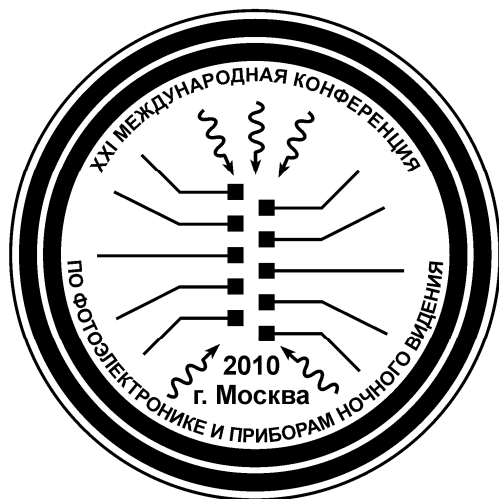


ФГУП «НПО «Орион»



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

25-28 мая 2010

Москва, Россия

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

XXI 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:

*Министерства промышленности и торговли РФ
Федерального агентства по науке и инновациям,
Федерального агентства по техническому
регулированию и метрологии,
Российской Академии наук,
Правительства г. Москвы
Оптического общества им. Д.С. Рождественского*

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

25-28 мая, 2010 • Москва, Россия

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

**Государственный научный центр Российской Федерации
Федеральное государственное унитарное предприятие НПО «Орион»
Москва, 2010**

Международный программный комитет

Председатель – Филачев А.М., ФГУП «НПО «Орион», Россия
Заместитель председателя, Пономаренко В.П., ФГУП «НПО «Орион», Россия
Заместитель председателя, Дирочка А.И., ФГУП «НПО «Орион», Россия
Секретарь – Севалкина Л.Г., 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 «Московский завод «Сапфир», Россия
Елютин А.В. – «Гиредмет», Россия
Иванов В.П. – ФНИЦ ГИПО, Россия
Рыжий В.И. – University of AIZU, Япония
Крайлюк А.Д. – МО РФ
Крохин О.Н. – ФИ РАН
Крутиков В.Н. – Ростехрегулирование
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 – Филачев 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»
Камболов М.А. – Роснаука
Криволапова М.А. – Правительство г. Москвы
Потапов А.В. – Минпромторг России
Проскурин В.М. – ФГУП «НПО «Орион»
Токарев А.М. – ФГУП «НПО «Орион»

Общая информация

Время и место проведения

Конференция проводится 25-28 мая 2010 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 24 мая 2010 г. с 12.00 до 18.00 и 25 мая 2010 г. с 8.30.

Открытие конференции 25 мая 2010 г. в 10.00

Организационный взнос

Установлены следующие размеры организационного взноса, включающего оплату за участие в научной и социальной программе, издание тезисов и трудов конференции. Организационный взнос для зарубежных участников составляет 135 EUR, для участников из России и стран СНГ – 2000 руб., для докладчиков – 1200 руб., для студентов и аспирантов – 600 руб. Взнос может быть оплачен при регистрации.

Стендовые доклады вывешиваются с 12.30 до 20.00.

Тезисы докладов публикуются в авторской редакции.

Желающие опубликовать свои доклады в журнале «Прикладная физика» могут передать материалы для публикации в программный комитет во время проведения конференции или прислать их в срок до 1 августа 2010 г. в ФГУП «НПО «Орион».

Материалы для публикации должны быть оформлены в соответствии с правилами журнала «Прикладная физика» (см. стр. 234.)

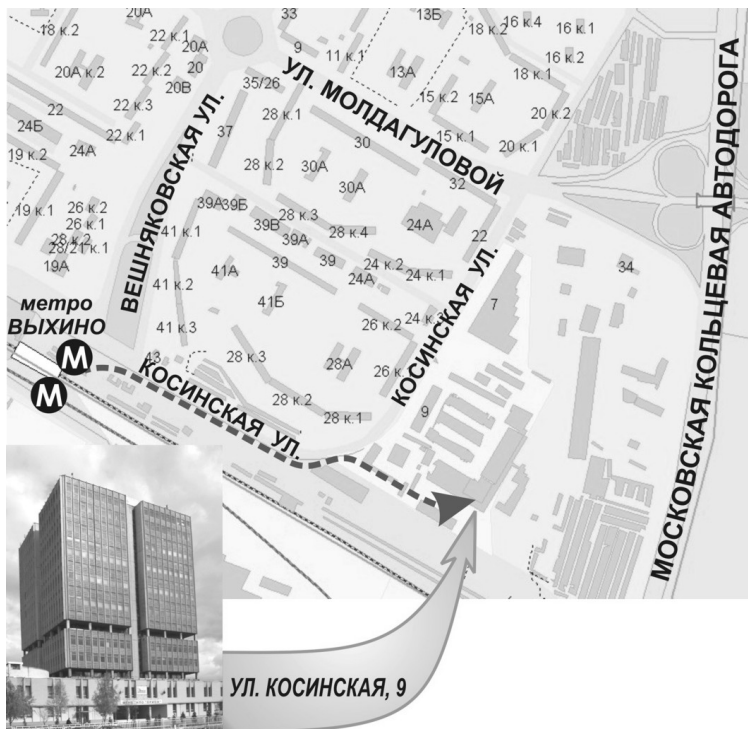
Проезд на конференцию:

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 и новые направления полупроводниковой ИК-фотоэлектроники

^{1,2}Пономаренко В.П., ¹Филачев А.М.

¹ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

² МФТИ (ГУ), Долгопрудный, Россия

Рассмотрено состояние и последние результаты развития ряда базовых технологий инфракрасной фотоэлектроники: полупроводниковых фоточувствительных материалов, твердотельных фотопреобразователей для ИК- и УФ-областей электромагнитного излучения, многоспектральных и быстродействующих приборов, устройств регистрации ТГц-излучения, метаматериалов и нанотехнологий для создания новых классов оптико-электронной аппаратуры.

Описано современное состояние полупроводникового материаловедения для фотоэлектроники. Рассмотрены перспективы развития молекулярно-лучевой и МОС-гидридной технологий изготовления важнейших фоточувствительных материалов – CdHgTe, InSb, InGaAs, GaAlN, GaAsP, GaInN и др.

Описаны основные тенденции развития твердотельных фотопреобразователей на основе твердых растворов $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ и $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ для “нетепловой” области спектра ночного свечения атмосферы 1-2 мкм. Представлены результаты исследований матричных фотоприемных устройств на основе $\text{In}_{0,53}\text{Ga}_{0,47}\text{As/InP}$.

Представлены результаты создания “смотрящих” и ВЗН-матриц из $\text{Cd}_{02}\text{Hg}_{08}\text{Te}$ и InSb для областей спектра 8-12 и 3-5 мкм с числом элементов 2×96 , 2×256 , 4×288 , 6×576 , 256×256 , 384×288 , систем цифровой обработки изображений, а также матричных формирователей тепловизионного видеосигнала на их основе.

Рассмотрены перспективы создания быстродействующих фотоприемных устройств, в том числе для получения 3D-изображений в тепловизионных и активно-импульсных оптико-электронных системах и результаты разработок pin- и лавинных фотодиодов из Si, InGaAs/InP и CdHgTe.

Представлены последние результаты создания многоспектральных фотоприемных устройств (ФПУ) для областей спектра 1-3, 3-5 и 8-12 мкм, в том числе гибридных двухспектральных ФПУ формата 2×256 из PbS и PbSe с мультиплексированием фотосигналов в охлаждаемой зоне, монолитных двухспектральных матричных ФПУ формата $2 \times 2 \times 288$ из CdHgTe, а также двухспектральной тепловизионной камеры на основе “смотрящих” матриц формата 256×256 из CdHgTe и InSb. Обсуждаются перспективы создания фотоэлектронных модулей со “сверхдлинной” и кольцевой конфигурацией для задач космического мониторинга.

Описаны свойства УФ-фотоприемников на основе GaP, GaAs, $\text{GaP}_x\text{As}_{1-x}$ для диапазонов 0.2-0.51, 0.25-0.90, 0.25-0.68 мкм.

Обсуждаются перспективы создания новых фоточувствительных элементов для регистрации терагерцового оптического излучения в диапазоне длин волн 30-3000 мкм (ТГц-фотоэлектроника).

Описаны новые применения метаматериалов и нанотехнологий в ИК-фотоэлектронике для построения отображающих спектрометров, мульти-, гипер- и ультраспектральной селекции. Представлены новые результаты использования туннельно-прозрачных энергетических барьеров в наноразмерных структурах для изготовления фотоприемников из CdHgTe.

II02 New developments of IR detectors in France

Philippe Tribolet, Michel Vuillermet, Valéry Compain

SOFRADIR, France

Keywords: Infrared detectors, HgCdTe, multicolor, APD, FPA, small pitch

New IR system needs are requesting to increase identification and to reduce system size and cost. These needs are driving the research and development of IR detectors in France

The main research area is dealing with HgCdTe material and this includes activities and choices in CdZnTe bulk crystal growth for substrate and MCT epitaxial growth by MBE or LPE. A focus will be made on the planar technology evolution for diode formation from n on p to p on n diode.

A review of our recent activity on single color large 2D FPAs that operate from SWIR to VLWIR (including the visible) will be made. A special attention will be given to the problem linked to the possibility to operate the FPA at low flux.

The problem of cost reduction will also be considered through two different aspects: pitch reduction that allows more compact FPAs to be made using smaller optics or/and higher operating temperature that allows reducing the cost of the cooling system and increasing the reliability.

The 3rd and 4th generation detector activities will also be considered and the different types of detectors for these new generations will be as follows:

- low IR light level and high resolution, including XVGA, format with very small pixel pitch for more compact and high definition systems with more than 1 Million pixels,
- dual band IR detector sensitive in MW/MW or in MW/LW with VGA format and more and using a small pixel pitch (20 μ m and less). These dual band detectors will include the low IR light level mode as well as small NETD option,

These advanced functions will offer a lot of flexibility to the IR systems, and will allow systems to be more compact, to reduce their cost while improving their performances. Due to this new generation of cooled IR detectors, IR systems will be more versatile in different environments.

П03 Пути развития фотоэлектронных приборов в ОАО «ЦНИИ «Электрон»

Алымов О.Л., Степанов Р.М.

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

Рассмотрено современное состояние разработок телевизионных фотоэлектронных приборов. Созданы приборы, чувствительные в инфракрасной, видимой и ультрафиолетовой областях спектра. Приведены основные параметры широкоспектральных монокристаллических инфракрасных фоточувствительных приборов на барьерах Шоттки с числом элементов 512×512 на силициде платины для диапазона $1,2 \dots 5,5$ мкм и на силициде иридия для диапазона $1,2 \dots 10,5$ мкм с числом элементов 256×256 .

Специальное фотоприемное устройство ФПУ ЛИИ489Е, работающее в области спектра до 3 мкм разработано на основе новых достижений вакуумной и полупроводниковой технологии. В приборе используется фоточувствительная полупроводниковая структура на основе монокристалла и эпитаксиального слоя материала группы A^3B^5 .

Для оптико-электронных систем астроориентации летательных объектов разработана и выпускается ФППЗ-матрица форматом 512×512 . На базе этой матрицы создано МФПУ 70М. ФПУ, предназначенное для формирования и обработки точечного изображения с целью последующего вычисления его координат. Прибор обладает высокой чувствительностью до 200 В/лк и низким значением собственных шумов. В ФПУ применен кристалл с квазипроизводным доступом к любой строке, а все неинформационные строки сбрасываются в специальный сток. Информационные строки определяются по параметрам внешнего синхроимпульса. Это значительно сокращает время обработки сигнала в аппаратуре.

Для видимой области спектра созданы первые образцы матриц ФППЗ с числом элементов 4096×4096 .

В рамках ОКР разработан модуль фотоприемного устройства на основе линейного ФППЗ с числом элементов 2×1000 , содержащий блоки-управления и аналого-цифрового преобразования видеосигналов. Модуль предназначен для систем стартовой ориентации летательных аппаратов.

Закончена ОКР по созданию ЛФППЗ для устройства ориентации по Солнцу космических летательных аппаратов системы «Глонасс-К» с числом элементов 1024×2 . Особая геометрия входного окна и уникальная технология сборки обеспечили высокую точность позиционирования (1 мкм) базовой поверхности относительно фоточувствительной поверхности. Благодаря этому удалось достичь высоких точностей угловых измерений.

Разработан и изготовлен линейный ФППЗ с малым размером фоточувствительных элементов ($6,5 \times 6,5$) мкм общим числом элементов 12000.

Прибор отличается простым 2-х фазным управлением и высоким быстродействием, а также имеет встроенную систему антиблужинга.

В основу разработок высокочувствительных телевизионных приборов заложены технологические достижения в области ночных приборов и

фоточувствительных приборов с зарядом связи. Конструкция приборов использует прямое оптическое сочленение ЭОП и ФПШ в едином герметичном корпусе.

Приборы обладают чувствительностью 10^{-5} лк при рабочих полях изображений $9,8 \times 13,1$ мм и 24×32 мм. Они используются для контроля космического пространства.

Высокочувствительные приборы ультрафиолетовой области спектра 220×360 нм работают при пороговом потоке 10^{-17} Вт/эл.

Радиационностойкие матричные ФППЗ разрабатываются по технологии, отличающейся от известной. Это касается как марки кремния, так и типа канала.

Кроме того, с целью уменьшения влияния ионизирующего излучения на образование дополнительных дефектов на рабочей поверхности кремния, формируется специальный рабочий диэлектрик. Благодаря также применению специальных корпуса и термоэлектрической батареи, прибор обладает устойчивостью к излучению 10 рад.

В институте разработаны и выпускаются радиационно стойкие видиконы ЛИ501 (Видеокамеры применяются на атомных электростанциях) и фотоэлектронные умножители типа ФЭУ-188, ФЭУ-187, ФЭУ-162.

Фотоэлектронный умножитель ФЭУ-188 обладает высокой радиационной стойкостью и магнитоустойчивостью в полях до 4 Тесла. Прибор создан по контракту с CERN (Швейцария) для регистрации столкновений ядерных частиц в электромагнитном калориметре большого адронного коллайдера. С этой целью ОАО «ЦНИИ «Электрон» изготовил и поставил в CERN 16500 шт. ФЭУ-188, За разработку и качественную поставку приборов ОАО «ЦНИИ «Электрон» награжден Золотой медалью.

В настоящее время в институте развивается новое направление комплексированных устройств на основе телевизионных фотоэлектронных приборов.

П04 Разработка и производство ФП и ФПУ 2-го и 3-го поколений в ОАО «МЗ «Сапфир»

Гиндин Д.А., Ежов В.П., Карпов В.В.

ОАО «Московский завод «Сапфир», Москва, Россия

ОАО «МЗ «Сапфир» является крупнейшим в РФ серийным заводом, выпускающим широкую номенклатуру охлаждаемых и неохлаждаемых фотоприемников и фотоприемных устройств для приборов инфракрасной техники специального и гражданского назначения, 70% которых являются разработками собственного Центрального конструкторского бюро. Изделия завода обеспечивают работоспособность многих систем вооружений и военной техники.

Унификация базовой планарной технологии изготовления фотодиодов на основе InSb с применением локальной имплантации ионов бериллия позволила провести модернизацию всех ранее разработанных серийных изделий путём замены фоточувствительных элементов (ФЧЭ) с глубоким залеганием р-п – перехода на планарные ФЧЭ.

Разработана технология изготовления матричных ФЧЭ из InSb с использованием базовых планарных технологических процессов. В октябре 2010 г. завершается ОКР «Омела-В» по разработке МФПУ формата 320×240 элементов на основе InSb, интегрированного с МКС. За счёт собственных средств предприятия проводится разработка МФПУ формата 320×256 элементов на основе InSb, состыкованного с моноблочной МКС.

В 2007 году в рамках ОКР «Вакуум» завод закончил разработку ряда унифицированных вакуумных криостатов 1, 2, 3 классов и МФПУ формата 4×288 (ФУК-140М), конструкторской и технологической документации присвоена литера О₁. Предприятие совместно с ИФП СО РАН, изготовителем ФЧЭ на основе ГЭС КРТ МЛЭ, может обеспечить серийное производство импортозамещающих субматричных ФПУ форматом 4×288 элементов и проводить разработку МФПУ форматов 320×256 и 640×512 на средний и дальний диапазоны спектра инфракрасного излучения, в том числе интегрированных с МКС в единую конструкцию.

В ходе выполнения СЧ ОКР «Баян» (2008 г.) разработаны модули ФПУ второго поколения формата 4×288 элементов и 320×256 элементов на основе ГЭС КРТ МЛЭ, интегрированные с МКС, проведены предварительные испытания, КД и ТД присвоена литера О. После завершения ОКР (2010 г.) головным исполнителем на заводе будет освоен серийный выпуск этих изделий.

Завод впервые в России освоил серийное производство и поставил заказчиком (ФГУП «КБ Точмаш им. А.Э. Нудельмана», ФГУП «ЦНИИТОЧМАШ») в 2009 г. охлаждаемые матричные ФПУ на основе силицида платины (МФПУ-20М) форматом 256×256 элементов и блоки цифровой обработки сигналов (ЦОС-1).

В настоящее время проводится ряд НИОКР в интересах Минобороны России по созданию многорядного двухспектрального ФПУ формата 4×288 элементов, работающего в спектральных диапазонах 3-5 мкм и 8-11 мкм, интегрированного с МКС в единую конструкцию (НИР «Самун») и матричных

фотоприемных модулей на основе структур с квантовыми ямами (ОКР «Палка-В»).

На заводе проводится большой объем НИОКР по договорам с организациями Российского космического агентства. Разработаны вакуумные конструкции для крупноформатных многоспектральных матричных ФПУ с посадочным диаметром держателя до 50 мм и с охлаждаемой диафрагмой длиной до 122 мм (для низкофоновых ФПУ). Для комплектации систем спектрального зондирования поверхности Земли разработано и поставлено многоэлементное многоспектральное (8-10,7 мкм) ФПУ, содержащее 4 модуля ФЧЭ формата $3 \times 4 \times 288$ элементов на основе ГЭС КРТ МЛЭ, разрабатывается ФПУ, на держателе которого размещены два трехспектральных (8-10,7 мкм) модуля формата $3 \times 4 \times 288$ и два модуля 4×288 диапазона 3-5 мкм. Разработано и изготовлено низкофоновое ФПУ диапазона 3-5 мкм формата 16×576 элементов.

II05 Recent progress in infrared detector technologies

A. Rogalski

Institute of Applied Physics, Military University of Technology, Warsaw, Poland

In the paper, fundamental and technological issues associated with the development and exploitation of the most advanced infrared detector technologies are discussed. In this class of detectors both photon and thermal detectors are considered. Special attention is directed to HgCdTe ternary alloys, type II superlattices, quantum-well infrared photoconductors (QWIPs), uncooled thermal bolometers, and novel uncooled micromechanical cantilever detectors. Also issues associated with the development and exploitation of materials used in fabrication of third generation infrared photon detectors are discussed.

Despite serious competition from alternative technologies and slower progress than expected, HgCdTe is unlikely to be seriously challenged for high-performance applications, applications requiring multispectral capability and fast response. However, the nonuniformity is a serious problem in the case of LWIR and VLWIR HgCdTe detectors. In this context, it is predicted that type II superlattice system seems to be an alternative to HgCdTe in long wavelength spectral region.

In spite of successful commercialization of uncooled microbolometers, the infrared community is still searching for a platform for thermal imagers that combine affordability, convenience of operation, and excellent performance. Recent advances in MEMS systems have lead to the development of uncooled IR detectors operating as micromechanical thermal detectors. Between them the most important are biomaterial microcantilevers.

П06 50 лет развития твердых растворов теллуридов кадмия и ртути в СССР и России

^{1,2}Стафеев В.И., ^{1,2}Пономаренко В.П., ¹Бурлаков И.Д., ^{1,2}Болтарь К.О.,
¹Филачев А.М.

¹ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

² Московский физико-технический институт (ГУ), Долгопрудный, Россия

В 2009 году исполнилось 50 лет со дня рождения КРТ – тройного твердого раствора теллуридов кадмия и ртути, впервые синтезированного независимо двумя группами исследователей в Англии [1] и во Львове [2]. Этот важнейший полупроводниковый материал сыграл большую роль в развитии современной ИК-техники. В 2010 году исполняется 50 лет с начала первых исследований КРТ в Советском Союзе и более 40 лет с начала работ по КРТ и приборам на его основе в НИИ прикладной физики (ФГУП «НПО «Орион»).

Рассмотрены основные результаты и этапы создания технологии материала КРТ (монокристаллов и эпитаксиальных слоев) и разработки фотоприемных приборов на его основе. На начальном этапе 1960-1970 гг. разработаны физико-технологические основы выращивания КРТ и проведены его исследования, изготовлены первые образцы фотоприемников. Период 1970-1990 гг. характеризовался созданием технологии и организацией производства монокристаллов и эпитаксиальных слоев КРТ, разработкой фотоприемных устройств на основе фоторезисторов, в том числе многоэлементных, и фотодиодов, в том числе быстродействующих. В период 1990–2000 гг. произошло постепенное смещение приоритета в направлении разработки эпитаксиальных структур КРТ большой площади и фотоприемных устройств на основе крупноформатных матриц КРТ-фотодиодов, интегрированных с микроэлектронной схемой обработки сигнала непосредственно в холодной зоне. В первом десятилетии 21 века в ФГУП «НПО «Орион» на основе КРТ разработаны матричные фотоприемные устройства второго поколения как многорядного, так и смотрящего типов, активное внедрение которых в новое поколение тепловизионной и тепlopеленгационной техники происходит в настоящее время.

1. Lawson W.D., Nielsen S., Putley E.H., Young A.S. Preparation and properties of HgTe and mixed crystals of HgTe–CdTe // J. Phys. Chem. Solids, v. 9, pp. 325-329 (1959).

2. Шнейдер А.Д., Гавришак И.В. Структура и свойства системы HgTe–CdTe // Физика твердого тела, т. 2, сс. 2079-2081 (1960).

П07 Гетероструктуры HgCdTe, выращенные методом МЛЭ для мегапиксельных инфракрасных фотоприемников

Якушев М.В., Васильев В.В., Варавин В.С., Дворецкий С.А., Марчишин И.В.,
Сабина И.В., Сидоров Ю.Г., Сорочкин А.В., Сусяков А.О., Асеев А.Л.,
¹Дегтярев Е.В., ²Рябчиков Д.В.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

¹ФГУ «22 ЦНИИИ Минобороны России», Москва, Россия

²УРЭКБ МО РФ, Москва, Россия

Узкозонные полупроводниковые твердые растворы теллурида кадмия и ртути (КРТ) занимают лидирующее место для производства инфракрасных (ИК) фотоприемников (ФП). Для мегапиксельных ИК ФП требуется материал КРТ большой площади с заданной и высокой латеральной однородностью состава. Молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ) имеет несомненные преимущества перед другими методами, являясь наиболее разработанным, гибким методом для получения такого материала в виде гетероэпитаксиальных структур (ГЭС). Встроенная эллипсометрическая аппаратура позволяет с высокой точностью проводить контроль состава эпитаксиальной пленки КРТ и его изменения в процессе роста. Это дает широкие возможности для оптимизации дизайна гетероструктуры, позволяющего упростить технологию изготовления односпектральных ИК ФП с предельными параметрами, или проводить разработки многоспектральных ИК ФП, лавинных, работающих при повышенных и комнатной температурах и других.

Одним из преимуществ метода МЛЭ при выращивании КРТ является использование дешевых кремниевых пластины большой площади. Для охлаждаемых гибридных мегапиксельных ИК ФП существенным моментом является проблема надежности при термоциклировании от комнатной температуры до температуры жидкого азота. Данная проблема легко решается именно при использовании кремниевых подложек для выращивания КРТ.

Оптимизация процессов предэпитаксиальной подготовки поверхности кремниевой подложки, условий формирования гетероперехода подложка – буферный слой ZnTe и процессов роста КРТ позволяет выращивать ГЭС КРТ МЛЭ без антифазных границ с однородным распределением по поверхности морфологических V-дефектов и ямок травления с плотностью менее 1000 см^{-2} и 10^7 см^{-2} , соответственно. Проведено выращивание ГЭС КРТ МЛЭ на подложках из кремния диаметром до 102,4 мм. Максимальное отклонение состава на диаметре 76,2 мм составляет менее 0,002 мол.дол./см ($\Delta\lambda_{1/2}=0,1 \text{ мкм}$ при 77К) для ГЭС КРТ МЛЭ с составами $X_{\text{CdTe}} \sim 0,3$ мол. дол.

После роста ГЭС КРТ МЛЭ имеют электронный тип проводимости с концентрацией электронов $(5-10) \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$, подвижностью $(1,5-2,5) \cdot 10^4 \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$ и временами жизни не основных носителей 5-15 нс при 77К. ГЭС КРТ МЛЭ дырочного типа проводимости получены изотермическим отжигом в атмосфере гелия. Концентрация носителей заряда, подвижность и время жизни при 77К составили $(5-15) \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, $200-400 \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$ и 30-50 нс, соответственно.

Изготовлены гибридные субматричные формата 288×4 и матричные ИК ФП формата 320×256 для спектрального диапазона 3-5 мкм ($\lambda_{1/2}(77\text{K})=4,2$ и 5,1 мкм). Количество дефектных каналов в субматрице не превышает 1%. Количество дефектных элементов матрицы составило менее 2%. Среднее значение вольтовой чувствительности для субматрицы и матрицы составили $1,9 \cdot 10^{10}$ В/Вт и $1,3 \cdot 10^9$ В/Вт, соответственно. Среднее значение пороговой облученности не превышает $6,4 \cdot 10^{-8}$ Вт/см². Среднеквадратичное отклонение вольтовой чувствительности от среднего значения не превышает 10%. В настоящее время проведено более 1000 термоциклов, в процессе проведения которых не наблюдалось изменений основных параметров ИК ФП.

II08 Concepts of novel terahertz and mid-infrared photodetectors and lasers based on multiple-graphene layer structures

V. Ryzhii¹, M. Ryzhii¹, N. Ryabova¹, T. Otsuji², V.Ya. Aleshkin³, A.A. Dubinov³,
V. Mitin⁴, and M.S. Shur⁵

¹ *Comput. Nanoelectronics Lab., University of Aizu, Aizu, Japan*

² *Res. Inst. of Electrical Communication, Tohoku University, Sendai, Japan*

³ *Inst. for Physics of Microstructures, Nizhny Novgorod, Russia*

⁴ *Dept. of EE, University at Buffalo, Buffalo, USA*

⁵ *Dept. of EES, Rensselaer Polytechnic Inst., Troy, USA*

Among the carbon structures, the carbon nanotubes (CNTs) and graphene layers (GLs) attract a great interest due to their applications in nanoelectronics and nanophotonics. Due to the gapless energy spectrum, GLs can absorb and emit photons with the energies in the terahertz (THz) and mid-infrared (MIR) ranges of spectrum. This opens up wide prospects in creating novel THz/MIR interband photodetectors and lasers. Such devices based on multiple-GL structures with sufficiently perfect disoriented GLs [1] can exhibit particularly high performance due to enhanced quantum efficiency. In this communication, we overview some recent concepts proposed by us [2,3,4] of THz/MIR devices utilizing the interband transitions in multiple-GLs. The devices under consideration include:

THz/MIR photodetectors based on reverse biased chemically-doped or electrically induced *p-i-n* junctions in multiple-GL structures;

Optically pumped multiple-GL THz/MIR lasers with vertical Fabri-Perot resonators as well as with slot-line and dielectric waveguides.

The multiple-GL THz/MIR photodetectors are compared with photodetectors made of the standard narrow-gap materials as well as with those based on the standard semiconductor quantum heterostructures, in particular, quantum-well and quantum-dot photodetectors. The advantages of the proposed photodetectors are associated with higher quantum efficiency and lower thermogeneration rate. The lasers under consideration can surpass the quantum cascade lasers at the lower edge of the THz spectrum. This work was partially supported by the Japan Science and Technology Agency, Japan.

[1] P. Neugebauer, et al. Phys. Rev. Lett. 103, 136403 (2009).

[2] V. Ryzhii, et al. J. Appl. Phys. 107, 054512 (2010).

[3] V. Ryzhii, et al. J. Appl. Phys. 106, 084507 (2009).

[4] V. Ryzhii, et al. J. Appl. Phys. 107, 054505 (2010).

П09 Сверхпроводниковые счетчики ИК фотонов, терагерцовые смесители и детекторы на основе ультратонкой пленки NbN

¹Гольцман Г.Н., ¹Корнеев А.А., ¹Финкель М.И., ^{1,2}Дивочий А.В., ¹Флоря И.Н.,
¹Корнеева Ю.П., ^{1,2}Тархов М.А., ¹Рябчун С.А., ¹Третьяков И.В.,
¹Маслеников С.Н., ¹Каурова Н.С., ¹Чулкова Г.М., ¹Воронов Б.М.

¹*Московский государственный педагогический университет, Москва, Россия*

²*ЗАО «Сверхпроводниковые технологии», Москва, Россия*

Перспективным типом счетчиков фотонов является сверхпроводниковый однофотонный детектор (Superconducting Single Photon Detector - SSPD). По многим параметрам SSPD превосходит существующие однофотонные детекторы видимого и ближнего ИК диапазона, такие как лавинные фотодиоды и фотоумножители. Квантовая эффективность SSPD в этом диапазоне (от видимого до 1,3 мкм) достигает 30% - уровня, ограниченного поглощением пленки NbN, при пренебрежимо малом уровне темновых отсчетов и временном разрешении (jitter) 20 пс. SSPD хорошо согласуется с оптоволокном и благодаря этому легко интегрируется в практическую коммерческую двухканальную приемную систему. Система уже нашла ряд практических применений в экспериментах по оптической когерентной томографии, регистрации излучения от квантовых точек с высоким временным разрешением, а также в квантовой криптографии.

Дальнейшим развитием стал SSPD в виде параллельно соединенных полосок. Такой SSPD обладает принципиально новым свойством - возможностью определять число одновременно поглощенных фотонов по величине фотоотклика детектора, поскольку амплитуда отклика детектора пропорциональна количеству падающих фотонов. Это решение одновременно позволило увеличить быстродействие детектора, так длительность импульса напряжения фотоотклика сократилось до 200 пс.

В стремлении продвинуться в средний ИК нам удалось разработать SSPD с шириной полоски всего 54 нм и сохранить при этом сверхпроводящие свойства. Эти детекторы показывают более чем на порядок большую чувствительность на длине волны 5 мкм и демонстрируют однофотонный отклик на 10 мкм. Полученные результаты открывают путь к эффективным детекторам среднего ИК.

Сверхпроводниковый терагерцовый смеситель (HEB) на эффекте электронного разогрева в пленках NbN может работать либо в режиме прямого детектирования или как смеситель. На частотах выше 1 ТГц NbN HEB-смесители превосходят смесители на основе туннельного перехода сверхпроводник-изолятор-сверхпроводник (SIS) и диоды Шоттки, сочетая лучшую чувствительность и более широкую полосу преобразования, которая в настоящее время достигает 6 ГГц. Лучшее полученное значение шумовой температуры приемника - 750К на частоте 2,5 ТГц является рекордным. HEB-детекторы работающие в режиме прямого детектирования, демонстрируют время отклика порядка 50 пс и эквивалентную мощность шума (NEP) $3 \cdot 10^{-13}$ Вт·Гц^{-1/2}. HEB-детекторы уже перешли в стадию коммерциализации и активно используются в качестве основы терагерцовых приемников в инструментах для астрономических и атмосферных исследований, спектроскопии материалов и биологических структур, исследовании терагерцовых источников.

П10 Приемники ТГц излучения и их применение

Сизов Ф.Ф.

Институт физики полупроводников НАН, Киев, Украина

Приемники терагерцового (ТГц) излучения играют все возрастающую роль в различных областях человеческой активности (напр., астрономии, безопасности, биологии, определении химического состава медикаментов и взрывчатых веществ, получении изображений и др.). Рассмотрены вопросы, связанные с развитием и функционированием приемников ТГц излучения. Обсуждены условия эксплуатации глубоко-охлаждаемых и неохлаждаемых приемников ТГц излучения и их возможные предельные характеристики. Рассмотрены основные физические свойства и современные достижения в параметрах ТГц приемников излучения с прямым и гетеродинным детектированием сигналов. Внимание уделено приемникам с барьерами Шоттки, приемникам сверхпроводник-изолятор-сверхпроводник, сверхпроводниковым и полупроводниковым болометрам с горячими носителями заряда, приемникам на основе полевых транзисторов и их предельным характеристикам в зависимости от частоты излучения и температуры эксплуатации.

III Полупроводниковые лазеры в средней ИК-области спектра (2-4 мкм) на модах шепчущей галереи

Яковлев Ю.П., Астахова А.П., Гребенщикова Е.А., Калинина К.В., Кижаяв С.С., Монахов А.М., Шерстнев В.В., ¹Boissier G., ¹Teissier R., ¹Баранов А.Н.

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия
¹Institut d'Electronique du Sud (IES), Université Montpellier, France

Моды шепчущей галереи (WGM) являются универсальными линейными возбуждениями дисковых и кольцевых резонаторов. Впервые они наблюдались в 1910 году как звуковые волны, распространяющейся вдоль наружной стены галереи для посетителей, в круглом зале собора Св. Павла в Лондоне и были исследованы лордом Релеем [1]. Придуманное для этого акустического явления название «моды шепчущей галереи» - whispering gallery modes (WGM) было использовано для обозначения собственных мод дисковых резонаторов. Мы использовали это явление для создания нового типа WGM-лазера в средней ИК-области спектра.

Интерес к дисковым лазерам обусловлен тем, что добротность их резонатора очень высока 10^6 , что должно позволить получить лазерную генерацию при существенно более низких пороговых токах и высоких температурах.

Главной физической особенностью данных лазеров является то, что они работают на так называемых «модах шепчущей галереи». Этот режим особенно привлекателен именно для лазеров среднего ИК диапазона, поскольку оптическое усиление активной среды таких лазеров невелико, а длина волны достаточно большая, что позволяет использовать простые методы изготовления такого лазера.

Нами были созданы дисковые лазеры [2-5] для спектрального диапазона 2,0-2,4 мкм, работающие при комнатной температуре, и для диапазона 3-4 мкм, работающие при температурах, близких к температуре жидкого азота. Для создания такого резонатора с гладкой боковой поверхностью была разработана методика химического травления в специальном полирующем травителе [6] (рис. 1). В докладе будут рассмотрены спектры излучения лазеров двух спектральных диапазонов.

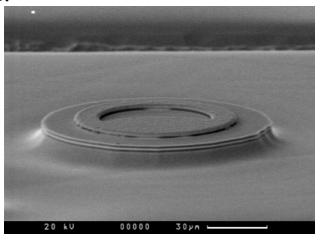


Рис. 1. Микрофотография WGM лазера (2,4 мкм) с дисковым резонатором диаметром 100 мкм и кольцевым контактом.

Важной проблемой является вывод излучения из дисковых лазеров. Если граница диска идеальна, лазерное излучение не может из него выйти. Нами был предложен новый способ вывода излучения. Кроме того, мы показали, что моды шепчущей галереи присутствуют не только в лазерах с полным диском, но и с секторным [7].

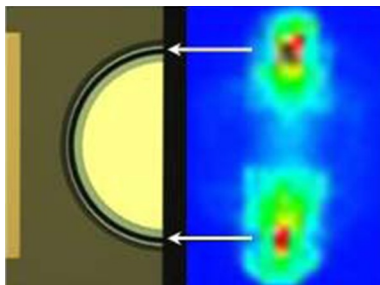


Рис.2. Микрофотография WGM лазера с полудисковым резонатором и его изображение в ИК-камере со стороны скола.

В докладе будут рассмотрены конструкция и электролюминесцентные свойства дисковых лазеров как в форме целого диска, полудиска и четверть диска (рис.2, 3).

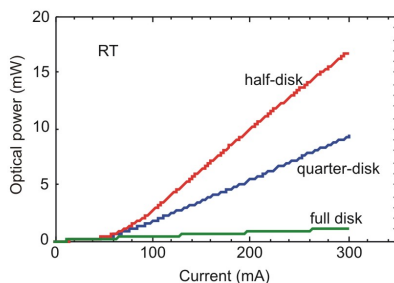


Рис.3. Зависимости мощности оптического излучения для трех типов WGM лазеров: полный диск, полудиска и четверть диска.

По нашему мнению, такие лазеры могут быть использованы как полноценные приборы среднего ИК диапазона для различных применений.

Работа частично поддержана программой Президиума РАН №27 «Основы фундаментальных исследований нанотехнологий и наноматериалов», грантами РФФИ 10-02-93110-НЦНИЛ-а, 10-02-00548-а и 09-08-91224-СТ-а, а также государственным контрактом № 02.740.11.0445.

Авторы благодарят Е.А.Кузнецову и Н.В.Власенко за техническую помощь

Литература.

1. Lord Rayleigh, *Phyl. Mag.* 20, 1001, 1910.

2. V.V.Sherstnev, A.M.Monakhov, A.Krier and G.Hill. Superluminescence in InAsSb circular ring mode light emitting diodes for CO gas detection. Appl.Phys.Lett.(USA),77(24),pp.3908-3910,(2000).
3. В.В Шерстнев, А.М. Монахов, А.П. Астахова, А.Ю. Кислякова, Ю.П. Яковлев, Н.С. Аверкиев, G. Hill, A. Krier. Полупроводниковые WGM лазеры среднего инфракрасного диапазона. Физика и техника полупроводников. 2005, том 39, № 9.
4. В.В Шерстнев, А.М. Монахов, А.Ю. Кислякова, Ю.П. Яковлев, Н.С. Аверкиев. Эффект WGM в полупроводниковых лазерах. Известия РАН. Серия Физическая. Том 70 №3,стр.364-367,2006.
5. G. Norris, A. Krier, V. V. Sherstnev,A.Monakhov,A.Baranov. Mode behavior in InAs midinfrared whispering gallery lasers. Appl.Phys.Lett. 90, 011105, (2007)
- 6.Е.А.Гребенщикова, Н.Д.Ильинская, В.В.Шерстнев, А.М.Монахов, А.П.Астахова, Ю.П.Яковлев, G.Boissier, R.Teissier, А.Н.Баранов. Дисковые WGM-лазеры ($\lambda=2.4 \mu\text{m}$) с выпуклым резонатором, работающие при комнатной температуре. ПЖТФ 2008, т.34 в.21 стр.27-32.
7. А.М.Монахов, V.V.Sherstnev, А.П.Астakhova, Yu.P.Yakovlev, G.Boissier, R.Teissier, А.Н.Баранов, Experimental observation of whispering gallery modes in sector disk lasers, Appl.Phys.Lett. (USA), **94**, 051102, (2009).

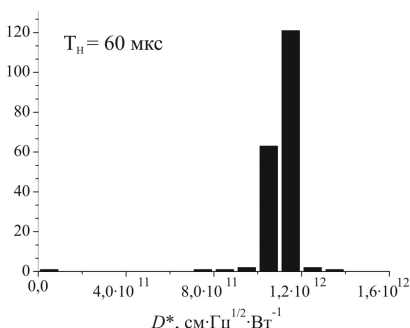
П12 Многомодульное линейчатое фотоприемное устройство 4×(2×192) на основе InAs МДП-структур для систем тепlopеленгации

Базовкин В.М., Валишева Н.А., Гузев А.А., Ефимов В.М., Ковчавцев А.П.,
 Курышев Г.Л., Ли И.И., Половинкин В.Г., Строганов А.С., ¹Мирзоева Л.А.,
¹Маковцов Г.А., ¹Пролыгин Е.В.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия
¹ ФГУП «НПК «ГОИ им. С.И. Вавилова», Санкт-Петербург, Россия

Представлена конструкция и параметры многомодульного ИК фотоприемного устройства (ИК ФПУ) на основе универсального гибридного линейчатого модуля InAs МДП структур форматом 2×192[1]. Решены следующие задачи:

- разработано ИК ФПУ содержащее до четырех гибридных модулей формата 2×192, стыкуемых без оптического зазора;
- повышена чувствительность, временное и пространственное разрешение.



Эти задачи решены за счет проведения комплекса работ, в частности:

- повышение быстродействия кремниевого мультиплексора за счет совмещения во времени считывания фотосигналов со строки ПЗИ элементов и считывания сигналов на общую шину “Вых”;
- снижение уровня шума в системе считывания сигналов путем оптимизации топологии устройств считывания и фотоприемников;
- повышение квантовой

эффективности фотоприемников за счет оптимизации толщин проводящих и диэлектрических слоев МДП структуры, многослойных просветляющих покрытий на обеих сторонах кремниевого мультиплексора.

На рисунке приведены гистограммы обнаружительной способности гибридного модуля, при времени накопления 60 мкс, уровень фонового излучения $P_{\Phi} = 6,4 \cdot 10^{-7}$ Вт/см².

Основные параметры ИК ФПУ форматом 2×192:

Фоточувствительный элемент	6×36мкм ² ;
Спектральный диапазон чувствительности.....	1,1-3,05 мкм;
Время считывания строки	от 40 мкс;
Динамический диапазон	80 дБ;
Система охлаждения	МСМГ-3В-1/80,
Теплоприток к охладителю газовой криогенной машины МСМГ -3В-1/80	при температуре 25 °С не более 0,45 Вт для четырех модульного ИК ФПУ.

Тепловизионная система формата 1×384 с объективом (D/F=1/1.8; F= 20,5 мм) имеет следующие параметры:

Температурный диапазон измерений	
(при времени накопления 128 мкс).....	40 – 180 °С;
Абсолютная точность измерения температуры.....	±0.5 °С;

[1]. И.И. Ли, В.М. Базовкин, Н.А. Валишева и др. // Автометрия, 2007, №4, С.25-49.

III3 Optical MEMS for Adaptive Multi-Spectral Infrared Sensors and Arrays

L. Faraone

The University of Western Australia, Crawley, Australia

State-of-the-art infrared (IR) focal plane array (FPA) technologies aim to improve the performance of IR imaging systems by reducing cooling requirements and/or adding so-called multi-colour capability, which allows on-pixel information to be gathered from two or more spectral regions. Spectral information allows improved target recognition and reduced false alarm rates in military applications, and accurate temperature determination in civilian applications. It has been recognised, however, that in order to extract spectroscopic or detailed information from a cluttered image, much better spectral resolution is required than can be afforded by such multi-colour systems. A number of research programs are aiming to address this issue by obtaining significantly better spectral resolution by developing technologies for the integration of individual tuneable optical filters on each pixel of a detector array. The approach chosen by The Microelectronics Research Group (MRG) is to develop a micro-electromechanical systems (MEMS) technology that is compatible with large format two-dimensional infrared focal plane arrays. Such a device structure consists of an electrostatically controlled Fabry-Perot filter that is integrated optically ahead of the individual detectors in an array. The demonstration of this technology has involved major advances in the deposition of silicon nitride (SiN_x) thin films for mirror support structures, and the development of new Bragg mirror designs. This presentation will outline the basic concept of the approach, modelling results giving predicted device performance, several of the major hurdles to be overcome in this technology, results related to control of film stresses in SiN_x films, as well as demonstration of an integrated microspectrometer technology comprising a MEMS filter and an infrared sensor capable of low-voltage tuning across the SWIR and MWIR wavelength bands.

УО1 МОС-гидридная эпитаксия в технологии фотоэлектронных приборов

Мармалюк А.А., Андреев А.Ю., Ладугин М.А., Мазалов А.В., Падалица А.А.,
Рябоштан Ю.Л., Телегин К.Ю.

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

Многие современные приборы построены на основе полупроводниковых гетероструктур (ГС). Выходные характеристики таких приборов во многом определяются конструкцией ГС и технологией их получения. Среди возможных методов формирования эпитаксиальных ГС фотоэлектронного назначения на первый план выходит МОС-гидридная эпитаксия. Большая гибкость в выборе исходных материалов, широкий диапазон варьирования параметров роста, возможность получения резких гетерограниц и сверхтонких квантоворазмерных слоев, хорошая масштабируемость процесса роста для увеличения количества одновременно обрабатываемых пластин, снижение себестоимости единицы изделия делают этот метод незаменимым при организации промышленного производства. В данной работе рассмотрены вопросы применения метода МОС-гидридной эпитаксии для формирования ГС для полупроводниковых фотокатодов, *p-i-n* фотодиодов и фотоприемников на основе множественных квантовых ям (МКЯ).

Представлены результаты оптимизации процесса роста фотокатодных ГС AlGaAs/GaAs. Проанализированы данные по однородности распределения параметров ГС по площади пластин, плотности поверхностных дефектов и уровню характеристик ЭОП 3-го поколения на их основе. Рассмотрены альтернативные конструкции ГС для расширения спектрального диапазона чувствительности фотокатодов.

Разработана технология формирования ГС с МКЯ (In)GaAs/AlGaAs, пригодных для изготовления матричных фотоприемников. Продемонстрировано управление максимумом фоточувствительности в спектральном диапазоне $\lambda=4-12$ мкм. Показана возможность создания двухспектральных ГС. Представлены приборные характеристики матричных фотоприемников на основе рассматриваемых ГС с МКЯ.

Изучены особенности получения высококачественных ГС InGaAs/InP для *p-i-n* фотодиодов спектрального диапазона $\lambda=0,9-1,7$ мкм. Показано влияние режимов роста на параметры ГС InGaAs/InP. Приведены приборные характеристики *p-i-n* фотодиодов на основе полученных ГС.

У02 Организация промышленного производства монокристаллических пластин $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ Р ($x = 0,2; 0,3$ и $0,5$) в СССР

¹Курбанов К.Р., ²Гаврилюк Ю.Н.

¹*Кременчугский институт ДУЭП, Кременчуг, Украина*

²*Кременчугский госуниверситет, Кременчуг, Украина*

Твердые растворы кадмия-ртути-теллуре (КРТ) остаются основными материалами для создания приемников ИК-излучения в диапазоне длин волн 1-14 мкм и более для различных систем тепловидения.

В СССР работы по разработке промышленной технологии для производства твердых растворов КРТ были начаты в 1972 году.

Такие работы были развернуты на Светловодском заводе чистых металлов Министерства цветной металлургии СССР. Естественно для этой цели на заводе был использован весь опыт организаций, занимавшихся получением кристаллических материалов $\text{Hg}_{0,8}\text{Cd}_{0,2}\text{Te}$ пригодных к изготовлению малоэлементных фоторезисторов ИК-излучения для области длин волн 8-14 мкм.

Это, прежде всего НПО Орион, ГИПО (г. Казань), Физтех (г. Ленинград), МИСиС, Львовский Государственный университет, Черновицкий госуниверситет и т.д. При этом на заводе были испытаны все известные к тому времени методы получения (Бриджмена в различных вариациях, зонной плавки – методы Дзюба и Уеда, твердотельной рекристаллизации – также во всех известных вариациях) и обработки кристаллов.

Свойства кристаллов, включая и механические, зависят от уровня чистоты исходных элементарных компонентов, аппаратуры в которых получают кристаллы, а также от соблюдения стехиометрического состава исходной шихты подготовленной для получения кристаллов $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$.

Выпускающиеся отечественной промышленностью элементарные кадмий (Kd-000), теллур (Тв-4) и ртуть (Р-00000) требовали доведения их до полупроводниковой чистоты, что требовало разработки технологий получения высокочистых Cd, Te, Hg и организации их промышленного производства на Заводе.

Использование даже высокочистых исходных компонентов или синтезированных из них бинарных соединений HgTe и CdTe при получении кристаллов методами классического Бриджмена, зонной плавки с задаваемым свободным объемом, зонной плавки через теллурический раствор - расплав, твердотельной рекристаллизации во всех её вариациях не обеспечивало получение кристаллов с заданными свойствами – особенно по размерам и структурному совершенству даже при хорошей однородности состава.

Поэтому требовалось решить следующие задачи:

- установить корреляцию между электрофизическими, фотоэлектрическими свойствами пластин КРТ и чистотой исходных компонентов;

- провести детальное исследование Р-Т-Х фазовой диаграммы системы, Hg-Cd-Te , уточнение важных её элементов и на основе комплексного анализа методов синтеза

$\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$, прогнозировать наиболее приемлемый для промышленного освоения способ синтеза монокристаллов $\text{Hg}_{0,80}\text{Cd}_{0,20}\text{Te}$, $\text{Hg}_{0,70}\text{Cd}_{0,30}\text{Te}$ и т.д.;

- изучить механизмы тепло- и массопереноса в зависимости от условий синтеза КРТ и разработать научно обоснованный способ синтеза их в промышленных условиях;

- исследовать взаимодействие различных примесей с соединениями и твердыми растворами КРТ, их влияние на комплекс свойств и определить наиболее оптимальные примеси для управления электрофизическими, фотоэлектрическими, механическими и структурными свойствами;

- на основе исследований области гомогенности для различных составов КРТ, разработать оптимальные методы управления электрофизическими и фотоэлектрическими их свойствами;

- разработать методы механической обработки кристаллов КРТ с учетом специфики их пластических свойств и изучить процессы взаимодействия поверхности монокристаллических пластин твердых растворов с различными химическими травильными растворами и воздухом;

- разработать комплекс методов и аппаратуры для воспроизводимого получения монокристаллических пластин КРТ ($x=0,2$ и $0,3$) с заданным набором свойств и организовать промышленное их производство.

У03 Что дало изучение HgCdTe для понимания явлений переноса в полупроводниках

^{1,2}Берченко Н.Н., ³Елизаров А.И.

¹ *Национальный университет "Львовская политехника", Львов, Украина*

² *Институт физики, Жешувский университет, Жешув, Польша*

³ *Кременчугский государственный политехнический университет им. М. Остроградского, Кременчуг, Украина*

В работе анализируются результаты исследований HgCdTe с помощью кинетических эффектов, которые проводились с момента получения первых образцов этого материала. Показано, что эти исследования позволили не только определить основные параметры носителей заряда, но и судить о структурном совершенстве материала, а также принципиально расширили возможности этих экспериментальных методов, например, для анализа полупроводниковых многослойных структур.

К началу 1960-х годов изучение явлений переноса, прежде всего - измерение электропроводности и эффекта Холла, считалось наиболее простым и надежным экспериментальным подходом к определению базовых параметров полупроводников. С самого начала изучения HgCdTe исследования явлений переноса широко использовались для предварительной характеристики выращенных образцов на пригодность в качестве исходного материала для изготовления фотоэлектрических приборов. Уже вскоре было обнаружено, что как температурные, так и магнитополевые зависимости эффекта Холла и электропроводности во многих случаях не могут быть объяснены на основе модели с двумя типами носителей по аналогии с InSb. Для их интерпретации создавались модели с дополнительными носителями, и чаще всего это были тяжелые электроны. Чтобы объяснить их появление, обычно вводились различные модификации зонной структуры HgCdTe, в частности дополнительный изгиб зон тяжелых дырок, акцепторный уровень или зона, перекрывающаяся при определенных температурах с зоной проводимости и т.п. Однако позднее для объяснения этих «аномалий» все чаще учитывались эффекты, связанные со сложностью всего ансамбля дефектов, как точечных, так и протяженных, которые присутствовали в этом твердом растворе и имели технологическое происхождение во многих случаях. Были обнаружены слоистые структуры, связанные с термообработкой в парах ртути, электронные каналы проводимости по малоугловым границам кристаллов, инверсия типа проводимости в тонком приповерхностном слое образца и т.п. Существенно влиять на явления переноса в HgCdTe может и характерная для этого твердого раствора неупорядоченность. Именно ею объясняется наблюдаемая в HgCdTe прыжковая проводимость по Моту при аномально высоких температурах. Попытки анализа электрофизических параметров реальных образцов HgCdTe требовали более совершенных математических моделей, описывающих явления переноса. Можно утверждать, что итогом этих усилий стали различные варианты методики QMSA (Quantitative Mobility Spectrum Analysis - количественный анализ спектра подвижности), в которой нет ограничений на количество носителей заряда, участвующих в явлениях переноса. В этом методе концентрация носителей и проводимость рассматриваются как непрерывная функция их подвижности. Методика QMSA успешно используется при анализе явлений переноса в разнообразных многослойных структурах, например, в сверхрешетках на основе $A^{III}-B^V$.

У04 Рост HgCdTe наноструктур для приемников излучения

Михайлов Н.Н., Дворецкий С.А., Швец В.А., Сидоров Ю.Г.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Разработана технология выращивания $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}/\text{Hg}_{1-y}\text{Cd}_y\text{Te}/\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ наноструктур методом молекулярно-лучевой эпитаксии с прецизионным контролем состава (x и y) и толщины эллипсометрическим методом. Уровень легирования нанослоев в процессе роста задается потоком молекулярного источника индия.

Проведено выращивание симметричных одиночных и множественных $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}/\text{HgTe}/\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ квантовых ям (КЯ) со ступенчатым изменением состава на границах раздела и легированием центральной части широкозонных спейсеров. Толщина HgTe КЯ и спейсеров состава $X_{\text{CdTe}}=0,6-0,8$ мольных долей составили 5-22 нм и 25-35 нм соответственно. При контроле состава и толщины использовались изменения эллипсометрических параметров Ψ и Δ в плоскости Ψ - Δ , которые описываются кусочно-спиральными кривыми. Длина кривой позволяет определить толщину с точностью не хуже 1 нм, а мольное содержание теллурида кадмия определяется сравнением расчетной кривой с экспериментально наблюдаемой изменением эллипсометрических параметров и составляет величину не хуже 0,002 мольных долей. Уровень легирования спейсеров в центральной части составлял $10^{14}-10^{17} \text{ см}^{-3}$.

Квантовый эффект Холла в одиночных HgTe КЯ показал существование двумерных электронов с высокой подвижностью более $5 \cdot 10^5 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$, что характеризует высокое качество как материала, так и технологии [1].

В одиночных и множественных (до 30) $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}/\text{HgTe}/\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ КЯ наблюдался большой фотогальванический эффект (ФГЭ) для линейно- и циркулярно-поляризованного излучения в диапазоне от 6 мкм до 400 мкм при комнатной температуре [2]. Вольтовая чувствительность для одиночной HgTe КЯ достигает величины 10 мВ/кВт ($\lambda=148 \text{ мкм}$). Увеличение количества HgTe КЯ приводит к пропорциональному увеличению фотосигнала.

1. E. V. Olshanetsky и др. Письма в ЖЭТФ, Т. 84, С. 666, (2006).
2. S. Danilov и др. J.Appl.Phys., V. 105, 013106, (2009).

У05 О природе n -типа проводимости гетероэпитаксиальных структур $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ непосредственно после выращивания методом МЛЭ и его изменении после отжига в квазиравновесных и равновесных парах ртути

¹Аронзон Б.А., ²Никитин М.С., ²Чеканова Г.В., ³Талипов Н.Х.

¹ РНЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

² ФГУП «Альфа», Москва, Россия

³ Военная академия РВСН им. Петра Великого, Москва, Россия

Измерения эффекта Холла в слабых магнитных полях $B < 0,03$ Тл при $T < 100$ К показывают, что в гетероструктурах МЛЭ $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ ($x=0,18-0,35$) сразу после выращивания наблюдается n -тип проводимости. Это радикально отличается от ситуации в объемных монокристаллах и пленках, выращенных методом ЖФЭ, в которых непосредственно после выращивания всегда наблюдается p -тип проводимости, обусловленный большой концентрацией вакансий ртути.

Целью настоящей работы было измерение холловских параметров в образцах гетероструктур $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ ($x \approx 0,250-0,350$ и $0,215-0,230$) в широком интервале температур (4,2 К – 300 К) и индукции магнитного поля до 8 Тл и исследование влияния на электрофизические параметры отжига в квазиравновесных и равновесных парах ртути.

Для проведения исследований были взяты образцы нелегированных и легированных In гетероструктур $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ ($x=0,22$; $n_{77}=(2-8) \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$), выращенных методом МЛЭ на подложке GaAs. Толщина гетероструктур была 6-11 мкм.

Структуры подвергались поэтапному отжигу в квазиравновесных и равновесных парах ртути в запаянной, предварительно вакуумированной кварцевой ампуле. Режим отжига $T_{\text{Hg}}/T_{\text{HgCdTe}}=228/248$ °С и $T_{\text{Hg}}/T_{\text{HgCdTe}}=230/230$ °С традиционно применяется для снижения концентрации вакансий ртути в пластинах объемных монокристаллов и пленках ЖФЭ с $\approx 10^{17}-10^{18} \text{ см}^{-3}$ до $\approx 10^{14} \text{ см}^{-3}$ с целью получения материала $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ ($x=0,18-0,35$) с низкой концентрацией электронов $n_{77} < 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Длительность одного отжига составляла 48-72 часа, что обеспечивало отжиг гетероструктуры $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ на всю толщину. Общая продолжительность 7-8 этапов отжига составила 408-456 часов.

После каждого этапа отжига на образцах гетероструктур измерялись электрофизические параметры при $T=77$ К и пропускание в ИК диапазоне спектра.

В выбранном режиме отжига происходит диффузия атомов ртути из пара в кристалл, атомы ртути занимают свои узлы в решетке и в кристалле остается лишь малая равновесная концентрация вакансий ртути $\approx 10^{14} \text{ см}^{-3}$.

Были получены следующие результаты. После первого отжига продолжительностью от 48 до 63 часов тип проводимости в нелегированных и легированных In гетероструктурах $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ ($x=0,22$; $n_{77}=(2-8) \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$) изменился на дырочный с $p_{77}=(1-4,5) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. При дальнейшем отжиге

концентрация дырок увеличивалась до значений $p_{77}=(1,3-2,2) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ и далее стабилизировалась на уровне $p_{77}=(1,1-1,3) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Абсолютное значение коэффициента пропускания также существенно понижалось с примерно 60% до 32-42%, что указывает на существенное увеличение концентрации свободных носителей.

Выводы: В результате отжига происходит внедрение атомов ртути в соответствующие узлы кристаллической решетки с вытеснением в междоузлия атомов, проявляющих себя как акцепторы. Такими акцепторами, предположительно, могут быть только атомы, входящие в состав твердого раствора $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$, например, теллур, поскольку в условиях роста методом МЛЭ появление в пленке постороннего акцептора с концентрацией $\geq 10^{18} \text{ см}^{-3}$ невозможно. Регистрация в гетероструктурах сразу после роста n -типа проводимости с низкой концентрацией электронов может быть объяснена самокомпенсацией вакансий ртути атомами растворенного избыточного теллура, происходящей во время кристаллизации эпитаксиальной пленки $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ из молекулярных (атомарных) пучков.

У06 Выращивание и определение состава многослойных HgCdTe структур для двухспектральных фотоприемников 3-5 и 8-12 мкм

Дворецкий С.А., Михайлов Н.Н., Ремесник В.Г., Сидоров Ю.Г.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Для двухспектральных инфракрасных фотоприемников (ДИФП) с чувствительностью в диапазоне 3-5 и 8-12 мкм проведено выращивание многослойных гетероэпитаксиальных структур (ГЭС) $Cd_xHg_{1-x}Te$ (КРТ) с молярным содержанием теллурида кадмия $X_{CdTe} \approx 0,3$ и $X_{CdTe} \approx 0,22$ в слоях, разделенных широкозонным барьерным слоем методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) на подложках (013)CdTe/ZnTe/GaAs.

Контроль состава и толщины слоев в процессе роста многослойных ГЭС КРТ МЛЭ проводился с помощью измерений эллипсометрических параметров. Контроль состава слоев после выращивания проводился оптическим методом по измерениям спектров пропускания.

Нами разработан неразрушающий метод определения толщины и состава двухслойной структуры с узкозонным и широкозонным слоями. Пропускание многослойной структуры ГЭС КРТ МЛЭ определяется слоем узкозонного состава, что позволяет определить состав и толщину этого слоя стандартным методом. Определение положения края поглощения и, соответственно, состава широкозонного слоя затруднено. Детальный анализ спектров поглощения многослойной структуры (оптической плотности) позволяет выявить край поглощения слоем широкозонного состава и определить его состав. Ограничениями данного метода являются большое различие состава узкозонного и широкозонного слоев и большая толщина слоя узкозонного состава. В таблице представлены результаты определения состава *in situ* эллипсометрических измерений и по спектрам поглощения.

Образец	Широкозонный состав			Узкозонный состав		
	$X_{\text{эллип}}$	$X_{\text{проп}}$	$X_{\text{отр}}$	$X_{\text{эллип}}$	$X_{\text{проп}}$	$X_{\text{отр}}$
0707	0,295	0,302	---	0,220	0,223	---
0707-1	0,291	0,299	---	0,222	0,224	---
0708	0,297	0,303	---	0,224	0,225	---
0708-1	0,297	0,302	---	0,223	0,227	---
0709	0,295	0,302	---	0,223	0,226	---
07091	0,295	0,298	0,299	0,230	0,232	0,235

Для проверки разработанного метода проведено послойное травление двухслойной структуры с измерением спектров пропускания и отражения. Найдено хорошее соответствие состава и толщины слоев, определенных по спектрам отражения при послойном травлении, полученных из измерений эллипсометрических параметров в процессе роста и при измерении после выращивания по разработанному методу.

У07 Сравнительный анализ дефектной структуры MWIR и LWIR гетероэпитаксиальных пленок $Cd_xHg_{1-x}Te$, выращенных молекулярно-лучевой эпитаксией

¹Ижнин И.И., ²Дворецкий С.А., ²Михайлов Н.Н., ²Сидоров Ю.Г., ²Сорочкин А.В.,
²Варавин В.С., ²Якушев М.В., ³Мынбаев К.Д., ⁴Берченко Н.Н., ⁴Поцяк М.

¹НИИ материалов НПП «Карат», Львов, Украина

²Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

³Физико-технический институт им. А. Ф.Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

⁴Институт физики Университета Жешув, Польша

В работе сообщается о результатах исследования с помощью ионного травления (ИТ) дефектной структуры гетероэпитаксиальных пленок $Cd_xHg_{1-x}Te$ (КРТ), выращенных молекулярно-лучевой эпитаксией (МЛЭ). В основе таких исследований лежит явление взаимодействия различных дефектов с межузельной ртутью Hg_i, происходящего при ИТ в сильно неравновесных условиях (гигантском пересыщении кристалла Hg_i). Специфика реакций между дефектами в этих условиях позволяет выявлять собственные и примесные дефекты, сформировавшиеся на стадии роста и/или постростового отжига, исследуя релаксацию электрофизических параметров пленок после ИТ в процессе старения при комнатной температуре. Дополнительную информацию о дефектной структуре пленок дают спектры фотолюминесценции, записанные до и после ИТ.

Номинально нелегированные пленки с составом активной области $x \approx 0,2$ (LWIR) и $x \approx 0,3$ (MWIR) были выращены на подложках GaAs или Si (013). После роста пленки характеризовались *n*-типом проводимости. Для получения вакансионно-легированных структур *p*-типа проводимости использовали термический отжиг в атмосфере гелия при температуре 220 – 240^oC в течение 10-20 часов.

Установлено, что во всех исследованных пленках присутствовал нейтральный дефект с концентрацией $\sim (0,6-1) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, образовавшийся на стадии роста. Этот дефект активируется при ИТ и образует заряженный донорный центр.

После распада образованных ИТ центров (релаксации) концентрация электронов в пленках стабилизируется и характеризует суммарную концентрацию донорного фона. Для LWIR и MWIR пленок, выращенных на подложках GaAs, концентрация остаточных доноров (77 К) составляет $\sim (1-2) \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ и $(5-6) \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ при подвижности электронов 100000–150000 $\text{см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ и 30000-40000 $\text{см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ соответственно.

Для MWIR пленок *n*- и *p*-типа проводимости, полученных из одной и той же структуры, выращенной на подложке Si, концентрация остаточных доноров (77 К) составляет $\sim 3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ при подвижности $\sim 50000 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$, что соответствует теоретическому значению подвижности для данного состава КРТ. Характерным для данных пленок был практически идентичный ход релаксационных кривых концентрации электронов и их подвижности. Полученные для пленок на подложке Si значения донорного фона являются самыми низкими для всех исследованных данным методом образцов КРТ, выращенных МЛЭ, и сравнимы с данными для LWIR пленок, выращенных жидкофазной эпитаксией (ГИРЕДМЕТ). Такие низкие значения донорного фона позволяют проводить дополнительное легирование пленок донорной примесью In для получения более однородных и стабильных параметров пленок и приборов на их основе.

Работа была поддержана Министерством образования и науки Украины (договор № М/46–2000, № ДЗ/486–2009).

У08 Сравнительный анализ дефектной структуры MWIR и LWIR эпитаксиальных пленок $Cd_xHg_{1-x}Te$, выращенных жидкофазной эпитаксией

¹Ижнин И.И., ¹Ижнин А.И., ¹Фищыч Е.И., ²Денисов И.А., ²Смирнова Н.А.,
³Мынбаев К.Д., ⁴Поцяк М.

¹ НИИ материалов НПП «Карат», Львов, Украина

²ОАО «Гиредмет», Москва, Россия

³ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

⁴Институт физики Университета Жешув, Польша

В работе сообщается о результатах исследования с помощью ионного травления (ИТ) дефектной структуры эпитаксиальных пленок $Cd_xHg_{1-x}Te$, выращенных жидкофазной эпитаксией (ЖФЭ). В основе таких исследований лежит явление взаимодействия различных дефектов с межузельной Hg_i , происходящее при гигантском пересыщении кристалла межузельной ртутью Hg_i , что позволяет выявлять собственные и примесные дефекты в КРТ, исследуя релаксацию электрофизических параметров пленок после ИТ.

Номинально нелегированные пленки с составом активной области $x \approx 0,2$ (LWIR) и $x \approx 0,27-0,29$ (MWIR) были выращены на подложках $CdZnTe$ (111) из Te растворов в закрытой системе. После роста пленки характеризовались p -типом проводимости ($p \sim 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$), обусловленным присутствием вакансий ртути. Для уменьшения концентрации вакансий до уровня $(5-10) \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ или получения материала n -типа проводимости использовали термический отжиг в парах ртути при температуре $350 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 5 часов или при $230 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 48 часов, соответственно.

В спектрах ФЛ (84 К) исходных MWIR пленок p -типа наблюдалась одна полоса с энергией в максимуме, соответствующей ширине запрещенной зоны (E_g) для данного состава $x = 0,29$; после ИТ положение максимума не менялось, а интенсивность возрастала в три раза. В спектре ФЛ исходной MWIR пленки n -типа ($x = 0,27$) наблюдали три полосы, с энергией в максимуме наиболее коротковолновой полосы, соответствующей E_g . Максимумы двух более длинноволновых полос отстояли от нее на 13 и 18 мэВ, что свидетельствовало о присутствии в образце акцепторных примесей.

Установлено, что во всех исследованных пленках присутствовал нейтральный дефект с концентрацией $\sim 1 \cdot 10^{17}$ и $\sim (3-6) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ для LWIR и MWIR пленок, соответственно. Этот дефект активируется при ИТ и образует заряженный донорный центр.

После распада центров (релаксации) концентрация электронов в пленках стабилизируется и характеризует суммарную концентрацию донорного фона. Для LWIR пленок концентрация остаточных доноров (77 К) составляет $\sim (2-7) \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ при подвижности электронов $\sim 200000 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$. Для MWIR пленок n - и p -типа проводимости концентрация остаточных доноров (77 К) составляет $\sim 2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ при подвижности $\sim 7000 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ и $\sim 3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ при подвижности $\sim 40000 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$, соответственно. Полученные значения концентрации донорного фона для пленок ЖФЭ являются наиболее низкими из исследованных ранее данным методом образцов КРТ различных технологий, что позволяет проводить дополнительное легирование пленок донорной примесью In, для получения более однородных и стабильных параметров пленок и приборов на их основе.

Работа частично была поддержана Министерством образования и науки Украины (договор № М/46–2000, № ДЗ/486–2009).

У09 Ионная имплантация в гетероэпитаксиальные слои и кристаллы $p\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ при создании многоэлементных фотоприемников среднего и дальнего ИК-диапазонов

Войцеховский А.В., ¹Талипов Н.Х.

Сибирский физико-технический институт ТГУ, Томск, Россия

¹ Военная академия РВСН им. Петра Великого, Москва, Россия

Ионная имплантация твердых растворов $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ (КРТ) p -типа является одним из основных технологических процессов формирования n - p переходов при создании многоэлементных фотоприемников среднего и дальнего ИК-диапазонов. Для изготовления широкоформатных матричных фотоприемников в настоящее время используются гетероэпитаксиальные слои КРТ, выращенные методом молекулярно-лучевой эпитаксии (ГЭС КРТ МЛЭ). Структуры ГЭС КРТ МЛЭ в отличие от объемного КРТ на поверхности имеют широкозонный варизонный слой переменного состава, что существенно меняет динамику накопления в них радиационных дефектов, генерированных в процессе ионной имплантации, и, в конечном итоге, – глубину и параметры n - p перехода. До настоящего времени не существует систематических исследований с целью установления закономерностей процессов дефектообразования при различных режимах ионной имплантации в ГЭС КРТ МЛЭ, знание которых крайне важно для создания многоэлементных фотоприемников с высокими параметрами.

В работе проведено детальное исследование особенностей распределения электрически активных дефектов в ионно-имплантированных бором гетероэпитаксиальных слоях ГЭС КРТ МЛЭ и объемных кристаллах КРТ p -типа. При этом решались следующие основные задачи:

- Исследовалось влияние дозы и энергии ионов бора, плотности ионного тока в широких диапазонах на пространственное распределение внедренных атомов бора и электрически активных дефектов;
- Исследовалось влияние состава поверхности и объемного слоя ГЭС КРТ МЛЭ;
- Исследовалась временная стабильность имплантированных слоев;
- Исследовалась электрическая активация имплантированного бора и азота при постимплантационных отжигах ГЭС КРТ МЛЭ;
- Исследовалось влияние режимов ионной имплантации бора на темновые токи фотодиодов, изготовленных на ГЭС КРТ МЛЭ;
- Проведено сравнение ионной имплантации и ионно-лучевого травления ГЭС КРТ МЛЭ;
- Построена модель процессов радиационного дефектообразования при ионной имплантации ГЭС КРТ МЛЭ;
- Проведена экспериментальная проверка модели;
- Предложены оптимальные технологические режимы ионной имплантации бора в ГЭС КРТ МЛЭ с целью изготовления многоэлементных фотоприемников средней и дальней области ИК-диапазона с высокими параметрами.

