

**У01П. Фотоэлектронные технологии в НПО «Орион»
(современное состояние и перспективы развития)**

Пономаренко В.П., Филачев А.М.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Рассмотрены результаты последних разработок технологий фотоприемников и фотоприемных устройств, в том числе многоэлементных и матричных, инфракрасного диапазона спектра.

Наибольшее развитие получили технологии фотоприемников на основе фотодиодов из теллурида кадмия-ртути для тепловизионной аппаратуры, работающей в режиме временной задержки и накопления (2x256, 4x288), либо в “смотрящем” режиме (384x288), а также на основе фотодиодов из антимонида индия. Активно развиваются технологии создания быстродействующих фотоприемных устройств для регистрации импульсного излучения в широком интервале длин волн от 0,3 до 11 мкм для задач лазерной локации и метрологии.

Проведен анализ современного состояния фотоэлектроники и рассмотрены основные физико-технологические проблемы создания фоточувствительных материалов, фоточувствительных элементов, систем охлаждения и обработки изображений.

У02П. Состояние и перспектива развития телевизионных фотоэлектронных приборов

Степанов Р.М.

ОАО ЦНИИ «Электрон», С.-Петербург, Россия

Приведены результаты исследований и разработок телевизионных фотоэлектронных приборов, проведенных в ЦНИИ «Электрон» в последние годы. Представлен анализ направлений развития фотоэлектронных матриц на основе ПЗС и К-МОП технологий. Сделан вывод о перспективности К-МОП технологии при производстве фотоэлектронных приборов на основе кремния.

Изложены результаты создания гибридных телевизионных приборов на основе ПЗС и ЭОПов, чувствительных в УФ и ближней ИК областях спектра. Рассмотрены пути развития инфракрасных приборов с исследованием барьеров Шоттки.

Для наблюдения в условиях полной темноты, в тумане, дыму, пыли созданы несколько типов пировидиконов. На основе технологии пироэлектрической мишени ведутся работы по созданию пироэлектрической матрицы.

С целью ускорения внедрения фотоэлектронных приборов в аппаратуру ЦНИИ «Электрон» не ограничивается их созданием, а ведет разработку модулей и осваивает фотоэлектронные телевизионные системы на основе ИК приборов с барьерами Шоттки, гибридных приборов, пировидиконов и ФППЗ

У03П. Лазерно-голографический измерительный комплекс ФГУП «НПО «ГИПО»

Иванов В.П., Лукин А.В., Мельников А.Н.

ФГУП «НПО «ГИПО», Казань, Россия

Разработка лазерно-голографического измерительного комплекса (ЛГИК) была начата в 1998 году. К настоящему времени работы по его вводу в действие и комплектации практически завершены.

ЛГИК является важнейшим звеном в технологической цепочке выпуска асферических и дифракционных оптических элементов, на базе которых проектируются и изготавливаются оптические системы для высокоразрешающей тепловизионной аппаратуры новых поколений.

В состав ЛГИК входят как лазерные источники излучения (газоразрядные, полупроводниковые и твердотельные), так и тепловые, позволяющие выполнять комплекс оптико-физических и оптотехнических измерений параметров оптических элементов и центрированных систем в диапазоне длин волн от 400 нм до 12 мкм.

Высокая точность и оперативность контроля оптических элементов и центрированных многокомпонентных систем достигаются за счет использования синтезированных голограмм, выполняющих в контрольных схемах функции либо образцовых элементов, либо оптических компенсаторов, а также фотоэлектрической регистрации интерферограмм и автоматизированной их расшифровки.

Именно благодаря реализации уникальных метрологических возможностей ЛГИК в Государственном институте прикладной оптики за короткий срок был разработан, изготовлен и аттестован унифицированный ряд светосильных инфракрасных объективов, построенных на основе использования элементов асферической и киноформной оптики.

В докладе приводятся результаты измерений оптических параметров нескольких таких объективов, в частности, асферо-дифракционного объектива «Кинар», имеющего дифракционный предел разрешения. Его световой диаметр 100 мм, относительное отверстие 1:2. «Кинар» имеет два поля зрения, 3° и 9°, с фокусными расстояниями 204 мм и 68 мм соответственно.

У04П. Памяти П.В. Тимофеева

*Переводчиков В.И., *Овчаров И.В., **Тимофеев Ю.П.

**ГУП «Всероссийский электротехнический институт им. В.И. Ленина», Москва, Россия*

***Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия*

25 июня 2002 г. исполняется 100 лет со дня рождения Петра Васильевича Тимофеева (1902-1982 гг.), выдающегося ученого и изобретателя в области фотоэлектроники, Героя Социалистического Труда, члена-корреспондента АН СССР, лауреата Государственных премий заведующего отделом Всесоюзного электротехнического института имени В.И. Ленина.

Петр Васильевич Тимофеев был одним из основателей русской школы фотоэлектроники и инфракрасной техники. Начав научную деятельность во Всероссийском электротехническом институте (ВЭИ) в 1928 г. после окончания аспирантуры Московского государственного университета, он оказал огромное влияние на развитие не только отечественной, но и мировой фотоэлектроники. В 1959 г. он был избран почетным членом Американского института радиоинженеров.

Сферой его интересов в предвоенные годы были исследование и разработка фотокатодов и вторичных эмиттеров. Им предложена идея создания первого фотоэлектронного умножителя и идея создания супериконоскопа, ознаменовавшая первый шаг в использовании вторичной эмиссии для улучшения отношения сигнал/шум в телевизионных передающих трубках.

В годы Великой Отечественной войны наиболее полно развернулся инженерный и организационный талант Петра Васильевича: он стал во главе разработок систем инфракрасной техники и создал первые образцы электронно-оптических преобразователей (ЭОП), принятые на вооружение действующими армией и флотом. По своим характеристикам ЭОПы, созданные Тимофеевым, превосходили немецкие.

В послевоенные годы Петр Васильевич продолжает работу над совершенствованием и созданием новых типов ЭОПов. Его основная идея о необходимости развития прежде всего миниатюрных приборов реализуется и сейчас во всех разработках за рубежом и в России.

Круг интересов Петра Васильевича не ограничился только внешним фотоэффектом. Под его руководством разрабатывались инфракрасные фотоспротивления и был создан впервые инфракрасный видикон на основе мишени из окиси свинца. Как в довоенные, так и в послевоенные годы, телевидение было в сфере интересов П.В. Тимофеева. Он участвовал в работах по первым в России телевизионным передачам вместе с В.И. Архангельским. В послевоенные годы много внимания уделялось становлению такого важного направления, как тепловидение, причем не только для обороны, но и для медицины. Ещё до появления лазеров под руководством П.В. Тимофеева были поставлены и успешно доведены до внедрения работы по световой локации.

Под его руководством как в ВЭИ, так и в ряде других организаций защитили кандидатские и докторские диссертации многие соискатели, в дальнейшем ставшие крупными учеными.

Деятельность Петра Васильевича Тимофеева всегда характеризовалась научной прозорливостью, умением найти наиболее актуальные в будущем направления развития фотоэлектроники и четким стремлением доводить разработки до внедрения. Многие его разработки до последнего времени выпускаются серийными заводами.

У05П. Состояние и перспективы микрофотоэлектронного комплекса в Черновицком регионе Украины

¹Годованюк В.Н., ¹Добровольський Ю.Г., ²Кадельник Д.В., ³Раренко И.М., ²Фотий В.Д.

¹ОАО "ЦКБ Ритм", Черновцы, Украина

²ОАО "Кварц", Черновцы, Украина

³Черновицкий национальный университет, Черновцы, Украина

Микрофотоэлектроника в Украине в последние годы переживает период восстановления и развития. Это обусловлено общим состоянием экономики страны, которая в течение последних лет имеет тенденцию к устойчивому подъему.

Научно-технические центры по развитию микрофотоэлектроники существуют в различных частях Украины. Основная же производственная база по разработке и серийному изготовлению фотоприемников ультрафиолетового, видимого и ближнего инфракрасного диапазонов спектра, как и ранее, находится в г. Черновцы. Это ОАО "ЦКБ Ритм" и ОАО "Кварц". Научная база микрофотоэлектроники в нашем регионе представлена кафедрой микроэлектроники Черновицкого национального университета и ОАО «ЦКБ Ритм».

В настоящее время на кафедре микроэлектроники в тесном взаимодействии с ОАО «ЦКБ Ритм» достигнуты новые результаты в развитии теории и практики твердых растворов узкозонных полупроводников групп A_2B_6 и A_3B_5 , а так же фотоприемников на их основе. Здесь разработаны новые полупроводниковые материалы с добавками 3d элементов, чувствительные в спектральном диапазоне 3–12 мкм. Кристаллы и слои характеризуются стабильностью кристаллической решетки, а экспериментальные образцы фотоприемников (на р-п переходах и барьерах Шотки) на их основе отличаются повышенной надежностью. Коллектив ученых и разработчиков работает в тесном сотрудничестве с коллегами из известных научных центров мира (России, Китая, Индии), оказывая необходимую поддержку вышеупомянутым производственным комплексам.

ОАО "ЦКБ Ритм" - ведущее предприятие Министерства промышленной политики Украины по разработке фотоприемников. В нем осуществляется разработка и серийный выпуск фотоприемников на основе кремния, германия, халькогенидов свинца, фосфида галлия, которые перекрывают спектральный диапазон 0,2–5 мкм. В последние годы на предприятии освоен выпуск оптоэлектронных пар. Изготавливаемые приборы по своим основным характеристикам не уступают зарубежным аналогам, а по соотношению цена-качество превосходят их. Кроме того, на предприятии освоено выращивание монокристаллических соединений CdTe, CdZnTe, InSb. Общая номенклатура изделий составляет более 200 наименований.

Фотоприемники, разработанные в ОАО "ЦКБ Ритм", серийно выпускаются ОАО "Кварц" – одним из основных изготовителей фотоприемников в бывшем СССР. Предприятие занято производством фоторезисторов, р-п, р-і-п и лавинных фотодиодов, фотоприемных устройств, имитаторов лазерного излучения на длину волны 0,63; 0,85; 1,06, абсолютно черного тела. Кроме того, разрабатывает измерительные комплексы для фотометрии и оборудование для испытаний фотоприемников. Общая номенклатура изделий составляет более 100 наименований.

Оба предприятия имеют полный замкнутый технологический цикл изготовления упомянутых фотоприемников, а также испытательную базу.

У06П. Состояние и перспективы молекулярно-лучевой эпитаксии $Cd_xHg_{1-x}Te$

Варавин В.С., Гутаковский А.К., Дворецкий С.А., Карташев В.А., Михайлов Н.Н., Придачин Д.Н., Ремесник В.Г., Рыхлицкий С.В., Сабина И.В., Сидоров Ю.Г., Титов В.П., Швец В.А., Якушев М.В., Асеев А.Л.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Твердые растворы кадмий ртуть теллур (КРТ) остаются наиболее важным материалом для инфракрасных (ИК) фотодетекторов (ФД), несмотря на многочисленные попытки заменить его альтернативными материалами.

В ИФП СО РАН создано отечественное автоматизированное производственное оборудование для выращивания гетероэпитаксиальных структур (ГЭС) КРТ методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) с контролем качества слоев в процессе выращивания в реальном масштабе времени. Использование многомодульной установки для МЛЭ КРТ, набор технологических модулей в которой определен на основании представлений о механизмах формирования дефектов, оснащение модуля выращивания КРТ системой молекулярных источников с кольцевыми рассеивателями и автоматическим эллипсометром решает проблемы технологии КРТ, связанные с высокими требованиями по однородности состава и управлением составом в процессе выращивания слоев КРТ.

Технологический процесс и оборудование позволяют выращивать слои КРТ с высокой однородностью состава по площади подложки и дают практически неограниченные возможности изменения состава по толщине слоя КРТ, что создает основу для разработки новых поколений ИК ФД. Технологический процесс, разработанный с учетом разработанных представлений о механизмах формирования и природе дефектов в слоях КРТ, в том числе и электрически активных, позволяет приготавливать ГЭС КРТ МЛЭ с концентрацией и подвижностью носителей и временами релаксации неравновесной фотопроводимости, требующимися при производстве и разработке новых поколений большеформатных фотоприемников.

Фотоэлектрические характеристики ГЭС КРТ МЛЭ соответствуют требованиям, предъявляемым при изготовлении ИК ФД как на основе фоторезисторов, так и на основе фотодиодов. Разработанная технология молекулярно-лучевой эпитаксии слоев КРТ на подложках из GaAs может служить основой для дальнейших практических разработок и производства матричных фотоприемных систем как фоторезисторных, так и фотодиодных для обоих инфракрасных окон прозрачности атмосферы 3-5 и 8-14 мкм.

Начата разработка технологии выращивания слоев КРТ на наиболее перспективных альтернативных подложках из кремния. Получены эпитаксиальные слои ZnTe на подложках (013)Si.

У07П. Формирование фемто-аттосекундных фотоэлектронных изображений (современное состояние и тенденции развития)

Щелев М.Я.

Институт общей физики РАН, Отдел фотоэлектроники, Москва, Россия

Почти 50 лет тому назад российские ученые Е.К. Завойский и С.Д. Фанченко [1,2] впервые сформулировали фундаментальные принципы формирования фотоэлектронных изображений с фемтосекундным временным разрешением. Несколько позже [3] с использованием многокаскадных электронно-оптических преобразователей типа УМИ-95 российского производства была продемонстрирована экспериментальная регистрация сверхминиатюрных искровых разрядов с пикосекундным временным разрешением.

Последующее изобретение лазеров и востребованность пико-фемтосекундных технологий [4-5] привели к формированию нового научного направления – электронно-оптической диагностики сверх быстрых процессов.

В статье представлены новые экспериментальные результаты по изучению свойств поля излучения титан-сапфирового лазера в ближней и дальней зонах. Регистрация изображений поля излучения была произведена с 200 фс временным и 30 пар лин./мм пространственным разрешением. В статье обсуждается фокусирование оптических изображений на фотокатод ЭОП с фемто-секундной точностью. Особое внимание уделено созданию высокой (10-100 кВ/мм) напряженности электрического поля у фотокатода, а также изготовлению различных фемтосекундных ЭОП.

Следующий шаг в сверхбыстром формировании фотоэлектронных изображений состоит в возможности создания фотоэлектронных сгустков аттосекундной длительности в вакуумных трубках с использованием квазистационарных электромагнитных полей. Теоретически показано, что хроматические aberrации первого порядка, которые в основном ограничивают временное разрешение в традиционных ЭОП, могут быть сведены к нулю в специально созданном и зависящем от времени фокусирующем поле. Так компьютерное моделирование показывает возможность временной фокусировки (10-50) КэВ сгустков электронов до аттосекундного уровня.

Литература:

1. Е.К. Завойский, С.Д. Фанченко. Доклады Академии наук, 108, 218, (1956).
 2. Е.К. Завойский, С.Д. Фанченко. Доклады Академии наук, 100, 661, (1955).
 3. М.М. Бутслов и др., Труды 4-го МКВФ, Вена: Изд. Дармштадт, с.230 (1959).
 4. В.В. Коробкин и др. Журнал фотографических наук, 17,179 (1969).
 5. Г.И. Брюхневич и др. ЖТФ, письма, 2,1009 (1976)
-

У08П. Влияние изоляции поверхности и подложки на плоскостной диод на базе HgCdTe

Гопал В., Гупта Ш., Бхан Р.К., Пал Р., Чаудхари П.К., Кумар В.

Лаборатория физики твердого тела, Дели, Индия

Для оценки относительного влияния поверхности и подложки на ток диода в плоскостном диоде на базе HgCdTe обычно использовались тест-структуры диодов переменной площади. В процессе, хорошо контролируемом с технологической точки зрения, характеристики диодов в тест-структурах могли быть также хорошим представлением характеристик других диодов. Однако изменение свойств базового материала или отсутствие контроля в процессе изготовления могут в какое-то время привести к появлению диодов, характеристики которых могут отличаться от характеристик тест-структур. Поэтому желательно разработать метод, по которому относительное влияние поверхности и подложки на отдельные диоды может быть изолировано. В этой статье мы сообщим о возможности оценки относительного влияния поверхности и подложки на плоскостные диоды из HgCdTe путем анализа характеристик зависимости постоянного тока от напряжения ($I-V$) и зависимости динамического импеданса от напряжения (R_d-V) отдельного диода. В этой статье будет дан анализ экспериментальных данных, полученных на диодах, изготовленных в нашей лаборатории на пластинах из HgCdTe p-типа, выращенных на подложке с использованием имплантации B^+ и пассивирующие слои из ZnS.

У09П. Многоэлементные ФПУ с ВЗН 4×288 для дальней инфракрасной области спектра на основе КРТ-соединений

Голенков А.Г., Рева В.П., Забудский В.В., Деркач Ю.П., Сизов Ф.Ф.,
*Овсяк В.Н., *Васильев В.В., *Марчишин И.В., *Захарьяш Т.И., *Клименко А.Г.

Институт физики полупроводников НАН Украины, Киев, Украина

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

Спроектированы и изготовлены охлаждаемые многоэлементные ФПУ с временной задержкой и накоплением (ВЗН), работающие в спектральном диапазоне 8-12 мкм, а также исследованы их фотоэлектрические свойства. Фокальная плоскость состоит из двух линеек по 144 канала в каждой, расположенных в шахматном порядке. В каждом канале организована ВЗН по четырем элементам, размер фоточувствительного элемента 28×25 мкм².

ФПУ представляет собой гибридную сборку фотодиодной линейки на основе соединений кадмий-ртуть-теллур (КРТ) и кремниевой схемы считывания с предварительной обработки информации.

Диоды изготавливались на эпитаксиальных КРТ-слоях, полученных с помощью технологии МЛЭ. Концентрация носителей при T=78K $p=5\div 10 \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$, подвижность $\mu_p=300\div 350 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$. Переход n⁺-p типа формировался имплантацией бора с энергией имплантации 50÷150 кэВ. Толщина фоточувствительного слоя 12 мкм. Диэлектрическое покрытие SiO₂+Si₃N₄. Гибридизация осуществляется через индиевые контакты. Длина волны в максимуме спектральной чувствительности - 9,8÷10,1 мкм. Длинноволновая граница спектральной чувствительности - $\lambda_{0,1}=12,5$ мкм. Среднеквадратичное отклонение чувствительности от среднего значения менее 20%. Количество дефектных элементов <15%.

Схема считывания изготовлена по n-канальной, двухфазной ПЗС-технологии. Входной каскад организован на основе метода прямой инжекции (МОП-транзистор на входе) и обеспечивает управление временем накопления, режимами деления (partition) и вычитания постоянной составляющей (skimming) входного заряда, задает рабочую точку фотодиодов. Разброс пороговых напряжений входных транзисторов не превышает 15мВ, нелинейность передаточных характеристик заряд-напряжение менее 2%. Выходная информация о 288 каналах формируется из данных от 1152 фоточувствительных элементов благодаря ВЗН по четырем элементам. 288 выходных информационных сигналов сгруппированы по 18 и выводятся по 16 аналоговым выходам на максимальной частоте 2 МГц. Максимальная скорость строчной развертки составляла 100 кГц.

По результатам измерений средняя удельная обнаружительная способность в режиме деления заряда в максимуме спектральной чувствительности ФПУ D_{λ}^* (апертура 28°×64° для центральных элементов, T_{фона}=295К) составляет не менее $1,8 \times 10^{11} \text{ смВТ}^{-1} \text{ Гц}^{1/2}$. Среднеквадратичное отклонение D_{λ}^* по работающим каналам <20%, количество дефектных каналов не более 10%.

Результаты измерения ФПУ выявили высокое значение D_{λ}^* в сравнении с теоретическим пределом для диодов без антиотражающих покрытий. Полученные результаты объясняются тем, что эффективная фоточувствительная площадь больше площади физически сформированного p-n перехода, из-за большой диффузионной длины неосновных носителей заряда.

У10. Матричное фотоприемное устройство формата 2х96 (4х48) на основе фотодиодов из КРТ и кремниевых охлаждаемых мультиплексоров на спектральный диапазон 8 – 12 мкм

Стафеев В.И., Соляков В.Н., Мансветов Н.Г., Болтарь К.О., Бурлаков И.Д., Головин С.В., Иванов В.Ю., Климанов Е.А., Акимов В.М., Трошкин Ю.С.

ГНЦ ГУП НПО «Орион», Москва, Россия

В работе приведены результаты разработки, исследований и испытаний матричного фотоприемного устройства (МФПУ) формата 2х96 (4х48) на спектральный диапазон 8-12 мкм. Охлаждаемый фотоприемный модуль представляет собой гибридную сборку матричного фоточувствительного элемента (МФЧЭ) и двух чипов охлаждаемой кремниевой БИС на сапфировом растре. Охлаждаемый фотоприемный модуль располагается в вакуумном криостатируемом корпусе, предназначенном для работы с дроссельной системой охлаждения. Теплопритоки корпуса не превышают 0,4 Вт. Конструкция корпуса допускает использование микрокриогенных систем охлаждения на основе газовых криогенных машин, работающих по циклу Стирлинга. Рабочая температура охлаждаемого модуля составляет (77-80)К. Рабочий диапазон температуры окружающей среды составляет $-60 \div +70$ °С.

МФЧЭ выполнен на основе КРТ фотодиодов и содержит четыре ряда по 48 отдельных фоточувствительных элементов (ФЧЭ). Разработаны варианты топологии МФЧЭ с шахматным и регулярным расположением фотодиодов. Для шахматного расположения ФЧЭ при сканировании изображения за один проход формируется 96 строк изображения, при этом реализуется режим временной задержки и накопления с суммированием сигналов от двух ФЧЭ. При регулярном расположении ФЧЭ за один проход сканирования формируется 48 строк изображения, суммирование сигналов при этом проводится по 4-м ФЧЭ. Шаг ФЧЭ составляет 60 мкм вдоль и поперек линеек, эффективные размеры отдельных ФЧЭ составляют (35×35) мкм².

Чипы кремниевых БИС обеспечивают считывание, интегрирование, усиление и мультиплексирование сигналов отдельных ФЧЭ на четыре выходных шины. Для организации процессов в БИС используются четыре тактовых сигнала, четыре напряжения питания, два из которых обеспечивают подачу напряжений смещения на ФЧЭ и должны иметь низкие значения пульсаций.

Фотоэлектрические параметры МФПУ характеризуются значением удельной обнаружительной способности всех каналов МФПУ после суммирования в режиме ВЗН не ниже $5 \cdot 10^{10}$ Вт⁻¹см Гц^{1/2} для шахматного расположения ФЧЭ и суммировании сигналов по 2-м элементам канала и не ниже $7 \cdot 10^{10}$ Вт⁻¹см Гц^{1/2} для регулярного расположения ФЧЭ и суммировании сигналов по 4-м элементам канала. Вольтовая чувствительность составляет не менее $3 \cdot 10^6$ В/Вт, разброс вольтовой чувствительности (среднеквадратичное значение) не превышает 20 %.

У11. Результаты разработки и исследований модуля многорядного матричного фотоприемного устройства формата 2x256 на спектральный диапазон 8 – 12 мкм с охлаждаемыми кремниевыми схемами предварительной обработки и мультиплексирования сигналов в фокальной плоскости

Сагинов Л.Д., Соляков В.Н., Мансветов Н.Г., Бурлаков И.Д., Болтарь К.О., Климанов Е.А., Акимов В.М., Шебанова Н.М., Трошкин Ю.С.

ГНЦ ГУП НПО «Орион», Москва, Россия

В работе приведены результаты разработки, исследований и испытаний матричного фотоприемного устройства (МФПУ) формата 2x256 на спектральный диапазон 8-12 мкм. Охлаждаемый фотоприемный модуль представляет собой гибридную сборку матричного фоточувствительного элемента (МФЧЭ) и двух чипов охлаждаемой кремниевой БИС на сапфировом растре. Охлаждаемый фотоприемный модуль располагается в вакуумном криостатируемом корпусе, предназначенном для работы с микрокриогенной системой охлаждения на основе газовых криогенных машин, работающих по циклу Стирлинга. Теплопритоки корпуса не превышают 0,4 Вт. Рабочая температура охлаждаемого модуля составляет (77-80)К. Рабочий диапазон температуры окружающей среды составляет – 60÷+65°С.

МФЧЭ выполнен на основе КРТ фотодиодов и содержит четыре линейки по 128 отдельных фоточувствительных элементов (ФЧЭ), при этом две линейки сдвинуты на половину шага относительно других двух линеек (шахматное расположение ФЧЭ). При сканировании изображения в направлении, перпендикулярном линейкам за один проход формируется 256 строк изображения, при этом реализуется режим временной задержки и накопления (ВЗН) с суммированием сигналов от двух ФЧЭ. Шаг ФЧЭ составляет 70 мкм вдоль и поперек линеек, эффективные размеры отдельных ФЧЭ составляют $(35\pm 5)\times(35\pm 5)$ мкм².

Чипы кремниевых БИС обеспечивают считывание, интегрирование, усиление и мультиплексирование сигналов отдельных ФЧЭ на четыре выходные шины. Для организации процессов в БИС используются четыре тактовых сигнала, четыре напряжения питания, два из которых обеспечивают подачу напряжений смещения на ФЧЭ и должны иметь низкие значения пульсаций.

Фотоэлектрические параметры МФПУ характеризуются значением удельной обнаружительной способности D^* всех каналов МФПУ после суммирования в режиме ВЗН не ниже $5\cdot 10^{10}$ Вт⁻¹см Гц^{1/2} (среднее значение). Число каналов с $D^* < 2\cdot 10^{10}$ Вт⁻¹см Гц^{1/2} не превышает 15. Вольтовая чувствительность составляет не менее $1\cdot 10^7$ В/Вт при времени интегрирования фототока 25 мкс, разброс вольтовой чувствительности (среднеквадратичное значение) не превышает 30 %.

У12. Матричный фотоприемник формата 128x128 на основе фотодиодов в эпитаксиальном слое КРТ, выращенном методом эпитаксии из металлоорганических соединений

Болтарь К.О., Яковлева Н.И., Расструева О.Н., Пономаренко В.П., Стафеев В.И.,
Бурлаков И.Д., ¹Моисеев А.Н., ¹Котков А.П., ¹Дорофеев В.В.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

¹Институт химии высокочистых веществ РАН, Н.-Новгород, Россия

Исследованы характеристики матричных фотоприемников (МФП) диапазона 8-12 мкм формата 128x128, изготовленных на эпитаксиальных слоях соединения кадмий-ртуть-теллур (КРТ), выращенных методом химического осаждения из паров металлоорганических соединений и ртути (МОС) на подложках GaAs ориентации (100) и (111)В при пониженном давлении (0,2 атм.) и температуре 350°C.

Мольная доля CdTe в эпитаксиальных слоях $Cd_xHg_{1-x}Te$ толщиной 8 мкм составляла $x=0,27-0,30$. Концентрация носителей в материале р-типа составляла величину $\sim 10^{16} \text{ см}^{-3}$, а подвижность $\sim 400 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ при временах жизни неосновных носителей заряда 20-30 наносекунд.

МФП формата 128x128 состоит из матрицы фотодиодов, сформированных в эпитаксиальном слое КРТ р-типа проводимости. Размеры площадок р-п-перехода, составляли 18x18 мкм, размеры индивидуальных столбчатых контактов – 20x20 мкм. Кремниевая схема считывания сигналов изготовлена по n-МОП технологии и осуществляет построчное накопление и считывание сигналов матрицы фотодиодов. МФП предназначен для изготовления МФПУ в корпусе с термоэлектрическим охлаждением. Поэтому наиболее интересны его характеристики при температурах 190÷210К.

Измерены гистограммы и диаграммы распределения по МФП тока фотодиодов в рабочей точке, фоточувствительности и удельной обнаружительной способности D^* МФП с граничной длиной волны по уровню $\lambda_{0,5}=5,1 \text{ мкм}$. Среднее значение удельной обнаружительной способности D^* при $T=200\text{К}$, составляет $2,7 \cdot 10^{10} \text{ Вт}^{-1} \text{ см Гц}^{1/2}$.

У13. Микроминиатюрные полупроводниковые охладители для приемников излучения

Булат Л.П.¹, Шер Э.М.²

¹*С.-Петербургский государственный университет низкотемпературных
и пищевых технологий, С.-Петербург, Россия*

²*Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН, С.-Петербург, Россия*

Известно, что наилучшие параметры большинства приемников излучения могут быть получены при пониженных температурах. Максимальная обнаружительная способность полупроводниковых фотоприемников достигается в диапазоне температур 80 – 300⁰К в зависимости от материала и спектрального диапазона.

Из-за малых размеров приемников излучения обычные методы получения низких температур, такие как использование сжиженных газов и криогенной техники, становятся трудноосуществимыми и малоэффективными. В данных условиях термоэлектрический метод как нельзя лучше подходит для охлаждения приемников излучения с точки зрения стоимости и эффективности. К неоспоримым преимуществам данного метода относятся как угодно малые габариты охладителя, большой ресурс работы, долговечность, отсутствие движущихся частей, произвольная ориентация в пространстве, технологическая гибкость конструкции, простота управления и абсолютная экологическая чистота.

С другой стороны, тенденция микроминиатюризации элементов электроники, в том числе приемников излучения, требует микроминиатюризации и термоэлектрических охладителей. Последние годы ведутся активные работы по созданию микроминиатюрных термоэлектрических охлаждающих устройств. Одно из направлений миниатюризации связано с применением современных пленочных технологий для создания квантовых сверхрешеток, которые используются в качестве новых термоэлектрических материалов. Толщины подобных пленок, которые рассматриваются в качестве активных элементов для термоэлектрических охладителей чипов, достигают сотен нанометров при длине и ширине порядка десятков микрон. В 2001 г. в США был получен новый пленочный материал, термоэлектрическая эффективность которого по оценкам в 2,5 раза выше, чем эффективность лучших известных полупроводников.

В настоящей работе приведен обзор новых результатов в области пленочных технологий, связанных с созданием микроминиатюрных термоэлектрических охладителей для электроники, и изучаются возможности и перспективы использования этих технологий для охлаждения приемников излучения. Представлены некоторые теоретические результаты нелинейной и нелокальной теории термоэлектрических явлений в микроминиатюрных охладителях. Установлены критерии применимости традиционного подхода к расчету охладителей, выявлены пути улучшения их энергетических характеристик.

У14. Трехкаскадный термоэлектрический модуль на уровень температуры ~200К

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

Институт фотоэлектроники НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан

Разработан, изготовлен и испытан трехкаскадный термоэлектрический модуль со следующими основными параметрами: при температуре окружающей среды $295\pm 2\text{K}$ температуре теплопоглощающей поверхности $T_{\text{ex}} = 200\pm 1\text{K}$; холодопроизводительность ~ 100 мВт; потребляемая мощность $\sim 4,2$ Вт; ток питания 1,9-2,0 А; время выхода на режим $\tau \approx 70$ с; площадь теплопоглощающей поверхности $3,5 \times 3,5$ мм²; общее количество термоэлементов 29.

По основным параметрам, особенно по T_x , τ и по себестоимости, модуль превосходит свои аналоги. Такое преимущество обеспечено тем, что: а) термоэлементы изготовлены из механически более прочных экструдированных материалов на основе твердых растворов р- $\text{Bi}_{0,5}\text{Sb}_{1,5}\text{Te}_3$ и n- $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$; б) трехкаскадный модуль собран по разработанной нами методике за один технологический прием.

Применение экструдированного материала повысило процент выхода, пригодных для сборки модуля термоэлементов. Разработанный технологический прием сборки модуля позволяет исключить часть (два из четырех) межкаскадных керамических теплопереходов, что приводит к снижению себестоимости, улучшению теплосъема с горячих спаев термоэлементов и, следовательно, к улучшению термоэлектрических параметров модуля.

Разработанный модуль может применяться в фотоприемниках для охлаждения фоточувствительных элементов с тепловой нагрузкой ≤ 100 мВт до $\sim 200\text{K}$.

У15. Результаты разработки быстродействующей микрокриогенной системы для фотоприемного устройства с охлаждаемой массой 0,5 ÷ 1,5 г

Громов Э.А., Ермаков В.М., Гаврин Е.А., Кочурин А.В.

ООО “НТК Криогенная техника”, Омск, Россия

В докладе приводятся результаты работ по созданию быстродействующей баллонной дроссельной микрокриогенной системы (БДМКС), укомплектованной микроохладителем (МО) с отводом жидкости, предназначенной для охлаждения многоэлементных матричных приемников ИК-излучения. Рассматриваются вопросы создания теплообменного аппарата и условий интенсивного отвода тепла от объекта охлаждения, сокращения охлаждаемой массы фотоприемного устройства (ФПУ).

Непременным условием эффективной работы автономных систем самонаведения является короткий период достижения заданной чувствительности или время выхода на рабочий режим. Для существующих изделий оно составляет 3-5 сек и обеспечивается разомкнутыми БДМКС с МО ожигительного типа. На этапе пуска холодопроизводительность таких систем прямо пропорциональна охлаждаемой массе ФПУ и обратно пропорциональна времени выхода. После выхода на режим холодопроизводительность системы определяется теплопритоками из окружающей среды и тепловыделениями ФПУ. За последнее десятилетие при проектировании самонаводящихся устройств возрос интерес к многоплощадочным ФПУ, охлаждаемая масса которых достигает 1,5 г. Для сохранения достигнутого уровня времени пуска на матричных ФПУ недостаточно простого увеличения холодопроизводительности БДМКС [1]. Необходимо создать условия интенсивного отвода тепла от объекта охлаждения при характерно малых площадях теплового контакта криоагента с дном ФПУ. Задачу удалось решить путем установки на дно ФПУ пористой таблетки [2].

Кроме того, для достижения минимального времени пуска при изготовлении корпусных деталей тепловых макетов ФПУ использованы теплоизолирующие материалы, а снятие тепла производилось непосредственно с объекта охлаждения.

В докладе приведены результаты испытаний БДМКС с тепловыми макетами ФПУ имеющими приведенную охлаждаемую массу 0,5 и 1,5 г.

Список литературы

1 Громов Э.А., Ермаков В.М., Гаврин Е.А., Кочурин А.В. Некоторые вопросы создания быстродействующих баллонных криогенных систем // Прикладная физика, №6, 2000.

2 Грезин А.К., Ермаков В.М., Громов Э.А., Гаврин Е.А., Кочурин А.В. Быстродействующие дроссельные микрокриогенные системы // Современные технологии при создании продукции военного и гражданского назначения. Тез. докл. Омск, 2001. – с.170-171.

У16. Результаты разработки заправщика баллонных систем охлаждения тепловизионных приборов

Ильин В.М., Березин И.С., Гаврин Е.А., Ермаков В.М., Калинин В.В., Михалев А.В., Шмидт К.А.

ООО НТК «Криогенная техника», Омск, Россия

Полевой автономный воздушный заправщик предназначен для получения очищенного воздуха высокого давления и заправки баллонов дроссельных микрокриогенных систем, применяемых для охлаждения чувствительных элементов тепловизионных приборов систем наблюдения и прицеливания.

В докладе представлены результаты разработки и испытаний основных узлов заправщика: компрессора, системы очистки, узла заправки баллонов.

Компрессор высокого давления с приводом от двигателя внутреннего сгорания, содержит две поршневые и мембранную ступени сжатия и обладает производительностью 1,5 м³/ч, что достаточно для обеспечения эксплуатации нескольких десятков систем охлаждения в условиях отсутствия внешнего энергопитания.

Комбинированная система очистки воздуха включает в себя узел предварительной осушки, работающий по методу короткоциклового безнагревной адсорбции, сменные фильтры химического и адсорбционного типов. Расположение элементов системы очистки в области низких и средних давлений обеспечивает малую длительность пускового периода. Эффективность очистки во всем диапазоне рабочих температур подтверждена испытаниями.

Узел заправки содержит устройство автоматического регулирования давления заправки в зависимости от температуры окружающей среды и обеспечивает возможность одновременного заполнения 3 баллонов.

Ориентировочные показатели заправщика представлены в таблице.

Таблица

Максимальное количество заполняемых за 1 час. баллонов вместимостью 0,75 л	5
Максимальное давление заправки, МПа	40,0
Количество одновременно заполняемых баллонов, шт.	3
Периодичность замены фильтров, ч	50
Расход топлива, л/ч	2
Ориентировочная масса, кг	100
Габаритные размеры, мм	700x500x600

У17П. Состояние работ и перспективы развития термоэлектрического охлаждения для фотоэлектрических полупроводниковых приемников излучения

Аракелов Г. А.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Проблемы создания и внедрения в опытное и серийное производство фотоэлектрических полупроводниковых приемников излучения (ФЭПИ) на базе термоэлектрических охладителей (ТЭО) всегда вызывали повышенный интерес разработчиков охлаждаемых приборов рассматриваемого класса.

Технический уровень ФЭПИ с ТЭО в основном определяются двумя факторами: добротностью Z применяемых термоэлектрических материалов (ТЭМ) и степенью конструкторско-технологического совершенства как ТЭО в отдельности, так и ФЭПИ в целом. Исследования сверхрешеток с квантовыми ямами позволили реализовать Z в 3-6 раз больше, чем у известных ТЭМ на базе Bi_2Te_3 и Sb_2Te_3 . Такой огромный успех в создании новых ТЭМ открывает широкие перспективы для нового качественного прорыва в этой области науки и техники.

В плане конструкторско-технологической оптимизации рассматриваемых изделий в настоящее время предпочтение завоевали многоплощадочные вакуумные ФЭПИ на базе многокаскадных микроминиатюрных ТЭО.

У18. Полупроводниковая фототермобатарея с двух - и многокаскадным фотопреобразователем

Камолов А.А., Касымахунова А.М., Рахимов Н.Р., Мамадалиева Л.К.

Ферганский политехнический институт, Фергана, Республика Узбекистан

Многим исследователям фотоэлектрической энергетики известна эффективность и экономическая целесообразность использования комбинированных полупроводниковых приборов - фототермобатарей (ФТБ) в малой энергетике.

В настоящем сообщении приводятся результаты теоретического исследования многокаскадной ФТБ, разработки конструкции и многостороннее исследование энергетических, оптических и эксплуатационных параметров высокоэффективной фототермобатареи с двухкаскадным фотопреобразователем.

Рекомендуемая конструкция фототермобатареи состоит из двухкаскадного фотоэлектрического преобразователя, в котором в качестве широкозонного элемента используется прозрачный в инфракрасной области спектра $pGaAlAs-p-GaAs-nGaAs$ солнечный элемент (СЭ), узкозонного $-n^+-p-p^+$ кремниевый СЭ.

В используемой конструкции каскадного фотопреобразователя элементы располагаются друг под другом и реализуется монолитно-пропускной вариант каскадного солнечного элемента. Максимальное пропускание верхнего слоя достигнуто снижением отражения от лицевой и тыльной поверхностей структуры. Для уменьшения отражения на лицевую и тыльную поверхности нанесено просветляющее покрытие из $ZnSe$. Оптимальная толщина покрытия на лицевой стороне выбралась из условия получения минимального отражения при $\lambda \sim 0,80$ мкм, соответствующей максимальной спектральной чувствительности солнечного элемента, созданного на основе гетероструктуры. Толщина просветляющего покрытия на тыльной стороне была выбрана из условия минимального отражения при длине волны, соответствующей максимуму спектральной чувствительности указанного элемента, помещенного в каскад в случае кремниевого ФЭП, $\lambda \sim 0,95$ мкм.

Для термоэлектрической части брались высокоэффективные термоэлектрические материалы на основе тройного сплава теллурида висмута и сурьмы. Термоэлектрическая добротность данного полупроводникового соединения равна $Z=3,10^{-3}$ град.

Получены следующие основные результаты:

- увеличение числа каскадов при фиксированных значениях температуры приводит к заметному росту к.п.д. образцов с ростом температуры η источника излучения. Но при сравнительно низких температурах вклад третьих и далее каскадов в общий к.п.д. оказывается незначительным.
- максимальное значение η_c , определяемого через соотношения мощности солнечного излучения W_0 (т.е. $\eta_c = W_0/W$) при значении $x_0 = E_g/kT_u = 2,2$, равняется 0,42. Дальнейшее увеличение параметра x_0 приводит к резкому снижению значения η_c .
- исследованы варианты каскадирования, отличающиеся между собой по соответствующим наибольшим значениям к.п.д. Чрезмерное увеличение числа каскадов приводит к насыщению роста к.п.д.
- фототермоэлемент выполненный из двухкаскадного фотопреобразователя на основе $pCaAlAs-pGaAs-nCaAs$ и кремниевого n^+-p-p^+ ФЭП является более эффективным по сравнению с ТЭП, выполненным на основе однокаскадных гетерофотоэлементов.

У19П. ИК-фотоприемники на квантовых ямах и квантовых точках: физические аспекты работы и моделирования

Рыжий В.¹, Рыжий М.¹, Хмырова И.¹, Сурис Р.², Митин В.³, Шур М.⁴

¹*University of Aizu, Aizu-Wakamatsu, Japan*

²*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, С.-Петербург, Россия*

³*Wayne State University, Detroit, USA*

⁴*Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, USA*

ИК-фотоприемники на квантовых ямах, использующие переходы электронов между промежуточными подзонами, находят все большее использование в различных областях. Тепловидение в настоящее время является основной областью применения ИК-матриц на квантовых ямах. Изготовленные и экспериментально исследованные ИК-приемники на квантовых ямах уже охватывают спектральный диапазон от нескольких микрон до 35 мкм. ИК-приемники на квантовых ямах анализировались во многих статьях. Однако, физические аспекты, связанные с работой ИК-приемников на квантовых ямах, все еще являются предметом больших исследований. Один из представленных здесь авторов утверждает, что замена квантовых ям матрицами из квантовых точек может значительно улучшить фотоприемники с переходами электронов между промежуточными подзонами. В частности, ИК-фотоприемники на квантовых точках, будучи чувствительными к перпендикулярно падающему излучению, могут демонстрировать более высокое фотоэлектрическое усиление и другие характеристики.

В данной статье мы даем обзор теоретических результатов и результатов, базирующихся на компьютерном моделировании, касающихся физических аспектов работы ИК-приемников на квантовых ямах и квантовых точках, обращая особое внимание на следующее:

- влияние нагрева электронов на захват электронов в квантовые ямы;
- происхождение крутого подъема зависимости темного тока от напряжения и фототока от напряжения для ИК-приемников на квантовых ямах;
- перезарядка нестабильности и формирование периодических областей электрического поля в ИК-приемниках на квантовых ямах;
- характерные особенности процессов захвата электронов в ИК-приемниках на квантовых точках и характеристики зависимости темного тока от напряжения и фототока от напряжения;
- сравнение ИК-приемников на квантовых ямах с ИК-приемниками на квантовых точках.

Мы также рассматриваем некоторые более сложные устройства, базирующиеся на ИК-приемниках на квантовых ямах и ИК-приемниках на квантовых точках для фокальных матриц и микроволновой фотоники и анализируем их потенциальные возможности:

- фототранзисторы Дарлингтона на квантовых ямах и на квантовых точках;
- конвертер, преобразующий средневолновое ИК-излучение в ближневолновое ИК-излучение, базирующийся на интеграции ИК-приемника на квантовых ямах (или ИК-приемника на квантовых точках) со светоизлучающим диодом;
- устройства формирования изображения без пикселей системами ИК-приемник на квантовых ямах – светодиод и ИК-приемник на квантовых точках – светодиод;
- терагерцевый фотомиксер на основе ИК-приемника на квантовых ямах, использующий поглощение фотонов с близкими энергиями и возбуждение волн плазмы.

У20П. ИК-фотопроводники на квантовых ямах в технологии создания ИК-приемников

Рогальский А.

Институт прикладной физики, Военный университет технологии, Варшава, Польша

Представлены исследования характеристик ИК-фотоприемников на квантовых ямах в сравнении с другими типами полупроводниковых ИК-приемников. Сравниваются характеристики фотонных и тепловых приемников. Больше внимание уделено фотонным приемникам, среди них мы различаем: фотодиоды на базе HgCdTe, фотодиоды на базе InSb и приемники, легированные кремнием. Особое внимание было уделено конкурирующим технологиям в ИК-диапазоне на длинных и очень длинных волнах, упор делался на свойства материалов, структуру устройств и их влияние на характеристики фокальных матриц. Изучаются потенциальные характеристики различных материалов в качестве ИК-приемников с использованием отношения α/G , где α - коэффициент поглощения, а G - тепловая генерация.

Из обсуждения следует, что ИК-приемник на квантовых ямах, предназначенный для работы на длинных волнах, не может конкурировать с фотодиодом на базе HgCdTe в качестве единственного устройства, особенно при более высоких рабочих температурах ($>70\text{K}$) из-за серьезных ограничений, связанных с переходами между субзонами. Однако преимущество HgCdTe менее заметно в диапазоне температур ниже 50K из-за проблем, связанных с материалом HgCdTe (легирование р-типа, рекомбинация Шокли-Рида, туннелирование с помощью ловушек, нестабильность на поверхности и на границе раздела).

Даже если ИК-приемник на квантовых ямах является фотоприемником, некоторые его свойства, такие как высокий импеданс, время быстроты реакции и небольшое потребление энергии, хорошо соответствуют требованиям создания больших фокальных матриц. Благодаря высокому качеству материала при низких температурах ИК-приемники на квантовых ямах имеют потенциальные преимущества по сравнению с приемниками на базе HgCdTe для применения ИК-фокальных матриц в диапазоне очень длинных волн. К таким преимуществам относятся: размер матрицы, однородность, выход годных и стоимость систем. Фокальные матрицы ИК-приемников на квантовых ямах объединяют преимущества матриц из PtSi с барьером Шоттки (высокая однородность, большой выход годных, устойчивость к радиации, большие размеры матрицы, меньшая стоимость) с преимуществами HgCdTe (высокая квантовая эффективность и чувствительность на длинных волнах).

Состояние технологии изготовления фокальных матриц ИК-приемников на квантовых ямах и на базе HgCdTe обеспечивает показатель качества подобных характеристик, потому что они ограничены, в основном, схемами считывания. Эти характеристики, однако, достигаются при очень разном времени интеграции. Решение о применении наилучшей технологии поэтому выбирается в зависимости от специальных потребностей системы.

У21. Фоточувствительность структур с квантовыми ямами, выращенных методом МОС-гидридной эпитаксии, при нормальном падении излучения

Куликов В.Б.*, Аветисян Г.Х.*, Тэгай В.А.*, Василевская Л.М.*,
Залевский И.Д.**, Будкин И.В.**

**ГУП НПП «Пульсар», Россия, Москва*

***АО «Сигма-Плюс», Россия, Москва*

Основные успехи в области разработки приборов на основе структур с квантовыми ямами (MQW) связаны с использованием молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Однако наряду с МЛЭ в последнее время для выращивания СКЯ все больше используют газовую эпитаксию из металлоорганических соединений (МОСГЭ), обладающую большей производительностью, чем МЛЭ.

Наш опыт работы с фотоприемниками (ФП) на основе СКЯ, выращенных методом МОСГЭ, показывает, что такие ФП обладают рядом отличий от аналогов из СКЯ, выращенных МЛЭ. К таким отличиям следует отнести более существенную несимметричность ВАХ, наличие значительной фоточувствительности при нормальном падении излучения без специальных устройств ввода. Указанные отличия связаны, на наш взгляд, с особенностями МОСГЭ. В настоящей работе представлены результаты экспериментального исследования ФП на основе СКЯ, полученных методом МОСГЭ, обсуждается их связь с особенностями СКЯ, обусловленными процессом МОСГЭ.

У22. Фотоэлектрические характеристики структур с квантовыми ямами, чувствительных в диапазоне 3-5 мкм, выращенных методом МОС-гидридной эпитаксии

Будкин И.В.* , Булаев П.В.* , Василевская Л.М., Залевский И.Д.* , Кузнецов Ю.А.,
Куликов В.Б., Мармалюк А.А.* , Никитин Д.Б.* , Падалица А.А.* ,
Петровский А.В.* , А.И. Хатунцев.

*ГУП НПП "Пульсар", Москва; Россия
ООО "Сигма-Плюс", Москва, Россия

Одним из перспективнейших материалов для создания ИК-фотоприемников на спектральный диапазон 3-5 мкм являются гетероструктуры с множественными квантовыми ямами (ГС-МКЯ) на основе системы InGaAs/AlGaAs/GaAs.

В данной работе предпринята попытка создания ГС-МКЯ, чувствительных в диапазоне 3-5 мкм, методом МОС-гидридной эпитаксии (МОСГЭ) при пониженном давлении и исследования фотоэлектрических характеристик ФП, изготовленных на их основе. ГС-МКЯ состояла из активной области, содержащей 30-50 периодов сверхрешетки InGaAs/AlGaAs, помещенной между контактными слоями n-GaAs. Толщина барьера AlGaAs составляла 400Å, а толщина квантовой ямы варьировалась в диапазоне 25-45Å. ГС-МКЯ выращивали методом МОСГЭ на установке "СИГМОС-130". Температура роста изменялась в диапазоне 700-770°C, давление в реакторе поддерживалось на уровне 60 мм.рт.ст., а скорость роста находилась в пределах 4-6Å/с.

Для выявления взаимосвязи между геометрией ГС-МКЯ и параметрами МОСГЭ из выращенных ГС-МКЯ были изготовлены тестовые ФП площадью 400×400 мкм².

На тестовых образцах измерялись фотоэлектрические характеристики: спектр фоточувствительности, темновые ВАХ, зависимость сигнала и шума от приложенного к образцу напряжения.

Установлена закономерность сдвига максимума спектра фоточувствительности от геометрии ГС-МКЯ. Показано, что сдвиг в коротковолновую часть спектра достигается увеличением содержания InAs в квантовой яме при заданной ее ширине. Определено влияние параметров роста и геометрии ГС-МКЯ на величины шумовых и сигнальных токов, темновых ВАХ. Продемонстрирован тестовый ФП с обнаружительной способностью $D^*=5,65 \times 10^9$ смГц^{1/2}Вт⁻¹ в максимуме чувствительности $\lambda=5,2$ мкм при T=77К.

Представленные результаты указывают на потенциальную возможность создания ИК-ФП чувствительных в области 3-5 мкм на основе системы InGaAs/AlGaAs/GaAs, а так же двухспектральных ИК-ФП на подложках GaAs.

У23. Инфракрасный фотоприемник на основе структур с квантовыми проволоками

Гусейнов Э.К., Салманов В.М.*

*Институт фотоэлектроники НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан
Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

Рассмотрена оригинальная технология изготовления ИК-фотоприемника, основанного на эффекте обработки сигнала внутри элемента. По своим характеристикам полоски фоторезисторов в количестве $10 \div 16$ чувствительных элементов, действующих на принципе последовательного сканирования, подобны SPRITE фотоприемникам. В этих фотоприемниках задержка и усиление сигнала осуществляются непосредственно внутри элемента, что приводит к понижению тепловых притоков вследствие уменьшения числа подводящих электродов. Тем самым уменьшается число предусилителей, а также линий задержки, что значительно упрощает схему обработки сигнала.

В отличие от обычных SPRITE приборов, в которых в качестве чувствительных элементов используются узкие протяженные полупроводниковые полоски ($\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$), в рассматриваемом варианте прибора применяется структура с квантовыми проволоками. Рассматриваемая структура создается на предварительно гофрированной подложке из GaAs с буферными слоями ZnSe и CdTe. Поверх этих слоев методом молекулярно-лучевой эпитаксии последовательно выращиваются барьерный слой $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ состава $x=0,85$, а затем слой $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ состава $x=0,27$, сохраняя при этом протяженность и число элементов матрицы, рекомендуемых теорией для удовлетворения требований телевизионного стандарта.

Проведен общий анализ характеристик SPRITE - фотоприемника на основе структуры с квантовыми проволоками.

У24. Фотоэлектрические характеристики структур с прямоугольными квантовыми ямами

Куликов В.Б.*, Будкин И.В.**

**ГУП НПП «Пульсар», Москва, Россия*

***АО «Сигма-Плюс», Москва, Россия*

При аналитическом описании основных характеристик структур с квантовыми ямами (СКЯ), например, вольт-амперных характеристик (ВАХ), обычно используют в качестве модели ямы с прямоугольными и симметричными стенками. Однако отклонения экспериментальных характеристик реальных СКЯ от аналитических зависимостей позволяют сделать предположение, что реальные СКЯ не являются ни прямоугольными, ни даже симметричными. Изучение механизмов влияния непрямоугольности ям на характеристики СКЯ позволило бы определить методы компенсации этого влияния путем введения изменений в процесс роста.

В настоящей работе дано аналитическое описание ВАХ, полевых зависимостей чувствительности и соотношения сигнал/шум непрямоугольных СКЯ. Результаты аналитического рассмотрения сопоставляются с экспериментальными данными. Рассмотрены возможные пути компенсации влияния непрямоугольности стенок ям на характеристики СКЯ.

У25. Высокоэффективные фотодиоды на основе гетероструктур GaInAsSb/GaAlAsSb с длинноволновой границей спектральной чувствительности 2,4-2,55 мкм

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

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

Спектральный диапазон 1,5-3,0 мкм представляет значительный интерес для разработчиков аппаратуры, применяемой в лазерной диодной спектроскопии газов и молекул, системах лазерной дальнометрии и локации, медицинской аппаратуре, аппаратуре экологического мониторинга. Одним из наиболее перспективных полупроводниковых материалов для создания оптоэлектронных приборов данного спектрального диапазона являются многокомпонентные твердые растворы GaInAsSb, изопериодные с GaSb.

В данной работе представлены результаты исследований, направленных на создание высокоэффективных фотодиодов с длинноволновой границей спектральной чувствительности 2,4-2,55 мкм. Нами разработана широкая гамма фотодиодов на основе гетероструктур GaInAsSb/GaAlAsSb с диаметрами фоточувствительной площадки от 0,075 мм до 2,8 мм. Фотодиоды обладают высокой токовой монохроматической чувствительностью в максимуме спектра – 1,0-1,2 А/Вт при $\lambda_{\max}=2,1-2,3$ мкм, низким значением плотности обратных темновых токов – $(1-3)\times 10^{-3}$ А/см² при обратном смещении 0,2-0,5В. Обнаружительная способность в максимуме спектральной чувствительности достигает величины $(5-8)\times 10^{10}$ см²Вт⁻¹Гц^{1/2}. Отличительной особенностью фотодиодов является высокое быстродействие – полоса пропускания фотодиодов с площадкой 0,075 мкм достигает значений 1,5-2 ГГц.

У26. Многоэлементный кодовый фотоприемник для обнаружения лазерного излучения с длиной волны 1,54 мкм

Воронова М.А., Деготь Ю.М., Забенькин О.Н., Кичина Н.Н., Кравченко Н.В.,
Кулыманов А.В., Лобиков Ю.В., Огнева О.В., Трищенко М.А.,
Хакуашев П.Е., Чинарева И.В.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Представлены результаты разработки многоэлементного фотоприемника с кодом Грея для обнаружения лазерного излучения с длиной волны 1,54 мкм.

В качестве исходного материала используется монокристаллический германий n-типа проводимости с удельным сопротивлением 0,3 Ом.см.

ФП состоит из восьми элементов, расположенных параллельно друг другу. Ширина каждого элемента – 0,35 мм, общая длина элемента – 6 мм. Активная площадь прибора – 75 мм². ФП создавался по планарной технологии с использованием для формирования фоточувствительных областей имплантации ионов бора. В качестве маскирующего, защитного и просветляющего покрытий применялась пленка двуокиси кремния, осаждаемая из газовой фазы. Омические контакты создавались напылением в вакууме двухслойной системы «титан-золото».

Токовая монохроматическая чувствительность на длинах волн 1,06 и 1,54 мкм - не менее 0,2 А/Вт, уровень темнового тока составлял 5-20 мкА, уровень емкости – 700-900 пФ при рабочем напряжении 0,2 В.

У27. Планарный германиевый р-п фотодиод большой площади

Деготь Ю.М., Забенькин О.Н., Захарова М.А., Кичина Н.Н., Кравченко Н.В.,
Кулыманов А.В., Лобиков Ю.В., Огнева О.В., Тришенков М.А.,
Хакуашев П.Е., Чинарева И.В.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Представлены основные результаты изготовления германиевого р-п фотодиода с диаметром фоточувствительной площадки 1,1 мм для регистрации излучения с длинами волн 1,06 мкм и 1,55 мкм.

Для изготовления прибора использовался монокристаллический германий n-типа проводимости с удельным сопротивлением 0,3 Ом.см.

Фоточувствительная область создавалась имплантацией ионов бора. Для предотвращения краевого пробоя указанная область окружалась охранным кольцом, формируемым имплантацией ионов бериллия. Все процессы ионной имплантации выполнялись через маску в фоторезисте. В качестве защитного и прорезающего покрытий использовалась пленка двуокиси кремния, осаждаемая из газовой фазы. Омические контакты создавались напылением в вакууме двухслойной системы «титан-золото».

Токовая монохроматическая чувствительность прибора на длине волны 1,06 мкм составляла не менее 0,4 А/Вт, на длине 1,55 мкм – не менее 0,7 А/Вт; темновой ток – не более 5 мкА, емкость – не более 80 пФ при рабочем напряжении – 10 В.

У28. Фотоприёмники и фотоприёмные устройства для приёма импульсного излучения в спектральном диапазоне 0,3—11 мкм

Филачев А.М., Пономаренко В.П., Таубкин И.И., Бурлаков И.Д., Болтарь К.О., Горелик Л.И., Кравченко Н.В., Кулыманов А.В., Куликов К.М., Шаронов Ю.П.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Приведены основные фотоэлектрические характеристики быстродействующих фотоэлектрических полупроводниковых приёмников излучения (ФЭПП) и фотоприёмных устройств (ФПУ) на основе фотодиодов GaP, Si, Ge, InGaAsP/InP, а также фотодиодов и фоторезисторов (CdHg)Te для спектрального диапазона длин волн 0,3-11 мкм. Отмечено, что основные фотоэлектрические характеристики соответствуют современному уровню зарубежных аналогов. Представлены результаты исследований ФЭПП и ФПУ на основе фотодиодов и фоторезисторов (CdHg)Te в гетеродинном режиме длине волны 10,6 мкм в полосе частот до 1 ГГц при температуре охлаждения от 80К. Показано, что для частот до 40 МГц фотодиоды и фоторезисторы имеют близкие пороговые характеристики. Приведены значения гетеродинного порога для фоторезисторов (CdHg)Te при рабочих температурах 200 и 300К. Даны основные характеристики быстродействующего термоохлаждаемого ФЭПП на основе фоторезистора (CdHg)Te, предложенного для индикации лазерного излучения в спектральном диапазоне 0,8-11 мкм.

У29. Гибридное фотоприемное устройство на основе линейки 1x384 InAs МДП-структур для спектрометрических применений

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

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Представлена конструкция и параметры гибридной микросхемы ИК фотоприемного устройства (ФПУ) линейчатого типа 1x384, предназначенной для быстродействующих спектрометров со временами регистрации 0,1-50 мс. ФПУ содержит линейку InAs МДП-конденсаторов с шагом 25 мкм и кремниевый мультиплексор, соединенные между собой индиевыми микростолбиками высотой 5-7 мкм по технологии flip-chip. Фоточувствительная область МДП-структуры составляет 15x300 мкм² (общая площадь 19x370 мкм²). Для повышения частотно-контрастной характеристики ФПУ зазоры между фотоприемниками защищены металлическим экраном (Ti).

Фотоприемная линейка изготовлена на автоэпитаксиальных структурах с концентрацией легирующей примеси $\sim 3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Поверхность арсенида индия химически модифицирована во фторсодержащем электролите. Модификация поверхности позволяет получить совершенную границу раздела полупроводник-диэлектрик. Плотность поверхностных состояний в контрольных МДП-конденсаторах, измеренная методом проводимости на переменном сигнале, $< 2 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2} \text{ эВ}$ (подзатворный диэлектрик ((140 нм, SiO₂, 220°C), прозрачный проводящий затвор (In₂O₃), защитный диэлектрический слой (~300 нм, SiO₂, 195°C), защитный металлический экран (Ti)).

