловизионного сигнала (МФТВ) на основе матричного фотоприемного устройства (МФПУ) после двухточечной коррекции. Модуль формирования тепловизионного сигнала формирует выходной сигнал в стандартном телевизионном формате. В его состав входят: МФПУ формата 256x256 элементов спектрального диапазона 8-12 мкм, микрокриогенная система охлаждения, работающая по циклу Стирлинга, submodule сопряжения, submodule аналого-цифровой обработки разрядностью 14 бит, оптическая система с относительным отверстием 1:1,4, цифровой модуль обработки изображения. Цифровой модуль обработки изображения обеспечивает вычитание постоянной составляющей фотосигналов, обусловленной фоновым излучением, компенсацию разброса вольтовой чувствительности элементов посредством двухточечной коррекции, интерполяцию или замену дефектных элементов.

Измерялась эквивалентная шуму разность температур (NETD) от времени после калибровки. В момент коррекции шумы (пространственный и случайный) минимальны. Начальное значение NETD ~40 мК. С течением времени пространственный шум возрастает. Временной интервал, когда значение NETD становится в $\sqrt{2}$ раз больше значения NETD в момент коррекции, называется временем долговременной стабильности и составляет для исследованного МФТВ 10 минут. Изменение значения NETD в термостабильной камере за 2,5 часа не превышает 3 мК.

Измерена температурная зависимость NETD МФТВ. Градиент NETD по температуре чувствительного элемента составляет 400 мК/К. Это объясняется сильной зависимостью геометрических шумов от температуры, вследствие температурных изменений темновых токов и токовой чувствительности различных элементов МФПУ. Проведены исследования NETD от температуры фона. Градиент NETD по температуре фона составляет 10 мК/К.

Измерена частотная зависимость шума, тока фотодиодов, дифференциального сопротивления для каждого элемента МФПУ. Выявлены элементы с повышенными низкочастотными шумами. Причиной повышенных низкочастотных шумов является малое дифференциальное сопротивление в рабочей точке смещения, что является дополнительной причиной деградации тепловизионного изображения после коррекции.

Установлено, что основная причина увеличения NETD с течением времени после калибровки – нестабильность температуры чувствительного элемента. Сформулированы требования к стабильности температуры криостатирования систем охлаждения, которая должна быть значительно лучше, чем 0,1 °К для долговременной стабильности ИК-изображения.

У46 Тепловизионный прибор для спектрального диапазона на 3-5 мкм на основе МФПУ из антимонида индия

Соляков В.Н., Горелик В.Н., Кортиков М.В., Полесский А.В., Полторацкий А.В.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Проведена разработка и изготовление тепловизионного прибора для спектрального диапазона 3...5 мкм на основе охлаждаемого матричного фотоприемного устройства, работающего в режиме Snap-Shot, на базе антимонида индия (InSb). Такой прибор может найти широкое применение для температурного контроля в различных отраслях промышленности. Разработанный тепловизионный прибор состоит из следующих основных составных частей:

- объектива;
- матричного фотоприемного устройства формата 256x256;
- модуля цифровой обработки сигналов;
- внешней аккумуляторной батареи;
- блока управления;
- блока калибровки;



Объектив прибора построен по схеме «Петцваля», выходной зрачок объектива совмещен с холодной диафрагмой фотоприемного устройства, что позволяет исключить влияние паразитных фоновых засветок. Объектив выполнен на основе сферических компонентов. Относительное отверстие объектива – 1:1.82, фокусное расстояние 80 мм.

Модуль цифровой обработки сигналов выполнен на основе программируемых логических схем и микропроцессора с использованием энергонезависимой перепрограммируемой памяти.

Основные характеристики тепловизионного прибора:

- | | |
|--|-----------|
| — спектральный диапазон | 3...5 мкм |
| — поле зрения | 6,4°x6,4° |
| — формат матричного фотоприемного устройства | 256x256; |
| — шаг фоточувствительного элемента | 35 мкм; |
| — температурная чувствительность менее | 0,02 К; |
| — частота кадров, до | 500 Гц; |
| — стандартный телевизионный и цифровой выходы. | |

У47 Новый гиперспектральный прибор наблюдения наземных и воздушных целей в диапазоне 3-5 мкм на базе интерферометра

Dario Cabib, Amir Gil, Moshe Lavi, Robert A. Buckwald, Stephen G. Lipson*

CI Systems Ltd., Израиль

**Physics Department, Technion-Israel Institute of Technology, Хайфа, Израиль*

Спектральные приборы используют два способа получения спектральной информации: дифракционные решетки и интерферометры. В первом способе необходимо охлаждение оптики, чтобы избежать шумовых сигналов, существенно ограничивающих динамический диапазон измерений. Второй способ в существующем коммерческом варианте не отвечает условиям работы в режиме одномерного сканирования (pushbroom) в быстро меняющихся воздушных ситуациях. Последние конструкции спектральных систем видения на основе сдвиговой интерферометрии показали возможность создания системы одномерного сканирования, соответствующей требованиям воздушных операций без необходимости охлаждения оптики.

В докладе описывается запланированная реализация такого прибора спектрального анализа наблюдаемых объектов в диапазоне 3 -5 мкм на базе интерферометра с специально сконструированной призмой. Преимуществами предлагаемой конструкции являются: 1) компактная оптика; 2) высокое отношение «сигнал-шум» в диапазоне 3 -5 мкм при малом диаметре собирающей оптики; 3) повышенная механическая стабильность (прочность).

Прибор обеспечивает спектральное разложение изображения 320x240-пиксельной матрицы с спектральным разрешением лучше, чем 50 см^{-1} . Спектр калиброван в $\text{Вт} / (\text{стерадиан} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{см}^{-1})$. В режиме воздушного одномерного сканирования прибор захватывает полосу шириной 240 пикселей в поперечном поле зрения около 6,9 градусов. Если использовать конфигурацию горизонтального сканирования, то вертикальное поле зрения будет около 6,9 градусов, а горизонтальное – до 300 градусов. Поле зрения одного детектора матрицы – 0,5 миллирадиан.

В докладе рассмотрены основные принципиальные вопросы уже сконструированного прибора. Более детальные характеристики прибора и примеры полученных результатов измерений будут приведены в следующих докладах и публикациях. В ближайшем будущем планируется создание варианта прибора на диапазон 8 – 12 мкм.

У48 Тепловизионная интеллектуальная система безопасного управления транспортными средствами

Филачев А.М., Пономаренко В.П., Горелик В.Н., Богуславский А.А.*,
Соколов С.М.*, Платонов А.К.*, Кий К.И.*

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

**Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Москва, Россия*

В ФГУП «НПО «Орион» на основе тепловизионного канала диапазона 8...14 мкм проведена разработка интеллектуальной системы для информационного обеспечения безопасного управления транспортными средствами (ТС).

Регистрирующие блоки – телевизионная камера и тепловизионная камера устанавливаются на крыше легкового автомобиля, их поля зрения повторяют центральную часть поля зрения водителя ТС.

Оцифрованные видеопоследовательности поступают в вычислительно-управляющий блок (ВУБ) (например ноутбук). В вычислительно-управляющем блоке, снабжённом специальным программно-математическим обеспечением, эти данные обрабатываются для выработки сигнальной информации, кратко характеризующей текущую дорожную ситуацию: корректность расположения ТС относительно проезжей части; наличие или отсутствие объектов, требующих выполнения управляющих воздействий для продолжения движения ТС в текущем режиме.

Разработан фреймовый подход к представлению и анализу информации, содержащейся в видеопоследовательностях данных, получаемых по тепловизионному каналу. Всё многообразие дорожных сцен разбито на несколько типичных классов дорог и дорожных ситуаций. Дополнительно сделан ряд упрощающих, но практически реализуемых допущений при организации движения ТС.

Универсальность фреймового подхода позволяет закладывать в алгоритмы обработки зрительных данных сведения, учитывающие физическую природу наблюдаемых объектов и процессов. Это позволяет без существенной переделки всего каркаса интеллектуальной системы наращивать её функциональные возможности и расширять круг решаемых задач. Разработанные алгоритмы и программное обеспечение безопасного управления апробированы в полевых условиях. Приводятся результаты экспериментов при движении ТС как по городским, так и загородным, в том числе лесным дорогам.

У49 Системы теплового контроля нового поколения для РЖД
Гиндин Д.А., Ежов В.П., Грибанов А.А., Долганин Ю.Н., Карпов В.В., Козырев
М.Е., Колганов О.Л., Кузнецов Н.С., Савченко М.А.
ОАО «МЗ «Сапфир», Москва, Россия

Московский завод «Сапфир» в рамках отечественной программы модернизации систем контроля разработал Измерительный датчик теплового излучения (ИДТИ) нового поколения, соответствующего современному уровню.

Особенностями разработанного датчика являются:

1) Расширение диапазона чувствительности по сравнению с существующими аналогичными образцами, в том числе и зарубежными, в сторону отрицательных температур **до минус 50°C**.

Для расширения диапазона чувствительности применяется ФП на основе полупроводниковых структур кадмий-ртуть-теллур (КРТ).

Типовые характеристики разработанного приёмника:

- охлаждение – двухкаскадный термоэлектрический охладитель;
- сопротивление ФП – 800÷1400 Ом;
- сборка в корпусе типа ТО-8;
- число элементов в линейке ФП – 5;
- размер ФП 500×500 мкм², зазор 100 мкм;
- диапазон рабочих температур окружающей среды «-60°C ÷ +60°C»;
- $D_{\lambda \max}^*$, не менее $5 \cdot 10^{10} \text{ Вт}^{-1} \text{ см Гц}^{1/2}$;
- положение максимума спектральной чувствительности – 4,1÷4,5 мкм.

В схемных решениях применяются алгоритмы, реализующие пороговый режим, что позволяет расширить рабочий диапазон измерения температур ИДТИ от -50°C до 150°C, при обеспечении дискретности отсчёта (1÷2)°C.

2) Введение нормировки по среднеквадратической погрешности измерения эквивалентной температуры в интервале **от -50 до 150°C**;

В ИДТИ обеспечиваются метрологические характеристики измерителей температур на уровне рабочих измерительных средств (пирометров) по шкале Государственной поверочной схемы ГОСТ 8.558.93, $\pm(3\div 5)\text{K}$

3) Стабилизация метрологических характеристик измерительного канала напольных камер в течение всего установленного межповерочного интервала, в том числе:

- проведение оперативной калибровки измерительного тракта с частотой не меньшей частоты прохода поездов над напольной камерой;
- обеспечение калибровки системы с учетом возможного изменения чувствительности ФП, пропускания оптического канала и защитного входного окна
- обеспечение помехозащищенности системы от солнечных бликов, сторонних тепловых источников и перегретых частей подвагонного пространства.

4) Средства защиты от пыли, дождя и грязи.

Разработана эффективная система защиты оптического канала напольной камеры от многих видов загрязнений, включая абразивные.

Таким образом, применяемые технические решения позволили создать систему теплового контроля, превосходящую по метрологическим и эксплуатационным характеристикам лучшие зарубежные образцы аналогичной техники, и не уступающие им по надёжностным показателям качества.

У50 Приемники ИК изображения на основе термомеханических наноразмерных мембран

Беспалов В.А., Федирко В. А., Фетисов Е. А.

*ГОУ «Московский государственный институт электронной техники (ТУ)»,
Москва, Зеленоград*

Проведен аналитический обзор результатов физических исследований и последних достижений в технологии нового направления ИК-фотоэлектроники, основанного на взаимодействии ИК излучения с материалами и структурой нано- и микромембран. В тепловых приемниках ИК изображения используются термомеханические свойства наноразмерных мембран из биморфного материала (биметаллические микроантислеверы) – пример развития технологий микрооптоэлектромеханических систем (МОЭМС) применительно к приемникам ИК изображения.

Рассмотрены принцип преобразования ИК изображения на основе термомеханического эффекта и возможности использования фото- и термооптических, фотомеханических эффектов.

Приводятся данные о предельных значениях чувствительности, разрешающей способности и быстродействия матриц, в частности, о возможных при комнатной температуре: эквивалентной шуму разности температур и быстродействию. Реализуемы высокий коэффициент заполнения ячейки матрицы чувствительным элементом и малые размеры самих элементов. Количество ячеек в ИК матрице может достигать нескольких миллионов.

Параллельное оптическое считывание с помощью приборов с зарядовой связью (ПЗС) позволяет перенести обработку сигналов в видеокамеру, чувствительную в видимой области, и вместо сложных формирователей сигналов ИК изображения со специальными матричными мультиплексорами создавать лишь матрицы ИК чувствительных элементов.

Сделаны выводы о перспективах развития приемников ИК изображения на основе МОЭМС – нового класса изделий микросистемной техники.

У51 ИК МФПУ с оптимальной диафрагмой

Патрашин А.И.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Для ИК МФПУ рассчитаны форма и размеры области, за которые не должна выходить холодная диафрагма, не пропускающая паразитное фоновое излучение, в предположении близкого к нулю коэффициента отражения от внутренней поверхности холодного экрана.

Рассчитаны однородность облученности по площади МФЧЭ и такие фотоэлектрические параметры МФПУ, как время накопления, токовая чувствительность, облученность, ограниченная шумом (NEI), мощность, ограниченная шумом (NEP), удельная обнаружительная способность (D^*), динамический диапазон и ограниченная шумом разность температур (NETD).

Показана необходимость использования неодносвязной диафрагмы для получения заданной облученности и необходимого выравнивания ее по площади МФЧЭ.

Проведено сравнение фотоэлектрических параметров МФПУ с оптимальной диафрагмой и МФПУ с круглой диафрагмой стандартного типа. Для МФПУ с круглой диафрагмой учтено влияние паразитного бокового излучения, увеличивающегося от центра МФЧЭ к ее краю, на его фотоэлектрические параметры.

У52 Исследование характеристик перестраиваемого фильтра ИК изображений на основе наклонного интерферометра

Свиридов А.Н., Куликов К.М., Кононов А.С., Сагинов Л.Д., Селиванов А.С.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Предложена конструкция перестраиваемого фильтра ИК изображений на основе наклонного интерферометра. Разработана математическая модель устройства и проведены расчеты его основных характеристик. Изготовлен лабораторный макет перестраиваемого фильтра ИК изображений на основе наклонного интерферометра, в котором в качестве зеркал используются пластины из германия. Проведены экспериментальные исследования характеристик пропускания этого устройства в зависимости от углов падения фильтруемого излучения. Получено хорошее согласие результатов расчетов с экспериментальными данными.

Рассматривается возможность использования наклонных интерферометров для построения мультиспектральных тепловизоров, обеспечивающих получение “изображения с разноцветными строками”, т.е. изображения, в котором каждая строка отображает интенсивность излучения только с определенной длиной волны, соответствующей номеру этой строки от оптически сопряженной с этой строкой полосы сцены. Такое изображение получается без всякого сканирования за время накопления одного кадра $\sim 10^{-2} \dots 10^{-4}$ с. Ожидается, что подобные устройства могут быть использованы для спектрального исследования быстро протекающих процессов.

У53 Микроскоп-спектроанализатор для изучения спектральных свойств микрообъектов

Колтовой Н.А.

Лабметод, Москва, Россия

Разработан универсальный комплекс для изучения спектральных свойств образцов. Комплекс состоит из микроскопа и микроспектрофотометра.

Спектральный диапазон регистрируемого излучения - от 200 до 1000 нм.

Размер области, с которой регистрируется спектр – от 4 мкм до 2 мм.

Комплекс позволяет решать различные задачи:

1. Изучение спектров отражения. Исследуются образцы в отраженном свете. Регистрируются УФ (ультрафиолетовые), видимые и ИК (инфракрасные) спектры отражения.

2. Изучения спектров поглощения. В этом случае тонкий прозрачный образец просвечивается встроенным в микроскоп источником света и регистрируется спектр поглощения.

3. Изучение спектров флуоресценции. При этом возможны два варианта:

За - используется боковой источник ультрафиолетового излучения и регистрируется спектр флуоресценции в видимой области.

Зв - используется боковой источник видимого излучения и регистрируется спектр флуоресценции в инфракрасной области.

4-Изучения спектров свечения.

У54 Термоэлектрические сенсоры из материалов с анизотропной термоЭДС

Анатычук Л.И., Прибыла А.В.

Институт термоэлектричества, Черновцы, Украина

Приводятся результаты исследований анизотропных преобразователей энергии выполненных с применением компьютерных технологий объектно-ориентированного программирования, которые дали возможность определить точные характеристики преобразователей на основе реальных физических моделей. Учтены температурные свойства материалов, краевые эффекты, внутренние эффекты возбуждения вихревых токов, найдены оптимальные конфигурации преобразователей и режимы, при которых достигается их максимальная эффективность. Изучены такие преобразователи как неселективные и полосные приемники излучения для метрологической аппаратуры инфракрасного излучения.

У55 Миниатюрный линейный холодильник типа Сплит-Стирлинг для портативных тепловизоров

Vepruk A., Vilenchik H., Riabzev S. and Pundak N.
Ricor, Cryogenic and Vacuum Systems, Израиль

Новая тактика боевых и антитеррористических операций потребовала разработки нового поколения вооружения, в котором важная роль отводится сложным тепловизионным приборам для разведки, опознавания, прицеливания и ориентировки и навигации. Высокие характеристики новых тепловизоров основаны на новых оптико-электронных технологиях и работы фокальных матриц при криогенных температурах с использованием холодильников с замкнутом циклом. Традиционно для этого используются холодильные машины Стирлинга с роторным приводом. По сравнению с их имеющимися военными конкурентами с линейным приводом, они легче, компактнее и обычно потребляют меньше электроэнергии.

Последние достижения в разработках высокотемпературных (100К) инфракрасных приемников стимулировали исследования и разработки микроминиатюрных холодильников как с роторными, так и с линейными приводами. В этом случае более подходящими представляются Сплит холодильники с линейным приводом. К их известным преимуществам относятся гибкость дизайна системы, существенно больший срок службы, более низкая внешняя вибрация, меньший внешний шум.

Более того, недавний прогресс в создании высокоэффективных линейно-резонансных двигателей с подвижными магнитами и движущейся электроникой делают возможным дальнейшее уменьшение размеров и веса холодильника и его энергопотребления.

Сообщается о разработке и состоянии выполнения проекта новой модели К527 фирмы Ricor: микроминиатюрного холодильника Сплит Стирлинг с линейным приводом, сконструированного специально для портативных тепловизоров.

У56 Разработка конструкции и технологии создания унифицированного ряда цельнометаллических криостатов для ИК-фотоприемников различного спектрального диапазона

Гиндин Д.А., Ежов В.П., Карпов В.В., Крашенинников В.С.,
Кузнецов Н.С., Петренко В.И.

ОАО «МЗ «Сапфир», Москва, Россия

Разработан ряд цельнометаллических унифицированных вакуумных криостатов

(1-го, 2-го и 3-го классов) с улучшенными теплофизическими характеристиками для интегрированных и неинтегрированных с микрокриогенными системами (МКС) субматричных и матричных фотоприемных модулей.

Криостаты предназначены для размещения и термостатирования чувствительных элементов фотоприемных модулей (ФПМ), подвода к фоточувствительным элементам теплового излучения объектов в требуемом спектральном диапазоне, обеспечения их электрического соединения с внешними цепями питания, управления и обработки сигналов

В соответствии с заданными требованиями по живучести и стойкости к внешним воздействиям разработанные вакуумные криостаты обеспечивают работоспособность аппаратуры в составе В и ВТ.

Основные технические параметры криостатов приведены в Таблице.

Наименование параметра и единица измерения	Значение параметра		
	класс 1	класс 2	класс 3
Температура криостатирования при температуре окружающей среды 60°C, К	78±2	78±2	78±2
Теплоприток из окружающей среды к зоне криостатирования, Вт	1,3	0,5	0,3
Охлаждаемая масса (в эквиваленте меди), г, не более	29	6	2,5
Рабочий спектральный диапазон длин волн, мкм	3-5 8-12	3-5 8-12	3-5 8-12

У57 Состояние разработки и перспективы развития МКС Сплит-Стирлинг для охлаждаемых ФПУ

Липин М.В., Громов А.В.

ООО «НТК «Криогенная техника», Омск, Россия

Результаты разработки ряда модульных микрокриогенных систем (МКС) Сплит-Стирлинг, предназначенных для комплектации тепловизионных приборов наблюдения и прицеливания всех родов войск и коммерческого применения ранее были опубликованы в [1].

Разработанные МКС изготавливаются только из отечественных материалов и комплектующих и позволяют криостатировать фоточувствительные элементы (ФЧЭ) фотоприемных устройств (ФПУ) различного типа на температурном уровне $(75 \div 80)$ К при тепловой нагрузке на МКС от 0,3 до 2,0 Вт.

В 2007 г. выполнен цикл работ по разработке МКС Сплит – Стирлинг для криостатирования ФПУ 2-го поколения. Разработаны новые конструкции ГКМ для МКС 1-го и 3-го классов, имеющие существенно улучшенные потребительские качества. Проведена модернизация МКС МСМГ-3В-1/80, позволившая сохранить время выхода на рабочий режим и потребляемую мощность при увеличении тепловой нагрузки от ФПУ до 500 мВт и охлаждаемой массы до 5 г.

Получены первые результаты исследований МКС МСМГ-3В-1/80 на температурный уровень $(60 \div 65)$ К.

Приведены результаты исследований и испытаний МКС в различных условиях.

Рассматриваются ближайшие перспективы совершенствования конструкции МКС и повышения их технических характеристик и характеристик надежности.

1.М.В. Липин, А.В. Громов Результаты разработки ряда модульных МКС Сплит – Стирлинг для криостатирования ФПУ 1 – го и 2 – го поколений. //Прикладная физика, №2, 2007г., с. 110 – 119.

У58 Оптимизация криогенного излучающего холодильника
Абросимов А.И., Верлан А.А., Полищук Г.М., Пичхадзе К.М., Сысоев В.К.
ФГУП «НПО им. С.А Лавочкина», Химки, Россия

Дистанционное зондирование с помощью космических средств весьма эффективно в инфракрасном диапазоне. Однако фотоприёмные системы в этом диапазоне требуют охлаждения до криогенных температур. Среди средств получения криогенных температур на борту космических аппаратов наиболее оптимальным является криогенный излучающий холодильник (КИХ). Главное достоинство данной криогенной системы -отсутствие систем движения, которые могли бы приводить к дестабилизации изображения.

Первый успешный полёт криогенного излучающего холодильника был осуществлён на геостационарном метеорологическом спутнике Электра-1. КИХ входил в состав бортового телевизионного комплекса и использовался для охлаждения инфракрасного приемника излучения с чувствительными элементами на основе тройной смеси Cd-Pb-Te (Abrosymov A.L, Artemenko V.G., Voronkevich A.V., Ivanov A.A., Iskovskikh S.A. Results Proceeding of the European Symposium on Space Environmental and Control Systems, Noordwijk, The Nitherlands, 20 - 22 May 1997 (ESA SP - 400, August 1997) pp. 37-54). В этом полёте, минимальная температура приёмника излучения составляла 73° К при мощности 2мВт.

КИХ был построен по двухступенчатой схеме, каждая из ступеней закреплена на тепловых развязках и снабжена радиаторами для излучения теплоты в окружающее пространство. В рамках развития данной системы криоохлаждения была поставлена задача получения максимальной хладопроизводительности габаритов холодильника, прошедшего лётные испытания на космическом аппарате Электра-1.

С целью решения этой задачи была разработана теплофизическая схема КИХ, учитывающая полезную нагрузку и основные конструктивные элементы: экранная изоляция, элементы силовой схемы, сигнальные кабели и кабели системы температурного контроля. Была разработана программа решения численных процессов теплопереноса с учётом процессов кондуктивной теплопередачи в экранных сборках. Результаты расчётов показали, что при диаметре радиатора первой ступени 720 мм, минимальная температура оказалась равной 73°К (при мощности 200 мВт) при значениях радиуса второй ступени 620мм. Полученные результаты легли в основу представленного в докладе проекта оптимизированного криохолодильника.

У59 Термоэлектрическое охлаждение для детекторных применений

Громов Г.Г., Ершова Л.Б.
ЗАО «РМТ», Москва, Россия

Термоэлектрическое охлаждение широко используется в оптоэлектронике, решая задачи охлаждения и термостабилизации, отвода тепла, обеспечения однородных температурных полей. Во многих применениях практически не существует альтернатив термоэлектрическому охлаждению благодаря зрелости, высокой надежности, точности и сравнительной простоте управления.

В современной оптоэлектронике имеется большое количество термоэлектрических охлаждаемых конструкций фотоприемников, фотоприемных матриц и линеек и других изделий. Вместе с тем, существует целый комплекс факторов позволяющих оптимизировать применение термоэлектрических охладителей в таких задачах.

В настоящей работе рассмотрен круг наиболее типичных оптимизационных задач термоэлектрического охлаждения детекторных устройств (фото-, ИК, рентгеновских детекторов, матриц ПЗС и т.д.) в различных корпусных решениях (ТОЗ, ТО8, ТО5, ТО46 и др).

Рассмотрены несколько уровней оптимизации: оптимизация ТЭ модуля (конструкция и материалы), оптимизация корпуса (материалы и газовое наполнение), а также исследована зависимость эффективности использования от условий эксплуатации (температуры окружающей среды) и теплового сопротивления теплоотводящего радиатора.

Предложенный анализ дает количественные оценки эффективности оптимизации, позволяет минимизировать потребляемую мощность системы, усовершенствовать ее функциональность, а также найти оптимум и для эффективности охлаждения, и для надежности конструкции.

У60 Дроссельная бортовая система охлаждения на базе баллона с криогенной заправкой

Довгялло А.И., Логашкин А.П., Сармин Д.В., Угланов Д.А.

Самарский государственный аэрокосмический университет, Самара, Россия

Существуют баллонные дроссельные системы охлаждения ИК-приемников излучения, устанавливаемые на борту наземного транспортного средства или летательного аппарата. Отечественные системы выпускаемые, например, ФГУП «Сибкриотехника» работают за счет расхода газа (или смесей газов) из баллонов высокого давления. Они обеспечивают температурный уровень охлаждения 80К при использовании в качестве рабочего тела азот. Такие системы также могут работать и на газовых смесях, обеспечивая тем самым другие температуры термостатирования. К рабочим телам баллонных дроссельных систем предъявляются повышенные требования по их чистоте, что осуществляется за счет их регазификации из криогенно-жидкого состояния, после чего они заправляются в баллон компримированием или перепуском из аккумуляторов высокого давления.

Время функционирования дроссельных систем охлаждения зависит от массы заправки и потребной холодопроизводительности.

Существует возможность увеличить время работы таких систем за счет использования в их составе, так называемого, универсального газового баллона (патент «Топливный баллон» Самарского гос. аэрокосмического университета № 2163699, Россия, МПК 7F17C9/02, 99114577/06 заявл. 02.07.1999, опубл. 27.02.2001. Бюл. № 6). Особенностью его является криогенная заправка, которая позволяет при тех же объемах баллона и массе заправляемого рабочего тела увеличить время функционирования дроссельной системы в 2-2,5раза. Выполненные термодинамические расчеты показали, что в случае заправки баллона криопродуктом (азотом) через 30-40 часов наступает равновесное состояние системы баллон - рабочее тело. Температура последнего составляет величину 130-135К при давлении 3МПа.

Применение рабочего тела в дроссельной системе из такого состояния обеспечивает необходимую холодопроизводительность при расходе хладагента в 2-2,5раза меньшем, чем в случае использования сжатого газа из стандартных баллонов дроссельных систем. Это в свою очередь приводит к увеличению времени функционирования системы, либо позволяет уменьшить массу и габариты баллона. Применение такого баллона в указанной области позволяет также уменьшить время и энергозатраты при заправке.

Таким образом, из приведенного выше следует, что объективно полезным и своевременным будет применение универсального газового баллона в составе систем охлаждения ИК-приемников излучения, так как он может удовлетворять существующим технологиям использования компримированных газов и криогенных жидкостей, увеличить время функционирования системы, сэкономить время и затраты энергии на заправку.

У61 Контакты металл – теллурид кадмия-ртути

Стафеев В.И.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Граница раздела металл–КРТ имеет сложную структуру, состоящую из слоёв наноразмерных толщин. Атомы металла при напылении обладают высокой энергией (до нескольких эВ), поэтому при их конденсации происходит локальный разогрев поверхности КРТ, что способствует ускоренной диффузии напыляемого металла в объём КРТ, “обратной” диффузии компонентов в напыляемый слой и распаду молекул HgTe.

На поверхности КРТ происходят химические реакции с образованием соединений напыляемого металла с компонентами КРТ. Формируется промежуточный слой сложного состава. Наиболее активно с металлом взаимодействует теллур. Физико-химическая модель переходного слоя в настоящее время еще не создана.

На границе с “чистой” поверхностью КРТ образуется переходной слой переменного состава. Легко диффундирующая “свободная” ртуть накапливается на границе с наносимой пленкой. Свободный теллур образует пленку на слое напыляемого металла.

Описаны свойства границы раздела КРТ с рядом наиболее широко используемых металлов: Au, Ag, Al, In и др. Создание молекулярного подслоя алюминия препятствует диффузии серебра в КРТ, аналогичный подслой титана практически не влияет на диффузию серебра. Электрофизические свойства поверхности КРТ при нанесении металла существенно изменяются. Происходит изменение уровня Ферми. Приведены величины этих изменений, возникающие при нанесении ряда металлов.

Приведены величины контактных потенциалов на границе с КРТ для ряда металлов.

Наличие тонких слоёв анодного оксида существенно изменяет свойства границы раздела и величину возникающего контактного потенциала. Напыляемый металл взаимодействует с оксидом и уменьшает его толщину

Низкое сопротивление контактов обеспечивается нанесением металла на механически нарушенную поверхность КРТ. На такой поверхности при напылении золота формируются низкоомные, близкие к омическим контакты на кристаллах *p*-типа. На КРТ *n*-типа проводимости близкие к омическим контакты легче создаются при нанесении индия.

У62 Выращивание эпитаксиальных структур КРТ комбинацией методов ЖФЭ и МOCVD для ИК-детекторов с узкой спектральной характеристикой

Котков А.П., Гришнова Н.Д., Моисеев А.Н., Денисов И.А.*,
Смирнова Н.А.*, Шматов Н.И.*

Институт химии высокочистых веществ РАН, Нижний Новгород, Россия
** ФГУП «ГИРЕДМЕТ», Москва, Россия*

Для изготовления детекторов с узкой спектральной характеристикой можно использовать двухслойную структуру КРТ, в которой один слой $Cd_xHg_{1-x}Te$ будет выполнять роль детектора, а второй слой $Cd_yHg_{1-y}Te$ с более широкозонным, чем у детектора составом (т.е. $y > x$), - роль светофильтра.

Цель настоящей работы заключалась в исследовании возможности выращивания структуры, состоящей из двух слоев КРТ разного состава, разделенных подложкой, комбинацией методов ЖФЭ и МOCVD

Для получения двухслойной структуры сначала на (111)А стороне подложки CdZnTe(111) выращивали слой $Cd_yHg_{1-y}Te$ методом ЖФЭ, а затем на В стороне этой же подложки CdZnTe(111) МOCVD-методом осаждали слой $Cd_xHg_{1-x}Te$ и защитный слой CdTe. Слои $Cd_xHg_{1-x}Te$ имели толщину $4 \div 14$ мкм, состав $y = 0.16 \div 0.296$. Слои $Cd_yHg_{1-y}Te$ имели толщину $15 \div 20$ мкм и состав $x = 0.2; 0.303$.

Измерения спектральной чувствительности эпитаксиальных слоев (ЭС) КРТ проводили на Фурье – спектрометре ФТ801. На образец КРТ наносили In-контакты и подключали его как фоторезистор к измерительной системе Фурье – спектрометра (см.рис.).

Сопоставление спектральной чувствительности фоторезистора из двухслойной структуры при его освещении с лицевой стороны (без светофильтра), а также при освещении с обратной стороны (через светофильтр) при 77К свидетельствует о том, что в структурах, выращенных комбинацией методов ЖФЭ и МOCVD, нижний слой КРТ выполняет роль светофильтра. При этом длинноволновая граница детектора определяется составом “x” слоя $Cd_xHg_{1-x}Te$, а коротковолновая граница - составом “y” слоя $Cd_yHg_{1-y}Te$.

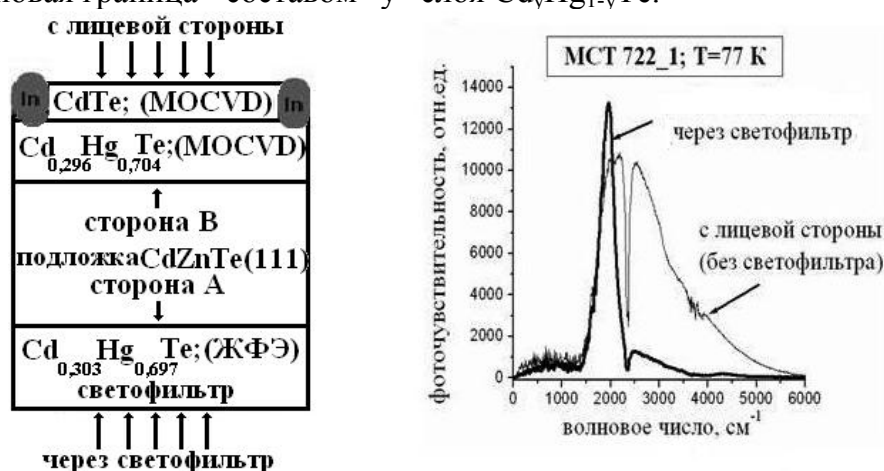


Рис. Структура двухслойного образца КРТ и спектр ее фоточувствительности при освещении с лицевой (без светофильтра) и с обратной (через светофильтр) стороны.

У63 Разработка элементов технологии монолитного инфракрасного фотоприемника

Якушев М.В., Васильев В.В. Дворецкий С.А., Козлов А.И., Сидоров Ю.Г. Фомин
Б.И., Асеев А.Л.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Требования стойкости к значительным механическим и температурным воздействиям дают толчок к разработке новой архитектуры многоэлементных инфракрасных (ИК) фотоприемников (ФП) и технологии их производства. Разработанная архитектура и технология изготовления матричных фотодиодных ИК ФП с форматами более 1000×1000 элементов на основе гибридной сборки через индиевые столбы фоточувствительного элемента (ФЧЭ) из ГЭС КРТ МЛЭ на кремнии и кремниевого мультиплексора решили проблемы, связанные с циклами температурных изменений от комнатной температуры до криогенных температур $\sim 77\text{K}$. Однако с точки зрения механической стойкости такие ИК ФП имеют значительные ограничения в необходимых применениях широкого диапазона.

Проблемы механической стойкости позволяют решить HDVIPTM, «loophole» технологии или монолитизация гибридной сборки ИК ФП, которые связаны с применением компаунда для укрепления связи ФЧЭ и мультиплексора.

Нами проведено исследование процессов, требуемых для разработки технологии монолитного ИК ФП на основе фоточувствительных элементов КРТ, выращенных в ячейках кремниевого мультиплексора, которая должна обеспечить максимальную стойкость к механическим и температурным воздействиям.

Проведены исследования роста слоев КТ и КРТ в окнах, размерами от 30×30 мкм до 100×100 мкм, вскрытых в SiO_2 , нанесенном на поверхность Si(310). Показана принципиальная возможность выращивания монодоменных слоев CdTe и CdHgTe в окнах вскрытых в SiO_2 . Установлено что, с уменьшением размера окна структурное совершенство выращенных слоев возрастает.

Проведено исследование влияния температуры предэпитаксиального отжига в вакууме на параметры транзисторов КМОП мультиплексора МХ4 формата 128×128 . Найдено, что р – канальный транзистор сохраняет свои характеристики при отжиге до температур $\sim 580^\circ\text{C}$, а n – канальный транзистор при отжиге до температуры $\sim 520^\circ\text{C}$.

Проведено исследования влияния температуры предэпитаксиального отжига на структурное совершенство ГЭС КРТ МЛЭ на подложках из кремния. Показано, что снижение температуры от 600°C до $450^\circ\text{C} - 500^\circ\text{C}$ не приводит к значительному ухудшению структурного совершенства слоев КРТ.

Проведено легирование ГЭС КРТ МЛЭ на кремнии индием и мышьяком в процессе роста. Легирование индием проводилось испарением элементарного индия из молекулярного тигельного источника. Легирование мышьяком проводилось из молекулярного источника с зоной крекинга. Получены слои КРТ электронного типа проводимости, легированные индием, с концентрацией электронов до $1 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$. При легировании мышьяком слои КРТ имели электронный тип проводимости. Для активации мышьяка и конверсии типа проводимости проводился двухступенчатый отжиг. Получены слои КРТ дырочного типа проводимости, легированные мышьяком, с концентрацией дырок до $4 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Были выращены двухслойные p-n

ГЭС КРТ МЛЭ на кремнии. Проводятся работы по созданию p-n переходов на основе таких структур.

Разработана электрическая схема и топология тестового n-канального мультиплексора формата 1×32 элемента на пластине Si(310) марки КДБ-10. Проводятся работы по осаждению слоев КРТ в ячейках мультиплексора.

У64 Выращивание наногетероэпитаксиальных структур теллурида кадмия и ртути методом молекулярно-лучевой эпитаксии

Варавин В.С., Дворецкий С.А., Михайлов Н.Н., Ремесник В.Г., Сидоров Ю.Г.
Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Требования повышенной стойкости при эксплуатации фотоприемников на основе теллурида кадмия и ртути (КРТ) предъявляются в условиях годовичного изменения температуры окружающей среды (например, для контроля температуры колесных пар подвижного железнодорожного состава). Для решения данной проблемы в [1] предложено введение в фоточувствительный слой КРТ нанослоев с повышенной шириной запрещенной зоны.

Разработана технология выращивания наногетероэпитаксиальных структур (НГЭС) КРТ методом МЛЭ со встроенными широкозонными нанослоями с эллипсометрическим контролем толщины и состава фоточувствительного слоя и нанослоев *in situ* для фотосопротивлений с чувствительностью в спектральном диапазоне 3÷5 мкм. Выращивание широкозонных нанослоев возможно проводить в любой области фоточувствительного однородного слоя изменением величины молекулярных потоков теллура или кадмия. Состав и толщина нанослоя определялись из сравнения изменений экспериментальных эллипсометрических параметров Δ и ψ с расчетными данными.

Были выращены НГЭС КРТ МЛЭ на подложках из GaAs с широкозонными нанослоями как на границах фоточувствительного слоя, так и в его центральной области при резком изменении молекулярных потоков, так и без нанослоев. Состав однородного фоточувствительного слоя находился в пределах 0.290÷0.313 и толщина 4.8÷6.2 мкм. Толщина и состав нанослоев КРТ $\approx 0,035$ мкм и $\geq 0,75$ мол. дол. теллурида кадмия соответственно. Точность определения состава и толщины нанослоев составляют $\sim 0,01$ мольных долей теллурида кадмия и 2 нм соответственно.

Измерения эффекта Холла и спада СВЧ-фотопроводимости показали, что нанослои не оказывают существенного влияния на концентрацию и подвижность основных носителей заряда и время жизни неосновных носителей заряда. Концентрация, подвижность и время жизни при температуре жидкого азота составили $(1,2-3,3) \times 10^{14} \text{ см}^{-3}$, $(1-2) \times 10^3 \text{ см}^2 / \text{В} \times \text{с}$ и 3÷9 мкс соответственно. Спектры фотопроводимости при 77 К для структур с нанослоями не отличаются от спектров фотопроводимости структур без нанослоев. На основе полученных ГЭС КРТ МЛЭ проводится разработка многоэлементных фоторезисторов.

[1] Долганин Ю.Н., Варавин В.С., Гиндин П.Д., Дворецкий С.А., Ежов В.П., Карпов В.В., Корольков В.П., Михайлов Н.Н., Савченко М.А., Смирнов Р.Н.- “Фоточувствительная структура”, полезная модель к патенту № 49361 RU, публ. 10.11.2005.

У65 ГЭС КРТ МЛЭ с внутренним отрезающим фильтром

Дворецкий С.А., Михайлов Н.Н., Ремесник В.Г., Предеин А.В.,

Сусяков А.О., Васильев В.В.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

При изготовлении фотоприемных устройств (ФПУ) длинноволнового ИК диапазона (8-14 мкм) для уменьшения влияния коротковолновой фоновой засветки (< 7 мкм) используются внешние отрезающие или полосовые фильтры. Предложена конструкция ГЭС КРТ МЛЭ с встроенным коротковолновым фильтром и методика выращивания таких структур. Перед фоточувствительным однородным слоем КРТ выращивается дополнительный широкозонный высоколегированный «фильтр-слой» и барьерный слой типа «горбик». Барьерный слой необходим для исключения взаимного влияния фильтр-слоя и фоточувствительного слоя на фотоэлектрические параметры ФПУ.

Экспериментально показано, что состав барьерного слоя должен превышать состав «фильтр-слоя» на 0,05 мольных долей теллурида кадмия. При уменьшении высоты барьерного слоя эффективность отрезающего «фильтра-слоя» снижается.

Проведено экспериментальное исследование и сравнение с численными теоретическими расчетами влияния толщины и состава фильтр-слоя на спектральные характеристики фоторезистивных и фотодиодных структур ГЭС КРТ МЛЭ. Измерение спектров фотопроводимости проводилось при 77К с помощью ИК Фурье-спектрометра (спектральный диапазон 500-5000 см⁻¹), укомплектованного приставкой.

Показано, что спектральная зависимость фоторезистора определяется составом и толщиной «фильтр-слоя». Наблюдается хорошее соответствие экспериментально измеренных и расчетных спектральных характеристик фоторезисторов с фильтр-слоем.

Произведен численный расчет дифференциальной температуры эквивалентной шуму (NEDT) фотоприемника на таких структурах. Минимальная величина NEDT=20.5÷18.5 мК достигается при для фильтр слоя с составом $X_{\text{CdTeф}}=0,24$ и толщиной $d_{\text{ф}}=3\div6$ мкм, для фотоприемника с рабочим слоем 0,22

Легирование индием фильтр-слоя с концентрацией от $2\cdot 10^{14}\text{см}^{-3}$ до $5\cdot 10^{17}\text{см}^{-3}$ не оказывает существенного влияния на спектральные характеристики фотоприемных структур. Использование высоколегированного фильтр-слоя позволяет устранить эффект «бублика» (неоднородного распределения потенциала смещения на фотодиодные структуры) при изготовлении большеформатных многоэлементных структур.

У66 Исследование дефектной структуры эпитаксиальных пленок $Cd_xHg_{1-x}Te$, выращенных молекулярно-лучевой эпитаксией при ионном травлении

Ижнин И.И., Ильина Е.С., Курбанов К.Р., Дворецкий С.А.*, Михайлов Н.Н.*,
Сидоров Ю.Г.*, Варавин В.С.*, Мынбаев К.Д.***, Поцяск М.***

НИИ материалов НПП «Карат», Львов, Украина

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

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

****Институт физики Университета Жешув, Польша*

Ионное травление (ИТ) является одним из наиболее перспективных методов формирования $p-n$ переходов для фотодиодных структур на основе узкощелевых твердых растворов $Cd_xHg_{1-x}Te$ (КРТ). В процессе ИТ у поверхности КРТ образуется источник атомов межузельной ртути Hg_I ; эти атомы мигрируют вглубь кристалла, взаимодействуя с собственными дефектами и примесями, так что, например, в акцепторно-легированном материале происходит конверсия типа проводимости из $p-$ в $n-$ в слое толщиной от единиц до сотен микрометров и формирование $p-n$ перехода. Однако в последнее время интерес к ИТ КРТ обусловлен не только как к методу формирования $p-n$ переходов, но и как к инструменту изучения дефектной структуры $Cd_xHg_{1-x}Te$, использующего упомянутый факт взаимодействия различных дефектов с межузельной Hg_I , происходящего в сильно неравновесных условиях (гигантском пересыщении кристалла Hg_I). Показано, что использование ИТ позволяет выявлять собственные и примесные дефекты в КРТ, сформировавшиеся на стадии роста и/или постростового отжига [1].

В настоящей работе сообщается о результатах исследования с помощью ИТ дефектной структуры гетероэпитаксиальных структур (ГЭС) $Cd_xHg_{1-x}Te$ ($x=0.22$), выращенных молекулярно-лучевой эпитаксией (МЛЭ) на подложках из GaAs. Проведено исследование ГЭС КРТ МЛЭ номинально нелегированных (вакансионно-легированные), легированных в процессе роста акцепторными (As, концентрация $10^{15}-10^{16} \text{ см}^{-3}$) и донорными (In, концентрация $5 \cdot 10^{14}-10^{17} \text{ см}^{-3}$) примесями, как as-grown, так и прошедшие различные виды постростового отжига. Полученные данные сравниваются с результатами исследований на монокристаллах КРТ и эпитаксиальных пленках КРТ, выращенных газофазной и жидкофазной эпитаксией.

Установлено, что во всех исследованных ГЭС присутствовал нейтральный дефект с концентрацией $\sim 10^{17} \text{ см}^{-3}$, образовавшийся на стадии роста. Этот дефект активируется при ИТ и образует заряженный донорный центр. После распада центров (релаксации) концентрация электронов в ГЭС КРТ МЛЭ стабилизируется. Характерное время релаксации составляет $\sim 10^5$ мин. В легированных мышьяком ГЭС КРТ МЛЭ p -типа ИТ приводит к конверсии типа проводимости, что позволяет создавать $p-n$ переходы. Показано, что ИТ в номинально нелегированных образцах КРТ приводит к снижению степени компенсации. В легированном In ГЭС КРТ МЛЭ концентрация электронов после релаксации определяется концентрацией введенного индия и остаточных доноров.

Обсуждаются перспективы ИТ для управления состоянием дефектно-примесной системы в $Cd_xHg_{1-x}Te$ с точки зрения создания приборных структур.

Работа была поддержана Министерством образования и науки Украины (договор № М/182–2007), грантом РФФИ 07–02–00400 и Интеграционным проектом СО РАН № 3.20.

- [1]. Izhnin I.I., Dvoretzky S.A., Mikhailov N.N., Sidorov Yu.G., Varavin V.S., Mynbaev K.D., Pociask M. Appl. Phys. Lett., 91, 132106 (2007).

У67 Гетероэпитаксиальные структуры $\text{PbSnTe:In/BaF}_2/\text{CaF}_2/\text{Si}$ для интегрального матричного фотоприемного устройства диапазона длин волн до 16 мкм

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

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Рассмотрены технологические аспекты разработки матричного интегрального фотоприемного устройства (ФПУ) на основе гетероструктур $\text{PbSnTe:In/CaF}_2/\text{BaF}_2/\text{Si}$ для решения задач дистанционного зондирования Земли. При молекулярно-лучевой эпитаксии слоев использовались термические испарители типа ячеек Кнудсена с тиглями из нитрида бора. В качестве шихты брались измельченные монокристаллы CaF_2 и BaF_2 , химически обработанные перед загрузкой в испарители. Температура эпитаксии изменялась в интервале $T=700 - 750^\circ\text{C}$, скорость осаждения CaF_2 составляла примерно 0.02 нм/с и контролировалась в основном температурой испарителя, близкой к $T = 1300^\circ\text{C}$. По данным дифракции быстрых электронов на отражение (ДБЭО), сразу после начала эпитаксии формировалась атомарно гладкая поверхность растущего слоя CaF_2 (рис. 1а). Для получения слоев BaF_2 хорошего структурного качества температура подложки после окончания роста CaF_2 увеличивалась примерно на 50°C . На рис. 2б показана электроннограмма поверхности слоя BaF_2 толщиной 3 нм. Согласно данным атомно-силового микроскопа (АСМ), рельеф слоев BaF_2 имел величину около 10 нм, что примерно в три - четыре раза больше, чем для слоев CaF_2 . Среднее значение электрической прочности двухслойного буферного слоя ($\text{CaF}_2 - 80 \text{ нм}$, $\text{BaF}_2 - 120 \text{ нм}$) превышало $3 \times 10^6 \text{ В/см}$.

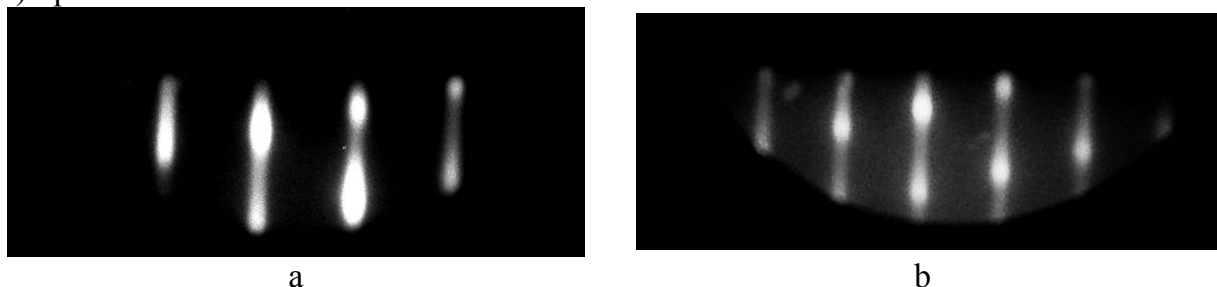


Рис. 1. Электроннограммы ДБЭО слоя CaF_2 сразу после начала роста (а) и поверхности слоя BaF_2 толщиной 3 нм (б).

Стандартный эпитаксиальный рост пленок PbSnTe:In толщиной около 1 мкм осуществлялся по технологии, описанной, например, в [1, 2]. На полученных пленках была изготовлена линейка фоторезисторов длиной 576 элементов, состоящая из двух рядов по 288 элементов в каждом. Размер элемента составлял $25 \times 25 \text{ мкм}$, ряды были смещены друг относительно друга на 25 мкм. Приводятся результаты измерения пороговых параметров отдельных элементов при $T < 30 \text{ К}$ и результаты термического циклирования линеек.

[1] А.Э.Климов, В.Н.Шумский. Многоэлементные фотоприемные устройства дальнего ИК-диапазона на основе гетероэпитаксиальных пленок PbSnTe , легированных In, на BaF_2 .- Гл. 6 в «Матричные фотоприемные устройства инфракрасного диапазона». Наука, Новосибирск, 2001, 65 с.

У68 Фотоприемники ультрафиолетового излучения на основе широкозонных полупроводниковых материалов

Бланк Т.В., Гольдберг Ю.А.

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

В последнее время большое внимание уделяется измерению и контролю ультрафиолетового излучения солнца и искусственных источников. Мы представляем фотодетекторы на основе различных широкозонных поверхностно-барьерных структурах, которые имеют линейную характеристику интенсивность излучение – фототок в диапазоне 10^{-2} - 10^3 Вт/м² и позволяют регистрировать разные типы УФ излучения.

GaP поверхностно-барьерные детекторы фоточувствительны в спектральном диапазоне 200-500 нм, с максимумом при 400 нм, плотность темнового тока составляет 10^{-8} А/см² (при U=-1В), быстродействие менее 10^{-6} с. При использовании фильтра UFS-2 GaP фотодетекторы приобретают диапазон фоточувствительны 240-400 нм, при использовании фильтра UFS-6 фотодетекторы приобретают диапазон фоточувствительны 300-400 нм (диапазон солнечного УФ излучения). 4H-SiC поверхностно-барьерные фотоприемники имеют спектральный диапазон 240-370 нм, с максимумом при 250 нм, что соответствует бактерицидному УФ излучению. Эти детекторы могут использоваться при различных температурах. GaN поверхностно-барьерные фотоприемники имеют спектральный диапазон 240-370 нм, с максимумом при 320 нм, что соответствует эритемному УФ излучению. Для всех фотоприемников с ростом температуры квантовая эффективность возрастает, и достигает 0,3-0,4 электрон/фотон при комнатной температуре.

Квантовая эффективность фотоэлектропреобразования значительно уменьшается в области коротковолнового УФ излучения (5-6 эВ) для всех исследуемых фотоприемников. Что, по нашему мнению, связано с образованием горячих экситонов, связывающих фотоносители и, таким образом, исключаящих их из процесса фотоэлектропреобразования.

Мы предполагаем механизм объясняющий коротковолновый спад квантовой эффективности фотоэлектропреобразования в поверхностно-барьерных структурах на основе широкозонных полупроводников. Когда энергия детектируемых фотонов становится близка к энергии в сегментах зоны Бриллюэна, в которых зона проводимости и валентная зона практически параллельны друг другу могут образовываться горячие экситоны. Для всех исследованных материалах такие сегменты имеют место. Для GaP эти сегменты - окрестность X-долины зоны Бриллюэна с энергией около 4,8 эВ и окрестность L-долины с энергией 3,9 эВ. Для 4H-SiC эти сегменты - области между Г-долиной и М-долиной зоны Бриллюэна с энергией около 4,9 эВ. Такие экситоны имеют большую энергию активации и способны пролететь слой объемного заряда и рекомбинировать в металле или квазинейтральной области полупроводника. Таким образом, фотоносители, образовавшие горячие экситоны, не участвуют в дальнейшем процессе фотоэлектропреобразования и квантовая эффективность уменьшается. Экспериментальные зависимости квантовой эффективности фотоэлектропреобразования от энергии детектируемых фотонов в коротковолновой области спектра хорошо согласуются с предложенной моделью горячих экситонов.

У69 Фотовольтаический детектор на основе асимметричной гетероструктуры II типа p-InAs/AlSb/InAsSb/AlSb/p-GaSb с одиночной квантовой ямой для спектрального диапазона 1.5-3.6 мкм

Михайлова М.П., Андреев И.А., Моисеев К.Д., Яковлев Ю.П.

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

В последние годы значительное внимание уделяется созданию новых типов фотодетекторов (ФД) для среднего ИК-диапазона спектра, в том числе на основе гетероструктур с квантовыми ямами и сверхрешетками, с целью улучшения их параметров: повышения чувствительности и быстродействия. Так, в работе [1] сообщалось о создании квантово-размерных ФД на основе двойной гетероструктуры (In)GaAs/AlAs/AlGaAs для интервала длин волн 3-5 мкм. Такие ФД перспективны для гетеродинамического детектирования и систем коммуникаций в открытом пространстве. Диапазон 2-5 мкм важен также для газового анализа, экологического мониторинга, медицинской диагностики.

В настоящей работе сообщается о фотовольтаических детекторах на основе изотипной асимметричной гетероструктуры II типа p-InAs/AlSb/InAsSb/AlSb/p-GaSb с глубокой квантовой ямой InAsSb. Гетероструктуры были выращены методом газовой эпитаксии из метало-органических соединений (MOVPE) в системе AIXSTRON200 на подложке p-InAs:Mn и состояли из одиночной квантовой ямы 20 нм AlSb/5 нм InAs_{0.84}Sb_{0.16}/20 нм AlSb нелегированного материала с накрывающим контактным слоем p-GaSb. Разрывы зон на гетерогранице InAs/AlSb составляли, соответственно, $\Delta E_C=1.27$ эВ и $\Delta E_V=0.12$ эВ. Были изготовлены экспериментальные образцы меза-диодов с диаметрами площадок 300 мкм. В исследуемых структурах наблюдалась интенсивная положительная и отрицательная электролюминесценция (ЭЛ) в диапазоне 0.3-0.4 эВ при $T=300-400$ К [2].

В данной работе исследованы спектры фоточувствительности и вольтамперные характеристики таких структур при $T=77-300$ К. ВАХ имела выпрямляющий характер, соответствующий резкому гетеропереходу. Спектр фотоответа лежал в диапазоне 1.2-3.9 мкм при $T=300$ К и 1.0-3.4 мкм при $T=77$ К и соответствовал типичному спектру гетероструктуры, определяемому ширинами запрещенных зон InAs (0.41 эВ) и GaSb (0,73 эВ). При низкой температуре наблюдался добавочный пик фотоответа в интервале 4.0-4.8 мкм с энергией максимума $h\nu=275$ мэВ, который может быть приписан рекомбинации носителей с уровня $E_1=670$ мэВ в квантовой яме на уровень глубокого донора $E_A=0.41$ эВ в AlSb [3]. Сопротивление в нуле смещения (R_0) составило величины 28 Ом (300К), 2 кОм (200К), 258 кОм и произведение $R_0 \times A=120$ Ом \times см² (77К). Квантовая эффективность составляла величину 1.4-1.9 А/Вт в спектральном диапазоне 1.7-3.0 мкм. Значения мощности эквивалентного шума и обнаружительной способности ФД, определенные на $\lambda=3.0$ мкм в полосе частот 10 Гц и $T=77$ К составили величины $NEP=6 \times 10^{-14}$ Вт/Гц^{1/2} и $D^*=3.5 \times 10^{11}$ см² \times Гц^{1/2} \times Вт⁻¹. Полученные результаты по обнаружительной способности изотипной квантоворазмерной структуры II типа p-InAs/AlSb/InAsSb/AlSb/p-GaSb соответствуют параметрам коммерческих InAs фотодиодов, а также литературным данным по ФД с квантовыми ямами на основе двойной гетероструктуры InGaAs (GaAs)/GaAlAs, выращенных методом МПЭ [1].

[1].E.Luna, A.Guzman, J.L.Sanchez-Rochas et al. Infrared Phys.technol. **44**, 383-390 (2003).

[2].E.Hulicius, A.Hospodkova, J.Pangrac, K.Melichar, T.Simecek, K.D.Moiseev, E.V.Ivanov, M.P.Mikhailova, Yu.P.Yakovlev. Abstr. of 8 IC MIOMD, 14-16 May 2007, Bad Ischl, Austria, p.184-185.

[3]. F.Ch.Wang, W.E.Zhang, C.H.Yang, et al. Appl.Phys.Lett.**69(10)**, 1417 (1996).

У70 Многокаскадный лавинный фотодиод

Патрашин А.И.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Разработана конструкция многокаскадного лавинного фотодиода (МЛФД), являющегося твердотельным аналогом вакуумных фотоумножителей. Фотодиодная гетероструктура МЛФД содержит конечное число пар полупроводниковых слоев, равное числу каскадов умножения. Каждый каскад умножения включает узкозонный и широкозонный полупроводниковые слои противоположного типа проводимости, и может быть изготовлена с использованием всего двух изопериодических полупроводников. Узкозонный слой первого каскада определяет диапазон спектральной чувствительности МЛФД.

Коэффициент умножения МЛФД равен произведению коэффициентов умножения отдельных каскадов и может быть сколь угодно большим.

Рост избыточного шума с ростом коэффициента умножения в МЛФД происходит медленнее, чем в однокаскадном ЛФД, а отношение сигнал-шум улучшается с ростом числа каскадов.

У71 Амплитудные и статистические характеристики одноквантовых фотоприемников

Зеневич А.О.