В работе впервые получены оригинальные результаты по пространственному распределению внедренных атомов бора и электрически-активных дефектов в ионно-имплантированных бором ГЭС КРТ МЛЭ, а также установлен ряд закономерностей процессов радиационного дефектообразования при ионной имплантации и ионно-лучевом травлении ГЭС КРТ МЛЭ.

Полученные в работе результаты могут быть использованы в технологии создания матричных фотоприемных структур на основе объемных кристаллов и ГЭС КРТ МЛЭ с целью оптимизации режимов ионной имплантации.

У10 О некоторых закономерностях травления сплавов $Hg_{1-x}Cd_xTe$ с использованием индуктивно связанной плазмы на основе смесей водород-метан

Никитин М.С., Чеканова Г.В.

ФГУП «Альфа», Москва, Россия

Травление сплавов $Hg_{1-x}Cd_xTe$ с использованием индуктивно связанной плазмы (ИСП) на основе смесей водород-метан рассматривается как перспективный технологический процесс для формирования в многослойных гетероструктурах $Hg_{1-x}Cd_xTe$ плотноупакованных меза-структур с глубокими и узкими разделительными канавками и точно воспроизводимыми размерами, а также для финишной обработки поверхности пластин $Hg_{1-x}Cd_xTe$ с целью получения гладкой чистой поверхности без окисной пленки.

Предполагаемый механизм травления является преимущественно химическим, осуществляется за счет образования летучих металлоорганических соединений кадмия и теллура при взаимодействии плазмы с поверхностью $Hg_{1-x}Cd_xTe$ и может инициироваться при очень низких энергиях падающих на поверхность ионов и радикалов 20-60 эВ. Ожидается, что при столь малых значениях энергии ионов и радикалов радиационные повреждения приповерхностной области тонких слоев $Hg_{1-x}Cd_xTe$ будут также незначительными, что может позволить избежать конверсии типа проводимости, которая всегда наблюдается на поверхности p - $Hg_{1-x}Cd_xTe$ при бомбардировке частицами с энергией выше 100 эВ. Таким образом, возможно успешное применение данного вида травления, как для n -типа, так и p -типа материала.

Целью настоящей работы было исследование влияния параметров индуктивно связанной плазмы на основе смесей водород-метан, величины энергии ионов и радикалов, а также температуры подложки на скорость травления сплавов $Hg_{1-x}Cd_xTe$, морфологию поверхности и изменение электрофизических параметров образцов.

Для проведения исследований были взяты пластины объемных монокристаллов и гетероструктуры $Hg_{1-x}Cd_xTe$ ($x=0,22-0,23$), выращенные методом МЛЭ на подложке GaAs, как n -типа, так и p -типа проводимости.

Были исследованы зависимости скорости травления материала от мощности источника индуктивно связанной плазмы в диапазоне 100-600 Вт при различных соотношениях потоков водород/метан и значениях энергии ионов и радикалов в диапазоне 20-150 эВ и температуре подложки -30 °С - $+30$ °С.

Были получены следующие результаты.

Скорость травления $Hg_{1-x}Cd_xTe$ ($x=0,22-0,23$) с использованием индуктивно связанной плазмы на основе смесей с оптимальным соотношением потоков водород-метан доходит до 10 мкм в час. Это очень высокая скорость травления, сопоставимая со скоростью ионно-лучевого травления (ИЛТ). Обнаружено, что даже при больших мощностях источника ИСП 600 Вт тепловое воздействие на материал ничтожно мало.

Травление образует профили (канавки), стенки которых почти вертикальные. То есть травление идет существенно анизотропно.

Морфология поверхности сильно зависит от времени травления (глубины травления) и параметров плазмы.

Выводы. Процесс травления с использованием индуктивно связанной плазмы (ИСП) на основе смесей водород-метан представляет интерес для развития технологии изготовления плотноупакованных фоточувствительных структур на основе $Hg_{1-x}Cd_xTe$, в том числе меза-планарных и многоцветных.

УИТ Терагерцовые приемные устройства с квантовыми усилителями

¹Свиридов А.Н., ¹Филачев А.М., ^{1,2}Пономаренко В.П.

¹ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

² Московский физико-технический институт (ГУ), Долгопрудный, Россия

Предложены терагерцовые приемные устройства, содержащие квантовый усилитель изображения и матричный приемник (ТПУ с КУ). Разработаны математические модели, позволяющие производить расчеты пороговых характеристик ТПУ с КУ. Проведены расчеты предельных порогов чувствительности этих приемных устройств. При расчетах учитывались зависимости порогов чувствительности ТПУ с КУ от параметров КУ (коэффициента усиления, светосилы, эффективной ширины спектральной полосы усиления и др.), характеристик используемых в них приемников и от методов (электрических или визуальных) регистрации сигналов.

Показана возможность и целесообразность построения активных систем видения с использованием ТПУ с КУ. Показана высокая эффективность использования квантовых усилителей при приеме слабых терагерцовых сигналов. Приемные устройства с квантовыми усилителями могут иметь в 10^2 - 10^4 раз более высокую чувствительность, чем чувствительность используемых в них приемников излучения. Их использование в активных терагерцовых системах позволит, соответственно, в 10^2 - 10^4 раз увеличить потенциал этих систем.

У12 Интеллектуальное ФПУ, интегрированное с блоком автоматического дешифрирования многоспектральных изображений

¹Алеев Р.М., ^{2,3}Дирочка А.И., ^{2,3}Пономаренко В.П., ²Филачев А.М., ¹Фофанов В.Б.

¹ *Филиал ФГУП «ПО УОМЗ» «УОМЗ-Институт прикладной оптики», Казань, Россия*

² *ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия*

³ *Московский физико-технический институт (ГУ), Долгопрудный, Россия*

Изображение, формируемое ОЭС, представляет собой набор энергетических яркостей, измеренных в каждом пикселе сцены. При решении прикладных задач интерес представляют не отдельные пиксели, а объекты сцены, состоящие из нескольких десятков, сотен или даже тысяч пикселей. Получение сведений о таких объектах, называется дешифрированием. Визуальное дешифрирование, несмотря на несомненные достоинства, имеет и ряд ограничений, связанных со зрительным анализатором человека. Единственным способом их преодоления является автоматизация дешифрирования.

Автоматизация дешифрирования предполагает решение целого ряда задач. Самым сложным, на наш взгляд, является создание теоретических (математических) основ дешифрирования многоспектральных (гиперспектральных) изображений. Над решением этой задачи интенсивно работают коллективы специалистов из разных стран. Первые результаты в этом направлении могут появиться уже в ближайшие годы. Отметим, что для частного случая, когда цель дешифрирования – выявление на сцене объектов определенной вида получены положительные результаты.

Автоматизация дешифрирования предъявляет повышенные требования к вычислительным ресурсам. Создание необходимых вычислительных устройств с ограниченными габаритами и энергопотреблением до недавнего времени представляло серьезную научную проблему. Сегодняшний уровень микроэлектроники позволяет создавать легко масштабируемые многопроцессорные вычислительные системы с нужной производительностью. Очевидно, что такие системы предполагают использование параллельных алгоритмов. В общем случае распараллеливание представляет совсем нетривиальную задачу. Результаты проведенных экспериментов свидетельствуют о высокой эффективности распараллеливания алгоритмов дешифрирования.

Поэтому с большой долей уверенности можно считать, что следующим шагом в развитии ОЭС наряду с многоспектральными, многоэлементными фоточувствительными матрицами будет интегрирование в их состав вычислительных устройств с гибким программным управлением для дешифрирования многоспектральных (гиперспектральных) изображений в реальном масштабе времени.

У13 Об условии достижения максимально возможной пороговой фоточувствительности полупроводников за счет создания варизонного приповерхностного поля нанометрового и меньшего масштаба изменения

Холоднов В.А.

Институт радиотехники и электроники РАН, Москва, Россия

Построена и проанализирована корректная математическая модель фотовозбуждения носителей слабым излучением в поверхностно-варизонных полупроводниках при резком изменении варизонного поля в пограничной к гомогенному слою переходной области. Постановка задачи вызвана практической потребностью создания адекватной теории порогового фотоэлектрического эффекта в образцах рассматриваемого типа. Анализ ориентирован, прежде всего, на узкозонный $n\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ материал с варизонными приповерхностными слоями, который используется для создания пороговых ИК фотоприемников, в том числе, фоторезисторов нового поколения. Выведена формула для оптимальных параметров варизонного приповерхностного слоя, при которых обеспечивается эффективная защита фотоносителей от поверхностной рекомбинации.

У14 Монолитный фотоприемный модуль 32×32

Сорочкин А.В., Дворецкий С.А., Козлов А.И., Предеин А.В., Сабина И.В.,
Сидоров Ю.Г., Фомин Б.И., Якушев М.В.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Основным направлением в производстве инфракрасных матриц фокальной плоскости (ИКМФП) на данный момент является гибридная технология, когда матрица фотодиодов на основе КРТ и кремниевая считывающая интегральная схема (мультиплексор) формируются отдельно, а затем соединяются поэлементно индием. Гибридные матрицы имеют ограничения по количеству пикселей и стойкости к механическим и температурным воздействиям. Монолитные ИКФПМ, в которых фоточувствительные элементы (фотодиоды) формируются в выращенных в ячейках кремниевого мультиплексора слоях КРТ, позволят избавиться от вышеперечисленных недостатков.

Разработан кристалл «КРТ-32» содержащий 32×32 фотоприемные ячейки, каждая из которых состоит из КРТ меза-фотодиода и n-МОП транзистора. Размер ячеек – 150×150 мкм². Мультиплексор содержит тестовые электронные компоненты для контроля процессов. Кристалл изготавливается по n-МОП технологии с поликремниевыми затворами и с Al-разводкой на пластине кремния КДБ-10 с ориентацией (310).

Разработанный мультиплексор обеспечивает произвольный доступ к элементам фотоприемной матрицы, высокую однородность смещения фотодиодов и возможность работы с большими темновыми и/или фоновыми токами. Выбранный фотодиод подключается к общей шине считывания. Смещение на фотодиодах задается внешней прецизионной малощумящей схемой считывания, выполняющей усреднение и преобразование фототока в выходное напряжение. Мультиплексор обеспечивает считывание с частотой от 4 до 40 кадров в секунду.

Проведено исследование процессов, требуемых для создания монолитного ИК ФП на основе слоев КРТ, выращенных в ячейках кремниевого мультиплексора. Определены оптимальные значения основных параметров операций изготовления монолитного ИК ФП.

Изготовлен мультиплексор «КРТ-32» и измерены его характеристики. Разработана технология предэпитаксиальной подготовки, не разрушающая элементы мультиплексора. Выращены слои КРТ на пластине с мультиплексором. Выполнены работы по созданию монолитного приемника инфракрасного излучения на основе мультиплексора «КРТ-32», включающие следующие операции. Отжиг в инертной атмосфере для получения p-типа проводимости. Создание n-p переходов за счет ионного легирования бором. Селективное травление поликристалла. Нанесение защитного диэлектрика. Создание контактов между КРТ фотодиодами и элементами мультиплексора. Приводятся результаты измерений электрооптических параметров монолитного фотоприемника.

Исследовано влияние размера меза-фотодиода на его свойства. Установлено, что зависимость фототока и темнового тока от размера диода проявляется в диапазоне размеров от 30×30 мкм² до 80×80 мкм². Дальнейшее увеличение размеров не оказывает влияния на токи. При уменьшении размера от 80×80 мкм² до 30×30 мкм² происходит увеличение темнового тока. Эффект усиливается при увеличении прикладываемого напряжения обратного смещения. Фототок спадает прямо пропорционально уменьшению размера диода.

На основании полученных результатов обсуждается возможность уменьшения размера пикселя монолитного ИК ФП и увеличение его формата.

У15 Фотоприемники и фотоприемные устройства на основе антимонида индия формата 320×256

Касаткин И.Л., Лопухин А.А., Дирочка А.И., Рябова А.А.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Исследованы фотоэлектрические характеристики партии из шести МФПУ на область спектра $3\div 5$ мкм на основе антимонида индия формата 320×256. Проведено сравнение характеристик МФПУ с различным относительным отверстием охлаждаемой диафрагмы, а также с охлаждаемым фильтром в области спектра $3,55\div 4,75$ мкм. По измеренным зависимостям выходных сигналов и шумов от времени накопления получены вольтамперные характеристики системы фотодиод+согласующий транзистор и их разбросы, позволившие, с учетом зависимости количества дефектных элементов от напряжения на фотодиодах, определить оптимальные смещения на затворах согласующих транзисторов. Количество дефектных элементов МФПУ в партии составило $0,2\div 0,3\%$. Также были получены зависимости регистрируемой разности температур, ограниченной шумом (NETD) от времени накопления, которые при комнатной температуре не превышали $20\div 27$ мК при времени накопления 260 мкс без фильтра и 780 мкс с охлаждаемым фильтром.

У16 Исследование двухспектрального многорядного фотоприемного устройства на основе ГЭС КРТ

^{1,2}Болтарь К.О., ^{1,2}Пономаренко В.П., ¹Полунеев В.В., ¹Яковлева Н.И.,
³Денисов И.А., ³Смирнова Н.А.

¹ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

² Московский физико-технический институт (ГУ), Москва, Россия

³ ФГУП «Гиредмет», Москва, Россия

Исследованы параметры двухспектрального фотоприемного устройства формата (ДФПУ) 2×2×288 элементов, изготовленного на основе гетероэпитаксиальной структуры КРТ. Элементы спектрального диапазона 8-12 мкм располагаются на поверхности МФЧЭ в узкозонном фоточувствительном слое КРТ, а элементы спектрального диапазона 3-5 мкм располагаются в кармане глубиной порядка 6 мкм в широкозонном фоточувствительном слое КРТ.

Расстояние между фоточувствительными линейками 2×288 спектральных диапазонов 3-5 и 8-12 мкм составляет менее 500 мкм при шаге 28 мкм, что обеспечивает юстировку сканера.

Гетероэпитаксиальная структура КРТ содержит два фоточувствительных слоя p -типа проводимости толщиной по 6 мкм составов $x=0,27$ и $0,22$, выращенных в двух последовательных процессах жидкофазной эпитаксии методом кристаллизации из двухфазной смеси в закрытой системе на подложке CdZnTe.

Фотоэлектрические характеристики обоих многорядных фотоприемников формата 2×288 элементов спектральных диапазонов 3-5 и 8-12 мкм близки к теоретическому пределу, обусловленному шумом фонового излучения.

У17 Исследование шумов в многорядных фотоприемных устройствах на основе КРТ

^{1,2} Болтарь К.О., Полунеев В.В., Мансветов Н.Г.

¹ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

² Московский физико-технический институт (ГУ), Долгопрудный, Россия

В тепловизионных ИК-фотоприемниках спектрального диапазона 8-12 мкм лучшие характеристики по эквивалентной шуму разности температур и количеству дефектных элементов достигаются при граничной длине волны 10-10,5 мкм. Нами исследованы характеристики многорядных фотоприемных устройств (МФПУ) формата 2×96 на основе фотодиодов из КРТ с базой *p*-типа проводимости с граничной длиной волны до 12 мкм.

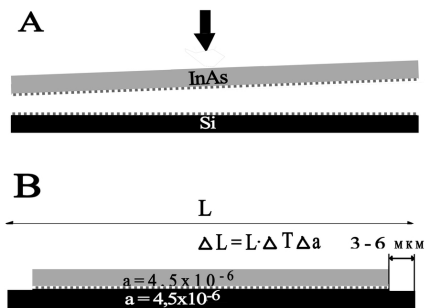
Исследованы высокочастотный, низкочастотный шумы и нестабильность тока всех элементов МФПУ. Количество фоточувствительных элементов с увеличенными шумами и нестабильностью тока существенно увеличивается с увеличением граничной длины волны. Показано, что дефектные элементы с незначительно увеличенным высокочастотным шумом имеют существенно увеличенный низкочастотный шум или нестабильность тока. У отдельных элементов нестабильность тока проявляется не в каждом цикле охлаждения до рабочей температуры 80К.

У18 Проблемы гибридизации охлаждаемых матричных ФПУ ИК-диапазона

Ефимов В.М.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Обзорный доклад посвящен проблемам гибридизации матричных фотоприемных микросхем, которые можно разделить на три основных блока: А – технические и технологические проблемы собственно соединения фотоприемной матрицы с кремниевым коммутатором посредством 10^4 - 10^6 индиевых микросоединений Flip-Chip способом, В – проблемы механической и электрической стойкости микросоединений к многократным циклам охлаждения-нагрева в процессе эксплуатации ФПУ и, наконец, проблемы ускоренного прогнозирования надежностных характеристик гибридизации [1,2].



Решение вышеуказанных задач является общим для большинства охлаждаемых ФПУ, как изготавливаемых с использованием подложек GaAs/CaHgTe, так и фотоприемников на основе InAs или InSb. При этом по мере увеличения размерности фотоприемных матриц, возникают дополнительные, требующие решения задачи, связанные с уменьшением размера микросоединений и расстояния

между ними, которые от первоначальных значений 25 и 50 мкм, приходят, в настоящее время, к величинам около 15 и 30 мкм соответственно. В докладе обсуждаются как данные, имеющиеся в открытой печати, так и оригинальные решения. Последние получены по мере решения технических и технологических проблем при разработке и изготовлении матричных фотоприемных устройств на основе InAs и InSb в Институте физики полупроводников СО РАН [3]. Показывается, каким образом повышающиеся требования к процессу и параметрам гибридизации непосредственно связаны с оптимизацией технологических процессов формирования микроконтактов, топологическими задачами, при разработке новых ФПУ и требованиями к качеству используемых полупроводниковых подложек.

1. L. Rossi, "Pixel detectors hybridization," Nucl. Instrum. Methods A, vol. 501, pp. 239–244, Mar. 2003.

2. P. Norton, Third-generation sensors for night vision, Opto-Electron. Rev., 14, no. 1, pp. 1-10, 2006.

3. Многоэлементные гибридные ИК ФПУ на основе приборов с зарядовой инжекцией, В. М. Базовкин, Н. А. Валишева, А. А. Гузев и др., Автотметрия, т. 43, № 4, стр. 25-35, 2007.

Y19 Extraction of transport parameters in third generation infrared photodetector materials

J. Antoszewski, G.A. Umana-Membreno, L. Faraone

School of Electrical, Electronic and Computer Engineering, The University of Western Australia, Crawley, Australia

Third generation infrared detector arrays are based on advanced multilayer semiconductor structures such as dual band HgCdTe, QWIP, QDIP or type-II InAs/GaInSb superlattices. Transport characterisation of these multilayer structures is not trivial and need much more advanced approach than classic single field resistivity and Hall Effect measurements. In this paper we present recent progress in transport characterisation of such multi-layer/multi-carrier infrared semiconductor materials. As an example, a detailed study of multi-carrier transport properties in MBE grown HgCdTe $N^+/\pi/P^+$ heterostructure is demonstrated. Recently developed High Resolution Quantitative Mobility Spectrum Analysis (HR-QMSA) is used for analysis of magnetic field dependent resistivity and Hall Effect data over the temperature range from 60K to 300K, and magnetic fields from 0 to 12T. As demonstrated in Fig.1 the evolution of individual peaks, each representing single carrier specie, can be readily identified. The temperature dependent behaviour of the peaks (position and size) is used to classify respective carriers as originating from the bulk layers (thermal activation) or interfaces (2D behaviour). In effect, a complex picture of transport channels can be revealed with properties of individual carriers extracted and assigned to appropriate layers and interfaces. In the example shown here four separate electron species and two hole species have been identified that contribute to the total conduction. The temperature dependent characteristics of carrier concentration and mobility have been obtained for each individual carrier species (see Fig.2.). Detailed analysis allows the two high mobility electron contributions to be identified as thermally activated intrinsic electrons N_π in the low doped long-wavelength infrared (LWIR) absorbing π layer. The activation energy of the dominant high mobility electrons in the π layer in the high temperature range gives a very good fit to the Hansen and Schmit expression for intrinsic carrier concentration in HgCdTe with a bandgap of 172 meV ($x=0,191$). The mobility of these bulk electrons follows the classic $\mu \sim T^{-3/2}$ dependence for the phonon scattering regime. These results are consistent with the nominal parameters expected from the growth of $x=0,20$ layer. The electron with even higher mobility (N_π') may be associated with process related unintentional localised region with lower x value at the N^+/π interface.

From the other two electron species the one with thermally activated concentration at higher temperatures can be assigned to the N^+ ($x=0,34$) layer, while the one with concentration that is practically temperature independent (typical for 2D carriers) originates most probably at the N^+ interface with the substrate or an n -type accumulation surface layer at the top of the structure.

The dominant hole species, with $\sim 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ at low temperatures represents $x=0,39$ P^+ layer. The other hole species, which exhibits typical 2D character is located most probably at the P^+/π interface.

In conclusion it is important to note that the method demonstrated here allows extraction of carrier transport parameters of layers buried deep in the structure, a very important feature in the case of modern multilayer semiconductor materials.

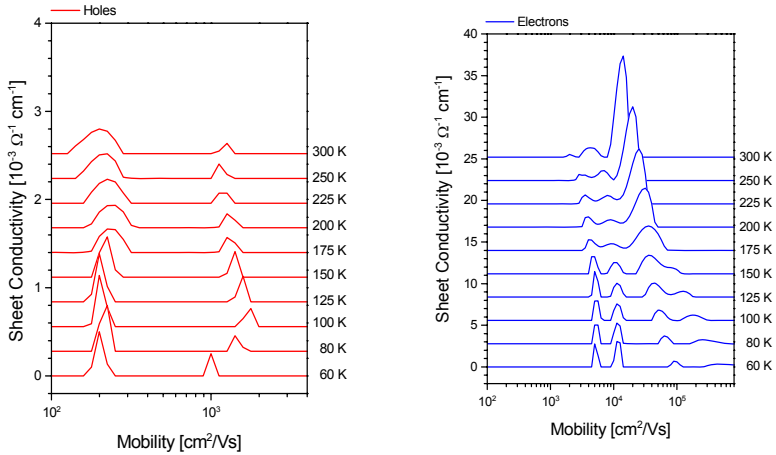


Fig.1. Hole and electron mobility spectra for MBE grown HgCdTe $N^+/\pi/P^+$ heterostructure at various temperatures. High resolution of the method allows to observe carriers evolution with temperature.

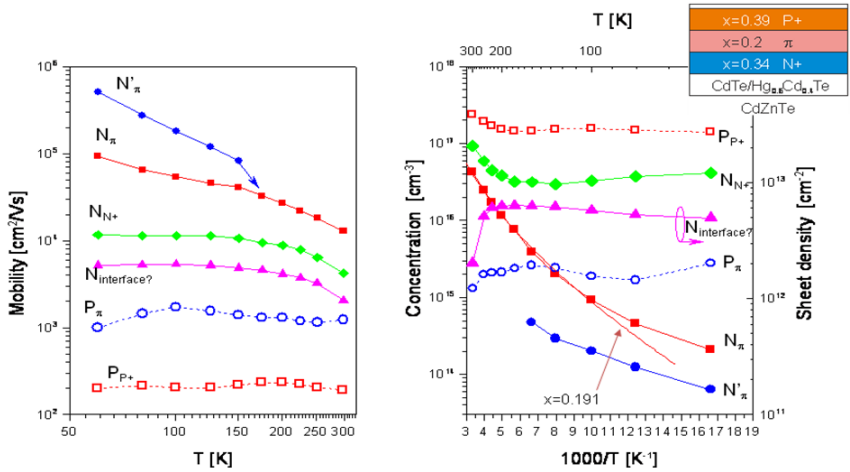


Fig.2. Mobility versus temperature (left) and concentration versus $1/T$ (right) for all extracted carriers

У20 Твердые растворы на основе диоксида циркония – новые материалы фотоэлектроники

¹Бузынин А.Н., Гришина Т.Н., Киселева Т.В., Косухина Л.А., Кравченко Н.В.,
¹Ломонова Е.Е., ¹Панов В.А., Сидоров М.С., Трищенко М.А., Филачев А.М.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

¹ *Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, Россия*

Рассмотрены перспективы использования диоксидов циркония и фианита в фотоэлектронике. Эти материалы обладают рядом преимуществ перед традиционными в качестве стабилизирующих, защитных и просветляющих покрытий, к качестве подложек для эпитаксиальных слоев InGaAs (InGaAsP), в качестве изолятора для создания структур типа «полупроводник на изоляторе». Разработана магнетронная технология нанесения пленок двуокиси циркония и фианита на кремниевые и германиевые пластины. Разработаны также методы травления этих пленок: жидкостной химический для двуокиси циркония и реактивно-ионный, а также ионно-лучевой для фианита. Изготовлены структуры на основе кремниевых и германиевых пластин с пленками диоксида циркония и фианита, германиевые фотодиоды с защитными пленками из диоксида циркония, проведены их исследования. Исследования продемонстрировали преимущества указанных пленок перед традиционными пленками двуокиси кремния в технологии германиевых фотодиодов.

У21 Результаты унификации базовой имплантационной технологии изготовления ФД из антимионида индия в ОАО «МЗ «Сапфир»

Астахов В.П., Гиндин П.Д., Ежов В.П., Карпов В.В., ¹Мирошникова И.Н.

ОАО «Московский завод «Сапфир», Москва, Россия

¹*Московский энергетический институт (ТУ), Москва, Россия*

В ОАО «МЗ «Сапфир» для изготовления многоэлементных фотодиодных линеек из InSb используется базовая планарная имплантационная технология. Технология основана на применении локальной имплантации ионов бериллия с последующим отжигом для формирования p^+-n перехода. За прошедшие годы технология доказала свою устойчивость и способность обеспечивать высший уровень пороговых фотоэлектрических параметров. Показаны пути модификации базовой технологии для повышения токовой чувствительности, теплостойкости, рабочей температуры.

В рамках унификации технологических процессов и используемых материалов для изготовления фотодиодов на основе InSb была проведена работа по замене радиационно-сплавной технологии и тянутых n^+-p переходов в разработанных ранее серийных изделиях на планарную имплантационную технологию.

В случае фотодиода ФПУ БС-19 произведена также корректировка оптической схемы: впервые растр создавался на защитной плёнке кристалла. В результате замены технологии выход годных ФД резко возрос и стабилизировался благодаря снижению токов утечки. Обнаружительная способность при этом выровнялась и возросла, в том числе за счёт увеличения квантовой эффективности на 25%. Практически устранён шум типа $1/f$, возросла стойкость фотодиода к прогревам, допустимые обратные смещения и равномерность чувствительности. Потребительские свойства приборов улучшились также благодаря переносу растра на защитную плёнку, из-за чего увеличились допустимые углы поворота аппаратуры относительно оптической оси.

В случае фотодиода ФД-121 замена технологии также обеспечивает устойчивый выход годных ФД со значительным запасом по параметрам и их высокие потребительские свойства. На основе базовой технологии фотодиодов из InSb разработано новое поколение многоэлементных ФПУ для ТГС.

У22 Сверхразрешение с использованием нелинейной фемтосекундной лазерной литографии

Макин В.С., Макин Р.С., Силантьева И.А.

ФГУП НИИКИ ОЭП, Сосновый Бор, Ленинградская обл., Россия

Обычная литография является лидирующей технологией получения структур высокого разрешения для массового производства. Однако для большинства случаев производства мелкомасштабных структур это дорогая технология.

Ограничивающим фактором обычной литографии является дифракция, поэтому минимальный размер структур ограничен величиной порядка половины длины волны излучения.

Существует подход для преодоления этого предела с использованием нелинейных эффектов при взаимодействии лазерного излучения фемтосекундной длительности (например, с длиной волны $\lambda=800$ или 400 нм). Подход основан на использовании явления интерференции возбуждаемых лазерным излучением неравновесных поверхностных плазмон поляритонов друг с другом или с падающим излучением. В рамках поляритонной модели лазерно-индуцированного разрушения конденсированных сред импульсами лазерного излучения ультракороткой длительности интерференция возможна в полупроводниках, диэлектриках и металлах [1]. При этом для полупроводников период d образующихся линейных наноструктур равен:

$$d = \frac{\lambda}{m\eta}, \quad \frac{\lambda}{2m\eta},$$

где η - действительная часть показателя преломления границы раздела неравновесный плазменный слой-полупроводник, деленная на показатель преломления полупроводника n , $\eta \geq 1$. Для полупроводников (полупроводниковых пленок) с большим показателем преломления могут быть получены периоды наноструктур $d \sim 50-100$ нм. Когерентная трансляция структур может быть проведена при сканировании лазерного пучка в направлении \vec{s} распространения поверхностного плазмон поляритона при $\vec{s} \parallel \vec{E}$; либо при осуществлении параллельного скана с пространственным перекрытием пучков ~ 1 мкм. Здесь E – направление поляризации лазерного излучения. Для получения наноструктур с малым пространственным периодом желательное воздействие излучения при контакте границы полупроводника с жидкостью (водой) для эффективного охлаждения области воздействия. Более мелкий период структур может быть получен при осуществлении условий для возбуждения и интерференции неравновесных цилиндрических поверхностных плазмон поляритонов на полупроводниках и металлах [2].

Таким образом, путем подбора полупроводника, толщины пленки, подложки, длины волны лазерного излучения, жидкости можно получать наноструктуры на поверхности пленки. Процесс переноса структур на рабочую поверхность может быть осуществлен либо непосредственно как результат воздействия лазерного излучения, либо при использовании дополнительной технологии.

Литература

1. Макин В.С., Воробьев А.Я. Вестник СПбО АИН, выпуск №3, с.456-469, 2007. Издательство Политехнического университета.
2. Макин В.С., Пестов Ю.И., Макин Р.С., Воробьев А.Я. Оптический Журнал (2009), т.76, с. 38-44.
3. Макин В.С., Макин Р.С., Воробьев А.Я., Гуо Чунле. Нелинейность в современном естествознании. с. 303-322. Издательство ЛКИ, 2009.

У23 Разработка технологий изготовления фотокатодов для ультрафиолетовой области на основе гетероструктур AlGaN

¹Жмерик В.Н., ¹Мизеров А.М., ¹Иванов С.В., ²Бакин В.В., ²Косолюбов С.Н.,
²Шайблер Г.Э., ²Терехов А.С.

¹ Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

² Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Широкозонные полупроводниковые соединения AlGaN, ширина запрещенной зоны которых может изменяться от 3,4 эВ до 6,1 эВ, являются основой новых твердотельных приборов ультрафиолетовой (УФ) оптоэлектроники с минимальной рабочей длиной волны 210 нм (лежащей в глубоком УФ-С диапазоне), которые интенсивно разрабатываются в последнее десятилетие во всем мире [1]. Такие устройства необходимы в научных, в том числе и в медико-биологических исследованиях, в системах контроля загрязнений окружающей среды, в системах безопасности и др. Среди этих приборов важную роль играют планарные вакуумно-полупроводниковые фотоприёмники с уникальными возможностями регистрации изображений телевизионного формата в режиме счёта одиночных УФ-фотонов с субнаносекундным временным разрешением. Создание таких устройств требует создания нового поколения полупрозрачных фотокатодов с эффективным отрицательным электронным средством (ОЭС). В работе демонстрируется реализация такого фотокатода на основе гетероструктуры $p\text{-GaN:Mg/AlN/c-Al}_2\text{O}_3$.

Эпитаксиальная гетероструктура выращивалась на подложке $c\text{-Al}_2\text{O}_3$ диаметром 50,8 мм методом молекулярно-пучковой эпитаксии с плазменной активацией (МПЭ ПА) на установке Contrast 21T (RIBER CA). Толщины слоев GaN и AlN составляли 70 нм и 1 микрон, соответственно. Контроль скорости роста слоев, составлявшей $\sim 0,5$ мкм/ч, и морфологии их поверхности, изменявшейся в процессе роста от наноклончатой до атомарно-гладкой, проводился методами оптической рефлектометрии и дифракции отраженных быстрых электронов, соответственно. Активный слой гетероструктуры из GaN легировался Mg до концентрации $\sim 10^{19}$ см⁻³, как было описано в нашей работе [2]. Для изготовления фотокатода рабочим диаметром ~ 18 мм из структуры вырезался диск диаметром 22 мм, который затем с помощью диффузионной сварки соединялся с лейкосапфировым диском специальной формы, обеспечивавшим возможность его сочленения с титано-керамическим корпусом фотоприёмника. Методики приготовления поверхности GaN(Cs,O) с ОЭС и проведения фотоэмиссионных измерений описаны нами в [3].

Для характеристики гетероструктуры с фотокатодом измерялись спектральная зависимость ее квантовой эффективности (QE), энергетические распределения фотоэлектронов, ватт-амперная характеристика и темновой ток фотокатода. Максимальное значение квантовой эффективности составило 0,14 при длине волны падающего излучения 230 нм. Сравнение достигнутых результатов с известными данными из [4] свидетельствует, что уровень отечественных технологий в данной области близок к лучшему зарубежному уровню.

Полученные результаты свидетельствуют об эффективности использования МПЭ ПА нитридов металлов третьей группы для выращивания УФ-фотокатодных гетероструктур с высокой квантовой эффективностью на основе соединений в системе AlGaN.

Литература

[1] <http://www.yole.fr> “UV-LED Market”, 2009.

[2] Т.А. Комиссарова et al., Phys. Status Solidi C 6, S466-S469 (2009).

[3] А.А. Пахневич и др., Письма в ЖЭТФ, т. 79, вып. 10, с. 592-596(2004).

[4] G.W. Glesener et al., Proc. of SPIE, v. 7339, p. 73390S (2009).

У24 Гетероструктуры на основе AlGaN для УФ фотоприемников

¹Журавлёв К.С., ¹Малин Т.В., ¹Протасов Д.Ю., ¹Тихонов А.В., ²Поляков А.Я.,
²Говорков А.В., ²Смирнов Н.Б., ³Dobos L., ³Recz B.

¹ *Институт физики полупроводников СО РАН Новосибирск, Россия*

² *ОАО «Гиредмет», Москва, Россия*

³ *Research Institute for Technical Physics and Materials Science, Hungarian Academy of Sciences, Budapest, Hungary*

Большая ширина запрещенной зоны твердых растворов AlGaN, варьируемая в пределах от 3,4 до 6,2 эВ, делает их привлекательными для использования в качестве фотоприемников ультрафиолетового излучения.

В настоящей работе сообщается о получении и исследовании структурных, электронных, оптических и транспортных свойств гетероструктур, содержащих слои AlGaN. Гетероструктуры были выращены методом аммиачной молекулярно-лучевой эпитаксии на подложках сапфира с ориентацией (0001). После нитридации подложки выращивался буферный слой, состоящий из слоя AlN и сверхрешетки AlN\AlGaN. Формирование полярности структуры осуществлялось на этапе зарождения слоя AlN. После буферного слоя растился слой AlGaN толщиной около 0,2 мкм. В результате, была выращена серия образцов металлической и азотной полярности с различной долей AlN в слое $Al_xGa_{1-x}N$: $x=0, 0.2, 0.4, 0.6$.

Исследования атомно-силовым микроскопом показали, что поверхность слоев с металлической полярностью является более гладкой (среднеквадратичная шероховатость (rms) менее 2 нм), чем поверхность N-полярных слоев (rms \geq 8 нм), тем не менее, оба типа слоев пригодны для изготовления приборов. Плотность дислокаций и инверсионных доменов, оцененная с помощью высокоразрешающей электронной микроскопии, больше в N-полярных слоях. Это видимо, связано с тем, что плотность дефектов в Al/Ga-полярных слоях резко уменьшается при повышении температуры роста буферного слоя AlN, а в N-полярных слоях такого эффекта не наблюдается. AlGaN\AlN сверхрешетка обычно уменьшает плотность дислокаций. Кроме этого, решетка способствует исчезновению полостей и нанотрубок, образовавшихся в слое AlN. Некоторые дислокации проходят сквозь решетку, не изменяя своего направления распространения. Однако было обнаружено, что дислокации могут генерироваться решеткой. Al/Ga-полярные слои имеют p-тип проводимости (концентрация дырок около 10^{16} см⁻³), а N-полярные слои имеют n-тип проводимости (концентрация электронов около 10^{17} см⁻³). При температуре T=77K в некоторых слоях наблюдалось слабое отрицательное магнитосопротивление. Исследования температурных зависимостей проводимости слоев, I-V характеристик позволили установить энергии ионизации двух доноров в N-полярных слоях, которые равны 1 и 12 мэВ в GaN, соответственно. При увеличении содержания алюминия энергия ионизации второго донора увеличивается. Полученная зависимость энергии ионизации этого донора от состава слоев свидетельствует о том, что это кремний. С помощью фотоэлектрической токовой релаксационной спектроскопии определен спектр глубоких ловушек в слоях. В спектрах микро-католюминесценции слоев, измеренных при 90K, наблюдается два пика, расстояние между которыми увеличивается с повышением содержания алюминия в слоях.

У25 Пластины Ge для фотоэлектронных приборов

¹Артёмов А.С., ²Бурлаков И.Д., ³Рузавин И.Г.

¹ ИОФ РАН им. Прохорова, Москва, Россия

² МИТХТ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

³ ФГУП НПО «Орион», Москва, Россия

Поверхность полупроводниковых пластины германия играет определяющую роль в технологии фотоэлектронных приборов как в случае их применения в качестве исходного материала при изготовлении фотоприемных элементов, так и в случае применения в качестве подложки для гетероэпитаксии фоточувствительных слоев сложных полупроводников A^3B^5 и A^2B^6 , в том числе твердых растворов теллуридов кадмия-ртути.

В ходе разработки технологии изготовления пригодных для эпитаксии (epigady) пластин Ge диаметром 76 мм проведены исследования поверхности пластин на различных этапах обработки. Изготовленные пластины Ge толщиной 600 ± 20 мкм с ориентацией поверхности $(112) \pm 0,5$ имеют прогиб менее 10 мкм и плотность дислокаций $\sim 10^2 \text{ см}^{-2}$. Методами рентгеновской рефлектометрии, Резерфордского обратного рассеяния (РОР), просвечивающей электронной (ПЭМ) и атомно-силовой микроскопии (АСМ) установлены особенности приповерхностных нарушенных слоев, типы дефектов и глубина их распространения. Стадии предварительной механической обработки заключались в следующих последовательных операциях: резка слитка алмазным диском с внутренней режущей кромкой на пластины толщиной 740 ± 20 мкм с формированием фасок и базовых срезов, двухстороннее шлифование групповым методом, алмазное полирование с применением порошков АСМ 3/2, а затем АСМ 1/0. Характерное на первых двух стадиях хрупкое разрушение приповерхностного слоя на последующих стадиях сменяется хрупко-пластическим и затем преимущественно пластическим с образованием дислокаций и редких микротрещин. Средняя глубина нарушений в Ge после шлифования порошками М14, М10, М5 и полирования АСМ 1/0 составляет соответственно около 20, <15, ~5 и ~1-3 мкм, а отдельные нарушения для каждого из этих видов обработки простираются до 30, 20, 10 и 5-7 мкм соответственно.

Химико-механическое полирование (ХМП) выполнялась суспензией на основе нанодетонационных алмазов (НДА), композиций коллоидного SiO_2 , либо с применением Si_2O_3 с последующей отмывкой и химической обработкой. Определенная методом рентгеновской рефлектометрии шероховатость рельефа R_q и толщина аморфизированного слоя Δh после ХМП с применением НДА, имеющих размеры частиц 140, 75, 30, 3-5 нм, и коллоидного SiO_2 составили соответственно 1,2, 1,4, 1,5, 1,3 и 1,1 нм, а Δh соответственно 7,6, 8,0, 8,0, 5,3 и 4,2 нм. По данным РОР каналируемых ионов He^+ при энергии 2 МэВ количество рассеивающих центров, лежащих вне узлов решетки Ge, определенное по высоте и площади пиков в высокоэнергетической области спектра, для ХМП с применением НДА, имеющих размеры частиц 75, 30 и 3-5 нм, и коллоидного SiO_2 соответственно составляет $10,5 \cdot 10^{15}$, $8,2 \cdot 10^{15}$, $8,0 \cdot 10^{15}$ и $7,9 \cdot 10^{15}$ атомов $\cdot \text{см}^{-2}$, при этом параметры R_q , (R_a) в нм лежат соответственно в пределах 1,73–3,14

(1,41 - 2,48), 3,15 - 3,82 (2,25 - 2,4), 1,17 - 1,63 (0,93 - 1,29) и 1,09 - 1,8 (0,85 - 1,25). По данным АСМ после финишной ХМП микротрещины, микро- и нанопарапины не образуются, а шероховатость R_q составляет 0,2 - 0,5 нм в зависимости от технологических режимов. ПЭМ свидетельствует об отсутствии дислокаций обработки.

Таким образом, получены пластины германия с высокими геометрическими характеристиками рабочей поверхности и структурными свойствами приповерхностной области, пригодными для эпитаксии.

У26 Получение поверхностей металлов и полупроводников с сильно измененными оптическими свойствами

Макин В.С., Логачева Е.И.

ФГУП НИИКИ ОЭП, Сосновый Бор, Ленинградская обл., Россия

Рассмотрен вопрос о создании сильно поглощающих излучение видимого диапазона длин волн поверхностей полупроводников и металлов («черный» полупроводник, «черный» металл) под действием серии импульсов лазерного излучения фемтосекундной длительности. Прежде всего, это столбчатые структуры, с высокой поверхностной плотностью и высоким аспектным отношением (1:2), формирование которых идет в несколько этапов и связано с возбуждением и интерференцией поверхностных плазмон поляритонов (начальные неустойчивости), цилиндрических поверхностных плазмон поляритонов (структурирование начальных неустойчивостей) и последующим ростом наностолбов на регулярно структурированных неустойчивостях. Сформированные таким образом вертикальные наностолбы с диаметром основания ~90 нм обеспечивают близкую к 90% поглощательную способность поверхности кремния в полосе длин волн 300 нм, с центральной длиной волны 800 нм [1]. Для уменьшения масштаба формируемых начальных неустойчивостей рельефа облучение полупроводника проводится в воде. Аналогичные структуры наблюдаются при воздействии импульсов фемтосекундной длительности на поверхность титана.

Описанные явления относятся к самоорганизационным, результатом которых является образование упорядоченных структур поверхностей типа «velvet». Такие поверхности могут быть сформированы и иными методами, без использования лазерного излучения [2].

Оптические свойства полупроводников и металлов могут быть сильно изменены за счет формирования на их поверхностях совокупности выступов рельефа конусообразного типа. Такие структуры также могут быть сформированы с использованием импульсного лазерного излучения, преимущественно ультракороткой длительности. Воздействие серии импульсов фемтосекундной длительности на поверхность кремния в окислительной атмосфере (газ SF₆, воздух) приводит к формированию неупорядоченных массивов конусообразных структур (радиус кривизны ≤300-500 нм, высота порядка 1 мкм), имеющих близкую к 100% поглощательную способности в видимой области спектра. При этом поверхность конуса покрыта более мелкими конусообразными наноструктурами, с характерным пространственным масштабом 100 нм, оси которых перпендикулярны локальной поверхности, на которых они образованы.

Поверхность любого металла при воздействии серии импульсов лазерного излучения фемтосекундной длительности структурируется таким образом, что минимальный масштаб сформированных структур рельефа составляет величину несколько десятков нанометров, что приводит к сильному изменению поглощательной и излучательной способности поверхности: в видимой области спектра металл становится «черным» [3]. Обсуждаются причины столь резкого изменения функциональных свойств поверхностей металлов и полупроводников.

Обсуждаются возможные применения наноструктурированных поверхностей полупроводников и металлов в оптоэлектронике.

Литература

1. Макин В.С., Пестов Ю.И., Макин Р.С., Воробьев А.Я. Оптический журнал (2009), т. 76, №9, с. 38-44.

2. Atwater H.A., Polman A. Nature Materials (2010), v.9, pp. 205-213.

3. Vorobyev A.Ya., Makin V.S., Guo Chunlei. Phys. Rev. Lett. (2009), v. 102, p.234301.

Formation of semiconductor and metal surfaces with highly modified optical properties

У27 Современное 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...80) К при тепловой нагрузке на МКС от 0,3 до 2,0 Вт.

Начиная с 2005 года МКС промышленно выпускаются небольшими партиями по заказам различных предприятий, общее количество изготовленных МКС более 250 штук.

Приведены результаты исследований и испытаний нескольких модификаций модульных МКС в различных условиях, а также проводившейся в последнее время модернизации блоков управления МКС.

Сообщаются результаты завершенных в 2010 году испытаний МКС МСМГ-17Г-10/80 КВО.0734.000 космического назначения, обеспечивающей холодопроизводительность более 10 Вт и назначенный ресурс 32000 часов.

Приводятся результаты разработки интегральной МКС Стирлинга массой менее 600 г, имеющей цифровой блок управления полностью на отечественной элементной базе.

Также приведены промежуточные результаты разработки МКС с охладителем с пульсационной трубой и намечены перспективы дальнейшего развития.

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.

У28 Экспериментальная установка для исследования баллона с криогенной заправкой для дроссельной системы охлаждения ИК-приемника

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

Самарский государственный аэрокосмический университет, Самара, Россия

В настоящее время существует необходимость в высококачественной информации с поверхности Земли, при ее дистанционном зондировании в ИК диапазоне с борта космического аппарата или другого летательного аппарата. Как правило, это требует использования криогенных систем охлаждения чувствительных элементов оптико-электронных систем.

Основными криоохлаждителями, реально существующими в настоящее время, являются дроссельные микрокриогенные системы (ДМКС) и газовые криогенные машины (ГКМ) с уровнем термостатирования от 20 до 80 К. Эти системы узко специализированы, и для каждой из них при исследованиях и испытаниях формируется своя методика и разрабатывается экспериментальная установка.

Свою нишу среди криогенных систем, по параметрическим и эксплуатационным характеристикам, занимают баллонные дроссельные микрокриогенные системы (ДМКС). Это расходные (по рабочему телу) системы, содержащие емкость высокого давления (газовый баллон) и микроохладитель.

Одним из вариантов развития таких систем является ДМКС с баллоном, который заполняется рабочим телом в криогенно-жидком состоянии (патент «Топливный баллон» Самарского государственного аэрокосмического университета № 2163699, Россия). Как показывают предварительные аналитические исследования, проведенные в Самарском государственном аэрокосмическом университете, такой баллон может содержать в себе жидкий продукт в течение суток и более.

Применение его в составе ДМКС позволяет увеличить время функционирования дроссельной системы в 1,5 раза при той же общей массе баллона и рабочего тела.

Одной из главных проблем, при создании новой техники, является проведение экспериментальных работ. Потому, для рассматриваемой здесь ДМКС необходимо создать экспериментальную установку, которая обеспечивала бы исследование процессов в таком баллоне, как в режиме хранения в нем рабочего тела, так и в рабочем (расходном) режиме.

Такая установка была разработана. Она включает баллон, систему измерения температуры в различных местах размещения датчиков (криопродукт, газовая полость, внутренний сосуд, изоляция, стенка баллона...), систему измерения и регистрации давления в баллоне, имитатор (по расходу) криоохлаждителя, систему измерения расхода рабочего тела.

Экспериментальные исследования на установке позволяют получить картину изменения давления и температуры в баллоне при различных расходах хладагента и из различных начальных его состояний, т.е. при различных значениях времени бездренажного хранения криопродукта.

Результаты исследований позволяют разработать рекомендации по эксплуатации дроссельной системы, выполненной на базе такого баллона и проводить доводочные работы по баллону и системе в целом.

У29 Взаимосвязь электрических и эксплуатационных режимов фотоприемников с термоэлектрическими охладителями

Аракелов Г.А., Самвелов А.В.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

В настоящее время во многих отраслях науки и техники нашли широкое применение фотоприемники (ФП) на базе многокаскадных термоэлектрических охладителей (ТЭО), реализующих увеличенные перепады температур ($>100\text{K}$).

При этом рассматриваемые изделия, как правило, эксплуатируются в условиях ограниченного теплоотвода, когда комплектующие оптико-электронную аппаратуру радиаторы характеризуются достаточно высокими значениями своих тепловых сопротивлений ($>3\text{K/Wt}$). В этих условиях при выключении ТЭО охлажденные фоточувствительные элементы (ФЧЭ) за очень короткое время (25-30 с) нагреваются до температур, близких к температуре радиатора, т.е. претерпевают аномально жесткий термоудар. В то же время при повышенных температурах окружающей среды выключение ТЭО приводит к нагреву ФЧЭ до температур, превышающих температуры их теплоустойчивости. Указанные эксплуатационные особенности ФП с ТЭО негативно сказываются на конструкционные и фотоэлектрические параметры этих приборов.

Предложены оптимизированные электрические режимы выключения ТЭО, позволяющие снивелировать эти контрпродуктивные факторы.

У30 Создание газодинамического измерителя зазоров цилиндропоршневых пар в микрокриогенных системах охлаждения фотоприёмных устройств

Медведков И.С., Самвелов А.В., Широков Д.А., Хан А.Т.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Во многих отраслях промышленности и научных исследованиях широко применяются цилиндрово-поршневые машины (компрессоры, насосы, детандеры) с газодинамическим подвесом поршней. Газовый зазор используется в парах трения для снижения коэффициента трения, уменьшения тепла, выделяемого при трении и как следствие – износа сопрягаемых узлов. Измеритель газодинамический специально разработан для прецизионного измерения величины зазора газодинамического уплотнения вытеснителя микрокриогенной системы (МКС).

Характерные величины зазоров в газодинамических уплотнениях составляют порядка 10-20 мкм, поэтому задача прецизионного контроля величин зазоров и подбора сопрягаемых пар требует, как правило, дорогостоящего измерительного оборудования. В работе изложен метод, обоснована последовательность калибровки установки, проведения измерений и представлены результаты измерений зазоров цилиндрово-поршневой пары, работающей в условиях газодинамического подвеса, методом измерения расхода проходящего через зазор газа, разработанного для проведения технологического контроля поршней (плунжеров, вытеснителей) изготавливаемых машин.

Описываемый метод может быть применим в условиях массовой сборки охладителей микрокриогенных систем. Метод весьма простой, технологичный, эргономически удобный, достаточно точный и универсальный, так как позволяет проводить проверки подобных механических пар различных устройств машин и механизмов. Метод является альтернативой метода с использованием дорогостоящих инструментальных микроскопов, а также применению ряда калибров, с использованием которых сложно отобрать пары с зазором 20-30 мкм.

УЗ1 Создание программного обеспечения для расчета тепловых труб систем охлаждения радиоэлектронного оборудования

Медведков И.С., Самвелов А.В., Широков Д.А., Хан А.Т.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

В процессе формирования методики расчета тепловых труб (ТТ), работающих в рамках параметров, свойственных задачам охлаждения радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), появляется интерес к оценке величин пределов мощности, ограничивающих рабочий параметр Q – значение переносимой мощности. При этом следует исходить из того, что тепловые потоки в таких задачах будут находиться в пределах нескольких сотен Ватт, а температура стабилизации охлаждаемого элемента – $10 - 10^2$ градусов Цельсия. Несложный анализ задачи охлаждения элементов РЭА дает право утверждать, что наибольший интерес представляет величина капиллярного предела мощности ($Q_{\text{кап. макс}}$) по причине ее относительно малого значения. Капиллярные ограничения вызваны способностью капиллярной структуры (КС) обеспечивать циркуляцию данного теплоносителя только до определенного значения переносимой мощности.

Разработанный алгоритм на основе расчетной методики Буссе, позволил осуществить решение балансового уравнения и поиск значения $Q_{\text{кап. макс}}$. Алгоритм позволяет произвести проверку ТТ на капиллярный предел и оценить величину капиллярного предела мощности. В качестве сопутствующего результата работы алгоритма можно получить распределение давлений по длине ТТ.

Выбранная методика расчета поиска капиллярного предела цилиндрической горизонтальной ТТ вне поля действия массовых сил, ее реализация и разработанное программное обеспечение могут быть использованы для проведения эскизного проектирования тепловых труб, предназначенных для охлаждения РЭА.

УЗ2 Приборы для измерения скорости транспортных средств

¹Анисимов С.Н., Локтионов В.И., ¹Музыкин Е.И., Добровольский Ю.А.,
¹Ковнерев М.Н., Кошавцев Н.Ф.

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

¹ЗАО «Стинс Коман»

Нарушение скоростного режима на автомобильных дорогах сопряжено с повышенной опасностью, что и приводит к большому количеству аварий, зачастую связанных с тяжелыми травмами и даже смертельными исходами.

Для определения скорости движущихся транспортных средств был разработан, испытан и серийно выпускается портативный прибор «АМАТА».

Прибор предназначен для работы в дневное время и состоит из канала наблюдения, канала излучения импульсов лазера и канала регистрации отраженного от автомобиля лазерного импульса.

Основные технические характеристики приборы «АМАТА»:

- Диапазон измеряемых скоростей, км/ч – 1,5...250
- Дальность определения номерного знака, м – 15...250
- Максимальная дальность измерения скорости, м – 700
- Погрешность измерения прибора, км/ч – 1
- Масса (со встроенными аккумуляторами), кг – 1,5
- Потребляемая мощность, Вт – 6

Прибор обеспечивает фотографирование транспортного средства, определения дальности, на которой проводится измерение скорости движения, дата и время регистрации. Все эти данные заносятся в квитанции о нарушении скоростного режима.

Прибор «АМАТА» не позволяет работать в ночное время, когда нарушений скоростного режима не меньше чем днем, а последствия более тяжелые.

Поэтому нами разработан дневно-ночной прибор, обеспечивающий измерение скорости в темное время суток. Прибор построен на ЭОП 5-ого поколения, представляющий классический ЭОП, стыкованный с ПЗС матрицей. Сигналы после ПЗС матрицы обрабатываются для повышения качества изображения и выработки сигнала для регулировки яркости.

Канал дальнометрирования построен на основе использования того же ЭОП 5-ого поколения. Наблюдение транспортных средств обеспечивается в пассивном режиме. В приборе предусмотрено подавление ярких пятен от встречных фар автомобилей.

Использование импульсного источника питания ЭОП позволяет работать с прибором и в дневное время.

Технические характеристики прибора:

- Максимальная дальность измерения скорости, м – 500
- Дальность определения номерного знака, м – 100
- Погрешность измерения прибора, км/ч – ± 1
- масса, кг – 1,2
- энергопотребление, Вт – 5

В приборе предусмотрена регистрация всех необходимых данных аналогичных в приборе «АМАТА». Предусмотрен вывод информации на персональный компьютер.

У33 Исследование влияния конструкции охлаждаемой диафрагмы на фоновую составляющую сигнала инфракрасного фотоприемника

Быков В.В., Добровольский П.П., Корсаков Ю.М., Федоринин В.Н., Хрящев С.В.

Филиал ИФП СО РАН «КТИПМ», Новосибирск, Россия

Инфракрасные оптико-электронные системы (ИК ОЭС) используются в широком диапазоне температур окружающей среды. Вследствие этого фоновая составляющая сигнала существенно изменяется.

Для того чтобы излучения фонового и полезного сигналов не приводили к насыщению фотоприемника используют охлаждаемые диафрагмы и фильтры. Как правило, для автономных ИК ОЭС при охлаждении фотоприемника используются микрокриогенные системы на основе газовых криогенных машин, которые имеют ограниченную хладпроизводительность, что предъявляет особые требования к массо-габаритным характеристикам охлаждаемых диафрагм и фильтров.

В данной работе исследуется изменение фоновой составляющей сигнала от конструктивных особенностей охлаждаемых диафрагм и фильтра. Приводятся экспериментальные и расчетные результаты для различных конструкций диафрагм и положений фильтра.

У34 Формирование постоянного элементарного поля зрения в широкоугольных оптических системах

Макаренко А.В., Правдивцев А.В., Юдин А.Н.

ОАО «НПК «Системы прецизионного приборостроения», Москва, Россия

С появлением матричных приёмников излучения (МПИ) большой размерности, для решения определённых задач, становится целесообразным в тепловизионных и тепlopеленгационных системах применять широкоугольные оптические системы. В свою очередь, тепловые пеленгационные станции требуют, для случая статистически однородных фонов, равномерного потенциального отношения «сигнал/фон» по всему полю зрения. В связи с этим возникает вопрос получения постоянного, по плоскости приёмника, мгновенного (элементарного) поля зрения системы. Необходимо отметить, что этот аспект для узкопольных систем практически никогда не рассматривается.

В работе изложены предварительные результаты, демонстрирующие один из подходов к решению этой задачи. Для этого вводится дисторсионная функция специального вида. Её применение на этапе оптимизации широкоугольной оптической системы, сопряжённой с матричным приёмником излучения, даёт искомый результат – равномерное, по плоскости приёмника, элементарное поле зрения системы. Для подобной дисторсионной функции получено в явном замкнутом виде аналитическое выражение. Рассматривается матричный приёмник с эквидистантным шагом решётки.

Данное теоретическое положение было подтверждено посредством синтеза широкоугольного светосильного объектива, работающего в диапазоне 3-5 мкм и сопряжённого с охлаждаемым МПИ. Охлаждаемая апертурная диафрагма расположена после объектива перед фоточувствительной плоскостью приёмника. Данный объектив, возможно, использовать в тепловизионных и/или тепlopеленгационных приборах. Синтез проводился в среде САПР Zemax, при этом реперные точки дисторсионной функции вводились в целевую функцию оптимизации. Расширенный анализ характеристик объектива, как-то зависимость от полевого угла элементарного поля зрения, коэффициентов пропускания и абберационного виньетирования, проводился в пакете MathCAD. Данные для расчёта импортировались из среды Zemax.

В результате был получен объектив со следующими характеристиками: угловое поле зрения в пространстве предметов – 116 градусов; относительное отверстие – 1:1; концентрация энергии в квадрате 30×30 мкм – более 90 %; неравномерность мгновенного поля зрения – менее 0,1%; неравномерность освещённости – менее 36%. Кроме того был получен вариант у которого неравномерность мгновенного поля зрения хуже – менее 17,5 %, но неравномерность освещённости по полю зрения лучше – менее 1,5 %, другие характеристики аналогичны первому варианту. Необходимо отметить, что в конструкции объективов не применяются оптические элементы с сферическими поверхностями.

Таким образом, описываемый подход, в отличие от «метода итеративной подгонки», существенно сокращает сроки и стоимость разработки широкоугольных оптических трактов тепловых пеленгационных станций, наряду с повышением их функционального качества.

УЗ5 Методика расчета полусферических яркостей атмосферы в ультрафиолетовой области спектра

Трухина Н.Ю.

ФГУП «Государственный институт прикладной оптики», Казань, Россия

Яркость атмосферы в ближней ультрафиолетовой (УФ) области спектра определяется процессом распространения солнечного излучения в атмосфере. Атмосфера и взвешенные в ней мельчайшие частицы аэрозоля являются рассеивающей средой, где излучение, взаимодействуя с элементарными объемами окружающей среды, поглощается или рассеивается, т.е. изменяет направление распространения. Кроме того, в этом диапазоне длин волн расположена мощная полоса поглощения озона. Если пренебречь эффектом поляризации, оптические свойства атмосферы будут описаны полностью, если задано распределение следующих ее параметров и характеристик: $\sigma_e(h, \lambda)$ – коэффициент ослабления, $\sigma_p(h, \lambda)$ – коэффициент рассеяния, $\beta(h, \lambda, \varphi)$ – индикатриса рассеяния.

Для определения вышеперечисленных оптических характеристик выбрана оптическая модель «Стандартная модель атмосферы». Альbedo подстилающей поверхности в УФ диапазоне спектра имеет небольшое значение и меняется в небольших пределах. В настоящей методике используется постоянное значение альbedo равное 0,05.

Поле яркости однозначно определяется условиями освещения и отражения, а также распределением параметров $\sigma(h, \lambda)$, $\Lambda(h, \lambda)$ и $\beta(h, \lambda, \varphi)$. Для их определения необходимо решить уравнение переноса (УП). Трудности решения УП заключаются в большой размерности задачи. В приближении плоской геометрии УП имеет три переменные: h - высота, φ, ν - азимутальный и полярный углы. Для уменьшения размерности задачи можно отказаться от учета азимутальной зависимости.

Решение УП проводилось методом удвоения (МУ), который является довольно простым и физически наглядным методом. Недостатком является необходимость приближения однородной атмосферы выше и ниже объекта. От этого приближения можно отказаться, если использовать аналог МУ - метод сложения, который и используется в этой методике (Рис. 1).

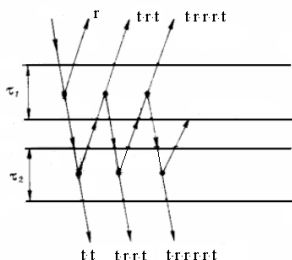


Рисунок 1. Графическое представление метода сложения

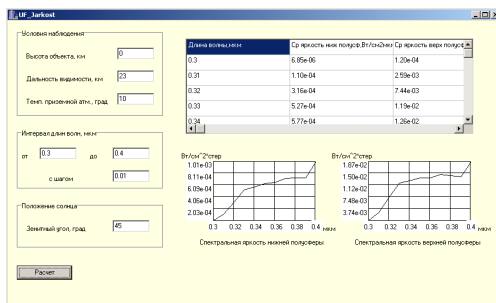


Рисунок 2. Окно программы «УФ-Яркость»

Созданная программа в среде С++ Builder, позволяет считать полусферические потоки яркости в УФ области спектра. Исходными данными являются задаваемые пользователем оптические и геометрические условия наблюдения. Выходными данными программы являются средняя яркость полусферы (верхняя и нижняя) в численном виде и спектральная яркость в виде графика (рис.2).

У36 Метод Фурье-дескрипторов в задачах классификации контуров объектов

Суслин К.В., Шкурский Б.И.

ФГУП «ПО «УОМЗ», филиал «Урал-Геофизика», Москва, Россия

Проанализирован метод Фурье-дескрипторов для распознавания объектов по инвариантам контуров их изображений. Известно, что многообразие сдвигов, масштабов и плоских поворотов двумерных изображений приводит к необходимости при обнаружении и классификации объектов производить «переборки» по соответствующим параметрам изображения объекта. Это существенно (на порядки) увеличивает объём счёта, а при попытках его уменьшения – снижает вероятность принятия правильных решений. Многообразие параметров изображений объектов удаётся сократить на многие порядки, используя представление контуров этих изображений в виде Фурье-дескрипторов, инвариантном к аффинным преобразованиям изображений – к их сдвигу, плоскому повороту и к изменению масштаба.

В работе усовершенствован метод Фурье-дескрипторов в части оценки угла поворота изображения и присвоения дескрипторам весовых коэффициентов, приближенных к оптимальным в каком-либо смысле. Рекомендовано дескрипторы рассчитывать по эквидистантным выборкам контуров. Рекомендованы также формулы для учёта угла поворота изображения объекта и для весовых коэффициентов гармоник в функции подобия.

У37 Коррекция неравномерности оцифровки данных с многоканальных ФПУ пространственным Фурье-преобразованием в режиме реального времени

Денисов А.И., Фаткуллин А.Э., Козлов А.В., Нигматуллин Т.М., Денисов И.Г.

ФГУП «НПО «ГИПО», Казань, Россия

При построении тепловизионного изображения малоконтрастных фоноцелевых обстановок, одной из проблем, приводящей к ухудшению качества изображения, является остаточный геометрический шум, проявляющийся в виде периодических пространственных полос на изображении (рис 1а). Данный эффект связан с использованием многоканальной системы оцифровки данных с матричного фотоприемного устройства [1], и объясняется разбросом электрических характеристик элементов, входящих в различные каналы оцифровки данных. Их коррекция аппаратными методами оказывается невозможной или экономически необоснованной. Для коррекции остаточной геометрической неравномерности разрабатываются различные алгоритмы цифровой обработки изображений [2]. Наибольший практический интерес представляют алгоритмы, реализуемые в реальном времени, поскольку они позволяют повысить качество тепловизионного изображения.

В модуле цифровой обработки изображения тепловизионных каналов, нами предложен, реализован и внедрен алгоритм корректировки геометрических шумов, проявляющихся в виде полос на ИК изображении (рис 1а).

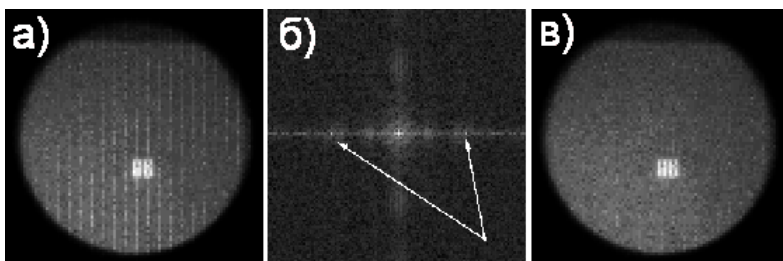


Рис 1. а) Оригинальное ИК изображение мира на однородном фоне; б) коэффициенты двумерного преобразования Фурье (1); в) отфильтрованное изображение.

В основе алгоритма лежит фильтрация в частотной области двумерного преобразования Фурье [3]. Корректирующий фильтр удается построить благодаря наличию выделенной пространственной частоты, соответствующей количеству каналов оцифровки n . На коэффициентах пространственного преобразования Фурье [3]

$$F(u, v) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \exp(-i2\pi(ux/M + vy/N)) \quad (1)$$

это отражается в появлении пиков, соответствующих определенной пространственной частоте $u=M/N + \Delta u, v=0 + \Delta v$ (выделены стрелками на рис. 1б).

Устранение данных частот реализуется с помощью преобразования [3] $F_{Filter}(u,v)=F(u,v)H(u,v)$, где фильтр $H(u,v)$ выбирается для достижения оптимального компромисса между удалением геометрических шумов (полос) и внесением минимальных искажений в изображение.

1. G.R. Hopkinson, T.M. Goodman, S.R. Prince 'A guide to the use and calibration of detector array equipment' SPIE Press (USA), 2004 , (216)
2. M. Hayat, S. Torres, E. Armstrong and B. Yasuda, "Statistical algorithm for non-uniformity correction in focalplane arrays," *Applied Optics-IP38*, pp. 772–780, 1999.
- В. Narayanan, R. Hardie, and R. Muse, "Scene-based nonuniformity correction technique that exploits knowledge of the focal-plane array readout architecture", *Applied Optics-IP 44*, pp. 3482-3491, 2005
3. Р. Гонсалес, Р. Вудс, "Цифровая обработка изображений ", Техносфера, 2005, (1072).

У38 Определение положения цели с помощью разложения Фурье-Уолша

Колесников Г.В.

Филиал ФГУП ПО «УОМЗ» «Урал-СибНИИОС», Новосибирск, Россия

Целью работы является точное определение положения прямоугольной цели на фоточувствительном массиве. Подобными целями являются изображения четырехштриховых миш для тестирования тепловизионных систем, также штриховые элементы угломерных и линейных кодовых лимбов [1].

В основе алгоритма вычисления точного положения может использоваться разложение полученного сигнала МФПУ в ряд Фурье-Уолша [2,3]. Базис разложения выбирается исходя из вида цели, в простейшем случае - одиночный темный штрих на светлом фоне - им могут быть бинаризованные синус и косинус. Для практического использования достаточно вычисления минимум одной гармоники разложения, имеющей наибольшую «схожесть» с раскладываемым сигналом.

Точное значение положения цели определяется через фазу гармоники разложения и условную фазу «нуля»:

$$\Delta \rho_{ix} = \frac{\Delta \varphi \cdot L}{2\pi} \cdot M \quad (1)$$

где:

$\Delta \varphi$ - разность фаз гармоники разложения и «нуля»;

L - длина отрезка разложения в ряд Фурье-Уолша;

M - масштаб изображения.

Показано, что для изложенного способа наибольшее влияние оказывают контраст изображения и точность предварительного определения масштаба. В тоже время при должном количестве отсчетов менее значимы размытость границ цели и выбросы регистрируемого сигнала.

Существенным преимуществом способа является возможность его представления в матричной форме, что существенно облегчает аппаратную реализацию и увеличивает быстродействие вычислений.

Литература:

1. Колесников Г.В. К вопросу автоматизации определения превышений. Журн. «Известия ВУЗов: геодезия и аэрофотосъемка» № 1 -2010, с.6-10.
2. Голубов Б.И., Ефимов А.В., Скворцов В.А., Ряды и преобразования Уолша: теория и применения. Изд. 2-е, испр. и доп.-М.: Издательство ЛКИ, 2008.- 352 с.
3. Харкевич А.А. Спектры и анализ. Изд. 4-е. – М.: Издательство ЛКИ, 2007. -240 с.

У39 Оптимизация тракта обработки сигнала лазерного дальномера при учёте статистики параметров эхо-импульсов на множестве ракурсов лоцируемых объектов

Винецкий Ю.Р., Забелин С.В., Титов А.Г.

ФГУП «ПО «ВОМЗ», филиал «Урал-Геофизика», Москва, Россия

При построении тракта приема-обработки сигналов систем лазерного дальнометрирования (СЛД) воздушных объектов (ВО) стандартный подход состоит в том, чтобы оптимизировать частотную полосу применительно к длительности эхо-сигнала, приблизительно равной длительности излучаемого импульса (порядка единиц наносекунд), а требования к пороговому параметру определять исходя из эффективной поверхности рассеяния ВО при нулевом ракурсе.

Игнорируемое при таком подходе возможное уширение импульса при его отражении от ВО, как и разнообразие возможных ракурсов с сильно различающимися ЭПР, приводит к тому, что при ориентации на предельно короткие импульсы достижимый порог обнаружения завышается, что связано с известным фактом роста ВЧ-шума усилителя при сокращении длительности принимаемого импульсного сигнала. Итогом является возрастание пороговой энергии принимаемых сигналов и уменьшение максимальной измеряемой дальности.

Для корректного учета вышеуказанных эффектов уширения эхо-сигналов при отражении и вариаций их эффективной длительности на всем многообразии вероятных ракурсов лоцируемых ВО были применены математические модели [1, 2], позволяющие корректно рассчитать форму эхо-импульса для типовых ВО (самолет, вертолет) для любого ракурса. Для удобства анализа введены понятия эффективных длительностей эхо-импульса (τ_{05} и τ_{08}) – длительностей, заключающих 50% и 80% полной энергии отраженного сигнала, - и рассчитаны гистограммы распределения этих длительностей на множестве ракурсов. В результате установлено:

1) При отражении импульс существенно уширяется: средние значения τ_{05} и τ_{08} на множестве ракурсов ВО “самолет” почти на порядок выше длительности исходного импульса. Это позволяет существенно сместить полосу усилителя в сторону низких частот, тем самым снижая пороговую энергию и увеличивая среднюю дальность измерения. 2) Для указанных ВО имеет место выраженная отрицательная корреляция: чем больше ЭПР при данном ракурсе, тем, как правило, меньше τ_{05} и τ_{09} .