Кремниевый кристалл содержит два зеркально симметричных 192 входных мультиплексора с шагом 50 мкм, смещенных относительно друг друга на 25 мкм. Каждый из двух мультиплексоров состоит из линейки 192 прямоинжекционных входных устройств, сдвигового регистра, обеспечивающего последовательное считывание фотосигналов на общую шину считывания. Мультиплексор обеспечивает возможность считывания фотосигналов как с МДП датчиков, так и с фотодиодов.

Засветка фотоприемников осуществляется через просветленную непланарную сторону кремниевого мультиплексора. Спектральный диапазон излучений, регистрируемый ФПУ, при этом составляет 1,1-3,05 мкм. Коротковолновая граница ФПУ определяется поглощением в кремниевой подложке мультиплексора. Конструкция мультиплексора допускает возможность разделения кристалла на два независимых мультиплексора, которые могут быть размещены с двух сторон от ФП-линейки. В этом варианте ИК-излучение падает непосредственно на прозрачный проводящий затвор МДП-структуры, что позволяет сдвинуть коротковолновой край чувствительности датчиков до величины $\sim 0,4$ мкм.

ФПУ обеспечивает обнаружительную способность близкую к режиму ОФ (при времени накопления 10 мс, фоновом потоке $2,34 \cdot 10^{-7} \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2}$, $D^* > 1,5 \cdot 10^{12} \text{ см} \cdot \text{Гц}^{1/2} \cdot \text{Вт}^{-1}$, и лишь 5 элементов имеют избыточные шумы, их D^* не хуже $0,5 \cdot 10^{12} \text{ см} \cdot \text{Гц}^{1/2} \cdot \text{Вт}^{-1}$), разброс фотосигналов от АЧТ не превышает 10%.

У30. Электрические и фотоэлектрические свойства металл/пористый кремний/кремний диодных структур

Айвазян Г.Е., *Оганесян А.С., Варданян А.А.

ЗАО «Виасфер Технопарк», Ереван, Армения

**Государственный инженерный университет Армении, Ереван, Армения*

С тех пор как в слоях пористого кремния (ПК) была обнаружена фото- и электролюминесценция при комнатной температуре, этот материал стал объектом интенсивных исследований в связи с его возможным использованием при создании фотоэлектрических приборов.

В данном сообщении представлены результаты экспериментальных исследований электрических и фотоэлектрических свойств металл/ПК/кремний диодных структур, на основе которых и изготавливаются фотоэлектрические приборы.

Тонкие (0,5-1,2 мкм) и толстые (4,0-6,0 мкм) слои ПК получали электрохимическим травлением монокристаллических кремниевых подложек р-типа проводимости (10 Ом.см) в смеси плавиковой кислоты с этанолом. Металлизацию поверхности ПК производили напылением и последующим вжиганием алюминия. В некоторых случаях поверхность ПК предварительно подвергали химическому травлению для улучшения омического контакта. Измеряли статические и динамические ВАХ в темноте и на свету, а также спектральные зависимости чувствительности диодных структур. Напряжения изменяли по возрастающей и спадающей ступенчатой зависимости с различной длительностью ступени.

В фоточувствительных диодных структурах типа металл/ПК/кремний могут проявляться одновременно свойства барьера Шотки металл/ПК, самого слоя ПК и гетероперехода ПК/кремний. Показано, что в области обратных и небольших прямых смещений ток определяется потенциальным барьером гетероперехода ПК/кремний. Фоточувствительность структур с тонким слоем ПК определяется в основном поглощением света в кремнии. Для структур с толстым слоем ПК фоточувствительность определяется фотопроводимостью ПК с максимальным значением спектральной чувствительности в области 400-500 нм. Барьер Шотки металл/ПК не влияет на фоточувствительность и на вольт-амперные характеристики структур. Полученные результаты сравниваются с известными литературными данными.

У31. Зависимость фотоэлектрических параметров КРТ фоторезисторов от плотности потока фонового излучения

Никитин М.С., Чеканова Г.В.

ФГУП «Альфа», Москва, Россия

Исследованы зависимости величины удельной обнаружительной способности $D^*(\lambda_{\max}, 500\text{К}, 1200\text{ Гц}, 1\text{ Гц})$ и вольтовой чувствительности $S_u(\lambda_{\max}, 500\text{К}, 1200\text{ Гц})$ фоторезисторов (ФР) на основе кадмий-ртуть-теллур (КРТ) от плотности потока фонового излучения Q_B . Измерения проведены при рабочей температуре 78К и температуре фона 295К. Фоточувствительные элементы (ФЧЭ) изготовлены из объемного монокристаллического полупроводникового материала n-Hg_{1-x}Cd_xTe (КРТ). Состав «х» материала Hg_{1-x}Cd_xTe выбирался в интервале от 0,210 до 0,220 так, чтобы максимум чувствительности λ_{\max} располагался в интервале от $\approx 10,5$ до ≈ 12 мкм. Концентрация основных носителей заряда $n_{77} = (3-5) \times 10^{14} \text{ см}^{-3}$. Исследованы параметры ФЧЭ с размерами чувствительной площадки 35x35 мкм и 50x50 мкм. Конструкция ФЧЭ с размерами чувствительной площадки 35x35 мкм была стандартной (Рис.1), конструкция ФЧЭ с размерами чувствительной площадки 50x50 мкм включала «затеняющий экран» (Рис. 2) для подавления эффекта «вытягивания» неосновных носителей заряда [1]. Наблюдался значительный рост значений $D^*_{\lambda_{\max}}$ и $S_{u\lambda_{\max}}$ при снижении плотности потока фонового излучения Q_B за счет уменьшения апертуры (FOV) холодной диафрагмы (Рис. 3 и 4, полная апертура указана в градусах). Результат может быть обусловлен ростом времени жизни и концентрации неравновесных носителей заряда при снижении темпа генерации фоновым излучением [2].

[1] M.A. Kinch et al., Infrared Physics, 1977, v. 17, No. 7, p. 137-140

[2] S. Borrello et al., Infrared Physics, 1977, v. 17, No. 7, p.121-125

Рис.1 Конструкция ФЧЭ 35x35 мкм
контакт площадка ФЧЭ контакт

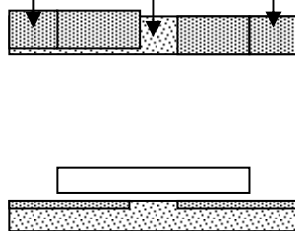


Рис.2 Конструкция ФЧЭ 50x50 мкм
контакт площадка ФЧЭ контакт

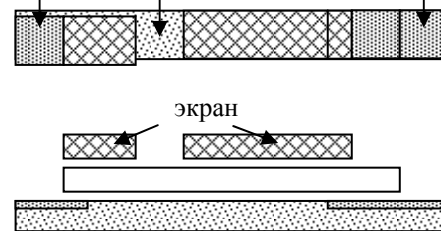


Рис.3 Зависимость $D^*_{\lambda_{\max}}$ и $S_{u\lambda_{\max}}$ от $U_{\text{см}}$

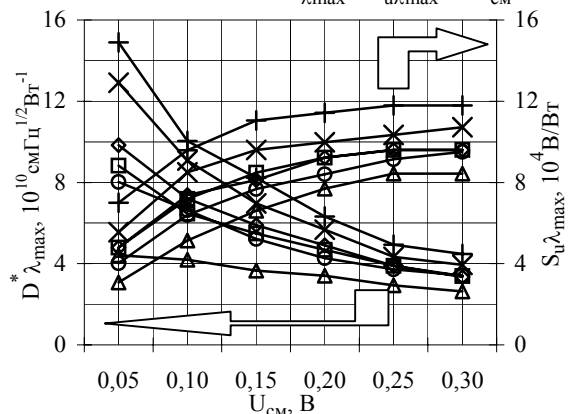
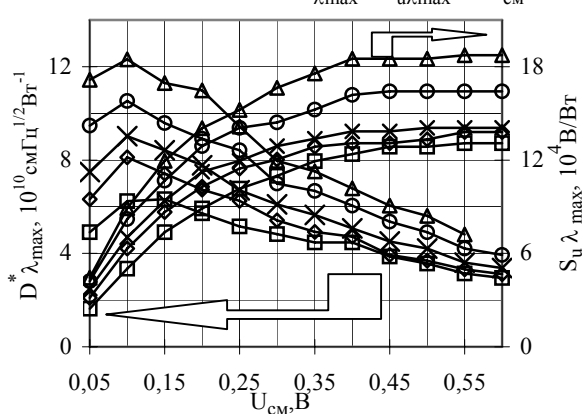


Рис.4 Зависимость $D^*_{\lambda_{\max}}$ и $S_{u\lambda_{\max}}$ от $U_{\text{см}}$



У32. Фотоэлектрические параметры КРТ фоторезисторов с термоэлектрическим охлаждением

Ларцев И.Ю., Никитин М.С., Чеканова Г.В.

ФГУП «Альфа», Москва, Россия

Разработаны и изготовлены инфракрасные фотоприемники (ИК ФП) на основе фоторезисторов (ФР) из материала кадмий-ртуть-теллур (КРТ) с термоэлектрическим охлаждением (ТЭО). ФП показали высокую надежность и стабильность в работе. Фоточувствительные элементы (ФЧЭ) изготовлены из объемного монокристаллического полупроводникового материала $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ (КРТ). Состав «x» материала $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ выбирался в интервале от 0,18 до 0,33 так, чтобы ширина запрещенной зоны E_g тонкого слоя КРТ изменялась от $\approx 0,1$ до $\approx 0,3$ эВ при рабочих температурах, обеспечиваемых 2-х или 3-х каскадным ТЭО (≤ 243 К и ≤ 213 К при температуре радиатора 20°C). В терминах $\lambda_{\text{co}}(50\%)=1,24/E_g$ и λ_{max} это значит, что могут изготавливаться ФП с λ_{co} от ≈ 4 до ≈ 12 мкм и λ_{max} от $\approx 3,4$ до ≈ 10 мкм. ФП (Рис.1) представляет собой миниатюрный герметичный металлокерамический корпус, заполненный инертным газом с низкой теплопроводностью. ФП может быть собран на основе большого разнообразия компонентов: корпуса с различными размерами; 2-х или 3-х каскадного ТЭО с различными типоразмерами; датчика температуры – термистора с различными номиналами; окна из сапфира, Ge, ZnSe без или с просветляющим покрытием/фильтром; ФЧЭ с различными топологией, количеством элементов (1-10) и набором ФЭП - λ_{max} , $D^*(\lambda_{\text{max}})$, $S_u(\lambda_{\text{max}})$. Величина $D^*(\lambda_{\text{max}}, 500\text{K}, 1200$ Гц, 1 Гц) близка к теоретической для КРТ ФР при $T_{\text{раб}}=203\text{K}$ и 243K . Типичные кривые относительной спектральной чувствительности, график $D^*(\lambda_{\text{max}})$ и параметры ФП с 3-х каскадным ТЭО приведены на Рис. 2, Рис. 3 и в Таблице.

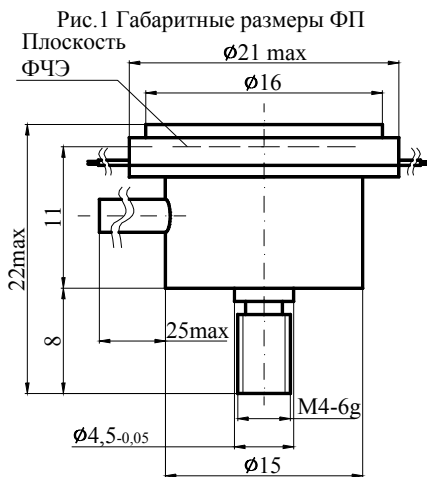


Таблица. Параметры ФП с 3-х каскадным ТЭО

A, мм*мм	Кол-во эл-тов	λ_{max} , мкм	λ_{co} , мкм	$D^*_{\lambda_{\text{max}}}$, $\text{смГц}^{1/2}\text{Вт}^{-1}$	$S_u_{\lambda_{\text{max}}}$, В/Вт	$U_{\text{см}}$, В
0,05x0,05	10	4,3	5,1	5,0E+10	6,0E+04	0,2
0,1x0,1	1	4	5,2	5,0E+10	2,5E+04	0,5
	2	4	5,2	5,0E+10	2,5E+04	0,5
	1	5	6,2	3,5E+10	2,0E+04	0,5
	2	5	6,2	3,5E+10	2,0E+04	0,5
0,25x0,25	1	4	5,2	4,0E+10	5,0E+03	0,5
	1	5	6,2	3,0E+10	3,0E+03	0,5
1x1	1	3,5	4,3	8,0E+10	4,0E+03	0,5
	1	4,2	5,1	5,0E+10	7,0E+02	0,5
	1	10	11,7	2,5E+08	2,0	1,5
1,1x1,1	4	8,5	10,2	2,5E+08	2,0	2

Рис.2 Спектры чувствительности ФП

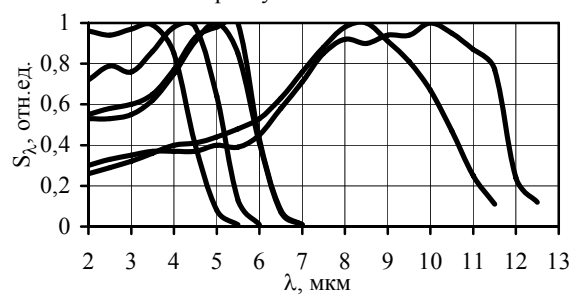
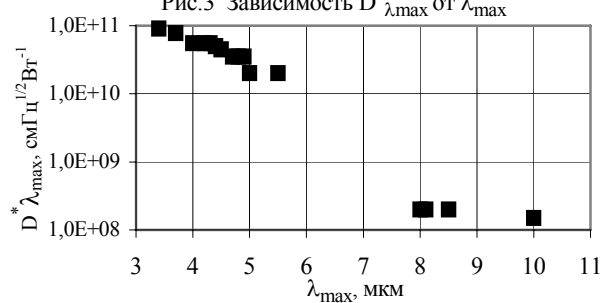


Рис.3 Зависимость $D^*_{\lambda_{max}}$ от λ_{max}



УЗЗ. Простая компьютерная модель ИК-фоторезистора

Дьяконов Л.И., Сусов Е.В., Чеканова Г.В.

ГУП «Альфа», Москва, Россия

С помощью программы электронных таблиц QuatrPro разработана модель для расчета ИК-фоторезистора (ФР). Модель связывает выходные характеристики ФР с исходными параметрами ФР и материала, из которого он изготовлен. В основу расчета положена одномерная модель ФР из $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ (КРТ) с величиной x около 0,2. Модель позволяет вычислять распределение избыточных носителей по длине ФР и зависимость вольтовой чувствительности от напряженности поля, приложенного к ФР, для 5 различных вариантов ФР:

1. Простейший ФР с омическими контактами.
2. ФР с "подтененными" областями различной длины у катода и (или) анода.
3. ФР с аккумулирующими контактами типа $n^+ - n$.
4. ФР с гетероконтактами.
5. ФР с аккумулирующими гетероконтактами типа $n^+ - n$.

В качестве независимых переменных модели использованы: геометрические размеры (длина, ширина, толщина) активной области, состав КРТ и концентрация избыточных доноров в ней; эффективное время жизни неосновных носителей, их подвижность и коэффициент диффузии. Другой набор параметров характеризует контактную систему - длину анодной и катодной областей, их состав и концентрацию нескомпенсированных доноров в каждой из них. Модель наглядно демонстрирует многие известные из различных публикаций эффекты: снижение чувствительности ФР как результат диффузии неосновных носителей к омическим контактам и рекомбинации на них; эффект "пролета" неосновных носителей в сильных полях при относительно малой длине ФР; положительное влияние "подтенения" контактных областей, а также аккумулирующих барьеров типа $n^+ - n$ и гетероконтактов на качество ФР и т.д. С учетом практически достижимых параметров материала и ФР для достигнутого уровня технологии модель позволяет оптимизировать конструкцию ФР. С другой стороны модель дает основы для выбора кратчайшего пути усовершенствования упомянутой выше достигнутой технологии ФР на основе КРТ.

У34. Приконтактные варизонные слои как средство подавления насыщения усиления в пороговых CdHgTe-фоторезисторах

Холоднов В.А., Другова А.А.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Известно [1,2], что растущая сначала зависимость $G(V)$ коэффициента усиления G от напряжения на образце V затем обычно насыщается, когда полевой разогрев носителей еще несущественен. Этого не происходит лишь при амбиполярной подвижности $\mu = 0$ или при полном отсутствии рекомбинации неравновесных носителей на токовых контактах ($x=0$ и $x=W$). Однако, на практике $\mu \neq 0$, а рекомбинация на токовых контактах в той или иной степени всегда происходит.

В данной работе теоретически показано, что введение варизонного слоя вблизи токового контакта, к которому электрическим полем подтягиваются неосновные носители, позволяет подавить насыщение зависимости $G(V)$. Проанализирована наихудшая ситуация, когда рекомбинация на контактах столь интенсивна, что концентрации неравновесных дырок $\Delta p(x)$ и электронов $\Delta n(x)$ на токовых контактах равны нулю (вытягивающие контакты), т.е.,

$$\Delta n(0) = \Delta p(0) = \Delta n(W) = \Delta p(W) = 0 \quad (1)$$

При условии (1) насыщение G с ростом V проявляется наиболее ярко [1,2]. Рассмотрен случай межзонных механизмов фотогенерации и рекомбинации, что часто реализуется, например, в CdHgTe материале, широко используемом при регистрации слабого излучения на длины волн $\lambda = 8-12$ мкм и $\lambda = 3-5$ мкм [1].

Приведено физическое обоснование полученных результатов.

Авторы признательны Российскому Фонду Фундаментальных Исследований за поддержку этого теоретического исследования (грант № 99-02-17415).

Литература

[1] A. Rogalski et al. // Infrared Photon Detectors, Bellingham-Washington USA: SPIE Opt.Engin. Press, 1995.

[2] Shacham-Diamand Y.J., Kidron I. // Infr. Phys. 1981. V.21. P.105-115.

У35. Влияние ионизирующего излучения на основные характеристики охлаждаемых фоторезисторов на основе $Cd_xHg_{1-x}Te$

Салаев Э.Ю., Абдинов Д..Ш., Аскеров К.А.

Институт фотоэлектроники НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан

Статья посвящена результатам исследования влияния ионизирующих излучений различного вида на основные параметры, элементы, конструкции и конструкционные материалы фотоприемников на основе твердого раствора $Cd_xHg_{1-x}Te$. ($x=0,2$) с радиационной системой охлаждения, предназначенных для области спектра 8-12 мкм. Определение надежности фотоприемников производится на основе анализа степени деградации электрофизических и физико-механических характеристик материалов, применяемых в изделиях, и определяющих электрические параметры, механико-климатическую устойчивость и надежность фотоприемников после воздействия гамма-квантов и импульсных гамма-нейтронов. Показано, что фоторезисторы, изготовленные по технологии с высокими контактами, являются более радиационно-стойкими. Установлено, что изменение основных параметров фоторезисторов в основном связано с изменением свойств фоточувствительных элементов. Получены прогнозируемые данные о радиационной стойкости исследуемых типов фоторезисторов с рекомендациями их для работы в условиях повышенной радиации в области ИК-спектра.

У36. Термическая деградация ИК - фоторезисторов из КРТ

Дьяконов Л.И., Чеканова Г.В.

ГУП «Альфа», Москва, Россия

Исследован процесс деградации параметров фоторезисторов (ФР), изготовленных по "стандартной" технологии из объемного КРТ. ФР подвергали термообработкам при температурах от +60 до +100°C. Исходно и после термообработок измеряли фоточувствительные параметры ФР и температурные зависимости этих параметров. Прецизионно определяли вольт-амперные характеристики (ВАХ) отдельных элементов и динамику изменения ВАХ при термообработках. Принципиально термическая деградация происходит аналогично для всех исследованных ФР. По мере нарастания интенсивности термообработок снижается вольтовая чувствительность, приближаясь в пределе к нулевому значению. Параллельно и соответственно этому процессу происходит эволюция ВАХ. В координатах $R=f(U)$ ВАХ изменяют свою форму от исходной V-образной до конечной Л-образной для полностью деградированных ФР. Скорость термической деградации не зависит от того, происходит ли термообработка в вакууме или на воздухе. Темп термической деградации сильно отличался у разных исследованных ФР. В рамках проведенной работы показано, что наибольшую склонность к деградации обнаруживают ФР с максимальной величиной темнового сопротивления, т.е., по-видимому, с минимальной толщиной слоя КРТ и минимальной концентрацией в нем нескомпенсированных доноров. Собранный экспериментальный материал позволил определить общие закономерности деградации ФР из КРТ и показал, что деградация ФР может частично происходить еще в процессе изготовления ФР. Действительно, используемые в технологическом цикле изготовления ФР термообработки близки к тем, которые могут вызывать деградацию. Собранных сведений недостаточно, чтобы обоснованно обсуждать природу происходящих при деградации физических и химических процессов. Вместе с тем они не противоречат общепринятым представлениям о том, что главную роль при деградации играют дефекты, вносимые в КРТ механизмом диффузионной потери ртути из материала ФР.

У37. Детекторы инфракрасного излучения на основе HgMnTe с p-n переходами и барьерами Шоттки

Косяченко Л.А., Марков А.В., Остапов С.Э., Раренко И.М., *Сун Вейгуо, *Лу Жэнг Ксионг

Черновицкий национальный университет, Черновцы, Украина

**Институт оптоэлектроники, Лоян, Хенань, Китайская Народная Республика*

Несмотря на теоретически обоснованную перспективность HgMnTe фотовольтаических детекторов для спектральной области 8-14 мкм, по этой тематике выполнено только несколько экспериментальных работ. При интерпретации характеристик детекторов обычно не учитываются важные особенности, связанные с узкой запрещенной зоной полупроводника. В настоящей работе представлены результаты исследования электрических свойств n⁺-p переходов и диодов Шоттки на основе p-Hg_{1-x}Mn_xTe (x≈0,1) с концентрацией акцепторов 10¹⁶-10¹⁷см⁻³. Технология изготовления фотодиодов с n⁺-p переходами включала ионное травление (образование n⁺-области), многослойную металлизацию (омические контакты), создание пассивирующего слоя на поверхности полупроводника (защитная и антиотражающая функция). Барьеры Шоттки создавались вакуумным напылением Al на подвергнутой ионному травлению поверхность кристалла, омические контакты к подложке - напылением Ni.

Из решения уравнения Пуассона следует, что малая ширина запрещенной зоны ($E_g \approx 0,1$ эВ) и большое различие эффективных масс электронов и дырок ($m_e \approx 0,01 m_n$) вносят существенные особенности в распределение заряда, напряженности электрического поля и потенциала в диодах на основе Hg_{1-x}Mn_xTe или Hg_{1-x}Cd_xTe [1]. Учет этих особенностей оказывает заметное влияние на результаты расчетов электрических характеристик диодов.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что генерация-рекомбинация в области пространственного заряда является основным процессом, определяющим электрические характеристики Hg_{1-x}Mn_xTe n⁺-p переходов. При обратных смещениях на генерационный ток накладывается туннельная составляющая, однако в области напряжений, близких к нулю, вклад туннелирования оказывается незначительным. Обуславливаемое генерацией-рекомбинацией произведение R_0A для фотодиода с граничной длиной волны $\lambda_c \approx 10-11$ мкм превышает 20-30 Ом·см², чему соответствует работа детектора в режиме ограничения фоновым излучением ($D^* = 5 \times 10^{10}$ см·Гц^{1/2}Вт⁻¹ при 300К и угле обзора 2π) [2].

В отличие от n⁺-p переходов проводимость Al-Hg_{1-x}Mn_xTe диодов определяется туннелированием и только при повышенных прямых смещениях преобладает надбарьерный (диффузионный) ток. Характерной особенностью диодов является отсутствие выпрямления при 77К и очень слабое - при 300К. Несмотря на доминирующий вклад в перенос заряда туннелирования, произведение R_0A для Al-Hg_{1-x}Mn_xTe диодов Шоттки с $\lambda_c = 11$ мкм превышает ~2 Ом·см², что также вполне приемлемо для их практического применения в качестве детекторов для спектральной области 8-14 мкм.

[1] Л.А. Косяченко, А.В. Марков, С.Э. Остапов, И.М. Раренко. ФТП. **35**, 1326 (2001).

[2] L.A. Kosyachenko, I.M. Rarenko, Sun Weiguo, Lu Zheng Xiong. Solid-State Electronics. **44**, 1197 (2000).

У38. Фотоемкостной эффект в узкозонном PbSnTe<In>

Климов А. Э., Шумский В. Н.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Исследованы пленки $\text{Pb}_{0,74}\text{Sn}_{0,26}\text{Te<In>}$ (СОТ<In>) с $E_g \approx 0,06$ эВ, полученные методом МЛЭ. Особенности этого узкозонного материала является почти собственная проводимость вплоть до гелиевых температур (диэлектрическое состояние) и гигантская величина фотопроводимости при $T < 20$ К. Недавно обнаружено [1, 2], что при этих температурах и освещении возрастает не только активная компонента проводимости, но и емкость образцов до 100 раз и более. Особенностью эффекта является то, что он зависит от энергии возбуждающих квантов. Относительное (по отношению к проводимости) увеличение емкости сильнее при меньшей энергии фотонов (рис. 1). Приводятся данные по исследованию эффекта в сверхдальней – свыше 100 мкм – ИК-области и делаются оценки возможности использования этого материала для создания фотоприемников терагерцового диапазона частот.

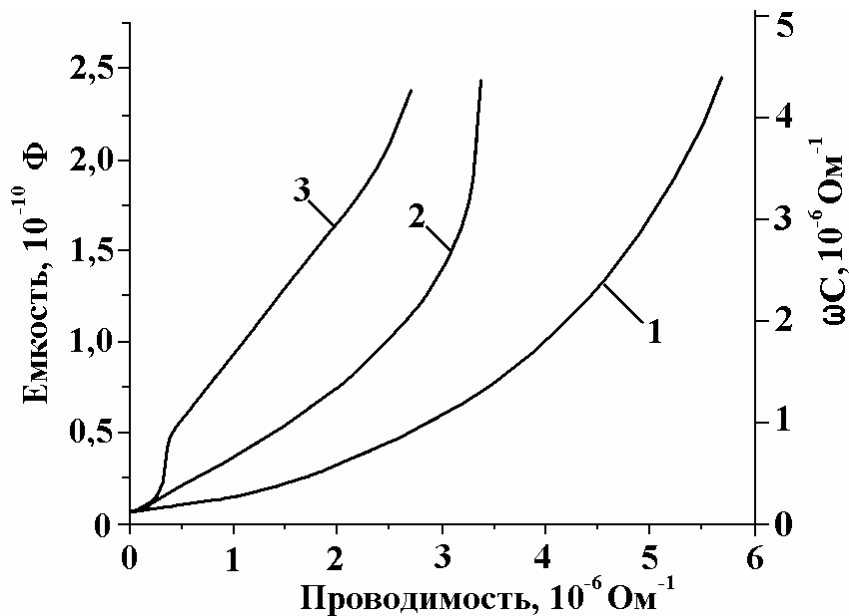


Рис. 1. Связь между емкостью и проводимостью образца. 1 – возрастание проводимости и емкости без освещения вследствие увеличения температуры от $T=4,2\text{K}$ до примерно $T=25\text{K}$, 2 и 3 – вследствие освещения образца при $T=4,2\text{K}$: 2 – источником света с $h\nu > 0,7$ эВ, 3 – $h\nu < 0,04$ эВ.

- [1]. А. Э. Климов, В. Н. Шумский, «Фотодиэлектрический эффект в эпитаксиальных пленках PbSnTe<In> , полученных методом молекулярно-лучевой эпитаксии», *Автометрия*, 3 (2001) 65-75.
- [2]. А. Е. Klimov, V. N. Shumsky, «Giant Light-Modulated Permittivity of $\text{Pb}_{0,74}\text{Sn}_{0,26}\text{Te<In>}$ Narrow Band-Gap Isolator: New Approach to Relaxation Processes and Potential Applications», *Proceedings ISDRS, USA, December 3-6 (2001) 71-74.*

У39. Особенности роста и фотопроводимость эпитаксиальных пленок твердых растворов $Pb_{1-x}Mn_xTe(Ga)$

Нуриев И.Р., Фарзалиев С.С., Джалилова Х.Д., Садыгов Р.М.

Институт фотоэлектроники НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан

В настоящей работе методами электронографии, рентгенодифрактометрии и электронномикроскопии исследованы особенности роста эпитаксиальных пленок полумагнитных твердых растворов $Pb_{1-x}Mn_xTe:Ga$ ($0 \leq x \leq 0,04$) на подложках $BaF_2(111)$.

Эпитаксиальные пленки выращены методом конденсации молекулярных пучков в вакууме 10^{-4} Па. В качестве источника использованы заранее синтезированные образцы с соответствующим химическим составом. Пленки $Pb_{1-x}Mn_xTe$ на свежесколотых гранях (111) растут плоскостью (111). Параметр решетки a с увеличением x уменьшается.

Получены высокоомные пленки с совершенной кристаллической структурой ($W^{1/2}=100 \div 120^{//}$) и однородные по составу, без включения второй фазы. Структурно совершенные пленки толщиной $0,5 \div 1$ мкм получены при температурах подложки $360 \div 400^\circ C$ и скорости конденсации $6 \div 10$ Å/сек. Разработан режим получения пленок р и n-типа проводимости.

Показано, что полученные пленки обладают высокой фоточувствительностью, спектральные характеристики которой варьируются посредством изменения x . При этом максимум в спектрах фотопроводимости смещается в сторону более коротких волн с ростом содержания марганца в образцах, что объясняется увеличением ширины запрещенной зоны.

У40. Фотоприемники на основе слоистых кристаллов $TlGa_{1-x}Dy_xSe_2$

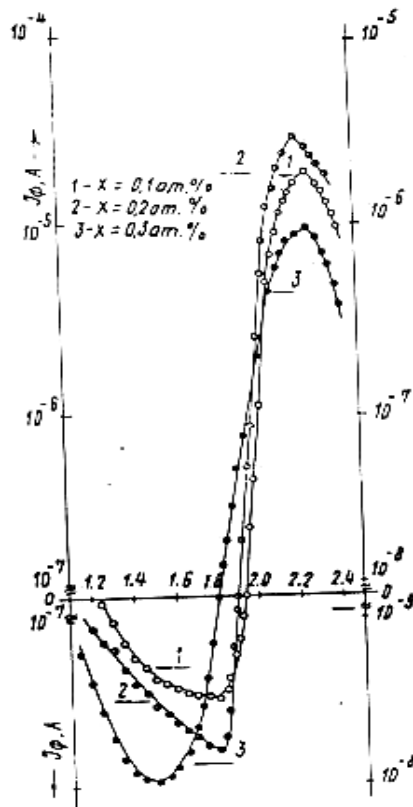
Абдуллаева С.Г.

Институт физики им. Г.Б. Абдуллаева, НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан

В сообщении представлены результаты исследований фотоэлектрических свойств слоистых кристаллов $TlGaSe_2$, легированных редкоземельными элементами, на основе которых был предложен фотоэлектрический анализатор спектра в области 6200-6900 Å

Ниже приведены спектральные характеристики фотоприемников на основе кристаллов $TlGa_{1-x}Dy_xSe_2$ в интервале энергий 1,1÷2,4 эВ для монокристаллов с различной концентрацией редкоземельного элемента (1-0,1 ат%; 2-0,2 ат%; 3-0,3 ат% Dy и напряжения $U=3В$). Образцы освещались монохроматическим светом перпендикулярно плоскости скола и монокристалла.

Изменением приложенного напряжения от 0,1В до 200В можно управлять точкой инверсии в интервале 6200÷6900 Å. Приемник работает в области температур 77÷140К и может быть применен в схемах фотоэлектрической автоматики, а также для дистанционного измерения температуры в металлургии.



У41. Монокристаллы $TlGa_{1-x}Fe_xS_2$ как новые приемники излучения

Керимова Э.М., Мустафаева С.Н., Абасова А.З., Мехтиева С.И., Заманова А.К.

Институт физики им. Г.Б. Абдуллаева, НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан

Установление закономерностей состав-свойство дает возможность проводить целенаправленный поиск новых полупроводниковых приемников излучения, обладающих заданным сочетанием физических свойств.

Целью настоящей работы являлось изучение фотоэлектрических свойств монокристаллов $TlGa_{1-x}Fe_xS_2$ в зависимости от их состава x ($x=0; 0,01; 0,02$).

Исходные монокристаллы $TlGaS_2$ были выращены видеоизмененным методом Бриджмена. Легирование кристаллов $TlGaS_2$ железом производили в процессе синтеза. Дифференциально-термический анализ и дифрактометрическое изучение продуктов синтеза показали, что Fe входит в подразделения Ga . Выращенные монокристаллы $TlGa_{1-x}Fe_xS_2$ подвергались количественному микрорентгеноспектральному анализу на установке "САМЕСА-MS-46", который показал достаточно однородное распределение ионов железа вдоль и поперек ампулы (слитка). Полученные монокристаллы были слоистыми. Для изготовления образцов для измерений скалывали плоскопараллельные пластинки толщиной 0,1 мм и вырезали из них образцы площадью 2×2 мм². Контакты к ним создавали плавлением индия на боковые торцы. Свет на монокристалл падал в направлении, перпендикулярном плоскости естественного скола, а внешнее электрическое поле ($10^2 \div 10^3$ В/см из омической области вольт-амперной характеристики) было приложено вдоль слоев кристаллов.

Изучение спектральных зависимостей фототока монокристалла $TlGaS_2$ показало, что с увеличением температуры от 300 до 383К максимум фототока смещался от 2,70 до 2,82 эВ. Кроме того, наблюдалось уширение основной полосы собственной фотопроводимости и на спектрах фототока появлялась широкая примесная полоса в интервале энергий $1,3 \div 2,2$ эВ.

Частичное замещение ионов галлия в решетке $TlGaS_2$ на ионы железа в количестве 1 ат. % приводило к полной перестройке спектров фототока. Основная полоса собственной фотопроводимости, наблюдаемая в области $2,6 \div 2,9$ эВ до введения железа, подавлялась и проявлялась лишь как слабое коротковолновое плечо на фоне новой полосы максимальной чувствительности в низкоэнергетической области спектра ($1,3 \div 2,6$ эВ), возникшей после введения железа. Новая полоса максимальной спектральной чувствительности в $TlGa_{0,99}Fe_{0,01}S_2$ резко смещалась в сторону длинных волн (от 1,98 до 1,70 эВ) с ростом температуры от 300 до 369 К. А для состава $TlGa_{0,98}Fe_{0,02}S_2$ энергетическое положение максимума фототока ($h\nu=1,90$ эВ) в области $300 \div 350$ К вообще не зависело от температуры. Эта особенность дает возможность использовать полученный состав для регистрации монохроматического излучения $h\nu=1,90$ эВ в диапазоне температур $300 \div 350$ К.

Таким образом полученные экспериментальные результаты показали, что за счет частичного замещения $Ga \rightarrow Fe$ в решетке $TlGaS_2$ можно существенно модифицировать спектры фототока, а также управлять энергией максимума фототока монокристаллов $TlGa_{1-x}Fe_xS_2$ вариацией температуры.

У42. Отрицательная инфракрасная фотопроводимость в пленках $CdS_{1-x}Se_x$, осажденных из раствора

Абдинов А.Ш., Джафаров М.А., Мамедов Г.М, Насиров Э.Ф.

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

Проведенные до настоящего времени исследования показали, что можно реализовать высокую чувствительность пленок $CdS_{1-x}Se_x$ в широком спектральном диапазоне (0,4–1,4 мкм) длин волн. Однако еще не до конца изучены многие особенности физических процессов, определяющих их высокую чувствительность в ближней инфракрасной (ИК) области. Целью исследований в данном сообщении было установление закономерностей и индивидуальных черт рекомбинационных и электронно-молекулярных процессов, обуславливающих высокую чувствительность в ИК диапазоне в зависимости от состава, режима осаждения и термической обработки.

Впервые в пленках $CdS_{1-x}Se_x$ обнаружена отрицательная инфракрасная фотопроводимость (ОИКФП) в области 0,700–1,23 мкм, при значениях интенсивности возбуждающего света $\Phi=100\div 400$ Лк, электрического поля $E=0,5-130$ В/см и температуры $T=265-310$ К.

При малых интенсивностях возбуждающего света времена нарастания и спада фототока мало отличаются. Но при увеличении интенсивности света время спада уменьшается и не превышает нескольких секунд, а время нарастания увеличивается и при максимальной интенсивности света достигает нескольких часов. С ростом интенсивности света зависимость имеет характер насыщения. Время нарастания ОИКФП в температурном интервале 270 – 320К имеет активационный характер с энергией активации 0,8 – 1.0 эВ, в зависимости от состава. При оптимальных условиях кратность ОИКФП составляла $\alpha=I_T/I_\phi \geq 10^2$ (I_T - темновой, а I_ϕ - световой ток).

Темновая ВАХ пленок имеет "N" образный характер, а световая оказалась линейной в широком интервале электрического поля.

Установлено, что основные закономерности ОФП объясняются на основе двухбарьерной модели и в рассмотренных условиях носители заряда преодолевают барьер туннелированием. Пленки $CdS_{1-x}Se_x$ могут быть использованы в ИК технике и в негатронике.

У43. Тепловизионная камера на основе неохлаждаемых микроболометрических ФПУ

Филачев А.М., Борисов Ю.И., Пономаренко В.П., Таубкин И.И.,
Бочков В.Д., Дрожников Б.Н., Медведев А.С., Храпунов М.Л.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

В докладе сообщается о разработке портативной тепловизионной камеры (ТК) на основе микроболометрического фотоприемного устройства формата 240x320. Приводятся результаты расчетных и экспериментальных исследований ТК, а также техническое описание конструкции и принципа действия ТК. Камера управляется при помощи встроенной кнопочной панели и экранного меню.

Камера имеет в своем составе встроенный видеоискатель и выносной ЖК-дисплей. С помощью интерфейса ТК может подключаться к компьютеру и передавать накопленные тепловизионные изображения (кадры). Выходной телевизионный сигнал позволяет наблюдать изображения на мониторе и записывать их на видеомagneтофон. В заключение приводятся основные характеристики ТК.

У44. Модуль электронной обработки для тепловизионного канала II-го поколения

Малеев Н.М., Золотцев В.В., Кулибаба В.И., Ермошин К.М.

Сибирский НИИ оптических систем, Новосибирск, Россия

Разработан модуль электронной обработки (МЭО) сигналов, предназначенный для работы совместно с матричными ИК-фотоприемными устройствами (МФПУ) II поколения, реализующими режим временной задержки и накопления (ВЗН).

В модуле предусмотрена конвейерная обработка сигналов МФПУ. Обработка ведется параллельно по четырем каналам. Применяются высокоскоростные многоразрядные (12÷14 разрядные) аналого-цифровые преобразователи.

Модуль обеспечивает замену сигналов дефектных элементов МФПУ сигналами соседних годных, временное выравнивание фоточувствительных линеек и накопление сигналов.

Предусмотрена привязка сигналов к «горячим» и «холодным» реперам.

Всем модулем управляет цифровой сигнальный процессор. Кроме функций управления процессор осуществляет программную обработку поступающих сигналов МФПУ, обмениваясь информацией с кадровым ЗУ.

У45. Аналоговая и цифровая коррекция неоднородностей характеристик многоэлементных инфракрасных приемников

¹Певцов Е.Ф., ¹Пыжов Ю.А., ²Чернокожин В.В.

¹*Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет), Москва, Россия*

²*Государственное унитарное предприятие «НПП «Пульсар», Москва, Россия*

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты N 01-02-16607 и 00-02-16557) и министерства образования РФ (проект N 208.03.03.062) и посвящена поиску путей снижения пространственных шумов многоэлементных приемников излучения инфракрасного диапазона.

В результате теоретического анализа проблемы, модельных и экспериментальных исследований на примерах многоэлементных приемников на основе кремния, легированного галлием, и пироэлектрических тепловых приемников, показано, что основным источником пространственных шумов, являются неоднородности из характеристик. Обобщены данные по классификации типов неоднородностей матричных приемников излучения.

Получены результаты модельных экспериментов, позволяющие определить эффективность различных алгоритмов снижения пространственного шума, в том числе адаптивных методов коррекции неоднородностей и вычитания большой фоновой составляющей. Предложены схемы реализации этих алгоритмов, основанные на применении процессоров цифровой обработки сигналов семейств ADSP 218x и 2106x.

Показано, что для уменьшения размеров приборов в фокальной плоскости и снижения их энергопотребления перспективно применение аналоговых адаптивных методов (адаптивные алгоритмы нейронных сетей), основанных на непосредственном изменении характеристик схем преобразования и обработки сигналов от отдельных элементов приемной матрицы или характеристик самих элементов матрицы. На основе схем считывания сигналов на ПЗС предложены конкретные примеры реализации этих методов.

Один из предложенных методов адаптивной аналоговой коррекции реализует принцип обратной связи в ПЗС. В процессе калибровки для изменения потенциала входного затвора в схеме считывания сигнала от каждого пикселя приемной матрицы используется разность между считанным сигналом и постоянной составляющей, соответствующей требуемому уровню сигнала при равномерной освещенности.

Второй метод аналоговой коррекции неоднородностей применим к тепловым многоэлементным приемникам на основе сегнетоэлектрических материалов. Он основывается на зависимости пироэлектрических свойств сегнетоэлектрика от поляризованности, которая в свою очередь изменяется при калибровке за счет введения обратной связи через схему считывания сигналов на ПЗС. Развитие этого метода позволяет реализовать устройства аналоговой обработки сигналов, осуществляющие операции перемножения и свертки.

Экспериментально подтверждены результаты теоретического анализа, показывающие, что предложенные методы адаптивной цифровой и аналоговой коррекции неоднородностей характеристик матричных приемников позволяют снизить уровень пространственного шума до значений, меньших, чем уровень временного шума.

У46. Интегральные матричные МОП мультиплексоры формата 128x128 и 384x288 для смотрящих ИК матриц

Акимов В.М., Болтарь К.О., Климанов Е.А.,
Лисейкин В.П., Микертумянц А.Р., Сагинов Л.Д., Тимофеев А.А.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

В настоящее время проявляется повышенный интерес к созданию тепловизионных приемников на основе средне- и крупноформатных матриц «смотрящего» типа на основе КРТ для ИК диапазона. Специально для этого применения разработаны и изготовлены два типа охлаждаемых интегральных МОП мультиплексоров форматов 128x128 с шагом 35 мкм и 384x288 с шагом 28 мкм.

Разработанные МОП мультиплексоры отличаются от созданных ранее меньшими габаритами (особенно для формата 384x288), упрощенными процессами стыковки и сборки кристаллов в корпус, а также повышенными эксплуатационными характеристиками. Оба кристалла МОП мультиплексоров включают в себя матрицу n-канальных МОП транзисторных ключей соответствующего формата, электронику управления и схемы предварительной аналоговой обработки и считывания сигнала.

Представлены электрические схемы и рисунки топологии кристаллов,

Приведены основные электрические и конструктивные параметры разработанных МОП мультиплексоров.

У46. Кремниевые МОП мультиплексоры формата 4x288 для многорядных ИК приемников

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

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Проведена разработка серии кремниевых охлаждаемых МОП мультиплексоров формата 4x288 с шагом 28 и 14 мкм для обработки и считывания информации с многорядных фотодиодных линеек на основе КРТ. МОП мультиплексор с шагом 28 мкм выполнен в гибридном исполнении. Он включает в себя базовый и два стыкуемых к нему кристалла, между которыми устанавливается на In столбиках кристалл КРТ. Интегральный кристалл с шагом 14 мкм содержит две схемы МОП мультиплексора формата 2x144. С целью унификации разработанные МОП мультиплексоры выполнены по одной схеме, а их топологии спроектированы для стыковки с одинаковыми кристаллами линеек КРТ. Габаритные размеры гибридного и интегрального кристаллов МОП мультиплексора составляют 10x8 и 10x6 мкм соответственно. В обеих схемах реализован строчный метод накопления и считывания информации в режиме прямой инжекции фототока. С целью увеличения эксплуатационной надежности топология кристаллов разработана с использованием 3 мкм норм проектирования.

Приведены результаты измерений кристаллов обоих МОП мультиплексоров.

Осуществлена стыковка кристаллов МОП мультиплексоров с кристаллами ИК приемников, сборка модуля в корпус и контроль работоспособности МФПУ в штатном режиме использования.

У47. Принципы построения предварительных усилителей для фоторезисторов

Загулин В.В.

ОАО «Московский завод «Санфир», Москва, Россия

Рассмотрены схемы построения предварительных усилителей для фоторезисторов:

$W_1 = \frac{K}{1 + \frac{1}{T_1 \cdot p}}$	$W_2 = \frac{-K}{1 + \frac{K}{T_2 \cdot p}}$	$W_3 = \frac{K}{1 + \frac{K}{K_1 \cdot T_3 \cdot p}}$
T_1	$\frac{T_2}{K}$	$\frac{T_3 \cdot K_1}{K}$
<p>Схема 1</p>	<p>Схема 2</p>	<p>Схема 3</p>

Где $K, K_1, 1/K$ - усилители постоянного тока с коэффициентом передачи $K, K_1, 1/K$, соответственно,

$T = RC$ – постоянная времени RC-цепочки,

$T_1, \frac{T_2}{K}, \frac{T_3 \cdot K_1}{K}$ - постоянная времени соответствующих схем,

P - оператор Лапласа ($p=j\omega$).

Предварительные усилители должны удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечить требуемый коэффициент усиления,
- реализовать собственные шумы фоторезистора,
- сформировать полосу усиления,
- минимизировать выходное напряжение смещения.

Схема 1. Недостатки:

- при формировании полосы усиления (низкочастотной границы) сигналов маломощных фоторезисторов ($U_{ш} < 3-5 \text{ нВ/Гц}^{1/2}$) требуется емкость большого номинала;
- значительное выходное напряжение смещения.

Схема 2. Достоинства: наличие интегратора в цепи обратной связи позволяет:

- уменьшить выходное напряжение смещения;
- сформировать низкочастотную границу полосы усиления сигналов даже маломощных фоторезисторов относительно небольшой емкостью.

недостатки:

- схема инерционна с точки зрения выхода на рабочий режим;
- требуемая постоянная времени RC-цепочки, формирующей низкочастотную границу, должна быть в K раз больше, чем в схеме 1;
- использование в интеграторе высокоомного резистора для формирования низкочастотной границы полосы усиления, что уменьшает устойчивость к вибрационным и электромагнитным помехам.

Схема 3. Достоинства: предлагаемый способ построения схемы позволяет:

- уменьшить выходное напряжение смещения;
 - сформировать низкочастотную границу полосы усиления сигналов даже малощумящих фоторезисторов относительно небольшой емкостью;
 - требуемая постоянная времени RC-цепочки, формирующей низкочастотную границу, может быть даже меньше, чем в схеме 1 (путем выполнения условия $K_1 > K$).
-

У48. Эффективная постмультиплексорная реконструкция малоконтрастных сцен в ИК ВЗН системах при девиациях скорости движения изображения

Винецкий Ю.Р., ¹Орлов С.В.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

¹МФТИ, Долгопрудный, Россия

Эффективность ВЗН-обработки изображения – повышение отношения сигнал/шум в корень из числа строк матрицы - резко падает при колебаниях вектора скорости движения изображения, свойственных реальным системам в силу особенностей организации оптико-механической развертки. Примером ситуации, где такие колебания существенно ухудшают пространственное разрешение и порог обнаружения, является система дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), располагаемая на КА. При классической организации ВЗН внутри кристалла ПЗС-мультиплексора влияние вариаций скорости и направления развертки неустранимо. Альтернативное построение матрицы с отдельным мультиплексированием откликов элементов в принципе дает возможность применять для подавления эффекта смаза адаптивные алгоритмы, модифицирующие номера суммируемых откликов таким образом, чтобы влияние колебаний скорости было минимальным. Проблемами при этом являются:

1) отсутствие априорной информации о характере этих колебаний (каковая, однако, может быть извлечена из анализа массива откликов элементов матрицы в течение некоторого времени);

2) малый контраст (как правило) наблюдаемого ИК изображения и наличие шумов фона.

Последнее обстоятельство жестко ограничивает возможность применения известных алгоритмов измерения вектора смещения изображения по ярким деталям сцены, тем самым существенно повышая вычислительную сложность задачи.

В работе представлен метод, позволяющий в названных выше условиях слабого контраста определять априорно неизвестный вектор смещения изображения. Метод использует корреляционный анализ кадров в комбинации с идеей преобразования Радона, что позволяет резко снизить вычислительные затраты - до приемлемых для осуществления алгоритма в реальном масштабе времени с помощью процессоров общего назначения. Эффективность метода демонстрируется на ряде типовых тестовых ИК изображений с помощью программно - реализованной на ПК ЭВМ математической модели ВЗН-фотоприемного устройства, применяемого в системе ДЗЗ диапазона 3..5 мкм.

У49. Сравнение альтернативных схем топологической организации ВЗН приемников на основе InSb + ПЗС для систем дистанционного зондирования Земли в диапазоне 3...5 мкм

Винецкий Ю.Р. ¹Крошин В.М.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

¹ГНЦ ЦСКБ «Прогресс», Самара, Россия

ИК фотоприемники с временной задержкой – накопления (ВЗН) на основе фотодиодов InSb и Si-ПЗС-мультиплексоров способны обеспечить высокую информативность при дистанционном зондировании Земли из космоса в спектральном диапазоне 3..5 мкм. Одним из ключевых требований к таким приборам, предназначенным для работы в системах высокого разрешения, является обеспечение малой величины темнового тока фотодиода, обусловленное малым апертурным углом оптической системы и, соответственно, малым рабочим фоновым потоком (фоновый ток элемента размером 30х30 мкм не превышает 10 пикоампер). Другой важной проблемой является смаз изображения, возникающий из-за систематических и случайных малых девиаций вектора скорости изображения, и резко снижающий эффективность ВЗН-обработки.

Рассмотрены варианты конструктивного выполнения и топологической организации InSb+ПЗС фотоприемников для названных задач. Наряду с традиционной «flip-chip» компоновкой с плотным расположением фоточувствительных площадок в фокальной плоскости и внутрикристалльной реализацией функции ВЗН классическим для ПЗС способом, рассмотрена альтернативная конструкция с падением света на фронтальную поверхность кристалла InSb через кремниевый ПЗС-мультиплексор. Такая конструкция обладает рядом важных технологических преимуществ, обсуждаемых в работе. Кроме того, в ней естественным путем реализуется раздельное мультиплексирование откликов фоточувствительных элементов (в противоположность мультиплексированию суммарных сигналов столбцов в классической схеме). Это позволяет в значительной степени устранить эффект смаза и получить близкие к предельным для ВЗН-системы разрешение и порог обнаружения. Вместе с тем такая конструкция менее компактна.

В работе представлены расчетные характеристики приборов обоих типов, полученные на основе экспериментальных данных по компонентам с последующим математическим моделированием, позволяющие оценить перспективность той или иной концепции прибора применительно к конкретной системе.

У50. Механизмы переноса носителей и шум в ИК-фотодиодах на базе HgCdTe, работающих на средних и длинных волнах

Тетеркин В.В., Сизов Ф.Ф.

Институт физики полупроводников НАНУ, Киев, Украина

Механизмы возникновения темнового тока и спектр шумов исследовались в ИК-фотодиодах, предназначенных для работы в диапазоне средних (3-5,5 мкм) и длинных (8-12 мкм) волн. ИК-фотодиоды для диапазона средних волн были созданы методом диффузии As в объемные одиночные кристаллы из HgCdTe с проводимостью n-типа, а ИК-фотодиоды для диапазона длинных волн были изготовлены методом имплантации ионов бора в эпитаксиальные слои с проводимостью n-типа.

Теоретически и экспериментально исследуется влияние различных типов структурных дефектов, содержащихся в исходных материалах, а также создающихся в результате технологических процессов при изготовлении приборов на механизмы переноса носителей и шум.

Обнаружено, что несколько компонентов тока доминировало в областях с различным напряжением смещения и температурой в испытываемых фотодиодах. При $T=77\text{K}$ и реальных напряжениях обратного смещения ($V=100\text{ мВ}$) объемная диффузия, а также процессы генерации-рекомбинации в обедненной области и туннелирования с помощью ловушек являются доминирующими механизмами переноса носителей. Последний оказывается самым важным механизмом переноса, который может ограничивать характеристики фотодиода. Найдена взаимосвязь между током и шумом $1/f$ в ИК-фотодиодах для работы в области средних и длинных волн ИК-диапазона. Был проведен теоретический анализ экспериментальных результатов с использованием модели механизмов туннелирования с помощью ловушек. Параметры ловушек (плотность, локальная энергия, поперечные сечения захвата) оценивались подходящим методом. В ИК-фотодиодах для работы на средних волнах ИК-диапазона уровни энергии ловушек располагаются близко к середине защитной зоны, в то время как в ИК-фотодиодах для работы на длинных волнах ИК-диапазона эти уровни смещаются к зоне проводимости. Возможное влияние таких структурных дефектов как неоднородность материала, дислокации и осадки рассматривается для объяснения экспериментальных данных, которые не могут описываться в рамках указанной модели. Обсуждаются также возможности улучшения характеристик ИК-фотодиодов для работы на средних и длинных волнах.

У51. Применение шумовой спектроскопии для прогнозирования надежности приемников ИК-излучения на основе антимионида индия

Мирошникова И.Н., Гуляев А.М., Недоруба Д.А.

Московский энергетический институт (ТУ), Москва, Россия

ФП из InSb - фоторезисторы и фотодиоды, как и 10 лет назад - основа оптико-электронных изделий известного класса (ТГС, тепlopеленгаторов, отчасти ТВ).

На стадии производства, испытаний и анализа отдельных ФЧЭ многоэлементных ФП или одноэлементных фотоприемников, начиная с 60-х г.г. использовался анализ ВАХ. Позже, к 90-м годам проводился контроль вольт шумовых характеристик (ВШХ) в аппаратуре, усилительный тракт которой имел узкую полосу пропускания 20% от f_0 при $f_0 \approx 1$ КГц.

Контроль ВАХ позволял исключить на стадиях производства ФЧЭ с катастрофическими отказами. Контроль ВШХ существенно повысил информационные возможности прогнозирования будущих отказов и, несомненно, перспективен в производстве ФП.

Сложнее всего определить ФЧЭ, у которых изменение основного параметра (Φ_n или D^*), а точнее тока или напряжения шума в рабочем режиме превышает 30-50% от паспорта. С этой целью перспективно использование спектров плотности мощности шума (СПМШ), позволяющих за несколько минут провести исследование ФП и оценить с высокой точностью значение шумового сигнала в широком частотном диапазоне в зависимости от смещения.

В МЭИ (ТУ) на кафедре полупроводниковой электроники разработан измерительный комплекс на базе ПК типа IBM и создано математическое обеспечение, которые позволили исследовать СПМШ большинства типов выпускаемых промышленностью ФР и ФД из InSb в частотном диапазоне от 1 до 10^5 Гц, при различных смещениях и фоновых нагрузках от 77 до 330К, что дало возможность оценить качество имеющейся или вновь разрабатываемой технологии полупроводниковых приборов и проводить дальнейшие работы по прогнозированию надежности приборов с использованием неразрушающего метода.

У52. Особенности измерения шумовых характеристик фоточувствительных структур с квантовыми ямами

Хатунцев А.И., Котов В.П., Будкин И.В.*

ГУП НИИП "Пульсар", Москва, Россия

**ООО "Сигма-Плюс", Москва, Россия*

Сочетание низкой температуры и высокого сопротивления в совокупности с низким уровнем шумов фоточувствительных структур с квантовыми ямами создаёт проблемы вывода полезного сигнала во внешнюю измерительную цепь. В первую очередь это связано с удалённостью находящихся в холодной зоне измеряемых тест-структур от расположенного вне охлаждаемой камеры входного устройства измерителя.

В разработанном макете эти затруднения преодолены благодаря обеспечению режима, близкого к согласованию по мощности между контролируемой структурой и входной цепью измерительного устройства. Это позволило получить дополнительный объём информации об электрофизических параметрах исследуемых квантово-размерных гетероструктур.

На примере разработанного макета измерителя шума обсуждены выявленные в процессе наладки и эксплуатации особенности измерения шумовых характеристик тестовых образцов. Приведённые данные измерений ряда образцов для температур от 60 до 80К позволяют сделать выводы, необходимые для создания методики предварительной оперативной разбраковки изготовленных эпитаксиальных структур.

У53. О степени повышения эффективности межзонного фотовозбуждения носителей за счет увеличения концентрации центров рекомбинации при слабом оптическом излучении

Холоднов В.А., Другова А.А.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

В развитие публикаций [1,2] рассмотрена задача о межзонном фотовозбуждении слабым оптическим излучением неравновесных носителей в полупроводниковом образце с рекомбинацией через одноуровневый рекомбинационный центр. Решение, проведено вне обычно используемого в задачах такого рода квазинейтрального приближения [3,4]. Принято, что рекомбинационный центр является акцептором. Отклонения $\Delta n = n - n_e$ и $\Delta p = p - p_e$ концентраций электронов n и дырок p от их равновесных значений n_e и p_e считаются малыми. Такая ситуация часто реализуется в полупроводниках, когда они используются для измерения слабого оптического излучения.

Основные результаты. 1. Средние значения концентраций фотоэлектронов $\langle \Delta n \rangle = \frac{1}{W} \cdot \int_0^W \Delta n(x) dx$ и фотодырок $\langle \Delta p \rangle = \frac{1}{W} \cdot \int_0^W \Delta p(x) dx$ за счет увеличения концентрации центров рекомбинации N можно увеличить на порядок и более даже при бесконечно больших скоростях рекомбинации на освещаемой (координата $x = 0$) и теневой ($x = W$) поверхностях образца. **2.** В точке $N = \hat{N}$, в которой функции $\langle \Delta n \rangle(N)$ и $\langle \Delta p \rangle(N)$ достигают максимальных значений $\langle \Delta n \rangle_{\max}$ и $\langle \Delta p \rangle_{\max}$, и в окрестности \hat{N} квазинейтральное приближение неприемлемо для “тонких” образцов. **3.** Даже при $W \rightarrow \infty$ не всегда можно пренебрегать фотоиндуцированным объемным зарядом, т. е., решать задачу в квазинейтральном приближении.

Приведено физическое обоснование полученных результатов.

Авторы признательны Российскому Фонду Фундаментальных Исследований за поддержку этого теоретического исследования (грант № 99-02-17415).

Литература

- [1] V.A. Kholodnov, A.A. Drugova // Proceedings of SPIE, v.4340, p. 186-212, 2000.
- [2] V.A. Kholodnov, A.A. Drugova, N.E. Kurochkin // Proceedings of the 25th International Conference on the Physics of Semiconductors (Osaka, Japan, Sept.17-22, 2000), Part II, p. 1445-1446, 2001.
- [3] A. Rogalski et al. // Infrared Photon Detectors, Bellingham-Washington USA: SPIE Opt. Engin. Press, 1995.
- [4] R.H. Bube // Photoelectronic properties of semiconductors. Cambridge: Cam. Univ. Pr., 1992.

У54. Использование пространственно разрешающих методик для исследования дефектов в технологическом процессе ИК ФПУ на основе КРТ

Пак П.Ю., Шашкин В.В.

Институт физики полупроводников, Новосибирск, Россия

Качество матричных ИК фотодетекторов существенно зависит от пространственной однородности базового материала. Поэтому пространственно разрешающие исследования параметров базового материала весьма полезны для создания ИК ФПУ высокого качества.

