

**Государственный Научный Центр
Российской Федерации ГУП “НПО “ОРИОН”**



**XV Международная научно-техническая конференция
по фотоэлектронике, электронным и ионно-плазменным
технологиям**

Октябрь 28 – Октябрь 30, 1998 • Москва, Россия

Т Е З И С Ы Д О К Л А Д О В

Москва

Новые поколения фотоприемных устройств ИК диапазона.

*Пономаренко В.П., Филачев А.М.
ГНЦ РФ «НПО «Орион», Москва.*

Проведен анализ современного состояния микрофотоэлектроники, сформулированы основные направления ее развития.

Представлены результаты экспериментальных и теоретических исследований по созданию многоэлементных фотоприемников и фотоприемных устройств на основе объемных монокристаллов и эпитаксиальных структур из различных полупроводниковых материалов для диапазонов спектра от ближнего до дальнего инфракрасного.

Описаны свойства новых фотоприемников (линейчатых и матричных) из халькогенидов свинца, антимонида индия, твердых растворов теллурида кадмия – ртути, микроболометров, приборов с внутренним накоплением фотосигналов.

Рассмотрены физико – технологические проблемы создания конструкции, систем охлаждения, электроники предварительной обработки сигналов для новых поколений фотоприемных устройств ИК диапазона.

Состояние и перспективы развития приборов ночного видения.

*Кощавцев Н.Ф., Федотова С.Ф.
СКБ ТНВ, Москва.*

1. К настоящему времени завершены опытно-конструкторские работы по созданию электронно-оптических преобразователей бипланарной конструкции с многощелочным фотокатодом поколения 2, 2⁺ и 2⁺⁺ (Super Gen), а также третьего поколения с фотокатодом АВ. В частности, завершены разработки и освоены в мелкосерийном производстве АО “Катод” ЭОП ЭПМ 42 Г (“Калитка”), ЭПМ-53 Г (“Рассвет”), ЭПМ-62 Г (“Каликон-2 РА”), АО “Геофизика-МВ” ЭПМ 50 Г – А (“Копье”), ЭПМ - 50 Г (“Баул”), ЭОП ЭПМ 42 Г осваивается на заводе “Экран”.
2. За рубежом в США освоены в серийном производстве ЭОПы бипланарной конструкции третьего поколения с поворотом и без поворота изображения, фирмы Европы и Израиля освоили и серийно выпускают ЭОПы бипланарной конструкции поколения 2⁺ и 2⁺⁺ (Super Gen).
3. Отечественные электронно-оптические преобразователи в основном соответствуют зарубежным, несколько уступая им по разрешающей способности (34 штр/мм у нас и 36 штр/мм за рубежом) и существенно по наработке (3000 час у нас и более 10000 час за рубежом).
4. На основе бипланарных ЭОП разработан комплекс приборов ночного видения нового поколения:
 - псевдобинокулярные очки ночного видения 1 ПН 74 (“Наглазник”), разработчик – СКБ техники ночного видения (г. Москва);
 - псевдобинокулярный ночной бинокль 1 ПН 50 М (“Лидер”), разработчик – ОКБ “СКАН” (г. Казань);
 - ночной прицел для стрелкового оружия 1 ПН 93, разработчик – ЦКБ “Точприбор” (г. Новосибирск);

- авиационные очки ночного видения ОВН-1 (“Скосок”) разработчик–СКБ техники ночного видения;

- прицел для противотанковой пушки 1 ПН 92 и прибор разведки 1 ПН 92-2, разработчик – ЦКБ “Точприбор” (г. Новосибирск);

- прицел для крупнокалиберного пулемета и гранатомета 1 ПН 91, разработчик– ЦКБ “Точприбор” (г. Новосибирск);

- прицел для перспективного танка “Буран-М” и прицел прибора командира “Агат-М”, разработчик – ЦКБ АО “Красногорский завод” (г. Красногорск, МО)