Поскольку естественно оптимизировать настройку тракта применительно к ракурсам с меньшими ЭПР, это автоматически означает оптимизацию по отношению к еще большим длительностям, чем средние τ_{05} , τ_{09} , что еще более усиливает предыдущий вывод.

Показано, что при следовании рекомендациям работы выигрыш в величине максимальной измеряемой дальности может составлять в практических случаях более 30%.

Литература

1. Л.В. Лабунец. Теория и методы цифрового моделирования полей, целей и сигналов в оптических и радиолокационных автономных информационных системах. Дисс. на соискание учёной степени доктора техн. наук. М., МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2002 г., 333 с.

2. Непогодин И.А., Козенко А.А. Статистическая модель эффективной площади рассеяния тел в оптическом диапазоне // Импульсная фотометрия (ЖЛ). - 1984. - Вып. 8. - С. 21-25.

У40 Предельные возможности «смотрящей» ИК-матрицы в режиме тепlopеленгации: оптимальный размер пиксела и ассоциированный инвариант обнаружения

Винецкий Ю.Р.

ФГУП «ПО «УОМЗ», филиал «Урал-Геофизика», Москва, Россия

Для правильного проектирования систем тепlopеленгации на основе «смотрящих» ИК-матриц важно знание пределов возможностей этих приборов в режиме обнаружения объектов, чьи геометрические проекции в плоскости изображения характеризуется субпиксельными размерами. В частности, интерес представляют зависимости пороговой мощности излучения W_t таких объектов от размера пиксела матрицы, относительного отверстия объектива (ОО), и оптимальные значения названных параметров. Традиционно принято считать, что размер пиксела должен быть согласован с характерным размером пятна рассеяния точки (ПРТ) – иначе говоря, в пиксел должна попадать преобладающая часть мощности, содержащаяся в ПРТ. Критический анализ, учитывающий как характер распределения мощности в ПРТ, так и то, что коэффициент сбора пикселем мощности пятна зависит от случайного положения («фазы») центра пятна относительно центра пиксела, показывает, что вышеназванные традиционные представления неверны. Для предельного случая дифракционного ПРТ, практически осуществляющегося в системах с $F\# > 2$, и равномерного спектра шума пиксела найдена простая аналитическая зависимость W_t от отношения размера пиксела a к дифракционному радиусу (радиусу Эйри) r_{Ae} . Эта зависимость имеет выраженный минимум при $a = r_{Ae}$, то есть оптимальный размер пиксела оказывается равным *половине* диаметра пятна рассеяния. Установлено также, что при оптимальном выборе размера пиксела пороговая мощность *не зависит от ОО объектива* и в предельном случае, реализуемом в условиях режима ограничения фотоприемника шумами равновесного фона (BLIP) при квантовой эффективности, равной единице, определяется выражением $\sqrt{\Phi(\Delta\lambda, T)} \cdot \frac{1}{\sqrt{\tau_{int}}}$, где $\Phi(\Delta\lambda, T)$ - плотность потока фотонов, излучаемых АЧТ с температурой T в полусферу, τ_{int} - время накопления.

Ввиду универсального характера установленной зависимости предложено, по аналогии с джонсоновской удельной обнаружительной способностью, ввести в качестве инварианта обнаружения, характеризующего предельные возможности СМ при обнаружении точечных объектов, величину P^* , представляющую собой обратную предельную обнаруживаемую мощность W^* при единичном времени накопления, и использовать для нее специальный термин - *пеленгационная способность*, или, в англоязычном варианте «*pointectivity*» (*om PointDetectivity*). Представлены значения P^* для употребительных спектральных диапазонов. Для спектрального диапазона 3-5 мкм значение P^* составляет приблизительно $3,2 \cdot 10^{14}$ Вт⁻¹Гц^{1/2}. $W^* = 3,32 \cdot 10^{-17}$ Дж·см

У41 Инфракрасная камера на основе МФПУ InGaAs/InP

¹Горелик Л.И., ^{1,2}Лазарев П.С., ¹Полесский А.В., ^{1,3}Сидорин А.В.,
^{1,3}Смирнова А.Д., ^{1,2}Соляков В.Н.

¹ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

²Московский физико-технический университет (ФУ), Долгопрудный, Россия

³МГТУ им. Баумана, Москва, Россия

В настоящее время одним из наиболее актуальных направлений развития оптико-электронного приборостроения является переход от приборов ночного видения (ПНВ) на основе вакуумных электронно-оптических преобразователей (ЭОП) к приборам на основе твердотельных матричных фотоприемных устройств (МФПУ). Такие приборы имеют ряд существенных преимуществ, которые определяют будущее развитие этого направления.

Проведены исследования макетного образца оптико-электронной системы (ОЭС) на основе твердотельной матрицы InGaAs/InP, разработанной во ФГУП «НПО «Орион».

Основу прибора составляет МФПУ и блок формирования изображения (БФИ).

БФИ состоит из двух функциональных узлов:

- Узел формирования, стандартного телевизионного сигнала для телевизионного варианта камеры, и специализированного формата видеосигнала для варианта камеры с цифровым выходом.

- Специализированное программное обеспечение (ПО).

Разработанное ПО, обеспечивает калибровку прибора, устранение дефектов, изменение временных режимов работы МФПУ, индикации изображения.

Проведена экспериментальная апробация камеры, как в лабораторных, так и в полевых условиях.

Внешний вид камеры и пример полученного изображения приведены на рисунках 1 и 2.



Рисунок 1. Внешний вид камеры

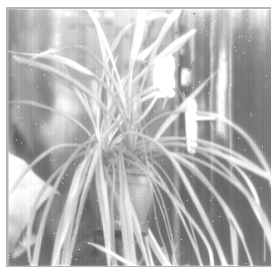


Рисунок 2. Телевизионное изображение комнатного растения

У42 Формирование панорамного изображения в оптико-электронной системе с зеркальным шарниром и МФПУ на основе InSb, работающего в режиме SNAP SHOT

¹Горелик Л.И., ^{1,3}Лазарев П.С., ¹Полесский А.В., ^{1,2}Реутова Е.О., ^{1,2}Сидорин А.В.,
^{1,3}Соляков В.Н., ^{1,3}Тренин Д.Ю.

¹ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

² МГТУ им. Баумана, Москва, Россия

³ Московский физико-технический университет (ФУ), Долгопрудный, Россия

Системы кругового обзора панорамы (СКО) образуют специализированный класс инфракрасных систем, решающих задачи обнаружения объектов по их тепловому излучению в сферическом поясе пространства.

К одной из наиболее важных задач при построении СКО следует отнести выбор наиболее эффективного способа обзора пространства. Распространены системы, в которых обзор пространства производится с помощью оптического зеркального шарнира. В этом случае фотоприёмное устройство (ФПУ) неподвижно (в этом преимущество), но необходима компенсация поворота изображения. Такой способ применяется для систем на основе ФПУ с одной или несколькими длинными фоточувствительными линейками. Применяемые оптические компенсаторы вращения изображения являются трудоёмкими и дорогостоящими оптико-механическими узлами прибора. Их использование значительно усложняет оптический тракт и увеличивает весогабаритные характеристики.

С учетом указанных проблем особый интерес представляет создание системы, в которой используется специальное матричное фотоприёмное устройство (МФПУ) и осуществляется цифровая компенсация поворота.

В изготовленной СКО с цифровой компенсацией поворота специальное программное обеспечение (ПО) формирует тепловизионное изображение с учетом особенности движения МФПУ. В предложенном способе построения СКО используется матрица, работающая в режиме Snapshot с временами накопления близкими ко времени экспозиции каждого элемента зоны обзора.

Доклад содержит результаты макетирования СКО с цифровой компенсацией поворота изображения на основе МФПУ ФУК11М формата 256×256 элементов из InSb, разработанного и серийно выпускаемого во ФГУП «НПО «Орион».

Пример панорамного тепловизионного изображения, полученного с помощью макета, приведен на рисунке 1.

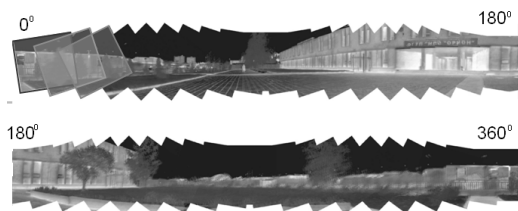


Рисунок 1. Тепловизионное панорамное изображение здания ФГУП «НПО «Орион», полученное тепловизионным модулем с цифровой компенсацией поворота изображения

У43 Формирователь сигналов изображения на основе МФПУ формата 320×256 из InSb

^{1,3}Соляков В.Н., ¹Кортиков М.В., ²Катаев О.В., ²Трунов Г.Л., ²Соломахин П.А.

¹ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

² НИИ МВС ЮФО, Таганрог, Россия

³ Московский физико-технический университет (ФУ), Долгопрудный, Россия

Разработан формирователь сигналов изображения (ФСИ) на спектральный диапазон 3...5 мкм, включающий матричное фотоприемное устройство (МФПУ), блок сопряжения (БС) и блок электронной обработки (БЭО). МФПУ включает матрицу фоточувствительных элементов на основе InSb-фотодиодов и охлаждаемую схему считывания и мультиплексирования сигналов в фокальной плоскости.

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) 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 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 (МОВ) 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.

ФСИ 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; частота смены кадров на цифровом выходе - 50 Гц; задержка вывода кадров на ТВ монитор относительно темпа ввода сигналов от МФПУ мс не более 40 мс. Обеспечивается разность температур, эквивалентная шуму мене 30 мК.

У44 Двухдиапазонная тепловизионная система на основе матричных фотоприемных модулей из $CdHg_{1-x}Te_x$ и $InSb$

¹Горелик Л.И., ^{1,2}Дрогайцева Е.В., ^{1,3}Лазарев П.С., ¹Полесский А.В.,
^{1,2}Сидорин А.В., ^{1,3}Соляков В.Н., ^{1,3}Тренин Д.Ю.

¹ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

² МГТУ им. Баумана, Москва, Россия

³ Московский физико-технический университет (ФУ), Долгопрудный, Россия

Двухдиапазонные тепловизионные системы - одно из наиболее быстро развивающихся направлений оптико-электронного приборостроения. Фактически оно является следующей ступенью эволюции тепловизионных систем. Двухдиапазонные системы, по сравнению с однодиапазонными существенно информативнее, они могут работать в более сложных метеоусловиях, обладают повышенной помехозащищенностью. В случае работы системы в режиме тепловизора - радиометра не требуется априорных данных о коэффициенте излучения и т.д.

Разработан макетный образец двухдиапазонного тепловизионного прибора на базе серийно выпускаемых в ФГУП «НПО «Орион» матричных фотоприемных устройств (МФПУ) на спектральные диапазоны 3...5 и 8...12 мкм ФУК11М и ФУК10М.

Тепловизионная система имеет следующие основные характеристики:

Спектральный диапазон, мкм	3...5	8...12
Формат МФПУ	256×256	256×256
Шаг элемента, мкм	35	30
Фокусное расстояние объектива, мм	80	70
Частота кадров, Гц	300	100
Температурная чувствительность, К	0,06	0,07

На базе разработанного прибора проведены исследования по получению синтезированных тепловизионных изображений. Проведена апробация различных алгоритмов синтеза тепловизионных изображений: получены изображения в режиме «цветовой температуры» (отношение сигналов в спектральных диапазонах), проверен разработанный во ФГУП «НПО «Орион» алгоритм для обработки слабоконтрастных изображений и т.д.

На рисунке 1 приведен пример использования алгоритма для слабоконтрастных объектов, апробированного в макете двухдиапазонного прибора.

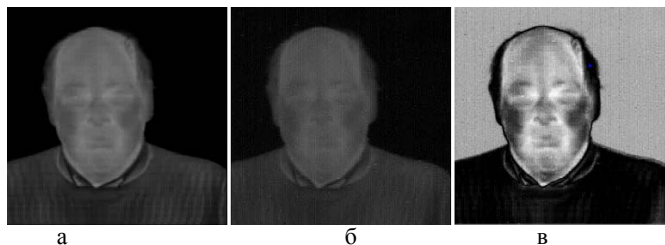


Рисунок 1. Обработка в двухдиапазонной системе с использованием алгоритма слабоконтрастных изображений а – спектральный диапазон 3...5 мкм, б – 8...12 мкм, в – результат «синтеза»

У45 Спектрально-динамический метод пассивного измерения дальности до воздушных объектов по информации тепlopеленгационного канала

Винецкий Ю.Р., ¹Супрунов В.В., ¹Кугут С.Ф.

ФГУП «ПО «УОМЗ», филиал «Урал-Геофизика», Москва, Россия

¹ 30 ЦНИИ МО РФ, Щелково-10, Моск. обл., Россия

Широко применяемый метод лазерного дальнометрирования воздушных объектов (ВО) обладает целым рядом недостатков, присущих всем методам активного зондирования. Это заставляет искать альтернативные – пассивные способы определения дальности до воздушных объектов с помощью бортовых информационных каналов.

В работе предложен пассивный метод дальнометрирования ВО по информации, поступающей от бортовых тепловизионных/тепlopеленгационных каналов.

Метод назван спектрально-динамическим, так как основан на анализе динамики отношения спектральных компонент регистрируемого теплового изображения ВО в различных спектральных диапазонах.

Представлено обоснование, расчетные формулы (алгоритмы) и оценки предельных возможностей метода. Расчеты подтверждены результатами статистического моделирования методом Монте-Карло в условиях априорно неопределенных коэффициентов пропускания атмосферы на трассе и скорости дальнометрируемого объекта.

У46 Обнаружение дефектных элементов фотоприемных устройств по сигналам сцены

¹Жегалов С.И., ^{1,2}Соляков В.Н., ^{1,2}Фетюхина В.Г.

¹ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

² Московский физико-технический университет (ФУ), Долгопрудный, Россия

Общая схема устранения дефектов в фотоприемных устройствах состоит из обнаружения дефектных элементов и последующего исправления заменой на сигналы соседних недефектных элементов.

Обнаружение дефектных элементов обычно осуществляется в процессе калибровки, использующей эталонные сигналы.

При работе по сцене общая схема устранения дефектов «обнаружение + исправление» не меняется. Изменения касаются только методики обнаружения ошибок и обусловлены «неэталонностью» сигнала сцены.

В предлагаемой методике представление дефектов основывается на модели неоднородности элементов ФПУ, по которой к дефектам относятся элементы с большими отклонениями по чувствительности, шуму и смещению.

Для обнаружения дефектов используются средние сигналы элементов, дисперсии, автоковариации со сдвигом по времени на 1 отсчет и дисперсии разности соседних отсчетов элементов.

Дисперсии сигнала подразделяются по факторам сцены, временного шума и дефектов. Это позволяет отделить проявления потоков сцены, временной шум и собственно неоднородность от проявлений дефектов. По остаточной дисперсии - проявлениям дефектов - строится гистограмма, устанавливаются пороги браковки и определяются дефектные элементы.

Методика анализа одинакова для дефектов по чувствительности, смещению и шуму. Общий состав дефектов образуется объединением этих типов дефектов. Методика аналогична для сканирующих ФПУ и матричных.

Исследовались сканирующее 4×288 ФПУ и матричное 128×128.

Коррекция реальных изображений показала работоспособность метода обнаружения дефектов по сцене.

У47 Статистический подход в задаче автоматической селекции дефектных элементов ФПУ ИК-диапазона

Галянтич А.Н.

Филиал ФГУП «ПО «УОМЗ» «Урал-СибНИИОС», Новосибирск, Россия

Технология производства современных многоэлементных фотоприемных устройств (МФПУ) ИК диапазона предполагает некоторое количество дефектных элементов. Задача автоматической селекции дефектных элементов является крайне актуальной, особенно с учетом того, что для современных полноформатных МФПУ допустимое число дефектных элементов может составлять достаточно большое количество (до 1%).

Производители МФПУ ИК-диапазона рекомендуют для своих изделий автоматизированную процедуру селекции дефектных элементов. Данная процедура заключается в измерении для каждого фоточувствительного элемента (ФЧЭ) его параметров, таких как абсолютный отклик, чувствительность, уровень шума. Селекция дефектных элементов производится на основе пороговой процедуры, при этом величина порога для каждого измеренного параметра привязывается к среднему по МФПУ значению. Использование данной процедуры позволяет получить визуально приемлемое качество тепловизионного изображения. Как дополнительное преимущество можно отметить, что полученные в результате данные можно использовать при последующих сеансах работы. Таким образом, допускается производить процедуру поиска дефектов достаточно редко, раз в несколько месяцев работы прибора, или еще реже.

Однако данный подход оказался неприемлемым при построении тепловизионных систем, когда тепловизионное изображение подается на блок обнаружения малоразмерных объектов, с размером близким к одному элементу изображения. Указанная процедура поиска дефектов, при визуально приемлемом качестве изображения, приводит к недопустимо высокому уровню ложных срабатываний. Количество ложных обнаружений в данном случае можно понизить двумя методами: повышением порога обнаружения либо более тщательной селекцией дефектных элементов. Повышение порога обнаружения не всегда допустимо, поскольку приводит к снижению вероятности правильного обнаружения. Попытка произвести более тщательный отсев дефектных элементов по вышеизложенному алгоритму с применением более жестких порогов также не привела к положительному результату.

Предлагается использовать в качестве процедуры селекции дефектов рабочий алгоритм пеленгации. При проведении процедуры селекции дефектных элементов МФПУ засвечивается равномерным эталонным полем, и все обнаруженные объекты фиксируются как дефекты. Данная процедура производится в течение некоторого времени при каждом включении, после чего прибор считается готовым к работе. Использование алгоритма обнаружения объектов при селекции дефектов позволяет существенно снизить уровень ложных тревог без изменения порогов обнаружения в основном алгоритме.

В процессе проведения экспериментов выявлено, что использование штатного алгоритма обнаружения в его непосредственном виде (без каких-либо

модификаций) является неэффективным, и не позволяет получить предельных значений вероятности ложного обнаружения. Необходима модификация алгоритма пеленгации, позволяющая получить заданный уровень ложных тревог, при минимальном объеме тестирующей выборки и минимальной вероятности пропуска дефектных элементов. Предварительный анализ экспериментальных данных показал, что параметры элементов классифицируемых как дефектные являются нестационарными. На основании экспериментальных данных проведена модификация и оптимизация алгоритма, которая позволяет производить селекцию дефектных элементов, и обеспечивает приемлемый уровень вероятности ложного обнаружения.

У48 Моделирование трехточечной коррекции неоднородности фотоприемных устройств

¹Жегалов С.И., ^{1,2}Соляков В.Н., ^{1,2}Фетюхина В.Г.

¹ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

² Московский физико-технический университет (ФУ), Долгопрудный, Россия

Представлены результаты моделирования линейаризированной трехточечной коррекции для матричного фотоприемного устройства (ФПУ) при использовании для калибровки опорных сигналов трех уровней интенсивности.

Схема модели - вначале на модель ФПУ с неоднородностью, дефектами и временным шумом последовательно подаются, также смоделированные, калибрующие сигналы трех уровней и определяются дефектные элементы и корректирующие коэффициенты для недефектных. Затем на вход ФПУ подается последовательность кадров реальной тепловой сцены и корректируется выходной сигнал. В качестве тепловой сцены используются выходные кадры тепловизора. Дефекты исправляются по скорректированным недефектным элементам.

Критерий качества корректирования – соответствие по корреляции и по среднеквадратичному отклонению входной и скорректированной сцены.

Результаты трехточечной коррекции сопоставлялись с двухточечной коррекцией.

Рассматривались три варианта трехточечной коррекции:

- основной – корректирующие коэффициенты C_i^k, A_i^k, B_i^k элемента i матрицы определялись минимизацией суммы квадратов разностей скорректированного сигнала этого элемента и сигналов опорного элемента;

- корректирующие коэффициенты определялись, используя только средние сигналы элементов матрицы и опорного элемента;

- вначале находились соответствующие двухточечной коррекции коэффициенты A_i^k и B_i^k , а затем корректура для скорректированного по двухточечной схеме сигнала (вариант «2+1»-коррекции).

Моделирование показало улучшение качества трехточечной коррекции перед двухточечной. Из трех вариантов трехточечной коррекции вариант «2+1» предпочтительнее из-за простоты.

Предполагаемое развитие модели – экспериментирование с трехточечной коррекцией по сигналам сцены.

У49 Условия и возможности коррекции неоднородности фотоприемных устройств по сигналам сцены

¹Жегалов С.И., ^{1,2}Соляков В.Н., ^{1,2}Фетюхина В.Г.

¹ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

² Московский физико-технический университет (ФУ), Долгопрудный, Россия

Для коррекции неоднородности фотоприемных устройств (ФПУ) в настоящее время применяется метод двухточечной коррекции по опорным сигналам. Необходимость подстройки эталонов под сцену и соображения по сокращению состава оборудования инициируют поиск и разработку методов коррекции по сцене без использования эталонов или же снижение требований к опорным источникам.

Согласованные со сценой эталонные сигналы являются, по сути, наилучшей калибрующей сценой, однородной по элементам ФПУ и во времени.

Первое условие калибрующей сцены – согласованность, при калибровке по сцене выполняется по определению.

Условия же однородности можно достичь только усреднением сигналов на большом интервале по достаточному разнообразию сцен.

Этому препятствует нестационарность реальной сцены, а с другой стороны по времени «поджимает» дрейф - нестационарность элементов ФПУ.

Для преодоления этих препятствий и сокращения интервала калибровки используется свойство коррелированности реальных сцен, обеспечивающее однородность потоков на соседних элементах ФПУ.

Методы коррекции по сцене исходят из этой однородности, используют и дополнительную возможность – выравнивание оценки среднего потока по элементам посредством микросканирования.

Помимо коррекции собственно неоднородности, сцена дает возможность обнаруживать и дефекты. Т.е., обеспечиваются подобные калибровке по опорным сигналам возможности.

Адаптивность к сцене, ее коррелированность и микросканирование обеспечивают условия, приближающие возможности методов коррекции по реальной сцене к коррекции по опорным сигналам.

Теоретические оценки разработанных методов позволяют установить только потенциальные свойства коррекции по сцене.

Для уточнения и практической настройки методов создана компьютерная модель коррекции неоднородности и дефектов по сигналам сцены. Применяется в имитационном, полунатурном и реальном режимах обработки сигналов.

Результаты моделирования подтверждают теоретические результаты и работоспособность методов на реальных данных.

У50 Улучшение качества тепловых изображений путём синхронной покадровой обработки пиросигнала

Кондратов П.А., Ткаченко В.Ф.

Национальный университет "Львовская политехника", Львов, Украина

Разработанная авторами двухканальная инфракрасная камера позволяет не только решить проблему получения качественных изображений тепловых объектов, путём снижения влияния помех разного вида но, при необходимости, использовать такую камеру для получения теплового стереоизображения.

Решение основано на синхронной обработке пиросигналов двухканальной камеры. Покадровая разностная обработка является одной из основных процедур уменьшения шумовой компоненты в результирующем сигнале. Устройство работает следующим образом. ИК излучение объекта принимается оптико-делительным узлом, который формирует два идентичных тепловых потока и фокусирует тепловое изображения на мишенях пировидиконов первого и второго каналов, в которых выполняется синхронная и противофазная модуляция этих потоков. Пиросигналы обоих каналов состоят из сигналов пьедестала и полезных разнополярных сигналов мишени в первом и втором кадрах. Помимо этого в выходных сигналах обоих каналов имеются компоненты, вызванные дефектами мишеней пировидиконов, а также, как синхронными, так и асинхронными помехами. Выходной сигнал является результатом разностной обработки сигналов первого и второго каналов для двух смежных кадров. Аналоговая разностная обработка пиросигналов может быть реализована дифференциальным усилителем с входным коммутатором сигналов, синхронизированным с кадровой частотой. Коммутация реализована таким образом, что сигнал с отрицательной полезной компонентой всегда идет на инверсный вход, а с положительной - на прямой вход. В результате на выходе положительные сигналы формируются в обоих смежных кадрах для каждого из них. Результатом разностной обработки пиросигналов первого и второго каналов – является одновременная компенсация синхронной и асинхронной помехи в выходном сигнале. В то же время полезный сигнал возрастает примерно вдвое. К сожалению, эффективность разностной обработки уменьшается из-за компонентов в сигнале, связанных с дефектами мишеней первого и второго пировидиконов. Кроме того, если пьедесталы различны, разностная компонента пьедестала меняет свою полярность. Это означает, что экран монитора начинает мерцать и работа оператора становится затруднительной.

Чтобы значительно уменьшить влияние этих факторов, авторы предлагают использовать известный алгоритм покадровой обработки - суммирование сигналов смежных (первого и второго) кадров. В результате, в выходном сигнале полезная компонента становится намного больше, компонента пьедестала уменьшается до минимума или вообще исчезает, так же, как и компоненты статических сигналов от дефектов мишени, синхронных и асинхронных помех. Очень важно, что выходной результирующий сигнал формируется в каждом кадре процесса считывания с мишеней пировидиконов первого и второго каналов. Это позволяет отображать с высоким качеством на экране монитора не только статические, но и динамические объекты мониторинга.

У51 Исследования долговременной стабильности параметров двухточечной коррекции МФПУ формата 4×288 на основе КРТ фотодиодов

^{1,2}Соляков В.Н., ¹Кортиков М.В.

¹ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

² Московский физико-технический университет (ГУ), Долгопрудный, Россия

Долговременная стабильность параметров МФПУ характеризуется показателем корректируемости [1], определяющим время, за которое геометрический шум при односточечной коррекции возрастает до значений, превышающих временной шум. В работе [2] приведены результаты исследований долговременной стабильности параметров двухточечной коррекции для МФПУ на основе InSb. При этом можно оценить их влияние на геометрический шум как дрейфа постоянной составляющей сигналов МФПУ, так и изменение дифференциальной чувствительности. В настоящей работе приведены аналогичные исследования для МФПУ формата 4×288 на основе КРТ фотодиодов.

Двухточечная коррекция осуществляется при помощи двух параметров для каждого фоточувствительного элемента, определяемых по величине выходных сигналов МФПУ при двух уровнях однородного облучения матрицы фоточувствительных элементов. В качестве этих параметров обычно выбираются уровень сигнала при более низком уровне облученности и дифференциальная чувствительность каждого элемента, определяемая по разности сигналов при двух уровнях облученности.

В настоящей работе проведены одновременные измерения двух параметров, характеризующих двухточечную коррекцию, и их изменение во времени. По этим данным определялась зависимость геометрического шума от времени при низком (близком к уровню первой калибровки) и высоком (близком к уровню второй калибровки) уровнях облученности.

Результаты одного из циклов измерений представлены на рисунке 1. Величина геометрического шума приведена к эквивалентной шуму разности температур и выражена в мК. В измеряемых матрицах не наблюдалось заметного изменения геометрического шума за время порядка 20 мин.



Рис. 1. Зависимость геометрического шума от времени при низком (K1) и высоком (K2) уровне освещения.

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, М.В. Кортиков, Исследования долговременной стабильности параметров коррекции МФПУ // Тезисы XX МНТК по фотоэлектронике и приборам ночного видения.

У52 Стенд оценки качества оптических трактов в спектральных диапазонах 0,7...1,7;1,8...5,0;8,0...12,0 мкм

¹Горелик Л.И., ²Горшков В.А., ²Подобрянский А.В., ¹Полесский А.В.,
^{1,3}Соляков В.Н., ²Хлебников Ф.П., ²Чурилин В.А.

¹ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

² ФГУП «НПО «Оптика», Москва, Россия

³ Московский физико-технический университет (ФУ), Долгопрудный, Россия

В настоящее время всё больше инфракрасной техники (ИК) производится серийно. Это обстоятельство актуализирует необходимость создания высокопроизводительного измерительного оборудования и методов контроля ИК объективов. Существующие на данный момент в отечественном оптическом приборостроении методы аттестации ИК-трактов обладают низким быстродействием и информативностью, что становится неприемлемым в условиях серийного производства. Применение матричных фотоприёмных устройств (МФПУ) позволяет решить задачу создания такого оборудования. В разработанном измерительном канале стенда установлен ИК микроскоп на соответствующий спектральный диапазон, формирующий увеличенное абберационное пятно измеряемого объектива в плоскость фоточувствительного элемента МФПУ. Полученное изображение анализируется в блоке цифровой обработке в соответствии со специально разработанным программным обеспечением, а также индицируется на экране монитора. Разработанное оборудование позволяет:

- измерять ФРТ, ФРЛ, ЧКХ, фокусное расстояние, задний отрезок, равномерность освещенности по полю зрения, астигматизм, кривизну поля и т.д.
- проводить измерения основных характеристик объектива за несколько минут;
- измерять полихроматические абберации.

Зеркальный коллиматор осветительной части стенда и применяемые в микроскопе МФПУ на основе InGaAs/InP, InSb и $Cd_xHg_{1-x}Te$ позволяют проводить измерения в спектральных диапазонах 0,7...1,7;1,8...5,0;8,0...12,0 мкм.

Конструкция стенда предусматривает возможность размещения лазерных источников излучения (в этом случае, измеряются монохроматические абберации). Стенд обслуживается одним оператором.

У53 Стенд для определения минимального превышения мощности, детектируемой ИК-системой

Колесников Г.В., Галянтич А.Н.

Филиал ФГУП «ПО «УОМЗ» «Урал-СибНИИОС», Новосибирск, Россия

Целью данной работы является разработка стенда для практического определения минимального превышения мощностей «сигнал-фон», пеленгация которого системой производится с заданным уровнем вероятности.

Для практических измерений предлагается стенд, схема которого представлена на рисунке 1.

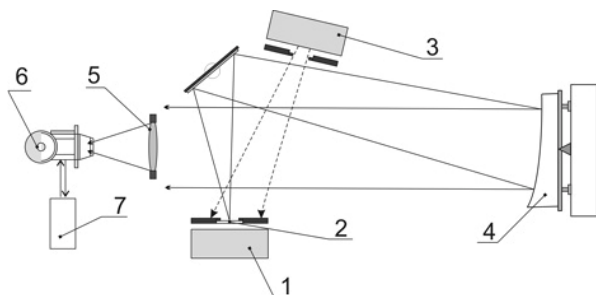


Рисунок 1. Схема стенда

Два эталонных источника - модели абсолютно черных тел - 1 и 3 формируют соответственно тестовые сигналы «объекта» и «фона». Форма «объекта» определяется мишенью 2, которая для пеленгации обычно имеет вид точечной диафрагмы. Тестовые сигналы проецируются коллимационной системой 4 на вход испытуемой системы. В случае, когда требуется тестирование элементов пеленгатора без оптической системы, она заменяется эталонной оптической системой 5, согласованной с МФПУ пеленгатора 6. Регистрируемый тестовый сигнал с МФПУ 6 обрабатывается электронным блоком 7, с последующей выдачей результата.

Задавая температуру эталонных источников 1 и 3, устанавливают требуемое значение сигналов «объекта» и «фона». Разность яркостей «объекта» и «фона» для стенда определяется выражением [1], [2]:

$$\Delta L = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varepsilon_{BB} \cdot W(\lambda, T_{BB1}) + (1 - \varepsilon_{BB}) \cdot W(\lambda, T_{AMB}) - R_T \varepsilon_{BB} \cdot W(\lambda, T_{BB3}) - R_T (1 - \varepsilon_{BB}) \cdot W(\lambda, T_{AMB}) - (1 - R_T) \cdot W(\lambda, T_{AMB}) d\lambda; \quad (1)$$

где,

$W(\lambda, T)$ - спектральное излучение объекта, определяемое законом Планка;

λ_1, λ_2 - границы рассматриваемого спектрального диапазона;

$\epsilon_{\text{ВВ}}$ - коэффициент серости эталонных источников 1 и 3;

R_T - коэффициент отражения тест-объекта со стороны источника 3;

$T_{\text{ВВ}1}, T_{\text{ВВ}3}, T_{\text{АМВ}}$ - температуры эталонных источников 1,3 и окружающей среды соответственно.

Корректность измерений зависит от правильности расчета радиометрических величин, что во многом определяется качеством калибровки стенда.

Показано, что для точных измерений наиболее существенны следующие источники ошибки: неточность калибровки и эффект нестабильности температуры окружающей среды [3]. Влияние дрейфа температуры окружающей среды на превышение яркости «объект-фон» особенно чувствительно при малых температурных контрастах. Так при установлении разности температур эталонных источников 1 и 3 на 0,1 К, дрейф температуры окружающей среды на 0,5 К ведет к ошибке определения превышения яркости более чем на 10%.

Литература:

1. Ллойд Дж. Системы тепловидения. - М.: Мир, 1978. 414 с, с илл.
2. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение: Пер. с франц. - М.: Мир, 1988. - 416 с., ил.
3. Radiance Calibration of Target Projectors for Infrared Testing. G. Matis, J. Grigor, J. James, S. McHugh, P. Bryant; Santa Barbara Infrared, Inc.

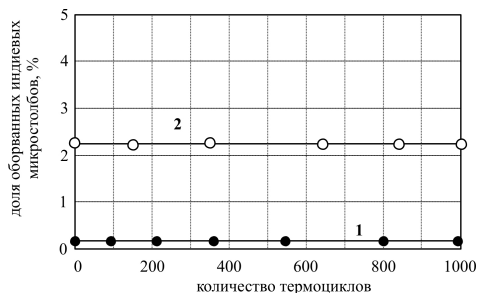
У54 Увеличение термомеханической прочности гибридных ИК-фотоприемников на основе КРТ

Брунѐв Д.В., Ткачева О.А., Марчишин И.В., Варавин В.С., Сидоров Ю.Г.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Термомеханическая прочность является одной из проблем при создании гибридных матричных ИК-фотоприемников большого формата на основе гетерозпитаксиальных структур CdHgTe/CdTe/ZnTe/GaAs. При большом количестве циклов охлаждения до азотной температуры и нагрева до температуры окружающей среды (термоциклов) происходит ослабление индиевых микростолбов крайних элементов вплоть до их последующего разрыва. Это связано с различием коэффициентов термического расширения материала мультиплексора (кремния) и арсенида галлия.

Для увеличения термомеханической прочности ИК-фотоприемников используется разработанная в ИФП СО РАН технология укрепления гибридных сборок при помощи эпоксидного компаунда. Применяются низковязкие компаунды, модифицированные путем предварительной вакуумной обработки с целью удаления летучих компонентов. Полимеризованные компаунды обладают высокой эластичностью в диапазоне температур $-200...+65^{\circ}\text{C}$, что позволяет многократную деформацию клеевого слоя без его разрушения.



Зависимость числа оборванных индиевых микростолбов для фотоприемников формата 320×256 элементов
1, 2 – номер образца

оборванных индиевых микростолбов от количества термоциклов для двух ИК-фотоприемников, укрепленных модифицированным эпоксидным компаундом. Показано, что после 1000 термоциклов увеличения числа оборванных микростолбов не происходит, и фотоэлектрические характеристики фотоприемников не ухудшаются.

Проведены испытания гибридных ИК-фотоприемников формата 320×256 элементов, чувствительных в области спектра $8...12$ мкм, на стойкость к циклическим перепадам температуры в диапазоне от 77 до 300К со скоростью охлаждения и нагрева $10...15$ К/мин. Испытания проводились на оригинальной установке термоциклирования, разработанной и изготовленной в ИФП СО РАН. На рисунке приведены зависимости доли

У55 Термографическая информационно-измерительная система широкого применения

Курбатов А.В., Ларцев И.Ю.

ФГУП «Альфа», Москва, Россия

Разработана информационно-измерительная система регистрации тепловых и видео изображений нижнего ценового диапазона. В состав системы входят:

- оригинальная тепловизионная камера на основе неохлаждаемой микроболометрической матрицы формата 160×120 и с интерфейсом USB 2.0. Спектральный диапазон чувствительности камеры 8-13 мкм;
- стандартная цветная видео камера с поддержкой DirectShow;
- стандартный микрофон с поддержкой DirectSound;
- ноутбук;
- специализированное программное обеспечение, обеспечивающее управление работой системы, многооконное представление и обработку тепловых и видео изображений в реальном времени, по-пиксельную обработку данных в пространственной и временной областях в значениях температуры, запись и документирование результатов.

Тепловизионная камера может комплектоваться объективом по спецификации заказчика. Эквивалентная шуму разность температур составляет 90 мК для объектива с относительным отверстием 1:1,2 при частоте кадров 50 Гц. Максимальная частота кадров равна 100 Гц. Питание этой камеры выполняется через кабель USB от ноутбука, что допускает автономную работу системы.

Данная информационно-измерительная система найдет применение для решения задач бесконтактной тепловой технической диагностики, в том числе для временного мониторинга температурных параметров (динамическая термография), в промышленности, медицине, на транспорте.

Возможность комплектации системы соответствующей видео камерой, включая и низкоуровневые, поддержка работы с микрофоном и способность программного обеспечения записывать одновременно тепловизионную, видео- и аудио информацию в течение длительного времени позволяют решать широкий круг задач наблюдения.

У56 Исследование характеристик излучения материалов с помощью двухдиапазонной тепловизионной системы

¹Горелик Л.И., ¹Куликов К.М., ¹Полесский А.В., ^{1,2}Соляков В.Н., ^{1,2}Сорокин А.Н.,
^{1,2}Гренин Д.Ю.

¹ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

²Московский физико-технический университет (ФУ), Долгопрудный, Россия

Представлены результаты экспериментальных исследований двухдиапазонной тепловизионной системы 3-5 и 8-12 мкм, работающей в режиме тепловизора-радиометра, позволяющего измерять «цветовую температуру» объектов. Для получения достоверного результата измерений осуществлялась привязка измеренных значений сигнала к калибровочным кривым каждого из каналов прибора. Приведены примеры калибровочных кривых двухдиапазонной тепловизионной системы.

При проведении измерений объектов в широком диапазоне температур динамический диапазон устанавливался за счёт изменения времени накопления в МФПУ каждого канала.

Разработанное программное обеспечение позволяет индцировать сцену не только в виде распределения температур, но и коэффициента излучения.

Приведены результаты измеренных коэффициентов излучения для различных видов металлических заготовок, используемых при изготовлении деталей в процессе их металлообработки, а так же некоторых типов металлической фольги из меди, алюминия, стали, ковара. Поверхность измеряемых объектов была типичной для использования в процессах металлообработки заготовок и содержала не только оксидную пленку, но и следы различных загрязнений: остатки масел, пыль, грязь и т.д.

Достоверность полученных результатов проверялась соответствием показаниям контактных датчиков, установленных в зоне обработки.

У57 Разработка и выпуск фотоприемников и фотоприемных устройств на основе халькогенидов свинца

Степанушкин А.Г., Годованюк В.Н.

ОАО «ЦКБ Ритм», Черновцы, Украина

В работе представлены результаты по разработке и модернизации фотоприемников и фотоприемных устройств среднего ИК-диапазона, изготовленных на основе слоев халькогенидов свинца.

Разработаны десятки различных изделий, отличающихся конструктивным исполнением, количеством и расположением фоточувствительных площадок, наличием оптических фильтров, применением одно- и многокаскадных термоэлектрических охладителей (ТЭО) и т.п.

Таких впечатляющих результатов удалось достичь благодаря разработке уникальной базовой технологии осаждения слоев халькогенидов свинца из раствора, которая защищена рядом авторских свидетельств.

За тридцать лет производства ФР и ФПУ на основе халькогенидов свинца более семи тысяч наших изделий были использованы предприятиями электронной и оборонной промышленности, НИИ космического приборостроения, производственными лабораториями институтов, предприятиями различных форм собственности, выпускающих охранные и пожарные датчики.

Приводятся основные параметры разработанных и серийно выпускаемых фоторезисторов и фотоприемных устройств.

Разработанные нами ФР и ФПУ обладают следующими основными качествами:

- высокой обнаружительной способностью и вольтовой чувствительностью;
- повышенной электрической помехозащищенностью благодаря экранирующему действию корпусов и наличию в ФПУ встроенных маломощных предварительных усилителей, выполненных по гибридно-пленочной технологии;
- повышенной оптической помехозащищенностью благодаря применению отсекающих фильтров на основе полупроводниковых материалов ($\lambda=1\dots 4$ мкм);
- встроенными ТЭО с количеством каскадов охлаждения от 1 до 5, не уступающими по своим характеристикам зарубежным образцам;
- низким разбросом фотоэлектрических параметров (ФЭП) между отдельными фоточувствительными площадками многоэлементных структур (на 128-элементном ФР коэффициент вариации по напряжению сигнала и обнаружительной способности ω - не более 0,1);
- конструктивным разнообразием и относительно низкой ценой при высоком уровне качества.

Важным обстоятельством для наших потребителей является то, что возможна

оптимизация комплекса параметров $D_{\lambda_{\max}}^*$, τ , λ_{\max} под конкретную задачу за счет технологических возможностей по управлению процессами формирования фоточувствительных слоев.

Y58 IR photodetector array on high perfection PbTe single crystals

Dashevsky Zinovi, Kasiyn Vladimir

Department of Materials Engineering, Ben-Gurion University, Beer-Sheva, Israel

The development of third generation infrared (IR) detectors and focal plane array (FPA) is garnering a lot of interest around the world today. Key features of these devices include multicolor detection capability and two-dimensional arrays for hyperspectral imaging. To date, HgCdTe (MCT) has been the predominant material of choice for IR detection given its high performance, although the cost of MCT photodetector devices remains extremely high due to expensive molecular beam epitaxy growth involved in their fabrication. In addition, yield of MCT FPA devices has been largely limited by the poor mechanical stability of HgCdTe alloys. Thus, a low cost, robust and multicolor detection technology still remains to be explored.

PbTe is a promising material candidate because of its superior chemical stability. The band gap of PbTe varies from 190 meV at 0 K up to 330 meV at 300 K, corresponding to the spectral region (3-5 μm). Doping of PbTe with In provides pinning of Fermi level. Stabilization of Fermi level leads to a high homogeneity of electrical properties.

We present the preparation of two types of junctions, differing in the method used to create the *n*-region on the original *p*-type PbTe single crystals, one by In_4Te_3 gas diffusion and the other by indium ion implantation. Satisfactory rectification was observed up to 180-200 K. Photosensor parameters: zero-bias resistance \times area product, the R_0C_0 time constant and detectivity D^* are presented.

**У59 Эпитаксиальные структуры PbTe/BaF₂/CaF₂/Si и
PbSnTe:In/BaF₂/CaF₂/Si для ИК и субмиллиметрового диапазонов
длин волн**

Акимов А.Н., Климов А.Э., Пашин Н.С., Шумский В.Н., Эпов В.С.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

В работе описана технология получения и электрофизические свойства эпитаксиальных слоев PbTe и PbSnTe:In на кремниевых подложках. Приводятся измеренные параметры макетов фотоприемников инфракрасного диапазона и расчетные параметры фотоприемников субмиллиметрового диапазона длин волн.

Разработанная технология позволила воспроизводимо получать пленки PbTe с концентрацией дырок $p < 10^{17} \text{ см}^{-3}$ и подвижностью $\mu > 10^4 \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$ при $T=78 \text{ К}$ при толщине пленок около 1 мкм. Полученные величины сравнимы с параметрами аналогичных пленок на монокристаллических подложках BaF₂. Макеты фотоприемников были изготовлены «холодным» вакуумным напылением In на поверхность пленок и при температуре жидкого азота имели величину R_{04} до 80 Ом·см при $T=78 \text{ К}$ и площади $A=2 \cdot 10^{-4} \div 10^{-2} \text{ см}^2$. В низкофоновых условиях и при нулевом напряжении смещения (тепловой шум) обнаружительная способность в максимуме чувствительности ($\lambda=4-4,5 \text{ мкм}$ для разных образцов) $D^* > 10^{11} \text{ см} \cdot \text{Гц}^{0,5} \cdot \text{Вт}^{-1}$. Спектральная зависимость чувствительности имеет интерференционный характер, а внешний квантовый выход в максимуме чувствительности достигает 70%.

Параметры пленок PbSnTe:In, полученных по разработанной технологии, также сравнимы с параметрами аналогичных пленок, полученных ранее на подложках BaF₂. Измеренные при гелиевых температурах темновые токи имеют инжекционный характер, и при рабочих напряжениях до 0,5-1 В не превышают значений $10^{-11}-10^{-10} \text{ А}$ при $T=4,2 \text{ К}$. Малые темновые токи и шумы вместе с высокой фоточувствительностью в безфоновых условиях позволяют получать значения мощности, эквивалентной шуму, менее $10^{-17} \text{ Вт} \cdot \text{Гц}^{-0,5}$ при $T=4,2 \text{ К}$ и менее $10^{-15} \text{ Вт} \cdot \text{Гц}^{-0,5}$ – при температуре около 30 К.

Приводятся данные по динамике и величине фоточувствительности пленок PbTeSnTe:In в диапазоне длин волн 70-220 мкм, полученные с использованием Новосибирского лазера на свободных электронах. Рассматривается конструкция матричного фотоприемника субмиллиметрового диапазона на основе пленок PbSnTe:In с промежуточным преобразованием субмиллиметрового излучения в инфракрасное, осуществляемое за счет нагрева тонкого поглощающего экрана.

У60 Полупроводниковые сенсоры ионизирующего излучения на основе $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$: проблемы материала

Бабенцов В.Н., Сизов Ф.Ф.

Институт физики полупроводников НАН, Киев, Украина

Высокоомные полупроводники $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ ($x \leq 0,1$) являются перспективным материалом для спектроскопических датчиков ионизирующего излучения, работающих при комнатной температуре. Они обладают большим коэффициентом поглощения в диапазоне энергий от 10 MeV до 100 MeV, и обеспечивают малый темновой ток вследствие большей ширины запрещенной зоны и очень точной компенсации электрически активных дефектов. Однако, рост объемного материала $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ с необходимыми свойствами, сильно затруднен вследствие сложной термодинамики тройных соединений, сильной сегрегации цинка и недостаточного понимания дефектной структуры. Таким образом, исследование указанных явлений, с целью управления ими в процессе роста и изготовления детектора, является ключом к развитию сенсоров ионизирующего излучения.

В данной работе исследовался высокоомный материал $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ ($x \approx 0,1$) с темновой электропроводностью при комнатной температуре $\sigma \approx 10^{-11} - 10^{-12} \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$. Измерялась концентрация остаточных примесей, пространственное распределение темнового сопротивления, фотопроводимости, энергетического положения и интенсивности полос фотолюминесценции, и глубины залегания глубоких электронных уровней (ГУ) в запрещенной зоне. Особое внимание уделялось влиянию концентрации цинка на положение ГУ относительно уровня Ферми и заполнению глубоких ловушек для фотоэлектронов. Рассмотрены также варианты компенсационных схем, которые позволяют реализовать режим малого захвата электронов при полной и стабильной компенсации акцепторов. Практически, улучшенный материал способен детектировать меньшую дозу радиации, за более короткое время и с большего расстояния, лучше различать источник радиации, и отличать его от естественного фонового излучения.

У61 Фоторезисторы из гетероэпитаксиальных структур CdHgTe с варизонными слоями и радиальным смещением

Гусаров А.В., Филатов А.В., Сузов Е.В., Ежов В.П., ¹Сидоров Ю.Г.,
¹Дворецкий С.А., ¹Михайлов Н.Н.

ОАО «Московский Завод «Сапфир», Москва, Россия

¹ Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Исследованы многоэлементные фоторезисторы для диапазона спектра 8-12 мкм и 3-5 мкм из гетероэпитаксиальных структур твердого раствора CdHgTe *n*-типа проводимости, полученных методом молекулярно-лучевой эпитаксии, фоточувствительные пиксели (35×35 мкм) которых имеют контакты в центре пикселя и один общий контакт по периметру всех пикселей, образованный металлизацией поверхности между пикселями. При отрицательном потенциале на центральном контакте отсутствовало явление «пролета» носителей на зависимости вольтовой чувствительности от напряжения смещения (до 750 В/см). Отсутствие областей ФЧЭ с поверхностной рекомбинацией носителей при планарной структуре фоточувствительного элемента и наличие градиента ширины запрещенной зоны варизонного слоя как на поверхности, так и под центральным контактом фоточувствительного элемента, позволило свести к минимуму потерю временем жизни неосновных носителей заряда гетероэпитаксиальных структур (4-12 мкс) и получить вольтовую чувствительность более 10^6 В/Вт и обнаружительную способность не менее $3 \cdot 10^{10}$ см·Гц^{1/2}·Вт⁻¹ при ($2\alpha=180^\circ$ для диапазона спектра 8-12 мкм). Полученные фотоэлектрические и геометрические параметры позволяют использовать для обработки сигналов изображения в матричных фоторезисторах КМОП мультиплексоры.

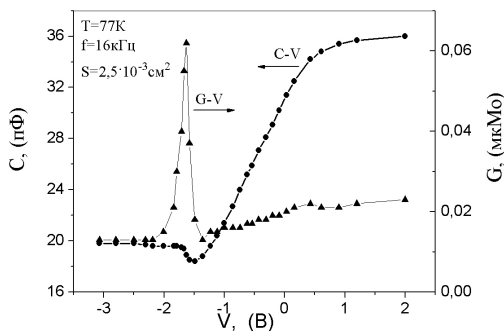
У62 Свойства МДП-структур на основе КРТ с широкозонными пассивирующими слоями ZnTe/CdTe

Гузев А.А., Варавин В.С., Васильев В.В., Дворецкий С.А., Ковчавцев А.П., Курьшев Г.Л., Ли И.И., Михайлов Н.Н., Панова З.В., Парм И.О., Сидоров Ю.Г.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Исследовано влияние пассивации поверхности слоев КРТ n-типа проводимости широкозонными полупроводниками и низкотемпературными диэлектриками на вольт-фарадные (ВФХ) характеристики МДП-структур. На структуры $\text{Hg}_{0,62}\text{Cd}_{0,38}\text{Te}/\text{CdTe}(100 \text{ нм})/\text{ZnTe}(150 \text{ нм})$ через маску напылялись индиевые затворы и измерялись ВФХ и малосигнальная проводимость на переменном сигнале.

На рисунке показаны типичные ВФХ и проводимость на переменном сигнале в области смещений от +2 до -3 В.



Вольт-фарадные характеристики в области частот 16 – 100 кГц не имели заметного гистерезиса и несколько отличались от характерного высокочастотного вида наличием минимума, связанного с началом формирования неравновесной емкости и последующим выходом на инверсионное плато в области отрицательных смещений.

МДП-структуры практически не имели встроенного заряда. Пик проводимости соответствует слабой инверсии поверхности полупроводника и определяется перезарядкой поверхностных состояний с постоянной времени, контролируемой основными носителями заряда. Величина плотности ПС из оценки величины пика проводимости показанного на рисунке составляет $\sim 3 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2} \cdot \text{эВ}^{-1}$. При увеличении смещения в область больших отрицательных смещений ВФХ имели заметный гистерезис электронного типа, связанный с захватом инжектированных носителей в широкозонном полупроводнике. При освещении МДП-структур видимым или ИК излучением (имитатор АЧТ с температурой полости 573 К) наблюдалось увеличение емкости в инверсии, что связано с фоточувствительностью периферии МДП-структуры.

Аналогичное поведение имели структуры с более тонкими слоями широкозонных полупроводников и последующей защитой их комбинированной диэлектрической пленкой ($\text{Hg}_{0,38}\text{Cd}_{0,62}\text{Te}/\text{CdTe}(10 \text{ нм})/\text{ZnTe}(15 \text{ нм})/\text{SiO}_2/\text{SiON}$).

Уб3 Новые поколения ИК фотоприемников «НПО «Орион»

^{1,2}Болтарь К.О., ^{1,2}Пономаренко В.П., ^{1,2}Соляков В.Н., ¹Филачев А.М.

¹ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

² Московский физико-технический институт (ГУ), Долгопрудный, Россия

В ФГУП НПО «Орион» к настоящему времени разработаны и выпускаются матричные фотоприемные устройства второго поколения на спектральные диапазоны 8-12 мкм (фоточувствительный материал КРТ) и 3-5 мкм (фоточувствительный материал InSb).

Форматы фотоприемных устройств «смотрящего» типа составляют 256×256 фоточувствительных элементов для двух спектральных диапазонов. Разработан МФПУ формата 384×288 элементов на основе КРТ, прорабатывается вариант формата 320×256 на основе InSb.

Разработаны многорядные фотоприемные устройства форматов 2×96, 2×256 и 4×288 элементов для использования в сканирующих тепловизионных приборах с режимом временной задержки и накопления (ВЗН).

Достигнутые значения фотоэлектрических параметров МФПУ близки к теоретическому пределу, определяемому флуктуациями фонового излучения (BLIP-режим).

Конструктивно все МФПУ выполнены в унифицированных вакуумных криостатируемых корпусах с применением интегральной микрокриогенной системы охлаждения. Имеются варианты исполнения под дрессельные системы охлаждения и под системы охлаждения типа Сплит-Стирлинг.

МФПУ по требованию заказчика комплектуются модулями сопряжения и блоками цифровой обработки сигналов, обеспечивающими коррекцию неоднородности чувствительности, деселекцию дефектных элементов, формирование стандартного аналогового видеосигнала, а также цифрового сигнала по согласованному протоколу.

Изготовлены образцы и исследованы характеристики многорядного фотоприемного устройства с ВЗН в холодной зоне формата 6×576 элементов для спектральных диапазонов как 8-12 так и 3-5 мкм, также двухспектрального (3-5 и 8-12 мкм) фотоприемного устройства формата 2×2×288 элементов, выполненного на одной фоточувствительной гетероструктуре КРТ.

У64 Способы улучшения параметров фотодиодов для спектрального диапазона 2-5 мкм

Куницына Е.В., Андреев И.А., Лебедев М.В., Львова Т.В., Михайлова М.П.,
Шерстнев В.В., Яковлев Ю.П., М. Ahmetoglu¹ (Afraïlov), G. Kaynak¹

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия
¹ Department of Physics, Uludag University, Bursa, Turkey

Фотодиоды на основе узкозонных соединений A^3B^5 для спектрального диапазона 2,0-5,0 мкм применяются в различных областях науки и техники, а именно в диодно-лазерной спектрометрии, оптических системах связи и передачи информации, в оптических сверхскоростных вычислительных и коммутационных системах, в аппаратуре для экологического мониторинга и медицинской диагностики [1,2]. Главными задачами при разработке фотодиодов на основе твердых растворов в системе InAs-GaSb по-прежнему остаются снижение обратных темновых токов, повышение быстродействия и спектральной чувствительности. В данной работе обсуждаются пути улучшения параметров таких фотодиодов без усложнения технологии выращивания и изменения конструкции.

Одним из способов улучшения электрических и фотоэлектрических характеристик GaInAsSb/GaAlAsSb and InAs/InAsSbP фотодиодов является использование редкоземельных элементов в процессе выращивания активной области. Показано, что применение Ho позволяет повысить токовую монохроматическую чувствительность фотодиодов и их быстродействие, снизить величину обратных темновых токов.

В настоящее время методы пассивации поверхности в водных и спиртовых сульфидных растворах успешно внедряются в полупроводниковую технологию. Выявлено, что предэпитаксиальная обработка поверхности подложки GaSb(100) в водных ($\epsilon=78,5$) растворах Na_2S позволяет управлять положением $p-n$ перехода в гетероструктуре GaSb/GaInAsSb и повысить токовую монохроматическую чувствительность фотодиодов в диапазоне 1,2-2,4 мкм на 30%. В тоже время, пассивация боковой поверхности мезы GaInAsSb/GaAlAsSb фотодиодов в 1M-водном растворе Na_2S (pH~13,4) снижает величину обратных темновых токов более чем на порядок. В случае использования насыщенных растворов Na_2S в изопропиловом спирте ($i-C_3H_7OH$, $\epsilon=18,3$) величина обратных темновых токов GaInAsSb/GaAlAsSb фотодиодов снижается в 20 раз, а InAs/InAsSbP фотодиодов – в 2 раза. Достигнута плотность обратного темнового тока $j=(1-2)\cdot 10^{-3} A/cm^2$ для фотодиодов на основе GaSb и $j=(6-8)\cdot 10^{-2} A/cm^2$ для фотодиодов на основе InAs при $T=300 K$ и обратном смещении $U=0,2 V$, соответственно.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Президиума РАН (Программа №27 «Основы фундаментальных исследований нанотехнологий и наноматериалов»), РФФИ (гранты 10-02-00548 и 09-08-91224) и the Scientific and Technological Research Council of Turkey – TÜBİTAK (грант No: 108T325).

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

2. M.P. Mikhailova, I.A. Andreev, E.V. Kunitsyna, and Yu.P. Yakovlev, *Proc. SPIE 7355* (2009) No. 735511.

У65 Исследование характеристик фоточувствительных элементов матриц фотоприемников на основе Si Pt:Si с помощью метода наведенного потенциала

¹Бузынин А.Н., ¹Калинушкин В.П., ²Рау Э.И., ²Дицман С.А., ²Лукьянов Ф.А.,
³Золотарев В.И.

¹ *Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, Россия*

² *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

³ *ОАО «Ангстрем», Москва, Россия*

За последние 10-15 лет технология создания матриц фотоприемников ИК-излучения с числом элементов десятки тысяч и более развивалась исключительно высокими темпами. Целым рядом фирм освоено промышленное производство матриц на основе различных материалов форматом от 120×140 до 1024×1024 элементов, работающих в диапазонах 3-5 и 8-14 мкм в широком интервале температур (от азотной до комнатной). На базе этих матриц организовано производство различных тепловизоров, которые широко используются как для гражданских, так и специальных применений.

Одним из направлений в технологии производства ИК-матриц является монокристаллическая технология производства этих приборов на основе структур Si Pt:Si. Эти матрицы помимо относительно низкой стоимости и возможности организации массового производства по стандартной кремниевой технологии имеют более высокую однородность и процент выхода годных, чем аналогичные приборы, производимые по гибридной технологии. Тем не менее, они содержат дефекты различной природы, которые приводят к разбросу параметров пикселей, выходу их из строя и снижению долговременной стабильности матриц. Так как эти дефекты могут образоваться на всех этапах технологического цикла, то для их выявления требуются разработка экспериментальных методик, позволяющих исследовать свойства отдельных пикселей в матрицах, полностью прошедших технологический цикл.

Наиболее подходящим методом для этих целей представлялся метод наведенного тока, однако его прямое использование оказывается невозможным, при исследовании сложных приборных структур из-за шунтирования Шоттки-барьеров, создаваемых при использовании данного метода, различными *p-n* переходами этих структур. Поэтому для исследования этих матриц была использована одна из модификаций этого метода – т.н. метод электронно-индуцированного наведенного потенциала [1], позволяющего проводить исследование без нанесения Шоттки-барьера.

В работе исследовались матрицы Si Pt:Si, форматом 256×256 и 320×240 элементов. Эксперименты проводились при комнатной температуре. В этих структурах были обнаружены крупномасштабные (с размером ~1 мкм и более) рекомбинационно-активные дефекты. Установлена связь выявленных дефектов с параметрами элементов матрицы. Показана возможность использования метода электронно-индуцированного наведенного потенциала для практически неразрушающей диагностики ИК-матриц на основе Si Pt:Si.

[1] *E.I. Rau, A.N. Zhukov and E.B. Yakimov. Solid-State Phenomena. 1998. V. 53-54. P. 327.*

Уб6 Свойства слоев оксидов ванадия, используемых в качестве термочувствительных элементов неохлаждаемых матричных микроболометрических приемников

Алиев В.Ш., Васильева Л.Л., Демьяненко М.А., Есаев Д.Г., Овсяк В.Н.,
Фомин Б.И.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Расширение сферы применения инфракрасных приемников, наряду с повышением их чувствительности, надежности и простоты использования, требует понижения их стоимости, энергопотребления и веса. Всем этим требованиям удовлетворяют неохлаждаемые матричные микроболометрические приемники (ММБП), активно разрабатываемые последние два десятилетия в США, Франции, Израиле, Японии и в некоторых других промышленно развитых странах. В результате такого развития неохлаждаемые ММБП достигли чувствительности, сравнимой с фотонными матричными приемниками, и готовы занять большую часть рынка инфракрасных тепловизоров.

Высокое качество неохлаждаемых матричных микроболометрических приемников преимущественно достигнуто благодаря разработкам кремниевым схем считывания сигналов, развитию технологий изготовления микромостиковых структур и получения термочувствительных слоев (главным образом, оксидов ванадия и аморфного кремния), обладающих высоким температурным коэффициентом сопротивления (ТКС) и малым $1/f$ шумом.

В данной работе преимущественно представлены результаты разработки зольгель технологии изготовления термочувствительных слоев оксидов ванадия. В основе данной технологии лежат процессы гидролиза и конденсации алкоксидов металлов, протекающие при комнатной температуре, и, следовательно, она совместима с интегральным исполнением ММБП и использованием полиимида в качестве жертвенного слоя, ограничивающих температурный бюджет применяемых технологий. Исследованы характеристики и свойства слоев оксидов ванадия, представляющие наибольшее значение для изготовления высококачественных термочувствительных элементов матричных микроболометрических приемников, в частности:

температурные зависимости проводимости и термо-ЭДС, необходимые для выяснения механизма проводимости слоев оксидов ванадия;

температурные зависимости токового $1/f$ шума, интегральное значение которого в отечественных микроболометрах значительно превышает шум Джонсона, в то время как лучшие иностранные разработки продемонстрировали его практическое отсутствие;

зависимость ТКС от удельного сопротивления термочувствительного слоя; однородность сопротивления слоев по площади.

Дополнительно изучено сопротивление контакта оксид ванадия - металл, присутствующего в реальных болометрических структурах, и его $1/f$ шум. Показано, что шум контактов зависит не только от технологии изготовления микроболометров, но и от их топологии и может быть понижен до величин, приемлемых для достижения разумной температур, эквивалентной шуму, менее 100 мК.

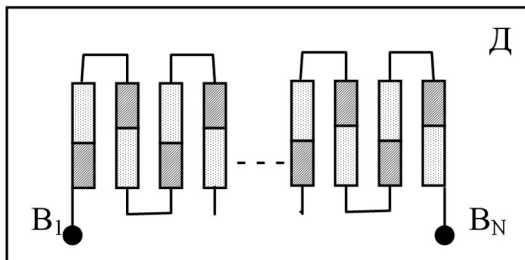
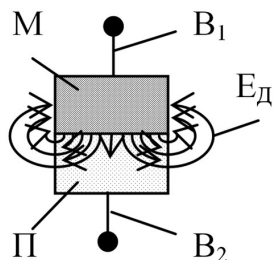
Приводятся также результаты измерения термоэлектрических параметров слоев оксидов ванадия, выращенных ионно-лучевым методом, а также параметров ММБП, изготовленных с использованием таких термочувствительных слоев.

У67 Новый принцип создания фотопреобразователей на основе реального контакта металл-полупроводник

Мамедов Р.К.

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

Согласно [1] в реальных контактах металл-полупроводник (КМП) независимо от того, что образуется или нет основное электростатическое поле в ОПЗ по модели Шоттки, возникает дополнительное электростатическое поле из-за как неоднородности высоты локального потенциального барьера вдоль границы раздела в пределах микро- и наноразмеров, так и ограниченности контактной поверхности с к ней примыкающими свободными поверхностями металла и полупроводника. С использованием этого поля можно на основе нового принципа создать фотопреобразователи, обладающие рядом уникальных особенностей.



В частности, на рис.1 схематично представлено поперечное сечение такого фотопреобразователя с выводами V_1 и V_2 на основе тесного контакта металла (М) и полупроводника (П) с линейным размером контактной поверхности около 1 мкм, в приконтактной полупроводниковой области которого возникает дополнительное электрическое поле (E_d). На рис.2 схематично представлено батарея с выводами V_1 и V_N , изготовленная на поверхности диэлектрика Д последовательным соединением N фотопреобразователей. Грубый расчет показывает, что при падении солнечного излучения на поверхность такой батареи с площадью 1 мм², состоящий из около 2000 фотопреобразователей между выводами V_1 и V_N может возникнуть напряжение около 200 (двести) Вольт.

1.Мамедов Р.К., Контакты металл-полупроводник с электрическим полем, пятен, Баку, БГУ, 2003, 231 с.

У68 Фотоприемники на основе гетероструктур

n -InSe<Ho>/ p -GaSe<Ho>

Абдинов А.Ш., ¹Бабаева Р.Ф.

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

¹Государственный экономический университет, Баку, Азербайджан

В работе сообщается о результатах исследований фотоприемников на основе гетероструктур *n -InSe<Ho>/ p -GaSe<Ho>*.

Установлено, что хотя фотоприемники, созданные на базе специально легированных кристаллов *n -InSe* и *p -GaSe* тоже обладают высокой фоточувствительностью во всей видимой и определенной части ближней ИК-области оптического спектра ($0,45 \leq \lambda \leq 1,25$ мкм), однако при этом их параметры и характеристики являются нестабильными и маловоспроизводимыми.

При слабом легировании ($N \approx 10^{-2} \div 10^{-1}$ ат.%) этих кристаллов атомами гольмия степень стабильности и воспроизводимости параметров фотоприемников *n -InSe<Ho>/ p -GaSe<Ho>* значительно увеличиваются по сравнению с имеющими место в *n -InSe/ p -GaSe*.

Снимались спектральное распределение в двух противоположных направлениях освещения, а также кинетика, световая и температурная характеристики фоточувствительности исследуемых структур. Оказалось, что в структурах *n -InSe<Ho>/ p -GaSe<Ho>*, хотя инерционность значительно уменьшается, однако характер температурной и световой зависимостей фоточувствительности почти не меняются.

Одним из преимуществ исследуемых гетероструктур является также то, что они обладают значительной фоточувствительностью в области $0,35 \leq \lambda \leq 1,45$ мкм и при температурах вплоть до 350 К – на их основе можно создать неохлаждаемые фотоприемники для видимой и ближней ИК-области спектра с большой чувствительностью.

Выявленные особенности исследуемых структур *n -InSe<Ho>/ p -GaSe<Ho>* объясняются на основе предположений увеличения межслоевой связи в этих кристаллах при их слабом легировании атомами гольмия.

У69 Исследование термомеханических приёмников теплового излучения

^{1,2}Фетисов Е.А., ^{1,2,3}Федирко В.А., ²Хафизов Р.З., ^{1,2}Золотарёв В.И., ^{2,3}Зенюк Д.А.,
²Рудаков Г.А.

¹ МГИЭТ (ТУ), Зеленоград, Россия

² ООО «Элем Инфо», Москва, Россия

³ МГТУ «СТАНКИН», Москва, Россия

Представлены результаты разработки, моделирования и экспериментальных исследований ИК фоточувствительных микроэлектромеханических (МЭМ) элементов на основе биматериальных слоёв.

Аналитический обзор современного состояния разработок МЭМ ИК-фотоприемников сделан в [1]. Оценки предельной чувствительности таких приемников показывают, что она сопоставима с предельными характеристиками фотоприемников с глубоким охлаждением.

Нами разработана конструкция и технология изготовления элементов термочувствительных МЭМ-элементов и проведено исследование их термомеханических характеристик. МЭМ элемент представляет собой фактически трёхмерную структуру, поэтому ключевым этапом в технологии его изготовления является создание подвешенной наномембраны. Мембрана формировалась на основе окиси кремния или нитрида кремния с использованием жертвенного слоя.

Регистрация смещения мембраны вследствие изгиба её биморфной части под воздействием теплового излучения осуществлялась оптическим и ёмкостным методами. Измерения показали удовлетворительные термомеханические характеристики изготовленных элементов.

Развита физико-математическая модель и проведено численное моделирование термоотклика биморфных МЭМ элементов. Сравнение показало хорошее совпадение экспериментальных результатов с расчётными.

Таким образом, тепловые приёмники с параметрами, близкими к предельным, могут быть принципиально реализованы в настоящее время на базе высокоразвитой кремниевой технологии МЭМС. Отсутствие необходимости глубокого охлаждения и относительная дешевизна делает их весьма привлекательными для применения в ряде областей.

Литература

[1] В.А. Федирко, Е.А. Фетисов и В.А. Беспалов, Приемники ИК изображения на основе термомеханических наноразмерных мембран // Прикладная физика, 2010, № 1.

У70 Поглощение инфракрасного и терагерцового излучения в неохлаждаемых микроболометрических приемниках

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

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Большие перспективы широкомасштабного производства и применения неохлаждаемых матричных микроболометрических приемников инфракрасного (ИК) диапазона в последние два десятилетия стимулировали интенсивное развитие новых технологий и конструктивных решений в области создания самих микроболометров и кремниевых схем считывания сигналов. Это позволило не только приблизить чувствительность таких приемников к фотонным матричным приемникам, но и сделать их надежными, удобными для практического использования и коммерчески доступными для массового потребителя. Кроме того, в последние несколько лет к неохлаждаемым микроболометрическим приемникам на основе оксида ванадия проявляется большой интерес в связи их высокой чувствительностью к терагерцовому (ТГц) излучению.

Разработанные отечественные технологии позволяют изготавливать неохлаждаемые матричные микроболометрические фотоприемные устройства (ФПУ) на основе оксида ванадия с достаточно высокой чувствительностью как в ИК, так и в ТГц диапазонах. Отечественные микроболометрические ФПУ при формате матриц 320×240 и 160×120 обладают пороговой мощностью 160 пВт/пиксель (в ИК-диапазоне) и 30 нВт/пиксель (в ТГц диапазоне), и в настоящее время являются единственными высокочувствительными матричными приемниками ТГц диапазона с высоким пространственным и временным разрешением.

В работе представлены результаты исследований возможностей дальнейшего повышения чувствительности микроболометров путем выбора оптимального варианта конструкции их оптического резонатора, образованного самим болометром и ниже расположенным зеркалом. При этом основное внимание уделено использованию дополнительного тонкого металлического поглощающего слоя, наносимого на термочувствительные элементы болометра и выбору его оптимальных параметров для ИК и ТГц диапазонов.

В работе расчетным путем исследуются влияние различных конструктивных параметров микроболометров на эффективность поглощения ИК и ТГц излучения. Приводятся результаты измерения коэффициентов пропускания и поглощения слоев нитрида кремния, оксида ванадия и тонких металлических пленок, применяемых в микроболометрах.