Мы исследовали пространственное распределение электрически активных областей и фоновых примесей в эпитаксиальных слоях $Hg_{1-x}Cd_xTe$ (КРТ) с составом $x=0,2-0,3$, выращенным посредством МЛЭ на подложках из GaAs, а также в матричных структурах КРТ фотодиодов для средневолнового (СВИК) и длинноволнового (ДВИК) ИК диапазонов. Неразрушающая методика сканирующей лазерной микроскопии (СЛМ), основанная на так называемом LBIC (Laser Beam Induced Current)¹ эффекте, использовалась для детектирования пространственного распределения электрически активных областей. Эксперименты проводились при температурах 78К для материала с $x=0,20-0,24$ и 300К для материала с $x>0,28$. Разрушающая методика вторичной ионной масс-спектропии (ВИМС) использовалась для определения пространственного распределения фоновых примесей.

Сопоставлялись результаты СЛМ-исследования фрагмента матрицы фотодиодов для ДВИК диапазона с ВАХ фотодиодов, измеренными после формирования контактов. Была обнаружена строгая корреляция между качественными оценками с помощью СЛМ и количественными измерениями ВАХ диодов.

С целью определить характер распределения электрически активных неоднородностей в объеме пленки КРТ, МЛЭ слои $Hg_{0,78}Cd_{0,22}Te/GaAs$ были исследованы с помощью СЛМ между этапами послойного травливания. Полученные изображения показывают схожее распределение электрически активных областей в плоскости образца от травления к травлению вплоть до подложки. На основании этого было сделано заключение о прорастающем характере дефектов.

Известно, что фоновые примеси в полупроводниковых кристаллах могут концентрироваться на структурных дефектах кристаллической решетки. Мы получили пространственное распределение фоновых примесей на фрагменте эпитаксиальной пленки КРТ ($x=0,3$) с помощью ВИМС (разрешение – 5 мкм). Профили распределения концентрации углерода (С), мышьяка (As), лития (Li) и меди (Cu) аналогичны. Сопоставление этих результатов с СЛМ-изображением того же фрагмента образца показывает наличие электрически активных неоднородностей в областях, где сконцентрированы фоновые примеси. Мы считаем, что неоднородности кристаллической структуры накапливают фоновые примеси в процессе эпитаксиального роста пленки. Те же кристаллические дефекты являются причиной появления электрических неоднородностей, регистрируемых СЛМ.

1. J. Bajaj, W. E. Tennant, R. Zucca and S. J. C. Irvine, *Semicond. Sci. Technol.*, vol.8 (1993), p.872

У55. Бесконтактное измерение времени жизни

Ушаков А.Ю., Радчук Н.Б.

С.-ПбГТУ, С.-Петербург, Россия

Разработан метод бесконтактного измерения времени жизни в полупроводниках и построена реализующая его установка, предназначенная в первую очередь для контроля фотопроводящих материалов. Бесконтактные методики измерения в последнее время получают преимущественное применение ввиду экономии времени измерения, гарантии отсутствия инжекции с контактов, исключения загрязнения полупроводниковых образцов. Приращение концентрации носителей детектируют, как правило, по изменению поглощения СВЧ-мощности (1) или длинноволнового ИК-излучения (2).

Пластины узкозонных многокомпонентных полупроводников нередко имеют неоднородность состава по площади. Поэтому измерения необходимо проводить последовательно во многих точках образца с пространственным разрешением 50-100 мкм. На пластине диаметром 50 мм потребуется порядка 10^5 измерений. Быстродействие установки должно быть соответственно не менее $0,5 \times 10^3$ измерений в секунду. В построенном приборе это обеспечивается применением компьютерной регистрации данных, электронного преобразователя экспонента - код и быстрого позиционирующего устройства.

Избыточные носители генерируются короткими световыми импульсами GaAs-лазера. Излучение подводится к образцу по световоду. Детектирование фотопроводимости производится по поглощению СВЧ-энергии в одном из плеч 2Т-моста. Для связи с образцом в непосредственной близости от конца короткозамкнутого плеча моста прорезана щель шириной порядка 0,5 мм, мост балансируется короткозамкнутым поршнем во втором плече, излучение от диода Ганна подведено к мосту через циркулятор. Пластина полупроводника располагается на широкой стороне волновода. Малая площадь отверстия связи позволяет концентрировать зондирующее излучение в засвеченной зоне полупроводникового материала и тем самым повышать чувствительность устройства.

Безвакуумный криостат оригинальной конструкции отличается простотой и удобством в работе. Замена образцов производится за время порядка одной минуты. Позиционирование образца с шагом 100 мкм выполняется шаговыми двигателями под управлением компьютера.

На установке проводились измерения эпитаксиальных и монокристаллических образцов КРТ составов от 0,18 до 0,35. Диапазон измеренных величин времени жизни был от 50 нс до 6 мкс. Совпадение результатов, полученных на одном образце с контактами и бесконтактным методом, оказалось в пределах точности измерений.

Библиография.

1. Chen M. C., J. Appl. Phys.64 (2), 15 July 1988
 2. Myles C. W., J. Vac. Sci. Techn., 4, 1986, N 4
-

У56. Исследование полупроводниковых твердых растворов $Cd_xZn_{1-x}Te$ физическими методами с использованием синхротронного излучения

Юрьев Г.С., ¹Маренкин С.Ф., ¹Гуськов В.Н., ¹Натаровский А.М., ²Матвеев О.А.,
²Терещенко В.И., ³Шарафутдинов М.Р., ⁴Никитенко С.Г., ³Евдоков О.В., ⁵Золотарев К.В.

*Сибирский центр синхротронного излучения при ИЯФ СО РАН, ИНХ СО РАН,
Новосибирск, Россия,*

¹ИОНХ РАН, Москва, Россия

²ФТИ РАН, С.-Петербург, Россия

³ИХТТuMX СО РАН, Новосибирск, Россия

⁴ИК СО РАН, Новосибирск, Россия

⁵ИЯФ СО РАН, Новосибирск, Россия

Твердые растворы (тв. р-ры) $Cd_xZn_{1-x}Te$ представляют интерес как материал для монокристалльных подложек при росте эпитаксиальных структур на основе $Cd_{(x)}Hg_{(1-x)}Te$. Тв. р-ры были синтезированы непосредственным взаимодействием порошкообразных ¹ $ZnTe$ и $CdTe$, на основе предварительно полученных монокристаллов $c-ZnTe$ и $c-CdTe$.

На основании экспериментальных дифракционных картин (ДК) порошкообразных¹ образцов тв. р-ров сделан вывод об отклонении (при $x=0,7-0,9$) линейной зависимости параметра кристаллической решетки от состава x твердых растворов [первая серия тв. р-ров: $x=1$ ($a=6,4739A$), $x=0,9$ ($a=6,4475A$), $x=0,714$ ($a=6,3720A$), $x=0,5$ ($a=6,2820A$), $x=0,49$ ($a=6,2850A$), $x=0$ ($a=6,1080A$); вторая серия тв. р-ров: $x=1$ ($a=6,4815A$), $x=0,95$ ($a=6,4629A$), $x=0,9$ ($a=6,4595A$), $x=0,85$ ($a=6,4382A$), $x=0,8$ ($a=6,4159A$), $x=0,5$ ($a=6,2963A$), $x=0,25$ ($a=6,1917A$), $x=0,1$ ($a=6,1404A$), $x=0$ ($a=6,45A$)]. Установлено, что поликристаллический массивный образец² $CdTe(Zn)$ ($a=6,45A$) имел (620)-текстуру с несколько увеличенным параметром ($a=6,4747A$), что указывало на влияние дефектов (механической шлифовки, примеси) на величину параметра решетки. Массивные монокристаллические² (111) $CdTe(Zn)$ образцы [$x=0,97$ ($a=6,5123A$), $0,96$ ($a=6,5005A$)], не имеющие на поверхности разрушенного слоя и примесей, имели несколько увеличенный параметр a по сравнению с параметром порошкообразного образца ($a=6,473\pm 0,009A$) со следами примеси.

На основании по кадровой регистрации *in situ* (ДК) порошкообразных тв. р-ров (64 картины) как при нагревании, так и при охлаждении (64 картины) образцов до комнатной температуры, отмечено изменение их фазового состава. При $x=0,9$ фазовый состав оставался неизменным.

Согласно установленным параметрам ближнего порядка в порошкообразных тв. р-рах методом FXAFS отклонение от линейной зависимости изменение $r_l(Cd-Te)$, $r_l(Zn-Te)$ от x отмечалось при $x=0,7$. Относительно параметров кристаллической решетки тв. р-ров, рассчитанных согласно величинам r_l , отмечалось, что они мало (1%) отличались от параметров, установленных (ДК) в случае величины $r_l(Cd-Te)$ и заметно отличались (5%) в случае $r_l(Zn-Te)$. Это указывало на преимущественное формирование структуры тв. р-ров структурой $CdTe$.

На основании РФА тв. р-ров осуществлен контроль стехиометрического состава образцов, определено содержание примесей в порошкообразных (следы Co , Ni , Mn), поликристаллическом массивном при сканировании его поверхности (следы Si), и монокристаллических (отсутствие примесей) образцах.

Работа выполнена по проекту INTAS N99-1456.

У57. Разработка приборов ночного видения большой дальности действия

Кошавцев Н.Ф., Добровольский Ю.А., Федотова С.Ф., Константинов А.Ф.

ГУДП СКБ ТНВ ГУП НПО "Орион", Москва, Россия

Охрана границ государства, исключение возможности ввоза наркотиков и другой контрабанды, особенно через прибрежные воды, борьба с браконьерами требуют создания приборов ночного видения с дальностью видения до 10 км.

При разработке таких приборов необходимо выполнять ряд взаимоисключающих требований: необходимость обеспечения большого увеличения и приемлемого поля зрения, резкое снижение контраста объектов наблюдения и необходимость обеспечения требуемых вероятностей обнаружения и опознавания при ограниченном времени, допускаемом для этих целей.

На основе классической схемы построения прибора ночного видения можно достигнуть дальности видения объекта типа автомобиль до 3 км. В СКБ ТНВ был разработан такой прибор на основе современного ЭОП поколения 2⁺⁺ ЭПМ 53ГА (шифр «Восток-1»). В приборе использован зеркально-линзовый объектив с фокусным расстоянием 250 мм, эффективным относительным отверстием 1:1,5. Окулярная система с поворотом изображения имеет фокусное расстояние $f_{ок}=25$ мм. Прибор имеет увеличение $\Gamma=10^x$ и массу 7,8 кг. Дальнейшее увеличение дальности действия ПНВ при сохранении фокусного расстояния объектива не более 250 мм, а, следовательно, и обеспечении поля зрения возможно за счёт уменьшения фокусного расстояния окуляра. Но уже при фокусном расстоянии $f_{ок}=10$ мм становится видна структура ЭОП, приводящая к потере контраста. Поэтому дальность видения не может быть существенно увеличена.

Для достижения дальности видения более 10 км были рассмотрены следующие потенциальные возможности: снижение потери контраста в оптических системах за счёт уменьшения рассеянного света и обеспечения высокой передачи контраста на высоких пространственных частотах. Эта проблема решается совершенствованием технологии изготовления оптических элементов и качественной сборкой оптических систем. Повышение передаточных характеристик ЭОП достигается за счёт увеличения разрешения до 60÷70 штр/мм. Увеличение прибора в целом реализуется путём передачи изображения с экрана на ПЗС камеру с соответствующим увеличением оптики переноса. В телевизионном канале за счёт обработки изображения повышается контраст и увеличение может быть доведено до 100 и более крат. При этом малоразмерные объекты могут быть обнаружены и опознаны на расстоянии до 10 км.

Радикальным средством решения проблемы опознавания объектов на больших расстояниях является создание стробированной лазерной подсветки в ограниченном поле зрения, что позволяет использовать лазеры малых мощностей. Реализация быстрого опознавания осуществляется использованием длинного строба, составляющего несколько километров. Введение короткого строба осуществляется при необходимости измерения дальности до цели. В ЭОПе при этом используется комбинированный источник питания.

Экспериментальными исследованиями было показано, что при реализации стробирования лазерной подсветки дальность видения в ПНВ достигает 8-10 км. Реализовать такую дальность опознавания в тепловизионном приборе с оптической системой, имеющей фокусное расстояние не более 250 мм, невозможно.

У58. Двухканальный прибор наблюдения

Кощавцев Н.Ф., Гусарова Н.И., Обьедкова Т.Г.

ГУДП СКБ ТНВ ГУП НПО "Орион", Москва, Россия

Для решения большого круга народно-хозяйственных задач широко используются тепловизионные приборы. Основным их недостатком является высокая стоимость и недоступность для широкого круга потребителей. Приборы низкой стоимости обычно обладают недостаточной пространственной и температурной разрешающей способностью. В некоторых случаях реализация достаточно высокой пространственной разрешающей способности и температурной чувствительности может быть осуществлена за счёт использования двухканальной схемы прибора: канала прибора видения на основе электронно-оптического преобразователя (ЭОП) и тепловизионного канала низкого пространственного разрешения на основе фотоприёмника из PbSe с термоэлектрической системой охлаждения. В такой прибор возможно наблюдение либо коротковолнового изображения с высоким пространственным разрешением в области спектра 0,5–0,9 мкм и высокой световой чувствительностью, либо изображение в области спектра 3–5 мкм с низким пространственным разрешением и достаточно высокой температурной чувствительностью $\Delta T=0,1-0,15K$, либо совмещённого изображения, в котором большее поле зрения обеспечивается низкоуровневым каналом, а меньшее — тепловизионным. Увеличение при этом в каналах одинаково.

Двухканальный прибор разработан в ГУДП СКБ техники ночного видения. В коротковолновом канале (КК) используется объектив с фокусным расстоянием $f=100$ мм, относительным отверстием $O=1:1,5$. Канал разработан на основе ЭОП типа ЭПМ-53ГА с поворотом изображения. Изображение наблюдается через окулярную систему с $f_{ок}=20$ мм. Длинноволновый канал (ДК) разработан на основе фотоприёмника PbSe с 64 элементами и термоэлектрической системой охлаждения. В приборе использована развёртка с помощью качающегося зеркала. Отображение информации обеспечивается светодиодной линейкой с 64 элементами. Изображение формируется той же системой развёртки. Окулярная система прибора позволяет наблюдать изображение коротковолнового, и длинноволнового каналов, либо их совмещённое изображение.

Основные технические характеристики прибора:

– поле зрения:

КК 10°

ДК $3,7 \times 4,9^\circ$

– пространственное разрешение:

КК ~ $0,15$ мрад

ДК ~ $1,2$ мрад

– пороговая чувствительность КК ~ $1,4 \cdot 10^{-13}$ Вт/см²

– температурная чувствительность ДК $0,15K$

– дальность опознавания автомобиля при освещённости $5 \cdot 10^{-3}$ лк в КК ~ 1000 м

– дальность обнаружения автомобиля в ДК ~ 1000 м.

В дневное время использование коротковолнового канала возможно только при существенном диафрагмировании входного объектива. Тепловизионный канал работает днём и ночью практически без каких-либо ограничений.

У59. Комплекс адаптации светотехнического оборудования кабины вертолётца для работы с очками ночного видения

¹Падалко Г.А., ¹Дудчак В.В., ¹Слюсарь В.И., ¹Калмычек А.А., ²Кошавцев Н.Ф.

¹ГУП «ПО АОМЗ», Азов, Ростовской обл., Россия

²ГУДП СКБ ТНВ ГУП НПО «Орион», Москва, Россия

Современные системы адаптации светотехнического оборудования кабины вертолётца и внешнего светосигнального оборудования для работы с очками ночного видения (ОНВ) обладают рядом недостатков, основными из которых являются паразитные засветки, необходимость наблюдения приборной доски «из-под окуляров», низкая помехозащищённость ОНВ.

Исключение существующих недостатков и получение новых качеств системы адаптации возможно путём использования стробированной системы освещения кабины и работы внешнего светотехнического оборудования. При этом освещение кабины обеспечивается светодиодами, включая и красный цвет свечения, работающими в импульсном режиме. Синхронно с импульсной работой светодиодов работают и электронно-оптические преобразователи (ЭОП) ОНВ. При этом при излучении светодиодов ЭОПы запираются и, наоборот, при открытых ЭОП отключаются светодиоды. Кабина будет освещена привычным для лётчика цветом свечения и наблюдаться через окуляры, а не «из-под окуляров».

Частота управления свечением светодиодов значительно выше критической частоты мелькания и лежит в пределах нескольких килогерц. При этом даже боковое зрение не улавливает наличие импульсной подсветки. Использование импульсного внутрикабинного освещения и работа ЭОП в импульсном режиме позволяет оптимизировать яркость свечения экрана за счёт изменения времени открытого и закрытого состояния ЭОП, резко повышает помехозащищённость. Такая система позволяет создать предпосылки повышения дальности опознавания объектов до 1000 м за счёт введения внешней подсветки, упростить введение служебной и прикладной информации в ОНВ, разработать систему связи между вертолётцами и наземными пунктами управления за счёт модуляции излучения внешнего светотехнического оборудования.

Проведённые исследования показывают, что время наработки на отказ ЭОПа может возрастать в 1,5–2 раза, а изменение яркости экрана в зависимости от средней яркости внутрикабинного пространства резко повысит комфортность условий работы лётчика, исключит негативное влияние на зрение из-за систематической переадаптации в существующих системах.

У60. Подводные очки ночного видения: принцип построения и расчёт дальности

Кирчевская Т.К., Кошавцев Н.Ф.

ГУДП СКБ ТНВ ГУП НПО "Орион", Москва, Россия

Создание приборов наблюдения под водой представляет собой более сложную задачу по сравнению с приборами наземного применения, поскольку характер формирования изображения в мутных водных средах и приземных атмосферных существенно отличаются.

При создании оптимальной системы для наблюдения в водных средах необходимо в полной мере учитывать эти отличия и особенности:

1. В результате сильного ослабления излучения водной средой, в основном, за счёт поглощения дальность видимости не превышает 50 м.
2. За счёт избирательного поглощения излучения мутная среда существенно изменяет спектральный состав излучения, сужая его до $0,4 \div 0,6$ мкм, отрезая ИК область спектра. Это определяет оптимальный диапазон работы ПНВ в воде.
3. Отражательная способность поверхности различных материалов при погружении в воду уменьшается, особенно для диэлектриков, примерно, на порядок.
4. Отличие коэффициента преломления воды от 1 в случае применения обычного объектива с иллиминатором приводит к изменению габаритных и абберрационных характеристик объектива. У объектива в воде появляется добавочная дисторсия, которая превышает 15%, поле зрения уменьшается на 25%, а светосила на 45%. В воде изменяется фокусировка объектива для предметов, находящихся на конечном расстоянии. Поэтому для исключения этих искажений применяются специальные гидрообъективы.
5. Вода представляет собой рассеивающую среду (гидрозоль) и неоднородную среду со случайным распределением показателя преломления (турбулентная среда). Эти особенности водной среды влияют на качество изображения и должны быть учтены при предварительных расчётах через усреднённую эмпирическую формулу ЧКХ моря.
6. Агрессивность морской среды требует применения для корпуса ПНВ специальных материалов — композитов или специальных защитных покрытий.
7. Оптимальной схемой построения очков ночного видения в наземных условиях является псевдобинокулярная. В водных средах в целях безопасности водолаза более целесообразной является монокулярная схема построения ПОНВ.
8. Существенной проблемой является обеспечение герметичности прибора и органов управления, а также совмещение ПОНВ с водолазной маской. Оптимальным решением является создание специальной маски со встроенным в неё прибором, что обеспечивает удаление выходного зрачка окуляра не более 25 мм. В случае стыковки ПОНВ со штатной маской (снаружи её) удаление выходного зрачка превышает 50 мм, что существенно увеличивает габариты окуляра.

В ГУДП СКБ ТНВ разработана конструкция подводного ночного комплекса, состоящего из ночного монокуляра с увеличением 1 крат, осветителя на основе светодиодного модуля, водолазной маски типа РТИ и системы крепления монокуляра к маске. Подводный ночной монокуляр включает в себя: гидрообъектив «Гидробизар-2» ($f=25$ мм, $O=1:1,3$), ЭОП типа ЭПМ-53Г, окуляр ($f=25$ мм, удаление выходного зрачка 55 мм), встроенного осветителя на основе светодиода и встроенного блока питания ($U=3$ В).

Расчёт дальности действия разработанных ПОНВ проводился по принятой в СКБ ТНВ методике расчёта ПНВ, учитывающей влияние параметров воды на энергетические характеристики и качество изображения наблюдаемых объектов. При этом геометрические искажения, вносимые водой, не учитываются, поскольку для их компенсации в объектив «Гидробизар-2» введены специальные оптические элементы. Проведённые расчёты дальности действия ПОНВ пассивно-активного типа показали значительное расширение возможности наблюдения в водной среде при низких уровнях освещённости.

У62П. Проектирование и изготовление линзовых ИК-объективов, работающих с матричными фотоприёмниками (МФП)

О.А. Лебедев, В.С. Нужин, С.В. Солк

ГУП «Л-ПроТехн», Сосновый Бор, Ленинградской обл., Россия, НИИКИ ОЭП

Рост технических характеристик матричных фотоприёмников ИК диапазона вызвал повышенный интерес у разработчиков тепловизионных камер к ИК объективам, качество которых соответствовало бы качеству применяемых приёмников. Данная работа основана на опыте проектирования, изготовления и контроля объективов, работающих в областях спектра $3\div 5$ мкм и $8\div 12$ мкм.

По нашему мнению в области $3\div 5$ мкм целесообразно использовать схему триплета-ахромата, а в области $8\div 12$ мкм – двухлинзового объектива с асферическими поверхностями. При расчёте оптических схем объективов необходимо учитывать все оптические элементы прибора, в том числе не входящие в конструкцию объектива: защитные и покровные пластины, а также диафрагмы. Попытка подобрать объектив из выпускаемых промышленностью как правило не позволяет оптимально согласовать параметры объектива и МФП.

Минимизация паразитных фоновых засветок осложнена отсутствием надёжных методик расчёта. Для уменьшения влияния на МФП собственного теплового излучения объектива выходной зрачок объектива, как правило, совмещается с охлаждаемой диафрагмой приёмника. Кроме того, объектив проектируется с заведомо большим относительным отверстием, что, к сожалению, ведёт к увеличению габаритов.

Основные оптические материалы для указанных областей спектра – это монокристаллический германий и кремний. Материалы достаточно технологичны, в том числе, возможно их формообразование алмазным микроточением.

Каждая заготовка, используемая для изготовления линз, должна проходить предварительный входной контроль, поскольку коэффициенты преломления, пропускания и внутреннего рассеяния, как правило, значительно отличаются от табличных. Такой же контроль должны проходить остальные ОЭ, работающие в схеме с объективом.

В настоящей работе предлагается также провести унификацию МФП по входящим в их состав ОЭ.

У63. Пироэлектрический приемник излучения с повышенной помехоустойчивостью

Долганин Ю.Н., Загулин В.В.

ОАО «Московский завод «Сапфир», Москва, Россия

В работе даны основные принципы построения пироэлектрических приемников излучения (ППИ) с повышенной помехоустойчивостью. Рассмотрена частотная зависимость токовой чувствительности пироэлектрического приемника излучения (ППИ) от тепловых характеристик подложки чувствительного элемента. Показано, что влияние тепловых характеристик подложки на зависимость токовой чувствительности ППИ от частоты проявляется только на низких частотах, меньших 0,1 Гц, в форме зависимости нижней граничной частоты от степени тепловой изоляции чувствительного элемента. Расчет проводился с использованием двух моделей поглощения излучения: объемной и поверхностной.

Теоретически показано, что пьезочувствительность пироприемника, то есть зависимость пьезосигнала от ускорения воздействующих вибраций линейна в широком диапазоне частот (до $\sim 10^7$ Гц). Экспериментальные результаты (в области частот от 40 до 2000 Гц) дали хорошее совпадение с теоретической моделью. Такой диапазон линейности позволил построить ППИ с повышенной пьезоустойчивостью. В качестве способов электрической компенсации помеховых сигналов были рассмотрены различные варианты дифференциального включения приемников излучения (дифференциально-последовательный, дифференциально-параллельный и с использованием дифференциального усилителя). В качестве способов формирования синфазных сигналов с выходов ППИ были рассмотрены различные варианты конструкций дифференциальных пар ППИ. Был разработан ППИ, использующий дифференциально-последовательную схему включения, и обеспечивающий подавление пьезосигналов в диапазоне частот от 5 до 1000 Гц. Экспериментальная проверка показала, что в разработанном ППИ обеспечивается подавление помеховых пьезосигналов более чем на порядок. Разработанный ППИ был запатентован в России и хорошо себя зарекомендовал в приборах, поставляемых на Украину и в Польшу.

У64П. Электронно-оптический преобразователь 4-го поколения с GaAs-фотокатодом и малощумящим полупроводниковым прострельным динодом

¹Косолюбов С.Н., ¹Кравченко А.А., ¹Паулиш А.Г., ¹Шевелев С.В.,¹
Хатункин В.В., ¹Ярошевич А.С.,^{1,2}Терехов А.С.,
³Бабин С.А.,³Каблуков С.И.,³Рыбаков М.А.,
⁴Падалица А.А.,⁴Мармалюк А.А.,⁴Булаев П.В.,⁴Никитин Д.Б.

¹*Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия*
²*Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия*
³*Институт автоматики и электрометрии СО РАН, Новосибирск, Россия*
⁴*ООО "Сигма-Плюс", Москва, Россия*

В работе приведены результаты исследования экспериментального образца планарного ЭОП, в котором усилителем яркости электронного изображения является не микроканальная пластина, а монокристаллический полупроводниковый прострельный динод (ППД) с отрицательным электронным средством. В отличие от микроканальной пластины ППД практически не вносит шумов усиления. Активным слоем ППД является GaAs толщиной ~1 микрон, одна из поверхностей которого покрыта буферным слоем варизонного AlGaAs толщиной ~500 Å, а вторая — слоем (Cs, O), обеспечивающим состояние отрицательного электронного средства. Полупроводниковые гетероструктуры для ППД выращивались методом газовой эпитаксии из металлоорганических соединений. Профиль и толщина буферного слоя обеспечивали его "прозрачность" для электронов и подавляли поверхностную рекомбинацию. Главной технологической проблемой создания ППД является обеспечение механической прочности активного слоя, достаточной для его монтажа в прибор и обеспечивающей приемлемые величины деформаций под действием электрических полей и ударных нагрузок. Изучены два варианта конструкции ППД. В первой конструкции активный слой с помощью диффузионной сварки закреплен на стеклянном кольце. Коэффициент термического расширения стекла подобран таким образом, чтобы активный слой во всем диапазоне рабочих температур был контролируемо "растянут". Во второй конструкции ППД механическая устойчивость обеспечивалась его диффузионной сваркой с полупроводниковым сеточным основанием из GaAs. При размерах ячеек 20×20 мкм и толщине перегородок между ними 5 мкм, толщина сеточного основания равнялась 150 мкм. Для создания таких сеток был разработан стенд анизотропного фотохимического травления, важнейшей частью которого является уникальный непрерывный Ag⁺ лазер, обеспечивающий световую мощность 4 Вт в УФ диапазоне ($\lambda=350$ нм). Кроме проблемы создания ППД, при выполнении данной работы была создана сверхвысоковакуумная трехкамерная установка переноса, обеспечивающая возможность последовательного изготовления и герметизации через индиевые прокладки прострельного динода и фотокатода. Были измерены основные технические характеристики макетных образцов ЭОП. Интегральная чувствительность фотокатода превышала 1800 мкА/лм. Коэффициент преобразования был равен $2,3 \times 10^3$. Приводятся результаты измерения частотно-контрастной характеристики ЭОП и его шумов.

У65. 1,06 мкм InGaAs - фотокатод

¹Долгих А.В., ¹Сахно В.И., ²Галицын Ю.Г., ²Мощенко С.П., ²Журавлев К.С. ³Падалица А.А.,
³Мармалюк А.А., ³Булаев П.В., ³Коваленко М.В.

¹*ОАО Катод, Новосибирск, Россия*

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

³*ООО Сигма-Плюс, Москва, Россия*

В ОАО "Катод" (г. Новосибирск) при использовании модифицированной базовой технологии GaAs-фотокатодов, согласованного стекла, фотокатодных InGaAs-InGaAlAs гетероэпитаксиальных структур, изготовленных в ООО «Сигма-Плюс» (г.Москва) и технологии нанесения цезий-кислородного активировочного покрытия ИФП СО РАН (г.Новосибирск) изготовлены 1,06 мкм - фотокатоды и ЭОП с интегральной чувствительностью ~800 мкА/лм и спектральной чувствительностью ~0,4 мА/Вт на длине волны 1,06 мкм.

У66. Отношение сигнал/шум в ЭОП с прямым переносом изображения

Багдурев Р.И.

ОАО «Катод», Новосибирск, Россия

В ЭОП с прямым переносом изображения в режиме отсутствия обратных связей на фактор шума, кроме процессов фотоэмиссии и умножения фотоэлектронов [1], оказывает влияние прошедший сквозь полупрозрачный фотокатод и отраженный от торцевой поверхности МКП поток света изображения. А влияние обратных связей усиливается с ростом коэффициента преобразования ЭОП, когда фототок, вызванный проходящим со стороны экрана на фотокатод потоком света, и ток ионно-электронной эмиссии фотокатода становятся соизмеримыми с фототоками изображения. Отношение сигнал-шум на выходе ЭОП с обратной связью может быть найдено из дополненного нами выражения Ronald [1] с учетом фототока, вызванного отраженным светом, и обратных связей.

$$\Psi_{\text{вых}} = \frac{\Psi_{\text{вх}}}{\sqrt{\left\{ \frac{I + \frac{i_{\text{тэ}}}{i_{\text{и}}} + T_{\text{ф}} \cdot R_{\text{м}}}{Q \cdot \theta} \right\}} \cdot \left[I + \frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda \cdot (\gamma_{\text{ф}} \cdot \theta + I) + 2}{\lambda \cdot \left(\frac{I}{\frac{i_{\text{ос}}}{i_{\Sigma \text{э}}}} - I \right)} \right]}$$

где $\Psi_{\text{вх}}$ – отношение сигнал-шум светового потока на входе ЭОП;
 $i_{\text{тэ}}$ – ток темновой эмиссии фотокатода;
 $i_{\text{и}}$ – фототок, вызванный потоком света изображения;
 $T_{\text{ф}}$ – прозрачность фотокатода;
 $R_{\text{м}}$ – коэффициент отражения торцевой поверхности МКП;
 Q – квантовая эффективность фотокатода;
 θ – коэффициент открытости МКП;
 λ – коэффициент вторично-электронной эмиссии при первых столкновениях электронов со стенкой канала МКП;
 γ – средний коэффициент ионно-электронной эмиссии фотокатода;
 $\frac{i_{\text{ос}}}{i_{\Sigma \text{э}}}$ – обратная связь

Литература

1. Ronald L. Bell Noise Figure of the MCP image Intensifier Tube IEEE Transaction Electron Device//Vol/ED-22, №10, October, с.321.

У67. Автоматизированная система измерения параметров электронно-оптических преобразователей

¹Ярошевич А.С., ¹Андреев В.Э., ¹Кравченко А.А., ¹Шайблер Г.Э., ^{1,2}Терехов А.С.,
³Хохорин А.С., ³Дегтярев Е.В.

¹*Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия*

²*Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия*

³*22 ЦНИИИ МО, Мытищи, Московская обл., Россия*

В докладе представлена автоматизированная система для измерения параметров электронно-оптических преобразователей. Данная система включает оптическую часть, ПЗС-телекамеру, персональную ЭВМ с необходимой дополнительной электроникой и программным обеспечением. Оптическая часть системы состоит из двух осветителей, двух объективов для переноса изображения с экрана ЭОП на ПЗС-телекамеру, двух подвижных механических платформ для точного позиционирования осветителей, объективов и ПЗС-телекамеры относительно ЭОП. Калиброванные светодиоды с длинами волн излучения в интервале 400÷900 нм были использованы как источники света в обоих осветителях. Первый осветитель формировал на фотокатоде круг диаметром 8÷25 мм на любой из 6 длин волн и использовался для измерения большинства параметров. Второй осветитель формировал на фотокатоде световое пятно диаметром ~2 мкм при длине волны 670 нм и использовался для измерения ЧКХ и искажений изображения, вносимых электронной оптикой, либо волоконно-оптическими элементами ЭОП. Первый объектив имел рабочее поле диаметром 25 мм и передавал его на ПЗС-телекамеру с увеличением ~0,7. Увеличение второго объектива равнялось 25^x, а размер рабочего поля – 0,8 мм. Механические платформы позволяли устанавливать выбранные осветитель и объектив в рабочие положения, изменять диаметр светового пятна на фотокатоде, выполнять фокусирование, а также сканировать световым пятном поверхность фотокатода вдоль его диаметра. Для считывания изображения с экрана ЭОП использована малошумящая цифровая ПЗС-телекамера (S1C, “Электрон-Оптроник”, С.-Петербург) с широким динамическим диапазоном и форматом ~1200×1300 элементов. Управление системой, а также сбор и обработка изображений осуществлялась ЭВМ на базе процессора Intel Pentium III-733 с объемом оперативной памяти 256 Мб и емкостью жесткого диска 30 Гб. Разработанная система предназначена для измерения параметров ЭОП с диаметром фотокатодов 18÷25 мм и позволяет определять полный набор стандартных параметров: чувствительность фотокатода, коэффициент преобразования и его однородность по площади, отношение сигнал/шум, частотно-контрастную характеристику, предел разрешения и другие. Кроме описания автоматизированной системы в докладе обсуждается целесообразность расширения перечня параметров, характеризующих качество ЭОП, и их существенная детализация. Предлагается, в частности, количественно выделить вклады фотокатода, МКП и экрана в интегральные параметры ЭОП, измерять амплитудные и частотные характеристики шумов и некоторые другие характеристики. Эти дополнительные данные позволят более сбалансировано распределять ресурсы на совершенствование фотокатода, МКП и экрана, добиваясь максимального качества ЭОП при меньших затратах. Более детальные знания о шумах ЭОП позволят оптимизировать алгоритмы цифровой обработки телевизионных изображений в низкоуровневых телевизионных системах.

У68. Твердотельный электронный умножитель многоцелевого назначения на основе гейгеровских микроячеек

Георгиевская Е.А., Филатов Л.А., Клёмин С.Н., ¹Бужан П.Ж., ¹Долгошеин Б.А., ¹Ильин А.Л., ¹Каплин В.А., ¹Каракаш А.А., ¹Плешко А.Д., ¹Попова Е.В., ¹Смирнов С.Ю.

ГУП НИИ «Пульсар», Москва, Россия

¹Московский инженерно-физический институт, Москва, Россия

Кремниевый фотоумножитель - прибор нового типа с внутренним усилением за счет ударной ионизации для детектирования вспышек света слабой интенсивности (на уровне одиночных фотонов). Детектор представляет из себя совокупность р-п-переходов, независимых друг от друга (пикселов) и объединенных на общей подложке. Напряжение, прикладываемое к детектору, выше пробойного, поэтому каждый пиксель работает в режиме ограниченного самогасящегося гейгеровского разряда. Гашение, то есть прекращение разряда, происходит из-за падения напряжения на р-п-переходе ниже пробойного, благодаря наличию в каждом пикселе индивидуального токоограничивающего резистора. Усиление пикселя определяется его емкостью (~100 фемтоФарад) и приложенным перенапряжением (несколько Вольт) и составляет примерно 10^6 . Все пиксели имеют одинаковые геометрические и электрические параметры. Сигнал, снимаемый с кремниевого фотоумножителя, является суммой сигналов от всех сработавших пикселов, поэтому детектор обладает спектрометрическими свойствами. Динамический диапазон определяется суммарным количеством пикселов в детекторе (100-4000 мм²). Эффективность регистрации видимого света составляет 25-30% в зависимости от длины волны. Благодаря высокому внутреннему усилению прибора шумы электроники не влияют на характеристики детектора. Детектор имеет хорошие временные характеристики - время нарастания фронта импульса от одного пикселя определяется длительностью гейгеровского разряда и составляет ~1 нс, разброс времени срабатывания пикселя примерно 100 пс. Кремниевый фотоумножитель может быть использован как детектор одиночных фотонов, получаемых от сцинтилляционных и флуоресцентных вспышек, в оптоволоконных линиях связи, в рентгеновской и позитронной томографии, в системах самонаведения и в других областях.

У69. Новый электростатический пировидикон с повышенной чувствительностью

Березкин Н.А., Меркин С.Ю., Москвина Н.Н.

ОАО "ЦНИИ "Электрон", С. Петербург, Россия

ЦНИИ «Электрон» проводит работу по разработке пироэлектрического видикона с повышенной чувствительностью и электростатическим отклонением. По своим характеристикам и возможностям пировидикон не имеет аналогов в России и за рубежом. По чувствительности он на порядок превосходит обычный пировидикон (ЛИ-492, Р-8093, ТН-9851 и т. п.). В настоящее время экспериментальные образцы имеют чувствительность в режиме панорамирования более 50 мкА/Вт, в режиме однократной экспозиции более 25 мкА/Вт, разрешение 350 ТВ лин/растр, причем чувствительность слабо зависит от температуры мишени в диапазоне температур от -10°C до $+50^{\circ}\text{C}$, что позволяет ослабить требования к стабилизации температуры мишени.

Использование электростатического отклонения должно позволить уменьшить габариты и массу прибора с системой фокусировки, улучшить равномерность тока сигнала и тока пьедестала.

Разработка проводится на основе принципиально нового режима работы прибора, предложенного специалистами института.

Разрабатываемый пировидикон позволит создать тепловизионную камеру, которая по своим характеристикам будет сравнима с камерой на неохлаждаемых матричных приемниках ($\text{NETD} \leq 0,1\text{K}$, разрешающая способность ≥ 300 Тв лин/растр при оптике $F/D=1$).

В докладе приводятся принцип работы, основные параметры в сравнении с аналогичными тепловыми приборами, ключевые проблемы при разработке нового пировидикона, а также рассматриваются основные области применения.

У70. Анализ предельных параметров активной системы видения на основе несканирующего тепловизора и CO₂-квантового усилителя изображения

Свиридов А.Н.

ГНЦ ГУП «НПО «ОРИОН», Москва, Россия

Предложена активная система видения (АСВ), на основе несканирующего тепловизора и CO₂-квантового усилителя изображения.

Разработана математическая модель АСВ, в рамках которой проведено исследование предельных величин отношения сигнал / шум и других параметров системы в зависимости от расстояний до объектов наблюдения (ОН), энергии импульса подсветки (W), коэффициента усиления (K) квантового усилителя (КУ), характеристик объектива, ширины спектральной полосы пропускания охлаждаемого фильтра тепловизора, а также характеристик ОН и сцены. В результате проведенных исследований показана возможность и целесообразность построения АСВ, содержащей несканирующий тепловизор, импульсный CO₂-квантовый усилитель изображения и импульсный CO₂-лазер подсветки.

Показано, что АСВ имеют преимущества перед тепловидением при наблюдении объектов, температуры и коэффициенты отражения которых мало отличаются от аналогичных параметров сцены. АСВ в зависимости от произведения W·K могут обнаруживать на дистанциях до 3000...5000 м практически любые представляющие интерес локальные изменения коэффициента отражения.

АСВ, не заменяя тепловидение, позволяют получать дополнительную информацию об ОН. Изображения, полученные с помощью АСВ, более естественны и легче распознаются, чем тепловые изображения, получаемые за счет собственного излучения ОН.

Для количественного определения предельных значений чувствительности АСВ, в работе предлагается ввести новый параметр NERD - "Эквивалентную радиационному шуму разность коэффициентов отражения".

В работе приведены расчеты численных значений NERD от расстояний до ОН и характеристик АСВ.

У71. Сигнатура объекта наблюдения тепловизионным прибором и алгоритм расчета дальности распознавания

Трестман М.М., Харькова Н.И.

ФГУП «НПО ГИПО», Казань, Россия

Пространственная структура сигнатуры наблюдаемого объекта определяет алгоритм расчетного определения дальности распознавания посредством тепловизионного прибора (ТВП).

Как правило, в расчетных оценках сигнатура объекта представлена средним значением разности радиационных температур «объект-фон» (ΔT), распределенным по эквивалентной площади излучающей поверхности наблюдаемого объекта ($H \times B$) в направлении ТВП.

Предлагается проводить расчет дальности распознавания (R_1) из условия дефицита отношения сигнал/шум, если излучающие элементы конструкции наблюдаемого объекта с сигнатурами ΔT_i , $H_i \times B_i$ разнесены друг относительно друга так, что их изображения занимают непересекающиеся между собой области. В этом случае дальность распознавания R_1 может быть рассчитана как дальность обнаружения излучающих элементов конструкции наблюдаемого объекта.

Если на дальности R_1 изображения излучающих элементов конструкции частично налагаются друг на друга, то расчет дальности распознавания (R_2) необходимо проводить также по ΔT и $H \times B$, но из условия дефицита угловой разрешающей способности.

Это же условие определения дальности распознавания соответствует случаю маскировки объекта наблюдения путем дробления штатного тепловизионного изображения на отдельные фрагменты.

Размеры изображений излучающих элементов конструкции наблюдаемого объекта рассчитывают по их сигнатурам ΔT_i , $H_i \times B_i$ для обоих значений дальностей распознавания (R_1 и R_2) и выбирают ту из дальностей, что соответствует пространственной структуре изображения объекта на экране видеосмотрового устройства ТВП.

У72. Исследование возможности опознавания объектов в ИК-диапазоне по спектральному признаку

Долганин Ю.Н., Елесина Т.В.

ОАО «Московский завод «Санфир», Москва, Россия

В работе показывается возможность опознавания объектов в ИК-диапазоне по спектральному признаку с помощью трех фотоприемников, чувствительных в этом спектральном диапазоне. Приемники отличаются друг от друга формой и положением максимумов относительной спектральной характеристики чувствительности. Обработка сигналов с выходов фотоприемников осуществляется по известному в колориметрии алгоритму определения «трехцветных» коэффициентов. Выполнен расчет «трехцветных» коэффициентов для нормальной спектральной излучательной способности применительно к кислым, промежуточным, основным и ультраосновным геологическим породам. Расчет показал, что породы уверенно опознаются при однопроцентной погрешности измерения отношений выходных сигналов. Аналогичное требование по погрешности удовлетворяет и задаче опознавания большого числа газов.

В работе рассчитан показатель метамеризма для рассмотренной совокупности веществ. Предложен алгоритм опознавания газов разной объемной концентрации. Данный алгоритм был опробован на примере газов, относящихся к категории вредных и взрывоопасных веществ. Показано, что предложенный алгоритм и однопроцентная погрешность измерения отношений выходных сигналов обеспечивают идентификацию веществ (независимо от их концентрации) с нулевым показателем метамеризма.

У73. Фотоэлектрический метод измерения качества входных окон вакуумных баллонов охлаждаемых фотоприемников излучения

Долганин Ю.Н.

ОАО «Московский завод «Санфир», Москва, Россия

Разработан фотоэлектрический метод измерения качества германиевых входных окон вакуумных баллонов охлаждаемых фотоприемников излучения. Метод основан на измерении распределения и относительного изменения освещенности параллельного пучка лучей, проходящего через входные окна при удалении «точечного» приемника излучения от поверхности входного окна вдоль оптической оси баллона. В качестве источника излучения использовалась кварцевая галогенная лампа, обеспечивающая измерения в диапазоне спектра от 2 до 4,5 мкм. Конденсорная и коллиматорная линзы изготавливались также из кварцевых линз. В качестве приемника излучения использовался неохлаждаемый фоторезистор из PbS с чувствительной площадкой диаметром 1 мм. Диаметр коллимационного пучка регулировался от 5 мм до 12 мм. Степень коллимации – однопроцентное изменение освещенности на длине 1500 мм. Установка собиралась на базе оптической скамьи и двухкоординатных столиков микроперемещений. Установка позволяет проводить косвенные измерения кривизны, цилиндричности и клиновидности входных окон вакуумных баллонов.

У74. Анализ некоторых физических характеристик легированных примесями полупроводников $A^{IV}B^{VI}$ и фотоприемников на их основе

Даварашвили О. И., Енукашвили М.И., Кекелидзе Н.П., Мецхваришвили М.Р., Алиев В.А.

Тбилисский государственный университет, Тбилиси, Грузия

Среди полупроводниковых материалов, успешно используемых в фотоэлектронике, соединения $A^{IV}B^{VI}$ и их твердые растворы занимают особую нишу. Наряду с междузонными переходами, обеспечивающими по энергетическому интервалу перекрытие широкого диапазона ИК спектра, представляет интерес на основе этих материалов, легированный примесями, создавать и фотоприемники, в которых используются как междузонные переходы, так и переходы между зоной и примесным уровнем. В качестве примесей большое внимание уделяется элементам третьей группы таблицы Менделеева, переходным элементам и лантанидам, отличающимся в этих материалах разнозарядовыми состояниями (переменной валентностью) с соответствующим энергетическим уровнем.

При определенных содержаниях примесей достигается стабилизация уровня Ферми для определенных составов и в запрещенной зоне (т.е. весьма низкие концентрации носителей). Также наблюдается эффект долговременной релаксации в условиях реконструкции дефектов. Оба эти фактора приводят к существенному возрастанию фоточувствительности и расширению применения ИК фотоприемников в системах индикации, астрофизике, медицине.

В настоящей работе анализируется, как влияют методы получения, состав твердых растворов, тип примесей, температура, а также давление, магнитное поле и электронное облучение на достижение аномально высоких физических характеристик. Рассматриваются условия для выявления при легировании примесями явления самокомпенсации и донорно-акцепторного действия локализованных примесных состояний.

Рассмотрена также возможность создания фотоприемников для одновременной регистрации интенсивности ИК излучения (сигнала) и времени получения сигнала.

У75. Выращивание эпитаксиальных слоев $Cd_xHg_{1-x}Te$ методом химического осаждения из паров металлоорганических соединений и ртути на подложках из GaAs

Моисеев А.Н., Котков А.П., Дорофеев В.В., Гришнова Н.Д.

Институт химии высокочистых веществ РАН, Н.Новгород, Россия.

Слои $Cd_xHg_{1-x}Te$ (КРТ) выращивали в вертикальном кварцевом реакторе на подложках GaAs ориентации (100) и (111)В из паров ртути, диметилкадмия, диэтилтеллура и дизпропилтеллура в потоке водорода при пониженном давлении (0,2 атм.) и температуре 350°C.

Исследовано влияние ориентации подложки и условий осаждения на состав (x), скорость роста, кристаллическое совершенство, электрофизические свойства и морфологию поверхности слоев КРТ.

Существенное различие термической устойчивости кадмий- и теллурсодержащих МОС затрудняет получение однородных по составу слоев КРТ осаждением сразу трех компонентов. Поэтому для выращивания слоев КРТ была использована методика осаждения чередующихся тонких слоев CdTe и HgTe с их последующим перемешиванием за счет взаимной диффузии.

Установлено, что скорость осаждения теллурида кадмия (111)В заметно выше, чем слоев (100), а скорость осаждения HgTe не зависит от ориентации слоя. Поэтому доля теллурида кадмия (x) в слоях КРТ ориентации (111)В выше, чем в слоях (100), выращенных в одинаковых условиях,

В результате оптимизации параметров процесса подобраны условия осаждения слоев КРТ с $x=0,2\div 0,4$ и полушириной кривой качания рентгеновской дифракции $2\div 4$ угл.мин. Слои КРТ ориентации (100) имеют поверхность с высокой концентрацией пирамидальных фигур роста, слои (111)В характеризуются гладкой морфологией поверхности.

Определяющее влияние на тип проводимости, концентрацию и подвижность носителей заряда в слоях КРТ оказывает режим их послеростового отжига и охлаждения. Не отожженные или охлажденные с малой скоростью слои КРТ с $x=0,2\div 0,4$ имели n или смешанный тип проводимости с низкой подвижностью носителей заряда. Слои, подвергнутые отжигу при $T=320\div 350^\circ C$ (в парах ртути или водороде) и закалке (охлаждению со скоростью около 100°C/мин), имели p-тип проводимости, концентрацию дырок $(0,8-6)\cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ и подвижность $300\div 400 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ при 77К.

Слои КРТ p-типа ориентации (111)В были представлены в НПО «Орион» для изготовления матричных ФПУ.

У76. Электронно-ионно-лучевое оборудование в технологическом процессе изготовления приборов ИК-техники

Васичев Б.Н., *Филачев А.М., *Пономаренко В.П., Фатьянова Г.И.,

ФГУДП НИИЭИО ГУП «НПО» «Орион», Москва, Россия

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

Электронно-ионно-лучевое оборудование обладает рядом достоинств, которые дают возможность улучшить основной показатель производства: выход годных изделий, т.е. повысить эффективность производства за счет бесконтактной диагностики на промежуточных стадиях технологического процесса, улучшить качество технологических операций, повысить надежность приборов микро- фото- электроники. Бесконтактный контроль функциональных показателей позволяет на ранних стадиях выявлять брак за счет исключения из производственного цикла изделий с отклонениями от технологических требований. Контроль за качеством выполняемого технологического процесса позволяет вносить коррекцию в технологический процесс. Для выполнения таких процессов необходимы приборы, легко перестраиваемые на различные виды контрольно-аналитических операций. Необходимы приборы, адаптированные к условиям производства и полностью автоматизированные. Такое оборудование может использоваться в жестких технологических условиях на базе, хорошо зарекомендовавшей себя в научных исследованиях электронных микроскопов: растровых, фото - и экзо-эмиссионных, отражательных и др., а также масс-спектрометров.

Электронно-ионно-лучевое технологическое оборудование давно используется в технологическом процессе для осуществления ряда операций, например, таких как литография на больших площадях с большой глубиной резкости и высокой разрешающей способностью, автоматизированная микросварка выводов с контактными площадками, испарительное осаждение тонких пленок, ионно-плазменная очистка, травление и т.д. Основными показателями такого оборудования являются производительность, эффективность технологической операции, показатель уровня привносимой дефектности, влияние на цикличность производства, увеличение выхода годных изделий за счет использования этого оборудования.

В работе приводится классификация такого оборудования и систематизированы требования для его адаптации к условиям производства изделий ИК-техники. Приводятся сведения о технических характеристиках и особенностях конструктивного решения такого оборудования, а также показатели эффективности использования электронно-ионно-лучевого оборудования в производстве изделий ИК-техники и примеры выявления дефектов на промежуточных стадиях изготовления некоторых изделий.

У77. Микромашинная технология формирования мостиковых структур микроболометрической матрицы формата 64x64

Жуков А.А., Здобников А.Е., Тарасов В.В., Четверов Ю.С.

ОАО "ЦНИИ "ЦИКЛОН", Москва, Россия

Основой современных неохлаждаемых микроболометрических устройств служат чувствительные элементы сформированные на мостиковой структуре, расположенной над поверхностью подложки с образованием резонансной полости величиной 2-2,5 мкм и позволяющей добиться поглощения ИК-излучения до 90%. Получение мостиковых структур возможно при использовании физико-технологических приемов MEMS - технологий, основанных на создании многоуровневых устройств и базирующихся на хорошо освоенных процессах микрообработки.

Поскольку мостиковые структуры представляют собой двухуровневую конструкцию, ее практическая реализация возможна с использованием известного приема, предусматривающего анизотропное травление "жертвенных" слоев (sacrificial layer) из-под покрытия толщиной несколько десятых микрометра [1,2].

Целью работы являлась технология получения мостиковых структур на основе нитрида кремния для изготовления микроболометрической матрицы формата 64x64 пикселей.

Для разработки технологии проведен анализ условий эксплуатации и изготовления, выбраны основные материалы мостиковой структуры, а также методы ее изготовления. Экспериментальные образцы получали на окисленных кремниевых подложках. Материалом мостиковой структуры служили покрытия на основе нитрида кремния. В качестве материалов маски при формировании топологического рисунка использовали фоторезист, ванадий и нитрид кремния.

Поскольку в качестве материала "жертвенного" слоя использован полиимид, сформированный при оптимальных режимах методом двухстадийной термоимидизации [3], особенностью технологии являются низкотемпературные процессы получения покрытий и формирования в них топологического рисунка.

Разработана технология, включающая последовательное формирование на поверхности сплошного полиимидного покрытия толщиной, равной толщине резонансной полости, получение в нем топологического рисунка отверстий с помощью плазменного травления через маску, нанесение слоя нитрида кремния толщиной 0,2-0,25 мкм и формирование рисунка тонкопленочных элементов, с последующим травлением полиимида.

В результате разработки получены модельные образцы мостиковых структур на основе нитрида кремния со следующими характеристиками: формат матрицы – 64x64 пикселей, их поперечные размеры - 51x51 мкм, величина балки, опоры мостиковой структуры, а также зазора между балкой и основанием - приблизительно 2,5 мкм. Разработанная технология является основой для получения микроболометрических линеек и матриц большего формата.

Литература.

1. Маляров В.Г., Хребтов И.А., Зеров В.Ю. и др./*Прикладная физика*, 5, 2000, 65-69.
2. Cole et al / US 6313463, Nov.6, 2001.
3. Polyimides: Fundamental and application/ Ed. by M.Ghosh, K.Mittal. Marcel Decker Inc., New York, Basel, Hong Kong, 1996, 891.

У78. Поверхностная обработка полиимидных пленок и покрытий при изготовлении микроболометрических структур

Жуков А.А., Коровина И.Ю.*, Четверов Ю.С.

ОАО "ЦНИИ "Циклон", Москва, Россия

*РГТУ им. К.Э. Циолковского, Москва, Россия

Полиимидные покрытия и пленки нашли широкое применение при изготовлении современных неохлаждаемых микроболометрических устройств в качестве "жертвенных" слоев и несущих мембранных элементов микромостиковых структур [1,2]. В процессах микрообработки при получении микроболометрических структур важным фактором является состояние поверхности полиимидов, определяющее как технологические, так и эксплуатационные характеристики устройств.

Целью работы являлась оценка состояния поверхности полиимидных пленок и покрытий и влияния обработок на характеристики функциональных покрытий, сформированных на них.

В работе использованы полиимидные покрытия и пленки на основе ПМДА-ОДА толщиной приблизительно 3 мкм, полученные из растворов методом двухстадийной термоимидизации [3].

Состояние поверхности исследуемых объектов оценивали методом смачивания двумя жидкостями, затем на основании подхода Дана-Кейлбла-Фаукса определяли свободную поверхностную энергию и ее полярную и дисперсионную составляющие [4]. С использованием уравнения полного смачивания низкоэнергетической поверхности математическими расчетными методами получали огибающие смачиваемости для поверхностей полиимидных пленок и покрытий, прошедших различную поверхностную обработку.

Исследовали полиимидные пленки и покрытия, полученные непосредственно после термоимидизации, прошедшие обработку в хромовой смеси с последующей промывкой и сушкой, обработку в низкотемпературной плазме воздуха мощностью 600 Вт при различной продолжительности, а также после 24 часов хранения в условиях лаборатории.

В результате проведенных экспериментов установлено, что обработка в хромовой смеси приводит к увеличению свободной поверхностной энергии с 58 до 67 мДж/м², а плазменная обработка в течение не менее 300 секунд приводит к стабилизации свойств поверхности, при этом свободная поверхностная энергия увеличивается до 78 мДж/м² за счет роста полярной составляющей. Стабильность свойств поверхности выражается в отсутствии изменений при хранении в условиях лаборатории в течение 24 часов.

Полученные результаты были использованы при отработке технологии получения функциональных покрытий на поверхности полиимида (ванадий, нитрид кремния, титан и алюминий) и позволили получать микроболометрические структуры на основе нитрида кремния толщиной 2500 ангстрем и полиимида толщиной 0,5-1 мкм.

Литература

1. Маляров В.Г., Хребтов И.А., Зеров В.Ю., Куликов Ю.В., Шаганов В.И., Смирнов А.Д., Рагузина Л.С. // *Прикладная физика*, 5, 2000, 65
2. Жуков А.А., Здобников А.Е., Клемин С.Н., Лаврищев В.П., Тарасов В.В., Четверов Ю.С. // *Прикладная физика*, 5, 2000, 80
3. Polyimides: Fundamentals and applications / Edited by M.Ghosh, K.Mittal. Marcel Decker Inc., New York, Basel, Hong Kong., 1996., 891 p.
4. Кинлок Э. Адгезия и адгезивы: наука и технология (пер с англ.), 1991, М., Мир., 484 с., ил.

У79. Использование ионных источников с широким пучком для решения задач микрофотоэлектроники

Козлов А.Н., Смольянинов В.Д., Еремин А.П., Филачев А.М.*

ГП «НИИЭИО», Москва, Россия

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

Процессы ионно-плазменной обработки в вакууме обеспечивают качественно высокий уровень решения многих технологических задач. В частности, в процессах формирования пленочных покрытий, модификации свойств поверхностных слоев пленок, травления пленок широко используется ионно-лучевая и плазменная обработка. Для эффективного применения этих методов следует обратить внимание на их особенности, связанные с физикой, во-первых, взаимодействия ускоренных, заряженных частиц в вакууме между собой, во-вторых, взаимодействия этих частиц с изделиями.

Ионно-лучевые процессы травления осуществляются с помощью ионно-лучевых источников, принцип действия и конструктивных особенностей которых полностью определяют эффективность их использования. Наиболее перспективны для травления ионные источники, формирующие пучки большого диаметра (100 мм, 200 мм и более). Главной проблемой таких источников является обеспечение высокой равномерности плотности тока по сечению пучка. Также одним из важных параметров, определяющих процесс обработки, является энергия ионов.

Одной из причин, сдерживающей внедрение технологического процесса обработки материалов пучками ионов, является отсутствие в ряде ионно-лучевых установок средств контроля важных электрофизических параметров ионных пучков. В результате этого не обеспечивается технологическая воспроизводимость процессов ионно-лучевой обработки материалов.

В работе рассмотрены вопросы подачи газа при использовании ионных источников в технологических ионно-лучевых установках, при комбинации с напылительным и другим технологическим оборудованием.

В статье рассмотрены вопросы измерения плотности ионного тока и его распределение по сечению пучка непосредственно в технологическом режиме, для определения равномерности пучка, рассмотрения вопросов нейтрализации пучка, определения механизмов взаимодействия ионов.

Также рассмотрен вопрос измерения энергетических спектров ионов непосредственно перед процессом обработки, для «юстировки» ионного пучка. Использование такого устройства измерения энергетических спектров, расположенного на заслонке ионного источника, позволяет правильно выбрать режим работы ионного источника для каждого конкретного материала, особо чувствительного к энергии ионов.

Даны рекомендации использования промышленных ионных источников в технологических установках.

У80П. Состояние и тенденции развития инфракрасных матриц

Филачев А.М., Пономаренко В.П., Таубкин И.И., Ушакова М.Б.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Анализируется состояние с разработкой и выпуском современных инфракрасных фокальных матриц в передовых странах. Рассмотрены матрицы из кадмий-ртуть-теллура для средней и дальней инфракрасной области, в том числе работающие в режиме временной задержки с накоплением, из антимонида индия и арсенида индия-галлия на основе квантовых ям, нехлаждаемые болометрические и пироэлектрические матрицы, матрицы на Шотки-барьерах и примесных материалах. Обсуждаются тенденции дальнейшего развития инфракрасных фокальных матриц для тепловизионной техники следующего поколения.

У81П. Тепловизионный канал 2-го поколения

¹Филачев А.М., Гибин И.С., ¹Пономареико В.П., Потапов А.Н.,
¹Сагинов Л.Д., Малеев Н.М.

Сибирский НИИ оптических систем, Новосибирск, Россия
¹ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

В последнее время разработчики тепловизионной аппаратуры все более ориентируются на применение матричных фотоприемных устройств (МФПУ) второго поколения, в частности на многорядные МФПУ, работающие в режиме временной задержки и накопления сигнала.

В НПО «Орион» и Сибирском НИИ оптических систем разработана концепция и создан оптоэлектронный тепловизионный канал II поколения, включающий в себя МФПУ на основе КРТ, размерностью 2x256 (4x288) и блок цифровой электронной обработки сигнала,

Основная особенность концепции тепловизионного канала состоит в том, что учитываются все тонкости восприятия, усиления, коммутации, синхронизации и оцифровки сигналов в условиях возможных сильных электромагнитных помех и наводок.