УО «Высший государственный колледж связи», Минск, Беларусь

Одноквантовые фотоприемники в настоящее время находят широкое применение для регистрации оптического излучения достаточно малых интенсивностей. В этом случае наиболее часто используется метод счета фотонов (одноквантовая регистрация). Данный метод реализован с использованием таких твердотельных фотоприемников, как лавинные фотодиоды, лавинные фотоприемники (ЛФП) со структурами металл–диэлектрик–полупроводник и металл–резистивный слой–полупроводник. Как правило для реализации метода счета фотонов при температурах близких к комнатным использовались фотоприемники с небольшой площадью фоточувствительной поверхности ($\leq 0.3 \text{ мм}^2$) [1]. Это связано с тем, что фотоприемники с большей площадью фоточувствительной поверхности имели достаточно высокий уровень термоэлектрических шумов при температурах $\sim 300 \text{ }^\circ\text{C}$. В работе [2] предложены кремниевые ЛФП с площадью фоточувствительной поверхности 7 мм^2 для счета фотонов при комнатных температурах. Данные ЛФП изготовлены на основе монокристаллического кремния с удельным сопротивлением $1 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ со структурой металл – резистивный слой – полупроводник [2]. Технология изготовления состоит в формировании на поверхности кремниевой подложки с локальными p-n переходами тонкой плёнки нелегированного оксида цинка n-типа проводимости ($d \approx 30 \text{ нм}$, $\rho = 10^7 \text{ Ом}\cdot\text{см}$), которая выполняет функцию резистивного слоя, и плёнки ZnO:Al ($d \approx 0.5 \text{ мкм}$, $\rho = 10^{-3} \text{ Ом}\cdot\text{см}$) в качестве прозрачно-проводящего электрода.

Характеристики этих ЛФП в режиме счета фотонов недостаточно изучены. Одними из наиболее важных характеристик является амплитудные и статистические распределения импульсов на выходе фотоприёмника. Амплитудные распределения позволяют получить сведения о физических процессах, вносящих вклад в формирование одноквантового сигнала. Статистические распределения выходных импульсов несут информацию о статистике фотонов, в регистрируемом оптическом излучении.

В работе были выполнены исследования зависимости амплитудных и статистических распределений выходных импульсов ЛФП в зависимости от его напряжения питания и интенсивности оптического излучения. Получено, что неоднородности p-n-перехода в области пространственного заряда приводят к изменению формы амплитудных распределений импульсов. Определено мертвое время ЛФП при различных напряжения питания фотоприемника и минимальное значение, которого составило 1 мкс . Установлено, что при увеличении напряжения питания увеличивается отклонение статистического распределения выходных импульсов от статистики Пуассона. При этом отношение среднего числа выходных импульсов ЛФП к дисперсии статистического распределения выходных импульсов становится меньшим единицы.

1. Гулаков И.Р., Залесский В.Б., Малышев С.А., Шуневич С.А. // Оптический журн. 1992. № 9. С. 34-37.

2. Гулаков И.Р., Залесский В.Б., Зеневич А.О., Леонова Т.Р. // ПТЭ. 2007. № 2. С. 112-115.

У72 Широкополосные флип-чип фотодиоды на основе InAsSb с длинноволновой границей чувствительности $\lambda=4.5$ мкм

Матвеев Б.А., Закгейм А.Л., Зотова Н.В., Ильинская Н.Д., Карандашев С.А.,
Ременный М.А., Стусь Н.М., Черняков А.Е.

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

Фотодиоды (ФД), чувствительные в средней ИК области спектра, нашли ряд применений главным образом в области газового анализа, использующего измерение пропускания на выделенных длинах волн, например $\lambda=4.3$ мкм для CO_2 . При комнатной температуре в диапазоне $3\div 5$ мкм были достигнуты значения $D^*_\lambda=(1.5\cdot 10^{11}\div 3\cdot 10^8)$ см $\Gamma\text{ц}^{1/2}\text{Вт}^{-1}$ в ФД с кремниевыми линзами имеющими эффективный оптический диаметр 3.3 мм [1]. Достижение высоких значений D^*_λ сопровождалось получением узкого угла зрения ФД, определяемого геометрией линзы. Описанные в [1] устройства, включая ФД на основе *InAsSb* с пиком чувствительности вблизи 4.3 мкм и $D^*_\lambda = 2\cdot 10^{10}$ см $\Gamma\text{ц}^{1/2}\text{Вт}^{-1}$, помимо узкого угла зрения обладают узкой полосой чувствительности с полушириной спектра ~ 0.6 мкм, что не удовлетворяет требованиям некоторых применений.

Использование сильнолегированных подложек *InSb* со сдвинутым из-за эффекта Мосса-Бурштейна краем поглощения, а также применение глубокого травления мезы (т.е. создание «встроенного» оптического концентратора) позволило существенно улучшить параметры ФД при широком спектральном ответе и угле зрения [2]. Однако, нам не известны примеры применения указанного выше подхода при создании ФД на основе *InAs* и близких к нему узкозонных твердых растворов в области $3\div 5$ мкм.

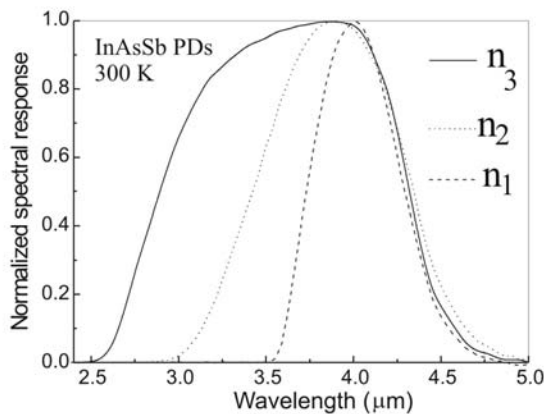


Рис.1 Спектральные характеристики чувствительности трех фотодиодов *InAsSb* с различной концентрацией электронов в подложке *n-InAs* ($n_3 > n_2 > n_1$)

В докладе мы представляем первые результаты исследований флип-чип фотодиодов с красной границей чувствительности вблизи $\lambda_{0,1}=4.5$ мкм и состоящих из узкозонного активного слоя *n-InAsSb*, ограничивающего широкозонного слоя *p-InAsSbP* и подложки n^+ -*InAs(Sn)* ($n^+=(0.1\div 6)\cdot 10^{18}$ см⁻³).

На основе структур *p-InAsSbP/n-InAsSb/n⁺-InAs(Sn)* с помощью многостадийной «мокрой» фотолитографии были изготовлены мезы диаметром $70\div 200$ мкм и глубиной $50\div 100$ мкм. Большинство ФД имело форму мезы в виде конуса с углом наклона стенки ~ 45 град. по отношению к поверхности мезы. Исследования инфракрасных изображений чипов, полученных с помощью теплового микроскопа с максимумом чувствительности на длине волны 3 мкм, показали, что контакты *Cr-Au-Ni-Au* являются хорошо отражающими с коэффициентом отражения $R \sim 0.6$. Красная граница чувствительности (4.5 мкм) была одинаковой для всех образцов с различающимися значениями концентрацией электронов в подложке *n-InAs*;

коротковолновые спады спектрального ответа повторяли спектры пропускания последних (см. Рис.1). Лучшие ФД при комнатной температуре продемонстрировали внутреннюю квантовую эффективность $\sim 250\%$, что означало примерно 2.5-кратное превышение оптически активной площади над площадью p-n перехода. Такие ФД имели наилучшие среди опубликованных параметры для длины волны 4.3 мкм: $S_i=5.6$ А/Вт, $S_u=210$ В/Вт, $R_0=37$ Ом, $D^*=4.7 \cdot 10^9$ см Гц^{1/2}Вт⁻¹ (300 К).

¹ М. А. Remennyu; В. А. Matveev; N. V. Zotova et al *SPIE Proceedings Vol. 6585*, 1 May 2007, ISBN: 9780819467133, 658504, DOI: 10.1117/12.722847

² G.R. Nash, N.T. Gordon, D.J. Hall et al, *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures* 2004, **20**, 540-547

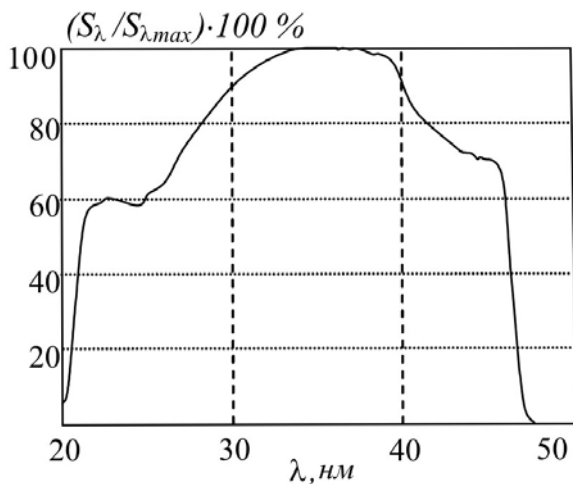
У73 Исследование характеристик структур с барьером Шоттки Ni-ZnSe и технологии энергоселективных УФ фотодиодов

Перевертайло В.Л., Добровольский Ю.Г.*, Шабашкевич Б.Г.*

НИИ МП НТК ИМК НАН, Киев, Украина

*ООО НПФ «Тензор», Черновцы, Украина

В последние годы проводятся интенсивные исследования диодов Шоттки на основе ZnSe с целью создания энергоселективных УФ фотодиодов. Однако свойства ZnSe как полупроводникового материала и диодов Шоттки на его основе изучены недостаточно полно для их успешной технологической реализации. Нами предложена технология изготовления фотодиодов Шоттки со структурой Ni-ZnSe(Te₂O)-In, которая базируется на использовании технологических процессов изготовления кремниевых фотодиодов, в частности групповой обработки кристаллов с чипами УФ сенсоров. Проведены исследования электрофизических и фотоэлектрических характеристик чипов на разных этапах изготовления.



Перед изготовлением образцов исследован исходный материал ZnSe(Te₂O) - поверхностное удельное сопротивление, спектры пропускания ИК излучения, состав примесей и характер их распределения по поверхности кристаллов. Выявлена значительная неоднородность электрофизических характеристик кристалла ZnSe по площади, которая обусловлена его мультислоистой структурой.

Разрабатываемая технология включает следующие технологические этапы и процессы: очистка и химобработка поверхности ZnSe; нанесение наноразмерных полупрозрачных металлических покрытий для формирования диода Шоттки; создание контактов; формирование микрорисунка чипов-диодов с помощью фотолитографии; термообработки для оптимизации параметров металлических пленок и перехода металл-полупроводник; нанесение пассивации; разделение кристалла ZnSe на отдельные чипы; сборка УФ сенсоров в корпуса; проведение измерений параметров полученных структур.

Образцы УФ фотодиодов были изготовлены на подложках ZnSe путем нанесения методом вакуумного напыления сверхтонкой пленки Ni толщиной 8-10 нм, а в областях контактов – толщиной ~ 1 мкм. На обратную сторону подложки из ZnSe наносился индиевый контакт. Размеры кристаллов фотодиодных чипов Ni-ZnSe-In 1x1 мм. Отдельные фотодиоды имели типовые для исходного материала диодные характеристики и фоточувствительность, но с большим разбросом обратных темновых и световых токов.

Токовая монохроматическая чувствительность изготовленных образцов фотодиодов на длине волны 400 нм составляет 0,096-0,083 А/Вт. Нелинейность энергетической характеристики в диапазоне 10⁻⁴ – 200 Вт/м² не превышает 2,0 %, темновой ток при рабочем напряжении 100 мВ не превышает 1·10⁻⁹ А. Типовая

спектральная характеристика чувствительности изготовленных фотодиодов приведена на рисунке.

Работа выполнена при поддержке Украинского научно-технологического центра (УНТЦ, проект № 4115).

У74 Химическая пассивация фотодиодов на основе GaSb/GaInAsSb/GaAlAsSb

Куницына Е.В., Андреев И.А., Львова Т.В., Яковлев Ю.П.
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С-Петербург

Высокоэффективные быстродействующие фотодиоды на основе GaSb и InAs для спектрального диапазона 2.0-5.0 мкм находят применение в системах дальнометрии и локации, диодно-лазерной спектроскопии атомов и молекул, а также в экологии и медицине [1,2]. Известно, что одна из проблем при работе с фотодиодами на основе узкозонных материалов связана с высоким уровнем обратного темнового тока. Результаты наших исследований показали, что для широкополосных GaSb/GaInAsSb/GaAlAsSb фотодиодов с относительно небольшим диаметром чувствительной площадки (менее 250–300 мкм) вклад поверхностной составляющей темнового тока в полный ток утечки становится доминирующим. Защита боковой поверхности мезы с помощью анодного окисла позволяет избежать влияния внешней среды, но не приводит к существенному улучшению параметров. В данной работе мы исследовали сульфидную и нитридную пассивацию GaSb/GaInAsSb/GaAlAsSb фотодиодов с целью снижения величины обратных темновых токов.

В отличие от кремния и широкозонных полупроводников A^3B^5 , для узкозонного соединения GaSb характерны высокая плотность поверхностных состояний, жесткий пиннинг уровня Ферми, высокая химическая активность и, как следствие, быстрый рост окислов. Все эти особенности свойств данного материала являются серьезной проблемой, как на стадии роста гетероструктур, так и на стадии пост-ростового формирования меза-фотодиодов. Существующие методы очистки GaSb от поверхностных окислов, такие как термический отжиг, очистка в низкоэнергетичной плазме приводят к нарушению планарности и стехиометрии поверхности. Согласно результатам наших исследований, в процессе обработки материалов на основе GaSb в растворах сульфида натрия Na_2S_x , сульфида аммония $(NH_4)_2S$, а также в гидразин (N_2H_4) -содержащих растворах удаляются поверхностные окислы $Ga_2O_3 \times Sb_2O_3$, и образуется адсорбционное покрытие, защищающее поверхность от дальнейшего окисления. Изменения в структуре поверхности GaSb на нано-уровне приводят к изменению электронных характеристик - перезакреплению уровня Ферми на поверхности, уменьшению скорости поверхностной рекомбинации. Все это, в свою очередь, улучшает электрические и фотоэлектрические характеристики фотодиодов.

Благодаря химической пассивации боковой поверхности мезы GaSb/GaInAsSb/GaAlAsSb фотодиодов величина темнового тока была снижена в 2-10 раз, и разброс значений резко уменьшился. Достигнута величина плотности обратного темнового тока $j=(1-2) \times 10^{-3} A/cm^2$ при $U_{обр}=2V$. Наши исследования показали, что деградации характеристик в течение 4 месяцев после пассивации не наблюдалось.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 07-02-01359).

1. E.V. Kunitsyna, I.A. Andreev, M.P. Mikhailova, et al., Proc. SPIE 4340, 244(2000).

2. M.H.M. Reddy, J.T. Olesberg, C. Cao and J.P. Prenias, Semicond. Sci. Technol. 21, 267 (2006).

**У75 Многоэлементные ИК приемники с барьером Шоттки,
чувствительные к излучению с энергией квантов меньше высоты
потенциального барьера**

Иванов В.Г., Иванов Г.В., Каменев А.А., Арутюнов В.А.*,
Степанов Р.М.*, Панасенков В.И.*

*Научно-исследовательский центр - филиал 4 ЦНИИ МО, С-Петербург, Россия
ОАО «ЦНИИ «Электрон», С-Петербург, Россия

Рассмотрены физический механизм работы, построение и результаты экспериментального исследования новых детекторов электромагнитного излучения на основе эмиссии газа горячих электронов (Hot Electron Gas Emission Detectors - HEGED). В указанных детекторах используется эффект изменения тока термоэлектронной эмиссии в диоде с барьером Шоттки при прямой передаче энергии поглощенного излучения системе электронного газа в квазиметаллическом слое барьера. При этом возникает возможность детектирования излучения с энергией квантов меньше, чем высота потенциального барьера диода Шоттки, и значительного увеличения граничной длины волны детектора. Показано, что эффект определяется различием времен установления равновесия внутри системы электронного газа и установления равновесного состояния между электронным газом и фононной системой. В результате происходит увеличение температуры электронного газа и, соответственно, тока термоэлектронной эмиссии при практически неизменной температуре кристаллической решетки детектора.

Экспериментальные исследования специально изготовленных тестовых образцов детекторов PtSi/Si без наружного просветляющего покрытия, с активной площадью $(1-4) \cdot 10^{-4} \text{ см}^2$, толщиной слоя силицида платины 300 \AA , при температуре кристаллической решетки $T_0 = 12 \text{ К}$ и величинах постоянного обратного смещения $5-35 \text{ В}$ показали, что их интегральная чувствительность (S) до граничной длины волны $\lambda_0 = 5,5 \text{ мкм}$ описывается Фаулеровской зависимостью $S(\lambda)$, аналогичной известным «квантовым» детекторам этого типа, однако, в отличие от них, с ростом длины волны от $5,5 \text{ мкм}$ до 14 мкм значение S возрастает в 20 раз и при 14 мкм составляет $0,3 \text{ А/Вт}$, что существенно превышает интегральную чувствительность этих и других известных детекторов PtSi/Si в диапазоне $3-5 \text{ мкм}$. Обсуждаются необходимые условия для работы указанных детекторов при $T_0 = 70-80 \text{ К}$. Для детекторов PtSi/Si с активной площадью $(1...4) \cdot 10^{-5} \text{ см}^2$ при температуре 80 К ожидаемая пороговая мощность падающего излучения в области спектра $10...12 \text{ мкм}$ по теоретическим оценкам может составить величину порядка $5 \cdot 10^{-15} \text{ Вт}$ и ограничиваться флуктуациями, создаваемыми фоном. С учетом того, что термоизоляция рассматриваемых детекторов от подложки не требуется, приводится пример построения топологической схемы детектора и фотоприемной матрицы ИК ПЗС.

У76 Фотоприемники инфракрасного диапазона спектра для оптического приборостроения

Глобус Е.Р., Комов А.А., Никитин М.С., Чеканова Г.В.
ФГУП «Альфа», Москва, Россия

Разработана и выпускается широкая номенклатура ИК фотоприемников для использования в спектрометрической и другой оптической аппаратуре:

- Одно и многоэлементные фотоприемники на основе PbS и PbSe неохлаждаемые и с термоэлектрическим охлаждением с размером пикселя от 0,1 мм × 0,1 мм до 10 мм × 10 мм.

- Одно и многоэлементные фотоприемники на основе HgCdTe с термоэлектрическим охлаждением с размером пикселя от 0,03 мм×0,03 мм до 3 мм×3 мм. Спектральный диапазон чувствительности 2,0-10,6 мкм.

- Одноэлементные фотоприемники на основе HgCdTe с охлаждением жидким азотом для Фурье-спектрометров. Фотоприемники выпускаются в малогабаритных металлических дьюарах фирмы Kadel, совместимых с аппаратурой фирмы Bruker. Спектральный диапазон чувствительности 2.0-20 мкм.

- Многоэлементные (32, 64 или 128 пикселей) фотоприемники на основе HgCdTe с термоэлектрическим или криогенным охлаждением с полосковыми пикселями 1,000 мм×0,035 мм или 2,000 мм×0,08 мм. Фотоприемники предназначены для систем многоточечной спектроскопии. Спектральный диапазон чувствительности 1,0-3,0; 3-5 или 8-14 мкм.

- Одноэлементные фотоприемники на основе HgCdTe с термоэлектрическим охлаждением или охлаждением жидким азотом с оптоволоконным вводом излучения. Выпускаются в малогабаритных металлических дьюарах фирмы Kadel или корпусах с ТЭО, снабженных оптическим каплером. Спектральный диапазон чувствительности 2,0-20 мкм.

Приводятся подробные технические характеристики фотоприемников.

У77 Высокостабильные фоторезисторы спектрального диапазона 8-12 мкм на основе гетероэпитаксиальных структур КРТ, полученных методом молекулярно-лучевой эпитаксии на подложке из арсенида галлия

Акимова Н.М., Гусаров А.В., Карпов В.В., Крапухин В.В., Сусов Е.В., Филатов А.В., Варавин В.С.*, Сидоров Ю.Г.*

ОАО «МЗ «Сапфир», Москва, Россия

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Главной проблемой фоторезисторов из гетероэпитаксиальных структур КРТ состава $x \approx 0,2$, полученных методом молекулярно-лучевой эпитаксии (ГЭС КРТ МЛЭ) на дальнюю инфракрасную область спектра, как и в случае с объемным материалом (ОМ) КРТ, является обеспечение высокой стабильности (сохраняемости) фотоэлектрических параметров (ФЭП). Нами разработаны многоэлементные фоторезисторы из ГЭС КРТ МЛЭ с ФЭП ограниченными шумами фонового излучения.

Гетероэпитаксиальные структуры $Cd_xHg_{1-x}Te$ выращены на подложке из арсенида галлия с буферным слоем кадмий-цинк-теллур, нижним варизонным слоем от $x=0,45$ до $x=0,215$ и верхним варизонным слоем от $x=0,215$ до $x=0,45$; 0,8; 1. Электрофизические параметры гетероструктур не уступают параметрам высококачественного ОМ КРТ $x \approx 0,2$; $n_{77} = (2-7) \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$; $\mu = 10^5 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$; $\tau = (0,5-5) \cdot 10^{-6} \text{ с}$. Образцы ГЭС КРТ МЛЭ имеют правильную форму круга диаметром 52 мм, в отличие от пластин произвольной формы объемных монокристаллов. Качество структур ГЭС КРТ МЛЭ в последние годы значительно улучшилось, снизилась плотность V-дефектов

В технологии формирования фоторезисторов из ГЭС КРТ МЛЭ, в основном, использовались процессы и оборудование, применяемые для изготовления фоторезисторов из ОМ КРТ. Перспективность таких структур для производства фоторезисторов диапазона спектра 8-12 мкм очевидна, если учесть также упрощение технологического процесса путём исключения трудоемких операций химико-механического полирования и приклейки пластин КРТ к подложке. Проведенные ресурсные испытания многоэлементных фоторезисторов на ГЭС КРТ МЛЭ показали, что значения обнаружительной способности фотоприемников сохраняются при длительном прогреве при $+70^\circ\text{C}$ в течение более 1500 часов.

У78 Фотоприемники SPRITE на основе гетероэпитаксиальных структур КРТ, выращенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ)

Комов А.А., Другова А.А., Никитин М.С., Чеканова Г.В., Ларцев И.Ю.
ФГУП «Альфа», Москва, Россия

Проведены расчеты фотоэлектрических параметров ИК-фотоприемников типа СПРАЙТ на спектральный диапазон 8-12 мкм с размерами чувствительной площадки 500 мкм × 64 мкм при скорости дрейфа пакета неравновесных носителей, порядка 150 м/сек.

Разработаны и изготовлены образцы 8-ми элементных фотоприемников СПРАЙТ указанного вида с величиной полного плоского угла зрения (апертурой) 42 и 24 градуса. Фоточувствительные элементы были изготовлены из многослойных эпитаксиальных гетероструктур HgCdTe, выращенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии.

Фотоприемники укомплектованы системой охлаждения типа Сплит-Стирлинг, обеспечивающей рабочую температуру ФЧЭ порядка 80 К.

Получены следующие значения основных фотоэлектрических параметров:

Длина волны максимума спектральной чувствительности, λ_{\max} , мкм – 11±0,5;

Темновое сопротивление чувствительных площадок, R_T , Ом – (400-1000);

Напряжение смещения, отвечающее скорости дрейфа 156 м/сек, $V_{см}$, В – 1,7-2,7;

Удельная обнаружительная способность, $D^*_{\lambda_{\max}}(\lambda_{\max}, 500\text{К}, 1200\text{ Гц}, 1\text{ Гц})$, смГц^{1/2}Вт⁻¹ – (1,5-1,7)×10¹¹ (апертура 42 градуса);
(2,0-2,5)×10¹¹ (апертура 24 градуса);

Монохроматическая вольтовая чувствительность, $S_{U\lambda_{\max}}(\lambda_{\max}, 500\text{ К}, 1200\text{ Гц})$, В/Вт – (3,5-3,7)×10⁵ (апертура 42 градуса);
(5,0-5,5)×10⁵ (апертура 24 градуса);

У79 Компенсация, захват носителей заряда и эффективность работы детектора из теллурида кадмия

Бабенцов В.Н., Сизов Ф.Ф.

Институт физика полупроводников НАН, Киев, Украина

Полупроводниковые соединения CdTe и $Cd_{1-x}Zn_xTe$, ($x \leq 0.1$) являются наиболее перспективным материалом для датчиков рентгеновского и гамма-излучения работающих при комнатной температуре. Основными преимуществами этих материалов по сравнению с классическими, такими как Ge и Si, являются: большой коэффициент поглощения в диапазоне энергий от 1 keV до 10 MeV, благодаря более высокому атомному номеру, и значительно меньшие токи утечки, которые реализуются вследствие большей ширины запрещенной зоны. К недостаткам относятся сложности роста материала с заданными свойствами, вследствие сложной термодинамики бинарных соединений; недостаточное понимание дефектной структуры, которая определяет процессы переноса заряда и высокоомного состояния, и высокая концентрация неконтролируемых примесей. В данной работе исследовались образцы высокоомного CdTe легированного оловом и нелегированного $Cd_{1-x}Zn_xTe$ ($x \approx 0.05$) с темновой электропроводностью при комнатной температуре $\sigma \approx 10^{-10} - 10^{-12} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$. Образцы получали продольным разрезом целых слитков выращенных методом Бриджмена из расплава. Измерялась концентрация остаточных примесей, распределение темнового сопротивления, фотопроводимости, интенсивности полос фотолюминесценции и глубины залегания электронных уровней в запрещенной зоне. Специальное внимание уделялось определению типа проводимости и донорного или акцепторного характера глубоких уровней. Практически диэлектрическое состояние достигалось точной компенсацией остаточных мелких доноров акцепторами. Концентрация нескомпенсированных акцепторов составляла величину порядка 10^{12} см^{-3} при концентрации доноров и акцепторов порядка 10^{16} см^{-3} . Чтобы стабилизировать уровень Ферми на глубоком донорном уровне, его концентрация определялась величиной $N_{DD} > 10^{12} \text{ см}^{-3}$, что соответствовало такой же концентрации глубоких ловушек для фотоэлектронов. При этом только $1/2N_{DD}$ могут остаться нейтральными и способными с повышением температуры отдать свои электроны в зону проводимости. Такой образец должен является полупроводником *n*-типа с концентрацией носителей немногим большей собственной концентрации, т.е. $n \approx 10^6 \text{ см}^{-3}$. Рассмотрены и другие варианты компенсационных схем, которые позволяют реализовать режим малого захвата электронов при полной и стабильной компенсации акцепторов.

У80 Уточнение модели генерационно-рекомбинационного тока в ИК-фотодиодах

Ярцев А.В.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Слои теллурида кадмия ртути (КРТ), полученные методом молекулярно-лучевой эпитаксии на подложке *GaAs*, относятся к перспективным материалам для изготовления многоэлементных приёмных устройств ИК излучения в диапазоне 8-12 мкм.

В фотодиодах на основе МЛЭ КРТ вся ОПЗ лежит в слабелегированной области. В данной работе проанализированы существующие подходы для расчёта генерационно-рекомбинационного (ГР) тока в р-п переходах. Как известно [1], точное значение ГР тока можно получить из:

$$j_w^{(n)} = \frac{en_i}{\tau_{gr}} (1 - e^{-y_1}) \int_0^{w_n} \frac{dz}{a_n(y_n)} \quad (1)$$

Здесь $a_n(y_n) = e^{\eta_0 + y_n} + e^{-(\eta_0 + y_n)} e^{-y_1} + 2$; ; $y_1 = eV_1/kT$, V_1 – величина обратного смещения; τ_{gr} – ГР время жизни; η_0 – безразмерная разница между собственным и реальным уровнями Ферми; w_n – ширина слоя обеднения; y_n – безразмерный изгиб зон.

В работах [2] и [1] получены два общепринятые упрощенных выражения ГР тока, показанные в (2) и (3) соответственно.

$$j_w^{(n)} = \frac{e \cdot n_i \cdot (w_n - w_0)}{\tau_{gr}} \quad (2)$$

$$j_w^{(n)} = \frac{e \cdot n_i \cdot w_n}{\tau_{gr}} \quad (3)$$

Здесь w_0 – ширина слоя обеднения в равновесии р-п перехода.

Выяснено, что выражение (2) расходится с точным расчётом (1) на 55 %, а выражение (3) на 90 %. Данные выражения не учитывают эффекта Пула-Френкеля, приводящий к увеличению ГР тока.

В работе получено упрощенное выражение для расчёта ГР тока с учётом эффекта Пула-Френкеля с приемлемой точностью:

$$j_w^{(n)} = \frac{en_i L_{dn} \left(1 - e^{-\frac{y_1}{2}}\right)}{\tau_{gr}} \cdot \frac{2}{1 + \alpha_0^{-1}} \cdot \left(\sqrt{\eta + y_1 + \ln(2)} - \sqrt{\eta - \ln(2)}\right) \quad (4)$$

$$\text{где: } \alpha_0 = \alpha(F_{\max} / 2); \quad \alpha = \frac{1 + e^{\beta\sqrt{F}} (\beta\sqrt{F} - 1)}{\beta^2 \cdot F} + \frac{1}{2}; \quad \beta =$$

$(e^3 / \pi \epsilon_0 \epsilon_s)^{1/2} / kT$; ϵ_s – диэлектрическая проницаемость КРТ; F – напряженность электрического поля; F_{\max} – максимальная напряженность электрического поля; L_{dn} – эффективная длина экранирования электронов.

Упрощенное выражение для величины R_0A , обусловленным ГР механизмом $(R_0A)_{gr}$ так же получено:

$$(R_0A)_{gr} = \left(\frac{e}{kT} \frac{dj_w^{(n)}}{dy_1} \right)_{y_1=0}^{-1} = \frac{kT}{e} \frac{\tau_{gr}}{en_i L_{dn}} \frac{1 + \alpha_0^{-1}}{2} \sqrt{\eta} \quad (5)$$

При этом отклонения от точного выражения при обратных смещениях более -40 мВ не превышает 7 %, а величины $(R_0A)_{gr}$ – не более 8%. Эффект Пула-Френкеля увеличивает $j_w^{(n)}$ и уменьшает $(R_0A)_{gr}$ на 20 %.

У81 Многофункциональный тепловизионный прибор на основе панорамного оптического тракта

Горелик Л.И., Куликов К.М., Полесский А.В., Селиванов А.С., Шкетов А.И.
ФГУП «НПО «Орион, Москва, Россия

Разработан многофункциональный тепловизионный прибор позволяющий осуществлять 4-х кратный перепад увеличения без изменения параметров оптического тракта за счет изменения направления оси визирования.

Панорамное тепловизионное изображение формируется на центральной зоне матричного фотоприемного устройства (МФПУ) за счет применения входного асферического зеркала и сопряженного с ним линзового каскада оптического тракта, который вне центральной зоны формирует широкопольное тепловизионное изображение на оставшейся части МФПУ. Индикация тепловизионного изображения может производиться в различных режимах: как двух полей одновременно, так и отдельно.

Основные характеристики тепловизионного прибора.

Спектральный диапазон мкм	8...14
Температурная чувствительность в обоих каналах, К менее	0,08
Частота кадров (Гц)	60
<i>Панорамный канал (канал обнаружения):</i>	
Поле зрения (град)	360x(+5...-40)
Мгновенное поле зрения (рад)	8×10^{-3}
Формат тепловизионного кадра	120x160
<i>Широкопольный канал (канал опознавания):</i>	
Поле зрения (град)	40x52
Мгновенное поле зрения (рад)	2×10^{-3}
Формат тепловизионного кадра	240x320
(слепое пятно пикс)	120x160

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

Секция А

А01 Новый метод численного моделирования стационарных флуктуационных явлений в полупроводниковых структурах и приборах

Селяков А.Ю.

ФГУП «НПО «Орион» Москва, Россия

На основе идеи применения сеточных функций и конечно – разностных операторов при анализе флуктуационных явлений, предложен новый метод численного расчета и моделирования стационарных флуктуационных явлений в ИК фотоприемниках на основе узкозонных полупроводников, а так же в других полупроводниковых структурах и приборах. Фактически, предложенный метод численного моделирования флуктуационных явлений представляет собой модификацию метода Ланжевена. Однако, в отличие от последнего, основная система уравнений предложенного метода представляет собой не систему стохастических дифференциальных уравнений, а систему детерминированных линейных алгебраических уравнений, для решения которой могут быть использованы хорошо известные методы вычислительной математики. Величинами, подлежащими определению в рамках предложенного метода, являются корреляторы флуктуаций концентраций подвижных носителей и токов в каждой точке введенной сетки – неслучайные величины. Предложенный метод позволяет расчетным путем получить связь спектральной плотности шумов фотоприемника в неравновесном стационарном состоянии с параметрами его структуры и технологических процессов его изготовления по существу в рамках тех же допущений, при которых справедливы детерминированные уравнения выбранной модели явлений переноса. При построении основной системы уравнений предложенного метода использовались только дополнительные предположения о спектральных плотностях флуктуаций случайных источников. В рамках предложенного метода могут быть рассчитаны флуктуации токов и концентраций подвижных носителей обусловленные как случайным характером процессов генерации - рекомбинации, так и случайным характером процессов рассеяния. Предложенный метод допускает любую пространственную корреляцию спектральных плотностей флуктуаций Ланжевенских случайных источников, в том числе – дельта корреляцию. Предложенный метод пригоден для моделирования флуктуационных явлений не только в рамках диффузионно - дрейфовой модели, но и в рамках любых других моделей явлений переноса. Результаты численного расчета спектральной плотности шума тестового $n^+ - p$ перехода хорошо совпадают с аналитическим решением, как при отсутствии внешней засветки, так и при наличии освещения.

A02 Метод расчета фоновой облученности МФПУ с холодной диафрагмой произвольной формы

Патрашин А.И.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Представлен метод расчета фоновой облученности МФПУ с холодной диафрагмой произвольной формы.

Доказано, что фоновая облученность в заданной точке матрицы фоточувствительных элементов (МФЧЭ), расположенной в холодном экране с диафрагмой произвольной формы, равна фоновой облученности от плоского источника, расположенного в плоскости холодной диафрагмы, имеющего распределение температуры по площади диафрагмы, определяемое проекцией источника фоновой облученности сквозь диафрагму в заданную точку МФЧЭ.

Показано, что фоновая облученность в заданной точке МФЧЭ прямо пропорциональна интегралу по площади диафрагмы, содержащему координаты заданной точки.

A03 Фоновые облученности ИК МФПУ с холодными диафрагмами заданных типов

Патрашин А.И.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Для заданной оптической системы, формирующей ИК изображение, рассчитаны фоновые облученности МФПУ, работающих в режиме накопления, с тремя типами холодных диафрагм.

Первый – диафрагма, представляющая собой сечение множества конусов, вершины которых расположены на краях МФЧЭ, а основания, совпадают с выходным зрачком объектива. Сквозь такую диафрагму каждый элемент матрицы фоточувствительных элементов (МФЧЭ) видит весь выходной зрачок объектива, но одновременно получает и максимальную паразитную фоновую облученность.

Второй – диафрагма, представляющая собой сечение конуса с вершиной в центре МФЧЭ и с основанием, совпадающим с выходным зрачком объектива. Сквозь такую диафрагму только несколько центральных ФЧЭ матрицы видят весь выходной зрачок объектива, а паразитная фоновая облученность возрастает от нуля в центре до максимума на периферии МФЧЭ.

Третий – диафрагма не пропускающая паразитное фоновое облучение.

Рассчитаны зависимости однородности облученности по площади МФЧЭ, с учетом паразитного фонового излучения, от расстояния до диафрагм.

A04 Двухспектральный фотоприемный модуль

Бочков В.Д., Бычковский Я.С., Дрожников Б.Н., Кузнецов П.А., Ефимов И.В.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Представлена конструкция фотоприемного модуля (ФПМ), состоящая из двух 256-канальных фоточувствительных линеек на основе PbS (спектральный диапазон 1-3 мкм) и PbSe (спектральный диапазон 3-5 мкм), охлаждаемых до

температуры 173 К-200 К. Каждая линейка сопряжена методом flip-chip-технологии с 256-канальным мультиплексором.

Конструкция фотоприемного модуля позволяет набирать из них протяженные фоточувствительные структуры различной конфигурации с минимальными зазорами между ФПМ и таким образом обеспечивать создание широкопольной оптико-электронной аппаратуры с высоким пространственным разрешением. Приведены основные параметры и характеристики ФПМ.

A05 Фотоприемные устройства для тепlopеленгационной аппаратуры

Бочков В.Д.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Представлена система параметров, методика и результаты расчета многоэлементных линейчатых фотоприемных устройств, включающих в себя многоэлементную фоточувствительную линейку, предусилитель - оптимальный фильтр для каждого фоточувствительного элемента и коммутатор. Фотоприемное устройство предназначено для работы в составе тепlopеленгационной аппаратуры обнаружения.

Выполнена методика расчета шумовых и оптимальных частотных характеристик тракта обнаружения импульсного сигнала, методика расчета порогового потока в зависимости от спектральной характеристики шума, постоянной времени фотоприёмника, а также методика расчета погрешности преобразования амплитуды импульсного сигналов зависимости от частоты опроса мультиплексора.

A06 Устойчивость антиотражающего покрытия чувствительного элемента ИК фотоприемников к термоциклированию

Болтарь К.О., Стафеев В.И., Седнев М.В.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Антиотражающие покрытия, нанесенные на подложку, через которую ИК излучение падает на фоточувствительный слой, позволяют уменьшить потери падающего излучения на 20÷30 % и улучшить пороговые характеристики ИК фотоприемника.

Минимизация потерь на отражении достигается использованием пленочного покрытия с показателем преломления $n=1,65$ для подложек $\text{Cd}_{0,96}\text{Zn}_{0,04}\text{Te}$ и $n=1,8$ для подложек GaAs , используемых в ИК-фотопремниках на эпитаксиальных структурах КРТ. Прозрачных в диапазоне 8÷12 мкм материалов, с требуемыми показателями преломления и обладающими необходимыми эксплуатационными свойствами, нет. Более других подходит PbF_2 , показатель преломления которого $n=1,65$ в спектральном диапазоне 8÷12 мкм. Для повышения влагостойкости антиотражающего покрытия из PbF_2 желательна создание защитного слоя.

Экспериментально исследовано влияние подготовки поверхности и скорости напыления PbF_2 на устойчивость антиотражающего покрытия к термоциклированию. Показано, что обработка поверхности ВЧ-катодным травлением перед напылением и уменьшение скорости напыления PbF_2 повышает устойчивость покрытия к термоциклированию. Защитное покрытие из Al_2O_3

толщиной 50-200нм, напыляемое ВЧ-магнетронным напылением, повышает влагостойкость и прочность антиотражающего покрытия.

Исследовано также антиотражающее покрытие из ZnS ($n=2,3$), сформированное магнетронным напылением с травлением окисного слоя перед напылением в едином вакуумном процессе. Разработанный процесс обеспечивает необходимую устойчивость покрытия при термоциклировании до температуры жидкого азота.

Измерены спектры ИК-отражения от подложек с антиотражающим покрытием при температуре 300 К и 80 К. Потери на отражение в максимуме чувствительности составляют $7\div 8\%$ и $5\div 6\%$ на подложках из $Cd_{0,96}Zn_{0,04}Te$ и GaAs, соответственно, для ZnS. Для покрытия на основе PbF_2 эти потери не превышают 1% ($CdZnTe$) и 2% (GaAs).

A07 Инфракрасная камера с 256x256 InSb МФПУ для астрономических наблюдений на 125-см телескопе ГАИШ МГУ

Кравченко Н.В., Чишко В.Ф., Касаткин И.Л., Маслов И.А.*, Наджип А.Э.*,
Таранова О.Г.*, Татарников А.М.*

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

**Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга МГУ,
Москва, Россия*

Разработана астрономическая камера на спектральную область 1 - 5 мкм для 125-см телескопа Крымской обсерватории ГАИШ МГУ. Камера снабжена InSb 256x256 МФПУ (производства НПО "Орион"), камерным объективом и 5-ю сменными полосовыми интерференционными фильтрами с центрами спектральных полос около 1.25 мкм (J), 1.60 мкм (H), 2.20 мкм (K), 3.5 мкм (L) и 4.7 мкм (M). Для снижения уровня атмосферного и инструментального фонового излучения и повышения чувствительности все оптические элементы помещены вместе с МФПУ в вакуумированный объем заливного азотного криостата и охлаждаются до температур твердого (63 К) и жидкого (78 К) азота. Управление камерой и обработка изображений осуществляются с помощью специализированного компьютера. При установке в фокусе Кассегрена 125-см телескопа ГАИШ камера позволяет получать изображения небесных объектов с разрешением 0.5 угл. секунд на пиксел. Камера предназначена для инфракрасных фотометрических наблюдений (в стандартной фотометрической системе J, H, K, L и M) как протяженных (планеты, кометы, галактики, туманности и др.), так и точечных небесных источников (астероиды, ядра удаленных галактик, звезды разных типов и др.).

A08 Матричное фотоприемное устройство на основе InSb формата 256x256 для астрономических применений

Кравченко Н.В., Чишко В.Ф., Касаткин И.Л., Лопухин А.А., Рябова А.А.,
Наджип А.Э.*, Татарников А.М.*

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

**Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга МГУ,
Москва, Россия*

Разработана конструкция МФПУ формата 256x256 на основе InSb для астрономической камеры на спектральную область 1÷5 мкм для 125-см телескопа Крымской обсерватории ГАИШ МГУ. Камера снабжена объективом и 5-ю сменными полосовыми интерференционными фильтрами. Для снижения уровня атмосферного и инструментального фонового излучения и повышения чувствительности все оптические элементы помещены вместе с МФПУ в вакуумированный объем заливного азотного криостата и охлаждаются до температур твердого (63К) и жидкого (78К) азота. Управление камерой и обработка изображений осуществляются с помощью специализированного компьютера.

Проведены измерения темновых токов при $T=77\text{K}$ фотодиодных МФПУ формата 256x256 элементов с шагом 35мкм и геометрическим размером фотодиода 30x30мкм с тонкой базовой областью с использованием мультиплексора с емкостью накопления 10^{-12} Ф. Входные характеристики согласующего транзистора измерялись на короткозамкнутых фотодиодах МФП. Установлено, что коэффициент неидеальности ВАХ $m \leq 2$ в диапазоне токов $10^{-12} \div 10^{-9}$ А. Темновые токи МФП возрастают от центра к периферии матрицы, что связано с влиянием механических напряжений на параметры InSb. В области оптимальных обратных смещений темновой ток не более $(2 \div 3) \cdot 10^{-11}$ А. Оценка минимальной обнаруживаемой мощности для таких темновых токов дает значение $P_{min} \approx (3 \div 5) \cdot 10^{-15}$ Вт/эл при $T_n \approx 10^{-1}$ с.

A09 Формирование внутренней поверхности диафрагмы матричного ФПУ

Савостин А.В., Киселева Л.В., Касаткин И.Л.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Изготовление матричного фотоприемника (МФП) с высокими параметрами на основе InSb требует выполнения комплектующих деталей внутри прибора с минимальными коэффициентами отражения.

По стандартной технологии для этого используется нанесение различных антиотражающих покрытий на детали (ZnS, ZnSe, чернение).

В данной работе проводилась обработка поверхности деталей из ковара с целью получения определенной шероховатости для снижения зеркального отражения в рабочем диапазоне длин волн МФП.

Кроме того, параллельно, подобраны режимы обработки деталей из ковара, позволяющие уменьшить их толщину в 1.5÷2 раза с целью снижения охлаждаемой массы и уменьшения теплоемкости узла ФЧЭ.

С этой целью были разработаны бинарные растворы на основе азотной кислоты.

A10 Формирование индиевых микроконтактов ионным травлением

Седнев М.В., Болтарь К.О., Мезин Ю.С.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Развитие инфракрасных фотоприемных матриц направлено на увеличение плотности расположения фоточувствительных элементов (ФЧЭ) и соответствующее уменьшение размера фотодиодов и расстояния между ними. В настоящее время в фотодиодных матрицах из КРТ шаг между элементами не более 30 мкм и разрабатываются фотоприемники с шагом 15÷17 мкм. Для соединения матрицы ФЧЭ и кремневой большой интегральной схемы (БИС) считывания сигнала, используются индиевые микроконтакты. При изготовлении микроконтактов высотой более 5 мкм на матрицах с шагом менее 30 мкм существуют определенные трудности, обусловленные, в частности, изотропностью жидкостных методов травления в процессах фотолитографии. Кроме этого, из-за неоднородного травления по площади, трудно изготовить микроконтакты с одинаковыми размерами вершины на пластинах более 4÷5 см².

Метод ионного травления позволяет воспроизводить с прецизионной точностью размеры маски, нанесенной на поверхность любого материала. При этом процесс травления идет анизотропно в направлении падения ионов рабочего газа. Особенностью применения ионного травления в технологии матричных фотоприемников на основе КРТ является недопустимость перегрева фоточувствительных структур при травлении. Температура технологических процессов не должна превышать 70÷100°C (в зависимости от длительности воздействия тепловых факторов).

В работе представлены результаты исследования процессов ионно-лучевого и высокочастотного катодного травления напыленных слоев индия для формирования микроконтактов. Изготовлены матрицы микроконтактов высотой более 10 мкм с шагом 28 мкм формата 384*288. Ширина канавки, разделяющей индиевые микроконтакты, не превышает 5 мкм.

A11 Разработка технологического процесса переклейки при изготовлении матричного ФП на основе InSb

Хитрова Л.М., Киселёва Л.В., Чишко В.Ф., Касаткин И.Л.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Монокристаллическую пластину InSb толщиной 0,4мм с предварительно изготовленными диодными структурами на одной стороне приклеивают этой стороной к промежуточной подложке из лейкосапфира импортным клеем-расплавом марки OCON-200.

Для создания фоточувствительности пластину InSb утоньшают до 20÷25 мкм и после анодирования приклеивают на стационарную подложку из кремния импортным криостойким эпоксидным клеем марки Epotec-301 с его последующим отверждением.

В специально разработанном приспособлении при нагревании до 90°C снимают сапфировую подложку, после тщательной отмывки от клея-расплава структура готова к дальнейшим операциям металлизации и резки.

A12 Энергетические диаграммы гетеропереходов p-Cd_xHg_{1-x}Te/CdTe

Головин С.В., Кашуба А.С.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Применение гетеропереходов для получения нейтральной границы раздела, то есть пассивации, является перспективным направлением технологии, поскольку оно обеспечивает высокую эффективность и воспроизводимость процесса. Энергетическая диаграмма гетероперехода при этом должна иметь «воронкообразный» профиль, получаемый за счет взаимной диффузии. При небольшой глубине взаимной диффузии также возможно получение энергетического профиля, при котором исчезает инверсия вблизи металлургической границы раздела, и от нее отталкиваются как основные, так и неосновные носители заряда.

В статье рассмотрены энергетические диаграммы гетеропереходов между p-CdHgTe и высокоомным CdTe для реального случая теллурида кадмия, нанесенного на поверхность КРТ относительно низкотемпературным методом, когда глубина взаимной диффузии невелика. Представлены расчеты диаграмм в приближении, когда потенциал ионизации не зависит от состава КРТ. Показано, что при низком уровне легирования теллурида кадмия область инверсии со стороны p-CdHgTe исчезает уже при глубине взаимной диффузии порядка одной десятой микрометра.

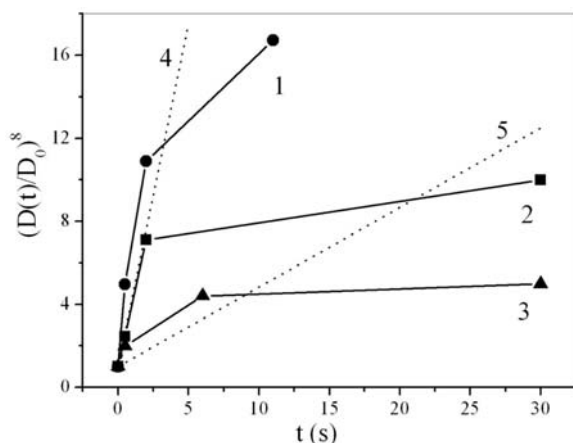
A13 Определение пластических свойств индия при гибридизации матричных фотоприемных устройств

Ефимов В.М., Есаев Д.Г.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Безальтернативным материалом, используемым в настоящее время для гибридизации, матричных фотоприемных устройств, изготавливаемых на основе GaAs/AlGaAs, GaAs/HgCdTe, InAs является индий, который сохраняет пластические свойства вплоть до температуры жидкого азота. Его механические свойства являются критическими как для соединения встречных микроконтактов фотоприемной матрицы и кремниевого мультиплексора методом «холодной сварки» /1/, так и для решения проблемы устойчивости соединений к многократным термоциклированиям. В данной работе обсуждаются пластические свойства индия и способы их определения, необходимые при гибридизации микросхем Flip-Chip методом. На основе решения задачи о сближении двух плоских пластин, между которыми расположена капля несжимаемой жидкости, получено выражение для изменения, под действием постоянной нагрузки, диаметра индиевого микроконтакта со временем:

$$(D(t)/D_0)^8 = 1 + t/\tau, \quad (1)$$



- где $D(t)$ и D_0 - диаметр микроконтакта после приложения нагрузки в течение времени t и начальный диаметр, соответственно, а τ - постоянная, прямо пропорциональная вязкости индия. На основе полученной формулы анализируются экспериментальные данные по пластической деформации индиевых микроконтактов диаметром около 24 мкм и высотой 6 мкм. Пунктирные зависимости 4 и 5, показанные на рисунке

рассчитывались по формуле (1) при значениях вязкости индия $\eta=5 \times 10^4$ Па·сек и $\eta=1,6 \times 10^4$ Па·сек соответственно и соответствуют течению индиевой «капли» с постоянным значением вязкости материала. Экспериментальные зависимости 1,2,3, полученные при приложении постоянной нагрузки 4,2, 3,0 и 2,1 кгс, выявляют две явные области пропорциональной и непропорциональной зависимости $(D(t)/D_0)^8$.

Контроль пластичности материала при изменении технологических режимов его нанесения, как видим, возможен при приложении нагрузки в области коротких времен, меньших 1 сек и был технически нами реализован.

Устойчивость индиевых соединений к многократным термоциклированиям определяется несколькими факторами: точностью совмещения микроконтактов при проведении Flip-Chip процесса, плоскостностью кристаллов и, конечно, прочностью микросоединений. В работе приведены результаты измерений напряжения среза индиевых микроконтактов и индиевых проволок. Измерения проводились при комнатной температуре и при температуре жидкого азота. Показано, что при охлаждении прочность индия на срез увеличивается в несколько раз. Обсуждается проблема устойчивости микросоединений к многократным термоциклированиям и значение механических свойств индия для решения данной проблемы.

/1/ - В. Г. Войнов, А. Г. Клименко, Т. Н. Недосекина и др. Пластические свойства индиевых микростолбов. Проблема контактирования на КРТ.//Автоматрия, 1996. № 4. С.126.

А14 Легирование ГЭС КРТ МЛЭ на кремнии в процессе роста Дворецкий С.А., Варавин В.С., Сорочкин А.В, Сидоров Ю.Г., Якушев М.В. *Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия*

Для разработки инфракрасных (ИК) фотоприемников (ФП) на основе КРТ фотодиодов используют технологию формирования n^+ -р переходов за счет легирования ионами бора КРТ р-типа проводимости, полученного введением вакансий ртути. Параметры таких n^+ -р переходов не имеют высокой стабильности к воздействию повышенной температурой (~ 70 °С). Повысить стабильность фотодиодных ИК ФП возможно при формировании р-п переходов за счет преднамеренного легирования примесями с низким коэффициентом диффузии.

Проведены исследования процессов легирования индием и мышьяком в процессе роста ГЭС КРТ МЛЭ на подложках кремния с ориентацией (310). Слои

КРТ выращивались при температуре 190°C и давлении паров ртути 0.05Па . Скорость роста составляла $2.5 - 3$ мкм в час. Состав КРТ варьировался в диапазоне от $x=0.21$ до $x=0.36$. Легирование индием проводилось испарением элементарного индия из молекулярного тигельного источника. Легирование мышьяком проводилось из молекулярного источника с зоной крекинга.

Установлено, что концентрации электронов в слоях КРТ легированных индием определяется потоком, который создается при нагреве элементарного индия в источнике и не зависит от состава растущего слоя. Получены слои с концентрацией электронов до $1 \times 10^{17} \text{см}^{-3}$.

При легировании мышьяком в процессе роста слои КРТ имеют электронный тип проводимости. Проведено исследование зависимости концентрации электронов от температуры зоны испарения мышьяка и от температуры зоны крекинга. Для активации мышьяка проводился термический двухступенчатый отжиг. Показано, что отжиг в при температуре 380°C приводит к конверсии типа электронного типа проводимости в дырочный. При этом наблюдается увеличению концентрации дырок по сравнению с исходной концентрацией электронов в 2-4 раза. Получены слои ГЭС КРТ МЛЭ на кремнии дырочного типа проводимости с концентрацией дырок до $4 \times 10^{17} \text{см}^{-3}$.

Выращены ГЭС КРТ МЛЭ на кремнии со слоями КРТ n- и p-типа проводимости, легированные индием и мышьяком до концентрации $3 \times 10^{15} \text{см}^{-3}$ и $5 \times 10^{16} \text{см}^{-3}$ соответственно. Проводятся работы по формированию p - n перехода на таких структурах.

A15 Формирование многоэлементных ИК фоточувствительных матриц фотоприемников формата 128x128 элементов на основе CdHgTe

Цибрий З.Ф., Вуйчик Н.В., Билевич Е.О., Апатская М.В., Смолий М.И.,
Андреева Е.В., Лысюк И.А.

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

Разработаны оригинальные режимы технологии формирования многоэлементных матриц фотоприемников формата 128x128 элементов, сформированных на эпитаксиальных структурах $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}/\text{Zn}_y\text{Cd}_{1-y}\text{Te}$ ($x = 0.3$; $y = 0.04$), выращенных методом жидкофазной эпитаксии для спектрального диапазона 3-5 мкм. Исследована корреляция технологических условий формирования матрицы с выходными электрофизическими параметрами фотодиодов. Найдено, что в зависимости от режимов имплантации и термического отжига темновые токи фотодиодов массива матриц находятся в пределах $5 \div 20$ нА при напряжениях обратного смещения $U = -50 \div -200$ мВ. Обсуждены основные механизмы токопереноса в исследованных фотодиодах.

Учитывая специфические свойства материала CdHgTe, особенно тонких слоев, были оптимизированы следующие технологические операции создания матриц: входной контроль эпитаксиальных слоев $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$, пассивация поверхности, фотолитография, имплантация и металлизация. Входной контроль материала осуществлялся с помощью Фурье спектроскопии по разработанной оригинальной неразрушающей методике определения флуктуаций состава, а также высокоразрешающей оптической микроскопии. Разработаны температурные режимы нанесения пассивационных покрытий CdTe методом «горячей стенки»,

условия проведения фотолитографии методом lift-off, нанесения многослойной металлизации и технологии формирования индиевых контактных выводов.

A16 Селективный рост слоев CdHgTe методом молекулярно-лучевой эпитаксии на подложках Si(310)

Якушев М.В. Дворецкий С.А. Сидоров Ю.Г. Фомин Б.И.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Ключевым моментом при создании монолитного ИК фотоприемника является процедура выращивания слоев CdTe и CdHgTe в, специально отведенных для этого, окнах на поверхности интегральной схемы считывания. Технология осаждения фоточувствительных слоев на кремниевую интегральную схему должна удовлетворять следующим условиям. Во-первых, позволять выращивать селективные слои с высоким структурным совершенством. Во-вторых, в течение всего технологического процесса температура не должна превышать 500⁰С.

В докладе представлены результаты, полученные при исследованиях в следующих направлениях:

1. Изучение механизмов роста слоев ZnTe, CdTe, CdHgTe в окнах вскрытых в диэлектрике, нанесенном на поверхность кремния Si(310).

2. Изучение возможности снижения температуры предэпитаксиального отжига кремниевой подложки для предотвращения деградации элементов электрических схем считывания.

Показана принципиальная возможность выращивания монодоменных слоев CdTe и CdHgTe в окнах вскрытых в SiO₂.

Установлено что, с уменьшением размера окна структурное совершенство выращенных слоев возрастает.

Установлено что, температуру предэпитаксиального отжига можно снизить до 500–450⁰С без значительного снижения структурного совершенства гетероструктур.

A17 Использование смесей минеральных кислот для химической обработки монокристаллов CdTe и Cd_{0,22}Hg_{0,78}Te

Томашик З.Ф., Окрепка Г.М., Томашик В.Н., Лукиянчук Э.М., Морозовская В.И.

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

Работа посвящена анализу и обобщению результатов исследований процессов химического травления выращенных методом Бриджмена монокристаллов CdTe и Cd_{0,22}Hg_{0,78}Te водными растворами минеральных кислот и пероксида водорода. Ранее нами в воспроизводимых гидродинамических условиях изучены кинетика и механизм химического травления указанных материалов в травильных композициях HNO₃–HBr, H₂O₂–HNO₃, H₂O₂–H₃PO₄, H₂O₂–H₂SO₄ и H₂O₂–HCl. Для приготовления травильных смесей использовали кислоты следующих концентраций: 70 %-ная HNO₃; 40 %-ная HBr; 37,5 %-ная HCl; 95 %-ная H₂SO₄; 86 %-ная H₃PO₄, а также 35 %-ный H₂O₂.

Установлено, что на основе этих компонентов формируются травители с широким спектром скоростей и различным действием на поверхность монокристаллов CdTe и Cd_{0,22}Hg_{0,78}Te. Сравнительный анализ таких сведений может

быть важным при выборе оптимальных вариантов химической обработки указанных материалов, особенно когда их приходится обрабатывать одновременно при создании рабочих элементов приборов.

Система $\text{HNO}_3\text{--HBr}$. Исследован интервал концентраций 5-50 об.% HNO_3 в HBr . Растворы, содержащие (5-10) об.% HNO_3 в HBr , являются полирующими для CdTe , скорость полирования ($V_{\text{пол}}$) в них изменяется в интервале $30 < V_{\text{пол}} < 38$ мкм/мин, а в травителях состава 15-50 об.% HNO_3 в HBr поверхность CdTe покрывается голубой пленкой. Монокристаллы $\text{Cd}_{0,22}\text{Hg}_{0,78}\text{Te}$ полируются в травителях, содержащих 4-10 об.% HNO_3 в HBr , при этом скорость их полирования составляет $1 < V_{\text{пол}} < 45$ мкм/мин.

Система $\text{H}_2\text{O}_2\text{--HNO}_3$ Исследованный интервал составляет 5-95 об.% H_2O_2 в HNO_3 . Во всех растворах происходит травление CdTe без полирования со скоростью 2,5-20,5 мкм/мин. Монокристаллы $\text{Cd}_{0,22}\text{Hg}_{0,78}\text{Te}$ практически не травятся в смесях $\text{H}_2\text{O}_2\text{--HNO}_3$, а на их блестящей поверхности появляется прозрачная желтоватая пленка (возможно, оксид ртути), которая, очевидно, пассивирует полупроводниковый материал.