Был выявлен существенный разброс высоты подвески микроболометров над зеркалами, приводящего к повышенному разбросу их чувствительности, и приведены пути преодоления этого недостатка. Определены оптимальные значения основных конструктивных параметров для ИК и ТГц диапазонов. Экспериментально продемонстрировано увеличение чувствительности микроболометров за счет применения тонких поглощающих металлических слоев.

У71 О возможности создания и преимуществах ВЗН-субматриц с разреженной структурой

¹Винецкий Ю.Р., ²Карпов В.В., ²Астахов В.П., ²Чишко В.Ф., ³Бородин Д.В.

¹ Филиал «Урал-Геофизика» ФГУП «ПО «УОМЗ им. Э.С.Яламова», Москва, Россия

² ОАО «Московский завод «Сапфир», Москва, Россия

³ ООО «РТК Имтекс», Москва, Россия

Как «смотрящие матрицы» (СМ), так и ВЗН-субматрицы находят широкое применение в современной ИК-фотоэлектронике. Хотя эти два типа приборов и обладают одинаковым потенциальным преимуществом перед однорядными линейками в потенциально реализуемом отношении сигнал-шум ($\sim\sqrt{N}$, где N -число столбцов в СМ, или число стадий накопления в приборе с ВЗН), между названными типами организации имеется принципиальное отличие. Именно, в СМ обработка изображения ведется по принципу сопоставления каждой точке сцены только одного пиксела, тогда как в приборах с ВЗН каждая точка сцены обрабатывается последовательно всеми N пикселями строки. Эта важная особенность приборов с ВЗН позволяет «разредить» в них столбцы субматрицы без ущерба для качества обработки, что невозможно в СМ, в которых нарушение плотной упаковки пикселей неизбежно влечет потерю элементов изображения. В предложенных гибридных ИК ВЗН-субматрицах с такой разреженной структурой (РС ВЗН) фоточувствительные области узкозонного материала освещаются не со стороны его подложки, как в традиционных *backside-illuminated* СМ, а с лицевой стороны *pn*-переходов через прозрачный в рабочем ИК-диапазоне кристалл кремниевый мультиплексора, содержащий свободные от металлизации зоны над столбцами пикселей фотоприемника (ФП). Такая структура обладает целым рядом преимуществ:

- не требуется обязательное в традиционных структурах с тыловой засветкой утоншение подложки ФП, чем упрощается технология и повышается надежность конструкции;

- достигается более высокая квантовая эффективность и лучшая пространственно-частотная характеристика [1];

- оказывается возможной реализация меньших, чем в структурах с тыловой засветкой, темновых токов пикселей [2];

- возникает значительно большая, чем при «плотной» организации, свобода в выборе и компоновке в ячейке средств предмультиплексорной обработки, что позволяет обрабатывать сигнал с меньшим шум-фактором и особенно ценно в низкофоновых применениях;

- первичное мультиплексирование в РС ВЗН осуществляется «поперек ВЗН», что дает возможность строить более гибкие алгоритмы ВЗН в неидеальных условиях сканирования и, в конечном счете, увеличить число стадий эффективного накопления [3].

Описывается субматричное ФПУ РС ВЗН формата 288×32 для применения в низкофоновых системах на основе InSb с размером пиксела 25 мкм, шагом вдоль линейки 55 мкм, шаг в направлении ВЗН 150 мкм. Темновой ток

планарных фотодиодов на «толстом» кристалле не превышал 10^{-11} А при $T=77$ К и 10^{-13} А при $T=60$ К, что обеспечивало режим ограничения фоном при плотности потока фотонов $\leq 5 \cdot 10^{-7}$ Вт/см². В этих условиях суммирование в РС ВЗН эффективно при числе шагов ВЗН вплоть до ~ 20 , а величина мощности, эквивалентной шуму, не превышала $4 \cdot 10^{-15}$ Вт/эл.

1. *“Разработка конструкции и технологии изготовления экспериментального образца многорядной фоточувствительной микросхемы. Уточнение параметров ГФМС”*. Научно-технический отчет по теме “ИКАР-НИР 2 (2.7)” (этап 4), ГУП “НПО “Орион” - ГУДП “Элидап”, Москва, 1999.

2. В. П. Астахов, Д. А. Гиндин, В. В. Карпов и др. *Результаты разработки фотодиодов на InSb с ультранизкими темновыми токами для высокочувствительных ИК ПЗС*. Прикладная физика, №2, 1999, с. 73—79.

3. Ю.Р.Винецкий, С.В.Орлов. (У48). *Эффективная постмультиплексорная реконструкция малоконтрастных сцен в ИК ВЗН системах при девиациях скорости движения изображения. Тезисы докладов XVII Международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения. 27-31 мая, 2002, Москва, с. 53.*

У72 ИК фотодиоды на основе многобарьерных структур, содержащих InAs

Львова Т.В., Зотова Н.В., Карандашев С.А., Константинов О.В., Матвеев Б.А.,
Ременный М.А., Рыбальченко А.Ю., Стусь Н.М.

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

Иммерсионные фотоприемники на основе InAs, чувствительные в области спектра 2-3,6 мкм, находят применение в системах локации, медицинской диагностике и анализе содержания углеводов (например, C₂H₅OH) на трассе или в выдыхаемом воздухе.

В литературе имеются сведения о фотодиодах (ФД) с активной областью из InAs на основе одиночных и двойных гетероструктур с широкозонными слоями из InAsSbP, однако анализ некоторых характеристик фотодиодов проводился недостаточно корректно или вовсе отсутствовал. Так, например, при определении фактора идеальности I - V характеристики не учитывалось сгущение линий тока под контактом (“current crowding”) при прямом смещении, что приводило к завышенному значению фактора идеальности. C - V характеристики приводились, как правило, с недостаточным разрешением или в узкой области значений обратного напряжения.

В работе сообщается о результатах комплексного исследования электрических (I - V , C - V) и фотоэлектрических характеристик флип-чип и поверхностно облучаемых ФД на основе одиночных и двойных гетероструктур p -InAsSbP(Zn)/InAs с активной областью из нелегированного n -InAs, полученных на подложках InAs, включая сильнолегированные подложки n^+ -InAs, прозрачные для излучения в области 3,3-3,4 мкм.

Было установлено, что емкость ФД оставалась постоянной в некотором интервале напряжений, т.е. на плавной $1/C^2$ - V характеристике имелось плато. Для ФД с одним гетеропереходом было характерно наличие одного плато характеристики, для ФД с двойным гетеропереходом их было несколько. Указанные особенности $1/C^2$ - V характеристик были проанализированы с помощью модели, предложенной в [1] и рассматривающей резкие гетероструктуры с дополнительными встроеными слоями (например, квантовыми ямами). Одной из причин, ответственной за возникновение дополнительных к наращиваемым слоям, являлась диффузия Zn в процессе роста слоя p -типа проводимости и, соответственно, сдвиг p - n перехода в область n -InAs относительно интерфейса p -InAsSbP/ n -InAs. Этот сдвиг проявлялся также и в изменении других параметров, например, спектральной характеристики.

Для определения уточненного значения фактора идеальности I - V характеристики нами использовались ИК-изображения чипов, т.е. двумерное распределение интенсивности электролюминесценции на поверхности образца. Расчетное значение фактора идеальности, учитывающее неравномерность растекания тока в p - n переходе при больших смещениях, составляло $n=1,1$, что сравнимо с данными для образцов, имеющих контакты, занимающие почти всю их поверхность.

[1] Konstantinov O.V., L'vova T.V., Pachanov M.M., “Plateau of Mott type in C - V characteristics of Shottky diodes with heterojunction”, Semiconductors, 23, 1283 (1989)

У73 Широкополосные (2 ГГц) GaInAsSb/GaAlAsSb *p-i-n* фотодиоды для спектрального диапазона 1,5-2,5 мкм

Андреев И.А., Серебренникова О.Ю., Соколовский Г.С., Куницына Е.В., Дюделев В.В., Гаджиев И.М., Дерягин А.Г., Гребенщикова Е.А., Коновалов Г.Г., Михайлова М.П., Ильинская Н.Д., Кучинский В.И., Яковлев Ю.П.

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

Впервые созданы и исследованы неохлаждаемые высокоэффективные широкополосные (2 ГГц) GaInAsSb/GaAlAsSb *p-i-n* фотодиоды для спектрального диапазона 1,5-2,5 мкм. Широкополосные фотодиоды позволяют изучать быстротекущие процессы в физике лазеров, ядерной физике, физике космических лучей и т.д. Такие фотодиоды могут использоваться в дальнометрии и локации в безопасном для глаза человека окне прозрачности атмосферы 2-3 мкм, для систем высокочастотных коммуникаций по каналам ВОЛС и в открытом пространстве, в диодно-лазерной спектроскопии и медицине. Разработан и оптимизирован полный технологического цикл создания широкополосных фотодиодов, включающий выращивание на подложке GaSb(100) изопериодных гетероструктур GaSb/GaInAsSb/GaAlAsSb с заданными параметрами методом жидкофазной эпитаксии (ЖФЭ), постростовую технологию формирования GaInAsSb/GaAlAsSb фотодиодов, корпусирование фотодиодов в специальные СВЧ разъемы для исследования кинетики фотоотклика и измерения полосы пропускания. Созданные GaInAsSb/GaAlAsSb фотодиоды имеют рекордно низкие значения собственной емкости $C=2,0-3,0$ пФ без обратного смещения и $C=0,8-1,0$ пФ при обратном смещении $U=-1$ В. Данный результат был достигнут благодаря применению технологии выращивания фотодиодных гетероструктур GaSb/GaInAsSb/GaAlAsSb с использованием редкоземельного элемента гольмия (Ho) для получения низкой концентрации и высокой подвижности носителей в активной области. Быстродействие фотодиодов, определяемое по времени нарастания импульса фотоотклика на уровне 0,1-0,9, составляет величину $t_{0,1-0,9} = 130-150$ пс. Ширина полосы пропускания достигает 2 ГГц. Фотодиоды характеризуются низкой величиной обратных темновых токов (300-900 нА при обратном напряжении $U=-(0,5-3,0)$ В), высокими значениями токовой монохроматической чувствительности (1,10-1,15 А/Вт на длинах волн 2,0-2,2 мкм) и обнаружительной способности $D^*(\lambda_{max}, 1000, 1) = 9,0 \cdot 10^{10} \cdot \text{Вт}^{-1} \cdot \text{см} \cdot \text{Гц}^{1/2}$.

Работа частично поддержана грантом РФФИ N 09-08-91224 СТ_a.

У74 Высокоэффективные фотодиоды для спектрального диапазона 2,5 – 4,8 мкм

Андреев И.А., Коновалов Г.Г., Старостенко Д.А., Шерстнёв В.В., Яковлев Ю.П.
Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

Инфракрасные (ИК) фотодиоды, работающие в спектральном диапазоне 2-5 мкм, являются ключевым компонентом газоанализаторов при обнаружении углекислого (CO₂) и “угарного” (CO) газов на длинах волн 4,27 мкм и 4,7 мкм, соответственно.

Твёрдые растворы InAsSb, перспективные для создания фотодиодов в данном спектральном диапазоне, могут выращиваться на подложках GaSb или InAs. Гетерофотодиод со структурой InAs_{1-x}Sb_x/GaSb (0.10 < x < 0.14) был создан нами ранее. При освещении через подложку InAs_{0,86}Sb_{0,14}/GaSb фотодиоды продемонстрировали диапазон спектральной чувствительности 1,7-4,2 мкм.

В данной работе мы сообщаем результаты исследований, направленных на создание высокоэффективных фотодиодов, работающих при комнатной температуре в среднем ИК диапазоне 2-5 мкм. Гетероструктуры с активным слоем InAs_{0,88}Sb_{0,12}, выращивались методом жидкофазной эпитаксии (ЖФЭ) на подложках InAs. Для обеспечения пониженной деформации, вызванной несоответствием параметров решётки подложки и активного слоя, нами был введён буферный слой из твёрдого раствора InAs_{0,94}Sb_{0,06}. В качестве широкозонного “окна” использовался твёрдый раствор InAsSbP. Разработаны фотодиоды на основе гетероструктур InAs/InAs_{0,94}Sb_{0,06}/InAs_{0,88}Sb_{0,12}/InAsSbP с диаметрами фоточувствительной площадки 0,3 мм.

Отличительной особенностью фотодиодов является высокая токовая монохроматическая чувствительность в максимуме спектра ($\lambda_{max}=4,2-4,7$ мкм) достигающая значений 0,6-0,8 А/Вт, значение плотности обратных темновых токов $(1,3-7,5) \cdot 10^{-2}$ А/см², при напряжении обратного смещения 0,1-0,2 В. Дифференциальное сопротивление в нуле смещения достигает величины 700-800 Ом. По нашим оценкам, обнаружительная способность фотодиодов в максимуме спектральной чувствительности достигает величины $(5-8) \cdot 10^8$ см·Вт⁻¹·Гц^{1/2}.

Работа частично поддержана программой Президиума РАН №27 «Основы фундаментальных исследований нанотехнологий и наноматериалов», грантами РФФИ 09-08-91224-СТ_a.

У75 Инфракрасные фотоприемные устройства на основе системы: фотодиод – устройство считывания с прямой инжекцией заряда

Карнаушенко Д.Д., Ли И.И., Половинкин В.Г., ¹Гуменюк-Сычевская Ж.В.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

¹ Институт физики полупроводников НАН, Киев, Украина

Представлена математическая модель многоэлементных ИК ФПУ на основе системы фотодиод - устройство считывания с прямой инжекцией заряда (ПИ). Анализ системы проводится как с модельными, так и экспериментальными ВАХ фотодиодов. Расчет величины шумового заряда $Q(t)$, интегрируемого под затвором накопления ПИ с помощью функции Макдональда в терминах спектральной плотности $S_i(\omega)$ и решение самосогласованной задачи для токов, протекающих в фотодиоде и токов, интегрируемых в устройстве считывания, позволяет:

- рассчитать все основные параметры многоэлементных ИК ФПУ в зависимости от напряжения смещения на входном затворе устройства считывания V_G ;
- провести детальное сравнение расчетных и экспериментальных зависимостей;
- оптимизировать требования к конструктивным и фотоэлектрическим параметрам устройств считывания, фотоприемников необходимым для достижения заданных характеристик многоэлементных ИК ФПУ и тепловизионных систем на ее основе.

На рис. 1 показаны расчетные зависимости D^* и основанные компоненты шума системы, где Q_1, Q_2 - тепловые шумы и шумы типа $1/f$ входного МДП транзистора, Q_3, Q_4 - тепловые шумы и шумы типа $1/f$ ИК фотодиода, выраженные в количестве шумовых электронов, $Q_5 = (Q_1^2 + Q_2^2 + Q_3^2 + Q_4^2)^{1/2}$.

При расчете уровня фонового излучения температура АЧТ принята равной 300 К, зарядовая емкость устройства считывания $Q_{3H} = 5 \cdot 10^7$ электронов, при относительном отверстии оптики тепловизионной системы = 0,5.

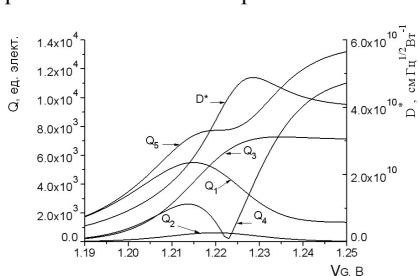


Рис. 1. Зависимости D^* (правая ось, длинноволновая граница $\lambda_2 = 13$ мкм), Q_1 - Q_5 (левая ось) от V_G ИК ФПУ на основе $Hg_{1-x}Cd_xTe$.

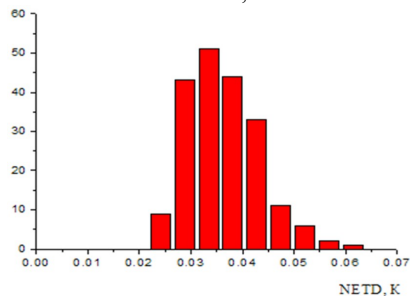


Рис. 2. Гистограммы NETD.

Описываются методики анализа и результаты численных расчетов уровня “геометрического” шума, гистограммы распределения D^* фотоприемных каналов

многоэлементных ИК ФПУ и *NETD* тепловизионных систем (рис. 2), в зависимости от уровня неоднородности пороговых напряжений под входными затворами устройств считывания и стехиометрического состава $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ подложки. При расчетах принято, что эти неоднородности описываются нормальным распределением, количество реализаций - 200.

Среднеквадратичное отклонение (СКО) пороговых напряжений $\sigma(V_{\text{пор}})=5\text{мВ}$, СКО стехиометрического состава $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ подложки $\sigma(x)=0,1\%$, $x=0,2105$, $T=77\text{ К}$, $Q_{\text{эп}}=5\cdot 10^7$ электронов (для единичного канала и принятых при расчетах электрофизических и конструктивных параметрах системы $NETD=23\text{ мК}$).

У76 Аналоговые фокальные КМОП процессоры для гибридных линейных, субматричных и матричных ИК фотоприемных устройств

¹Бородин Д.В., ¹Осипов Ю.В., ¹Васильев В.В., ²Самотаев Б.А.

¹ ФГУП «НПП «Пульсар», Москва, Россия

² ООО «РТК Имтекс», Москва, Россия

Ранее был создан ряд КМОП микросхем первичного преобразования для линейчатых, субматричных и матричных фотоприемных устройств форматов 1×128 (2 типа), 2×64, 1×144, 16×576, 128×128, 256×256 ячеек для гибридных фотоприемных устройств [1]. Микросхемы осуществляют интегрирование тока детекторов в течение кадра (цикла) измерений, его части или произвольного времени с последующим выводом сигнала. Микросхемы использовались для создания ФПУ на основе фоточувствительных материалов PbS, PbSe (линейки), InSb (субматрицы и матрицы), AlGaAs-GaAs (линейки и матрицы), GaAs (линейки и матрицы, рентгеновские приемники).

За последние 2-3 года удалось дополнить данное семейство КМОП мультиплексорами форматов 320×256 (2 типа), 4×288 и 640×512.

1. Первый тип микросхем формата 320×256 ячеек размером 30×30 мкм предназначен для фотодиодных матриц с P-типом проводимости общей области и большими (~100 нА) темновыми токами (КРТ, 8-12 мкм). Через последовательный восьмиразрядный порт выбирается «окно опроса» (фиксированные форматы 320×256, 256×256, 128×128 и 64×64) и задается время интегрирования от минимального 2/CLK до максимального $T_{\text{кадра}}/64$ (для полного окна 320×256), где CLK- тактовая частота вывода информации, $T_{\text{кадра}}$ – время кадра. Интегрирование фототока на емкостях от 0,5 до 4 пФ проводится одновременно в четырех строках матрицы с последующим выводом на четыре выхода. Кадровая частота достигает 250 Гц, рассеиваемая мощность не превышает 20 мВт.

Второй тип микросхем формата 320×256 ячеек размером 30×30 мкм предназначен для матриц фотодиодов с N-типом проводимости общей области и фоторезисторов с небольшими темновыми токами (InSb, QWIP, InGaAs). Микросхема позволяет проводить интегрирование фототока как в течение времени кадра (интегрирование следующего кадра и вывод предыдущего происходят одновременно), так и в течение произвольного времени, определяемого длительностью внешнего импульса («мгновенная фотография» – вывод после интегрирования). Функционально микросхема аналогична ранее созданной формата 256×256 ячеек размером 35×35 мкм [2]. При реализации данного проекта были учтены «слабые места» топологии и технологии, и получены образцы мультиплексоров с числом дефектных ячеек до 0,01% (менее 15 ячеек с дефектами типа «обрыв-закоротка»). На рис.1 приведены полученные в тестовом режиме проверки изображения в отсутствии сигнала (слева), при равномерном среднем сигнале (в центре) и насыщении (справа). Анализ изображения показывает, что число точечных дефектов не превышает 10 шт. Поставлено более 150 шт микросхем подобного качества.

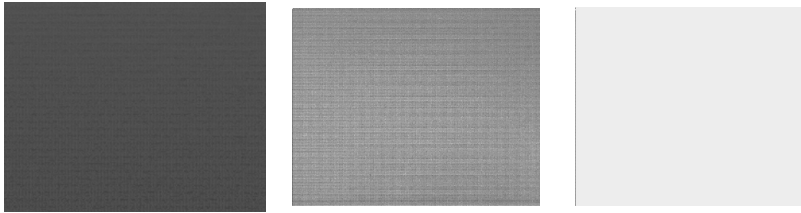


Рис.1.

Микросхема формата 4×288 выполняет в аналоговом виде функцию временной задержки и накопления (ВЗН) по четырем элементам и предназначена для стыковки с субматрицами фотодиодов типа КРТ, 8-12 мкм. Период расположения входов в направлении сканирования – 42 мкм, в поперечном – 28 мкм. Напряжение питания и управляющие импульсы – 5 В, рассеиваемая мощность не более 20 мВт, емкости на которых проводится последовательное суммирование сигналов от четырех детекторов – 4 или 8 пФ, количество аналоговых выходов – 4.

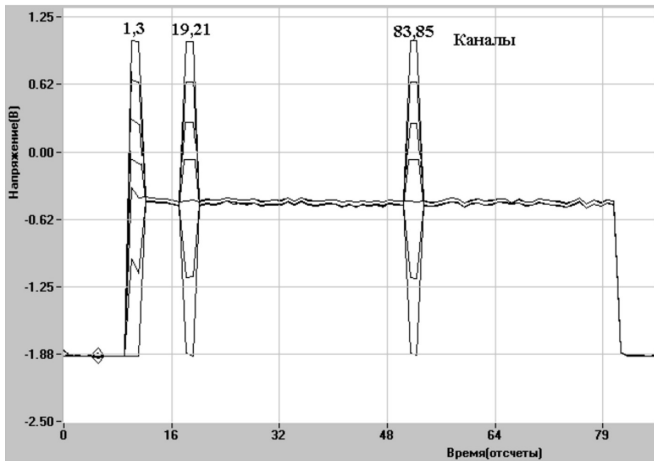


Рис.2.

Микросхема позволяет проводить отключение произвольного числа дефектных чувствительных элементов фотоматрицы, а также замещение тока таких отключенных детекторов некоторым заданным, внешним током, что даёт однородность выходного сигнала по каналам. На рисунке 2 приведена оциллограмма выходного сигнала (выход первой половины нечетных каналов) при отключении одного, двух, трёх и всех детекторов в каналах 1,3,19,21,83,85 и последующей подачи замещающего тока, «выравнивающего» оциллограмму (или уменьшающему выходной сигнал – вплоть до минимального значения – если замещающий ток слишком велик).

Для работы микросхемы достаточно двух тактовых управляющих импульсов. Полный цикл измерения – 11 периодов импульса интегрирования.

Функциональным прообразом схемы является фокальный процессор ФПУ типа ID TL061 фирмы "SOFRADIR" (Франция).

4. Микросхема формата 640×512 ячеек размером 20×20 мкм предназначена для матриц фотодиодов типа InSb, QWIP, InGaAs. Зарядовая емкость в ячейке составляет $5 \cdot 10^6$ электронов, частота кадров полного формата достигает 120 Гц. Остальные общие функции, возможности и параметры микросхемы, в том числе по бездефектности – аналогичны реализованным в мультиплексоре формата 320×256 ячеек 30×30 мкм (тип 2).

1. Бородин Д.В., Осипов Ю.В // Электроника, микро- и нанoeлектроника. Сборник научных трудов / Под ред. В.Я. Стенина. – М.: МИФИ, 2005.С. 21-26.

**У77 Особенности изготовления многоэлементных
быстродействующих фотодиодов на основе гетероструктур
InGaAs/InP**

Гришина Т.Н., Чинарёва И.В., Кравченко Н.В., Трищенко М.А., Трошков А.Е.
ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Рассмотрены основные применения матричных фокально-плоскостных InGaAs/InP фотоприёмных устройств (ФПУ). Описаны четыре варианта работы матричных ФПУ: метод синхронного накопления, метод стробоскопа, метод высокой частоты кадров, метод дальномера. Разработана технология изготовления матрицы InGaAs/InP фотодиодов (ФД). Матрица *p-i-n* фотодиодов изготавливались по планарной технологии. Рассмотрены ключевые операции: плазмохимическое осаждение пленки Si_3N_4 в качестве просветляющего, защитного и маскирующего покрытия, вскрытие активной области и контактных окон в пленке Si_3N_4 , процесс диффузии, процесс напыления металлических контактов. Указаны основные особенности и параметры технологических режимов. По разработанной технологии изготовлена матрица гетерофотодиодов InGaAs/InP формата 128×128 элементов с шагом 0,06 мм. На ее основе разработано и изготовлено матричное ФПУ. С помощью МФПУ получено изображение при облучении объекта лазером 1,55 мкм.

У78 Охлаждаемые до промежуточных температур фотоприемники на основе КРТ спектрального диапазона 2-4 мкм

^{1,2}Болтарь К.О., ¹Дражников Б.Н., ^{1,2}Пономаренко В.П.

¹ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

² Московский физико-технический институт (ГУ), Долгопрудный, Россия

Уникальный материал фотоэлектроники – твердый раствор теллурида кадмия-ртути (КРТ) пригоден для создания фотоприемников, в том числе многорядного и матричного типов, ближнего (1-3 мкм) и среднего (3-5 мкм) инфракрасного диапазонов, которые работоспособны при охлаждении до промежуточных температур 180-200К. Они находят применение в различной аппаратуре гражданского и военного назначения, в том числе для космических оптоэлектронных приборов.

В работе приведены экспериментальные температурные зависимости фотоэлектрических характеристик фотоприемников на основе фотодиодов из КРТ, граничная длина волны $\lambda_{0,5}$ и удельная обнаружительная способность D^* при температуре 200К составляют: $\lambda_{0,5}=2,8$ мкм и $D^*=7 \cdot 10^{11}$ Вт⁻¹·см·Гц^{1/2}, $\lambda_{0,5}=4,5$ мкм и $D^*=5 \cdot 10^{10}$ Вт⁻¹·см·Гц^{1/2}, $\lambda_{0,5}=4,7$ мкм и $D^*=2,5 \cdot 10^{10}$ Вт⁻¹·см·Гц^{1/2}. Проведено сравнение характеристик фотодиодов на основе КРТ с приемниками на основе халькогенидов свинца.

У79 Матричное фотоприёмное устройство на основе InGaAs/InP для ближнего ИК диапазона

¹Залетаев Н.Б., ¹Чинарёва И.В., ¹Кузнецов П.А., ¹Кравченко Н.В., ¹Климанов Е.А.,
¹Трошков А.Е., ¹Зайцев А.А., ^{1,2}Кузнецов А.В.

¹ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

² Московский физико-технический институт (ГУ), Долгопрудный, Россия

Разработано и исследовано матричное фотоприёмное устройство формата 128×128 для ближнего ИК-диапазона на гетероэпитаксиальной структуре InGaAs/InP, состыкованной индиевыми микроконтактами с кремниевым КМОП мультиплексором.

Основные параметры ФПУ:

– шаг (размер) ФЧЭ	60×60(50×50)мкм ² ;
– спектральный диапазон	0,9...1,7 мкм;
– диапазон рабочих температур	230...290 К;
– время накопления	100 мкс...40 мс;
– экв. шуму входной заряд	1000 e ⁻ (T=290 К);
– экв. шуму разность температур	1 К (T=273 К);
– макс. чувствительность	1 мкВ/e ⁻ ;
– макс. выходной сигнал	2 В;
– макс. скорость считывания	4 МГц (1 выход);
– термостабилизация	двухкаскадный ТЭО.

На основе ФПУ разработана видеокамера. В докладе приводятся фрагменты полученных фото- и видеоизображений объектов в ближнем ИК-диапазоне.

У80 Разработка перспективных матричных фотоприемников на основе сернистого свинца, охлаждаемых до промежуточных температур

Дражников Б.Н., Бочков В.Д., Бычковский Я.С., Казарова Ю.А.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Рассматривается современная конструкция и технология изготовления матричных фотоприемных устройств на основе существующих способов изготовления поликристаллических пленок сернистого свинца с фоточувствительностью в области спектра 2-3 мкм. Фотоприемник представляет собой тонкопленочные PbS фоторезисторы непосредственно нанесенные на микросхему КМОП мультиплексора, обеспечивающего накопление на время кадра и считывание фотоэлектрических сигналов. Для достижения высоких фотоэлектрических параметров фотоприемник в составе фотопремного устройства установлен на охлаждаемой поверхности термоэлектрического охладителя, обеспечивающего температуру охлаждения фотоприемника 200К.

В работе представлены результаты анализа потенциальных возможностей достижения предельной чувствительности матричного ФПУ, приближающейся к пределу ограниченному фоном (BLIP-режим).

А01 Корреляционная теория неоднородных стационарных случайных полей флуктуаций концентрации подвижных носителей и токов в базе p - n перехода

Селяков А.Ю.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Методом Ланжевена рассчитаны спектральные плотности флуктуаций (СПФ) концентрации подвижных носителей и токов $S_p(x, V)$ и $S_j(x, V)$, соответственно (в том числе СПФ флуктуаций плотности фотоиндуцированных носителей и токов $S_{pph}(x)$ и $S_{jph}(x)$ соответственно) в квазинейтральной n области p^+ - n перехода с базой конечной длины, на котором подерживается смещение произвольной полярности, для случая омического и блокирующего контакта к базе. Вместе с тем рассчитаны взаимные спектральные плотности флуктуаций (ВСПФ) концентрации подвижных носителей и токов $S_p(x_1, x_2, V)$, $S_j(x_1, x_2, V)$ и $S_{p,j}(x, 0, V)$, соответственно, (в том числе ВСПФ флуктуаций плотности фотоиндуцированных носителей и токов $S_{pph}(x_1, x_2)$ и $S_{jph}(x_1, x_2)$ соответственно) в квазинейтральной n области рассматриваемого p^+ - n перехода. Установлено, что распределение СПФ концентрации подвижных носителей в базе $p - n$ перехода носит более сложный характер, чем описано в научной литературе [1,2]. Показано, что ВСПФ концентрации подвижных носителей в базе и диффузионного тока p - n перехода $S_{p,j}(x, 0, V)$ существенным образом ($\propto (\exp(qV/(kT)) - 1)$) зависит от приложенного напряжения. Иными словами флуктуации продольной проводимости базы p - n перехода коррелированы с флуктуациями диффузионного тока только в неравновесном состоянии. Обсуждается возможность реализации ИК фотодетектора с коррелированной обработкой сигнала и шума.

Литература

1. И.И. Таубкин. // *УФН*. 2006. т. **176**, вып. **12**. с. 1321 –1339

2. А. Ван-дер-Зил Флуктуационные явления в полупроводниках. М. ИЛ. 1961

А02 Анализ шумов ИК фотодиодов на основе HgCdTe

¹Селяков А.Ю., ¹Бурлаков И.Д., ^{1,2}Пономаренко В.П., ¹Филачев А.М.

¹ *ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия*

² *Московский физико-технический институт (ГУ), Долгопрудный, Россия*

Обосновано стохастическое граничное условие к амбиполяроному уравнению Ланжевена на границе раздела ОПЗ - квазинейтральная база, справедливое при небольших смещениях p - n перехода любой полярности, в частотном диапазоне, ограниченном условием $\omega \ll (t_{fl}^{\mu})^{-1} = (t_{fl}^D)^{-1}$, где t_{fl}^{μ} – время пролета дырок через ОПЗ, обусловленного дрейфом в электрическом поле

p^+ - n перехода, а t_{fl}^D – время пролета через ОПЗ дырок, диффундирующих из p^+ области. Оценки показывают, что для p^+ - n перехода на основе тройного твердого раствора $Hg_{1-x}Cd_xTe$ ($x \approx 0,2$), сформированного низкоэнергетичной ионной обработкой рассматриваемый частотный диапазон простирается вплоть до нескольких гигагерц. На основе точного решения уравнения Ланжевена, удовлетворяющего данному стохастическому граничному условию, рассчитана спектральная плотность флуктуаций (СПФ) плотности диффузионного тока и фототока p^+ - n перехода с базой конечной длины для случая омического и блокирующего контакта к базе. Так же рассчитаны аддитивные составляющих таких СПФ, обусловленные случайным характером процессов тепловой генерации, фотогенерации, рекомбинации и случайным характером процессов рассеяния. Установлено, что на высоких частотах шумы диффузионного тока и фототока обусловлены случайным характером процессов рассеяния вне зависимости от приложенного напряжения и при любой структуре p^+ - n перехода. При этом на низких частотах доминирующий механизм шума диффузионного тока зависит от параметров структуры p - n перехода и приложенного напряжения, а шумы фототока обусловлены случайным характером процессов фотогенерации и рекомбинации вне зависимости от структуры p - n перехода. Вместе с тем, относительный вклад шумов, обусловленных случайным характером процессов рассеяния в СПФ фототока на низких частотах, зависит от структуры p - n перехода и от отношения диффузионной длины неосновных носителей к длине поглощения.

Показано, что характер зависимости СПФ плотности диффузионного тока от частоты существенно зависит от величины и знака смещения на p^+ - n переходе. Так, при обратном смещении, удовлетворяющем условию $|qV| > 3kT$ СПФ плотности диффузионного тока p^+ - n перехода с короткой ($d < L_p$) базой и блокирующим контактом в $\text{th}(d/L_p)$ раз меньше СПФ плотности диффузионного тока аналогичного p - n перехода с длинной базой во всей области применимости полученных результатов $\omega \ll (t_{fl}^u)^{-1} = (t_{fl}^D)^{-1}$. При нулевом и небольшом смещении любой полярности СПФ плотности диффузионного тока p - n перехода с короткой базой и блокирующим контактом в $\text{th}(d/L_p)$ раз меньше СПФ плотности диффузионного тока аналогичного p - n перехода с длинной базой только в ограниченном частотном диапазоне, ширина которого зависит от величины и знака смещения на p - n переходе.

A03 Метод оценки качества компиляции многоспектральных изображений

Борисова И.В., Горенко В.Н.

Филиал ФГУП «ПО «УОМЗ» «УралСибНИИОС», Новосибирск, Россия

Рассматривается задача оценки качества компилированного изображения и определения параметров фотоприемных модулей, влияющих на процесс компиляции.

Процесс компиляции изображений должен не только объединять информацию различных каналов в единое выходное изображение, но и выделять наиболее существенные части изображений на основе информативных (по выбранному критерию) признаков. Поэтому компиляция изображений путем линейного взвешивания является не самым удачным вариантом.

Предлагается оценка качества изображения, основанная на анализе его структуры:

$$K = \frac{\left| S - \sum_{(m,n) \neq (0,0)} (m^2 + n^2) / (W-1) \right|}{W},$$

где
$$S = \frac{\sum_{(m,n) \neq (0,0)} |F(m,n)|^2 \cdot (m^2 + n^2)}{\sum_{(m,n) \neq (0,0)} |F(m,n)|^2}$$
 - оценка структуры

изображения,

F – двумерный дискретный спектр Фурье изображения,

W - количество элементов изображения.

Введение оценки качества изображений позволяет оценить результат работы различных алгоритмов компиляции изображений не только с точки зрения визуального качества, но и количественно. Более высокое качество компилированного изображения демонстрируют алгоритмы, основанные на выделении и оценке перепадов яркости.

Анализ алгоритмической базы показал, что на процесс компиляции наибольшее влияние оказывают следующие значения: отличие средней яркости объекта от средней яркости фона, геометрическое разрешение отдельных приемников и системы комплексирования в целом, интегральные шумы приемника. Оценку физических параметров фотоприемных модулей достаточно производить не по компилированному изображению, а по отдельным спектральным каналам.

А04 Влияние конструкции и приёмов изготовления на фотоэлектрические параметры резистивных приёмников излучения из материала ГЭС КРТ МЛЭ

Акимова Н.М., Бельшева О.В., Долганин Ю.Н., Карпов В.В., Корольков В.П.

ОАО «МЗ «Сапфир», Москва, Россия

В работе исследовались влияния на фотоэлектрические параметры (ФЭП) некоторых конструктивных и технологических методов формирования контактов и фоточувствительной зоны многоэлементных фоторезисторов. Оценивались омические и гетероконтакты, варизонные слои в сочетании с анодным окислом и без него, а также химическое, ионное травление и термическая обработка. Фоточувствительные элементов (ФЧЭ) изготавливались из материала ГЭС КРТ МЛЭ n -типа состава $x \approx 0,3$ и имели следующую топологию: размер ФЧЭ

500×500 мкм, зазор 100 мкм, число элементов от 1 до 5.

Было получено, что при рабочей температуре 77 К гетероконтакты на фоторезисторах (по сравнению с омическими контактами) позволяют получать у ФЧЭ небольшое повышение вольтовой чувствительности. Однако спектральная плотность шумового тока таких элементов при токах смещения от 0,1 до 10 мА в 1,5÷3 больше соответствующего уровня шумов ФЧЭ, имеющих омические контакты. Это приводит к аналогичному уменьшению удельной обнаружительной способности ФЧЭ с гетероконтактами. При этом зависимость шума от тока смещения ФЧЭ имеет ярко выраженный максимум в области 2,5-3 мА, что позволяет сделать следующие выводы:

- добавочный по отношению к ФЧЭ с омическими контактами шум определяется наличием гетероконтактов, в основном прямосмещённого гетероконтакта;

- резкий рост шумов при малых смещениях, достижение максимума и последующий спад, очевидно, обусловлен наличием двух встречно действующих факторов: степенным ростом шумового тока и уменьшением ширины перехода под действием прямого смещения. При токах смещения более 10 мА наблюдается сближение уровней шумов ФЧЭ с омическими и гетероконтактами;

- некоторое увеличение вольтовой чувствительности у ФЧЭ с гетероконтактами объясняется, по-видимому, действием обратно смещенного гетероперехода.

При повышении рабочей температуры до 220 К влияние гетеропереходов становится не столь ярко выраженным, как при температуре жидкого азота. Наблюдается снижение добавочной составляющей шумового тока (гетеропереход становится менее выраженным), однако преимущество в пороговой чувствительности остаётся, как правило, за ФЧЭ с омическими контактами.

Таким образом, в ФЧЭ с большой чувствительной площадкой применение гетероконтактов как фактора, уменьшающего влияние эффекта «выметания» [1], не выгодно.

При изучении влияния анодного окисла, как предполагаемого пассивирующего покрытия, на фотоэлектрические параметры исследованных ФЧЭ и их сохраняемость получены следующие результаты.

Выращивание анодного окисла стабилизирует поверхностные состояния варизонного слоя, что в конструкциях без анодного окисла достигается длительным гомогенизирующим отжигом ФЧЭ после их изготовления. В тоже время пороговая чувствительность ФЧЭ без анодного окисла даже после длительного отжига существенно (до 1,5 крат) превышает аналогичную характеристику ФЧЭ с анодным окислом.

Вариации технологических приёмов (химическое или ионное травление и их комбинация) на операциях выделения меза-структуры и подконтактной обработки не оказывают существенного влияния на ФЭП.

1. Musca C. A. et al. Enhanced responsivity of $Hg_{0,8}Cd_{0,2}Te$ infrared photoconductors using MBE grown heterostructures. *Infrared Physics & Technology* 38 (1997) 163-167.

А05 Определение собственного шума неоднородной ИК-матрицы при калибровке эталонным излучателем

Винецкий Ю.Р., Серезжин Л.Б.

ФГУП «ПО «УОМЗ», филиал «Урал-Геофизика», Москва, Россия

При использовании смотрящих ИК-матриц в «ответственных» системах тепловизионной - системах, в которых велика цена ошибок первого и второго родов, - первостепенное значение приобретает точность способа, посредством которого осуществляется подавление «геометрического шума» (ГШ). Наиболее распространенным является способ, при котором матрице предварительно последовательно предъявляются два эталонных излучателя (ЭИ) различной интенсивности, каждый из которых обеспечивает равномерную облученность плоскости матрицы (т.н. двухточечная коррекция), и фиксируются две последовательности кадров, которые в дальнейшем используются для расчёта корректирующих поправок.

Смысл набора последовательности кадров в каждом из предъявлений в том, чтобы обеспечить наименьшую зависимость корректирующих поправок от случайных временных флуктуаций откликов пикселей, так как в вышеназванных «ответственных» системах целью является подавление ГШ до такого уровня пространственного шума, при котором его среднеквадратическое отклонение (СКО) станет ниже СКО временного шума. В типовых условиях это требует уровня СКО остаточного ГШ порядка нескольких десятитысячных долей фонового сигнала. Столь точная калибровка с неизбежностью требует, чтобы при каждом из двух предъявлений ЭИ фиксировались десятки (а лучше сотни) кадров, что, в свою очередь, накладывает жёсткие ограничения на допустимую нестабильность ЭИ в течение времени калибровки. Соблюдение этих ограничений становится отдельной, весьма сложной технической задачей.

В работе представлен способ, посредством которого временная нестабильность применяемых ЭИ может быть с необходимой точностью измерена (и в дальнейшем учтена при вычислении корректирующих поправок) без помощи каких-либо дополнительных инструментов, на основе анализа только выходной информации тестируемой матрицы с априорно неизвестной неоднородностью откликов пикселей. Требования к стабильности ЭИ при этом резко снижаются. Возможность вычленения из сигнала компоненты, связанной с нестабильностью ЭИ, притом, что передаточные характеристики пикселей априорно неизвестны, сомнительна лишь на первый взгляд: это оказывается возможным благодаря тому, что компонента отклика пикселей, вызванная нестабильностью ЭИ, является пространственно-коррелированной, тогда как истинные (собственные) шумы любой пары пикселей некоррелированы.

Представлено теоретическое обоснование данного способа обработки сигнала при калибровке, и экспериментальные данные, подтверждающие обоснованность используемых допущений и эффективность предлагаемого способа при калибровке ИК-матриц «Mars-MW» фирмы «Sofradir».

А06 Эффективный послепороговый метод приёма-обработки многоимпульсных эхо-сигналов при лазерном дальнометрировании воздушных объектов

Винецкий Ю.Р., Титов А.Г.

ФГУП «ПО «УОМЗ», филиал «Урал-Геофизика», Москва, Россия

При работе лазерного дальномера излучаемые импульсы характеризуются очень высокой скважностью. При попытке построения системы, использующей многократное с целью повышения дальности действия накопление эхоимпульсов (режим «пачек»), применить стандартные методы построения в приемном тракте оптимального фильтра по отношению к многоимпульсному отраженному сигналу оказывается невозможно, так как соответствующие устройства требуют нереально высокой производительности. В качестве альтернативного подхода представлено расчетно-теоретическое обоснование простого в реализации метода (алгоритма), обеспечивающего повышение дальности действия лазерного дальномера путем накопления послепороговых импульсов, и получившего названия метода Синхронного Накопления Послепороговых Сигналов (СНПС). Сущность алгоритма состоит в разбиении всего возможного эхо-интервала на дискретные подинтервалы (позиции) с длительностью, определяемой желаемой точностью измерения дальности. Поступающие эхо-импульсы вначале обрабатываются фильтром низких частот, далее подвергаются пороговой обработке (бинаризации), после чего подсчитываются «синхронные» суммы бинарных отсчетов, относящихся к идентичным позициям по всем эхоимпульсам в «пачке». Решение о наличии импульса в некоторой позиции принимается на основе решающего правила типа “N из M”, оптимальный пороговый уровень для которого описывается представленными выражениями. Рассмотрены предпосылки высокой эффективности алгоритма. Теоретически обоснована и подтверждена численным моделированием его высокая асимптотическая эффективность: она совпадает с таковой для оптимального фильтра с точностью до множителя $\sqrt{(2/\pi)}$, каковой является «ценой» бинаризации, проводимой перед накоплением сигнала. Показано, что при несложной модификации алгоритм позволяет вести накопление также в условиях априорной неопределенности динамики сближения с дальнометрируемым воздушным объектом.

Моделирование показало удовлетворительную точность полученных аналитических выражений, предлагаемых для выбора оптимальных режимных параметров алгоритма, а также высокую эффективность разработанного метода. Так при десятикратном накоплении эхо-сигнала выигрыш в отношении сигнал/шум по сравнению с работой при однократном импульсе составляет $\sim 2,8$, а максимальная измеряемая дальность возрастает на ~ 23 %. Очевидным преимуществом разработанного алгоритма также является простота его реализации и отсутствие необходимости затрат, связанных с усовершенствованием элементной базы.

А07 Пространственная фильтрация малоразмерных слабоизлучающих объектов на реальных пространственных фонах

Винецкий Ю.Р., Эскин Ю.М., Касаткин А.В.

ФГУП «ПО «УОМЗ», филиал «Урал-Геофизика», Москва, Россия

Рассматривается задача обнаружения на облачном фоне малоразмерного (с характерными размерами, не превышающем 1-2 пикселей регистрирующей матрицы) объекта, излучающего в ИК-диапазоне, с целью обеспечения надёжного обнаружения при предельно низком - ограниченном термическими флуктуациями фона - уровне облученности от объекта. Классический подход к задаче, предполагающий известную пространственную корреляционную функцию фона, оказывается малоприменимым в случае реальных (в том числе облачных) фонов, статистические характеристики которых плохо описываются пространственно-однородной и изотропной моделью. Одним из препятствий, в частности, является неприменимость к реальным сценам предположения о неизменности всюду в кадре величины среднеквадратического отклонения (СКО), по отношению к которой классическая теория предписывает устанавливать порог обнаружения.

При попытках реализации такого алгоритма даже вычисление «частных» СКО по каждой отдельной строке реальных ИК-изображений приводит к неудовлетворительным результатам - как по уровню сигнала надёжно обнаруживаемых объектов, так и по количеству ложных объектов. Последние обусловлены пространственными неоднородностями фона и дефектами матрицы.

В работе представлены результаты моделирования алгоритма фильтрации, обеспечивающего *на наборе сцен с реальной фоно-объектовой обстановкой* существенно лучшие результаты. Представлены и охарактеризованы различные типы фоновых помех на серии реальных сцен в средневолновом ИК-диапазоне, дано количественное сравнение характеристик обнаружения (в количестве ложных объектов и уровне сигнала, при котором объект надёжно обнаруживается), присущих различным вариантам применяемых практических алгоритмов.

А08 Метод и установка функционального контроля ФПУ на ПЗС с высокоскоростной временной задержкой – накоплением

Забенькин О.Н., Винецкий Ю.Р.

ФГУП «ПО «УОМЗ», филиал «Урал-Геофизика», Москва, Россия

В системах наблюдения поверхности Земли находит применение ПЗС с временной задержкой-накоплением (ВЗН), причём в ряде случаев необходима высокая (~ 100-200 м/с) скорость перемещения зарядового конвейера при осуществлении ВЗН, что требует применения специальных конструктивно-технологических мер для предотвращения «смаза» изображения. Контроль отсутствия такого смаза необходим как на промежуточных стадиях, так и в качестве важнейшего элемента финишного контроля параметров готового прибора, однако при прямом способе измерения степени смаза требуется

создание специального прецизионного измерительного сканера – громоздкого и дорогостоящего прибора.

В работе представлен компактный метод, позволяющий осуществить необходимый контроль «смаза» с помощью минимума нестандартных измерительных средств и не требующий оптико-механического сканера. Описаны принцип действия и конструкция измерительной установки. Метод может применяться для широкого класса задач контроля передаточных функций приёмников движущегося изображения.

А09 Расчеты спектров и времен релаксации электронов в квантовой яме CdTe/Hg_{1-x}Cd_xTe/CdTe с инвертированной зоной

Гуменюк-Сычевская Ж.В., Мележик Е.О.

Институт физики полупроводников НАН, Киев, Украина

Квантовые ямы (КЯ) CdTe/Hg_{1-x}Cd_xTe/CdTe, сегодня находятся в центре внимания научной общественности. Такие структуры считаются перспективными для создания детекторов ТГц-диапазона, обладающих высоким быстродействием, и не требующих охлаждения до гелиевых температур. Сегодня в литературе свойства таких КЯ исследованы только для случая $x=0$. Максимальная же подвижность локализованных электронов и максимальное быстродействие достигаются при ненулевых составах $0 < x < 0,16$, при которых ширина эффективной запрещенной зоны ямы будет мала, а материал ямы будет обладать инвертированной зонной структурой.

Поэтому целью этой работы является численное моделирование времен релаксации, волновых функций и спектров электронов в КЯ CdTe/Hg_{1-x}Cd_xTe/CdTe, и установление характерных особенностей таких времен, функций и спектров при различных ширинах ямы L , величинах разрыва валентных зон Δ и составе x из диапазона $0 < x < 0,16$.

В работе показано, что варьирование состава x от 0 до 0,16, позволяет изменить область локализации электронов на двух нижних уровнях КЯ. Так, если при $x=0$ волновые функции электронов имеют максимумы на интерфейсах и быстро затухают внутри ямы, то при увеличении состава x , вероятность найти электрон оттягивается обратно в яму. Это позволяет говорить об изменении механизма рассеяния таких электронов. Если для ямы CdTe/HgTe/CdTe доминирующим механизмом было рассеяние на интерфейсах, то при увеличении x роль интерфейсного рассеяния нивелируется, и доминирующим становится рассеяние внутри КЯ.

Интерфейсные уровни лежат ниже дна зоны проводимости ямы, и возникают вследствие наличия инвертированной зонной структуры в яме. Наличие таких уровней оказывает сильное влияние на времена релаксации локализованных электронов, поскольку, в отличие от классических полупроводников, основной уровень ямы может пересекать уровень Ферми даже в отсутствие легирования, что существенно повлияет на степень заполнения основного уровня.

Получен критерий для определения количества интерфейсных уровней локализованных электронов в КЯ. Критерий применим для КЯ рассматриваемого

типа с любыми составами x из диапазона $0 < x < 0.16$, и коррелирует с более ранними результатами других авторов для квантовой ямы CdTe/HgTe/CdTe [*].

Мы предполагали, что доминирующим механизмом релаксации в рассматриваемом случае является рассеяние на продольных оптических фононах. Расчеты показали наличие эффекта резкого (на два порядка) возрастания времен релаксации электронов основного уровня при варьировании состава и ширины КЯ. Данный эффект проявляется при малых ширинах КЯ, азотных температурах и составах x , близких к 0.16, в нелегированных КЯ.

Кроме того, учет заполнения состояний приводит к росту времени жизни.

* G. Bastard. Wave mechanics applied to semiconductor heterostructures (New York, Halsted Press, 1988).

A10 Высокочувствительный тепловизионный приемник на основе матричного КРТ ФПУ формата 128×128

¹Сизов Ф.Ф., ²Васильев В.В., ³Рева В.П., ¹Голенков А.Г., ¹Забудский В.В.,
²Сабинина И.В., ³Коринец С.В.

¹*Институт физики полупроводников НАН, Киев, Украина*

²*Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия*

³*Институт микроприборов НАН, Киев, Украина*

Исследования в области разработки матричных КРТ (кадмий - ртуть - теллур) фотоприемных устройств (ФПУ) гибридного типа для средней инфракрасной области спектра (3÷5 мкм) проводятся достаточно давно. Тем не менее, интерес к созданию новых типов ФПУ с улучшенными параметрами и дополнительными функциональными возможностями не ослабевает. Среди основных направлений усовершенствований матричных ФПУ можно выделить повышение количества элементов матрицы, уменьшение площади фоточувствительного элемента (до 15×15 мкм² и менее), увеличение частоты кадров и уменьшение времени захвата изображения, оптимизация управления режимами работы ФПУ и регистрации видеосигнала.

В данной работе исследованы параметры матричного КРТ ФПУ формата 128×128 гибридного типа, в котором Si-схема считывания информации (мультиплексор) обеспечивает частоту кадров 200 Гц, управление режимами работы ФПУ по последовательному синхронному интерфейсу (частота кадров, время накопления заряда, вывод только одной заданной строки, тестовый режим), формирует сигналы синхронизации «начало кадра», «начало строки» и «данные действительны» для периферийной аппаратуры, а также задает обратное смещение на фотодиоды. Общее количество контактных выводов ФПУ – 14.

Схемы считывания изготовлены по стандартной КМОП технологии с проектными нормами 1,0 мкм и обеспечивает динамический диапазон более 80 дБ при максимальном уровне выходного сигнала 3 В и потребляемой мощности менее 50 мВт. Процент выхода годных схем считывания превышает 90 %.

Фоточувствительные элементы (фотодиоды) изготовлены на гетероэпитаксиальных слоях КРТ, полученных методом молекулярно-лучевой

эпитаксии, n^+ - р переход формировался методом ионной имплантации бора. Матрица фотодиодов через индиевые контакты соединялась с Si-мультиплексором.

Измерения показали, что среднее значение температуры излучения эквивалентной шуму NETD составляло 20 ± 4 мК (температура фонового излучения $T = 300$ К, угол зрения $2\theta = 180^\circ$, холодная диафрагма не использовалась).

С использованием ФПУ получены тепловизионные изображения.

А11 Многоэлементные приемники терагерцового излучения на основе CdHgTe

Сизов Ф.Ф., Апатская М.В., Гуменюк-Сычевская Ж.В., ¹Дворецкий С.А., Забудский В.В., ¹Михайлов Н.Н., Момот Н.И., Сахно М.В., Смолий М.И., Цибрий З.Ф.

Институт физики полупроводников НАН, Киев, Украина

¹Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Сегодня терагерцовый диапазон спектра активно изучается как с точки зрения создания источников, так и приемников излучения. Они могут найти широкое применение в различных областях человеческой деятельности (безопасности, биологии, обнаружении наркотических и взрывных веществ, визуализации изображений, астрономии и т.д.) [1]. За последнее десятилетие создано множество типов источников и приемников ТГц излучения. Однако проблема создания высокочувствительного широкодиапазонного неохлаждаемого или слабо охлаждаемого приемника ТГц излучения вызывает практический интерес и является актуальной. Целью данной работы было разработка и изготовление такого типа детектора, использующего эффект разогрева носителей заряда (SHEB) на основе материала CdHgTe, который широко используется для изготовления ИК-фотодетекторов.

В качестве исходного материала для получения детекторов были использованы слои CdHgTe толщиной от 220\AA до 20 мкм , n - и p - типа проводимости с концентрацией носителей $\cong 3,6 \cdot 10^{15} \div 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Ранее было показано [2], что материал p -типа проводимости с меньшей толщиной слоя CdHgTe обеспечивает большую чувствительность приемника. Принимая во внимание особенности механических и электрофизических свойств этого материала, разработан дизайн и технологический маршрут изготовления многоэлементного приемника. Матрица приемников состоит из 4×11 элементов, антенна к каждому из которых имеет бабочкообразную форму с размером активного элемента $10 \times 50 \text{ мкм}^2$ и площадью металлической антенны 568750 мкм^2 . С целью предотвращения электрического взаимодействия между элементами было проведено вытравливание мезаструктур до диэлектрической подложки. Разработаны режимы нанесения пассивационных покрытий на основе CdTe, а также режимы проведения взрывной фотолитографии с целью получения тонких слоев металлов заданной конфигурации. Измерен фотоответ детекторов (рис. 1), изготовленных на основе материала с разными исходными параметрами, в диапазоне частот падающего излучения $0,037\text{--}1,58$ ТГц, оценена их

вольт-ваттная чувствительность и мощность, эквивалентная шуму ($NEP \sim 10^{-9} \div 10^{-10}$ Вт/Гц $^{-1/2}$ при комнатной температуре).

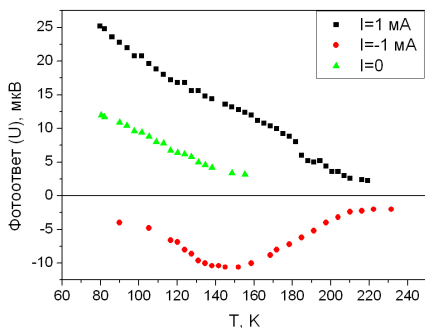


Рис. 1. Температурная зависимость фотоответа одного из элементов детектора при разных значениях тока через образец. Частота падающего излучения – 78 ГГц.

Проведено моделирование распределения ближнего поля в интегральной системе «планарная металлическая антенна - полупроводниковый приемник на диэлектрической подложке». Геометрия системы соответствовала экспериментальному образцу. Продемонстрировано, что антенна усиливает плотность энергии в приемнике до пяти порядков величины по сравнению энергией падающей волны. Расчет был выполнен методом моментов [3] с использованием принципа эквивалентности поверхностей, что делает возможным учет диэлектрической подложки [4]. Рассчитаны спектральные зависимости энергии поля, показано, что положение максимума усиления зависит от геометрии и размеров антенны и размеров болометрического элемента. Изменение геометрии антенны приводит к изменению рабочей частоты детектора и делает его селективным. Преимуществом бабочкообразной антенны является высокое усиление и узкий диапазон рабочей частоты. Кроме того, эта антенна дает более однородное распределение поля внутри приемника по сравнению с дипольной антенной. Учет подложки в модели приводит к сдвигу резонансной частоты в длинноволновую область. Также рассчитана поляризационная зависимость распределения поля в системе и проведено ее сравнение с экспериментальными данными.

1. Sizov F. THz radiation sensors // Opto–electronics review.- 2010.- **V 18** (1).- P. 10–36.

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

3. Milligan T. - *Modern antenna design* —2nd ed., 2005

4. Makarov S. *Antenna and EM modeling with MATLAB*, 2002

A12 Химическое полирование разноориентированной поверхности CdTe растворами I₂-HI

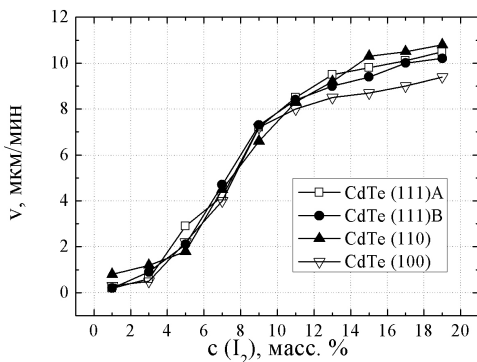
¹Томашик З.Ф., ²Иваницкая В.Г., ³Моравец П., ¹Томашик В.Н., ³Франц Я.

¹ Институт физики полупроводников НАН, Киев, Украина

² Черновицкий национальный университет им. Ю. Федьковича, Черновцы, Украина

³ Институт физики Карлового университета, Прага, Чехия

В предыдущих наших работах показано, что поведение монокристаллической поверхности при травлении зависит от ее кристаллографической ориентации. Целью настоящей работы было изучение процессов растворения монокристаллов CdTe ориентированных по направлениям [100], [110], [111] в йодсодержащих травителях I₂-HI. Использовались образцы площадью 0,25 см² и толщиной 1,5-2 мм изготовленные из слитков CdTe, выращенных по методу Бриджмена. Перед травлением их шлифовали абразивными порошками с уменьшающейся зернистостью, полировали алмазными пастами, обезжирили ацетоном и удаляли травлением нарушенный вследствие механической обработки слой. Исследования проводили в воспроизводимых гидродинамических условиях на установке химико-динамического полирования (ХДП). Скорость растворения образцов определялась по уменьшению их толщины при помощи часового индикатора 1МИГП с точностью ± 1 мкм. Исследования микроструктуры проводили при помощи микроскопа Leitz/Laborlux 12HL, а измерения шероховатости поверхности осуществляли на бесконтактном 3D профилографе "New view 5022 S".



Изучены зависимости скорости растворения полупроводника ($v_{\text{тр}}$) от содержания исходных компонентов в составе травителя, скорости перемешивания раствора и температуры. В исследуемых растворах содержание йода изменялось от 1 до 19 масс.%. Из кконцентрационной зависимости скорости травления видно (рис.), что увеличение содержания йода

в составе травителей приводит к возрастанию скорости травления от 0,2 до 10,8 мкм/мин, причем в том же направлении наблюдается улучшение полирующих свойств растворов. Травители, содержащие до 7 мас.% йода, являются неполирующими для поверхности CdTe, а растворы, содержащие более 7 мас.% I₂ в HI формируют полированную поверхность образцов высокого качества, что было подтверждено результатами металлографического и профилографического анализов.

Отмечается, что изученные составы травильных композиций не характеризуются выраженной анизотропией, поскольку различия в скоростях растворения образцов разных ориентаций были небольшими, и при незначительном изменении состава раствора наблюдались изменения в порядке увеличения скоростей травления для образцов с различной ориентацией поверхности. Температурная зависимость скорости травления и зависимость $v_{тр}$ от скорости вращения диска позволяют сделать вывод о диффузионном ограничении процесса взаимодействия CdTe с растворами I₂ в HI.

Дополнительное введение в состав полирующих растворов органических компонентов (этиленгликоля и 30% водного раствора винной кислоты) приводит к значительному уменьшению скорости травления CdTe при сохранении полирующих свойств травителя. Изучение зависимости скорости травления от времени выдержки травильного раствора показало более высокую стабильность этих йодсодержащих травителей по сравнению с аналогичными бромсодержащими. Отмечено незначительное уменьшение скорости травления в начальный период времени (выдержка до 24 час), тогда как выдержка травителей до 240 час не влияла существенно ни на скорость взаимодействия их с поверхностью полупроводника, ни на ее качество.

Шероховатость поверхности CdTe после обработки некоторыми из полирующих травителей I₂ – HI не превышала 30 нм, что свидетельствует об их удовлетворительных полирующих свойствах и позволяет рекомендовать их для ХДП поверхности CdTe. Они также могут служить основой для разработки новых полирующих составов для химико-механического полирования CdTe путем разбавления вязкими органическими компонентами (этиленгликолем, глицерином и т.п.).

A13 Химическое травление InSb водными растворами H₂O₂-HBr-органическая кислота

Томашик З.Ф., Шелюк И.А., Томашик В.Н., Лукиянчук Э.М.

Институт физики полупроводников НАН, Киев, Украина

В работе в воспроизводимых гидродинамических условиях изучены кинетика и механизм травления InSb растворами H₂O₂-HBr-органическая кислота (ОК). Исследования проводили на монокристаллических пластинах нелегированного InSb *n*-типа с ориентацией (211) площадью 0,5 см² и толщиной 1,5-2 мм. Их предварительно шлифовали и механически полировали, затем травлением удаляли нарушенный слой толщиной 50-80 мкм. Скорость травления определяли по уменьшению толщины пластины с помощью часового индикатора 1МИГП с точностью ± 0,5 мкм. Для приготовления травителей использовали 40 %-ную HBr, 35 %-ную H₂O₂, 80 %-ную молочную (C₃H₆O₃), 27 %-ную винную (C₄H₆O₆) и 40 %-ную лимонную кислоты (C₆H₈O₇) (все марки “х.ч.”). Перед травлением растворы выдерживали в течение 2 часов до установления равновесия в химической реакции, протекающей между компонентами травителя: **H₂O₂ + 2HBr = Br₂ + 2H₂O**

Для исследований был выбран интервал составов растворов, ограниченный треугольником ABC при объемном соотношении H₂O₂: HBr: ОК в

вершинах **A**, **B**, **C** соответственно (в об. %): **A** - 2 : 98 : 0; **B** - 10 : 30 : 60; **C** - 10 : 90 : 0. С применением математического планирования эксперимента построены диаграммы “*состав травителя – скорость травления*” для InSb при $T = 284\text{--}303\text{ K}$ и скорости вращения диска $\gamma = 26\text{--}120\text{ мин}^{-1}$. Как видно из рисунка, все диаграммы похожи друг на друга: скорости травления InSb в этих растворах составляют 2-14 мкм/мин, причем минимальные скорости наблюдаются в насыщенных ОК растворах, а максимальные – при 10 об. % H_2O_2 в НВг. Во всех системах существуют области полирующих (I) и неполирующих (II) растворов.

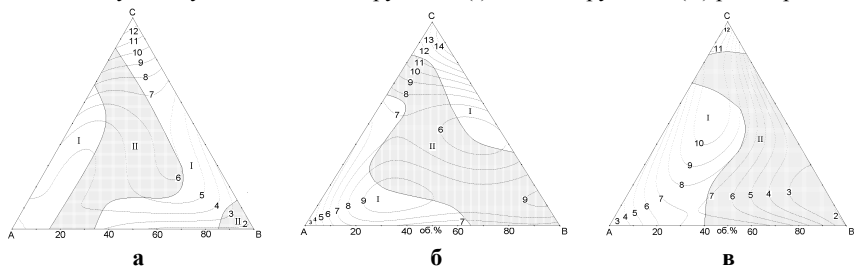


Рис. Поверхности одинаковых скоростей травления (мкм/мин) InSb в растворах: (а) – $\text{H}_2\text{O}_2\text{--HBr--C}_3\text{H}_6\text{O}_3$; (б) – $\text{H}_2\text{O}_2\text{--HBr--C}_4\text{H}_6\text{O}_6$; (в) – $\text{H}_2\text{O}_2\text{--HBr--C}_6\text{H}_8\text{O}_7$. I – полирующие и II – неполирующие травители

Для системы $\text{H}_2\text{O}_2\text{--HBr--молочная кислота}$ область полирующих растворов ограничена составами (в об. %): (2-10) H_2O_2 : (45-98) HBr : (0-45) $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$. В системе $\text{H}_2\text{O}_2\text{--HBr--винная кислота}$ полирующие композиции формируются при соотношении (в об.%) (2-10) H_2O_2 : (60-98) HBr : (0-30) $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$, а для системы $\text{H}_2\text{O}_2\text{--HBr--лимонная кислота}$ область полирующих растворов составляет (в об. %): (2-10) H_2O_2 : (75-98) HBr : (0-15) $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$.

По данным металлографического и профилографического анализов оптимизированы составы травителей, характеризующиеся высокой полирующей способностью ($R_z=0,03\text{--}0,05\text{ мкм}$), и режимы химико-динамического полирования пластин InSb. После полирования кристаллы необходимо немедленно промыть 0,05 М раствором $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ и большим количеством деионизированной воды.

A14 Неохлаждаемый фотовольтаический преобразователь ИК диапазона на основе $\text{Si/Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ ($x=0,3$)

Сизов Ф.Ф., Савкина Р.К., Смирнов А.Б., Дериглазов В.А.

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

Экспериментально, без применения электрического усиления и смещения зарегистрирована э.д.с., которая возникает в образце ($1 \times 1\text{ мм}$) гетероструктуры $\text{Cd}_{0,3}\text{Hg}_{0,7}\text{Te/Si}$ при фотовозбуждении ИК излучением при 300 К. Элемент прототипа фотовольтаического преобразователя ФПП демонстрирует фотовольтаическую спектральную чувствительность на уровне $D^* = 3,071 \cdot 10^8\text{ (Вт}^{-1}\cdot\text{см}\cdot\text{Гц}^{1/2})$ при 300 К. Предложена модель возникновения пьезофотоотклика в гетероструктуре $\text{Cd}_{0,3}\text{Hg}_{0,7}\text{Te/Si}$ при комнатной температуре и

обсуждается фотовольтаическая природа явления. Теоретическая оценка дает $D \sim 10^9$ (Вт $^{-1}$ ·см·Гц $^{1/2}$). Реализовано математическое моделирование, путем решения сеточных уравнений методом Ньютона-Раффсона, которое показало распределение потенциала U , что возникает в пленке узкозонного полупроводника и термостимулированную деформацию гетероструктуры Si/Cd $_x$ Hg $_{1-x}$ Te ($x=0,3$) при 300 К. Установлено, что величина э.д.с. зависит от интенсивности облучения - I , его спектрального состава - $I(\lambda)$ и согласуется с теоретическими и численными оценками.

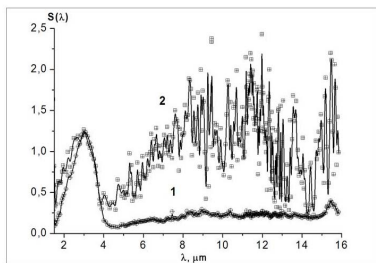


Рис. 1 Отн. спектральная зависимость $S(\lambda)$ фото э.д.с. ФФП при частотах модуляции:
1 - $f_{\text{мод1}} = 338$ Гц и 2 - $f_{\text{мод2}} = 50$ Гц
соответственно.

3D - Semiconductors layers

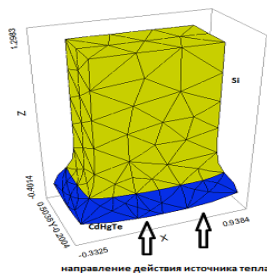


Рис.2 Деформация гетероструктуры Si/Cd $_x$ Hg $_{1-x}$ Te ($x = 0,3$) под действием термического разогрева.

А15 Расчет вольт-фарадных характеристик МДП-структур на основе ГЭС HgCdTe МЛЭ с приповерхностными варизонными слоями с повышенным составом

Войцеховский А.В., Дзядух С.М., Несмелов С.Н., ¹Бурлаков И.Д., ¹Селяков А.Ю.

Сибирский физико-технический институт ТГУ, Томск, Россия

¹ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

В настоящее время распространено создание варизонных слоев с повышенным составом вблизи границ эпитаксиального HgCdTe, что позволяет снизить влияние поверхностной рекомбинации на время жизни носителей заряда в объеме эпитаксиальной пленки. Теоретические и экспериментальные исследования свойств МДП-структур на основе HgCdTe с приповерхностными варизонными слоями актуальны в связи с необходимостью пассивации поверхности приборов микро - и оптоэлектроники на основе HgCdTe. Для корректного определения параметров диэлектрика и границы раздела на основании измерений электрофизических характеристик МДП-структур на основе варизонного HgCdTe необходима методика расчета идеальных вольт-фарадных характеристик (ВФХ) МДП-структур на основе варизонного полупроводника.

Рассмотрено влияние туннелирования через глубокие уровни в области пространственного заряда на емкостные свойства МДП-структур на основе HgCdTe, а также влияние на ВФХ эффектов вырождения и непараболичности. В результате численного решения уравнения Пуассона построены идеальные низкочастотные и высокочастотные ВФХ МДП-структур на основе варизонного HgCdTe. Показано, что зависимости потенциала от напряжения, а также ВФХ существенно различаются для МДП-структур на основе однородного и варизонного материала. Различия ВФХ для структур с варизонными слоями и без варизонных слоев проявляются в режиме инверсии. Проведено сравнение экспериментальных и идеальных ВФХ для МДП-структур $n\text{-Hg}_{0,69}\text{Cd}_{0,31}\text{Te/CdTe}$ и методом Термана определен спектр поверхностных состояний при построении идеальной характеристики по предложенной методике.