В разработанном канале предусмотрено комплексное решение проблемы предварительной аналоговой обработки и усиления сигнала с МФПУ, многоканальная оцифровка многорядными АЦП и эффективная цифровая конвейерная обработка сигналов с последующей коррекцией геометрического шума, многоточечная аппроксимация нелинейной характеристики тракта МФПУ.

В тепловизионном модуле реализованы функции программной настройки режимов синхронизации всего тракта с системами визуализации, оптического сканирования.

У82П Состояние и перспективы разработок охлаждаемых матричных ИК-приемников изображения двойного назначения в ЦНИИ «Электрон»

Арутюнов В.А., Васильев И.С., Иванов В.Г., Прокофьев А.Е.

ОАО "ЦНИИ "Электрон", С.-Петербург, Россия

Общим требованием для ИК систем двойного назначения является максимально достижимая дальность их работы. Поэтому в таких системах определяющие параметры приемников изображения – это пороговая чувствительность и разрешающая способность. Известно, что фотонные приемники по пороговой чувствительности превосходят тепловые неохлаждаемые приемники, а максимальная разрешающая способность легче достигается в монокристаллических кремниевых ИК матрицах.

Использование кремния предопределило уверенность в понимании физических процессов в исходном материале, полупроводниковых структурах и матрицах и позволило оптимальным образом конструировать матрицы, имеющие высокую пороговую чувствительность и почти идеальную амплитудно-частотную характеристику. За истекшие 10 лет в ЦНИИ "Электрон" разработаны матрицы ФППЗ БШ на силициде платины диапазона 1,2÷5,5 мкм с числом элементов 256х256 и пороговой чувствительностью $5 \cdot 10^{-13}$ Вт/элемент (ФППЗ БШ 22М), матрицы с числом элементов 512х512 на тот же диапазон спектра и закончена НИР по матрице с числом элементов 256х256 на диапазон спектра 1,2÷12,5 мкм (НИР «Картуз-Д»). Созданы и испытаны экспериментальные образцы широкоспектральных матриц диапазона 0,3÷5,5 мкм с числом элементов 256х256. Разработано также ФПУ диапазона 3÷5 мкм и два варианта экспериментальной тепловизионной камеры: с охладителем Стирлинга и с охлаждением жидким азотом. Камера испытана в условиях полигонов по морским и наземным целям; представлены наиболее важные результаты.

Опыт разработки и испытаний матриц, ФПУ и камер показал, что существуют резервы для дальнейшего улучшения основных параметров матриц и ФПУ практически на всех «уровнях» разработки – исходного материала, физики и технологии кремниевой структуры, самой матрицы и ФПУ. Это позволяет сформулировать параметрические рубежи на ближайшие пять лет по каждому «уровню» разработки.

В частности, в области монокристаллических матричных фотоприемников мы ожидаем:

а) Повысить пороговую чувствительность в диапазоне 3÷5 мкм до $(0,5 \div 1,0) 10^{-13}$ Вт/элемент при времени накопления 40 мс за счет улучшения квантовой эффективности в 2÷3 раза и снижения выходного шума; матрица при этом будет работать в условиях ограничения флуктуациями фона;

б) Увеличить формат матриц диапазона 3÷5 мкм до 1000х1000 и отработать технологию изготовления многоматричной сборки из 4-х матриц;

в) Отработать технологию создания БШ из структур вырожденный полупроводник/кремний и металл/кремний с низким потенциальным барьером и на основе этих работ обеспечить разработку ИК матриц диапазона 8÷12 мкм, а также, возможно, и диапазона 6÷16 мкм;

г) Увеличить заряд насыщения до 10^7 электронов;

д) Обеспечить разработку мультиплексоров для матричных фотоприемников, работающих при криогенном охлаждении до 40÷50К.

ОАО "ЦНИИ "Электрон" в ближайшие годы намерен активно развивать также разработку и выпуск законченных изделий – заказных тепловизионных цифровых камер на матричных ИК приемниках с барьерами Шоттки. Успешное развитие этих работ будет также во многом зависеть от решения смежных проблем рядом других предприятий.

У83П. "Смешанная" концепция построения схем считывания для фокальных процессоров с ВЗН и деселекцией элементов

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

Институт физики полупроводников НАН Украины, Киев, Украина

**Научно-исследовательский институт микроприборов, Киев, Украина*

Наиболее распространенной технологией изготовления многоэлементных ИК фотоприемников является гибридная технология, позволяющая реализовать высокое заполнение ИК-фотодиодов и возможности обработки сигналов с помощью кремниевых фокальных процессоров, выполняющих как аналоговые, так и цифровые функции. Наличие в изделии хотя бы одного неработающего элемента в фотоприемниках с временной задержкой и накоплением (ВЗН), при отсутствии функции его отключения, приводит к выходу из строя всего канала. Избежать этого можно, использовав отключение (деселекцию) бракованных фотодиодов с помощью схемы считывания. Однако, ограничения площади кристалла, составляющей обычно $\sim 56 \times 43$ мкм² для одного пикселя (спектральная область ~ 10 мкм), требуют весьма высокого уровня технологии изготовления кристалла-схемы считывания. Например, в ИК-фотоприемнике VD TL015-V3 формата 288x4 с деселекцией элементов, разработанном фирмой Sofradir, Франция, используется КМОП технология с 0,8 мкм проектными нормами. Эта технология отличается от стандартной наличием специальных операций, позволяющих реализовать как аналоговые, так и цифровые элементы. Данная технология в рамках СНГ практически недоступна.

В данной работе для реализации схем считывания, подобных упомянутому выше, предложено использование смешанной технологии – n-канальных приборов с зарядовой связью (ПЗС) и КМОП технологии, что позволяет реализовать электронную схему считывания формата 288x4 с деселекцией элементов с проектными нормами 2,5 мкм для ПЗС технологии и 2,0 мкм - для технологии КМОП. В этом случае все аналоговые функции (в том числе и ВЗН - наиболее сложная для реализации функция в КМОП базисе) выполняются ПЗС элементами. Усиление выходного сигнала осуществляется КМОП буферным усилителем. Функции дешифрирования и запоминания кодов деселекции выполняются цифровыми КМОП элементами.

Основные параметры, характеризующие используемую технологию:

тип кремниевой пластины - КДБ 10, тип кармана - n, два уровня металлизации, два уровня поликристаллического кремния (четырёхфазная ячейка ПЗС), толщина подзатворного окисла – 400А.

Параметры разработанной схемы считывания: формат 288x4, 4 информационных выходов, максимальная частота вывода информации – 4 МГц, максимальная тактовая частота - 2 МГц, функция ВЗН - по 4 элементам, максимальная зарядовая емкость по каждому входу – 1,6 пК, максимальная зарядовая емкость на входе мультиплексора – 2,4 пК, количество выводов – 28 (из них 3 - управление деселекцией).

У84. Матричные фотоприемные устройства для области спектра 3-5 мкм на InSb формата 128x128 и 288x384

Акимов В.М., Дирочка А.И., Касаткин И.Л., Климанов Е.А.,
Кравченко Н.В., Лопухин А.А., Пасеков В.Ф., Чишко В.Ф.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Разработаны матричные ФПУ форматом 128x128 и 288x384 элементов, содержащие матрицу фотодиодов, кремниевую ИС считывания и обработки сигнала, состыкованных между собой при помощи индиевых столбиков, и смонтированных на ГКМ типа интегрированный Стирлинг.

Матрица фотодиодов имеет тонкую базовую область толщиной 10÷15 мкм и получена методом химико-механической полировки с последующей приклейкой криогенным клеем на несущую кремниевую подложку. Размер фоточувствительных площадок 30x30 мкм.

Кремниевая ИС содержит матрицу ключей с индиевыми столбиками для механической и электрической стыковки с матрицей фотодиодов, задающий регистр и регистр считывания. Шаг матрицы ключей 35x35 мкм. Организация накопления построчная, величина емкости накопления $4 \cdot 10^{-12}$ Ф.

Проведены измерения характеристик при апертурном угле 2π . Установлено, что величина шума возрастает с увеличением времени накопления как $\sqrt{T_n}$ в диапазоне $T_n \leq 10^{-3}$ с, а сигнал линейно возрастает с увеличением T_n . Минимально обнаружимая мощность $P_{min} \approx 10^{-12}$ Вт/элемент при времени накопления $T_n = 9 \cdot 10^{-4}$ с. При использовании объектива с $D:F=1:1,4$ получено температурное разрешение $(5 \div 7) \cdot 10^{-2}$ К.

У85. Фотоусиление сигнала Si<Ge> p-n переходом, содержащим квантовые точки

Двуреченский А.В., Ковчавцев А.П., Курышев Г.Л., Рязанцев И.А.,
Никифоров А.И., Пчеляков О.П.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Исследованы Si<Ge> p-i-n диоды, приготовленные с помощью метода МЛЭ на основе высокоомного Si, и содержащие в приповерхностном p-слое (~0,6 мкм) квантовые точки (КТ) Ge. Плотность КТ, которые были сформированы в базовой плоскости Si (100), составляла $\sim 3 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$. При этом их средний размер в основании $\sim 15 \pm 2$ нм, а высота $\sim 1,5 \pm 0,3$ нм. Анализ фото- и электрофизических характеристик позволил обнаружить усиление $\sim 10^2 \div 10^3$ в области $T = 78 \div 120 \text{ К}$ прямого фототока при освещении p-i-n диодов излучением фотонами в диапазоне длин волн $\Delta\lambda = 0,5 \div 1,3$ мкм. Предлагается модель, согласно которой для $T < 120 \text{ К}$ Ge квантовые точки с положительным зарядом оказываются центрами захвата для электронов. Для устойчивого формирования состояний типа электрон-КТ необходимо выполнение следующих условий: 1) наличие "низкой" температуры, чтобы энергия связи состояния электрон-КТ $\gg kT$, где k - постоянная Больцмана; 2) наличие режима "плоских" зон, т.е. несколько (один, два) слоя КТ со своими буферными слоями должны находиться вне максимума электрического поля p-n перехода; 3) протекание процесса генерации светом электронно-дырочных пар в области p-n перехода. Выполнение этих условий приводит к накоплению в p-слое избыточной (неравновесной) концентрации электронов и дырок, которые обусловят понижение потенциального барьера p-n перехода и усилению фототока. При этом глубина залегания энергетического уровня электрон - КТ составляет $\sim 19 \pm 2$ мэВ. Обнаружены долговременные $\tau \sim 5 \div 10$ с релаксационные процессы фото- и электрических свойств Si<Ge> p-i-n фотодиодов, имеющие место при $T = 80 - 298 \text{ К}$. Когда в p-i-n диоде КТ отсутствуют, значение $\tau \sim 100$ мкс. Из температурной зависимости проводимости обратно-смещенных диодов обнаружены два энергетических уровня $E_1 = 0,42 \pm 0,01$ эВ и $E_2 = 0,23 \pm 0,02$ эВ от края валентной зоны. В соответствии с квантово-механической моделью, развитой для КТ 1-й уровень соответствует **S-состоянию**, и второй, соответственно, **P-состоянию**. Амперваттная чувствительность Si<Ge> p-i-n диодов для фотонов с длиной волны $\lambda = 1 \pm 0,1$ мкм в фотовольтаическом режиме составляла $\sim 0,1$ А/Вт. Оценка среднеквадратичной величины шумового тока ($T = 298 \text{ К}$) составляла $\sim (2-4) 10^{-14} \text{ А/Гц}^{0,5}$.

У86. ИК визуализация электронных процессов в полупроводниковых приборах

Малютенко В.К.

Институт физики полупроводников, Киев, Украина

ИК камеры традиционно используются в электронной промышленности для бесконтактных измерений температур перегрева печатных плат, состоящих из набора стандартных элементов (интерес представляют области локального перегрева как источники деградации печатных плат). Будучи эффективным путем отбраковки дефектных элементов, этот традиционный статический и с низкой разрешающей способностью подход не позволяет в принципе объяснить возможные физические причины, приводящие к этим перегревам и дефектам.

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

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

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

У87. Обобщение критерия качества – удельной обнаружительной способности на многоэлементные фотоприемники

Фетисов Е. А.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Введенная Джонсом¹ удельная обнаружительная способность D^* для одноэлементных фотоприемников (ФП) обобщена как критерий качества на многоэлементные, в том числе матричные и многорядные фотоприемники. Обсуждается физический смысл нового понятия: обратная величина энергии минимального, порогового числа фотонов, позволяющего обнаружить во времени и локализовать объект в пространстве, при заданном отношении сигнал/шум, которое нормировано на эффективную обобщенную частотную полосу.

На основе подхода к многоэлементному ФП как к единому целому рассмотрено отношение сигнал/шум в полосе как временной, так и пространственной частот, при этом нормировка в обычной D^* на квадратный корень из площади детектора оказывается замененной на нормирование по эффективной полосе пространственных частот. Обновленный таким образом критерий качества позволяет описать единственным числом совокупность порога чувствительности и реальной разрешающей способности многоэлементного ФП, поскольку в обобщенную D^* входит и отношение сигнал / шум, и частотно-контрастная характеристика (или коэффициент фотоэлектрической связи), и быстродействие. Обобщенный критерий может быть полезен как при отборе (паспортизации) изделий, так и при их проектировании.

В докладе, например, предпринята попытка оптимизировать переменную апертуру считывания матричного приемника изображения с учетом его быстродействия и времени накопления (кадровой частоты), и обоснован предпочтительный выбор ее формата 2x2 или 3x3.

Показано, что многие ранее использовавшиеся показатели качества являются, по существу, различными предельными или частными случаями предложенного критерия.

¹ Jones R.C. Phenomenological Description of the Response and Detecting Ability of Radiation Detectors. Proceedings of the Institute of Radio Engineers, 1959, v.47, № 9, p.1945-1502.

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

Секция А

А01. Исследование пороговых и фотоэлектрических параметров МФПУ на основе InSb с накоплением в ячейке

Кравченко Н.В., Чишко В.Ф., Касаткин И.Н., Лопухин А.А., Пасеков В.Ф., Рябова А.А., Юнгерман В.М., Климанов Е.А.

ГНЦ ГУП “НПО “Орион”, Москва, Россия

Проведены измерения распределения минимальной пороговой мощности в λ -максимуме МФПУ на область спектра $3\div 5$ мкм на основе антимионид индия с накоплением в ячейке мультиплексора, соединенного с матрицей фотодиодов индиевыми столбами. Показано уменьшение минимальной пороговой мощности с накоплением вне мультиплексора в виде цифровых данных после АЦП до ограничения низкочастотными $1/f$ шумами системы. Фотоэлектрическая взаимосвязь измерялась на точечном объекте, формируемом АЧТ 500К с диафрагмой диаметром $0.5\div 6$ мм и объективом с пятном рассеяния размером 20 мкм по уровню 90% энергии, что значительно меньше размера ФЧЭ в матрице. Результаты измерений приведены в виде графиков зависимостей от времени накопления, напряжения на накопительной емкости, напряжения смещения подпорогового транзистора.

А02. Фотоэлектрические параметры матрицы форматом 288x384 на основе InSb

Кравченко Н.В., Чишко В.Ф., Касаткин И.Н., Лопухин А.А., Пасеков В.Ф., Рябова А.А., Акимов В.М., Климанов Е.А.

ГНЦ ГУП “НПО “Орион”, Москва, Россия

Исследовался макет матричного фотоприемного устройства форматом 288x384 на область спектра $3\div 5$ мкм на основе антимионид индия в азотном криостате. В данном устройстве матрица фотодиодов соединялась с МОП-мультиплексором построчного накопления при помощи индиевых столбов. Вначале была определена рабочая область функционирования матрицы по отношению сигнал/шум при $T_{\text{ачт}}=40\text{К}$ в зависимости от времени накопления и напряжения смещения на подпороговом транзисторе. Далее, в оптимуме определялась взаимосвязь на точечном объекте от АЧТ 500К, сигнал от которого фокусировался объективом с $f=50\text{мм}$ и $d/f=0,8$ в точку с размером существенно меньшим шага в матрице (равного 35 мкм). Таким образом, суммарная взаимосвязь МФПУ и объектива не превысила 30%. Вблизи насыщения сигнала была замечена электронная взаимосвязь, распространяющаяся вдоль сканирования МОП-мультиплексора. В оптимуме также было измерено распределение минимальной пороговой мощности в λ -максимуме. Результаты измерений приведены в виде графиков сетевой поверхности и гистограммы.

А03. Исследование стабильности параметров и корректируемости многорядных матричных фотоприемников на основе КРТ фотодиодов

Соляков В.Н., Файзуллин Р.Р., Сагинов Л.Д., Курбатов А.В., Полунеев В.В.

ГНЦ ГУП НПО «Орион», Москва, Россия

В работе приведены результаты исследований стабильности параметров и возможности коррекции неоднородности параметров охлаждаемого фотоприемного модуля

для матричного фотоприемного устройства (МФПУ). Исследования проводились для модуля формата 2x96 на спектральный диапазон 8-12 мкм. Охлаждаемый фотоприемный модуль представляет собой гибридную сборку матричного фоточувствительного элемента (МФЧЭ) и двух чипов охлаждаемой кремниевой БИС. Гибридизация модуля осуществляется посредством стыковки МФЧЭ и чипов кремниевой БИС на сапфировый растр с использованием индиевых столбчатых микроконтактов.

Приведены результаты замеров выходных сигналов МФПУ, характеризующие показатели кратковременной и долговременной стабильности. В результате исследований определено максимальное время, в течение которого выходные сигналы МФПУ не изменяются более чем на величину шума.

A04. Фотоприемные устройства на основе кремниевых pin-фотодиодов для регистрации импульсного лазерного излучения

Борисов В.К., Ефимова З.Н., Заславский А.В., Климанов Е.А.,
Кузнецов П.А., Сагинов Л.Д., Хромов С.С.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Разработаны и изготовлены высокочастотные многоканальные ФПУ для регистрации импульсного лазерного излучения с $\lambda = 1,06$ мкм. ФПУ состоит из 8-ми элементного кремниевого pin-фотодиода с диаметром фоточувствительной области 10 мм и четырех ситалловых плат 2-х канальных предварительных усилителей (ПУ), собранных на 2-х канальных специализированных микросхемах. ФПУ изготовлено в конструкции изделия ФУР-124М.

Приведены основные фотоэлектрические параметры ФПУ, структурная схема 2-х канального ПУ, а также показаны основные преимущества по сравнению с аналогичным ФПУ, построенным с использованием одноканальной микросхемы ОУ.

A05. Тепловидеопеленгатор

Падалко Г.А., Дудчак В.В., *Кошавцев Н.Ф.

ФГУП ПО «АОМЗ», Азов, Россия

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

Для большого круга задач требуются приборы, совмещающие возможности тепловидеопеленгатора и тепловизора. Такие приборы называются тепловидеопеленгаторами. Такое решение вызвано тем, что в новых системах требуется не только обнаружить воздушную или наземную цель с выдачей ее координат, что обеспечивает тепловидеопеленгатор, но и распознать ее при формировании изображения, что обеспечивается тепловизором. Кроме того, после обнаружения тепловидеопеленгатором цели, ее распознавание тепловизором, часто возникает необходимость использования тепловизора в режиме сопровождения цели и наведения оружия. Сами по себе тепловизор и тепловидеопеленгатор – дорогостоящие приборы, поэтому совмещение двух функций в одном приборе – тепловидеопеленгаторе снижает стоимость всего ИК-комплекса, так как они содержат ряд однотипных узлов: приемник, система охлаждения, объектив, интерфейс сигналов приемника, АЦП, память, блоки питания и т.д. Спектр видеосигнала тепловизора всегда предельно возможный, близок к стандартному телевизионному и шире спектра тепловидеопеленгатора. Отсюда обосновывается возможность дополнить тепловизор сканером и получить тепловидеопеленгатор. Возникающая специфика сканирования за счет геометрических искажений оптического сигнала исправляется средствами быстродействующего встроенного вычислителя преобразующего видеосигнал известными методами обработки изображений, одновременно

проводя вычисление координат, распознавание, сопровождение, наведение. Полностью зеркальная оптика тепловидеопеленгатора позволяет реализовать многоспектральный прием оптического сигнала, или регистрировать его спектр методами Фурье-спектрометрии, дифракционным спектрометром, полихроматором, что важно при распознавании цели с учетом вида топлива ее двигательной установки, иных факторов спектра излучения.

Для реализации упомянутых целей используется применяемое в радио и ультразвуковой локации круговое сканирование с дальнейшим преобразованием кругового раstra в стандартный телевизионный сигнал. ИК-система строится по модульному принципу на КРТ или других многоэлементных приемниках, что позволяет создавать не только тепловидеопеленгаторы, но и его составные части – тепловизор и теплопеленгатор, как независимые приборы. Сканирующая система выполнена с возможностью изменения параметров сканирования и обеспечивает плавный или дискретный переход от режима кругового обзора к регистрации одной термограммы, причем она может формироваться и в режиме панорамирования, в том числе обеспечивая на экране монитора просмотр пространства с соотношением сторон поля один к четырем.

А06. Разработка и исследование фотоприемного тракта лазерного дальномера с безопасным для глаз излучением

Ракович Н.С., Волошин В.М., Глазков И.Н., Ковтун Т.Г.

ФГУП ПО «Уральский оптико-механический завод», Екатеринбург, Россия

Представлены результаты разработки и исследований фотоприемного тракта лазерного дальномера с длиной волны излучения $\lambda = 1,57$ мкм, соответствующей минимуму физиологической чувствительности глаза человека к оптическому излучению, применяемого для комплектации авиационных оптико-электронных систем. Лазерная генерация осуществляется на основе кристалла $YAG:Nd^{3+}$ с параметрическим преобразованием частоты излучения кристаллом КТР.

В тракте использовано фотоприемное устройство ФУО-157 разработки ГУП НПО «Орион». Входящая в состав фотоприемного тракта схема усилителя отраженного лазерного сигнала состоит из широкополосного и узкополосного каналов усиления, схемы нормирования выходного импульса и схемы управления ВАРУ фотоприемного устройства.

Результаты стендовых исследований и натурных испытаний дальномера показали, в частности, следующее.

При работе дальномера по наклонной поверхности введение узкополосного канала усиления позволяет повысить чувствительность фотоприемного тракта в 2–3 раза. Введение схемы управления ВАРУ, обеспечивающей изменение коэффициента усиления тракта, позволяет повысить точность измерения дальности на близких дистанциях.

Достигнутые по результатам исследований и испытаний основные параметры дальномера:

- диапазон измеряемой дальности, м 200 – 20000
- СКО измерения дальности, м, не более 5
- частота следования импульсов излучения, Гц до 5

Достигнутые массо-габаритные характеристики дальномера:

- габариты, мм:
 - оптико-электронный модуль 100x286x112
 - источник вторичного питания 45x100x112
- масса комплекта, кг 3,9

Приведенная выше структура фотоприемного тракта обеспечивает максимальную измеряемую дальность 20000 м при энергии в импульсе излучения 8 мДж. Расчеты показывают, что при данном значении энергии в лазерном импульсе излучение дальномера безопасно для глаз обслуживающего персонала при частотах следования импульсов до 100 Гц.

A07. Фотоприемники типа «PIG-TAIL»

Артюшенко В.Г., Бутров Ю.П., Глебов Ю.А., Глобус Е.Р.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

В статье описываются некоторые предварительные результаты совместной работы «НПО «Орион» и Института волоконной оптики при ИОФАН по созданию нового класса фотоприёмных устройств, известных под названием "pig-tail" («свиной хвостик»). Данные приборы предназначены для работы в диапазоне спектра от 4 до 14 мкм и являются гибридом фотоприёмника того или иного типа и гибкого световода на основе поликристаллического суперчистого раствора AgCl/AgBr. Фоточувствительная площадка как бы «выносятся» за пределы корпуса ФП на длину световода (до 2 м) и помещается внутри исследуемого объекта, содержащего неприемлемую для нормальной работы ФП среду – суперсильные магнитные или электрические поля, агрессивные среды и др.). Приведены конструктивные решения для ФП с ФЧЭ PbSe с ТЭО и без него, рассмотрена конструкция с зеркальным микрообъективом Кассегрена на входном конце кабеля, а также методика расчёта параметров и полученные результаты. "Pig-tail" с ФП на основе КРТ будет описан отдельно.

A08 МФПУ формата 128x128 в корпусе с термоэлектрическим охладителем

Болтарь К.О., Головин С.В., Яковлева Н.И., Сагинов Л.Д., Акимов В.М., Бурлаков И.Д.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Разработано матричное фотоприемное устройство (МФПУ) ИК диапазона спектра формата 128x128 элементов на основе фотодиодов из КРТ с охлаждающим устройством на основе многокаскадного термоэлектрического охладителя (ТЭО) на спектральный диапазон 3...5 мкм для малогабаритных тепловизионных приборов и других применений.

Охлаждаемый узел МФПУ состоит из матрицы фотодиодных приемников ИК-излучения, изготовленной в эпитаксиальном слое КРТ и кремниевой микросхемы считывания и предварительного усиления фотосигнала. Использовались эпитаксиальные слои КРТ состава, обеспечивающего граничную длину волны $5,0 \div 5,2$ мкм при 200К с концентрацией доноров $\geq 2 \cdot 10^{16}$ см⁻³. Гибридизация кристаллов МФЧЭ из КРТ и кремниевых схем обеспечивается холодной сваркой индиевых микроконтактов, формируемых на областях n-типа фотодиодов в фотоприемной матрице и контактах области истока входных полевых транзисторов кремниевого мультиплексора.

При работе кремниевой схемы считывания сигнала в рабочем режиме построчного накопления и величине накопительных емкостей $5 \div 10$ пФ время накопления строки составляло ~64 мкс. Обратный ток фотодиодов из КРТ размером около 30×30 мкм² составлял не более 0,5 мкА при температуре охлаждения 200К.

Использовались термоэлектрические охладители со следующими характеристиками при температуре основания ТЭО 300К:

Максимальная разность температур, К	112
Максимальная холодопроизводительность, Вт	1,0
Максимальный ток, не более, А	1,5
Максимальное падение напряжения, не более, В	6,3

Исследованы образцы МФПУ формата 128x128 элементов в корпусе с ТЭО на спектральный диапазон 3÷5 мкм. Среднее значение удельной обнаружительной способности составляет $2,5 \cdot 10^{10} \text{ Вт}^{-1} \text{ см}^2 \text{ Гц}^{1/2}$ при граничной длине волны по уровню 0,5, равной 5,1 мкм.

Реализована работа МФПУ в реальном масштабе времени с частотой кадров 50 Гц и обработка получаемых ИК-изображений.

А09. Результаты разработки и исследований охлаждаемого фотоприемного модуля формата 4x288 на спектральный диапазон 8 – 12 мкм с охлаждаемыми кремниевыми схемами предварительной обработки и мультиплексирования сигналов в фокальной плоскости

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

ГНЦ ГУП НПО «Орион», Москва, Россия

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

МФЧЭ выполнен на основе КРТ фотодиодов и содержит четыре линейки по 144 отдельных фоточувствительных элементов (ФЧЭ), при этом четыре линейки сдвинуты на половину шага относительно других двух линеек (шахматное расположение ФЧЭ). При сканировании изображения в направлении, перпендикулярном линейкам, за один проход формируется 288 строк изображения, при этом реализуется режим временной задержки и накопления (ВЗН) с суммированием сигналов от четырех ФЧЭ. Шаг ФЧЭ составляет 56 мкм вдоль и 42 мкм поперек линеек, эффективные размеры отдельных ФЧЭ составляют $(28 \pm 5) \times (28 \pm 5) \text{ мкм}^2$.

Чип кремниевой БИС обеспечивает считывание, интегрирование, усиление и мультиплексирование сигналов отдельных ФЧЭ на восемь выходных шин. Для организации процессов в БИС используются четыре тактовых сигнала, четыре напряжения питания, два из которых регулируются и обеспечивают подачу напряжений смещения на ФЧЭ. В схеме БИС предусмотрен стабилизатор, обеспечивающий снижение требований на допустимые уровни пульсаций по регулируемым напряжениям.

Разработана, изготовлена и налажена измерительная система для проведения исследований охлаждаемого модуля и измерения фотоэлектрических параметров. Проведены исследования функционирования охлаждаемого фотоприемного модуля МФПУ в различных режимах, проведена оценка возможности повышения фотоэлектрических параметров по сравнению с МФПУ формата 2x256. Измерения проводились в лабораторном криостате при охлаждении модуля до рабочей температуры путем заливки жидкого азота.

А10 Многоканальные фотоприемные устройства на основе фоторезисторов из CdHgTe с повышенной однородностью вольтовой чувствительности

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

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Исследовано влияние различных факторов на разброс значений вольтовой чувствительности (S_v) отдельных каналов многоканальных фотоприемных устройств на основе фоторезисторов из CdHgTe на спектральный диапазон 8-12 мкм. Выявлено, что

основное влияние на разброс значений S_v оказывают блики от конструкции всех элементов корпуса фотоприемника, отличие оптимальных токов смещения фоторезисторов и технологический разброс коэффициентов усиления предварительных усилителей сигналов фоточувствительных элементов.

Предложены и реализованы как технологические, так и схемотехнические методы уменьшения влияния выявленных факторов на однородность S_v фотоприемных устройств. Так для исключения бликов оптимизирована охлаждаемая диафрагма с покрытием, обладающим низким (<5%) коэффициентом отражения в рабочем диапазоне спектра. Существенно сужает разброс значений S_v подбор токов смещения фоторезисторов и введение в схему предварительных усилителей настроенного резистора для регулировки коэффициента усиления. Это позволило свести разброс S_v на выходе фотоприемного устройства до (1-2)% от среднего значения всех фоторезисторов конкретного фотоприемного устройства. Разработанные методы были реализованы в фотоприемных устройствах формата: две линейки по 16 элементов с размером площадки 50x50 мкм и одна линейка из 96 элементов с размером площадки 35x35 мкм, с удельной обнаружительной способностью $D^*_{\lambda_{\max}} > 7 \cdot 10^{10}$ см Гц^{1/2} Вт⁻¹.

A11. Теплопеленгационные приборы с фотоприемником с ВНС

Шаронов Ю.П., Трошкин Ю.С., Поповян Г.Э., ¹Крыжановский В.В.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

¹ООО «ТПТ», Москва, Россия

Исходя из заданных характеристик теплопеленгатора для спектрального диапазона 8-12 мкм были определены параметро-стоимостные требования к 8-элементному фоторезистору с внутренним накоплением сигнала (ВНС) на основе CdHgTe, охлаждаемому малогабаритной МКС типа «Сплит-Стирлинга».

Конструкция фоторезистора и узла его стыковки с МКС обеспечивают эффективное охлаждение ФЧЭ до рабочих температур ≈ 80 К при электрических смещениях, соответствующих заданным скоростям сканирования до 180 м/с.

Специально принятые меры позволили исключить влияние электромагнитных наводок от МКС (и от электрических и электронных узлов теплопеленгатора) в рабочей полосе частот от 300 Гц до 1,5 МГц. В теплопеленгационном режиме при скорости сканирования 160 м/с и полном поле зрения 8,6x5,7 по точечной цели (самолет) на фоне неба была получена дальность обнаружения не менее 15 км.

A12. Температурный эквивалент шума (NETD) многоэлементного ФПУ для дальней (8÷10.5 мкм) инфракрасной области спектра на основе 2×64 фотодиодной КРТ линейки и кремниевой ПЗС схемы считывания

Голенков А.Г., Забудский В.В., Рева В.П.

Институт физики полупроводников НАН Украины, Киев, Украина

При разных температурах (-10°C÷+50°C) фонового излучения исследованы фотоэлектрические параметры многоэлементного ФПУ [1] для дальней инфракрасной области спектра на основе 2×64 фотодиодной КРТ линейки и кремниевой ПЗС схемы считывания. Размер площадки фоточувствительного элемента — 50x50 мкм. В частности, измерена зависимость от температуры фонового излучения амплитуды выходных сигналов и величины их шума. Описание конструкции и принципов работы данного ФПУ представлены в работе [1].

При поле зрения для центральных элементов $FOV=52^\circ$, температуре окружающей среды 20°C и времени накопления заряда 8 мкс в спектральном диапазоне $8\div 10,5$ мкм температурный эквивалент шума (NETD) ФПУ не превышал 40 мК. При этом неравномерность NETD по элементам составляла не более 20%. Количество неработающих элементов фотодиодной линейки — не более 7%. Организация входных каскадов ПЗС схемы считывания позволяет менять время накопления заряда, а также проводить деление входного заряда и вычитание постоянной составляющей входного заряда. Это обеспечивает возможность расширения диапазона регистрируемых температур или повышения температурного контраста. Без использования дополнительных режимов управления величиной входного заряда ФПУ диапазон регистрируемых температур окружающей среды лежал в пределах $-10^\circ\text{C}\div +50^\circ\text{C}$.



ФПУ позволяет производить регистрацию инфракрасного излучения с частотой строчной развертки 100 кГц (128 элементов в одной строке). При использовании для получения двумерного изображения сканера, имеющего коэффициент использования 0,2, частота кадров формата 128×128 составляет не менее 150 Гц.

На приведенном рисунке представлена фотография лица человека, полученная с использованием данного ФПУ, в спектральном диапазоне $8\div 10,5$ мкм.

Результаты исследований показывают, что данное ФПУ по своим характеристикам находится на уровне зарубежных аналогов этого класса устройств — сканирующих многоэлементных ФПУ дальнего инфракрасного диапазона.

Авторы работы выражают благодарность за предоставленные образцы Сидорову Ю.Г., Васильеву В.В. (Институт физики полупроводников, Новосибирск, Россия) и Сизову Ф.Ф. (Институт физики полупроводников, НАН Украины) за оказанные консультации и участие в обсуждении результатов.

Литература.

1. Fiodor F. Sizov, Vladimir V. Vasil'ev, Dmitri G. Esaev, Victor N. Ovsiuk, Yuri G. Sidorov, Vladimir P. Reva, Alexandr G. Golenkov and Yuri P. Derkach. Properties of 2×64 Linear HgCdTe molecular beam-epitaxy-grown long wavelength infrared arrays with charged coupled devices silicon readouts. *Sensors and Materials*, Vol. 12, N. 7 (2000) 435-444.

A13. Серия билинейных фоточувствительных ПЗС

Костюков Е.В.

ГУП НПП "Пульсар", Москва, Россия

Рассмотрены особенности конструкции и технологии изготовления фоточувствительных приборов с зарядовой связью (ФПЗС) с билинейной организацией. В этих приборах с двух сторон от линейки фотодиодов расположены ПЗС-регистры. Разборка накопленного заряда из фотодиодов в сдвиговые регистры происходит черезэлементно, чётные - в один регистр, нечётные – в другой.

Поэтому фотодиоды могут быть упакованы более плотно, а число переносов в ПЗС-регистрах уменьшается вдвое. При большом числе фотоячеек это позволяет пропорционально повысить частоту вывода данных. Применение билинейной конструкции фотоприёмника, позволяет вдвое увеличить разрешение.

В ГУП НПП «Пульсар» разработаны и совместно с АООТ «НИИМЭ и завод Микрон» производятся два типа билинейных ЛФПЗС с числом элементов 1000 и 2000. Фотоэлектрические параметры приведены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры	Линейные ФПЗС	
	A1203	A1155
Модель ФПЗС	A1203	A1155
Число фотоэлементов	1024	2048
Напряжение насыщения, $U_{нас}$, В	$\geq 3,0$	$\geq 3,0$
Чувствительность, S_u , В/лк (при времени накопления $t_n=1$ мс)	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$
Коэффициент передачи модуляции, K_M , %	≥ 60	≥ 60
Неравномерность выходного сигнала, δU_c , %	≤ 5	≤ 5
Неравномерность темнового сигнала, δU_T , % (при времени накопления $t_n=1$ мс)	≤ 1	≤ 1
Диапазон спектральной чувствительности	0,35-1,0	0,35-1,0

Перенос зарядовых пакетов осуществляется в объёмном канале сдвигового регистра, обладающего высоким быстродействием и эффективностью переноса с потерями заряда не более 10^{-5} за один перенос.

Кристаллы ФПЗС смонтированы методом ориентированной посадки по отношению к основанию в металлокерамических корпусах типа DIP, загерметизированных оптическим окном из стекла ЛК103 или К108, обеспечивающим высокое пропускание в диапазоне длин волн от 0,35 мкм до 1,0 мкм и плоскопараллельность по отношению к фоточувствительной поверхности.

A14. Серия матричных фоточувствительных ПЗС с межстрочным переносом

Костюков Е.В., Маклаков А.М., Поспелова М.А., Пугачёв А.А., Скрылёв А.С.

Воронов В.В.* , Морозов В.Ф.* , Никитина Г.И.* , Тихонов А.А.* , Трунов С.В.*

ГУП НПП «Пульсар», Москва, Россия

**АООТ «НИИМЭ и завод Микрон», Зеленоград, Россия*

Рассмотрены особенности конструкции и технологии изготовления серии матричных ФПЗС с межстрочным переносом устройством объёмного антиблуминга. Матричная структура МФПЗС с межстрочным переносом образована чередующимися столбцами фотодиодов и экранированных от света вертикальных сдвиговых регистров.

Заряды, накопленные в фоточувствительных ячейках такой матрицы, одновременно сдвигаются в рядом расположенные биты вертикальных ПЗС-регистров, а затем параллельно, с частотой строчной развертки (для действующего ТВ стандарта 15625 Гц), построчно переносятся к выходному горизонтальному сдвиговому регистру.

В ГУП НПП «Пульсар» разработаны и совместно с АООТ «НИИМЭ и завод Микрон» производятся четыре типа МФПЗС с межстрочным переносом. Фотоэлектрические параметры приведены в таблице 1.

Таблица 1

Параметр	A-1156	A-1157	A-1186	A-1187
Число элементов (горизонталь x вертикаль)	200x180	500x582	756x581	752x582
Размеры фотоэлемента (Г x В) мкм	10,5x11,4	17x11	8,8x6,6	6,4x4,8
Тип организации	Строчно-кадровый перенос			
Полярность тактовых импульсов относительно подложки	Положительная			
Число фаз управления	2	4	4	4
Эффективность антиблуминга, $\times E_{\text{нас}}$	300	300	300	300
Чувствительность, В/(мкДж/см ²)	1,5	2,5	2,0	1,5
Неравномерность выходного сигнала, %	5,0	10,0	10,0	10,0
Неравномерность темнового сигнала, мВ	10,0	5,0	10,0	10,0
Напряжение насыщения, В	0,1	0,2	0,1	0,5
Динамический диапазон	2 000	3 000	2 000	3 000
Коэффициент передачи модуляции на частоте Найквиста за отрезающим ИК фильтром, %	65	80	80	80
Частота вывода информации, МГц	8,5	9,6	15,0	15,0

Монтируются приборы в металлокерамический корпус типа DIP, загерметизированный прозрачным в диапазоне длин волн от 0,35 мкм до 1,0 мкм окном.

A15. Обратные токи диодов с гетеропереходом в базовой области в условиях шокли-ридовской и оже-генерации носителей заряда

Соколовский Б.С., Писаревский В.К.

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

В работе теоретически исследуются особенности обратных токов диодов с гетеропереходом в базовой области, которые представляют значительный интерес для фотовольтаической регистрации ИК-излучения. Такие диоды содержат в базовой области примыкающий к омическому контакту слой с большей запрещенной зоной и позволяют значительно уменьшить обратный ток, связанный с тепловой генерацией носителей базовой области и на контакте, т.е. существенно повысить чувствительность фотодиодов.

Обратносмещенный диод с широкозонным слоем, удаленным от металлургической границы *p-n*-перехода на расстояние порядка толщины области пространственного заряда (ОПЗ), может проявлять отрицательное дифференциальное сопротивление (ОДС). Его возникновение обусловлено уменьшением при росте обратного смещения тепловой генерации носителей заряда в тонком узкозонном слое базовой области и происходит в случае, когда обратный диффузионный ток превышает ток, связанный с генерацией носителей в ОПЗ.

Показано, что образование ОДС в диодах с гетеропереходом в базовой области существенно зависит от преобладающего механизма генерации-рекомбинации носителей в базовой области. В случае доминирования шокли-ридовских процессов в базовой области появление ОДС возможно при выполнении ряда условий, которые нелегко реализовать на практике. Формирование ОДС становится вполне реалистичным в условиях, когда время жизни неосновных носителей в узкозонном слое базовой области определяется оже-механизмом, что обычно имеет место для материала $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ с $x \sim 0,2$. Проанализирована

зависимость ОДС рассматриваемой структуры от энергетических и геометрических параметров зонной диаграммы, уровней легирования базовых областей и температуры.

A16. Фотодиодные структуры на основе марганец-ртуть-теллур

Рыжков В.Н., Ибрагимова М.И., Алеева Н.В., Чащин С.П., Несмелова И.М., Андреев В.А..

ФНПЦ «НПО «ГИПО», Казань, Россия

Для изготовления фотодиодных структур использовались монокристаллы и эпитаксиальные слои $Mn_xHg_{1-x}Te$ ($x=0,09\div 0,19$) с электронной и дырочной проводимостью и концентрацией носителей заряда ($10^{15}\div 10^{16}$) $см^{-3}$ при 77К. Структуры изготавливались формированием барьера Шоттки, диффузией ртути, имплантацией ионов бора в образцы р-типа и ионов серебра в образцы n-типа. Изготовлены фоточувствительные мезоструктуры, измерены их основные параметры.

Показано, что твёрдые растворы марганец-ртуть-теллур обладают, по сравнению с твёрдыми растворами кадмий-ртуть-теллур, большей однородностью по составу и улучшенными структурными свойствами.

A17. Влияние ионизирующих излучений на работоспособность фотодиодов на основе теллурида галлия

Аскеров К.А., Исаев Ф.К., Караев Д.И.

Институт фотоэлектроники НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан

В настоящей статье рассматривается влияние факторов ядерного взрыва на основные параметры фотодиодов, разработанных на основе слоистого монокристалла теллурида галлия, работающих в спектральном диапазоне 0,4-1,1 мкм.

Для изготовления фотодиодов на основе теллурида галлия использовались монокристаллические образцы со следующими исходными параметрами: концентрация основных носителей заряда $p=10^{15}\div 10^{16}$ $см^{-3}$, подвижность этих зарядов $\mu_p=40\div 600$ см/Вс, удельное сопротивление $\rho=10\div 10^3$ Ом см при 300К.

Спектральные характеристики фотодиодов измерялись через 6-11 суток после облучения по стандартной методике с помощью монохроматора МДР-4 при напряжении смещения равном ± 3 В.

В процессе проведения испытания на импульсной гамма-установке и на импульсном реакторе фиксировались осциллограммы по регистрации изменения напряжения сигнала ($U_{\text{с}}$) и напряжения шумов ($U_{\text{ш}}$) по двум каналам с двух фотодиодов для испытания образцов одновременно. По восстановленным значениям $U_{\text{с}}$ и $U_{\text{ш}}$ определялось время потери (или время восстановления) работоспособности фотодиодов.

В результате проводимых исследований установлено, что среднее значение времени потери (или восстановления) работоспособности фотодиодов на основе теллурида галлия в условиях импульсного гамма-облучения и импульсного нейтронного облучения составляет $t \leq 1,8$ с.

Результаты исследования воздействий импульсных гамма-излучений и импульсных нейтронов показывают, что фотоприемники слоистого теллурида галлия открывают возможность использовать их в системах, работающих в видимой и ближней ИК областях спектра, в частности, в астронавигации.

A18. Способ двухстороннего совмещения рисунков лицевой и тыльной стороны при изготовлении кремниевых $\text{p}^+\text{-ip}^+$ –фотодиодов, работающих на длине волны 1,06 мкм

Диденко В.К., Мельникова Т.М., Мищенко Т.Н.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Показана возможность создания рисунка на тыльной стороне пластины кремния, совмещенного с маской на лицевой стороне, при изготовлении лавинного фотодиода с $\text{p}^+\text{-ip}^+$ - структурой.

Изготовление двух базовых срезов на пластине и двух направляющих на фотошаблоне позволяет обеспечить совмещение рисунков диаметром 500 мкм с точностью порядка 20 мкм.

A19. Многоэлементный $\text{p}^+\text{-ip}^+$ -фотодиод на основе гетероструктур InGaAsP/InP , чувствительный в спектральном диапазоне 1,0-1,7 мкм

Деготь Ю.М., Забенькин О.Н., Кулыманов А.В., Мищенко Т.Н., Огнева О.В., Чинарева И.В.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Представлены результаты изготовления 32-элементной линейки $\text{p}^+\text{-ip}^+$ -ФД на основе гетероструктур InGaAsP/InP .

Фоточувствительные элементы линейки формировались диффузией кадмия через маску из пленки нитрида кремния, наносимой плазмохимическим методом. В качестве просветляющего покрытия также использовалась пленка плазмохимического нитрида кремния. Омические контакты создавались напылением в вакууме двухслойной системы «титан-золото». Размер фоточувствительного элемента – 60х60 мкм, расстояние между элементами – 20 мкм.

Абсолютное значение токовой монохроматической чувствительности элемента линейки на длине волны 1,54 мкм составляет 0,85-0,9 А/Вт. При напряжении смещения 10 В типичные значения емкости элемента линейки составляют 0,2-0,3 пФ, инерционности – 100 пс, темнового тока – 0,5-1 нА.

A20. О возможности увеличения токовой чувствительности фотодиодов на основе InSb

Астахов В.П., Карпов В.В., Соловьева Г.С., Талимов А.В.

ОАО «Московский завод «Санфир», Москва, Россия

Изготовлены капсулы планарных фотодиодных фоточувствительных элементов на кристаллах n-InSb , отличающихся содержанием в них примеси (кристаллы марок ИСЭ-1 и ИСЭ-2в). При изготовлении таких элементов использовались различные режимы ионной имплантации, последующего отжига и защиты поверхности. Проведено комплексное изучение основных фотоэлектрических параметров таких капсул, а также собранных на их основе фотоприемных устройств, в зависимости от содержания примеси в исходном материале.

Показано, что применение более высокоомных исходных кристаллов InSb при прочих равных условиях для всех использовавшихся в эксперименте технологических режимов обеспечивает наибольший уровень токовой чувствительности фотодиодов. Для таких фотодиодов среднее по партии значение токовой чувствительности при измерении от абсолютно черного тела с температурой рабочей полости 373К почти на треть превышает аналогичное значение, характерное для фотодиодов, изготовленных по серийной технологии.

Это достигается при соблюдении следующих технологических условий: применение одностадийной ионной имплантации ионов Be^+ ($E=40$ кэВ, $\Phi=10^{14}$ см $^{-2}$), термического отжига ($375^\circ C$) с капсулирующей пленкой, защиты поверхности с помощью двухслойного диэлектрика, нижним слоем из которых является анодная окисная пленка, выращенная в электролите на основе Na_2S , а верхним- слой SiO_x .

A21. Линейный фотоприемник на основе структур с квантовыми ямами

Куликов В.Б.* , Василевская Л.М.* , Аветисян Г.Х.* , Тэгай В.А.* , Завадский Ю.И.* ,
Давыдов А.Х.* , Залевский И.Д.** , Будкин И.В.** , Бородин Д.В.***

*ГУП НПП «Пульсар», Москва, Россия

**АО «Сигма-Плюс», Москва, Россия

***ООО «Российская технологическая Компания», Москва, Россия

Фотоприемники (ФП) на основе структур с квантовыми ямами (СКЯ) сегодня получают все большее распространение. Несмотря на то, что уже созданы полноформатные матрицы на основе СКЯ, существуют области применения, где достаточно эффективно могут быть использованы ФП с относительно малым числом элементов.

В докладе представлены результаты исследования характеристик многоэлементного фотоприемника (ФП) на основе структур с квантовыми ямами, чувствительного в диапазоне 8-12 мкм. ФП представлял собой линейку формата 2x48 элементов и был изготовлен из эпитаксиальной структуры GaAs/AlGaAs, выращенной методом МОС-гидридной эпитаксии. Исследовались спектры фоточувствительности ФП, его шумовые свойства, разрешающая способность и др. Обсуждаются возможности улучшения характеристик ФП.

A22. Свойства барьеров Шоттки со структурой металл-туннельно прозрачный диэлектрик-p-Cd $_x$ Hg $_{1-x}$ Te

¹Дамьянович В., Пономаренко В.П.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

¹Белградский Государственный Университет, Белград, Югославия

Исследованы потенциальные барьеры в диодах Шоттки со структурой МТДП (металл-туннельно прозрачный диэлектрик-полупроводник) на основе узкозонных твердых растворов $Cd_xHg_{1-x}Te$ (КРТ) с $X \sim 0,2$.

В качестве барьерного металла использовались индий, титан, молибден, алюминий и хром с работой выхода порядка 4эВ. Сверхтонкие диэлектрические слои с толщиной $5 \div 7$ нм создавались методом высокочастотного магнетронного распыления мишени из Al_2O_3 в кислородсодержащей плазме, либо методом плазменного фторирования поверхности КРТ во фторсодержащей плазме.

Вольт-амперные характеристики (ВАХ) МТДП-структур хорошо описываются в рамках модели, предполагающей диффузионно-дрейфовый механизм прохождения тока основных носителей в области пространственного заряда и туннелирование через барьер в промежуточном диэлектрическом слое. Коэффициент неидеальности ВАХ составляет $1,2 \div 1,4$, туннельная прозрачность исследованных диэлектриков $(3-5)10^{-7}$ и экспоненциально уменьшается с толщиной.

Построены энергетические диаграммы потенциальных барьеров Шоттки в структурах металл-туннельный диэлектрик-p-Cd $_02$ Hg 08 Te.

А23. Свойства фотодиодов Шоттки с туннельно-прозрачным диэлектриком на основе $Cd_xHg_{1-x}Te$

¹Дамньянович В., Пономаренко В.П.

ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

¹Белградский Государственный Университет, Белград, Югославия

Исследованы спектральные зависимости токовой чувствительности и шумового тока МТДП-фотодиодов со структурой металл-туннельно-прозрачный диэлектрик- $p-Cd_{0.2}Hg_{0.8}Te$.

Квантовая эффективность исследованных фотодиодов составляет 60-80% и определяется скоростью поверхностной рекомбинации на пассивированной туннельным диэлектриком поверхности $Cd_{0.2}Hg_{0.8}Te$. Спектральные характеристики фототока имеют особенности в области длин волн $\lambda < \lambda_{max}$, связанные с поглощением ИК-излучения на свободных носителях в металлических затворах МТДП-фотодиодов.

Изготовленные фотодиоды на область спектра 8-12 мкм имеют следующие основные характеристики: токовая чувствительность в максимуме спектральной характеристики (3-6) А/Вт, удельная обнаружительная способность (2-5) 10^{10} смГц^{1/2}Вт⁻¹.

Шумовые свойства на частотах меньше 3-4 кГц определяются шумами типа 1/f.

А24. ИК-фоторезисторы из компенсированного Ge и Si с гигантским фотоэлектрическим усилением и фотоприемные матрицы на их основе

Иванов В.Г., Новоселов С.К.*

ОАО ЦНИИ "Электрон", С.-Петербург, Россия

*ГУП "Электрон-Оptronик", С.-Петербург, Россия

Способы, позволяющие реализовать усиление фотосигнала в каждой ячейке матричного фотоприемника, являются альтернативой интегрированию сигнала на емкости и активно обсуждаются в последнее время [1].

Парадоксальная возможность резкого увеличения времени жизни неравновесных основных носителей заряда с ростом концентрации рекомбинационной примеси и связанного с этим всплеска фотоэлектрического усиления (G) в фоторезисторе (ФР) при собственном или примесном возбуждении впервые теоретически исследовалась в [2,3] и позже более детально в [4]. Наши эксперименты показали, что этот эффект наиболее сильно проявляется, когда неосновные носители быстро захватываются уровнями многозарядной примеси с притягивающим барьером, а захват основных носителей идет на уровни с отталкивающим барьером при предельно малой концентрации пустых уровней. Такая ситуация реализуется в ФР из точнокомпенсированных $n-Ge(Cu)$ и $n-Si(A)$. В высокоомных ФР $n-Ge(Cu)$ при $T=80K$ обеспечивается фоточувствительность в $\Delta\lambda=1\div 5$ мкм и при постоянном смещении интегральная чувствительность $R_{\lambda,max} \geq 10^4$ А/Вт. Особый интерес представляет возрастание $R_{\lambda,max}$ еще не менее чем на порядок, когда ФР опрашивается импульсами напряжения с определенной скважностью [5].

Указанные эффекты использованы при разработке в ЦНИИ «Электрон» матричных ИК приемников с координатной адресацией на основе точно компенсированных Ge и Si и числом элементов от 256x256 до 1088x1088 [6].

1. L.J.Kozlowski at al., Proc. SPIE, v.3698, p.388-396, 1999
2. Л.Г.Парицкий ФТТ, т.6, в.4, с.1096, 1964
3. Э.Д.Головкина, В.Г.Иванов, Доклад на V Всесоюзной научно-техн. конференции по электронно лучевым и фотоэлектронным приборам, июль, 1973
4. V.A.Kholodnov, Proc. SPIE, v.3819, pp.98-115, 1998
5. В.Г.Иванов, С.К.Новоселов, Т.В.Сухенко, ФТП, т.14, в.1, с.185, 1980
6. B.I.Fouks, Proc. ESA Symp. on Photon Det., pp.167-175, 1992

А25. Фототермоэлектрический преобразователь нестационарного освещения

Касымахунова А.М., Каримов А., Жабборов Т.К., Мамадалиева Л.К.,

Ферганский политехнический институт, Фергана, Республика Узбекистан

Условия работы фотобатарей (ФБ) и термобатарей (ТБ) в период эксплуатации подвергаются различным режимам работы. Одним из них является нестационарный режим для обоих типов преобразователей. Развитие нового научно-технического направления связанного с нестационарным фотоэлектрическим преобразователем энергии в полупроводниковых структурах, обусловлено усложнением практических условий преобразования солнечной энергии, в том числе частыми включениями и отключениями засветки солнечных батарей и случайными быстропеременными, задачами преобразования энергии импульсных или моделированных источников излучения, нестационарной фотометрии и диагностики параметров полупроводников.

Наряду с этим исследования возможности использования комбинированного полупроводникового прибора фототермопреобразователя (ФТП) в различных областях науки и техники становится всё более интересным.

В докладе даются результаты теоретико-экспериментального исследования ФТП в условиях нестационарного освещения и теплового потока поступающих на горячие спаи термопреобразователя. Для расчёта и анализа бралось выражение вольтамперной характеристики ФБ, освещенных нестационарным освещением, позволяющий описывать спектральные, ёмкостные и временные характеристики фотопреобразователей и исследовать параметры фоточувствительности, фото э.д.с. и преобразования для различных переменных световых излучений

$$\dots$$

(1)

где q -заряд электрона; kT - тепловая энергия; $U(t)$ - напряжение на р-п-переходе; n_0 - равновесная концентрация электронов в р- слое; α^0 - коэффициент поглощения; D, τ - коэффициент диффузии и время жизни электронов; t - время; C - ёмкость р-п- перехода; и, для термоэлектрической части следующие условия полубесконечности

$$\dots$$

$$\dots$$

$$\dots$$

(2)

здесь T, T_x - соответственно температуры горячих и холодных слоёв термопреобразователя.

Задаваясь условием постоянства теплового потока $q = \text{const}$ выражение (2) было принято как система уравнений нестационарной теплопроводности, уравнений начальных условий и условий полубесконечности, а также на уравнение граничных условий на горячем слое ТБ.

Результаты исследований показывают, что спектральный коэффициент собирания носителей заряда $Q(t)$ не зависит от релаксационного параметра полупроводника- времени жизни носителей τ , но зависит от кинетического коэффициента диффузии D . При больших частотах импульсной засветки ($t_0 = 3 \div 5\tau$; $\tau = 1$ мкс) имеет место ёмкостного эффекта. Амплитуда тепловых потоков в ветвях ТБ одинаково с амплитудами тепловых потоков стационарных ТБ. Однако, при работе с ФТП при нестационарных освещенных и, следовательно, тепловых потоках не требует создания термоэлементов крайне малой длины и осуществлением интенсивного теплоотвода с холодных слоев. Протяженное тепло ТБ является аккумулятором непреобразованного в электроэнергию тепла.

A26. О влиянии фотоиндуцированного объемного заряда на зависимость усиления собственного порогового фоторезистора от концентрации двухуровневой рекомбинационной примеси

Холоднов В.А., Серебренников П.С.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Вне стандартного приближения квазинейтральности рассчитана зависимость коэффициента фотоэлектрического усиления G от концентрации двухуровневого рекомбинационного центра N и напряженности приложенного электрического поля E . Модель: межзонное однородное поглощение слабого оптического излучения, центр рекомбинации акцепторного типа, вытягивающие токовые контакты полупроводника.

Данная задача стимулирована работами [1-3]. В работах [1,2] в приближении одного рекомбинационного уровня показано, что даже при вытягивающих токовых контактах величина G может чрезвычайно (на порядки) возрасти с увеличением концентрации N в некотором интервале ее значений. Кроме того, в [1,2] показано, что фотоиндуцированный объемный заряд может существенно влиять на значение G в максимуме функции $G(N)$. В работе [3] в приближении квазинейтральности показано, что функция $G(N)$ может быть сильно немонотонной и в случае двухуровневого рекомбинационного центра.

Результаты расчета. Фотоиндуцированный объемный заряд приводит к снижению величины всплеска $G(N)$ по сравнению с приближением квазинейтральности. Влияние фотоиндуцированного пространственного заряда тем больше, чем больше значение E . Это обусловлено увеличением эффективной диффузионной длины фотоносителей при увеличении E [1,2]. По сравнению со случаем одноуровневой примеси максимум $G(N)$ может достигаться при меньших концентрациях N . Коэффициент усиления G слева от максимума функции $G(N)$ в двухуровневой ситуации больше, чем в одноуровневой. Это обусловлено малым значением амбиполярной подвижности в двухуровневой ситуации [3].

Авторы признательны Российскому Фонду Фундаментальных Исследований за поддержку этих теоретических исследований (грант № 99-02-17415).

Литература

[1]. В.А.Холоднов, Письма в ЖЭТФ, т.67, вып.9, с.1011-1025, 1998.

[2]. V.A.Kholodnov, Proceedings of SPIE, v.3819, p. 98-115, 1999.

[3]. P.S. Serebrennikov, V.A.Kholodnov, Proceedings of SPIE, v.3819, p. 122-126, 1999.

A27. Особенности формирования фотолюминесценции в композиционных системах полимер-полупроводник

Рамазанов М.А., Исмаилов А.А.

Институт физики НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан

Актуальность исследований фотолюминесценции в сложных системах определяется тем, что в настоящее время представляет большой интерес создание новых высокоэффективных фотолюминесцентных материалов, полученных на основе термопластических полимеров, диспергированных фоточувствительными полупроводниковыми частицами. Особо важным фактором является поиск хорошо люминесцирующих полимерных композиционных материалов с высокими физико-механическими свойствами, выяснение роли отдельных компонентов композиции в формировании фотолюминесцентных свойств композиций на основе полимер-полупроводник.

В данной работе исследованы спектры фотолюминесценции полимерных композиций в интервале длин волн $\lambda=400\div 650$ нм, полученных при различных температурно-временных режимах кристаллизаций полимерных композиций на основе полярного фторсодержащего

(поливинилиденфторид ПВДФ) и неполярного (полиэтилена высокой плотности ПЭВП) полимера и наполнителя сульфида кадмия (CdS).

Показано, что в отличие от CdS для композиций ПВДФ+ CdS и ПЭВП+ CdS помимо основного максимума наблюдается два дополнительных максимума и интенсивность новых максимумов для композиций ПВДФ+CdS, больше выраженных, чем для композиций ПЭВП+ CdS. Экспериментально установлено, что в зависимости от температурно-временного режима кристаллизации композиций амплитуда этих двух максимумов изменяется.