Система $\text{H}_2\text{O}_2\text{--H}_3\text{PO}_4$. Исследован интервал составов 5-95 об.% H_2O_2 в H_3PO_4 . При содержании 5-35 об.% H_2O_2 в H_3PO_4 растворы проявляют полирующие свойства для CdTe , при этом скорости полирования очень малы и составляют $0,1 < V_{\text{пол}} < 0,5$ мкм/мин. Как и в предыдущем случае, кристаллы $\text{Cd}_{0,22}\text{Hg}_{0,78}\text{Te}$ практически не растворяются в изученных смесях H_2O_2 в H_3PO_4 , а их поверхность пассивируется (прозрачная желтоватая пленка на блестящей поверхности).

Система $\text{H}_2\text{O}_2\text{--H}_2\text{SO}_4$. Исследован интервал составов 5-30 об.% H_2O_2 в H_2SO_4 . В указанных растворах проходит травление CdTe без полирования с очень маленькими скоростями 0,1-0,8 мкм/мин, а поверхность образцов покрывается серой пленкой. Напротив, в этих же травителях происходит полирование монокристаллов $\text{Cd}_{0,22}\text{Hg}_{0,78}\text{Te}$ с маленькими скоростями растворения 0,1-0,4 мкм/мин.

Система $\text{H}_2\text{O}_2\text{--HCl}$. Исследован интервал составов 5-25 об.% H_2O_2 в HCl . Установлено, что в смесях с содержанием 5-10 об.% H_2O_2 в HCl монокристаллы CdTe полируются со скоростью (1-2,3) мкм/мин, а в интервале 15-25 об.% H_2O_2 в HCl их поверхность покрывается белой пленкой. Для монокристаллов $\text{Cd}_{0,22}\text{Hg}_{0,78}\text{Te}$ все травильные смеси изученного интервала являются полирующими, а скорость полирования составляет 0,1-1,8 мкм/мин.

Таким образом, из работы следует, что пригодными для полирования монокристаллов CdTe являются смеси всех исследованных систем, тогда как для формирования полированной поверхности монокристаллического $\text{Cd}_{0,22}\text{Hg}_{0,78}\text{Te}$ можно использовать только $\text{H}_2\text{O}_2\text{--H}_2\text{SO}_4$, $\text{H}_2\text{O}_2\text{--HCl}$, $\text{HNO}_3\text{--HBr}$, а растворы $\text{H}_2\text{O}_2\text{--HNO}_3$ и $\text{H}_2\text{O}_2\text{--H}_3\text{PO}_4$ – для пассивации.

A18 Глубокие центры примесей III группы в теллуриде свинца, возникающие при различных методах легирования

Петренко Т.Л., Пляцко С.В., Сизов Ф.Ф.

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

Легированные индием и галлием соединения PbSnTe представляют значительный интерес для дальнего ИК и субмиллиметрового спектрального диапазона. Однако, до настоящего времени природа их фоточувствительности

остаётся предметом дискуссии. Предложенные феноменологические модели (см., например, [1,2]) и расчеты *ab initio* [3] не объясняют микроскопическую структуру глубоких центров и эффект фотопроводимости. Более того, образование глубоких центров в таких материалах никогда не связывалось с методами легирования. Поэтому усовершенствование технологий легирования основывалось на эмпирическом подходе, а не на фундаментальной физике дефектов. В настоящей работе в качестве модельной системы для разработки реалистичных микроскопических моделей примесей III группы в соединениях на основе PbSnTe рассматривался центр галлия в PbTe.

С этой целью были проведены расчеты из первых принципов энергии образования различных центров галлия в PbTe для разных методов легирования. Расчеты проводились в рамках локального приближения теории функционала плотности с использованием 216-атомных суперячеек, релятивистских согласующихся по энергии псевдопотенциалов малого остова и базисом гауссовых функций, который включает, кроме валентных ns и np орбиталей, внутренние (n-1)s, (n-1)p и (n-1)d орбитали. Рассматривалось легирование из паровой фазы молекулами Ga₂Te, Ga₂Te₃, димерами Ga₂ и атомарным Ga, а также легирование из расплава для разной стехиометрии. Рассчитаны дефекты Ga_{Pb}, Ga_i, гантелеподобный комплекс (2Ga)_{Pb}, имеющий вид расщепленного в направлении <111> междоузлия и образующиеся совместно с другими дефектами межузельные атомы Pb_i и Te_i в разных зарядовых состояниях. Показано, что комплекс (2Ga)_{Pb} характеризуется наименьшей энергией образования для всех рассмотренных методов легирования и обладает рядом примечательных особенностей: он является двойным донором с DX-подобными свойствами, отрицательной корреляционной энергией и метастабильным парамагнитным состоянием, соответствующим положительному заряду дефекта. Нейтральное (двухэлектронное) состояние является глубоким и имеет симметрию C_{3v}, а положительно заряженное (одноэлектронное) состояние - D_{3d}. В результате ИК фотоионизации нейтрального дефекта возникает значительная релаксация атомов (~0.6 Å), что приводит к возникновению задержанной фотопроводимости. Расчеты показали также, что при легировании из паровой фазы энергия образования центров (2Ga)_{Pb} является отрицательной и результирующая концентрация дефектов определяется только кинетическими параметрами процесса. Дефект (2Ga)_{Pb} можно рассматривать как новый тип DX-подобных центров в полупроводниках со значительной степенью ионности связи.

Предложенная модель может быть непосредственно обобщена на кристаллы PbTe, легированные и другими элементами III группы, а проведение аналогичных расчетов может выяснить, имеют ли двухатомные комплексы меньшую энергию образования по сравнению с одноатомными дефектами. Предварительные расчеты показали, что при легировании индием из паровой фазы молекулами In₂Te, энергия образования дефектов (2In)_{Pb} является также отрицательной. Однако поверхность потенциальной энергии в этом случае является более сложной по сравнению с галлиевым дефектом и эта особенность должна быть учтена при разработке реалистичных моделей.

[1] L.I. Ryabova, D. R. Khokhlov, JETP Lett. **80**, 133 (2004)

[2] A.N. Vasil'ev, B.A. Volkov, T.N. Voloshok, S.V. Kuvshinnikov JETP Lett. **61**, 768 (1995)

[3] S. Ahmad, K. Hoang, S. D. Mahanti Phys. Rev. Lett. **96**, 056403 (2006)

А19 Об одном подходе к дешифрированию многозональных изображений

Алеев Р.М., Фофанов В.Б.

*Филиал ФГУП «ПО УОМЗ» «УОМЗ - Институт прикладной оптики»,
Казань, Россия*

Получение сведений о реальной сцене состоит из двух этапов. Сначала в ходе съемки измеряются свойства каждого пикселя сцены. Совокупность полученных измерений представляются в форме, предназначенной для зрительного восприятия, и называются изображением сцены. При решении прикладных задач, как правило, интерес представляют не отдельные пиксели, а их объединения, называемые объектами. Получение сведений об объектах составляет содержание второго этапа, называемого дешифрированием изображений.

Следует отметить несомненный прогресс, достигнутый в части разработки технических средств, предназначенных для съемки. Современные оптико-электронные системы позволяют на высокой скорости регистрировать в каждом пикселе сцены одновременно сотни различных признаков. К сожалению, основным инструментом дешифрирования остается зрительный анализатор человека. Несмотря на неоспоримые достоинства, визуальное дешифрирование имеет принципиальные ограничения, касающиеся, в частности, скорости восприятия и возможностей интегрирования информации, представленной на изображениях. По этой причине сведения о сцене, полученные в ходе визуального дешифрирования, могут оказаться устаревшими. По-видимому, выходом из создавшейся ситуации может быть автоматизация дешифрирования.

К сожалению, общей теории дешифрирования изображений, как руководства к решению прикладных задач, пока не существует, несмотря на интенсивные исследования в этом направлении. Однако в важном частном случае, когда целью дешифрирования является выявление (поиск) на сцене заданных объектов по их геометрическим признакам, все же удалось получить обнадеживающие, с точки зрения приложений, результаты.

Суть предлагаемого подхода состоит в разделении решения задачи поиска заданных объектов на три этапа. Вначале при помощи простых и экономных методов определяются зоны интереса, то есть участки сцены, которые могут содержать заданные объекты. Затем осуществляется сегментация найденных зон интереса на две части: объект и его окрестность. На заключительном этапе вычисляются геометрические признаки объекта и принимается окончательное решение о его наличии или отсутствии в зоне интереса. В качестве исходной информации о сцене используется набор одновременно сформированных и пространственно совмещенных ее изображений. Так как сведения о каждом пикселе сцены представлены на разных изображениях, то дешифрировать их нужно не последовательно (одно за другим), а совместно.

На основе предложенного подхода построена математическая модель векторной сцены. Ее основными составными элементами являются пиксели, объекты и зоны интереса. В рамках модели разработаны и исследованы различные методы поиска и сегментации зон. Для этого используется понятие случайного расстояния. На основе полученных теоретических результатов разработаны

программные средства, обеспечивающие поиск объектов по многозональным изображениям сцены. Следует отметить, что никаких ограничений на количество используемых изображений не накладывается.

Многочисленные компьютерные эксперименты по поиску объектов на модельных и реальных сценах подтвердили рост вероятности правильного обнаружения зоны интереса и вероятности правильной классификации ее пикселей при увеличении числа используемых изображений.

A20 Основные принципы разработки тепловизионных приборов (ТВП) с открытой модульной архитектурой

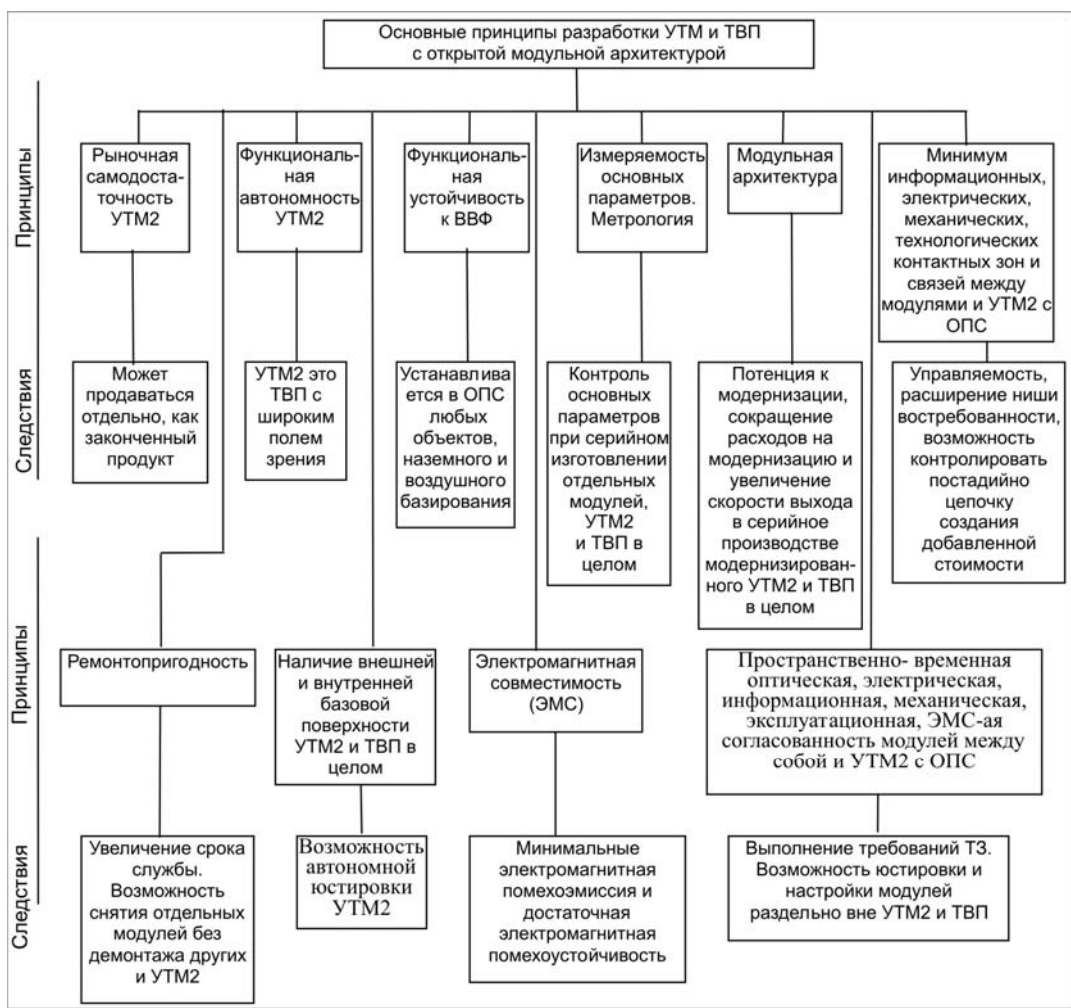
Алеев Р.М., Алеев Д.Р.*

*Филиал ФГУП «ПО «УОМЗ «УОМЗ - Институт прикладной оптики»,
Казань, Россия*

**ЛИИ им. М.М. Громова, Жуковский, Россия*

На основе синергетического подхода, когда целое (тепловизионный прибор) обладает свойствами, которых нет ни у одной из его частей (модулей), сформулированы принципы разработки тепловизионных приборов с открытой модульной архитектурой, обладающей максимальным модернизационным потенциалом.

Считается, что ТВП состоит из следующих основных компонентов – телескопической насадки (ТН), разворачивающего устройства (РУ), узла калибровки (УК), фотоприёмного устройства (ФПУ), блока электронной обработки (БЭО) и видеосмотрового устройства. Наиболее функционально значимым, например, для ТВП 2-го поколения является РУ, которое по существу определяет – является ТВП с открытой модульной или закрытой взаимозависимой архитектурой. По нашему мнению, в ТВП 2-го поколения РУ и сам ТВП должны удовлетворять ряду принципиальных требований, (руководящим установкам для конструктора), при выполнении которых РУ превращается в универсальный тепловизионный модуль (УТМ2), а ТВП становится прибором с открытой архитектурой. На рис. в виде блок - схемы сформулированы и представлены основные принципы разработки УТМ2 и ТВП с открытой модульной архитектурой, которых должен придерживаться конструктор.



A21 Открытая и взаимозависимая архитектура тепловизионных приборов

Алеев Р.М.

*Филиал ФГУП «ПО «УОМЗ» УОМЗ - Институт прикладной оптики»,
Казань, Россия*

Каждый производитель оптических и оптико-электронных приборов, осуществляющий свою деятельность на глобальном рынке специальной техники через головного разработчика комплекса, ежедневно стремится к поддержанию необходимого уровня прибыльности своего производства. В связи с этим, в современных экономических условиях определяющую роль играют такие конкурентные показатели производителя, как скорость выхода новой разработки в серийное производство и на рынок, уровень ее «интеллектуальности», гибкость производственно – технологических линий, снижение накладных расходов.

Современные технологии, степень технического совершенства такого сложного продукта, как тепловизионный прибор (ТВП), приводят к тому, что, при достижении некоторого требуемого уровня его функциональной достаточности и надежности, качество ТВП перестает быть заметным конкурентным преимуществом для покупателя. Обширный мировой рынок конкурентных предложений, особенно ожидаемый после вступления России во Всемирную торговую организацию, повсеместное выполнение производителями ТВП требований соответствия

международным стандартам качества конечного продукта, выводят на первый план максимально быстрое удовлетворение индивидуальных запросов самых разнообразных потенциальных покупателей. Эти цели преследует разработка продукта открытой архитектуры, формируемой по модульному принципу.

Архитектура ТВП является открытой модульной если его разработка и производство не зависят от того, как разработаны и производятся его отдельные модули. Архитектура ТВП называется взаимозависимой (интегральной) закрытой, если хотя бы один его компонент нельзя создать отдельно от других.

На начальном этапе развития данной техники, когда конкуренция разворачивается вокруг качества ТВП и на рынке побеждает производитель лучшего ТВП, он не может себе позволить собирать ТВП из стандартных компонентов. В этом случае производитель, как правило, представляет из себя жесткую вертикально интегрированную производственную структуру, так как он должен контролировать разработку и производство всех важнейших компонентов, определяющих качество ТВП. При переизбытке качества, не оцениваемом потребителем, появляется техническая возможность перейти от закрытой интегрированной конструкции ТВП, на открытую модульную конструкцию. С технической точки зрения, если конкуренция разворачивается вокруг качества ТВП, модульная архитектура – это поражение. Но если происходит насыщение сегмента рынка продаж и требуется быстрое освоение новых ниш при финансово - временных ограничениях, модульный принцип открытой архитектуры имеет бесспорное преимущество с учётом серьёзного модернизационного запаса.

Эволюционный ход развития элементной, технологической базы и разработки ТВП предопределяют, что на начальном этапе тепловизионного приборостроения в условиях конкуренции производитель разрабатывает и оптимизирует, в смысле функциональности и надежности, свою собственную архитектуру ТВП, превращая его в продукт закрытой взаимозависимой архитектуры (интегрированной конструкции). По нашему мнению, настало время перейти к открытой модульной архитектуре ТВП и их серийному производству. Однако это потребует и организационного развития производителя и возможно, что жёсткая вертикально интегрированная производственная структура должна будет дезинтегрирована для получения максимальной прибыли от производства ТВП с открытой модульной архитектурой.

A22 Моделирование ИК фотодиода на основе варизонного твердого раствора CdHgTe со ступенчатым профилем градиента ширины запрещенной зоны

Соколовский Б.С., Писаревский В.К.

Львовский национальный университет им. Ив. Франко, Львов, Украина

В работе выполнен расчет фоточувствительности ИК фотодиода на основе варизонного раствора CdHgTe, в котором ширина запрещенной зоны линейно уменьшается от освещаемой поверхности до металлургической границы р-п-перехода, а за металлургической границей состав полупроводника не изменяется с координатой. Предполагается, что на освещаемой поверхности фотодиода имеется прозрачный омический контакт, а на тыльной поверхности создан блокирующий контакт.

Для фотодиода с заданной энергетической диаграммой построена аналитическая модель переноса фотоносителей, позволяющая рассчитывать спектры фоточувствительности в зависимости от градиента ширины запрещенной зоны, толщин базовых областей и скорости поверхностной рекомбинации фотоносителей на освещаемой поверхности фотодиода.

Показано, что за счет внутреннего квазиэлектрического поля, действующего в передней базовой области, уменьшается влияние поверхностной рекомбинации на фоточувствительность, увеличивается коэффициент переноса фотоносителей. Наличие градиента состава в области объёмного заряда приводит к уменьшению темнового тока с ростом обратного смещения, приложенного к фотодиоду. По сравнению с фотодиодом, предложенным в работе [1], рассмотренный фотодиод характеризуется существенно большей областью спектральной чувствительности.

[1] Б.С. Соколовский, В.К. Писаревский, А.П. Власов, Г.А. Ильчук. Прикладная физика, 2006, №1, с.51-55.

А23 Имитатор инфракрасных изображений

Матюшенко В.Г., Дмитриевский Ю.Н.

Государственный НИИ авиационных систем, Москва, Россия

Оптико-электронные следящие системы, работающие в различных диапазонах электромагнитного спектра, находят широкое применение в системах навигации и пространственной ориентации, технического зрения, системах контроля формы и размеров деталей.

Для сокращения сроков отработки таких систем целесообразно создавать специализированные технологические средства отладки, обеспечивающие выполнение операций:

- юстировки;
- калибровки;
- оценки функционирования.

Для оценки функционирования оптико-электронных следящих систем необходимо воспроизводить различные изображения, программно изменяемые по ракурсу, масштабу и яркости.

В докладе представлен имитатор динамических инфракрасных изображений, предназначенный для отладки и исследования оптико-электронных следящих систем.

Спектральный диапазон работы имитатора $8\div 12$ мкм, частота смены изображений 50 - 85 Гц.

В состав имитатора входят коллиматор и блок формирования ИК изображений. Блок формирования изображений формирует промежуточное ИК изображение в фокальной плоскости коллиматора

Имитатор смонтирован на подвижной транспортной тележке. Гидравлический привод обеспечивает изменения положения оптической оси имитатора по высоте.

Большое внимание уделено методике юстировки имитатора.

Рассмотрен принцип действия и конструктивные особенности блока формирования ИК изображений и входящих в него узлов.

На основе анализа технологических и конструктивных параметров блока формирования ИК изображений разработана методика калибровки имитатора.

В докладе приведены диапазоны имитируемых температур, пространственная и температурная разрешающие способности имитатора.

Доклад снабжен иллюстративным материалом.

A24 Особенности получения слоев HgCdTe методом жидкофазной эпитаксии

Гусейнов Э.К., Эминов Ш.О., Раджабли А.А., Ибрагимов Т.И.

Институт физики НАН, Баку, Азербайджан

Эпитаксиальные слои $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$, с составом $x=0,20\div 0,22$ и толщиной 13-25 μm , пригодные для изготовления фотодиодных структур, работающих в дальнем ИК диапазоне спектра ($\lambda\sim 8-14\ \mu\text{m}$), выращены методом жидкофазной эпитаксии в запаянной ампуле из предварительно синтезированного раствора Hg:Cd:Te на подложках $\text{Cd}_{0,96}\text{Zn}_{0,05}\text{Te}$ с кристаллографической ориентацией (111).

Представлено описание методики подготовки подложек $\text{Cd}_{0,96}\text{Zn}_{0,05}\text{Te}$ для эпитаксии, включающей идентификацию их полярных сторон (111)А (Cd) и (111)В(Те), механическую и химико-механическую полировку, удаление органических загрязнений, а также химико-динамическое травление непосредственно перед загрузкой подложки в ампулу. Установлено, что при обработке подложки в травителе Накагава ($\text{H}_2\text{O}:\text{HO}:\text{HF}=2:2:1$) на стороне (111)А проявляются фигуры травления в виде равносторонних треугольников, а на стороне (111)В-в виде правильных окружностей.

Показано, что механическое полирование (МП) подложки в полирующем растворе, содержащем двуокись алюминия или окись марганца в качестве абразивов, с последующим химико-динамическим травлением в бром-метаноловом травителе приводит к получению высококачественной поверхности с малой толщиной нарушенного слоя. Вместе с тем некоторое количество микроскопических частиц абразива под действием сил молекулярного сцепления с полированной поверхностью подложки прочно удерживаются на ее поверхности и полное их удаление при использовании обычных методов очистки затруднительно и требует использования особых технологических методов и специального оборудования (применение очистительных установок с роликовыми щетками, использование длительной очистки с применением поверхностно-активных веществ и пр. Это делает МП технически трудоемкой и экономически нецелесообразной для применения в процессе подготовки подложки.

В связи этими трудностями нами была опробована методика химико-механического полирования в растворе Br-HBr-этиленгликоль без применения каких-либо абразивов (впервые разработанный в ГИРЕДМЕТ, Москва), Полирование проводилось на установке MULTIPOL-2 с пористым неопреновым (полихлорпрен) полировальником марки "Struers", Denmark. При использовании этого метода заданный уровень полирования был достигнут за относительно короткое время (1 час) и поверхность была лишена какого-либо нарушенного слоя. Приведены данные по скорости снятия нарушенного слоя. Для определения глубины нарушенного слоя произведены измерения зависимости скорости химического травления от времени травления, причем глубина стравленного слоя

определялась посредством профилометра марки Ifa-Step, а также методом взвешивания подложки до и после травления.

Проведена экспериментальная оценка степени пригодности аппроксимационных выражений для температуры фазового равновесия (температуры плавления) жидкого раствора, выраженного формулой $(\text{Cd}_z\text{Hg}_{1-z})_{1-y}\text{Te}_y$ и состава X эпитаксиального слоя, выраженного формулой $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$, выращенного из него. На основе этого представлена методика расчета массовых и молярных соотношений компонент z и y жидкого раствора, выраженного формулой $(\text{Cd}_z\text{Hg}_{1-z})_{1-y}\text{Te}_y$, обеспечивающего получение эпитаксиальных слоев с заданным составом $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ ($x=0,22\pm 0,20$) при выбранной температуре начала эпитаксиального роста ($450-520^\circ\text{C}$).

Ростовой раствор подвергался предварительному синтезу при $T\sim 700^\circ\text{C}$. Известно, что существует очень большая разница в величинах парциального давления ртути при температуре синтеза (12 ± 15 атм. при 700°C) и при температуре эпитаксии ($0,1$ атм. при 500°C). В связи с этим была разработана методика расчета состава исходной шихты, предназначенной для синтеза раствора $\text{HgTe}-\text{CdTe}$, который в конечном итоге должен соответствовать расчетному составу $(\text{Cd}_z\text{Hg}_{1-z})_{1-y}\text{Te}_y$, пригодному для эпитаксиального выращивания.

Представлено описание оригинального устройства для жидкофазной эпитаксии, разработанного авторами, предотвращающего формирование капель из остатков раствора на периферии подложки.

Эпитаксия проводилась при температурах $500-475^\circ\text{C}$ при скорости охлаждения раствора $0,1^\circ\text{C}/\text{min}$. из раствора с составом $(\text{Cd}_{0,808}\text{Hg}_{0,192})_{0,945}\text{Te}_{0,055}$. Толщина слоев прямо зависела от величины температурного интервала охлаждения, причем средняя скорость роста эпитаксиальных слоев составила $1\ \mu\text{m}/\text{K}$. Выращенные эпитаксиальные слои после извлечения из кварцевой ампулы имели p -тип проводимости, концентрацию носителей заряда $p\sim 10^{17}\text{cm}^{-3}$ и подвижность $\mu\sim 200\text{cm}^2\cdot\text{V}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$. Посредством измерения оптического пропускания при 300K и соответствующего его перерасчета на 77K было установлено, что эпитаксиальные слои имеют состав $x=0,20$. После соответствующего отжига в насыщенных парах ртути при температурах $340-350^\circ\text{C}$ в течении $4-8$ часов было установлено, что пропускание в отожженных слоях выросло в $5-6$ раз по сравнению с не отожженными образцами, произошла конверсия типа проводимости с p - на n -тип, а концентрация носителей уменьшилась до 10^{15}cm^{-3} . Это свидетельствует о том, что при отжиге уменьшаются размеры точечных дефектов в виде преципитатов Cd и Te , которые вызывают поглощение и рассеяние излучения пропускание значительно уменьшаются. Рост резкости края поглощения свидетельствует о том, что при отжиге происходит перераспределение компонент Hg , Cd и Te , приводящее к улучшению степени гомогенности раствора.

A25 Метод расчета фотоэлектрических параметров ИК МФПУ

Патрашин А.И.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Разработан метод расчета фотоэлектрических параметров ИК МФПУ, работающих в режиме накопления, с использованием характеристик,

экспериментально измеряемых на фоточувствительных сборках МФЧЭ-мультиплексор.

В качестве исходных использованы размер ФЧЭ (a_x, b_y), темновой ток ФЧЭ (I_d), накопительная емкость (C_n), квантовая эффективность ФЧЭ (η), спектральный диапазон чувствительности (λ_1, λ_2), напряжение перезарядки емкости накопления (E_0).

Выведены аналитические выражения для расчета оптимального времени накопления (τ_n), токовой чувствительности (S_i), ограниченной шумом облученности (NEI), ограниченной шумом мощности (NEP), удельной обнаружительной способности (D^*), динамического диапазона и ограниченной шумом разности температур (NETD).

Представлены зависимости фотоэлектрических параметров от измеряемых характеристик и температуры внешней среды.

В качестве примера рассчитаны параметры МФПУ формата 256x256 на основе антимионид индия и КРТ с использованием экспериментально измеренных характеристик.

А26 Приемник субмиллиметрового излучения на основе

$Cd_xHg_{1-x}Te$ ($x \sim 0,2$)

Сизов Ф.Ф., Забудский В.В., Смирнов А.Б., Гуменюк-Сычевская Ж.В., Момот Н.И.
Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкаревича НАН, Киев, Украина

Изучению физических свойств и созданию приборов на основе соединения КРТ как базового материала современной ИК-микроэлектроники посвящено множество статей. Однако вопрос о применении этого материала для регистрации электромагнитного излучения миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов пока изучен в недостаточной степени. Нами получены результаты, демонстрирующие возможность использования этого традиционного для ИК-области материала в качестве датчика миллиметрового и субмиллиметрового излучения, использующего болометрический эффект разогрева носителей заряда – SHEB детектора [1].

В работе рассматривается прототип многоэлементного микроболометра на базе твердого раствора $Hg_{1-x}Cd_xTe$ ($x \sim 0,2$) с размером чувствительного элемента 50x50 мкм, представляющего собой эпитаксиальную пленку. Оценена его вольт-ваттная чувствительность на длинах волн 4 мм и 8 мм в температурном диапазоне 78÷300 К при разных рабочих режимах (ток через образец от 0 до 1 мА). Регистрация сигналов с облучаемых образцов проводилась методом синхронного детектирования при изменяемой частоте модуляции с помощью нановольтметра с согласованным предусилителем и трансформатором на уровне ~ 20 дБ. Мощность излучения P регулировалась в пределах от 0 до 40 мВт на выходе волновода.

На Рис.1 изображен детектируемый сигнал S , как функция температуры T , при задаваемом смещении через болометр $I_{bias} = 0,7$ мА при мощности излучения ($\lambda=8$ мм) $P = 2,95$ мВт. Величина S имеет фазовую зависимость, отклик понижался в области 260 К, а в области 130 К проходил через ноль, при этом изменялся его знак, что обусловлено изменением механизма токопереноса. Далее происходило резкое возрастание сигнала на величину до 2 порядков при температуре 78 К. Измеренная

величина вольт-ваттной чувствительности составила $S_v=2,56$ В/Вт при $T=300$ К и $S_v=1,28 \cdot 10^3$ В/Вт при $T=77$ К.

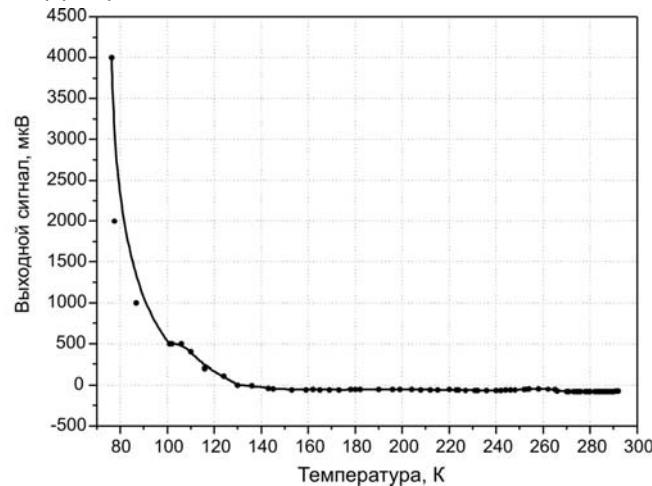


Рис. 1. Температурная зависимость выходного сигнала для одного из фоточувствительных элементов микроболометра на базе твердого раствора $Hg_{1-x}Cd_xTe$ ($x \sim 0,2$) (ток через детектор $I=0,7$ мА, мощность излучения на выходе волновода $P=2,95$ мВт).

1. V.Dobrovolsky, F. Sizov. "A room temperature, or moderately cooled, fast THz semiconductor hot electron bolometer". *Semicond. Sci. Technol.* **22** (2007), p.p. 103-106.

A27 Механизмы токопереноса фотодиодов на основе ГЭС КРТ МЛЭ для спектрального диапазона 8-12 мкм

Гуменюк-Сычевская Ж.В., Васильев В.В.*, Дворецкий С.А.*, Забудский В.В.,
Лысюк И.А., Михайлов Н.Н.*

Институт физики полупроводников НАН Киев Украина

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

Предельные электрические характеристики фотодиодов на основе $HgCdTe$ лимитируются только диффузионной компонентой тока. В реальных переходах существуют дополнительные каналы протекания тока, которые снижают качество фотодиода.

Проведены исследования механизмов токопереноса при температуре $T=77$ К фотодиодов типа n^+-p , полученных при ионном легировании бором гетероэпитаксиальных слоев (ГЭС) теллурида кадмия и ртути (КРТ) p -типа проводимости, выращенных молекулярно-лучевой эпитаксией (МЛЭ). Экспериментальные электрофизические характеристики фотодиодов моделировались уравнениями баланса носителей на уровнях ловушек донорного типа в запрещенной зоне с учетом двух токовых механизмов: туннелирования через ловушки (ТЛ) и генерации/рекомбинации Шокли-Рида-Холла (ШРХ). Другие существенные механизмы тока, проходящие без участия ловушек, рассматривались как аддитивные.

Известно, что при легировании ионами бора без активационного отжига в слоях $HgCdTe$ формируются структуры типа n^+-n-p , причем глубина залегания перехода зависит от энергии и дозы. В интервале энергий 50-150 кэВ и доз 10^{13} - 3×10^{14} см⁻² $n-p$ переход располагается на глубине от 2 до 4 мкм и зависит от дозы. С увеличением дозы увеличивается глубина $n-p$ перехода. Слой n^+ совпадает по

толщине с радиационно-поврежденным слоем, а n - p переход формируется на глубине $2\div 3$ мкм за счет компенсации вакансий ртути в p -слое междуузельной ртутью Hg^{++} . При этом возникает ловушечный уровень донорного типа в запрещенной зоне с энергией $\sim 0.7E_g$ над краем запрещенной зоны, участвующий в процессах ТЛ и ШРХ.

В этой работе нами исследовались диоды, полученные при легировании ионами бора с энергией 50 кэВ и дозой 3×10^{13} см⁻². При таких режимах имплантации формируются фотодиоды HgCdTe с высокими характеристиками чувствительные в области спектра $\lambda \approx (8-12)$ мкм. Темновой ток и динамическое сопротивление для диодов с площадью p - n перехода 30×30 мкм² при обратных напряжениях смещения ~ 0.2 В составляют 1 - 2 нА и 4×10^9 Ом соответственно.

Результаты моделирования характеристик токопереноса фотодиодов при $T = 77\text{K}$ $n_i \approx 2\times 10^{13}$ см⁻³ ($x\approx 0.22$), $p_{p0} \approx 10^{16}$ см⁻³, $n_{n0} \approx 1.4\div 1.8\times 10^{15}$ см⁻³, что соответствует экспериментальным данным при послойном стравливании, $\mu_n \approx \sim 10^5$ см²/В·с, $\mu_p \approx 4\times 10^2$ см²/В·с, времена жизни носителей заряда в n^- области $\tau_n \approx 1\div 2\times 10^{-6}$ с показали, что темновой ток лимитируется диффузионным током и током типа Шокли-Рида-Холла вне p - n перехода.

A28 Оплавленные индиевые столбы в технологии сборки ИК ФПУ

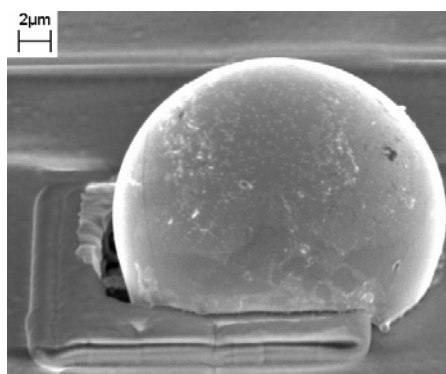
Новоселов А.Р., Кузьмин Н.Б., Васильев В.В., Валишева Н.А.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Гибридная сборка ИК фотоприёмников на основе КРТ (фоточувствительная микросхема) с кремниевой микросхемой (мультиплексором) осуществляется методом перевёрнутого кристалла, когда каждый p - n переход фоточувствительной микросхемы соединяется со своей входной ячейкой кремниевой микросхемы через столбы связи. В качестве материала для столбов связи обычно применяется индий, благодаря его хорошей адгезии и пластичности как при температуре работы ФПУ ($77\div 100$ К), так и комнатной температуре (300 К).

В работе показан метод оплавления индиевых столбов, при котором формируются индиевые столбы сферической формы на кремниевой микросхеме, позволяющие в паре с неоплавленными столбами на фоточувствительной микросхеме получать более качественную сварку. В процессе оплавления индиевых столбов была решена проблема удаления поверхностной плёнки на индии, состоящей из In_2O_3 , химическим методом с применением травителя на основе растворов серной и азотной кислот перед процессом оплавления и в потоке водорода активно взаимодействующего с In_2O_3 непосредственно в процессе оплавления при температурах плавления чистого индия.

Оплавление индиевых столбов на кремниевой микросхеме перед сборкой позволяет из-за изменения формы получать высокие столбы, так при размерах столба $20\times 20\times 7$ мкм оплавленный столб имеет размеры $\varnothing 20\times 14$ мкм. Другое важное преимущество процесса оплавления индиевых столбов, что важно для автоматических установок осуществляющих сборки - получение стабильных механических свойств не зависимо от механических свойств исходных столбов.



На рисунке оплавленный индиевый столб на мультиплекторе линейчатого типа размерностью 4×288 , шаг 56×43 мкм при 160°C

A29 Оптимизация температуры сварки индиевых столбов в методе групповой сборки многоэлементных ФП

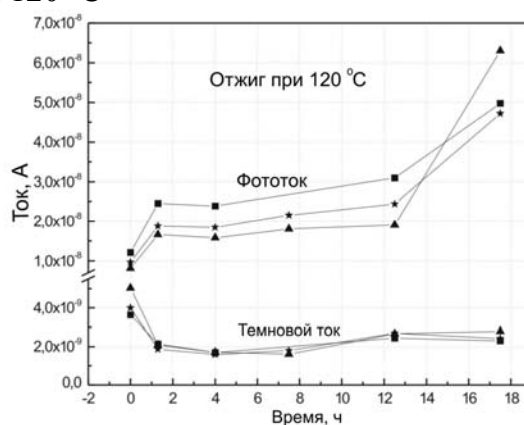
Новоселов А.Р., Предеин А.В., Косулина И.Г., Васильев В.В.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

В процессе сборки фоточувствительного модуля, методом перевёрнутого кристалла, кремниевый мультиплексор и фоточувствительная микросхема (матрица р-п переходов в гетероэпитаксиальном слое HgCdTe р- типа) испытывают сильные деформационные нагрузки. Надёжная сварка индиевых столбов происходит только с применением температуры выше 100°C . Температура и давление в процессе сборки могут приводить к превышению уровня упругих деформаций в фоточувствительной микросхеме.

Описываемые в статье экспериментальные данные, позволяют осуществлять сборку фоточувствительных микросхем с кремниевыми мультиплексорами методом перевёрнутого кристалла при температурах 120°C и давлениях менее $4 \times 10^7 \text{ Н/м}^2$ без ухудшения электрофизических характеристик р-п переходов.

Применение длительного отжига при температуре 120°C на воздухе приводит к уменьшению темновых токов и увеличению фототоков через р-п переход. Усилие на разрыв сборки 128×128 элементов изменяется с 1609 г без нагрева до 2675 г при температуре сборки модуля 120°C



Изменение темнового тока и фототока трех диодов от времени отжига при 120°C (напряжение смещения -150 мВ).

А30 Исследование МДП-структур на основе МЛЭ CdHgTe с анодным окислом

Васильев В.В., Машуков Ю.П.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Одним из широко распространенных методов пассивации поверхности фотоприемных устройств на CdHgTe является анодное окисление CdHgTe с последующим нанесением диэлектрической пленки ZnS. Так как анодный окисел (АО) формирует электрические параметры границы раздела полупроводник – диэлектрик, к нему предъявляются жесткие требования относительно однородности по поверхности и воспроизводимости от образца к образцу.

В данной работе исследуются МДП-структуры с АО в качестве диэлектрика. Металлом для полевых электродов служил In. Толщина АО, измеренная эллипсометром, составляла около 60 нм. Полученные МДП-структуры выдерживали напряжения в пределах 2 – 5 В, что позволяло уверенно измерять вольт-фарадные характеристики (ВФХ) во всей информационно существенной области напряжений развертки, причем в пределах одного образца отдельные МДП-структуры имели очень высокую однородность как по токам утечки, так и по ходу ВФХ. Были подобраны образцы $Cd_xHg_{1-x}Te$ одного состава, $x = 0.22$, и различными концентрациями электронов, $n = (1 - 10) \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$; часть из них имела на поверхности варизонный слой с повышенным составом. Измерения ВФХ проводились на частотах 500 и 100 кГц с помощью Измерителя импеданса ВМ-507, который независимо определял модуль и фазу импеданса. Так как существенную роль при измерениях играло базовое сопротивление образца, была разработана процедура определения величины этого сопротивления из экспериментальных данных и его учета при последующем построении расчетных зависимостей, относящихся к самой МДП-структуре. ВФХ для всех образцов, кроме одного, демонстрировали сдвиг напряжения плоских зон, соответствующий положительному встроенному заряду плотностью $1 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$, что находится в соответствии с многочисленными литературными данными. Следует отметить, что для одного из образцов (с варизонным слоем) сдвиг напряжения плоских зон отсутствовал. Из анализа инверсионной ветви ВФХ определено генерационное сопротивление индуцированного р-п перехода; величина R_0A оказалась равной $2.5 \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$, что свидетельствует о высоком качестве МЛЭ CdHgTe пленок данного состава.

А31 Матричный КМОП мультиплексор с элементами дельта-сигма АЦП в ячейке

Бородин Д.В., Осипов Ю.В., Самотаев Б.А.

ФГУП «НПП «Пульсар», Москва, Россия

ООО «РТК Импекс», Москва, Россия

Современные аналоговые матричные КМОП мультиплексоры для ИК ФПУ имеют динамический диапазон более 80 дБ и обеспечивают функционирование ФПУ с темновыми (фоновыми) токами детекторов $\sim 1 \text{ нА}$ (InSb, QWIP) и накоплением в течение времени кадра в режиме ограничения флуктуациями фона.

Для детекторов с темновыми (фоновыми) токами ~ 100 нА (КРТ, 8-12 мкм) время накопления составляет малую часть кадрового времени (строчное накопление). Матричные мультиплексоры с элементами дельта-сигма АЦП (А. ElGamal 1994-2007; W. Mandl 1999-2007; и др.) позволяют значительно увеличить эффективную зарядовую емкость и динамический диапазон (до 120 дБ и более).

Варианты схем с столбцовым расположением элементов дельта-сигма АЦП мало пригодны для детекторов с токами ~ 100 нА. Действительно, обращение к каждой ячейке и проведение компенсации накопленного заряда возможно один раз за время столбца, а емкость в ячейке за это время не должна переполниться. Минимальное время обращения к ячейке определяется необходимостью вывода аналоговой информации из массива ячеек на периферию кристалла и соответствует периоду тактовой частоты. Следовательно, емкость в ячейке должна быть такой же, как при столбцовом (строчном) накоплении ~ 4 пФ. Такая емкость физически не может быть размещена в ячейке мультиплексора размером $\sim 30 \times 30$ мкм. Кроме того, необходимость вывода сигнала в аналоговом виде на периферию кристалла, и перезарядка столбцовым компаратором шины управления схемами формирования порции компенсационного заряда потребует дополнительной, рассеиваемой микросхемой, мощности до 50 – 100 мВт.

Предложена схема ячейки, содержащая основные элементы дельта-сигма АЦП и состоящая из 12-14 транзисторов (из которых только 2-3 аналоговых) и двух емкостей (по $\sim 0,1$ пФ), которая позволяет проводить компенсацию заряда в ячейках независимо друг от друга (в принципе – во всех ячейках мультиплексора одновременно) и вырабатывать требующие подсчета импульсы количества проведенных компенсаций. Информация об остаточном заряде может быть выведена из массива ячеек на периферию в аналоговом виде один раз в конце кадра. Оригинальным в схеме является использование буферного выходного транзистора ячейки в схеме формирования компенсационного заряда. В качестве компаратора возможно использование логического элемента типа ИЛИ-НЕ.

Так, например, при допустимом времени между компенсациями в 1 мкс и кадровом времени 4 мс, схема проведет ~ 4000 актов компенсации за время кадра, а эффективная зарядовая емкость ячейки составит $3 \cdot 10^9 e$. Основной вклад в шум останется за дробовым шумом фотодиода, а отношение сигнал/шум при переходе от строчного накопления к кадровому увеличится на порядок.

Приведены результаты моделирования предложенной схемы.

А32 Фотоприемный модуль формата 1x128 (1x256) на основе линейки PbSe и КМОП мультиплексора с рабочей температурой +20 - -50 С

Бородин Д.В., Осипов Ю.В., Аветисян Г.Х., Глобус Е.Р., Белоконев В.М.,

Чеканова Г.В., Самотаев Б.А.

ФГУП «НПП «Пульсар», Москва, Россия

ФГУП «Альфа», Москва, Россия

ООО «РТК Имтекс», Москва, Россия

Создан модуль фотоприемного устройства на спектральный диапазон 1–4 мкм на основе линейки PbSe и 128 канальной КМОП микросхемы первичного преобразования. Микросхема осуществляет поканальную индивидуальную компенсацию темнового тока детекторов, интегрирование полезного сигнала в

течение времени строки (т.е. времени вывода информации с 128 каналов) и последовательный вывод. Период расположения чувствительных элементов в линейке составляет 80 мкм (для формата 1x128) и может быть уменьшен до 40 мкм (например, для формата 1x256).

Измерения проводились как при комнатной температуре с пассивной термостабилизацией, так и в герметичном корпусе с термоэлектрическим охладителем. Время интегрирования при измерениях изменялось от 2,64 мс до 165 мкс (частоты вывода информации от 100 кГц до 1,6 МГц).

Установлено, что при комнатной температуре и скорости вывода информации 1,25 мкс/канал средняя по каналам обнаружительная способность D^* превышает $1,4 \cdot 10^9 \text{ см} \cdot \text{Гц}^{0,5} / \text{Вт}$. С охлаждением D^* возрастает более чем на порядок.

А33 Микроригенная система охлаждения фотоэлектронных модулей

Самвелов А.В., Словеснов К.В., Широков Д.А.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Одним из важнейших компонентов фотоэлектронных модулей (ФЭМ), обеспечивающих охлаждение фоточувствительных слоев ФЭМ до рабочей температуры, являются микроригенные системы охлаждения (МКС), во многом определяющие эксплуатационные характеристики ФЭМ.

Разработка отечественных МКС идёт с большим запаздыванием относительно мировых достижений, что существенно сдерживает развитие и промышленное освоение отечественной тепловизионной техники нового поколения. В настоящее время в России разработаны опытные образцы МКС Сплит-Стирлинг, но они имеют ряд существенных недостатков: значительные массогабаритные показатели, потребляемая мощность низкая наработка и др. Основной их недостаток - низкий ресурс работы (2000-3000 часов), тогда как заказчиком ФЭМ предъявляются требования на этот показатель - до 10000 часов.

За рубежом разработаны и широко используются МКС, предназначенные для интеграции с ФЭМ, не имеющие практически вышеуказанных недостатков. Применение таких МКС в составе отечественных ФЭМ значительно повысит их конкурентоспособность.

В докладе описаны преимущества разрабатываемой МКС холодопроизводительностью 0,5 Вт, которая обеспечит комплектацию всех охлаждаемых ФЭМ.

Газовая криогенная машина (ГКМ), входящая в состав МКС, эквивалентна установке, состоящей из традиционных машин и аппаратов, и объединяет в одной машине ряд агрегатов. Благодаря этому упрощена конструкция, уменьшены размеры и масса, улучшены её эксплуатационные характеристики. Эти преимущества обеспечивают широкую область применения ГКМ.

МКС состоит из следующих основных узлов: компрессорный узел на основе двигателя с регулируемым числом оборотов; узел охладителя, включающий вытеснитель со встроенным регенератором; гильза-держатель («холодный» палец) и встроенный электронный блок управления.

Разрабатываемая МКС будет иметь следующие технические характеристики:

- холодопроизводительность при НКУ и температуре на торце гильзы держателя 80К - 0,5Вт;

- время выхода на режим (при приведённой охлаждаемой массе фоточувствительного узла ФЭМ 3,5 г) не более 5 минут;
- потребляемая мощность в стационарном режиме не более 7 Вт;
- масса МКС не более 450 г;
- наработка на отказ - 8000 ч.

Реализация такой конструкции МКС позволяет создать машину уровня соответствующего требованиям для ФЭМ нового поколения.

А34 Алмазоподобное просветляющее покрытие для $Cd_xHg_{1-x}Te/Cd_{1-x}Zn_xTe$

Сизов Ф.Ф., Ключ Н.И., Лукьянов А.Н., Савкина Р.К., Смирнов А.Б., Евменова А.З.
Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарёва, Киев, Украина

Монокристаллы $Cd_{1-x}Zn_xTe$ ($x \sim 0.04$) нашли широкое применение в инфракрасной (ИК) фотоэлектронике в качестве подложечного материала. В частности, речь идет об охлаждаемых оптических приемниках спектрального диапазона $(3 \div 5)$ мкм и $(8 \div 12)$ мкм на основе эпитаксиальных слоев $Cd_xHg_{1-x}Te/Cd_{1-x}Zn_xTe$ поглощение детектируемого излучения в которых происходит со стороны подложки.

В данной работе изучалась просветляющая способность алмазоподобных углеродных пленок (DLC), легированных азотом, $a-C:H:N$, нанесенных методом плазмохимического осаждения на монокристаллы $Cd_{1-x}Zn_xTe$ ($x \sim 0.04$). DLC осаждались на полуизолирующие пластины $Cd_{1-x}Zn_xTe$ при мощности высокочастотного разряда (13.56 МГц) $P = 250$ Вт и давлении в рабочей камере 100 Па в течение 40 мин.

Оптическая система $a-C:H:N/CdZnTe$ исследовалась методом эллипсометрии. Для интерпретации эллипсометрических данных была предложена 3^x -слойная модель преломляющей системы и рассчитаны величины оптических параметров.

Показано, что образуется сложная оптическая система $a-C:H:N/CdZnTe$ с двумя переходными слоями, оптические свойства которых отличаются от свойств исходной подложки.

Эффективность просветления структуры $a-C:H:N/CdZnTe$ для диапазона $(2 \div 16)$ мкм определялась по спектрам оптического пропускания (Рис. 1). Пропускание $CdZnTe$ без покрытия в среднем составляет $T \sim 55\%$, в то время как нанесение пленки $a-C:H:N$ толщиной $d \sim 0,9$ мкм приводит к увеличению T в среднем до 70%. Область максимального просветления (где T достигает 80%) находится в коротковолновом диапазоне $(3 \div 6)$ мкм, который совпадает с окном прозрачности атмосферы.

Обнаружено, что в процессе плазменно-стимулированного осаждения диэлектрического покрытия на полупроводниковую подложку образуется сложная оптическая система с двумя переходными слоями. Показано, что полученная структура устойчива к действию термоциклирования и ультразвуковой обработки.

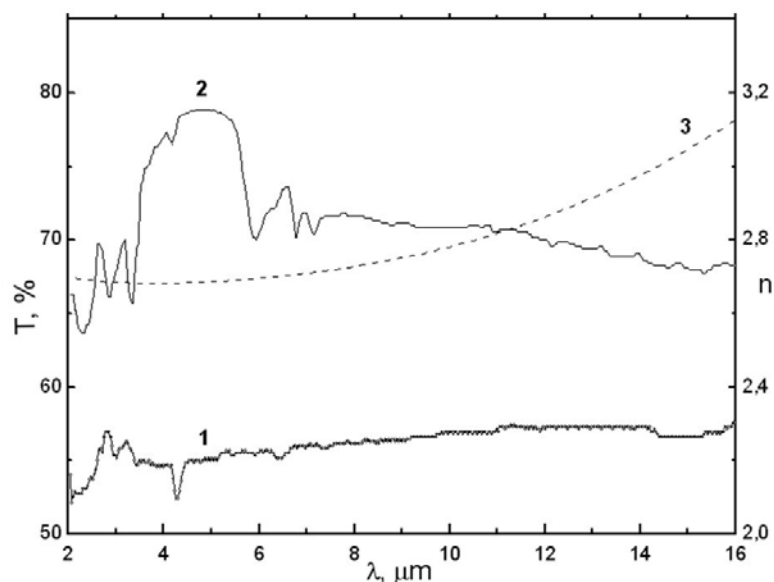


Рис. 1. 1.) - $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ ($x \sim 0.04$) без покрытия; 2.) – структура $a\text{-C:H:N/CdZnTe}$; 3.) – спектральное распределение показателя преломления $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$

А35 Телевизионный канал информационных систем современных подвижных платформ

Алдохин П.А., Журавлев П.В., Войтов В.А.*, Дегтярев Е.В.*, Турбин А.В.,
 Чурилов С.М., Шлишевский В.Б.

НФ ИФП СО РАН «КТИПМ», Новосибирск, Россия

** ФГУП «22 ЦНИИ МО РФ», Мытищи, Россия*

В настоящее время телевизионный канал (ТК) является одним из основных каналов информационных систем современных подвижных платформ, предназначенных для дистанционного контроля и детального исследования окружающего пространства. При регистрации освещенности выше 10^{-2} лк используется, как правило, фотоприемные устройства (ФПУ) на основе ПЗС. При освещенности местности менее 10^{-2} лк в состав ТК вводится дополнительно усилитель яркости, например электронно-оптического преобразователь.

В настоящей работе рассмотрены особенности применения ТК в составе информационных систем подвижных платформ, актуальные проблемы и направления их развития, выполнен анализ задач, решаемых ТК. На примере ТК в составе информационных систем наземных подвижных платформ рассмотрены предъявляемые к ним требования, пути их реализации и конструктивный облик. Особенности применения ТК в составе наземных подвижных платформ являются: сложная фоно-целевая обстановка, малый контраст объекта относительно фона, ограничение массогабаритных характеристик и времени выхода на рабочий режим. Данные особенности формируют задачу создания специализированных оптических систем, использования высокочувствительных, быстродействующих ФПУ с интеллектуальными функциями. Основным техническим параметром, определяющим возможность применения ТК в составе подвижных платформ, является дальность его действия, то есть возможность реализации необходимого уровня видности (обнаружения, ориентации, распознавания, идентификации) при заданных основных характеристиках, таких как поле зрения, время формирования

информационного кадра, вероятность реализации необходимого уровня видности, допустимые массогабаритные характеристики, а также параметрах фоно-целевой обстановки.

В докладе приведены результаты теоретического моделирования и полученные технические характеристики ТК для информационных систем бронетанковой техники. Характеристики ТК получены на основе сопоставления геометрических и энергетических условий достижения требуемого уровня видности.

А36 Тепловизионные приборы для подвижных платформ

Журавлев П.В., Войтов В.А.* , Дегтярев Е.В.* , Моисеев В.А., Попов Л.К.,

Терешин Е.А., Федоринин В.Н., Шатунов К.П.

НФ ИФП СО РАН «КТИПМ», Новосибирск, Россия

** ФГУП «22 ЦНИИИ МО РФ», Мытищи, Россия*

В данной работе рассмотрены результаты разработки тепловизионных приборов (ТпВП) на основе субматричных, матричных, охлаждаемых и неохлаждаемых фотоприемных устройств. Использование ТпВП в составе информационных систем подвижных платформ характеризуется рядом особенностей: необходимостью решения задач в условиях чрезвычайно изменчивой фоно-целевой обстановки и движения платформы по сильно пересеченной местности, наличием сильных помех естественного и искусственного происхождения, жесткими ограничениями массогабаритных характеристик.

В этой связи основными направлениями развития ТпВП для информационных систем подвижных платформ являются: создание оптико-электронных систем с переменным увеличением и полем зрения, создание фотоприемных устройств в виде многоэлементных субматриц и матриц, снижение массо-габаритных показателей за счет использования более простых оптических схем, более высокого светопропускания оптических элементов и применения фотоприемников с высокой чувствительностью и предельно малыми размерами чувствительных элементов. На примере ТпВП для наземных подвижных платформ рассмотрены предъявляемые к ним требования.

ТпВП, входящие в состав информационных систем наземных подвижных платформ, должны обладать характеристиками, близкими к следующим:

- дальность действия 3500 м и более;
- угол поля зрения до $3 \times 2,24$ градусов для задач наведения (узкое поле) и $9 \times 6,75$ градусов для задач целеуказания (широкое поле);
- время готовности не более 5 мин.

Основным параметром, определяющим возможность применения ТпВП в информационных системах подвижных платформ, является дальность действия. В данной работе дальность действия оценивается сопоставлением дальностей, полученных из условий обеспечения необходимой пространственной (геометрическое условие) и энергетической (энергетическое условие) разрешающей способности. В докладе представлены примеры обликов ТпВП, разработанных на основании приведенных выше исходных требований и подходов.

А37 Стабильность параметров ГЭС КРТ МЛЭ и фотоприемников на их основе при воздействии повышенной температуры

Брунев Д.В., Варавин В.С., Ремесник В.Г., Сидоров Г.Ю., Сусяков А.О.
Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск Россия

Исследовано воздействие длительного нагрева ($60\div 120^{\circ}\text{C}$, $50\div 2000$ час) на электрофизические параметры гетероэпитаксиальных структур (ГЭС) $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ (КРТ), выращенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) на подложках GaAs и фотоприемников на их основе. ГЭС КРТ толщиной $8\div 12$ мкм с составом рабочего слоя $x \approx 0,21\div 0,31$ нелегированные и легированные индием имели n-тип проводимости с концентрацией электронов $(2\div 15) \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$.

Установлено, что стандартные технологические обработки, применяемые при изготовлении фотоприемников, существенно снижают стабильность параметров ГЭС КРТ. Необработанные образцы показывают уход параметров не более 20-30% при воздействии нагрева 60°C за время до 2000 часов. Проведено исследование влияния обработок в окислительно-восстановительных средах для выявления возможных причин снижения стабильности. Показано, что такой причиной может быть источник акцепторов на поверхности ГЭС КРТ.

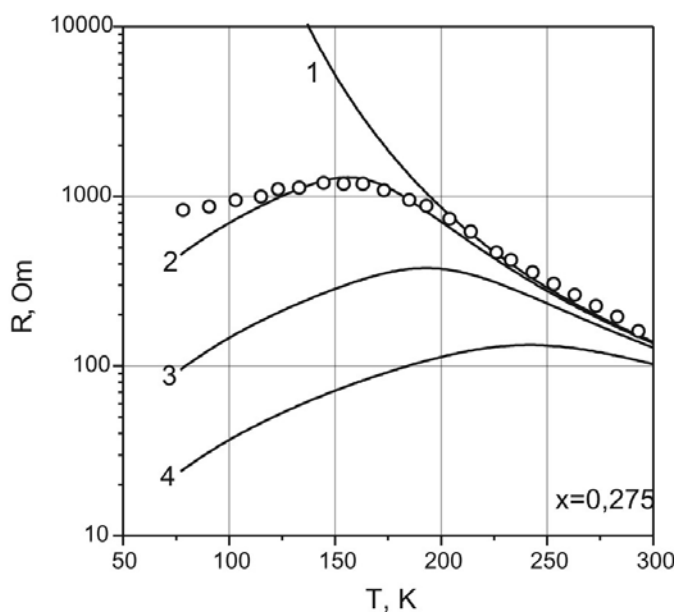


Рис.1. Температурная зависимость сопротивления фоторезистора с квадратной фоточувствительной площадкой. Сплошные кривые – расчет: 1- для собственной концентрации носителей, 2- $\text{Nd}=2,1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$, 3- $\text{Nd}=1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, 4- $\text{Nd}=4 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, кружки- эксперимент.