A16 Исследование спектров пропускания многослойных гетероэпитаксиальных структур

^{1,2}Болтарь К.О., ¹Яковлева Н.И., ^{1,2}Никонов А.В.

¹ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

² Московский физико-технический институт (ГУ), Москва, Россия

В настоящее время для изготовления односпектральных и многоспектральных фотоприемников инфракрасного диапазона спектра используются многослойные гетероэпитаксиальные структуры (ГЭС) твердых растворов кадмий-ртуть-теллур (КРТ). Задача определения параметров фоточувствительных слоев многослойной гетероэпитаксиальной структуры является крайне актуальной для прогнозирования характеристик фотоприемных устройств, изготовленных на основе ГЭС КРТ, спектры пропускания которых имеют особенности, не объяснимые с точки зрения однослойной модели.

Для определения характеристик многослойных полупроводниковых структур по спектрам ИК пропускания построена теоретическая математическая модель спектра пропускания, основанная на матричном методе Абея, зависящая от коэффициента поглощения α и ряда параметров, характеризующих свойства подложки и слоев, входящих в ГЭС КРТ. Модель позволяет определять характеристики исходных фоточувствительных слоев КРТ, а именно: толщину фоточувствительных и буферных слоев d , состав фоточувствительных слоев. Для более точной оценки параметров используется алгоритм приближения экспериментальной и расчетной характеристик коэффициентов пропускания и отражения. Полученное значение среднеквадратичного отклонения экспериментальной зависимости от расчетной составляет порядка 0,85%.

Проведено моделирование спектров пропускания гетероэпитаксиальных структур с полученными в процессе роста p - n переходами; гетероэпитаксиальных структур p - p типа проводимости различного состава с запорным слоем для двухцветных фотоприемников спектральных диапазонов 3-5 и 8-12 мкм. Исследовано влияние варизонных и буферных слоев на зависимость коэффициента пропускания и параметры фотоприемных устройств.

A17 Разработка принципов и путей построения мультиспектральных ФПУ на основе КРТ

^{1,2}Болтарь К.О., ¹Свиридов А.Н., ¹Яковлева Н.И.

¹ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

² Московский физико-технический институт (ГУ), Долгопрудный, Россия

Для фильтрации изображений в ИК области спектра и получения мультиспектральных изображений в отдельных поддиапазонах ИК-области спектра используются матричные ФПУ на основе КРТ с интерферометрами различной конфигурации, при этом разница расстояния между отражающими поверхностями зеркал интерферометра составляет порядка длины волны фильтруемого излучения.

Рассчитаны характерные значения параметров интерферометров, их число, выбран материал зеркал (пластин), наличие или отсутствие металлических или интерференционных отражающих покрытий на поверхностях используемых пластин в оптической системе. Для фильтрующих устройств с широким диапазоном перестройки (вследствие спектральной селективности интерференционных отражающих покрытий) исследована возможность использования интерферометров с зеркалами без покрытий. Для ФПУ с узким спектральным диапазоном перестройки исследована возможность использования интерферометров с отражающими интерференционными или частично прозрачными золотыми покрытиями.

Изготовлены и исследованы «наклонные интерферометры», работающие в малых порядках интерференции, которые перспективны для получения тестовых моноспектральных полей с заданной длиной волны в плоскости фоточувствительных элементов ФПМ и мультиспектральных ФПМ. Исследованы фотоэлектрические характеристики мультиспектрального ФПУ на основе КРТ в диапазоне длин волн 8...12 мкм.

A18 Фотолюминесцентная характеристика гетерозитаксиальных структур $Cd_xHg_{1-x}Te$, выращенных молекулярно-лучевой эпитаксией

¹Мынбаев К.Д., ¹Баженов Н.Л., ¹Иванов-Омский В.И., ¹Смирнов В.А.,

¹Шиляев А.В., ²Варавин В.С., ²Михайлов Н.Н., ²Якушев М.В., ²Сидоров Г.Ю.,
²Дворецкий С.А.

¹ Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

² Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

В работе будут представлены результаты фотолюминесцентной (ФЛ) характеристики гетерозитаксиальных структур на основе $Cd_xHg_{1-x}Te$ с составом $x=0,32-0,39$, выращенных молекулярно-лучевой эпитаксией (МЛЭ). Структуры выращивались на подложках GaAs и Si с буферными слоями ZnTe и CdTe. Исследовались однородные эпитаксиальные слои (до 8 мкм толщиной), а также структуры с потенциальными ямами шириной 50-200 нм и составом обкладок $x=0,69-0,75$. Изучались свойства как as-grown структур, так и структур,

прошедших термический отжиг в атмосфере He и парах Hg. Измерения проводились в диапазоне температур от 4,2 К до 300 К при импульсном возбуждении полупроводниковым лазером InGaAs/GaAs с длиной волны излучения при $T=300\text{ К}$ $\lambda=1,06\text{ мкм}$. Сигнал ФЛ регистрировался охлаждаемым фотодиодом InSb.

В результате анализа значений полуширины спектральных линий при температуре 4,2 К (FWHM) и отклонения температурного хода положения максимума спектра ФЛ от температурной зависимости ширины запрещенной зоны для данного состава $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ установлено, что для рассматриваемых образцов характерно существенное разупорядочение твердого раствора, вызванное особенностями процесса МЛЭ как неравновесного метода роста. Это разупорядочение оказывается более существенным для эпитаксиальных пленок, выращенных на подложках GaAs (FWHM=16–18 мэВ), чем для пленок, выращенных на подложках Si (FWHM=10–12 мэВ). Разупорядочение может быть уменьшено и сведено до уровня статистических флуктуаций состава путем постростового отжига, причем предпочтительным является отжиг в парах Hg (FWHM=4 мэВ), после которого наблюдается многократное возрастание интенсивности сигнала ФЛ. В структурах с потенциальными ямами влияние разупорядочения на ФЛ свойства менее заметно, чем в структурах с однородными эпитаксиальными слоями, по-видимому, в силу геометрического ограничения области рекомбинации (FWHM=6–13 мэВ). Постростовой отжиг этих структур в атмосфере He незначительно сказывается на разупорядочении (FWHM=8–13 мэВ) и не приводит к заметному увеличению интенсивности ФЛ.

В структурах $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$, выращенных на подложке GaAs и отожженных в атмосфере He, наблюдалось появление широкой полосы рекомбинации «зона проводимости — акцептор» (энергетическое расстояние ~16 мэВ от «краевого» пика ФЛ, FWHM=22–30 мэВ), связанной с генерацией при отжиге вакансий р-типа. В структурах, выращенных на подложке Si, после отжига в парах Hg наблюдалась линия ФЛ, предположительно обусловленная рекомбинацией экситона, связанного на акцепторе. В подобных структурах, отожженных в атмосфере He, наблюдались еще две линии (энергетическое расстояние от «краевого» пика ФЛ ~24 мэВ и ~30 мэВ), связанные с оптическими переходами с участием других акцепторных состояний.

В заключение доклада будут рассмотрены перспективы развития фотолюминесцентных методов характеристики твердых растворов $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$, а также создания излучателей на основе этих сплавов.

A19 Введение акцепторов при гидрогенизации эпитаксиальных структур $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$

Сидоров Ю.Г., Варавин В.С., Сидоров Г.Ю., Гарифуллин М.О.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Гидрогенизация полупроводников – широко известное явление, которое может приводить к изменению электрических и оптических свойств. Для проникновения атомов водорода в материал достаточно его контакта с водной средой. В производстве ИК фотодиодов на основе $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ (КРТ)

присутствуют технологические процессы, при которых появление атомов водорода в КРТ неизбежно (химическая обработка в растворах и сухое плазмохимическое травление). Согласно результатам расчетов [1], водород в CdTe может проявлять как акцепторные свойства, занимая междоузлия между атомами металла, так и донорные, встраиваясь в связь металл-теллур.

В данной работе было измерено распределение концентрации носителей заряда по толщине пленок КРТ МЛЭ после гидрогенизации, которая осуществлялась кипячением в деионизованной воде. В пленках КРТ *n*-типа наблюдалось изменение типа проводимости, а в пленках *p*-типа - увеличение концентрации дырок. Измерения при послойном травлении показали, что после кипячения у поверхности формируется тонкий слой с высокой концентрацией дырок (до 10^{19} см⁻³). С увеличением глубины концентрация резко уменьшается и выходит на почти постоянный уровень. Последующий отжиг приводит к выравниванию профиля распределения акцепторов по всей толщине пленки КРТ и увеличивает их концентрацию до уровня более 10^{18} см⁻³.

Анализ полученных данных показывает, что во время контакта с водной средой происходит насыщение приповерхностного слоя КРТ электрически нейтральными гидридоподобными соединениями. Водород из этих соединений переходит в КРТ с образованием двух типов акцепторов – быстро- и медленно диффундирующих. Предполагается, что быстрые акцепторы – это атомарный водород в междоузлиях, а медленные акцепторы – атомы водорода в узлах подрешетки металла. Отжиг образцов ускоряет переход водорода из нейтральной формы в акцепторную. Предсказанные в работе [1] доноры на основе водорода не наблюдаются. Обсуждается влияние поверхностного слоя КРТ на скорость растворения водорода.

1. ZS. Rak, S.D. Mahanti and Krishna C. Mandal. Ab Initio Studies of Hydrogen Defects in CdTe, J. Electron. Mater. N8 p.1539-1547 (2009)

А20 4-х канальное ФПУ для приема импульсов излучения в диапазоне 0,6-1,1 мкм

Боровков П.М., Казарин Л.Н., Казарин Е.Л., Фролов Н.В., Потапов А.В.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Одними из самых насущных требований к современным типам многоканальных фотоприемных устройств являются их массогабаритные характеристики, устойчивость к внешним воздействующим факторам, в том числе к магнитным и электромагнитным полям. Кроме того в настоящей статье рассмотрены вопросы квазиоптимальной фильтрации импульсных сигналов для достижения максимального соотношения сигнал/шум.

Проведен анализ существующих конструктивных решений.

Проведен анализ существующих схемотехнических способов достижения оптимальных значений чувствительности.

Разработана оригинальная конструкция, позволяющая использовать современную электронную базу на основе гибридных интегральных микросхем (ГИС), с использованием монолитных интегральных схем собственной разработки.

Использована современная сверхминиатюрная элементная база.

Изготовлены образцы и измерены их основные фотоэлектрические характеристики: вольтовая чувствительность, динамический диапазон, коэффициент ослабления.

Намечены пути для дальнейшего совершенствования.

А21 Улучшение разрешающей способности ФПУ для импульсных лазерных дальномеров

Потапов А.В., Боровков П.М.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Непрерывное совершенствование радиоэлектронной аппаратуры требует дальнейшего совершенствования и фотоприемных устройств (ФПУ). На первый план сейчас выходят требования по улучшению чувствительности, при одновременном повышении быстродействия и снижения времени разрешения. Следующие по значимости, но не менее актуальные вопросы по снижению массогабаритных характеристик, повышению надежности, улучшению эксплуатационных характеристик ФПУ, как к внешним воздействующим факторам, так и упрощению в их применении, за счет уменьшения количества источников питания, тактовых генераторов, линий связей и другие вопросы оптимизации характеристик ФПУ рассмотрены в данной статье.

Проведен анализ существующих способов обеспечения разрешающей способности импульсных сигналов применительно к ФПУ.

Рассмотрено влияние этих способов на основные характеристики ФПУ: чувствительность, разрешающую способность, и эксплуатационные особенности.

Разработана математическая модель электронного тракта и представлены в графическом виде полученные расчетные значения.

Разработана оригинальная принципиальная схема, позволяющая значительно улучшить время разрешения, по сравнению с существующими аналогами, структурная схема и особенности ее тракта, также отражены на принципиальной схеме и осциллограммах переходных процессов при воздействии малых и больших по мощности сигналов на ФПУ.

Изготовлены и испытаны образцы, приведены достигнутые значения.

Намечены пути для дальнейшего совершенствования.

А22 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.,
¹Варавин В.С., ¹Дворецкий С.А., ¹Михайлов Н.Н., ¹Сидоров Ю.Г., ¹Якушев М.В.

ОАО «МЗ «Сапфир», Москва, Россия

¹ *Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия*

Приведены результаты разработки многоэлементных фотоприемников (ФП) резистивного типа ИК-излучения диапазона 3-5 мкм с высокими

фотоэлектрическими параметрами, которые могут быть использованы в системах обнаружения и визуализации теплового излучения.

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.

Представлены основные фотоэлектрические параметры фоторезисторов, работающих с термоэлектрическим охлаждением и при комнатной температуре.

Доказано что оптимальные фотоэлектрические характеристики, в том числе и пороговые, могут быть получены на ФП, чувствительные площадки которых имеют подтенение в приконтактных областях. Оптимизация электрофизических характеристик исходного материала, конструкции и архитектуры чувствительного элемента и технологии изготовления позволили создать приёмники излучения, по основным параметрам не уступающие, а по некоторым превосходящие лучшие образцы известных фирм-производителей, таких как: VIGO System S.A. (Польша), Hamamatsu (Япония/США).

Характеристика	Тип приёмника				
	[1]	VIGO	ФР-227	ФР-228М	ПС-2
Удельная обнаружительная способность в максимуме спектральной чувствительности (в НКУ), $\text{Вт}^{-1}\cdot\text{см}\cdot\text{Гц}^{1/2}$	$4,5\cdot 10^{10}$	$3\cdot 10^{10}$	$(9\div 11)\cdot 10^{10}$	$(7\div 11)\cdot 10^{10}$	$(1\div 1,7)\cdot 10^{10}$
Сопrotивление, не менее, Ом	≥ 500		800	800-	400
Число элементов	≤ 4	1	1	5	14
Топология				Линейка	Крест
Размер ФЧЭ, мм	$0,1\times 0,1;$ $0,5\times 0,5$		$0,5\times 0,5$	$0,5\times 0,5$	$0,5\times 0,1$
Тип корпуса	ТО5-1	ТО-8	ТО-8	ТО-8	
Число каскадов ТЭО	3	2	2	2	3
Положение максимума спектральной чувствительности, мкм	4,2	4,0	$3,8\div 4,2$	$3,8\div 4,2$	$4,2\div 4,5$
Диапазон рабочих температур окружающей среды, °С	$-60 \div +75$	$-10 \div +50$	$-60 \div +60$	$-60 \div +60$	$-60 \div +60$
Рабочая температура, К	205-210	230	218-225	218-225	210-215
Сохраняемость параметров при 60°С, час	-	-	более 1200	более 1200	Более 1200
Состав материала			0,295-0,31	0,295-0,31	0,290- 0,295

1. Ларцев И.Ю., Никитин М.С., Чеканова Г.В. Фотоэлектрические параметры КРТ фоторезисторов с термоэлектрическим охлаждением. Прикладная физика 2003, №4, с.80-86.

A23 Система регистрации одиночных фотонов видимого и ближнего инфракрасного диапазонов волн

^{1,2}Манова Н.Н., ^{1,2}Смирнов К.В., ^{1,2}Вахтомин Ю.Б., ^{1,2}Дивочий А.В., ¹Ожегов Р.В., ²Гольцман Г.Н.

¹ ЗАО «Сверхпроводниковые технологии», Москва, Россия

² Московский педагогический государственный университет, Москва, Россия

Мы представляем систему регистрации одиночных фотонов видимого и инфракрасного диапазонов волн на основе сверхпроводниковых однофотонных детекторов (Superconducting Single Photon Detector - SSPD).

Рабочий элемент однофотонного сверхпроводникового детектора представляет собой длинную (500 мкм) узкую (100-120 нм) и тонкую (3-4 нм) полосу нитрида ниобия (NbN) сформированную в форме меандра, покрывающего площадь 10 мкм на 10 мкм. Принцип действия детектора основан на возникновении локальной резистивной области в сверхпроводящей полоске в результате поглощения фотона.

Охлаждение SSPD до рабочей температуры 1,7 К осуществляется с помощью низкотемпературной вставки, адаптированной для гелиевого транспортного сосуда Дьюара. Рабочая температура достигается путем откачки паров гелия из температурно-изолированного от гелиевой ванны объема внутри вставки, соединенного капилляром с гелиевым объемом. Первоначальное достижение рабочей температуры происходит в течение ~1,5 часов; повторное охлаждение детектора, благодаря разработанной нами системе регуляции давления, требует не более 15 минут. Стандартный 40 литровый транспортный сосуд Дьюара обеспечивает непрерывную работу системы регистрации в течение приблизительно одного месяца.

Согласование SSPD детектора указанной площади с излучением реализуется с использованием стандартного одномодового волокна с диаметром светопроводящей жилы (core) 9 мкм. Нами был разработан метод совмещения SSPD с кором одномодового оптоволокна, эффективность согласования которого близка к 1. Свободный конец одномодового оптоволокна имеет стандартный FC коннектор.

Электрическое питание детектора и усилительный тракт конструктивно объединены в единый электронный блок, позволяющий также контролировать температуру детектора и давление внутри откачиваемого объема. Предусмотрено полное компьютерное управление электронным блоком, с возможностью запоминания используемых режимов работы системы.

Модификации системы имеют от одного до четырех независимых приемных каналов. Каждый канал обладает квантовой эффективностью $\geq 10\%$ на длине волны 1,26 мкм и $\geq 5\%$ на длине волны 1,55 мкм. Уровень темнового счета составляет 10 отсчетов в секунду, быстродействие ≥ 70 МГц, временное разрешение ~40 пс.

Система регистрации одиночных фотонов видимого и инфракрасного диапазонов волн перспективна для измерений временных характеристик оптического сигнала малой мощности, в дальних волоконно-оптических коммуникациях, флуоресцентной спектроскопии, при исследовании

однофотонных источников излучения, а также в квантовой оптике и квантовой криптографии.

A24 Расчёт фоточувствительности CdHgTe фотодиода с асимметрично-немонотонным координатным профилем ширины запрещенной зоны

Соколовский Б.С.

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

В работе рассчитывается фоточувствительность варизонного фотодиода на основе твердого раствора CdHgTe переменного состава, в котором координатная зависимость ширины запрещенной зоны имеет кусочно-линейный характер с различными наклонами по обе стороны от p - n перехода, а на самой металлургической границе p - n перехода ширина запрещенной зоны принимает минимальное значение. Предполагается, что фотодиод освещается со стороны прозрачного омического контакта монохроматическим излучением, поглощение которого моделируется ступенчатой функцией от энергии фотона.

Принимая во внимание построенную энергетическую диаграмму рассматриваемого фотодиода, выполнен аналитический расчет фототока, на основе которого проанализирована спектральная зависимость фоточувствительности фотодиода и влияние на неё градиентов ширины запрещенной зоны, скорости поверхностной рекомбинации фотоносителей и толщин базовых областей.

Показано, что с увеличением асимметрии энергетической диаграммы фотодиода, когда градиент ширины запрещенной зоны принимает всё меньшее значение в тыльной области, происходит рост фоточувствительности фотодиода за счет увеличения поглощения ИК излучения

A25 Фоточувствительные структуры на основе варизонных эпитаксиальных слоев $Cd_xHg_{1-x}Te$

Писаревский В.К., Соколовский Б.С., Лозинская М.И., Сторчун О.П., Симкив Б.А., Шевченко А.В.

Львовский национальный университет имени Ивана Франко, Львов, Украина

В работе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований, направленных на получение фоточувствительных варизонных эпитаксиальных слоев $Cd_xHg_{1-x}Te$ методом парофазной эпитаксии и создание на их основе детекторов ИК излучения. Показано, что используемый метод "испарение-конденсация-диффузия" является наиболее оптимальным и доступным для получения слоев с контролируемым градиентом ширины запрещенной зоны. Определены технологические параметры процессов роста и формирования свойств варизонных эпитаксиальных слоев $Cd_xHg_{1-x}Te$ с заданными параметрами.

Проведено теоретическое моделирование фотоэлектрических процессов в варизонных слоях с целью поиска возможностей улучшения характеристик приемников ИК-излучения. Для p - n переходов в варизонных полупроводниковых материалах $Cd_xHg_{1-x}Te$ уменьшение обратных токов можно достичь, используя структуры с широкозонным слоем в базовой области. В этих структурах возможно проявление отрицательного дифференциального сопротивления на обратных ветвях ВАХ. Наличие широкозонного слоя приводит к росту динамического сопротивления p - n перехода и повышению чувствительности фотодетекторов, работающих при обратном смещении. Аналитический расчет фототока тонкой p - n структуры с немонотонным координатным профилем ширины запрещенной зоны показывает возможность расширения области спектральной чувствительности и увеличение квантовой эффективности фотообразования в коротковолновой области за счет уменьшения рекомбинационных потерь на контактах и в объеме. Наличие градиента ширины запрещенной зоны в эпитаксиальных слоях $Cd_xHg_{1-x}Te$ создает для повышения чувствительности фоторезистивных детекторов, в частности, можно существенно снизить влияние эффекта вытягивания носителей заряда. Показана возможность реализации в варизонных фотодетекторах изменение знака фотонапряжения в спектральных характеристиках.

Предложенные методы повышения эффективности фоточувствительных структур на основе варизонных слоев $Cd_xHg_{1-x}Te$ реализованы в опытных образцах детекторов ИК-излучения.

А26 Релаксация фотопроводимости в пористом кремнии с цилиндрической геометрией пор

Монастырский Л.С., Соколовский Б.С., Павлык М.Р., Аксиментьева Е.И.

Львовский национальный университет им. Ивана Франко, Львов, Украина

Практические успехи кремниевой нанотехнологии, в частности формирование кремниевых пористых наноструктур, связаны с возможностью создания на их основе фоточувствительных и светоизлучающих в видимом диапазоне длин волн приборов. Представляют интерес структуры из пористого кремния, изменяющие фотопроводимость под действием внешних факторов. Изменение фотопроводимости и ее кинетики под действием различных газовых сред можно использовать для создания эффективных газовых сенсоров. Для прогнозирования и формирования необходимых параметров таких сенсоров необходимо знать зависимость фотопроводимости и ее кинетики от свойств поверхности пористого кремния, которые изменяются под воздействием газовой среды, среднего диаметра и расстояния между порами.

В работе представлена новая физико-математическая модель релаксации фотопроводимости пористого кремния, в которой учитывается рекомбинация фотоносителей на поверхности цилиндрических пор при включении (отключении) освещения. Предполагается однородная генерация фотоносителей и диффузионный характер их движения.

Рассмотрена модель полупроводника p -типа, в котором равномерно распределены цилиндрические поры радиуса r_0 , а среднее расстояние между

центрами пор равно $2R$. Вследствие повышенной рекомбинации носителей на поверхностях пор в полупроводнике устанавливается неоднородное распределение фотоносителей и имеет место биполярная диффузия фотоносителей к порам. При выключении света, падающего на полупроводник, изменяется пространственное распределение фотоносителей. Характер релаксации зависит от геометрии пор, скорости поверхностной рекомбинации фотоносителей. Последняя определяется состоянием поверхности и зависит как от концентрации молекул газа, так и от дипольного момента адсорбированных молекул.

Методом конечных элементов нами рассчитана зависимость релаксации фотопроводимости пористого кремния с цилиндрической симметрией пор как функция скорости поверхностной рекомбинации фотоносителей, радиуса пор и расстояния между ними. Показано, что время релаксации фотопроводимости зависит как от концентрации адсорбируемого газа, так и от природы адсорбата.

А27 Информационно-измерительная система для исследования фотоэлектрических параметров ФПУ на основе халькогенидов свинца

¹Дражников Б.Н., ¹Бочков В.Д., ²Шиляев С.Н., ²Турунов Н.Г.

¹ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

² ЗАО «Руднев-Шиляев», Москва, Россия

Разработана информационно-измерительная система (ИИС) на базе ПЭВМ, позволяющая автоматизировать процессы измерений и анализа фотоэлектрических параметров мультиплексированного аналогового или цифрового сигнала с различных фотоприемников, состоящих из фотомодулей, включающих в себя многоканальный линейчатый или матричный фоточувствительный элемент и многоканальный мультиплексор. Информация выводится в виде таблиц и графиков.

Основными измеряемыми параметрами ФПУ являются:

- среднеквадратическое значение сигнала U_c от каждого фоточувствительного элемента (ФЧЭ) при синусоидальной модуляции оптического излучения;
- амплитудное значение сигнала при синусоидальной или импульсной модуляции излучения;
- среднеквадратическое значение напряжения шума $U_{ш}$ от каждого фоточувствительного элемента;
- среднего значения (математического ожидания МТО) сигнала (шума) от каждого ФЧЭ. Дается описание структурной схемы ИИС.

A28 Термоэлектрические приемники излучения

Анатычук Л.И., Демчук Б.Н., Кобылянский Р.Р., Прибыла А.В., Шустаков В.Ю.

Институт термоэлектричества, Черновцы, Украина

Приведены результаты компьютерного моделирования и разработки термоэлектрических приемников излучения на основе анизотропных, короткозамкнутых и термопарных преобразователей энергии. Проектирование приемников выполнено путем применения объектно-ориентированного программирования. Изготовлены образцы приемников с приемными площадками от 5×5 мм до 20×20 мм и вольваттной чувствительностью до 5 В/Вт. Приводятся примеры их применения в приборах для измерения лазерного излучения.

A29 Статистическое распределение фотоотчетов лавинных фотоприемников, работающих в режиме счета фотонов

Гулаков И.Р., Зеневич А.О., Тимофеев А.М.

Высший государственный колледж связи, Минск, Республика Беларусь

Определение статистического распределения фотоотчетов фотоприемников, работающих в режиме счета фотонов, позволяет получить информацию о квантовых статистических свойствах оптического излучения и процессах, проходящих в фотоприёмниках, оценить скорость передачи информации по квантовому каналу связи и т.д. Эти знания необходимы для таких разделов современной физики и техники, как оптика, спектроскопия, биофизика, лазерная техника, оптическая связь и квантовая криптография.

В настоящее время для реализации режима счета фотонов применяются лавинные фотоприемники (ЛФП) [1]. Отметим, что статистическое распределение фотоотчетов будет отличаться от статистического распределения фотонов регистрируемого оптического излучения ЛФП. Это связано с тем, что при измерении статистических свойств оптического излучения ЛФП вносит погрешность, которую необходимо учитывать при обработке результатов измерений. Поэтому целью работы было установить основные механизмы, вносящие вклад в формирование погрешности измерения статистического распределения оптического излучения лавинными фотоприемниками, работающими в режиме счета фотонов.

В качестве объектов исследования использовались кремниевые лавинные фотоприемники со структурами p^+n-n-n^+ и n^+p-p-p^+ .

В работе были выполнены исследования статистических распределений темновых импульсов и фотоотчетов для различных перенапряжений ЛФП. Проведён сравнительный анализ статистических распределений ЛФП со структурами p^+n-n-n^+ и n^+p-p-p^+ . На основании полученных результатов рассчитаны вероятности образования послеимпульсов Р. Получены максимальные значения $P=0,01$ для фотоотчетов и $P=0,004$ - темновых импульсов ЛФП со структурой p^+n-n-n^+ , а также для ЛФП со структурой n^+p-p-p^+ , вероятности образования послеимпульсов которых фотоотчетов и

темновых импульсов составили $P=0,01$ и $P=0,006$ соответственно. Оценка мёртвого времени показала, что оно составляло $\tau = 1,2$ мкс для ЛФП со структурой p^+n-v-n^+ и $\tau = 1,0$ мкс для ЛФП со структурой n^+p-p^+ .

На основании выполненных исследований можно сделать вывод, что основной вклад в погрешность измерения статистического распределения вносят послеимпульсы, мертвое время фотоприемника и его квантовая эффективность регистрации. Полученные статистические распределения фотоотсчетов и темновых импульсов ЛФП позволили оценить скорость передачи информации по квантовому каналу связи.

Литература

1. Гулаков И. Р., Холондырёв С. В.// Метод счёта фотонов в оптико-физических измерениях. Мн., Издательство «Университетское», 1989

А30 КМОП матричный фотоприемник видимого диапазона

Бородин Д.В., Осипов Ю.В., Скрылёв А.С.

ФГУП «НПП «Пульсар», Москва, Россия

На тестовой фоточувствительной микросхеме формата 256×256 трехтранзисторных ячеек размером 12×12 мкм, разработанной и изготовленной на отечественной КМОП технологии с проектными нормами $0,8$ мкм, одним слоем поликремния и двумя слоями металла, получена интегральная чувствительность 7 В/(лк·с).

На рис.1 приведены зависимости напряжения на аналоговом выходе микросхемы от времени интегрирования для освещенностей $0, 4$ и 8 лк, измеренные при нормальных условиях. Уровень выходного напряжения в $2,3$ В соответствует отсутствию полезного сигнала, уровень в $0,9$ В – насыщению. На участке изменения выходного сигнала от 1 до 2 В зависимость (с точностью $\sim 5\%$) линейна.

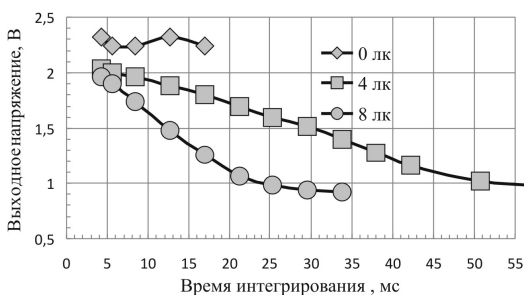


Рис. 1.



Рис. 2

На рис.2 приведено полученное на фотоматрице изображение от сфокусированной на ее поверхность сцены с негатива фотопленки. Гребенка расположенных слева кадра белых полос является тенью от внесенных в поле изображения игл контактного устройства. Время интегрирования составляло

17 мс, частота кадров – 60 Гц. Поскольку аналоговый тракт вывода сигнала создавался на базе узлов микросхемы [1], собственные шумы которой не превышают 100 мкВ [2], аналогичного вклада в общий шум от тракта вывода следует ожидать и здесь. Определяющий дробовой шум фотодиода составит не более 100 электронов (или, при емкости интегрирования ~0,02 пФ, не более 1 мВ), что даёт пороговую освещенность менее 0,01 лк при времени интегрирования 17 мс.

Полученные результаты позволяют утверждать о принципиальной возможности создания КМОП фотоматриц формата 1000×1000 ячеек и более на доступных стандартных отечественных КМОП технологиях.

В ближайшей перспективе в ФГУП «НПП «Пульсар» предполагается создание фотоКМОП СБИС форматов 256×256 (с развитием до 1024×1024) ячеек размером около 30×30 мкм для нужд астрономии, астронавигации и космического наблюдения, а так же СБИС однодвоймового оптического формата 768×582 (с развитием до 1024×1024) ячеек.

1. Бородин Д.В., Осипов Ю.В. // Прикладная физика. – 2003.- №6. - С.98-99.

2. A.M. Filachev, I.D. Burlakov, A.I. Dirochka, V.F. Chishko, A.V. Golubkov, I.L. Kasatkin, A.A. Lopukhin, D.V. Borodin, J.V. Osipov. // Proc. of SPIE, 2006, v. 6307, p. 16-20.

А31 Вариант ячейки с элементами АЦП для матричного фотоприемного устройства

Бородин Д.В., Осипов Ю.В., ¹Васильев В.В.

ФГУП «НПП «Пульсар», Москва, Россия

¹ *ООО «РТК Инпекс», Москва, Россия*

В последнее время матричные КМОП мультиплексоры для гибридных инфракрасных (ИК) ФПУ стали снабжать аналого-цифровыми преобразователями, что позволяет улучшить помехозащищенность, габарито-массовые показатели, упростить связь с внешними устройствами и др. Как правило используется множество параллельно работающих АЦП, расположенных на периферии массива ячеек, когда каждое из них последовательно обслуживает элементы, например, одного столбца матрицы. Перспективным является использование АЦП на уровне ячейки, для чего применяют элементы дельта-сигма АЦП первого или второго порядка, которые обслуживают отдельную ячейку или группу ячеек (например, 2×2). Такой подход позволяет увеличить эффективную зарядовую емкость в ячейке (на порядки), коэффициент преобразования заряда в напряжение.

Нами предложены ячейки, один из вариантов схемы которой приведен на рис.1 [1], содержащие необходимые узлы дельта-сигма АЦП первого порядка и позволяющие проводить компенсацию накопленного фотозаряда фиксированными порциями, вырабатывать требующие подсчета импульсы проведения компенсации, выводить на периферию матрицы аналоговую

информацию об остаточном, некомпенсированном накопленном заряде. Схема содержит два аналоговых (M6 и M7), четыре ключевых (M2-M5) транзистора, цифровой элемент типа «ИЛИ-НЕ» (в качестве компаратора), две (Ck и Ci) емкости, входной транзистор M1.

Устройство работает следующим образом. Первоначально схема приводится в исходное состояние путем подачи кратковременного импульса на шину сброса Reset, открывающего транзистор сброса M2, заряжающего емкость интегрирования Ci до напряжения Vreset, больше порога срабатывания элемента «ИЛИ-НЕ». Низкий уровень на выходе этого элемента открывает транзистор M3 и емкости Ci и Ck одновременно разряжаются током фотодиода, подключенного к входу ячейки. Импульсы CLK, поступающие на другой вход элемента «ИЛИ-НЕ», не изменяют состояние выхода этого элемента, пока напряжение на емкостях не уменьшится до порога срабатывания. Далее, по спаду очередного импульса CLK, транзисторы M3 и M4 переключатся в противоположные состояния, и напряжение на емкости Ck изменится на величину разности напряжений на затворе и истоке транзистора M7, то есть на его пороговое напряжение Vпор. С приходом следующего импульса CLK, транзисторы M3 и M4 возвращаются в исходное состояние, а заряд на емкостях Ci и Ck изменяется (компенсируется) на Ck·Vпор. Вырабатываемые элементом «ИЛИ-НЕ» при каждом акте компенсации импульсы поступают на счетчик «С» для суммирования. Напряжение на емкостях, соответствующее остаточному заряду, может быть выведено на периферию кристалла через буферный M7, ключевой M5 транзисторы и шину «a_out».

В схеме для формирования порции заряда не требуется дополнительного внешнего напряжения, что уменьшает собственный шум схемы, а время протекания этого заряда минимально, поскольку проводится через открытые ключевые транзисторы.

По КМОП технологии с проектными нормами 1,2 мкм, один поликремний, два металла, разработана и изготовлена тестовая схема с ячейкой размером 50×50 мкм, содержащая все элементы схемы по рис.1, кроме счетчика С.

На рис.2. приведена осциллограмма напряжения на емкости Ci (верхняя осциллограмма) и импульсов, инверсных вырабатываемым элементом «ИЛИ-НЕ». Видно, что после начального сброса (обозначен знаком «Т») и разряда емкостей до уровня порогового значения элемента «ИЛИ-НЕ», происходит периодическая компенсация накопленного на емкости Ci заряда на постоянную величину (происходят «скачки» постоянной амплитуды), что экспериментально подтверждает работоспособность предложенной схемы.

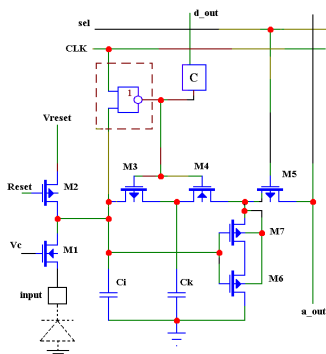


Рис. 1

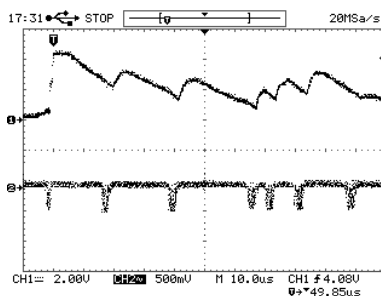


Рис. 2

Применительно, например, к гибридным ИК ФПУ на основе CdHgTe (8-12 мкм), использование подобной схемы считывания позволит перейти от строчного накопления к кадровому, что увеличит отношение сигнал/шум на порядок. Эффективная зарядовая емкость в ячейке сможет достигать 3 Ге- при коэффициенте преобразования заряда в напряжение 2 мкВ/е-. При токе детектора 100 нА и времени кадра 4 мс потребуется порядка 4000 актов компенсации, а для их подсчета – 12-ти разрядный двоичный счетчик. Для размещения счетчика и основной схемы в ячейке размером 30×30 мкм необходимо использование КМОП технологии уровня 0,25 мкм, или, при использовании более доступных технологий, размещать счетчики и память на периферии кристалла, что увеличит его габаритные размеры.

1. Д.В.Бородин, Ю.В.Осипов. Устройство считывания сигналов с многоэлементных фотоприемников (варианты).// Патент РФ №2361321, 21.12.2007

А32 Макет портативной тепловизионной камеры спектрального диапазона 3-5 мкм

¹Бородин Д.В., ¹Осипов Ю.В., ¹Скрылёв А.С., ²Глобус Е.Р., ²Белоконев В.М., ²Чеканова Г.В., ³Бутров Ю.П., ³Васильев В.В.

¹ ФГУП «НПП «Пульсар», Москва, Россия

² ФГУП «Альфа», Москва, Россия

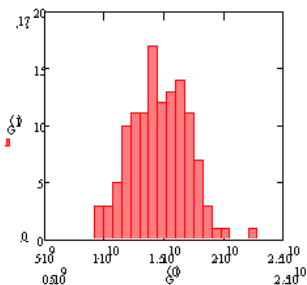
³ ООО «РТК Иннекс», Москва, Россия

Макет камеры состоит из объектива, механического сканера, фотоприемного модуля (ФПМ), электроники обработки и визуализации. Основой камеры является ФПМ, состоящий из вакуумного корпуса с расположенными в нем 4-х каскадным ТЭО, линейки из 128 фоточувствительных элементов (ФЧЭ) PbSe с шагом 80 мкм и 128 канальной КМОП микросхемы (МС) первичного преобразования.

КМОП микросхема выполняет параллельно, в каждом канале, первичное преобразование сигнала с ФЧЭ, заключающееся в вводе тока детектора в МС и обеспечение необходимого смещения на ФЧЭ, компенсацию части этого тока (темновую составляющую тока детектора, подключенного к данному каналу МС), интегрирование разностного тока в течение времени строки (т.е. времени вывода информации с 128 каналов) и последовательный вывод. Величина компенсационного тока задается цифровым образом с 8-разрядной точностью индивидуально для каждого канала.

Вакуумный корпус и ТЭО обеспечивают охлаждение линейки ФЧЭ и МС относительно окружающей среды на 70-80 градусов.

При температуре ФЧЭ около -60°C удельная обнаружительная способность D^* превышает $4 \cdot 10^{10}$ см \cdot Гц 0,5 /Вт при изменениях на частоте 1,2 кГц и полосе частот 150 Гц. При измерениях в полосе 70 Гц – 2 кГц средняя по каналам обнаружительная способность уменьшается до $1,4 \cdot 10^{10}$ см \cdot Гц 0,5 /Вт, что связано с избыточным шумом детекторов типа $1/f$. На рисунках приведены гистограмма распределения D^* и пример изображения формата 128 \times 128, кадровое время 10 мс.



А33 Результаты модернизации модуля охлаждения фотоприемников 2 класса типа МКС МСМГ-3В-1/80 КВО.0733.000

Липин М.В., Смирнов А.В., Лохман Е.А., Забенкова Е.В.

ООО "НТК "Криогенная техника", Омск, Россия

Микрокриогенная система (МКС) МСМГ-3В-1/80 КВО.0733.000 отличается от ранее разработанной по ОКР «Оператор–Ф» базовой МКС 2-го класса МСМГ-3А-0,6/80 КВО.0730.000 более широким диапазоном рабочих температур (от -60 до $+65^{\circ}\text{C}$) и повышенными требованиями к холодопроизводительности и эффективности, а именно, холодопроизводительность не менее 1 Вт при температуре окружающей среды $+65^{\circ}\text{C}$ и потребляемой мощности не более 60 Вт в период выхода на рабочий режим.

По результатам успешно проведенных автономных предварительных испытаний и государственных испытаний в составе ТПВК-24Н рабочей

конструкторской документации МКС МСМГ-3В-1/80 КВО.0733.000 в 2006 году присвоена литера "О₁".

МКС предназначена для охлаждения МФПУ с колодцем фотоприемника (ФП) диаметром 6 мм и глубиной 71 мм.

Разработанная базовая конструкция позволила в короткий срок создать несколько модификаций МКС, учитывающих особенности применения в конкретных образцах военной техники.

Представлены результаты разработки и типовых испытаний МКС МСМГ-3В-1/80 КВО.0733.000-03. Показана стабильность технических характеристик МКС, полученных при проведении испытаний нескольких партий МКС, изготовленных в период с 2006 по 2009 год.

Приводятся результаты разработки модификации МКС с новым блоком управления, выполненным на базе цифрового сигнального процессора, и сравнительных испытаний модификации МКС со штатным аналоговым блоком управления КВО.8039.000 и вновь разработанным цифровым КВО.8056.000. Показано, что при практически одинаковых технических характеристиках МКС удалось уменьшить габаритные размеры, массу и стоимость блока управления и МКС в целом.

A34 Некоторые результаты промышленного (серийного) производства модификаций модулей охлаждения фотоприемников 2 класса типа МКС МСМГ-3А-0,6/80 КВО.0730.000

Липин М.В., Смирнов А.В., Левшакова Н.Н.

ООО "НТК "Криогенная техника", Омск, Россия

В рамках Федеральной комплексно – целевой программы развития систем тепловидения и приборов ночного видения нашим предприятием в 2005 году была разработана базовая конструкция микрокриогенной системы Сплит-Стирлинг с линейным приводом МСМГ-3А-0,6/80 КВО.0730.000, предназначенная для криостатирования многоэлементных фотоприемников (ФП) 2-го класса перспективных модульных тепловизионных приборов (ТВП) наблюдения и прицеливания для всех родов войск.

Характеристики разработанной МКС полностью соответствуют требованиям государственного стандарта на унифицированные узлы (модули) первого поколения и в сопоставимых условиях находятся на уровне современных зарубежных аналогов. МКС имеет прогрессивные схемные решения, изготавливается только из отечественных материалов и комплектующих, обеспечивает работоспособность в диапазоне температур от минус 50°С до плюс 50°С. Подтвержденная средняя наработка на отказ 10000 часов является достаточной для обеспечения заданных показателей надежности большинства известных отечественных ФПУ.

МКС позволяет криостатировать фоточувствительные элементы (ФЧЭ) фотоприемных устройств различного типа на температурном уровне (80±2) К при тепловой нагрузке на МКС от 0,4 до 0,6 Вт. МКС предназначена для охлаждения МФПУ с колодцем фотоприемника (ФП) диаметром 6 и глубиной 71 мм.

Соответствие МКС заданным требованиям подтверждено результатами предварительных и государственных испытаний.

Наличие разработанной базовой конструкции позволило в короткий срок создать несколько модификаций МКС, учитывающих особенности применения в конкретных образцах военной техники, и присвоить РКД на них литеры «О» и «О₁». Наибольшим спросом пользуются исполнения МКС МСМГ-3А-0,6/80 КВО.0730.000-02 для изделия «Томск-1Ф» и МСМГ-3А-0,6/80 КВО.0730.000-04 для изделия «Казанка».

В 2006-2009 годах предприятием ООО «НТК «Криогенная техника» было изготовлено несколько партий этих МКС.

Приведенные параметры МКС, полученные при проведении приемо-сдаточных испытаний этих партий опытных образцов по годам выпуска, подтверждают, что получен достаточно стабильный результат, удовлетворяющий условиям применения этих изделий.

Приводятся экспериментальные данные исследований, направленных на определение влияния на разброс технических характеристик МКС характеристик ее составных частей – охладителя и компрессора.

А35 Проектирование мультиплексора формата 640×512 для фотоприемных устройств на основе антимионида индия

Хромов С.С., Зайцев А.А.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Спроектирована микросхема считывания для матрицы ИК фотодиодов на основе антимионида индия формата 640×512. Топология кристалла разработана для КМОП технологии с проектными нормами 0,8 мкм, 1 уровнем поликремния и 2 уровнями металла.

Микросхема в режиме «по умолчанию» работает с полным форматом изображения на 4 выхода видеосигнала. В «управляемом» режиме поддерживается динамическое окно с дискретностью 16×20 пикселей и выбор количества выходов - 4 или 8. В обоих режимах функционирует режим мгновенного снимка с выводом информации после интегрирования. Для проверки работы микросхемы используется дополнительная строка ячеек считывания и транзисторов, позволяющих подать на вход каждой ячейки текущий ток.

Основные параметры микросхемы приведены в таблице.

Формат	640×512
Размер ячейки, мкм	24×24
Размер кристалла, мм	15,2×17,2
Зарядовая емкость, е	$1,3 \cdot 10^7$
Количество выводов	4 или 8
Время интегрирования	произвольное
Частота вывода сигнала, МГц	не менее 10
Кадровая частота при полном формате (время)	103

интегрирования = время считывания кадра), кадр/с	
Кадровая частота при минимальном формате (время интегрирования = время считывания кадра), кадр/с	19841

А36 Проектирование мультиплексора формата 576×6 с ВЗН в холодной зоне

Зайцев А.А., Кузнецов П.А., Хромов С.С.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Спроектирована микросхема считывания для линейки ИК фотодиодов на основе КРТ индия формата 576×6. Топология кристалла разработана для КМОП технологии с проектными нормами 0,8 мкм, 2 уровнями поликремния и 2 уровнями металла.

Ячейки считывания с размером пикселя 56×42 мкм (поперек сканирования/вдоль сканирования) сгруппированы в 4 блока форматом 144×6 со сдвигом в направлении поперек сканирования 14 мкм. Непосредственно в ячейке расположена схема считывания с делением заряда и ключом деселекции. Величина емкости интегрирования составляет 1,5 пФ. Каждые 6 ячеек соединены с шиной являющейся также общей и для 16 ячеек суммирования, необходимых для реализации режима ВЗН по 6 элементам с двунаправленным сканированием. Схема позволяет проводить деселекцию дефектных элементов с подстройкой коэффициента усиления. Вывод видеосигнала осуществляется на 8 выходов с частотой 4 МГц. Максимальное время интегрирования составляет 18 мс. Для ввода информации о дефектных элементах используется последовательный цифровой интерфейс.

А37 Проектирование мультиплексора формата 320×256 для приборов ночного видения на основе тройных соединений

Зайцев А.А., Хромов С.С., Кузнецов П.А.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Спроектирована микросхема считывания для матрицы ИК фотодиодов на основе InGaAs формата 320×256 для приборов ночного видения. Топология кристалла разработана для КМОП технологии с проектными нормами 0,8 мкм, 2 уровнями поликремния и 2 уровнями металла.

Входная ячейка считывания выполнена в виде трансимпедансного усилителя. Схема работает в конвейерном режиме. Время интегрирования определяется временным сдвигом между импульсами сброса и выборки одной и той же строки и может быть задано в пределах от 2-х до 255-и строк с дискретностью одна строка.

Основные параметры микросхемы приведены в таблице

Формат	320×256
Размер ячейки, мкм	25×25
Размер кристалла, мм	10×9
Зарядовая емкость, е	$1,1 \cdot 10^6$
Количество выводов	1
Максимальное время интегрирования, мс	40
Частота вывода сигнала, МГц	2
Кадровая частота, кадр/с	25

А38 Результаты исследования шума сигнала фотоэлементов матричных КРТ фотоприемников в различных температурных режимах

Кремис И.И.

Филиал ИФП СО РАН «КТИПМ», Новосибирск, Россия

Накопленный опыт работы с матричными ФПУ разных производителей и разных ФПУ одного производителя позволяет отметить, что поведение элементов приемника является нестабильным. Так, элементы ФПУ, проявляющие себя на изображении как шумящие или мерцающие, через некоторое время работы прибора приобретают параметры, свойственные большинству фотоэлементов приемника. Причем при каждом новом цикле охлаждения приемника от 293 К до 77 К, картина шумящих элементов (ШЭ) также изменяется. Пиксели, которые являлись «нормальными», при новой заморозке начинают шуметь, выделяясь из общей шумовой картины кадра.

Измерения показателей шума проводились для КРТ приемников производства Sofradir 320×256, ИФП СО РАН 320×256 и ФГУП «НПО «Орион» 384×288, для температур АЧТ 10,20,30,40,50°С., для каждой температуры проводились выборки по 100 кадров. Выборка данных осуществлялась после заморозки ФПУ до рабочей температуры ежедневно в течение 15 дней.

На рисунке 1 показано распределение сигнала пикселей по строке для выборки N=99 - за время 12 минут, на рисунке 2 показано изменение шума пикселей 146 и 147 по строке 2 в течении 15 дней (для матричного фотоприемника производства Sofradir).

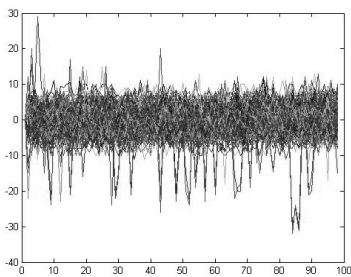


Рис.1 Распределение сигнала пикселей по строке

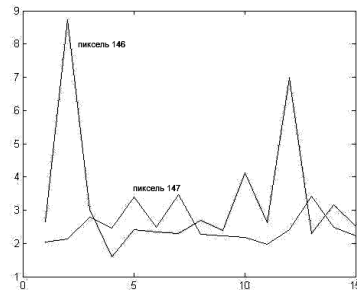


Рис.2. Значения шума за 15 дней. Строка 2 пиксель 146, 147

На основании измерений температурных и временных зависимостей шума сигнала фотозащитных матричных ФПУ показано, что существуют элементы ФПУ, шум которых при текущем включении прибора соответствует общему шумовому фону большинства элементов ФПУ, но при новом цикле заморозки их шум может значительно увеличиться или уменьшиться. Также количество ШЭ изменяется при каждом новом цикле заморозки ФПУ.

При каждом включении прибора требуется выполнять новый цикл обнаружения ШЭ. Причем существуют ШЭ, которые не изменяют своих параметров при новых циклах заморозки. При работе с ФПУ нового типа следует предварительно оценить зависимость ШЭ от температуры АЧТ и от циклов заморозки.

Значительное количество элементов составляют элементы, редко проявляющиеся как дефектные – один раз за 15 дней. Также резко выделяются дефектные элементы, которые проявляются ежедневно.

Приемник производства Sofradig имеет более чем в два раза меньшее количество ШЭ и меньший собственный шум полноценных элементов, чем у приемников отечественного производства. Эти показатели, в совокупности, позволяют добиться большей чувствительности для тепловизионного прибора, построенного с использованием приемника зарубежного производства.

Из рассмотренных отечественных приемников приемник ИФП СО РАН имеет немного большее количество ШЭ по сравнению с приемником ФГУП «НПО «Орион». Приемники имеют равные показатели шума полноценных элементов, следовательно, влияние ШЭ на чувствительность приборов, с использованием указанных приемников, будет различаться незначительно. При этом колебания количества ШЭ при циклических заморозках для приемника ИФП СО РАН существенно выше, чем приемника ФГУП «НПО «Орион», что говорит о большей нестабильности элементов приемника и более низком качестве технологии изготовления кристаллов ФПУ. Данное обстоятельство будет влиять на то, что при каждом новом включении, качество изображения будет существенно различаться. Участки изображения, ранее доступные для идентификации объектов, при новом включении прибора могут оказаться нерабочими. Это может доставлять большие неудобства в процессе обнаружения объектов, и прочих прикладных задачах.

Поведение количества шумящих элементов приемников одинаково нестабильно для всех рассмотренных ФПУ. Причем для качественного обнаружения ШЭ и, следовательно, получения качественного изображения при применении исследуемых приемников, следует выполнять обнаружение ШЭ при каждом новом включении прибора.

А39 Шум фоторезисторов на основе PbS

Мирошникова И.Н., Комиссаров А.Л., Мирошников Б.Н.

Московский энергетический институт (ТУ), Москва, Россия

Фотоприемники с полупроводниковым слоем из халькогенидов свинца (PbS и PbSe) относятся к массовым, широко применяемым в промышленности индикаторам средневолнового диапазона ИК излучения.

К ФР на основе PbS для обеспечения обнаружительной способности (D^*) оптико-электронных систем впервые помимо обычного требования к интегральной чувствительности потребовался предельно низкий уровень собственного шума фотоприемника (ФП). Обычно у ФР D^* паспортизируются при рабочей частоте 400 или 800 Гц. Однако в реальных оптико-электронных системах рабочей диапазон частот лежит от 70 (реже от 7-10) Гц и до 2000-2500 Гц.

Характерно, что если для современных охлаждаемых ФП из InSb, Cd_xHg_{1-x}Te, PbSe и даже частично из PbS значения реальных D^* лишь в 2-3 раза хуже теоретически допустимых значений (режим ограничения фоном – ОФ, в английской литературе – BLIP – background limited infrared photodetector), то у неохлаждаемых ФР из PbS она хуже в десятки раз, и обычно находилась в пределах $(2...8) \cdot 10^{10} \text{ Вт}^{-1} \cdot \text{см} \cdot \text{Гц}^{0,5}$, $D^*_{\lambda \text{max}} = (2,5...15) \cdot 10^{10} \text{ Вт}^{-1} \cdot \text{см} \cdot \text{Гц}^{0,5}$ при предельном наибольшем значении $D^*_{\lambda \text{max}} = 6 \cdot 10^{12} \text{ Вт}^{-1} \cdot \text{см} \cdot \text{Гц}^{0,5}$.

Цель настоящей работы - проанализировать основные технологии изготовления неохлаждаемых фоторезисторов на основе PbS, изготовленных на заводе «Сапфир» с 1960 по 1990 гг. с точки зрения их шумовых характеристик. Представлены типичные спектры плотности мощности шума (СПМШ) фоторезисторов, изготовленных «физическим» (рис. 1) и «химическим» (рис. 2) методами. Показано, что основной вклад в спектры дает шум типа $1/f^\alpha$.

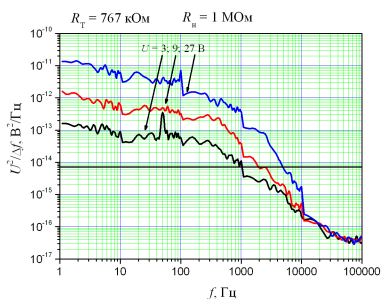


Рис.1. СПМШ «химических» ФР

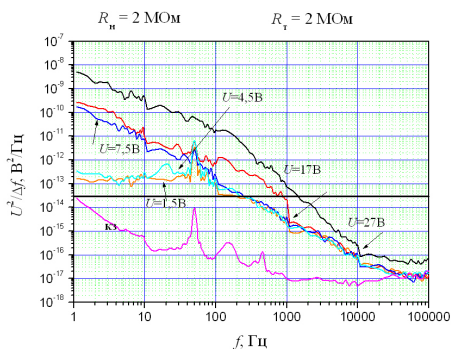


Рис.2. СПМШ «физических» ФР

А40 Термокомпенсация в оптической системе тепловизионного прибора

Ульянова Е.О., Шатунов К.П.

Филиал ИФП СО РАН «КТИПМ», Новосибирск, Россия

Оптико-электронные системы (ОЭС) используются в условиях широкого диапазона температур окружающей среды. Вследствие этого компенсация температурных влияний окружающей среды (термоаббераций) в современных ОЭС является одной из основных задач.

Проявление термоаббераций обусловлено влиянием температуры окружающей среды на параметры оптических компонентов и элементов конструкции ОЭС.

В статье представлена оптическая система тепловизионного прибора, разработанная в Новосибирском филиале ИФП СО РАН «КТИПМ» для работы в широком диапазоне температур окружающей среды (от -50°C до $+50^{\circ}\text{C}$), приводятся основные параметры и характеристики оптической системы, рассмотрены способы термокомпенсации, а также приведены оптическая схема и оценка качества изображения.

А41 Приборы дневного и ночного видения со стабилизированным полем зрения

Белоконев В.М., Волков В.Г., Саликов В.Л., Шмакова Л.В.

ФГУП «Альфа», Москва, Россия

В статье рассматриваются методы и схемы построения различных приборов дневного и ночного видения со стабилизированным полем зрения. Приборы выполнены на базе лазерно-дальномерного канала, ночного канала с использованием электронно-оптических преобразователей, тепловизионного, и низкоуровневого телевизионного каналов. Во всех приборах используется магнитодинамическая стабилизация поля зрения

А42 Бинокль со стабилизированным полем зрения

Белоконев В.М., Волков В.Г., Леонова Г.А., Саликов В.Л., Фроимсон И.М.

ФГУП «Альфа», Москва, Россия

В докладе представлены результаты разработки бинокля с магнитодинамической стабилизацией поля зрения. Представлены данные о назначении, принципе действия, основных параметрах прибора, его конструктивном исполнении. Прибор имеет дальность действия до 7 км, увеличение 16 крат, угол поля зрения 4° , массу не более 1,8 кг. Источник питания отсутствует.

А43 Комбинированные приборы ночного видения

Белоконев В.М., Волков В.Г., Саликов В.Л., Шмакова Л.В.

ФГУП «Альфа», Москва, Россия

В докладе рассматриваются методы и схемы построения комбинированных приборов ночного видения с использованием электронно-оптических преобразователей, тепловизионного, низкоуровневого телевизионного и лазерно-дальномерного каналов.

А44 Промышленная технология высокостабильных фоторезисторов диапазона 8-12 мкм из ГЭС КРТ МЛЭ

Филатов А.В., Гусаров А.В., Сусов Е.В., Акимова Н.М., Ежов В.П., Шаевич В.И., Карпов В.В.,¹Сидоров Ю.Г.,¹Дворецкий С.А.,¹Михайлов Н.Н.,¹Варавин В.С.

ОАО «Московский Завод «Сапфир», Москва, Россия

¹ Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Разработана промышленная технология серийного производства высокостабильных многоэлементных фоторезисторов для диапазона спектра 8-12 мкм из гетероэпитаксиальных структур твердого раствора CdHgTe, полученных методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Стабильность фотоэлектрических параметров фоторезисторов подтверждена ускоренными испытаниями при 70°C в течение 6000 часов. Обнаружительная способность фоторезисторов ограничена шумами фонового излучения. Высокие параметры фоторезисторов, их стабильность и сохраняемость обеспечиваются технологическими процессами, позволяющими управлять собственными точечными дефектами материала, в том числе вносимыми в процессе изготовления ФЧЭ.

А45 Планарные фотодиоды с эффектом Мосса-Бурштейна на основе ЖФЭ-структур из InSb

Астахов В.П., Карпов В.В., Крапухин В.В., Чишко В.Ф.,¹Шлёнский А.А.

ОАО «Московский завод «Сапфир», Москва, Россия

¹ ОАО «Гиредмет», Москва, Россия

По базовой имплантационной технологии ОАО «МЗ «Сапфир» изготовлены 64-элементные линейки фотодиодов с размерами площадок 150×150 мкм и шагом 180 мкм на плёнке эпитаксиальной структуры InSb $n^+ - n$ -типа, полученной методом жидкофазной эпитаксии (ЖФЭ). Подложка n^+ -типа толщиной ~350 мкм ориентирована по плоскости (111)А, концентрация носителей при 77К – $(3-4) \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$. Толщина плёнки ~16 мкм, концентрация носителей в плёнке при 77К ~ $1,5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$.

Морфология поверхности плёнки: имеются дефекты протяжённостью 10 мкм с высотой рельефа 1÷3 мкм с плотностью ~10 см⁻² и единичные крупные дефекты протяжённостью до 100 мкм с высотой рельефа ~10 мкм.

ВАХ полученных ФД при $T_{\text{ф}} \cong 300 \text{ К}$ соответствуют ВАХ ФД, изготавливаемых на пластинах марки ИСЭ-2в с ориентацией (100) с тем отличием, что для получения значения пробивного напряжения $U_{\text{пр}} \cong 3,5 \text{ В}$ в данном случае не требуется электротренировка, как в случае исходных пластин марки ИСЭ-2в, что является преимуществом ФД на основе ЖФЭ-структур.

Изготовленные ФД были собраны в ФПУ типа ФУЛ-132. Измерялись сигналы (U_c) и шумы ($U_{\text{ш}}$) при засветке ФД со стороны p^+ -слоя и со стороны базы (через подложку ЖФЭ-структуры). В первом случае при измерениях применялся неохлаждаемый фильтр из InAs. Эти измерения показали сравнимый уровень $U_{\text{ш}}$

при двух вариантах засветки, который на ~10% превышает уровень $U_{ш}$ серийных приборов. Спектральные характеристики для этих двух вариантов также соответствуют друг другу, а средний уровень сигналов в случае засветки через подложку превышает уровень сигналов другого варианта засветки на ~10÷20%.

Полученные данные показывают возможность применения ЖФЭ-структур для изготовления ФД, использующих эффект Мосса-Бурштейна.

А46 Математическое моделирование нестационарных тепловых процессов в многоэлементных фотоприемных устройствах ИК систем

Мальцев П.П., Мельников О.А.

МИРЭА (ТУ), Москва, Россия

Важное значение на стадии разработки охлаждаемых матричных фотоприемников (МФП) ИК-диапазона приобретает моделирование тепловых режимов, которое позволяет оптимизировать их структуру и конструкцию.

Точные расчеты тепловых режимов работы МФП в ряде практических случаев не могут быть выполнены из-за отсутствия приемлемых аналитических методов решения задач теплопередачи в МФП и ввиду сложности их конструктивных форм, характера граничных условий, разнообразия теплофизических характеристик применяемых материалов, сложных законов распределения источников тепла по объему МФП.

В связи с этим актуальна проблема разработки тепловых моделей МФП и эффективных численных методик расчета их тепловых режимов.

В основу разработанной численной методики расчета нестационарных тепловых режимов МФП положен метод конечных элементов (МКЭ).

Для определения температурного поля в МФП решались сопряженные трехмерные краевые задачи для уравнения теплопроводности.

Для дискретизации сопряженных краевых задач теплопроводности использовались трехмерные конечные симплекс-элементы.

Для решения систем линейных обыкновенных дифференциальных уравнений, полученных в результате дискретной аппроксимации по МКЭ исходных сопряженных краевых задач, использовался метод конечных разностей.

Для моделирования тепловых режимов МФП разработан пакет прикладных программ FIELDMFP, реализованный на ПЭВМ IBM PC AT. С помощью пакета программ FIELDMFP рассчитаны нестационарные тепловые режимы работы гибридного МФП ИК-диапазона на основе узкозонных твердых растворов $Cd_xHg_{1-x}Te$. Исследовалось охлаждение МФП от температуры 298 К до рабочей температуры – температуры жидкого азота 77 К.

В результате математического моделирования нестационарного теплового процесса в МФП установлена связь неоднородности распределения температуры в рабочем слое КРТ с теплофизическими и конструктивными характеристиками МФП и получено распределение максимальной температуры рабочего слоя КРТ от времени.

Проведены экспериментальные исследования нестационарных режимов работы МФП. Показано, что результаты экспериментальных исследований хорошо согласуются с результатами моделирования.

Разработанные модели и методика могут быть применены для моделирования тепловых режимов МФП с фоточувствительным элементом как на основе КРТ, так и на основе других полупроводниковых соединений для различных форматов МФП.

Результаты моделирования нестационарных тепловых режимов МФП могут быть использованы для выбора и оптимизации систем охлаждения матричных ИК-фотоприемников.

А47 Особенности использования цифровых сигнальных процессоров и плис для системы обработки данных в тепловизионных каналах: режим процессор – сопроцессор

Козлов А.В., Фаткуллин А.Э., Денисов А.И., Балоев В.А., Денисов И.Г.

ФГУП «НПО ГИПО», Казань, Россия

Построение системы приема и обработки данных для тепловизионных систем третьего поколения связано с рядом особенностей, присущих матричным фотоприемным устройствам (ФПУ). Одной из них является необходимость коррекции неравномерности чувствительности элементов ФПУ и замена дефектных элементов. Кроме того, необходимо проводить операции цифровой обработки, такие как, формирование стандартного цифрового видеокadra; обработка цифрового видеокadra (яркость, контраст, наложение служебной информации и т.п.) [1]. Современные приборы должны обеспечивать частоту следования кадров от 30 до 200 кадров в секунду и более, это в свою очередь предъявляет жесткие требования по производительности к устройствам цифровой обработки сигналов (ЦОС).

Увеличение производительности цифровых сигнальных процессоров (ЦСП) позволило применять их для решения таких задач, что и было успешно воплощено в ряде систем. Такой подход подразумевает работу в три основных потока обработки данных: а) управление и прием данных с ФПУ; б) цифровая обработка тепловизионного изображения; в) вывод изображения. Нами в ряде приборов была реализована данная структура работы ЦОС [2].

Однако в стремлении улучшения чувствительности и качества изображения при малых контрастах, что непосредственно связано с дальностью обнаружения и распознавания, возникает потребность в существенно больших производительностях систем ЦОС. Для этих целей нами разработан модуль для тепловизионных систем, построенный на системе процессор – сопроцессор, в которой основным является один процессор, контролирующий работу всей системы в целом. При этом сопроцессор призван решать специфические типовые задачи, которые хорошо поддаются распараллеливанию. В качестве сопроцессора может выступать один или несколько таких же ЦСП, который работает под управлением главного. В результате мы получили увеличение производительности и столкнулись с рядом проблем, одной из которых является

существенные временные затраты на передачу данных от одного компонента системы к другому.

Следующим шагом мы постарались учесть специфику ЦОС применительно к тепловизионным изображениям, которая заключается в многократном применении одних и тех же операций, причем, с высоким потенциалом распараллеливания. Как известно, с такими задачами лучше и быстрее справляются большое число специфичных ядер, работающих параллельно [3]. В тоже время необходимости в гибкости сопроцессоров в данном случае нет. Использование для этих целей сопроцессоров, построенных на ПЛИС *Stratix III* или *Stratix IV* фирмы *Altera*, позволяет организовать большое число различных специфичных ядер, например, для преобразования Фурье, обработки цифрового видеокadra, вывод видеокadra по скоростному интерфейсу (FiberChannel). Это позволяет существенно уменьшить интегральное время цифровой обработки изображения без аппаратного и программного усложнения модуля ЦОС. Кроме того, мы также предлагаем ряд подходов позволяющих существенно минимизировать затраты на обмен данными между процессором и сопроцессорами.

1. Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Инфракрасные системы «смотрящего» типа. – М.: Логос, 2004. – 444 с.

2. Патент РФ на полезную модель №79002 10.12.2008г бюллетень №34 «Тепловизионный канал».

3. Clive Maxfield. The Design Warrior's Guide to FPGA's. Newnes, 2004.

А48 Формирование глубококомпенсированных слоев при ионно-лучевом травлении кристаллов $Cd_xHg_{1-x}Te$ p -типа

¹Войцеховский А.В., ²Ижнин И.И., ³Талипов Н.Х.

¹ Сибирский физико-технический институт ТГУ, Томск, Россия

² Научно-производственное предприятие «Карат», Львов, Украина

³ Военная академия РВСН им. Петра Великого, Москва, Россия

Ионно-лучевое травление (ИЛТ) твердых растворов $Cd_xHg_{1-x}Te$ (КРТ) p -типа является наряду с ионной имплантацией одним из основных технологических процессов формирования n - p переходов при создании многоэлементных фотоприемников среднего и дальнего ИК-диапазонов. Однако установление общих закономерностей процесса конверсии при ИЛТ, в частности, зависимости глубины n -слоя от состава КРТ все еще остается актуальным. В работе представлены результаты исследований пространственного распределения донорных центров в объемных кристаллах КРТ p -типа различного состава после ИЛТ.

Исследовалось три группы объемных кристаллов КРТ p -типа с составом: 1) $x=0,196-0,202$; 2) $x=0,205-0,209$ и 3) $x=0,255-0,265$. Концентрация ($p=N_d-N_a$) и подвижность (μ_p) дырок при $T=77$ К определялись по данным анализа полевых зависимостей коэффициента Холла и проводимости методом дискретных спектров подвижности и во всех кристаллах имели значение $p=6,6 \cdot 10^{15}-1,2 \cdot 10^{16}$ см⁻³, $\mu_p=(240-600)$ см²·В⁻¹·с⁻¹. Ионно-лучевое травление при

комнатной температуре осуществлялось ионами Ag^+ с энергией 0,5 кэВ, в течение 5-50 минут при плотности тока $j=0,1 \text{ mA/cm}^2$ (1 и 2 группа) и $j=0,15 \text{ mA/cm}^2$ (3 группа). После процесса ИЛТ образцы вылеживались при комнатной температуре в течение 2 месяцев и затем были выполнены дифференциальные холловские измерения методом Ван-дер-Пау при $T=77 \text{ K}$ и определена глубина конвертированного n -слоя.

Было установлено существенное различие в пространственном распределении донорных центров в кристаллах КРТ для большого состава из третьей группы образцов по сравнению с маленьким составом из первой и второй группы. Общей закономерностью является то, что с ростом состава уменьшается глубина конверсии (d_n). Для образцов первой и второй группы глубина $d_n \propto \sqrt{\Phi / (N_a - N_d)}$, где Φ - флюенс ионов Ag^+ и величина d_n лежит в интервале от 15 до 50 мкм. Однако если для первых двух групп образцов сформировалась известная $n^+/n^-/p$ - структура, в которой концентрация электронов в n^- слое составляет величину $n^-(0,5-1,5) \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ и подвижность $\mu_n=(1,0-1,5) \cdot 10^5 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, то в образцах КРТ с большим составом из третьей группы сформировалась структура типа $n^+/n^-/n^-/p$ с глубококомпенсированным n^- -слоем с очень низкой проводимостью, величина которой в несколько раз ниже, чем проводимость объема p -типа. Толщина этого n^- -слоя зависит от флюенса ионов Ag^+ и составляет величину от 5 до 15 мкм. Оценка концентрации электронов дает величину $n^- \sim 10^{13} \text{ cm}^{-3}$. Общая глубина конвертированного слоя в образцах третьей группы лежит в интервале от 10 до 30 мкм. В холловских измерениях этот глубококомпенсированный слой проявляется после стравливания верхних n^+ - и n^- слоев: в зависимости слоевой (интегральной) проводимости от глубины травления наблюдается явно выраженный минимум в той области, где толщина n^- -слоя максимальна. По мере утонения n^- -слоя интегральная проводимость образца снова возрастает и переходит в проводимость подложки p -типа, в то время как в образцах первой и второй группы с низким составом слоевая проводимость с каждым шагом травления обычным монотонным образом снижается до проводимости объемного p -КРТ. По-видимому, в образцах большого состава генерируемый в процессе ИЛТ поверхностный источник междоузельной ртути, за счет диффузии которой происходит формирование конвертированного слоя, более обеднен, чем у образцов с маленьким составом и ее недостаток проявляется на “хвосте” распределения, где не происходит полной перекомпенсации акцепторов - вакансий ртути.