Также показано, что предварительная электротермополяризация (ЭТП) сильно влияет на амплитуды фотолюминесценций композиций, то есть наблюдаемый новый максимум в области длин волн $\lambda=570\div 590$ нм возрастает в зависимости от условий ЭТП и при $E_{\text{п}}=30$ кВ/см и $T_{\text{п}}=393\text{K}$ получает свое максимальное значение.

Из вышесказанных экспериментальных данных следует, что спектры фотолюминесценций сильно зависят от технологии получения и обработки композиций при различных условиях. Наблюдение новых максимумов в области длин волн $\lambda_1=570\div 590$ нм и $\lambda_2=630$ нм для композиций ПВДФ+CdS и ПЭВП+CdS в зависимости от условий электротермополяризации, температурно-временного режима кристаллизации и рода полимерной матрицы по-видимому связано с изменением надмолекулярной структуры полимеров, степени взаимодействия полимера с полупроводниковыми наполнителями и возбуждением в монокристалле CdS новых дополнительных люминесцентных центров которые сильно зависят от межфазных взаимодействий компонентов композиций.

A28. Управление квантовой эффективностью и инерционностью фотоприемных элементов тепловизоров на основе барьеров Шоттки PtSi-p-Si

Войцеховский А.В., Коханенко А.П., Несмелов С.Н., Ляпунов С.И. *,
Комаров Н.В. *, Никифоров А.Ю. *

Сибирский физико-технический институт при ТГУ, Томск, Россия
**НПП «Матричные технологии»*

Тепловидение, являющиеся одним из направлений оптико-электронного приборостроения, в настоящее время интенсивно развивается. Разработка ИК-приемных систем третьего поколения предъявляет повышенные требования к однородности свойств матрицы фоточувствительных элементов. В качестве фоточувствительных элементов в тепловизионных системах перспективно применение барьеров Шоттки PtSi-p-Si, обеспечивающих высокую равномерность чувствительности и невысокие требования к электрическим характеристикам полупроводника. Специфический вид спектральной зависимости квантового выхода барьеров Шоттки приводит к невысокой квантовой эффективности барьеров PtSi-p-Si в области ближнего окна прозрачности атмосферы (3-5 мкм) по сравнению с фоторезисторами и p-n фотодиодами. Квантовую эффективность в окне прозрачности 3-5 мкм можно повысить уменьшением высоты потенциального барьера. Наиболее эффективный способ увеличения граничной длины волны в PtSi-p-Si заключается в создании в кремнии вблизи поверхности высоколегированного слоя с дырочной проводимостью. Применение для этой цели короткоимпульсной имплантации бора методом ядер отдачи обладает рядом преимуществ по сравнению с использованием молекулярно-лучевой эпитаксии и непрерывной ионной имплантации.

В работах авторов доклада показано, что короткоимпульсная имплантация бора позволяет создать в кремнии поверхностные слои толщиной порядка 10 нм, с поверхностной концентрацией примеси до 10^{20} см⁻³ и экспоненциальным распределением примеси в поверхностном слое. В данной работе проведен анализ темновых и фотоэлектрических характеристик барьеров PtSi-p-Si с поверхностными высоколегированными слоями.

Показано, что создание высоколегированного поверхностного слоя методом ядер отдачи позволяет увеличить граничную длину элемента тепловизора до 12 мкм и повысить квантовую эффективность в спектральном диапазоне ближнего окна прозрачности атмосферы (3-5 мкм). Проведены расчеты квантовой эффективности, обнаружительной способности и разности температур, эквивалентной шуму, для различных параметров поверхностных слоев и условий регистрации излучения. Установлены параметры поверхностных слоев, оптимальные для регистрации теплового излучения в различных спектральных диапазонах. Проведен расчет параметров многоэлементного приемника ИК-изображения на основе барьеров PtSi-Si с поверхностным слоем. Показано, что создание поверхностного слоя в барьере PtSi-Si приводит к увеличению чувствительности и быстродействия тепловизоров.

A29. Пороговые характеристики ИК-фотоприемников на основе барьеров Шоттки PtSi-p-Si с высоколегированным поверхностным слоем

Войцеховский А.В., Коханенко А.П., Несмелов С.Н., Ляпунов С.И.*,
Комаров Н.В.* , Никифоров А.Ю.*

Сибирский физико-технический институт при ТГУ, Томск, Россия

**НПП «Матричные технологии»*

Важной проблемой разработчиков ИК-фотоприемных устройств на основе барьеров Шоттки являются увеличение квантовой эффективности и расширение спектрального диапазона чувствительности фотоприемников в длинноволновую область, что может быть достигнуто уменьшением потенциального барьера между металлом и полупроводником. Варьировать высоту потенциального барьера при контакте заданных материалов можно путем создания на поверхности полупроводника тонкого сильнолегированного слоя. Создание поверхностных высоколегированных слоев позволяет увеличить граничную длину волны фотоприемника, а также квантовую эффективность при заданной длине волны.

В работах авторов показано, что короткоимпульсная имплантация ионов бора в кремний методом ядер отдачи позволяет создать поверхностные слои с экспоненциальным характером распределения легирующей примеси ($N_{\max}=10^{19}-10^{20} \text{ см}^{-3}$) толщиной порядка 10 нм, что приводит к увеличению граничной длины волны фотоприемников на основе PtSi-p-Si до 12 мкм.

В данной работе проведен расчет энергетических диаграмм барьеров Шоттки PtSi-p-Si с поверхностными высоколегированными слоями. Установлены зависимости высоты потенциального барьера и параметров поверхностных слоев. Рассчитаны значения пороговой мощности и обнаружительной способности ИК-фотоприемников на основе PtSi-p-Si при различных условиях регистрации излучения и параметрах поверхностных слоев. Рассмотрены возможности увеличения квантовой эффективности в структурах PtSi-Si путем оптимизации толщины и состава силицида. Проведен анализ темновых и фоновых шумов в структуре и сформулированы условия реализации в фотоприемнике режима ограничения пороговых характеристик дробовыми шумами фототока фонового излучения.

A30. Исследование зарядовой нестабильности МДП-структур Al-Si₃N₄-InGaAsP

Огнева О.В., Чинарева И.В, Петелин А.В.

ГНЦ ГУП «НПО «ОРИОН», Москва, Россия

Целью данной работы являлось исследование стабильности встроенного заряда и плотности поверхностных состояний на границе раздела в системе Si₃N₄ - InGaAsP.

В работе использовались слои соединения $\text{In}_{0,8}\text{Ga}_{0,2}\text{As}_{0,4}\text{P}_{0,6}$ n-типа проводимости, выращиваемые на подложках InP методом жидкофазной эпитаксии. Концентрация электронов в слоях составляет $(0,5-2) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. В качестве диэлектрика применялась пленка Si_3N_4 , наносимая плазмохимическим методом при $T = 200^\circ\text{C}$. Толщина пленки – 200-300 нм, коэффициент преломления – 1,9-2,1. Полевые электроды создавались термическим напылением Al. Электрическая прочность пленки составляет $(2-3) \cdot 10^6 \text{ В/см}$, плотность пор – $(10-70) \text{ I/ см}^2$.

Исследование параметров границы раздела в системе $\text{Si}_3\text{N}_4 - \text{InGaAsP}$ – осуществлялось с помощью стандартного метода вольт-фарадных характеристик на частоте 1 МГц при амплитуде переменного сигнала 30 мВ.

Установлено, что при подаче положительных напряжений смещения происходит сдвиг C-V кривой в область положительных напряжений. Это соответствует увеличению в структуре $\text{Si}_3\text{N}_4 - \text{InGaAsP}$ отрицательного встроенного заряда. При подаче напряжения отрицательной полярности наблюдается обратная ситуация, т.е. накопление положительного заряда. В исходном состоянии (без воздействия поляризирующего напряжения) структура $\text{Si}_3\text{N}_4 - \text{InGaAsP}$ характеризовалась отрицательным встроенным зарядом величиной $N_{\text{FB}} = -(0,8-3,5) \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$, а минимальное значение плотности поверхностных состояний на границе раздела указанной структуры составляло $N_{\text{SS}} = (1-3) \cdot 10^{11} \text{ эВ}^{-1} \text{ см}^{-2}$.

На основании проведенных экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

- основными механизмами захвата носителей при комнатной температуре в структуре $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-InGaAsP}$ являются туннелирование электронов со дна зоны проводимости InGaAsP на ловушки в Si_3N_4 при полях $E_n \leq (1 \div 2) \cdot 10^6 \text{ В/см}$ и туннелирование электронов в зону проводимости Si_3N_4 с последующим захватом на ловушках в объеме Si_3N_4 при более высоких поляризирующих полях ($E_n > (1 \div 2) \cdot 10^6 \text{ В/см}$);

- выявлено, что параметры границы $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-InGaAsP}$ являются наиболее стабильными в диапазоне температур от -60°C до $+60^\circ\text{C}$ при воздействии поляризирующих полей $|E| \leq (1 \div 2) \cdot 10^6 \text{ В/см}$.

- пленка Si_3N_4 и граница раздела $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-InGaAsP}$ стабильны после долговременного термополевого воздействия.

А31. Гетероструктуры на основе твердых растворов в системе In-Ga-Al-N как перспективные среды для фотоэлектроники и интегральной оптоэлектроники

Ермаков О.Н., ¹Мартынов В.Н., Соловьев В.В., Апухтин Б.О.

ОАО "НПП"Сапфир", Москва, Россия

¹*МИСИС, Москва, Россия*

Современная оптоэлектроника характеризуется интенсивным поиском новых монокристаллических, поликристаллических, аморфных и полимерных сред, позволяющих формировать как фоточувствительные, так и светоизлучающие приборы.

Представлен обзор современного состояния и тенденций развития разработки фотоприемников и светоизлучающих приборов, таких как светоизлучающие диоды (СИД) и лазерные диоды (ЛД) на основе гетероструктур в системе In-Ga-Al-N. Отмечается, что технология синтеза из металло-органических соединений как объемных, так и квантово-размерных гетероструктур быстро развивается и в настоящее время позволяет получать высокоэффективные светоизлучающие приборы и фотоприемники, работающие в коротковолновой области, включая УФ-диапазон спектра.

Показано, что в соответствии с теоретическими расчетами гетероструктуры на основе твердых растворов в системе In-Ga-Al-N могут быть использованы для изготовления

фотоприемников с внутренним усилением фототока вплоть до 10^6 . В то же самое время эта же система твердых растворов позволяет изготавливать высокоэффективные СИД с силой света более 1 кд, а также фиолетовые ЛД, необходимые для систем оптической записи.

Рассмотрены особенности синтеза гетероструктур методом эпитаксии из металлоорганических соединений. Подчеркивается, что синтез твердых растворов управляется не только термодинамическими и кинетическими факторами, но и существенно зависит от влияния подложки.

Представлены экспериментальные данные по люминесцентным и фотоэлектрическим характеристикам приборов на основе твердых растворов в системе In-Ga-Al-N. Показано, что статистический беспорядок в этой системе твердых растворов приводит к общему уширению спектров люминесценции и fotocувствительности, а также к размытию областей оптической нелинейности, которые обычно наблюдаются в квантово-размерных структурах.

Подчеркивается, что рассмотренная система твердых растворов является перспективной средой для интегральной оптоэлектроники.

A32. Изопериодические гетеропереходы $Pb_{1-x}Sn_xTe(In)/PbTe_{1-y}Se_y$, полученные в сверхвысоком вакууме

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

Институт фотоэлектроники НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан

На сверхвысоковакуумной ($\leq 3 \div 5 \cdot 10^{-9}$ мм.рт.ст.) установке с безмасляной откачкой, разработанной и внедренной в Институте Фотоэлектроники НАН Азербайджана, методом "горячей стенки" выращены эпитаксиальные пленки $Pb_{1-x}Sn_xTe(x=0,2):In$, $PbTe_{1-y}Se_y(x=0,08)$ и на их основе в едином технологическом цикле созданы изопериодические гетеропереходы p- $Pb_{1-x}Sn_xTe(In)/n-PbTe_{1-y}Se_y$. В качестве подложек использованы полированные пластины (100) и свежесколотые грани (111) BaF_2 . Структурное совершенство пленок контролировалось электронографическим, рентгенодифракто-метрическим и электронно-микроскопическим методами.

Получены структурно совершенные ($W_{1/2}=100 \div 120^{//}$) эпитаксиальные пленки p- $Pb_{1-x}Sn_xTe:In$, свободные от вторичных включений и с оптимальными значениями концентрации и подвижности носителей заряда, необходимыми для изготовления fotocувствительных p-n-структур со стабильными характеристиками.

Разработаны технологические условия, позволяющие получать fotocувствительные гетеропереходы p- $Pb_{1-x}Sn_xTe/n-PbTe_{1-y}Se_y$ с $\lambda_{max}=11,6$ мкм. Смещение максимума fotocувствительности в длинноволновую область спектра по сравнению с литературными данными ($\lambda_{max}=6 \div 10,5$ мкм) объясняется оптимальными значениями концентрации, подвижности носителей заряда и скорости конденсации контактирующих пар, получением p-n переходов при относительно низких температурах и в сверхвысоком вакууме, а также повышенной однородностью свойств эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Sn_xTe$, вследствие легирования индием.

A33. Функциональные возможности пленок $Cd_{1-x}Zn_xSe$, осажденных из водного раствора в ИК-области спектра

Абдинов А.Ш., Джафаров М.А., Насиров Э.Ф., Мамедов Г.М.

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

В настоящем сообщении приводятся результаты исследования фотоэлектрических свойств пленок $Cd_{1-x}Zn_xSe$, имеющих прикладное значение в ИК технике. Интерес к этим пленкам вызван, прежде всего, возможностями их практического применения,

обусловленными контролируемым изменением физических свойств за счет вариации состава и технологии получения. Предпринятые в этом направлении исследования показывают, что несмотря на поликристалличность структуры пленок $Cd_{1-x}Zn_xSe$, осажденных из водного раствора, можно достичь необходимой степени взаимокомпенсации различных уровней и реализовать в них различные фотоэлектрические эффекты.

Сложные центры рекомбинационного и ловушечного типа в полупроводниковых пленках $Cd_{1-x}Zn_xSe$, образующиеся с большой вероятностью, обуславливают проявление в них ярко выраженной индуцированной примесной фотопроводимости в ИК-области, аномальной фотопроводимости и фотохимической реакций.

Образование ассоциатов Cd_i-Cd_i , Zn_i-Zn_i , $V_{Se}-Zn_i$ и др. обеспечивает появление системы оптически активных электронных состояний, разнесенных в интервале энергий 0,3-0,6 эВ, и позволяет использовать пленки $Cd_{1-x}Zn_xSe$ для создания на их основе неохлаждаемых фотоприемников ИК-диапазона.

В пленках $Cd_{1-x}Zn_xSe$ при освещении светом длиной волны $\lambda=0,95$ мкм наблюдались аномальная фотопроводимость и эффект фотопамяти, связанные с существованием в них дефектов с метастабильными состояниями, концентрациями которых целенаправленно можно управлять в зависимости от состава, режима осаждения и термической обработки (ТО). Эффект фотопамяти лимитируется туннельными переходами неосновных локализованных электронов и дырок между r - и s -центрами.

В пленках $Cd_{0,8}Zn_{0,2}Se$ после ТО на воздухе в течение 10-15 мин при освещении с излучением длиной волны $\lambda=1,25$ мкм наблюдалась оцувствляющая фотохимическая реакция с энергией активации $0,17\div 0,21$ эВ, представляющая собой процесс распада донорно-акцепторных пар, состоящих из γ -центров и доноров Cd_i , Zn_i , и обусловленная условиями осаждения и ТО.

А34. Фоточувствительность гетероструктуры $Si_{1-x}Ge_x/Si$ с учетом поглощения излучения на свободных носителях и рассеяния горячих дырок по энергии

Серебренников П.С.

ГНЦ ГУП "НПО "Орион", Москва, Россия

С учетом диффузионного движения горячих носителей после поглощения ИК кванта методом функции Грина проведен расчет квантовой эффективности и фоточувствительности при приеме узкополосного и теплового излучения. Получена зависимость квантовой эффективности и фоточувствительности от длины области $Si_{1-x}Ge_x$, коэффициента поглощения ИК излучения на свободных носителях, длины пробега горячих носителей по энергии как при прямом освещении, так и при приеме излучения через подложку. Показано, что освещение через подложку дает заметно большую квантовую эффективность. Получена фоточувствительность при приеме теплового излучения при различной высоте потенциального барьера гетероперехода (при различном мольном составе $Si_{1-x}Ge_x$). Проанализированы темновые шумы и с учетом рассчитанной фоточувствительности определена температура перехода в BLIP режим при различной граничной длине волны. Проведен расчет величины NETD для разных значений параметров структуры $Si_{1-x}Ge_x$.

А35. Фотоэлектрические свойства CdS, герметизированного поливинилиденфторидом

Кулиев М.М.

Сектор радиационных исследований НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан

Перспектива применения фотокомполитов в фотоэлектрических приборах требует разработки быстродействующих высокочувствительных фотоприемников. Для этого

необходимо подробное изучение физических процессов, происходящих в них, их характеристик и параметров, а также вопросов технологии и конструкции, обеспечивающих достижение этих параметров.

В данной работе исследовано влияние композиционного состава фотопроводящего материала, полученного добавлением нелегированного порошка CdS к полимеру поливинилиденфторид (ПВДФ), на его фотоэлектрические свойства. Образцы освещались со стороны открытой поверхности белым светом от лампы накаливания интенсивностью 40 мк Вт/см^2 .

Рассмотрены процессы генерации и переноса заряда, изучены в широком интервале (10^{-1} - 10^2 В) приложенного напряжения вольт-амперные характеристики (ВАХ), относительная спектральная чувствительность композита ПВДФ+CdS в зависимости от объемного содержания (Ф) компонентов. Электропроводность материала возрастает с увеличением объемного содержания CdS от $5 \cdot 10^{-15} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ (100% ПВДФ) до $2,8 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ (100 % CdS).

При всех значениях объемного содержания наполнителя ВАХ имеют несколько характерных участков. При низких напряжениях наблюдается омический участок зависимости темнового тока с показателем степени близким к единице. После омической области темновой ток становится пропорциональным U^n , где $n \sim 1,35$ и 2. При этом наблюдается ТОПЗ, описываемый «ловушечным» квадратным законом. При более высоких напряжениях наблюдается область почти вертикального роста тока (кроме композита ПВДФ + 80% об. CdS)

На световых ВАХ омическая область отсутствует. Наблюдаются участки с $n \sim 1,2$, $n \sim 2,2$ и $n \sim 3,3$, а при больших напряжениях и участок почти вертикального роста тока. С увеличением Ф напряжение, при котором происходит переход от одного участка к другому, смещается в сторону более низких значений.

Определена концентрация уровней прилипания ($2 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$). Лучшие фотоэлектрические свойства наблюдаются в образцах, содержащих 60% об. CdS. В них ток при возбуждении светом больше темнового примерно в $2 \cdot 10^3$ раза.

А36. Фотоэлектрические свойства ZnGa_2Se_4

Керимова Т.Г., Султанова А.Г., Мамедов З.Г., Джафарова Э.А.

Институт физики НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан

ZnGa_2Se_4 относятся к сложным алмазоподобным соединениям типа $A^2B_2^3C_4^6$. Сложный химический состав, наличие двух сортов атомов в катионной подрешетке обуславливают богатый спектр локальных состояний в запрещенной зоне. Высокая временная стабильность многих характеристик, слабая чувствительность их свойств к воздействию внешних факторов и легированию в сочетании с высокой fotocувствительностью и большой шириной запрещенной зоны ($E_g \sim 2,4$ эВ) выдвигает это соединение в ряд перспективных материалов для полупроводникового приборостроения.

В настоящем сообщении приводятся результаты исследования спектров фотопроводимости монокристаллов ZnGa_2Se_4 . Для проведения измерений монокристаллы ZnGa_2Se_4 , были выращены методом газотранспортных реакций. В качестве транспортера использовался кристаллический йод. В результате рентгенографических исследований установлено, что ZnGa_2Se_4 кристаллизуется в тетрагональной структуре с параметрами решетки $a=5,496 \text{ \AA}$, $c=10,99 \text{ \AA}$, $c/a=2$. Совершенство кристаллов контролировалось снятием лауэграмм. Выращенные монокристаллы имели n-тип проводимости, удельное сопротивление $\rho=10^8 \text{ Ом.см}$. Поскольку ZnGa_2Se_4 анизотропный кристалл, измерения были проведены в поляризованном излучении. В спектрах ФП в области края собственного поглощения наблюдаются два максимума при энергиях 2,1 эВ и 2,23 эВ. Поляризационная

зависимость максимума ФП при 2,23 эВ коррелирует с поляризационной зависимостью коэффициента поглощения в области края собственного поглощения. Исследовалась также зависимость коэффициента дихроизма поглощения $R_{\alpha}=(k_{\perp}-k_{\parallel})/(k_{\perp}+k_{\parallel})$ (k_{\perp} и k_{\parallel} - коэффициенты поглощения в поляризациях E_{\perp} и E_{\parallel} соответственно, c - тетрагональная ось). Анализ анизотропии поляризационных зависимостей спектров ФП и коэффициента дихроизма позволяют использовать это соединение в качестве поляриметрических детекторов в видимой области спектра (530 ÷ 580 нм).

А37. Накопление фотосигнала в ИК фотоприемнике на основе трапецеидальной δ -легированной сверхрешетки с собственным поглощением излучения

Селяков А.Ю.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Развита теория ИК фотоприемников на основе сверхрешетки нового типа — трапецеидальной δ -легированной сверхрешетки (ТСР) с собственным поглощением излучения. Рассчитана оптимальная структура такой ТСР и выяснены отличия в требованиях к структуре рассматриваемой сверхрешетки от требований к структуре ТСР, поглощающей длинноволновое ИК излучение вследствие эффекта Франца – Келдыша [1]. Проанализированы механизмы рекомбинации в ТСР с собственным поглощением излучения на основе узкозонных полупроводников $A^{III}B^V$, таких как $In_{0,53}Ga_{0,47}As$, $InAs$, $InSb$ и $InAs_{1-x}Sb_x$. Установлено, что время жизни неравновесных носителей в рассматриваемых ТСР (в том числе на основе $InSb$ и $InAs_{0,35}Sb_{0,65}$) может достигать величины порядка нескольких миллисекунд. Проанализировано накопление фотосигнала в ТСР с собственным поглощением излучения в условиях сильных фоновых засветок. Показано, что в отличие от классических легированных сверхрешеток (ЛСР) [2] фотоотклик ТСР фотоприемника сохраняет линейный характер даже при большом (порядка времени жизни) времени накопления фотосигнала и реальном уровне фонового излучения в спектральных диапазонах 3-5 и 8-10 мкм. Таким образом, ТСР с собственным поглощением излучения обладает существенными преимуществами перед другими сверхрешетками с пространственным разделением электронов и дырок: в отличие от ТСР, проанализированных в работе [1], квантовая эффективность рассматриваемой сверхрешетки близка к единице, а в отличие от ЛСР [2] ТСР фотоприемник может работать в режиме накопления при реальных фонах. Иными словами, использование ТСР с собственным поглощением излучения в качестве ячейки ИК матрицы в принципе позволяет создать крупноформатную *планарную* смотрящую матрицу среднего и дальнего ИК диапазонов с большим временем накопления фотосигнала и предельно высокими пороговыми характеристиками.

1. В.В. Осипов, А.Ю. Селяков, М. Foygel ФТП, 33, 870 (1999).

2. Л.Н. Неустроев, В.В. Осипов, В.А. Холоднов. ФТП, 14, 939 (1980); Л.Н. Неустроев, В.В. Осипов. ФТП, 14, 1186 (1980); Л.Н. Неустроев, В.В. Осипов. Микроэлектроника, 9, 99 (1980).

А38. Расчет тепловых контрастов и потенциалов инфракрасных изображений в спектральных диапазонах 3...5 мкм и 8...14 мкм с учетом противоизлучения окружающей среды

Свиридов А.Н.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Проведены расчеты (для двух используемых в тепловидении спектральных диапазонов: 3...5 мкм и 8...14 мкм) тепловых контрастов и потенциалов инфракрасных изображений объектов наблюдения (ОН), как при наличии противоизлучения окружающей среды, так и при отсутствии противоизлучения. (Противоизлучением называлось попадающее на ОН излучение от неба, от поверхности Земли и от окружающих его предметов. Предполагалось, что температура ОН существенно не отличается от температуры поверхности Земли).

Показано, что в инфракрасном изображении в рассматриваемых спектральных диапазонах (в отличие от изображений этих ОН в видимой области спектра) всегда (как при наличии противоизлучения, так и при его отсутствии) имеет место исчезновение некоторых локальных участков (ЛУ) - участков ОН, у которых температуры или (и) коэффициенты отражения отличаются от средних.

Предложено характеризовать каждый из ЛУ ОН численным индексом γ_i , величина которого определяется его температурой, коэффициентом отражения, и средними для ОН значениями этих величин. Проведены расчеты численных величин индексов исчезающих ЛУ от температуры окружающей среды.

Показано, что наличие противоизлучения, наряду с уменьшением контраста изображения, может (при определенных условиях) приводить к инверсии, т.е. к тому, что ЛУ с меньшими коэффициентами излучения приобретают большую яркость, чем ЛУ с большими коэффициентами излучения.

А39. Система контроля энергетического спектра ионных пучков

Козлов А.Н., Смольянинов В.Д., Еремин А.П., Филачев А.М.*

ГП «НИИЭИО», Москва, Россия

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

Одной из причин, сдерживающих внедрение технологического процесса обработки материалов пучками ионов, является отсутствие в ряде ионно-лучевых установок средств контроля важных параметров. В результате этого не обеспечивается технологическая воспроизводимость процессов ионно-лучевой обработки материалов. Одним из параметров, определяющих процесс обработки, является энергия ионов. В работе описана разработанная система контроля для анализа энергетического спектра ионов. Обычные измерения ионного тока с помощью запирающего потенциала носят интегральный характер. Для получения информации о токе ионов, обладающих малым разбросом энергии, применяется специальная схема измерения. Для получения величины тока ионов, обладающих энергией, заданной запирающим потенциалом V , накладывается на этот потенциал переменное напряжение. Регистрирующая часть прибора выделяет переменную составляющую тока ионов. Детектируя полученное напряжение, получаем сигнал, амплитуда которого пропорциональна току ионов, обладающих энергией, заданной потенциалом V . Данная система позволила правильно выбрать режимы обработки, а также повысить воспроизводимость технологических процессов.

А40. Устройство контроля профиля пучка заряженных частиц

Козлов А.Н., Смольянинов В.Д., Еремин А.П., Филачев А.М.*

ГП «НИИЭИО», Москва, Россия
 *ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Для обеспечения высокой степени повторяемости технологических процессов, таких как ионное травление, модификация поверхности, напыление тонкоплёночных покрытий и др., необходимо иметь стабильные во времени величины плотности ионного тока, его распределение по сечению пучка с тем, чтобы параметры технологического процесса были идентичными во всех точках обрабатываемой поверхности в течение всего технологического цикла. Для этой цели было разработано устройство для контроля работы ионных источников, генерирующих пучки большого диаметра.

В статье описано устройство для точного и однозначного воспроизведения профиля пучка положительно или отрицательно заряженных частиц на мониторе с контролем величины плотности тока в каждой точке. Приводятся расчеты ошибок измерения токов для данного устройства.

А41. Чувствительность оптико-электронных и телевизионных систем наблюдения

Смирнов В.Д., Иванкин И.Р.

НИИ телевидения, С.-Петербург, Россия

Влияние энергетической эффективности оптики на величину отношения сигнал/шум (NEP) в оптико-электронных и телевизионных приборах определяется коэффициентом усиления оптической системы, который может быть представлен в виде:

$$K_y = \tau_o \tau_\varepsilon \tau_b N_k D_{зр}^2 / d_{кр}$$

Где τ_o – коэффициент пропускания оптики; τ_ε – коэффициент экранирования; τ_b – коэффициент пропускания для наклонных пучков лучей; N_k – коэффициент концентрации энергии в кружке рассеяния оптической системы; $D_{зр}$ – диаметр входного зрачка оптической системы; $d_{кр}$ – диаметр кружка рассеяния оптической системы.

При работе аппаратуры наблюдения в условиях малого контраста малоразмерного объекта к окружающему его фону (в случае ограничения чувствительности оптико-электронной системы «фотонными шумами») величина отношения сигнал/шум с учетом коэффициента усиления оптики в видимой и ближней инфракрасной областях спектра определяется следующими формулами:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{ВИД}} = F \frac{(TKy)^{1/2} \lambda_2}{L^2} \int_{\lambda_1} (y)^{1/2} \frac{I(\lambda)}{(h\nu B_\phi(\lambda))^{1/2}} d\lambda ;$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{ИК}} = \frac{D_M}{L^2} \left(\frac{TKy\pi}{4\phi}\right)^{1/2} \lambda_4 \int_{\lambda_3} \left(\frac{y(\lambda)}{h\nu M e(T_\phi)\varepsilon(\lambda)}\right)^{1/2} d\lambda ,$$

Где F – фокусное расстояние оптической системы; T – время наблюдения; L – расстояние до объекта; Y – квантовая эффективность приемника излучения в видимой и ближней инфракрасной областях спектра; I – энергетическая сила света малоразмерного объекта; $h\nu$ – энергия фотона; $B_\phi(\lambda)$ – энергетическая яркость протяженного фона; $\phi = 1/2 + 2(F/D + 1/2 D_M/D)^2 / 16[(F/D)^4 + 8(F/D)^2(1 + D_M^2/D) + (D^2 - D_M^2)^2/D^4]$ – угловой коэффициент облученности мишени ИК ПЗС-матрицы аппаратурным фоном элементов конструкции

камеры; D_M – диаметр мишени ИК ПЗС-матрицы; $M_e(E_\phi)$ – спектральная плотность энергетической яркости теплового фона; $\varepsilon(\lambda)$ – спектральный коэффициент излучения. Анализ приведенных выше формул выявляет зависимость величины «фотонного» отношения сигнал/шум от основных характеристик оптической системы: фокусного расстояния, коэффициента усиления и кружка рассеяния.

А42. Анализ предельных возможностей обнаружения объектов с помощью наблюдательных тепловизоров

Свиридов А.Н.

ГНЦ ГУП «НПО «ОРИОН», Москва, Россия

Разработана математическая модель идеального наблюдательного тепловизора. При построении модели предполагалось: - основным источником шума является дробовый шум фотонов, облучающих ФЧЭ; - температуры и коэффициенты отражения наблюдаемых объектов мало отличаются от соответствующих характеристик сцены; - световая яркость изображения $i^{го}$ локального участка объекта на экране индикаторного устройства тепловизора (полезный сигнал) определяется разностью между электрическим зарядом, накопленным в канале ФЧЭ, оптически сопряженным с этим локальным участком, и электрическим зарядом, накопленным в канале ФЧЭ оптически сопряженным со сценой.

Показано, что возможность обнаружения $i^{го}$ локального участка объекта на экране тепловизора однозначно определяется его численным индексом γ_i .

$$\gamma_i := 4 \cdot (t - 1) \cdot \frac{r}{r - 1} \cdot \left(\frac{1 - R_{cp}}{R_{cp}} \right)$$

где: R_{cp} – коэффициент отражения сцены, t и r , соответственно, отношения температур и коэффициентов отражения $i^{го}$ локального участка и сцены.

Проведены расчеты предельных отношений сигнал/шум (для двух используемых в тепловидении спектральных диапазонов: 3...5мкм и 8...14мкм) с учетом противоизлучения, угловых размеров объектов, характеристик объектов и сцены.

А43. Инфракрасные стекла Лыткаринского завода оптического стекла

Молев В.И., Поздняков А.Е., Румянцев В.В., Самуйлов А.В.

ОАО «ЛЗОС», Лыткарино, Московская обл., Россия

Известно, что большинство оптических стекол прозрачно в видимой и ближней ИК-области спектра (до $\lambda=2,5$ мкм).

Алюмокальциевое стекло разработки ОАО «ЛЗОС» действует уже в диапазоне от 0,45 мкм до 5 мкм и может выпускаться в виде дисков до $\phi 400$ мм, а также моллировать в полусферы.

Дальнейшее расширение спектрального диапазона прозрачности стекол возможно при переходе к бескислородным (халькогенидным стеклам).

Основу этих стекол составляют сочетания сульфидов некоторых элементов III, IV, V групп периодической системы Д.И. Менделеева. Кроме прозрачности в ИК-области, халькогениды стекла имеют полупроводниковые свойства, а также высокую фоточувствительность при малой величине электропроводности.

Заготовки из бескислородных стекол выпускаются диаметром до 300 мм массой до 15 кг.

А44. Жесткие волоконно-оптические изделия как элементы

Молев В.И., Поздняков А. Е., Румянцев В.В., Самуйлов А.В., Ушаков С.А.

ОАО «ЛЗЭС», Лыткарино, Московская обл., Россия

ОАО «ЛЗЭС» является ведущим предприятием в Российской Федерации, обеспечивающим комплектующими изделиями и элементами производство электронно-оптических преобразователей (ЭОП) для ИК-техники. Выпускается большая номенклатура волоконно-оптических пластин (ВОП) для экранов ЭОП и электронно-лучевых трубок (ЭЛТ) ИК-диапазона.

Коэффициент термического линейного расширения согласован с инварковаровым сплавом и ситалло-цементом.

ВОП имеют высокую апертуру, обеспечивающую засветку люминофора в угле 180° , имеют высокий контраст изображения в ЭОП и ЭЛТ, а также разрешающую способность $70\text{--}100\text{ мм}^{-1}$ (размер волокон от 6 до 10 мкм). По желанию заказчика могут быть изготовлены ВОП с плоскими, сферическими поверхностями и различными конструктивными фасками.

ВОП выпускаются диаметром от 25 мм до 50 мм различной толщины (от 2 мм до 50 мм).

Для экранов ЭОП поколения 2, 2⁺, 2⁺ супер, 3 выпускаются волоконно-оптические элементы (ВОЭ) с поворотом изображения на 180° (твисторы). Они имеют также разрешающую способность 100 мм^{-1} и высокий КПК (коэффициент передачи контраста) в диапазоне частот $5\text{ мм}^{-1}\div 35\text{ мм}^{-1}$. Световой диаметр ВОЭ до 18 мм. КЛТР согласован с керамическим корпусом ЭОП.

Для приема ИК-излучения в ЭОП поколения 2⁺ и выше разработаны и выпускаются входные окна и их заготовки из стекла с коэффициентом линейного термического расширения равным $57\times 10^{-7}\text{ мм}^{-1}/\text{град}$.

Стекло по КЛТР согласовано с арсенидом галлия и имеет антиотражающий слой поглощающий косые (паразитные) пучки. Коэффициент отражения слоя менее 0,5%.

Выпускаются 5 типоразмеров входных окон диаметром от 30 мм до 50 мм.

А45. Реакция кремниевых фотоприемных устройств на воздействие ионизирующего излучения космического пространства

Черкашина В.Н., Зайтов Ф.А., Крохина Т.К., Краснов Л.В.

ГНЦ ГУП «НПО Орион», Москва, Россия

Фотоприемные устройства (ФПУ) на основе кремниевых фотодиодов используются в системах оптоэлектронной астрокоррекции космических аппаратов.

Для обеспечения заданной надежности функционирования оптоэлектронных устройств необходимо учитывать все источники ионизирующего излучения, определяющие радиационные условия, а также параметры радиационной обстановки в месте расположения ФПУ на объекте.

Рассмотрены основные характеристики источников ионизирующего излучения в свободном космосе: галактического космического излучения (ГКИ) и солнечного космического излучения (СКИ).

Проведена расчетно-экспериментальная оценка ожидаемой стойкости ФПУ к воздействию протонов и реакции ФПУ на прохождение одиночной частицы.

А46. УФ-спектрометр для диагностики жидкостных ракетных двигателей

Лотошников Ю.М.

ГНЦ ГУП «НПО Орион», Москва, Россия

При огневых испытаниях жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) необходим мониторинг целостности конструктивных элементов двигателя. Мониторинг может производиться с помощью спектрального анализа излучения факела двигателя в области спектра 0,3-0,6 мкм, где расположены характерные линии излучения металлов, из которых изготовлены конструктивные элементы ЖРД.

Для проведения такого мониторинга в ГУП «НПО Орион» в 2000 г. был разработан специальный быстродействующий спектрометр на область длин волн 0,3-0,6 мкм с разрешением 3 А и быстродействием 10 спектров в сек. В статье дано описание оптической схемы, усилительно-регистрирующего тракта и конструкции спектрометра. Прибор изготовлен с учетом требований нормального функционирования в условиях открытого ракетного стенда при высоких акустических и вибрационных нагрузках.

Успешные испытания спектрометра были проведены в 2001 г. при пусках двигателей второй и третьей ступеней ракеты-носителя «Протон».

А47. Информационно-измерительные системы для измерений и исследований параметров и характеристик ФП и ФПУ

Бочков В.Д., Медведев А.С.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Информационно-измерительные системы (ИИС) – эффективное средство, позволяющее на основе и с применением вычислительной техники обеспечивать измерение, обработку, хранение и представление информации. Основными объектами измерений с помощью ИИС в микрофотоэлектронике являются многоэлементные фотоприемники и фотоприемные устройства, которые требуют проведения измерения и обработки значительных объемов информации за ограниченное время. В работе приводятся результаты разработки и применения ИИС, полученные в НПО «Орион» за последние 20 лет работы.

Основные характеристики ИИС включают в себя скорость обработки информации и точность измерений. В работе представлена оценка точности измерений и связь точности и времени измерений.

Приводится типовая блок-схема ИИС и ее описание вместе с описанием основных алгоритмов измерений и аппаратных средств, входящих в состав ИИС.

В заключение приводится анализ современных программно-алгоритмических средств обработки информации и делается оценка их возможностей.

А48. Адаптивная система распознавания с нейросетевым классификатором

Опарин А.Н.

Сибирский НИИ оптических систем, Новосибирск, Россия

Предлагается адаптивная система распознавания с классификатором нейросетевого типа, моделируется ее функционирование в частично открытом пространстве событий. Приводятся результаты по улучшению качества селекции объектов аэрообстановки в среде артефактов.

Решение задачи распознавания в частично открытом пространстве событий позволяет привлекать для анализа данных, принятия решений внешнего учителя и использовать скорректированные им данные на следующих этапах обучения системы.

Как правило, информации, имеющейся в наличии у системы в начальной фазе, недостаточно для описания среды распознавания изображений во всей полноте в будущем.

Поэтому важно предусмотреть продолжение обучения в течение фазы классификации, а также изменение характеристик классификатора в режиме дообучения системы.

Параллельность нейросетевых вычислений и способность НС рассчитывать нелинейные поверхности решений (обычно комбинации линейных поверхностей решений) для сложных многоклассовых проблем позволяет использовать НС в качестве классификатора адаптивной системы распознавания.

Система адаптивного обучения реализует возможность постепенного улучшения классификации объектов, принадлежащих к известным классам, т.е. улучшает определение внутриклассовых границ в признаковом пространстве, а также позволяет детектировать объекты, не принадлежащие в настоящее время к известным классам, как неизвестные, т.е. улучшает определение внешних границ классов.

Система работает в двух режимах: режиме обнаружения и распознавания, режиме обучения и адаптации.

В режиме обучения происходит настройка НС классификатора, выполненного на основе НС второго порядка, методом обучения с учителем по выбранному человеком заведомо неполному набору целевых объектов и случайному, неполному набору фоновых объектов. Данные об объектах берутся из пространства событий, т.е. из панорамных видеоснимков.

Обнаружение и распознавание осуществляется в два этапа. На первом этапе изображение видеокadra после предварительной подготовки поступает в нейропроцессор, где обученная по эталонам целевого и фоновых объектов НС селекционирует целеподобные объекты, которые выделяются в основном на границах сканирующего по видеокadру окна размером 32×32 и истинная цель оказывается в среде артефактов.

На втором этапе анализируются выделенные области с целью определения их принадлежности к классам целевых или фоновых объектов. Для улучшения свойств распознавания системы продолжается ее обучение в соответствии с адаптивной методикой. Оператор, руководствуясь своими знаниями и навыками, классифицирует объекты, выделенные системой, как целевые, на целевые и фоновые. Расклассифицированные оператором представители классов целевого и фоновых объектов подвергаются процедуре отбора прототипов. По результатам отбора определяется состав тренировочных наборов целевого и фоновых объектов. В соответствии с этим модифицируется структура НС классификатора и проводится его обучение.

НС классификатор представляет собой НС второго порядка типа Кохонена, состоящую из четырех слоев с выходным слоем Гросберга.

В результате адаптивного обучения количество артефактов, выделенных системой вместе с целевым объектом, снизилось на порядок - с 65 до 5. Разработанная методика и алгоритмы адаптивного обучения НС классификатора в частично открытом пространстве событий в постоянно изменяющейся среде фоновых объектов (структурированных шумов) позволяют существенно повысить качество работы адаптивных систем по селекции целевых объектов в среде артефактов и вести разработку методик функционирования систем в реальной среде и времени.

A49. Модуль комплексирования каналов

Борисова И.В., Горенок В.Н., Опарин А.Н., Попов П.Г.

Сибирский НИИ оптических систем, Новосибирск, Россия

Рассматривается функционирование экспериментального образца модуля комплексирования каналов. Метод интегрирования (компиляции) изображений основан на анализе и комбинировании спектров Фурье локальных окрестностей изображений. Метод применим для любого количества каналов наблюдения (в частности, для видимого и ИК диапазонов).

Для формирования фазы компилированного изображения анализируется степень анизотропии текущей окрестности каждого из исходных изображений. Выбирается канал с максимальной анизотропией. Амплитуда компилированного изображения поступает либо из канала, выбранного априорно, либо канал выбирается в процессе работы как лучший по критерию максимума дисперсии.

Таким образом, для формирования итогового компилированного изображения $u_S(m, n)$ из нескольких исходных необходимо выбрать изображение $u_1(m, n)$ со спектром $F_1(\omega_1, \omega_2)$, поставляющее амплитудную часть, и изображение $u_2(m, n)$ со спектром $F_2(\omega_1, \omega_2)$, поставляющее фазовую часть. Причем изображения $u_1(m, n)$ и $u_2(m, n)$ могут совпадать. Синтезированная спектральная матрица формируется следующим образом:

$$F_S(0, 0) = F_1(0, 0), \quad F_S(\omega_1, \omega_2) = F_2(\omega_1, \omega_2), \quad \text{при } \omega_1, \omega_2 \neq 0.$$

Быстрый алгоритм компиляции восстанавливает элемент $u_S(0, 0)$, для чего не требуется вычислять спектр Фурье:

$$u_S(0, 0) = u_2(0, 0) + (F_1(0, 0) - F_2(0, 0)) / N^2,$$

где N – линейный размер окрестности.

Экспериментальный образец модуля комплексирования каналов выполнен на нейропроцессорах NM6403, обеспечивающих работу в режиме времени, близком к реальному. Экспериментальный образец комплексировает три канала наблюдения – низкоуровневый ТВ, ИК 3...5 мкм, ИК 8...14 мкм. Для устойчивого функционирования с заданными характеристиками необходимо не менее одного канала. Максимальный формат входных изображений – 582×752. Исследования образца показали повышение отношения сигнал/шум в компилированном изображении по сравнению с любым из используемых каналов.

A50. ИК-прожектор на основе светоизлучающих диодов

Сабинин В.Е., Солк С.В.

ГУП «Л-ПроТехн», Сосновый Бор, Ленинградской обл., Россия, НИИКИ ОЭП

Разработана конструкция оптического элемента (ОЭ), работающего совместно со светоизлучающим диодом (СД). Оптическая схема излучателя и ход лучей показаны на рисунке. Излучающий кристалл помещается в фокусе оптического элемента, рассчитанного таким образом, что любой луч, исходящий из источника диаметром ≤ 0.5 мм в угол 2π страд, после двух отражений и преломления выходит из элемента параллельно оптической оси. Опытная партия ОЭ диаметром 40 мм изготовлена из полимерных материалов и испытана при работе с СД видимого диапазона.

В работе показана возможность использования полимерных ОЭ с СД ИК-диапазона до 1,8 – 1,9 мкм. Анализ развития технологий прессования и литья оптических элементов из специальных марок стёкол, прозрачных в ближнем ИК диапазоне показывает, что каких либо принципиальных ограничений для изготовления излучателей на основе конструкции, показанной на рисунке из стекла не существует.

Разработанный ОЭ может найти применение в следующих областях ИК техники:

Подсветка для систем, формирующих изображение;

Суммирование световых потоков;

Измерение коэффициентов пропускания и отражения в заданном диапазоне спектра, в том числе создание встроенных систем контроля в автономных устройствах;

Получение и передача информации по оптическому каналу в атмосфере, создание дистанционных оптопар для целей автоматизации, и пр.

A51. Нелинейная динамика квантового компьютера

¹Савченко А.М., ²Савченко М.А., ³Креопалов Д.В.

¹МГУ им. Ломоносова, Москва, Россия

²Инженерная академия, Москва, Россия

³МГТУ им. Баумана, Москва, Россия

Исследования в квантовой теории сложности указывают на то, что вычисления на квантовых компьютерах могут производиться значительно быстрее, чем на машине Тьюринга. При этом передача информации осуществляется с помощью квантовых каналов связи.

В данной работе рассматриваются логические элементы управляемого НЕ, основанные на взаимодействии между двумя кубитами (ядерными спинами). В результате взаимодействия спинов резонансная частота переходов между двумя состояниями какой-либо точки ω_1 зависит от состояния соседней точки ω_2 .

При этом переход $\omega_1 \pm \omega_s$ будет иметь место тогда, когда вторая точка будет находиться в состоянии $|0\rangle$ или $|1\rangle$ и аналогично для $\omega_2 \pm \omega_s$, где $\omega_s = \sqrt{\frac{J_0 s}{\chi} \left[\left(\frac{k}{k_c} \right)^2 - 1 \right]}$.

Это означает, что π - импульс $\omega_2 + \omega_s$ приводит к переходу $|0\rangle \leftrightarrow |1\rangle$, когда первая точка находится в состоянии $|1\rangle$.

При этом время декогерентности в полупроводнике GaAs в инфракрасном диапазоне оказывается порядка $\cong 10^{-6} - 10^{-9}$ с, а длительность π - импульса $\cong 10^{-9}$ с.

A52. Оптико-геофизическая модель атмосферы «Тропосфера-2000»

Филиппов В.Л., Танташев М.В.

ФГУП «НПО «ГИПО», Казань, Россия

Оптико-геофизическая модель (ОГМ) «Тропосфера-2000» разработана на основе критического обобщения:

- исходных материалов, определяющих геофизические параметры атмосферы в различных климатических условиях и в различные сезоны года;
- параметров, определяющих спектральные зависимости показателей поглощения и рассеяния оптического излучения компонентами атмосферы;
- опыта применения ранее созданной в ГИПО модели «Тропосфера-82» и анализа известных зарубежных разработок («Lowtran», «Modtran»).

Научно-техническое обоснование оптико-геофизической модели «Тропосфера-2000» базируется на основополагающих исследованиях сотрудников ФГУП «НПО ГИПО».

Для обеспечения инженерных расчетов облученности входных зрачков оптико-электронной аппаратуры каждый из обозначенных тематических блоков определяется двумя видами исходных данных, а именно:

- сведениями о геофизических параметрах оптической трассы визирования, которые оформляются в виде геофизической модели атмосферы;
- сведениями о закономерностях поглощения и рассеяния оптического излучения различными компонентами атмосферы.

Причем предложено отдельное рассмотрение указанных структурных составляющих ОГМТ:

- для условий естественной атмосферы;
- для ситуаций, когда на трассе визирования присутствуют факторы антропогенного происхождения, обусловленные локальными источниками (шлейфы дыма, пыли и т. д.).

Обсуждаемый раздел ОГМ определяет условия естественной атмосферы в пределах высот 0÷30 км.

A53. К развитию методов расчёта оптических систем

Сёмин В.А.

ФГУП «НПО ГИПО», Казань, Россия

Важнейшей (после фотоприёмника) составной частью оптико-электронных приборов является оптическая система. Линзовые оптические системы более компактны и имеют большие коррекционные возможности по сравнению с зеркальными, но наличие дисперсии материалов приводит к появлению хроматических aberrаций. Теория aberrаций даёт рекомендации по устранению хроматизма, но они получены в рамках приближённой теории и всегда касаются в том или ином смысле частных ситуаций, а единого критерия ахроматизации не существует. В работе предложен такой критерий, причём он дополняет условие стигматизма монохроматического пучка, которое следует из принципа Ферма, и получен в такой же общей форме. Разработана методика его практического применения для ахроматизации светосильных оптических систем, работающих в широком диапазоне спектра.

A54. Влияние внешних условий на выбор рабочих областей длин волн инфракрасных радиометров

Омелаев А.И., Филиппов В.Л.

ФГУП «НПО «ГИПО», Казань, Россия

Затронутая тема неоднократно обсуждалась различными авторами и, тем не менее, остается актуальной. Это объясняется не только недостаточной степенью адекватности знаний о вариациях спектроэнергетических характеристик окружающей среды, но и реальными возможностями оптимизировать конструкцию тепловизоров-радиометров (ТР) на основе предлагаемых промышленностью номиналов элементной базы и рекомендаций, вытекающих из известных модельных расчетов их параметров.

С учетом вышеизложенного рассматриваются результаты оценки влияния условий внешней среды на рабочие параметры ТР исходя из задачи улучшения последних за счет вариации границ спектральных областей 3÷5 мкм и 8÷14 мкм. Основопологающим в приводимом анализе является тезис, согласно которому преимущество диапазона длин волн 8-14 мкм в задаче обнаружения и распознавания малоконтрастных ($\Delta T_{o/\phi} \leq 10\text{K}$) слабонагретых объектов аппаратурой с достаточно высоким пространственным (~0,125 мрад) и температурным разрешением ($\leq 0,04\text{ K}$) для любых условий не бесспорно.

A55. Низкоуровневые телевизионные системы с высоким пространственным разрешением

Журавлев П.В., Турбин А.В., Чурилов С.М., Шатунов К.П.

Конструкторско-технологический институт прикладной микроэлектроники СО РАН (КТИ ПМ СО РАН), Новосибирск, Россия

Одним из эффективных средств контроля окружающего пространства в условиях пониженной освещенности является использование низкоуровневых телевизионных систем (НТВС).

Системы данного типа применяются для решения таких задач как: охрана объектов (банки, офисы, склады, и т.д.), ликвидация последствий аварийных ситуаций и стихийных бедствий, дистанционный контроль и наблюдение за производственными процессами

(шахты, бункеры, и т.д.), а также для вождения воздушных, водных и наземных транспортных средств.

В докладе приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований по созданию НТВС, работающих в спектральном диапазоне 0,25÷0,95 мкм.

Рассматриваемые системы построены на основе унифицированного телевизионного блока, включающего в себя электронно-оптический преобразователь (ЭОП), линзовую систему переноса изображения, ПЗС-камеру, имеющую стандартный телевизионный выход. Приводятся результаты исследования НТВС, построенных на основе ЭОП – 2⁺ super и 3^{го} поколений, линзовых проекционных систем с пространственным разрешением до 300 штр/мм, увеличением 0,42÷0,5^x, ПЗС-камер с пространственным разрешением 600 ТВЛ.

В докладе особое внимание уделено созданию НТВС с высоким пространственным разрешением, ≥ 600 ТВЛ. Отличительной особенностью данных НТВС является то, что при их построении используются: ЭОП с диаметром фотокатода, равным 25мм, высокоэффективная линзовая система переноса изображения с увеличением 0,72^x и ПЗС-камера, размерность которой составляет 1024x1024 эл., при размере элемента 12x12 мкм, приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований по созданию систем данного класса.

А56. Анализ физических и технологических аспектов монолитных оптоэлектронных приборов для бортовых систем дистанционного зондирования

Ермаков О.Н.

ОАО «НПП «Сапфир», Москва, Россия

Представлен краткий обзор тенденций развития оптоэлектронных бортовых систем, включая волоконно-оптические системы, матрицы фокальной плоскости, системы отображения информации (многоэлементные экраны и монолитные светоизлучающие формирователи изображения). Подчеркивается, что с учетом жестких требований по энергопотреблению и габаритам, дальнейшее развитие бортовых оптоэлектронных систем тесно связано с интегральной оптоэлектроникой.

Отмечается, что ранее соединения A^2B^6 и A^3B^5 использовались преимущественно для формирования соответственно фоточувствительных и светоизлучающих приборов. Однако с разработкой технологии квантово-размерных фотоприемников на основе A^3B^5 и достаточно эффективных светоизлучающих приборов на основе A^2B^6 граница между областями применения все более и более размывается. При этом указанная тенденция получит свое дальнейшее развитие, что позволит разрабатывать новые типы монолитных оптоэлектронных приборов. Подчеркивается, что одной из основных проблем оптоэлектроники ближайшего будущего остается проблема синтеза гетероэпитаксией приборных структур с большим рассогласованием постоянных решетки. При этом, по-видимому, наиболее перспективными подложками для интегральной оптоэлектроники являются кремний и сапфир.

Представлены экспериментальные данные, показывающие, что низкотемпературные процессы могут быть использованы для реализации структур с эффективной узкополосной люминесценцией (структуры $A^2B^6/SiO_2/Si$) и широкополосной люминесценцией (пористый кремний). Отмечается, что одновременно с этим использование структур A^2B^6 на подложках кремния позволяет создавать фотоприемники со спектральной характеристикой, захватывающей как УФ-диапазон, так и ИК-диапазон спектра.

Рассмотрены физико-технологические ограничения монолитных многоэлементных светоизлучающих формирователей изображения (эффективность, разрешение, перекрестная засветка, работоспособность при малых токах потребления).

A57. Оптоэлектронные приборы для систем дистанционного зондирования и обработки данных

Адонин А.С., Ермаков О.Н.

ОАО «НПП «Сапфир», Москва, Россия

Представлен краткий обзор оптоэлектронной продукции, разрабатываемой ОАО «НПП «Сапфир» и предназначенной для систем дистанционного зондирования и обработки данных.

Отмечается, что для этих целей в настоящее время используются различные технологии и структуры на основе соединений A^3B^5 , кремния, а также структуры кремния на сапфире (КНС).

Представлены основные характеристики дискретных приборов (сверхярких светоизлучающих приборов (СИД), высокоэффективных излучающих диодов ИК-диапазона спектра, а также кремниевых фотодиодов).

Для визуализации данных в системах дистанционного зондирования и оптической записи информации разработана гамма монолитных светоизлучающих формирователей изображения с числом элементов 32, 64, 128, 256. При изготовлении монолитных приборов используются эпитаксиальные структуры соединений A^3B^5 , обеспечивающие различные цвета отображения. Современная планарно-диффузионная технология обеспечивает воспроизводимое формирование различной топологии светоизлучающих элементов размером 20-30 мкм при межэлементном зазоре 20-30 мкм.

Рассмотрены основные характеристики фотоэлектронной ИС, выполненной по КНС-технологии и способной выполнять функции оптического интерфейса и кодового замка с обработкой информации, передаваемой по оптическому каналу.

Рассмотрены различные варианты обеспечения функционирования ФИС (с использованием интенсивной солнечной засветки, передачи энергии по открытому каналу от лазерного диода (ЛД), светоизлучающих диодов (СИД), излучающих диодов ИК-диапазона).

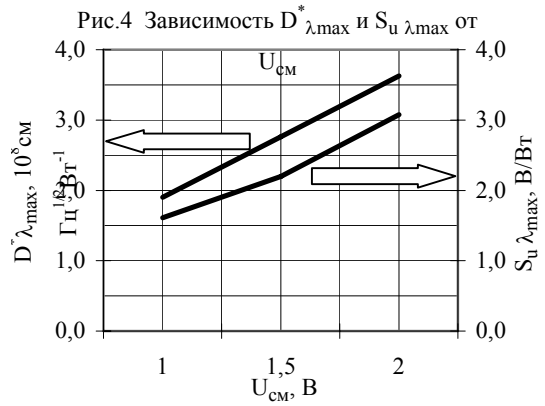
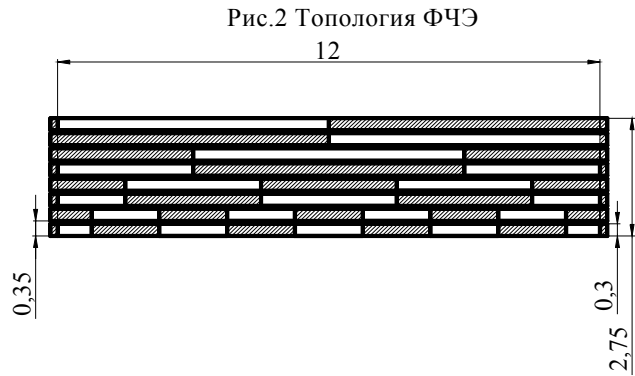
A58. Оптический кодовый датчик системы «код Грея» на диапазон длин волн 1÷11 мкм

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

ФГУП «Альфа», Москва, Россия

Разработан и изготовлен инфракрасный кодовый датчик на основе фоторезисторов (ФР) из материала кадмий-ртуть-теллур (КРТ) с термоэлектрическим охлаждением (ТЭО). Датчик (Рис. 1) представляет собой фоточувствительный элемент (ФЧЭ) в миниатюрном герметичном металлокерамическом корпусе с окном из ZnSe, заполненным инертным газом с низкой теплопроводностью. ТЭО мощностью 3 Вт обеспечивает охлаждение ФЧЭ до рабочей температуры $T_{\text{раб}} \leq 213\text{K}$ при температуре радиатора 20°C . Топология ФЧЭ (Рис. 2) реализует 4-х разрядный код Грея [1]. ФЧЭ изготовлен из объемного монокристаллического полупроводникового материала $n\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ (КРТ). Состав «х» материала КРТ выбирался в интервале от 0,180 до 0,195 так, чтобы максимум спектральной чувствительности ФЧЭ λ_{max} находился в интервале от 8,5 до 10 мкм. Относительные характеристики спектральной чувствительности ФЧЭ датчика представлены на Рис. 3. Зависимости величин $D^*(\lambda_{\text{max}}, 500\text{K}, 1200\text{ Гц}, 1\text{ Гц})$ и $S_u(\lambda_{\text{max}}, 500\text{K}, 1200\text{ Гц})$ от величины тока смещения приведены на Рис. 4. Величина $D^*(\lambda_{\text{max}}, 500\text{K}, 1200\text{ Гц}, 1\text{ Гц})$ близка к теоретической для КРТ ФР с $\lambda_{\text{max}}=8,5\div 10\text{ мкм}$ при $T_{\text{раб}}=213\text{K}$.

[1] Мироненко А.В. Фотоэлектрические измерительные системы, Москва, Энергия, с. 260.



А59. Длинноволновые гетеролазеры в метрологии фоточувствительных матриц диапазонов 3-5 и 8-12 мкм

Бритов А.Д., *Яковлев Ю.П., *Дирочка А.И., *Кононов А.С., *Серебренников П.С.

*ГНЦ ГУП «НПО «Орион»

**Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (ТУ)

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

Существующие лазерно-метрологические установки используют лазеры, излучающие в не основной области чувствительности и потому несущие не достоверную информацию.

Разработанные нами ранее гетеролазеры ($\lambda=6,5\div 12$ мкм) на варизонном PbStTe вдоль плоскости роста позволяют измерять однородность S_U и τ по спектру чувствительности фоточувствительных элементов матричных и линейчатых фотонных приемников на КРТ (фотодиоды и фоторезисторов) и тепловых приемников на основе микроболометров. При этом легко обнаружить слабое звено, снижающее информационный потенциал матрицы, и появление паразитной фотоэлектрической связи.