5. Помимо перечисленных приборов на новом поколении ЭОП разработано большое количество разнообразных приборов с достаточно оригинальными характеристиками. В частности, низкопрофильные ОНВ, широкопольные ОНВ (поле зрения до 60°), низкоуровневый телевизионный прибор разведки с активно-импульсным каналом, дальнометрированием и передачей изображения на расстояние, прибор разведки с тепlopеленгационным каналом, прицельный комплекс с общей массой в два раза меньшей, чем находящийся на вооружении, прицел с переменным увеличением и другие типы приборов. Разработку приборов начали вести не только предприятия, занимающиеся этим вопросом традиционно, но и огромное число предприятий, возникающих в последнее время.

6. За рубежом в США разработан комплекс приборов на основе ЭОП 3-го поколения, страны НАТО в основном ведут разработки приборов на основе ЭОП поколения “Super Gen”. По основным параметрам зарубежные приборы соответствуют отечественным. Преимущество приборов на ЭОП 3-го поколения реализуется лишь при освещенности, существенно ниже нормированной ($E < 1 \cdot 10^{-3}$ лк). При этих освещенностях приборы на ЭОП 3-го поколения превосходят по дальности действия приборы на ЭОП поколения 2^{++} . На открытых местностях освещенность ниже $1 \cdot 10^{-3}$ лк обычно составляет 10-15% от всего темного времени суток. Стоимость приборов на ЭОП 3-го поколения по сравнению с аналогами на ЭОП поколения 2^{++} в $\sim 1,5-2$ раза выше.

7. Перспективы развития приборов ночного видения связаны с созданием чувствительных элементов четвертого поколения. ЭОП четвертого поколения должен иметь спектральную чувствительность до 1,5 мкм, разрешающую способность 64 штр\мм, чувствительность на длине волны $\lambda = 1,0$ мкм > 100 мА/Вт, отношение сигнал-шум более 63 единиц. Освещенность на фотокатод, соответствующая уровню шумов – $(3?5) \cdot 10^{-10}$ Вт \см².

Твердотельные преобразователи изображения ТПИ должны по параметрам соответствовать ЭОП. Работы по созданию новых элементов ведутся в нашей стране. В настоящее время разработаны бипланарные ЭОП с фотокатодом, чувствительным до 1,1 мкм, разработаны микроканальные и волоконно-оптические системы, обеспечивающие получение разрешающей способности до 54 штр\мм. Созданы образцы ТПИ с чувствительностью до 1,7 мкм, пороговым разрешением на уровне 20 штр\мм с пороговой освещенностью до 10^{-7} Вт\см².

8. За рубежом в США интенсивно ведутся работы по созданию ЭОП четвертого поколения. В 1997 году получены бипланарные ЭОП поколения 3⁺ (разрешающая способность до 64 штр\мм, чувствительность фотокатода до 1,1 мкм, пороговая освещенность $2,5 \cdot 10^{-10}$ Вт\см², чувствительность на длине волны 830 нм до 100 мА\Вт, диаметр фотокатода 17,5 мм).

9. На основе новых типов чувствительных элементов представляется возможность создания поколения приборов ночного видения, обеспечивающих повышение основных технических параметров в 1,5 – 2 раза по дальности действия и по полям зрения, и обеспечить работу в течение всего темного времени суток практически в любых естественных условиях. Такие приборы освещают более высокую помехозащищенность, так как большинство световых помех имеет спектр излучения в видимой и ближней ИК области спектра ($\lambda < 0,9$ мкм).

Приборы на ТПИ в принципе обладают практически идеальной помехозащищенностью из-за резко нелинейной характеристики “свет-свет”.