С помощью химического травления были изготовлены фоторезисторы размером 100×100 мкм. Проведен расчет зависимости сопротивления фоторезистора от температуры и концентрации носителей для разных составов (рис.1). Поверхность мез фоторезисторов подвергалась пассивирующим обработкам. Показано, что пассивирующая обработка боковых поверхностей мез фоторезистора улучшает стабильность их параметров (сопротивление, вольтовая чувствительность) и изменения параметров не превышают 20-30% при длительных выдержках при температуре 60°C - 70°C .

A38 Неохлаждаемый фоторезистор на основе $\text{Cd}_{0.167}\text{Hg}_{0.833}\text{Te}$ в поперечном магнитном поле

Алиев А.А., Ибрагимов Т.И., Кулиев Ш.М., Мамедов А.К., Гусейнов Э.К.
Институт физики НАН, Баку Азербайджан

Ранее нами была представлена работа, в которой был проведен теоретический расчет и приведены результаты разработки и исследования неохлаждаемых ФЭМ приемников на основе $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ для области спектра $10\div 11$ μm .

В настоящей работе представлены результаты исследования возможности повышения параметров неохлаждаемого фоторезистора для области спектра $10\div 11$ μm на основе $\text{Cd}_{0.167}\text{Hg}_{0.833}\text{Te}$, помещенного в поперечное магнитное поле, в зависимости от степени компенсации акцепторами.

Фотоэлектрические параметры вычислялись для фотоприемной площадки, состоящей из трех полосок толщиной 10 μm , шириной 300 μm , общей площадью $A=1\times 1$ mm^2 с антиотражающими покрытиями, обеспечивающими двукратное прохождение излучения.

Ширина запрещенной зоны составляла 0.098 eV при $T=300$ К. Коэффициент поглощения был принят равным 1700 cm^{-1} при длине волны 10.6 μm , значение скорости поверхностной рекомбинации – 100 cm/s , а квантовая эффективность – 1. Значения степени компенсации варьировались в диапазоне $1\div 10$, электрического поля $0,5\div 10$ V/cm, магнитного поля $0,1\div 3,0$ Тл.

Проведены расчеты зависимости времени жизни, длины диффузии, темнового сопротивления, вольтовой чувствительности и удельной обнаружительной способности от степени легирования, величины электрического и магнитного полей с учетом механизма Оже-рекомбинации, которой определяются рекомбинационные процессы в $\text{Cd}_{0.167}\text{Hg}_{0.833}\text{Te}$ при температурах порядка 300 К.

Проведен сравнительный анализ параметров обычных фоторезистора и ФЭМ детектора с аналогичной конструкцией чувствительного элемента, и детектора помещенного в скрещенные электрическое и магнитное поля в зависимости от степени компенсации.

Показано, что путем подбора степени компенсации, величины электрического и магнитного полей, можно достичь параметров, превосходящих параметры неохлаждаемых фоторезисторов и ФЭМ детекторов на основе такого же материала.

Разработана конструкция и изготовлен неохлаждаемый фоторезистор на основе $\text{Cd}_{0.167}\text{Hg}_{0.833}\text{Te}$, размещенный между полюсами миниатюрного постоянного магнита.

А39 Криостат с охлаждением от газовой криогенной системы для многоэлементных ИК фотоприемников

Добровольский П.П., Рафайлович А.С., Анциферов А.П.*, Брунёв Д.В.*,
Дворецкий С.А.*, Варавин В.С.*, Сидоров Ю.Г.*

НФ ИФП СО РАН «КТИПМ», Новосибирск, Россия

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

Одной из ключевых задач при создании высокочувствительных тепловизионных устройств является разработка криостатов для фотоприемников (ФП). Нами была разработана конструкция криостата для охлаждения ФП газовыми криогенными машинами 2-го класса. Разработанная конструкция обеспечивает, в частности, низкий теплоприток к охлаждаемому ФП (не более 450 мВт), высокую стабильность вакуума в объеме криостата в течение длительного времени (до 3 лет), универсальность как для сопряжения с внешними электронными схемами, так и для использования с различными типами фотоприемных устройств. Изготовлены экспериментальные образцы криостатов, предназначенных для сопряжения с газовой криогенной машиной 2-го класса. Фотография криостата показана на рисунке 1.

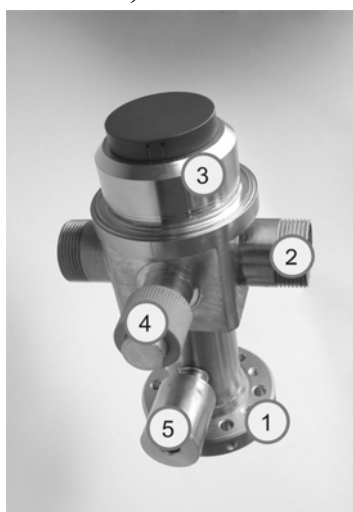


Рисунок 1.

Криостат для многоэлементных ИК-фотоприемников.

1- фланец для стыковки с криомашиной;

2 – электровводы; 3 – колпак с входным окном;

4 – клапан для откачки; 5 – газопоглотительная ячейка

В криостате применена оригинальная конструкция газопоглотительной ячейки с внешней активацией. По сравнению с газопоглотительными ячейками с прямым токовым нагревом, такая конструкция имеет большую механическую прочность, а кроме того, позволяет избежать нагрева фоточувствительного элемента в процессе активации.

Основные характеристики криостата приведены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики криостата

Количество электрических выводов, шт	38
Сопротивление электрических выводов, Ом	< 0,8
Размер фотоприемника, мм ²	до 13x15
Максимальный суммарный теплоприток к охлаждаемой области, мВт	450
Уровень поддерживаемого вакуума в объеме криостата, Па	1..5x10 ⁻⁴
Длительность стабильного поддержания вакуума после первичной активации газопоглотительной ячейки, лет	3
Количество активаций газопоглотительной ячейки	> 10
Приведенная к температуре криостатирования масса охлаждаемых элементов криостата в эквиваленте меди, г	4,5

А40 Линейные ФПЗС и фотоприемные модули на их основе

Арутюнов В.А., Богатыренко Н.Г., Васильев И.С.,

Илисавская Е.Ю., Прокофьев А.Е.

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

Приведены основные результаты исследований и разработок линейных ПЗС чувствительных в видимом диапазоне и фотоприемных модулей на их основе.

В частности, рассматриваются особенности построения и приводятся параметры серии линейных ФПЗС предназначенных для использования в космических летательных аппаратах (КЛА). Так, для устройств ориентации по Солнцу КЛА системы 545К и «Глонасс-К» создан ЛФПЗС с числом элементов 2×1024 . Прибор отличается сверхвысокой точностью позиционирования (± 1 мкм) базовой поверхности относительно фоточувствительной поверхности. Это обеспечивает повышенную точность угловых измерений в широком интервале. Для аналогичных применений в КЛА специального применения разработан радиационно-стойкий ЛФПЗС с числом элементов 2600×2 и размерами фоточувствительных элементов 12×100 мкм. Для космических применений разработаны также широкоформатные линейные ФППЗ с числом элементов 4700 и 12000. Приборы отличаются малыми размерами фоточувствительных элементов ($6,5 \times 6,5$ мкм).

В качестве фоточувствительных элементов рассматриваемых приборов используются обедненные фотодиоды, выполненные по PPD (pinned photodiode) технологии, что обеспечивает требования повышенной радиационной стойкости и высокой однородности чувствительности.

Рассматриваются также параметры и конструкция цифрового фотоприемного модуля. Модуль выполнен на базе линейного ФПЗС с числом элементов 2×1024 . Показано, что разработанный алгоритм обработки информации с этого модуля обеспечивает погрешность координатной интерпретации световой марки менее $\pm 0,2$ мкм, что соответствует 65000 координатных точек отсчета на всей длине фоточувствительной поверхности прибора. Данный модуль нашел широкое применение в системах прецизионной координатной ориентации изделий.

Все указанные ЛФПЗС имеют встроенные системы электронного экспонирования и антиблужинга и обладают большим динамическим диапазоном (более 6000).

А41 Неохлаждаемая пироэлектрическая ИК матрица на основе барий стронций титанат с повышенной чувствительностью в диапазоне спектра 2...24 мкм

Мороз С.А.

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

Целью работы является повышение чувствительности неохлаждаемой матрицы ИК-диапазона. В докладе приводятся результаты исследования примесей пироэлектрической керамики на основе барий стронций титанат.

Изложены методики получения легированных материалов. Исследовано влияние легирующих примесей на электрофизические свойства барий - стронций титанат. Получены экспериментальные данные для создания пироэлектрической

матрицы с повышенной чувствительностью. Показано влияние примесей на параметры и характеристики материалов.

Разработаны методики измерения приемников, электронные схемы для усиления и обработки полученного сигнала, технология изготовления приемников на основе ВСТ керамики. Измерены параметры, такие как чувствительность, постоянная времени, коэффициент преобразования.

Разработан технологический маршрут изготовления чувствительного элемента, произведен выбор оборудования и устройств для обеспечения технологического маршрута. Определена конструкция пироэлектрической матрицы.

Исследования проводились на разработанном измерительном комплексе. Измерялись одно- двух элементные экспериментальные образцы на основе ВСТ.

На основании экспериментальных данных, пироэлектрическая керамика на основе легированного барий стронций титаната, имеет пироэлектрический коэффициент выше 300 нКл/см²К и более, выходное напряжение 2,2 мВ, при температуре черного тела 300К на расстоянии в 300мм, тангенс угла диэлектрических потерь не более 0,03, рабочая температура +30С, что позволит увеличить чувствительность пироэлектрического приемника ИК-диапазона.

Было также проведено исследование воздействия ионизирующего γ излучения (ИИ), рентгеновского излучения, потоков нейтронов и электронов.

В данной керамике заряд накапливается медленнее и насыщение наблюдается при более высокой дозе ($\sim 3 \times 10^6$ рад). Был обнаружен скачек диэлектрической проницаемости и возникновение отрицательной проводимости при напряженности 3×10^3 В/см и частоте 1 кГц, что приводит к более высокой радиационной стойкости приборов. Керамика устойчива и не реагирует на высокие ЭМИ, которые характеризовались крутыми фронтами. Но при измерениях возникали «наводки» на подводящие проводники.

По результатам работы получено авторское свидетельство на изобретение керамического пироэлектрического материала для неохлаждаемых приемников инфракрасного излучения, содержащий поликристаллический титаната бария - стронция с легирующими добавками

В результате исследования выявлены основные преимущества пироэлектрической матрицы по отношению к приборам на основе монокристаллов кремния:

1. более высокая устойчивость к ЭМИ и ИО;
2. более высокая устойчивость к пересветкам и перегревам;
3. более низкие требования к точности установки и стабилизации температуры чувствительного элемента;
4. более низкие требования к термоэлектрическому стабилизатору температуры;
5. более высокая долговечность.

А42 Многоэлементный диодный микроболометр на SOI

Белин А.М., Климов Ю.А., Кузьмин С.В., Малышев В.М.

ООО «Юник Ай Сиз», Зеленоград, Россия

Разработан технологический маршрут и конструкция интегральной ИС микроболометрического многоэлементного фотоприемника. ИС сочетает высокие

метрологические характеристики и относительно низкую стоимость изготовления по стандартной кремниевой технологии с использованием серийных SOI пластин.

Температурно-чувствительным элементом является вывешенный кремниевый диод.

Произведены расчеты параметров микроболометра. Оптимизирована конструкция и технология изготовления для достижения предельных характеристик.

На технологической базе завода «Ангстрем» с проектными нормами 1.2 мкм изготовлены экспериментальные образцы микроболометрической линейки 128 элементов с шагом 50 мкм.

Таблица 1. Основные параметры микроболометрического фотоприемника.

Спектральный диапазон чувствительности	8...14 мкм
Количество пикселей	128
Размер пикселя	40 x 70 мкм
Шаг	50 мкм
разность температур, эквивалентная шуму (NETD)	0.05 °К
Однородность чувствительности	< 0.1%
Тепловая постоянная времени	7 мс
Коэффициент теплообмена	3.6 мкВт/°К
Напряжение питания	5В
Потребляемый ток	0.3 мА
Тактовая частота выходного сигнала максимальная	500 кГц
Выходной сигнал потенциальный	0..2.5 В
Рабочая температура	от -40 до +80С

При изготовлении фотоприемника были использованы технологии, в том числе и оригинальные:

- формирование кремниевых карманов с полностью диэлектрической целевой изоляцией,
- подводящие балки с малым коэффициентом теплопроводности и высокой механической прочностью;
- технология глубокого (> 30мкм) вывешивания чувствительных ячеек;
- технология формирования упрощенных биполярных транзисторов совместимых с КМОП маршрутом;
- технология механического разделения , разварки и корпусирования МЕМС ИС с вывешенными ячейками.

Рекордная однородность чувствительности существенно упрощает системное использование фотоприемника.

В настоящее время разработана конструкция и технология изготовления матричного микроболометра 320 x 240 со схемами управления. При геометрическом размере ячейки 30x30 мкм шаг по обеим осям составляет 50 мкм.

А43 Имитационная модель сигналов смотрящих и сканирующих ОЭП

Жидков П.М., Красоткин В.С. Прокофьева В.В., Борошнев А.В., Кузьмина И.В.*

ФГУП ЦНИИ «Комета», Москва, Россия

** МИРЭА, Москва, Россия*

При проектировании и сопровождении систем наблюдения, включающих оптико-электронные приборы (ОЭП) интенсивно используют имитационные модели, включающие модель среды, модель оптико-электронной аппаратуры и средства обработки информации ОЭП. Модель ОЭП преобразует пространственно-временное распределение облученности зрачка в модельные кадры информации.

Основу модели составляет преобразование распределения облученности ФПУ в сигналы. Модель включает в себя объектив, три разновидности ФПУ, управление кадровой синхронизацией и программное сканирование, блоки электронного тракта и квантователя. Модель конкретного прибора собирается из различных блоков в различной комбинации. Это достигается за счет унификации интерфейсов блоков и многоэтапного преобразования координат в модели ОЭП.

Одним из новшеств модели является архитектура на основе запросов, что позволяет моделировать развертку видикона и сканирующие приборы, учитывая при этом временные характеристики сцены в полученном кадре, такие как собственное изменение сцены, смаз и динамические аберрации из-за колебаний.

А44 Стенд для измерения параметров интегральных схем считывания многоэлементных ИК ФПУ

Духнин С.Е., Забудский В.В.*, Станиславский А.С., Голенков А.Г.*,

Коринец С.В., Рева В.П.

ГП «НИИ микроприборов» НТК «Институт монокристаллов» НАН, Киев, Украина

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

Создание многоэлементного фотоприемного устройства (ФПУ) требует как оптимизации его составных частей — фотодиодов, интегральных схем считывания (ИСС), систем криогенного охлаждения и электромеханического сканирования, так и обеспечения их совместной согласованной работы. Эксплуатационные качества ФПУ характеризуется системой параметров (удельная обнаружительная способность, вольт-ваттная чувствительность, эквивалентная шуму разность температур и однородность этих характеристик), с помощью которой они могут быть выражены количественно. В свою очередь, для обеспечения предельных характеристик ФПУ интегральные схемы считывания должны быть согласованы с характеристиками фоточувствительных элементов ФПУ. Это означает необходимость использования однозначной системы параметров, определяющих пригодность ИСС для работы в составе данного ФПУ, а также оборудования, с помощью которого эти параметры можно должным образом измерить.

Для определения параметров схем считывания разработан измерительный стенд, который позволяет в автоматическом или полуавтоматическом режиме произвести измерения следующих величин, характеризующих ИСС:

1) максимальный выходной сигнал ($U_{вых}^{max}$, В; $I_{вых}^{max}$, А) – напряжение (ток), соответствующее началу перехода в режим насыщения зависимости выходного

напряжения (тока) от входного инжекционного тока;

2) максимальный сигнальный заряд (Q_{\max} , Кл) – величина сигнального заряда, не вызывающая переполнения потенциальных ям и соответствующая максимальному сигналу на выходе;

3) нелинейность выходной характеристики ($A_{\text{нла}}$, %) – степень несоответствия линейному закону зависимости выходного напряжения (тока) от входного инжекционного тока;

4) абсолютная неравномерность выходного сигнала (ΔU_C , В; ΔI_C , А) – разность максимального и минимального значений выходного сигнала ИСС по всему полю элементов считывания или его части;

5) темновой сигнал (U_T , В; I_T , А) – напряжение или ток выходного сигнала ИСС при нулевом значении тока инжекции и при отсутствии фоновой засветки прибора;

6) среднее квадратическое напряжение (ток) шума ($\sigma U_{\text{ш}}$, В; $\sigma I_{\text{ш}}$, А) – среднее квадратическое значение временной флуктуации выходного или темнового сигнала по всему полю элементов считывания или его части в заданной полосе частот;

7) динамический диапазон выходного сигнала (D, дБ) – отношение напряжения (тока) насыщения к среднему квадратическому напряжению (току) темнового сигнала;

8) потребляемая мощность (P, Вт);

Стенд позволяет измерять параметры ИСС различных форматов (2×64, 4×288, 6×576 и др.) на зондовой установке (с использованием сменных головок) и в корпусе. В составе стенда использованы разработанные 14-битное АЦП с частотой выборки до 10 МГц, цифровой интерфейс для формирования кода управления режимами работы схем считывания, также низкошумящий программируемый генератор задающих сигналов. Стенд позволяет обеспечить измерения выходных сигналов с динамическим диапазоном более 80 дБ (уровень собственных шумов не более 0,3 мВ).

А45 Влияние морфологии ростовой поверхности эпитаксиальных слоев $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ на качество пассивирующего покрытия и параметры матричных фотоприемных устройств

Бурлаков И.Д., Кашуба А.С., Пермикина Е.В.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

В работе были изучены дефекты поверхности эпитаксиальных слоев $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$, выращенных на подложках КЦТ, и установлено, что эти дефекты полностью наследуются слоем пассивирующего покрытия. Большое количество дефектов значительно ухудшает характеристики пассивирующего покрытия, что негативно сказывается на работе прибора. Неплоскостность поверхности эпитаксиальных слоев, вызванная дефектами, может приводить к неоднородности характеристик и является причиной дефектности отдельных фоточувствительных элементов (ФЧЭ), а также оказывает отрицательное влияние на ряд технологических процессов изготовления матричных фоточувствительных элементов на основе фотодиодов из $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$.

А46 Исследование влияния технологических режимов на характеристики пассивирующих покрытий

Бурлаков И.Д., Кашуба А.С., Пермикина Е.В.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Исследование влияния технологических режимов на характеристики пассивирующих покрытий, нанесенных на структуру КРТ/КЦТ, имеет огромное значение для производства качественных фотоприемных устройств ИК диапазона на длину волны 8-12 мкм. Характеристики пассивирующего покрытия зависят не только от качества и особенности подготовки поверхности эпитаксиального слоя КРТ, но и от параметров процесса при котором происходит нанесение слоя пассивирующего покрытия. Выбор технологического режима (давление в реакторе, температуры в зоне испарения и осаждения, масса источника, время процесса) играет решающую роль в получении качественного пассивирующего покрытия. Целью данной работы явилась выявление закономерностей роста пассивирующего покрытия при различных условиях и нахождение оптимальных параметров нанесения пассивирующего покрытия.

А47 Уникальные свойства микро- и наноконтактов металл–полупроводник

Мамедов Р.К.

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

Практически все результаты экспериментально измеренных электрофизических, фотоэлектрических, термоэлектрических и других характеристик и параметров выпрямляющих и омических контактов металл-полупроводник (КМП) достаточно основательно интерпретируются теоретическими положениями физических моделей и механизмов токопрохождения реальных КМП, разработанных на основе электрофизических особенностей их составляющих взаимодействующих микро и наноконтактов [1]. В тоже время, наноконтакты металлических наночастиц с определенной поверхностью полупроводника и наноконтакты полупроводниковых наночастиц с определенной поверхностью металла обладают уникальными свойствами.

Исследование электрофизических процессов, происходящих в наноконтактах металл-полупроводник показывает, что в полупроводниковой приконтактной области выше отмеченных наноструктур возникает электрическое поле ($\sim 10^4$ В/см) контактной разности потенциалов как между контактными поверхностями металла (с $\Phi_M \sim 4-5$ эВ) и полупроводника (с $\Phi_P \sim 4-5$ эВ), так и между контактной поверхностью (с $\Phi_B = \Phi_M - \Phi_P$) и свободными поверхностями контактирующих материалов (Φ_M и Φ_P). В результате этого нано КМП имеют специфическими особенностями, необходимыми для изготовления полупроводниковых приборов на основе наноструктур.

В частности, нано КМП на основе слаболегированных полупроводников всегда обладают выпрямляющими свойствами как для n- типа, так и p-типа полупроводника при любых соотношениях Φ_M и Φ_P , соответствующих модели Шоттки. Прямая ветвь вольтамперной характеристики нано КМП с n- типом полупроводника при $\Phi_M \approx \Phi_P$ имеет экспоненциальный характер. При обратном

смещении ток в нано КМП начинает протекать лишь при определенном критическом напряжении и при больших его значениях обратная ветвь ВАХ описывается законом Ома.

1. Мамедов Р.К., Контакты металл-полупроводник с электрическим полем, пятен, Баку, БГУ, 2003, 231 с.

А48 Исследования взаимосвязи в матричных фотоприемных устройствах на основе КРТ

Болтарь К.О., Яковлева Н.И.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Качество изображения, формируемого тепловизионной системой, зависит от взаимосвязи в матричных фотоприемных устройствах (МФПУ), которая включает фотоэлектрическую, оптическую и электрическую составляющие [1-3]. Взаимосвязь между фоточувствительными элементами (ФЧЭ) ухудшает передаточную функцию МФПУ и приводит к потере контраста ИК-изображения.

Фотоэлектрическая взаимосвязь возникает между элементами матричного фотоприемника при уменьшении шага до размеров, когда расстояние между близлежащими р-п переходами становится сравнимым с диффузионной длиной неосновных носителей заряда [1-3]. Для выявления причин возникновения фотоэлектрической взаимосвязи в матрицах фоточувствительных элементов исследованы диаграммы распределения токов по площади МФЧЭ и проведены расчеты фотоэлектрической взаимосвязи между элементами МФПУ различного формата.

Поверхностные токи, обусловленные поверхностными состояниями и встроенным зарядом диэлектрика, влияют на фотоэлектрическую взаимосвязь между элементами в МФПУ на основе КРТ и приводят к снижению дифференциального сопротивления фотодиодов. Исследованы зависимости фотосигнала от координаты оптического зонда в плоскости фоточувствительного элемента МФПУ на основе КРТ фотодиодов с базой р-типа, имеющих канал п-типа вдоль поверхности, и диаграммы распределения токов по элементам МФПУ, позволяющие выявить области поверхностных утечек.

Важной составляющей взаимосвязи является электрическая взаимосвязь. По большей части электрическая взаимосвязь связана с дефектами кремниевой интегральной схемы считывания. Причиной электрической взаимосвязи между соседними элементами МФПУ могут являться также остатки индия на поверхности матрицы фоточувствительных элементов после технологических операций формирования индиевых столбиков. Исследование вольтамперных характеристик взаимосвязанных элементов матриц фотодиодов подтверждает наличие электрической взаимосвязи такого типа.

Построены зависимости коэффициента взаимосвязи и эффективной длины диффузии от граничной длины волны МФПУ, изготовленных на основе эпитаксиальных структур КРТ, выращенных методами ЖФЭ и МЛЭ.

1. Болтарь К.О., Мансветов Н.Г., Стафеев В.И., Яковлева Н.И. Межэлементные связи в матричных ИК фотоприемниках. // Оптический журнал,

2000. - том 67, N2. - С.77-80.

2. Уайт М.Г. Полупроводниковые формирователи сигналов изображения. - М: Мир. — 1979. — Часть VI. Пар.4.3. - С.368.

3. Holloway H. Collection efficiency and crosstalk spaced photodiodes arrays// J. Appl. Phys., 1986. -N60(3).-PP. 1091-1096.

А49 Влияние отжига на оптические и фотоэлектрические свойства гетероэпитаксиальных структур Cd–Hg–Te для фото- и оптоэлектронных устройств среднего ИК диапазона

Ижнин А.И., Ижнин И.И., Иванов-Омский В.И.*, Баженов Н.Л.*, Мынбаев К.Д.*, Смирнов В.А.*, Варавин В.С.**, Михайлов Н.Н.**, Сидоров Г.Ю.**

НИИ материалов НПП «Карат», Львов, Украина

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

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

При решении задач, связанных с синтезом твердых растворов Cd–Hg–Te, важное место занимают проблемы, обусловленные необходимостью постростового отжига. Эта необходимость диктуется характерной для соединений $A^{II}B^{VI}$ зависимостью концентрации собственных дефектов от внешних технологических условий, так что для компенсации отклонений от стехиометрии, возникающих во время синтеза, требуется постростовая термическая обработка. Такая обработка позволяет как «залечивать» ростовые дефекты, улучшая структурные, электрические и оптические свойства материала, так и генерировать новые, — например, вакансии ртути, необходимые для получения образцов p - $Cd_xHg_{1-x}Te$ с заданной концентрацией дырок без дополнительного легирования.

В настоящей работе исследовано влияние отжига на оптические и фотоэлектрические свойства гетероэпитаксиальных структур Cd–Hg–Te, предназначенных для создания фото- и оптоэлектронных устройств среднего инфракрасного диапазона (3–5 мкм). Исследовались гетероструктуры GaAs/ZnTe/CdTe/ $Cd_xHg_{1-x}Te$ (в направлении подложка-слой) с составом активной области $x=0.3–0.4$ и толщиной от 3 до 5 мкм. На границах этой области выращивались варизонные широкозонные слои с толщинами нижнего и верхнего слоев ~ 1.0 мкм и ~ 0.3 мкм соответственно. Состав варизонных слоев увеличивался до $x \sim 0.5–0.7$ на интерфейсе с буферным слоем и на поверхности активного слоя. Исследовались как свойства as-grown структур n -типа проводимости ($n_{77} \sim (2-5) \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$), так и структур, отожженных в парах Hg (20 ч при $T=270$ °С, p -тип проводимости с $p_{77} \sim (5-7) \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$) и Hg (15 ч при $T=250$ °С).

На гетероструктурах изучались спектры оптического пропускания при 300К, спектры фотопроводимости при 84 К, и спектры фотолюминесценции (ФЛ) в диапазоне температур от 4.2 К до 300 К. ФЛ изучалась при импульсном возбуждении полупроводниковым лазером AlGaAs/GaAsP с длиной волны 0.84 мкм или непрерывном возбуждении лазером с длиной волны 0.81 мкм. Запись спектров осуществлялась на автоматизированных установках на базе монохроматоров типа МДР. Сигнал ФЛ регистрировался фоторезисторами InSb или $Cd_xHg_{1-x}Te$ при импульсном возбуждении и PbS при непрерывном возбуждении.

Наблюдались изменения оптических и фотоэлектрических свойств гетероструктур после отжига, в частности, обнаружен немонотонный характер

температурной зависимости энергетического положения отдельных полос ФЛ и их интенсивности в отожженных образцах. Обсуждается влияние параметров отжига на изменение структуры материала и проблемы оптимизации отжига для повышения эффективности создаваемых фотоэлектрических приборов.

Работа была частично поддержана Министерством образования и науки Украины (договор № М/182–2007), грантом РФФИ 07–02–00400 и Интеграционным проектом СО РАН № 3.20.

A50 Определение дефектных элементов матричных фотоприемников при двухточечной коррекции

Болтарь К.О., Грачев Р.В., Полунеев В.В.
ФГУП НПО «Орион», Москва, Россия

Неоднородность характеристик элементов матричных фотоприемников (МФПУ), порождающая геометрический шум, как правило, выравнивается по методу двухточечной коррекции, включающему калибровки в двух температурных точках, взятых за «холодную» и «горячую».

Предложен метод обнаружения дефектных элементов МФПУ в процессе холодной и горячей калибровок. Для холодной калибровки осуществляется накопление N последовательных кадров. По накопленным значениям для каждого элемента с помощью метода наименьших квадратов строится наилучшая прямая, определяющая постоянную составляющую для данного элемента и показатель ее дрейфа. Среднее квадратичное отклонение измеренных значений от построенной прямой дает оценку временного шума на частоте, определяемой задержкой между кадрами. Обнаружение дефектных элементов осуществляется по порогам, устанавливаемым для показателей дрейфа, оценок временного шума и значений постоянной составляющей. После процедуры горячей калибровки определяются коэффициенты чувствительности для каждого элемента, по которым происходит обнаружение дефектов.

Для исправления обнаруженных дефектов предложен набор методов, реализованных в сигнальном процессоре 1892ВМ2Я серии «Мультикор», осуществляющем обработку кадров МФПУ в реальном времени.

Приведены распределения по элементам МФПУ и гистограммы значений дрейфа и частотных зависимостей шума для формирователя тепловизионного изображения на основе МФПУ формата 256×256, спектрального диапазона 8-12 мкм на фотодиодах из КРТ.

A51 Исследование свойств эпитаксиальных слоев КРТ в гибридных гетероконструкциях, выращенных методами ЖФЭ и МОСVD

Котков А.П., Гришнова Н.Д., Моисеев А.Н., Денисов И.А.*, Смирнова Н.А.*, Шматов Н.И.*, Белов А.Г.*, Пашкова Н.А.*

Институт химии высокочистых веществ РАН, Нижний Новгород, Россия
** ФГУП «ГИРЕДМЕТ», Москва, Россия*

Выращивание многослойных гетероструктур на основе КРТ с использованием комбинации различных методов эпитаксии является актуальной

задачей как с точки зрения расширения номенклатуры подложечного материала, так и наиболее эффективного сочетания достоинств методов.

Цель работы состояла в исследовании влияния условий последовательного выращивания эпитаксиальных слоев (ЭС) КРТ методами жидкофазной эпитаксии (ЖФЭ) и химического осаждения из паров металлоорганических соединений (МОСVD) на основные свойства ЭС. Для нанесения МОСVD-слоя на ЭС КРТ ЖФЭ последний необходимо предварительно нагреть до температуры МОСVD осаждения, а затем длительно выдерживать в условиях МОСVD осаждения. Это может приводить к заметным изменениям свойств слоя КРТ ЖФЭ: состава, морфологии поверхности, концентрации и подвижности носителей заряда и др.

На начальном этапе исследований работа проводилась в следующих направлениях:

- осаждение слоя CdTe (МОСVD) толщиной $0,5 \div 1$ мкм на ЭС $Cd_yHg_{1-y}Te$ (ЖФЭ) p-типа проводимости;
- осаждение слоя $Cd_xHg_{1-x}Te$ (МОСVD) на обратной стороне подложки CdZnTe с предварительно выращенным ЭС $Cd_yHg_{1-y}Te$ (ЖФЭ) p-типа проводимости.

После осаждения слоя CdTe(МОСVD) в отсутствии паров ртути на ЭС КРТ ЖФЭ в последнем в 2-3 раза повышается концентрация дырок и уменьшается их подвижность. При нагреве ЭС КРТ ЖФЭ в парах ртути и последующем осаждении слоя CdTe(МОСVD) в пределах ошибки измерения не происходит изменения концентрации дырок в ЭС $Cd_yHg_{1-y}Te$ ЖФЭ. Не наблюдается также изменения состава (y) слоя $Cd_yHg_{1-y}Te$ и несколько улучшается морфология его поверхности. Наличие интерференции в спектрах отражения структур CdTe/ $Cd_yHg_{1-y}Te$ /CdZnTe свидетельствует о высоком качестве границ раздела слоя CdTe и слоя $Cd_yHg_{1-y}Te$.

После доращивания слоя $Cd_xHg_{1-x}Te$ (МОСVD) на обратной стороне подложки CdZnTe с предварительно осажденным ЭС $Cd_yHg_{1-y}Te$ (ЖФЭ) в слоях $Cd_yHg_{1-y}Te$ (ЖФЭ) p-типа в 3-4 раза увеличивалась концентрация дырок и соответственно уменьшалась их подвижность, но не происходило изменения состава (y) слоя $Cd_yHg_{1-y}Te$ (ЖФЭ). Исследования спектральных характеристик структур, состоящих из двух слоев КРТ, разделенных подложкой CdZnTe, показало, что в случае $x \neq y$ один из слоев КРТ можно использовать в качестве светофильтра, а второй – в качестве детектора. При этом получается детектор с узкой спектральной характеристикой.

A52 Микроригенные системы для охлаждаемых фотоприемных устройств ИК диапазона спектра

Сеньковский А.Н., Габайдуллин В.С., Пробылов В.В., Лебедева О.В.
ФГУП «Альфа», Москва, Россия

Разработаны и находятся на стадии мелкосерийного производства два вида микроригенных систем (МКС) замкнутого цикла, работающих по циклу Стирлинга. МКС реализованы в исполнении сплит-Стирлинг и имеют холодопроизводительность 0,4 и 0,6 Вт при температуре 80 К. МКС предназначены для криостатирования фоточувствительных элементов (ФЧЭ) фотоприемных устройств ИК-диапазона.

МКС выполнены на основе поршневых компрессоров с вращательным приводом со статорами, расположенными вне герметизируемого рабочего объема.

Конструкции холодных головок разработаны на основе свободнопоршневой и резонансной схем. Стыковка МКС с фотоприемными устройствами осуществляется через теплопроводные демпфирующие узлы в холодной зоне держателей фоточувствительных элементов. Мощность, потребляемая МКС каждого вида при криостатировании во всех условиях эксплуатации, не превышает 25 и 35 Вт соответственно. Масса МКС составляет 1,5 кг и 3 кг. На базе МКС холодопроизводительностью 0,6 Вт разработан ряд модификаций для условий конкретного применения различными потребителями.

В статье приводятся основные технические и эксплуатационные характеристики МКС.

А53 Перспективы использования фианита как материала микро- и фотоэлектроники для создания фотоприёмников

Бузынин А.Н., Кравченко Н.В.*, Ломонова Е.Е., Сидоров М.С.*, Трищенко М.А.*,
Филачев А.М.*, Хакушев П.Е.*

Институт общей физики РАН, Москва, Россия

**ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия*

В фото- и микроэлектронике активно используются новые материалы, предоставляющие по сравнению традиционными материалами новые возможности разработчикам фотоприёмников. В настоящей работе рассмотрены три перспективных направления использования фианита как материала для создания фотоприёмников.

1. Фианит как защитный и стабилизирующий диэлектрический слой. Здесь фианит рассматривается как альтернатива низкотемпературной пиролитической плёнке SiO_2 на германии. Такие плёнки, используемые в технологии германиевых фотоприёмников, не свободны от ряда недостатков: в них наблюдается гистерезис CV -характеристик, относительно высока плотность поверхностных состояний ($\geq 10^{12} \text{ см}^{-2} \text{ эВ}^{-1}$) и плотность пор ($4\div 8 \text{ см}^{-2}$). Показано, что структуры с фианитом свободны от ряда отмеченных недостатков.

2. Фианит как подложка для эпитаксиальных слоёв InGaAs . Здесь фианит рассматривается как альтернатива полупроводниковой подложке InP . Системы InGaAs

имеют ряд недостатков: в них несовершенна гетерограница, происходит диффузия примесей (прежде всего серы) из InP подложки. При использовании фианита можно избежать эти недостатки.

3. Фианит как изолятор. Здесь структура InGaAs -фианит рассматривается как аналог структур КНС-"кремний на сапфире". В эпитаксиальном тонком слое InGaAs формируются фотоэлементы, а затем промежуточный слой InGaAs между фотоэлементами вытравливается, тем самым фотоэлементы полностью изолируются, фотоэлектрическая взаимосвязь сводится практически к нулю.

Приводятся результаты первых экспериментов по указанным направлениям.

А54 Анализ отказов специализированных интегральных схем считывания и обработки сигналов матричных ИК фотоприемников

Акимов В.М., Дремова Н.Н., Якунин С.Н.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

В настоящее время лидирующими материалами для создания матричных фотоприемных устройств среднего и дальнего инфракрасного диапазона спектра являются твердые растворы теллуридов кадмия и ртути а также соединения антимонида индия. [1] Как правило, матрицы фотодиодов формируются на пластинах фоточувствительного материала по планарной либо меза- технологии. Механическая и электрическая стыковка фоточувствительной матрицы с кремниевым мультиплексором производится по технологии flip-chip. Подобные матричные фотоприемные устройства могут содержать серию неработающих элементов, наличие которых может быть обусловлено дефектами, как в фоточувствительной матрице, так и в кремниевом мультиплексоре.

В настоящей работе проведен анализ отказов специализированных кремниевых микросхем мультиплексоров матричных ФПУ. Кремниевые микросхемы считывания и предварительной обработки фотосигналов выполнены по стандартной МОП технологии со структурно выделенными областями регистра управления, регистра считывания и собственно массива ключевых МОП транзисторов заданного формата. Наиболее критичной областью к наличию дефектов является массив ключевых транзисторов, где единственный дефект может привести к отказу целой строки мультиплексора.

Анализ на отказ вида “замыкание поликремневых затворов на сигнальную шину” проводился методом наведенного тока в растровом электронном микроскопе. Область ключевых транзисторов является удаленной, поэтому сигнал снимался с контактных площадок регистра управления микросхемы. Шина поликремневых затворов электрически не связана с областями легирования, поэтому появление случайного электрического контакта с сигнальной шиной либо со стоком ключевого транзистора приводило к детектированию сигнала наведенного тока, что и являлось критерием отказа. Для точной локализации дефекта и выявления его природы использовалась комбинация методов наведенного тока и потенциального контраста. Строка с дефектным элементом определялась по сигналу наведенного тока, точное положение (столбец) по отсутствию потенциального контраста поликремневых затворов за счет утечки на землю. Кроме матрицы ключевых транзисторов проводилась идентификация обрывов, замыканий и других электрически-активных дефектов в регистрах управления и считывания.

Данный метод позволил выявить основные виды дефектов приводящих к отказам мультиплексоров, детальный анализ природы возникновения дефектов позволил внести корректировки в технологический процесс изготовления мультиплексоров, что в конечном итоге привело к увеличению процента выхода годных. Продемонстрирована возможность исправления единичных дефектов при помощи технологии фокусированных ионных пучков.

1. В.И. Стафеев, К.О. Болтарь, И.Д. Бурлаков, В.М.Акимов и др. Матричные фотоприемные устройства среднего и дальнего инфракрасных диапазонов на основе фотодиодов из CdHgTe. ФТП, 2005, т.39, в.10, с.1257-1265.

A55 О структурных особенностях гетерокомпозиций теллурида кадмия-ртути, выращенных молекулярно-лучевой эпитаксией

Дремова Н.Н., Якунин С.Н.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Полупроводниковые твердые растворы теллуридов кадмия-ртути (КРТ) являются основным материалом для изготовления детекторов инфракрасного излучения в диапазоне длин волн 3-20 мкм. В настоящее время лидирующим методом получения КРТ большой площади является метод молекулярно-лучевой эпитаксии, позволяющий использовать различные подложки, такие как Si, Ge, GaAs. При этом, существенные различия параметров решеток в сопрягаемых материалах и слабая химическая связь Hg-Te обуславливают наличие большой концентрации дефектов различного вида (вакансий ртути, антиструктурного теллура и т.н. V-образных дефектов) в выращиваемых гетероэпитаксиальных структурах, существенно влияющих на их свойства. Вместе с тем, высокая плотность дефектов и низкий энергетический порог их генерации традиционно используются для управления электрофизическими свойствами КРТ без введения примесей.

В настоящей работе проведено исследование структурных, морфологических и композиционных характеристик твердых растворов кадмий-ртуть теллура, выращенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии прошедших термический обжиг для получения для получения дырочного типа проводимости. Кристаллическая структура исследовалась методом высокоразрешающей рентгеновской дифрактометрии, диагностика морфологии и состава пленок КРТ проводилась методами электронной микроскопии и энергодисперсионного рентгеновского микроанализа.

Обнаружено, что содержание кадмия в твердом растворе определенное методами рентгеновской дифрактометрии и энергодисперсионного микроанализа различается более чем на 10%. Обнаруженное несоответствие концентраций кадмия, определенное по данным рентгеновской дифрактометрии ($x_{Cd}'=0.1108$), объясняется уменьшением параметра кристаллической решетки на $\Delta d=d_{изм}-d_{x=0.22}=-0.00221\text{Å}$, вызванным высокой концентрацией ($\sim 10^{18}\text{см}^{-3}$) точечных дефектов представляющих собой вакантные узлы в подрешетке ртути. Высокая концентрация вакансий ртути ведет к изменению объема элементарной ячейки за счет релаксации решетки вокруг каждой вакансии, что, в конечном итоге, приводит к сжатию решетки. Параметр решетки твердого раствора поверхностного варизонного слоя КРТ больше ожидаемого и соответствует эквивалентному содержанию кадмия $x_{Cd}'=0.392$. Увеличение параметра решетки в варизонном слое может быть связано с преобладанием антиструктурного теллура, наличие которого приводит к дилатации кристаллической решетки.

A56 Фотоэлектронный широкопольный модуль на спектральный диапазон 0,8...11,0 мкм

Горелик Л.И., Куликов К.М., Шаронов Ю.П.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Разработан широкопольный фотоэлектронный модуль для приёма импульсного излучения в спектральном диапазоне 0,8...11,0 мкм с длительностями 10...100 нс.

Фотоэлектронный модуль состоит из двух основных функциональных узлов: светосильного широкодиапазонного оптического тракта и фотоприёмного устройства. Фотоприёмное устройство модуля содержит фотоприёмник из фоторезистора КРТ состава $x \approx 0,18$, работающего при температуре 240К. Фотоэлектронный модуль обеспечивает импульсную пороговую чувствительность не хуже $2 \cdot 10^{-11}$ Дж/см² на всех рабочих длинах волн. Оптический тракт модуля имеет относительное отверстие 1\1 и выполнен в двух модификациях - с полями зрения $\pm 26^0$ и $\pm 50^0$ на основе сферических компонентов из традиционных оптических материалов. Высокое относительное отверстие оптического тракта обеспечивает достаточный запас чувствительности фотоэлектронного модуля, что позволяет уменьшить фокусное расстояние и применить фотоприёмник с минимальной площадью фоточувствительной зоны и поэтому использовать термоохладитель с минимальными массогабаритными характеристиками и энергопотреблением. В топологии фотоприёмника учтены искажения вызванные дисторсией. Приведены результаты измерений основных характеристик модуля. Проанализированы два варианта построения фотоэлектронного модуля: на основе фотоприёмников с чувствительными элементами 0,3x3,0 мм и с топологией, аналогичной кодовому фотоприёмнику типа ФД-246.

A57 Фотоприёмники из ГЭС КРТ МЛЭ диапазона 3÷5 мкм различной топологии с термоэлектрическим охладителем

Акимова Н.М., Долганин Ю.Н., Карпов В.В., Корольков В.П., Савченко М.А., Варавин В.С.*, Дворецкий С.А.*, Михайлов Н.Н.*, Сидоров Ю.Г.*, Якушев М.В.*
ОАО «МЗ «Сапфир», Москва, Россия

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

В работе представлены результаты разработки многоэлементных фотоприёмников (ФП) резистивного типа ИК-излучения диапазона 3-5 мкм с высокими фотоэлектрическими параметрами, которые могут быть использованы в системах обнаружения и визуализации теплового излучения во многих областях жизнедеятельности человека.

В качестве чувствительного материала использованы гетероэпитаксиальные структуры твердого раствора кадмий-ртуть-теллур, выращенные методом молекулярно-лучевой эпитаксии (ГЭС КРТ МЛЭ) на подложке из арсенида галлия.

Приводятся основные фотоэлектрические параметры многоэлементных фоторезисторов, работающих с 2^x и 3^x ступенчатом термоэлектрическим охлаждением и при комнатной температуре.

Экспериментально найдены параметры ФП с различной конструкцией ФЧЭ, которые могут быть реально необходимы в конкретных применениях датчиков. Доказано что оптимальные фотоэлектрические характеристики, в том числе и пороговые, могут быть получены на ФП, чувствительные площадки которых имеют подтенение в приконтактных областях.

Типовые характеристики разработанных ФП:

Характеристика	Тип приёмника	
	ФР-227М	«Перспектива»
Удельная обнаружительная способность в максимуме спектральной чувствительности (в НКУ), $\text{Вт}^{-1} \text{смГц}^{1/2}$	$(6\div 8)\times 10^{10}$	$(6\div 7)\times 10^{10}$
Сопротивление, не менее, Ом	800	400
Число элементов	5	14
Топология	Линейка	Крест
Размер ФЧЭ/ зазор, мм	0,5×0,5/0,1	0,5×0,1/0,02
Тип корпуса	ТО-8	
Число каскадов ТЭО	2	3
Положение максимума спектральной чувствительности, мкм	4,0÷4,3	4,2÷4,5
Диапазон рабочих температур окружающей среды, °С	-60 ÷ +60	-60 ÷ +60

А58 Многоспектральный МФПУ с топологией 3×4×288 на $\text{Hg}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$ для спектрального диапазона 8÷12 мкм

Долганин Ю.Н., Карпов В.В., Никифоров А.Ю., Васильев В.В.*, Захарьяш Т.И.*,
Клименко А.Г.*, Сусялков А.О.*

ОАО «МЗ «Сапфир», Москва, Россия

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

Представлены результаты разработки многоэлементного ФПУ (МФПУ) спектрального диапазона 8÷12 мкм на ГЭС КРТ МЛЭ, используемых в спутниковых системах дистанционного зондирования Земли.

МФПУ состоит из:

- фотоприемного устройства (ФПУ) – четыре модуля 3×4×288;
- держателя (гильза МКС) с посадочным местом под фоточувствительный элемент и датчиком температуры;
- вакуумированного корпуса криостата с геттером;

Каждый модуль имеет индивидуальную охлаждаемую диафрагму и представляет собой «флип-чип» - сборку многорядной линейки ФП с мультиплексором, топологией 3 блока (4×288). Топология одного блока 8 линеек×144 элемента. Размер фоточувствительного элемента (пикселя) 28мкм (вдоль линейки) и 25мкм (поперёк), период 56 мкм (вдоль линейки) и 45 мкм (поперёк). Расстояние между блоками 1,1мм. Средняя удельная обнаружительная способность на длине волны 10 мкм $D_{\lambda = 10\text{мкм}}^* (T_{\text{ф}}=300\text{К}, 2\beta=30^\circ)$, не менее $3\times 10^{10} \text{смГц}^{1/2}\text{Вт}^{-1}$. Количество дефектных элементов ($D_{\lambda = 10\text{мкм}}^* < 1\times 10^{10}$) не более 10%. Мультиплексор обеспечивает параллельное считывание сигналов с трёх блоков и имеет 6 аналоговых выходов (без ВЗН), максимальная частота работы мультиплексора 4МГц. Каждый блок предназначен для работы в своём

спектральном диапазоне (8,6÷9,0; 10,6÷11,2 и 11,2÷12 мкм). Диафрагма высотой 11мм обеспечивает угол поля зрения поперёк линейки $\pm 15^\circ$.

ФПУ размещается в вакуумном криостате на держателе, имеющем световую зону диаметром 50мм. Неравномерность распределения температуры по держателю не превышает 0,1 К. Теплоприток к конструкции в нормальных условиях не более 0,95 Вт, охлаждаемая масса (в эквиваленте меди) 27г, что позволяет обеспечить время выхода на рабочий режим МФПУ, состыкованного с ГКМ первого класса МСМГ-6А-1,7/80 не более 9 минут (при полезной нагрузке 400 мВт).

А59 Вакуумный криостат с фоновым экраном для формата 2×4×576

Долганин Ю.Н., Карпов В.В., Козырев М.Е., Крашенинников В.С., Кузнецов Н.С.
ОАО «МЗ «Сапфир», Москва, Россия

В субматричных и матричных фотоприёмниках большого формата тепловая нагрузка на систему охлаждения многократно возрастает как за счет больших геометрических размеров и массы фоточувствительных элементов, тепловыделения мультиплексоров, так и за счет конвективного теплообмена в газонаполненном криостате. Существующие микрокриогенные системы (МКС) не в состоянии обеспечить требуемый темп захлаживания и длительное поддержание рабочей температуры таких фотоприёмных модулей.

Применение криостатов с вакуумной теплоизоляцией позволяет значительно снизить тепловую нагрузку на МКС – уменьшить теплоприток на 30 - 50%, охлаждаемую массу, а также сократить время выхода фотоприёмника на рабочий режим (80 К).

Нами разработана конструкция вакуумного криостата с увеличенным до 35 мм диаметром охлаждаемого наконечника держателя, предусматривающего размещение до 6 ФЧЭ размерностью 4x288 с охлаждаемой массой до 25 г. Высокая, в пределах 0,1 К, однородность распределения температуры по наконечнику обеспечена использованием керамики. Расположенный на наконечнике фоновый экран высотой 120 мм с внутренней поверхностью, обеспечивающей полное внутреннее рассеяние. Температура экрана не выше 130К. Плоский угол поля зрения ФЧЭ, обеспечиваемый фоновым экраном, составляет $\pm 12^\circ$.

Предложенная конструкция вакуумного криостата позволяет применять для охлаждения ФПУ с чувствительным элементом формата 2×4×576 до рабочих температур 80 ± 2 К МКС типа газовых криогенных машин МСМГ-6А-1,8/80.

А60 Разработка метода пересчета паспортных характеристик матричных ИК ФПУ к виду, удобному для использования при проектировании ИК аппаратуры с лазерным подсветом

Степанов Р.О.
ОАО «МЗ «Сапфир», Москва, Россия

Активное развитие рынка инфракрасных матричных фотоприемных устройств (ИК МФПУ) привело к значительному расширению сферы их применения. В частности, появились задачи, решение которых предполагает использование ИК МФПУ совместно с подсвечивающим лазерным излучением.

В тоже время, исторически сложившаяся система паспортизуемых пороговых характеристик ИК МФПУ неудобна к применению при проектировании активных приборов с лазерами. Для проектирования систем с лазерами удобными являются пороговая освещенность ИК МФПУ в рабочем спектральном диапазоне $E_{\text{пд}}^{\lambda_1-\lambda_2}$ и пороговая освещенность на длине волны подсвечивающего лазера $E_{\text{пд}}^{\lambda_{\text{эац}}}$.

В связи с этим возникла необходимость разработки адекватной методики пересчета ЭШРТ к величине пороговой освещенности. Для корректного проведения пересчета необходимо чтобы в паспорте на ИК МФПУ наряду с ЭШРТ были приведены: интегральная чувствительность S_v , спектральная характеристика относительной чувствительности $s(\lambda)$, а также условия паспортизации - температура фона T_δ и относительное отверстие D/f' использовавшегося объектива. В рамках разработанной методики получены простые и удобные для инженерных расчетов выражения, и сформулированы условия их применимости. В частности, определено, что расчет пороговой освещенности ИК МФПУ в рабочем спектральном диапазоне можно производить по формуле:

$$E_{\text{пд}}^{\lambda_1-\lambda_2} = 0.25 \cdot \tau_{\text{п.н.}} \cdot \left(\frac{D}{f'} \right)^2 \cdot \Delta T_{\text{п}} \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{\tilde{N}_1 \cdot \tilde{N}_2 \cdot \exp(C2/(\lambda \cdot T_\delta))}{\lambda^6 \cdot T_\delta^2 \cdot (\exp((C2/(\lambda \cdot T_\delta))) - 1)^2} d\lambda$$

где λ_1, λ_2 - коротковолновая и длинноволновая границы спектральной чувствительности ИК МФПУ: $C1 = 3,7415 \cdot 10^4 \text{ (Вт} \cdot \text{мкм}^4 \text{)}/\text{см}^2$ и $C2 = 1,4388 \cdot 10^4 \text{ мкм} \cdot \text{К}$ - интегральный коэффициент пропускания оптической системы, включающей объектив использовавшийся при паспортизации и входные окна ИК МФПУ.

Рассчитать пороговую освещенность ИК МФПУ на длине волны подсвечивающего лазера, позволяет выражение:

$$E_{\text{пд}}^{\lambda_{\text{эац}}} = \frac{E_{\text{пд}}^{\lambda_1-\lambda_2} \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} s(\lambda) M(\lambda, T_\delta) d\lambda}{s(\lambda_{\text{эац}}) \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} M(\lambda, T_\delta) d\lambda}$$

где $\lambda_{\text{эац}}$ - длина волны излучения лазера; $M(\lambda, T_\delta)$ - функция Планка.

Разработанный метод перерасчета паспортных характеристик может быть использован специалистами, деятельность которых связанная с созданием оптико-локационной аппаратурой использующей в приемном канале ИК МФПУ.

А61 Разработка методики анализа отражательных характеристик ИК ФПУ и тепловизионных приборов, построенных на их базе, для прогнозирования возможности обнаружения таких приборов методами лазерной локации

Степанов Р.О.

ОАО «МЗ «Санфир», Москва, Россия

В последнее время, среди актуальных задач лазерной локации приобретает заслуженный интерес новая задача, связанная с исследованием возможности дистанционного обнаружения скрытых и замаскированных тепловизионных приборов за счет использования эффекта световозвращения. Эффект световозвращения проявляется в том, что при облучении тепловизионного прибора лазерным излучением, которое соответствует его рабочему спектральному диапазону отраженное излучение распространяется в обратном направлении. Такой характер отражения связан с автоколлимационным ходом лучей в оптической системе облучаемого прибора, в фокальной плоскости которой находится приемник излучения.

Возникновение новой задачи объясняется активным развитием индустрии приемников ИК излучения, в первую очередь матричных, а также появлением когерентных источников пригодных для создания лазерных локационных систем обнаружения в ИК диапазоне.

Для решения такой задачи предлагается использовать метод расчета важнейшей световозвращательной характеристики - показателя световозвращения (ПСВ). Основой предлагаемой методики является выражение полученное для расчета ПСВ тепловизионных приборов :

$$R = \frac{\tau_{\text{об}}^2 \cdot \tau_{\text{О.С.ФПУ}}^2 \cdot \rho_{\text{ИЭ}} \cdot D_{\text{Ав.Св}}^2 \cdot f'^2}{4 \cdot (d_{90\%})^2},$$

где $\tau_{\text{об}}$, $\tau_{\text{О.С.ФПУ}}$ - коэффициенты пропускания объектива и оптической системы ФПУ, входящих в состав тепловизионного прибора; $\rho_{\text{ИЭ}}$ - коэффициент отражения фоточувствительной поверхности ИК ФПУ тепловизионного прибора; f' - заднее фокусное расстояние оптической системы тепловизионного прибора; $d_{90\%}$ - диаметр пятна рассеяния, формируемого оптической системой тепловизионного прибора, в пределах которого сосредоточено 90% энергии всего излучения.

В зависимости от имеющихся исходных данных возможны различные варианты применения полученного выражения

Предлагаемая методика определения основной отражательной характеристики ИК ФПУ - $\rho_{\text{ИЭ}}$, основана на учете влияния общих конструктивных особенностей присущих тепловым и фотонным ИК ФПУ.

Расчет ПСВ ряда современных тепловизионных приборов работающих в спектральных диапазонах 3-5 мкм и 8-14 мкм, позволил определить диапазон типичных значений ПСВ, ограниченный значениями от 10 до 10^5 .

Разработанная методика и полученные с ее помощью результаты могут быть полезны как разработчикам лазерной локационной ИК аппаратуры, так и специалистам, связанным с проектированием пассивных ИК систем.

А62 Освоение серийного производства модуля фотоприемного устройства охлаждаемого матричного

Карпов В.В., Петренко В.И., Лыткин А.П., Ширяев В.П., Кузнецов Н.С., Семенов В.И., Машевич П.Р.*, Золотарев В.И.*

ОАО «МЗ «Сапфир», Москва, Россия

**ОАО «Ангстрем», Москва, Россия*

В настоящее время ОАО «МЗ «Сапфир» осваивает серийное производство модуля фотоприемного устройства охлаждаемого матричного (МФПУ 2 ОМ).

Модуль МФПУ 2 ОМ совместно с модулем цифровой обработки сигналов (ЦОС 1) предназначен для работы в различных тепловизионных приборах и выполняет следующие функции:

1. Преобразование тепловых изображений в области диапазона спектра $3\div 5$ мкм, формируемых объективами тепловизионных приборов, в аналоговый импульсный видеосигнал;
2. Аналого-цифровое преобразование видеосигнала;
3. Регулировку уровней импульсных и постоянных напряжений питания матрицы.

Технические характеристики модуля МФПУ 2 ОМ:

- область спектральной чувствительности, мкм	$3\div 5$
- среднее значение пороговой облученности, Вт/см ²	$2,5 \cdot 10^{-7}$
- число фоточувствительных элементов	256×256
- шаг фоточувствительных элементов	36 мкм в строке и 27 мкм в столбце
- размер фоточувствительного поля	$9,2$ мм по строке и $6,9$ мм по столбцу
- плоский угол зрения фоточувствительного поля зрения, угл.град.....	$38,6$
- время накопления, мс.....	40
- частота вывода информации, МГц.....	$2,5$
- температура криостатирования, К.....	$77\div 80$
- величина теплопритока к зоне криостатирования из окружающей среды, не более, Вт.....	$0,5$
- значение выходного цифрового сигнала	
- нижнее, В.....	$(0\div 0,6)$
- верхнее, В.....	$(2,4\div 5,0)$
- напряжение питания, В.....	$+5, + 15$
- потребляемая мощность, не более, Вт.....	3
- масса, г	585

А63 Освоение серийного производства модуля цифровой обработки сигналов
Карпов В.В., Петренко В.И., Лыткин А.П., Чиж К.В., Ширяев В.П.
ОАО «МЗ «Сапфир», Москва, Россия

В настоящее время ОАО «МЗ «Сапфир» осваивает серийное производство модуля цифровой обработки сигналов (ЦОС 1).

Модуль ЦОС 1 совместно с модулем фотоприемного устройства охлаждаемого матричного (МФПУ 2 ОМ) предназначен для работы в различных тепловизионных приборах и выполняет следующие функции:

1. Первичную обработку 10 разрядных цифровых сигналов в реальном масштабе времени: адаптивную компенсацию постоянной составляющей и разряда выходного сигнала элементов матрицы фотоприемного устройства; замену сигнальных отсчетов неисправных элементов на сигнальные отсчеты с соседних (исправных) элементов матрицы.

2. Вторичную обработку сигналов: цифровую автоматическую регулировку усиления по полному изображению или его части («окна»): цифровую регулировку контрастности и яркости изображения в ручном режиме, в том числе негатив-позитив; изменение времени накопления; выполнение функции «стоп кадр»; запоминание 8 кадров изображений форматом 256x256 элементов; преобразование сигналов матричного формата изображения в стандартный формат ТВ-сигнала по ГОСТ 7845-79; формирует аналоговый тест-сигнал в матричном формате считывания, который по команде «Тест» подается на вход видеоусилителя вместо сигнала с матрицы для проведения функционального контроля модуля ЦОС 1.

3. Дополнительные функции: формирует синхросигналы для управления работой устройств преобразования уровней и видеоусилителя модуля МФПУ 2 ОМ; преобразует входное нестабилизированное напряжение 5,5 В ÷ 8,5 В в стабилизированные напряжения + 5,0 В и +15,0 В, необходимые как для питания внутренних устройств в модуле ЦОС 1, так и для питания устройств модуля МФПУ 2 ОМ.