В метрологии многоэлементных фотоприемников на 3÷5 мкм использованы длинноволновые гетеролазеры на основе соединений $A^{III}B^V$, соответствующие спектральной чувствительности этих матриц.

Лазерные диоды работают в импульсном режиме (от 10^{-9} до 10^{-3} с) при охлаждении до температуры жидкого азота с мощностью $P \leq 1$ мВт. В установке пучок излучения лазера выделяется диафрагмой перед фоточувствительным элементом. Предусматривается использование ИК волоконной оптики.

А60. Электронографический метод исследования фоточувствительных гетероструктур PbSnTe-PbTe, полученных молекулярно-лучевой эпитаксией

Дирочка А.И., Серебренников П.С., Сулейманов Н.А.

ГНЦ ГУП "НПО "Орион", Москва, Россия

Проведено электрон-дифракционное исследование поверхности эпитаксиальных пленок PbSnTe, PbTe и гетеропереходов на их основе, полученных методом молекулярно-лучевой эпитаксии на подложках из слюды. Целью настоящей работы было установить взаимосвязь между интенсивностью диффузных полос, наблюдаемых на электронограммах, и фотоэлектрическими параметрами в этих р-п структурах.

В нашем эксперименте дифракционные картины снимались как при комнатной температуре, так и при нагревании образца. Анализ поведения диффузных полос показывает, что увеличение температуры образца приводит к увеличению их интенсивности. Показано, что увеличение интенсивности полос не связано с упорядочением блоков в пленке, которое может произойти при нагреве. При снижении температуры нагрева вплоть до комнатной наблюдаемые картины диффузных полос оказываются такими же, как и до нагревания. Ранее было установлено, что интенсивность наблюдаемых на электронограммах диффузных полос зависит от толщины и температуры выращивания слоев. При более высоких температурах выращивания ($>300^{\circ}\text{C}$) и более толстых гетерослоях ($d > 1$ мкм) на электронограммах наблюдаются более ярко выраженные диффузные полосы. Интенсивность диффузных полос гетерослоев PbSnTe-PbTe, выращенных при $380-400^{\circ}\text{C}$, сильно изменяется при увеличении толщины пленок от десятых долей микрона до $\cong 1$ мкм. Дальнейшее увеличение толщины пленки до 4-5 мкм не приводит к заметному изменению интенсивности диффузных полос. Максимум фоточувствительности гетероперехода $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te-PbTe}$ с $x=0,2$, выращенного при $380-400^{\circ}\text{C}$ с толщиной пленки 0.5-1 мкм, находится при 4,5 мкм с пологим спадом до 6 мкм. Гетеропереход, выращенный при той же температуре и мольном составе, но при толщине пленки 4-5 мкм, имеет максимум фоточувствительности около 8,5 мкм. Экспериментально найдена корреляция между интенсивностью диффузных полос и фотоэлектрическими параметрами пленочных р-п структур.

А61. Использование лазерных ИК-оптопар для определения содержания сульфат-иона в водной среде

Адоньева Е.М., Астахов В.П., Карпов В.В., Черноусов Н.П., Филиновский В.Ю.

ОАО "Московский завод "Сапфир", Москва, Россия

В литературе*) отмечается, что пик поглощения воды вблизи 1,2 мкм весьма чувствителен к присутствию в водной среде сульфат-иона. Указанное обстоятельство используется для контроля содержания сульфатов в водных растворах и парах воды (в частности, для прямого контроля остаточного ресурса свинцовых аккумуляторов).

В качестве источника ИК-излучения в диапазоне 1,2 мкм применялся светодиод ИЛПН-360 с мощностью сигнала на выходе 10-20 мВт. Приемником излучения служили ФПУ на основе германиевого ФД-7Г и приемный оптический модуль ПРОМ-364-0440-1,3. Оптический путь в применявшихся кюветах составлял 10-15 мм. В качестве рабочих растворов использовались водные растворы H_2SO_4 , CuSO_4 , MgSO_4 , FeSO_4 с концентрацией сульфат-иона от 1 до 5 М.

Показано увеличение на 5-20% поглощения ИК-излучения при увеличении концентрации сульфат-иона. Зависимость поглощения от концентрации для всех изученных растворов близка к линейной и меняется при изменении природы катиона.

Полученные результаты показали перспективность применения лазерных оптопар для создания компактных систем мониторинга содержания сульфат-иона в водных рабочих средах *in situ*. Повышение чувствительности аппаратуры достигается посредством использования импульсных режимов излучения и подачи светового импульса с помощью световодов.

Кроме контроля состава электролита свинцовых аккумуляторов, описываемый метод может оказаться полезным при анализе рабочих растворов гальванического производства, гидроэлектрометаллургии и пр.

*¹) Weiss J.D., Stallard B.R., Garcia M.J. Opt.Eng. 1998, v.37, N12, pp. 3254-3259.

А62. Рациональная техническая реализация оптического метода детального картирования кислорода в кремниевых пластинах на базе современных достижений оптоэлектроники

Винецкий Ю.Р., Титов А.Г., Тришенков М.А.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

В условиях постоянного роста степени интеграции и снижения размера базового элемента изделий микроэлектроники возрастает значение контроля пространственных распределений дефектообразующих примесей и их эволюций в ходе технологических процессов. Одной из важнейших в этом смысле примесей для кремниевой микроэлектроники является кислород, присутствующий уже в исходном материале, в основном, в межузельном состоянии.

Существующие в настоящее время стандартные оптические методы измерения концентрации межузельного кислорода по пропусканию кремниевых пластин в ИК области спектра ~ 9 мкм не обеспечивают необходимой степени локальности измерений. В работе была поставлена задача модифицировать метод измерений таким образом, чтобы иметь возможность оперативно производить картирование распределения кислорода по площади пластины с пространственным разрешением до 30 мкм.

В работе излагается подход к проектированию измерительной установки, позволяющей производить измерения распределений кислорода в кремнии в диапазоне концентраций $10^{17} \dots 3 \cdot 10^{18}$ см⁻³ с точностью не хуже 10% и указанным пространственным разрешением.

Обсуждаются различные варианты выполнения источника излучения, проекционной системы, приемника и системы обработки видеосигнала и обосновывается выбор наилучшего из них. Представлены технические расчеты, показывающие возможность реализации установки с заданными параметрами при использовании в качестве источника излучения перестраиваемого полупроводникового лазера, специального параболического коллиматора, цилиндрической проекционной оптики и ВЗН – приемников на КРТ - фотодиодах, чувствительных в дальнем ИК - окне.

Данная работа выполнена в рамках Проекта МНТЦ №1543.

А63. Солнечные элементы с хлорсодержащим пассивирующим окислом

Агабекян А.В., Айвазян Г.Е., Минасян Г.А.

ЗАО «Виасфер Технопарк» Ереван, Армения

В настоящее время в производстве высокоэффективных кремниевых солнечных элементов (СЭ) широкое применение получила пассивация поверхности тонкими (<10 нм) хлорсодержащими термическими окисными пленками, уменьшающими скорость поверхностной рекомбинации S_p . Для формирования таких пленок и обеспечения мелколежащих глубин N-P переходов, как правило, применяются низкотемпературные

обработки (600-900°C). Между тем известно, что эффективное воздействие хлора наблюдается при температурах, превышающих 1000°C.

В данной работе исследована возможность улучшения оптоэлектрических свойств кремниевых СЭ с низкотемпературным (800°C) хлорсодержащим пассивирующим окислом путем последующего кратковременного (10 мин) и высокотемпературного (1050°C) отжига в атмосфере азота.

Установлено, что после отжига плотность поверхностных состояний N_{SS} границы раздела окисел-кремний уменьшается, а напряжение холостого хода СЭ U_{OC} увеличивается. Кроме того, высокотемпературный отжиг улучшает их коротковолновую спектральную чувствительность. После удаления окисла U_{OC} уменьшается.

Напряжение холостого хода СЭ определяется выражением

$$U_{OC} = kT/q \ln(1 + I_{SC}/I_0), \quad (1)$$

где k - постоянная Больцмана, T - абсолютная температура, I_{SC} - ток короткого замыкания, I_0 - плотность тока насыщения. Пренебрегая зависимостью рекомбинации от уровня Ферми, для S_p получим выражение

$$S_p = \sigma V_{th} N_{SS}, \quad (2)$$

где σ - сечение захвата, V_{th} – скорость носителей заряда.

С улучшением характеристик поверхности N_{SS} уменьшается S_p , в результате чего снижается I_0 . Согласно (1) мы получаем большое значение U_{OC} . С уменьшением S_p следует также ожидать увеличение коротковолновой спектральной чувствительности СЭ, что и наблюдается экспериментом.

А64. Предельная чувствительность методов визуализации зон повышенной концентрации примесных газов и паров в воздухе с помощью тепловизоров и ЭОПов

Бакуменко В.Л., Бегучев В.П., Свиридов А.Н.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Работа посвящена средствам визуального экологического мониторинга воздушного пространства над промышленными объектами и жилыми зонами. Обсуждается метод обнаружения облаков загрязнений, основанные на поглощении газами (парами) УФ или ИК излучения сцены (топографических мишеней, т. е. любых объектов в поле зрения прибора, в том числе земной поверхности, неба и т. д.). Метод заключается в регистрации изображений сцены в узких спектральных диапазонах, совпадающих с полосами поглощения примеси.

В работе проанализированы предельные чувствительности двух типов устройств, реализующих этот метод:

- устройства на основе тепловизора с охлаждаемым узкополосным фильтром, регистрирующие поглощение примесей на колебательно-вращательных переходах в ИК-области спектра;

- устройства на основе электронно-оптического преобразователя (ЭОП) с неохлаждаемым фильтром, регистрирующие поглощение примесей на электронно-колебательных переходах в УФ области спектра.

Разработаны лабораторные макеты этих двух устройств. Экспериментально (на примере CO_2 для тепловизионного устройства и на примере NO_2 для устройства с ЭОПом) показана возможность визуального обнаружения струй и облаков газа и определения мест его утечек.

Обсуждаются пути совершенствования устройств и перспективы их использования для экологического мониторинга и контроля технологических процессов.

А65. Новые полупроводниковые материалы для оптических деталей ИК-техники

*Маренкин С.Ф., **Морозова В.А., *Михайлов С.Г., *Вольфович А.Ю., *Маркушин П.В.

*Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Москва, Россия

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

Разработаны технологии получения монокристаллов $ZnAs_2$, $CdAs_2$ и $CdSb$ (1,2), обладающих высокой оптической прозрачностью в широком диапазоне длин волн ИК области спектра в сочетании с резким краем в области фундаментального поглощения. Монокристаллы этих соединений могут быть использованы в качестве материалов отрезающих фильтров и иммерсионных линз фотоэлектронных устройств. Технические характеристики и оптические свойства монокристаллов и деталей на их основе представлены в таблице.

Таблица

Соединение	$ZnAs_2$	$CdAs_2$	$CdSb$
Границы оптической прозрачности (300 К), мкм	1,3-16	1,21-20	2,6-40
Коэффициент поглощения α , см ⁻¹	0,2 ($\lambda=1,4$)	0,5 ($\lambda=1,3$)	0,1 ($\lambda=2,7$)
Показатель преломления, n.	3,5	3,8	4,2
Коэффициент отражения R, %	30	35	40
Плотность ρ , г/см ⁻³	4,95	5,58	4,2
Крутизна края в области фундаментального поглощения	0,99	0,95	0,94
Просветляющее покрытие	ZnS	-	-
Пропускание при толщине 1 мм, %	87-92	85-90	90-96
Плотность дислокаций D, см ⁻²	1000	1000	100
Термическая устойчивость, (°C)	400	300	150
Размеры кристаллов	Диаметр – 20 мм, длина – 1000 мм.		

Литература.

1. С.Ф.Маренкин, В.А.Морозова, Неорганические материалы, 1999 г, Т.35, № 10, с.1190-1202.
2. А.А.Ащеулов, Н.К.Воронка, С.Ф.Маренкин, И.М.Раренко, Неорганические материалы, 1996, Т.32, № 9, с.1049-1060.

А66. Имитаторы динамических тепловых полей для стендовых испытаний тепловизионных систем

Стефанов В.А., Кравченко В.С.

ГНЦ РФ ФГУП «ГосНИИ авиационных систем», Москва, Россия

Для измерения характеристик тепловизионных датчиков в лабораторных условиях, а также для комплексной стендовой отработки бортовых оптико-электронных систем с тепловизионным каналом возникает необходимость генерации динамических тепловых полей (изображений с управляемым сюжетом) для подачи на оптический вход испытуемых систем.

Нами проведены предварительные исследования по выявлению технического уровня разработок имитаторов динамических тепловых изображений в спектральном диапазоне 8-14 мкм, а также использованию указанных имитаторов в качестве узла цели на стендах полунатурного моделирования. Анализ показал, что наиболее часто применяются имитаторы с двухградационными тепловыми испытательными изображениями в виде штриховых мир, состоящих из подогреваемых полос или отражающих покрытий нужной формы, нанесенных на прозрачную подложку, размещаемую в раскрыв модели абсолютно черного тела. Подвижная цель моделируется перемещаемой тепловой точкой, инициируемой лазерными импульсами с частотой следования несколько десятков Гц.

Многоградационные тепловые изображения с подвижными элементами генерировать существенно сложнее. Известные технические решения, в частности реализованные в аппаратуре зарубежных фирм, а также предложенные в конце 80-х годов на нашем предприятии, имеют недостатки, связанные со сложностью оптико-механической схемы, сложностью технологического процесса переноса растрованного изображения на фольгу, имеют высокую стоимость. Перспективная технология модуляции тепловых пучков пленками VO_2 до настоящего времени также не освоена.

В докладе предлагается имитатор динамических многоградационных тепловых изображений, лишенный указанных недостатков. В состав конструкции входят несколько основных блоков: банк цифровых изображений местности, управляющий компьютер, видеопроектор, промежуточная оптика, транспонирующий экран, зеркальный коллиматор, блок формирования сигнала обратной связи. Важным элементов схемы имитатора является транспонирующий экран с поглощающими элементами в виде ячеек, размещаемых с промежутками на прозрачном для света основании. Имитатор позволяет преобразовать статическое или динамическое световое изображение в пропорциональное распределение нагрева элементарных площадок поверхности транспонирующего экрана. Полученное таким образом температурное поле может служить тестовым изображением для испытуемой тепловизионной системы. Авторами доклада было проведено математическое моделирование, результаты которого подтверждают общую работоспособность конструкции имитатора. Оценочные расчеты параметров транспонирующего экрана и технические характеристики остальных компонентов дают возможность прогнозировать основные характеристики имитатора:

- геометрическая разрешающая способность не хуже 500 тв. л;
- минимальный температурный контраст соседних пикселей – $0,1^{\circ}C$;
- инерционность смены содержания кадра – 0,1 сек.

А67. Исследование линейности энергетических характеристик фоторезисторов из CdHgTe на спектральный диапазон 8 - 12 мкм

Горелик Л.И., Куликов К.М.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Под энергетической характеристикой фотоприемника подразумевается зависимость напряжения или тока фототока от величины мощности оптического излучения P_c , попадающего на фоточувствительную площадку (ФЧЭ), т.е. $I_c=f(P_c)$ или $U_c=f(P_c)$.

Поскольку $I_c=S_i P_c$ и $U_c=S_u P_c$ то линейность энергетической характеристики определяется зависимостью вольтовой (S_u) и токовой (S_i) чувствительности от оптической мощности сигнала.

Экспериментально и теоретически рассмотрена зависимость величины фототока и чувствительности фоторезисторов с различными размерами ФЧЭ от режимов питания и от величины оптического сигнала. Измерения проводились при использовании ОКГ с $\lambda=10,6$ мкм.

Оптическая мощность изменялась с помощью калиброванных ослабителей из CaF_2 .

Показано, что линейность энергетической характеристики при постоянном напряжении смещения на ФЧЭ наблюдается до значения мощности входного воздействия $\sim 10^{-6}$ Вт, что превышает пороговое значение примерно в 10^5 раз. Линейность энергетической характеристики при питании ФЧЭ постоянным током достигает $10^3 \div 10^4$ раз.

Линейность фотоприемного устройства (ФПУ) с использованием фоторезистора несколько хуже благодаря собственным шумам предварительного усилителя.

А68. О распределении потенциала в тонком слое варизонного полупроводника

Ковалевская Т.Е., Овсянко В.Н.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Работа посвящена методам упрощенного анализа распределения потенциала и зарядов в тонкой пленке полупроводника с варизонным слоем в ее средней части, а также с варизонными слоями вблизи внешних поверхностей, которые используются в эпитаксиальных пленках теллурида кадмия-ртути (КРТ) для подавления поверхностной рекомбинации. Найдено, что в случае линейного градиента ширины запрещенной зоны в варизонных слоях задача может быть решена с помощью обычных соотношений, которые используются при анализе приповерхностных областей пространственного заряда (ОПЗ) в однородных полупроводниках. Получены критерии, выполнение которых необходимо для пренебрежения отклонениями потенциала и зарядов, возникающих на границах однородного и варизонного слоев. Показано, что варизонные слои, прилегающие к внешним поверхностям пластины однородно легированного полупроводника, вообще не участвуют в фотопроводимости, а глубокие уровни, которые могут возникать при выращивании варизонного слоя, могут формировать «квазиповерхностную» рекомбинацию, а также определять приповерхностную рекомбинацию горячих фотоносителей в процессе их термализации.

А69. Продольная ИК фотопроводимость в структурах с InGaAs квантовыми точками

Шашкин В.И., Антонов А.В., Гапонова Д.М., Данильцев В.М., Дроздов М.Н., Дроздов Ю.Н., Лукьянов А.Ю., Молдавская Л.Д., Мурель А.В., Туловчиков В.С.¹, Хрыкин О.И., Яблонский А.Н.

Институт физики микроструктур РАН, Нижний Новгород, Россия
¹*Нижегородский государственный университет, Нижний Новгород, Россия*

Гетероструктуры с квантовыми точками (КТ) могут составить альтернативу ИК-фотоприемникам на гетероструктурах с квантовыми ямами. Нуль-мерный характер электронного спектра КТ изменяет правила отбора для внутризонного оптического поглощения и позволяет принимать излучение любой поляризации при нормальном падении. Кроме того, благодаря снижению рассеяния на фонах кристаллической решетки в системах с КТ значительно возрастает время жизни фотовозбужденных электронов. В работе проведено исследование внутризонной ИК-фотопроводимости многослойных селективно легированных гетероструктур InGaAs/GaAs с КТ. Структуры изготавливались методом металлоорганической газовой эпитаксии. Активная область состояла из 10 слоев КТ InAs, разделенных промежуточными слоями нелегированного GaAs толщиной 80 нм. δ -легированные кремнием слои выращивались в слоях GaAs на удалении 2.5 нм от слоя КТ. Структуры исследовались методами атомно-силовой микроскопии, рентгеновской дифракции, фотолюминесценции и просвечивающей электронной микроскопии. На рис.1. показаны спектры латеральной фотопроводимости, полученные в геометрии нормального падения при различных температурах. На спектрах ясно видны два пика. Фотоотклик возрастает на два порядка при уменьшении частоты модулятора ИК излучения от 1кГц до 10 Гц.

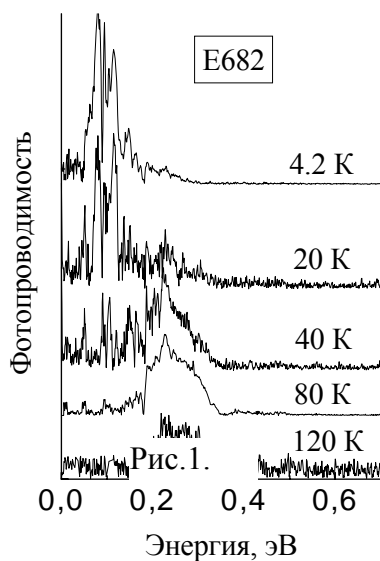


Рис.1.

латеральной фотопроводимости, полученные в геометрии нормального падения при различных температурах. На спектрах ясно видны два пика. Фотоотклик возрастает на два порядка при уменьшении частоты модулятора ИК излучения от 1кГц до 10 Гц.

Секция Б

Б01. Тепловизоры на основе неохлаждаемых микроболометрических матриц: современное состояние зарубежного рынка и перспективы развития

Ушакова М.Б.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Рассматриваются зарубежные неохлаждаемые ИК-системы с применением микроболометрических матриц, их преимущества и недостатки по сравнению с системами на других приемниках – пироэлектрических, фотоприемниках (ФП) с квантовыми ямами (QWIP) и ФП на основе соединения кадмий-ртуть-теллур. Приведены марки тепловизионных

камер, выпускаемых фирмами различных стран (США, Канады, Великобритании, Франции, Швеции, Японии, Австралии), а также основные параметры микроболометрических матриц и ИК-камер.

Б02. Влияние γ -излучения на пьезоэлектрические и физико-механические свойства композиций на основе полимер-пьезоэлектрик

Рамазанов М.А.

Институт физики НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан

В работе исследовалось влияние γ -излучения на пьезоэлектрические и физико-механические свойства композиций на основе термопластичных фторсодержащих полимеров (поливинилиденфторид ПВДФ, сополимер винилиденфторида с фторэтиленом (Ф-42) с пьезоэлектрическими наполнителями. В качестве наполнителей использовались пьезоэлектрические материалы марки ПКРЗМ и ПКР1 с ромбоэдрической структурой [1]. Проведено комплексное исследование по электрическим и физико-механическим свойствам полимерных композиций, облученных при различных дозах γ -излучения.

Показано, что γ -излучение приводит к ухудшению пьезоэлектрических и физико-механических свойств поляризованных образцов. Однако показано, что предварительное облучение перед поляризацией малыми дозами до 20 Мрад увеличивает пьезоэлектрические и физико-механические характеристики и их температурную область стабилизации, что объясняется повышением величины накопленного заряда на границе раздела фаз полимер-пьезоэлектрик, которое в свою очередь приводит к росту остаточной поляризации в композиции.

1. Фесенко Е.Г., Данцигер А.Я., Разумовская О.Н., // Новые пьезокерамические материалы, Ростов на-Дону, РГУ, 1983, с. 154

Б03. Коллективные электронные колебания в керамических системах

¹Савченко А.М., ²Савченко М.А., ³Креопалов Д.В.

¹*МГУ им. Ломоносова, Москва, Россия*

²*Инженерная академия, Москва, Россия*

³*МГТУ им. Баумана, Москва, Россия*

Рассматриваются коллективные электронные колебания в керамических системах. Найден спектр связанных спин-фононных колебаний в ВТСП. При сильном обменном взаимодействии корреляционная длина электронов может составлять десятки ангстрем, а спин-фононный резонанс попадает в область значений фермиевского волнового вектора ($k=k_F$). Это ведет к резкому возрастанию эффективного параметра спин-фононной связи K , который связан с обнаружительной способностью болометра D^* на ВТСП. Таким образом, из вычислений следует, что при учете спиновых электронных функций $D^* \approx 1,1 \times 10^{10}$ см Гц^{1/2}Вт⁻¹.

Б04. Поликристаллические слои сплава кремний-германий для неохлаждаемых болометрических приемников ИК излучения

Чистохин И.Б., Михайловский И.П., Фомин Б.И., Черепов Е.И.

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Представлены результаты исследований поликристаллических слоев сплава кремний-германий, полученных методом молекулярно-лучевого осаждения на аморфных слоях

оксида и нитрида кремния. Этот материал является перспективным для создания микроболометрических элементов.

Термочувствительные слои на основе $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ атомного состава $x=0,1-0,5$ толщиной 0,1–1,0 мкм были получены методом молекулярно-лучевого осаждения кремния и германия при температуре подложки 400–500°C на предварительно подготовленную поверхность диэлектрика. Контролируемое легирование бором осуществлялось в процессе роста и сопротивление экспериментальных образцов сплавов $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ составляло 20–500 кОм/□. Технологический процесс осаждения пленок сопровождался регистрацией основных параметров формирующегося слоя (скорость роста и толщина слоя, динамика формирования кристаллитов и т.д.) и совместим со стандартными процессами планарной КМОП технологии.

Методом дифракции быстрых электронов, электронографии на отражение и сканирующей зондовой спектроскопии на атомно-силовом микроскопе проводилось определение структурных параметров полученных слоев (тип структуры, размер и ориентация зерен). Из анализа топограмм поверхности слоев получены оценки размера поликристаллических зерен (100–150Å) при температурах подложки 400–500 С. Среднеквадратичная величина отклонения углов связей от идеальной тетраэдрической координации дает значение 11 градусов, что указывает на наличие поликристаллической фазы.

Исследования электрофизических параметров полученных структур показали, что температурный коэффициент сопротивления (ТКС) в поликристаллических слоях кремния-германия, осаждаемых на пленки пиролитического окисла, поверхность которых была модифицирована (нанесением в вакууме тонкого поликристаллического слоя чистого кремния), составляет ~3–4% на градус вблизи комнатной температуры и зависит от размера зерна. Доминирующим шумом на исследованных тестовых структурах поликристаллического $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ при различных токах является $1/f$ шум, уровень которого зависит от технологии осаждения $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ и диэлектрического покрытия.

Таким образом, полученные поликристаллические слои сплава кремний-германий имеют высокие значения параметров и могут быть рекомендованы в качестве термочувствительных слоев интегральных неохлаждаемых микроболометров совместимой со стандартными процессами кремниевой планарной технологии.

Б05. Гибридные ИС предварительной обработки сигнала для многоканальных ФПУ на основе КРТ-фоторезисторов

Борисов В.К., Бурлаков И.Д., Ефимова З.Н., Ефимов И.В., Заславский А.В.,
Иванова Т.С., Климанов Е.А., Кузнецов П.А., Хомяков Л.П.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

В докладе представлены результаты разработки многоканальных ГИС предварительных усилителей (ПУ) и вторичных источников питания (ВИП) на основе разработанного двухканального дифференциального усилителя (ДУ) «Элан-2» со схемой компенсации входных токов.

Приводится структурная схема и основные параметры ДУ «Элан-2» для различных его вариантов.

Описаны примеры реализации многоканальных ПУ в виде ГИС восьмиканальных ПУ в корпусе 157.29-1 для ФПУ на основе КРТ-фоторезисторов и преимущества, обеспечиваемые использованием ДУ «Элан-2Б». Приведены основные параметры ГИС.

Рассмотрены схемотехника и параметры ВИП с улучшенными характеристиками на основе ДУ «Элан-2А», предназначенного для питания фоторезисторов. Описан пример реализации ВИП отрицательного напряжения в корпусе 151.15-1.

Б06. Измерительный комплекс для автоматизированной отбраковки кристаллов МОП мультиплексоров

Акимов В.М., Геллерт В.М., Демидов С.С., Меркушин А.А.

ГНЦ ГУП «НПО» Орион», Москва

Измерительный комплекс предназначен для контроля работоспособности кристаллов n-канальных МОП мультиплексоров на пластине. Комплекс включает в себя автоматизированную зондовую установку типа «Зонд-5», многозондовую головку для подсоединения измерительной схемы к контактным площадкам кристалла МОП мультиплексора, модули схемы управления, сопряжения и вычислительный блок.

В качестве АЦП используется разработанная фирмой «L-Card» 12-ти разрядная плата АЦП с частотой преобразования до 3,3 МГц, подключаемая к шине PCI вычислительного блока. Прилагаемое разработчиками программное обеспечение для платы не позволяло проводить контроль работоспособности и отбраковку кристаллов МОП мультиплексора по специальному алгоритму.

В связи с этим было разработано собственное программное обеспечение на языке Си с использованием библиотеки функций для платы L783. Интерфейс, связывающий разработанные программные блоки, был создан с использованием языка Delphi.

Программное обеспечение позволяет:

Управлять по заданной программе перемещением предметного столика зондовой установки.

1. Проводить контроль работоспособности кристаллов по четырем каналам с выводом результатов измерения в графической форме на экране монитора.

2. Записывать информацию об измерении каждого кристалла на жесткий диск для последующей статистической обработки.

3. Распечатывать при необходимости информацию по кристаллу на принтере.

4. Производить отбраковку кристаллов по заданному алгоритму с картографированием результатов контроля пластины.

Программа имеет удобный и интуитивно понятный интерфейс.

Б07. Формирователи импульсов управления МФПУ формата 384x288 на основе программируемых логических матриц

Акимов В.В., Болтарь К.О., Рудневский В.С.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Вывод сигнала с матрицы фотоприемника и отображение его на экране монитора является необходимым этапом в процессе диагностирования работоспособности матрицы. В настоящее время существует два основных подхода к созданию аппаратуры, осуществляющей отображение сигнала матрицы на мониторе: использование универсальных микропроцессоров или микроконтроллеров и создание специализированных комплектов, основанных на программируемых логических матрицах (ПЛМ).

Использование универсальных микроконтроллеров хорошо известно и описано в различной литературе. У такого подхода есть несколько преимуществ – гибкость и быстрое действие. Однако для микроконтроллеров требуется довольно большой набор сопутствующих микросхем, что усложняет создание и обслуживание плат. Этому недостатка лишено использование ПЛМ. Несмотря на свою невысокую скорость, производительности ПЛМ хватает с избытком на управление матрицей, устройствами мультиплицирования каналов МФПУ и формирования видеосигнала и синхросигналов управления

видеомонитором. Дополнительными достоинствами ПЛИМ являются относительная дешевизна по сравнению с микропроцессорным комплектом и простота разработки.

Разработан и изготовлен формирователь импульсов управления МФПУ формата 384x288 элементов на основе ПЛИМ, содержащей 96 макроячеек. Тактовая частота работы ПЛИМ - 48 МГц. Тактовая частота управления МФПУ – 4 МГц, что обеспечивает работу МФПУ в реальном масштабе времени телевизионного кадра.

ПЛИМ вырабатывает 48 тактовых последовательностей управляющих сигналов, в том числе:

- сигнал управления МФПУ (8 линий).
- сигнал управления УВХ и мультиплексора формирования телевизионного видеосигнала (6 линий).
- строчные и кадровые синхроимпульсы (включая полустрочные врезки в кадровом синхроимпульсе).
- импульсы управления запоминающим устройством коррекции дефектных элементов МФПУ.

Формирователь импульсов управления МФПУ обеспечивает работу МФПУ форматов 128x128 элементов и 384x288 элементов и формирование стандартного телевизионного сигнала, соответствующего ИК-изображению МФПУ.

Б08. Формирователь сигналов изображения на основе матричного фотоприемника формата 2x96 на спектральный диапазон 8–12 мкм

Стафеев В.И., Соляков В.Н., Мансветов Н.Г., Курбатов А.В. Полунеев В.В.

ГНЦ ГУП НПО «Орион», Москва, Россия

В работе приведены результаты разработки формирователя сигналов изображения (ФСИ), содержащего многоярусное матричное фотоприемное устройства (МФПУ), блок сопряжения и модуль предварительной обработки сигнала (МПОС). ФСИ предназначен для использования в тепловизионной и тепловизионной аппаратуре различного назначения.

МФПУ выполнено на основе гибридной сборки из матрицы КРТ фотодиодов формата 2x96 на спектральный диапазон 8-12 мкм и охлаждаемых кремниевых больших интегральных схем (БИС), осуществляющих интегрирование фототока и мультиплексирование сигналов фоточувствительных элементов (ФЧЭ) в фокальной плоскости. Рабочая температура в фокальной плоскости (77–80)К обеспечивается дроссельной системой охлаждения. Конструкция МФПУ допускает использование микрокриогенных систем типа Сплит-Стирлинг.

Блок сопряжения выполнен конструктивно в едином корпусе с МФПУ и обеспечивает охлаждаемый фотоприемный модуль необходимыми напряжениями питания и управляющими импульсами, а также обеспечивает согласование уровней выходных сигналов МФПУ со входами аналого-цифровых преобразователей, расположенными на плате МПОС.

МПОС проводит аналого-цифровое преобразование сигналов МФПУ с частотой до 10 МГц, суммирование цифровых сигналов с задержкой для реализации режима временной задержки и накопления (ВЗН), коррекцию сигналов дефектных фоточувствительных элементов и передачу цифровых сигналов для дальнейшей обработки и формирования видеосигнала изображения.

ФСИ обеспечивает реализацию удельной обнаружительной способности D^* по всем 96-ти каналам в режиме ВЗН при суммировании сигналов по двум ФЧЭ не ниже $5 \cdot 10^{10} \text{ Вт}^{-1} \text{ см Гц}^{1/2}$ при среднем значении выше $7 \cdot 10^{10} \text{ Вт}^{-1} \text{ см Гц}^{1/2}$. ФСИ прошел с положительным результатом испытания на стойкость к внешним климатическим и механическим воздействующим факторам.

Б09. Влияние режима опроса неохлаждаемой микроболометрической матрицы на величину эквивалентной шуму разности температур тепловизионной системы при преобладании тепловых и температурных шумов чувствительных элементов

Эскин Ю.М.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Рассмотрены соотношения между значениями эквивалентной шуму разности температур тепловизионной системы на основе неохлаждаемой микроболометрической матрицы (МБМ) и тепловой энергии, выделяемой в чувствительном элементе при опросе для случая преобладания его тепловых и температурных шумов. Величина этой энергии через параметры режима опроса МБМ связана с диапазоном допустимых значений электрического сопротивления микроболометров и, соответственно, особенностями их изготовления.

Рассмотрение проведено на примере четырех схем построения МБМ: с поэлементным токовым считыванием; с построчным токовым считыванием и накоплением в строке; с поэлементным потенциальным считыванием с делителя напряжения; с поэлементным потенциальным считыванием с делителя напряжения и накоплением в столбце.

Б10. Матричный мультиплексор для фотоприемных устройств

Бородин Д.В., Осипов Ю.В.

ООО «РТК Импекс», Москва, Россия

Представляется, что развитие отечественных матричных ФПУ в последнее время сдерживается в значительной степени отсутствием быстродействующей первичной электроники, осуществляющей параллельное интегрирование фототока чувствительных элементов в течение значительной части времени кадра без переполнения накопительных емкостей и последовательный вывод сигнала из холодной зоны приемного устройства. Появившийся в последнее время доступ к субмикронным КМОП технологиям позволяет создавать первичную микроэлектронику с должными параметрами.

С целью отработки схемотехнических и топологических решений нами создан матричный мультиплексор, основные параметры которого представлены в таблице. Мультиплексор разрабатывался для рентгеновского ФПУ медицинского назначения, однако, по-видимому, с успехом может быть использован и в других типах ФПУ.

Таблица

Формат	128x128
Размер ячейки, мкм ²	50x50
Зарядовая емкость, е	Более 2*10 ⁷
Количество выходов	Один дифференциальный
Время интегрирования	Равно времени кадра (окна)
Частота вывода сигнала, МГц	Более 7
Максимальная кадровая частота, кГц: При максимальном размере кадра 128*128 При минимальном размере кадра 4*4	0,5 250
Диапазон изменения выходного сигнала, В	Более 2
Рассеиваемая мощность при кадре 128*128, мВт	35

Особенностью микросхемы является наличие функции вычитания некоторой постоянной составляющей входного тока в ячейке до интегрирования и функции окна.

Вычитаемая часть тока задается внешним образом в зависимости от температуры, типа и напряжения смещения чувствительных элементов матрицы и дополнительно может быть оперативно откорректирована пятиразрядным делителем (например, при изменении фоновой обстановки). Данная функция позволяет избежать переполнения интегрирующих емкостей ячеек при работе с фотоприемниками при высоких темновых токах. Функция окна позволяет устанавливать размеры и положение опрашиваемой области мультиплексора. Возможные размеры окна - $4*n \times 4*m$ (число строк \times число столбцов), где n и m – любые целые числа от 1 до 32. При этом время кадра (окна) равно $(4*m+3)(4*n)/Clock$, где $Clock$ - тактовая частота. Возможно любое положение окна в поле матрицы с шагом в 4 ячейки.

Для тестирования микросхем используется фототок, генерируемый внешним светом видимого диапазона в области р-п перехода исток-подложка входного транзистора ячейки. Остальные р-п переходы ячеек и аналоговой части схемы закрыты слоями металлизации. Использование шунтирующих диффузионных областей и изолирующих р-п переходов позволило избежать перекрестного влияния тестирующего фототока соседних ячеек.

В результате созданы матричные мультиплексоры формата $128*128$, не содержащие бракованных строк или столбцов и с общим числом бракованных ячеек менее 0,1%.

Б11. БИС синхронизации и управления импульсами фотоприемных устройств

Гольдшер А.И.*, Кучерский В.Р.*, Юргаев Б.И.**

*ГУП "НПП "Пульсар", Москва, Россия

**НИИ "Аргон", Москва, Россия

1. Одним из основных функциональных модулей электроники обрамления современных фотоприемных устройств (ФПУ), выполненных на основе твердотельных фотоприемников (ФП) линейчатого и матричного типа, являются БИС синхронизации и управления импульсами (БИС СУИ).

2. До недавнего времени БИС СУИ строились на основе микросхем (ИС) общего назначения. Это влекло за собой увеличение массогабаритных показателей аппаратуры, снижение ее надежности, рост стоимости, что, соответственно, сдерживало развитие современной тепловизионной аппаратуры специального и общегражданского назначения.

3. БИС СУИ являются специализированными ИС, поскольку каждая из них привязана к конкретной временной диаграмме (ВД), определяемой типом используемого ФП.

4. Известны два альтернативных пути создания высоко интегрированной элементной базы современной микроэлектронной аппаратуры:

- на основе специализированных или заказных ИС;
- на основе базовых матричных кристаллов (БМК) или полузаказных ИС.

Технико-экономические требования определяют эффективность выбора каждого из них. В настоящее время объем выпуска тепловизионной аппаратуры на основе твердотельных ФП относительно не велик. Поэтому нами предпочтение отдано БМК, поскольку они позволяют только путем изменения топологии коммутационных слоев создавать БИС, учитывающие особенности ВД ФП конкретного типа и при этом в короткие сроки и с низкой себестоимостью.

5. Анализ ВД ФП большинства типов показывает, что для управления ими необходимы БИС СУИ, формирующие выходные сигналы, соответствующие как ТТЛ, так и КМОП уровням.

6. Цифровой базовый матричный кристалл (ЦБМК) серии 1589 [1] обеспечивает, в отличие от известных ранее МТТЛШ БМК, возможность создания на его основе БИС, сопрягаемых как с ТТЛ, так и КМОП микросхемами.

7. На основе ЦБМК серии 1589 к настоящему времени реализованы БИС СУИ типа 1589ХМ1-01, 1589ХМ1-02. В стадии завершения разработки находятся БИС 1589ХМ1-03, 1589ХМ1-04.

БИС 1589ХМ1-01 использованы в блоке синхронизации одной из тепловизионных систем. БИС 1589ХМ1-02 предназначены для синхронизации и управления импульсами ФПУ, выполненного на основе линейчатого ФП, содержащего 2х256 элементов; БИС 1589ХМ1-03 и 1589ХМ1-04 – для управления ФПУ на основе ФП матричного типа, содержащих 128х128 и 384х288 элементов, соответственно.

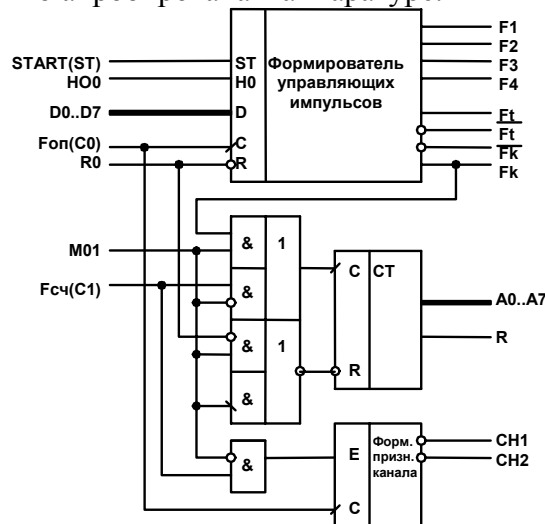
8. Структурная схема БИС 1589ХМ1-02, приведенная на рис., содержит следующие функциональные блоки:

-формирователь импульсов (набор из 7 сигналов), предназначенный для формирования управляющих синхросигналов, а также для формирования стробов, синхронизирующих работу других функциональных блоков БИС (счетчика адреса, счетчика шагов, регистра кода длительности);

-формирователь признака канала памяти, предназначенный для формирования сигналов «Признак канала памяти», а также для управления счетчиком адреса в режиме внешнего управления;

-восьмиразрядный счетчик адреса, предназначенный для формирования сигналов как при внутреннем так и при внешнем управлении.

БИС 1589ХМ1-02 успешно апробирована в аппаратуре.



Литература:

1. А.И.Гольдшер, Б.И.Юргаев «Цифровой базовый матричный кристалл К 1589ХМ1» /Инженерная микроэлектроника/ - 1999, №3, с.20-25

Б12. Применение периодически активируемых газопоглотителей в микрокриогенных системах охлаждения полупроводниковых ИК-фотоприемников

Демьянов Э.А., Добровольский П.П., Журавлев П.В., Леоненко А.Ф.

Конструкторско-технологический институт прикладной микроэлектроники СО РАН, (КТИ ПМ СО РАН), Новосибирск, Россия.

В настоящее время большое распространение получили системы охлаждения полупроводниковых ИК фотоприемников на базе газовых криогенных машин (ГКМ), работающих по циклу Стирлинга. Для температур криостатирования 60-100К они обладают небольшими габаритами и энергопотреблением по сравнению с другими системами замкнутого типа.

В работе [1] проанализированы особенности построения систем охлаждения на базе ГКМ с точки зрения оптимизации выбора микрокриогенных систем охлаждения и сведения к минимальным величинам теплопритоков и внутреннего теплового фона в криостатах.

Использование в ряде ИК фотоприемников гибридной сборки на индиевых столбах и таких материалов, как кадмий-ртуть-теллур (КРТ) не позволяют проводить высокотемпературный отжиг для обезгаживания криостата после финишной сборки. В результате чего для компенсации большого газовыделения в вакуумный объем вводят различные периодически активируемые газопоглотители.

Нами был проведен анализ известных из литературы газопоглотителей и предложена простая конструкция периодически активируемой газопоглотительной ячейки на основе титано-ванадиевого твердого раствора. Получены экспериментальные результаты, подтверждающие эффективность применения данного газопоглотителя.

Литература:

1. Демьянов Э.А., Добровольский П.П., Журавлев П.В., Сущих А.А., «Микросистемная техника», 2001, №8, с. 30-33.

Б13. Магнитотермоэлектрические и адгезионные свойства коммутационных контактов термоэлементов на основе экструдированных образцов твердого раствора $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$

Тагиев М.М.

Институт фотоэлектроники НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан

Сплавы Bi-Sb являются перспективными материалами для создания низкотемпературных магнитотермоэлектрических охладителей. Основные параметры таких охладителей также определяются и свойствами коммутационных переходных контактов термоэлементов.

Учитывая это, проведено исследование магнитотермоэлектрических и адгезионных свойств переходных контактов экструдированных образцов твердых растворов $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ со сплавами (масс.%): 25 Bi+50 Pb+12,5Cd+12,5 Sn с $T_{\text{пл}}=343\text{K}$ и 57Bi+43 Sn с $T_{\text{пл}}=412\text{K}$ в интервале температур $\sim 77\text{-}300\text{K}$ и напряженности магнитного поля H до $\sim 74 \times 10^4$ А/м. Данные сплавы широко используются в качестве контактного материала в фото- и термоэлементах на основе твердых растворов систем Bi - Sb.

Были исследованы образцы $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$, не прошедшие послеэкструзионный отжиг и эти же образцы, прошедшие отжиг при температуре $\sim 503\text{K}$ в течение 5 часов.

Установлено, что характер изменения сопротивления переходного контакта r_k твердого раствора $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ с контактными сплавами и удельное сопротивление ρ твердого раствора от напряженности магнитного поля одинаковый. Однако, изменение $\Delta r_k/r_0$ с ростом H во всех случаях больше, чем изменение $\Delta \rho/\rho_0$. В экструдированных образцах, не прошедших отжиг, отношения $\Delta r_k/r_0$ и $\Delta \rho/\rho_0$ при всех напряженностях магнитного поля меньше, чем для образцов, прошедших отжиг.

Связь и сцепление экструдированного твердого раствора $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ с контактными сплавами определяются процессом смачивания поверхности кристалла этим контактными сплавами и играют существенную роль при создании приборов с заданными свойствами.

Характеристикой сил сцепления жидкости и твердого раствора является удельная работа адгезии. Работа адгезии A_a для указанных контактных сплавов с поверхностью экструдированного образца твердого раствора $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$, вычисленная на основе измеренных экспериментальных данных коэффициента поверхностного натяжения и краевого угла смачивания при температуре ~ 410 и 415K составляет 780 и 850 мДж/м², соответственно.

Эти значения A_a свидетельствуют в пользу того, что хорошее смачивание указанными контактными сплавами поверхности твердого раствора $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ обеспечивается за счет достаточно сильного физико-химического взаимодействия расплава контактного материала с экструдированными образцами твердого раствора $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$.

Даны соответствующие объяснения к полученным экспериментальным результатам.

Б14. Гибридный охладитель на основе экструдированных образцов твердых растворов $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$

Тагиев М.М., Гасанов Н.Э., Абдинова Г. Д.

Институт фотоэлектроники НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан

Разработан гибридный охладитель, работающий на основе эффектов Пельтье и магнито-Пельтье, который состоит из двух блоков.

Первый блок, работающий на основе эффекта Пельтье, состоит из четырех каскадов с потребляемой мощностью 24 Вт и холодопроизводительностью 250 мВт, а второй блок – из одного каскада, состоящего из двух термоэлементов, работающего на основе эффекта Пельтье в магнитном поле (~0,3 Тл).

Термоэлементы изготовлены из экструдированных образцов твердых растворов на основе теллуридов висмута и Bi-Sb. При этом в 1-3-м каскадах первого блока были использованы материалы p- $\text{Bi}_{0,5}\text{Sb}_{1,5}\text{Te}_3$ и n- $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$, в 4-ом каскаде первого блока материалы p- $\text{Bi}_{0,5}\text{Sb}_{1,5}\text{Te}_3$, n- $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ с примесью свинца, а во втором блоке - p- $\text{Bi}_{0,5}\text{Sb}_{1,5}\text{Te}_3$ и n- $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$.

Показано, что при использовании указанных материалов температура теплопоглощающей поверхности гибридного охладителя достигает 145-150К.

Кроме того, при использовании экструдированного материала значительно (в 3-4 раза) увеличивается процент выхода термоэлементов и в 2-3 раза уменьшается себестоимость охладителя.

Изготовленный гибридный охладитель мощностью ~24,5Вт, холодопроизводительностью ~20 мВт может применяться для охлаждения элементов с тепловыми нагрузками ~15-20 мВт.

Б15. Фотоприемники с термоэлектрическим охлаждением на область спектра 3÷5 и 10÷12 мкм

Б. Ш. Бархалов

Институт фотоэлектроники НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан

Разработаны, изготовлены и исследованы фотоприемники с термоэлектрическим охладителем (ТЭО) на рабочую область спектра 3÷5 мкм (IFE-1) и 10÷12 мкм (IFE-2).

В качестве материала для фоточувствительных элементов (ФЧЭ) использовались монокристаллы твердых растворов кадмий-ртуть-теллур определенных составов. ФЧЭ обоих типов фотоприемников с встроенным ТЭО выполнены в планарном исполнении с применением методов фотолитографии для создания необходимой топологии фоточувствительных элементов. ФЧЭ после отбора по фотоэлектрическим параметрам монтировались в рабочий корпус прибора с встроенным 3-х (для IFE-1) и 4-х (для IFE-2) каскадным ТЭО.

ТЭО и другие конструктивные элементы тщательно очищали путем их отмывания в ультразвуковых ваннах, подвергали предварительному отжигу при 393К, и финишному – при 333К. Длительность как предварительного, так и финишного отжига составляла около

150 часов, давление в откачной системе - 10^{-5} - 10^{-6} Па. Внутренняя полость фотоприемника вакуумирована. Использование в конструкции нераспыляемого титанового геттера ПНТ-2 дает возможность поддерживать в рабочем объеме давление остаточных газов не более 10^{-3} Па, что позволяет стабилизировать фотоэлектрические характеристики разработанных фотоприемников. Все эти принятые технологические меры позволили стабилизировать параметры фотоприемника на исходном уровне в течение всего срока службы и предотвратить их деградацию в процессе эксплуатации.

Испытания показали, что фотоприемники устойчивы к вибрации в диапазоне частот от 10 до 2500 Гц при ускорении до 10 g, многократным ударам при нагрузке до 15 g и длительности ударного импульса от 1 до 5 мс (общее число ударов 12000), одиночному удару при пиковом ускорении 100 g и длительности импульса 0,1-2 мс (общее число ударов - 9). Дополнительно проводили испытание на воздействие линейного (продольного) ускорения до 100 g при длительности воздействия не менее 10 с.

После проведения испытаний каких-либо повреждений чувствительного элемента и контактной системы, как и всего прибора в целом, не наблюдалось.

Основные параметры фотоприемников

Тип фотоприемника	IFE-1	IFE-2
Рабочая область спектра, $\Delta\lambda$, мкм	3÷5	10÷12
λ_{\max} , мкм	4,5	10,6
Обнаружительная способность, $D^*_{\lambda_{\max}}$, см·Гц ^{1/2} ·Вт ⁻¹	$1 \cdot 10^{10}$	$2 \cdot 10^9$
Быстродействие, τ , с	10^{-6}	10^{-6}
Размеры ФЧЭ, мм ²	1 x 1	4 x 4
Темновое сопротивление, $R_{\text{темн}}$, кОм	1,0	1,5
Рабочая температура, T, К	205-210	196-200
Время выхода в режим ТЭО, с	120	150
Ток питания ТЭО, I, А	2,0÷2,2	2,0÷2,2
Мощность ТЭО, W, Вт	4,0÷4,4	8÷10

Б16. Исследования гальванотермомагнитных холодильников

Ащеулов А.А., Охрем В.Г., Охрем Е.А., *Фотий В.Д.

Черновицкий национальный университет им. Ю. Федьковича, Черновцы, Украина,
*ОАО "Кварц", Черновцы, Украина

Получено и проанализировано выражение для максимального перепада температуры ΔT_{\max} продольного гальванотермомагнитного (ГТМ) холодильника в случае, когда термоэдс материала зависит от инверсии индукции магнитного поля. Рассмотренный холодильник предназначен для использования при температуре жидкого азота в случае как слабых, так и сильных электрических токов.

$$\Delta T_{\max} = \frac{1}{2} \frac{(\alpha_p(-B) - \alpha_n(-B))^2 T_0^2}{(\sqrt{k_p(B)\rho_p(B)} + \sqrt{k_n(B)\rho_n(B)})^2},$$

где: $\rho_i(B)$ - удельное сопротивление; T_0 - температура термостата; $K_i B$ - удельная теплопроводность; B - индукция магнитного поля.

Проведена оптимизация поперечного ГТМ холодильника Эттинггаузена с точки зрения длины l высоты h , при которых не учитываются потери тепла через торцевые грани.

Рассчитано распределение температуры по продольному сечению ГТМ холодильника Эттинггаузена при условии, что его торцы и нижняя грань термостатированы при

температуре T_0 . Для висмутового образца, внешнее магнитное поле которого направлено по биссекторной, а ток - вдоль тригональной оси, для $T_0=80K$ определено, что в средней части образца температура зависит только от высоты ($l/h \sim 4$), что подтверждается экспериментально.

Рассмотрена возможность создания ГТМ холодильника Эттингсгаузена без теплосъемной нижней подложки, к которой предъявляются трудноосуществимые требования (диэлектрик с высокой теплопроводностью и идеальным тепловым контактом).

Проведен расчет температурного поля в случае замены изотермического условия на нижней грани адиабатическим, т.е. таким, при котором нижняя грань теплоизолирована.

При этом отработанное тепло сбрасывается в термостат через торцы. Показано, что в этом случае ΔT_{\max} уменьшается на 10-15 %, однако конструкция холодильника существенно упрощается.

Исследован экспериментально и теоретически ГТМ холодильник в виде круглого цилиндра с центральным каналом, изготовленным из монокристаллического висмута. Образец, ось которого совпадает с тригональной осью кристалла, располагается в держателе, обеспечивающем вакуум. Электрический ток пропускается вдоль оси цилиндра. При погружении держателя с таким образцом в сосуд Дьюара с жидким азотом, наличии внешнего магнитного поля и электрического тока наблюдался эффект охлаждения. Достигнутый перепад температуры в этом случае составляет 8K, что полностью совпадает с проведенными теоретическими расчетами.

Основной задачей данного эксперимента является исследование возможности непосредственного контакта хладагента (азот) с горячей гранью образца: жидкий азот, проходя через центральный канал, поглощает выделяемое тепло.

Б17. Модули Пельтье повышенной надежности для фотоприемников

Кадельник Д.В., Фотий В.Д., Ащеулов А.А., Шайко-Шайковский А.Г., Романюк И.С., Добровольский Ю.Г., Клепиковский А.В., Прохоров Ю.И.

ОАО "Кварц", Черновцы, Украина

Термостатирование и охлаждение фотоприемников является актуальной задачей, которую современная фотоэлектроника решает с помощью эффекта Пельтье [1]. На его основе разрабатываются термоэлектрические модули (ТЭМ). Нами созданы ТЭМ повышенной надежности на основе кристаллов твердых растворов Bi-Te-Se-Sb [2].

Повышенная надежность ТЭМ достигается комплексом технологических мероприятий.

1. Использование кристаллов твердых растворов Bi-Te-Se-Sb диаметром 28–35 мм, длиной до 300 мм [3], которые характеризуются термоэлектрической добротностью $Z_p=3,2 \cdot 10^{-3}K^{-1}$, $Z_n=3,0 \cdot 10^{-3}K^{-1}$ и повышенной механической прочностью (предельные прочности: на изгиб $\sigma_{\text{и}}=83\text{--}99$ МПа, на сжатие $\sigma_{\text{с}}=56\text{--}62$ МПа при 300K).

2. Разработка низкоомных диффузионных слоев, адгезионная прочность которых для p- и n- ветвей составляет $\sigma_p \geq 80$ МПа, $\sigma_n \geq 100$ МПа при $T=300K$.

3. Металлизация керамических пластин теплоэлектропереходов путем вжигания молибденово-марганцевой пасты, детанационного напыления меди, последующего отжига и изготовления коммутационного рисунка.

Значения параметров ТЭМ не изменяются после воздействия предельных температур 213–333K при электрической нагрузке в циклическом (1500 часов) и непрерывном (2000 часов) режимах. Исследована стойкость разработанных ТЭМ к воздействию механических и климатических факторов.

ТЭМ имеют несколько типонаименований по количеству каскадов (от одного до пяти), потребляемой мощности, площади охлаждаемой грани и перепаду температур и используются для термостабилизации и охлаждения кремниевых, германиевых,

халькогенидных фотоприемников.

Литература:

1. Анатычук Л.И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства. Справочник.-Киев: Наук. думка, 1979.-253с.
2. Гольцман Б.М., Кудинов В.А., Смирнов И.А. Полупроводниковые термоэлектрические материалы на основы Bi_2Te_3 . М. –Наука. – 1972. –320с.
3. А.А. Ащеулов, Ю.Г. Добровольський, І.С. Романюк. Патент України на винахід № 36796 Спосіб отримання монокристалів твердих розчинів на основі телуриду вісмуту методом вертикальної зонної перекристалізації. МПК H01C30B13/30, опубл. 16.04.2001. Бюл. № 3.

Б18. Спектры низкочастотного шума высококачественных КРТ фоторезисторов

Никитин М.С., Чеканова Г.В.

ФГУП «Альфа», Москва, Россия

Природа низкочастотного фликкер-шума “1/f” в фоторезисторах (ФР) до настоящего времени не ясна. Фликкер-шум проявляется только тогда и всегда, когда через фоторезистор протекает постоянный ток. Спектральная плотность фликкер-шума описывается эмпирическим выражением $S_f = B(I^\alpha / f^\beta)$, где B – константа, α имеет величину от 1,5 до 4 и β имеет величину от 0,8 до 1,5 [1]. Предполагают, что фликкер-шум возникает вследствие флуктуационных процессов на контактах металл-полупроводник и границах раздела диэлектрическая пленка-полупроводник, происходящих во время протекания постоянного тока. В этой связи считают, что применение более совершенной технологии формирования контактов и пассивации поверхности при изготовлении ФР дает в результате снижение спектральной плотности и граничной частоты шума “1/f” F_n (граничная частота – это частота, выше которой влияние шума “1/f” на фотоэлектрические параметры ФР незначительно). Мы представляем данные измерений низкочастотного шума ФР (см. Таблицу), фоточувствительные элементы которых были изготовлены из объемного монокристаллического полупроводникового материала $n-Hg_{1-x}Cd_xTe$ (КРТ). ФР характеризуются предельно низкими значениями плотности “1/f” шума, причем граничная частота “1/f” шума снижена вплоть до 10 Гц (Рис. 1 и 2). ФР с низким уровнем “1/f” шума могут использоваться без ухудшения пороговой чувствительности, начиная с 10-20 Гц. [1] Курбатов Л.Н. – Оптоэлектроника видимого и инфракрасного диапазонов спектра, Москва, Изд-во МФТИ, 1999

Рис.1 Спектральная плотность шума ФЧЭ №1 при рабочем токе 0,75 мА (а); 1 мА (б)

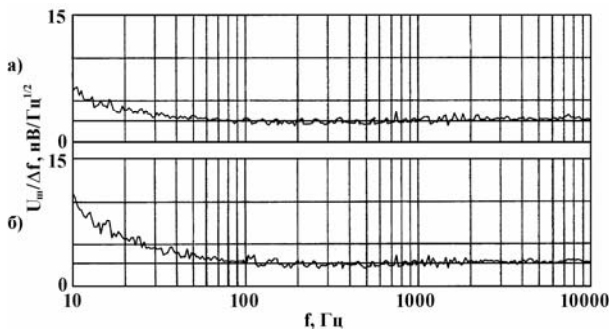


Рис.2 Спектральная плотность шума ФЧЭ №2 при рабочем токе 0,18 мА (а); 0,31 мА (б)

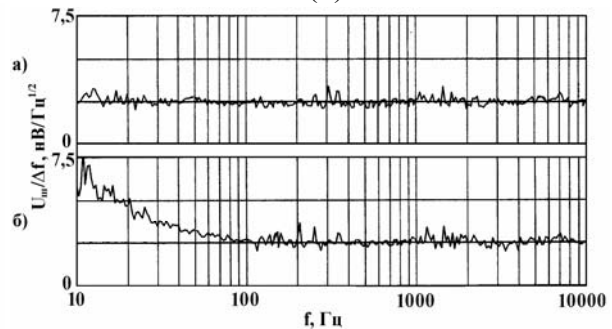


Таблица
Фотоэлектрические параметры исследованных КРТ фоторезисторов

№ ФЧЭ	“х”, мол. д.	A, мм*мм	T _{раб} , К	λ_{\max} , мкм	$\lambda_{\text{со}}$, мкм	R _T , Ом	I _{см} , мА	F _n , Гц	D* _{λ_{\max}} , смГц ^{1/2} Вт ⁻¹	R _{vλ_{\max}} , В/Вт
1	0,250	0,25*0,25	203	5,4	6,2	310	≤ 1	20	1,5E10	2,0E3
2	0,270	1*1	203	4,6	5,4	1360	≤ 0,3	40	4,5E10	5,0E2
3	0,210	0,05*0,05	78	11	12,5	75	1,2	150	1,0E11	1,0E5

Б19. Исследования р-п переходов в объемных и эпитаксиальных слоях КРТ

методом вольт-фарадных характеристик

Болтарь К.О., Головин С.В., Седнев М.В., Яковлева Н.И.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Емкостные методы исследования позволяют определять параметры р-п переходов фотодиодов на основе узкозонных полупроводников, в том числе КРТ. Особенности применения этих методов для исследования диодов в соединении теллурида кадмия-ртути состоят в необходимости проведения измерений при охлаждении до температуры жидкого азота, когда используются сравнительно высокие частоты измерения емкости для уменьшения влияния проводимости р-п перехода и малый диапазон допустимых постоянных напряжений на р-п переходе.