10. Особое место среди приборов, обеспечивающих видимость в темное время суток, занимают комбинированные и комплексные приборы, включающие несколько каналов. В частности, сопрягаются низкоуровневый телевизионный, тепловизионный и активно-импульсный каналы. Информация с таких каналов обрабатывается совместно, обеспечивая высококачественное изображение за счет восстановления изображения по сигналам с различных каналов. Наиболее полное решение проблемы видения реализуется при включении в состав комплексного прибора радиолокационного канала. При этом полностью решаются проблемы всепогодности, круглосуточности, видимости через дымы и в условиях пыли, помехозащищенности. За рубежом комбинированные приборы появляются в виде разработок для оснащения разведывательных подразделений.

Фотодиоды и фотодиодные матрицы на основе $Cd_xHg_{1-x}Te$

Бовина Л.А., Стафеев В.И.

ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион». Москва.

Твердый раствор $Cd_xHg_{1-x}Te$ (КРТ) является основным полупроводниковым материалом современной ИК-техники. Изменением соотношения кадмия и ртути –x можно обеспечить получение оптимальной спектральной характеристики для требуемой области спектра. На основе этого материала возможно создание как фоторезисторов и спрайт-фотоприемников, так и фотодиодов вплоть до сверхбыстродействующих. Особенно возрос интерес к КРТ после создания на его основе матричных фотоприемников.

В НПО «Орион» (НИИПФ) работы по созданию фотодиодов были начаты в начале 70-х годов, а матричных фотоприемников в середине 80-х.

В докладе излагаются результаты разработки и исследований основных характеристик одноэлементных фотодиодов, в том числе в гетеродинном режиме с быстродействием до 1 ГГц, квадрантных, малоэлементных линейчатых на спектральные диапазоны 3-5 мкм, в том числе с термоэлектрическим охлаждением, и на 8-12 мкм. Описаны спектральные, вольтамперные характеристики, их зависимости от уровня фоновой засветки и от температуры, частотные зависимости.

Изложены особенности топологии и технологии матричных фотоприемников форматов 32x32, 128x128, 384x288, 4x16, 4x16, 4x48, 2x96, 4x128, 2x256 на спектральные диапазоны 3-5 мкм и 8-12 мкм, изготовленных как на объемных монокристаллах, так и эпитаксиальных слоях, выращенных различными технологическими методами: жидкостная, молекулярно-лучевая и изотермическая эпитаксия (ИКД).

Проанализированы проблемы временной и температурной стабильности и возможные пути совершенствования параметров МФП.

Получение и свойства гетероструктур $Cd_xHg_{1-x}Te/Cd_{1-y}Zn_yTe$.

Лакеенков В.М., Денисов И.А., Смирнова Н.А., Белов А.Г.,

Белогорохов А.И., Пашкова Н.В.

*Институт редкометаллической промышленности «Гиредмет»,
Москва.*

В работе исследовались эпитаксиальные слои p- $Cd_xHg_{1-x}Te$ ($0,19 \leq X \leq 0,30$), выращенные на подложках $Cd_{1-y}Zn_yTe$ ($0 \leq Y \leq 0,06$) n- и p- типов электропроводности диаметром 20 и 24 мм. Слои $Cd_xHg_{1-x}Te$ толщиной 20-40 мкм были получены методом жидкофазной эпитаксии из раствора-расплава на основе теллура. Для уменьшения концентрации дырок гетероструктуры подвергались отжигу в насыщенных парах ртути при температурах 340-360°C в течение 3-5 часов.

Состав эпитаксиальных слоёв определялся по разработанной нами методике, основанной на измерении спектров пропускания гетероструктур в ближней инфракрасной области при $T = 295K$. Электрофизические измерения проводились по методу Ван-дер-Пау при $T = 295K$ и $77K$ в диапазоне магнитных полей 0,1-1,4 Тл. Совершенство полученных слоёв контролировалось металлографическими и рентгеновскими методами. Путём послойного стравливания тонких слоёв материала изучено распределение состава и электрофизических параметров по толщине эпитаксиального слоя. Исследовано также распределение электрофизических параметров по площади гетероструктуры.