А49 Сверхпроводящий однофотонный детектор инфракрасного диапазона

Корнеева Ю.П., Манова Н.Н., Флоря И.Н., Корнеев А.А., Гольцман Г.Н.

Московский педагогический государственный университет, Москва, Россия

В связи с прогрессом телекоммуникационных и информационных систем и появлением квантовой криптографии резко возрос интерес к однофотонным детекторам оптического и ИК излучения.

Мы представляем дальнейшее развитие сверхпроводникового однофотонного детектора SSPD, который уже продемонстрировал рекордные характеристики: квантовую эффективность 10-20% на длинах волн 1,33-1,55 мкм, уровень ложных срабатываний менее 1 Гц, скорость счета до 100 МГц и временное разрешение (джиттер) 20 пс. Благодаря этим характеристикам сверхпроводниковый детектор быстро стал практическим устройством и занял коммерческую нишу. SSPD весьма привлекателен в квантовой оптике и квантовой криптографии, исследовании однофотонных источников, люминесценции квантовых точек, неразрушающем тестировании микросхем, спектроскопии биологических объектов и материалов.

Сверхпроводящий однофотонный детектор изготовлен на основе монокристаллической пленки NbN толщиной 3,5-4 нм и представляет собой полосу меандра длиной 500 мкм, шириной 120 нм. Сверхпроводящая полоска формируется прямой электронной литографией с последующим плазмохимическим травлением. Золотые контакты изготавливаются методом обратной фотолитографии. Далее формируется весь чувствительный элемент детектора через резистивную маску - прямоугольная площадка размером 10 мкм × 10 мкм и 7 мкм × 7 мкм

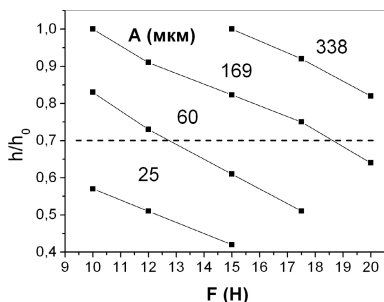
Квантовая эффективность SSPD ограничена коэффициентом поглощения тонкой пленки NbN, который не превышает 30%. Для того, чтобы увеличить поглощение в пленке мы интегрировали детектор в оптический резонатор, состоящий из слоя диэлектрика и металлического зеркала. В качестве диэлектрика использовался слой двуокиси кремния SiO₂ толщиной $\lambda/4$, в качестве зеркала - слой золота Au, толщиной больше глубины скин-слоя золота. Оба слоя наносились методом электронно-лучевого испарения. Резонаторы оптимизировались для двух длин волн 1,33 мкм и 1,55 мкм.

Для увеличения чувствительности SSPD на длинах волн выше 1,3 мкм (в том числе на технически важной 1,55 мкм) мы разработали сверхпроводниковый однофотонный NbN детектор, на основе полосок шириной 50-60 нм, соединенных параллельно. Несмотря на уменьшение размеров полоски в два раза, плотность тока осталась высокой: $6 \cdot 10^6$ А/см² при температуре 4,2 К, что свидетельствует о высоком качестве сверхпроводящей пленки NbN и всех технологических процессов. В среднем инфракрасном диапазоне (3 - 4 мкм) новый детектор в виде узких параллельных полосок имеет квантовую эффективность более, чем на порядок выше, чем детектор в форме меандра. Отметим также, что переход от одной длинной полоски к параллельным полоскам позволил уменьшить кинетическую индуктивность детектора и сократить время отклика, которое составило менее 1 нс, что создаёт предпосылки для достижения скорости счёта в 1 ГГц и выше. Это делает такой детектор перспективным для применения в системах связи и квантовой криптографии.

А50 Влияние температурных и геометрических факторов на пластические свойства индиевых микросоединений матричных ФПУ

Ефимов В.М.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия



Метод соединения кристаллов в охлаждаемых фотоприемниках ИК-диапазона с использованием индиевых микросоединений остается основным способом их гибридации. Он основан на уникальной пластичности индия в диапазоне температур 300–77 К. В современных охлаждаемых ФПУ могут присутствовать, при этом, разные группы микросоединений: основные, соединяющие фоточувствительные элементы с кремниевым коммутатором, и вспомогательные, расположенные, по периферии матрицы (напр. [1]).

Последние, играют, роль дополнительных, укрепляющих элементов и по геометрии могут отличаться от основных микросоединений. В работе показано, что при относительно малых размерах микроконтактов эффективные характеристики материала микроконтактов (индия) существенно отличаются от их объемных характеристик. Так, при размерах микросоединений около 17-30 мкм возникает сильная зависимость эффективной пластичности индия от геометрических параметров - отношения размера (диаметра) микросоединения A к его высоте h (см. рис.). Здесь F – давление на матрицу микроконтактов разного размера, но с равной суммарной площадью.

Для двухслойных тонкопленочных структур, получена зависимость температуры плавления микроконтактов от соотношения толщин слоев. Получена подробная температурная зависимость пластичности индия в диапазоне 20-110°C, ранее оцененная в [2].

Полученные данные необходимы при оптимизации процесса гибридации матричных ФПУ Flip-Chip методом и разработке топологии матричных кристаллов.

Литература:

1. М. Kanzaki, патент США, № 5,596,377, дек.9, (1997).
2. В. Г. Войнов, А. Г. Клименко, Т. Н. Недосекина и др. Пластические свойства индиевых микростолбов. Проблема контактирования на КРТ.//Автометрия, 1996. № 4. С.126.

А51 Фотодетектор с InSb квантовыми точками в активной области гетероперехода II типа на основе InAs(Sb, P) для области спектра 2-4 мкм

Михайлова М.П., Моисеев К.Д., Андреев И.А, Иванов Э.В., Пархоменко Я.А.,
Кижаяев С.С., Яковлев Ю.П.

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

Самоорганизованные квантовые точки (КТ) являются перспективными наноматериалами для создания нового типа оптоэлектронных приборов (светодиодов, лазеров, фотодиодов). До настоящего времени основное внимание уделялось приборам на основе КТ InAs/GaAs, интересным для применения в телекоммуникациях в диапазоне 1,1-1,5 мкм [1]. В данной работе мы сообщаем о фотодетекторах на основе узкозонных InSb КТ, встроенных в гетеропереход II типа InAs(Sb, P) для спектрального диапазона 3-4 мкм.

Гетероструктуры с самоорганизующимися КТ в узкозонной системе InSb/InAs(Sb, P) были выращены комбинированным методом ЖФЭ-МОГФЭ технологии. Детали роста и характеристика нанобъектов была описана нами в [2]. InSb КТ были выращены на подложках на *p*- или *n*-InAs (100) методом ЖФЭ при $T=430$ °С. Параметры КТ составляли 2-3 нм в высоту и диаметр 11-15 нм и имели хорошую однородность. Плотность InSb КТ составила $2 \cdot 10^{10}$ см⁻². Для зарастивания КТ использовались эпитаксиальные слои InAs или четверного твердого раствора InAs_{0,85}Sb_{0,05}P_{0,1}, изопериодного к InAs. Этот же твердый раствор был также использован в качестве буферного слоя для выращивания InSb КТ.

Для исследования были приготовлены меза-диоды с диаметром чувствительной площадки 300 мкм. Были исследованы люминесценция, спектры фоточувствительности, вольт-амперные и вольт-емкостные характеристики при $T=77$ -300 К. ВАХ была типичной для резких *p-n* переходов, при этом в прямой ветви наблюдался слабый участок отрицательного сопротивления. Интенсивные положительная и отрицательная люминесценция были обнаружены в диапазоне 3-4 мкм при прямом и обратном смещении соответственно. Максимум положительной люминесценции на длине волны 3,82 мкм был приписан локализованным состояниям, обусловленным присутствием квантоворазмерных InSb КТ на интерфейсе *p-n* InAs(Sb, P). Высокая интенсивность излучательной рекомбинации в изучаемых структурах позволила исследовать их в качестве фотодетекторов. Максимум спектральной чувствительности наблюдался в диапазоне 2,5-2,7 мкм в соответствии с шириной запрещенной зоны твердого раствора InAsSbP. Обнаружительная способность была оценена как $D^* = 1,3 \cdot 10^{10}$ см²·Гц^{-1/2}·Вт⁻¹. при 80 К и около 10^8 см²·Гц^{-1/2}·Вт⁻¹ вблизи комнатной температуры. Интересная особенность наблюдалась при исследовании зависимости емкости от обратного смещения $C(V)$, при 300 К для фотодиодов, выращенных на буферном слое InAsSbP и затем покрытых слоем *n*-InAsSbP. Емкость резко падала от $C=200$ пФ до 1,5 пФ в диапазоне $V=0$ -1 В, что соответствует быстродействию $R_L C=75$ пс ($R_L=50$ Ом) при ширине полосы около 5 ГГц. Такие быстродействующие фотодиоды со встроенными КТ могут быть

перспективны для гетеродинного приема квантово-каскадных лазеров [3] и инфракрасной спектроскопии.

Работа частично поддержана грантами РФФИ и программами Президиума РАН и ОФН.

1. Ustinov V.M., Semiconductors, **38**, 989 (2004).
2. Moiseev K.D., Parkhomenko Ya.A., Guschina E.V. et al, Semiconductors, **43**, 1142 (2009).
3. Tasko V., Deguffroy N., Baranov A.N. et al, APL, **89**, 263118 (2006).

А52 Установка для термоциклирования гибридных ИК фотоприемников

Брунѐв Д.В., Зверев А.В., Сарафанов П.Г., Сидоров Ю.Г.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Разработана и изготовлена оригинальная установка, позволяющая проводить испытания различных образцов на стойкость к перепадам температур в диапазоне от -196 до +100°C.

Установка обеспечивает циклическое изменение температуры образца между двумя заданными оператором значениями температуры (термоциклирование), с возможностью кратковременной экспозиции образца при заданной температуре.

Конструктивно установка состоит из охладителя (сосуд СК-25 с жидким азотом) и печи (кольцевой резистивный нагреватель), между которыми при помощи привода перемещается колба с испытываемым образцом. Колба может быть либо откачана до давления порядка 10^{-3} Па, либо заполнена газом. Регулируя давление газа и скорость перемещения колбы, можно управлять динамикой нагрева/охлаждения образца.

Контроль температуры образца осуществляется при помощи платинового термодатчика, расположенного в непосредственной близости от образца внутри колбы.

Управление параметрами термоциклирования осуществляется при помощи электронного блока управления, позволяющего автоматическое функционирование установки в течение длительного времени, зависящего от заданного оператором числа термоциклов.

А53 Фотоприемный стенд УФ–диапазона для измерения структуры сигналов при разработке многоспектральных оптико-электронных систем

¹Легкий В.Н., ¹Галун Б.В., ¹Киселев М.В., ²Толбанов О.П., ²Тяжев А.В.,
²Мокеев Д.Ю.

¹ Филиал ФГУП «ПО «УОМЗ» «Урал-СибНИИОС», Новосибирск, Россия

² Томский государственный университет, Томск, Россия

Работа направлена на создание аппаратуры для исследования структуры сигналов многоспектральных оптико-электронных средств (ОЭС) обнаружения, и создание компонентной базы УФ-диапазона.

Цель работы: Повышение эффективности систем двойного применения за счет применения УФ-канала в составе многоканальных комплексированных оптико-электронных средств пеленгации, целеуказания, сопровождения и селекции (распознавания) объектов.

Создан научно-технологический задел для создания элементной базы ОЭС на основе GaAs: фотоматриц УФ-диапазона, наносекундных коммутаторов. Проведены предварительные исследования по созданию датчиков УФ-диапазона на основе арсенида галлия, компенсированного примесями с глубокими уровнями, которые обладают высокой чувствительностью в данном диапазоне спектра. Результаты показывают, что структуры обладают квантовой эффективностью более 50% в спектральном диапазоне (200-400) нм. Токовая чувствительность достигает 0,1 А/Вт, пороговая чувствительность – не хуже 10^{-14} Вт/Гц^{0,5}.

Наличие УФ-канала при создании комплексированных оптико-электронных систем обнаружения, пеленгации, сопровождения дает преимущества перед однонакальными ТВ или ИК системами по устойчивости к фоновому излучению, по информативности в сложной фоноцелевой обстановке, а также в сочетании с радиотехническими локационными системами.

Создан научно-технологический задел по УФ-приемникам и фотоматрицам на основе GaAs. Проведены экспериментальные исследования линеек УФ-диапазона на основе арсенида галлия, компенсированного примесями с глубокими уровнями, которые обладают высокой чувствительностью в данном диапазоне спектра.

Основные характеристики аппаратуры измерения структуры сигналов:

Ожидаемая дальность обнаружения 10 км. Сектор обзора по углу места 0-30°. Период кругового обзора по азимуту 50-1000 мс. Угловое разрешение от 3'×3' до 2°×1°. Формат изображения – до 512×600.

УФ фотолинейка на основе арсенида галлия имеет довольно высокую чувствительность в видимой и ИК-области для селекции УФ-сигнала используются интерференционные фильтры. Перед выходным отверстием ОС установлена кассета для 13 сменных интерференционных полосовых фильтров производства фирмы "Omega Optics".

Может быть создан функциональный ряд фотоприемных модулей УФ-диапазона линейного и матричного типов: (128×1, 256×1, 128×2, 256×2,

512×2, 8×8, 4×16) с размерами чувствительного элемента 50-120 мкм для систем пеленгации и целеуказания.

А54 Широкополосные приёмники терагерцового излучения на основе сверхпроводниковых наноструктур

¹Пентин И.В., ^{1,2}Смирнов К.В., ^{1,2}Вахтомин Ю.Б., ¹Смирнов А.В., ²Ожегов Р.В.,
¹Сливинская Е.В., ¹Гольцман Г.Н.

¹Московский педагогический государственный университет, Москва, Россия

²ЗАО «Сверхпроводниковые нанотехнологии», Москва, Россия

Фундаментальные исследования по изучению эффекта электронного разогрева в сверхпроводниковых тонкоплёночных наноструктурах NbN и MoRe, проводимые коллективами МПГУ и ЗАО «СКОНТЕЛ», явились основой для создания нового типа широкополосных болометрических приёмников терагерцового диапазона частот и их практического использования рядом научно-исследовательских групп и компаний, специализирующихся в области радиоастрономии, мониторинга окружающей среды, медицины и систем безопасности [1-5].

Болометры были изготовлены из NbN и MoRe сверхпроводниковых плёнок толщиной 4-5 нм, осажденных методом реактивного магнетронного распыления на диэлектрическую подложку. Формирование чувствительной области детектора и контактных металлических площадок осуществлялось методами электронной и фотолитографий и последующего плазмохимического травления. Размер чувствительной области болометра определяется согласованием детектора с излучением, поверхностным сопротивлением сверхпроводниковой плёнки, необходимостью согласования болометра с трактом промежуточной частоты и составляет 0,2×1,7 мкм², 10×15 мкм², 40×60 мкм² для приёмников 1/1а, 2/2а, 3/3а соответственно (см. таблицу 1). Для фокусировки исследуемого излучения в область чувствительного элемента болометра были применены планарные широкополосные спиральные антенны и кремниевые полусферические линзы.

Приёмные системы были реализованы на базе оптических гелиевых криостатов, с рабочей температурой около 4,2 К. На холодной плите криостата монтируется болометр (с возможностью установления температуры вблизи максимального $\partial R/\partial T$) и низкошумящий усилитель тракта промежуточной частоты.

Предельное быстродействие приёмных систем определяется скоростью остывания нагретого электронного газа, в нашем случае - темпом электрон-фононного взаимодействия, более эффективного для плёнок NbN по сравнению с плёнками MoRe.

Отметим, что приёмные системы оснащены управляющим электронным блоком, с возможностью использования приёмника в среде LabView.

Таблица 1.

Тип детектора	1/1а	2/2а	3/3а
Диапазон частот, ТГц	0,3-3	25-70	0,1-30

Тип детектора	1/1a	2/2a	3/3a
Эквивалентная мощность шума (NEP), Вт·Гц ^{-0.5}	$5 \cdot 7 \cdot 10^{-14} / 3 \cdot 5 \cdot 10^{-13}$	$1 \cdot 2 \cdot 10^{-12} / 4 \cdot 5 \cdot 10^{-12}$	$1 \cdot 2 \cdot 10^{-11} / 5 \cdot 6 \cdot 10^{-11}$
Время отклика, нс	1/0,05	1/0,05	1/0,05
Динамический диапазон, μ Вт	1	50	500

[1] Финкель М.И., Масленников С.Н., Гольцман, Г.Н. Известия ВУЗов. Радиофизика, т.48, №10-11, стр.964, (2005).

[2] www.scontel.ru

[3] R. Hosten, A. Michon, N. Gogneau et al., App. Physics Letters, v. 93, Issue 7, id. 073106, (2008).

[4] S.N. Dorenbos, E.M. Reiger, N. Akopian et al., App. Physics Letters, v. 93, 161102 (2008).

[5] TELIS: <http://telis.af.op.dlr.de/>; HERSCHEL: <http://astro.estec.esa.nl/SA-general/Projects/Herschel/>; SOFIA: <http://sofia.arc.nasa.gov/>.

А55 Оптические и фотоэлектрические свойства МЛЭ гетероструктур CdHgTe с потенциальными ямами

Войцеховский А.В., ¹Ижнин И.И., ¹Ижнин А.И., Несмелов С.Н., Дзядух С.М., ²Дворецкий С.А., ²Михайлов Н.Н., ²Сидоров Ю.Г., ²Варавин В.С., ³Поцяк М.

Сибирский физико-технический институт ТГУ, Томск, Россия

¹ *НПП "Карат", Львов, Украина*

² *Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия*

³ *Институт физики Жешувского университета, Жешув, Польша*

В настоящее время твердые растворы Cd_xHg_{1-x}Te (КРТ) рассматривается как перспективный материал для изготовления не только фотоприемников, но и излучателей среднего инфракрасного диапазона 3–5 мкм. В работе приведены результаты исследования люминесцентных и фотоэлектрических свойств ряда структур с потенциальными ямами различной конфигурации, состава, легирования и послеростовой термической обработки.

Для возбуждения фотолюминесценции (ФЛ) использовали непрерывный полупроводниковый лазер с длиной волны 0,808 мкм и мощностью до 4 Вт, для регистрации сигнала ФЛ – охлаждаемый Ge:Аu фоторезистор. В спектрах ФЛ при 84 К послеростовых структур с одной потенциальной ямой (ширина ямы ~200 нм) наблюдали одну слабоструктурированную полосу, энергетическое положение максимума которой соответствовало ширине запрещенной зоны Cd_xHg_{1-x}Te ямы при данной температуре. Слабо выраженная длинноволновая полоса отстояла от основной на ~18 мэВ, и могла быть приписана переходам «зона проводимости – акцептор». В аналогичной структуре, в которой дополнительно барьерные слои были легированы донорной примесью In, длинноволновая полоса проявляется значительно слабее. После отжига (250°С, 3 часа) длинноволновая полоса в обеих структурах исчезала, а интенсивность основного максимума возрастала в ~5 раз.

Зависимость интенсивности ФЛ от мощности накачки в каждом случае имела сублинейный характер. Кроме того, в структуре с легированными барьерными слоями интенсивность основного максимума была в ~ 5 раз больше, чем в структуре без легирования.

Экспериментально исследованы вольт-фарадные и фотоэлектрические характеристики МДП-структур с потенциальными ямами. Для исследованных образцов состав CdTe в ямах толщиной 0,2-1 мкм изменялся в диапазоне 0,27-0,43, а состав в верхних барьерных слоях толщиной около 1 мкм составлял 0,58-0,73. Измерения частотных зависимостей фотоэдс показали, что время жизни неравновесных носителей в области пространственного заряда при 77 К существенно больше, чем при 300 К (например, 70 мкс и 3,5 мкс, соответственно). Полевые зависимости фотоэдс при 77 К типичны для МДП-структур на основе полупроводника n-типа и имеют вид, близкий к классическому. Для большинства МДП-структур характерен достаточно необычный вид вольт-фарадных характеристик (ВФХ). Установлено наличие значительного различия хода ВФХ и полевых зависимостей фотоэдс при различных направлениях развертки напряжения. Выдержка структуры при положительных напряжениях приводит к смещению части ВФХ в область положительных напряжения, что может быть связано с накоплением в диэлектрике отрицательного заряда. Подсветка при 300 К не вызывает заметного изменения вида ВФХ. При температуре 77 К сильное влияние на вид ВФХ оказывает подсветка излучением светодиода со стороны подложки или с лицевой стороны, что возможно связано с перезарядкой энергетических состояний, проявившихся при ФЛ.

Таким образом, показано, что для создания излучателей на основе структур с потенциальными ямами наиболее оптимальными являются структуры с легированными барьерами после термического отжига.

А56 Неохлаждаемые детекторы ионизирующих излучений на монокристаллах $Cd_{1-x}Zn_xTe$

Мельников А.А., Кульчицкий Н.А., Кульчицкий А.Н.

МИРЭА (ТУ), Москва, Россия

В настоящее время монокристаллы твердых растворов теллуридов кадмия и ртути $Cd_{1-x}Zn_xTe$ являются наиболее востребованным материалом для создания неохлаждаемых детекторов рентгеновского и гамма-излучения. Основным методом выращивания кристаллов является метод Бриджмена, однако анализ процессов выращивания монокристаллов $Cd_{1-x}Zn_xTe$, 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 $Cd_{1-x}Zn_xTe$ проводилось в кварцевых ампулах диаметром до 45 мм в различных газовых средах: H_2 , H_2+Ag , Ar . Из монокристаллов $Cd_{1-x}Zn_xTe$ были созданы макеты неохлаждаемых детекторов ионизирующих излучений и проведено изучение их спектрометрических характеристик. На основании анализа спектра поглощения α излучения

источника ^{239}Pu , а также с учетом геометрических параметров детектора и условий проведения эксперимента получены следующие характеристики материала и макета детектора: $\mu_e=3,70 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$; $\tau_e=1,1\cdot 10^{-6} \text{ с}$, $\chi=0,947$; $\mu_e\tau_e=4\cdot 10^{-4} \text{ см}^2/\text{В}$. Энергетическое разрешение данного макета детектора составило 80 кэВ (1,5%). На линии 59,6 кэВ ^{241}Am получено энергетическое разрешение 6% с чувствительным объемом $0,125 \text{ см}^3$. На детекторах объемом 1 см^3 разрешение на линии 662 кэВ ^{137}Cs составило 5%.

Данные измерений характеристик макетов детекторов показывают принципиальную возможность создания неохлаждаемых детекторов ионизирующих излучений на основе монокристаллов твердых растворов $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$, выращенных из паровой фазы.

А57 Перспективы рынка германия

Витков В.С., Кульчицкий Н.А.

ООО «Германий и приложения», Москва, Россия

Наблюдаемый в последние годы рост потребности в германии связан с развитием спутникового телевидения, высокоскоростного спутникового Интернета, IPTV-телевидения (телевидение по широкополосной сети связи на базе ВОЛС), Si-Ge электроники, солнечной энергетики (многокаскадные СЭ на германиевых подложках), систем обнаружения объектов в условиях плохой видимости для автомобилей. Германий остается основным материалом ИК техники, волоконной оптики, компонентов катализаторов для ПЕТ-пластмасс.

Анализ рынка германия показывает возможность значительного расширения в ближайшее время спроса на германий для ВОЛС, ИК-техники, электроники и солнечной энергетики.

В настоящее время компания «Германий и приложения» создала собственную полную технологическую цепочку производства германиевых продуктов. Она контролирует добычу и обогащение исходного германийсодержащего сырья и его последующую многостадийную переработку в квалифицированные химические продукты и материалы, а также производит специфицированные изделия для различных приложений. В состав компании входят: участок «Спецугли» на Павловском бурогольном месторождении, на котором ведётся добыча германиевого сырья (Приморский край); производство германиевого концентрата в Михайловском районе Приморского края; производство германия в Новомосковске, Тульской области и производство заготовок оптико-электронного назначения в Москве.

В ближайшие годы совместно с РОСНАНО предполагается расширение производственной базы компании с 3,9 тонн в год до 14,4 тонн в год продуктов в германиевом эквиваленте.

A58 Поликристаллический CVD ZnSe для ИК оптики

Витков В.С., Кульчицкий Н.А., Сокольский В.А.

ООО «Германий и приложения», Москва, Россия.

Одним из наиболее перспективных материалов ИК техники в настоящее время является селенид цинка. Поликристаллический ZnSe используется для производства оптических элементов: окон, линз, зеркал, призм, светоделителей и других, работающих в ИК диапазоне. Поликристаллический ZnSe выращивается методом химического осаждения из газовой фазы (CVD-chemical vapor deposition). Такой материал характеризуется однородной структурой, высоким пропусканием в ИК области и низкими внутренними потерями, связанными с поглощением и рассеянием. Наиболее часто селенид цинка применяется при изготовлении компонентов для мощных CO₂-лазеров и широкополосных спектральных приборов, работающих в диапазоне от 0,6 до 19 мкм. Вследствие большей ширины запрещенной зоны, чем у германия, компоненты из селенида цинка могут использоваться при более высоких температурах.

Анализ показывает, что из множества оптических материалов, используемых для производства ИК-оптики, значительная доля рынка в денежном выражении приходится на цинк селенидную оптику – около 63 млн.\$ США (более 40 тонн).

Процесс получения CVD-ZnSe проводится в проточном реакторе при пониженном давлении (менее 50 торр.) и высокой температуре (973К). В качестве исходных реагентов применяются высокочистые селеноводород, получаемый в отдельных установке, и цинк. Процесс проводится непрерывно в течение двух-трех недель. Выращиваются массивные пластины CVD-ZnSe размером 400×150×20 мм, из которых вырезают заготовки необходимого размера. Для получения оптических элементов заготовки механически обрабатывают и проводят их глубокую химику – механическую полировку.

A59 Электрические характеристики МДП-структур на основе ГЭС HgCdTe МЛЭ с неоднородным распределением состава

Войцеховский А.В., Дзядух С.М., Несмелов С.Н., ¹Васильев В.В., ¹Варавин В.С.,
¹Дворецкий С.А., ¹Михайлов Н.Н., ¹Сидоров Ю.Г., ¹Машуков Ю.П.,
¹Якушев М.В.

Сибирский физико-технический институт ТГУ, Томск, Россия

¹Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Метод молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) HgCdTe позволяет выращивать гетероэпитаксиальные структуры с заданным распределением состава по толщине эпитаксиальных пленок. Исследования свойств МДП-структур с неоднородным распределением состава актуальны в связи с необходимостью пассивации поверхности приборов оптоэлектроники на основе HgCdTe, а также в связи с возможностью улучшения характеристик МДП-

приборов на основе HgCdTe путем оптимизации распределения состава по толщине пленки.

В работе экспериментально исследовано влияние параметров приповерхностных варизонных слоев с повышенным составом на фотоэлектрические и электрофизические характеристики МДП-структур на основе $p\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ с $x=0,22$. Показано, что при увеличении состава на поверхности и толщины слоя увеличивается дифференциальное сопротивление области пространственного заряда (ОПЗ) и уменьшается межзонная туннельная рекомбинация в ОПЗ.

Также исследовано влияние периодических неоднородностей с повышенным составом ($x=0,7-0,9$) толщиной порядка 50 нм на электрофизические и фотоэлектрические характеристики МДП-структур на основе $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ с $x=0,29-0,31$ при различном расположении неоднородностей по составу относительно границы раздела диэлектрик-полупроводник. Показано, что наибольшее влияние на электрические характеристики оказывают неоднородности по составу, расположенные непосредственно вблизи границы раздела диэлектрик - полупроводник. Это влияние заключается в увеличении эффективной толщины диэлектрика, а также в появлении особенностей на частотных и температурных зависимостях фотоэдс.

А60 Исследование фотоэлектрических характеристик МФПУ на основе антимонида индия, работающего в режиме «окна»

¹Касаткин И.Л., ¹Лопухин А.А., ^{1,2}Дирочка А.И., ^{1,2}Антипов В.В.

¹ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

² Московский физико-технический институт (ГУ), Долгопрудный, Россия

Разработано устройство для работы в режиме произвольного «окна» МФПУ формата 320×256. Приведена структурная схема устройства для работы в режиме «окна», временные диаграммы работы устройства. Проведены измерения пороговой чувствительности МФПУ на область спектра 3÷5 мкм на основе антимонида индия с накоплением в ячейке мультиплексора, соединенного с матрицей фотодиодов индиевыми столбиками в этом режиме. Проведено сравнение полученных результатов с результатами, полученными в полноформатном режиме считывания.

Так как время накопления в режиме произвольного «окна» меняется независимо от частоты работы МФПУ, можно оптимизировать тактовую частоту для обеспечения минимального уровня шума. Показано, что в режиме произвольного «окна» возможно изменение времени накопления динамически, без проведения перекоррекции.

Результаты измерений приведены в виде графиков зависимостей от времени накопления, напряжения смещения, согласующего транзистора, а также приведены образцы тепловых изображений для различных режимов работы.

А61 Эффективность охлаждаемых диафрагм и фильтров при работе с МФПУ на основе антимонида индия

Касаткин И.Л., Лопухин А.А., Кашуба А.С., Пермикина Е.В.,
Савостин А.В., Власов П.В.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Изготовление матричного фотоприемника (МФП) с высокими параметрами на основе InSb требует использования диафрагм с минимальным коэффициентом отражения.

Экспериментально подтверждено, что шероховатость поверхности пропорциональна продолжительности травления. Коэффициент отражения уменьшается с увеличением степени шероховатости. Выявленные зависимости спектров отражения передают состояние поверхности диафрагмы. В результате этой разработки достигнут минимальный коэффициент зеркального отражения (3÷5%) в диапазоне длин волн 3÷12 мкм при стравливании слоя толщиной не более 70 мкм.

Проведено исследование процесса нанесения черного хрома на матированную поверхность из ковара в зависимости от плотности тока и времени процесса.

Чернение матированной поверхности из ковара с помощью технологии черного хромирования позволило уменьшить коэффициент зеркального отражения до 0,2% в диапазоне длин волн 3÷5 мкм и до 0,6% в диапазоне длин волн 10÷12 мкм.

А62 Исследование МФПУ на основе антимонида индия при низких фоновых потоках

¹Касаткин И.Л., ¹Лопухин А.А., ^{1,2}Антипов В.В.

¹ *ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия*

² *Московский физико-технический институт (ГУ), Долгопрудный, Россия*

Разработана конструкция МФПУ формата 256×256 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 (63 К) и жидкого (78 К) азота. Управление камерой и обработка изображений осуществляются с помощью специализированного компьютера.

В данной работе проводились измерения спектров темновых токов с матричного фотоприемного устройства с матрицей фотодиодов 256×256 на основе InSb. Основной задачей было: 1) Получение спектров темновых токов

МФПУ; 2) Анализ составляющих спектров, выделение спектров, связанных с фотодиодами, и спектров, связанных с мультиплексором.

Измерения проводились с матрицей фотодиодов в отсутствии фонового излучения.

Проведены измерения темновых токов при $T=77$ К фотодиодных МФПУ формата 256×256 элементов с шагом 35 мкм и геометрическим размером фотодиода 30×30 мкм с тонкой базовой областью с использованием мультиплексора с емкостью накопления 10^{-12} Ф. В области оптимальных обратных смещений темновой ток не более $(5 \div 6) \cdot 10^{-12}$ 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.

А63 Параметры МФПУ на основе антимионида индия с утоньшением чувствительного элемента после гибридизации ЧЭ и МП

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

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Изготовление матричного фотоприемника (МФП) из объемного материала требует утоньшения базовой области до толщины $10 \div 20$ мкм с тонкой базовой областью после стыковки МФП и мультиплексора. Процесс утоньшения включает химико-механическую полировку до толщины базовой области $100 \div 80$ мкм и химико-динамическую обработку до конечной толщины. Разработаны экологически чистые травители, совместимые с дальнейшими операциями нанесения анодного окисла с положительным встроенным зарядом на обработанную поверхность. Неплоскостность поверхности при размере МФП порядка 10 мм оказалась не хуже ± 2 мкм.

А64 Исследование гомоэпитаксиальных подложек высоколегированного антимионида индия для матричных фотоприемников большого формата

¹Бурлаков И.Д., ¹Касаткин И.Л., ¹Лопухин А.А., ¹Терехович Т.Ф., ¹Сеяков А.Ю., ^{1,2}Ранцан С.К., ¹Савостин А.В.

¹ *ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия*

² *Московский физико-технический институт (ГУ), Долгопрудный, Россия*

Эпитаксиальное выращивание дает возможность получать $p^+ - n - n^+$ диод. Это означает, что активная область диода может быть сформирована (через легирование и утоньшение) с максимальным квантовым выходом, и минимальным темновым током без каких-либо ограничений. Эпитаксиальный материал выращивается на подложках InSb, легированных до состояния вырождения, чтобы стимулировать сдвиг Бурштейна-Мосса. В результате чего подложка становится прозрачной в области 3-5 мкм.

Эпитаксиальные матрицы InSb, основанные на слоях, выращенных на подложках InSb, имеют меньшие темновые токи, чем матрицы, сделанные по

стандартной технологии. Приборы на основе таких матриц при 95 К имеют показатели, аналогичные обычным приборам при 80 К.

Приведено описание установки, и метода измерения спектров пропускания и отражения эпитаксиальных структур при комнатной и температуре жидкого азота.

Исследовалось два образца: высоколегированная подложка из InSb с ориентацией кристалла (111), и эпитаксиальная структура InSb, выращенная на такой же подложке методом жидкофазной эпитаксии. Были измерены топографии подложки и эпитаксиальной структуры, откуда видно, что характер поверхности эпитаксиальной структуры такой же, как и у подложки. Также, были получены спектры пропускания подложек и сравнение полученных данных с зарубежными показателями. Для оценки толщины выращенного слоя в нашем образце эпитаксиальной структуры были сняты спектры отражения эпитаксиальной структуры в разных областях образца.

В01 О возможности использования фотоприемников на основе гетероэпитаксиальных структур HgCdTe в датчиках температуры на российских железных дорогах

¹Дворецкий С.А., ²Долганин Ю.Н., ²Карпов В.В., ¹Михайлов Н.Н., ³Михеев Н.Н.,
⁴Муханова А.А., ⁵Поляков А.Н., ⁵Степович М.А.

¹ *Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия*

² *ОАО «Московский завод «Сапфир», Москва, Россия*

³ *НИЦ «Космическое материаловедение» Института кристаллографии РАН, Калуга, Россия*

⁴ *Институт экспериментальной минералогии РАН, Черноголовка, Россия*

⁵ *Калужский государственный педагогический университет, Калуга, Россия*

Изучены некоторые вопросы, связанные с возможностью использования гетероэпитаксиальных структур на основе твёрдых растворов кадмий-ртуть-теллур (КРТ) для изготовления фотоприёмных устройств спектрального диапазона 3...5 мкм и их последующего применения на российских железных дорогах для обнаружения перегретых буксовых подшипников и колес подвижного состава по их тепловому излучению.

Проведенные исследования и анализ опыта эксплуатации (в том числе зарубежного) позволяют сегодня с полной уверенностью говорить о возможности создания современной аппаратуры для железных дорог России. Эта задача может быть решена только комплексным подходом, то есть с учётом вопросов обеспечения метрологических и эксплуатационных показателей качества и надёжности, применением алгоритмов и технических решений, учитывающих специфику наших природных условий, что может быть реализовано при использовании полупроводникового фотоприёмного устройства, позволяющего проводить бесконтактную автоматическую диагностику с использованием инфракрасного излучения диапазона 3...5 мкм. Перспективным материалом для создания таких устройств является твёрдый раствор КРТ, а необходимое совершенство гетероэпитаксиальных структур на основе КРТ может быть

обеспечено посредством использования буферных слоёв на основе теллурида цинка и кадмия.

Структуры КРТ получены методом молекулярно-лучевой эпитаксии в Институте физики полупроводников СО РАН [1]. Для проведения микроанализа использовался растровый электронный микроскоп Tescan Vega II XMU с энергодисперсионным рентгеновским спектрометром INCAx-sight. Измерения проводились при ускоряющем напряжении 20 кВ. Локальный микроанализ структур включал в себя изучение исходных КРТ-гетероструктур [2] и приборных структур, изготовленных на их основе (до нанесения защитного покрытия).

Анализ имеющейся информации и полученные предварительные результаты экспериментальных исследований подтвердили перспективность развития работ в этом направлении.

Исследования проведены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и правительства Калужской области (проект № 09-02-99027).

1. Сидоров Ю.Г., Дворецкий С.А., Варавин В.С. и др. ФТП. 2001. Т. 35, вып. 9. С.1092-1101.

2. Гузев А.А., Варавин В.С., Дворецкий С.А. и др. Прикладная физика. 2009. № 2. С.92-95.

B02 Особенности изгиба зон на поверхности варизонного $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$

Предеин А.В., Васильев В.В.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Произведен расчет поверхностного изгиба зон варизонного $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ вакансионного p -типа при различном поверхностном потенциале. Состав $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ изменялся от $x=0,22$ до $x=0,45$ в варизонной поверхностной области шириной 0,3-0,5 мкм и был равным $x=0,22$ в глубине полупроводника – рабочем слое. Величина концентрации вакансий в варизонной области считалась зависящей от состава x . Уравнение Пуассона для электростатического потенциала было решено как нелинейное интегрально-дифференциальное уравнение. В расчетах использовалась статистика Ферми-Дирака чтобы предусмотреть возникновение вырождения при сильной инверсии приповерхностного слоя.

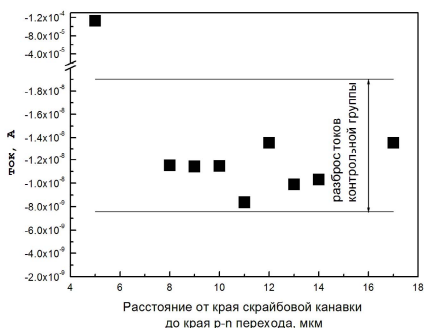
Определены условия возникновения поверхностного инверсионного слоя и условия исчезновения варизонного барьера между поверхностью и рабочим слоем для электронов. Определено соотношение между поверхностным потенциалом и потенциалом на металлическом электроде для металлов с различной работой выхода и при разной толщине диэлектрика $\text{SiO}_2\text{-Si}_3\text{N}_4$ в структуре металл-диэлектрик-варизонный $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$. Проведенные расчеты использованы для интерпретации экспериментальных результатов.

Б03 Лазерное скрайбирование фоточувствительных элементов на основе МЛЭ КРТ

Новоселов А.Р.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

В данной работе, представлены результаты исследований и практического применения методики лазерного скрайбирования импульсным лазерным источником «ЛГИ 21» позволяющие изготавливать линейчатые мозаичные фотоприёмники с периодом следования $p-n$ переходов не менее 44 мкм без потери информации в изображении в местах стыковки соседних линейчатых фоточувствительных элементов (ФЧЭ) на основе плёнок МЛЭ КРТ. Методика предполагает формирование двухуровневой по глубине канавки за несколько проходов, причём в области нахождения $p-n$ переходов формируется канавка излучением со средней мощностью 1,4 мВт, а вне области $p-n$ переходов со средней мощностью 2 мВт. При этом формируется канавка переменной



глубины, которая вне области $p-n$ переходов составляет 120 ± 140 мкм, а в области $p-n$ переходов – 26 мкм при неизменной ширине канавки 18 мкм. При расколе пластины с ФЧЭ по такой скрайберной канавке неровность поверхности раскола составляет не более 1 мкм. На рисунке представлены результаты исследования зависимости токов через $p-n$ переходы при обратных

напряжениях смещения – 200 мВ от расстояния до края скрайбовой канавки. Область между двумя линиями показывает разброс токов через $p-n$ переходы в контрольной группе из 16 диодов, вдоль которых скрайбирование не производилось. Видно, что при уменьшении расстояния до скрайбовой канавки менее 8 мкм наблюдается резкое возрастание темнового тока фотодиодов. В работе обсуждается механизм формирования зон повреждения при лазерном скрайбировании.

Б04 Получение и электрофизические свойства эпитаксиальных слоев $\text{CaF}_2/\text{BaF}_2$ на Si

Федосенко Е.В., Ерков В.Г., Супрун С.П.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

На подложках Si ориентации (001) и (111) были выращены эпитаксиальные слои фторидов щелочноземельных металлов CaF_2 и BaF_2

методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Изображения поверхности BaF_2 на $\text{CaF}_2/\text{Si}(111)$, полученные атомно-силовым микроскопом, демонстрируют атомарно-гладкие ступени длиной 2 мкм и высотой $0,4 \pm 0,05$ нм, соответствующие половине главной диагонали элементарной ячейки материала.

Согласно [1], на вольт-фарадных характеристиках слоев CaF_2 на $\text{Si}(111)$ глубина модуляции емкости зависит от температуры подложки. Она уменьшается с ростом температуры и полностью отсутствует для образцов, выращенных при $T \geq 500^\circ\text{C}$. С увеличением температуры на рентгеновских фотоэлектронных спектрах границы раздела наблюдается рост компоненты Si 2p, соответствующей связи Si-Ca (слабая металлическая связь), и уменьшение компоненты, соответствующей связи Si-F. Аналогичная тенденция в изменении физико-химического строения гетерограницы Si-фторид наблюдалась и для слоев BaF_2 на $\text{Si}(001)$ (рассогласование по постоянным решетки этих материалов 14%), однако модуляция емкости присутствовала даже на образцах, полученных при 780°C .

На изготовленных МДП структурах проведены измерения C-V и G-V характеристик при разных частотах тестирующего переменного напряжения. Показано, что, несмотря на высокую плотность оборванных связей на гетерогранице ($3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$), образующих сетку дислокаций несоответствия с шагом менее 3 нм, рассчитанная из C-V и G-V зависимостей плотность состояний на границе раздела имеет величину порядка $10^{11} \text{ эВ}^{-1} \text{ см}^{-2}$. Можно предположить, что при такой высокой исходной плотности оборванных связей происходит самосогласованное образование упорядоченной структуры, приводящее к понижению электрической активности дефектов.

В результате проведенных исследований было показано, что при дифракции быстрых электронов на отражение, используемой при эпитаксии CaF_2 и BaF_2 , взаимодействие электронного пучка с поверхностью приводит к формированию макродефектов в виде пор. Степень их развития носит дозовый характер, то есть определяется величиной протекшего через поверхность заряда. Образование дефектов обусловлено разложением фторидов под действием электронов с высокой энергией с десорбцией фтора и дрейфовым выносом положительных ионов металла в местах стока электронного заряда пучка на подложку [2].

[1] С.-С. Cho, Т. S. Kim, В. E. Gnade, Н. Y. Liu, Y. Nishioka, Appl. Phys. Lett. **60**, 383 (1992).

[2] С. П. Супрун, Д. В. Щеглов, Письма ЖЭТФ **88**, 421 (2008).

В05 Фотомагнитный эффект и фотопроводимость в магнитном поле в гетероструктурах $p\text{-Hg}_{0,7}\text{Cd}_{0,3}\text{Te}/\text{GaAs}$ со встроенными нанослоями

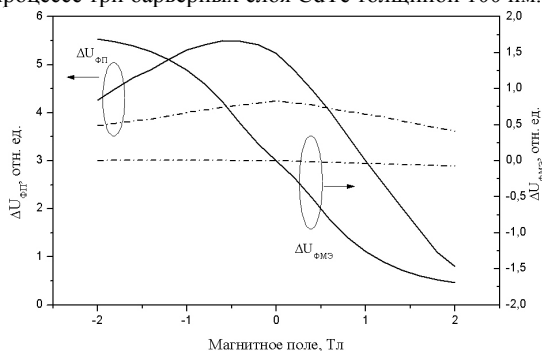
¹Костюченко В. Я., ²Протасов Д. Ю., ²Дворецкий С. А., ²Михайлов Н. Н.

¹ Сибирская государственная геодезическая академия, Новосибирск, Россия

² Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Проведено исследование фотомагнитного эффекта (ФМЭ) и фотопроводимости (ФП) в магнитном поле [1] гетероструктур МЛЭ $p\text{-Hg}_{0,7}\text{Cd}_{0,3}\text{Te}/\text{GaAs}$ с варизонными слоями на границах с фоточувствительным

слоем. Дополнительно в варизонных слоях были выращены в едином ростовом процессе три барьерных слоя CdTe толщиной 100 нм.



ФМЭ и ФП при освещении образца №1 со стороны плёнки (сплошные линии) и со стороны подложки (штрихпунктирные линии) при 77 К.

Исследовались две структуры: 1) с барьерными нанослоями в обеих варизонных областях; 2) с барьерным нанослоем в варизонной области на границе с подложкой.

Гетероструктуры освещались при измерениях, как со стороны подложки, так и с лицевой стороны излучением с $\lambda=0,94$ мкм.

При освещении структур со стороны подложки ФМЭ не симметричен по магнитному полю, и его величина на два порядка меньше сигнала ФП (см. рис). Такое поведение ФМЭ связано только с неравновесными носителями заряда (ННЗ) в варизонной области. Подтверждением этого является различие в значениях подвижности электронов, определенных методом ФП в геометрии Фарадея при освещении образца №1 с разных сторон. Полученное значение подвижности при освещении со стороны подложки составляет $8600 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$, что почти в 3 раза меньше, чем при освещении со стороны поверхности структуры – $23000 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$. Меньшее значение подвижности свидетельствует о том, что ННЗ сосредоточены в широкозонной варизонной области.

На основе теоретической модели [1] рассчитано время жизни электронов, а также скорости поверхностной рекомбинации в структурах с барьерными нанослоями.

1. Костюченко В.Я. Автометрия. – 2009. Т. 45. № 4. С. 41 - 48.

В06 Особенности подготовки подложек InSb (100) и начальные стадии роста при молекулярно-пучковой эпитаксии

Семенов А.Н., Мельцер Б.Я., Соловьев В.А., Львова Т.В., Седова И.В., Дунаевский М.С., Комиссарова Т.А., Ситникова А.А., Копьев П.С., Иванов С.В.

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

Антимонид индия является самым узкозонным соединением A^3B^5 . Уникальные фундаментальные свойства InSb делают этот материал чрезвычайно притягательным для ряда важных прикладных применений в ИК-оптоэлектронике, СВЧ-электронике, спинтронике и в качестве сенсоров [1]. Малая ширина запрещенной зоны InSb и, соответственно, достаточно слабая химическая связь между атомами In и Sb, значительно затрудняет получение

атомарно гладкой и одновременно атомно-чистой поверхности традиционным для молекулярно-пучковой эпитаксии (МПЭ) способом - высокотемпературным отжигом в условиях сверхвысокого вакуума предварительно подготовленной и защищенной слоем окисла поверхности. Известно, что антимоидные соединения формируют разнообразные оксиды, температура разложения которых различна, так что удалить их полностью при низких температурах, не превышающих температуру неконгруэнтного разложения InSb (320-340°C), достаточно сложно. Для очистки поверхности InSb были разработаны специальные методики, например, очистка атомарным водородом. Этот метод прекрасно зарекомендовал себя и получил широкое распространение в последнее время [см. например [2]]. Однако, реализация такой очистки не всегда возможна, поскольку требует установки дополнительного дорогостоящего источника атомарного водорода в камеру предварительного отжига, что часто требует модернизации конструкции камеры.

В данной работе сообщается о разработке методики предэпитаксиальной химической пассивации поверхности подложек InSb(100) ($n \sim 10^{16} \text{ см}^{-3}$) в водном растворе Na_2S , ранее успешно апробированной нами на подложках GaAs и InAs и позволившей существенным образом улучшить структурные характеристики выращиваемых на таких подложках эпитаксиальных слоев [3]. Назначение сульфидной обработка - удаление окисной пленки и формирование сплошного защитного слоя из атомов серы, когерентно связанных с поверхностью кристалла, что обеспечивает сохранение планарности поверхности подложки в процессе вакуумного отжига и не вносит дополнительных нарушений в исходный рельеф. Отжиг подложек и рост слоев InSb проводился на установке МПЭ Riber 32P (Франция). Морфология поверхности анализировалась *in situ* с помощью дифракции быстрых отраженных электронов (ДБОЭ), а также методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) в атмосферных условиях. Структурные исследования образцов проводились с использованием методов просвечивающей и растровой электронной микроскопии, а также рентгеновской дифрактометрии.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности использования серной пассивации как альтернативы очистке поверхности атомарным водородом, позволяющей получать достаточно совершенную поверхность, пригодную для МПЭ роста гетероструктур на основе InSb. Определены режимы МПЭ роста для получения слоев InSb высокого структурного совершенства на подложках InSb(100). Определен диапазон оптимальных температур роста InSb (380-400°C) и соответствующие ей соотношения потоков Sb/In. Исследована фазовая диаграмма поверхности InSb и установлены основные реконструкции, наблюдаемые на поверхности InSb в широких диапазонах температур и потоков сурьмы. Лучшие из достигнутых электрофизических параметров для тонких ($\sim 1,5$ мкм) слоев InSb, выращенных на полуизолирующих подложках GaAs(100), составили $\mu = 40000 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$, $n = 3,6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ при комнатной температуре. Дается сравнение особенностей роста методом МПЭ слоев InSb на гомоэпитаксиальном InSb и сильно рассогласованных подложках GaAs ($\Delta a/a \sim 14\%$).

Работа поддержана грантом РФФИ №09-02-01500.

1. Naohiro Kuze and Ichiro Shibasaki III-Vs Review **10** (1997) 28-32; Patrick J. Treado, Ira W. Levin, and E. Neil Lewis Applied Spectroscopy **48**, (1994) 607-615; J.

R. Soderstrom, J. Y. Yao, and T. G. Appl. Phys. Lett. **58** (1991) 708-710; T. Ashley, L. Buckle, S. Dutta et al. Electron. Lett. **43**, (2007) 777.

2. R. Tessler et al Appl. Phys. Lett. **88** (2006) 031918.

3. И.В. Седова и др., ФТП **36**, (2002) 59.

В07 Современное состояние и перспективы развития КНС – технологии для интегральной оптоэлектроники

Ермаков О.Н., 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 такой области как интегральная оптоэлектроника для реализации систем на кристалле (SOC) типа фотоэлектрических формирователей изображения и минидисплеев (включая минидисплеи по OLED - технологии) монолитно интегрированных со схемами управления [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.

Рассмотрены возможности КНС – технологии для разработки приборов прецизионной оптоэлектроники. Представлены экспериментальные данные по фотоэлектрическим свойствам быстродействующих ($\tau = 1-2$ нс) фотодиодов на основе КНС в широком температурном диапазоне (от 300 до 425 К). Показано, что в практически интересном спектральном диапазоне величина температурного коэффициента чувствительности (ТКЧ) не превышает 0,2%/К, при этом в синей области спектра ($\lambda \sim 450$ нм) она близка к нулю.

Отмечается, что по своим электрофизическим характеристикам (в первую очередь, подвижности носителей) МОП ПТ на основе КНС обладают существенно лучшими характеристиками по сравнению с тонкоплёночными ПТ (TFT) на основе аморфного или поликристаллического кремния, обычно используемыми при разработке жидкокристаллических (LCD) или органических (OLED) дисплеев, что делает перспективной использование КНС – технологии в разработке нового поколения дисплеев.

Отмечается, что дальнейшее развитие КНС–технологии связано с переходом на структуры с ультратонким слоем кремния (UtSi).

1. Ермаков О. Н. *Прикладная оптоэлектроника*. М.: Техносфера, 2004.

Б08 Широкополосные твердотельные источники излучения для измерительной техники, спектроскопии, оптической метрологии

Аладинский В.К., Ермаков О.Н., Осипов С.Н.

ОАО «НПП «Сапфир», Москва, Россия

Развитие измерительной техники остро поставило вопрос о калибровке различных типов ФПУ. Такая задача не может быть решена без необходимого в данном случае опорного источника излучения, широкополосная спектральная характеристика которого и мощность излучения не менялись бы при воздействии различных дестабилизирующих факторов и длительных условий эксплуатации. Интересные возможности в связи с этим представляет использование пробойной электролюминесценции, возникающей в режиме электрического пробоя [1].

Приведён краткий обзор механизмов излучательной рекомбинации с участием горячих носителей заряда (включая межзонные, внутризонные переходы, и тормозное излучение).

Проведённый теоретический анализ показывает, что для температурного коэффициента мощности излучения P_M справедливо выражение, справедливое как для межзонных переходов, так и для тормозного излучения

$$\frac{1}{P_M} \frac{dP_M}{dT} = \frac{1}{kT_e^2} \frac{dT_e}{dT} \frac{\varepsilon_i}{2} = \frac{1}{kT_e^2} \frac{dT_e}{dT} \frac{\varepsilon_g}{4}$$

где T_e и ε_g - соответственно температура горячих носителей заряда и ширина запрещённой зоны полупроводникового материала.

С учётом высокой температуры горячих носителей в соответствии с приведённым выше соотношением температурного коэффициента мощности излучения должна составлять менее 0,1 % /К.

Представлены экспериментальные данные по широкополосным ПЭЛ - источникам излучения на основе GaP, спектр излучения которых перекрывает спектральный диапазон от ближней УФ (380 нм) до инфракрасной (1300 нм) области спектра с температурным коэффициентом изменения мощности менее 0,1 % /К.

Показано, что дальнейшее расширение спектральной характеристики ПЭЛ-источников излучения возможно за счёт использования эпитаксиальных гетероструктур GaAlP/GaP.

1. Ермаков О. Н. *Прикладная оптоэлектроника*. М.: Техносфера, 2004.

Б09 Сравнительный анализ твердотельных и органических (OLED) светоизлучающих формирователей изображения

Ермаков О.Н., Никитин С.А.

ОАО «НПП «Сапфир», Москва, Россия

Приведён краткий обзор современного состояния многоэлементных твердотельных и органических (OLED) светоизлучающих формирователей

изображения, предназначенных для систем визуального отображения информации (включая тепловизионную технику).

Отмечается, что, несмотря на динамичное развитие технологии OLED-дисплеев твердотельные светоизлучающие формирователи изображения сохраняют своё важное значение и обладают большим потенциалом дальнейшего развития.

Современное состояние технологии OLED-дисплеев характеризуется разработкой устройств, способных передавать цветное (RGB) изображение телевизионного формата, при этом яркость свечения в рабочем режиме превышает 600 кд/м^2 .

Современное состояние технологии твердотельных светоизлучающих формирователей изображения характеризуется разработкой монохромных приборов красного (на основе GaAsP и GaAlAs) и зелёного (на основе GaP) цветов свечения с числом сегментов вплоть до 256 при размерах сегментов вплоть до $30 \times 30 \text{ мкм}$ и шаге 50 мкм . При этом яркость свечения в рабочем режиме превышает 2000 кд/м^2 . К числу нерешённых проблем этого направления относится расширение цветовой гаммы, дальнейшее повышение яркости.

Проанализированы физико–технологические ограничения технологии твердотельных светоизлучающих формирователей изображения. Показано, что фактором, ограничивающим дальнейшее увеличение удельной яркости, является безызлучательная поверхностная рекомбинация, степень которой возрастает по мере уменьшения размеров сегментов, при этом для ослабления влияния этого фактора необходим переход к гетероструктурам.

Представлены экспериментальные данные по светоизлучающим приборам на основе гетероструктур InGaP/InGaAsP/GaAsP/GaAs, изопериодическим GaAsP и обеспечивающим передачу зелёного (555 нм), жёлтого (580 нм) и красного (660 нм) цветов свечения при сохранении высокой яркости.

Сравнительный анализ многоэлементных твердотельных и органических (OLED) светоизлучающих формирователей изображения показывает, что к числу неоспоримых преимуществ технологии OLED-дисплеев относятся существенно меньшее энергопотребление, способность воспроизводить RGB–изображение, возможность реализации гибкой конструкции малой толщины. К числу преимуществ технологии твердотельных светоизлучающих формирователей изображения относятся существенная большая устойчивость к воздействию дестабилизирующих факторов, существенно большая цветовая насыщенность, существенно большее быстродействие.

Дальнейшее развитие технологии твердотельных светоизлучающих формирователей изображения связано с использованием гетероструктур InGaAlP/GaAs.

1. Ермаков О. Н. *Прикладная оптоэлектроника*. М.: Техносфера, 2004.

Б10 Исследование свойств электрических полей в высокоомных туннельных МДП структурах

Перепелицын Ю.Н., ¹Харциев В.Е.

Филиал института радиотехники и электроники РАН, Саратов, Россия

¹*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С-Петербург, Россия*

Приводятся результаты экспериментальных и теоретических исследований, связанных с изучением характера перераспределения электрических полей в объеме высокоомных туннельных МДП структур (GaAs, *n*-CdTe(In), *p*-CdTe(Cl)) при воздействии внешнего освещения. При теоретическом анализе пространственная перестройка электрического поля $E(x)$ рассматривается как линейный отклик, возникающий в объеме однородной или неоднородной туннельной МДП системы вследствие воздействия межзонной оптической накачки с энергией квантов $h\nu_1 \geq E_g$, где E_g - ширина запрещенной зоны полупроводника.

При использовании квазигидродинамического приближения задача о линейном фотоотклике для стационарного случая сводится к анализу фундаментальной системы уравнений Ван Русбека для биполярного переноса [1,2]. Эта система уравнений многократно рассматривалась ранее при различных упрощающих предположениях, которые не учитывали специфику решаемой задачи, где, в частности, существенен одновременный учет сильной нелинейности уравнений и дополнительных самосогласованных условий.

Приводятся решения системы уравнений в дрейфовом и диффузионно-дрейфовом приближении, описывающие профиль электрического поля $E(x)$, динамически формирующийся при воздействии освещения в области монополярного переноса заряда неоднородной туннельной МДП структуры с широкой областью базы (за исключением ее приэлектродных областей). Показано, что случай дрейфового приближения реализуется в высокоомных МДП структурах при малых интенсивностях накачки и высокой туннельной прозрачности диэлектрических слоев. В этом случае изменения электрического поля $E(x)$ в объеме неоднородной структуры могут составлять десятки процентов. В структурах с низкой туннельной прозрачностью диэлектрического слоя, в которых нельзя пренебречь накоплением монополярного свободного заряда фотоносителей у неосвещаемого электрода, распределение поля $E(x)$ может быть описано в рамках диффузионно-дрейфового приближения, а профиль его распределения близок профилю, возникающему в МДП структурах с толстым диэлектриком [3]. Проводится анализ полученных решений для двух предельных случаев, а также показана их взаимосвязь с решениями, полученными ранее [4,5]. Кроме того, показано, что заключенная в сигнале оптической накачки $I_1(h\nu_1, t)$ информация синхронно «записывается» в туннельной МДП структуре в виде соответствующего ей значения сквозного тока $J(t)$ и в виде распределения напряженности электрического поля $E(x, t)$, которая затем обратно и синхронно стирается при выключении сигнала оптической накачки $I_1(h\nu_1, t)$

Литература

1. W.V. Van Roosbroeck. - Bell Syst. Tech., 1950, N.29, p. 560-607.
2. P.A.Markowich. The Stationary Semiconductor Device Equations. - Springer, Berlin, 1986.
3. Н.Ф.Ковтонюк, Е.Н.Сальников. Фоточувствительные МДП-приборы для преобразования изображений. М.; Радио и связь, 1990.-160 с.
4. Ламперт М., Марк П. Инжекционные токи в твердых телах. - М.: Мир, 1973, 413 с.
5. Роуз А. Основы теории фотопроводимости. - М.: Мир, 1966. - 192 с.

Б11 Специфика окисления твердых растворов HgZnTe и HgMnTe

^{1,2}Берченко Н.Н., ³Курбанов К.Р., ¹Фадеев С.В.

¹ *Национальный университет "Львовская политехника", Львов, Украина*

² *Институт физики, Жешувский университет, Жешув, Польша*

³ *Институт экономики и передовых технологий, Светловодск, Украина*

Благодаря своей лучшей температурной и временной стабильности по сравнению с HgCdTe твердые растворы HgZnTe and HgMnTe являются перспективными материалами для изготовления ИК детекторов. Прямое сравнение свойств всех трех систем [1] показала, что термическая стойкость и другие свойства структур анодный окисел - HgMnTe лучше, чем аналогичные свойства структур на основе HgCdTe, но хуже чем у структур анодный окисел HgZnTe, однако причины этого авторами необъяснены. Целью нашей работы является изучение химического состава границ раздела собственного оксида с HgZnTe, HgMnTe и HgCdTe, так как мы считаем, что именно химический состав определяет свойства границы раздела.

Методом диаграмм фазового равновесия был проведен термодинамический анализ фазового состава границ раздела: оксид - полупроводник. Хорошо известно, что при окислении HgCdTe образуется сложный оксид CdTeO₃ и на границе раздела выделяется металлическая ртуть для HgZnTe. При окислении HgZnTe ZnTe окисляется с образованием ZnO и элементарного теллура, который должен появиться в области границы раздела: оксид-HgZnTe, что должно в какой-то степени компенсировать влияние металлической ртути. Диаграммы фазового равновесия для HgMnTe были проанализированы с учетом того, что в системе Mn-Te возможно существование еще и другого стабильного соединения MnTe₂. Это приводит к тому, что на границе раздела с оксидом в HgMnTe по мере окисления выделяется сначала не теллур, а соединение с большим составом халькогена - MnTe₂, что уменьшает влияние теллура на свойства границы раздела.

Экспериментальные исследования процессов термического окисления порошков твердых растворов приблизительно с одинаковой шириной запрещенной зоны проводились с применением метода рентгеновской дифракции. При температуре окисления 250°C для HgZnTe удалось обнаружить присутствие элементарного теллура, а для HgMnTe слабые, но достаточно отличимые пики кубического MnTe₂. Это подтверждает, что состав, предсказываемый диаграммами фазового равновесия, позволяет объяснить изменения в свойствах структур анодный окисел-HgCdTe, HgMnTe и HgZnTe.

B12 Высококочувствительный ТВ обзор дневного и ночного неба

Комаров В.В., Фоменко А.Ф., Шергин В.С.

Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, Россия

В Специальной астрофизической обсерватории САО РАН действует уже около 10 лет открытая в Интернет телевизионная система дистанционного визуального контроля [1], в состав которой входит более 2-х десятков высококочувствительных телевизионных подсмотров для наблюдения звезд на больших оптических телескопах [2].

В 2009 году разработан новый уникальный телевизионный обзор неба (в дальнейшем, «ТВ обзор») оптико-телевизионная система которого вместе с регистрирующей аппаратурой обеспечивает дистанционный круглосуточный мониторинг астроклиматической обстановки в окрестности крупнейшего российского телескопа БТА с любого компьютера в локальной сети САО. Обзор неба работает в необслуживаемом режиме и позволяет получать видеоизображения как ночного, так и дневного неба с переменным углом поля зрения в пределах от 10 до 55 град и возможностью сканирования на 360 град по азимуту и 90 град по высоте, осуществляет оцифровку видеоизображений и их передачу в локальной сети САО круглосуточно.

Управление параметрами обзора осуществляется через веб-интерфейсы в режиме реального времени. Программное обеспечение представляет собой комбинированный вариант работы с двумя видеосерверами: один для оцифровки видеосигнала и управления поворотным устройством по порту RS485, другой - для управления параметрами ТВ камеры и передачи видеоизображения на общий сервер САО.

ТВ обзор может работать и в автоматическом режиме, меняя экспозицию от 5 мксек до 2,5 сек, позволяя получать видеоизображение участков неба от яркого дневного до звездного с объектами 12-ой видимой звездной величины.

Литература:

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 6м оптического телескопа БТА. //Тезисы докладов XIX Международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения. - Москва, 2006, с.172.

2. В.В. Комаров Унифицированный телевизионный подсмотр для наблюдения звезд на больших оптических телескопах. // Тезисы докладов XX Международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения. - Москва, 2008, с.189-190.

В13 Оптимизация параметров фотоприемника в подсмотровых системах больших оптических телескопов

Комаров В.В.

Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, Россия

При выполнении астрономических наблюдений на высокоавтоматизированных современных оптических телескопах требуется применение средств визуализации, отождествления и гидирования объекта. С появлением высокочувствительных фотоприемных устройств стало возможным перевести процесс наведения на объект, контроль за отождествлением и сопровождением в удаленный режим, организовав систему телевизионного подсмotra [1]. Исследуя формализованную модель наблюдения с помощью телевизионных подсмотров можно найти оптимизированные параметры фотоприемника, позволяющие максимально повысить надежность отождествления и точность сопровождения телескопов.

В данной работе приводятся аналитические зависимости пространственно-временной оптимизации параметров фотоприемника в подсмотровых системах больших оптических телескопов. Оптимизация осуществляется, исходя из критерия минимизации ошибки сопровождения объекта для модели телевизионной оптической системы, в которой учитывается величина фотонных потоков на ее входе. Приводятся формулы для определения оптимального времени кадра и оптимальной пространственной дискретизации. Показывается, что источники ошибок рассмотренной модели одинаково влияют на конечную точность.

Литература:

1. Комаров В.В. Унифицированный телевизионный подсмотр для наблюдения звезд на больших оптических телескопах. //Тезисы докладов XX Международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения. - Москва, 2008, с.189-190.

В14 Особенности импульсного фотонного отжига имплантированных слоёв арсенида индия

Артамонов А.В., Астахов В.П., Карпов В.В.

ОАО «Московский завод «Сапфир», Москва, Россия

Проведены исследования по выбору режима отжига секундными импульсами излучения галогенных ламп для электрической активации атомов бериллия, имплантированных в InAs. Контроль степени активации до и после отжига проводился на основе измерений типа проводимости, напряжения и тока короткого замыкания термо э.д.с.

Выявлена аддитивность процессов активации при повышении температуры отжига ступенями $(50\div 100)^\circ\text{C}$, приводящая к большей

эффективности последовательного повышения температуры в импульсе до выбранной максимальной T_{\max} , по сравнению с отжигом только при T_{\max} .

Обнаружено отличие результатов отжига в случае «толстых» и «тонких» пластин. Выбрана оптимальная последовательность импульсного повышения температур при отжиге.

В15 Регистрирующее устройство для измерения функции концентрации энергии излучения

Тэгай В.А., Степанов Р.О., Карпов В.В., Семенов В.И., Петренко В.И.

ОАО «МЗ «Сапфир», Москва, Россия

Использование известного [1] регистрирующего устройства (РУ), применяемого при измерении функции концентрации энергии (ФКЭ) излучения в пятне рассеяния оптической системы в видимом диапазоне спектра и состоящем из набора сменных измерительных диафрагм и фотоприемника, становится проблематичным в средневолновом (3-5 мкм) и особенно длинноволновом (8-14 мкм) ИК поддиапазонах спектра. Это обусловлено значительной погрешностью измерения ФКЭ излучения, вызванной существенным влиянием дифракции на измерительной диафрагме малого размера на распределение излучения за ней, что приводит к серьезным трудностям при регистрации всего излучения, прошедшего через измерительную диафрагму.

Нами разработана конструкция и технология изготовления РУ, применение которого главным образом за счет совмещения плоскости измерительной диафрагмы с фоточувствительной поверхностью приемника позволяет зарегистрировать все излучение, распространяющееся после измерительной диафрагмы, и тем самым существенно повысить точность измерения ФКЭ излучения в средневолновом и длинноволновом ИК поддиапазонах спектра.

Образцы РУ, изготовленные на основе полупроводникового материала, фоточувствительного в интересующем ИК поддиапазоне спектра, могут быть использованы, например, для измерения ФКЭ излучения в пятне рассеяния оптической системы, формирующей оптический зонд, применяемый для определения эффективной фоточувствительной площади и коэффициента фотозлектрической связи многоэлементного фотозлектрического полупроводникового приемника излучения.

1 Креопалова Г.В., Лазарева Н.Л., Пуряев Д.Т. Оптические измерения.- М.: Машиностроение, 1987.- Гл. 6, с. 233.

Б16 Нелинейное поглощение мощного импульсного лазерного ИК–излучения в области фундаментального поглощения в гетероэпитаксиальных слоях $Cd_xHg_{1-x}Te$

Войцеховский А.В., Шульга С.А., ¹Громовенко В.М., ¹Резунков Ю.А.,
²Средин В.Г., ¹Степанов В.В., ²Талипов Н.Х.

Сибирский физико-технический институт ТГУ, Томск, Россия

¹ ФГУП НИИКИ ОЭП, Сосновый Бор, Ленинградская обл., Россия

² Военная академия РВСН им. Петра Великого, Москва, Россия

Известно, что коротковолновое импульсное лазерное облучение твердых растворов $Cd_xHg_{1-x}Te$ (КРТ) является, наряду с ионной имплантацией, сильным дефектообразующим воздействием, которое влияет как на электрофизические, структурные, так и на оптические характеристики материала. Представляет особый интерес исследование воздействия на гетероэпитаксиальные слои КРТ, выращенные методами молекулярно-лучевой и жидкофазной эпитаксии (ГЭС КРТ МЛЭ и ЖФЭ КРТ), мощного импульсного ИК–излучения, в частности, CO_2 -лазера, используемого для засветки ИК-фотоприемников на основе КРТ.