Технические характеристики модуля ЦОС 1: неоднородность выходного сигнала при неоднородности входного сигнала до 30%, не более 2%; полоса частот обрабатываемого видеосигнала 0÷5 МГц; период кадра 40 мс (20 мс); период строк 64 мкс (32 мкс); амплитуда аналогового выходного сигнала 1,0 В; уровни импульсных сигналов управления модулем МФПУ 2 ОМ: низкий (0÷0,6) В, высокий (2,4÷5,0) В; уровни напряжений входных сигналов: низкий (0÷0,6) В; высокий (2,4÷5,0) В; напряжение питания модуля (5,5÷8,5) В; мощность потребления, не более 5 Вт; габаритные размеры (150x130x70) мм; масса, не более 400 г.

**А64 Оптический зонд для измерения коэффициента
фотоэлектрической связи матричных ФПУ, работающих в среднем и
дальнем ИК диапазонах**

Степанов Р.О., Семенов В.И., Тэгай В.А.
ОАО «МЗ «Сапфир», Москва, Россия

Разработан измерительный комплекс “Зонд-СД”, предназначенный для определения коэффициента фотоэлектрической связи матричных ФПУ, работающих в среднем (3-5 мкм.) и дальнем (8-14 мкм) ИК диапазонах.

Разработанный комплекс позволяет формировать на фоточувствительной поверхности испытуемого многоэлементного ФПУ осисимметричное распределение освещенности (пятно рассеяния) 90% излучения которого сосредоточено в кружке диаметром 35 мкм для приборов среднего ИК диапазона и 30 мкм для приборов дальнего диапазона.

Комплекс “Зонд-СД” включает в себя следующие основные компоненты :

- источник ИК излучения с эллиптическим отражателем и регулируемой температурой тела накала от 100°C (до 1200°C);
- опто-механический модулятор позволяющий, при необходимости, осуществлять амплитудную модуляцию излучения источника с частотой от 0,8 Гц до 1,5 кГц;
- предметную диафрагму с водяным охлаждением и системой измерения температуры поверхности, имеющую диаметр отверстия 200 мкм.
- проекционный двухспектральный объектив ($f^*=70$ мм, $D:f^* = 1:1,4$), ахроматизированный для длин волн 4 мкм и 10 мкм и работающий в составе стенда с линейным увеличением $B=0,1$;
- сменные светофильтры, имеющие полосы пропускания соответствующие рабочим спектральным диапазонам испытуемых ФПУ;
- прецизионный координатный столик с фотоэлектрическим отсчетным устройством, позволяющий осуществлять перемещения исследуемого ФПУ, относительно пятна рассеяния, формируемого зондом с погрешностью не превышающей 0,5 мкм;

Для проверки размеров пятна рассеяния, формируемого зондом, разработана система

функционального контроля, основным элементом которой является оптоэлектронный блок, устанавливаемый в тракт зонда на место испытуемого ФПУ и состоящий из:

- турели с измерительными диафрагмами, имеющими диаметры от 10 мкм до 100 мкм (шаг - 5 мкм);
- пироэлектрического ФПУ, установленного за турелью с измерительными диафрагмами, фоточувствительная поверхность которого оптически сопряжена с плоскостью измерительных диафрагм при помощи проекционного линзового коллектива.

При работе системы функционального контроля измерительные диафрагмы устанавливаются поочередно в плоскости формирования пятна рассеяния соосно с оптической системой зонда. При этом осуществляется регистрация данных об изменении выходного сигнала пироэлектрического ФПУ, возникающих в результате

смены диафрагм. Обработка полученных данных позволяет определить функцию концентрации энергии в пятне рассеянии формируемом зондом.

Разработанный измерительный комплекс может быть востребован организациями, деятельность которых связана с метрологическим обеспечением производства многоэлементных ИК ФПУ.

А65 Вопросы оптимизации режимов электропитания термоэлектрических охладителей фотоприемников в составе оптико-электронной аппаратуры

Аракелов Г.А.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Доказано, что при существующих традиционных режимах электропитания термоэлектрических охладителей (ТЭО) фотоприемников (ФП) - циклы «включено»-«выключено» - на фоточувствительные элементы в процессе эксплуатации изделий действуют аномально жесткие, неоднократно повторяющиеся термоудары, которые негативно влияют на конструкционные и фотоэлектрические параметры ФП. Предложены ступенчатые режимы включения и выключения ТЭО, позволяющие как оптимизировать условия эксплуатации ФП в составе оптико-электронной аппаратуры, так и существенно повысить надежностные характеристики рассматриваемого класса изделий.

А66 О возможности описания гейгеровского режима работы лавинных *p-i-n* фотодиодов элементарными функциями

Холоднов В.А.

Институт радиотехники и электроники РАН, Москва, Россия

Показано, что *p-i-n* структуры допускают аналитическое рассмотрение переходных лавинных фотоэлектрических процессов в них при начальных напряжениях, превышающих напряжение лавинного пробоя. Постановка такой работы вызвана необходимостью определения явных условий возникновения гейгеровской моды функционирования лавинных фотодиодов (ЛФД). В элементарных функциях найдено решение задачи о динамике фотоотклика *p-i-n* структуры на сверхкороткий (дельта-образный) световой импульс.

ЛФД в режиме Гейгера (импульсные фотоэлектрические сигналы) дают возможность регистрировать сверхслабое оптическое излучение, вплоть до единичных фотонов [1-5]. Это осуществляется при напряжениях питания, превышающих напряжение лавинного пробоя. На основе ЛФД в режиме Гейгера создаются различные приборы [1-4]. В то же время, просмотр публикаций не позволяет признать закрытым вопрос об условиях реализации гейгеровского режима работы ЛФД и его характеристиках. Преобладает тенденция проводить все более и более сложные численные моделирования. Недавно в работе [6] нами была предложена дискретная модель развития и релаксации лавинного однофотонного процесса в *p-i-n* структуре. Полученные итерационные соотношения хотя и позволяют довольно несложно, но, все-таки, численным методом, определять условия возникновения режима Гейгера. Модель предполагает ионизацию дырками и изменение поля в *i*-слое лишь через каждые два времени пролета носителями *i*-слоя.

Предложенная в докладе "непрерывная" модель лишена такого недостатка. Обобщена теорема Рамо [1] на случай изменения напряжения на ЛФД - узлового момента режима Гейгера. Выведено несложное выражение, описывающее динамику однофотонного лавинного гейгеровского процесса в p-i-n структуре. Получена формула для полного времени его протекания. Представлено явное аналитическое соотношение реализации гейгеровского режима работы p-i-n ЛФД. Определены условия применимости предложенной модели.

- [1] A. Spinelli, A. L. Lacaita, IEEE Trans. Electron Devices, v. 44, p.1931-1943 (1997).
- [2] D. Stoppa, L. Pancheri, M. Scandiuzzo, L. Pancheri, M. Scandiuzzo, M. Malfatti, G. Pedretti, L. Gonzo, *Proceedings of ESSCIRC* (Grenoble, France, 2005) p. 487-490.
- [3] C. Niclass, A. Rochas, P.-A. Besse, E. Charbon. IEEE J. Solid-State Circuits, v. 40, № 9, p. 1847-1854, 2005.
- [4] A. Zenevich, E. Novikov. Engineering Mechanics, v.12, № A1, p.113-120, 2005.
- [5] И. Р. Гулаков, В. Б. Залесский, А. О. Зеневич, Т. Р. Леонова, ПТЭ, № 2, с. 112-115, 2007.
- [6] И. В. Ванюшин, В. А. Гергель, В. М. Гонтарь, В. А. Зимогляд, Ю. И. Тишин, В. А. Холоднов, И. М. Щелева, ФТП, т. 41, № 6, с. 741-745, 2007.

А67 Изучение состояния поверхностей эпитаксиальных слоёв кадмий-ртуть-теллур и марганец-ртуть-теллур с помощью атомно-силовой микроскопии

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

ФГУП «НПО» ГИПО», Казань, Россия

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

В работе [1] изучались защитные анодные плёнки на эпитаксиальных слоях кадмий-ртуть-теллур (КРТ) и марганец-ртуть-теллур (МРТ), полученные анодированием поверхности в водном растворе лимоннокислого натрия. Показано, что на слоях МРТ оксидные плёнки обладают большей химической и механической прочностью по сравнению с анодными плёнками, полученными на слоях КРТ.

Целью данного сообщения является изучение состояния поверхностей эпитаксиальных слоёв КРТ и МРТ методом зондовой микроскопии.

Исследования проводились на эпитаксиальных слоях КРТ и МРТ, полученных методом жидкофазной эпитаксии из теллуровых растворов-расплавов. Изучалось состояние поверхности слоёв без оксидных плёнок и с защитными плёнками, полученными электролитическим способом, с использованием атомно-силового микроскопа Solver P47 (ЗАО «НТ-МДТ»).

Показано, что оксидная плёнка на образце МРТ улучшает качество поверхности, заметно уменьшая её шероховатость, в то время, как состояние поверхности образцов КРТ существенно не изменилось. В первую очередь, эти эксперименты подтверждают, что образцы МРТ имеют более стабильную поверхность по сравнению с эпитаксиальными слоями КРТ. Наличие в образцах МРТ ионов Mn упрочняет Hg-Te – связь, что позволяет получать материал МРТ с более стабильными свойствами и совершенной кристаллической структурой.

Известно, что в образцах КРТ кадмий разрывает Hg-Te –связь, что делает этот материал нестабильным по электрофизическим свойствам.

1. Рыжков В.Н., Алеева Н.В., Гумаров Г.Г., Петухов В.Ю., Андреев В.А., Несмелова И.М. «Влияние защитных анодных покрытий на химико-механическую устойчивость эпитаксиальных слоёв тройных твёрдых растворов кадмий-ртуть-теллур, марганец-ртуть-теллур». Тезисы докладов XIX Международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения. 2006г., Москва, Россия. С. 48.

А68 Разработка базовых технологий нанесения фианита как пассивирующего и защитного покрытия фотоприёмников

Бузынин А.Н., Гришина Т.Н.*, Косухина Л.А.*, Ломонова Е.Е., Сидоров М.С.*, Трищенко М.А.*, Трошков А.Е.*, Чинарева И.В.*
Институт общей физики РАН, Москва, Россия
**ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия*

Разработаны ключевые операции новой технологии германиевых фотодиодов с фианитовым новым защитным слоём (пленкой ZrO_2).

1. Оптимизированы режимы магнетронного нанесения плёнки ZrO_2 на установке Z550 фирмы Leybold Heraeus (выбраны: скорость нанесения $\sim 45\text{Å}$ в минуту, давление аргона 10^{-2} мБ, время процесса $\sim 30\div 45$ минут, мощность магнетрона ~ 400 Вт).

2. Подобран жидкостной травитель двуокиси циркония (ZrO_2), включающий в свой состав сильные кислоты HF, HCl, H_2SO_4 . Получена скорость травления $0,05\div 0,1$ мкм в минуту. Травитель оптимизирован для использования при фотолитографии позитивного фоторезиста.

Технология апробирована. Получены слои ZrO_2 толщиной $600\text{-}1000\text{Å}$ как на кремнии, так и на германии (в том числе с подслоем SiO_2). Коэффициент оптического поглощения пленок составлял $2\div 2,1$. На образцах площадью $5\div 6$ см² поры отсутствовали, что по крайней мере на полтора порядка лучше пористости традиционных пленок SiO_2 на германии.

А69 Приемные устройства ИК диапазона на основе антенных решеток

Свиридов А.Н., Бабенко В.П.*
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия
**МИРЭА, Москва, Россия*

В последние годы появились сообщ о экспериментах по регистрации видимого и ИК излучения с помощью наноантенных решеток (солнечные батареи, щетка из нанотрубок, реагирующая на видимый свет. Световое поле наводит в элементах антенн переменные токи с частотой порядка $10^{12}\text{-}10^{13}$ Гц. Однако, в настоящее время отсутствуют детекторы на эти частоты. Мах частоты детекторов под известны, матричные приемные устройства терагерцового диапазона на основе дипольных и антенных решеток Физическое разделение приемного и детектирующего элементов

Быстрый прогресс нанотехнологий позволяет полагать, что в ближайшие годы будут разработаны эффективные приемные устройства ИК и видимого

диапазонов на основе наноантенных решеток. В настоящее время на базе приемных устройств с антенными решетками, созданы высокочувствительные отображающие спектрометры, работающие в терагерцовом диапазоне, которые используются в радиоастрономии, для дистанционного мониторинга атмосферы, в медицине, в системах безопасности, для обнаружения скрытого (например, под одеждой) оружия или взрывных устройств. Основным отличительным элементом подобных матричных приемных устройств являются антенная матрица, обладающая возможностью приема обеих поляризаций. Нагрузкой каждой антенны матрицы может быть нелинейный элемент, выполняющий роль смесителя высокочастотного тока, возбуждаемого принимаемым излучением в антенне и высокочастотного тока, гетеродина или сверхпроводящий болометр, сопротивление которого меняется в результате поглощения энергии высокочастотного тока, возбуждаемого принимаемым излучением в антенне. В качестве смесителей используются смесители типа СИС (сверхпроводник – изолятор – сверхпроводник), диоды с барьером Шоттки и сверхпроводящие болометры на горячих электронах. Переход к приему излучения ИК и видимого диапазонов возможен при соответствующем уменьшении размеров антенн (размеры антенн должны быть соизмеримы с длиной принимаемой волны), увеличения частоты гетеродинов и увеличении быстродействия смесителей.

Особенности гетеродинирования антенных приемников, работающих в терагерцовом диапазоне, (по сравнению с оптическими гетеродинными приемниками, работающими в ИК области спектра) заключаются в том, что в первых преобразование излучения в высокочастотный ток происходит в антенне, представляющей собой избирательный колебательный контур, а смешение частот тока сигнала и тока гетеродина, происходит в нелинейном смесителе. Последнее весьма важно, так как подобное разделение функций приема и преобразования позволяет уменьшать геометрические размеры смесителя, делая его много меньшим длины волны, принимаемой антенной, и, следовательно, (в принципе) открывает путь для увеличения быстродействия смесителей вплоть до оптических частот.

В оптических гетеродинных приемниках ИК диапазона квадратичный приемник ИК излучения выполняет одновременно функции антенны и смесителя, вследствие чего его размеры не должны быть существенно меньшими длины принимаемой волны. Поэтому верхние границы частотных характеристик современных квадратичных приемников ИК-излучения не превосходят 1-2 ГГц.

Разделение функций приема и преобразования в антенных приемниках на основе резонирующих структур (в том числе наноструктур с локализованными плазмонными резонансами) открывает также путь для резкого уменьшения размеров детекторов высокочастотных токов и позволяет предполагать возможность прямого детектирования антенных токов на частотах вплоть до 10^{13} - 10^{14} Гц.

А70 Метод оценки характеристик безотказности матричных ФПУ по зависимости фотоэлектрических параметров от наработки

Бурлаков И.Д., Болтарь К.О., Патрашин А.И., Дегтярев Е.В.* , Солодков А.А.*

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

**ФГУП «22 ЦНИИИ МО РФ», Мытищи, Россия*

Разработан метод оценки нижней границы вероятности безотказной работы матричных фотоприемных устройств по изменению в процессе испытаний основных фотоэлектрических параметров: обнаружительной способности, ограниченной шумом мощности, ограниченной шумом облученности и ограниченной шумом разности температур.

Метод основан на задаваемых в технических требованиях к приемникам гамма-процентной или средней наработке до отказа и начальных и конечных значениях параметра-критерия годности приемника.

Для матричных ИК фотоприемников характерны следующие причины отказов: катастрофический отказ всего ФПУ, постепенный выход из строя отдельных фоточувствительных элементов матрицы, деградация средних значений параметров фоточувствительных элементов матрицы.

Исследования изменения основных фотоэлектрических характеристик ИК матричных фотоприемников в процессе наработки позволили определить механизм деградации их параметров и выработать метод определения времени достижения заданной вероятности безотказной работы фотоприемника. Показано, что зависимость изменения в процессе испытания фотоэлектрических параметров позволяет оценивать вероятность безотказной работы матричных фотоприемников.

А71 Методы ускоренных испытаний надежности матричных фотоприемников

Бурлаков И.Д., Болтарь К.О., Патрашин А.И., Дегтярев Е.В.* , Солодков А.А.*

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

**ФГУП «22 ЦНИИИ МО РФ», Мытищи, Россия*

В результате анализа физических процессов, проходящих в матричных фотоприемных устройствах (МФПУ) при их работе и хранении, разработаны методы ускоренных испытаний безотказности и сохраняемости этих устройств.

Метод ускоренных испытаний безотказности основан на учете распределения величины скорости отказов на разных этапах рабочего цикла МФПУ и представляет собой метод с уплотнением рабочих циклов. Показано, что для охлаждаемых до температур жидкого азота матричных фотоприемников определяющее влияние на надежность оказывает количество циклов «включение – выключение».

Метод ускоренных испытаний сохраняемости основан на контролируемом воздействии, ускоряющем процессы старения МФПУ. Экспериментально оценено влияние температурных воздействий на характеристики старения матричных фотоприемников на основе фотодиодов из КРТ.

Разработанные методы позволяют существенно сократить время испытаний на безотказность и сохраняемость

A72 Релаксация тока в примесных фоторезисторах на кремнии при гелиевых температурах и низкой освещённости

Залетаев Н.Б.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Обнаружен новый механизм нестационарной инжекции носителей из контактов в примесных фоторезисторах. В реальных фоторезисторах повышенная концентрация примесей в приконтактных областях, введённая туда при изготовлении контактов, при определенных соотношениях концентраций основных и компенсирующих примесей приводит к повышению концентрации свободных носителей относительно их концентрации в объёме. Инжекция происходит за счёт протягивания этой повышенной концентрации вглубь объёма при изменении освещённости или напряжения, без начального изменения концентрации носителей вблизи контакта. Именно этот механизм являлся основным в разработанных фоторезисторах из кремния с галлием и кремния с бором при гелиевых температурах и низкой освещённости и определял время релаксации тока, равное удвоенному произведению времени диэлектрической релаксации в объёме на отношение концентраций носителей в объёме и около инжектирующего контакта и на коэффициент усиления. Характерными для этого механизма инжекции являются слабая зависимость времени релаксации от температуры в интервале от 4,2 до 20 К, что важно для практических применений, и рост времени релаксации с напряжением. Наиболее вероятными причинами подавления альтернативного механизма нестационарной инжекции (механизм Фукса-Суриса) при низких температурах представляются повышенное содержание компенсирующих примесей и прилипание носителей на Н-центры (A^+ -центры) основной примеси около инжектирующего контакта. В большей части исследованных образцов данный механизм не наблюдался. В остальных образцах переход к инжекции Фукса-Суриса происходил при повышении температуры до 20 К. При этом при температурах больше 12 К наблюдалось экспоненциальное снижение времени релаксации тока с ростом температуры с энергией активации около 2,5 мэВ, характерной для Н-центров в кремнии.

A73 Блок электронной обработки сигналов матричного фотоприемного устройства

Соляков В.Н., Кортиков М.В., Катаев О.В.* , Петручук И.В.* , Трунов Г.Л.* ,
Соломатин П.А.* , Бовкун А.В.* , Петручук М.В.* ,

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

**НИИ МВС Южного федерального округа, Таганрог, Россия*

Разработан блок электронной обработки сигналов (БЭО) для комплектации модуля формирования тепловизионных изображений на основе матричного устройства (МФПУ) из антимолибдита индия формата 256×256 чувствительных элементов, работающего в спектральном диапазоне $3 \dots 5$ мкм.

БЭО осуществляет преобразование аналоговых сигналов от фоточувствительных элементов МФПУ в цифровую форму, формирование цифрового изображения на основе полученной информации, вывода этого

изображения для отображения на экране стандартного черно-белого ТВ-монитора (в аналоговом виде) и передачи в цифровом виде в другие устройства.

БЭО включает в свой состав три основных узла: контроллер ввода информации (КВИ), процессор обработки видеосигнала (ПОВ) и модуль электропитания.

Контроллер ввода информации (КВИ) выполнен на базе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС). Он выполняет преобразование аналогового сигнала от МФПУ в цифровую форму и формирует вводимый в ПОВ кадр информации. ПЛИС КВИ выполняет операции накопления и суммирования цифровой информации до 8-ми кадров, передачи ее для временного хранения в буферную память, ее считывание из ОЗУ, усреднение и передачи в ПОВ.

Процессор обработки видеосигнала (ПОВ) отвечает за коррекцию неоднородности сигналов МФПУ, деселекцию дефектных элементов, формирование аналогового и цифрового видеосигналов, управление режимами работы БЭО. Функционально процессор обработки видеосигнала состоит из модуля обработки видеосигнала (МВ) и модуля микроконтроллера (ММК). В ПЛИС ОВС (обработки видеосигнала) производится обработка данных при их прохождении от БОЗУ до видеовыхода, а также реализовано оперативное запоминающее устройство ОЗУ таблицы дефектов для последующей коррекции выходного изображения.

БЭО обладает следующими основными техническими характеристиками: 8 дифференциальных каналов ввода аналоговых сигналов от МФПУ; разрядность аналогово-цифрового преобразования - 14; частота аналогово-цифрового преобразования 8 МГц; отношение сигнал/шум при подаче на вход тестового сигнала составляет 75 дБ; диапазон напряжений входных аналоговых сигналов от МФПУ 1,25...3,75 В; частота смены кадров на цифровом выходе - 50 Гц; задержка вывода кадров на ТВ монитор относительно темпа ввода сигналов от МФПУ не более 40 мс.

А74 Разработка специализированных библиотек проектирования интегральных схем считывания для фотоприемных устройств

Хромов С.С., Зайцев А.А.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Разработаны специализированные библиотеки для автоматизированного проектирования интегральных схем считывания и обработки сигналов ФПУ.

Проектные библиотеки включают:

- библиотеки стандартных логических ячеек и специализированных аналоговых блоков в символьном, схемотехническом и топологическом представлении;

- библиотеки SPICE-параметров стандартных полупроводниковых приборов;
- библиотеки макропараметров стандартных ячеек;
- технологические файлы процесса проектирования.

Библиотеки разработаны для 0.35, 0.6, и 1.0 мкм КМОП технологии с двумя уровнями поликремния и двумя уровнями металла.

Особенностью топологических библиотек является то, что их элементы имеют конфигурацию, специализированную на построение трактов обработки

сигналов с типовыми величинами ширины канала и типовыми размерами пикселей: 15x15, 20x20 и 30x30 мкм².

А75 Инженерный анализ конструкции ФПУ с интегрированной микрокриогенной системой

Шимко Д.Н.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Проведено моделирование и инженерный анализ конструкции фотоприемных устройств с интегрированной микрокриогенной системой. Исследованы вибрационные свойства конструкции: рассчитаны собственные частоты и собственные формы модели и оценена прочность конструкции, рассмотрен спектр отклика и деформация конструкции при ударном воздействии. Также произведен термический анализ фотоприемного устройства на предмет распределения температур в рабочих режимах и эффективности работы микрокриогенной системы в данной конструкции.

Использование инженерного анализа конструкции ФПУ позволяет еще до изготовления опытных образцов оценивать механические и тепловые параметры конструкции и вносить необходимые изменения для увеличения прочности и устойчивости к нагрузкам, ударным воздействиям и тепловым режимам.

А76 Люминесцентная характеристика эпитаксиальных пленок

$Cd_xHg_{1-x}Te$, выращенных молекулярно-пучковой эпитаксией

Иванов-Омский В.И., Баженов Н.Л., Мынбаев К.Д., Смирнов В.А., Варавин В.С.*, Михайлов Н.Н.*, Сидоров Г.Ю.*

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

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

Интерес к люминесцентным свойствам твердых растворов $Cd_xHg_{1-x}Te$ обусловлен не только тем, что этот материал перспективен для изготовления излучателей, главным образом, на диапазон длин волн 1.5–5 мкм, актуальный для мониторинга окружающей среды [1,2], но и, прежде всего, тем, что спектры фотолюминесценции несут в себе богатую информацию о степени структурного совершенства и чистоте материала, а также позволяют детально характеризовать его дефектно-примесную структуру, вплоть до оценки степени компенсации и концентрации доноров и акцепторов. Наиболее интересным как с точки зрения изготовления излучателей и оптоэлектронных пар на основе $Cd_xHg_{1-x}Te$, так и применения люминесцентных методов исследования этих твердых растворов, является материал с составом, близким к $x \sim 0.6$. Это связано с тем, что величина квантовой эффективности излучения в $Cd_xHg_{1-x}Te$ в области составов $0.4 < x < 0.74$ имеет при $T \sim 300$ К максимум вблизи длины волны ~ 1.5 мкм [3].

В настоящей работе мы сообщаем о результатах фотолюминесцентной характеристики эпитаксиальных пленок $Cd_xHg_{1-x}Te$ составов 0.57–0.64, выращенных молекулярно-пучковой эпитаксией в ИФП СО РАН. Слои выращивались на подложках GaAs и Si диаметром 50 мм с буферными слоями ZnTe и CdTe. Исследовалась фотолюминесценция (ФЛ) as-grown слоев и слоев, отожженных в парах He (20 часов при $T=270$ °C) или Hg (15 часов при $T=250$ °C). Измерения

проводились в диапазоне температур от 4.2 К до 300 К при импульсном возбуждении полупроводниковым лазером InGaAs/GaAs с длиной волны при 300 К 0.98 мкм или AlGaAs/GaAsP с длиной волны 0.84 мкм. Запись спектров осуществлялась на автоматизированной установке на базе монохроматора МДР-23. Сигнал ФЛ регистрировался германиевым фотодиодом.

При исследовании ФЛ было обнаружено, что после отжига меняется структура спектра; это наиболее ярко проявляется при температурах ниже 100 К. Наблюдаемый немонотонный ход энергетического положения отдельных линий ФЛ отожженных образцов с температурой может быть связан с тем, что излучательная рекомбинация в этих образцах происходит с участием экситонов, локализованных в хвостах плотности состояний [4]. Температурный ход максимумов полос излучения позволил оценить масштаб хвостов зон, которые могут быть связаны с флуктуациями состава твердого раствора. Обсуждается влияние технологии выращивания, послеростовой обработки и типа подложки на спектр фотолюминесценции исследованных образцов.

Работа была частично поддержана грантом РФФИ № 07–02–00400 и Интеграционным проектом СО РАН № 3.20.

1. Андронов А.А., Ноздрин Ю.Н., Окомельков А.В., и др. ФТП, 42, 177 (2008)
2. Zanatta J.P., Noel F., Ballet P., *et al.* J. Electron. Mater., 32, 602 (2003)
3. Баженов Н.Л., Иванов-Омский В.И., Ижнин А.И., и др. ФТП, 25, 1103 (1991)
4. Klochikhin A., Reznitsky A., Permogorov S. *et al.* Phys. Rev. B 59 12947 (1999)

А77 Исследование электрофизических свойств МДП-структур на основе ГЭС КРТ МЛЭ

Войцеховский А.В., Несмелов С.Н., Дзядх С.М., Васильев В.В.*, Варавин В.С.*, Дворецкий С.А.*, Михайлов Н.Н.*, Сидоров Ю.Г.*, Машуков Ю.П.*, Якушев М.В.*
ОСП «СФТИ ТГУ», Томск, Россия

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

С целью выбора оптимального пассивирующего покрытия для инфракрасных матричных фотоприемников на основе $Hg_{1-x}Cd_xTe$ -фотодиодов были проведены экспериментальные исследования электрофизических характеристик МДП-структур на основе $HgCdTe/CdTe$, $HgCdTe/CdTe-SiO_2/Si_3N_4$ и $HgCdTe/CdTe/ZnTe$. Структуры характеризовались различными составами рабочего слоя (0.22-0.23) и (0.32-0.36) и приповерхностным варизонным слоем.

Исследованы вольт-фарадные характеристики МДП-структур и определена плотность поверхностных состояний на границе раздела $HgCdTe/CdTe$. Для структур с составом в рабочем слое $x=0.22-0.23$ расчет параметров границы раздела проводился при помощи интегрального метода Берглунда, а для структур с составом рабочего слоя $x=0.32-0.36$ плотность поверхностных состояний рассчитывалась дифференциальным методом Термана.

У всех исследованных структур подвижный заряд не превышал $10^{-5}-10^{-6}$ Кл/м². МДП-структуры с $x=0.22-0.23$, с CdTe нанесенным в качестве защитного покрытия, имели положительный фиксированный заряд от 4.4×10^{-5} Кл/м² до 1.83×10^{-4} Кл/м². Формирование на поверхности CdTe дополнительного защитного

покрытия $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ приводило к увеличению плотности поверхностных состояний вблизи середины запрещенной зоны от $(1.01-2.8)\times 10^{11}$ $\text{эВ}^{-1}\text{см}^{-2}$ до $(2-4.2)\times 10^{11}$ $\text{эВ}^{-1}\text{см}^{-2}$. Для МДП-структур с $x=0.32-0.36$ с CdTe , фиксированный заряд составлял 1.9×10^{-4} Кл/м², а для образцов с дополнительным диэлектриком ZnTe фиксированный заряд изменялся от 1.9×10^{-5} Кл/м² до 8.6×10^{-5} Кл/м². Нанесение ZnTe , так же приводит к увеличению плотности поверхностных состояний вблизи середины запрещенной зоны от $(1-10)\times 10^{10}$ $\text{эВ}^{-1}\text{см}^{-2}$ до $(1-3)\times 10^{11}$ $\text{эВ}^{-1}\text{см}^{-2}$. Работа поддержана грантом РФФИ рег. №07-08-12 144-офи.

А78 Фотоэлектрические характеристики МДП-структур на основе ГЭС КРТ МЛЭ

Войцеховский А.В., Несмелов С.Н., Дзядух С.М., Васильев В.В.*, Варавин В.С.*,
Дворецкий С.А.*, Михайлов Н.Н.*, Сидоров Ю.Г.*, Машуков Ю.П.*, Якушев М.В.*
ОСП "СФТИ ТГУ", Томск, Россия

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

Важной задачей современной микрофотоэлектроники является разработка защитных пассивирующих покрытий для фотоприемных устройств инфракрасного диапазона. С целью выбора оптимального диэлектрического покрытия для инфракрасных матричных фотоприемников на основе $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ -фотодиодов были проведены экспериментальные исследования фотоэлектрических характеристик МДП-структур на основе $\text{HgCdTe}/\text{CdTe}$, $\text{HgCdTe}/\text{CdTe}-\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ и $\text{HgCdTe}/\text{CdTe}/\text{ZnTe}$ n- и p- типов проводимости. Структуры имели широкозонный варизонный слой в приповерхностной области HgCdTe , состав рабочего слоя был равен $x=(0.22-0.23)$ и $x=(0.32-0.36)$.

Методом малосигнальной фотоэдс были проведены исследования полевой и частотной зависимостей фотосигнала. Для МДП-структур с составом в рабочем слое 0.22-0.23 из анализа частотной зависимости малосигнальной фотоэдс определено время жизни неосновных носителей заряда, которое для n-типа материала составляет 6 мкс, при концентрации основных носителей 2.7×10^{14} см^{-3} . Для МДП-структур с составом в рабочем слое 0.32-0.36 измеренные времена жизни неосновных носителей составляли от 3.5 до 30 мкс, при концентрации основных носителей $(8.7\times 10^{13} - 1.9\times 10^{14})$ см^{-3} . Обнаружено так же, что для образцов с тонким слоем CdTe наблюдались две компоненты фотоэдс с противоположными фазами, что свидетельствует о наличии неоднородностей в приповерхностном слое полупроводника.

Для большинства исследованных структур полевая зависимость фотоэдс имела классический вид, что типично для структур с широкозонными приповерхностными слоями. Работа поддержана грантом РФФИ рег. №07-08-12 144-офи.

A79 Особенности распределения донорных центров в варизонных слоях МЛЭ КРТ *p*-типа при ионно-лучевом травлении и ионной имплантации бора

Войцеховский А.В., Григорьев Д.В., Коханенко А.П., Коротаев А.Г.,
Волков В.С., Средин В.Г.*, Талипов Н.Х.*, Ижнин И.И.**
ОСП "СФТИ ТГУ", Томск, Россия

**Военная академия РВСН им. Петра Великого, Москва, Россия*

***НПП "КАРАТ", Львов, Украина*

Представлены результаты исследований пространственного распределения донорных центров в варизонных слоях МЛЭ КРТ *p*-типа с различным профилем состава в приповерхностной области после ионно-лучевого травления и ионной имплантации бора.

Концентрация дырок в слоях МЛЭ КРТ при $T = 77$ К имела значение $p = (3-8) \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, подвижность $\mu_p = (480-560) \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$. Ионно-лучевое травление (ИЛТ) при комнатной температуре осуществлялось ионами Ar^+ с энергией 0.5 кэВ, в течение 5–20 минут при плотности тока $j = 0.1-0.3 \text{ мА/см}^2$. Ионная имплантация бора также при комнатной температуре проводилась в интервале энергий 20–150 кэВ и доз $10^{11}-3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$. Постимплантационный отжиг не проводился. Дифференциальные холловские измерения были выполнены методом Ван-дер-Пау при $T = 77$ К.

Сравнение результатов ионной имплантации бора и ИЛТ показало существенное различие в пространственном распределении донорных центров в МЛЭ КРТ в зависимости от состава поверхностного слоя (x_s). Общим свойством обеих обработок является то, что как ИЛТ (при всех режимах), так и имплантация больших доз ($10^{14} - 3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$) ионов В^+ приводит к формированию $n^+/n^-/p$ структуры независимо от состава x_s . Однако наблюдается существенное различие в глубине n^+ - и n^- -слоев и концентрации электронов в них.

Работа поддержана грантами РФФИ №07-08-12114-офи, CRDF (BRNE RUXO-016-TO-06, ANNEX BF6M16, Y4-P-16-03).

A80 Эффективность преобразования солнечной энергии солнечным элементом на основе Si с квантовыми точками Ge

Войцеховский А.В., Григорьев Д.В., Пчеляков О.П.*, Никифоров А.И.*
ОСП "СФТИ ТГУ", Томск, Россия

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

В настоящее время наногетероструктуры на основе кремния с квантовыми точками германия становятся новым классом материалов для фотовольтаики. Объединение квантовым транспортом носителей заряда плотного массива нанокластеров относительно узкозонного материала в объемной полупроводниковой более широкозонной матрице в единую электронно-дырочную подсистему позволяет говорить о появлении нового класса полупроводников с так называемой промежуточной разрешенной зоной. Самая общая оценка показывает, что предельная эффективность преобразования излучения в электричество для

фотопреобразователей на основе таких материалов может достигать 63 % за счет поглощения излучения в большем интервале длин волн.

В работе предложена модель солнечного элемента на основе p^+i-n^+ Si структуры, включающей слои квантовых точек Ge в собственной области, в предположении, что локализованные состояния дырок в квантовых точках образуют промежуточную зону. Для определения эффективности преобразования солнечного элемента проводился расчет фототока в рассматриваемой p^+i-n^+ структуре. Расчет проводился путем численного решения системы уравнений, включающей уравнения диффузии электронов и дырок и уравнение Пуассона, с учетом особенностей геометрических параметров солнечного элемента и параметров массива квантовых точек Ge. В результате расчета получены зависимости эффективности преобразования солнечной энергии фотопреобразователем от параметров солнечного элемента, позволяющие выбрать оптимальные параметры, обеспечивающие максимальную эффективность преобразования.

Работа поддержана грантами РФФИ №07-08-12114-офи, CRDF (BRHE RUXO-016-TO-06, ANNEX BF6M16, Y4-P-16-03).

A81 Структура и свойства пассивирующих слоев в гетероструктуре CdTe/HgCdTe

Вирт И.С. *, Курило И.В. **, Рудый И.А. **, Лопатинский И.Е. **, Берченко Н.Н. **, ****, Сизов Ф.Ф. ***, Михайлов Н.Н. ****, Смирнов Р.Н. ****

*Дрогобычский государственный педагогический университет имени Ивана Франко, Дрогобыч, Украина

**Национальный университет "Львовская политехника", Львов, Украина

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

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

*****Институт физики, Жешувский университет, Жешув, Польша

В последнее время осаждение CdTe на поверхности $Hg_{1-x}Cd_xTe$ стало стандартным методом пассивирования $Hg_{1-x}Cd_xTe$ фотодетекторов. Однако до сих пор изучению структуры слоя CdTe не уделялось достаточного внимания, хотя именно кристаллическая структура такого слоя определяет многие свойства границы раздела. В данной работе рассмотрено влияние кристаллической структуры пассивирующего слоя CdTe на свойства узкощелевых слоев $Hg_{1-x}Cd_xTe$ n-типа, выращенных методом МЛЭ ($x=0.22$; толщина 7–8 мкм; средняя концентрация электронов – 10^{14} см^{-3} ; подвижность электронов - выше $6 \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{В с}$ при 77 К). Эти слои помещались между варизонными ($0.45 > x > 0.22$) слоями на буферных слоях CdTe/ZnTe, полученных на подложках GaAs (013). Затем выращивались поликристаллический или эпитаксиальный слои CdTe толщиной 1 мкм. Полный процесс роста проходил *in situ* за один сеанс в МЛЭ камере. Для сравнения исследовались также анодно окисленные ЭС $Hg_{1-x}Cd_xTe$ этого же состава. Структурное совершенство защитных слоёв исследовали методом дифракции электронов высоких энергий на отражение и рентгенографически, а механические свойства гетероструктур исследовали методом микротвердости. Фотоэлектрические свойства слоев изучались методом релаксации фотопроводимости.

По уширению полуколец на электроннограммах с помощью формулы Шеррера установлено, что поликристаллические слои CdTe сформированы кристаллитами с размером 40-70 Å, т.е. их размеры сравнимы с кристаллитами,

формирующими анодные оксиды, для которых этот параметр составлял 50 Å и 30 Å для $x = 0,45$ и $x = 0,22$ соответственно. Исследования фотопроводимости показали, что время жизни неравновесных носителей заряда почти на порядок выше в эпитаксиальных слоях, защищенных поликристаллическими слоями CdTe по сравнению с эпитаксиальными при прочих равных условиях. Можно предположить, что по сравнению с эпитаксиальным слоем CdTe пассивирующий слой CdTe со структурой поликристалла ориентационно слабее связан с рабочим слоем $Hg_{1-x}Cd_xTe$, что ведет к образованию меньшего количества дислокаций несоответствия и остаточных напряжений, ответственных за дополнительные генерационно-рекомбинационные процессы на гетерогранице структуры CdTe/ $Hg_{1-x}Cd_xTe$. Исследования микротвердости показали, что структуры с анодным оксидом также находятся в более напряженном состоянии, чем CdTe/ $Hg_{1-x}Cd_xTe$, что связано с тем, что несоответствие решеток в этой системе больше, так как основным компонентом анодного оксида является CdTeO₃.

A82 Определение времени жизни неравновесных носителей заряда в монокристаллическом КРТ методами нелинейной оптики

Голенков А.Г.

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

При создании многоэлементных фотоприемников с высокой однородностью фотоэлектрических параметров необходимы пространственно-разрешающие бесконтактные методы контроля фундаментальных параметров фоточувствительного материала. Для определения ширины запрещенной зоны, как правило, используют спектры оптического поглощения. В данной работе предлагается метод, который позволяет определить время жизни неравновесных носителей заряда τ_a в узкозонных полупроводниках с использованием двуступенчатого поглощения света.

В стандартной методике двухфотонного поглощения (ДФП) экспериментально измеряется зависимость коэффициента оптического пропускания T образца от интенсивности входного излучения I . Из полученных данных вычисляется коэффициент двухфотонного поглощения β_2 . Коэффициент β_2 не содержит информации о времени жизни τ_a .

Особенностью ДФП в узкозонных полупроводниках является эффект дополнительного оптического поглощения зондирующего излучения неравновесными носителями заряда, которое происходит из-за высокого внутризонного сечения поглощения σ_{fc} для длин волн, превышающих 5 мкм.

В спектрах краевого поглощения КРТ можно выделить область, где поглощение света осуществляется за счет двух механизмов: межзонного и внутризонного: $\alpha = \alpha_{bb} + \alpha_{fc}$. В случае, когда длина волны зондирующего излучения для ДФП выбрана таким образом, чтобы однофотонное межзонное поглощение частично происходило ($\alpha_{bb} = 1 \div 15 \text{ см}^{-1}$), мы получим двуступенчатое поглощение излучения: вначале межзонное поглощение, а затем внутризонное неравновесными носителями заряда. Экспериментальное определение коэффициента двуступенчатого поглощения β света аналогично методике ДФП.

В математической модели рассматриваются уравнения баланса неравновесных носителей заряда и изменения интенсивности зондирующего излучения при ДФП. В квазистационарном случае коэффициент двуступенчатого поглощения β' и время жизни τ_a вычисляются по формулам:

$$\beta' = \beta_2 + \frac{\alpha_{bb}\sigma_{fc}\tau_a}{\hbar\omega}, \quad \tau_a = \frac{(\beta' - \beta_2)\hbar\omega}{\alpha_{bb}\sigma_{fc}} \approx \frac{\beta'\hbar\omega}{\alpha_{bb}\sigma_{fc}},$$

где $\hbar\omega$ - энергия кванта зондирующего излучения. Коэффициенты β' и α_{bb} определяются экспериментально. Сечение поглощения $\sigma_{fc} = \alpha_{fc}/N_i$, где N_i - собственная концентрация носителей заряда.

Пространственное разрешение данного метода составляет 200 мкм.

Секция Б

Б01 Инжекционные и термоактивационные токи в монокристаллах TlInS₂

Исмаилов А.А.

Институт физики НАН, Баку, Азербайджан

Слоистые монокристаллы TlInS₂ относятся к соединениям типа A³B³C₂⁶. Эти кристаллы перспективны для практического применения в качестве источников и приемников оптического излучения, детекторов мощного лазерного излучения, нелинейных оптических преобразователей и т.д. Наличие слабой межслоевой связи повышают интерес к исследованиям физических свойств этих объектов под действием внешних воздействий.

Целью настоящей работы является исследование инжекционных и термоактивационных токов в монокристаллах TlInS₂. Для определения электрических параметров исследованы температурные зависимости вольтамперных характеристик (ВАХ) образцов Ag-TlInS₂-Ag в температурном интервале 293÷411К. Объяснены экспериментальные результаты с использованием теории токов, ограниченных пространственным зарядом (ТОПЗ). Определены концентрация ионизованных центров $N_t=10^{12}\text{см}^{-3}$, равновесная концентрация основных носителей заряда $p_0=1,67\cdot 10^{10}\text{см}^{-3}$, фактор захвата $\theta=0,17$ и подвижность дырок $\mu_0=3,7\cdot 10^{-3}\text{см}^2/\text{в}\cdot\text{с}$, так же установлено, что в монокристаллах TlInS₂ имеет место сильная компенсация.

Для определения основных параметров уровня прилипания, исследованы термостимулированные токи при напряжении 3В, в температурном интервале 100÷300К и скорости нагрева 0,3К/с. Для определения основных параметров глубоких центров необходимо знать тип уровня прилипания. В данном случае выполняется условие, при

$$\delta > e^{-1} \cdot \left(1 + \frac{2kT}{E_t}\right)$$

котором основные параметры определяются в рамках бимолекулярного механизма релаксации. Получен один пик при температуре $T=198\text{К}$ и глубине

залегания $E_t = 0,38$ эВ. Из экспериментальных данных определено сечение захвата уровня прилипания $S = 10^{-24} \text{ см}^{-2}$ и время релаксации $\tau = 10^{-6} \text{ с}$.

Неомическая проводимость в разрешенной зоне в монокристаллах TlInS_2 объясняется механизмом токопрохождения который подчиняется теории ТОПЗ. Вблизи фазового перехода ВАХ имеет N-образную форму, связанную с изменением знака дифференциального сопротивления. Установлено, что в монокристаллах TlInS_2 имеет место сильная компенсация и бимолекулярный механизм с сильным повторным захватом.

Б02 Высокоточный лазерный дальномер

Асадов Х.А., Касимова Ф.И., Джавадов Н.Г.*

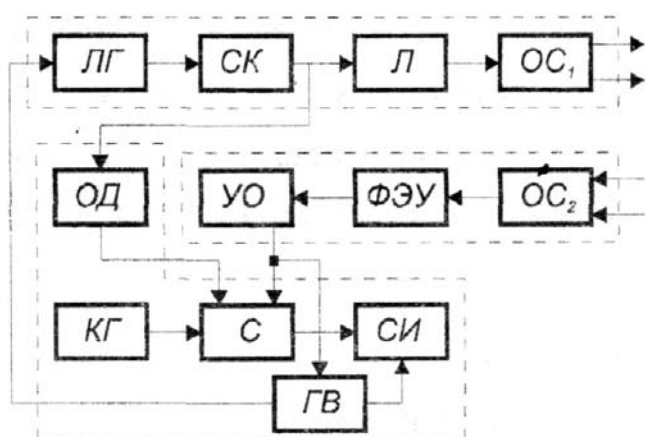
Национальное аэрокосмическое агентство, Баку, Азербайджан

**Национальная академия авиации, Баку, Азербайджан*

Для высокоточного измерения расстояния используются лазерные локации, одним из основных узлов которых является лазерный дальномер (ЛД). Нами предложен принцип работы ЛД который в отличие от существующих ЛД, применяющих метод измерения разности фаз, основан на считывании импульсов кварцевого генератора за определенный временной интервал.

Принцип работы ЛД основан на измерении интервала времени между моментом излучения лазером светового импульса и моментом приема фотоприемником отраженного от цели того же импульса. Блок схема лазерного дальномера показана на рисунке.

ЛД состоит из передающей приемной и измерительной части и работает циклически. С генератора «ворот» (ГВ) поступает одиночный импульс, который запускает локационный генератор ЛГ. Далее от ЛГ этот импульс поступает на силовой ключ СК, который управляет работой лазера Л. Лазер излучает короткий световой импульс, равный по длительности электрическому. Пройдя оптическую систему $ОС_1$, луч направляется в цель и отражаясь от нее возвращается обратно в исходную точку, попадая в приемную оптическую систему $ОС_2$. После $ОС_2$ и узкополосного оптического фильтра световой импульс попадает на катод ФЭУ. ФЭУ световой импульс переводит в электрический, который поступает на вход усилителя-ограничителя УО, усиливается до уровня, необходимого для функционирования ЭСЛ. Усиленный импульс поступает на один из входов селектора С. На другой из входов с поступает импульс от одновибратора ОД. ОД необходим для компенсации паразитной задержки, вносимой приемной системой прибора. Эти два импульса управляют, работой селектора импульсов С. Первым по времени естественно приходит импульс с одновибратора ОД, который включает С на пропуск импульсов СИ. Вторым приходит импульс с УО, который выключает С, тем самым прекращая поступление их на счетчик СИ. Число пройденных импульсов $KГ'$ на счетчик СИ за интервал времени между этими управляющими импульсами и будет свидетельствовать о расстоянии до цели. После заполнения счетчика СИ следует период высвечивания показаний цифровым дисплеем Д для визуального отсчета показаний оператора ЛД, а затем происходит сброс счетчика СИ в «0».



ЛГ - локационный генератор
 СК - силовой ключ,
 Л - лазер,
 ОС₁- передающая оптическая система,
 ОД - одновибратор,
 УО - усилитель ограничитель,
 ФЭУ - фотоэлектронный умножитель,
 ОС₂ - приемная оптическая система,
 КГ - кварцевый генератор.

Подсчет импульсов производится с частотой 149,786

МГц, т.е. имеет полосу пропускания не более 200 МГц. Длина волны находится в интервале $0,78 \div 1,15$ мкм. Максимальное измеряемое расстояние 10000 м, погрешность измерения не более 0,1 %.

В03 Повышение эффективности переноса заряда с помощью двухканальных ПЗС

Джавадов Н.Г., Мамедов Э.С.

*Национальное аэрокосмическое агентство, Баку, Азербайджан
 Азербайджанский технический университет, Баку, Азербайджан*

Разработка устройств сопряжения оптических приборов обработки информации с последующими цифровыми системами выдвигают проблему создания эффективных методов первичной обработки оптической информации. Наиболее перспективными средствами для этой цели являются фотоэлектрические приборы с зарядовой связью (ПЗС).

Эффективность переноса заряда в поверхностных ПЗС, как известно, определяется поверхностными состояниями (ПС) на границе раздела кремний - двуокись кремния.

Влияние ПС на перенос зарядов можно почти полностью исключить, если использовать два канала - поверхностный и объемный. Как показал анализ, в ПЗС с двойным (профилированным) каналом сохраняется высокая управляющая способность, присущая поверхностному каналу, и достигается перенос зарядов с высокой скоростью, как в объемном канале, при этом устраняется взаимодействие носителей зарядов с ПС.

Площадь под электродом, занятая зарядовым пакетом, зависит от его величины и поэтому при переносе в объемном канале концентрация электронов на поверхности настолько мала, что не оказывает существенного влияния на эффективность переноса.

Структура для ПЗС с двойным каналом изготавливалась на основе кремния *p*-типа с применением двухкратной имплантации двух типов доноров, имеющих разные коэффициенты диффузии, что позволило сформировать нужный профиль распределения примесей. Концентрация в мелком слое с толщиной $d_1=0,3$ мкм равнялась $N_1=1,4 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, а концентрация в толстом слое с толщиной $d_2=5$ мкм равнялась $N_2=2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$.

Предполагается, что на глубине d' концентрация подвижных носителей изменяется скачком от нулевого значения до уровня N_2 . Если в начальный момент объем n -слоя заполнен полностью, d' изменяется во время переноса от нуля до d . Расчет показал, что при $N_2 = 5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$, $d=5 \text{ мкм}$, $Q_I=5 \cdot 10^{11} \text{ кл/см}^2$ эффективное значение $d_{\text{эф.}} \approx d$. Это объясняется тем, что время переноса определяется последней частью заряда, находящейся на глубине, близкой к d .

Таким образом, режим переноса в объемном канале в принципе аналогичен режиму переноса в поверхностном канале, если толщина окисла увеличена до значения

$$t_0 = Bd_o, \quad (1)$$

где

$$B = 1 + \frac{\varepsilon_1}{d_o} / \frac{\varepsilon}{d} \quad (2)$$

есть отношение емкости окисла для поверхностного канала к емкости последней части заряда в объемном канале относительно электрода. Этот множитель характеризует усиление скорости переноса за счет самоиндуцированного поля. Следовательно, в объемном канале переносятся в B раз меньшие заряды, чем в поверхностном. Если $d=5 \text{ мкм}$, $d_o=0,1 \text{ мкм}$, то $B=16$, т.е. постоянная времени переноса уменьшается в 16 раз.

Отсюда можно сделать вывод, что для высокоомной подложки доля остающегося заряда не зависит от концентрации примесей и их распределения в n -слое, а зависит только от глубины d , на которой переносится последняя часть заряда.

Б04 Повышение чувствительности тепловых приемников излучения

Пашаев А.М., Касимов Ф.Д., Газарханов Э.Т.

Национальное аэрокосмическое агентство, Баку, Азербайджан

Чувствительность приемников ИК-излучения может быть существенно повышена за счет более полного поглощения падающего на них излучения. Последнее достигается за счет нанесения на их поверхность просветляющего покрытия [1].

Для анализа условия возникновения безотражательного поглощения волн в фотоприемнике рассмотрен характер отражения плоско поляризованной волны, падающей нормально на плоскую трехслойную систему, содержащую поглощающую подложку с нанесенными на нее рабочим и просветляющим покрытиями. Коэффициенты преломления просветляющего покрытия, подложки и рабочего покрытия равны соответственно $\hat{n} = n - i\chi, n_1, n_n$, где χ - показатель поглощения вещества покрытия.

Для минимизации отражения падающего излучения толщина слоя l_1 рабочего покрытия выбрана равной:

$$\frac{l_1}{\lambda} = \frac{1}{4\pi n_1} \operatorname{arctg} \frac{2\chi n_1}{n_1^2 - n^2 - \chi^2}, \quad (1)$$

где λ - длина волны падающего излучения.

Входное сопротивление Z_b приемной части подложка - рабочее покрытие

рассматриваемой трехслойной системы будет равно $Z_b = Z_1 \frac{Z + iaZ_1}{Z_1 + iaZ}$;

$$\text{где } a = \operatorname{tg} \frac{2\pi l_1 n_1}{\lambda}; \quad Z = \frac{Z_0}{n - i\chi}, \quad Z_1 = \frac{Z_0}{n_1}, \quad Z_0 - \text{ волновые}$$

сопротивления подложки, рабочего покрытия и свободного пространства соответственно.

Из совместного решения приведенных уравнений следует, что при заданной толщине слоя рабочего покрытия входное сопротивление приемной части системы будет вещественной величиной и равной:

$$Z_b = \frac{n_1 + a\chi}{nn_1} \quad (2)$$

Для выполнения условия полного или безотражательного поглощения падающего излучения в рассматриваемой трехслойной системе необходимо, чтобы ее результирующее входное сопротивление Z_{BX} было бы также вещественной величиной и равной по величине волновому сопротивлению Z_0 свободного пространства. Это возможно только тогда, когда толщина слоя просветляющего покрытия l_n равна четверти длины волны в веществе покрытия $\lambda n_1/4$. Полагая $Z_{BX} = Z_b$, с использованием выражения (2) получим:

$$n_n = \sqrt{\frac{nn_1}{n_1 + \chi \operatorname{tg} 2\pi l_1 n_1 / \lambda}} \quad (3)$$

Таким образом, условию полного поглощения волны в фотоприемнике удовлетворяет выбор четвертьволнового слоя просветляющего покрытия.

1. Исмаилов Р.А., Касимов Р.М. Просветление приемников излучения.- Труды МНПК "Современные информационные и электронные технологии", Одесса, 2004, с.224.

Б05 Мультиспектральное устройство для фильтрации оптических изображений

Свиридов А.Н., Филачев А.М., Пономаренко В.П., Кононов А.С.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

В последнее десятилетие быстро развивается направление бесконтактного исследования объектов, использующее методы оптического спектрального анализа и распознавания изображений. С помощью этих методов удается на порядки увеличивать объемы оптической информации об исследуемых объектах. Для получения изображений в заданных узких спектральных полосах могут применяться методы, использующие оптическую фильтрацию принимаемого излучения с помощью различных перестраиваемых оптических фильтров (акусто-оптических, интерференционных, интерференционно-поляризационных и др.), методы

выделения спектральных изображений, основанные на компьютерной обработке оптических сигналов, регистрируемых матричным приемником (например, сигналов Фурье – интерферометра, голограмм и др.), а также “многоцветные” матричные приемники.

Устройства, позволяющие получать изображения объектов в любых произвольно выбранных узких спектральных полосах, находящихся внутри рабочего спектрального диапазона принято называть устройствами для получения спектральных изображений (spectral imaging), видеоспектрометрами, отображающими спектрометрами, отображающими монохроматорами или спектральными отображающими устройствами.

В докладе предложены оптические схемы отображающих фокальных монохроматоров (ОФМ), а также проведены расчеты их основных параметров.

Принцип действия ОФМ основан на использовании дисперсионных свойств оптических линз и подобен принципу действия фокальных монохроматоров.

Проведены расчеты разрешающей способности и светосилы других параметров этого устройства.

Показано, что на основе предложенной оптической схемы могут быть построены перестраиваемые по длинам волн эффективные ОФМ для фильтрации оптических изображений в ультрафиолетовой, видимой или в инфракрасной области спектра.

Б06 Оптико-электронное устройство на основе метаматериала с наноразмерным металлическим слоем для управления оптическим излучением с длиной волны 10.6 мкм

Свиридов А.Н., Пономаренко В.П., Кононов А.С.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Плазмонные модуляторы оптического излучения относятся к новым перспективным типам устройств для управления оптическим излучением.

Из литературных данных известно, что к настоящему времени разработаны образцы плазмонных модуляторов для видимой области спектра ($\lambda = 0.63$ мкм), которые характеризуются низким управляющим напряжением и большой глубиной и высокой частотой модуляции.

Большой практический интерес представляют модуляторы, работающие в ИК области спектра (в частности на длине волны 10.6 мкм). Для того, чтобы разработать подобный модулятор была создана математическая модель устройства. На основе этой модели проведены расчеты характеристик пропускания, отражения и поглощения слоистых метаматериалов и определены оптимальные параметры устройств управления оптическим излучением (число слоев и толщины слоев, материалы слоев и согласующих призм и др.).

В результате были получены исходные данные для конструирования модулятора на длину волны 10.6 мкм. На основе этих данных была разработана конструкторская документация и определены технические требования к конструкции устройства для управления оптическим излучением, технические требования к наноматериалам, образующим слоистые структуры устройств, технические требования к установке для измерения параметров устройств управления оптическим излучением.

Показано, что устройство может работать как управляемый оптический ослабитель, как оптический затвор, как оптический модулятор или как оптический элемент, удаляющий из полихроматического пучка лучи с заданной длиной волны.

Б07 Особенности получения двумерного координатно-чувствительного приемника оптического излучения на основе полупроводниковых пленок с аномальным фотонапряжением

Рахимов Н.Р.; Ушаков О.К.; Рахимов Б.Н.

СГГА, Новосибирск, Россия

ФерПИ, Фергана, Узбекистан

Двумерный координатно-чувствительный приемники оптического излучения (ПОИ) относится к наиболее универсальным, так как позволяет преобразовывать в электрический сигнал всю информацию о пространственном распределении интенсивности оптического сигнала. Большинство двумерных координатно-чувствительных ПОИ используют принцип прибора с зарядовой связью (ПЗС). В работе [1] получен двумерный координатно-чувствительный датчик для регистрации параметров оптического излучения, состоящий из фотодетектора, например ПЗС-матрицы, перед которым установлен оптический элемент, коэффициент пропускания которого изменяется в зависимости от местонахождения на световом диаметре элемента. Недостатком этих датчиков является сложность оптической системы, низкая чувствительность и обязательное применение электропитания.

Исходя из этого, была поставлена задача создания двумерного координатно-чувствительного автономного приемника оптического излучения повышенной чувствительности [2].

Указанная цель достигается тем, что двумерный координатно-чувствительный автономный приемник оптического излучения, полученный из полупроводниковых соединений в виде двумерной (по координатам X и Y) ступенчатообразной АФН-пленки с постепенным увеличением толщины ступенек по оси X , с продолжением увеличения на каждой следующей ступеньке по оси Y или наоборот.

Для получения пленок различной толщины используется вакуумная установка ВУП-2к. В рабочей камере вакуум достигает порядка $10^{-4} \dots 10^{-5}$ мм рт. ст., температура подложки $310 \dots 480^\circ\text{C}$, подложку располагают под углом 45° к направлению молекулярного пучка.

В качестве подложек используется стекло толщиной 2 мм. Подготовленные подложки помещаются в специальный держатель и на поверхность подложки устанавливается двухстворчатая маска из изоляционного материала (гетинакс). В рабочую камеру устанавливаются идентичные микроэлектродвигатели (2 об/мин), для открытия или закрытия поверхности подложки путем взаимно перпендикулярного перемещения соответствующих шторок. Открытие поверхности подложки осуществляется электродвигателями при помощи лёгких термостойких тросиков, связанных со шторками. Вращением двигателей постепенно открывается поверхность подложки. Плёнки, полученные на подложке с размером 20×20 мм², двумерно ступенчатообразны по осям X и Y . Толщина каждой ступеньки определяется при помощи интерференционного микроскопа МИИ-4.