Исследованы вольт-фарадные характеристики р-п переходов, сформированных как ионной имплантацией, так и ионным травлением в объемных структурах КРТ и в эпитаксиальных слоях КРТ р-типа проводимости состава $x=0,2$ и $x=0,3$, выращенных методами жидкофазной (ЖФЭ), молекулярно-лучевой (МЛЭ) и эпитаксией из металлоорганических соединений (МОС).

Образцы фотодиодов исследовались в технологических криостатах и охлаждались до температур жидкого азота порядка 77К. Измерены вольт-фарадные характеристики р-п переходов на частоте 1 МГц в диапазоне напряжений смещения на р-п переходе +100÷-500 мВ. Построены зависимости $1/C^2(U)$ и определены размеры области объемного заряда р-п переходов и концентрации акцепторов на границе области объемного заряда.

Б20. Моделирование механизмов протекания тока в фотодиодах из КРТ

Болтарь К.О., Яковлева Н.И.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Вольт-амперные характеристики (ВАХ) фотодиодов широко используются для исследований и контроля качества р-п переходов фотоприемников ИК-диапазона. Их обработка численными методами позволяет провести оценку вклада различных механизмов протекания тока в фотодиодах, определить некоторые характеристики исходных материалов и параметры р-п переходов, а также дать рекомендации по совершенствованию технологии фотодиодов.

В данной работе проанализированы различные механизмы протекания тока в р-п переходах фотодиодов на основе твердых растворов кадмий-ртуть-теллур (КРТ), построена математическая модель, позволяющая по ряду параметров материала КРТ определять ВАХ р-п перехода и решена обратная задача: по ВАХ при помощи моделирования на ЭВМ определяются основные параметры КРТ в области р-п перехода.

Обратная задача решалась по следующему алгоритму:

- рассмотрены основные теоретические зависимости различных токовых составляющих ВАХ фотодиода и построены математические формы описания, включающие варьируемые параметры, характеристики КРТ, известные весьма приблизительно, например, энергетический уровень ловушек в запрещенной зоне;
- назначены начальные значения для варьируемых параметров, исходя из теоретических предпосылок и измеренных характеристик ВАХ фотодиодов;
- методом последовательных приближений варьируемых параметров на ЭВМ определены параметры, характеризующие материал КРТ в области р-п перехода, обеспечивающие наилучшее совпадение измеренных ВАХ и результатов моделирования ВАХ на ЭВМ.

При моделировании вида обратной ветви ВАХ фотодиода учитывались следующие механизмы протекания тока:

$$J = J_D + J_{g-r} + J_{ph} + J_{TT} + J_{TB} + J_S, \text{ где}$$

J_D - диффузионно-дрейфовый ток,

J_g - генерационно-рекомбинационный ток,

J_{ph} - фоновый ток,

J_{TT} - туннельный ток, обусловленный процессом туннелирования через уровни ловушек в запрещенной зоне,

J_{TB} - туннельный ток, обусловленный процессом туннелирования зона-зона,

J_S - ток шунтирующей утечки, характеризующий возможные проколы в р-п переходе.

Б22. Исследование электрофизических свойств фотодиодных линеек HgCdTe

Андреева Е.В., Гуменюк-Сычевская Ж.В., Коровина Л.А., Цибрий З.Ф.

Институт физики полупроводников НАН Украины, Киев, Украина

Эпитаксиальные пленки $Hg_{1-x}Cd_xTe/CdZnTe$ являются одним из основных материалов для создания устройств ИК-техники, работающих в области 8-14 мкм. В работе исследованы вольт-амперные характеристики (ВАХ) фотодиодов КРТ, формирующих 128-элементные фотодиодные линейки.

Исследуемые фотодиоды были получены на пленках $Hg_{1-x}Cd_xTe$, выращенных методом жидкофазной эпитаксии на подложках $CdZnTe$. Толщина эпитаксиальных слоев изменялась от 15 до 23 мкм. Состав x пленок КРТ и величина градиента состава по толщине образца определялись по спектральным зависимостям оптического пропускания. При помощи методики, описанной в работе [1] получены значения состава пленок на поверхности ($x \approx 0,215 \div 0,220$) и градиент состава ($\Delta x / \Delta d = 6,5 \div 12$ моль%/см).

Фотодиоды формировались методом ионной имплантации атомов бора B^+ с энергиями $E \approx 100$ кэВ, доза имплантации $D = 3 \cdot 10^{13}$ см⁻³. Качество диодов характеризуется величиной RA , где R – дифференциальное сопротивление, A – площадь диода, которая в нашем случае составляла 30×30 мкм². В исследованных диодах с малыми значениями обратных токов отмечено насыщение обратной ветви ВАХ. Величина R_0A для них составляла $1,5 \div 7$ Ом·см². В диодах с $R_0A < 1$ Ом·см² насыщение обратной ветви ВАХ не наблюдалось.

Экспериментальные токовые характеристики диодных линеек описаны при помощи метода уравнений баланса носителей на дефектных состояниях в запрещенной зоне с учетом

двух механизмов токопереноса через эти состояния: туннелирования через ловушки и генерации рекомбинации Шокли-Рида-Холла. Остальные механизмы токопереноса включены в рассмотрение аддитивно [2]. Из сравнения расчетных и экспериментальных данных получены такие параметры диодных структур, как концентрации доноров и акцепторов в n- и p- областях диодов, концентрации и энергетическое положение ловушек в запрещенной зоне, а также времена жизни носителей на них. Изучена дисперсия параметров вдоль линейки, и даны рекомендации для улучшения параметров структур в процессе выращивания.

1. Ivasiv Z.F., Tetyorkin V.V., Sizov F.F. Infrared Phys.& Techn., **42**, 61 (2001)
2. J. V. Gumenjuk-Sichevskaja, F. F. Sizov. Semicond.Sci.Techn., **144**, 1124 (1999).

Б23. Особенности формирования диффузионных p-n- переходов в варизонных эпитаксиальных структурах на основе $Cd_xHg_{1-x}Te$

Власов А.П., Писаревский В.К., Шевченко А.В.; *Бончик А.Ю., **Барч А.

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

**Львовский институт прикладных проблем механики и математики
АН Украины, Львов, Украина*

***Институт физики Польской академии наук, Варшава, Польша*

Представлены результаты исследований варизонных фоточувствительных структур, созданных на основе диффузионного легирования мышьяком $Cd_xHg_{1-x}Te$ n-типа проводимости. В качестве базового материала использовались эпитаксиальные слои $Cd_xHg_{1-x}Te$ ($X=0,19\div 0,34$), выращенные методом испарение-конденсация-диффузия (ИКД) и монокристаллы $Cd_xHg_{1-x}Te$ ($X=0,2; 0,3$). Источником примеси служили либо ионно-имплантированная As ($E=100$ кеВ; $D=5\cdot 10^{14}, 5\cdot 10^{15}, 6\cdot 10^{15}$ см⁻²) поверхность эпитаксиального слоя $Cd_xHg_{1-x}Te$, либо сильнолегированные ($N_{As}\approx 10^{18}$ см⁻³), тонкие ($d=2\div 4$ мкм) поверхностные пленки, полученные ВЧ распылением в Hg-тлеющем разряде на монокристаллическом $Cd_xHg_{1-x}Te$ с составом, незначительно отличающимся от состава базового материала. Диффузионная разгонка примеси и ее активация проводилась в парах Hg и Te при $T>400^\circ C$. Непосредственно после процесса диффузии образцы подвергались длительному низкотемпературному отжигу в насыщенных парах Hg (с режимами, соответствующими преддиффузионному отжигу) для восстановления исходного состояния базового материала по собственным дефектам.

Диффузионные профили распределения As определялись посредством ВИМС анализа. Измерение параметров полученных диодных структур проведено при помощи дифференциального эффекта Холла и проводимости в области магнитных полей $B=0\div 1,8$ Тл, дифференциальной термоЭДС и в некоторых случаях прямого наблюдения p-n перехода в режиме ЕВІС при $T=77K$. Результаты проведенных экспериментов показывают высокую электроактивность As в рассматриваемых образцах. Сложная форма профилей

распределения примеси в ИКД эпитаксиальных слоях $Cd_xHg_{1-x}Te$ свидетельствует о многокомпонентном механизме диффузии As.

Исследованы спектральные и вольт-амперные характеристики полученных варизонных фоточувствительных структур, рассмотрено влияние внутреннего электрического поля на их свойства и показаны способы их совершенствования.

Б24. Особенности распределения донорных центров в кристаллах $Cd_xHg_{1-x}Te$ p -типа при низкотемпературной ионной имплантации

В.Н. Овсяук, Н.Х. Талипов

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

В работе исследовались особенности формирования $n^+/n^-/p$ структуры в кристаллах $Cd_xHg_{1-x}Te$ p -типа (p -КРТ) при низкотемпературной имплантации ионов бора. Кристаллы p -КРТ с составом $x=0,22$, концентрацией дырок $p=4 \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$, подвижностью $\mu_p=600 \text{ см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$ (77К) имплантировались при температуре 80 и 300К ионами бора с энергией 140 кэВ, дозой 1×10^{14} и $1 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$. В этих же режимах имплантировались ионы гелия при 300К. Распределение донорных центров исследовалось методом дифференциальных холловских измерений при 77К.

Впервые обнаружено, что низкотемпературная имплантация больших доз ионов бора в p -КРТ приводит к подавлению процесса формирования $n^+/n^-/p$ структуры, который характерен для ионной имплантации либо при комнатной, либо при повышенной температуре.

Распределение донорных центров в кристаллах, имплантированных ионами B^+ и He^+ при 300К характеризуется наличием как сильнолегированной n^+ -области глубиной 0,8 мкм с концентрацией электронов $n=2 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ и подвижностью $\mu_n=3 \times 10^3 \text{ см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$, так и глубокого (до 10–15 мкм) слаболегированного n^- -слоя с $n=5 \times 10^{14} \text{ см}^{-3}$, $\mu_n=1,5 \times 10^5 \text{ см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$, причем в случае имплантации ионов He^+ "хвост" распределения тянется гораздо глубже. Данное различие, а также спад концентрации электронов вблизи поверхности в случае имплантации более тяжелых по сравнению с гелием ионов бора свидетельствует о формировании вблизи поверхности радиационных дефектов–стоков, частично нейтрализующих донорные центры. Наличие приповерхностной стоковой области более ярко проявляется в случае имплантации ионов бора при 80К: n^+ - и n^- -слои имеют меньшую по сравнению с имплантацией при 300К концентрацию электронов и глубину. Делается вывод о частичном отжиге радиационных дефектов кристалла в процессе ионной имплантации при комнатной температуре.

Б25. Телепортация квантовых полей и материализация телепортируемого поля в виде топологического рельефа наноструктур как новое направление в нанотехнологии

Васичев Б.Н.

ФГУДП НИИЭИО ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Квантовая телепортация является одним из физических явлений квантовой информации, которое позволяет переносить квантовое состояние электромагнитного поля из одного места в другое, используя обмен классической информацией в сочетании с квантовым каналом, в котором используются квантовые "перепутанные" состояния вспомогательных полей.

В данной работе показано, что при обобщении схемы квантовой телепортации на пространственно-многомодовые поля, образуемые потоком заряженных частиц, имеется

возможность телепортировать квантовые состояния распределенных в пространстве и времени неоднородных высоколокализованных электромагнитных полей, способных стимулировать синтез наноструктур на молекулярном уровне. Интерес к подобному обобщению продиктован тем, что такие поля могут быть носителями неоднородных массивов информации в устройствах параллельной обработки данных и в синтезаторах как одномерных, так и многомерных (объемных) молекулярных наноструктур.

Рассматривается формирование наноструктур на атомном уровне из газовой фазы посредством управления пространственной информацией электронно - или ионно-лучевых волновых полей. Синтез пространственных электронных или ионных волновых полей с заданными амплитудами, фазой и ориентацией вектора напряженности поля осуществляется соответствующим конструктивным решением, позволяющим реализовать управляемые поля с заданными топологическими характеристиками.

Б26. Моделирование ионно- зондовых систем для ионно-лучевых технологий

Васичев Б.Н., Куликов Ю.В., Потапкин О.Д., Фатьянова Г.И

ФГУДП НИИЭИО ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Ионно-лучевое оборудование давно используется при изготовлении изделий микроэлектроники. Это установки для ионно-лучевой очистки и травления подложек, ионной имплантации, ионно-лучевой размерной обработки и ионно-лучевого локального осаждения веществ из газовой (паровой) фазы. При проектировании этих установок выбирается оптимальное значение показателей качества этих установок. Показатели качества связаны с характеристиками ионно-оптических функциональных элементов, к которым относятся: источники ионов, ионные фокусирующие системы, системы отклонения и стигматоры, ускорители, сепараторы ионов. С целью выявления оптимальных характеристик было выполнено численное моделирование и расчет этих элементов.

В результате исследования были определены основные ионно-оптические характеристики электростатического ускорителя ионов, электростатических ионных линз, имеющих различную конфигурацию электродов, отклоняющих систем, источников ионов двух типов – авто-ионного и плазменного. Результаты исследования легли в основу формирования ионно-оптических схем установок двух типов: ионно-зондовой установки с диаметром ионного пучка 0,03 мкм при токе в пучке 0,005 А/мм 52 0 и установки для ионной имплантации с диаметром пучка 8,0 мм, сканирующего по площади 40000 мм 52 0 при токе 600 -2000 мкА в зависимости от типа ионов и их зарядов.

Расчет перечисленных устройств состоит в определении ионных траекторий на всем протяжении от источника до мишени. Эта задача решалась традиционно с привлечением теории аббераций. Решение этой задачи было реализовано с помощью пакета прикладных программ Elim-E. При расчете траекторий применялся метод «декомпозиции».

Б27. Использование модернизированного ионного источника ИОН-4 для ионно-лучевого травления различных слоев в технологии изготовления МОП-мультиплексоров

Бабулин Е.А., Бахтина И.Ф., Манушин С.Н., Маишев Ю.П., Юрков А.Н.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

В связи с задачами разработки фотодиодных матриц больших форматов (128×128, 384×288) возникает необходимость разработки кремниевых МОП-мультиплексоров высокой степени интеграции. Основным препятствием для повышения степени интеграции является неконтролируемое изменение минимального размера элемента топологии, возникающего

из-за бокового растрыва при изотропном жидкостном травлении слоев, используемых в технологии изготовления мультиплексоров. Указанный уход размеров может быть устранён при применении некоторых видов ионно-плазменного, а также ионно-лучевого травления.

В работе использовался макет установки для ионно-лучевого травления полупроводниковых пластин. Этот макет включает в себя ионный источник ИОН-4 разработки НПО «Орион», вакуумную установку ВУ-1А и средства подачи рабочих газов и контроля процесса травления.

Источник ИОН-4 был доработан путем замены фторопластовой изоляции на кварцевую и вакуумную, что решающим образом повысило его надёжность. Изменения в магнитной системе позволили достичь неоднородности скорости травления на пластине \varnothing 100 мм в пределах $\pm 6\%$ без использования сканирования. Неподвижность пластины позволила применить простое средство контроля окончания процесса травления.

Были найдены оптимальные режимы работы ионного источника, обеспечивающие процесс ионного травления полупроводниковых пластин через маску фоторезиста. Исследованы скорости травления SiO_2 , Si_3N_4 при питании источника газами Ar , CF_4 , SF_6 . Найдено, что слои SiO_2 или Si_3N_4 толщиной $\sim 0,5$ мкм, могут быть протравлены за время 10–30 мин. Фоторезист после травления удалялся традиционным химическим методом или в кислородной плазме. Размеры окон, протравленных в SiO_2 и в Si_3N_4 , с точностью 0,1–0,2 мкм, соответствуют рисунку на фоторезисте, т.е., ухода размеров практически нет вплоть до минимальных размеров элементов 1–2 мкм. Селективность травления SiO_2 по отношению к Si –2–3. Перетрав Si в окнах окисла не превышает 6% от толщины травливаемого слоя.

Б28. Влияние режимов ионного травления на параметры фоторезисторов из CdHgTe

Филатов А.В., Лукша В.И., Поповян Г.Э., Трошкин Ю.С., Шаронов Ю.П.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Исследовалось влияние ионного травления при комнатной температуре и температуре жидкого азота на эффективное время жизни носителей заряда в толстых (~ 1 мм) и тонких ($\sim 0,01$ мм) образцах CdHgTe n-типа проводимости. Получено, что использование ионного травления при криогенных температурах позволяет снизить скорость рекомбинации на боковых гранях фоторезисторов и за счет этого увеличить вольтовую чувствительность классических фоторезисторов и время накопления сигнала в “SPRITE” приемниках.

Исследовано влияние различных защитных покрытий (собственный анодный окисел, ZnS, Al_2O_3 , CdTe и др.) на низкочастотные шумы типа $1/f$ в диапазоне частот 2 Гц–2 кГц.

Приведены параметры фотоприемников.

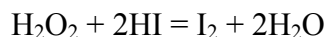
Б29. Химическое травление твердых растворов $\text{Hg}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$ в иодвыделяющих травильных композициях на основе системы H_2O_2 -HI

Томашик З.Ф., Гуменюк О.Р., Томашик В.Н., Сизов Ф.Ф.

Институт физики полупроводников НАН Украины, Киев, Украина

С целью разработки новых эффективных травильных композиций для монокристаллов $\text{Hg}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$ с использованием методики вращающегося диска (скорость вращения γ от 25–120 мин^{-1}) экспериментально изучено химическое взаимодействие $\text{Hg}_{0,78}\text{Cd}_{0,22}\text{Te}$ с растворами систем H_2O_2 -HI, H_2O_2 -HI-лимонная ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) и H_2O_2 -HI-винная ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$) кислота. Исследовали зависимости скорости травления (v) от состава травителя, скорости вращения диска (γ) и температуры (T).

Для приготовления травителей использовали 55%-ную HI, 35%-ную H₂O₂ и водные растворы C₆H₈O₇ и C₄H₆O₆. Растворы выдерживали 30-40 минут до установления равновесия химической реакции:



Выделившийся I₂ растворялся в HI, образуя травильные композиции с небольшими скоростями травления полупроводника. Образцы промывали сначала в 1 М растворе Na₂S₂O₃, затем в большом количестве дистиллированной воды.

Установлено, что в системе H₂O₂-HI в интервале концентраций 2,5-15 об.% H₂O₂ существует ряд полирующих растворов, причем с ростом концентрации H₂O₂ скорость растворения Hg_{0,78}Cd_{0,22}Te увеличивается с 10 до 25 мкм/мин и улучшается морфология поверхности.

Для систем H₂O₂-HI-C₆H₈O₇ и H₂O₂-HI-C₄H₆O₆ построены диаграммы Гиббса (состав травителя – скорость травления). Области полирующих растворов в них составляют (в об.%): 5-15 H₂O₂, 95-85 HI, 0-25 C₆H₈O₇ и 5-15 H₂O₂, 95-85 HI и 0-35 C₄H₆O₆, а скорость полирования варьирует от 7 до 25 мкм/мин. При этом с увеличением содержания H₂O₂ в составе травителя она возрастает, а с увеличением концентрации органической кислоты – уменьшается. Наилучшими полирующими свойствами обладают травители, обогащенные HI в системе H₂O₂-HI-C₄H₆O₆.

Из температурной зависимости $v=f(T)$ найдены значения кажущейся энергии (E_a) для растворов всех систем и установлено, что растворение Hg_xCd_{1-x}Te в них лимитируется диффузионными стадиями. Это подтверждается исследованиями зависимости $v=f(\gamma)$, поскольку соответствующие прямые, построенные в координатах $v^{-1}-\gamma^{-1/2}$, экстраполируются в начало координат.

Изученные травильные композиции можно рекомендовать для химико-динамического полирования Hg_xCd_{1-x}Te при $\gamma=85 \text{ мин}^{-1}$ и 19°C.

Б30. Электродиализный метод очистки технических стоков в процессе производства микрофотоэлектроники

Первеев А. В., ¹Проскурин В.М., ¹Смирнов А. В.

*ЗАО «Акварос», Москва, Россия
¹ГНЦ ГУП «НПО «Орион» Москва, Россия*

Внедрение в производство малоотходных и безотходных технологических процессов, замкнутых систем водного хозяйства в химической микроэлектронной промышленности, в создании лазерной и микропроцессорной техники выдвигает задачу эффективности очистки производственных сточных вод. Сложность решения этой задачи состоит в многообразии технологических процессов и получаемых продуктов. Следует отметить также, что основное количество воды в отраслях расходуется на охлаждение.

В настоящее время для очистки воды используется несколько способов, в частности, коагуляционный, аэрирования, окисления, адсорбции и т.д. Все большее распространение в последнее время получают мембранные методы очистки.

Рассмотрена схема электродиализной очистки технических стоков в процессе производства микрофотоэлектроники.

Анализируются технико-экономические параметры данной схемы очистки.

Б31. Фоточувствительные линейки на основе пленок PbS и PbSe с квазиматричной системой контактов и ФПУ на основе таких линеек

Бочков В.Д., Бутров Ю.П., Глобус Е.Р., Казанцев Г.А., Лаенко Т.Я.,
Лебедева Л.Я., Храпунов М.Л.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Изготовлены образцы фоточувствительных линеек на основе пленок PbS и PbSe, у которых система контактных соединений идентична x-y адресации в матричных структурах. Как и в этом последнем случае, создание системы контактных соединений требует решения проблемы создания пересекающихся контактов, а также реализации контактных соединений через малоразмерные окна в диэлектрике.

Приводятся результаты измерений параметров этих линеек. Анализируются целесообразность создания многоэлементных ФПУ на основе структур с квазиматричной системой контактов, достоинства и недостатки таких ФПУ.

Б32. Двухдиапазонные фоточувствительные структуры на основе пленок PbS и PbSe

Бутров Ю.П., Глобус Е.Р., Залевская Л.Н., Казанцев Г.А., Лаенко Т.Я., Лебедева Л.Я.,

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Рассматривается технология, позволяющая на одной подложке изготовить многоэлементные линейки из PbS и PbSe, расположенные на малом расстоянии друг от друга. Сначала осаждается пленка PbSe, которая становится фоточувствительной в результате высокотемпературной обработки. На свободную от PbSe часть подложки осаждается пленка PbS. Принимаются специальные меры для защиты PbSe во время осаждения PbS. С помощью фотолитографии формируются многоэлементные линейки, после чего напыляются металлические контакты. При этом общий электрод для всех чувствительных площадок обеих линеек располагается в области, где соприкасаются пленки обоих фоточувствительных материалов.

Приводятся характеристики изготовленных по данной технологии двухдиапазонных фоточувствительных структур.

Б33. Создание ряда фотоприемников гражданского применения на основе пленок PbS и PbSe

Бутров Ю.П., Глобус Е.Р., Казанцев Г.А., Лебедева Л.Я.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Приводятся результаты по созданию фотоприемников гражданского применения на основе химически осажденных пленок PbS и PbSe: одноэлементных неохлаждаемых фотоприемников, бескорпусных и смонтированных в герметичных корпусах. Сообщается о разработке одно- и многоэлементных фотоприемников, охлаждаемых ТЭО. Особое внимание в этих работах обращалось на максимальное использование стандартных конструкций и типовых технологических процессов, разработанных ранее при создании фотоприемников специального назначения. В частности, использование технологии осаждения высокочувствительных пленок халькогенидов свинца позволяет обеспечить высокий уровень фотоэлектрических параметров гражданских фотоприемников. Разработка технической документации и изготовление технологической оснастки (в первую очередь, фотошаблонов для изготовления фоточувствительных элементов) позволит минимизировать срок изготовления заказываемых фотоприемников.

Б34. Стабильность фотоприемников на основе PbSe, смонтированных в герметичных газонаполненных корпусах, при различных внешних воздействиях

Дражников Б.Н., Казанцев Г.А., Паняева В.С.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Приводятся результаты измерений фотоэлектрических параметров фоторезисторов на основе химически осажденных пленок PbSe, помещенных в герметичные газонаполненные корпуса и подвергшихся различным внешним воздействиям.

Неохлаждаемые фотоприемники в герметичных корпусах типа ФР-202 сохранили свои параметры после пребывания при окружающей температуре +50°C в течение 200 суток.

При длительной наработке 64-канальные ФПУ с фоточувствительной линейкой, охлаждаемой 2-х каскадным ТЭО при рабочем режиме питания, сохраняют неизменными (в пределах точности измерений) значения обнаружительной способности в течение ~2600 суток.

Б35. Фоточувствительные пленки PbSe, полученные химическим осаждением на окисленной поверхности кремния

Бутров Ю.П., Глобус Е.Р., Казанцев Г.А., Назарова Т.С., Сапрыкина В.А.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

Рассматриваются результаты работ по получению высокочувствительных пленок PbSe на окисленной поверхности кремния. Отмечается, что это более сложная проблема, чем получение пленок PbS на подложках из этого материала. Приводятся различные варианты технологии изготовления фоточувствительных элементов. Анализ результатов позволяет объективно оценить возможность создания монолитного ФПУ, объединяющего фоточувствительную структуру из PbSe и блок обработки сигнала, изготовленный в объеме кремниевой подложки.

Б36. Новый заливочный и герметизирующий состав для фотоприемников и электронной аппаратуры

Антипова М.А., Глобус Е.Р., ¹Макарова Л.И., Молостова А.Ю.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

¹*Институт элементарных органических соединений (ИНЭОС РАН), Москва, Россия*

Разработан новый полиорганосилоксануретановый заливочный компаунд для герметизации и сборки фотоприемников на основе различных полупроводниковых соединений и узлов электронной аппаратуры.

Компаунд отличается от используемых для тех же целей полимерных составов оптимальным сочетанием физико-механических свойств в части эластичности, механической прочности и технологичности применения.

В докладе приводятся эксплуатационные характеристики нового компаунда, указываются области применения в технологии изготовления фотоприемников и даны рекомендации к использованию в других отраслях.

Б37. Эпитаксиальные слои MnCdHgTe, полученные методом ВЧ-распыления в плазме ртути

Кавыч В.Й., Лозинская М.И., Мансуров Л.Г.

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

Методом ВЧ-распыления с локализацией тлеющего ртутного разряда в квазизамкнутом объеме получены тонкие (4-6 мкм) слои MnCdHgTe. Изучены закономерности их конденсации на подложках CdTe. Изучено влияние технологических параметров на структурные, электрофизические и фотоэлектрические свойства слоев MnCdHgTe. Ширина запрещенной зоны, определенная со спектров пропускания при комнатной температуре, была 0,120-0,160 эВ. Полученные слои MnCdHgTe химически однородны как по толщине, так и по площади поверхности размером $2,5 \times 2,5 \text{ см}^2$. Структура слоев MnCdHgTe исследовалась методами дифракции электронов на отражение. Электрофизические измерения в магнитном поле 0,1 Тл при постоянном токе показали, что эпитаксиальные слои, полученные при температурах подложки в диапазоне от 220 до 250°C после роста имели *p*-тип проводимости с концентрацией носителей на уровне 10^{16} - 10^{17} см^{-3} при 77К.

Б38. Распределение профилей радиационных дефектов при ионной имплантации варизонных структур КРТ, выращенных методом МЛЭ

Войцеховский А.В., Коханенко А.П., Коротаев А.Г., Григорьев Д.В.,
Варавин В.С.* , Дворецкий С.А.* , Сидоров Ю.Г.* , Талипов Н.*

Сибирский физико-технический институт при ТГУ, Томск, Россия
**Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия*

Облучение высокоэнергетическими ионами широко используется при создании фоточувствительных элементов типа фотодиодных структур. Для исследования классической ионной имплантации в эпитаксиальные пленки теллурида кадмия ртути (КРТ), выращенные методом МЛЭ, было проведено облучение исследуемых образцов ионами аргона и азота в диапазоне доз облучения 10^{12} - 10^{15} см^{-2} . Параметры облучения: энергия ионов $E=150 \text{ кэВ}$, плотность тока ионов $j=0,01$ - $0,1 \text{ А/см}^2$. Определение профилей радиационных дефектов проводилось методом дифференциальных холловских измерений.

В работе проведены исследования дозовых зависимостей слоевой концентрации эпитаксиальных пленок КРТ при ионной имплантации. Насыщение зависимости слоевой концентрации носителей заряда от дозы наступает при дозе облучения 10^{13} см^{-2} и достигает значения концентрации $N_s \sim 4 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$, что совпадает с дозой насыщения и величиной N_s для образцов КРТ, выращенных объемными методами. Измерения пространственного распределения электрически активных радиационных дефектов показало, что с ростом дозы облучения происходит сдвиг максимума профиля распределения электрически активных дефектов в глубь образца. Кроме этого, необходимо отметить, что локализация профилей распределения электрически активных дефектов происходит на глубинах, существенно больших, чем глубина пробега высокоэнергетических ионов (R_p), что тоже является характерной картиной при ионной имплантации в образцах КРТ, выращенных объемными методами. Однако обнаружено что концентрация электронов в максимуме распределения $< 10^{18} \text{ см}^{-3}$, а при всех измерениях профилей распределения электронов по глубине при ионной имплантации образцов КРТ, выращенных объемными методами, она была $> 10^{18} \text{ см}^{-3}$.

Таким образом, наблюдается хорошее качественное совпадение первых результатов по ионной имплантации в эпитаксиальных пленках и в объемном материале КРТ, но есть и количественные различия в получении максимальных значений дозовой зависимости концентрации электронов, что возможно связано с влиянием резкого варизонного слоя на

поверхности эпитаксиальной пленки КРТ на механизмы радиационного дефектообразования в этих материалах.

Б39. Облучение высокоэнергетическими электронами и гамма-квантами эпитаксиальных пленок КРТ, выращенных методом МЛЭ

Войцеховский А.В., Коханенко А.П., Коротаев А.Г., Григорьев Д.В.,
Варавин В.С.*[†], Дворецкий С.А.*[†], Сидоров Ю.Г.*[†], Михайлов Н.Н.*[†]

Сибирский физико-технический институт при ТГУ, Томск, Россия

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

В работе представлены первые результаты по исследованию радиационной стойкости эпитаксиальных пленок КРТ, выращенных методом МЛЭ, к воздействию потоками высокоэнергетических электронов и гамма-квантами. Проводились измерения электрофизических и фотоэлектрических параметров эпитаксиальных пленок до и после облучения. Для контроля при всех видах радиационного воздействия использовались также образцы КРТ, изготовленные из полупроводникового материала выращенного объемными методами.

Эпитаксиальные пленки КРТ, выращенные методом МЛЭ, облучались на импульсном ускорителе электронов с энергией 1-2 МэВ при длительности импульсов 4 мкс и частоте повторения 0,25 кГц. Средняя плотность тока электронов при облучении составляла $j_e \leq 1$ мкА/см². Облучение проводилось в диапазоне флюенсов $\Phi = 10^{15} - 10^{16}$ см⁻². Анализ температурных зависимостей коэффициента Холла и проводимости, а также зависимостей коэффициента Холла от индукции магнитного поля (В) для эпитаксиальных пленок р- и n- типа проводимости КРТ показал, что разброс значений коэффициента Холла образцов КРТ до и после облучения лежит в интервале ошибки измерения. Следовательно, облучение эпитаксиальных пленок и объемного материала КРТ в диапазоне исследуемых потоков высокоэнергетических электронов не приводит к образованию высоких концентраций электрически активных дефектов или к перестройке исходных дефектов.

Облучение ГЭС КРТ МЛЭ гамма-квантами проводилось на стандартной установке: энергия гамма-квантов Co^{60} $E \sim 1,25$ МэВ, $\Phi = 10^5 - 10^7$ Р. Необходимо отметить, что при используемых в работе дозах облучения γ -квантами нет заметных изменений электрофизических и фотоэлектрических параметров эпитаксиальных пленок КРТ. Подобные результаты получались ранее и для объемного материала КРТ. Так, для кристаллов КРТ n-типа проводимости отсутствовали изменения электрофизических параметров после облучения дозами до $1 \cdot 10^9$ Р. Аналогичным образом ведут себя кристаллы р-типа проводимости с высокой исходной концентрацией дырок свыше $2 \cdot 10^{16}$ см⁻³, для которых также не были зарегистрированы изменения концентрации носителей заряда для тех же доз облучения.

Таким образом, показана высокая радиационная стойкость (отсутствие заметных изменений в значениях электрофизических и фотоэлектрических параметров) эпитаксиальных пленок КРТ, выращенных методом МЛЭ к облучению высокоэнергетическими электронами (1-2 МэВ) при дозах облучения до 10^{16} см⁻² и при воздействии гамма-квантами Co^{60} ($E \sim 1,25$ МэВ, $\Phi = 10^5 - 10^7$ Р). Полученные предварительные результаты позволяют говорить о высоком качестве исследуемых эпитаксиальных пленок КРТ, выращенных методом МЛЭ.

Б40. Выращивание кристаллов полупроводниковых сплавов во вращающемся магнитном поле

А.С.Сенченков¹, А.С.Томсон², В.В.Крапухин³

¹*КБОМ, Москва, Россия*

²*ГНЦ ГУП «НПО «ОРИОН», Москва, Россия*

³*ОАО «Московский завод «Сапфир», Москва, Россия*

Однородность состава - одна из наиболее важных характеристик полупроводниковых кристаллов сложного состава. Для практического применения кристаллов твердых растворов теллуридов кадмия и ртути (КРТ) это требование становится особенно жестким. Однако, кристаллы КРТ, которые выращивают различными методами, основанными на вертикальном методе Бриджмена, имеют, как правило, существенную неоднородность состава. Для устранения этого недостатка был использован метод перемещающегося нагревателя (ТНМ) с наложением вращающегося магнитного поля (ВМП) в процессе кристаллизации.

Вращающееся магнитное поле - эффективный инструмент для управления массопереносом при относительно высокой температуре, которые характерны для выращивания кристаллов КРТ методом ТНМ. Оно обеспечивает хорошо воспроизводимые осесимметричные условия роста. Адекватный выбор величины магнитной индукции позволяет получать требуемую форму фронта кристаллизации и выращивать кристаллы большого диаметра с высокой радиальной однородностью кристаллического состава, соответствующей требованиям промышленного применения.

Для оценки влияния ВМП выполнено математическое моделирование процесса роста. Используя соответствующую математическую модель, было выполнено параметрическое изучение влияния различных факторов на кристаллический процесс роста. Сравнение теоретических и экспериментальных данных показывает, что имеется хорошее соответствие основных вычисленных и измеренных характеристик роста. Вычисления показывают, что при определенной величине магнитной индукции форма фронта кристаллизации становится выпуклой по отношению к поверхности кристалла.

Показано, что применение вращающегося магнитного поля с индукцией 1-2 мТ и частотой 400 Гц позволяет получить практически плоскую форму фронта кристаллизации, что обеспечивает увеличение размеров монокристаллических зерен и снижение кристаллографических дефектов. Вместе с этим, существенно уменьшается радиальная неоднородность состава выращенного кристалла.

Б41. О возможности использования универсального контроллера исполнительных подсистем роботов в технологическом процессе при производстве изделий фотоэлектроники

Михалев А.С., Михалевский М.В.

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Постоянно растущие требования по точности, надежности, массогабаритным показателям, предъявляемые к приводам технологического оборудования, используемого при производстве изделий электронной техники, ведут к широкому использованию микропроцессорного управления и единого информационного обеспечения. В отечественной и мировой практике накоплен значительный опыт в области управления приводами различных типов. Вместе с тем, существующие технические решения ориентированы на специфику конкретных типов двигателей, что не позволяет использовать единые аппаратные средства для управления различными классами электрических машин.

В связи с этим весьма актуальной является задача создания унифицированных аппаратных средств, реализующих управление приводами различных типов с различным

количеством фаз и пар полюсов, что особенно важно в процессе производства новых и модифицированных изделий.

Объектом управления в нашей задаче являются исполнительные подсистемы робототехники, рассмотрение ограничено следующими типами электрических машин: синхронными, коллекторными и бесконтактными двигателями постоянного тока.

Идеология универсального контроллера заключается в том, что аппаратная часть минимальна и реализует лишь те функции, решение которых на программном уровне либо невозможно, либо требует значительной вычислительной мощности. Контроллер состоит из следующих блоков: вычислительного, сопряжения с управляющей ЭВМ, силового коммутатора и датчиков.

При выборе компонентной базы для вычислительного блока мы стремились максимально упростить внедрение контроллера в существующие промышленные роботы, автоматизированные линии и станки с ЧПУ. Поэтому контроллер совместим как с используемым до сих пор ЭВМ типа PDP-11, так и, через блок сопряжения, с управляющей IBM-совместимой ЭВМ. Это позволяет использовать более современную и широко распространенную технику для управления и настройки контроллера на конкретную задачу.

Принцип универсальности контроллера подразумевает некоторую избыточность аппаратной части при работе с электрическими машинами, имеющими меньшее число фаз или пар полюсов, чем максимально возможно. Эта избыточность компенсируется такими преимуществами, как более простое управление исполнительными подсистемами и, следовательно, самим роботом, а также сокращение и унификация аппаратной части управляющей системы.

Преимущества описанного универсального контроллера исполнительных подсистем позволяют широко использовать его при производстве изделий фотоэлектроники.

Б42. О возможностях применения ионных обработок при производстве рпn-фотодиодов на кремнии

Астахов В.П., Болесов И.А., Карпенко Е.Ф., Карпов В.В.,
Лапин П.И., Сорокин К.В., Филиппенко Н.В.

ОАО «Московский завод «Санфир», Москва, Россия

Представляются результаты экспериментов по влиянию имплантационных обработок периферии диффузионных планарных р-n-переходов приборных структур рпn-фотодиодов с охранными кольцами на основе высокоомного ($\rho=5-15$ кОм·см) р-кремния на темновые токи р-n-переходов.

Производились низкодозовое легирование всех участков поверхности р-типа проводимости имплантацией ионов бора и высокодозовая имплантация ионов по периферии р-n-переходов с захватом их планарных границ, а также имплантационное формирование стоп-каналов двух типов:

1 – за пределами охранного кольца;

2 – между границами всех р-n-переходов и за пределами охранного кольца.

Наилучшие и сопоставимые результаты – наименьшие темновые токи – были отмечены при сочетании имплантационного подлегирования поверхности бором и последующей высокодозовой имплантации ионов N_2^+ , а также при формировании стоп-канала второго типа в сочетании с последующим термическим окислением поверхности.

Б43 Исследование влияния обменного взаимодействия на спектральные характеристики чувствительности полупроводниковых фотоприемников

Долганин Ю.Н., Савченко М.А.

ОАО «Московский завод «Сапфир», Москва, Россия

В работе показывается возможность эффективного проявления обменного взаимодействия в макрохарактеристиках полупроводников (п/п). В частности экспериментально показано, что у материалов с сильной связью, то есть с большим суммарным спиновым моментом (свойственным тяжелым атомам), обменное взаимодействие проявляется в виде значимого размытия края поглощения п/п.

Дана квазиклассическая (с использованием модели Гайтлера-Лондона) трактовка обменного взаимодействия, в том числе и при образовании ковалентных связей, а также их насыщении. На примере двухатомной молекулы, показано, что обменное взаимодействие, возникающее вследствие кулоновского взаимодействия частиц в атомах молекулы при антисинхронном вращении валентных электронов, уменьшает энергии их взаимодействия с собственным ядром более чем на 4%. Показано также, что антисинхронность вращения валентных электронов является причиной насыщения ковалентных связей в молекуле. Эффект уменьшения энергии взаимодействия внешних (валентных) электронов с собственным ядром может проявляться, например в изменении длинноволновой границы поглощения собственного полупроводника (но только при полном совпадении направленности импульсов обменного взаимодействия и падающих на фотоприемник фотонов). Рассмотрены некоторые практические способы, позволяющие обеспечить поляризацию импульсов обменного взаимодействия валентных электронов. Показано, что для получения поляризации импульсов обменного взаимодействия нужного направления в фотодиодах необходимо:

- либо поместить *p-n*- переход на границе соответствующей варизонной структуры,
- либо превратить его в гетеропереход,
- либо, наконец, засветить переход сравнительно мощной подсветкой (накачкой) и работать в режиме, близком к режиму холостого хода.

В работе проводились исследования по третьему способу. Для исключения методической погрешности измерения относительной спектральной характеристики чувствительности (ОСХЧ) фотоприемников с нелинейной энергетической характеристикой был разработан равносигнальный метод измерения, обеспечивающий высокую точность и производительность. Испытания проводились на полупроводниковых диодах следующих типов: Si, GaAsP, GaP. Был найден сдвиг длинноволновой границы их ОСХЧ.

Аналогичный эффект наблюдался авторами и в варизонных структурах, т.е. в п/п с внутренним полем.

Б44 Разработка базовой технологии производства фотоприемников на основе германия, легированного ртутью

Астахов В.П., Грибанов А.А., Евстафьева Н.И., Карпов В.В., Козырев М.Е., Кузнецов Н.С., Романов О.Г., Чиванов А.Н.

ОАО «Московский завод «Сапфир», Москва, Россия
ГП ВНИЦ «ГОИ им. С.И.Вавилова», Санкт-Петербург, Россия

Первые полупроводниковые приемники инфракрасного излучения в области 8...14 мкм были примесными. К ним, в частности, относятся приемники на основе германия, легированного ртутью (Ge:Hg). В начале 70-х годов они были вытеснены приемниками с собственной фотопроводимостью, особенно приемниками на основе теллурида кадмия и ртути (КРТ), обладающими более высокими рабочими температурами, большей обнаружительной способностью и имеющими меньшую толщину. Поэтому приемники на основе Ge:Hg к настоящему времени, в основном, вышли из употребления. Однако другие соображения заставили возобновить к ним интерес – это дешевизна приемников на основе

Ge:Hg и возможности современных газовых криогенных машин (ГКМ) охлаждать чувствительный элемент ФПУ до температур 30-50К. Указанные особенности позволяют приемникам на основе Ge:Hg (учитывая почти идеальное совпадение максимума поглощения на длине волны 13,7 мкм с атмосферным окном прозрачности 8...14 мкм) составить конкуренцию приемникам с собственной фотопроводимостью.

В ОАО «МЗ «Сапфир» совместно с ГП ВНЦ «ГОИ им. С.И.Вавилова» разработана базовая технология производства фотоприемников на основе Ge:Hg. В результате выполнения работы получено следующее:

1. Для ИК-фотоприемника с топологией линейки разработана конструкция, способы обработки поверхности и металлизации токовых контактов, обеспечивающие увеличение чувствительности за счет повышения коэффициента поглощения.

2. Разработана конструкция охлаждаемого светофильтра на область 7,9-12,4 мкм (по уровню 0,1), обеспечивающего увеличение удельной обнаружительной способности в максимуме спектральной чувствительности на 30%.

3. Разработана базовая технология производства ФЧЭ с числом площадок 2x32 и 2x48 с размерами площадок 35x35 мкм.

4. Разработаны конструкция и базовые технологические процессы изготовления вакуумных многовыводных криостатов фотоприемников с охлаждаемой апертурной диафрагмой, работающих при температурах 30К.

5. Изготовлены с использованием разработанной базовой технологии образцы фотоприемников ФР 217М и ФР 218М, предназначенных для работы совместно с ГКМ МСМГ-8Б-0,4/30 в модульных тепловизорах класса А1 и А2.

6. Измерены фотоэлектрические параметры изготовленных образцов фотоприемников на установке К54.410 с доработанным для этих целей измерительным трактом.

7. В нормальных условиях удельная обнаружительная способность в максимуме спектральной чувствительности $\lambda_{\text{макс}}=11\pm 1$ мкм составила более $8 \cdot 10^{10}$ смГц^{1/2}Вт⁻¹ при вольтовой чувствительности более $4 \cdot 10^7$ В/Вт и апертурном угле (2β) 25°. По стойкости к воздействию внешних факторов фотоприемники соответствуют группам 5В (2x32) и 6В (2x48) по ГОСТ 20.39.404. Минимальная наработка – 10000 ч, минимальный срок сохраняемости – 15,5 лет.

Б45. Фотолюминесцентные композиционные материалы на основе полимер-полупроводник

Рамазанов М.А., Тагиев О.Б., Исмайылов А.А.

Институт физики НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан

В последнее время сильно возрос интерес к неоднородным системам, каковыми в частности являются композиционные материалы, наполненные фоточувствительными наполнителями. Эти материалы воплощают в себе положительные свойства отдельных компонентов композиции и могут обладать высокими фотоэлектрическими свойствами в сочетании с хорошими физико-механическими характеристиками.

В данной работе исследованы спектры фотолюминесценции полимерных композиций на основе термопластичных полярных полимеров поливинилиденфторида (ПВДФ) и неполярного полимера полиэтилена высокой плотности (ПЭВП) и полупроводникового наполнителя (CaGa₂S₄:Eu) в интервале длин волн $\lambda=350\div 700$ нм.

Исследованы спектры фотолюминесценции композиций ПВДФ + CaGa₂S₄:Eu и ПЭВП + CaGa₂S₄:Eu, полученных при различных объёмных содержаниях компонентов. Показано, что с увеличением объёмного содержания полупроводникового наполнителя

спектры фотолюминесценции в области длин волн $\lambda=360\div 490$ нм, интенсивность и полуширина люминесценции для композиции ПВДФ + $\text{CaGa}_2\text{S}_4:\text{Eu}$ больше по сравнению с композициями ПЭВП+ $\text{CaGa}_2\text{S}_4:\text{Eu}$. С увеличением концентрации наполнителя ($\text{CaGa}_2\text{S}_4:\text{Eu}$) для композиции ПВДФ+ $\text{CaGa}_2\text{S}_4:\text{Eu}$ в интервале длин волн $\lambda=520\div 590$ нм появляются новые максимумы. С увеличением объёмного содержания наполнителя амплитуда этих максимумов увеличивается.

В работе также показано, что предварительная электротермополяризация (ЭТП) сильно влияет на спектры фотолюминесценции, т.е. максимум излучения сдвигается в область длинных волн, а интенсивность фотолюминесценции растёт в области длин волн $\lambda=520\div 590$ нм.

Из вышеуказанных экспериментальных данных следует, что спектры фотолюминесценции сильно зависят от объёмного содержания наполнителя, полярности полимера и от условий электротермополяризация (ЭТП). Наблюдаемые изменения спектров для композиции в зависимости от объёмного содержания, электротермополяризация (ЭТП) и полярности полимера, по-видимому, связаны с энергией активации, процессом совмещения полимера с наполнителем, изменением надмолекулярной структуры полимеров, степенью взаимодействия полимера с наполнителем и возбуждением в кристалле $\text{CaGa}_2\text{S}_4:\text{Eu}$ новых дополнительных люминесцентных центров.

Б46. Сенсбилизация ИК фоточувствительности в слоистых кристаллах типа соединений селенида индия электрическим полем

Абдинов А.Ш., Бабаева Р.Ф.*, Рагимова Н.А., Рзаев Р.М.*, Эйвазова Г.Х.

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

**Азербайджанский государственный экономический университет, Баку, Азербайджан*

Ранние исследования показывают, что слоистые кристаллы селенида индия (InSe) являются высокочувствительными фотопроводниками в широком диапазоне температуры и длины волны света ($0,35\leq\lambda\leq 1,25$ мкм).

В представленной работе нами исследованы возможности расширения спектрального диапазона (сенсбилизация) ИК фоточувствительности этих кристаллов в сторону более длинных волн.

Установлено, что в высокоомных образцах InSe с хорошо инжектирующими контактами в суперлинейной области ВАХ (где имеет место заметная инжекция) при относительно низких температурах ($T\leq 150\text{K}$) появляется значительная фоточувствительность и в примесной области (вплоть до 3,50 мкм с максимумом при $\lambda=2,64$ мкм) - происходит сенсбилизация ИК фоточувствительности изучаемых монокристаллов InSe электрическим полем.

Изучены зависимости этого явления от величины приложенного к образцу внешнего электрического напряжения, используемых контактных материалов, температуры, длины волны и интенсивности примесного света.

Показано, что сенсбилизация ИК фоточувствительности монокристаллов InSe электрическим полем и специфические особенности этого явления обусловлены наличием уровней прилипания различного типа и крупномасштабных пространственных неоднородностей. Оценены значения основных параметров уровней прилипания, а также неоднородностей.

Б47. Материал на основе PbTe для p-ветвей термоэлектрических охладителей

Агаев З.Ф., Аллахвердиев Э.А., Муртузов Г.М., Абдинов Д.Ш.

Институт фотоэлектроники НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан

Приведены результаты исследования коэффициентов термоэдс (α), электропроводности (σ) и теплопроводности (χ) PbTe в интервале температур 80÷300К.

Исходными компонентами для приготовления образцов служили свинец марки С-0000 и зонночищенный теллур. Сплавы стехиометрического состава синтезировались в вакуумированных до $\sim 10^{-2}$ Па кварцевых ампулах при 1300К в течение 6 часов, с применением вибрационного перемешивания. Для устранения испарения летучих компонентов гомогенизирующий отжиг образцов проводили в среде спектрально чистого аргона при температуре 800К в течение 5 суток.

Установлено, что в неотожженном образце PbTe с уменьшением температуры происходит смена типа проводимости с электронного на дырочный при низких температурах. После отжига у этого образца наблюдается n-тип проводимости во всей области исследованных температур. Отжиг приводит к некоторому росту χ и уменьшению σ , не меняя при этом ход температурной зависимости.

Вычислена термоэлектрическая добротность (Z) в этих образцах. Установлено, что в случае неотожженного образца PbTe p- типа проводимости величина Z при 80К составляет $\sim 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$, что позволяет использовать его в качестве эффективного материала для р-ветви многокаскадных низкотемпературных термоэлектрических охладителей.

Б48. Влияние ионизирующих излучений на фотоэлектрические свойства твердых растворов $\text{GaS}_x\text{Se}_{1-x}$

Аскеров К.А., Исмаилов Ф.И.

Институт фотоэлектроники НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан

Исследовалось влияние ионизирующих излучений различного вида на фотоэлектрические свойства твердых растворов $\text{GaS}_x\text{Se}_{1-x}$ ($0 \leq x \leq 0,25$).

Исследуемые образцы $\text{GaS}_x\text{Se}_{1-x}$ получены методом медленного охлаждения для значений $x=0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2$ и $0,25$.

Полученные составы твердых растворов подвергались воздействию гамма-квантов и электронного облучения с различной энергией.

На основе указанных составов твердых растворов изготовлены фотоприемники, которых оказались фоточувствительными на область спектра 0,45÷0,65 мкм. Проводимые предварительные исследование влияния ионизирующих излучений различного вида на фоторезисторы из твердых растворов $\text{GaS}_x\text{Se}_{1-x}$ ($0 \leq x \leq 0,25$) показали, что указанные виды фоторезисторов являются чувствительными к ионизирующим излучениям. С целью создания приемников для регистрации мощности ионизирующего излучения проводились исследование влияние различного вида ионизирующего излучения на свойства твердых растворов $\text{GaS}_x\text{Se}_{1-x}$.

Установлено, что изменение физических свойств исследуемых образцов в результате воздействия ионизирующего излучения является обратимым процессом, связанным, в основном, с эффектами ионизации и эффектами на поверхности.

Показано, что эти материалы могут быть использованы в качестве чувствительного элемента для изготовления датчиков ионизирующего излучения.

Б49. Влияния проникающих излучений на спектральные характеристики монокристаллов селенида индия, легированных серебром и германием

Аскеров К.А., Абасова А.З., Исаев Ф.К

Институт фотоэлектроники НАН Азербайджана Баку, Азербайджан

В настоящей статье были изучены спектральная и интегральная фоточувствительности до и после воздействия на монокристаллы селенида индия, легированные серебром и германием, гамма-квантов в интервале доз 10^4 - 10^8 Р и импульсных нейтронов флюенсом 10^{12} - 10^{14} см⁻².

Облучение гамма-квантами InSe:Ag дозой до 10^5 Р не приводит к заметным изменениям фоточувствительности собственного поглощения, а чувствительность в коротковолновой области заметно уменьшается. Дальнейшее увеличение дозы гамма-квантов до 10^8 Р изменяет фоточувствительность всего лишь на 15-20%. Физический механизм наблюдаемых изменений, вызванных воздействием ионизирующих излучений, при этом по всей вероятности обусловлен возникновением нестабильных радиационных дефектов, скопившихся в межслойном промежутке кристалла, устраняемых вследствие последующего отжига или выдержки после облучения.

Б50. Анализ и выбор оптимального метода определения концентрации межзельного кислорода из спектров пропускания применительно к задаче измерения пространственных распределений кислорода в кремнии

Винецкий Ю.Р., Титов А.Г., Фаицкий В.И., Хакушев П.Е.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

В настоящее время общепринятым способом определения концентрации N_0 межзельного кислорода в кремнии, ответственного за появление дефектов в самых различных полупроводниковых приборах, является измерение спектров пропускания кремния в ИК диапазоне (8-11 мкм). При этом значение N_0 экстрагируется из экспериментальных данных по стандартизованным алгоритмам, использующим квазинепрерывную последовательность спектральных отсчетов. Стандарт США (ASTM F951-96) устанавливает измерение N_0 в отдельных областях диаметром 7 мм. Однако для оптимизации технологических процессов в условиях прогрессирующего снижения размера базового элемента необходимо измерять N_0 с гораздо более высоким пространственным разрешением по площади образца (до 30-50 мкм).

Для использования в разрабатываемом нами методе детального пространственного картирования распределений кислорода в кремниевых пластинах стандартные алгоритмы, предполагающие наличие квазинепрерывного ряда отсчетов в относительно широкой (~3 мкм) спектральной области, непригодны, так как приводят к нереалистичным длительностям измерительной процедуры. Для выбора альтернативного, более экономичного метода экстракции N_0 из спектральных данных, нами проведено сравнение нескольких предложенных алгоритмов, использующих ограниченное число спектральных отсчетов. В качестве исходных данных для вычислений использовались: а) группа экспериментальных спектров пропускания с шагом 0,05 мкм, полученных на пластинах кремния с разнообразными толщинами (0,4-2 мм) и с различными N_0 , и литературные данные; б) модельные данные, представляющие собой стандартные спектры пропускания, искаженные статистически моделируемой помехой. Определенные различными методами значения N_0 сравнивались между собой.

Результаты показывают, что при оптимизации соответствующих параметров предлагаемых алгоритмов последние не уступают по достоверности стандартной процедуре, используя при этом не более трех спектральных отсчетов.

Б51. Осаждение углеродных пленок из плазмы дугового разряда

без катодного пятна

Гасанов И.С., Гурбанов И.И.

Институт фотоэлектроники НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан

Получение алмазоподобных покрытий различными методами и комплексное исследование их физических свойств определяется возможностью применения искусственного алмаза. В микроэлектронике данный материал используется в качестве диэлектрических, просветляющих, фотоэмиссионных, защитных и других пленок.

Среди многочисленных PVD способов получения алмазоподобных пленок наиболее высокая скорость осаждения и высокое содержание SP^3 связей достигается в вакуумной дуге с катодным пятном. Из-за эрозии графита в пятне мелкодисперсные частицы рассеиваются в разрядной камере и попадают на осаждаемые пленки. Подобные включения существенно ухудшают функциональные свойства пленок. Плазмооптические фильтры различной конструкции позволяют разделить ионную и мелкодисперсную фазы плазменного потока и получить пленки с параметрами, близкими к параметрам объемного алмаза. Однако данная методика источника с вакуумной дугой и плазмодом является громоздкой и сравнительно дорогой.

Содержание микрочастиц в плазме разряда можно ограничить, например, контролируемым локальным нагревом катода. Если не допускать перегрева катода в точке испарения графита, то при умеренной скорости испарения атомов вылет микрочастиц будет маловероятен.

В настоящей работе предлагается разрядная система с электронно-лучевым подогревом графитового катода на базе вакуумной установки ВУ-1. Активация плазмы возможна как в разряде на постоянном токе, так и в ВЧ-разряде. Предусматривается контроль температуры подложек и их предварительная ионная очистка. Для облегчения поджига разряда в камеру напускается балластный газ – аргон высокой чистоты. При определенных режимах горения разряда подачу газа можно прекратить полностью. Из-за высокой вкладываемой в катод мощности требуется интенсивное водяное охлаждение медного катододержателя.

Контроль качества получаемых пленок включает рентгено-структурный анализ, растровую электронную микроскопию, анализ электронограмм, регистрацию спектров пропускания и поглощения, измерение толщины и микротвердости покрытий.

Задачей исследований является определение режимов разряда без заметной генерации микрочастиц и достигаемой при этом скорости роста углеродных пленок.

Б52. Механизм образования источника диффузии ртути в $p\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ при ионно-лучевом травлении

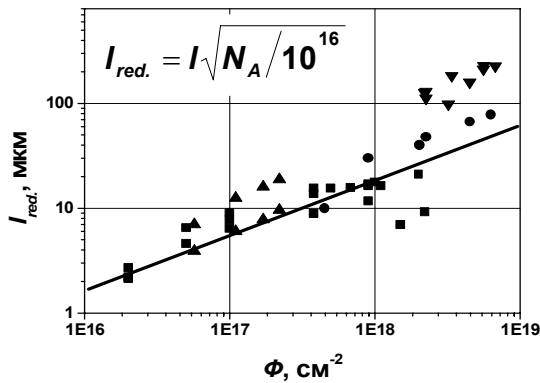
Богобоящий В.В.¹, Ижнин И.И.²

¹ *Кременчугский государственный политехнический университет, Кременчук, Украина*

² *Львовский НИИ материалов НПП "Карат", Львов, Украина*

Конверсия типа проводимости в $p\text{-HgCdTe}$ при ионно-лучевом травлении (ИЛТ) достаточно хорошо экспериментально исследована и используется для создания фотодиодов. По общему мнению, она связана с диффузией междуузельной Hg и аннигиляцией исходных вакансий в вакансионно-легированном материале или образованием донорных комплексов в примесно-легированном $p\text{-HgCdTe}$. Однако механизм, обеспечивающий наблюдаемые гигантские скорости конверсии, до конца не выяснен. Целью работы было количественное моделирование процесса ускорения диффузии ртути при ИЛТ и сравнение результата с известными экспериментальными данными.

Механизм образования источника Hg с высокой концентрацией, обеспечивающей ускоренную диффузию Hg при ИЛТ, был предложен в [1]; там же было получено выражение для глубины конверсии в зависимости от параметров материала и режимов ИЛТ. Здесь для количественной оценки концентрации избыточной ртути в источнике и определения граничного условия в уравнениях диффузионной кинетики проведено моделирование релаксации дефектов в подрешетке Hg, образовавшихся в области теплового клина



вследствие удара иона, с учетом двукратно заряженных междоузельных атомов ($Hg_I^{\bullet\bullet}$) и вакансий (V_{Hg}'') ртути, а также нейтральных бивакансий ртути. Показано, что релаксация дефектов длится $\sim 10^{-9}$ с, так что они не успевают прийти в равновесие за время остывания теплового клина ($\sim 10^{-12}$ с). Поэтому здесь $\sim 10^{-9}$ с сохраняется значительный избыток подвижных атомов $Hg_I^{\bullet\bullet}$, часть из которых за это время успевает проникнуть в глубь кристалла. Там они аннигилируют с вакансиями Hg или же образуют

донорные комплексы с примесными акцепторами, вызывая конверсию типа проводимости. В самом дефектном слое после релаксации преобладают неравновесные бивакансии, а количество V_{Hg}'' на два порядка меньше, поскольку они, будучи заряженными отрицательно, взаимодействуют с $Hg_I^{\bullet\bullet}$ гораздо сильнее, чем бивакансии.

Проведенный на основании полученного выражения для концентрации $Hg_I^{\bullet\bullet}$ в источнике и концентрации избыточного теллура в дефектном слое расчет зависимости глубины конверсии типа проводимости в вакансионно-легированном p-HgCdTe ($x=0,2$) от флюенса ионов аргона (сплошная линия) достаточно хорошо согласуется с известными экспериментальными данными, приведенными в литературе (точки).