Полученные эпитаксиальные слои имели электропроводность p- типа с концентрацией дырок при $T=77K$ ($7,0 \times 10^{15} - 3,0 \times 10^{16}$) $см^{-3}$ и подвижностью (450 - 650) $см^2/V \times с$; разброс по составу, X, по площади гетероструктуры составлял 0,002 - 0,005. Включения второй фазы и малоугловые границы отсутствовали, плотность дислокаций не превышала $5,0 \times 10^4$ $см^{-2}$. Полуширина кривых качания не превышала 40-50 угловых секунд.

Проведены теоретические оценки вклада подложки в электрофизические параметры всей гетероструктуры. Показано, что при анализе данных гальваномангнитных измерений влияние подложки можно не учитывать из-за наличия вблизи гетерограницы потенциального барьера, «развязывающего» слой и подложку по току. Проанализирована зависимость коэффициента Холла от индукции магнитного поля, $R(B)$, при $T=77K$ при наличии трёх типов свободных носителей заряда: электронов, лёгких и тяжёлых дырок. Показано, что с помощью компьютерной подгонки, варьируя значения концентраций и подвижностей свободных носителей заряда, можно добиться удовлетворительного согласия результатов расчёта с экспериментальными данными. Оценены погрешности определения значений концентрации и подвижности свободных носителей заряда, возникающие при использовании упрощённых соотношений. Установлено, что пренебрежение вкладом в $R(B)$ от электронов и лёгких дырок приводит к погрешностям в определении концентрации и подвижности тяжёлых дырок, не превышающим 20%.

Современное состояние и перспективы развития в России технологии КРТ для ИК - техники.

Тимофеев А.А., Климанов Е.А., Хомутова М.П.

ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион». Москва.

1. Эволюция первоначального понятия “фотоприемное устройство” /ФПУ/ (фотоприемник - предварительный усилитель /ФП-ПУ/) до современного понятия “устройство фотоэлектронное” /УФЭ/ (фотоприемник-предварительный усилитель - коммутатор - аналого-цифровой преобразователь /ФП-ПУ-КН-АЦП/).
2. Элементная база ФПУ развивалась от малошумящих транзисторов до специализированных интегральных схем ОУ, матричных глубокоохлаждаемых мультиплексоров, АЦП и др. сложных ИС.
3. Малошумящие кремниевые ИС ПУ и коммутаторы, по ТЗ нашего предприятия разрабатывались в Новосибирске, Таллине, Риге и Киеве (ИС серии 744УД, 538УД, 1407УД и 1104КН).
4. После распада СССР основные предприятия- изготовители оказались в ближнем зарубежье.
5. В последние годы разработка малошумящих ИС ПУ и ОУ, а также глубокоохлаждаемых матричных мультиплексоров проводится в ГУП “НПО “Орион”.
6. Основные характеристики малошумящего двухканального дифференциального усилителя «Элан”.
7. Основные характеристики матричных мультиплексоров для ФПУ на “смотрящих” матрицах ФД и мультиплексоров для ФПУ на многорядных линейках КРТ ФД.
8. Состояние элементной базы микроэлектроники для УФЭ и последующих блоков управления и обработки сигнала в электронных трактах ФПУ и тепловизионных приборов (ОКР “Прессинг”, “Мрия-20”, “Ржев-

Мальта”, “Модернизация РФ-С”, “Пелетон-91”, “Пастила”, “Мрия-Мальта-ОН”, “Масленок”, “Мрия-10”).

9. Основные типы и характеристики гибридных многоканальных ИС (микросборок) для усиления, коммутации и обработки сигналов в современных ФПУ.

Методы и программно - аппаратные комплексы для контроля многоэлементных ФПУ и построения тепловизионных приемников на их основе.

Гибин И.С., Логинов А.В., Малеев Н.М.