На основе такого фотогенератора можно разработать двумерный координатно-чувствительный автономный ПОИ, выходной сигнал которого содержит информацию о направлении и величине смещения излучающего объекта по осям X и Y .

[1] Заявка № 19714820 Германия, МПК⁶ G 01 J 1/22, В 64 G 1/36. Optischer positionsauflösender Sensor. Оpub. 15.10.98.

[2] Рахимов Н.Р., Серьёзов А.Н., Петров П.М.. Двумерный координатно-чувствительный приемник оптического излучения / Пол. решение по заявке 2005 113383/28 к выдаче патента РФ.

Б08 Продольные капиллярные каналы для тепловых труб для системы терморегулирования приборов

Абросимов А.И., Сысоев В.К., Верлан А.А., Зубков Н.Н.*, Булкин Ю.Н. **

ФГУП «НПО им. С.А Лавочкина», Химки, Россия

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

***РФНЦ-ВНИИЭФ, Саров, Россия*

Развития систем терморегулирования оптико-электронных приборов космических аппаратов базируется на прогрессе совершенствования технологии изготовления тепловых труб.

Пазовые тепловые трубы из алюминиевого сплава нашли широкое применение в космической технике. Актуальной является задача повышения их тепловой эффективности путем увеличения капиллярного напора в каналах и их миниатюризации. Представляется перспективными, в этой связи, замкнутые продольные каналы с регулярной геометрией и с регулируемым профилем щели для входа и выхода пара в зоны конденсации и испарения (Патент РФ на изобретение. № 2282125. Тепловая труба. Абросимов А. И. // Официальный бюллетень «Изобретения. Промышленные образцы». -2006. -№23). В представленном сообщении излагаются результаты разработки изготовления экспериментальных образцов миниатюрных тепловых труб диаметром 2,5мм с использованием медных и алюминиевых сплавов. Изготовлены образцы миниатюрных медных труб диаметром 2,5 мм, в которых согласно полученным шлейфам имеется 30 замкнутых продольных каналов треугольной формы, с размером у основания около 10 мкм и длиной боковой стороны около 100 мкм. Подобрано соотношение размеров и технологических операций, в результате которых аналогичные каналы в зоне испарения и конденсации имеют щелевой выход и вход при ширине щели 2-6 мкм, получены также металлические тепловые трубы, корпус которых изготовлен из латуни и никелевых сплавов, а фитиль из меди.

Проведённые технологические поиски могут служить основой для изготовления нового поколения высокоэффективных тепловых труб, систем терморегулирования оптико-электронных приборов.

Б09 Акустоэлектронное взаимодействие и пьезосвойства ϵ -GaSe

Абуталыбов Г.И., Джафарова С.З., Рагимова Н.А.*

Институт физики НАН, Баку, Азербайджан

**Бакинский Государственный Университет, Баку, Азербайджан*

Кристаллы GaSe принадлежат к точечной группе симметрии $\bar{6}m2$. Естественно предположить, что ангармонические свойства их анизотропны, поэтому изучение акустических свойств GaSe как типичного представителя класса слоистых кристаллов представляет научный интерес. Кроме того, GaSe обладает симметрией, разрешающей существование пьезоэффекта, что приводит к сильному акустоэлектронному взаимодействию. В этом плане исследование GaSe представляет и практический интерес для поиска перспективных материалов в акустоэлектронике.

В настоящем сообщении представлены результаты исследования акустоэлектронного взаимодействия в ϵ -GaSe. В экспериментах использовались чистые волны $L_{||}$, $T_{||}$, L_{\perp} , ST_{\perp} и FT_{\perp} . Абсолютные значения скорости акустических волн определены методом наложения эхо-импульсов на частоте 30 МГц при 293 К. По измеренным значениям скоростей акустических волн определены три из пяти независимых модуля упругости 2-го порядка и их температурные коэффициенты. Обнаружено влияние освещения на скорость распространения и поглощения некоторых типов акустических волн ($L_{||}$, L_{\perp} и FT_{\perp}) в ϵ -GaSe. Измерения проводились в интервале температур 78-300 К и в диапазоне частот 30-800 МГц. Показано, что дополнительное поглощение и характер изменения скорости распространения волн при освещении обусловлено пьезовзаимодействием акустической волны со свободными носителями заряда, концентрация которых зависит от освещения. Наличие фотопроводимости сильно облегчает наблюдение акустоэлектронного взаимодействия, изменяя светом концентрацию носителей, можно выделить дополнительный вклад в поглощение и скорость звука, как разность этих величин при освещении и без него.

Теоретически рассмотрено акустоэлектронное взаимодействие за счет пьезоэффекта в кристаллах $\bar{6}m2$. Проведенный анализ позволил по частотным и температурным зависимостям фоточувствительного поглощения определить константы электрохимической связи для разных типов волн и вычислить пьезомодуль e_{11} , характеризующий пьезоэлектрические свойства ϵ -GaSe. Отметим, что наличие пьезоэффекта снижает поперечную упругую изотропию, характерную для кристаллов гексагональной симметрии, причем изменение модуля упругости C_{66} достаточно велико и должно учитываться при точных измерениях.

Возникновение пространственного заряда в ϵ -GaSe при деформации, скорее всего связано с различным смещением подрешеток Ga и Se, следовательно, атомы Ga и Se обладают зарядами разных знаков и в связи Ga - Se существует определенная доля для ионной составляющей, что необходимо учитывать при построении модели силовых взаимодействий в решетке ϵ -GaSe.

Б10 Низкопрофильные очки ночного видения
Белоконев В.М., Волков В.Г., Леонова Г.А., Саликов В.Л.
ФГУП «Альфа», Москва, Россия

Рассматривается схема и описываются основные технические характеристики очков ночного видения с уменьшенным продольным габаритным размером. Дальность распознавания ростовой фигуры человека (звездная ночь) составляет не менее 200 м (ЭОП поколения 2⁺) или не менее 250 м (ЭОП поколения 3), угол поля зрения - 48°, увеличение - 1^x, диапазон фокусировки 0,25 м - ∞, масса не более 450 г, напряжение питания 2,5 – 3 В от 2-х батарей типа АА. Очки имеют модульное исполнение. В них возможно введение дополнительных модулей для фото- или видеосъемки, дисплея или миниатюрного телевизионного монитора, а также сменных афокальных насадок с увеличением 2,5^x или 4^x для увеличения дальности действия до 300 – 350 м (2,5^x) или 450 – 500 м (4^x).

Б11 Унифицированный телевизионный подсмотр для наблюдения звезд на больших оптических телескопах

Комаров В.В.

Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, Россия

На больших оптических телескопах мира работают уникальные светоприемные комплексы, в состав которых обязательно входят подсмотровые системы, предоставляющие наблюдателям визуальный контроль наведения телескопа, отождествления заданной звездной площадки на небе и ведения в ней исследуемого объекта. Эти системы также являются уникальными, обладающими одноэлектронной чувствительностью. Для дистанционной работы подсмотровые системы создавались телевизионными, чтобы передавать видеоизображение на большое расстояние.

В Специальной астрофизической обсерватории САО РАН разработана открытая в Интернет телевизионная система дистанционного визуального контроля [1], в состав которой входит более 2-х десятков телевизионных подсмотров для наблюдения звезд на больших оптических телескопах. Каждый новый подсмотр создавался на базе новых технологических возможностей и схемотехнических решений.

В данной работе прослеживается история создания высокочувствительных телевизионных систем для 6м оптического телескопа БТА и 1м телескопа Цейсс-1000, принадлежащих САО РАН. Обобщаются результаты экспериментальных и теоретических исследований [2], на основании которых предлагается схема унифицированного телевизионного подсмотра для наблюдения звезд на больших оптических телескопах.

Делается вывод о том, что новое поколение подсмотров для БТА и Цейсс-1000 можно унифицировать на базе программно управляемых накопительных ТВ камер с высокочувствительными малоформатными охлаждаемыми ПЗС массового производства. Внедрение таких систем на оптических телескопах БТА и Цейсс-1000 уже повысило проникающую способность подсмотров на 1.5 – 2 зв величины, а

динамический диапазон был увеличен на 2 зв. величины по сравнению с предыдущими вариантами подсмотров.

1. В.В. Витковский, В.В. Власюк, В.В. Комаров, А.Ф. Фоменко, В.С. Шергин. Открытая в Интернет ТВ система визуального контроля крупнейшего российского бм оптического телескопа БТА. //Тезисы докладов XIX Международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения. - Москва, 2006, с.172.

2. В.В.Комаров, А.Ф.Фоменко. Статистические оценки фундаментальных ограничений на применение типовых ПЗС-камер в составе ТВ-подсмотров больших оптических телескопов. //Астрофизический бюллетень, **62**, N1, 2007, с.102-116.

В12 Исследование одной из первых EMCCD CCTV камер по небесным объектам

Власюк.В.В., Комаров В.В., Фоменко А.Ф., Шергин В.С.

Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, Россия

В Специальной астрофизической обсерватории (САО РАН) с октября 2006г применяется измерительная EM CCD камера Photon Max 512B Princeton instruments для обеспечения спекл-интерферометрических наблюдений [1]. Другая камера EM CCD Samsung Techwin SHC-750 (Ю.Корея), исследуемая в САО, является одной из первых CCTV камер, в которой применена EM CCD матрица TC246STM Texas Instruments с внутренним электронным умножением (EM). Камера представляет собой последнюю разработку, в которой применены новые технологии для камер CCTV:

- шумоподавление в видеосигнале;
- цветная EM CCD матрица с охлаждением;
- повышение чувствительности за счет накопления на матрице.

В EM CCD камере SHC-750 реализовано фиксированное EM усиление в ПЗС матрице с возможностью управления видеоусилением и шумоподавлением. Камера относится к классу приборов день/ночь с автоматическим переключением режимов.

В работе приводятся результаты испытаний EM CCD CCTV камеры SHC-750 по небесным объектам на гиде 1м оптического телескопа Цейсс-1000 для определения возможностей применения в качестве ТВ подсмотра для больших оптических телескопов. Было разработано программное обеспечение управления параметрами камеры на языке Java с использованием javax.comn. классов фирмы Sun для доступа к COM-портам, которое может работать в системах Linux, Windows и Solaris. Web-интерфейс реализован как JSP-страница в сервере Tomcat.

Приводятся результаты сравнения SHC-750 с российскими серийными накопительными ПЗС камерами для CCTV наблюдений [2]. Испытания EM CCD камеры в сравнении с накопительной ПЗС камерой показали, что при кадровой частоте 50Гц камера SHC-750 имеет такую же чувствительность, как и ПЗС при экспозиции 128 кадров. Включением режимов накопления до 64 кадров или автоматического до 128 кадров камера SHC-750 может достигнуть чувствительности ЭОП+ПЗС при квантовой эффективности порядка 50% в видимой области спектра.

1. Е.В.Малоголовец, Ю.Ю.Балега, Д.А.Растегаев, К.-Х.Хофманн, Г.Вайгельт. GJ 900 – Новая иерархическая система с маломассивными компонентами. //Астрофизический бюллетень, **62**, N2, 2007, с.131-138.

2. В.В. Комаров. Возможности российских цифровых ПЗС камер серийного производства для астрономических приложений. //Тезисы докладов XIX Международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения. - Москва, 2006, с.171-172.

Б13 Развитие систем обзора ночного неба для дистанционного мониторинга в реальном времени состояния облачности

Витковский В.В., Власюк В.В., Комаров В.В., Фоменко А.Ф., Шергин В.С.
Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, Россия

В Специальной астрофизической обсерватории (САО РАН) была разработана и внедрена в эксплуатацию в круглогодичном режиме web-система ночного видения "ВСЕ НЕБО", предназначенная для дистанционного компьютерного контроля во время наблюдений на оптических телескопах САО состояния облачности в реальном времени одновременно по всей небесной полусфере в районе БТА [1]. Данная система имеет поле зрения 180 градусов.

В 2007 г. разработана и внедрена в эксплуатацию ночная система обзора с полем зрения 140 градусов с компьютерным управлением ее основных параметров, которая также работает в необслуживаемом режиме. Установка более высокочувствительной и большего формата ПЗС, управляемой по интерфейсу RS485, дает возможность наблюдателю выбирать оптимальный режим работы в условиях различной степени освещенности ночного неба. Одновременная работа двух систем обзора ночного неба для дистанционного мониторинга в реальном времени состояния облачности позволяет вести мониторинг, как в общем (180 обзор неба), так и с более детальным контролем (140 обзор неба).

В данной работе приведены технические характеристики устройств системы, дается описание принципа ее работы. Приводятся сравнительные характеристики и результаты исследований. Доработана процедура архивирования и сохранения ежечасных ночных кадров за текущий месяц. Информация о состоянии облачности передается непрерывно в течение темного времени суток на домашнюю страницу сервера [2]. Каждый час оцифрованные изображения сохраняются в архив для последующего просмотра с сохранением в течении последних 30 календарных суток.

1. В.В. Комаров, А.Ф. Фоменко, В.С. Шергин. ТВ-система «Все Небо» для мониторинга ночной облачности. //Прикладная физика. 2007, N5, с.130-134.

2. В.В. Витковский, В.В. Власюк, В.В. Комаров, А.Ф. Фоменко, В.С. Шергин. Открытая в Интернет ТВ система визуального контроля крупнейшего российского 6м оптического телескопа БТА. //Тезисы докладов XIX Международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения. - Москва, 2006, с.172.

Б14 Модифицирование спектров фототока монокристаллов TlGaSe_2 при легировании Fe

Мустафаева С.Н., Гасанов А.И., Керимова Э.М.
Институт физики НАН, Баку, Азербайджан

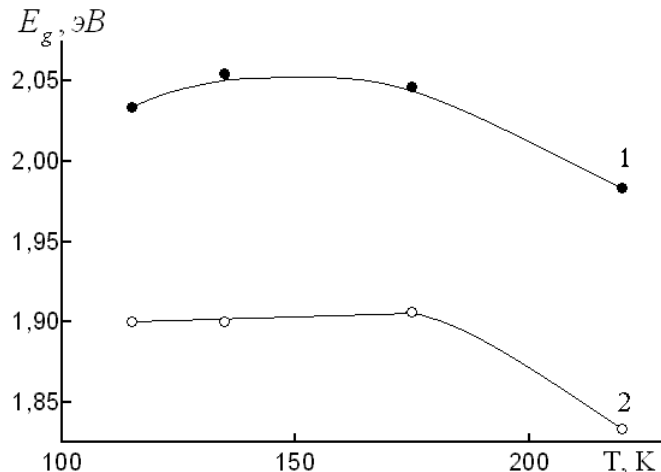
Монокристаллы TlGaSe_2 , обладающие слоистой структурой, характеризуются высокой фоточувствительностью в видимой области спектра. Легирование их металлическими примесями позволяет варьировать их физические параметры.

В настоящей работе изучено влияние частичного замещения галлия в TlGaSe_2 железом на фотоэлектрические свойства полученных кристаллов вдоль их слоев.

Монокристаллы $\text{TlGaSe}_2\langle\text{Fe}\rangle$ (процентное содержание железа взято равным 0.5 мол. %) были выращены методом Бриджмена, кристаллизовались в моноклинной структуре и имели следующие параметры решетки: $a = 10.778$; $b = 10.775$; $c = 15.646$ Å.

Спектры фототока полученных монокристаллов $\text{TlGaSe}_2\langle\text{Fe}\rangle$ снимались в области температур 115 – 220 К. Легирование монокристаллов TlGaSe_2 железом приводило к модифицированию спектров фототока; при этом максимум собственного фототока смещался в длинноволновую область спектра. Изучена температурная зависимость ширины запрещенной зоны как TlGaSe_2 , так и $\text{TlGaSe}_2\langle\text{Fe}\rangle$. Ширина запрещенной зоны E_g изученных монокристаллов определялась по длинноволновому полуспаду максимума собственного фототока.

На рисунке показаны зависимости $E_g(T)$ для TlGaSe_2 (кривая 1) и $\text{TlGaSe}_2\langle\text{Fe}\rangle$ (кривая 2).



Как видно из рисунка, увеличение температуры от 115 до 175 К не приводило к скольнибудь ощутимому изменению E_g как для TlGaSe_2 , так и $\text{TlGaSe}_2\langle\text{Fe}\rangle$. При дальнейшем увеличении температуры E_g обоих монокристаллов уменьшалась, причем в $\text{TlGaSe}_2\langle\text{Fe}\rangle$ — более существенно.

Таким образом, полученные экспериментальные результаты показали, что за счет частичного замещения $\text{Ga} \rightarrow \text{Fe}$ в решетке TlGaSe_2 можно существенно модифицировать спектры фототока, а также управлять шириной запрещенной зоны монокристаллов $\text{TlGaSe}_2\langle\text{Fe}\rangle$ вариацией температуры.

Б15 Использование планарного магнетрона для напыления ферромагнитных пленок микронной и нанометровой толщины

Юрков А.Н., Власова Т.В., Крикунов Г.А., Кононов М.А.

Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН, Москва, Россия

Магнетронное напыление тонких пленок используется в микроэлектронике и фотоэлектронике. Напыление пленок нанометровой толщины применяется для создания катализаторов при выращивании структур с нанотрубками. Особенно часто для этого используют нанопленки никеля и железа.

В данной работе использовался круглый магнетрон с ферромагнитной распыляемой мишенью диаметром 64мм и толщиной 3мм. Так как ферромагнитная мишень замыкает собой магнитный поток и препятствует возникновению магнетронного разряда, она разогревалась вспомогательным разрядом выше температуры Кюри (для никеля - 354°C , для железа – 771°C) и зажигался нормальный магнетронный разряд, который использовался для магнетронного распыления мишени и поддержания ее в заданных пределах температуры. Вольт-амперные характеристики разрядов находились в пределах напряжений 200 – 600В и токов 0,2 – 1 А. Минимальная мощность разряда, обеспечивающая температуру мишени выше температуры Кюри при давлении аргона $\sim 25\text{Pa}$ для никеля составила 40Вт, для железа – 420 Вт.

Для напыления никелевых пленок использовался разряд мощностью 200-400 Вт. При такой мощности температура мишени не превышала температуры, при которой может происходить заметное вакуумное испарение никеля или железа.

Скорость распыления никеля и железа составила $\sim 2,5$ и 2 г/кВт*ч, соответственно. Скорость роста пленки на подложке составляла $\sim 1\text{nm}$ на 1Вт*мин или несколько нм в сек.

Для напыления тонких пленок толщиной \sim мкм предварительно разогревалась мишень, подложка на это время уводилась на карусели в туннель, где на нее не могли попасть распыленные частицы. После разогрева мишени подложка из туннеля выводилась на напыление. Толщина пленок измерялась на интерференционном микроскопе МИИ-4.

Для напыления пленок нанометровой толщины требуемое время напыления составляет секунды или доли секунды. Чтобы обеспечить такое время напыления магнетронный разряд после разогрева мишени выключался, подложка быстро из туннеля выводилась на позицию напыления, затем разряд включался на требуемое время.

На атомно-силовом микроскопе измерялась толщина нанопленок и размеры кристаллитов на её поверхности. Минимальная толщина пленки, при которой она оставалась сплошной составляла 5-10нм. Исследованы электропроводные свойства пленок и коэффициенты пропускания света для $\lambda=0,63\text{мкм}$.

Б16 Влияние поверхностной проводимости полупроводникового электрода на распределение газоразрядного тока

Орбух В.И., Лебедева Н.Н., Боброва Е.Ю.

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

Стабилизация газового разряда высокоомным электродом [1] используется в приборах, где важны однородность распределения тока и свечения по площади электрода, а также надежная управляемость тока и свечения. Устройство, в котором реализуются эти условия, так называемая фотоионизационная система была предложена в [2,3]. В качестве рабочего элемента в ней используют плоскую газоразрядную ячейку узким зазором между металлическим электродом и пластиной из высокоомного и фоточувствительного полупроводника (Si(Pt), GaAs).

Эта система и ее модификации нашла широкое техническое применение (например, как преобразователь ИК-изображения в видимое [4]. В основе её действия - стабилизация газового разряда (отсутствие шнурования) и локальная управляемость интенсивностью свечения. Однозначного мнения о механизме стабилизации разряда с полупроводниковым электродом нет. Чаще всего авторы ссылаются на распределенность сопротивления полупроводника по его объему [1].

В настоящей работе представлены результаты исследования физического механизма стабилизации газового разряда высокоомным электродом. Экспериментально показано, что локальная металлизация поверхности полупроводника приводит к шнурованию в местах металлизации. Показано, что в структуре с высокоомным полупроводниковым электродом узкий токовый шнур существовать не может. Делается вывод, что основной причиной, ограничивающей вероятность шнурования и обеспечивающей стабилизацию разряда является электрическое поле в газовом зазоре, перпендикулярное токовому шнуру в месте его контакта с полупроводником. С учетом параметров нашей газоразрядной структуры показано, что:

$$\frac{E_s}{E_g} = 10^4 \frac{\sigma_p}{\sigma_s} \text{ , где}$$

E_s – поле перпендикулярное шнуру, в том числе и в месте контакта шнура с полупроводником, E_g – параллельное шнуру, σ_p , σ_s – проводимость полупроводника и поверхностного слоя. Считая $\sigma_p \sim \sigma_s$, получаем, что поле, перпендикулярное шнуру на 4 порядка превосходит поле, параллельное ему. Ясно, что при таких условиях шнур существовать не может.

1. Paul R. Blaszyk, Patent USA. Unt.Cl. HOIJ 17/06,3.743.881, July, (1973)
2. Л.Г.Парицкий, С.М.Рывкин, ФТП, **4**, 764, (1970)
3. Ю.А. Астров, В.В. Егоров, Ш.С.Касимов, В.М.Миругов, Л.Г.Парицкий, С.М.Рывкин, Квант.электроника, **4**, 8, 1681, (1977)
4. B.G. Salamov, N.N.Lebedeva, B.G.Ainoglu, K.Allakhverdiev, J.Appl.Phys., **27**, 1229, 1994

Б17 Асимметрия вольт-амперных характеристик газоразрядной структуры с полупроводниковым электродом

Лебедева Н.Н., Орбух В.И., Боброва Е.Ю., Эйвазова Г.М.

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

В работе исследовалась газоразрядная ячейка с полупроводниковым электродом, которая нашла широкое техническое применение: как преобразователь ИК - изображения [1,2], структурных дефектов в высокоомных полупроводниках [3], системы для несеребряной фотографии [4]. Действие таких устройств основано на формировании газового разряда в узком зазоре между металлическим электродом и высокоомным фоточувствительным полупроводниковым электродом, где впервые в физике полупроводников поверхность раздела плазма-полупроводник работает в качестве электрического контакта. Традиционно при изучении этой структуры полупроводниковый электрод был катодом. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) была симметричной, и равномерное свечение разряда наблюдалось при обеих полярностях полупроводникового электрода.

В настоящей работе в качестве полупроводникового электрода использовался компенсированный хромом (Cr) полуизолирующий арсенид галлия (GaAs). Высокоомные ($\rho \sim 10^8$ Ом*см) пластины GaAs n-типа проводимости, ориентированные в (100) плоскости роста кристалла, имели толщину 1,2 мм и диаметр 20 мм.

Измерялись вольт-амперные характеристики (ВАХ) этой структуры при различных полярностях постоянного напряжения и разных уровнях освещения полупроводника.

Обнаружена сильная асимметрия ВАХ, сопровождающаяся асимметрией светимости газа в зазоре. Когда полупроводник был катодом (пропускное направление), ток в газе реализовался в виде светящихся шнуров. Когда полупроводник был анодом (запорное направление), ток в газе был распределен равномерно, а сама светимость газа была слабее.

Все эти явления однозначно указывают на то, что контакт на границе полупроводника и газа запорный (барьер Шоттки).

Ю.А.Астров, В.В.Егоров, Ш.С.Касимов, В.М.Миругов, Л.Г.Парицкий, С.М.Рывкин, «Квант.электрон», 4, № 8, 1681, (1977)

L.G.Paritskii, Sh.S.Kasymov, USSR Patents 19460/18-10 and 197820-18-10 (1973)

N.N.Lebedeva, B.G.Salamov, V.I.Orbukh, V.M.Nagiev, Instrum. And Experim. Technig., 37, N5, p.2, (1994)

4. A.Kh.Zeinally, N.N.Lebedeva, L.G.Paritskii, B.G.Salamov J.Photogr.Sci., 39, 114, (1991)

Б18 Управление инерционностью ИК фоточувствительности слоистых кристаллов селенида индия

Абдинов А.Ш., Бабаева Р.Ф., Рзаев Р.М.

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

В монокристаллах n-InSe при $T \leq 200\text{K}$ в области $1.40 \leq \lambda \leq 2.80 \mu\text{м}$ наблюдаются отрицательная фотопроводимость и ИК гашение собственной фотопроводимости, а при $T \leq 150\text{K}$ в области $1.50 \leq \lambda \leq 3.50 \mu\text{м}$ – индуцированные примесные фотопроводимости с медленно релаксирующими характеристиками.

В данной работе сообщается о влиянии легирования редкоземельными элементами (РЗЭ) типа Gd, Ho и Dy с $N_{\text{РЗЭ}} \approx 10^{-5}; 10^{-4}; 10^{-3}; 10^{-2}; 10^{-1}$ ат.% на указанные явления.

Установлено, что помимо изменения абсолютных величин характеристических параметров вышеперечисленных явлений, в зависимости от уровня легирования меняется также скорость их релаксации. С ростом $N_{\text{РЗЭ}}$, величина индуцированных примесных фотопроводимостей (Δi_{ϕ}) в кристаллах n-InSe<РЗЭ> увеличивается относительно исходного, а величины отрицательной фотопроводимости (Δi_{ϕ}^{-}) и ИК гашения собственной фотопроводимости (Δi_{ϕ_2}), а также скорость или характерное время их релаксации (τ_0) меняются немонотонно. В частности, с ростом $N_{\text{РЗЭ}}$, сначала (при $N_{\text{РЗЭ}} \leq 10^{-3}$ ат.%) величины Δi_{ϕ}^{-} , Δi_{ϕ_2} и τ_0 увеличиваются, а далее постепенно уменьшаются. В кристаллах n-InSe<РЗЭ> с $N_{\text{РЗЭ}} \approx 10^{-1}$ ат.% τ_0 становится заметно меньше, чем в n-InSe. При прочих одинаковых условиях Δi_{ϕ} , Δi_{ϕ}^{-} , Δi_{ϕ_2} и τ_0 в n-InSe не зависят от материала введенной примеси РЗЭ.

С ростом температуры влияние легирования РЗЭ на эти эффекты в кристаллах n-InSe ослабляется.

Показано, что влияние легирования РЗЭ на инерционности ИК фоточувствительности кристаллов n-InSe, прежде всего, обусловлено зависимостью степени пространственной неоднородности этих кристаллов и плотности мелких уровней прилипания в них от $N_{\text{РЗЭ}}$.

Б19 Зависимость напряжения пробоя диода Шоттки от геометрического размера контакта

Асланова А.Р., Исмаилов Т.Г.

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

Одним из важных проблем реальных диодов Шоттки (ДШ) является низкое значение их напряжения пробоя от теоретически рассчитанного. Это в большинстве случаев считается следствием влияния краевых эффектов контактной поверхности на электронные процессы в периферийной приконтактной области полупроводника и краевой эффект понимается как влияние увеличения напряженности электрического поля из-за искривления области пространственных зарядов.

В данной работе показано, что преждевременный электрический пробой реальных ДШ происходит также в таких случаях, когда искривление области пространственных зарядов в приконтактной области полупроводника устраняется с использованием соответствующей конструкцией контактной структуры.

Были исследованы ДШ, изготовленных на основе металл-кремниевых контактов с диаметрами 10 – 1000 мкм с использованием стандартной фотолитографической технологии. Металлическая контактная тонкая пленка прикрывала диэлектрической пленки вокруг ячеек с различными диаметрами, вскрытых в SiO₂. Концентрация основных носителей n-типа Si составляла $\sim 10^{15}$ см⁻³.

Получено, что при низких обратных напряжениях зависимость обратного тока I от диаметра d контакта в логарифмическом масштабе имеет линейный характер с тангенсом угла наклона 2, а в области пробоя вольтамперной характеристики при напряжениях более 20 В тангенс угла наклона становится 1. Это означает, что пробой ДШ обусловлен увеличением обратного тока в периферийной области контактной поверхности.

Зависимость напряжения пробоя ДШ от диаметра контакта в полулогарифмическом масштабе имеет линейный характер и означает, что характер преждевременного пробоя соответствует механизму термоэлектронной эмиссии [1].

1. Мамедов Р.К. Контакты металл-полупроводник с электрическим полем пятен, Баку, БГУ, 2003, 231 с.

Б20 Поляриод для выделения заданной поляризационной составляющей оптического излучения

Касимов Р.М., Карамалиев Р.А.

Институт химических проблем НАН, Баку, Азербайджан

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

Установлено, что при падении под углом плоской электромагнитной волны на нанесенный на металлическую подложку плоский слой поглощающего диэлектрика, в последнем возможно возникновение эффекта полного или безотражательного поглощения падающего излучения [1]. При заданной частоте падающей волны и в зависимости от типа ее поляризации этот эффект проявляется при строго определенных избирательных значениях угла падения волны и толщины слоя покрытия. При выбранном материале покрытия с комплексной величиной коэффициента преломления n , эти избирательные значения зависят от типа поляризации падающей волны, что делает возможным использование указанного эффекта для направленного выделения одной из поляризационной составляющей падающего излучения за счет полного гашения ее другой составляющей.

При заданной частоте падающего излучения и избирательных значениях толщины l слоя покрытия и угла падения α волны, при которых выполняются условия полного поглощения одной из ее поляризационной составляющей, комплексная величина коэффициента отражения волны R другой ее поляризационной составляющей определяется следующим уравнением:

$$R = \frac{n\sqrt{1 - \sin^2 \alpha} - \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}{n\sqrt{1 - \sin^2 \alpha} + \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}$$

Приводятся результаты оценки величины отраженного сигнала при выбираемых значениях α и l , соответствующим условиям полного поглощения одной из поляризационной составляющей волны. В качестве материала покрытия металлической подложки выбраны вещества с различными значениями n в оптическом диапазоне волн.

Приведенные исследования позволяют сделать вывод о возможности использования эффекта полного поглощения волны при разработке простых полярOIDов для выделения нужной поляризационной составляющей падающих волн.

1. Э.Р.Касимов. Инженерно-физический журнал. 2003, т.76, № 1. с.105-109.

Б21 Поглощение свободными носителями в тонких пленках n-Ag₄STe

Алекперова Ш.М., Алиев А.А., Ахмедов И.А., Гаджиева Г.С., Джалилова Х.Д.

Институт физики НАН, Баку, Азербайджан

Впервые исследованы ИК спектры тонких пленок n-Ag₄STe, полученных анионным замещением компонентов в системе Ag₂S-Ag₂Te. Из Холовских измерений определены: $n=4,3 \cdot 10^{18} \text{см}^{-3}$, $\mu=2,5 \cdot 10^3 \text{см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$, $\sigma=1,7 \cdot 10^3 \text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$.

Тонкие пленки (0,3-0,5 мкм) получены вакуумным напылением кристаллического n-Ag₄STe на подогретые (370-450К), (при подогреве пленки сплошные и тоньше) свежесколотые поверхности NaCl и оптическое стекло. Идентичность пленки с исходной шихтой n-Ag₄STe определялась электронографическим методом и микроанализатором IХА-5Å.

Спектры пропускания $T(\lambda)$ и отражения $R(\lambda)$ сняты на ИКС-31. в неполяризованном свете, при нормальном падении луча. Спектр поглощения $\alpha(\lambda)$ рассчитан из экспериментальных спектров $T(\lambda)$ и $R(\lambda)$ по номограммам [1]. На спектральной зависимости коэффициента поглощения имеет место два процесса поглощения: за краем фундаментального поглощения (0,06эВ) в сторону длинных волн имеется область примесного и добавочного внутризонного поглощения до 10^3см^{-1} в диапазоне (21,7÷24,6 мкм), где выполняется зависимость $\alpha \sim (\lambda^2)$, что согласно классическому закону Друде-Лоренца $\alpha(\lambda) = (ne^2\lambda^2)/m^* 8\pi^2 c^3 \tau(k)$ свидетельствует о наличии внутризонного поглощения свободными носителями в данном интервале длин волн [2].

Так как спектр состояний в разрешенных зонах непрерывный, свободные носители с одного состояния на другое могут переходить под действием сколь угодно малого возмущения. Вклад свободных носителей заряда приводит к тому, что вблизи частоты плазменного резонанса наблюдается минимум отражения, положение которого связано с эффективной массой - m^* и концентрацией свободных носителей- n . Пик спектра характеристических электронных потерь $-\text{Im}\epsilon^{-1}(\omega)$ наиболее четко указывает на частоту плазменного минимума - на $R(\lambda)$ на котором минимум обычно размыт. Откуда частота плазменного минимума определена как. $\omega_{\text{мин}} = 1,15 \cdot 10^{14} \text{с}^{-1}$. По формуле $\omega_{\text{мин}} = \omega_p \sqrt{\{\epsilon_o / (\epsilon_o - 1)\}}$ и $\omega_p^2 = 4\pi e^2 n / m^*$ ($n = 4,3 \cdot 10^{18} \text{см}^{-3}$) определены: частота плазменного резонанса $\omega_p = 1,27 \cdot 10^{14} \text{с}^{-1}$, эффективная масса электронов $m^* = 0,025 m_o$ и энергия плазменных колебаний $\hbar\omega_p = 0,036 \text{эВ}$.

Время жизни плазменных колебаний, рассчитанное из общей ширины $-\text{Im}\epsilon^1(\omega) = f(\hbar\nu)$ на уровне $1/2$ пикового значения определяется как $\Delta\omega/\omega = 2/\omega_p\tau$ [3]. Время релаксации оказалось $5,4 \cdot 10^{-13}$ с.

Наличие селективного поглощения свободными электронами говорит о сложной структуре зоны проводимости

Особенности внутризонного селективного поглощения в тонких пленках $n\text{-Ag}_4\text{SbTe}$ позволяют применять данный материал в качестве оптических фильтров в аппаратуре, работающей в ИК области спектра.

[1]. A.Kahan, H.Lipson On determination of the optical absorption coefficient "Research Report Solid State Sciences. laboratory. Projekt 5621.

[2] В.В.Горбачев, Л.Г.Спицына. Физика полупроводников и металлов. Москва "Металлургия" 1976.

[3] И.П. Грибковский. Теория поглощения и испускания света в полупроводниках. 1975. Минск. Наука и техника.

В22 Проблемы герметизации ИК объективов

Солк С.В., Сабинин В.Е., Яковлев А.А.
ФГУП НИИКИ ОЭП, г. Сосновый Бор, Россия

Оптические системы (ОС) должны сохранять свои характеристики в условиях воздействия климатических факторов внешней среды. В первую очередь таких, как перепад температур и повышенная влажность. Результатом такого воздействия часто становится ухудшение эксплуатационных характеристик ОС за счёт конденсации паров воды на внутренних поверхностях. Особо сложно контролировать эти явления в ОС, работающих в ИК диапазоне, оптические элементы (ОЭ) которых обычно изготавливают из непрозрачных в видимой области спектра материалов. Одним из эффективных средств защиты от конденсации является герметизация и заполнение ОС инертным газом. В работе обобщён опыт проектирования, изготовления и эксплуатации таких ОС.

Специфика ИК ОС заключается в повышенной чувствительности оптических покрытий к влажности. Эти обстоятельства накладывают дополнительные требования на эффективность герметизации. При этом наиболее сложным оказывается соединение оптических и механических деталей. Для этого используют различные герметики, уплотнительные прокладки. Для получения прокладок сложной формы удобно использовать индиевую проволоку, которую получают, продавливая индий через фильеру с требуемым сечением.

В качестве газа для заполнения ОС обычно используется азот. Можно использовать и другие, например благородные газы. Удобен аргон, скорость диффузии которого во внешнюю среду достаточно мала. При этом при проектировании ОС следует учитывать показатели преломления этих газов.

Заполнение газом ведут либо путём продувки, либо с предварительным созданием вакуума в ОС. Первый способ целесообразно использовать, когда ОС эксплуатируется с системой продувки. Второй способ позволяет осуществлять более качественное заполнение и одновременно осуществлять контроль герметичности ОС.

Контроль герметичности приходится вести как в процессе сборки ОС, так и в процессе эксплуатации. При сборке для этого используют течеискатели. Возможны

методы контроля при пониженном и при повышенном давлении. В первом случае после получения вакуума, ОС обдувают газом, попадание которого внутрь ОС фиксируют с помощью течеискателя в качестве которого используют масс – спектрометр. Во втором случае газ заполняет внутренние полости ОС, а поиск течей ведут снаружи. Чувствительность метода повышается при помещении ОС в вакуумную камеру, соединённую с течеискателем.

Рассмотренные способы мы применяем при сборке ОС. Однако, необходим контроль и в процессе эксплуатации прибора. При этом система должна работать длительное время без специального вмешательства. Для этого можно использовать силикагель, - адсорбент меняющий окраску при поглощении влаги. Силикагель помещают в специальный контейнер на корпусе ОС, имеющий окно для наблюдения. Известен также метод «разности давлений». Эти методы являются косвенными и не дают информации о состоянии рабочих поверхностей ОЭ. Нами разработана и опробована методика, по которой внутрь ОС помещают оптопару из светодиода и фотоприёмника и располагают их на внутренней поверхности корпуса ОС. Фотоприёмник регистрирует поток излучения отражённый от одной из рабочих поверхностей ОС. Обратимое уменьшение сигнала фотоприёмника при снижении температуры свидетельствует о запотевании поверхности. Необратимое увеличение или уменьшение сигнала может быть следствием нарушения целостности оптического покрытия.

Б23 Технология изготовления лепестков диафрагм

Макин В.С., Пестов Ю.И., Солк С.В., Яковлев А.А.

ФГУП НИИКИ ОЭП, г. Сосновый Бор, Россия

Механические диафрагмы широко распространены в оптических, в том числе в ИК приборах. Лепестки диафрагм, как правило, имеют толщину 0,5–0,1 мм и изготавливаются из стальной ленты марок У8А, СТ1, Х18Н9, реже из других материалов. В условиях серийного производства для их изготовления используются комбинированные штампы. При мелкосерийном производстве и изготовлении опытных образцов с точки зрения оперативности и экономической эффективности такой технологический процесс неприемлем. В этом случае при изготовлении лепестков имеющих сложную форму целесообразно использовать технологию лазерной резки.

В данной работе для изготовления лепестков диафрагм была использована установка включающая импульсно-периодический или непрерывный лазер на гранате с неодимом ($\lambda=1,06$ мкм), устройство транспортировки и фокусировки излучения в зону воздействия, устройство для подачи в зону реза рабочего газа, трехкоординатный стол (500x500x100 мм), контроллер шаговых двигателей координатного стола и персональный компьютер, а также устройство удаления мелкодисперсных продуктов резки. Точность позиционирования координатного стола - 20 мкм. В качестве исполняемого файла использовался чертеж в формате DXF пакета “AUTOCAD-2000”, скорректированный с учетом ширины реза.

Для изготовления лепестков диафрагмы ИК объектива ($\lambda=3-5$ мкм), обеспечивающей полное закрытие светового отверстия, использовалась стальная лента марки Х18Н9 толщиной 100 мкм.

При резке импульсно-периодическим излучением лазера ЛТИ-205 ($\lambda=1,06$ мкм, $\nu=28$ Гц, $E=0,1$ Дж, $\tau_n=0,1$ мс) луч лазера фокусировался линзой с

фокусным расстоянием $f=40$ мм, при этом режущий газ (воздух, кислород) подавался в зону воздействия соосно с излучением через сопло диаметром 400 мкм под давлением 3–5 атм. Скорость резки была в диапазоне 0,5–1 мм/с при ширине реза 110-120 мкм. Использование кислорода в качестве режущего газа привело к заметному уменьшению количества грата и более легкому его удалению с кромок вырезанных деталей. Зона изменения структуры материала в результате разогрева импульсным излучением не превышала 70-100 мкм от края реза, что обеспечило отсутствие коробления готовых деталей. Качество полученных в результате резки лепестков диафрагм после удаления с них остатков грата позволило собрать 6 лепестковую диафрагму без их дальнейшей механической обработки.

Была опробована также резка непрерывном излучением лазера ЛТН-103 ($\lambda=1.06$ мкм, $P=20-200$ Вт). В качестве рабочего газа применялась смесь кислорода с воздухом. Излучение лазера фокусировалось на материал линзой с $f=100$ мм. Скорость резки в этом случае составляла величину порядка 2,5-5 мм/с при мощности лазера 30-40 Вт. При этом зона теплового влияния была около 0,5-0,7 мм, что приводило к заметному короблению готовых деталей.

Таким образом, в работе успешно опробована лазерная технология изготовления лепестков диафрагм сложной формы, позволяющая отказаться от применения комбинированных штампов в мелкосерийном производстве. Показана предпочтительность использования импульсно-периодического лазерного излучения и подачи кислорода в качестве рабочего газа для получения качественных изделий.

Б24 Контроль устойчивости оптических покрытий к динамическому воздействию пыли

Сабинин В.Е., Солк С.В.

ФГУП НИИКИ ОЭП, г. Сосновый Бор, Россия

В работах [1,2] описаны методики и установки контроля оптических покрытий на устойчивость к истиранию, воздействию влажной атмосферы и соляного тумана. Подчеркивается особая значимость подобных испытаний для оптических элементов (ОЭ) работающих в ИК диапазоне. Данная работа является их продолжением.

Разработана, изготовлена и апробирована установка, создана методика испытания оптических покрытий на динамическое воздействие пыли. В соответствии с требованиями стандартов, воздействие динамической пыли предполагает два механизма нарушения рабочих характеристик – абразивный и проникающий. Применительно к ОЭ имеет смысл только контроль абразивного воздействия. Контроль последствий оседания статической пыли на поверхности по механизму действия совпадает с контролем устойчивости оптических покрытий к чистке. В то же время, устойчивость ОЭ к абразивному воздействию по смыслу совпадает с понятием механической прочности (твёрдости) оптической поверхности.

В установке создают поток воздуха с регулируемой скоростью. Поток попадает на исследуемую оптическую поверхность под требуемым углом так, что диаметр его сечения меньше светового диаметра ОЭ. В воздушный поток эжектируют сыпучий материал, воздействующий на поверхность. Контролируют размер, массу и скорость частиц в зоне оптической поверхности (то есть, их кинетическую энергию) и продолжительность воздействия. Кроме того, имеет

значение их твёрдость и форма. Наиболее удобно использование порошков различных фракций, применяемых при шлифовании и полировании оптических поверхностей.

Контроль поверхностей до и после испытаний проводят, в зависимости от степени их повреждения, визуально, путём измерения шероховатости, коэффициентов пропускания или отражения (в зависимости от назначения ОЭ и покрытия). Однако, наиболее ясную физическую интерпретацию даёт измерение возрастания коэффициента диффузного рассеяния оптической поверхности (ρ_d) от времени (τ) воздействия на поверхность. Величину ρ_d измеряют по методу Тейлора на спектрофотометре или иным способом, строят график зависимости ρ_d (τ) не менее чем по четырём точкам и аппроксимируют его прямой линией. Угол наклона прямой является относительной мерой устойчивости поверхности к абразивному воздействию. Если угол наклона менее 10 или более 80 угл. град., изменяют условия воздействия на испытываемую поверхность.

Проведённые эксперименты показали высокую воспроизводимость и надёжность методики. Получаемые результаты позволяют определить качество оптического покрытия, с точки зрения его устойчивости к абразивному воздействию динамической пыли по сравнению с аналогичными характеристиками материала подложки.

1. В.Е. Сабинин, С.В.Солк, С.Е. Шевцов. Мини – комплекс для проведения климатических испытаний оптических покрытий. // Тезисы докладов 19 международной научно- технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения, 23-26 мая, 2006, Москва, Россия, с.160 - 161.

2. В.Е.Сабинин, С.В.Солк, С.Е. Шевцов. Аппаратура для климатических испытаний малогабаритных оптических элементов. //Сборник трудов международной конференции «Прикладная оптика –2006», 16-20 октября 2006, Санкт-Петербург, Том 1, с.204-207.

Б25 Анализ основных этапов выполнения технико-экономического обоснования принятия управленческих решений на высокотехнологичном предприятии

Корнеева М.Д., Дворак А.И., Масленникова Г.Л., Григорьева М.В., Корнеева Г.М.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Обоснование любого управленческого решения, связанного с поставками наукоемкой продукции, представляет собой управленческую процедуру, включающую комплекс определенных этапов обработки информации.

Эти этапы, с одной стороны, в целом характерны для любого технико-экономического обоснования, а, с другой, специфицируются в преломлении к рассматриваемой предметной области.

Рассмотренные автором в докладе этапы относятся к содержательной части выполнения технико-экономического обоснования, что позволяет формализовать управленческую задачу и выбрать эффективный экономико-математического инструментарий для осуществления предсказательного оценивания.

Б26 Особенности формирования и введения в гражданско-правовой оборот интеллектуальной собственности предприятий для обеспечения их конкурентоспособности

Корнеева М.Д., Дворак А.И., Масленникова Г.Л., Григорьева М.В., Корнеева Г.М.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Тенденции развития мировой экономики показывают, что в современных условиях эффективно влиять на рынки высокотехнологичной продукции могут лишь предприятия, владеющие солидным массивом (портфелем) интеллектуальной собственности и способные осуществлять продуманную политику по введению своей интеллектуальной собственности в гражданско-правовой оборот.

Рассмотренные автором в докладе подходы и процедуры по эффективному использованию результатов интеллектуальной деятельности, содержащихся в наукоемкой продукции, позволят высокотехнологичным предприятиям не только надежно защитить свои наукоемкие разработки, но и эффективно продвигать продукцию на товарные рынки, что, в настоящее время является особенно актуальным в связи с предстоящим вступлением России во всемирную торговую организацию.

Б27 Факторы и методы оценки, влияющие на конкурентоспособность продукции и мероприятия по ее повышению

Корнеева М.Д., Дворак А.И., Масленникова Г.Л., Григорьева М.В., Корнеева Г.М.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Проблема конкурентоспособности товара на современном этапе развития рыночных отношений в России становится одной из важнейших. От того насколько эффективно она будет решена, зависит научно – технический уровень многих производящих отраслей российской экономики, оказывающего прямое воздействие на благосостояние и уровень жизни людей. Конечная цель любого предприятия — победа в конкурентной борьбе.

В результате анализа факторов и методов оценки, влияющих на конкурентоспособность продукции, были определены резервы по ее повышению, на основе которых предложены конкретные мероприятия. Предложенные мероприятия создадут условия для повышения конкурентоспособности товаров производства, и будут способствовать улучшению состояния предприятия и дальнейшему его развитию.

Б28 Метод оценки производственной деятельности высокотехнологичного научно-производственного предприятия

Корнеева М.Д., Дворак А.И., Масленникова Г.Л., Григорьева М.В., Корнеева Г.М.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Одним из наиболее существенных подходов к обоснованию и разработке теоретических и организационно-методических аспектов управления производственно-экономическим потенциалом высокотехнологичных предприятий является получение объективных оценок возможной производственной деятельности этих объединений.

Методы оценки производственной деятельности объединений предприятий направлены на выявление:

- в какой ситуации находится или будет находиться в определенный момент времени рассматриваемое предприятие;

- какую позицию оно занимает или может занять относительно соответствующих предприятий, конкурирующих компаний и корпораций, как отечественных, так и иностранных, производящих аналогичную по назначению продукцию;

- какую позицию оно может занять на рынке товаров и услуг.

В основу разработанных методов оценки производственной деятельности объединений предприятий положены методы ситуационного анализа.

В настоящей статье предложены методы, позволяющие формализовать процесс ситуационного анализа с целью получения количественных оценок, характеризующих текущую и прогнозируемую ситуацию, в которой находится или будет находиться рассматриваемое предприятие.

Б29 Измерение предельного разрешения оптических элементов в ИК диапазоне спектра

Нужин В.С., Солк С.В., Сабинин В.Е.

ФГУП НИИКИ ОЭП, г. Сосновый Бор, Россия

В настоящее время всё большее распространение получают оптические приборы, работающие одновременно в видимом и в ИК диапазонах спектра. В их состав могут входить иллюминаторы, прозрачные в обоих диапазонах, спектроделители, иные оптические элементы. Пытаясь сохранить единство количественной оценки их потребительских характеристик в разных спектральных диапазонах, в качестве меры такой оценки разработчики часто выбирают предельное разрешение. Возможно, ориентиром при этом является работа Джонсона [1] о связи шкалы восприятия с предельным разрешением. Измерение этого параметра в видимом диапазоне не вызывает затруднений, однако в ИК диапазоне методики измерений и специальные миры отсутствуют.

Нами разработана методика, в основу которой положен расчёт линейного (и углового) разрешения в ИК диапазоне по функции передачи модуляции (ФПМ) оптической системы на заданном уровне коэффициента передачи модуляции (КПМ), соответствующем предельному разрешению оптической системы. В видимом диапазоне спектра уровень предельного разрешения был определён с использованием матричного фотоприёмника по изображению штриховой миры абсолютного контраста на экране монитора путём измерения контраста изображения миры, находящейся на пределе разрешения. В результате эксперимента установлено, что измеренный и рассчитанный через КПМ на пределе разрешения контрасты практически совпадают и равны $0,05 \pm 0,01$.

В ИК диапазоне спектра ФПМ оптической системы рассчитывалась по измеренной функции рассеяния линии (ФРЛ) путём преобразования Фурье и определялось значение пространственной частоты при КПМ, равным $0,05 \pm 0,01$.

Приведены примеры использования данной методики применительно к результатам измерений предельного разрешения плоскопараллельных пластин из

Щ?> и поликристаллического ZnSe (ПО-4) в видимой, средней (3-5мкм) и дальней (8-12мкм) областях спектра.

1. Johnson J. Analysis of image forming systems.// Proc. of Image Intensifier Symposium, 1958.-P.249-273.

Б30 Последние достижения и тенденции развития КНС – технологии

Ермаков О.Н., Карацуба А.П., Сметанов А.Ю.

ОАО «НПП «Сапфир», Москва, Россия

Приведён обзор последних достижений и тенденций развития КНС – технологии. Подчёркивается, что КНС – технология, изначально ориентированная на разработку и изготовления БИС, обладает большим потенциалом развития в таких областях как оптоэлектроника, СВЧ – техника и микроэлектронные датчики [1].

Рассмотрены оптические свойства КНС-структур (включая квантово – размерные структуры). Отмечается, что особенности спектров люминесценции квантово – размерных структур КНС в видимой области спектра связаны не столько с квантово – размерными эффектами в слое кремния, сколько с люминесценцией подложки сапфира. Отмечается, что структуры КНС обладают перспективными фотоэлектрическими свойствами, позволяющими создавать различные типы фотоприёмников, включая фотоэлектрические ИС и ИК формирователи изображения.

Другой важной областью применения КНС – технологии является СВЧ - техника. Последние достижения в области КНС – технологии, реализованные фирмой *Peregrine Semiconductor*, связаны с оригинальной технологией *UTSi*. Фирма уже поставила миллионы переключательных СВЧ ИС на КНС для использования в *GPRS* – сотовых аппаратах.

Технология *UltraCMOS* фирмы *Peregrine Semiconductor* обеспечила разработку приборов, дающую эффективный ответ на жёсткие требования к СВЧ переключательным ИС, выдвигаемые *WCDMA* - и *EDGE* – платформами, одновременно обеспечивая высокую надёжность и устойчивость к воздействию статического электричества. Подчёркивается, что значительные функциональные преимущества такого подхода реализованы в условиях конкуренции с альтернативными подходами с использованием *GaAs*, *SiGe*, а также технологии БИКМОП и КМОП на объёмном кремнии.

В заключении рассмотрены возможности использования КНС-структур при проектировании различных типов микроэлектронных датчиков.

1. Ермаков О.Н. *Прикладная оптоэлектроника*. М.: Техносфера, 2004.

Б31 Гибридные органико-неорганические диоды для оптоэлектроники

Ермаков О.Н.

ОАО «НПП «Сапфир», Москва, Россия

Концепция органико-неорганической оптоэлектроники показала очень плодотворной в особенности в отношении интегральной оптоэлектроники, позволяя разрабатывать интеллектуальные системы, содержащие как оптоэлектронную

секцию , так и секцию обработки сигнала и , монолитно интегрированные на одной подложке. [1].

Приведён краткий обзор современного состояния и тенденций развития органико-неорганической микроэлектроники и оптоэлектроники, при этом основное внимание уделено органико-неорганическим светоизлучающим диодам и органико-неорганическим фотоприёмникам.

Приведены основные электрооптические характеристики отечественных органико-неорганических светоизлучающих диодов различных цветов свечения, включая спектральные, электрические, цветовые характеристики. Подчёркивается, что по сравнению с твердотельными аналогами эти приборы обладают целым рядом преимуществ, включая малый угол обзора, короткие времена переключения, возможность управления спектральным распределением электролюминесценции и т. д.

Наряду с органико-неорганическими СИД органико-неорганические фотоприёмники представляют большой интерес для фотоэлектроники, так как в этих приборах сочетаются достоинства фоточувствительной твердотельной структуры (малый темновой ток, достаточно большая фоточувствительность и т.д.) с достоинствами органических материалов (высокий квантовый выход фотолуминесценции, возможность модификации спектральных характеристик). Приведён ряд примеров органико-неорганических фотоприёмников.

Ермаков О.Н. Прикладная оптоэлектроника. М.: Техносфера, 2004.

Б32 Сравнительный анализ и моделирование органических и неорганических диодов для интегральной оптоэлектроники

Ермаков О.Н.

ОАО «НПП «Сапфир», Москва, Россия

Приведён сравнительный анализ различных эффектов (включая оптические, электрические, инжекционные эффекты) в органических и неорганических диодах [1]. Проанализированы как сходные моменты, так и различия в двух типах приборов.

Подчёркивается, что общий характер вольт- амперных характеристик ($I(V)$), содержащих несколько различных областей, практически аналогичен в обоих типах приборов, при этом напряжение включения диодов возрастает по мере увеличения оптической ширины запрещённой зоны. В то же время в твердотельных диодах обычно наблюдается экспоненциальный характер активной области в органических диодах проявляется степенной характер активной области ВАХ, при этом дифференциальное сопротивление органических диодов на несколько порядков больше, чем в органических диодах.

Отмечается, что для адекватного моделирования органических светоизлучающих диодов (OLED) необходим целый набор характеристик, включая вольт – амперные, вольт – яркостные ($B(V)$), ампер – яркостные характеристики ($B(I)$). Отмечается, что аналогично ВАХ вольт – яркостные и ампер – яркостные характеристики носят сложный характер и содержат ряд специфических областей. В области несколько выше напряжения включения ампер – яркостные характеристики носят степенной характер. Отмечается, что яркость, необходимая для дисплейных применений ($B \sim 100$ кд /м²) достигается при практически одном и том же уровне

плотности рабочего тока около 10^{-3} мА /см² для OLED на основе различных материалов и с различной площадью пиксела.

Отмечается, что спектры ЭЛ OLED очень похожи на спектры ЭЛ СИД на основе широкозонных нитридов тех же цветов свечения, хотя природа оптических переходов в обоих типах приборов различна: в СИД основным механизмом рекомбинации является рекомбинация свободных электрон - дырочных пар в то время как за ЭЛ в OLED ответственна рекомбинация экситонов Френкеля.

Рассмотрены различные подходы для моделирования эффектов инжекции, переноса и деградации в OLED и органических ФД.

1. Ермаков О.Н. *Прикладная оптоэлектроника*. М.: Техносфера , 2004.

Б33 Полимерные композиты для микроэлектроники и оптоэлектроники

Ермаков О.Н.

ОАО «НПП «Сапфир», Москва, Россия

Представлен краткий обзор применения полимерных композитов (как полимерно – углеродных, так и полимерно – полупроводниковых композитов) в микроэлектронике и оптоэлектронике, включая светоизлучающие приборы на основе органических материалов (OLED), солнечные элементы (СЭ), микроэлектронные датчики. Особое внимание уделено последним достижениям в технологии нанокompозитов (включая нанотрубки, углеродные квантовые точки и т.д.) [1].

Обсуждается физика явлений переноса в полимерных композитах, при этом особое внимание уделено механизму перколяции в рассматриваемых средах.

Представлены экспериментальные результаты по оптическим свойствам и явлениям переноса в исследованных средах. Обсуждаются аналогии и различия проявления явлений переноса в электропроводящих органических материалах и композитах. Особое внимание уделено температурным зависимостям ВАХ. Отмечается, что в органических композитах может проявляться как уменьшение (NTC), так и увеличение (PTC) сопротивления с температурой. Достаточно большая величина температурного коэффициента сопротивления (>4 % K⁻¹) позволяет использовать композиты в качестве датчиков температуры (термисторов).

Обсуждается возможность использования органических композитов при проектировании приборов ночного видения. К числу преимуществ термисторов на основе органических композитов относятся экономичность технологии , достаточно большая чувствительность, а также возможность разработки приборов различной конструкции и размера.

1. Ермаков О.Н. *Прикладная оптоэлектроника*.- М.: Техносфера, 2004

Б34 Повышение фотометрической точности телевизионных камер на ПЗС для астрофизических исследований

Рагимов Э.А.

Национальная академия авиации, Баку, Азербайджан

В связи с постоянным расширением области применения телевизионных устройств для научных исследований - в народном хозяйстве и других областях - особое значение приобретает необходимость уменьшения их габаритов, повышения надежности и простоты эксплуатации.

На современном этапе развития телевизионной техники появляется возможность широкого применения в качестве датчиков видеосигнала, фотоэлектрических преобразователей изображения типа приборов с зарядовой связью (ПЗС). Вместе с тем уровень развития технологии таких преобразователей накладывает определенные ограничения на их применение. В частности, они обладают недостаточно хорошими фотометрическими параметрами.

Улучшению некоторых фотометрических характеристик камер на ПЗС посвящена данная работа. Способ повышения фотометрической точности осуществляется следующим образом.

В оптический тракт телевизионного устройства перед матрицей ПЗС ТВ-датчика вводится оптический коммутатор, основным элементом которого является двойная клиновидная призма, которая изменяет положение проекции оптического изображения объекта в плоскости его светочувствительной поверхности. Линейную величину горизонтального и вертикального сдвигов выбирают в несколько раз большей, чем длина самого протяженного по размерам дефекта (нечувствительного элемента матрицы или линейки ПЗС). Оптический коммутатор, управляемый кадровым синхроимпульсом от схемы управления оптическим коммутатором, перемещает изображение на матрице влево или вправо. Таким образом, на выходе ТВ-датчика попеременно получают сигналы от левого и правого изображений. Затем видеосигналы от двух смешанных изображений и изображений фона обрабатываются в устройстве цифровой обработки сигналов, на выходе которого получается полная информация об изображаемом поле объекта.