Для экспериментов использовались структуры ГЭС КРТ МЛЭ и ЖФЭ КРТ n - и p -типа. Образцы ГЭС КРТ МЛЭ в рабочем слое имели состав $x=0,209-0,220$, а в верхнем варизонном слое – $x_v=0,45-1,0$. В ГЭС КРТ МЛЭ n -типа концентрация электронов составляла величину $n=(2-9)\times 10^{14} \text{ см}^{-3}$, их подвижность $\mu_n=(0,6-1,0)\cdot 10^5 \text{ см}^2\cdot\text{В}^{-1}\cdot\text{с}^{-1}$, в образцах p -типа концентрация дырок была $p=(0,9-1,0)\cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, их подвижность $\mu_p=570 \text{ см}^2\cdot\text{В}^{-1}\cdot\text{с}^{-1}$. ЖФЭ КРТ n -типа имел состав $x=0,216-0,218$, концентрацию электронов $n=(0,2-1,1)\cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ и подвижность электронов $\mu_n=(0,9-1,1)\cdot 10^5 \text{ см}^2\cdot\text{В}^{-1}\cdot\text{с}^{-1}$. В часть образцов ГЭС КРТ МЛЭ p -типа, имеющих в рабочем слое ступеньку повышенного состава ($x=0,25$), была проведена имплантация ионов бора с энергией 100 кэВ, дозой $3\cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$. Структуры со стороны слоя КРТ были облучены при температуре 295 и 78 К мощными импульсами гибридного CO_2 -лазера с длиной волны 9,47 мкм. Длительность импульса по уровню 0,5 составляла 300 нс, средняя плотность энергии, падающей на образец, варьировалась в интервале от 0,07 до 0,30 Дж/см². При измерении пропускания образцов на длине волны 9,47 мкм также использовался маломощный квазинепрерывный режим излучения. Облученные структуры исследовались методами дифференциального эффекта Холла, ИК отражения и пропускания.

Впервые установлено, что мощное импульсное лазерное облучение в области фундаментального поглощения приводит к просветлению ГЭС КРТ МЛЭ. При плотности мощности порядка 10^6 Вт/см^2 пропускание образца при $T=78 \text{ К}$ близко к пропусканию при $T=295 \text{ К}$ и в 3 раза выше, чем пропускание при малой мощности. По сравнению с коротковолновым импульсным лазерным облучением (рубиновым, Nd:YAG) с сопоставимой плотностью мощности, это просветление существенно снижает эффективность лазерного воздействия на КРТ, что подтверждают измерения как эффекта Холла, так и оптического ИК-отражения.

Для ГЭС КРТ МЛЭ и ЖФЭ КРТ *n*-типа с низкой концентрацией электронов порядка $2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ критической плотностью энергии импульсного облучения на длине волны 9,47 мкм является величина 0,3 Дж/см². Образцы ГЭС КРТ МЛЭ и ЖФЭ КРТ *n*-типа с концентрацией электронов порядка 10^{15} см^{-3} и ГЭС КРТ МЛЭ *p*-типа с концентрацией дырок порядка 10^{16} см^{-3} не чувствительны к импульсному облучению вплоть до плотности мощности 10^6 Вт/см^2 . В имплантированных бором образцах ГЭС КРТ МЛЭ импульсное облучение на длине волны 9,47 мкм в интервале плотностей энергии 0,15–0,3 Дж/см² приводит к снижению концентрации электронов в приповерхностной области в 2 раза, даже если *n-p* переход располагается в слое повышенного состава, который прозрачен для лазерного ИК-излучения.

Построена модель мощного импульсного ИК-лазерного воздействия на ГЭС КРТ МЛЭ с учетом эффекта просветления при низкотемпературном облучении и определены температура образцов и коэффициент поглощения в зависимости от плотности мощности излучения. Оценено дефектообразующее воздействие мощного импульсного лазерного облучения.

В17 Особенности создания внутреннего геттера для ПЗС в пластинах диаметром 150 мм из кремния с более совершенной структурой

Костюков Е.В., Поспелова М.А., Русак Т.Ф., ¹Васильев Ю.Б., ¹Петлицкий А.Н.,
¹Гурцевич А.С.

ФГУП НПП «Пульсар», Москва, Россия

¹ *ОАО «Интеграл», Минск, Республика Беларусь*

Показано, что при создании внутреннего геттера в пластинах диаметром 100 мм марки КДБ20 (ориентация (100), ОАО «ЭЛМА», 1986 и 1990 гг.) исключение отжига при 700⁰С, считающегося необходимым для формирования зародышей преципитатов, не влияет ни на падение концентрации межзельного кислорода в кремнии ($\Delta[\text{O}_i]$), характеризующее количество преципитировавшего кислорода, ни на плотность образовавшихся при этом объемных микродефектов [1]. Отжиг при 1150⁰С, обязательно проводящийся первым для создания в приповерхностных областях пластин бездефектной зоны, проводился в атмосфере азота, поскольку добавление кислорода вызывало появление ОДУ.

В данной работе установлено, что для пластин диаметром 150 мм (ориентация (100), «ЭЛМА» 2003 г), наоборот, исключение отжига при 700⁰С из последовательности отжигов: 2 часа при 1200⁰С в атмосфере азота, 12 часов при 700⁰С и локальное окисление приводит к снижению плотности преципитатов более чем на порядок, и значительному снижению $\Delta[\text{O}_i]$.

Если отжиг при 1200⁰С пластин диаметром 150 мм проводился в атмосфере с большим содержанием кислорода, исключение из той же последовательности отжигов отжига при 700⁰С приводило не к падению, а к росту плотности преципитатов. $\Delta[\text{O}_i]$ при этом было меньше, что свидетельствует о меньшем размере преципитатов. ОДУ, ни на поверхности, ни в объеме не появлялись.

По видимому, пластины диаметром 150 мм («ЭЛМА» 2003 г) изготовлены из кремния с более совершенной структурой, поэтому формирование

преципитатов в ходе охлаждения после отжига при 1200⁰С, проведенного в атмосфере азота, затруднено из-за недостатка центров преципитации. Если отжиг при 1200⁰С проводится в атмосфере кислорода, то поток собственных точечных дефектов в объем пластины, образующийся в ходе окисления поверхности, способствует усилению преципитации кислорода.

Проведение первого отжига при 1200⁰С в режиме окисления приводит после локального окисления к практически таким же $\Delta[O_i]$ и плотностям объемных дефектов, что и проведение отжига при 1200⁰С в атмосфере азота с дополнительным отжигом при 700⁰С в течение 12 часов. Это позволяет при создании внутреннего геттера в пластинах диаметром 150 мм, изготовленных из кремния с более совершенной структурой, заменить длительный отжиг при 700⁰С увеличением содержания кислорода в атмосфере первого отжига при 1200⁰С. Способность к преципитации кислорода после высокотемпературного отжига в азоте может быть использована в качестве теста на дефектность пластин.

1. Костюков Е.В., Поспелова М.А., Русак Т.Ф., Трунов С.В., Облыгина Т.А., Никитина Г.И. Создание внутреннего геттера для современных ПЗС// Прикладная Физика. 2006. Вып. 1. С. 124—128.

Б18 Проектирование термически стабильных ИК объективов

Солк С.В., Лебедев О.А.

ФГУП НИИКИ ОЭП, Сосновый Бор, Ленинградская обл., Россия

Объективам часто приходится работать в широком температурном диапазоне. При изменении температуры изменяются показатели преломления линз и пластин, радиусы кривизны, толщины оптических элементов и расстояния между ними, что приводит к расфокусировке. Особенно это заметно в ИК линзовых объективах, имеющих высокие (до 1:0,7) относительные отверстия и изготовленные из материалов с большими показателями преломления. Для сохранения приемлемого качества изображения при проектировании необходимо предусмотреть термокомпенсацию путём перемещения одной или нескольких линз или всего объектива в целом. Перемещение может осуществляться или вручную, или в автоматическом режиме.

В ряде случаев, из-за весогабаритных ограничений, использование термокомпенсаторов невозможно. Тогда проблема решается подбором материалов оптических элементов и механических деталей. Например, зеркала и корпус зеркального объектива изготавливаются из алюминиевого сплава. Нами разработана конструкция объектива Максудова в которой мениск и зеркало изготовлены из кремния а корпус из инвара. При относительных отверстиях до 1:5 объектив сохраняет высокое качество при неизменной плоскости наилучшей установки.

Описанные приёмы эффективны для однородного распределения температуры в объективе. Ряд специалистов считает более важным для практических целей рассмотрение влияния радиальных температурных градиентов. Нами проведены измерения температуры корпусных и оптических элементов ИК объектива при его работе в составе тепловизора в полевых

условиях при температуре окружающей среды -20°C в солнечный день. Результаты измерений показали значительную разницу температур (до 3°C) на радиального характера на отдельных линзах и разницу до 7°C между первой и последней линзами объектива. После наружной покраски корпуса объектива краской с низкой поглощательной (в спектральной области излучения Солнца) способностью градиенты уменьшились почти в два раза. Наибольший эффект дало использование дополнительного защитного цилиндрического экрана, одетого на объектив и изолированного от него проставками из материала с низкой теплопроводностью.

***В19* Технология пайки с использованием индия**

Сабинин В.Е., Солк С.В., Яковлев А.А.

ФГУП НИИКИ ОЭП, Сосновый Бор, Ленинградская обл., Россия

Разработана технология пайки металлов и сплавов (алюминий, медь, инвар и др.) и неметаллических материалов (стекло, кремний, германий, лейкосапфир). Технология позволяет получить герметичные, прочные, не подверженные старению соединения оптических материалов с металлами и между собой, что расширяет технологические возможности оптического приборостроения.

По нашему мнению, разработанная технология может применяться:

1. При изготовлении охлаждаемых кремниевых зеркал. Спаянные кремниевые заготовки были помещены в жидкость типа «тосол», где без видимых изменений находились 5 месяцев.

2. При изготовлении глубокоохлаждаемых объективов. Известны глубокоохлаждаемые объективы, в которых зеркала и корпусные детали изготавливаются из алюминиевого сплава. Аналогично могут изготавливаться объективы и из кремния. Проведённые эксперименты показали, что спаянные кремниевые детали выдерживают охлаждение до азотных температур.

3. При изготовлении сборочных модулей для объективов. Нами изготавливались заготовки представляющие собой цилиндрическую оправу из алюминия или титана спаянную с плоскопараллельной пластиной из германия, кремния или другого оптического материала по цилиндрической поверхности. Металлическая оправка имела базовые поверхности, а так же резьбовые и гладкие отверстия. Это позволяло базировать заготовку в процессе получения оптических поверхностей на станке алмазного микрооточения и при нанесении просветляющих покрытий без изготовления специальной оснастки, а так же при установке готового оптического элемента в объектив. Проведённые интерференционные, виброударные и климатические испытания показали возможность применения таких конструкций в объективах.

Сущность разработанной технологии заключается в специальной подготовке спаиваемых поверхностей. Технология может применяться и в других областях техники, например, при креплении кристаллов фотоприёмных устройств выдерживающих нагрев до 160°C .

Б20 Проблемы проектирования и изготовления инфракрасных объективов в условиях мелкосерийного производства

Солк С.В., Яковлев А.А.

ФГУП НИИКИ ОЭП, Сосновый Бор, Ленинградская обл., Россия

У предприятий производителей ИК объективов существует два подхода к их изготовлению. Первый – производство ИК объективов с универсальными характеристиками. Применение технологий серийного производства значительно удешевляет продукцию. Второй путь, более затратный и длительный, – проектирование и изготовление по техническому заданию конкретного потребителя. Такой подход позволяет оптимизировать вес и габариты объектива, добиться максимально возможных оптических характеристик.

Производство ИК объективов является наукоёмким и высокотехнологичным процессом. Поэтому в России и в других странах таких производителей гораздо меньше, чем производителей объективов видимого диапазона. Наибольших успехов добиваются предприятия, сами проектирующие ИК объективы с учётом своих технологических достижений и возможностей (технологии получения киноформов, технология алмазного микроточения). Объединение на одном предприятии проектировщиков и технологов позволяет последним участвовать в разработке конструкции уже на стадии оптического расчёта, а не тогда, когда конструкция разработана и внесение в неё существенных изменений практически невозможно.

Для уменьшения временных затрат нами используется следующая схема. На стадии выполнения оптического расчёта определяется количество оптических элементов (ОЭ), их габариты и материалы из которых они должны быть изготовлены. После этого, не дожидаясь окончательного расчёта, заказываются необходимые заготовки с допусками, допускающими незначительное изменение габаритов. Оптический расчёт сразу ведётся с учётом имеющихся на предприятии пробных стёкол. После получения заготовок осуществляется их контроль, определяются фактические показатели преломления. Затем следует «пересчёт на плавки», корректировка чертежей ОЭ и начинается их изготовление, даже если ещё не готова конструкторская документация на весь объектив. Если в объективе использованы механические материалы, имеющие длительный срок поставки (литейный инвар, бескислородная медь, специальные сорта бронзы и т.п.), то используются те же подходы к организации проектирования и производства.

Б21 Изготовление ИК зеркал алмазным микроточением

Яковлев А.А., Солк С.В.

ФГУП НИИКИ ОЭП, Сосновый Бор, Ленинградская обл., Россия

Разработаны технологии формообразования алмазным микроточением рабочих поверхностей зеркал из полиметилметакрилата (ПММК), магниевых сплавов и хромистой бронзы. Определены режимы резания, углы заточки резцов и другие технологические параметры. Среднеквадратическая шероховатость поверхностей, для всех материалов, не превышает 100 ангстрем.

Зеркала из магниевых сплавов используются в оптических системах со сканированием в пространстве изображений. Магний имеет невысокую плотность ($1,74 \text{ г/см}^3$), что позволяет добиться значительного уменьшения массы сканирующей системы, более высокой стабильности скорости вращения, применения менее мощных и габаритных двигателей.

Зеркала из ПММК используются в оптических системах в случаях, когда необходимо уменьшить массу, а к точности формы рабочей поверхности не предъявляются жесткие требования. Такие зеркала используются как сканирующие и располагаются перед объективом. Нами изготовлены зеркала диаметром до 250 мм.

Зеркала из хромистой бронзы, например БрХ-1, используются в мощных лазерах и имеют ряд преимуществ по сравнению с зеркалами из бескислородной меди. Разработанная технология позволила исключить операцию полирования, которая приводила к шаржированию оптической поверхности и ухудшала её характеристики.

Б22 Радиационные эффекты в КРТ

¹Войцеховский А.В., ¹Коханенко А.П., ¹Коротаев А.Г., ¹Григорьев Д.В.,
²Кульчицкий Н.А., ²Мельников А.А.

¹ *Томский государственный университет», Томск, Россия*

² *МИРЭА, (ТУ), Москва, Россия*

Проведен обзор влияния различных видов облучения на свойства твердых растворов теллуридов кадмия и ртути (КРТ), которые в настоящее время наиболее широко применяются для изготовления ИК детекторов. Показано, что данный материал практически не теряет своих качеств при облучении потоками электронов до 10^{17} см^{-2} и гамма-квантами дозами до 10^6 Р . Заметное изменение электрофизических и фотоэлектрических характеристик отмечается только в материале с высокой исходной дефектностью (подвижность $\leq 10^4 \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$, время жизни неосновных носителей заряда менее 100нс). Образующиеся при электронном и протонном облучении дефекты термически мало стабильны и почти полностью отжигаются при температурах порядка 100°C .

Механизмы образования электрически активных РД и процесс их эволюции протекают сходным образом, как в эпитаксиальных пленках, так и в объемном материале КРТ. При этом можно предположить, что основными радиационными дефектами, определяющими свойства облученного КРТ, являются дефекты в металлической подрешетке HgTe , независимо от типа воздействующих частиц.

Наблюдаемые отличия результатов облучения на эпитаксиальных пленках МЛЭ КРТ с переменным составом и объемном материале КРТ, главным образом, обусловлены различной динамикой накопления электрически активных РД и зависимостью электрофизических свойств материала от состава КРТ.

Б23 Влияние высокотемпературной газостатической обработки на структуру и оптические свойства CVD-ZnS_xSe_{1-x}

Гавришук Е.М., Савин Д.В., Иконников В.Б.

Институт химии высокочистых веществ РАН, Нижний Новгород, Россия

Высокотемпературная газостатическая обработка или горячее изостатическое прессование (HIP) – метод, заключающийся в одновременном воздействии на материал высоких давлений и высоких температур с целью изменения его свойств. Применение HIP-обработки для халькогенидов цинка (ZnS, ZnSe, ZnS_xSe_{1-x}), полученных CVD-методом, позволяет улучшить их оптические характеристики. Целью работы являлось исследование влияния высокотемпературной газостатической обработки на структуру и оптические свойства CVD-ZnS_xSe_{1-x}.

На основании исследований структуры образцов, выполненных методами оптической микроскопии и рентгеноструктурного анализа, показано, что CVD-ZnS_xSe_{1-x} имеют дефектную структуру с широкими неравновесными межзеренными границами, характеризующуюся уширенными дифракционными линиями и ориентированным в направлении нормали к подложке ростом зерен. Это приводит к рассеянию электромагнитного излучения в видимой области спектра и уменьшению оптического пропускания CVD-ZnS_xSe_{1-x} по сравнению с теоретическим. Оптические потери существенно возрастают в области составов $0,4 < x < 0,8$, в которых содержание структурных дефектов, максимально.

После высокотемпературной газостатической обработки в ZnS_xSe_{1-x} содержание структурных дефектов уменьшается, а оптическое пропускание материала в видимой и ИК-области спектра увеличивается и приближается к теоретическому пределу. Показано, что условия газостатического прессования, при которых в ZnS_xSe_{1-x} формируется близкая к равновесной структура и достигаются высокие оптические характеристики, зависят от состава ZnS_xSe_{1-x} и определяются природой и содержанием дефектов в исходном материале.

Определены условия высокотемпературной газостатической обработки, при которых достигаются высокие значения оптических и механических характеристик: пропускание в ИК-диапазоне до 72%, коэффициент экстинкции в видимом спектральном диапазоне (0,62 мкм) менее 0,05 см⁻¹ и микротвердость не менее 1,5 ГПа.

Б24 Химико-механическое полирование поверхностей оптических элементов на основе поликристаллических халькогенидов цинка

Вилкова Е.Ю., Колесников А.Н., Тимофеев О.В.

Институт химии высокочистых веществ РАН, Нижний Новгород, Россия

Процесс химико-механического полирования оптических элементов из селенида и сульфида цинка имеет ряд особенностей связанных с поликристаллической структурой и механическими свойствами обрабатываемого материала. Кроме того, применение халькогенидов цинка в качестве оптического

материала лазерных систем предъявляет повышенные требования к качеству обработки поверхности и ставит задачу разработки более совершенных технологий получения поверхностей с гарантированным качеством. Целью нашей работы являлось исследование особенностей образования оптических дефектов на поверхности поликристаллического селенида и сульфида цинка в процессе химико-механического полирования.

Проведены эксперименты по исследованию влияния параметров химико-механической обработки (давления, времени, температуры, скорости обработки) на качество обрабатываемой поверхности. Показано, что изменение данных параметров в процессе химико-механической обработки, как по одному, так и в совокупности приводит к существенному изменению количества и геометрических размеров оптических дефектов на полированной поверхности поликристаллических халькогенидов цинка. Для повышения объективности оценки качества полирования и получения количественных данных разработана программа компьютерного распознавания оптических дефектов.

Изучено влияние величины зерна используемого абразива, химического состава полировальной суспензии и скорости обработки на размеры и концентрацию дефектов полированной поверхности. Получены функции распределения дефектов по размерам в зависимости от величины зерна и химического состава полировальной суспензии. Показано, что существует корреляция между увеличением скорости обработки оптических элементов и количеством оптических дефектов на их поверхности.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлена взаимосвязь между параметрами процесса химико-механической обработки с одной стороны, концентрацией и размерами оптических дефектов на поверхности халькогенидов цинка с другой стороны. На основании полученных результатов предложены оптимальные, по нашему мнению, параметры проведения процесса химико-механической обработки поликристаллических халькогенидов цинка.

В25 Анализ способов распознавания формы трехмерных объектов на основе поляризационных термограмм

Тымкул В.М., Ушаков О.К., Фесько Ю.А.

Сибирская государственная геодезическая академия, Новосибирск, Россия

Анализ и интерпретация классических тепловизионных изображений объектов показывает, что их яркость зависит от индикатрисы коэффициента излучения элементов поверхности объекта, температуры этих элементов, а также формы самой излучающей поверхности. В этой связи, в работе [1] сформулирован вывод о неоднозначности решения задачи по определению формы выпуклых объектов внутри их контура на основе классических тепловизионных изображений.

Для решения поставленной задачи по распознаванию и формированию трехмерной поверхности выпуклых объектов в работе [2] предложен способ на основе четырех поляризационных тепловых изображений объекта с различными азимутами поляризации, которые принимают значения 0° , 45° , 90° и 135° . Суть способа заключается в компьютерной обработке полученных поляризационных

термограмм на основе зависимости угла ориентации ψ площадки на поверхности объекта, то есть угла между нормалью данной площадки и направлением оси наблюдения этой площадки, и соответствующим видеосигналом на каждой из полученных поляризационных термограмм. Исследования, анализ и компьютерное моделирование показали, что для распознавания и последующего воспроизведения трехмерной формы достаточно трех поляризационных тепловых изображений с азимутами поляризации 0° , 60° и 120° [3]. С целью уменьшения числа поляризационных термограмм для решения указанной задачи распознавания формы объектов внутри контура в работе [4] показано, что для дистанционного распознавания и компьютерного восстановления трехмерной формы объектов достаточно двух поляризационных тепловых изображений объекта с азимутами поляризации 0° и 45° . Другое решение задачи распознавания формы трех мерных объектов предложено в работе [5]. Последний способ для решения задачи использует две поляризационные термограммы с азимутами поляризации 45° и 90° , но в отличие от способа, описанного в работе [4], этот способ учитывает, кроме степени и азимута, также эллиптичность поляризации теплового излучения объекта.

Для всех элементов разложения кадра, который содержит L строк и N элементов в каждой строке, величины видеосигналов запоминаются и по ним определяется степень поляризации $P(N,L)$. Зависимость угла ориентации площадки поверхности объекта от видеосигналов на примере способа распознавания с азимутами поляризации тепловых изображений 45° и 90° представляется в виде:

$$\psi(N,L) = \arccos \left\{ 1 - a^{-1} \times \frac{\sqrt{[U_{45}(N,L) - 1]}}{\sqrt{2 \sin \left[\arctg \frac{U_{45}(N,L) - 1}{1 - U_{90}(N,L)} \right] - [U_{45}(N,L) - 1]}} \right\}, \quad (1)$$

где $U_{45}(N,L)$, $U_{90}(N,L)$ – величины видеосигналов элементов изображения объекта при азимутах поляризации $t_n = 45^\circ$ и $t_n = 90^\circ$;

a – постоянная, которая зависит от материала поверхности объекта.

При распознавании и воспроизведении трехмерных поверхностей объектов по поляризационным термограммам две из трех исследуемых координат поверхности объекта (в данном случае координаты $x(N,L)$ и $y(N,L)$) для строки (координата x) и для кадра (координата y) определяются размерами термограммы (формат матричного фотоприёмного устройства). Практически при обработке поляризационных термограмм, третья координата $z(N,L)$ для всех элементов поверхности объекта при сканировании по строке и кадру определяются по формулам:

$$z(N) \Big|_{y=\text{const}} = z(N-1) + \Delta x(N) \times \text{tg} \psi_{xz}(N), \quad (2)$$

$$z(N) \Big|_{x=\text{const}} = z(L-1) + \Delta y(N) \times \text{tg} \psi_{yz}(L), \quad (3)$$

где $\Delta x(N)$; $\Delta y(N)$ - шаг сканирования в системе координат пространства изображений при сканировании, соответственно, вдоль координат OX и OY ; ψ_{xz} , ψ_{yz} - проекции угла ψ на координатные плоскости XOZ и YOZ .

В конечном счете, имеем 3 декартовы координаты каждого элемента сцены, по которым осуществляется построение трехмерной поверхности наблюдаемого объекта.

Литература

1 Тымкул, О.В. Методика определения объемной формы объектов на основе поляризационной комбинированной термограммы // О.В. Тымкул, В.М. Тымкул, О.К. Ушаков. Оптический журнал. 1999. Т.66, №2.- С.54-59.

2 А.С. №166727 СССР, МКИ H04N 5/33. Способ тепловизионного распознавания формы объектов / В.М. Тымкул, Л.В. Тымкул, М.И. Ананич, П.Г. Голубев, С.Г. Смагин /СССР/. - №4738971/09; заяв. 06.06.89; опубл. 30. 07.91, Бюл. №28.

3 Пат. 2024212 РФ, МКИ H04N 5/33. Способ распознавания формы объектов / А.Б. Гринева, Т.Б. Куроптева, В.М. Тымкул /РФ/. - №4925084 /09/ 028136, заяв. 3.04.91; опубл. 10.05.94, Бюл. №22.

4 Пат. 2099759 РФ, МКИ G02B 27/18. Тепловизионный способ распознавания формы объекта и устройство для его осуществления / В.М. Тымкул, Л.В. Тымкул, М.И. Ананич, С.Г. Смагин /РФ/. - №93037825/09; заяв 23.07.93; опубл. 20.12.97, Бюл. №35.

5 Пат. 2141735 РФ, МКИ H04N 5/33. Способ тепловизионного распознавания формы объектов / В.М. Тымкул, О.В. Тымкул, Л.В. Тымкул, М.И. Ананич /РФ/. - №95111870; заяв 11.02.95; опубл. 20.11.99, Бюл. №32.

Б26 Эквивалентный цилиндр и стакан Холста

Потапкин О.Д.

МИРЭА, Москва, Россия

При разработке электронно-оптических преобразователей активно используются аналитические модели катодных линз [1]. Это объясняется несколькими причинами: поле вблизи фотокатода должно быть рассчитано с высокой точностью, свойства иммерсионных объективов отличаются от свойств электростатических линз. Такие модели имеют одно замечательное свойство: потенциал на фотокатоде и на первом электроде очень часто совпадает или равен нулю. То же самое имело место и в первом ЭОПе Холста[1]. Между тем, требование высокого значения напряжённости поля вблизи катода и возможность катодной линзы сформировать реальное изображение несовместимы.

Разработанная модель “эквивалентный цилиндр” [2, 3, 4, 5] позволяет сформировать изображение фотокатода даже при нулевом потенциале на катоде и на первом электроде-цилиндре. Решена задача Дирихле для цилиндра с плоскими донцами. Левое основание-донце имитирует фотокатод, правое имитирует плоскую эквипотенциаль. Существенным отличием свойств этой модели при расчёте положения плоскости изображения является анализ свойств аналитического продолжения решения задачи в область между анодом и первым

электродом. Найдено, что размер минимального размера кроссовера в такой иммерсионной линзе слабо зависит от геометрии, а параметры сформированного изображения в значительной степени определяются свойствами аналитического продолжения на границе справа. Анализируются свойства модели в зависимости от геометрии цилиндра и эксплуатационных параметров.

Литература:

1. Holst G., De Boer J.H., Teves M.C., Veenemans C.F., *Physica*, 1, 1934.
2. Потапкин О.Д., Изв. АН, 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. Потапкин О.Д., Мельников А.А., Просвечивающая электронная микроскопия наноструктур, Учебное пособие МИРЭА, М.:2008.

B27 Temperature Dependent Electrical Characteristics of AlGaAs/GaAs Single-Quantum-Well Lasers Using C-V and G/w-V Measurements

S. Özçelik¹, H. Uslu¹, A. Bengi¹, S.S. Cetin¹, U. Aydemir¹, Ş. Altındal¹,
T.S. Mammadov^{1,2}

¹ *Physics Department, Faculty of Arts and Sciences, Gazi University, Ankara, Turkey*

² *National Academy of Science, Institute of Physics, Baku, Azerbaijan*

The temperature dependent electrical characteristics such as doping concentration (N_D), Fermi energy level (E_F), depletion layer width (W_D), barrier height (Φ_B), series resistance (R_s) and ac electrical conductivity (σ_{ac}) of AlGaAs/GaAs Single-Quantum-Well Lasers were found from capacitance-voltage ($C-V$) and conductance-voltage ($G/w-V$) measurements in the temperature range of 80-360 K. Especially the values of Φ_B and R_s were strongly temperature dependent and decreased with increasing temperature. The values of N_D , Φ_B and R_s were found as $5,97 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, 0,837 eV and $34,83 \ \Omega$ at 80 K and $6,87 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, 0,671 eV and $20,96 \ \Omega$ at 360 K, respectively. The barrier height (BH) at absolute temperature and the temperature coefficient of the BH α are experimentally found to be 0,872 eV and $-5,718 \cdot 10^{-4} \text{ eV/K}$, respectively. This value of α is good agreement with the forbidden band gap of GaAs ($-5,405 \cdot 10^{-4} \text{ eV/K}$). In addition, voltage dependent R_s profile was obtained from admittance spectroscopy ($C-V$ and $G/w-V$) method by developed Nicollian and Brews.

Keywords: *QW lasers; C-V and G/w-V measurements; Temperature dependent electrical characteristics; Series resistance*

This work was supported by TUBITAK with Project No:118T018

Б28 О возможности расширения длинноволновой границы фоточувствительности преобразователя изображения на основе структур полупроводник-жидкий кристалл

Исмаилов Н.Д., Ибрагимов Т.Д.

Институт физики НАН, Баку, Азербайджан

Приборы ночного видения конструктивно просты, удобны в эксплуатации, имеют высокую разрешающую способность и относительно низкую стоимость. Для создания приборов ночного видения с длинноволновой границей фоточувствительности - λ_c более 1,2 мкм наиболее перспективными являются твердотельные преобразователи изображения на основе слоистой системе полупроводник – жидкий кристалл. На пути реализации таких приборов возникают проблемы согласования сопротивлений жидкого кристалла и фоточувствительного слоя.

В данной работе описывается принцип работы преобразователя изображения на основе структуры полупроводник–жидкий кристалл с λ_c более 1,2 мкм. Фоточувствительный слой в данном приборе выполнен в виде матрицы лавинных туннельных МДП микрофододиодов. Длинноволновой край в этом случае определяется спектром фотоэмиссии электронов из металла в туннельной МДП структуре на основе кремния с высотой потенциального барьера, которая меньше ширины запрещенной зоны. Фотоны с $\lambda_c > 1.2$ мкм пройдя через кремниевую пластину, поглощаются в металле, возбуждая в нем электроны. Возбужденные электроны, преодолевшие потенциальный барьер, затягиваются в область пространственного заряда, где происходит их лавинное размножение. При этом происходит перераспределение приложенного напряжения на жидком кристалле (ЖК) и изменение его оптических свойств. С целью уменьшения сопротивления ЖК для согласования по сопротивлению с микрофотодиодами, в нематическую смесь МВВА-ЕВВА в соотношении 1:1 вводились частицы серебра размерами 0,3-0,5 мкм в весовом соотношении 0,05%. При этом сопротивление и пороговое напряжение ЖК уменьшается, при неизменности контрастности и частотной характеристики.

Работа была поддержана Украинским Научно-Техническим Центром.

Б29 Двухдиапазонный фотоприемник на основе HgCdTe

Гусейнов Э.К., Исмаилов Н.Д., Эминов Ш.О., Кулиев Ш.М.

Институт Физики НАН Азербайджана, Баку

Представлены результаты экспериментальных исследований фотоприемника на основе $p\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ ($x=0,28$) с тонким приповерхностным инверсным слоем, спектральная характеристика которого управляется приложенным напряжением смещения. Инверсный слой был сформирован обработкой поверхности вакансионно-легированного $p\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ ($x=0,28$) ионами Ag^+ с энергией 250 эВ и дозой $(1\pm 10)\cdot 10^{19}$ см⁻². Нарушенный поверхностный слой толщиной 0,1-0,5 мкм удалялся химическим травлением,

после чего наносились омические контакты на *p*- и *n*-области на торцах. Проведен анализ экспериментально полученных спектральных характеристик фоточувствительности и приведены упрощенные соотношения, описывающие изменения этих спектров в зависимости от приложенного напряжения. Показана возможность одновременной регистрации фотосигнала, как на краю области фундаментального поглощения, так и в коротковолновой области фоточувствительности.

Б30 Усиление фотоотклика нанопористым слоем цеолита в полупроводниковом ИК преобразователе ионизационного типа

^{1,3}Саламов Б.Г., ²Лебедева Н.Н., ²Орбух В.И., ²Боброва Е.Ю., ¹С. Каракосе

¹ *Физический факультет, Гази Университет, Анкара, Турция*

² *БГУ, Институт физических проблем, Баку, Азербайджан*

³ *Институт физики НАН, Баку, Азербайджан*

Исследуемый нами в [13] фооионизационный ИК преобразователь представляет плоскую газоразрядную ячейку, где катодом является пластина высокоомного ($\rho=10^8$ Ом-см) фоточувствительного арсенида галлия. Узкий зазор (40-60 мкм) между катодом и анодом со слоем катодолуминофора заполнен газом при остаточном давлении (60-100 торр). При проецировании изображения на внешнюю поверхность полупроводника в объеме и в газовом зазоре формируется неоднородное распределение тока, свечения газа в зазоре и интенсивности свечения катодолуминофора. Интенсивность свечения газа и катодолуминофора определяется интенсивностью потока электронов, испускаемых с поверхности полупроводника и усиленного в газовом разряде.

Мы предлагаем использовать в этой структуре слой нанопористого цеолита на поверхности полупроводника как усилителя потока электронов. Предложение это основано на наших исследованиях эмиссии электронов из цеолита со сквозными нанопорами - клиноптилола [4-5]. В работе получены прямые экспериментальные доказательства зажигания газового разряда в нанопорах природного цеолита в постоянном электрическом поле. В порах цеолитовой пластины, помещенной в камеру с пониженным давлением, происходит активное размножение электронов за счет изменения потенциала ионизации и других параметров газового разряда. Газовый разряд в порах цеолита обеспечивает повышенную эмиссию электронов в газовый зазор. Размножение электронов в газовом зазоре обеспечивает разрядный ток существенно больший, чем ток в отсутствие цеолитовой пластины.

Таким образом, структура фотоактивный полупроводник - цеолитовая пластина - газовый зазор способна усиливать фотоотклик.

1. B.G.Salamov, N.N.Lebedeva, B.G.Akinoglu, K.Allakhverdiev, J.Phys.D:Appl.Phys, **27**, 1229,1994

2. N.N.Lebedeva, B.G.Salamov, V.I.Orbukh, V.M.Nagiev, Instr. & Exp. Tech. **37**, 5. p.2, 1994

3. V.I.Orbukh, N.N.Lebedeva, B.G.Salamov, Semiconductors, **43**, N10, 1288-1291, 2009

4. Н.Н.Лебедева, В.И.Орбух, Т.З.Кулиева, Ч.А.Султанов, «Хеберлер» AZ Milli Elm.Akad., N5, 162-165, 2009

5. Н.Н.Лебедева, В.И.Орбух, Ч.А.Султанов, ЖТФ, том 80, в.4, 134-137, 2010

Б31 Изопериодические фоточувствительные гетероструктуры $Pb_{1-x}Sn_xSe/PbSe_{1-x}S_x$

Нуриев И.Р., Фараджев Н.В., Назаров А.М., Гаджиев М.Б.

Институт физики НАН, Баку, Азербайджан

В настоящей работе рассматриваются особенности создания изопериодических гетеропереходов $p-Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x=0,03$) / $n-PbSe_{1-x}S_x$ ($x=0,05$) и изготовления фоточувствительных элементов пригодных для применения. Изопериодичность гетеропар создает условие для получения кристаллически-совершенных пленок и структур с высокими параметрами. Выращивание пленок $Pb_{0,97}Sn_{0,03}Se$, $PbSe_{0,95}S_{0,05}$ и создание гетероструктур на их основе осуществлялось путем сублимации заранее синтезированного шихтового материала необходимого состава методом конденсации молекулярных пучков. В качестве испарителя использовалась ячейка Кнудсена изготовленная из особо чистого графита. Для получения пленок $Pb_{1-x}Sn_xSe$ p -типа с низкой концентрацией носителей заряда ($p \leq 10^{17} \text{ см}^{-3}$), использовались синтезированные образцы, легированные индием. Эпитаксиальные пленки $Pb_{1-x}Sn_xSe$ p -типа проводимости, с подвижностью носителей заряда $\mu = (2 \div 3) \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ на подложках BaF_2 были получены с применением дополнительного компенсирующего источника паров Se в процессе роста. Применение такого источника приводило к получению пленок с чистой, гладкой поверхностью без включений второй фазы.

Кристаллическая структура пленок контролировалась методами дифракции быстрых электронов на отражение и рентгенодифрактометрии. Морфология поверхности исследовалась в растровом электронном микроскопе.

Эпитаксиальные слои $Pb_{0,97}Sn_{0,03}Se$ p -типа проводимости толщиной $0,8 \div 1,2 \text{ мкм}$ получались при температурах подложки $T_n = 623 \div 653 \text{ К}$ и скорости конденсации $v_k = 7 \div 8 \text{ \AA}/\text{с}$. Нанесение слоя $n-PbSe_{0,95}S_{0,05}$ и создание $p-n$ гетероперехода осуществлялось при $T_n = 523 \div 553 \text{ К}$.

Гетероструктуры $p-Pb_{0,97}Sn_{0,03}Se / n-PbSe_{0,95}S_{0,05}$ в виде пересекающихся полос, изготавливались методом конденсации молекулярных пучков в едином технологическом цикле без нарушения вакуума. Установлено, что гетеропереходы созданные на основе пленок с концентрациями носителей заряда $p = 2 \cdot 10^{16} \div 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ и $n = 3 \cdot 10^{17} \div 4 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ обладают выпрямляющими свойствами. Анализ вольт-амперных характеристик (ВАХ) созданных гетеропереходов показывает, что утечки в них сильно зависят от степени структурного совершенства p -слоя. Прямая ветвь ВАХ при малых смещениях подчиняется экспоненциальному закону $J = J_0 \cdot \exp(eU/\beta kT)$ при 77 К , где β изменяется в интервале $2 \div 2,5$, что характерно для генерационно-рекомбинационного механизма протекания тока через область пространственного заряда. В области высоких смещений прохождение тока определяется туннелированием.

Изготовлены фоточувствительные элементы с высокими техническими параметрами: $R_{oA}=1,2\div 1,5 \text{ Ом}\cdot\text{см}^2$; $\lambda_{\text{max}}=8 \text{ мкм}$; $D_{\lambda}^*=(1\div 2)\cdot 10^{10} \text{ см}\cdot\text{Гц}^{1/2}\cdot\text{Вт}^{-1}$, сравнимыми с аналогичными параметрами, приведенными для диодов Шоттки на основе $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}$.

Б32 Фоточувствительные эпитаксиальные пленки $\text{PbSe}_{1-x}\text{Te}_x<\text{Ga}>$

Фарзалиев С.С., Нуриев И.Р., Садыгов Р.М., Бархалов Б.Ш.

Институт физики НАН, Баку, Азербайджан

Интенсивное развитие инфракрасной техники привело к необходимости получения структурно совершенных эпитаксиальных пленок соединений $\text{A}^{\text{IV}}\text{B}^{\text{VI}}$, их твердых растворов с узкой шириной запрещенной зоны и создания различных оптоэлектронных приборов на их основе. Разработаны и изготовлены одно и многоэлементные фотоприемники и достигнута высокая обнаружительная способность.

В настоящей работе приведены результаты исследования эпитаксиальных пленок $\text{PbSe}_{1-x}\text{Te}_x<\text{Ga}>$ ($N_{\text{Ga}}\leq 0,8 \text{ ат.}\%$), полученных на диэлектрических подложках BaF_2 (111) и изготовления фоточувствительных элементов на их основе. Пленки получались методом конденсации молекулярных пучков в вакууме 10^{-4} Па. В качестве источника использовались заранее синтезированные твердые растворы $\text{PbSe}_{1-x}\text{Te}_x$ с соответствующим химическим составом $x=0,2$. Испарителем служила ячейка Кнудсена изготовленная из особо чистого графита. Для определения структуры, параметра решетки и состава выращенных пленок применялись методы рентгенодифрактометрии и электронографии.

Изопериодичность кристаллических решеток ($a_{\text{BaF}_2} = a_{\text{PbSe}_{1-x}\text{Te}_x} = 6,19\text{Å}$) и близость коэффициентов термического расширения подложки и выращенных пленок $\text{PbSe}_{1-x}\text{Te}_x$ ($x=0,2$), дала возможность получения пленок с совершенной структурой и высокими электрическими параметрами: $W_{1/2}=100''$; $n_{77\text{К}}=10^{15} \text{ см}^{-3}$; $\mu_{77\text{К}}=(2\div 3)\cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$. Указанное значение для концентрации заряда достигалось дополнительным имплантированием полученных пленок низкотемпературными ионами галлия, с энергией менее 1 кэВ, посредством жидкометаллического ионного источника, который действовал в режиме торможения первичного пучка.

На основе полученных пленок были изготовлены элементы, которые оказались фоточувствительными в области спектра $3\div 5 \text{ мкм}$. Максимум фоточувствительности соответствует $\lambda_{\text{max}}=5 \text{ мкм}$.

С применением специальной маски в процессе роста, в едином технологическом цикле была создана многоэлементная структура. Все элементы изготовленной структуры оказались фоточувствительными и почти не отличались по значениям λ_{max} , что свидетельствует о высокой однородности полученных пленок.

Измерены оптические спектры пропускания и отражения, по которым рассчитан коэффициент поглощения выращенных эпитаксиальных пленок.

Значение ширины запрещенной зоны (E_g), определенное по оптическим спектрам и фотопроводимости исследуемых пленок хорошо согласуется со значениями E_g , вычисленными из спектральной характеристики фотодиодов,

изготовленных на основе этих материалов.

Б33 Акустические свойства селенида галлия

Абуталыбов Г.И.,¹ Рагимова Н.А., Джафарова С.З.

Институт физики НАН, Баку, Азербайджан

¹Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

Непосредственной задачей наших исследований было изучение в кристаллах ϵ -GaSe:

а) упругих свойств на более высоких частотах акустических волн, исключая возможность грубых ошибок при использовании небольших по размеру образцов;

б) ангармонических свойств посредством измерений влияния гидростатического давления на скорость распространения акустических волн и измерения решеточного поглощения;

в) акустоэлектронного взаимодействия с целью определения пьезоэлектрических характеристик кристалла.

Исследования влияния освещения на скорость распространения и поглощения акустических волн L_{\perp} и FT_{\perp} вдоль слоев (в плоскости (0001)), а также температурная и частотная зависимости ϵ -GaSe, показали, что фоточувствительность поглощения и изменение скорости распространения волн связано с пьезоэлектрическим взаимодействием акустической волны со свободными носителями заряда. Измерения коэффициента поглощения и скорости распространения волн для различных поляризаций в широком интервале частот 30-700 МГц и температур 78-300 К обнаружили отклонения частотных характеристик поглощения волн L_{\perp} и FT_{\perp} от теоретических оценок поглощения низкочастотного звука в кристаллах. Определены три независимых модуля упругости II порядка и их температурные коэффициенты. Изучение влияния гидростатического давления на скорость распространения акустических волн показали, что сильная анизотропия ангармонических свойств, связанных с деформациями сжатия и сдвига слоев друг относительно друга, приводит к анизотропии упругих свойств. Определены пьезоэлектрические характеристики и постоянные Грюнаизена акустических ветвей фононного спектра.

Б34 Люминесценция тонких малопористых естественно окисленных слоев пористого кремния

Рустамов Ф.А., Мамедов М.З., Дарвишов Н.Г.

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

В 1990-ом году было обнаружено, что после электрохимического травления кремния в растворах HF – вода он проявляет достаточно интенсивную фотолуминесценцию в видимой области. Таким образом, открылась перспектива использования этого нового материала в оптоэлектронике, что привело к резкому росту интереса исследований как технологии получения, так и

исследований его оптических свойств. В настоящее время слои пористого кремния (ПК) получают как электрохимическим, так и химическим травлением. Подбором параметров анодизации, а также различных условий последующего окисления можно получать слои ПК разной толщины, с разной морфологией и различным значением максимума фотолюминесценции.

В данной работе слои ПК были получены методом электрохимического травления на полированной с обеих сторон монокристаллической подложке *p*-Si с ориентацией (111) и удельным сопротивлением 0,1 Ом·см. Площадь обрабатываемой поверхности составляла 1 см², травление проводилось в темноте в 15% растворе HF/изопропиловый спирт. Время травления составляло 30 с., а плотность тока анодизации 20 мА/см². Такое малое время анодизации было выбрано для того, чтобы исключить химическое травление, сопутствующее анодизации, и исключить окисление пленок во время реакции.

Свежеприготовленные слои ПК не обладали люминесценцией в видимой области. При выдержке образцов в обычных лабораторных условиях образцы начинали проявлять люминесценцию в видимой области, интенсивность которой с течением времени усиливалась и достигала своего максимума примерно через месяц. Максимум эмиссии при этом постепенно смещался с 1.8 до 1.95, и в конце свечение становилось оранжевым с довольно большой интенсивностью.

Для сравнения в некоторых образцах травление проводилось в течение 100 с. Такие пленки ПК, сразу после промывки и сушки, проявляли интенсивную фотолюминесценцию в видимой области.

Известно, что фотолюминесценция ПК связана как с квантоворазмерным эффектом в образующихся нанокристаллах, так и с уровнем связывания болтающихся связей кремния на поверхности. То, что при времени травления 30 с слои свежеприготовленного ПК, несмотря на пассивацию поверхности водородом, не проявляют люминесценцию в видимой области, связано с малой пористостью образца и, как результат, с большими размерами кристаллитов кремния. Так как наши образцы довольно тонкие, они легко окисляются на воздухе и водородные связи на поверхности заменяются более стабильными кислородными. По мере роста толщины окисла вокруг кристаллитов кремния, размеры их уменьшаются, и поэтому начинает проявляться видимая люминесценция. Увеличение интенсивности люминесценции и сдвиг максимума в коротковолновую область связаны именно с уменьшением размеров кристаллитов и увеличением количества этих нанокристаллитов. Таким образом, несмотря на малую пористость такие тонкие слои проявляют довольно интенсивную и стабильную люминесценцию в видимой области. Проведенные исследования указывают на перспективность тонких окисленных малопористых слоев ПК.

Б35 Радиационные эффекты в монокристаллах TlGaSe_2

¹Мустафаева С.Н., ²Асадов М.М., ¹Исмаилов А.А.

¹Институт физики НАН, Баку, Азербайджан

²Институт химических проблем НАН, Баку, Азербайджан

Изучено влияние γ -облучения на диэлектрические свойства и ас-проводимость поперек слоев монокристаллов TlGaSe_2 в частотной области $5 \cdot 10^4 - 3,5 \cdot 10^7$ Гц. Диэлектрические свойства измерены в направлении, перпендикулярном слоям монокристаллов TlGaSe_2 . В качестве электродов использована серебряная паста. Толщина монокристаллических образцов из TlGaSe_2 составляла от 100 до 280 мкм. Диэлектрические измерения монокристаллов TlGaSe_2 на переменном токе проведены при комнатной температуре резонансным методом с помощью куметра TESLA BM 560.

Облучение образцов проводилось на радиационной химической установке непрерывного действия (РХУНД-20000) от источника Co^{60} . Энергия γ -квантов составляла 1,25 МэВ. Доза облучения накапливалась путем последовательных выдержек в одном и том же образце и составляла $3 \cdot 10^4$ и $2,25 \cdot 10^6$ рад. Диэлектрические измерения образцов проводились после каждого облучения. При фиксированных частотах произведены замеры диэлектрической проницаемости образцов TlGaSe_2 вначале до, а затем после γ -облучения дозами $3 \cdot 10^4$ и $2,25 \cdot 10^6$ рад.

Показано, что γ -облучение монокристаллов TlGaSe_2 дозами $3 \cdot 10^4$ и $2,25 \cdot 10^6$ рад приводит к уменьшению диэлектрической проницаемости, а также изменяет природу диэлектрических потерь. Монотонное уменьшение $\text{tg}\delta$ с частотой в необлученном образце TlGaSe_2 показывает, что в нем имеют место потери на электропроводность во всей изученной области частот. В облученном дозами $3 \cdot 10^4$ и $2,25 \cdot 10^6$ рад образце TlGaSe_2 $\text{tg}\delta$ увеличивается по сравнению с $\text{tg}\delta$ до облучения. При этом характер изменения $\text{tg}\delta$ с частотой в облученном образце свидетельствует о том, что при низких частотах имеют место потери на электропроводность, а при $f \geq 4 \cdot 10^5$ Гц начинают проявлять себя релаксационные потери.

В γ -облученных монокристаллах TlGaSe_2 установлен прыжковый характер ас-проводимости вблизи уровня Ферми и оценены плотность (N_F) и энергетический разброс (ΔE) локализованных в окрестности уровня Ферми состояний, среднее время (τ) и расстояние (R) прыжков (табл.).

D_γ , рад	N_F , $\text{эВ}^{-1} \cdot \text{см}^{-3}$	τ , с	R , Å	ΔE , эВ
0	10^{18}	$6 \cdot 10^{-8}$	190	0,07
$3 \cdot 10^4$	$1,6 \cdot 10^{18}$	$5,7 \cdot 10^{-8}$	188	0,045
$2,25 \cdot 10^6$	$2,2 \cdot 10^{18}$	$5,7 \cdot 10^{-8}$	188	0,033

Таким образом, показано, что за счет γ -облучения можно существенно изменять значения диэлектрических коэффициентов (ϵ , ϵ'' , $\text{tg}\delta$), а также ас-проводимость монокристаллов TlGaSe_2 .

Б36 Рентгенодозиметрические свойства монокристалла CdIn_2S_4

¹Мустафаева С.Н., ²Асадов М.М., ¹Гусейнов Д.Т.

¹Институт физики НАН, Баку, Азербайджан

²Институт химических проблем НАН, Баку, Азербайджан

Монокристаллы CdIn_2S_4 характеризуются высокой чувствительностью к электромагнитному излучению видимой области спектра. Представляло интерес изучение чувствительности указанных монокристаллов к рентгеновому излучению.

В настоящей работе изучены рентгенодозиметрические характеристики монокристаллов CdIn_2S_4 . В качестве источника рентгеновского излучения использована установка типа УРС с трубкой БСВ-2(Cu). Интенсивность рентгеновского излучения регулировалась посредством вариации тока в трубке при каждом заданном значении ускоряющего потенциала на ней. Абсолютные значения доз рентгеновского излучения измерены рентгенодозиметром ДРГЗ-02. Контакты к образцам из монокристаллов CdIn_2S_4 были изготовлены сплавлением индия на торцевые грани; межконтактное расстояние в изученных образцах составляло 0,15 см. Изменение проводимости исследуемых образцов под действием рентгеновского излучения регистрировалось в режиме малого нагрузочного сопротивления ($R_H \ll R_{\text{крст.}}$).

Коэффициент рентгенопроводимости (K_σ), характеризующий рентгеночувствительность изучаемых кристаллов, определяли как относительное изменение проводимости за счет рентгеновского облучения на единицу дозы: $K_\sigma = (\sigma_E - \sigma_0) / \sigma_0 \cdot E$, где σ_0 - темновая проводимость, σ_E - проводимость под действием рентгеновского облучения мощностью дозы E (Р/мин). Определены величины характеристических коэффициентов монокристаллов CdIn_2S_4 при различных значениях ускоряющего потенциала (V_a) на трубке и соответствующих дозах рентгеновского излучения.

Значения K_σ , измеренные в интервале мощности дозы $E = 0,78-78,05$ Р/мин и при эффективной жесткости рентгеновского излучения $V_a = 25-50$ кэВ варьировались от 0,007 до 0,076 мин/Р. Рентгенамперные характеристики монокристаллов CdIn_2S_4 носили степенной характер.

Проведенные исследования выявили высокую чувствительность монокристаллов CdIn_2S_4 к рентгеновому излучению и позволяют рекомендовать их к использованию в качестве активных элементов рентгенодатчиков.

E37 Temperature and Voltage Dependent Current Conduction Mechanism in AlGaAs/GaAs Single-Quantum-Well Lasers

T.S. Mammadov^{1,2}, S. Özçelik¹, H. Uslu¹, Ş. Altındal¹

¹ *Physics Department, Faculty of Arts and Sciences, Gazi University, Ankara, Turkey*

² *National Academy of Science, Institute of Physics, Baku, Azerbaijan*

In order to good interpret the experimentally observed current-voltage-temperature (I - V - T) results of AlGaAs/GaAs QW lasers, we have been examined the samples in the temperature range of 80-360 K. In the intermediate bias voltage region ($\sim 0,1 < V < 0,6$ V) the semi-logarithmic plots of the forward and reverse bias I - V plots were found to be linear. From the reverse-saturation current (I_s) obtained by extrapolating the linear region of curve to zero applied voltage and zero-bias barrier height (Φ_{B0}) values were determined at each temperature. The ideality factor (n) values calculated from the slope of each I - V plots found as a function of temperature. The experimental values of n and Φ_{B0} for the device range from 3,49 and 1,313 eV (at 80 K) to 1,73 and 0,492 eV (at 360 K), respectively. These values of n are indicating that the sample obeys the thermionic field emission mechanism rather than the other transport mechanism particularly at low temperature (80-170 K). The high value of ideality factor was attributed to image force lowering of the barrier height, tunneling current at low temperature, generation-recombination current within the space charge region and the existence of interface states at metal/semiconductor interface.

Keywords: QW lasers; I-V-T characteristics; Current-transport mechanisms; Temperature dependent

This work was supported by TUBITAK with Project No:118T018

B38 Особенности роста ЖФЭ слоев HgCdTe

Эминов Ш.О., Гусейнов Э.К., Раджабли А.А., Ибрагимов Т.И.,
Исмаилов Н.Д., Алиев А.А.

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 15-25 мкм, пригодные для изготовления фотодиодных структур, работающих в ИК диапазоне 8-14 μm , выращены методом жидкофазной эпитаксии (ЖФЭ) в запаянной ампуле на подложках $\text{Cd}_{0,96}\text{Zn}_{0,04}\text{Te}$ с кристаллографической ориентацией (111) при 480-520°C из предварительно синтезированного раствора $(\text{Hg}_z\text{Cd}_{1-z})_{1-y}\text{Te}_y$. Изучена зависимость состояния поверхности подложек $\text{Cd}_{0,96}\text{Zn}_{0,04}\text{Te}$ от выбранной методики полирования.

На основе проведенного обзора экспериментальных работ, посвященных ЖФЭ HgCdTe, проведена оценка погрешности расчетов состава раствора-расплава, основанных на аппроксимационных выражениях для Te-угла фазовой диаграммы состояния системы Hg-Cd-Te. Проведена количественная оценка воздействия процесса синтеза источника раствора-расплава при 700-710°C на состав выращиваемых эпитаксиальных слоев.

Представлено описание новой кассеты для жидкофазной эпитаксии, позволяющей выращивание слоев с поверхностью, свободной от остатков раствора-расплава.

Проведен сравнительный анализ спектров оптического пропускания и кривых качания рентгеновской дифракции эпитаксиальных слоев до и после термического отжига в парах ртути.

Б39 Неотражающие поглотители электромагнитного излучения на основе высокодисперсных тел

Касимов Р.М., Карамалиев Р.А.

Институт химических проблем НАН, Баку, Азербайджан

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

Рассматриваются условия возникновения явления полного поглощения электромагнитного излучения в двухслойной плоской системе покрытие- металл. В качестве наполнителя матричного материала покрытия использованы высокодисперсные включения веществ, поглощающие падающее излучение. В предположении малости размеров частиц наполнителя по сравнению с длиной волны падающего излучения использованы уравнения, которые связывают между собой эффективные значения коэффициентов преломления n и поглощения волны χ композиционного материала покрытия, толщину слоя покрытия ℓ и длину волны λ падающего излучения [1]

$$\pi(2N-1) - \varphi = \frac{n}{\chi} \ell n \frac{1}{r}, \quad \frac{\ell}{\lambda} = \frac{1}{n} \left(\frac{2N-1}{4} - \frac{\varphi}{4\pi} \right), \quad (1)$$

где $\varphi = \frac{2\chi}{1-n^2-\chi^2}$; $r = \left(\frac{(1-n)^2 + \chi^2}{(1+n)^2 + \chi^2} \right)^{\frac{1}{2}}$ - фаза и модуль коэффициента

отражения волны от рассматриваемой двухслойной системы, соответственно; $N=1, 2, 3, \dots$

Нахождение избирательных значений толщины слоя ℓ и состава материала покрытия выполнялось совместным решением уравнений (1) и известным уравнением для эффективного значения диэлектрической проницаемости ε композиционного материала [2]:

$$\varepsilon = \varepsilon_m \left(1 + 3\delta \frac{\varepsilon_i - \varepsilon_m}{\varepsilon_i + 2\varepsilon_m} \right). \quad (2)$$

Здесь ε_m и ε_i - диэлектрические проницаемости матричного материала покрытия и наполнителя, соответственно; δ - объемное содержание наполнителя.

При условии применения идеальной металлической подложки проведены расчеты избирательных значений ℓ и δ поглощающего покрытия в оптическом диапазоне волн, при которых выполнимы условия полного, безотражательного поглощения электромагнитного излучения в рассматриваемой системе (см. таблицу). В качестве матричного материала таких покрытий применены полимер

(полиформальдегид), а в качестве высокодисперсного наполнителя - ряд металлов (медь, золото и др.). Расчеты проведены для длины волны падающего излучения $\lambda=0,5$ мкм. Показатель преломления матричного материала покрытия равен 1,5. Комплексные показатели преломления меди и золота, соответственно равны $0,88 - i 2,42$ и $0,84 - i 1,84$.

N	медь		золото	
	ℓ , мкм	δ %	ℓ , мкм	δ %
1	0,064	20,4	0,091	15,2
2	0,223	7,6	0,255	6,8
3	0,388	4,6	0,418	4,6

1. Касимов Р.М, Касимов Э.Р. Прикладная физика.2007, № 3, с.25-29.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред.М.«Наука».1982.

Б40 Ag₄SSe – перспективный оптический материал для диапазона 4-6 мкм

Гусейнов Э.К., Алиев А.А., Джалилова Х.Д., Гаджиева Г.С.,
Ахмедов И.А., Алиева Л.Н.

Институт физики НАН, Баку, Азербайджан

Исследованы спектры фундаментальных оптических параметров тонких пленок n -Ag₄SSe толщиной $0,35 \div 0,5$ мкм, полученных анионным замещением компонентов в системе Ag₂S - Ag₂Se в вакууме на свежесколотые подложки NaCl, KCl и оптическое стекло, рассчитанных из соотношений Крамерса-Кронинга по экспериментальным данным спектров пропускания и отражения и измеренных по стандартной методике в интервале длин волн $\lambda=2,5 \div 25$ мкм. Представлены спектральные зависимости $n(\lambda)$ и $k(\lambda)$. Выявлена сильная зависимость n от длины волны падающего излучения в области $\lambda=3 \div 12$ мкм. В интервале $\lambda=4 \div 6$ мкм наблюдается впадина со значением $n(\lambda)$ меньше 2, в отличие от основных материалов, применяемых в фотозлектронике в этом диапазоне и имеющих значение $n(\lambda)$ выше, чем 2. Такая зависимость $n(\lambda)$ позволяет использовать тонкие плёнки n -Ag₄SSe в диапазоне $\lambda=4 \div 6$ мкм в качестве просветляющего (антиотражающего) и оптического фильтра покрытия для фотоприемников, а также считать n -Ag₄SSe перспективным материалом при использовании его в качестве внешних оболочек для оптических волокон, предназначенных для передачи излучения указанного диапазона.

Б41 Люминесценция пористого кремния полученного химическим травлением в высокооомном кремнии *p*-типа

Рустамов Ф.А., Дарвишов Н.Г., Боброва Е.Ю., Гафарова Х.О.

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

Пористый кремний является многообещающим материалом благодаря его потенциальным возможностям применения в оптоэлектронных интегральных схемах на основе кремния [1,2]. В отличие от самого кремния, который не обладает видимой фотолюминесценцией, пористый кремний обладает довольно интенсивной красно-оранжевой фото- и электролюминесценцией в видимой области. Слои пористого кремния получают как электрохимическим, так и чисто химическим окрашивающим травлением. Химический метод травления не нуждается в приложении напряжения и поэтому проблема контактов здесь отпадает [3]. Кроме того при химическом методе травления даже очень тонкие слои (20–200 нм) пористого кремния обладают люминесцирующими свойствами, что также снимает проблему трескания слоев высокопористого кремния.

В данной работе слои пористого кремния были изготовлены методом химического окрашивающего травления на полированной с обеих сторон монокристаллической подложке *p*-Si с ориентацией (100) и удельным сопротивлением 20 Ом·см. В качестве травителя был выбран раствор HF/HNO₃ в отношении 1200:1. Травление проводилось в тефлоновой ячейке и только с одной стороны пластинки. Площадь обрабатываемой поверхности составляла 1 см². Применение химически устойчивой прокладки позволило устранить влияние границ скола пластинки и проводить травление только с одной стороны.

Опыты показали, что инкубационный период начала травления составляет 10-30 с. Травление проводилось в течение 5-30 мин. Полученные образцы обладали зеркальной поверхностью с довольно однородной темноголубой окраской. Повторяемость полученных образцов при данной концентрации была очень хорошей.

Были исследованы спектры излучения и возбуждения пористого кремния при комнатной температуре. Возбуждение проводилось при длине волны 350 нм. Все образцы при комнатной температуре проявляли довольно яркую оранжевую люминесценцию, видимую невооруженным глазом при естественном освещении. Временная выдержка образцов при обычных условиях показала стабильность спектра фотолюминесценции. Спектр излучения свежеприготовленных образцов имеет максимум при ~1,9 эВ с полушириной в ~0,31 эВ и довольно хорошо экстраполируется одним гауссианом. Спектр возбуждения снимался при 650 нм. Хорошая экстраполяция спектра излучения одним гауссианом и вид спектра возбуждения указывают на то, что в данных образцах излучение реализуется только через один рекомбинационный центр, связанный с эффектом размерного квантования, а полуширина указывает на разброс размеров нанокристаллитов.

Работа выполнена при поддержке программы “50+50” Бакинского Государственного Университета.

1. L.T. Chanham. Properties of porous silicon. EMIS Data Review Series No. 18, London, 1997, 424pp.

2. V. Lehmann. Electrochemistry of Silicon. New York: Willey VCH, 2002, p.277.

3. M. Nahidi, K.Ü. Kolasinski. Effects of stain etchant composition on the photoluminescence and morphology of porous silicon. J.Electrochem. Soc., 153. (1), C19-C26, 2006

Б42 Фотоэлектрические свойства монокристаллов твердых растворов $(\text{TlGaS}_2)_{1-x}(\text{TlInSe}_2)_x$

Керимова Э.М., Гасанов Н.З., Гасанов А.И., Гусейнова Д.А., Исаева А.А.

Институт физики НАН, Баку, Азербайджан

Монокристаллы $(\text{TlGaS}_2)_{1-x}(\text{TlInSe}_2)_x$ могут найти применение в качестве фоточувствительных материалов для изготовления малонерционных фотоприемников ближнего ИК-диапазона. В представленной работе, с целью выявления особенностей и выяснения механизма зависимости рекомбинационных процессов на глубоких центрах в монокристаллах $(\text{TlGaS}_2)_{1-x}(\text{TlInSe}_2)_x$ от состава двойного замещения, изучались основные характеристики темновой и фото-, а также термостимулированной проводимости при различных значениях x .

Монокристаллы $(\text{TlGaS}_2)_{1-x}(\text{TlInSe}_2)_x$ с составом $x=0\div 0,5$ были выращены модифицированным методом Бриджмена-Стокбаргера и оказались довольно высокоомными и фоточувствительными (при 77 К удельное темновое сопротивление составляло $\sim 10^7\div 10^8$ Ом·см).

Исследованы спектральные характеристики их фотопроводимости (ФП). С увеличением содержания двойного замещения в составе монокристаллов длинноволновая граница ФП смещается в сторону низких энергий, что обусловлено изменением их ширины запрещенной зоны, а обнаруженная при этом примесная ФП связана с наличием в запрещенной зоне изучаемых кристаллов γ -центров чувствительности. В области проявления максимума наблюдается термическая активация ФП.

Энергетическая глубина залегания уровней прилипания, которая определялась по методу Бьюба, в монокристаллах $(\text{TlGaS}_2)_{1-x}(\text{TlInSe}_2)_x$ составляет 0,27-0,30 эВ в зависимости от состава.

Спектр оптического гашения собственного фототока монокристаллов $(\text{TlGaS}_2)_{1-x}(\text{TlInSe}_2)_x$ состоит из полосы с максимумом при 1,1÷1,2 мкм. При понижении температуры происходит смещение полосы в сторону больших энергий. Глубина залегания составляет 0,3 эВ. Сечение захвата составило $1,6 \cdot 10^{-17}$ см².

Б43 Анизотропия фотопроводимости в слоистых монокристаллах $\text{TlGaS}_2 <\text{Mn}>$

Мустафаева С.Н., Ализаде Ш.Д., Керимова Э.М.

Институт физики НАН, Баку, Азербайджан

Целью настоящей работы явилось изучение влияния частичного замещения галлия в слоистых монокристаллах TlGaS_2 марганцем на фотоэлектрические свойства полученных кристаллов. Для получения однородных образцов $\text{TlGaS}_2 <\text{Mn}>$ (процентное содержание марганца в кристаллах взято равным 3 мол.%) использован метод прямого синтеза исходных компонентов. Монокристаллы $\text{TlGa}_{0,97}\text{Mn}_{0,03}\text{S}_2$ выращены методом Бриджмена. Частичное замещение Ga^{3+} на Mn^{3+} в кристалле TlGaS_2 приводило к формированию тетрагональной структуры с параметрами решетки $a = 7,266$; $c = 29,94$ Å. Образцы из $\text{TlGaS}_2 <\text{Mn}>$ были изготовлены как в планарном, так и сэндвич-варианте. В первом случае постоянное электрическое поле прикладывалось вдоль естественных слоев монокристаллов, а свет падал вдоль С-оси кристаллов. Во втором случае электрическое поле и свет были направлены поперек слоев кристаллов. В качестве контактного материала использована серебряная паста. Межконтактное расстояние во всех изученных образцах составляло 0,15-0,20 см.

Ниже приведены результаты изучения фотоэлектрических свойств монокристаллов $\text{TlGaS}_2 <\text{Mn}>$ как вдоль, так и поперек их естественных слоев. Все измерения проведены при 300 К. Изучение спектров фототока образцов, изготовленных в планарном варианте, показало, что если для монокристалла TlGaS_2 ширина запрещенной зоны, определенная по длинноволновому полуспаду максимума собственного фототока, составляла 2,62 эВ, то в $\text{TlGa}_{0,97}\text{Mn}_{0,03}\text{S}_2$ $E_g = 2,5$ эВ. Кроме того, после введения в кристаллы марганца полуширина пика собственного фототока уширилась, и в области энергии фотонов $h\nu = 1,7-2,4$ эВ наблюдалась широкая полоса примесного фототока. Приложение внешнего электрического поля не вдоль, а поперек слоёв приводило к модифицированию спектра фототока в образцах $\text{TlGa}_{0,97}\text{Mn}_{0,03}\text{S}_2$. При этом максимум фототока приходился на ту же энергию, но спектр фототока ещё более уширился в область высоких энергий фотонов. Другими словами, в изученных образцах $\text{TlGaS}_2 <\text{Mn}>$ имела место анизотропия фотопроводимости.

Таким образом, установлено, что частичное замещение галлия марганцем (3 мол.%) в монокристаллах TlGaS_2 приводит к уменьшению ширины запрещенной зоны с 2,62 до 2,5 эВ, уширению пика собственного фототока и появлению широкой полосы примесного фототока в области энергии фотонов 1,7-2,4 эВ.

Б44 Фотодиоды на основе гетеропереходов $p\text{-GaAs}/n\text{-Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}_{1-y}\text{Te}_y$

Абдинов А.Ш., Мамедов Г.М., Мамедов В.У.

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

В работе методом электрохимического осаждения из водного раствора изготовлены гетеропереходы $p\text{-GaAs}/n\text{-Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}_{1-y}\text{Te}_y$. Для получения пленок $n\text{-Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}_{1-y}\text{Te}_y$, с $x \leq 0,9$ и $y \leq 0,9$ на подложках $p\text{-GaAs}$ ($p = 3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$) применялся водный раствор, содержащего химически чистые соли кадмия (CdCl_2), цинка (ZnCl_2), натрия ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) и теллура (TeO_2). Процесс электрохимического осаждения проводился при комнатной температуре. При этом катод-анодное расстояние составляло 2–3 см. Для удаления кислорода из раствора и объема реакционного сосуда применялись пары азота, поступающие в сосуд с малой скоростью. Потенциал осаждения контролировался в пределах $-0,2 \div -1,5 \text{ В}$. При этом с увеличением отрицательного потенциала осаждения, плотность тока менялась в пределах $6,3 \div 32 \text{ мА/см}^2$. Состав пленок контролировался с помощью атомно-абсорбционного спектрометра типа MQA-915. Термическая обработка гетеропереходов $p\text{-GaAs}/n\text{-Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}_{1-y}\text{Te}_y$ в аргонной атмосфере проводилась на термогравиметре типа TQA-50.

Изучены зависимости их электрических и фотоэлектрических свойств от режима термической обработки в аргонной атмосфере и состава пленок $n\text{-Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}_{1-y}\text{Te}_y$. Установлено, что термическая обработка изучаемых структур в аргонной атмосфере при $T=390\text{-}430^\circ\text{C}$ в течение $\tau = 9\text{-}15$ минут приводит к значительному изменению их основных параметров и характеристик. При оптимальных условиях значение фотоэдс и тока короткого замыкания при различных составах пленок $n\text{-Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}_{1-y}\text{Te}_y$ достигает до $\sim 0,46 - 0,53 \text{ В}$ и $\sim 6,7 - 11,8 \text{ мА/см}^2$, соответственно.

Б45 Изучение неоднородности высоты барьера диодов Шоттки с атомно-силовой микроскопией

Еганех М.А., Асланова А.Р.

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

Высота потенциального барьера диодов Шоттки (ДШ) является основным определяющим электрофизическим параметром их электрофизических и других свойств. Согласно [1] из-за множества объективных причин (поликристаллической структуры металла, наличия чужеродных атомов на границе раздела, твердофазных взаимодействия контактирующих материалов и т.д.) высоты потенциального барьера реальных диодов Шоттки является неоднородной вдоль контактной поверхности. Кроме того, контактная поверхность с низким потенциалом примыкает к свободным поверхностям металла и полупроводника с более высокими потенциалами. (работами выхода). Следовательно, в активных и особенно в периферийных областях реальных ДШ возникает дополнительное электрическое поле, которое было наблюдаемо с помощью атомно-силовой микроскопии [2].