1. Богобоящий В.В., Ижнин И.И. Механизм конверсии типа проводимости при бомбардировке кристаллов p-Hg_{1-x}Cd_xTe ионами малых энергий // Известия ВУЗов, сер. Физика.– 2000.– Т.43, №8.– С.16-25.

Б53. Индуцированный удаленной плазмой газофазный процесс синтеза пленок из новых летучих кремнийорганических соединений

Смирнова Т.П., Бадалян А.М., Яковкина Л.В., Борисов В.О.

Институт неорганической химии Сибирского отделения РАН, Новосибирск, Россия

Разработан низкотемпературный плазмохимический процесс синтеза тонких диэлектрических слоев из новых летучих кремнийорганических соединений. Схема с применением удаленной плазмы ВЧ-разряда в газовом потоке обеспечивала "мягкую" активацию молекул исходного вещества с сохранением их неорганических фрагментов структуры, необходимых для формирования структуры пленок.

В докладе рассмотрен пример получения слоев карбонитрида кремния из силильных производных несимметричного диметилгидразина. Эти новые вещества являются

молекулярными предшественниками карбонитрида кремния, то есть содержат в своей молекуле все необходимые связи: Si-N, Si-C и C-N.

Широкий интерес современных исследователей к карбонитриду кремния не случаен из-за уникальных свойств этого материала, сочетающих свойства хорошо известных бинарных соединений Si_3N_4 , SiC, а также Si_3N_4 и нитрида углерода (C_3N_4). Обладая высокими влагостойкостью, термической стабильностью, химической инертностью, микротвердостью и хорошими изолирующими свойствами, этот материал перспективен в качестве защитных диэлектрических покрытий, а также может иметь широкое применение в оптоэлектронике.

В данной работе для характеристики полученных пленок использован комплекс современных аппаратных средств и аналитических методов: оптическая и рентген-фотоэлектронная спектроскопия, электронная микроскопия, дифракция синхротронного излучения. Это позволило:

1. Исследовать природу химических связей, образующихся в пленках, в зависимости от условий их получения. Установить, что полученный материал представляет собой соединение, в котором азот образует химические связи с кремнием и углеродом и отсутствуют связи типа Si-C.

2. Определить зависимость фазового состава и структуры пленок от параметров процесса и установить, что в пленках образуются нанокристаллы со структурой, отличающейся от структуры нитрида кремния, карбида кремния и нитрида углерода, а также определить параметры решетки этой новой структуры.

3. Выявить общие закономерности процесса и детали механизма превращения исходных веществ в процессе роста пленок и установить, что скорость роста слоев и структура пленок зависят от состава газовой фазы. Скорость роста ниже в системе с активированным водородом, чем в системе с активированным гелием. Водород способствует удалению CH_3 групп, что приводит к разрыву связей C-N и формированию пленок, в которых основными связями являются Si-C и Si-N.

4. Исследовать оптические свойства пленок и показать, что оптическая ширина запрещенной зоны в зависимости от химического состава пленки изменяется от 2 до 4,7 эВ и уменьшается с увеличением соотношения связей Si-C/Si-N.

Б54. Отработка технологии создания внутреннего геттера для фоточувствительных приборов с зарядовой связью нового поколения

Костюков Е.В., Поспелова М.А., Русак Т.Ф., Трунов С.В.

ГУП НПП «Пульсар», Москва, Россия

АООТ «НИИМЭ и завод Микрон», Зеленоград, Россия

Обычно для уменьшения содержания примесей в активной зоне приборов применяется внешнее или внутреннее геттерирование. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью нового поколения с НАД-фотодиодом содержат очень тонкий P^+ -слой. Наличие столь тонкого слоя исключает применение после его создания высокотемпературных обработок. Поэтому хорошо отработанный процесс диффузионного геттерирования, являющийся заключительной стадией изготовления приборов, должен быть заменен процессом внутреннего геттерирования, который проводится на самой первой стадии изготовления приборов.

Применительно к условиям завода «Микрон» отлажена технология создания внутреннего геттера, представляющая собой обычный цикл высокотемпературных и низкотемпературных отжигов. На поверхности пластины сначала выращивается тонкий окисел для защиты от действия азота при высоких температурах. Толщина окисла не должна превышать 70 Å, поскольку более толстый окисел затрудняет аут-диффузию кислорода, препятствуя созданию свободной зоны.

Для выяснения влияния начальной концентрации межзерельного кислорода в пластинах [Oi] на качество внутреннего геттера наряду с оптическим наблюдением преципитатов и ОДУ на травленых сколах пластин, использовалось измерение падения концентрации межзерельного кислорода $\Delta [Oi]$. Начальная [Oi] для пластин КДБ20, КДБ40 и КЭФ20 с ориентацией (100), на которых проводилась работа, может быть как одинаковой по всей пластине, так и изменяться от $10 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ в центре пластины до $5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ на краях.

Установлено, что с повышением начальной концентрации межзерельного кислорода увеличивается ее убыль в процессе геттерирования. Для пластин с неравномерным распределением [Oi] также неравномерно и $\Delta [Oi]$, по краям оно много меньше, чем в центре. При прочих равных условиях убыль межзерельного кислорода для пластин n-типа больше, чем для пластин p-типа.

Данные по $\Delta [Oi]$ согласуются с проведенными на тех же пластинах наблюдениями преципитатов и ОДУ на травленых сколах пластин.

Б55. Результаты модернизации ночных приборных комплексов

Архутик С.Т., Зайцева Е.И., Козлов К.В.

ОАО «Пеленг», Минск, Беларусь

Модернизация ночных приборных комплексов заключалась в замене электронно-оптических преобразователей (ЭОП) с кислородно-серебряно-цезиевым либо многощелочным фотокатодом, входящих в состав приборов ночного видения (ПНВ), на современные ЭОП «поколения 2+» или «поколения 3» с улучшенным многощелочным либо AsGa фотокатодами, соответственно. Согласование вновь установленного современного ЭОП с окулярной оптикой осуществлялось с помощью оптической оборачивающей системы. В отдельных комплексах осуществлялась замена входного объектива и окулярной оптики ПНВ.

Предлагаемая одновременно с модернизацией ПНВ замена прожекторов инфракрасного (ИК) излучения на лампах накаливания и газоразрядных лампах на унифицированный малогабаритный прожектор (типа ПЛ-1) на основе эффективного полупроводникового лазера, позволяет не только увеличить дальность видимости в активном режиме работы, но и повысить помехоустойчивость и эффективность работы комплекса в целом в условиях эксплуатации. Преимуществом применения прожектора ПЛ-1 является и возможность реализации режима активно-импульсного стробирования.

Прожектор ПЛ-1 представляет собой новое поколение источников ИК-подсветки, основанное на эффективных малогабаритных полупроводниковых лазерах. Он содержит единый блок, функционально объединяющий лазерный излучатель, блок питания и формирующую оптическую систему, а также систему обогрева защитного стекла. Прожектор ПЛ-1 формирует удобное для оператора пятно излучения прямоугольной формы с однородным распределением интенсивности излучения, в то время как лампы прожектора формируют колоколообразное распределение (см. рисунок).

В результате натурных испытаний получены следующие экспериментальные данные:

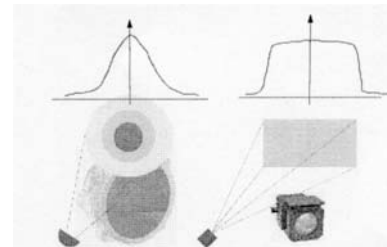
- для ПНВ с ЭОП «поколения 2+», с размером входного зрачка 100 мм и фокусным расстоянием объектива 150 мм: дальность опознавания цели в ночных условиях при

коэффициенте прозрачности атмосферы на 1 км не менее 0,8 и освещенности местности $(3-5) \times 10^3$ лк соответствовал: 1100-1200 м в пассивном режиме и 1200-1300 м в активном режиме с прожектором ПЛ-1.

• для ПНВ с ЭОП «поколения 3» при аналогичных условиях наблюдения дальность опознавания в пассивном в активном режиме режимах составила 1200-1300 м, при этом, что немаловажно, расширяется суточный диапазон работы (до уровня 10 лк) в пассивном режиме.

Однако, по критерию «стоимость-эффективность» проведение модернизации с использованием ЭОП «поколения 3» целесообразно при одновременной оптимизации характеристик входного объектива ПНВ.

Следует также отметить хорошее спектральное согласование лазерного прожектора ПЛ-1 с фотокатодом ЭОП «поколения 2+», в то время как работа с ламповыми прожекторами практически невозможна. В то же время, из-за влияния эффекта обратного рассеяния для работы в активном режиме с ЭОП «поколения 3» должен быть организован режим активно-импульсного стробирования. Кроме увеличения дальности опознавания ориентировочно до 2,5 км, наличие активного режима позволяет повысить помехоустойчивость, а также поисковые возможности комплекса.



Б56. Перспективные высокочувствительные передающие телевизионные приборы ближнего ИК-диапазона

Забелина Л.Г., Петров А.С., Петров И.Н., Степанов Р.М.

ОАО ЦНИИ «Электрон», С.-Петербург, Россия

В докладе рассматриваются тенденции развития высокочувствительных передающих телевизионных приборов ближнего ИК диапазона как в России, так и за рубежом.

Обсуждаются особенности создания приборов с фотокатодами, чувствительными в диапазоне до 1,1 мкм и до 1,6 мкм.

Наряду с традиционными приборами, представляющими собой сочленение через волоконно-оптические пластины ЭОПа и ПЗС-матрицы, рассматриваются особенности приборов с использованием новых фотокатодов и электронно-бомбардируемых ПЗС матриц. Такое конструктивное решение позволит создать приборы для использования в импульсных системах обнаружения с активной лазерной подсветкой.

Разработанные американскими фирмами активные системы позволяют обнаруживать и идентифицировать объекты на расстоянии до 20 км, что в несколько раз превышает дальность обнаружения тепловизионными системами.

Б57. Тепловизор на пировидиконе нового поколения

Падалко Г.А., *Кошавцев Н.Ф., **Бодров В.М.,** Бондаренко А.Г.

ФГУП ПО «АОМЗ», Азов, Россия

**ГУДП СКБ ТНВ ГУП НПО «Орион», Москва, Россия*

***МЭИ, Москва, Россия*

Тепловизоры на пировидиконах находят широкое применение в промышленности для наблюдения за тепловыделяющими объектами, в медицине для диагностики различных заболеваний при использовании принципов динамического тепловидения, контроля состояния высоковольтных установок и линий электропередач и ряда других применений. Широкое использование таких тепловизоров обусловлено простотой конструкции,

относительно низкой стоимостью, наблюдению изображений на классических видеосмотровых устройствах, возможность достаточно простой обработки изображений.

ФГУП ПО «АОМЗ» длительное время серийно выпускали тепловизоры на пировидиконе ЛИ 492 с аналоговой обработкой сигналов, что не позволяет получить высококачественного изображения и высокой чувствительности. Использование возможности цифровой техники, обеспечивающей обработку изображений в реальном масштабе времени, позволило модернизировать тепловизоры. В состав тепловизора введен встроенный процессор реального времени, разработанной на базе программируемых матриц типа FLEX-10K80 фирмы «Altera». Использование 12 разрядного АЦП привело к увеличению отношения сигнал-шум за счет суммирования кадров. Введение алгоритма пространственной фильтрации, эквивалентной контрастированию изображений позволило повысить чувствительность до 0,1К и разрешающую способность тепловизора. Практически полностью устранены «геометрические шумы», связанные с неравномерностью процесса формирования пьедестала.

В тепловизоре введен режим формирования изотери видеоизображение относительно просто переносят в память компьютера для любой обработки. В частности формируется псевдоцветное изображение подвижных объектов, в цифровую память вводится речевой комментарий к видеоизображениям.

В ближайшее время такие тепловизоры будут выпускаться серийно.

Б58. Об ориентировании фотоприемного устройства в измерительно-информационной оптико-электронной системе ночного видения

Горбаченя Н.К., Зотиков А.Ф., Новиченков В.Ю

ОАО «Пеленг», Минск, Беларусь

В работе уделено внимание анализу и обоснованию метрологических и информационных характеристик оптико-электронной системы с учетом специфики обработки видеосигнала: размеры отображаемого и анализируемого участков меньше реальных размеров фоточувствительной площадки фотоприемного устройства.

Основными составными частями оптико-электронной системы являются: оптическая система, фотоприемное устройство, видеопроцессорное устройство с видеомонитором.

Фотоприемное устройство представляет ТВ камеру, сочлененную волоконно-оптической план-шайбой с ЭОП II поколения. Видеопроцессорное устройство создано на базе микропроцессора TMS 320 C80 (Texas Instruments, США).

Рассматриваются начальный и окончательный (калибровочный) методы ориентирования фотоприемного устройства с помощью оптических юстировочных и ТВ средств. Определена взаимосвязь между положением фотоприемного устройства и быстродействием обработки видеосигнала.

Основные алгоритмы реализованы на ассемблере (ADSP и главного процессоров), что позволило достаточно эффективно использовать вычислительные возможности микропроцессора. Это и аппаратная реализация ряда функций обеспечили достаточно высокое быстродействие видеопроцессорного устройства.

Функционально оптико-электронная система обеспечивает применение других фотоприемных устройств.

Б59. Применение дифракционных элементов в оптических системах тепловизионных приборов

Корнейчик В.Л.

ОАО “Пеленг”, Минск, Беларусь

В отличие от традиционных оптических элементов: линз, призм и зеркал, дифракционные оптические элементы (ДОЭ) преобразуют падающее световое излучение, используя механизм дифракции. Это обуславливает их специфические особенности в системах построения изображения. В оптических системах в качестве ДОЭ в основном используют киноформы. Киноформ реализуется в виде кольцевых зон, нанесенных на поверхности подложки. Поверхность подложки, в свою очередь, может быть плоской, сферической или асферической. Перспективность применения ДОЭ в оптических системах тепловизионных приборов обуславливается следующими обстоятельствами. Во-первых, проектирование оптических систем из традиционных оптических элементов ограничено малым набором оптических материалов, их невысоким коэффициентом светопропускания, недостаточной механической и химической устойчивостью, а также высокой стоимостью. Во-вторых, с увеличением длины волны ширина зон и высота профиля киноформа увеличиваются, что приводит к упрощению в технологии изготовления. В области спектра 8-12 мкм имеется возможность изготовления киноформа с непрерывным профилем зоны и обеспечить почти стопроцентную дифракционную эффективность.

Наиболее перспективным является использование киноформ в оптических системах в качестве коррекционных элементов для повышения качества изображения. Наилучшие результаты дает использование киноформа для коррекции аберраций широких пучков и хроматизма. Из-за дифракционного механизма формирования изображения киноформ имеет сильную отрицательную дисперсию. Для области спектра 8-12 мкм число Аббе киноформа составляет 2,5, тогда как для наиболее употребляемых преломляющих материалов в этой области число Аббе находится в пределах от 23 для сульфида цинка до 972 для германия. Это позволяет осуществлять коррекцию осевого хроматизма преломляющих компонентов системы, причем в ахроматизированном дублете киноформ имеет положительную оптическую силу, а преломляющий элемент имеет оптическую силу меньше, чем у всего дублета. Существуют оптические системы, в которых благодаря применению киноформа удается обеспечить высокое качество изображения с использованием только германия. Большую проблему в оптике для тепловизионных систем представляет проблема компенсации температурной расфокусировки. Существуют примеры систем, в которых благодаря использованию киноформа удалось осуществить одновременно и ахроматизацию и пассивную термокомпенсацию оптической системы. Большие перспективы представляют ДОЭ для решения проблем создания многоспектральных систем. Имеются примеры систем, работающих одновременно в различных спектральных диапазонах, например, в диапазонах 3-5 и 8-12 мкм, в которых совместная ахроматизация в двух диапазонах достигается за счет применения ДОЭ. Дополнительные трудности при проектировании многоспектральных систем возникают тогда, когда отдельные спектральные диапазоны значительно отличаются друг от друга, например, диапазон 8-12 мкм и ближний ИК-диапазон 0.7-0.9 мкм. В этом случае наиболее употребительные материалы настолько сильно меняют дисперсию, что для ахроматизированного дублета становится невозможным подобрать пару материалов. Многоспектральная система из ZnSe и ZnS, содержащая киноформ, позволяет работать в диапазоне 8-12 и 0.7-0.9 мкм.

Б60. Переносной комбинированный прибор всепогодного и круглосуточного действия

Волков В.Г., Кошавцев Н.Ф., Лелейкин В.И.

ГУДП СКБ ТНВ ГУП НПО “Орион”, Москва, Россия

Изложены основные принципы разработки комбинированных приборов наблюдения всепогодного и круглосуточного действия на основе объединения отдельных каналов,

построенных на различных физических принципах: активно-импульсного низкоуровневого телевизионного, дневного телевизионного, тепловизионного, радиолокационного каналов. Показаны оптимальные сочетания различных каналов для решения широкого круга задач.

Рассматривается комбинированный активно-импульсный переносной прибор, содержащий тепловизионный канал поиска и обнаружения на базе матричного фотоприёмного устройства. Дальность действия до 3 км, угол поля зрения при работе в активно-импульсном режиме 40'x20', в пассивном режиме 4°x3°, точность измерения дальности ±10 м.

Другой вариант переносного прибора предусматривает комбинацию активно-импульсного и радиолокационного каналов. Последний канал обеспечивает поиск и обнаружение, измерение координат и уточнённое измерение дальности с точностью до ±5 м. Дальность действия прибора 5 км, угол поля зрения в активно-импульсном режиме 30'x15', в пассивном режиме 4x3, угол обзора в радиолокационный канал 6÷8. Этот канал при обнаружении объекта наблюдения выдаёт значение задержки в активно-импульсный канал. Это обеспечивает автоматическое попадание объекта наблюдения непосредственно в пределы строка ещё до перевода активно-импульсного канала в активно-импульсный режим работы. Дана схема, позволяющая автоматически удерживать изображение наблюдаемого объекта в пределах строка в процессе движения объекта по глубине.

Рассматривается прибор, содержащий комбинацию активно-импульсного низкоуровневого и дневного телевизионных каналов, предусматривающий поиск и обнаружение объектов наблюдения по бликам, отражённым от оптических или оптико-электронных средств объектов при подсвете лазерным излучением. Дальность действия 3 км, угол поля зрения при работе в активно-импульсном режиме 40'x20' (опознавание) и 4°x3° (обнаружение по бликам), в пассивном режиме — 4°x3° (ночь), 8°x6° (день). Точность измерения дальности благодаря оптимизированной электронной схеме возрастает до ±2 м.

Б61. Принципиальная возможность формирования изображений с помощью приборов ночного видения на уровне счёта одиночных фотонов

Кощавцев Н.Ф., Федотова С.Ф.

ГУДП СКБ ТНВ ГУП НПО "Орион", Москва, Россия

Для решения некоторых задач необходима аппаратура, формирующая изображение в режиме счёта одиночных фотонов. В частности, при регистрации источников ионизирующих излучений, обнаружении нагретых объектов на «холодном фоне». Такая задача может решаться с помощью приборов ночного видения (ПНВ) на основе современных электронно-оптических преобразователей (ЭОП). Для опознавания объекта наблюдения необходимо на его изображении выделить определённое количество элементов разложения. Поэтому, рассмотрим возможность обнаружения элементов разложения объекта наблюдения с помощью ПНВ. Количество фотоэлектронов с элемента разложения будет определяться следующим соотношением:

$$N_{\text{фэ}} = \frac{\pi L_o O^2}{4} \tau_o \frac{A_s S t}{e}, \text{ где}$$

L_o – яркость объекта наблюдения;

O - относительное отверстие оптической системы ПНВ;

τ_o - коэффициент пропускания оптики;

A_s – элемент разложения;

S - чувствительность фотокатода;

t - время накопления;

e - заряд электрона.

В качестве элемента разложения целесообразно рассматривать величину, определяемую разрешающей способностью ЭОП — N_p .

$$A_3 = \left(\frac{1}{N_p} \right)^2$$

При отсутствии фонового излучения величина сигнала, которая может быть зарегистрирована с элемента разложения, будет определяться яркостью темного фона ЭОП L_T . Уровень шума в виде дисперсии флуктуаций числа шумовых фотоэлектронов будет определяться следующим соотношением:

$$\overline{\Delta N_u^2} = \overline{N_u} \frac{\pi L_\phi \Gamma_3^2 A_3}{\eta} \frac{St}{e}, \text{ где}$$

Γ_3 – электронно-оптическое увеличение;

η – коэффициент преобразования ЭОП.

Для обнаружения элемента разложения необходимо, чтобы число сигнальных фотоэлектронов превосходило число шумовых фотоэлектронов.

$$N_c = k[\overline{\Delta N_u^2}]^{1/2} = k[\overline{N_u}]^{1/2}, \text{ где}$$

k – отношение сигнал-шум.

При $k=1$, где k – контраст объекта, квантовой эффективности фотокатода $\alpha=0,1$, времени накопления $t=1$ сек, чувствительности фотокатода $S=5 \cdot 10^{-4}$ А/лм, темном фоне $L_\phi=1,5 \cdot 10^{-3}$ кд/м², $\Gamma_3=1$ и $\eta=2,5 \cdot 10^4$ количество фотонов, которое может быть зарегистрировано на площадку, равную элементу разложения, составляет $N_{cp} \approx 67$.

Яркость объекта, которая может быть зарегистрирована ПНВ с оптической системой $O=1:1,5$, $\tau_0=0,8$ и ЭОП с многощелочным фотокатодом, составляет

$$o = 1 \cdot 10^{-5} \frac{\text{лм}}{\text{м}^2 \text{ср}}$$

Энергетическая яркость объекта, регистрируемая в диапазоне длин волн $\lambda=0,75-0,85$ мкм при интегральной чувствительности фотокатода $S=4 \cdot 10^{-2}$ А/Вт, будет составлять

$$L_o = 1,25 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{ср}}$$

При красной границе чувствительности $\lambda=0,95$ мкм на неизлучающем («холодном») фоне можно обнаружить объект с $T=215^\circ\text{C}$, при красной границе чувствительности 1,5 мкм — с $T=51^\circ\text{C}$.

Б62. Применение вероятностных методов для оценки структуры оптического изображения (Памяти А.И. Горячева)

Эдельштейн Ю.Г.

ГУДП СКБ ТНВ ГУП НПО «Орион», Москва, Россия

Проблемы оценки структуры оптического изображения (СОИ) сохраняют свою актуальность, о чём свидетельствует недавняя обстоятельная статья А.И. Горячева и некоторые другие работы.

В данном докладе развивается подход, опирающийся на аналогии между основными функциями теории изображения (функцией рассеяния линии - ФРЛ, пограничной кривой - ПК, частотно-контрастная характеристикой - ЧКХ) и теории вероятностей (плотностью и функцией распределения, а также характеристической функцией).

Показана возможность применения метода моментов, принятого в ТВ, для описания СОИ. Нулевой момент нормированной ФРЛ даёт эффективную ширину функции рассеяния, обратная ему величина, представляющая собой максимальное значение (амплитуду) ФРЛ, равна нулевому моменту ЧКХ.

Важной характеристикой рассеяния является дисперсия (квадрат среднего квадратического отклонения), представляющая собой. Второй момент ФРЛ по четвёртому моменту в ТВ определяется коэффициент эксцесса, характеризующий степень островершинности кривой распределения или; применительно к СОИ, форму ФРЛ (протяженность “хвостов” и наличие пьедестала) и ЧКХ.

Существование нечётных моментов указывает на асимметричность ФРЛ и возможность фазовых искажений, что свойственно радиотехническим звеньям ОЭС.

Показано, что только нормальная ФРЛ (гауссоида) может быть определена одним числом - предельной разрешающей способностью (ПРС). В общем случае для описания структуры СОИ необходимы четыре независимых критерия: амплитуда, дисперсия (СКО) и характеристики формы – эксцесс и коэффициент асимметрии. Применительно к конкретной задаче может быть достаточно двух или даже одного критерия, например, качество оптики оценивается по амплитуде ФРЛ (числа Штреля или Саянаги), концентрация энергии в ФРЛ характеризуется СКО. Лучшему качеству изображения в целом при равной дисперсии соответствует, по-видимому, нулевые значения эксцесса и коэффициента асимметрии, что характерно для нормальной ФРЛ. В то же время обращается внимание на ограничения применения метода моментов, связанные с тем, что некоторые ФРЛ имеют очень большую или бесконечную дисперсию.

Излагается методика вычисления моментов ФРЛ, используя экспериментальные кривые ЧКХ, и приводятся результаты сравнительного анализа реальных изображений с помощью различных способов оценки СОИ, свидетельствующие об эффективности применения метода моментов.

Б63. К вопросу о структуре изображения опико-электронных систем

Бегучев В.П., Кошавцев Н.Ф., Эдельштейн Ю.Г.

ГУДП СКБ ТНВ ГУП НПО “Орион”, Москва, Россия

Рассматриваются функции, характеризующие изображение в наблюдательных опико-электронных системах (ОЭС), в частности тепловизорах (ТпВ): функция рассеяния линии (ФРЛ), оптическая передаточная функция (ОПФ) и её модуль - частотно-контрастная характеристика (ЧКХ).

Принято считать (для ТпВ это даже закреплено в нормативной документации), что ФРЛ многозвенных ОЭС, в силу центральной предельной теоремы (ц.п.т.) теории вероятностей, представляет собой кривую нормального распределения (гауссоиду). Показано, что такое представление является недостаточно обоснованным, поскольку ФРЛ звеньев, составляющих ОЭС, не отвечают условиям применения ц.п.т. (существование и соизмеримость дисперсий частных ФРЛ, а также стремление к гауссоиде произведения их ЧКХ). Прежде всего, обращается внимание на то, что теоретически не имеют дисперсии известные оптические дифракционные ФРЛ, при этом их ЧКХ имеют островершинную форму. Анализ реальных ЧКХ компонентов ОЭС указывает на то, что они имеют примерно такую же форму из-за наличия в их составе кроме структурной, ещё и низкочастотной моды, обусловленной неизбежным рассеянием квантов (фотонов или фотоэлектронов) в оптике, фоточувствительных слоях и на др. элементах конструкции.

Показано, что результирующая ЧКХ ОЭС, представляющая собой произведение ЧКХ оптических звеньев, становится ещё более островершинной и отнюдь не соответствует классической гауссовой форме, как обычно считается в литературе. Мода светорассеяния стремится к дельта-функции, а структурная мода ЧКХ стремится к “опущенной” гауссоиде,

при этом ФРЛ можно аппроксимировать т.н. приподнятой гауссоидой. Особенности такого рода ФРЛ является то, что присутствие в спектре низкочастотной моды, практически не отражаясь на разрешающей способности, ухудшает качество изображения, поскольку влечёт за собой размытие ПК, уменьшение контраста и резкости крупных деталей. Кроме того, электрические звенья ОЭС с конечной постоянной времени вызывают асимметрию ФРЛ и фазочастотные искажения её структуры, влияющие на восприятие изображения в целом.

Для иллюстрации приводятся примеры структурообразующих функций

Обращается внимание на то, что метод определения ЧКХ ТпВ, изложенный в действующем ОСТВЗ 5224-82 и заключающийся в весьма приближенном измерении ФРЛ, нормировании её и последующем определении параметра рассеяния гауссоиды, не позволяет выявить дефекты оптической системы аппаратуры и не касается фазовых искажений. Для оценки реального качества структуры оптического изображения ОЭС необходимо иметь информацию о передаче контраста на пространственных частотах вблизи нуля и об асимметрии ФРЛ.

Б64. Новая оптика для низкоуровневых телевизионных систем и приборов ночного видения

Бабинцев В.Ф., Кошавцев Н.Ф., Кускова М.В., Леонова Г.А.

ГУДП СКБ ТНВ ГУП НПО "Орион", Москва, Россия

Развитие приборов ночного видения и низкоуровневых телевизионных систем во многом зависит от совершенствования оптических систем, используемых в этих приборах. Последнее предполагает разработку новых систем, предназначенных для использования в условиях, ранее не предполагавшихся. В частности, в связи с повышением разрешающей способности ЭОП до 70 штр/мм. Основное условие разработки – это максимально возможное повышение их оптических характеристик без существенного усложнения конструкции и увеличения габаритов.

Учитывая эти требования, были разработаны оригинальные объективы со следующими оптическими характеристиками:

1. Фокусное расстояние	10 мм
Относительное отверстие	1:1,5
Угол поля зрения	80°
Область ахроматизации	0,6–0,9 мкм

Объектив имеет 8 линз, что для широкоугольного объектива сравнительно немного, если учесть, что ФПМ для 30 штрихов составляет 0,7 для оси и не падает на краю поля зрения ниже 0,20.

2. Фокусное расстояние	20 мм
Относительное отверстие	1:1,1
Угол поля зрения	42°
Область ахроматизации	0,5–0,95 мкм

Объектив имеет 7 линз и для 30 штрихов имеет ФПМ на оси 0,8 и по полю 0,5 как для меридиональных, так и для сагиттальных пучков, что выгодно отличает его от известных объективов, например от «Цефея».

3. Фокусное расстояние	30 мм
Относительное отверстие	1:1,25
Угол поля зрения	23,5°
Область ахроматизации	0,31–0,36 мкм

Объектив содержит 8 линз и при таком большом относительном отверстии (1:1,25) имеет высокую разрешающую способность, а именно ФПМ = 0,7 для 20 штр, причём,

следует иметь в виду, что для УФ области спектра весьма ограничен выбор материалов, прозрачных в ней.

4. Объектив «Гидробизар-2».

Фокусное расстояние	25 мм
Относительное отверстие	1:1,3
Линейное поле зрения	18 мм
Область ахроматизации	0,48–0,6 мкм

Как следует из названия, объектив предназначен для использования под водой. Содержит 7 линз, большую светосилу и высокое качество оптического изображения (ФПМ=0,84 для 25 штр/мм на оси и 0,6 вне оси).

Б65. Системы вождения автотранспортных средств

Кошавцев Н.Ф., Добровольский Ю.А., Федотова С.Ф., Шустов Н.М.

ГУДП СКБ ТНВ ГУП НПО "Орион", Москва, Россия

В условиях низкой прозрачности атмосферы и, особенно при наличии плотной дымки, осадков, засветок от световых фар встречного транспорта в ночное время крайне затруднено надёжное и безопасное вождение транспортных средств. В этих условиях целесообразно обеспечивать вождение по приборам, аналогичным используемым для вождения объектов бронетанковой и военно-автомобильной техники.

Наиболее простым и удобным средством вождения транспортных средств являются очки ночного видения со сформированной чувствительностью в ближней ИК области спектра (0,8÷0,9 мкм). В ночное время очки обеспечивают видимость в пределах широкого поля зрения 40÷60°, не ограничивая видимость по ходу транспортного средства и оставляя водителю возможность наблюдения по всем направлениям. Видимость приборной доски обычно обеспечивается из-под очков. При недостаточной видимости в тёмное время суток может использоваться система ИК подсветки полотна дороги, менее опасная, чем подсветка в видимой области спектра. В видимой области спектра свет, отражающийся от частиц, взвешенных в атмосфере, практически исключает видимость полотна дороги и впереди идущих транспортных средств.

Недостатком очков ночного видения классического исполнения является их низкая помехозащищённость. Решение проблемы помехозащищённости обеспечивается введением комбинированного источника питания, который автоматически переводит питание ЭОПа в режим импульсного питания с частотой следования импульсов, зависящей от интенсивности световой помехи. Проведённые исследования показали, что помехозащищённость такой системы обеспечивает исключение помех даже при использовании мощных встречных фар.

Основным недостатком использования очков ночного видения является невысокая дальность опознавания различных препятствий, что обусловлено необходимостью иметь увеличение 1 крат.

Вторым недостатком очков ночного видения является их работа в коротковолновой области спектра, в которой крайне низки контрасты объектов наблюдения и очень резкая зависимость их видимости от состояния атмосферы.

Третье - очки ночного видения должны крепиться на голове водителя, что не всех удовлетворяет.

Более полное решение первых двух вопросов возможно при построении тепловизионной системы вождения, которая требует размещения тепловизора вне обитаемого отделения транспортного средства и жёстко привязывается к корпусу транспортного средства. Информация с тепловизора может отображаться с помощью наилёгкой системы отображения информации, размещаемой на голове водителя, или с помощью проекционной системы проектироваться на лобовое стекло. Решение всех этих

вопросов существенно затрагивает компоновку транспортного средства в части размещения тепловизора вне обитаемого отделения и размещения проекционной системы внутри обитаемого отделения.

С помощью тепловизора можно обеспечить большие дальности видения до 1000 м, но при этом крайне сложно обеспечить видимость близкорасположенных объектов и, в частности, препятствий. Кроме того, высококачественные тепловизоры стоят очень дорого, практически достигая стоимости высококачественного автомобиля.

Более перспективным следует считать создание комбинированного средства вождения – высококачественные очки ночного видения и тепловизионный прибор с введением информации в очки. При этом ближние объекты наблюдения, препятствия будут рассматриваться в очки с комбинированным источником питания, а видимость на больших расстояниях будет обеспечиваться тепловизионным прибором с относительно узким полем зрения ($15\div 20^\circ$). Совмещение полей зрения должно определяться конкретной реализацией системы вождения для конкретных транспортных средств.

Для упрощённых систем вождения тепловизор может быть заменён на низкоуровневую телевизионную систему с активно-импульсной подсветкой, которая обеспечит видимость на больших расстояниях [1].

Низкоуровневая телевизионная система в отличие от тепловизора может размещаться внутри обитаемого отделения. Вопросы совмещения изображения от ближнего и дальнего фона рассматриваются конкретно в каждом случае.

ГУДП СКБ техники ночного видения разработало ряд специализированных приборов механика-водителя и специализированных очков ночного видения для вождения объектов бронетанковой техники и различных колёсных машин.

Литература:

A21 «Оптико-электронные приборы для вождения транспортных средств».

Журавлёв П.В., Кербс В.Ф. и др. XVI Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения. 25–27 мая 2000 г., Москва. Тезисы докладов.

Б66. Помехоустойчивость приборов ночного видения при воздействии внеполевого импульсного некогерентного оптического излучения

Архипов В.П., Камруков А.С., Козлов Н.П., ¹Кощавцев Н.Ф., ¹Кривошапкин И.Б.,
Росляков И.А., Степанов Ю.А., Трофимов А.В., Хаджиева Я.Я.

НИИ энергетического машиностроения МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
¹ГУДП СКБ ТНВ ГУП НПО “Орион”, Москва, Россия

Принятая методика испытаний приборов ночного видения (ПНВ) на помехоустойчивость при воздействии импульсных световых помех предусматривает определение возможности наблюдения выбранной цели при попадании в поле зрения ПНВ источника импульсной световой помехи. Числовым критерием помехоустойчивости является среднее время потери видимости цели.

В настоящем сообщении рассматривается более общая задача исследования помехоустойчивости ПНВ в условиях воздействия мощной импульсной одиночной и повторяющейся световой помехи широкого спектрального диапазона от источника, находящегося вне поля зрения ПНВ. Источниками такой помехи могут быть прожекторные системы с импульсными газоразрядными лампами, а также специальные боеприпасы оптического действия [1]. Отличительными особенностями таких источников являются широкий спектр излучения и высокие значения энергетических уровней облучения, что обусловлено высокой яркостной температурой излучающей плазмы (8000...40000К), а также высокая крутизна фронта нарастания импульса излучения (0,1...10 мкс), полностью или

частично исключая работоспособность штатной системы автоматической регулировки яркости.

Физический механизм воздействия излучения источника, находящегося в передней полусфере относительно объектива ПНВ и вне его поля зрения, заключается в облучении фотокатода ЭОПа рассеянным конструктивными и оптическими элементами объектива излучением. Возможно также влияние люминесценции оптических материалов под действием УФ составляющей высокотемпературного излучения помехи.

Экспериментальные исследования проводились на ПНВ с ЭОП 1-го поколения (ночной наблюдательный прибор ННП-21) и 3-го поколения (очки вертолетные ночные ОВН-1). Источник излучения – лабораторный имитатор на основе импульсной газоразрядной лампы (яркостная температура $\approx 6500\text{K}$, длительность импульса 12...14 мкс, частота повторения импульсов до 25 Гц, освещенность на удалении 1 м от имитатора $(5...6)\cdot 10^6$ лк). Имитатор располагался на разных удалениях и углах относительно ПНВ вне поля зрения. В экспериментах определялись разрешающая способность ПНВ по штриховым мирам, а также дальность обнаружения и дальность распознавания типовой цели на установке “Микрополигон”.

Установлено, что разрешающая способность ПНВ при воздействии импульсной внеполевой некогерентной помехи, расположенной в передней полусфере примерно под углом 45° к оптической оси прибора, уменьшается с ростом частоты повторения импульсов. При частотах 4,5...7,5 Гц (для разных наблюдателей) наблюдается ухудшение разрешающей способности в 1,5...1,6 раза. В условиях проведения экспериментов дальность обнаружения типовой цели для прибора ОВН-1 снижается приблизительно вдвое при частоте повторения импульсов облучения около 6 Гц, дальность распознавания снижается приблизительно в 1,8 раза при частоте облучения около 5 Гц. Определены пороговые энергетические и световые характеристики внеполевого помехового импульсного излучения, при которых исключается возможность наблюдения с помощью ПНВ.

Литература: 1. Патент РФ № 2121646, МКИ F 42 В 5/15, опубл. 10.11.98.

Б67. Переходные процессы в фотомишенях видиконов на основе МДП-структур, чувствительных к среднему ИК-излучению

Борошнев А.В., Ковтонюк Н.Ф.

ЦНИИ "Комета", Москва, Россия

Проблема фоточувствительности видиконов в средней инфракрасной области при технически приемлемых температурах охлаждения остается актуальной для телевизионной техники. Определенные успехи в этом направлении достигнуты с использованием в качестве фотомишеней видиконов примесных полупроводников и пироэлектриков. Однако, чувствительность таких видиконов недостаточна для создания целого ряда систем наблюдения. Более высокую фоточувствительность в режиме накопления имеют фотомишени на основе структур металл-диэлектрик-полупроводник (МДП) из узкозонных низкоомных полупроводников (антимонид индия, арсенид индия) в области собственного поглощения, на которых расположен более высокоомный фоточувствительный эпитаксиальный слой полупроводника (CdS, CdTe) с концентрацией свободных носителей $10^{14}\div 10^{15}\text{ см}^{-3}$, выполняющий роль полупроводящего диэлектрика, поверхность которого при работе прибора сканирует электронный луч. Используется полупроводник с электронной проводимостью с полностью ионизованными примесями.

В работе анализируется кинетика электронных процессов в таких МДП-структурах, используемых в качестве фотомишеней видиконов, чувствительных в средней ИК-области спектра.

В структуре используется режим неравновесного обеднения, при котором происходит накопление фотоносителей в течение времени существования обедненной области. При

сканировании электронным лучом на поверхность диэлектрика наносится заряд электронов, создающий относительно низкоомной подложки разность потенциалов, под действием которой в эпитаксиальном слое возникает чувствительная к свету обедненная область толщиной 1-10 мкм. При наличии входного изображения в освещенных участках благодаря накоплению фотоносителей заряда и экранированию ими внешнего электрического поля, толщина обедненной области становится меньше, чем в затемненных участках, и в структуре формируется зарядовый рельеф изображения. Этот рельеф хранится до тех пор, пока за счет термо- и фотогенерации не образуется концентрация электронно-дырочных пар, достаточная для полного экранирования поля по всей площади под диэлектриком структуры. Опрос зарядового рельефа осуществляется при повторном прохождении электронного луча. Проведена количественная оценка характеристик переходных процессов в МДП-структуре фотомишени видикона.

Экспериментально и теоретически показано, что за счет создания в ней неравновесной обедненной области возникает возможность регулирования рабочей температуры ИК-фотомишени. Причем верхняя точка рабочей температуры ограничивается интегральной скоростью термогенерации и при использовании узкозонных полупроводников может превышать температуру жидкого азота.

Б68. Коррекция геометрических искажений изображения в тепловизорах с использованием сканеров

Демин В.В., Кошарновский А.Н., Дегтярев Е.В.*

ГУДП «НИИТЭП», Москва, Россия

**22 ЦНИИИ МО, Мытищи, Московская обл., Россия*

Представлен один из алгоритмов коррекции геометрических искажений изображения в тепловизорах, обусловленных особенностями сканирующей системы. Описана практическая реализация этого алгоритма в блоке обработки информации тепловизора.

Б69. Фотоприемники и фотоприемные устройства на основе твердых растворов (CdHg)Te

Пономаренко В.П.

ГНЦ ГУП «НПО «Орион», Москва, Россия

В статье приводится краткий обзор работ, проведенных в НИИ 801 - НИИ прикладной физики - НПО «Орион» по созданию технологии твердых растворов теллуридов кадмия-ртути и фотоприемников на их основе в период 1969-2001 гг.

Описаны основные этапы создания объемных монокристаллов, эпитаксиальных слоев, фоторезисторов и фотодиодов (в том числе быстродействующих), ВЗН- и «смотрящих» матриц на их основе для спектральных диапазонов 3...5 и 8...14 мкм.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Абасова А.З. 44,163
Абдинов А.Ш. 45,111,161
Абдинов Д.Ш. 16,38,162
Абдинова Г.Д. 142
Абдуллаева С.Г. 43
Аветисян Г.Х. 23,104
Агабекян А.В. 129
Агаев З.Ф. 162
Адонин А.С. 125
Адоньева Е.М. 127
Айвазян Г.Е. 32,129
Акимов В.В. 136
Акимов В.М. 12,13,49,50,89,93,96,97,136
Алеева Н.В. 102
Алиев В.А. 79
Алиева Т.Д. 16
Аллахвердиев Э.А. 162
Андреев В.А. 102
Андреев В.Э. 72
Андреев И.А. 27
Андреева Е.В. 147
Антипова М.А. 154
Антонов А.В. 133
Апухтин Б.О. 110
Аракелов Г.А. 19
Артюшенко В.Г. 96
Арутюнов В.А. 87
Архипов В.П. 176
Архутик С.Т. 167
Асеев А.Л. 8
Аскеров К.А. 38,102,162,163
Астахов В.П. 103,127,158,159
Ахундова Н.М. 16
Ащеулов А.А. 143,144
Бабаева Р.Ф. 161
Бабин С.А. 69
Бабинцев В.Ф. 174
Бабулин Е.А. 150
Багдугев Р.И. 71
Бадалян А.М. 165
Базовкин В.М. 31
Бакуменко В.Л. 129
Бархалов Б.Ш. 142
Барч А. 148
Бахтина И.Ф. 150
Бегучев В.П. 129,173
Березин И.С. 18
Березкин Н.А. 74
Богобоящий В.В. 164
Бодров В.М. 168
Болдырев Г.П. 66
Болесов И.А. 103,158
Болтарь К.О.
12,13,14,30,49,50,96,97,136,146
Бондаренко А.Г. 168
Бончик А.Ю. 148
Борисов В.К. 94,135
Борисов В.О. 165
Борисов Ю.И. 46
Борисова И.В. 120
Бородин Д.В. 104,138
Борошнев А.В. 177
Бочков В.Д. 46,119,153
Бритов А.Д. 126
Будкин И.В. 23,24,26,57,104
Булаев П.В. 24,69,70
Булат Л.П. 15
Бурлаков И.Д. 12,13,14,30,50,96,97,135
Бутров Ю.Н.
Бутров Ю.П. 96,153,154
Бхан Р.К. 10
Бужан П.Ж. 73
Валишева Н.А. 31
Варавин В.С. 8,155,156
Варданян А.А. 32
Василевская Л.М. 23,24,104
Васильев В.В. 11
Васильев И.С. 87
Васичев Б.Н. 81,149,150
Винецкий Ю.Р. 53,54,128,163
Власов А.П. 148
Возьмилов П.Н. 97
Войцеховский А.В. 108,109,155,156
Волков В.Г. 170
Волошин В.М. 95
Вольфович А.Ю. 130
Воронов В.В. 100
Воронова М.А. 28
Гаврин Е.А. 17,18
Гаджиева С.И. 111
Галицын Ю.Г. 70
Гапонова Д.М. 133
Гасанов И.С. 164
Гасанов Н.Э. 142
Геллерт В.М. 136
Георгиевская Е.А. 73
Гибин И.С. 86
Глазков И.Н. 95

- Глебов Ю.А. 96
Глобус Е.Р. 96,153,154
Годованюк В.Н. 7
Голенков А.Г. 11,98
Головин С.В. 12,96,146
Гольдшер А.И. 139
Гопал В. 10
Горбаченя Н.К. 169
Горелик Л.И. 30,132,147
Горенок В.Н. 120
Грибанов А.А. 159
Григорьев Д.В. 155,156
Гришнова Н.Д. 80
Громов Э.А. 17
Гузев А.А. 31
Гуляев А.М. 56
Гуменюк О.Р. 151
Гуменюк-Сычевская Ж.В. 147
Гупта Ш. 10
Гурбанов И.И. 164
Гусарова Н.И. 63.
Гусейнов Э.К. 25
Гуськов В.Н. 61
Гутаковский А.К. 8
Даварашвили О.И. 79
Давыдов А.Х. 104
Дамньянович В. 104,105
Данильцев В.М. 133
Дворецкий С.А. 8,155,156
Двуреченский А.В. 90
Деготь Ю.М. 28,29,103
Дегтярев Е.В. 72,178
Демидов С.С. 136
Демин В.В. 178
Демьянов Э.А. 140
Деркач Ю.П. 11,88
Джалилова Х.Д. 42
Джафаров М.А. 45,111
Джафарова Э.А. 113
Диденко В.К. 103
Дирочка А.И. 89,126,127
Добровольский П.П. 140
Добровольский Ю.А. 62,175
Добровольский Ю.Г. 7,144
Долганин Ю.Н. 68,77,78,159
Долгих А.В. 70
Долгошеин Б.А. 73
Дорофеев В.В. 14,80
Дражников Б.Н. 46,154
Дроздов М.Н. 133
Дроздов Ю.Н. 133
Другова А.А. 37,58
Дудчак В.В. 64,94
Дьяконов Л.И. 36,39
Евдоков О.В. 61
Евстафьева Н.И. 159
Елесина Т.В. 77
Енукашвили М.И. 79
Еремин А.П. 84,115,116
Ермаков В.М. 17,18
Ермаков О.Н. 110,124,125
Ермошин К.М. 47
Ефимов В.М. 31
Ефимов И.В. 135
Ефимова З.Н. 94,135
Жабборов Т.К. 106
Жуков А.А. 82,83
Журавлев К.С. 70
Журавлев П.В. 123,140
Забелина Л.Г. 168
Забенькин О.Н. 28,29,103
Забудский В.В. 11,98
Завадский Ю.И. 104
Загулин В.В. 51,68
Зайтов Ф.А. 118,147
Зайцева Е.И. 167
Залевская Л.Н. 153
Залевский И.Д. 23,24,104
Заманова А.К. 44
Заславский А.В. 94,135
Захарова М.А. 29
Захарьяш Т.И. 11
Здобников А.Е. 82
Золотарев К.В. 61
Золотцев В.В. 47
Зотиков А.Ф. 169
Ибрагимова М.И. 102
Иванкин И.Р. 116
Иванов В.Г. 87,105
Иванов В.П. 5
Иванов В.Ю. 12
Иванова Т.С. 135
Ижнин И.И. 164
Ильин В.М. 18
Ильин А.Л. 73
Исаев Ф.К. 102,163
Исмаилов А.А. 107
Исмаилов Ф.И. 162
Исмайылов А.А. 160
Каблуков С.И. 69
Кавыч В.Й. 155
Кадельник Д.В. 7,144

- Казанцев Г.А. 153,154
Калинин В.В. 18
Калмычек А.А. 64
Камолов А.А. 20
Камруков А.С. 176
Каплин В.А. 73
Караев Д.И. 102
Каракаш А.А. 73
Каримов А. 106
Карпенко Е.Ф. 103,158
Карпов В.В. 103,127,158,159
Карташев В.А. 8
Касаткин И.Л. 89
Касаткин И.Н. 93
Касымахунова А.М. 20,106
Кекелидзе Н.П. 79
Керимова Т.Г. 113
Керимова Э.М. 44
Кирчевская Т.К. 65
Кичина Н.Н. 28,29
Клемин С.Н. 73
Клепиковский А.В. 144
Климанов Е.А. 12,13,49,50,89,93,94,97,135
Клименко А.Г. 11
Климов А.Э. 41
Ковалевская Т.Е. 132
Коваленко М.В. 70
Ковтонюк Н.Ф. 177
Ковтун Т.Г. 95
Ковчавцев А.П. 31,90
Козлов А.Н. 84,115,116
Козлов К.В. 167
Козлов Н.П. 176
Козырев М.Е. 159
Комаров Н.В. 108,109
Комов А.А. 125
Кононов А.С. 126
Константинов А.Ф. 62
Корнейчик В.Л. 169
Коровина И.Ю. 83
Коровина Л.А. 147
Коротаев А.Г. 155,156
Косолобов С.Н. 69
Костюков Е.В. 99,100,166
Косяченко Л.А. 40
Котков А.П. 14,80
Котов В.П. 57
Коханенко А.П. 108,109,155,156
Кочурин А.В. 17
Кошарновский А.Н. 178
Кошавцев Н.Ф. 62,63,64,65,66,94,168,170,171,173,174,175,176
Кравченко А.А. 69,72
Кравченко В.С. 131
Кравченко Н.В. 28,29,30,89,93
Крапухин В.В. 157
Краснов Л.В. 118
Креопалов Д.В. 122,134
Кривошапкин И.Б. 176
Крохина Т.К. 118
Крошин В.М. 54
Крыжановский В.В. 98
Кузнецов Н.С. 159
Кузнецов П.А. 94,135
Кузнецов Ю.А. 24
Кулибаба В.И. 47
Кулиев М.М. 112
Куликов В.Б. 23,24,26,104
Куликов К.М. 30
Куликов Ю.В. 150
Кульманов А.В. 28,29,30,103
Кумар В. 10
Куницына Е.В. 27
Курбатов А.В. 93,97,137
Курьшев Г.Л. 31,90
Кускова М.В. 174
Кучерский В.Р. 139
Лаенко Т.Я. 153
Лапин П.И. 103,158
Ларцев И.Ю. 34,125
Лебедев О.А. 67
Лебедева Л.Я. 153
Лелейкин В.И. 170
Леоненко А.Ф. 140
Леонова Г.А. 174
Ли И.И. 31
Лисейкин В.П. 49,50
Лобиков Ю.В. 28,29
Лозинская М.И. 155
Лопухин А.А. 89,93
Лотошников Ю.М. 119
Лу Женг Ксионг 40
Лукин А.В. 5
Лукша В.И. 151
Лукьянов А.Ю. 133
Ляпунов С.И. 108,109
Маишев Ю.П. 150
Макарова Л.И. 154
Маклаков А.М. 100
Малеев Н.М. 47,86

- Малютенко В.К. 91
Мамадалиева Л.К. 20,106
Мамедов Г.М. 45,111
Мамедов З.Г. 113
Мансветов Н.Г. 12,13,97,137,147
Мансуров Л.Г. 155
Манушин С.Н. 150
Маренкин С.Ф. 61,130
Марков А.В. 40
Маркушин П.В. 130
Мармалюк А.А. 24,69,70
Мартынов В.Н. 110
Марчишин И.В. 11
Матвеев О.А. 61
Медведев А.С. 46,119
Мельников А.Н. 5
Мельникова Т.М. 103
Меркин С.Ю. 74
Меркушин А.А. 136
Мехтиева С.И. 44
Мецхваришвили М.Р. 79
Микертумянц А.Р. 49
Минасян Г.А. 129
Мирошникова И.Н. 56
Митин В. 21
Михайлов Н.Н. 8,156
Михайлов С.Г. 130
Михайлова М.П. 27
Михайловский И.П. 134
Михалев А.В. 18
Михалев А.С. 157
Михалевский М.В. 157
Мищенко Т.Н. 103
Моисеев А.Н. 14,80
Молдавская Л.Д. 133
Молев В.И. 117,118
Молостова А.Ю. 154
Морозов В.Ф. 100
Морозова В.А. 130
Москвина Н.Н. 74
Мощенко С.П. 70
Мурель А.В. 133
Муртузов Г.М. 162
Мустафаева С.Н. 44
Назаров А.М. 111
Назарова Т.С. 154
Насиров Э.Ф. 45,111
Натаровский А.М. 61
Недоруба Д.А. 56
Несмелов С.Н. 108,109
Несмелова И.М. 102
Никитенко С.Г. 61
Никитин Д.Б. 24,69
Никитин М.С. 33,34,125,145
Никитина Г.И. 100
Никифоров А.И. 90
Никифоров А.Ю. 108,109
Новиченков В.Ю. 169
Новоселов С.К. 105
Нужин В.С. 67
Нуриев И.Р. 42,111
Объедкова Т.Г. 63
Овсяк В.Н. 11,132,149
Овчаров И.В. 6
Оганесян А.С. 32
Огнева О.В. 28,29,103,109
Омелаев А.И. 123
Опарин А.Н. 119,120
Орлов С.В. 53
Осипов Ю.В. 138
Остапов С.Э. 40
Охрем В.Г. 143
Охрем Е.А. 143
Падалица А.А. 24,69,70
Падалко Г.А. 64,94,168
Пак П.Ю. 59
Пал Р. 10
Паняева В.С. 154
Пасеков В.Ф. 89,93
Паулиш А.Г. 69
Певцов Е.Ф. 48
Первеев А.В. 152
Переводчиков В.И. 6
Петелин А.В. 109
Петров А.С. 168
Петров И.Н. 168
Петровский А.В. 24
Писаревский В.К. 101,148
Плешко А.Д. 73
Поздняков А.Е. 117,118
Полунеев В.В. 93,97,137
Пономаренко В.П.
3,14,30,46,81,85,86,104,105,178
Попов П.Г. 120
Попова Е.В. 73
Поповян Г.Э. 97,98,151
Поспелова М.А. 100,166
Потапкин О.Д. 150
Потапов А.Н. 86
Придачин Д.Н. 8
Прокофьев А.Е. 87
Проскурин В.М. 152

- Прохоров Ю.И. 144
Пугачев А.А. 100
Пчеляков О.П. 90
Пыжов Ю.А. 48
Рагимова Н.А. 161
Радчук Н.Б. 60
Ракович Н.С. 95
Рамазанов М.А. 107,134,160
Раренко И.М. 7,40
Расструева О.Н. 14
Рахимов Н.Р. 20
Рева В.П. 11,88,98
Ремесник В.Г. 8
Рзаев Р.М. 161
Рогальский А. 22
Романов О.Г. 159
Романюк И.С. 144
Росляков И.А. 176
Рудневский В.С. 136
Румянцев В.В. 117,118
Русак Т.Ф. 166
Рыбаков М.А. 69
Рыжий В. 21
Рыжий М. 21
Рыжков В.Н. 102
Рыхлицкий С.В. 8
Рябова А.А. 93
Рязанцев И.А. 90
Сабинин В.Е. 121
Сабина И.В. 8
Савченко А.М. 122,134
Савченко М.А. 122,134,159
Сагинов Л.Д. 13,49,50,86,93,94,96,97,147
Садыгов Р.М. 42
Салаев Э.Ю. 38,111
Салманов В.М. 25
Самуйлов А.В. 117,118
Сапрыкина В.А. 154
Сахно В.И. 70
Свиридов А.Н. 75,115,117,129
Седнев М.В. 146
Селяков А.Ю. 114
Сёмин В.А. 123
Сенченков А.С. 157
Серебренников П.С. 107,112,126,127
Сидоров Ю.Г. 8,155,156
Сизов Ф.Ф. 11,55,88,151
Скрылев А.С. 100
Слюсарь В.И. 64
Смирнов А.В. 152
Смирнов В.Д. 116
Смирнов С.Ю. 73
Смирнова Т.П. 165
Смолянинов В.Д. 84,115,116
Соколовский Б.С. 101
Солк С.В. 67,121
Соловьев В.В. 110
Соловьева Г.С. 103
Соляков В.Н. 12,13,50,93,97,137,147
Сорокин К.В. 103,158
Стафеев В.И. 12,14,137,147
Степанов Р.М. 4,168
Степанов Ю.А. 176
Стефанов В.А. 131
Строганов А.С. 31
Сулейманов Н.А. 127
Султанова А.Г. 113
Сун Вейгуо 40
Сурис Р. 21
Сусов Е.В. 36
Тагиев М.М. 141,142
Тагиев О.Б. 160
Талимов А.В. 103
Талипов Н. 155
Талипов Н.Х. 149
Танташев М.В. 122
Тарасов В.В. 82
Таубкин И.И. 30,46,85
Терехов А.С. 69,72
Терещенко В.И. 61
Тетеркин В.В. 55
Тимофеев А.А. 49
Тимофеев Ю.П. 6
Титов А.Г. 128,163
Титов В.П. 8
Тихонов А.А. 100
Томашик В.Н. 151
Томашик З.Ф. 151
Томсон А.С. 157
Трестман М.М. 76
Тришенков М.А. 28,29,128
Трофимов А.В. 176
Трошкин Ю.С. 12,13,97,98,151
Трунов С.В. 100,166
Туловчиков В.С. 133
Турбин А.В. 123
Тэгай В.А. 23,104
Ушаков А.Ю. 60
Ушаков С.А. 118
Ушакова М.Б. 85,133
Файзуллин Р.Р. 93
Фамицкий В.И. 163

- Фарзалиев С.С. 42
Фатьянова Г.И. 81,150
Федотова С.Ф. 62,66,171,175
Фетисов Е. А. 92
Филатов А.В. 97,151
Филатов Л.А. 73
Филачев А.М. 3,30,46,81,84,85,86,115,116
Филиновский В.Ю. 127
Филиппенко Н.В. 103,158
Филиппов В.Л. 122,123
Фомин Б.И. 134
Фотий В.Д. 7,143,144
Хаджиева Я.Я. 176
Хакуашев П.Е. 28,29,163
Харькова Н.И. 76
Хатункин В.В. 69
Хатунцев А.И. 24,57
Хмырова И. 21
Холоднов В.А. 37,58,107
Хомяков Л.П. 135
Хохорин А.С. 72
Храпунов М.Л. 46,153
Хромов С.С. 50,94
Хрыкин О.И. 133
Царев Н.В. 66
Цибрий З.Ф. 147
Чаудхари П.К. 10
Чащин С.П. 102
Чеканова Г.В. 33,34,36,39,125,145
Черепов Е.И. 134
Черкашина В.Н. 118,147
Чернокожин В.В. 48
Черноусов Н.П. 127
Четверов Ю.С. 82,83
Чиванов А.Н. 159
Чинарева И.В. 28,29,103,109
Чистохин И.Б. 134
Чишко В.Ф. 89,93
Чурилов С.М. 123
Шайблер Г.Э. 72
Шайко-Шайковский А.Г. 144
Шарафутдинов М.Р. 61
Шаронов Ю.П. 30,98,151
Шатунов К.П. 123
Шашкин В.В. 59
Шашкин В.И. 133
Швец В.А. 8
Шебанова Н.М. 13
Шевелев С.В. 69
Шевченко А.В. 148
Шер Э.М. 15
Шмидт К.А. 18
Шумский В.Н. 41
Шур М. 21
Шустов Н.М. 66,175
Щелев М.Я. 9
Щукин С.В. 50
Эдельштейн Ю.Г. 172,173
Эйвазова Г.Х. 161
Эсаулов Ю.Н. 97
Эскин Ю.М. 138
Юнгерман В.М. 93
Юргаев Б.И. 139
Юрков А.Н. 150
Юрьев Г.С. 61
Яблонский А.Н. 133
Яковкина Л.В. 165
Яковлев Ю.П. 27,126
Яковлева Н.И. 14,96,146
Якушев М.В. 8
Ярошевич А.С. 69,72