Устройство цифровой обработки сигналов, состоит из коммутатора видеосигнала, трех аналого-цифровых преобразователей, трех запоминающих устройств, двух сумматоров, устройства сравнения, синхрогенератора, формирователя сигналов адреса, чтения и записи, цифро-аналогового преобразователя, схемы управления режимами.

В работе показан механизм действия клиновидной призмы и принцип его работы. Кроме того, в работе указано алгоритм обработки сигналов с выхода телевизионной камеры.

Телевизионный датчик с повышенной фотометрической точностью предлагаемого типа, может быть использован в астрофизических исследованиях, в составе ТВ автоматов различного назначения.

Б35 Фотоэлектрические свойства $\text{In}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Si-M}$ структур после переключения

Бадалов А.З.

Национальная академия авиации, Баку, Азербайджан

Для исследования эффекта переключения и фотоэлектрических свойств были изготовлены образцы в обычном и планарном исполнении [1]. При определенном значении приложенного напряжения структура переходит в состояние с низким импедансом. В этом состоянии ВАХ является асимметричной. Фотоэлектрические свойства таких электроформованных МДП-структур имеют некоторые особенности.

Из спектральной зависимости fotocувствительности исследованной низкоомной МДП-структуры в фотовольтаическом и фотодиодном режимах видно, что величина fotocувствительности и форма спектральной характеристики МДП-структур значительно изменяются с приложенным постоянным электрическим полем. В фотовольтаическом режиме максимум fotocувствительности соответствует $\lambda=0,5$ мкм и $S=1,4 \cdot 10^{-3}$ А/Вт. При приложении к структурам напряжения в прямом направлении (плюс источника к полупрозрачному электроду) fotocувствительность растет, и структура обладает широкой областью практически постоянной спектральной чувствительности. При $U=10$ В и $\lambda=0,82$ мкм, $S=0,5$ А/Вт, т.е. чувствительность МДП-структур увеличилась в 500 раз.

Показана зависимость фототока от приложенного постоянного смещения при различных длинах волн падающего света. При малых значениях напряжения $U < 0,25$ В фототок не зависит от приложенного постоянного напряжения. При напряжении $U \geq 0,25$ В величина фототока резко, на $2 \div 2,5$ порядка, увеличивается с ростом постоянного смещения и стремится к насыщению при $U \geq 1$ В. В области больших напряжений смещения ток через структуру насыщается, что обусловлено насыщением поверхностной концентрации дырок [2].

Как показано [3] электроформованные МДП-структуры могут быть использованы для детектирования оптических сигналов. В связи с этим и с целью выяснения зависимости характера фототока от времени фотоотклика от различных параметров - напряжения на электроде, интенсивность света и т.д. - исследованы кинетики фотоответа таких структур.

Обнаружено, что в фотовольтаическом режиме, т.е. при $U=0$, и при $U < 0,25$ В, через электрообработанную структуру проходит только нестационарный фото-емкостной ток, т.е. структура ведет себя как идеальная МДП-структура а при $U > 0,25$ В через структуру течет стационарный фототок.

Установление фототока определяется в этом случае двумя процессами - зарядом емкости МТДМ-структуры и туннельным током фотогенерированных носителей заряда через диэлектрик.

Таким образом, все наблюдаемые качественные особенности кинетики хорошо объясняются в простой модели [4], учитывающей относительный вклад рекомбинации фотоносителей и эмиссии через диэлектрик.

1. Бадалов.А.З. Дисс. на соиск. уч. степ. Доктора физ.-мат.наук, 1992, ИФАН, г.Баку.

2. Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов, в 2-х книгах, кн. I, М.: Мир, 1984.- 455 с.

3. Бадалов А.З., Искендерзаде З.А., Джафарова З.А., Масимов А.З., Исмаилов Г.М. Фотоэлектрические свойства электрообработанных МДПДМ-структур.- Журнал технической физики, 1984, т.54, №3, с.645-646.

4. Вуль А.Я., Дидейкин А.Т., Зинчик Ю.С., Санин К.Б., Саченко А.В. Кинетика фотоответа туннельных МДП- структур.-ФТП,1983, т.17, № 8,с.1471-1477.

Б36 Ближний порядок в тонких аморфных пленках

$\text{Yb}_{3(1-x)}\text{Sm}_x\text{As}_4\text{Se}_9$ ($x=0,2$ at.%)

Гаджиев Э.Ш., Мададзаде А.И., Исмаилов Д.И.
Институт физики НАН, Баку, Азербайджан

Материалы, содержащие халькогениды мышьяка и редкоземельные элементы (РЗЭ) в последнее время широко изучаются. Это обусловлено перспективностью исследования химического взаимодействия в системах халькогениды мышьяка с РЗЭ и их халькогенидами, в результате которых получают новые кристаллические и стеклообразные соединения и твердые растворы с фоточувствительными, магнитными и акустооптическими свойствами. В пленочном состоянии такие материалы мало изучены. Однако для более полного раскрытия возможностей их использования необходимо ясное представление об их атомной структуре, топологическом и химическом ближнем порядке.

В работах [1, 2] нами была изучена структура ближнего порядка в тонких аморфных пленках соединений, относящаяся к вышеуказанным материалам. В представленной работе приводятся данные по исследованию структуры ближнего порядка в аморфных нанотолщинных пленках состава $\text{Yb}_{3(1-x)}\text{Sm}_x\text{As}_4\text{Se}_9$ ($x=0,2$ at.%). Аморфные пленки $\text{Yb}_{3(1-x)}\text{Sm}_x\text{As}_4\text{Se}_9$ толщиной ~ 30 нм получены при испарении синтезированного вещества со скоростью ~ 5 нм/сек и дальнейшем осаждении на свежесколотые кристаллы NaCl, KCl и на аморфных целлулоид, находящиеся при комнатной температуре. Давление остаточных газов в напылительной камере было $\sim 10^{-4}$ Па.

С помощью метода дифракции быстрых электронов при ускоряющем напряжении 75 кВ, были получены электронограммы от аморфных пленок методом переменной экспозиции, что позволило учесть дальнеугловое рассеяние электронов, содержащее ценную информацию о межатомных расстояниях и координационных числах. Получена кривая интенсивности рассеяния электронов для аморфных пленок в зависимости от угла рассеяния до $S=210$ нм⁻¹.

Фурье-синтезом интенсивности построена кривая радиального распределения атомов (КРРА) в аморфных пленках $\text{Yb}_{3(1-x)}\text{Sm}_x\text{As}_4\text{Se}_9$. Из КРРА определены межатомные расстояния As – Se и As – Yb, которые равны 0,240 нм и 0,365 нм, соответственно. Атомы мышьяка и селена являются ближайшими соседями, а ионы Yb^{2+} находятся во второй координационной сфере. Установлено, что в аморфном $\text{Yb}_{3(1-x)}\text{Sm}_x\text{As}_4\text{Se}_9$ около ионов иттербия находятся 3 атома селена.

Б37 Структура и оптические свойства эпитаксиальных пленок

$Pb_{1-x}Mn_xSe <Ga>$

Нуриев И.Р., Салаев Э.Ю., Гаджиев М.Б., Джалилова Х.Д., Садыгов Р.М.,
Назаров А.М., Бархалов Б.Ш.

Институт физики НАН, Баку, Азербайджан

Исследованы структура и оптические свойства эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xSe <Ga>$ ($x=0,02\div 0,04$), выращенных на подложках $BaF_2(111)$ методом конденсации молекулярных пучков в вакууме 10^{-4} Па. Имеется удовлетворительное соотношение между параметрами кристаллических решеток и коэффициентов теплового расширения подложки и напыляемой эпитаксиальной пленки, что необходимо для получения пленок с высоким структурным совершенством, пригодных для практического применения.

Определены оптимальные условия получения (скорость конденсации $v_k=8\div 9 \text{ \AA}/\text{сек}$, температура подложки $T_{\text{п}}=663\div 673 \text{ К}$) структурно совершенных ($W_{1/2}=90\div 100''$) эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xSe <Ga>$ растущих плоскостью (111) кубической гранцентрированной решетки $a=(6,11\div 6,10) \text{ \AA}$, с различным химическим составом, легированных галлием ($\leq 0.8 \text{ ат.}\%$).

Структурное совершенство пленок контролировалось электронографическим, рентгенодифрактометрическим и электронномикроскопическим методами.

По кривым качания рентгеновской дифракции и по электронограммам отражения определялись параметры кристаллической решетки и ориентация пленок. Морфология поверхности пленок исследовалась электронномикроскопическим методом.

На электронномикроскопических снимках полученных пленок наблюдаются черные скопления, свидетельствующие о наличии второй фазы, являющиеся окислами металла, образовавшиеся в процессе роста вследствие захвата кислорода с излишними атомами свинца, диффундирующие на поверхность пленок через междоузлия, характерных для халькогенидов свинца.

Эпитаксиальные пленки с вышеуказанными параметрами были получены использованием дополнительного компенсирующего источника паров Se в процессе роста. Применение такого источника привело к получению пленок $Pb_{1-x}Mn_xSe$ с чистой, гладкой поверхностью без включения второй фазы, что необходимо для проведения оптических исследований и создания на их основе различных фоточувствительных структур с высокими параметрами.

Показано, что край спектральной зависимости коэффициента оптического поглощения исследуемых пленок варьируется посредством изменения x и смещается в сторону коротких длин волн, которое объясняется возрастанием ширины запрещенной зоны твердых растворов $Pb_{1-x}Mn_xSe$ с увеличением содержания марганца.

Б38 Акустофотовольтаический эффект в монокристаллах

$TlIn_{1-x}Gd_xSe_2$ ($x=0;0,02$)

Годжаев Э.М., Назаров А.М.*, Мовсумов А.А.***, Халилова Х.С., Бархалов Б.Ш.*

Азербайджанский технический университет, Баку, Азербайджан

**Институт физики НАН, Баку, Азербайджан*

***Национальная академия авиации, Баку, Азербайджан*

При исследовании фотоэлектрических особенностей монокристаллов $TlInSe_2$ и твердых растворов на его основе обнаружены физические эффекты, заключающиеся в возникновении электродвижущей силы на концах ориентированного однородного непьезоэлектрического кристалла под действием равномерного электромагнитного (видимого, ИК и рентгеновского) излучения вследствие воздействия на него звуковых волн, величина, полярность и область спектральной чувствительности которой четко управлялась, в частности, частотой звука.

Аналогичный эффект был обнаружен и на монокристаллах $TlIn_{1-x}Gd_xSe_2$ ($x=0;0,02$). Монокристаллические пластинки из кристаллов $TlIn_{1-x}Gd_xSe_2$ двумя симметричными омическими электродами, через короткий жесткий акустический контакт устанавливались на излучатель звуковых волн. При облучении электромагнитным излучением в отсутствие воздействия звуковых волн отсутствовала и заметная э.д.с. на электродах так же, как в темноте при воздействии звука. Однако при одновременном воздействии света и звуковых волн от 100 до 107 Гц на электродах появляется существенная э.д.с. или же постоянный ток при их замыкании. Величина возникшей акустофотовольтаической (АФВ) э.д.с. зависит от интенсивности и спектрального состава, 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 лкс максимальная э.д.с. варьировалась в пределах от 1,0 до 12 В. При постоянном освещении белым светом с изменением частоты акустических волн в направлении ее увеличения имело место периодическая инверсия знака суммарной АФВ э.д.с. Напомним, что наблюдаемые нами инверсные точки на спектральке кристаллов $TlIn_{1-x}Gd_xSe_2$ являются характерными точками, в которых материал совершенно не реагирует на световые кванты заданной энергии и не воспринимает звук с данной частотой, т.е. кристалл в указанных точках не «видит» и не «слышит»-«слеп» и «глух». 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 воздействие света на кристалл и звука, то разработанные на эти принципе «зрительные» и «слуховые» аппараты должны обладать уникальными особенностями, а именно, «видеть» только при появлении звука и наоборот «слышать» при наличии освещения, а быть «глухим» в отсутствие света.

Б39 Особенности фотоэлектрических параметров кристалла $\text{TlIn}_{0,98}\text{Pr}_{0,02}\text{Se}_2$ и резисторов на его основе

Годжаев Э.М., Джафарова Г.С., Назаров А.М.*, Алиев С.А.
Азербайджанский технический университет, Баку, Азербайджан
**Институт физики НАН, Баку, Азербайджан*

В настоящей работе рассмотрены вопросы влияния предварительной термической обработки, нейтронного электронного, рентгеновского облучения и направленной деформации на фотоэлектрические параметры монокристалла $\text{TlIn}_{0,98}\text{Pr}_{0,02}\text{Se}_2$.

Термическая обработка заключалась в выдержке при 470 К в течение 26 часов и последующем охлаждении до 77 К. Выявлено, что после термообработки fotocувствительность этих кристаллов увеличивается 2,5÷3 раза при 77 К и 4÷5 раза при 300 К. После облучения интегральным потоком электронов 10^{13} э/см² (E=6 мэВ) fotocувствительность в максимуме спектральной характеристики увеличивается на 20%. Дальнейший рост до 10^{15} э/см² не приводит к увеличению fotocувствительности. При воздействии нейтронным потоком (E=0,1 мэВ и Ф= 10^{12} н/см²) fotocувствительность возрастала на 30%. После облучения кристалла $\text{TlIn}_{0,98}\text{Pr}_{0,02}\text{Se}_2$ сравнительно мягкими рентгеновскими излучениями (E≈40 кэВ) остаточных фотоэффектов не наблюдалось: электрические параметры кристаллов восстанавливались за время порядка милли секунды после прекращения рентгеновского облучения, а их fotocувствительность к свету оставлялась такой же как до облучения.

Следует подчеркнуть, что коэффициенты рентгеночувствительности и спектральной fotocувствительности кристаллов $\text{TlIn}_{0,98}\text{Pr}_{0,02}\text{Se}_2$ существенно увеличивается после предварительного их облучения. Влияние направленной деформации вдоль кристаллографической оси [001] заметно улучшает фотоэлектрические параметры монокристаллов $\text{TlIn}_{0,98}\text{Pr}_{0,02}\text{Se}_2$.

С целью повышения fotocувствительности, уменьшения инерционности, расширения линейного участка люксамперной характеристики и области спектральной чувствительности фоторезисторов на основе кристаллов TlInSe_2 и $\text{TlIn}_{0,98}\text{Pr}_{0,02}\text{Se}_2$, последние клеятся на упругие подложки и покрывается прозрачным термоустойчивым лаком ЭП-96. Изгиб подложки подвергается сжатию вдоль оси [001] в пределах упругой деформации. Выявлено, что упругость сжатие приводит к существенным положительным эффектам в изменениях fotocувствительности. Упругое сжатие $\varepsilon=-2.5 \cdot 10^{-3}$ приводит к повышению их удельной интегральной fotocувствительности на 40÷50%, увеличивается спектральная чувствительность в ближней ИК области, где при определенных длинах волны относительное повышение фототока сжатием того же порядка достигает на 80÷100%.

Выявлено, что одноосное сжатие вдоль оси [001], наряду с увеличением fotocувствительности монокристаллов $\text{TlIn}_{0,98}\text{Pr}_{0,02}\text{Se}_2$ приводит, также к существенному уменьшению времени жизни неосновных носителей в них, повышение быстродействия фоторезисторов на их основе и заметному смещению области спектральной чувствительности их в сторону длинных волн.

Б40 Механизмы протекания оптических явлений в фототермопреобразователе избирательного излучения

Касымахунова А.М., Набиев М.Б.* , Расулов Р.Я.* , Олимов Ш.А.

Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан

**Ферганский госуниверситет, Фергана, Узбекистан*

Проблема повышения значения удельной мощности, снимаемой с единичной площади фотоэлектрических преобразователей (помимо использования концентрирующих систем), частично было решено одним из авторов настоящей работы, путем комбинации его с термоэлектрическим преобразователем.

Рекомендуемый доклад посвящен изложению результатов исследования по созданию весьма эффективного фототермопреобразователя избирательного излучения (ФТПИИ). Сущность работы ФТПИИ заключается в следующем. Световое излучение, поступающее от Солнца, разделяется с помощью набора оптических стекол на две части: первая часть излучения с длиной волн $\lambda < \sim 0,5 \mu\text{к}$ направляется на фронтальную поверхность фотопреобразователей (ФЭП), вторая часть излучения с длиной волн $\lambda > \sim 0,5 \mu\text{к}$ на поверхность коммутационных пластин горячих спаев Тг термопреобразователя (ТЭП). Причем в отличие от предыдущей разработки, в этом случае фототермопреобразователь конструктивно разделен так же на две части: фотоэлектрической и термоэлектрической. В качестве исходных данных, для теоретического исследования, брались параметры просветленных кремниевых ФЭП и электрофизические параметры термоэлектрических материалов тройного соединения на основе теллурида висмута (BiTeSb (p-тип) и BiTeSe (n-тип), входящие в формулу добротности ($Z = \alpha^2 \sigma / \chi$).

Около 82% света, поступающие на поверхность ФЭП принимает участие в создании электронно-дырочных пар. Нефотоактивным является излучение с $\lambda < 0,22 \mu\text{к}$ и $\lambda > 0,47 \mu\text{к}$. В плотности солнечного излучения этот часть спектра составляет примерно 18%. Инфракрасная область спектра солнечного излучения, поступая на поверхность Тг, способствует к прогреванию этого конца, создавая при этом разности температур вдоль ветвей ТЭП. К.п.д. термопреобразователя практически остаётся неизменным, так как в формулу к.п.д. ТЭП входит тепловой поток поступающий на Тг, то есть $\eta_{\text{ТЭП}} = W_{\text{пол}}^{\text{ТЭП}} / Q$. Важным эффектом, ожидаемым при эксплуатации рекомендуемой конструкции в реальных условиях, является то, что здесь спад значения к.п.д. за счет температурной зависимости его отсутствует. Это позволяет использовать его при сильном концентрированном излучении. Рабочий температурный интервал прибора продвигается в сторону высоких температур. Предусматривается важность использования каскадных термопреобразователей, что и возможно приводит к повышению значения коэффициента полезного действия ФТПИИ за счет роста к.п.д. термоэлектрической части фототермопреобразователя.

Б41 Расчет фоточувствительности пористого кремния с цилиндрической геометрией пор

Монастырский Л.С., Соколовский Б.С., Васылышин В.С.

Львовский национальный университет им. Ив. Франко, Львов, Украина

В работе рассмотрена теоретическая модель фоточувствительности пористого кремния, учитывающая эффект рекомбинации фотоносителей на поверхности цилиндрических пор. Модель рассматривает процессы генерации носителей при освещении, амбиполярную диффузию носителей тока, процессы рекомбинации как в объеме, так и на поверхности пор.

При решении уравнений переноса с учетом граничных условий нами получены аналитические выражения фоточувствительности пористого материала для цилиндрической формы пор. Показано, что в случае больших скоростей поверхностной рекомбинации фотопроводимость линейно уменьшается с ростом отношения радиуса пор к среднему расстоянию между ними.

Выполнен численный расчет фотопроводимости пористого кремния методом конечных элементов. Произведено сравнение результатов аналитических и численных расчетов.

Результаты расчетов могут быть использованы для оптимизации технологических условий получения пористого кремния с наперед заданным соотношением размера пор и расстояния между ними, обеспечивающим максимальную фоточувствительность материала.

Б42 Широкоформатные сверхвысокочувствительные модульные передающие приборы третьего поколения

Плахов С.А., Суриков И.Н.

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

Для решения задач поиска, обнаружения и измерения координат космических объектов на сверхбольших расстояниях широко использовались широкоформатные модульные приборы ЛИ703 и ЛИ704 второго поколения на базе суперкремниконов ЛИ702 и усилителей яркости с масштабированием первого поколения.

Возрастающие требования систем контроля космического пространства по увеличению числа обнаруживаемых объектов потребовало создания широкоформатных передающих приборов работающих в реальном времени при накоплении 20÷40 мс и пониженной инерционностью на базе гибридных приборов на основе ФППЗ и усилителей яркости второго, 2+ и третьего поколений с увеличенными рабочими полями.

В зависимости от требуемой пороговой чувствительности для решения этих задач могут использоваться два направления построения приборов.

В случае необходимости получения пороговой чувствительности до 10^{-7} лк целесообразно применение модульного принципа построения передающего прибора с использованием усилителя яркости первого поколения с необходимым масштабированием, усилителя яркости второго и 2+ поколения с микроканальным

усилением $10^3 \div 10^4$ раз и специальной крупноформатной матрицы со стекловолоконным входом формата один дюйм и числом элементов 760×580 .

Для автоматизированных систем с пороговой чувствительностью 10^{-5} лк сочетание требуемой чувствительности и необходимого формата изображения обеспечивается модульным прибором с использованием на входе фокона с необходимым коэффициентом масштабирования и усилителя яркости 2+ или третьего поколения и аналогичной крупноформатной матрицы.

Такое решение задачи позволяет в зависимости от назначения системы обеспечить необходимую чувствительность $10^{-5} \div 10^{-7}$ лк, разрешающую способность $400 \div 500$ твл и низкую инерционность при требуемом входном размере оптического изображения и времени кадра $20 \div 40$ мс.

Приводятся основные характеристики описанных модульных приборов третьего поколения для замены суперкремниконов ЛИ703 и ЛИ704 при модернизации и создания новых сверхвысокочувствительных систем контроля космического пространства.

Б43 Применение фотоэлектронных умножителей с сетчатыми динодами для регистрации импульсных световых потоков в широком динамическом диапазоне

Лукьянов В.Н., Фролов В.М., Шустерман Л.П., Степанов А.И.*, Спивак Л.А.*

ОАО ЦНИИ «Электрон», С-Петербург, Россия

** ЗАО НТЦ «Электронзонд», С-Петербург, Россия*

Предлагаемая работа направлена на разработку приемников импульсного излучения в ближнем УФ и видимом диапазоне спектра и напрямую связана с программными мероприятиями по разработке новой и модернизации старой существующей аппаратуры. Для исследования выбран ФЭУ 187, конструктивно выполненный с сетчатыми динодами, близко расположенными к фотокатоду.

В процессе работы проведены измерения световой анодной чувствительности и темнового тока в зависимости от напряжения питания. Исследовалась зависимость анодного тока ФЭУ от потенциалов отдельных электродов (динодов 1, 2, 3, 4) при освещении фотокатода от постоянного источника света типа А с равномерным распределении потенциалов между остальными электродами. На основании полученных характеристик определялась исходная спектральная анодная чувствительность и рассчитывалась необходимая величина коэффициента преобразования в режиме управления и соответственно режим включения прибора. Для полного открывания ФЭУ потребуется амплитуда импульсов напряжения, равная каскадному напряжению плюс напряжение смещения приблизительно минус 10-20 В.

Минимальный коэффициент управления (запираия) 10^4 раз.

В режиме импульсного воздействия управляющего напряжения фронт и спад сигнала ФЭУ представляет собой гладкие функции. Таким образом, в диапазоне скорости изменения управляющего напряжения $0,5 - 5$ В/мкс ФЭУ обладает способностью к управлению. Временной диапазон изменения анодной чувствительности при этом лежит в пределах от 200 нс до 3100 нс. Длительность управляющего импульса на уровне $0,5 - 10$ мкс (т.е. более 2 мкс).

На фронте и спаде импульса сигнала нет колебаний и изломов, что свидетельствует о нормальной управляемости прибора.

Диапазон управляемого выходного сигнала от уровня шумов ~ 1 мВ до 5 В, т.е. более 10^3 раз (более 30 дБ).

Б44 Структуры арсенида индия диаметром 76 мм для инфракрасных приборов

Грама Д.М., Петров А.С., Попов С.Д., Чилаева Е.В.
ОАО «ЦНИИ «Электрон», С-Петербург, Россия

Для создания приборов, чувствительных к излучению в средней ИК-области, используют фотомишени на основе структур диэлектрик-узкозонный полупроводник, работающий в области собственного поглощения.

В настоящей работе представлены результаты разработки технологии получения автоэпитаксиальных структур арсенида индия, предназначенных для использования в качестве основы фотомишени.

Выращивание производилась методом газофазной эпитаксии по хлоридно-гидридной методике в реакторе вертикального типа при атмосферном давлении на подложках диаметром 76 мм, толщиной 2 мм, легированных серой и оловом до концентраций $(1-2) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$.

Исследованы зависимости температурные зависимости скорости роста слоев на подложках ориентации (111)А и (100) при различных значениях потоков ростообразующих компонентов и линейной скорости газового потока. Температурные зависимости имеют вид кривых с максимумом, положение и величина которого изменяются в зависимости от параметров технологического процесса.

В высокотемпературной зоне лимитирующей стадией скорости роста является доставка ростообразующих компонентов к поверхности роста (диффузионный режим). В низкотемпературной области скорость роста лимитируется скоростью протекания реакций на поверхности роста (кинетический режим).

Электрофизические характеристики полученных слоев зависят как от выбора режима эпитаксиального роста, так и от чистоты используемых исходных компонентов. Наиболее чистые слои получены в режиме диффузионных ограничений скорости роста вблизи максимума температурной зависимости скорости роста и характеризуются значениями концентрации и подвижности носителей заряда при 77 К $n=(1-3) \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ и $\mu=120000 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$

Рассмотрены вопросы влияния выбора режима эпитаксиального роста на морфологию поверхности, вид и число точечных дефектов на поверхности слоя. При проведении процесса в режиме диффузионных ограничений, поверхность слоя зеркальная с точечными дефектами, причиной возникновения которых являются загрязнения на поверхности подложки. При этом характер дефектов, связанных с различными видами загрязнений поверхности отличается. Слои, полученные в режиме кинетических ограничений скорости роста, характеризуются матовой поверхностью. Поверхность представляет собой совокупность сросшихся трехмерных зародышей, размеры каждого из которых существенно меньше размеров точечных дефектов, наблюдаемых в режиме диффузионных ограничений.

Б45 Фотокатод с тянущим электрическим полем для области спектра 0,9 – 1,7 мкм

Айнбунд М.Р., Васильев И.С., Гомин И.Н., Кудряшова С.Н., Левина Е.Е.,
Пашук А.В.

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

Освоение новых областей спектра и повышение чувствительности фотокатодов являются важнейшими предпосылками для улучшения характеристик аппаратуры, использующей фотодетекторы. Весьма перспективной для фотоприемников является область ближнего ИК-диапазона 1 -1,7 мкм.

Представлены результаты по разработке фотокатодов с тянущим электрическим полем на структурах InP/InGaAs, чувствительных в спектральном диапазоне до 1,7 мкм.

Для приложения электрического поля к поверхности фотокатода разработан электрод, имеющий структуру сетки, который изготавливается методом фотолитографии. Электрод обеспечивает равномерное распределение напряжения смещения по всей рабочей поверхности фотокатода. Конструкция электрода применима к фотокатодам разной конфигурации и не имеет ограничений по размерам.

Исследование спектральных характеристик показало, что в диапазоне длин волн 1 – 1,6 мкм достигнут квантовый выход 0,5 – 1 %. Рассмотрены перспективы повышения в ближайшее время квантового выхода до 10 % и более.

Б46 Исследование процесса химико-механического полирования селенида цинка с использованием водных растворов неорганических кислот и оснований

Клепикова У.П., Тимофеев О.В.

Институт химии высокочистых веществ, Нижний Новгород, Россия

Благодаря своим высоким оптическим и механическим характеристикам, одним из наиболее широко используемых материалов в различных областях научной и практической деятельности, в настоящее время является CVD-селенид цинка. Основная задача при изготовлении оптических элементов из селенида цинка – получение свободной от дефектов полированной поверхности. Такая поверхность может быть получена при комбинации методов механического и химического полирования.

Целью настоящей работы являлось исследование влияния небольших добавок водных растворов неорганических кислот и оснований в зону полирования на качество оптических элементов из селенида цинка в процессе ХМП (химико-механического полирования).

В ходе экспериментов исследован процесс взаимодействия полированной поверхности ZnSe с растворами неорганических кислот и оснований различных концентраций. Применение щелочных растворов было эффективно лишь на пенополиуретановых полировальниках, т.к. смоляные полировальники теряют свои свойства за счет взаимодействия кислот, входящих в их состав, со щелочью. Наиболее перспективными для ХМП с использованием пеко-канифольных смол

являются растворы азотной, хлорной кислот и их смесь низкой концентрации. Применение данных растворов в процессе ХМП позволяет увеличить скорость съема на 30 – 50 %, что значительно сокращает время обработки. Кроме того, применение травящих растворов позволяет улучшать чистоту поверхности, без ухудшения её геометрии.

На основании полученных результатов разработана методика химико-механического полирования селенида цинка, позволяющая обрабатывать оптические элементы диаметром до 200 мм. В результате проведенных экспериментов была получена поверхность, отвечающая 3 классу чистоты, с отклонением по плоскости от 0,5 до 1 интерференционного кольца ($0,5 \leq N \leq 1$), местная ошибка не превышала 0,3 интерференционного кольца ($\Delta N \leq 0,3$) на диаметре более 100 мм.

Б47 Компьютерное изучение полированных поверхностей поликристаллических халькогенидов цинка

Гаврищук Е.М., Вилкова Е.Ю., Колесников А.Н., Тимофеев О.В.

Институт химии высокочистых веществ, Нижний Новгород, Россия

Оптимизация технологических режимов процесса полирования оптических элементов из селенида цинка, сопровождается значительным объёмом работы по визуальному исследованию полируемых поверхностей. Оценка качества поверхности сводится к субъективному мнению исследователя, в значительной мере зависит от опыта и квалификации последнего и является довольно приблизительной.

Цель работы – разработка компьютерной методики оценки качества оптических поверхностей халькогенидов цинка.

Нами разработана программа «компьютерного зрения», позволяющая проводить оценку качества полированной поверхности, путем сравнения его с критериями, изложенными в нормативных документах. Применяемые в программе критерии оценки чистоты оптических поверхностей основаны на действующем в настоящее время в России ГОСТ 11141-84. Полированная поверхность фотографируется в различных её участках при помощи оптического микроскопа «Аxioplan 2» немецкой фирмы «Carl Zeiss». Серии полученных фотографий обрабатываются при помощи программы. В результате оператор получает функции распределения дефектов поверхности (царапин и точек) по размерам, на основании которых программа классифицирует контролируемую поверхность по чистоте в соответствии с ГОСТ 11141-84. Кроме того, методика позволяет получить объективные количественные характеристики дефектов поверхности, которые позволят более детально изучить физико-химические процессы, происходящие при полировании. Полученные результаты были проверены путем экспериментальной оценки классов чистоты, которая показала, что имеется полное соответствие результатов компьютерного и визуального контроля.

Таким образом, проведенные исследования доказали возможность применения методики «компьютерного зрения» для оценки качества полированных поверхностей халькогенидов цинка. Созданное программное обеспечение может быть распространено и для оценки чистоты других поверхностей.

Б48 О глубине «стакана Холста»

Потапкин О.Д.

МИРЭА, Москва, Россия

Проблемы расчёта полей в электронно-оптических преобразователях стимулировали развитие аналитических моделей катодных линз [1]. Однако, большинство этих моделей не отражают зависимости электронно-оптических свойств от широкого набора геометрических и эксплуатационных параметров. Разработанная полуаналитическая модель “Эквивалентный Цилиндр” [2,3,4] позволяет проанализировать электронно-оптические свойства электронно-оптического преобразователя. Модель состоит из полого цилиндра с двумя плоскими донцами. Левое донце имитирует плоский фотокатод, а правое имеет потенциал U_w^0 . Поверхность цилиндра может иметь нулевой или положительный или даже отрицательный потенциал. Задача Дирихле для замкнутой области в таком случае может быть решена аналитически, что позволяет рассчитать поле электронно-оптического преобразователя с любой наперед заданной точностью. Исследованы зависимости положения плоскости изображения, линейного увеличения от потенциала на образующей цилиндра.

Модель катодной линзы “Эквивалентный Цилиндр” может использоваться в сочетании с однородным полем и с полем анодной диафрагмы. При этом осевая координата плоскости изображения может быть пересчитана для широкого диапазона ускоряющих напряжений и расстояний от цилиндра до волоконно-оптической пластины экрана. В качестве модели промежутка между ускоряющим электродом и анодом может использоваться и модель “Игла над Плоскостью” [5], где плоская эквипотенциальная поверхность находится в отверстии ускоряющего электрода, а гиперболоид вращения (“игла”) имитирует анод. Поскольку поля в составных линзах электронно-оптических преобразователей могут быть рассчитаны с любой наперед заданной точностью, предложенные модели позволяют рассчитывать aberrации таких приборов с плоским фото-катодом и разрешающую способность на экране для фотокатодов разных типов.

1. Holst G., De Boer J.H., Teves M.C., Veenemans C.F., *Physica*, 1, 1934.
2. Потапкин О.Д., Изв. А.Н. Сер. физ., Т.68, №9, с.1363, 2004
3. Потапкин О.Д., Изв. РАН. Сер. физ., Т.66, №9, с.1340, 2002
4. Potapkin O.D., CPO-7 Abstracts, Cambridge, Trinity College, England, 24-28-th July, p.58, 2006
5. Potapkin O.D., SPIE, 2007, to be published

Б49 Приставка для инспекции слоёв роста полупроводниковых наноструктур фотоэлектроники

Потапкин О.Д.

МИРЭА, Москва, Россия

Для создания фотоэлектронных приборов на основе квантово размерных структур при выращивании многослойных фотоприёмников важным аспектом

является адекватное средство контроля состояния поверхности, размера и высоты квантовых точек.

Такое широко распространённое средство контроля, как дифракция медленных электронов, не даёт быстрой и полной информации о состоянии выращиваемой поверхности, а несёт информацию только о зондируемой точке. Разработанная на основе низковольтного отражательного микроскопа конструкция приставки для инспекции слоёв роста полупроводниковых структур позволяет не только получать картину дифракции, но и просматривать поверхность эпитаксиального слоя уже на стадии зарождения. Разработанная приставка имеет ряд важных отличий от существующих конструкций [1]. Во-первых, здесь применена новая конструкция объективной катодной линзы, которая формирует изображение поверхности сразу вблизи передней фокальной плоскости первой проекционной линзы. Во-вторых, в приставке используется экранирующий электрод и ускоряющий потенциал подаётся не на образец, как это делается в большинстве существующих конструкций, а на анод. Экранирующий электрод при этом является частью катодной линзы и защищает поверхность образца от пробоев.

Хотя пространственная разрешающая способность у такой приставки относительно не высока (около 100 нанометров), она обладает уникальной чувствительностью, так как позволяет обнаруживать квантовые точки толщиной в монослой и следить за их формой в процессе роста.

Несомненным достоинством прибора является режим контраста атомного номера и структуры. Если на поверхности существуют области со структурой укладки атомов, отличной от соседней области, они выглядят ярче. Дифракционная картина от выбранной области может быть получена с использованием той же приставки для инспекции слоёв.

Прибор может устанавливаться на установку для Оже-спектроскопии или на установку для эпитаксиального роста.

1. R.M.Tromp, M.Mankos, M.C.Reuter, A.W.Ellis, M.Copel, Surf. Rev. Lett. , 5, 1189, 1998.

Б50 Светоуправляемый дефлектор

Перепелицын Ю.Н., Жаворонков Н.В.* Клещев А.А.**

Саратовский филиал ИРЭ РАН, Саратов, Россия

**ЗАО «НИИ Материаловедения», Москва, Россия*

***Саратовский государственный университет, Саратов, Россия*

Современные оптоэлектронные системы передачи и обработки информации представляют собой сложные гибридные системы, в которых на этапах промежуточной обработки входной информационный сигнал часто преобразуется в сигнал другого вида, например оптический в электрический, электрический в оптический и т.д. В тоже время, частое проведение операций промежуточного преобразования информационного сигнала ведет к существенному усложнению таких систем, снижению быстродействия, надежности, и как следствие, эффективности ее работы в целом. В этой связи, в последние годы приобрели большую актуальность работы, направленные на создание устройств, обладающие новыми либо расширенными функциональными возможностями обеспечивающими, в частности, обработку или управление параметрами электрического, оптического,

акустического сигнала посредством не только электрического, но и оптического сигналов.

В докладе приводятся результаты экспериментальных и теоретических исследований, связанные с разработкой и экспериментальной реализацией светоправляемого дефлектора [1]. В качестве активного элемента дефлектора была использована многослойная структура на основе полуизолирующего n-CdTe(In). В условиях постоянно приложенного смещения и воздействии внешнего оптического сигнала синусоидальной формы, в объеме кристалла такой структуры реализуется взаимоднозначная и быстрая линейная связь между энергетическими и пространственно-временными характеристиками воздействующего освещения и величиной показателя преломления фоточувствительной среды. Предварительные исследования основных характеристик светоправляемого дефлектора показывают, что в зависимости от периода фазовой решетки Λ , формируемой периодическими волнами пространственного заряда, в дефлекторе реализуются два режима. В частотном диапазоне $\nu_1 \sim 2,3 \text{ кГц} \div 500 \text{ кГц}$ и интенсивности управляющего оптического сигнала I_1 ; 20 мВт/см^2 , отклонение оптического пучка мощностью $P_2 = 100 \text{ мВт}$ происходит за счет рефракционного механизма. При этом механизме, максимальный угол отклонения φ_m достигает значения 43° , а угловой интервал $\Delta\varphi$, в пределах которого происходит отклонение светового пучка P_2 , лежит в диапазоне от 12° до 43° , при практически постоянной эффективности дифракции $\eta \sim 25\text{-}30\%$. Переход к дифракционному механизму отклонения происходит при частоте синусоидального управляющего оптического сигнала $\nu_2 > 10 \text{ МГц}$. В этом случае, максимальный угол отклонения φ_m растет и достигает значения $\sim 57^\circ$. В тоже время, при той же мощности управляющего оптического сигнала эффективности дифракции η падает и практически во всех исследованных структурах не превышает $\eta \leq 10\%$.

На основе модельных представлений рассмотрен рефракционный механизм, обеспечивающий отклонение светового пучка в структурах с фоточувствительным распределением электрического поля. Показано также, что в структурах такого типа в приближении «виртуального катода» ВАХ структуры при освещении описывается соотношением: $J_0 = 9 \chi \mu_0 V^2 / 32 \pi L^3$, где J_0 – фототок, протекающий через структуру, χ – диэлектрическая восприимчивость среды, μ_0 – подвижность основных носителей, V_0 – величина приложенного напряжения, L – расстояние между контактами [2].

1. Гуляев Ю.В., Ушаков Н.М., Перепелицын Ю.Н. и др. Нанотехнологии, химия и новые материалы. – В сб.: 3 Саратовский салон изобретений, инноваций и инвестиций. Саратов, 5.12.2007 г. Часть 1. Изд-во СГУ, стр. 48-49.

2. Ламперт М., Марк П. Инжекционные токи в твердых телах. - М.: Мир, 1973, 416 с.

Б51 Образование фаз в пленках системы Ag – Ga – Se

Мамедова А.Ч., Исмаилов Д.И.

Институт физики НАН, Баку, Азербайджан

Методом электронографического структурного анализа исследованы тонкие пленки системы Ag–Ga–Se, полученные одновременной, а также последовательной сублимацией компонентов в вакууме и подвергнутые различной термообработке.

Установлены условия фазовых равновесий соединений систем Ag–Se, Ga–Se, являющихся двойными сечениями тройной системы, а также образование тройного соединения состава AgGaSe₂.

Лучшим методом для получения сплавов системы Ag – Ga – Se возгонкой в вакууме, является одновременное испарение отдельных компонентов из трех источников. В этом случае создается возможность полного смешивания компонентов, что является необходимым условием образования того или иного соединения данной системы. Поскольку Ag, Ga и Se по упругости паров резко отличаются, друг от друга их одновременное испарение требует соответствующей регулировки источников испарения, что было предварительно достигнуто экспериментально. Тройное поле компонентов создавалось методом Векшинского. Источники испарения (для серебра – вольфрамовая спираль, для галлия – вольфрамовая конически навитая корзиночка) располагались на расстоянии 130 мм друг от друга и на высоте 70 мм над плоскостью конденсации. Третий источник - вольфрамовая коническая корзиночка с селеном был расположен на высоте 80 мм посередине плоскости конденсации между источниками Ag и Ga. Количество испаряемых Ag, Ga, Se составляло 9,90; 5,55; 7,51 мг соответственно. Для исключения реиспарения легколетучего компонента и защиты от окислительных процессов в результате последующей термообработки тонких слоев, последние помещались в углеродные капсулы. Фазовый состав образующихся пленок изучали электронографическим методом на приборах ЭГ и ЭМР – 102.

При одновременном осаждении, а также при последовательном испарении Ag, Ga и Se, независимо от порядка напыления компонентов выделены 4 различных по составу и 5 по структуре соединений: Ag₂Se, GaSe, Ga₂Se₃, AgGaSe₂. Образующиеся тонкие слои составов GaSe, Ga₂Se₃ и AgGaSe₂ – аморфны. Аморфные пленки стабильны при комнатной температуре и кристаллизуются в интервале температур 453 – 473 К. Фаза β - Ga₂Se₃ является вторичным образованием на основе первичной α – Ga₂Se₃ фазы.

Б52 Исследование фотодиодов с р-п переходом на основе GaP при температурах до 500°С

Рудневский В.С., Стафеев В.И.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Исследованы фотодиоды с р-п переходом на основе фосфида галлия (GaP) в температурном диапазоне от минус 183°С до 500°С. Для создания фотодиодов использовались эпитаксиальные структуры nn⁺-GaP. Р-п переходы создавались методом диффузии Zn в эпитаксиальные структуры GaP. Эпитаксиальные слои толщиной ~10 мкм (концентрация носителей заряда n~4,5·10¹⁶ см⁻³) выращивались методом жидкофазной эпитаксии на подложке GaP толщиной ~300 мкм с концентрацией носителей заряда p⁺~2·10¹⁸ см⁻³. Глубина залегания р-п перехода составляла 0,8÷1 мкм. Методом вакуумного напыления через металлическую маску производилось напыление золотых контактов толщиной 0,1 мкм и диаметром 300 мкм на р-слой структуры с последующим вжиганием. После этого методами фотолитографии проводилось выделение чувствительных площадок диаметром 1 мм с последующим вытравливанием мезаструктуры. После надрезания структура раскалывалась на отдельные ФЧЭ размером 2,2×2,2 мм².

Представлены фотографии, показывающие однородность чувствительности по площадке фотодиода порядка $10\div 20\%$.

Приведена токовая монохроматическая чувствительность и вольтамперные характеристики при температурах от минус 183°C до 500°C . При изменении температуры от минус 183°C до 500°C спектральная характеристика в λ_{max} смещается от 430 до 510 нм, а токовая чувствительность возрастает от 0,036 до 0,092 А/Вт. Возрастание связано с температурным увеличением коэффициента поглощения в фосфиде галлия.

При температурах до 200°C в фотодиодах преобладает рекомбинация через примесные уровни. При температурах свыше 200°C начинает проявляться диффузионный ток.

Фосфидгаллиевые фотодиоды с p-n переходом могут успешно использоваться в широком интервале температур от минус 200°C до 500°C .

Б53 Оптические криостат и термостат для исследования фотоприемников УФ, видимого и ближнего ИК областей спектра

Рудневский В.С.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Представлены два типа оптических измерительных термостатов, которые позволяют проводить исследования характеристик фотоприемников в широком температурном диапазоне: криостат-термостат на температурный диапазон от минус 195°C до 300°C и термостат на температурный диапазон от комнатной до 500°C .

1. Оптический криостат-термостат. Позволяет проводить исследования фотоэлектрических характеристик фотоприемников в спектральном диапазоне $200\div 1100$ нм при рабочей температуре от минус 195°C до $+300^{\circ}\text{C}$. Исследуемый фотоприемник крепится в специальном держателе, который имеет хороший контакт с нагревательным элементом и резервуаром жидкого азота. Для откачивания воздуха из камеры криостата-термостата имеется штуцер. При исследованиях в температурном диапазоне от минус 195°C до комнатной азотный резервуар криостата-термостата заполняется жидким азотом. При исследованиях от комнатной температуры до 300°C жидкий азот не используется. После откачки камеры блок автоматического управления выводит криостат-термостат на рабочий режим и поддерживает заданную температуру с точностью не хуже $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Корпус криостата-термостата изготовлен из нержавеющей стали, тело нагревательного элемента и посадочное место изготовлены из меди. В качестве термодатчика используется термопара медь-константан. Оптическое излучение вводится через кварцевое оптическое окно. Электрические выводы от фотоприемника через герметичный разъем выведены наружу.

2. Оптический термостат. Позволяет проводить исследования фотоэлектрических характеристик фотоприемников в спектральном диапазоне $200\div 1100$ нм при рабочей температуре от комнатной до 500°C . Предусмотрена откачка воздуха из камеры термостата вакуумным насосом. Блок автоматического управления выводит термостат на рабочий режим и поддерживает заданную температуру с точностью не хуже $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Детали термостата выполнены из нержавеющей стали и титана. Оптическое окно изготовлено из лейкосапфира. В качестве термодатчика используется термопара хромель-копель. Нагревательный

элемент расположен снаружи тонкостенного корпуса термостата. Электрические выводы от фотоприемника через герметичный разъем выведены наружу. Термостат позволяет также проводить электрофизические исследования фотоприемников при указанных температурах. Оптическое окно при этом закрывается специальной крышкой.

Б54 Свойства фотодиодов Шоттки Au-GaP при высоких температурах

Рудневский В.С., Стафеев В.И.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Фотодиоды Шоттки создавались термовакuumным напылением тонких слоев золота (барьерный контакт) на монокристаллы GaP n-типа проводимости. Для сравнения аналогичные слои напылялись на сапфир и GaAs. Показано, что энергетический барьер присутствует на исходной поверхности GaP. Исследовано пропускание слоев золота толщиной от 8 до 21 нм как после напыления, так и после отжига в течение 1 часа при различных температурах.

Структура слоя золота толщиной ~10 нм, напыленного на сапфировой подложке, исследована на просвечивающем электронном микроскопе. После напыления при $T=60^{\circ}\text{C}$ слой имеет однородную поликристаллическую структуру с размерами зерен золота порядка 20÷40 нм. При отжиге 200°C в течение 1 часа происходит миграция зерен золота и сплошной слой преобразуется в «сетку» с прозрачными окнами размером 100÷500 нм. Последующий отжиг при $T=300^{\circ}\text{C}$ в течение 1 часа приводит к дальнейшему увеличению окон. При $T>300^{\circ}\text{C}$ слой золота из «сетчатой» структуры преобразуется в ярко выраженную «островковую». Происходит резкое увеличение удельного сопротивления слоя золота, что приводит к увеличению сопротивления растекания барьерного контакта и к деградации фотодиода вследствие резкого возрастания его последовательного сопротивления.

Представлены фотографии слоя золота толщиной 10 нм до и после температурных отжигов.

Приведены температурные зависимости удельного сопротивления слоев золота разной толщины на различных подложках. Удельное сопротивление слабо изменяется до температур порядка 250°C . Резкое увеличение сопротивления наступает при температуре вблизи 300°C .

Показано, что фотодиоды Шоттки Au-n-GaP сохраняют работоспособность при температурах до 250°C . Температура 300°C является для них предельной.

Б55 Твёрдые растворы халькогенидов цинка $\text{ZnS}_x\text{Se}_{1-x}$ – новые перспективные материалы ИК оптики

Савин Д.В., Иконников В.Б.

Институт химии высокочистых веществ РАН, Нижний Новгород, Россия

При конструировании ИК-систем различного назначения предъявляются высокие требования к оптическим, механическим и теплофизическим свойствам используемых материалов. Сульфоселениды цинка в ряду материалов для ИК-оптики являются одними из перспективных материалов. Изменяя содержание серы (селена) в твердом растворе $\text{ZnS}_x\text{Se}_{1-x}$ возможно регулировать его оптические и прочностные характеристики, и, следовательно, получать материал с требуемыми

заданными свойствами. Целью работы являлось исследование влияния макросостава ZnS_xSe_{1-x} на их структуру, оптические и механические свойства.

Однородные по составу сульфоселениды цинка были получены химическим осаждением из газовой фазы на перпендикулярных по отношению к газовому потоку исходных реагентов (паров цинка и смеси гидридов серы и селена) подложках из стеклоуглерода. Аксиальная (по толщине) вариация составов сульфоселенидов цинка ZnS_xSe_{1-x} ($0 < x < 1$) не превышала $x = \pm 0.01$. Установлено, что пропускание образцов ZnS_xSe_{1-x} в видимой области имеет минимум в области $0.3 < x < 0.7$. Определенный методом оптической микроскопии средний размер зерен (d) ZnS_xSe_{1-x} составляет 3-20 мкм, причем в области $0.3 < x < 0.7$ величина d слабо зависит от условий получения ZnS_xSe_{1-x} (концентраций H_2S и H_2Se). Выявлен столбчатый характер микроструктуры ZnS_xSe_{1-x} с максимумом в области $0.5 < x < 0.7$.

Получены данные о кинетических закономерностях роста зерен при высокотемпературном отжиге. Сделан вывод о формировании в области $0.3 < x < 0.7$ дефектной структуры, связанной, вероятно, с повышенной концентрацией деформационных дефектов упаковки. Определена величина микротвердости (H_v) образцов ZnS_xSe_{1-x} разного состава до и после высокотемпературной газостатической обработки (HIP) и отжига. Изучено влияние состава сульфоселенидов цинка и условий HIP-обработки (величины приложенного давления) на механизмы протекающей в них рекристаллизации и на изменение величины пропускания образцов ZnS_xSe_{1-x} в видимой области. Определен диапазон параметров HIP-обработки для ZnS_xSe_{1-x} ($x < 0.2$ и $x > 0.9$), позволяющий получать материал с одновременно высокими значениями пропускания и механическими свойствами.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 06-03-33028).

Б56 Модификация электрических свойств HgCdTe лазерными ударными волнами

Берченко Н.* **, Яковина В.*, Никифоров Ю.***

* *Национальный университет "Львовская политехника", Львов, Украина*

** *Институт физики, Жешувский университет, Жешув, Польша*

*** *Тернопольский государственный технический университет, Тернополь, Украина*

Целью данной работы является изучение низкотемпературной обработки материалов в качестве альтернативы отжигу. Наши эксперименты направлены на изучение влияния лазерных ударных волн (ЛУХ), сгенерированных при комнатной температуре наносекундными импульсами лазера, на точечные и протяженные дефекты, такие как дислокации и макронеоднородности и свойства границы раздела полупроводник – диэлектрик.

Представлены результаты влияния лазерных ударных волн на электрофизические, фотоэлектрические и механические параметры узкощелевых твердых растворов HgCdTe. Эксперименты показали, что наименьшие изменения параметров наблюдаются для образцов с наилучшим начальным структурным совершенством.

Изучено влияние и предложен механизм воздействия ЛУХ на дефектную подсистему в узкощелевых твердых растворах HgCdTe. Предложенный механизм

приводит к двум доминирующим тенденциям в изменениях параметров материала в зависимости от режима облучения лазером:

- В одноимпульсном режиме происходит низкотемпературный отжиг существующих точечных дефектов (главным образом вакансий ртути) что проявляется в изменениях, тяготеющих к *p-n* конверсии в HgCdTe;

- В многопиковом режиме происходит низкотемпературный отжиг введенных точечных дефектов (главным образом междоузельной ртути), что ведет к *n-p* конверсии в HgCdTe.

В отличие от структурно совершенных образцов, значительные изменения параметров материала под воздействием ударных волн наблюдались для образцов с различными неоднородностями. Для этих экспериментов были отобраны образцы с включениями, проводимость которых больше проводимости матрицы. Такие преципитаты, близкие по составу к HgTe, свойственны большинству технологий выращивания HgCdTe. Эффективное рассеяние энергии ЛУХ на границе раздела матрица – включение приводит к разрушению преципитатов в HgCdTe под воздействием высокого градиента давления. Затем атомы включения диффундируют против градиента концентрации в поле напряжений ЛУХ, и их распределение в материале становится более однородным.

Б57 К теории магнитных сверхпроводников

Креопалов Д.В., Савченко А.М.* , Савченко М.А.*

МГТУ им. Баумана, Москва, Россия

**МГУ им. Ломоносова, Москва, Россия*

В магнитных сверхпроводниках высокие значения критической температуры обусловлены эффектом резонансного усиления электрон-фононного взаимодействия в сверхпроводящей фазе продольными спиновыми флуктуациями в высокочастотной области спектра $k/k_c > 1$, где k_c - обратная обменная корреляционная длина в системе спинов носителей электрического тока (электронов). В фазе ВТСП (высокотемпературных сверхпроводников) обменное взаимодействие между спинами носителей электрического тока полностью определяет спиновую динамику.

В данном сообщении определяется температура сверхпроводящего T_c перехода.

Показано, что T_c имеет вид

$$T_c = \frac{2\gamma}{\pi} \left(\omega_D^2 \cdot \omega_S \right)^{1/3} \exp \left(-\frac{1}{\lambda - \mu^*} \right),$$

где ω_D - средняя энергия Дебая

ω_S - частота продольной спиновой моды антиферромагнетика

$\gamma = e^c$, $c = 0,577$ постоянная Эйлера

λ - константа электрон-фононного взаимодействия

μ^* - параметр кулоновского отталкивания электронов равный

$$\mu^* = \frac{\mu}{1 + \mu \ln \frac{\varepsilon_F}{\hbar\omega_D}},$$

μ - константа экранированного кулоновского взаимодействия электронов.

При допировании YBaCuO в магнитном поле возможно возникновение слабого ферромагнитного момента, связанного с антиферромагнитным вектором для флуктуирующих магнитных систем в слое CuO₂ при температурах существенно выше и ниже температуры Нееля [1,2].

1. Savchenko A.M., Savchenko M.A., Kreopalov D.V.//SPIE, v.5025, 172-175, 2003; v.5398,194-195, 2003.
2. Belhis K., Laborde O. et al. (1990). Phys.Rev. B, 165-166, 431.

Б58 Концепция чистых производственных помещений для производства компонентов фотоэлектронных изделий на примере технологического цикла в корпусе

Молодцов Д.А.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Современное промышленное производство для выпуска микроэлектронных изделий уже невозможно представить без применения чистых производственных помещений. Применение чистых производственных помещений не только повышает процент выхода годных, но и в комплексе решает проблему обеспечения необходимыми климатическими параметрами и обеспечения заданного класса чистоты.

Также использование ЧПП снижает величину финансовых затрат на организацию выпуска компонентов фотоэлектронных изделий. Требования к классу чистоты в микроэлектронике более высокие, чем в фармацевтике.

В микроэлектронном производстве необходимо поддержание таких параметров, как температура, влажность, чистота воздуха и его количество.

Критически важным для поддержания заданного класса чистоты является создание в помещении избыточного давления при помощи нагнетания чистого воздуха. Применение специальной техники (нагнетатели воздуха, кондиционеры), материалов отделки ЧПП и технологической одежды позволяют достичь высоких показателей качества выпускаемых микроэлектронных изделий.

Б59 Распределение видеoinформации с помощью оборудования фирмы ATEN при проведении конференций и совещаний

Карякин А.Е.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Показано, как при использовании видеоразветвителей ATEN VS-138 можно организовать вывод информации с одного компьютера на несколько видеоустройств – проекторов или мониторов.

Применение видеопереключателей ATEN VS-291 позволяет решить обратную задачу – подключение нескольких источников VGA-видеосигнала к

одному устройству видеовывода (монитору или проектору) и мгновенное переключение между источниками видео.

Также рассмотрено, как при необходимости передачи компьютерного видеосигнала на расстояние нескольких десятков метров и более от источника (компьютер) до устройства видеовывода (монитор, проектор), можно используя видеосогласователи АТЕН VE-150 заменить дорогостоящий и трудно прокладываемый длинный SVGA-кабель на 8-жильный кабель «витая пара», применяемый при монтаже локальных сетей.

Б60 Фотоэлектрические свойства германиевых фотодиодов со слоями диоксида циркония, нанесенных магнетронным методом

Гришина Т.Н., Кичина Н.Н., Косухина Л.А., Сидоров М.С., Тришенков М.А., Трошков А.Е., Хакуашев П.Е., Хромова Т.А., Чинарева И.В.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

В рамках программы использования фианита в фотоэлектронике были изготовлены образцы многоэлементных германиевых фотодиодов с кодом Грeя. В отличие от традиционной технологии дополнительно на поверхности прибора было нанесено защитное и стабилизирующее покрытие – слои двуокиси циркония (ZrO_2). Традиционно используемый низкотемпературный окисел SiO_2 имеет весьма высокую плотность пор ($4\div 8\text{ см}^2$). На слоях двуокиси циркония концентрация пор снижена по крайней мере на полтора-два порядка, что обеспечивает высокие показатели надежности и стабильности прибора.

Приведены сравнительные фотоэлектрические характеристики германиевых приборов с традиционным окислом SiO_2 и с новым окислом ZrO_2 .

Б61 Широкодиапазонный панорамный пеленгатор лазерного излучения

Горелик Л.И., Куликов К.М., Шаронов Ю.П.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Разработан пеленгатор лазерного излучения, работающий в предельно широком спектральном диапазоне длин волн 0,63...11,0 мкм. Основу пеленгатора составляет широкоспектральный панорамный оптический тракт и фотоприемное устройство с фоточувствительным элементом специальной топологии.

Фотоприемное устройство выполнено на базе многоканальной структуры с фоточувствительным элементом из фоторезистора $Cd_xHg_{1-x}Te$, охлаждаемого до 80К. Основу оптического тракта индикатора составляет панорамный зеркальный объектив с относительным отверстием 1/0,6 и отрицательной дисторсией более 50%.

Проведены исследования разработанного макетного образца с фотоприемником, размещенным в заливном криостате.

Экспериментальные исследования подтвердили следующие основные характеристики:

Спектральный диапазон рабочих длин волн, мкм	0,6...11,0
Поле обзора, град.	(-5...+40)х360
Точность определения координат по азимуту, град.	6

Пороговая облученность на входном зрачке, Дж/см ² , на любой длине волны рабочего спектрального диапазона для $T_{и}=100$ нс не хуже	$<1 \cdot 10^{-14}$
---	---------------------

Б62 Влияние фоновой засветки на динамический диапазон фотоприемников на основе фоторезисторов из $Cd_xHg_{1-x}Te$

Горелик Л.И., Куликов К.М., Ложников В.Е., Сорокин А.Н.*, Уткин А.А.*, Шаронов Ю.П.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

**МФТИ, Долгопрудный, Россия*

Проведено измерение динамического диапазона фоторезистора из $Cd_xHg_{1-x}Te$ (КРТ), работающего при температуре 80К. Исследована зависимость вольтовой чувствительности от фоновой засветки. Исследовано влияние зависимости времени жизни неравновесных носителей на вид энергетической характеристики фотоприемника при сильной фоновой засветке. Экспериментально показано, что уменьшение времени жизни неравновесных носителей при сильных засветках приводит к расширению динамического диапазона.