В данной работе представлены результаты измерений структуры металлической пленки и токопрохождения в ДШ с различными диаметрами (5-100 мкм), изготовленных на основе контакта золото на поверхности (III) кремния *n*-типа с помощью атомно-силовой микроскопии.

Установлено, что тонкая контактирующая золотая пленка имеет поликристаллическую структуру со средними линейными размерами кристаллитов 100-200 нм. Вольтамперные характеристики и соответствующие высоты потенциального барьера и коэффициента идеальности различных наночастиц, находящихся друг от друга на расстоянии 200 нм вдоль контактной поверхности металлической пленки существенно отличаются. В тоже время между высотой барьера коэффициентом неидеальности существует определенная корреляция – между ними существует обратная пропорциональная зависимость. Полученные экспериментальные результаты хорошо объясняются неоднородностью высоты барьера ДШ.

1. Мамедов Р.К., Контакты металл-полупроводник с электрическим полем, пятен, Баку, БГУ, 2003, 231 с.
2. Торхов Н.А. ФТП, 2010, т.44, в.6, с.76

Б46 Генерация второй оптической гармоники в гетероэпитаксиальных структурах теллурида кадмия-ртути

¹Бурлаков И.Д., ²Демин А.В., ³Заботнов С.В., ¹Кашуба А.С.

¹ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

² ФГУП ВНИИОФИ, Москва, Россия

³ МГУ, Физический факультет, Москва, Россия

Тройное полупроводниковое соединение теллуридов кадмия-ртути (КРТ, $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$) является одним из важнейших материалов фотоэлектроники, особенно для создания фотоприемников, работающих в инфракрасной области спектра, в том числе матричных. Одним из ключевых моментов в технологии эпитаксиальных структур КРТ является постановка методов контроля их параметров. Для экспресс-анализа структурных свойств полупроводникового слоя как непосредственно в процессе роста (*in-situ*), так и после выращивания (*ex-situ*) могут применяться неразрушающими оптические методы, среди которых одним из наиболее удачных является метод генерации второй оптической гармоники (ГВГ), чувствительный как к изменениям на границе раздела различных сред, так и к фазово-структурным свойствам приповерхностного слоя.

Впервые экспериментально исследованы особенности генерации второй оптической гармоники в гетероэпитаксиальных структурах КРТ, выращенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии на подложках арсенида галлия (HgCdTe/GaAs). Вторая гармоника генерировалась при накачке пикосекундным Nd:YAG лазером ($\lambda = 1064$ нм, длительность импульсов 34 пс, интенсивность $\sim 10^{10}$ Вт/см²) в геометрии на отражение излучения, падающего под углом 45° к поверхности образца. Генерация второй гармоники исследована как для чистого монокристаллического слоя HgCdTe , так и для нанесенного на его поверхность функционального поликристаллического слоя CdTe . Измерены зависимости

интенсивности нелинейно-оптического сигнала от направления поляризации излучения накачки и позиции лазерного луча на исследуемых поверхностях. Обнаружены существенные различия между указанными зависимостями. Если в первом случае сигнал генерации второй оптической гармоники строго детерминирован монокристаллическостью и кристаллографической ориентацией слоя КРТ, то во втором случае – меняется от точки к точке из-за неоднородности структуры поликристаллического слоя CdTe.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке методов диагностики поверхности эпитаксиальных слоев как КРТ, так и других функциональных полупроводниковых слоев в технологическом процессе получения фоточувствительных матричных структур на основе эпитаксиальных структур КРТ. Для более полного обоснования и детализации применения метода ГВГ необходимы дополнительные экспериментальные и теоретические исследования.

Б47 Исследование клеевых композиций, разработанных в ОАО «Композит», для применения в фотооптическом приборостроении

¹Гладких С.Н., ¹Кузнецова Л.И., Ефимова З.Н., Киселева Л.В., Лопухин А.А., Мансветов Н.Г., Пермикина Е.В.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

¹ *ОАО «Композит», Королёв, Московская обл., Россия*

Сообщается об исследованиях клеевых составов ЭПК-1, ЭЛК-1, ЭЛК-5, КГЭ-26, КГЭ-17, разработанных в ОАО «Композит». Приводятся сравнительные данные исследований по составам клеев на основе эпоксикремнийорганической смолы СЭДМ-3Р и отвердителей ЭПК-1, ЭЛК-5.

Проведенные испытания показали, что клеи обладают высокими адгезионными свойствами к материалам InSb, GaAs, германию, кремнию, лейкосапфиру; ковару, способны выдержать многократные (до 100) циклические изменения температур на этих материалах от -196°C до 100°C ; имеют малый показатель газовыделения при 125°C в вакууме $(2\div 5)\cdot 10^{-6}$ мм.рт.ст.

Клеи химически устойчивы в органических растворителях типа диметилформамида, толуола, изопропилового спирта, моноэтаноламина и минеральных кислотах.

Кроме этого, клеи ЭПК-1, ЭЛК-1, ЭПК-5 имеют коэффициент пропускания не менее 0,9 в области атмосферных окон $3\div 5$ мкм и $8\div 12$ мкм и могут быть использованы в качестве оптических клеев для этих областей спектра.

Низкая вязкость клеев позволила получать клеевой шов $1\div 3$ мкм, что дало возможность использовать клеи при сборке криогенных приборов взамен используемых до настоящего времени клеев-герметиков УК-1, УК-1М, поскольку эти клеи в настоящее время не выпускаются отечественными производителями.

Приведенные результаты показали, что клеи ЭПК-1, ЭЛК-1, ЭПК-5, КГЭ-26, КГЭ-17 по совокупности исследованных свойств соответствуют требованиям, предъявляемым к клеям для приборов фотооптического приборостроения.

Б48 Исследование факторов, определяющих анизотропность ионно-лучевого травления напыленного слоя индия

Седнев М.В., Мезин Ю.С.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

В статье [1] нами было показано, что в процессе высокочастотного катодного травления напыленного слоя индия шероховатость поверхности увеличивается. В настоящей работе представлены результаты исследования поверхности напыленного слоя индия после ионно-лучевого травления.

Методами электронной растровой микроскопии и фотографированием поверхности установлено образование и развитие рельефа на плоской исходной поверхности по мере стравливания слоя индия толщиной 10 мкм. Показано, что причинами, обуславливающими это являются:

- микрокристаллическая структура напыленного слоя индия, с присущими ей границами зерен;

- переосаждение материалов участвующих в процессе ионно-лучевого травления (подложкодержатель, элементы крепления, обрабатываемого образца).

Причем, методом рентгеновского микроанализа установлено, что границы зерен индия проявляют геттерирующие свойства, так как на них образуются области сложного состава. Эти образования обладают значительно меньшей скоростью распыления. Это, очевидно, и приводит к появлению выраженной анизотропии поверхности напыленного слоя индия как при ионно-лучевом, так и при ВЧ-катодном травлении.

Литература:

1. Седнев М.В., Мезин Ю.С., Болтарь К.О. «Формирование индиевых микроконтактов ионным травлением» Прикладная физика, в печати.

Б49 Особенности морфологии поверхности полупроводниковых эпитаксиальных гетероструктур CdHgTe/GaAs после проведения технологических процессов

Кашуба А.С., Пермикина Е.В., Ляликов А.В., Коротаев Е.Д.,
Коновалов С.Г., Бураков И.Д.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Проведено исследование морфологии поверхности ростовых дефектов полупроводниковых эпитаксиальных гетероструктур (ГЭС) теллурида кадмия ртути (КРТ) на подложках из арсенида галлия с ориентацией (310), выращенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Исследованы особенности V-дефектов: кристаллическая структура, ориентация, причины их возникновения и развития. Отмечено, что одной из основных причин зарождения и формирования V-дефектов является скопление дислокаций несоответствия в эпитаксиальных слоях – дислокационные кластеры. К возникновению дислокаций может приводить осаждение антиструктурного теллура при отклонениях температуры

эпитаксиального роста от оптимальной ($T \neq T_{\text{opt}}$). Элементарный теллур способствует формированию дефектов упаковки и повышает напряжение в кристаллической структуре КРТ, которое может быть понижено через частичную деформацию решетки, образование распространенных дислокаций и формирование ребристого (ступенчатого) рельефа поверхности ЭС КРТ. В областях ступенчатого рельефа энергетически выгодно образование поликристаллов, которые в дальнейшем заполняют все пространство ростового V-дефекта

При помощи атомно-силовой и растровой электронной микроскопии удалось выяснить генезис V-дефектов при проведении ряда технологических процессов: травление эпитаксиальной поверхности теллурида кадмия ртути, нанесение теллурида кадмия на ГЭС КРТ, и последующий термический отжиг гетероструктуры $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}/\text{CdTe}$.

Б50 Производительность алгоритмов цифровой обработки тепловизионных изображений на базе сигнальных процессоров серии «Мультикор»

^{1,3}Грачев Р.В., ^{1,2}Болтарь К.О

¹ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

² Московский физико-технический институт (ГУ), Долгопрудный, Россия

³ НПЦ «Элвис», Москва, Россия

Обработка тепловизионных изображений матричных фотоприемников (МФПУ) состоит из выравнивания характеристик фоточувствительных элементов, исправления дефектов изображения, контрастирования изображения и регулировки яркости. Для выравнивания характеристик элементов обычно используются алгоритмы с линейной вычислительной сложностью, к тому же, векторизуемые. Однако исправление дефектных элементов — более сложная задача, которая, в зависимости от количества дефектов МФПУ, может задавать основную нагрузку на вычислительную систему. Алгоритмы контрастирования и регулировки яркости также требуют значительных вычислений и с трудом поддаются векторизации.

Рассмотрены алгоритмы цифровой обработки тепловизионных изображений в реальном времени с задержкой менее 20 мс при кадровой частоте 50 Гц в электронных блоках на базе отечественных сигнальных процессоров серии «Мультикор», а именно — ИМС 1892ВМ2Я (МС-24) и ИМС 1892ВМ5Я (ЦПОС-02). Такая задержка предполагает невозможность осуществления более одного прохода по изображению для обработки каждого кадра.

Приведены численные данные по производительности алгоритмов двухточечной коррекции, исправления дефектных элементов (в зависимости от количества дефектов), медианной фильтрации изображения, алгоритмов гистограммного контрастирования и автоматической регулировки среднего уровня изображения. Предложена схема распараллеливания задачи обработки на два DSP-ядра процессора ЦПОС-02 для обработки изображений МФПУ 256×256

на основе фотодиодов КРТ, спектрального диапазона 8-12 мкм, поступающих с частотой 50 Гц.

Б51 Способ испытания безотказности сложных устройств

¹Патрашин А.И., ^{1,2}Болтарь К.О., ¹Яковлева Н.И.

¹ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

²Московский физико-технический институт (ГУ), Долгопрудный, Россия

Рассматривается способ испытания безотказности сложных устройств, имеющих высокую стоимость, выпускаемых либо одиночными образцами, либо малыми партиями.

В этих случаях стандартный способ – продолжительное испытание одного или нескольких устройств до полной выработки ресурса и последующее их списание – является слишком затратным и продолжительным ($\approx 3000 - 9000$ часов). Полученные результаты, при этом, распространяются на оставшиеся неиспытанные образцы лишь с известной долей вероятности.

В предлагаемом экспериментально-расчетном способе испытания устройств с экспоненциальной моделью отказов, например охлаждаемых ИК фотоприемников, наработка может составлять лишь 3 - 5% (100 – 150 часов) от заданного среднего времени до отказа, а образец может быть использован далее по прямому назначению в течение 95 - 97% заданного среднего времени до отказа. Для потребителя этот временной интервал будет являться средним временем работы до отказа данного устройства.

В расчетной части предлагаемого способа, с учетом экспоненциальной модели отказов устройства, строится кривая изменения измеряемого параметра во времени, с начальной точкой, взятой из экспериментальных данных. Затем экспериментальное значение параметра после проведенной наработки сравнивается с рассчитанной величиной параметра и делается вывод об исходе испытания, если бы оно проводилось полностью.

Предлагаемый способ позволит проводить 100% контроль безотказности сложных устройств, снизить трудовые и материальные затраты на испытание.

Б52 Разработка технологии формирования индиевых микроконтактов методом ионно-лучевого травления

Ананьева В.Г., Климанов Е.А., Седнев М.В., Шаронов Ю.П.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Для формирования индиевых микроконтактов в фотоприемных устройствах (МФПУ) в настоящее время наиболее часто используются методы обратной фотолитографии и химического травления. Оба метода имеют существенные ограничения при изготовлении микроконтактов в МФПУ с малым шагом фоточувствительных элементов.

В настоящей работе приведены результаты использования в данном технологическом процессе метода ионно-лучевого травления.

Процесс травления осуществлялся на установке ионного травления IM-SID ионами аргона. В качестве маски при травлении использовался позитивный фоторезист S1818 SP16.

Разработанные технологические режимы позволили воспроизводимо получать большие массивы индиевых микроконтактов высотой 9-10 мкм с хорошо выраженной квадратной вершиной со стороны размером 12-14 мкм при основании 20×20 мкм².

Данный метод внедрен в технологию изготовления матричных фоточувствительных элементов на основе антимонида индия и кремниевых БИС считывания формата 320×256 с шагом элементов 30 мкм, входящих в состав изделия ФЭМ7М.

Б53 Расчет комплексных диэлектрических проницаемостей и показателей поглощения в терагерцовом диапазоне длин волн двухкомпонентных нанокompозитных метаматериалов из проводящих и диэлектрических сред

Филачев А.М., Пономаренко В.П., ¹Демин А.В., Кононов А.С., Свиридов А.Н.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

¹*ФГУП «ВНИИОФИ», Москва, Россия*

Разработаны математические модели, описывающие взаимодействие двухкомпонентных нанокompозитных метаматериалов, состоящих из проводящих и диэлектрических сред, с электромагнитным излучением терагерцового и оптического диапазона. Модели описывают комплексные диэлектрические проницаемости и комплексный показатель преломления соответственно двух видов нанокompозитных материалов: тефлон, в котором равномерно распределены наночастички золота и полиэтилен, в котором равномерно распределены наночастички золота. Создана методика расчетов указанных выше параметров и проведены расчеты зависимостей комплексных показателей преломления от геометрических размеров компонент для двух новых видов нанокompозитных материалов с различным объемным содержанием компонент. Расчетным путем было показано, что предложенные новые двухкомпонентные нанокompозитные материалы обладают электрофизическими свойствами, сильно отличающимися от электрофизических свойств их составных компонентов. В частности при приемлемых показателях поглощения они имеют большие значения показателей преломления. При определенных величинах радиусов шарообразных частичек золота эти материалы могут обладать необычными свойствами, в частности, они могут иметь очень низкий показатель поглощения, и относительно высокие значения показателя преломления.

Эти необычные свойства рассматриваемых нанокompозитов видимо, вызваны тем, что (при определенной частоте излучения и определенных концентрациях и размерах частиц) в проводящих частицах возбуждаются резонансные плазмонные колебания. Предложенные двухкомпонентные нанокompозиты, обладающие указанными выше свойствами, требуют детального

изучения и, вероятно, могут быть в дальнейшем использованы в терагерцовой и инфракрасной оптике.

Б54 Применение серийных фотографических объективов для макетирования оптико-электронных систем спектрального диапазона 0,9...1,7 мкм

Горелик Л.И., Мазин М.Г., Полесский А.В.

ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Одним из перспективных направлений развития инфракрасной техники является создание оптико-электронных приборов (ОЭП) на основе твердотельных матричных фотоприёмных устройств (МФПУ) для спектрального диапазона 0,9...1,7 мкм. Такие ОЭП могут быть серьёзной альтернативой приборам ночного видения (ПНВ) на основе электронно-оптических преобразователей (ЭОП), в том числе последнего поколения, работающих в этом спектральном диапазоне.. Сферы применения таких приборов давно известны, существует отдельное направление применений - работа на подсвете лазерным излучением в этом спектральном диапазоне рабочих длин волн тральному диапазону 0,9...1,7 мкм. В настоящее время созданы отечественные образцы МФПУ на основе InGaAs/InP в основном являющегося базовым материалом фоточувствительного элемента. Задача создания широкого спектра приборов на таких МФПУ становится достаточно актуальной.

Отсутствие достаточной номенклатуры отечественных серийных объективов малой стоимости для этого спектрального диапазона может серьёзно затруднить процесс макетирования ОЭП различного назначения.

В России уже свыше 100 лет выпускается фотографическая оптика: существует огромная номенклатура оптических схем, конструктивных решений, оправ, диафрагм и т.д. Учитывая высокую серийность фотографического производства, стоимость таких объективов крайне невысока. В связи с вышеизложенным возникает задача определения области возможного применения таких объективов в разработках (на этапе макетирования) перспективных ОЭП на спектральный диапазон 0,9...1,7 мкм.

В качестве исходных данных при проведении исследований по применению отечественной оптики были использованы основные характеристики разработанной в ФГУП «НПО «Орион» матрицы, имеющей формат 256×256 и шагом 35 мкм. Конструкция разработанной матрицы позволяет применять оптические тракты с рабочим отрезком не менее 10 мм.

Были проведены исследования по применению свыше 50 классических оптических схем. Критерием применения объектива являлось процентное содержание энергии в чувствительного площадке размером 30×30 мкм для МФПУ формата 256×256. Варьируемым параметром для проведения расчётов являлось относительное отверстие объектива.

В результате расчётных исследований были определены зависимости качества изображения от величины его относительного отверстия настоящее и

ширины рабочего спектрального диапазона (Рисунок 1), в том числе и для монохроматических применений.

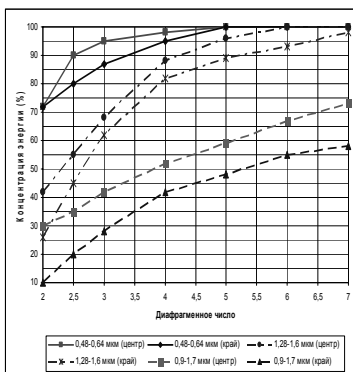


Рис. 1. Зависимость концентрации энергии в квадратной площадке 30×30 мкм объектива «Юпитер-8» от относительного отверстия.

Б55 Исследования оптического поглощения в фоторезисторах $Cd_xHg_{1-x}Te$

¹Горелик Л.И., ¹Куликов К.М., ^{1,2}Уткин А.А.

¹ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

²МФТИ (ГУ), Долгопрудный, Россия

Для материала $Cd_xHg_{1-x}Te$ n-типа с $x \sim 0,2$ при рабочей температуре ~ 77 К основным типом поглощения является собственное поглощение квантов света с $\lambda \sim 8-12$ мкм. Очевидно, что количество поглощенных квантов связано с количеством свободных мест в зоне проводимости, куда могут быть переброшены носители из валентной зоны, т.е. от концентрации свободных носителей.

Известно, что концентрация свободных носителей в примесном материале n-типа дается выражением:

$$n_0 = N_c \cdot \Phi(\eta),$$

Где N_c – эффективная плотность состояний в зоне проводимости.

$\Phi(\eta)$ – интеграл Ферми, равный:

$$\Phi(\eta) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \int_0^{\infty} \frac{x^{1/2}}{1 + e^{x-\eta}} dx,$$

$$\text{где } x = \frac{E - E_c}{kT}; \quad dx = \frac{dE}{kT}; \quad \eta = \frac{F - E_c}{kT}.$$

Здесь E_c – энергия электрона у дна зоны проводимости;

F – энергия Ферми.

Полупроводник является невырожденным (подчиняется статистике Больцмана), если уровень Ферми лежит ниже дна зоны проводимости не менее,

чем на kT . Если уровень Ферми лежит выше E_c более, чем на $5kT$, то полупроводник полностью вырожден. Для полупроводника с равновесной концентрацией электронов $\sim 5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ при $T \sim 77\text{K}$ уровень Ферми лежит ниже уровня E_c на расстоянии порядка kT , что соответствует переходной области от невырожденного полупроводника к полностью вырожденному ($-1 < \eta < 5$) и интеграл Ферми можно приближенно записать в виде:

$$\Phi(\eta) = \frac{1}{0,25 + e^{-\eta}}.$$

Расчеты показывают, что уже при концентрации носителей $\sim 1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ уровень Ферми попадает в зону проводимости, происходит «увеличение» ширины запрещенной зоны. При этом величина оптического сигнала или фоновое излучение заметно влияет на фотоэлектрические параметры фоторезистора.

Зависимость величины поглощения от оптической мощности определялась по изменению сопротивления фоторезистора. Пусть на образец падает монохроматическое излучение мощности $P_{\text{вх}}$.

Часть этой мощности ($\eta P_{\text{вх}}$) приводит к возникновению неравновесных носителей с концентрацией $\Delta n = \eta \cdot P_{\text{вх}} / h\nu \cdot V$. И к изменению сопротивления

$R_0/R_1 = \frac{n_0 + \Delta n}{n_0} = 1 + \frac{\Delta n}{n_0}$, где R_0 – сопротивление ФЧЭ в темноте, а R_1 – при

освещении. Отсюда:

$$\eta = \frac{\left(\frac{R_0}{R_1} - 1\right) \cdot n_0 \cdot h\nu \cdot V}{P_{\text{вх}} \cdot \tau}, \text{ где}$$

V – объем ФЧЭ, η – квантовый выход, равный:

$$\eta = \frac{(1 - R) \cdot [1 - \exp(-\alpha \cdot d)]}{1 - \exp(-\alpha \cdot d)}, \text{ где } R - \text{коэффициент отражения,}$$

α – коэффициент поглощения, d – размер образца в направлении света.

Зная зависимости $\tau(P)$ и $R(P)$, можно найти зависимости $\eta(P)$ и $\alpha(P)$.

Наблюдаемый рост сопротивления, очевидно, связан с разогревом кристалла. Расчеты показывают, что температура кристалла увеличивается до температуры $\sim 100\text{K}$, что приводит к увеличению ширины запрещенной зоны примерно на $1,5 \text{ мкм}$ и к резкому уменьшению коэффициента оптического поглощения на $\lambda = 10,6 \text{ мкм}$.

Б56 Светосильный объектив малой стоимости для спектрального диапазона 3..5 мкм

Горелик Л.И., Полесский А.В., ^{1,2}Реутова Е.О., ^{1,2}Смирнова А.Д.

¹ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

² МГТУ им. Баумана, Москва, Россия

Для большинства тепловизионных систем, в которых используются фотоприемные устройства (ФПУ) на основе PbSe, из-за их достаточно низкой чувствительности необходимо применять светосильные оптические тракты. В этом случае существенно повышается энергетический потенциал тепловизионной системы, использующей такие приемники. Создание недорогого технологичного светосильного оптического тракта для спектрального диапазона 3-5 мкм, обладающего достаточно высоким качеством изображения для работы с фоточувствительными элементами порядка 50 мкм, является непростой задачей. В ходе разработки объектива было также учтено принципиальное дополнительное требование: технология изготовления объектива должна быть максимально проста, а его стоимость минимальна. С учетом таких требований был разработан объектив, состоящий только из сферических кремниевых линзовых компонентов с пологими радиусами.

Применение разработанного объектива позволяет обеспечить температурную чувствительность тепловизионной системы (NETD) порядка 0,1-0,07 К - на уровне большинства современных промышленных тепловизионных приборов.

Разработанный объектив обеспечивает следующие характеристики:

- рабочий спектральный диапазон, мкм – 3,5 – 5,0;
 - угловое поле, град – $2\omega = \pm 7,5$;
 - относительное отверстие 1:0,7;
 - фокусное расстояние, мм – 25;
 - концентрация энергии в площадке 50×50 мкм более 80% ;
 - рабочий отрезок объектива 15 мм;
 - конструкция объектива содержит механизм фокусировки.
- Внешний вид разработанного объектива приведен на рисунке 1.



Рис. 1 Внешний вид объектива

Б57 Моделирование коррекции неоднородности фотоприемных устройств по сигналам сцены с микросканированием

¹Жегалов С.И., ^{1,2}Пиголкина А.М., ^{1,2}Соляков В.Н.

¹ ФГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

² Московский физико-технический институт (ГУ), Долгопрудный, Россия

Микросканирование позволяет увеличить разрешающую способность при использовании фотоприемных устройств (ФПУ) с тем же количеством элементов. Для матричных ФПУ микросканирование рассмотрено, например в [1], для четырехпозиционной траектории сдвигов изображения относительно матрицы на полпиксела. Разрешающая способность при этом увеличивается вдвое. В работе [2] теоретически обоснована возможность применения микросканирования для улучшения качества коррекции неоднородности элементов ФПУ по сигналам сцены.

В настоящей работе представлены результаты моделирования практических возможностей микросканирования для сканирующих и матричных ФПУ.

Для сканирующих ФПУ использовались реальные данные, получаемые с МФПУ формата 4×288 при сканировании сцены и микросканировании в поперечном направлении со сдвигом на половину пиксела исходной матрицы на каждом нечетном ходе сканера. Этот сдвиг увеличивает вдвое разрешение и, как показали результаты моделирования, повышает качество коррекции по сигналам сцены.

Основной эффект микросканирования проявляется в части коррекции постоянной составляющей сигналов. Эта коррекция основывается на суммировании градиента нескорректированного изображения вдоль линейки. На величину определяемого градиента значительное влияние оказывают шумы МФПУ. Однако, суммирование устраняют влияние шума и обеспечивают устойчивые поправки к смещению.

Коррекция по чувствительности включает перемножения градиентов и дает неустойчивые результаты.

Для матричных ФПУ моделировались как микросканирование, так и неоднородность. Кадры реальной тепловой сцены с выхода тепловизора пропускались через модели микросканера и неоднородности, затем корректировались дефекты и неоднородность и формировалось изображение. Выходное изображение сопоставлялось с входным по корреляционному и критерию попиксельного отклонения.

Для матричной модели также исследовался процесс совмещения по сцене соседних ее кадров. Это совмещение также является фактором повышения корректирующей способности микросканирования. Возможности использования такого совмещения в коррекции по сцене ранее были рассмотрены ранее зарубежными авторами.

Моделирование показало, что микросканирование снижает, но не исключает влияния сцены на точность коррекции. Максимальный эффект микросканирование обеспечивает при неизменности сцены на интервале

соседних по времени отсчетов, чему способствует повышение частоты микросканирования, а также совмещение по сцене соседних кадров.

Моделирование подтвердило теоретические оценки по возможности улучшения коррекции по сцене при наличии микросканирования, но только в отношении коррекции по смещению. Коррекцию по чувствительности микросканирование не улучшает.

Литература

1. В.В. Тарасов, Ю.Г. Якушенков «Некоторые пути совершенствования тепловизионных систем», Специальная техника, №2, 2004.

2. В.Н. Соляков, С.И. Жегалов, В.Г. Морозова «Метод коррекции неоднородности по сигналам сцены многоэлементных фотоприемных устройств с микросканированием», Прикладная физика, 2009, № 5.

Б58 Исследование структурного совершенства CdZnTe методами просвечивающей электронной микроскопии

Денисов И.А., Смирнова Н.А., Резник В.Я., Меженный М.В., Леонович Б.Н.
ОАО «ГИРЕДМЕТ», Москва, Россия

Твёрдые растворы $Cd_{1-y}Zn_yTe$ и $CdTe$ являются наиболее распространенными материалами для подложек в процессах эпитаксиального наращивания слоёв $Hg_{1-x}Cd_xTe$ (КРТ), - одного из основных материалов для фотоприёмников на спектральные диапазоны 3÷5 и 8÷12 мкм. Для решения проблемы получения высококачественных материалов актуальной является задача изучения в них механизмов дефектообразования.

Методами просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) в образцах $Cd_{1-y}Zn_yTe$ и $CdTe$ были обнаружены наноразмерные дефекты, проведены изучение и анализ закономерностей их образования. При проведении исследований методами ПЭМ процессов дефектообразования в $Cd_{1-y}Zn_yTe$ были модифицированы методические приёмы подготовки тонких фольг с помощью ионного травления. Применение модифицированной методики позволило избежать нежелательных нарушений кристаллической решетки образцов, в результате чего снижались локальные напряжения, вызывающие сдвиговую деформацию вблизи перфорированных областей и сохранялись от разрушения наиболее тонкие участки фольги.

В исследованных кристаллах были выявлены наноразмерные преципитаты, образующие три хорошо различимые размерные группы. Группа мелких дефектов включала частицы с объёмной плотностью $(1-4) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, размеры которых, находились в диапазоне 1,5-3,0 нм. Группа средних дефектов содержала частицы размерами 6-8 нм (объёмная плотность $(2-4) \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$), а группа наиболее крупных дефектов – частицы размерами 16-25 нм (объёмная плотность $(0,8-4) \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$). Установлено, что основной вклад (от ~70% до ~95%) в суммарную плотность дефектов вносят мелкие преципитаты. Показано, что при изготовлении гетероэпитаксиальных структур $Hg_{1-x}Cd_xTe/Cd_{1-y}Zn_yTe$ методом

жидкофазной эпитаксии в подложках происходит заметное изменение объёмной плотности и размеров нанопреципитатов.

Помимо наноразмерных преципитатов, в объёме кристаллов $Cd_{1-x}Zn_xTe$ наблюдали образование дислокационных дефектов (ряды дислокаций, дислокационные сетки, дислокационные стенки) и двумерных дефектов (дефектов упаковки и микродвойников).

Б59 Методы и алгоритмы однокадровой оценки геометрического шума ФПУ на основе вейвлет-преобразований при нестационарных калибровочных полях

Бехтин Ю.С., Баранцев А.А.

Государственный радиотехнический университет, Рязань, Россия

Рассматриваемые методы и алгоритмы были получены после завершения совместной работы с НПО «Орион», связанной с созданием аппаратно-программного комплекса, состоящего из болометрического фотоприемника, платы аналогово-цифрового ввода-вывода АМВРСІ и персонального компьютера (ПК) [1]. Вначале разработанное программное обеспечение (ПО) позволяло перед формированием ИК-изображения на мониторе ПК проводить двухточечную предварительную калибровку (по низкой и высокой температурам). Затем были разработаны и добавлены в ПО комплекса алгоритмы автоматической (периодической) двухточечной калибровки, поскольку коэффициенты передачи фотоэлементов (геометрический шум чувствительности) могут значительно изменяться (дрейфовать) в рабочем режиме. Длительные прерывания рабочего режима на калибровку – всегда нежелательное действие, поэтому была поставлена задача разработки методов и алгоритмов одноточечной калибровки ФПУ по одному кадру, которые занимают относительно малое время. Особенностью поставленной задачи является тот факт, что в ряде случаев не удастся создать однородное калибровочное поле засветки ФПУ, что приводит к неработоспособности известных алгоритмов коррекции геометрического шума.

Основная причина плохой работы известных алгоритмов лежит в недостатке информации, содержащейся в одном кадре. Дополнительную информацию можно получить, если использовать стационарное (недецимированное) вейвлет-преобразование (СВП). В результате применения многоуровневого СВП к одному кадру появляется несколько новых массивов данных, содержащих вейвлет-коэффициенты аппроксимации (низкочастотных субполос) и деталей (высокочастотных субполос). Особенностью (стационарного) вейвлет-преобразования является отсутствие постоянной составляющей в высокочастотных субполосах и, наоборот, сильное сглаживание сигнала в вейвлет-коэффициентах аппроксимации.

В результате исследования СВП в контексте решения поставленной задачи было получено несколько методов и алгоритмов. В первой части доклада приводится решение задачи при однородном калибровочном поле. При известном значении интенсивности калибровочного поля для оценки геометрического шума темнового тока достаточно произвести усреднение вейвлет-коэффициентов низкочастотных субполос. Тогда оценка геометрического шума чувствительности

производится по вейвлет-коэффициентам высокочастотных субполос с учетом вычисленных по обратному СВП оценок пьедестальных напряжений фотоэлементов. Данные операции производятся относительно быстро, временные затраты определяются только размером кадра и числом уровней СВП. В случае неоднородного калибровочного поля вначале производится сортировка точек кадра по значениям их яркости, а затем по вейвлет-коэффициентам аппроксимаций СВП оценивается регрессионная модель калибровочного поля. В настоящее время имеются результаты для случая линейной множественной регрессии, где число параметров модели равно двум.

В докладе приводятся результаты машинных экспериментов при разных моделях дрейфа коэффициентов передачи фотоэлементов, зависимости точности оценивания коэффициентов передачи от скорости и направления их дрейфа, уровня тепловых шумов, темновых токов элементов матрицы и т.п.

1. Бехтин Ю.С., Баранцев А.А., Соляков В.Н., Медведев А.С. Аппаратно-программный комплекс цифровой обработки сигналов многоядных матричных фотоприемных устройств. Прикладная физика, № 3, 2007. С.77-82.

Б60 Взаимодействие лазерного излучения с матричными фотоприемниками на основе структур с квантовыми ямами

¹Куликов В.Б., ²Сахаров М.В., ²Средин В.Г.

¹ ФГУП НПО «Полус», Москва, Россия

² Военная академия РВСН им. Петра Великого, Москва, Россия

В настоящей работе представлены результаты исследований воздействия лазерного излучения на характеристики матричных ИК фотоприемников, представляющих собой гибридные интегральные схемы, состоящие из фотоприемной секции и кремниевого мультиплексора, соединенных посредством индиевых столбиков. Фотоприемная секция была изготовлена из структур с квантовыми ямами (СКЯ), выращенных в системе GaAs/AlGaAs. Размер матрицы составлял 320 на 256 элементов, шаг элементов 30 мкм по обеим координатам поля матрицы, максимум спектральной чувствительности принадлежал диапазону 8-12 мкм. Матрицы фотодиодов вместе со схемой мультиплексора помещались в корпус-криостат и охлаждались до температуры 90 К с помощью жидкого азота.

В качестве источников излучения использовались CO₂ лазер с длиной волны излучения 10,6 мкм, генерирующий излучение в импульсном режиме с длительностью импульса от 10 мс и энергией в импульсе от 1 Дж, и твердотельный YAG:Nd-лазер с длиной волны излучения 1,06 мкм, генерирующий излучение в импульсном режиме с длительностью импульса $2 \cdot 10^{-6}$ с и энергией в импульсе 40 Дж. Излучение первого лазера проникает на глубину около 10 мкм в фоточувствительный материал, в то время как излучение второго должно поглощаться в приповерхностной области.

Проведены исследования влияния параметров излучения указанных лазеров (мощности, длительности импульса) на фотоэлектрические

характеристики (фоточувствительность, спектр шумов и т.д.) с данной матрицей фотоприемников.

С помощью модели, основанной на решении одномерного уравнения теплопроводности с соответствующими граничными и начальными условиями, получены теоретические оценки значений параметров лазерного излучения, при которых можно ожидать возникновение необратимой деградации матричных фотоприемников. В нашей модели пороги деградационных процессов связываются с достижением фоточувствительным материалом температур плавления. Проведено сравнение полученных оценок с экспериментальными результатами.

Б61 Об одной возможности статистического анализа распределения неосновных носителей заряда, генерированных электромагнитным излучением в полупроводниковых фотоприемниках

¹Серегина Е.В., ²Макаренков А.М., ¹Степович М.А.

¹ *Калужский государственный педагогический университет, Калуга, Россия*

² *Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия*

Характеристики полупроводниковых приемников излучения во многом определяются характеристиками материалов, из которых они изготовлены. И хотя технология получения полупроводниковых материалов и структур довольно хорошо отработана, возможные неконтролируемые отклонения в процессе производства могут сказаться на отклонении параметров полупроводниковой структуры от оптимальных. Оценка влияния таких отклонений на характеристики полупроводниковой структуры может представлять определённый интерес. В настоящей работе рассмотрены некоторые возможности оценки таких отклонений, основанные на применении методов математического моделирования. Для решения поставленной задачи использовался проекционный метод, основанный на применении техники матричных операторов [1]. Учитывался случайный характер изменений электрофизических параметров полупроводника: коэффициента диффузии, времени жизни и скорости поверхностной рекомбинации неосновных носителей заряда (ННЗ). Предлагаемый подход позволяет получить оценки влияния параметров материала на распределение ННЗ.

Исследования проведены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и правительства Калужской области (проект № 09-02-99027).

1. Лапин С.В., Егупов Н.Д. Теория матричных операторов и ее приложение к задачам автоматического управления. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 1997. 496 с.

Б62 Создание сверхчистой вакуумной технологической среды в электронном производстве

Васин В.А., Ивашов Е.Н., Кузнецов П.С., Степанчиков С.В.

Московский государственный институт электроники и математики, Москва, Россия

Анализ тенденций развития современного электронного производства в отечественной и зарубежной практике свидетельствует о непрерывном расширении масштабов применения высоких вакуумных технологий и специального аналитического и технологического оборудования для их реализации.

Одним из важнейших факторов, определяющих уровень и надёжность производственного оборудования этого класса, является снижение загрязнений привносимых при транспортировке изделий между функциональными устройствами, проводящими разные операции технологического процесса. Решение этой проблемы имеет следующие наиболее распространённые варианты:

Создание “чистых комнат”. Этот вариант при достигнутой величине топологических размеров наиболее современных микросхем и сложности технологического цикла перестаёт себя оправдывать в связи с постоянным ростом чистых объёмов и повышением класса чистоты.

Выполнение технологического цикла без выхода изделий на атмосферу, достигаемое тремя разными способами:

1). Создание вакуумной линии с интегрированными в неё установками технологического процесса. Сейчас в линии и кластерные системы обычно объединены по несколько установок.

2). Создание линии с контролируемой газовой средой, соединяющей установки технологического процесса.

3). Создание стандартных механических интерфейсов (герметизированных контейнеров с поддерживаемым или неподдерживаемым вакуумом или контролируемой газовой средой для транспортирования и хранения изделий).

Другим важнейшим фактором является не только способность оборудования формировать необходимые для соответствующих технологических процессов вакуумные условия, но и сохранять их стабильными в течении технологического цикла.

Сохранение сверхчистой вакуумной технологической среды в процессе работы автоматического оборудования с размещением в рабочих объёмах вакуумных камер различных функциональных систем и устройств для ориентации и перемещения изделий, их транспортирования и межкамерного шлюзования и т.д. является достаточно сложной комплексной задачей.

В то же время автоматизация сложных технологических процессов требует размещения в рабочих объёмах высоковакуумных камер ряда механизмов, которые во многих случаях могут стать источниками генерации «загрязнений», так называемой привносимой дефектности вакуумной среды, в том числе наиболее опасным их видом — микрочастицами износа из узлов внешнего трения скольжения или качения.

Устранить генерацию микрочастиц износа трущихся пар возможно только в случае их полного исключения в конструкциях функциональных механизмов. Одной из таких возможностей является создание различных исполнительных систем и устройств с использованием принципа управляемой упругой деформации, при которой эффект функционирования механизмов создаётся в результате внутреннего трения.

Механизмы этого типа основаны на использовании герметичных полых трубчатых элементов различного геометрического очертания (приводов), различной формы и ориентации друг относительно друга в составе законченного устройства или системы.

В качестве газообразных источников давления используется сжатый воздух заводских магистралей, а также автономные термосорбционные пневмоисточники на основе водородно-гидридной технологии.

Б63 Применение УФ-приборов разведки на основе ПЗС-матрицы на горизонтальных трассах на зимних фонах по «замаскированным» целям

Мордвин Н.Н., Давыдова Л.Г.

ФГУП «ЦКБ «Точприбор»

Приведены результаты экспериментов по обнаружению замаскированных целей на горизонтальных трассах на зимних фонах с помощью УФ-прибора разведки на основе ПЗС-матрицы.

Б64 Международная «Ассоциация разработчиков, производителей и потребителей микроэлектромеханических систем» как фактор развития российского кластера фотоэлектроники и приборов ночного видения

Урманов Д.М.

ООО «Совтест АТЕ», Курск, Россия

Рассматриваются состояние и перспективы развития таких элементов современной электронной компонентной базы как микроэлектромеханические системы (МЭМС). Показаны основные сферы применения, прогноз роста объема продаж и производства МЭМС. Приведен анализ распределения рынка МЭМС как за рубежом, так и в России. Кратко говорится об итогах конференций «Технологии производства перспективных МЭМС - приборов» (г. Пенза, ПО «СТАРТ», октябрь 2009 г.) и «Современные тенденции и технологии производства МЭМС-устройств» (г. Москва, ГК «Измайловский», март 2010 г.). Рассматривается опыт ООО «Совтест АТЕ» и ФГУП ФНПЦ «ПО «Старт» (г. Заречный Пензенской области) по организации кооперации предприятий в сфере микроэлектромеханических систем на примере создания международной Ассоциации разработчиков, производителей и потребителей МЭМС. Отражаются структура, основные российские и зарубежные партнеры Ассоциации. Уделяется внимание возможности развития российского кластера фотоэлектроники и приборов ночного видения при помощи Ассоциации.

Авторский указатель

- Ahmetoglu (Afrailov) M. У64
Aleshkin V. Ya. П08
Altındal Ş. Б27, Б37
Antoszewski J. У19
Aydemir U. Б27
Bengi A. Б27
Boissier G. П11
Cetin S.S. Б27
Compain Valéry П02
Dashevsky Zinovi У58
Dobos L. У24
Dubinov A.A. П08
Faraone L. П13, У19
Kasiyn Vladimir У58
Kaynak G. У64
Mammadov T.S. Б27, Б37
Mitin V. П08
Otsuji T. П08
Özçelik S. Б27, Б37
Pecz B. У24
Rogalski A. П05
Ryabova N. П08
Ryzhii M. П08
Ryzhii V. П08
Shur M.S. П08
Teissier R. П11
Tribolet Philippe П02
Umana-Membreno G. A. У19
Uslu H. Б27, Б37
Vuillermet Michel П02
Абдинов А.Ш. У68, Б44
Абуталыбов Г.И. Б33
Акимов А.Н. У59
Акимова Н.М. А04, А22, А44
Аксиментьева Е.И. А26
Аладинский В.К. Б08
Алеев Р.М. У12
Алиев А.А. Б38, Б40
Алиев В.Ш. У66
Алиева Л.Н. Б40
Ализде Ш.Д. Б43
Альмов О.Л. П03
Ананьева В.Г. Б52
Анатычук Л.И. А28
Андреев А.Ю. У01
Андреев И.А. А51, У64, У73, У74
Анисимов С.Н. У32
Антипов В.В. А60, А62
Апатская М.В. А11
Аракелов Г.А. У29
Аронзон Б.А. У05
Артамонов А.В. Б14
Артёмов А.С. У25
Асадов М.М. Б35, Б36
Асеев А.Л. П07
Асланова А.Р. Б45
Астахов В.П. У21, У71, А45, Б14
Астахова А.П. П11
Ахмедов И.А. Б40
Бабаева Р.Ф. У68
Бабенцов В.Н. У60
Баженов Н.Л. А18
Базовкин В.М. П12
Бакин В.В. У23
Балоев В.А. А47
Баранов А.Н. П11
Баранцев А.А. Б59
Бархалов Б.Ш. Б32
Белоконов В.М. А32, А41, А42, А43
Бельшева О.В. А04
Берченко Н.Н. У03, У07, Б11
Бехтин Ю.С. Б59
Боброва Е.Ю. Б30, Б41
Болтарь К.О. П06, У16, У17, У63, У78, А16, А17, Б50, Б51
Борисова И.В. А03
Боровков П.М. А20, А21
Бородин Д.В. У71, У76, А30, А31, А32
Бочков В.Д. А27, У80
Брунёв Д.В. У54, А52
Бузынин А.Н. У65, У20
Бурлаков И.Д. П06, У25, А02, А15, А64, Б46, Б49
Бутров Ю.П. А32
Быков В.В. У33
Бычковский Я.С. У80
Валишева Н.А. П12

Варавин В.С. П07, У07, У54, У62, А18, А19, А22, А44, А55, А59
 Васильев В.В. П07, У62, А10, А59, Б02
 Васильев В.В. У76, А31, А32
 Васильев Ю.Б. Б17
 Васильева Л.Л. У66
 Васин В.А. Б62
 Вахтомин Ю.Б. А23, А54
 Вилкова Е.Ю. Б24
 Винецкий Ю.Р. У71, У39, У40, У45, А05, А06, А07, А08
 Витков В.С. А57, А58
 Власов П.В. А61
 Войцеховский А.В. У09, А15, А48, А55, А59, Б16, Б22
 Волков В.Г. А41, А42, А43
 Воронов Б.М. П09
 Гаврилюк Ю.Н. У02
 Гаврищук Е.М. Б23
 Гаджиев И.М. У73
 Гаджиев М.Б. Б31
 Гаджиева Г.С. Б40
 Галун Б.В. А53
 Галянтич А.Н. У47, У53
 Гарифуллин М.О. А19
 Гасанов А.И. Б42
 Гасанов Н.З. Б42
 Гафарова Х.О. Б41
 Гиндин Д.А. П04
 Гиндин П.Д. У21
 Гладких С.Н. Б47
 Глобус Е.Р. А32
 Говорков А.В. У24
 Годованюк В.Н. У57
 Голенков А.Г. А10
 Гольцман Г.Н. П09, А23, А49, А54
 Горелик Л.И. У41, У42, У44, У52, У56, Б54, Б55, Б56
 Горенок В.Н. А03
 Горшков В.А. У52
 Грачев Р.В. Б50
 Гребенщикова Е.А. П11, У73
 Григорьев Д.В. Б22
 Гришина Т.Н. У20, У77
 Громов А.В. У27
 Громовенко В.М. Б16
 Гузев А.А. П12, У62
 Гулаков И.Р. А29
 Гуменюк-Сычевская Ж.В. У75, А09, А11
 Гусаров А.В. У61, А44
 Гусейнов Д.Т. Б36
 Гусейнов Э.К. Б29, Б38, Б40
 Гусейнова Д.А. Б42
 Давыдова Л.Г. Б63
 Дарвишов Н.Г. Б34, Б41
 Дворецкий С.А. П07, У04, У06, У07, У14, У61, У62, А11, А18, А22, А44, А55, А59, Б05, Б01
 Дегтярев Е.В. П07
 Демин А.В. Б46, Б53
 Демчук Б.Н. А28
 Демьяненко М.А. У66, У70
 Денисов А.И. У37, А47
 Денисов И.А. У08, У16, Б58
 Денисов И.Г. У37, А47
 Дериглазов В.А. А14
 Дерягин А.Г. У73
 Джалилова Х.Д. Б40
 Джафарова С.З. Б33
 Дзядух С.М. А15 А55, А59
 Дивочий А.В. П09, А23
 Дирочка А.И. У12, У15, А60
 Дицман С.А. У65
 Добровольский П.П. У33
 Добровольский Ю.А. У32
 Довгялло А.И. У28
 Долганин Ю.Н. А04, А22, Б01
 Дrajнников Б.Н. У78, У80, А27
 Дрогайцева Е.В. У44
 Дунаевский М.С. Б06
 Дюделев В.В. У73
 Еганех М.А. Б45
 Ежов В.П. П04, У21, У61, А44
 Елизаров А.И. У03
 Ерков В.Г. Б04
 Ермаков О.Н. Б07, Б08, Б09
 Есаев Д.Г. У66, У70
 Ефимов В.М. П12, У18, А50
 Ефимова З.Н. Б47
 Жегалов С.И. У46, У48, У49, Б57
 Жмерик В.Н. У23
 Журавлёв К.С. У24

Забелин С.В. У39
 Забенкова Е.В. А33
 Забенькин О.Н. А08
 Заботнов С.В. Б46
 Забудский В.В. А10, А11
 Зайцев А.А. У79, А35, А36, А37
 Залетаев Н.Б. У79
 Зверев А.В. А52
 Зеневич А.О. А29
 Зенюк Д.А. У69
 Золотарев В.И. У65, У69
 Зотова Н.В. У72
 Ибрагимов Т.Д. Б28
 Ибрагимов Т.И. Б38
 Иваницкая В.Г. А12
 Иванов С.В. У23, Б06
 Иванов Э.В. А51
 Иванов-Омский В.И. А18
 Ивашов Е.Н. Б62
 Ижнин А.И. А55
 Ижнин А.И. У08
 Ижнин И.И. У07 У08 А48 А55
 Иконников В.Б. Б23
 Ильинская Н.Д. У73
 Исаева А.А. Б42
 Исмаилов А.А. Б35
 Исмаилов Н.Д. Б28 Б29 Б38
 Казарин Е.Л. А20
 Казарин Л.Н. А20
 Казарова Ю.А. У80
 Калинин К.В. П11
 Калинушкин В.П. У65
 Каракосе С. Б30
 Карамалиев Р.А. Б39
 Карандашев С.А. У72
 Карнаушенко Д.Д. У75
 Карпов В.В. П04 У21 У71, А04,
 А22, А44, А45, Б14, Б15, Б01
 Касаткин А.В. А07
 Касаткин И.Л. У15, А60, А61, А62,
 А63, А64
 Касимов Р.М. Б39
 Катаев О.В. У43
 Каурова Н.С. П09
 Кашуба А.С. А61, Б46, Б49
 Керимова Э.М. Б42, Б43
 Кижяев С.С. П11, А51
 Киселев М.В. А53
 Киселева Л.В. А63 Б47
 Киселева Т.В. У20
 Климанов Е.А. У79, Б52
 Климов А.Э. У59
 Кобылянский Р.Р. А28
 Ковнерев М.Н. У32
 Ковчавцев А.П. П12, У62
 Козлов А.В. У37, А47
 Козлов А.И. У14
 Колесников А.Н. Б24
 Колесников Г.В. У38, У53
 Комаров В.В. Б12, Б13
 Комиссаров А.Л. А39
 Комиссарова Т.А. Б06
 Кондратов П.А. У50
 Коновалов Г.Г. У73, У74
 Коновалов С.Г. Б49
 Кононов А.С. Б53
 Константинов О.В. У72
 Копьев П.С. Б06
 Коринец С.В. А10
 Корнеев А.А. П09, А49
 Корнеева Ю.П. П09, А49
 Корольков В.П. А04, А22
 Коротаяев А.Г. Б22
 Коротаяев Е.Д. Б49
 Корсаков Ю.М. У33
 Кортиков М.В. У43, У51
 Косолобов С.Н. У23
 Костюков Е.В. Б17
 Костюченко В.Я. Б05
 Косухина Л.А. У20
 Коханенко А.П. Б22
 Кошавцев Н.Ф. У32
 Кравченко Н.В. У20, У77, У79
 Крапухин В.В. А45
 Кремис И.И. А38
 Кугут С.Ф. У45
 Кузнецов А.В. У79
 Кузнецов П.А. У79, А36, А37
 Кузнецов П.С. Б62
 Кузнецова Л.И. Б47
 Кулиев Ш.М. Б29
 Куликов В.Б. Б60
 Куликов К.М. У56, Б55
 Кульчицкий А.Н. А56

Кульчицкий Н.А. А56, А57, А58, Б22
 Куницына Е.В. У64, У73
 Курбанов К.Р. У02, Б11
 Курбатов А.В. У55
 Курьшев Г.Л. П12, У62
 Кучинский В.И. У73
 Ладугин М.А. У01
 Лазарев П.С. У41, У42, У44
 Ларцев И.Ю. У55
 Лебедев М.В. У64
 Лебедев О.А. Б18
 Лебедева Н.Н. Б30
 Леонович Б.Н. Б58
 Левшакова Н.Н. А34
 Легкий В.Н. А53
 Леонова Г.А. А42
 Ли И.И. П12, У62, У75
 Липин М.В. У27, А33, А34
 Логачева Е.И. У26
 Логашкин А.П. У28
 Лозинская М.И. А25
 Локтионов В.И. У32
 Ломонова Е.Е. У20
 Лопухин А.А. У15, А60, А61, А62, А63, А64, Б47
 Лохман Е.А. А33
 Лукьянчук Э.М. А13
 Лукьянов Ф.А. У65
 Львова Т.В. У64, У72, Б06
 Ляликов А.В. Б49
 Мазалов А.В. У01
 Мазин М.Г. Б54
 Макаренко А.В. У34
 Макаренков А.М. Б61
 Макин В.С. У22, У26
 Макин Р.С. У22
 Маковцов Г.А. П12
 Малин Т.В. У24
 Мальцев П.П. А46
 Мамедов В.У. Б44
 Мамедов Г.М. Б44
 Мамедов М.З. Б34
 Мамедов Р.К. У67
 Манова Н.Н. А23, А49
 Мансветов Н.Г. У17, Б47
 Мармалюк А.А. У01
 Марчишин И.В. П07, У54, У70
 Масленников С.Н. П09
 Матвеев Б.А. У72
 Машуков Ю.П. А59
 Медведков И.С. У30, У31
 Меженный М.В. Б58
 Мезин Ю.С. Б48
 Мележик Е. О. А09
 Мельников А.А. А56, Б22
 Мельников О.А. А46
 Мельцер Б.Я. Б06
 Мизеров А.М. У23
 Мирзоева Л.А. П12
 Мирошников Б.Н. А39
 Мирошникова И.Н. У21, А39
 Михайлов Н.Н. У04 У06 У07. У61 У62 А11 А18 А22 А44 А55 А59 Б01 Б05
 Михайлова М.П. У64, У73, А51
 Михеев Н.Н. Б01
 Моисеев К.Д. А51
 Мокеев Д.Ю. А53
 Момот Н.И. А11
 Монастырский Л.С. А26
 Монахов А.М. П11
 Моравец П. А12
 Мордвин Н.Н. Б63
 Музыкин Е.И. У32
 Мустафаева С.Н. Б35, Б36, Б43
 Муханова А.А. Б01
 Мынбаев К.Д. У07, У08, А18
 Назаров А.М. Б31
 Несмелов С.Н. А15, А55, А59
 Нигматуллин Т.М. У37
 Никитин М.С. У05, У10
 Никитин С.А. Б09
 Никонов А.В. А16
 Новоселов А.Р. Б03
 Нуриев И.Р. Б31, Б32
 Овсюк В.Н. У66, У70
 Ожегов Р.В. А23, А54
 Орбух В.И. Б30
 Осипов С.Н. Б08
 Осипов Ю.В. У76, А30, А31, А32
 Павлык М.Р. А26
 Падалица А.А. У01
 Панов В.А. У20

Панова З.В. У62
 Парм И.О. У62
 Пархоменко Я.А. А51
 Патрашин А.И. Б51
 Пашин Н.С. У59
 Пентин И.В. А54
 Перепелицын Ю.Н. Б10
 Пермикина Е.В. А61, Б47, Б49
 Петлицкий А.Н. Б17
 Пиголкина А.М. Б57
 Писаревский В.К. А25
 Подобрянский А.В. У52
 Полесский А.В. У41, У42, У44, У52
 У56 Б54 Б56
 Половинкин В.Г. П12, У75
 Полунеев В.В. У16, У17
 Поляков А.Я. У24
 Поляков А.Н. Б01
 Пономаренко В.П. П01, П06, У11,
 У12, У16, У63, У78, А02, Б53
 Поспелова М.А. Б17
 Потапкин О.Д. Б26
 Потапов А.В. А20, А21
 Поцяк М. У07, У08, А55
 Правдивцев А.В. У34
 Предеин А. В. У14, Б02
 Прибыла А.В. А28
 Прольгин Е. В. П12
 Протасов Д.Ю. У24, Б05
 Рагимова Н.А. Б33
 Раджабли А.А. Б38
 Ранцан С.К. А64
 Рау Э.И. У65
 Рева В.П. А10
 Резник В.Я. Б58
 Резунков Ю.А. Б16
 Ременный М.А. У72
 Ремесник В.Г. У06
 Реутова Е.О. У42, Б56
 Рудаков Г.А. У69
 Рузавин И.Г. У25
 Русак Т.Ф. Б17
 Рустамов Ф.А. Б34, Б41
 Рыбальченко А.Ю. У72
 Рябова А.А. У15
 Рябоштан Ю.Л. У01
 Рябчиков Д.В. П07
 Рябчун С.А. П09
 Сабинин В.Е. Б19
 Сабинина И.В. П07, У14, А10
 Савин Д.В. Б23
 Савкина Р.К. А14
 Савостин А.В. А61, А63, А64
 Савченко М.А. А22
 Садыгов Р.М. Б32
 Саламов Б.Г. Б30
 Саликов В.Л. А41, А42, А43
 Самвелов А.В. У29, У30, У31
 Самотаев Б.А. У76
 Сарафанов П.Г. А52
 Сармин Д.В. У28
 Сахаров М.В. Б60
 Сахно М.В. А11
 Свиридов А.Н. У11, А17, Б53
 Седнев М.В. Б48, Б52
 Седова И.В. Б06
 Селяков А.Ю. А01, А02, А15, А64
 Семенов А.Н. Б06
 Семенов В.И. Б15
 Серебренникова О.Ю. У73
 Серегина Е.В. Б61
 Сережкин Л.Б. А05
 Сидорин А.В. У41 У42 У44
 Сидоров Г.Ю. А18, А19
 Сидоров М.С. У20
 Сидоров Ю.Г. П07, У04, У06, У07,
 У14, У54, У61, У62, А19, А22, А44,
 А52, А55, А59
 Сизов Ф.Ф. П10, У60, А10, А11,
 А14
 Силантьева И.А. У22
 Симкив Б.А. А25
 Ситникова А.А. Б06
 Скрылёв А.С. А30, А32
 Сливинская Е.В. А54
 Сметанов А.Ю. Б07
 Смирнов А.Б. А14, А33, А34, А54
 Смирнов В.А. А18
 Смирнов К.В. А23, А54
 Смирнов Н.Б. У24
 Смирнова А.Д. У41, Б56
 Смирнова Н.А. Б58
 Смирнова Н.А. У16, У08
 Смолий М.И. А11

Соколовский Б.С. А24, А25, А26
 Соколовский Г.С. У73
 Сокольский В.А. А58
 Солк С.В. Б18, Б19, Б20, Б21
 Соловьев В.А. Б06
 Соломахин П.А. У43
 Соляков В.Н. У41 У42 У43 У44 У46
 У48 У49 У51 У52 У56 У63 Б57
 Сорокин А.Н. У56
 Сорочкин А.В. П07, У07, У14
 Средин В.Г. Б16, Б60
 Старостенко Д.А. У74
 Стафеев В.И. П06
 Степанов Р.М. П03
 Степанов В.В. Б16
 Степанов Р.О. Б15
 Степанушкин А.Г. У57
 Степанчиков С.В. Б62
 Степович М.А. Б01, Б61
 Сторчун О.П. А25
 Строганов А.С. П12
 Стусь Н.М. У72
 Супрун С.П. Б04
 Супрунов В.В. У45
 Суслин К.В. У36
 Сусяков А.О. П07
 Сусов Е.В. У61, А44
 Талипов Н.Х. У05, У09, А48
 Тархов М.А. П09
 Телегин К.Ю. У01
 Терехов А.С. У23
 Терехович Т.Ф. А64
 Тимофеев А.М. А29
 Тимофеев О.В. Б24
 Титов А.Г. У39, А06
 Тихонов А.В. У24
 Ткачева О.А. У54
 Ткаченко В.Ф. У50
 Толбанов О.П. А53
 Томашик В.Н. А12, А13
 Томашик З.Ф. А12, А13
 Тренин Д.Ю. У42, У44, У56
 Третьяков И.В. П09
 Тришенков М.А. У20, У77
 Трошков А.Е. У77
 Трошков А.Е. У79
 Трунов Г.Л. У43
 Трухина Н.Ю. У35
 Турунов Н.Г. А27
 Турцевич А.С. Б17
 Тымкул В.М. Б25
 Тэгай В.А. Б15
 Тяжев А.В. А53
 Угланов Д.А. У28
 Ульянова Е.О. А40
 Урманов Д.М. Б64
 Уткин А.А. Б55
 Ушаков О.К. Б25
 Фадеев С.В. Б11
 Фараджев Н.В. Б31
 Фарзалиев С.С. Б32
 Фаткуллин А.Э. У37, А47
 Федирко В.А. У69
 Федоринин В.Н. У33
 Федосенко Е.В. Б04
 Фесько Ю.А. Б25
 Фегисов Е.А. У69
 Фетюхина В.Г. У46, У48, У49
 Филатов А.В. У61, А44
 Филачев А.М. П01, П06, У11, У12,
 У20, У63, А02, Б53
 Финкель М.И. П09
 Фицыч Е.И. У08
 Флоря И.Н. А49
 Флоря И.Н. П09
 Фоменко А.Ф. Б12
 Фомин Б.И. У14, У66, У70
 Фофанов В.Б. У12
 Франц Я. А12
 Фроимсон И.М. А42
 Фролов Н.В. А20
 Хан А.Т. У30, У31
Харчиев В.Е. Б10
 Хафизов Р.З. У69
 Хлебников Ф.П. У52
 Холоднов В.А. У13
 Хромов С.С. А35, А36, А37
 Хрящев С.В. У33
 Цибрий З.Ф. А11
 Чеканова Г.В. У05, У10, А32
 Чинарева И.В. У77, У79
 Чишко В.Ф. У71, А45
 Чулкова Г.М. П09
 Чурилин В.А. У52

Шасевич В.И. А44
Шайблер Г.Э. У23
Шаронов Ю.П. Б52
Шатунов К.П. А40
Швец В.А. У04
Шевченко А.В. А25
Шелюк И.А. А13
Шергин В.С. Б12
Шерстнев В.В. П11, У64, У74
Шиляев А.В. А18
Шиляев С.Н. А27
Широков Д.А. У30, У31
Шкурский Б.И. У36
Шлёнский А.А. А45

Шмакова Л.В. А41, А43
Шульга С.А. Б16
Шумский В.Н. У59
Шустаков В.Ю. А28
Эминов Ш.О. Б29, Б38
Эпов В.С. У59
Эскин Ю.М. А07
Юдин А.Н. У34
Яковлев А.А. Б19, Б20, Б21
Яковлев Ю.П. П11, У64, У73, У74,
А51
Яковлева Н.И. У16, А16, А17, Б51
Якушев М.В. П07, У07, У14, А18,
А22, А59

Правила для авторов по оформлению рукописей статей, предлагаемых к публикации в журнале “Прикладная физика” (Редакция 2010 г.)

1. Направляя рукопись статьи в редакцию журнала "Прикладная физика", авторы передают редколлегии, учредителям и издателю журнала безвозмездное неисключительное право опубликовать ее на русском языке в качестве статьи в печатной версии журнала, в электронной версии журнала в сети Интернет и на лазерных дисках, а также перевести на английский язык и опубликовать статью в англоязычном варианте журнала. При этом за авторами сохраняются их интеллектуальные права на рукопись статьи (в т.ч. "авторское право"). В связи с этим и с учетом Четвертой части (Раздел VII) Гражданского Кодекса РФ авторами должно быть представлено в редакцию письмо в следующей форме:

Лицензионный договор о передаче права на публикацию (издательский лицензионный договор)

Мы, нижеподписавшиеся, авторы рукописи _____, предоставляем редколлегии, учредителям и издателю журнала "Прикладная физика" безвозмездную простую (неисключительную) лицензию на публикацию этой рукописи статьи как в печатной, так и в электронной версиях журнала, в т.ч. в его англоязычном варианте.

Мы подтверждаем, что данная публикация не нарушает интеллектуальных прав других лиц или организаций.

Подписи авторов: _____ (ф. и. о., ученая степень, дата)

Статья должна быть подписана всеми авторами. В случае нескольких авторов указывается фамилия автора, ответственного за переписку с редакцией.

2. Рукопись статьи в редакцию представляется обязательно на русском языке, и редакционные требования, изложенные в п.п. 3—16, относятся именно к этому случаю. В 2009 г. журнал вошел в известную Программу МАИК/Pleiades Publishing/Springer, что подразумевает перевод на английский язык избранных опубликованных статей, издание и распространение за рубежом с 2010 г. англоязычного варианта журнала под названием Applied Physics Reports.

3. Каждая статья рецензируется в соответствии с решением редколлегии журнала, при этом рецензия (рецензии) направляется редакцией журнала авторам рукописи. Решение о порядке публикации статьи принимается редколлекцией в контакте с редакцией. Статья может быть отправлена авторам на доработку или отклонена как по формальным, так и по научным причинам. В случае мотивированного отклонения рукописи статьи редакция направляет авторам мотивированный отказ.

4. Любая представленная рукопись статьи должна сопровождаться экспертным заключением о возможности публикации в открытой печати, оформленным в установленном порядке. Вместо экспертного заключения может быть представлено соответствующее заявление на имя главного редактора журнала от имени руководства организации, где работают авторы, или непосредственно от имени самостоятельных авторов. В экспертном заключении или заявлении в обязательном порядке должна быть отражена возможность открытой публикации и передачи публикуемых материалов за границу. Статья,

являющаяся результатом работы, проведенной в организации (учреждении) по ее заданию, должна обязательно иметь направление этой организации (или головной организации при участии нескольких организаций в этой работе).

5. Основной текст статьи должен начинаться разделом «Введение» с четкой постановкой цели и задач работы, сопровождаемой аргументами в пользу ее выполнения на фоне существующего состояния затронутой в статье проблемы. Дальнейший текст статьи также должен иметь смысловые рубрикаторы (разделы и подразделы). Заканчиваться статья должна отдельным разделом «Заключение» с перечислением основных результатов, следующих из них выводов и, по возможности, предложений по развитию исследований и использованию их результатов.

6. Объем статьи (без рисунков) не должен превышать 10 страниц формата А4 при 1,5-2,0 межстрочных интервалах, а объем статьи обзорного характера — не более 25 страниц. Материал статьи представляется в печатном виде (на бумажном носителе) в двух экземплярах и в идентичном электронном варианте на дискете или на CD/DVD-диске с текстом в формате Word 2003 (отдельным файлом от рисунков). Следует избегать приведения в тексте излишне подробных и громоздких математических преобразований и выражений. Оформление статьи следующее:

- статья начинается с указания УДК;
- название статьи набирается строчными буквами (кроме начальной прописной) полужирным шрифтом, размер шрифта 14, для остального текста используется простой шрифт размером 12, причем рекомендуемая гарнитура шрифта — Times New Roman;
- после названия - список авторов, инициалы авторов предшествуют их фамилиям;
- с отступлением в 2 строки представляется аннотация статьи (не более 7 строк);
- ниже аннотации перед основным текстом указываются коды классификации PACS (Physics and Astronomy Classification Scheme), по меньшей мере, до третьего уровня глубины включительно, соответствующие содержанию статьи (подробности классификации PACS в Интернет на сайте American Institute of Physics – www.aip.org/pacs);
- далее приводится список ключевых слов для данной статьи (не более десяти);
- страницы текста нумеруются без пропусков и добавлений литерных обозначений (типа 1а, 2б и т. п.), причем в сквозную нумерацию должны быть включены все элементы статьи, кроме рисунков и подписей под ними;
- внизу первой страницы текста помещается отдельный абзац (с полужирным шрифтом), содержащий контактную информацию об авторе (или авторах) в следующем виде: фамилия, имя, отчество, должность, почтовый адрес предприятия, телефон/факс, e-mail;
- после основного текста - список использованных источников под названием "Литература";
- в конце статьи название статьи, инициалы и фамилии авторов, предприятие, его почтовый адрес, город, страна, e-mail, аннотация, PACS,

ключевые слова (keywords) повторяются на английском языке (поскольку журнал распространяется и за рубежом, редакция оставляет за собой право корректировать английскую часть текста без изменения его смысла);

7. Список использованных источников необходимо представлять в соответствии с требованиями, установленными системой Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) на основе существующего ГОСТ Р 7.0.5-2008. Ссылка в тексте на использованный источник оформляется в квадратных скобках, например, [1—3], [7, 8]. Ссылки на формулы, рисунки и таблицы оформляются с использованием круглых скобок, например, формула (3), уравнение (1), (рис. 2), (табл. 7).

Примеры использованных источников:

Книга: Гроднев И.И. Оптоэлектронные системы передачи информации. — М.: Знание, 1991.

Статьи из журнала: Дмитриев А. Г., Царенков Б.В.//ПТЭ. 1972. № 1. С. 208. Lang D. V.//J. Appl. Phys. 1974. V. 45. No. 7. P. 3023.

8. Количество рисунков и фотографий для типовой статьи не должно превышать 5, для обзорной статьи — не более 10. Графика (только черно-белая!) представляется в двух экземплярах на отдельных листах. На обратной стороне каждого рисунка необходимо проставить карандашом его номер, фамилии первых авторов статьи и начальные слова ее названия. Одновременно необходимо представить электронную версию рисунков на дискете или на CD/DVD-диске в одном из форматов *.gif, *.jpg, *.png, *.bmp в виде отдельного файла для каждого рисунка.

9. Подписи под рисунками должны быть представлены на отдельной странице последовательно друг за другом, т.е. отдельно от рисунков. Каждая подпись должна быть по возможности лаконичной, но емкой по содержанию. Любой указываемый в подписи физический (технический) символ должен иметь там же свое словесное раскрытие. Все подписи повторяются в электронном виде в одном общем файле на принятом электронном носителе.

10. В тексте статьи, а также на рисунках предварительную разметку буквенных символов в формулах и обозначениях не производить. Простые формулы вводить в текст в формате используемого текстового редактора, более сложные формулы - с использованием редактора формул Microsoft Equation или MathType. Для символьного обозначения физических (технических) величин использовать только латинский и греческий алфавиты, при этом в тексте для греческих букв использовать прямой шрифт, для латинских букв — наклонный шрифт (курсив), векторы обозначать полужирным шрифтом (предпочтительнее) или стрелкой над символом вектора. Для нижних и верхних индексов физических (технических) величин русские буквы не применять, а использовать только арабские цифры, латинские или греческие буквы. Размерность физических величин обозначается только по-русски.

11. Таблицы выполнять в соответствии со следующими требованиями: верхняя строка — наименование данных и размерность; следующие строки — сами данные.

12. Формулы, таблицы и рисунки должны иметь свою отдельную сквозную нумерацию. Если на конкретную формулу нет дополнительных (возвратных)

ссылок в тексте или она в единственном числе, то нумерация ее не нужна. Единственная таблица и рисунок также не нумеруются.

13. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

14. Рукописи, дискеты и CD/DVD-диски редакцией не возвращаются.

15. Авторы (или автор) каждой статьи после ее публикации в очередном номере журнала имеют право на получение от редакции пяти оттисков своей статьи (на всех).

16. При публикации в журнале каждая статья сопровождается сноской со знаком охраны авторского права ©, поставленным перед фамилией автора (фамилиями авторов) и годом издания. В конце статьи указывается также дата поступления статьи в редакцию.

17. Решением ВАК Минобрнауки России журнал входит в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

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 научно-технические и производственно-технологические центры 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.

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, член-корреспондент РАН 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.