Б63 Оптимально детектирование лазерных импульсов фоторезисторами с большой постоянной времени

Бушман С.М., Горелик Л.И., Куликов К.М., Кравченко Н.В., Шаронов Ю.П., Сорокин А.Н.*, Уткин А.А.*

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

**МФТИ, Долгопрудный, Россия*

Проведены исследования импульсных пороговых характеристик фотоприемников на основе селенида свинца. Измерены спектры шума фоторезистора и фотоответа, полученного при воздействии импульса 100 нс. Проведено сравнение частотных характеристик фильтров, полученных в результате расчета по предложенным в [1,2] соотношениям, с экспериментально полученными результатами измерения спектров фотоотклика и шума фоторезистора в широком диапазоне частот. Показано, что предложенный ранее метод расчета позволяет с достаточной точностью оценить необходимую частотную характеристику квазиоптимального фильтра и пороговую чувствительность фотоприемного устройства.

1. Бушман С.В., Горелик Л.И., Кравченко Н.В., Куликов К.М., Петров А.К. «Регистрация коротких световых импульсов фотоприемными устройствами на основе фоторезисторов с большой инерционностью» Прикладная физика 2007 № 5.

2. S.V. Bushman, L.I. Gorelik, N.V. Kravchenko, K.M. Kulikov, A.K. Petrov, «Detection of short light pulses by long inertance PbS and PbSe pphotodetectors» Proceeding of SPIE, 2007, V. 6636 (Труды 19 конференции по фотонике).

Б64 Монокристаллы твердых растворов $Cd_{1-x}Zn_xTe$ для детекторов ионизирующих излучений

Мельников А.А., Кульчицкий Н.А.
МИРЭА, Москва, Россия

Монокристаллы твердых растворов теллуридов кадмия и ртути являются перспективным материалом для создания детекторов ионизирующих излучений, работающих при температурах вблизи комнатной. Анализ процессов выращивания монокристаллов $CdZnTe$, показывает существенные преимущества газофазного метода по сравнению с жидкофазным. В частности, газофазный метод выращивания обеспечивает получение монокристаллов с низкой плотностью дислокаций, меньшими размерами и количеством включений второй фазы, а также меньшей плотностью малоугловых границ.

Выращивание монокристаллов твердых растворов $Cd_{1-x}Zn_xTe$ из паровой фазы проводилось на установке, которая включает печь, обеспечивающую температуру в рабочей зоне до $1250^{\circ}C$, вакуумный узел, механизм перемещения печи, узел крепления, юстировки и вращения ампулы. В качестве исходных веществ использовались порошки теллурида цинка и теллурида кадмия с содержанием примесей не более 10^{-4} масс.%. С целью очистки исходных порошков от неконтролируемых примесей и получения поликристаллических исходных веществ, имеющих более высокую плотность, исходные порошки пересублимировались в вакууме. В качестве затравок использовались монокристаллические пластины $ZnSe$, $ZnTe$ и $CdTe$ толщиной 1.0-1.5 мм с ориентацией (111) вырезанные из монокристаллов, выращенных из расплава по Бриджмену или из паровой фазы. Выращивание монокристаллов твердых растворов $Cd_{1-x}Zn_xTe$ проводилось в кварцевых ампулах диаметром 25 - 45 мм в различных газовых средах: H_2 , H_2+Ar , Ar .

Были выращены кристаллы твердых растворов $Cd_{1-x}Zn_xTe$ диаметром 30-50мм, объемом до $50 \cdot 10^3$ мм³ с содержанием Zn от 4 до 35 мол.% на различных подложках ($ZnSe$, $ZnTe$, $CdTe$), при вариации ростовой атмосферы (H_2 , Ar , H_2+Ar), температуры роста, перепада температуры подложка – источник. На подложках $ZnSe$, $ZnTe$ во всех реализуемых условиях роста получились текстурированные кристаллы с размерами зерен от 2-3 до 7-10 мм², при этом удельное сопротивление монокристаллических зерен изменялось в диапазоне 10^2 - $2 \cdot 10^3$ Ом·см. На подложках $CdTe$ были выращены достаточно совершенные монокристаллы. Важно отметить низкую плотность дислокаций в материале, выращенном газофазным методом, которая не превышала $5 \cdot 10^4$ см⁻², достигая в некоторых случаях $\sim 10^3$ см⁻², плотность малоугловых границ составляла от 4 до 20 см⁻¹. Структурное совершенство выращенных кристаллов оценивалось по спектрам люминесценции. Как правило, в спектрах наблюдалась только узкая полоса экситонной люминесценции, а краевая и примесная полосы отсутствовали, что свидетельствует о высокой степени чистоты и структурного совершенства кристаллов. Все кристаллы обладали р-типом проводимости. Удельное электрическое сопротивление отдельных образцов составило $8 \cdot 10^{10}$ Ом·см. Наиболее совершенные монокристаллы были использованы для создания макетов полупроводниковых детекторов ионизирующих излучений.

**Б65 Спектрометрические характеристики неохлаждаемых
полупроводниковых детекторов на основе монокристаллов твердых
растворов $Cd_{1-x}Zn_xTe$**

Мельников А.А., Кульчицкий Н.А.

МИРЭА, Москва, Россия

На основе монокристаллов твердых растворов теллуридов кадмия и цинка выращенных из паровой фазы был создан макет неохлаждаемого детектора ионизирующих излучений и проведено изучение его спектрометрических характеристик. Спектрометрические характеристики неохлаждаемых детекторов ионизирующих излучений на основе $CdZnTe$ зависят от нескольких параметров: напряжения смещения детектора, постоянных времени формирования основного усилителя и температуры детектора. При низких напряжениях смещения может иметь место неполный сбор в чувствительной области детектора, что приводит к смещению пика характеристического излучения в сторону низких энергий и, в результате мы обнаружили ухудшение энергетического разрешения. При высоких напряжениях смещения детектора значительно возрос ток утечки детектора, что приводило к увеличению электронного шума и, в конечном счете, энергетическое разрешение также ухудшалось. Все измерения проводились при напряжении смещения 110 -150В. Для разработанных детекторов установлено, что лучшие результаты по энергетическому разрешению получаются при более коротких временах формирования. Это явление мы связали с наличием ловушек с большими временами жизни, на которые захватываются электроны проводимости. Все исследования характеристик проводились при температуре 293К. Исследования характеристик неохлаждаемых полупроводниковых детекторов на основе $CdZnTe$ проводились с использованием стандартных источников α , рентгеновского и гамма излучений: ^{239}Pu , ^{241}Am , ^{137}Cs . Облучение α -частицами проводилось со стороны отрицательного электрода макета детектора.

На основании анализа спектра поглощения α излучения источника ^{239}Pu , а также с учетом геометрических параметров ($W=0.7$ мм) детектора и условий проведения эксперимента ($V=150$ В) получены следующие характеристики материала и макета детектора: $t_f = 1.2 \cdot 10^{-7}$ с; $\mu_e = 3.70$ см²/В с; $\chi = 4.88/5.15 = 0.947$; $\mu_e \tau_e = 4 \cdot 10^{-4}$ см²/В; $\tau_e = 1.1 \cdot 10^{-6}$ с. Энергетическое разрешение данного макета детектора составило 80 кэВ (1.5%). На этом образце получены наиболее высокие детекторные характеристики. На спектре излучения источника ^{241}Am , полученном с помощью детектора на основе $CdZnTe$ толщиной 5 мм хорошо видны пики 17.8 и 14 кэВ, различим пик с энергией 26.4 кэВ, при этом спектр захватывает диапазон до 30кэВ при дискретности 64 эВ на канал. В низкоэнергетической области спектра находится шумовой пик. На линии 59.6 кэВ ^{241}Am получено энергетическое разрешение 6% с чувствительным объемом 0.125 см³ при напряжении смещения 500В. На спектре γ - излучения источника ^{137}Cs полученном с помощью детектора на основе $CdZnTe$ объемом 1см³ разрешение на линии 662кэВ ^{137}Cs составило 5%.

Данные измерений характеристик макетов детекторов показывают принципиальную возможность создания неохлаждаемых детекторов ионизирующих излучений на основе монокристаллов твердых растворов $Cd_{1-x}Zn_xTe$, выращенных из паровой фазы.

Б66 Определение интенсивности атомных и молекулярных пучков на основе малоуглового рассеяния электронов в молекулярно-пучковой эпитаксии

Кульчицкий Н.А., Мельников А.А.

МИРЭА, Москва, Россия

Бурное развитие молекулярно пучковой эпитаксии (МПЭ) в последние десятилетия привело к появлению, как многообразных технологических установок, так и электронных и оптических средств диагностики растущих слоев, а также атомных и молекулярных потоков. Известные методы контроля атомных и молекулярных пучков в установках МПЭ - масс-спектрометрический и люминесцентный - предполагают громоздкие датчики, размещение которых возможно только в специальных ростовых камерах. В настоящей работе описан конструктивно простой и достаточно универсальный метод определения интенсивностей атомных и молекулярных пучков, основанный на регистрации величины рассеяния электронов на малые углы, возникающих при взаимодействии узкого электронного луча с атомами испаряемого вещества, а также рассмотрены теоретические предпосылки диагностики.

Метод основан на возбуждении частиц в потоке узким электронным пучком и синхронном детектировании возникающего при этом люминесцентного излучения. Излучение регистрируется фотоумножителями (ФЭУ) в режиме счета фотонов, его интенсивность прямо пропорциональна плотности атомов (в поле зрения ФЭУ), возбужденных электронным лучом (диаметр 1 мм). Спектры люминесценции представляют собой набор линий, специфичных для каждого сорта частиц, что позволяет выделять с помощью интерференционных фильтров информацию об отдельном потоке при параллельной работе нескольких испарителей.

Для определения пространственных распределений частиц в потоке осуществляется прецизионное сканирование электронным лучом с помощью внешней магнитной системы отклонения. Система сканирования и фотоумножители с помощью аппаратуры сопряжения подключены к аппаратно-программному комплексу, который обеспечивает определение "in situ" диаграмм направленности источников и визуализацию функций распределения частиц на дисплее. Чувствительность метода позволяет при временном разрешении 1-3 секунды формировать изображения потоков ртути, кадмия, галлия, индия с характерными для молекулярно-пучковой эпитаксии значениями потоков 10^{15} ат/см²с.

Второй вариант работы диагностического комплекса – прямое безэталонное измерение концентрации частиц. Эта возможность обязана эффекту "самопоглощения" люминесцентного излучения для некоторых спектральных линий. Определение концентраций атомов в пучке основано на сравнении интенсивностей двух спектральных линий (слабо и сильно поглощающих). Соответствующие пары линий присутствуют спектрах атомов, основное состояние которых расщеплено спин-орбитальным взаимодействием In (410,2 нм, 451,1 нм), Ga(403.3 нм, 417.2 нм), Si (251.6 нм, 410.2 нм), Ge (249.8 нм, 422.7 нм), Cd (323.3 нм, 441.3 нм).

После калибровки системы предельная чувствительность по скорости роста пленок, например CdTe, составляет 0,01 нм/с. Помимо очевидного достоинства – возможности визуального контроля функционирования источников, метод позволяет

определять их диаграммы направленности, их трансформацию по мере расхода навески, что особенно важно при разработке испарителей для подложек большой площади. Метод дает принципиальную возможность по распределению концентрации атомов вблизи подложки определять наличие или отсутствие отраженных потоков. Многоканальный вариант дает возможность вести параллельный и независимый контроль за потоками нескольких компонентов, а также оперативно определять их взаимное влияние.

Б67 Особенности планарных p^+-n переходов на Si и InSb

Астахов В.П., Лихачев Г.М.

ОАО «МЗ «Сапфир», Москва, Россия

Проанализированы и сравнены прямые и обратные ветви ВАХ, результаты электротренировки обратной ветви, а также результаты влияния закороченного охранного кольца для планарных p^+-n переходов, полученных методами диффузии и ионной имплантации на Si и InSb.

Результаты свидетельствуют о полной аналогии поведения планарных p^+-n переходов на обоих материалах при рабочих температурах. При этом и прямая и обратная ветви ВАХ соответствуют теории Шокли-Нойса-Саа с коэффициентом неидеальности для прямой ветви $\beta=1\div 1,3$ и показателем степени $n\approx 1,8\div 2$ для степенной зависимости $I\sim U^n$ обратной ветви. Применение закороченного планарного охранного кольца p^+-n типа вокруг рабочего планарного p^+-n перехода приближает ВАХ к идеальной: уменьшает обратный ток и прямое падение, причем такое положительное влияние возрастает по мере приближения охранного кольца к рабочему p^+-n переходу.

При повышении температуры (выше 90°C для Si и выше 90 К для InSb) имеется тенденция увеличения энергии активации темнового тока от значения, соответствующего половине, к полной ширине запрещенной зоны.

По аналогии с InSb обнаружен эффект электротренировки обратной ветви ВАХ планарного p^+-n перехода на Si, действие которой сохраняется в нормальных условиях в течение 4-6 часов.

Б68 Кольцевой 96-элементный кремниевый pin -фотодиод

Астахов В.П., Евстафьева Н.И., Карпов В.В., Лихачев Г.М., Полежаев А.М.,

Сорокин К.В., Филипенко Н.В.

ОАО «МЗ «Сапфир», Москва, Россия

Разработан многоэлементный pin -фотодиод, предназначенный для регистрации наносекундных импульсов лазерного излучения. Фотодиод выполнен в металлостеклянном герметизированном корпусе. 96 фоточувствительных элементов фотодиода в виде радиальных секторов расположены в кольце с внутренним и внешним диаметром 8,0 мм и 16,0 мм, соответственно.

Основной проблемой разработки многоэлементных фотодиодов на высокоомном кремнии p -типа проводимости является разделение фоточувствительных элементов и обеспечение высокой чувствительности к импульсам малой длительности наряду с минимальными темновыми токами. В данном случае эта задача осложнялась неблагоприятным соотношением длины

периметра к площади фоточувствительного элемента, который имеет трапециевидную форму с длинными (4 мм) продольными и короткими (120 мкм и 370 мкм) поперечными сторонами. Для решения этой задачи, наряду с традиционными топологическими приемами: внешнее и внутреннее охранные кольца, в зазорах между фоточувствительными элементами были сформированы дополнительные разделительные элементы шириной 20 мкм, соединяющие оба охранных кольца. Таким образом, каждый элемент располагается в отдельном сегменте, изолированном со всех сторон охранным кольцом, что позволяет добиться полного разделения фоточувствительных элементов и обеспечить снижение их темновых токов.

Изготовленные фотодиоды имеют параметры, представленные в таблице.

Таблица. Основные параметры фотодиода

Наименование параметра	Значение
Рабочее напряжение, $U_{\text{раб}}$	150 В
Темновой ток ФЧЭ, $I_{\text{т}}$	10-50 нА
Емкость ФЧЭ, С	2-3 пФ
Монохроматическая импульсная чувствительность, S_{λ}	0,26-0,30 А/Вт

Б69 Автоматизация технологического процесса напыления просветляющих покрытий в ИК области

Козлов А.Н., Даниловский А.Е., Зайцев А.И., Мозганова Л.А.,
Щербаков А.В., Юрьев А.А.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

В работе рассмотрены вопросы воспроизводимости оптической толщины напыляемых покрытий. Полная автоматизация технологического процесса позволила напылять в едином вакуумном цикле до двадцати чередующихся слоев, исключить использование «образца-свидетеля» и промежуточные измерения толщины слоев. Использование предложенной автоматической системы управления технологическим процессом обеспечило возможность получения сложных многослойных оптических покрытий без участия оператора.



Рис. 1. Автоматизированная установка для напыления просветляющих оптических покрытий

Б70 Повышение механической и химической устойчивости поверхности оптического стекла боролантановой группы

Авдеев С.П., Петров С.Н., Серба П.В., Гусев Е.В.

Технологический институт Южного федерального университета, Таганрог, Россия

Оптическое стекло является основным строительным материалом в изготовлении линз, призм, подложек и других деталей для оптических приборов и систем, принимающих, преобразующих и передающих оптическую информацию. Высокая химическая устойчивость по отношению к различным агрессивным средам - одно из важных свойств стекол. Величина химической устойчивости зависит от стеклообразующих компонентов материала и состояния поверхности оптического стекла. Интенсивные лучевые технологии широко внедряются в производство изделий из стекла, в частности электронно-лучевая обработка (ЭЛО) материалов.

Установлено, что совокупность процессов ЭЛО, протекающих на поверхности обрабатываемой детали, приводит к модификации поверхностного слоя (ПС), формированию предельно гладкой [1] и чистой [2] поверхности стекла. Можно ожидать, что полученный на поверхности стекла после ЭЛО модифицированный слой, повышающий прочность на изгиб в 2÷5 раз [3], скажется на повышении химической устойчивости ПС. При ЭЛО происходит изменение микрорельефа, элементного состава и структуры поверхностного слоя. Физические процессы, стимулирующие модификацию поверхности материала, сопровождаются термическим разогревом зоны обработки, высокими поверхностными температурами и диффузией тепла.

Выполненные к настоящему времени экспериментальные исследования ЭЛО показали, что при обработки боролантанового стекла вязкость его снижается на 10-15 порядков, в зоне воздействия электронного луча поверхность минимизируется в бездефектную атомарно-гладкую, одновременно в слое (порядка 1-10 мкм) изменяется элементный состав. Испытания на химическую устойчивость образцов боролантанового стекла после электронно-лучевой обработке никаких изменений на поверхности образца (налет, пленка, мутные пятна) не выявили. Это свидетельствует, что по химической устойчивости поверхность экспериментальных образцов после ЭЛО приблизилась к силикатным стеклам в соответствии с требованиями ГОСТа 13917-92.

1. Дудко Г.В., Кравченко А.А., Чередниченко Д.И. Формирование предельно гладких поверхностей оптических стекол. //Физика и химия стекла. 1987.Т.13. №5 с. 740-746.

2. Агеев О.А., Кравченко А.А., Чередниченко Д.И. Изменение содержания щелочных ионов в поверхностных слоях силикатных стекол при электронно-лучевой обработке. //Физика и химия стекла. 1989. Т.15. №5 с.780-783.

3. Дудко Г.В., Кравченко А.А., Магаев Л.Г. Прочность на изгиб стекла К8, подвергнутого электронно-лучевой обработке //Оптико-механическая промышленность. 1991 с. 23-27.

Б71 Сетевая корпоративная система архивирования и резервного копирования и ее место в управлении документами и процессами разработки и выпуска изделий микрофотоэлектроники

Гринченко Л.Я., Банников М.В., Зайцев А.А., Хромов С.С.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Определены технические требования к аппаратному и программному обеспечению, а также основные принципы построения системы архивирования и резервного копирования данных, являющейся неотъемлемой частью системы управления информационным содержанием (корпоративным контентом) различных подсистем интегрированной автоматизированной системы управления предприятием. Эти системы выполняют функции, как документационного обеспечения оперативной деятельности предприятия, так и обеспечения стратегической информационной поддержки на всех стадиях жизненного цикла контента.

Состав системы и технические требования определены с учетом специфики ее функционирования на различных этапах жизненного цикла информации. На этапе создания и изменения информации необходимо обеспечить непрерывную доступность и высокую скорость доступа. На этапе хранения наиболее важным является неизменяемость данных, быстрый произвольный доступ и длительный срок хранения при сохранении целостности информации. Для защиты и восстановления данных необходимо иметь высокую потоковую скорость. Все эти требования обеспечиваются правильным выбором программных и аппаратных средств, как непосредственно систем архивирования и резервного копирования, так и всей сетевой инфраструктуры предприятия.

Б72 Системный подход к автоматизации управления инженерным оборудованием и производственными фондами предприятия

Гринченко Л.Я.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Предприятие, занимающееся созданием такой высокотехнологичной продукции как инфракрасная фотоэлектроника, электронно-лучевое и ионно-плазменное технологическое оборудование имеет сложную инженерную инфраструктуру. В состав инфраструктуры входит комплекс оборудования, обеспечивающий работу предприятия энергоносителями (электричество, газы, вода), нормальные климатические условия в зданиях и рабочих помещениях (вентиляция, кондиционирование и др.), а также комплекс специального производственного и технологического оборудования, объединенного многочисленными электрическими, водными и газотранспортными сетями.

Как правило, управление всем инженерным комплексом осуществляется в части поднадзорного оборудования в плановые сроки и в полном объеме, некоторой части оборудования – по мере выхода из строя, ввиду необходимости его ремонта и замены, в тоже время управление большей частью оборудования не осуществляется в соответствии эксплуатационной документации или выполняется в полном объеме.

Анализ деятельности предприятия показал, что автоматизация управления и информационное обеспечение отдельных частей инженерного оборудования находится на разном уровне, часто не удовлетворительном.

Функции учета, управления процессом эксплуатации оборудования автоматизированы в разной степени, слабо координированы, не соответствуют документации и предлагаемым требованиям к выходным документам.

Система управления инженерным оборудованием и производственными фондами имеет специфические особенности, которые отличают деятельность инженерных служб от деятельности научно-производственных подразделений:

- большой объем разнопланового оборудования;
- большой объем рабочей и эксплуатационной документации;
- наличие специальных требований и регламентов;
- различные периоды эксплуатации отдельных единиц оборудования, иногда весьма длительные;
- большой объем информации, как нормативно-технической, так и контрольно-отчетной.

Без применения современных методов автоматизации, а именно, достижений в области информатики, решение стоящей задачи не представляется возможным. Любые другие решения приводят к необоснованному увеличению численности персонала, весьма квалифицированного, и значительно увеличивают вероятность выхода оборудования из строя или работы с отклонениями от требуемого режима ввиду неизбежных ошибок субъективного характера.

Поскольку информация, связанная с работой оборудования легко может быть переведена в цифру, а процессы формализованы, решение главной задачи сводится к применению информационных технологий и внедрению компьютерных решений.

Решение задачи следует начинать с построения одной информационной среды, для хранения исходной информации (эксплуатационная документация на все единицы оборудования, регламенты, акты, справки, графики и др.), требований к выходной информации (состояние контролируемых параметров, формы периодической отчетности, состояние поднадзорного оборудования и др.).

Далее проводится учет, систематизация узлов оборудования, ревизия эксплуатационной и рабочей проектной документации, выполняется общая паспортизация.

Создается центр обработки данных с системой хранения баз данных. Организация системы управления вытекает непосредственно из задач службы инженерного обеспечения, которые тесно связаны с такими процессами, как ввод в эксплуатацию, наладка технического оборудования, планирование и проведение ремонтов, диагностика и мониторинг состояния оборудования, ведение паспортов, обеспечение энергоносителями и контроль их качества, нормирование расходных материалов. Создаются блоки автоматизации типовых процессов.

В результате один раз проведенной работы создаются алгоритмы, позволяющие структурировать весь объем начальной и процессной информации.

Дальнейшее введение и выведение информации об изменяемых узлах и оборудовании будет в значительной мере автоматизировано.

Модульный принцип построения системы управления позволит создать решения с учетом всех имеющихся в организации процессов и обеспечит достаточную гибкость информационно-управляющей системы.

Что даст построение единой информационно-управленческой службы для инженерной службы:

- паспортизация всех имеющихся технических средств;
- ревизия документации и приведение ее в соответствие со специальными требованиями предприятия;
- единый центр хранения и обработки информации;
- оптимизация состава специалистов;
- планирование, учет и контроль работ с оборудованием в соответствии с документацией;
- высокая степень готовности отчетной документации по всему комплексу в любой текущий момент, что особенно важно для поднадзорных организаций;
- сокращение сроков ремонта и сервисного обслуживания ввиду планирования этих работ и обеспечения необходимыми материалами и узлами;
- удобное и оперативное, по запросу, обеспечение нормативной, эксплуатационной и другой документацией и информацией;
- сохранение бумажного документооборота только в необходимых случаях;
- прозрачность и оперативность процесса управления фондом оборудования;
- планирование ремонтов и замены оборудования в зависимости от текущего состояния.

Б73 Фотоэлектрические свойства твердых растворов $TlGa_{1-x}In_xSe_2$

Керимова Э.М., Гасанов Н.З., Абасова А.З., Абдинбеков С.С., Исмаилова П.Г.

Институт физики НАН, Баку, Азербайджан

Монокристаллы $TlGaSe_2$ и $TlInSe_2$ известны в литературе как фоточувствительные материалы в видимой и ближней ИК-области спектра, соответственно. Поэтому изучение фотоэлектрических свойств их твердых растворов представляет значительный интерес с практической точки зрения.

Нами экспериментально установлено, что фоточувствительность монокристаллов $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ охватывает широкую область спектра от 0,4 до 2,2 мкм, а максимум фотопроводимости (ФП), плавно меняясь в зависимости от состава, расположен между 0,57 и 0,98 мкм. Ширина запрещенной зоны линейно зависит от значения x в областях $0 \div 0,4$ и $0,7 \div 1,0$, но наклон прямой на этих участках различный, что является следствием структурного фазового перехода, выявленного ранее путем изучения КРС и ИК-отражения света в этих кристаллах при значениях x в интервале $0,5 \div 0,7$. Обнаружено ИК гашение ФП, температурное гашение ФП при низких температурах, активация при высоких температурах, сверхлинейная и сублинейная ЛАХ. Процесс рекомбинации определяется двумя типами центров – медленными и быстрыми, резко отличающимися сечениями захвата основных носителей. Определены параметры этих центров.

Исследована примесная ФП и выявлен характер распределения примесных уровней в зависимости от состава твердого раствора $TlGa_{1-x}In_xSe_2$. Глубина залегания примесных уровней, определенная исходя из спектрального распределения ФП твердых растворов, для составов с x в интервале $0 \div 0,5$ практически не меняется и составляет 0,85, 1,2 и 1,45 эВ. При низких температурах во всех указанных составах доминируют в основном уровни с глубиной залегания 0,75 эВ. При $x \geq 0,7$ в области $80 \div 400$ К температурное гашение фототока не наблюдается.

Проведенные исследования показали, что твердые растворы $TlGa_{1-x}In_xSe_2$ являются перспективными фоточувствительными материалами в интервале энергий $1,0 \div 2,2 \text{ эВ}$.

Б74 Анализ систем вождения автомобилей ночью

Добровольский Ю.А., Кощавцев Н.Ф., Токарев А.Н.

Филиал ОАО «Катод» СКБ приборов ночного видения, Москва, Россия

Вождение автомобилей ночью в настоящее время является важной задачей, особенно при очень интенсивном потоке встречных автомобилей и плохих метеорологических условиях (наличии дымки, тумана, осадков, пыли и дыма).

Конкурирующими системами вождения могут являться импульсные системы вождения на ЭОП со стробированной подсветкой и тепловизионная. Из большого количества современных тепловизоров, которые могут использоваться для вождения, наибольшими перспективами обладают тепловизоры на тепловых матрицах. Тепловизоры на тепловых матрицах обладают малыми габаритом и весом, высокой чувствительностью $DT_{\min} < 0,05 \text{ К}$, высоким разрешением, работают без сканирования, не требуют охлаждения и подсветки.

Недостатками тепловизионных систем являются; плохая видимость при покрытии объектов наблюдения и фонов водой либо пленкой дождя, особенно в осенне-весенний период, исключение видимости при наблюдении через плотный туман, дождь, снег, трудно различимые препятствия в виде ям и бугров, на дорогах, недостаточно привычное изображение. Тепловизионная система не может размещаться внутри обитаемого объема из-за непрозрачности остекления автомобиля. Помимо этого тепловизоры имеют высокую стоимость.

Эти недостатки не присущи импульсной системе вождения, которая обладает неоспоримым преимуществом.

Б75 Прицелы ночного видения

Добровольский Ю.А., Кощавцев Н.Ф., Токарев А.Н., Шустов Н.М.

Филиал ОАО «Катод» СКБ приборов ночного видения, Москва, Россия

Для обеспечения ночной охоты, а так же борьбы с террористами и наркоторговцами разработана серия ночных прицелов, характеризующихся малыми габаритами и высоким качеством изображения. Характеристики прицелов приведены в таблице №1.

Таблица №1

Характеристика	Прицел			
	НМШ-2 ⁺ /3 ^x	НМП1-2 ⁺ /2 ^x	НМП1-2 ⁺ /4 ^x	НМП1-2 ⁺ /6 ^x
Тип ЭОП	2 ⁺	2 ⁺	2 ⁺	2 ⁺
Дальность действия, м	400	350	500	600
Увеличение, крат	2,7	2	4	6

Поле зрения, град	12	20	9	7
Диаметр выходного зрачка, мм	8	8	7	7
Удаление выходного зрачка, мм	55	30	50	50
Масса, кг	0,75	0,45	0,95	0,95

Прицелы отличаются от аналогов малым весом, хорошим дизайном, высоким качеством изображения. Прицел НМШ-2⁺/2^x имеет массу для прибора с двукратным увеличением минимальную 450 г. В качестве прицельной марки используется красная точка, позволяющая обеспечивать оперативное прицеливание в быстроменяющейся обстановке. При этом поле зрения прицела превосходит 20°, что позволяет эффективно и быстро обнаруживать цели в большом секторе наблюдения.

Б76 Лазерное разделение приборных пластин на кристаллы в оптоэлектронике

Гиндин П.Д.

ОАО «МЗ «Сапфир», Москва, Россия

Традиционным методом разделения пластин на кристаллы являются механическое скрайбирование, которое в последнее время для некоторых материалов заменяется лазерным скрайбированием. Недостатками данного метода разделения являются наличие двух стадий разделения, значительные – до 30% потери материала разделяемых пластин и до 10% количества получаемых приборов при их высокой стоимости, низкое качество реза, а также разрушительное воздействие процесса разделения на функциональные и надежность параметры получаемых приборов. Предлагаемый метод разделения пластин на кристаллы - **лазерное управляемое термораскалывание** состоит из единственной операции, повышает до 100% степень использования материала и выход годных приборов, получаемый при термораскалывании срез не повреждает приборные структуры, а при изготовлении твердотельных лазеров может быть использован в качестве зеркал.

Разработана технология и изготовлено оборудование для разделения сапфировых подложек на кристаллы методом лазерного управляемого термораскалывания со следующими характеристиками: ширина реза равна нулю; минимальный размер получаемого кристалла – 0,03 мм; толщина приборной подложки – 0,09–0,43 мм; скорость резки – 700–1500 мм/сек; процент выхода годных – более 99%; используемый лазер – СО₂-лазер мощностью 100 Вт; размер установки - 1500 x 1700 x 2250 мм; масса установки – 1500 кг; потребляемая мощность – 2,5 КВт. Применение данной технологии обеспечивает увеличение производительности в 100 раз по сравнению с традиционной алмазной резкой. Благодаря нулевой ширине реза более чем на 20% повышается количество кристаллов размещаемых на той же подложке, практически до нуля снижается процент брака, благодаря качественному резу повышается надежность светодиодов, что было подтверждено испытаниями, при этом, отпадает необходимость в оборудовании прецизионного утонения и плазмохимического травления, что обеспечивает дополнительную экономию в сотни тысяч долларов.

Разработана технология и изготовлено оборудование для разделения пластин кремния и арсенида галлия на кристаллы методом лазерного управляемого термораскалывания со следующими характеристиками: полупроводниковый лазер с длиной волны 808 nm мощностью 100–250 Ватт; специальная модовая структура лазерного излучения; система позиционирования – линейные шаговые двигатели; скорость разделения – до 500 мм/сек; толщина кремниевых пластин – 50–650 мкм; размер кремниевой пластины – до 350 мм; точность разделения ± 25 мкм. Применение данной технологии обеспечивает увеличение производительности в несколько раз. Благодаря нулевой ширине реза более чем на 10% повышается количество кристаллов размещаемых на той же подложке, практически до нуля снижается процент брака, благодаря качественному резу повышается надежность приборов, что было подтверждено испытаниями.

Б77 Особенности создания САПР изделий инфракрасной микрофотозлектроники

Хромов С.С., Гринченко Л.Я., Зайцев. А.А., Шимко Д.Н., Широков Д.А.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Разработана интегрированная среда для проектирования изделий инфракрасной микрофотозлектроники, основанная на стандартных средствах САПР различного направления:

- машиностроительного для проектирования конструкции ФПУ (включая вакуумно-криогенные узлы) и аппаратуры на их основе;
- электронного для проектирования специализированных интегральных схем считывания и обработки сигналов в холодной зоне, а также для проектирования печатных плат блоков управления и обработки изображений;
- приборно-технологического для проектирования микрофотозлектронной компонентной базы ФПУ;
- оптического для проектирования оптических систем, включая инфракрасные.

Все эти системы значительно различаются как по идеологии проектирования, так и формату данных. Поэтому важнейшей задачей наряду с адаптацией используемых средств САПР, было создание единого информационного пространства для всех участников жизненного цикла изделия на основе системы управления проектными данными. Внедрение интегрированной САПР является первым этапом в создании интегрированной автоматизированной системы управления предприятием.

Б78 Основные принципы построения интегрированной автоматизированной системы управления предприятием оптоэлектронного профиля

Гринченко Л.Я., Хромов С.С.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Разработаны основные принципы построения интегрированной автоматизированной системы управления предприятием (АСУП), в основе которых

лежит PLM-технология - технология управления жизненным циклом (ЖЦ) изделия. Определены три основных составляющих ЖЦ:

- управление интеллектуальными активами, важнейшей задачей, которой является проектирование изделия;
- производственная составляющая, связанная с выпуском и распределением продукции;
- внешняя операционная составляющая, решающая задачи управления отношениями с клиентами, финансами, кадрами и другими ресурсами.

Определены средства, предназначенные для решения этих задач и стратегия их внедрения на предприятии. Основными приложениями реализующими производственные задачи являются система управления ресурсами предприятия (ERP) и система управления производственными фондами и инженерным оборудованием (EAM).

Предлагается для решения задач управления процессом разработки изделий использовать систему управления проектными данными (PDM), основное назначение которой управлять информацией, коллективно развивать новые идеи и сообща разрабатывать продукты масштаба предприятия; поддерживать коллективную работу, используя среду с сильной степенью интеграции. Внедрение PDM-системы на предприятиях оптоэлектронного профиля позволяет решить сложнейшую задачу интеграции множества прикладных автоматизированных систем (CAD/CAM/CAE) используемых при разработке изделий за счет сбора поступающей из них информации в логически единую модель на основе стандартных интерфейсов взаимодействия.

Б79 Бизнес-моделирование, как путь к созданию интегрированной системы управления предприятием микрофотоэлектроники

Гринченко Л.Я., Хромов С.С.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Показано что создание бизнес-модели предприятия является важнейшим этапом на пути создания и внедрения интегрированной автоматизированной системы управления предприятием (АСУП). Предлагается создание бизнес-модели предприятия, основанной на бизнес-моделях его локальных элементов (подразделений). Основными компонентами таких моделей являются:

- бизнес-функции, описывающие, *что* делает бизнес;
- бизнес-процессы, описывающие, *как* предприятие (подразделение) выполняет свои бизнес-функции;
- организационная структура, определяющая, *где* исполняются бизнес-функции и бизнес-процессы;
- фазы, определяющие, *когда* (в какой последовательности) должны быть внедрены бизнес-функции.

Важнейшей задачей бизнес моделирования является формирования «языка общения» консультантов, разработчиков, пользователей и руководителей предприятия, позволяющего выработать единое представление о том, *что* и *как* должна делать АСУП

Б80 Роль газораспределительной системы в современном полупроводниковом производстве

Проскурин В.М., Смирнов Н.В.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Правильный выбор конструкции материалов сверхчистой газораспределительной системы. Категории используемых газов. «Привязка» уровня чистоты газов к уровню технологии.

Проектирование газораспределительной системы. Рассмотрение компонентов сверхчистой газораспределительной системы. Контроль качества монтажных работ газораспределительной системы. Совместимость используемых газов и конструкционных материалов. Методы контроля качества газов.

Б81 К вопросу о юстировке и контроле качества оптических систем

Фесенко В.В.
КП «ЦКБ «Арсенал», Киев, Украина)

Оптические системы, рассчитанные с помощью большинства оптических программ, характеризуются величиной аберраций, точечной диаграммой, функцией рассеяния точки, функцией рассеяния линии, функцией концентрации энергии, модуляционной передаточной функцией. Хотя расчеты выполняются, исходя из модели точечного или линейного тест-объекта, в то же время, многие современные установки измерения параметров качества оптических систем строятся на основе оценки изображения «неидеальных» тест-объектов — кружка, полоски, полуплоскости, штриховых миш, что вызывается необходимостью получения при измерениях достаточных отношений сигнал-шум. Всегда имеющееся на практике расхождение рассчитанных и измеренных параметров испытывает дополнительное влияние указанного различия тест-объектов.

В докладе излагается решение данной проблемы посредством использования «функции отклика на щель», которая вычисляется при завершении расчета оптической системы или в ходе последующих операций по доведению системы до расчетного уровня. Вычисления «функции отклика на щель» выполняются при помощи программы, разработанной для решения данной задачи, но могут быть организованы и в самих оптических программах с помощью внутренних языков программирования.

Эффективность введения нового подхода к методике работ по контролю качества и юстировке оптических систем экспериментально подтверждена в ходе разработки и производственной эксплуатации измерительной системы, разработанной и исследованной в КП «ЦКБ «Арсенал» в ходе выполнения НИОКР. Кратко представляется описание системы, включающей устройство формирования тест-объекта на базе внеосевого параболоида, юстируемую оптическую систему, комплект измерительных[^] объективов, устройство трехосного сканирования на базе микрометрических платформ и технологического или штатного фотоприемника, персональный компьютер, пакет прикладных программ ввода и обработки сигналов, управления платформами, расчета «функции отклика на щель», пакет Zemax. Также рассматриваются выявленные проблемы, решение которых позволит улучшить характеристики разработанной системы.

Авторский указатель

- Абакумов В.М. У30
Абасова А.З. Б73
Абдинбеков С.С. Б73
Абдинов А.Ш. Б18
Абросимов А.И. У58, Б08
Абуталыбов Г.И. Б09
Авдеев С.П. Б70
Аветисян Г.Х. А32
Айнбунд М.Р. Б45
Акимов А.Н. У67
Акимов В.М. А54
Акимова Н.М. А57, У77
Алдохин П.А. А35
Алеев Д.Р. А20
Алеев Р.М. А19, А20, А21
Алекперова Ш.М. Б21
Алиев А.А. А38, Б21
Алиев С.А. Б39
Анатычук Л.И. У54
Андреев В.А. А67
Андреев И.А. У69, У74
Андреева Е.В. А15
Анциферов А.П. А39
Апатская М.В. А15
Аракелов Г.А. А65
Арутюнов В.А. У75, А40
Асадов Х.А. Б02
Асеев А.Л. П06, П10, У05, У63
Асланова А.Р. Б19
Астафьев Н.И. У27
Астахов В.П. Б67, Б68
Ахмедов И.А. Б21
Бабаева Р.Ф. Б18
Бабенко В.П. А69
Бабенцов В.Н. У79
Бадалов А.З. Б35
Баженов Н.Л. А49, А76
Базовкин В.М. П07
Бакин В.В. У31, У32
Банников М.В. Б71
Бархалов Б.Ш. Б37, Б38
Белин А.М. У09, А42
Белов А.Г. А51
Белоконев В.М. У42, А32, Б10
Беркин А.Б. У38
Берченко Н.Н. А81, Б56
Бескин Г.М. У31
Беспалов В.А. У50
Билевич Е.О. А15
Бланк Т.В. У68
Боброва Е.Ю. Б16, Б17
Бовкун А.В. А73
Богатыренко Н.Г. А40
Боженко В.И. У18
Болтарь К.О. У45, А06, А10, А48, А50, А70, А71
Бородин Д.В. А31, А32
Борошнев А.В. А43
Бочков В.Д. А05, А04
Брунев Д.В. А37, А39
Бузынин А.Н. А53, А68
Булат Л.П. П14
Булкин Ю.Н. Б08
Бурлаков И.Д. У40, У45, А45, А46, А70, А71
Бутягин О.Ф. У07
Бушман С.М. Б63
Бычковский Я.С. А04
Валишева Н.А. П07, А28
Варавин В.С. П06, У05, У26, У64, У66, У77, А14, А37, А39, А49, А57, А76, А77, А78
Варламов В.И. П06, У05, У12, У38, У41, У63, У65, А27, А28, А29, А30, А58, А77, А78
Васильев И.С. А40, Б45
Васильева Л.Л. У03
Васыльшин В.С. Б41
Верлан А.А. У58, Б08
Веселовский И.А. У36
Видецких Ю.А. У41
Вилкова Е.Ю. Б47
Винокуров Н.А. П10
Вирт И.С. А81
Витковский В.В. Б13
Власов Н.Г. У24
Власова Т.В. Б15
Власюк В.В. Б12, Б13
Войтов В.А. А35, А36
Войцеховский А.В. А77, А78, А79, А80
Волков В.Г. Б10

Волков В.Г. У42, А79
 Волков С.А. У03
 Володин Е.Б. У03
 Вуйчик Н.В. А15
 Вятлев П.А. У37
 Габайдуллин В.С. А52
 Гаврищук Е.М. Б47
 Гаджиев М.Б. Б37
 Гаджиев Э.Ш. Б36
 Гаджиева Г.С. Б21
 Газарханов Э.Т. Б04
 Гасанов А.И. Б14
 Гасанов Н.З. Б73
 Гебгарт А.Я. У41
 Гельфанд А.В. У04
 Гиндин Д.А. У12, У49, У56
 Гиндин П.Д. Б76
 Глобус Е.Р. У76, А32
 Годжаев Э.М. Б38, Б39
 Голенков А.Г. У16, А44, А82
 Головин С.В. А12
 Гольдберг Ю.А. У68
 Гомин И.Н. Б45
 Горелик В.Н. У22, У46, У48
 Горелик Л.И. У23, У81, А56, Б61,
 Б62, Б63
 Грама Д.М. Б44
 Грачев Р.В. А50
 Грибанов А.А. У49
 Григорьев Д.В. А79, А80
 Григорьева М.В. Б25, Б26, Б27, Б28
 Гринченко Л.Я. П01, Б71, Б72, Б77,
 Б78, Б79
 Гришина Т.Н. А68, Б60
 Гришнова Н.Д. У62, А51
 Громов А.В. У57
 Громов Г.Г. У59
 Гузев А.А. П07, У26
 Гуляев Ю.В. П03
 Гумаров Г.Г. А67
 Гуменюк-Сычевская Ж.В. А26, А27
 Гусаров А.В. У77
 Гусев Е.В. Б70
 Гусейнов Э.К. А24, А38
 Даниловский А.Е. Б69
 Дворак А.И. Б25, Б26, Б27, Б28
 Дворецкий С.А. П06, У05, У26, У63,
 У64, У65, У66, А14, А16, А27, А39,
 А57, А77, А78
 Де-Бур В.Г. У31
 Дегтярев Е.В. А35, А36, А70, А71
 Демьяненко М.А. П10, У03, У10
 Денисов В.В. У41
 Денисов И.А. У62, А51
 Деркач Ю.П. У16
 Джавадов Н.Г. Б02, Б03
 Джалилова Х.Д. Б21, Б37
 Джафарова Г.С. Б39
 Джафарова С.З. Б09
 Дзядух С.М. А77, А78
 Дирочка А.И. У02, У40
 Дмитриевский Ю.Н. А23
 Добровольский П.П. А39
 Добровольский Ю.А. У36, Б74, Б75
 Добровольский Ю.Г. У73
 Довгялло А.И. У60
 Долганин Ю.Н. У49, А57, А58, А59
 Дрожников Б.Н. А04
 Дремова Н.Н. А54, А55
 Другова А.А. У78
 Духнин С.Е. А44
 Евменова А.З. А34
 Евстафьева Н.И. Б68
 Ежов В.П. У49 У56
 Ермаков О.Н. Б30, Б31, Б32, Б33
 Ермолов А.Е. У03
 Ершова Л.Б. У59
 Есаев Д.Г. П10, У03, У10, А13
 Ефимов В.М. П07, А13
 Ефимов И.В. А04
 Жаворонков Н.В. Б50
 Жегалов С.И. У19, У20, У21
 Жидков П.М. А43
 Журавлев П.В. А35, А36
 Забудский В.В. А26
 Забудский В.В. А27, А44
 Забуслаев С.В. У32
 Зайцев А.А. А74, Б71, Б77
 Зайцев А.И. Б69
 Закамов В.Р. У11
 Закгейм А.Л. У72
 Залетаев Н.Б. А72
 Захарьяш Т.И. П06, А58
 Зверев Г.М. У07

Здобников А.Е. У03
Зеневич А.О. У71
Зензинов С.Ю. У41
Золотарев В.И. У09, А59
Зотова Н.В. У72
Зубков Н.Н. Б08
Ибрагимов Т.И. А24, А38
Иваницкий В.Д. У39
Иванов В.Г. П12, У75
Иванов Г.В. У75
Иванов-Омский В.И. А49, А76
Ижнин И.И. У66, А79, А49
Ижнин А.И. А49
Иконников В.Б. Б55
Илисавская Е.Ю. А40
Ильина Е.С. У66
Ильинская Н.Д. У72
Исаков А.Н. У30
Исмаилов А.А. Б01
Исмаилов Д.И. Б36, Б51
Исмаилов Т.Г. Б19
Исмаилова П.Г. Б73
Казаков А.А. У07
Каленков Г.С. У24
Каленков С.Г. У24
Каменев А.А. П12, У75
Карамалиев Р.А. Б20
Карандашев С.А. У72
Карацуба А.П. Б30
Карпов В.В. У09, У12, У49, У56, А57, У77, А58, А59, А62, А63, Б68
Карпов С.В. У31
Карякин А.Е. Б59
Касаткин И.Л. У01, У02, А07, А08, А09, А11
Касимов Р.М. Б20
Касимов Ф.Д. Б04
Касимова Ф.И. Б02
Касымахунова А.М. Б40
Катаев О.В. А73
Кашуба А.С. А12, А45, А46
Керимова Э.М. Б14, Б73
Киселева Л.В. А09, А11
Кичина Н.Н. Б60
Клепикова У.П. Б46
Клещев А.А. Б50
Климанов Е.А. У13
Клименко А.Г. П06, А58
Климов А.Э. У28, У67
Климов Ю.А. А42
Клюй Н.И. А34
Князев Б.А. П10, У10
Князева С.Н. У39
Ковчавцев А.П. П07, У26
Козлов А.И. У63
Козлов А.Н. Б69
Козырев М.Е. У49, А59
Колганов О.Л. У49
Колесников А.Н. Б47
Колосов М.П. У41
Колтовой Н.А. У53
Комаров В.В. Б11, Б12, Б13
Комов А.А. У76, У78
Кондратов О.П. У18
Кондратов П.А. У18
Кононов А.С. У52 Б05 Б06
Кононов М.А. Б15
Коринец С.В. У16, А44
Корнеева Г.М. Б25, Б26, Б27, Б28
Корнеева М.Д. Б25, Б26, Б27, Б28
Корольков В.П. А57
Коротаев А.Г. А79
Кортиков М.В. У25, У46, А73
Косолобов С.Н. У31
Косулина И.Г. А29
Косухина Л.А. А68, Б60
Котков А.П. У62, А51
Котов В.П. У07
Коханенко А.П. А79
Кощавцев Н.Ф. У36, Б74, Б75
Кравченко Н.В. А07, А08, А53, Б63
Крапухин В.В. У77
Красоткин В.С. А43
Крашенинников В.С. У12, У56, А59
Креопалов Д.В. Б57
Крикунов Г.А. Б15
Кудрявцев П.Н. У03
Кудряшова С.Н. Б45
Кузнецов Н.С. У12, У49, У56, А59
Кузнецов П.А. У13, А04
Кузьмин Н.Б. А28
Кузьмин С.В. А42
Кузьмина И.В. А43
Кулиев Ш.М. А38
Куликов В.Б. У07

Куликов К.М. У52, У81, А56, Б61
Б62, Б63
Кулипанов Г.Н. П10
Кульчицкий Н.А. Б64, Б65, Б66
Куницына Е.В. У74
Курбанов К.Р. У66
Курило И.В. А81
Курнявко Ю.В. У07
Курьшев Г.Л. П07, У26
Ларцев И.Ю. У78
Лебедева Н.Н. Б16, Б17
Лебедева О.В. А52
Левина Е.Е. Б45
Лелейкин В.И. У36
Леонова Г.А. У42, Б10
Ли И.И. П07, П11, У26
Липин М.В. У57
Лихачев Г.М. Б67, Б68
Логашкин А.П. У60
Ложников В.Е. Б62
Локтионов В.И. У32, У36
Ломонова Е.Е. А53, А68
Лопатинский И.Е. А81
Лопухин А.А. У01, У02, А08
Лукиянчук Э.М. А17
Лукьянов А.Н. А34
Лукьянов В.Н. Б43
Лысюк И.А. А15, А27
Лыткин А.П. А59, А63
Львова Т.В. У74
Мададзаде А.И. Б36
Макин В.С. Б23
Малышев В.М. А42
Мамедов А.К. А38
Мамедов Р.К. А47
Мамедов Э.С. Б03
Мамедова А.Ч. Б51
Мармалюк А.А. У07
Марчишин И. В. П06, У03, У10
Масленникова Г.Л. Б25, Б26, Б27, Б28
Маслов И.А. А07
Матвеев Б.А. У72
Матюшенко В.Г. А23
Машевич П.Р. У03, А59
Машуков Ю.П. А30, А77, А78
Медведев А.В. У39
Мезин Ю.С. А10
Мельников А.А. Б64, Б65, Б66
Милосердов С.С. У15
Михайлов Н.Н. П06, У05, У64, У65,
У66, А27, А49, А57, А76, А77, А78,
А81
Михайлова М.П. У69
Мовсумов А.А. Б38
Мозганова Л.А. Б69
Моисеев А.Н. У62 А51
Моисеев В.А. А36
Моисеев К.Д. У69
Молодцов Д.А. Б58
Момот Н.И. А26
Монастырский Л.С. Б41
Мороз С.А. А41
Морозова В.Г. У19, У20, У21
Морозовская В.И. А17
Мурель А.В. У11
Мустафаева С.Н. Б14
Мынбаев К.Д. У66, А49, А76
Набиев М.Б. Б40
Наджиб А.Э. А07, А08
Назаров А.М. Б37, Б38, Б39
Несмелов С.Н. А77, А78
Несмелова И.М. У27, А67
Нестеров И.А. У32
Никитин М.С. У76, У78
Никитов С.А. П03
Никифоров А.И. А80
Никифоров А.Ю. У09, А58
Никифоров Ю. Б56
Новоселов А.Р. А28, А29
Нужин В.С. Б29
Нуриев И.Р. Б37
Овсюк В.Н. П10, У03, У10
Окрепка Г.М. А17
Олимов Ш.А. Б40
Орбух В.И. Б16, Б17
Осипов Ю.В. А31, А32
Панасенков В.И. У75
Панова З.В. У26
Патрашин А.И. У01, У51, У70, А02,
А03, А25, А70, А71
Паулиш А.Г. У04
Пашаев А.М. Б04
Пашкова Н.А. А51
Пашук А.В. Б45
Перевертайло В.Л. У73
Перепелицын Ю.Н. Б50

Пермикина Е.В. А45, А46
 Пестов Ю.И. Б23
 Петренко В.И. У12, У56, А59, А63
 Петренко Т.Л. А18
 Петров А.С. Б44
 Петров С.Н. Б70
 Петручук И.В. А73
 Петручук М.В. А73
 Петухов В.Ю. А67
 Пирогов М.Г. У41
 Писаревский В.К. А22
 Пичхадзе К.М. У37, У58
 Плахов С.А. Б42
 Плохотниченко В.Л. У31
 Пляцко С.В. А18
 Полежаев А.М. Б68
 Полесский А.В. У23, У46, У81
 Полищук Г.М. У37, У58
 Половинкин В.Г. П07
 Полторацкий А.В. У46
 Полунеев В.В. А50
 Полунеев В.В. У45
 Пономаренко В.П. П01, У40, Б05, Б06
 Попов А.Д. У09
 Попов Л.К. А36
 Попов С.Д. Б44
 Потапкин О.Д. Б48, Б49
 Потелов В.В. У44
 Поцяск М. У66
 Предеин А.В. П06, У05, У65, А29
 Прибыла А.В. У54
 Пробылов В.В. А52
 Прокофьев А.Е. А40
 Прокофьева В.В. А43
 Проскурин В.М. Б80
 Пчеляков О.П. А80
 Рагимов Э.А. Б34
 Рагимова Н.А. Б09
 Раджабли А.А. А24
 Расулов Р.Я. Б40
 Рафайлович А.С. А39
 Рахимов Б.Н. Б07
 Рахимов Н.Р. Б07
 Рева В.П. У05, У14, У17, А44
 Ременный М.А. У72
 Ремесник В.Г. У64, У65, А37
 Рзаев Р.М. Б18
 Рогальский А. П02
 Рудневский В.С. Б52, Б53, Б54
 Рудый И.А. А81
 Рыжий В.И. П08
 Рыжков В.Н. А67
 Рябова А.А. А08
 Сабинин В.Е. Б22, Б24, Б29
 Савин Д.В. Б55
 Савкина Р.К. А34
 Савостин А.В. А09
 Савченко А.М. Б57
 Савченко М.А. А57, Б57, У49
 Сагинов Л.Д. У52
 Садыгов Р.М. Б37
 Салаев Э.Ю. Б37
 Саликов В.Л. У42, Б10
 Самвелов А.В. А33
 Самогасов Б.А. А31, А32
 Сармин Д.В. У60
 Свиридов А.Н. У40, У52, А69, Б05, Б06
 Седнев М.В. А06, А10
 Селиванов А.С. У52, У81
 Селяков А.Ю. А01
 Семенов В.И. У12, А59, А64
 Сеник Б.Н. У44
 Сеньковский А.Н. А52
 Серба П.В. Б70
 Сидоров Г.Ю. А37, А49, А76
 Сидоров М.С. А53, А68, Б60
 Сидоров Ю.Г. П06, У05, У26, У63, У64, У66, У77, А14, А16, А39, А57, А77, А78
 Сизов Ф.Ф. П09, У05, У14, У79, А18, А26, А34, А81
 Словеснов К.В. А33
 Сметанов А.Ю. Б30
 Смирнов А.Б. А26, А34
 Смирнов В.А. А49, А76
 Смирнов Н.В. Б80
 Смирнов Р.Н. А81
 Смирнова Н.А. У62, А51
 Смолий М.И. А15
 Соколовский Б.С. А22, Б41
 Солк С.В. Б22, Б23, Б24, Б29
 Солодков А.А. У07, У15, А70, А71
 Соломатин П.А. А73

Соляков В. Н. У19, У20, У21, У22,
У23, У25, У46, У48, А73
Сорокин А.Н. Б62, Б63
Сорокин К.В. Б68
Сорочкин А.В. А14
Спивак Л.А. Б43
Средин В.Г. А79
Станиславский А.С. А44
Стафеев В.И. У61, А06, Б52, Б54
Степанов А.И. Б43
Степанов Р.М. П12, У75
Степанов Р.О. А60, А61, А64
Стрижова Н.М. У41
Строганов А.С. П07
Стусь Н.М. У72
Супрун С.П. У67
Суриков И.Н. Б42
Сусяков А.О. П06, У05, У65, А37,
А58
Сусов Е.В. У77
Сысоев В.К. У37, У58, Б08
Талипов Н.Х. А79
Таранова О.Г. А07
Татарников А.М. А07, А08
Терехов А.С. У31, У32
Терехов М.А. У41
Терешин Е.А. А36
Тимофеев О.В. Б46, Б47
Ткаченко В.Ф. У18
Токарев А.Н. Б74, Б75
Томашик В.Н. А17
Томашик З.Ф. А17
Тренин Д.Ю. У22, У23
Трищенко М.А. А53, А68, Б60
Трошков А.Е. А68, Б60
Трунов Г.Л. А73
Турбин А.В. А35
Тэгай В.А. А64
Угланов Д.А. У60
Усов П.П. У03
Уткин А.А. Б62, Б63
Ушаков О.К. Б07
Федирко В. А. У50
Федоринин В.Н. У04, А36
Федосеев В.И. У30, У41
Фетисов Е. А. У50
Филатов А.В. У77
Филачев А.М. П01, У40, А53, Б05
Филипенко Н.В. Б68
Фоменко А.Ф. Б12, Б13
Фомин Б.И. П10, У03, У10, У63, А16
Фофанов В.Б. А19
Фролов В.М. Б43
Фумин А.И. У48
Хакушев П.Е. А53, Б60
Халилова Х.С. Б38
Хитрова Л.М. А11
Холоднов В.А. А66
Хромов С.С. А74, Б71, Б77, Б78, Б78
Хромова Т.А. Б60
Цибрий З.Ф. А15
Чеканова Г.В. У76, У78, А32
Чередниченко О.Б. У07
Черняков А.Е. У72
Чесноков В.П. У03
Четверов Ю.С. У03
Чиж К.В. А63
Чилаева Е.В. Б44
Чинарева И.В. А68, Б60
Чишко В.Ф. У01, У02, А07, А08, А11
Чукланов А.П. А67
Чурилов С.М. А35
Шабашкевич Б.Г. У73
Шайблер Г.Э. У31, У32
Шаронов Ю.П. А56, Б61, Б62, Б63
Шатунов К.П. А36
Шашкин В.И. У11
Шергин В.С. Б12, Б13
Шимко Д.Н. А75, Б77
Широков Д.А. А33, Б77
Ширяев В.П. А59, А63
Шкетов А.И. У81
Шлишевский В.Б. А35
Шматов Н.И. У62, А51
Штанько А.Е. У24
Шумский В.Н. У28, У67
Шустерман Л.П. Б43
Шустов Н.М. У36, Б75
Щербаков А.В. Б69
Эйвазова Г.М. Б17
Эминов Ш.О. А24
Юрков А.Н. Б15
Юрьев А.А. Б69
Яковина В. Б56
Яковлев А.А. Б22, Б23
Яковлев Ю.П. П13, У69, У74,

Яковлева Н.И. У45, А48
Якунин С.Н. А54, А55
Якушев М.В. П06, У26, У63, А14,
А16, А57, А77, А78
Ярцев А.В. У80

Amir Gil У47
Buckwald R.A. У35, У47
Cao Fengmei У29
Cao Yang, У29
Claudia Ben Yaakov У35
Dario Cabib У35, У47
Dong Liquan У29
Efraim Tzafiir У35
Fan Hongbo У43
Guo Hui У33
Jacob Dolev У35
Jin Weiqi У16, У29
Jin-Yi Wang У06
Kang Rixin У43
Ling Jin У06
Liu Chongliang У29
Liu Xiu У29
Moshe Blau У35
Moshe Lavi У35, У47
Ni Guoqiang У34
Oded Neria У35
Pin-Yi Zhang У06
Pundak N. У55
Qin Qingwang У34
Riabzev S. У55
Shi Feng У33
Shi Shiming У16
Shimon Nirkin У35
Stephen G. Lipson У47
Sui jing У29
Tribolet Philippe П04
Vepruk A. У55
Vilenchik H. У55
Wang Lingxue У16
Xiang Shiming У33
Xiao Manjun У34
Xiao-Ping Chen a
Yan-Li Shi У08
Zhao Yuanmeng У1

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 двенадцать 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 академик 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.