Сибирский НИИ оптических систем, Новосибирск

Методы и программно-аппаратные средства контроля многоэлементных ФПУ значительно отличаются от контроля одноэлементных приемников излучения. Одним из обязательных требований является автоматизация исследований ФПУ и разработка алгоритмов измерения параметров по тестовым изображениям, полученным с помощью специального стендового оборудования. В общем виде комплекс для исследования характеристик ФПУ, а также для исследования характеристик тепловизионных приемников должен включать в свой состав устройство формирования тестовых полей, устройство управления ФПУ, устройство восприятия и передачи полученных изображений в ЭВМ, а также пакет программного обеспечения для расчета требуемых характеристик по совокупности полученных изображений. При этом методы расчета характеристик должны минимизировать ошибки, связанные с наличием дрейфа параметров ФПУ и шумов $1/f$.

Проблема получения качественного тепловизионного изображения с помощью многоэлементных приемников тесно связана с предыдущей, так как эффективная коррекция геометрического шума невозможна без точного знания характеристик приемников и их зависимости от внешних условий и конструктивных особенностей аппаратуры. Исследование таких зависимостей также требует специализированного стендового оборудования. Особое место при этом занимают методы вычисления коэффициентов коррекции с помощью безопорных методов, то есть методов, при которых в процессе работы прибора не требуется подавать дополнительно каких либо тестовых изображений, например в виде холодного или горячего поля.

Настоящий доклад обобщает опыт СНИИОС в разработке стендового оборудования и методов обработки тепловизионных изображений для решения сформулированных выше задач.

Разработка в ЦКБ " Арсенал " систем охлаждения для приемников излучения.

Молодык А.В., Носов Н.И., Смоляр Г.А.

ЦКБ " Арсенал ", Украина, г. Киев

Представлены результаты работ по созданию микрокриогенных систем криостатирования (МКС) и систем среднетемпературного уровня

охлаждения (СТС) для приемников ИК излучения опико-электронных изделий ЦКБ " Арсенал ".

В сообщении даны рекомендации по проектированию многорядных теплообменников (МТ) в зависимости от требований к величине холодопроизводительности, динамическим характеристикам, габаритным ограничениям. Приведены результаты экспериментальных исследований макетных образцов МТ и проведено сравнение с ожидаемыми расчетными параметрами. Показана возможность сокращения длины микрохолодильника за счет размещения штуцера - коллектора ввода газа высокого давления вне корпуса МХ.

В части создания СТС представлены материалы расчетных и экспериментальных исследований по увеличению эффективности теплообмена корпуса термоэлектрического охладителя ПИ с удаленным генератором холода промежуточного температурного уровня.

Развитие работ по фотоприёмникам на основе халькогенидов свинца в ГНЦ «НПО «Орион».

Глобус Е. Р., Буткевич В. Г., Казанцев Г. А.

ГНЦ РФ ГУП « НПО « Орион», Москва.

Рассматриваются результаты разработки фотоприемников (ФП) на основе тонких пленок халькогенидов свинца, проводившихся в ГУП " НПО "Орион " в 90^{ые} годы. Отмечается сдвиг в сторону разработок ФП гражданского применения, отличающихся невысокой стоимостью..

На базе стандартных конструкций разработаны неохлаждаемые фоторезисторы ФР - 202 и ФР - 203 на основе PbS , которые во все больших масштабах используются в различных системах промышленной автоматики, прежде всего в датчиках пламени - приборах, контролирующих работу горелок в котлах тепловых электростанций.

Для более сложных устройств аналогичного назначения разработан ФП ФР - 202 с чувствительным элементом из селенида свинца. С целью расширения возможностей использования ФП ведется разработка одноканального ФПУ, сочетающего ФР и преусилитель в едином стандартном корпусе. Применение находят и бескорпусные фотоприемники с относительно большим размером чувствительной площадки (6x6,10x10)мм² , которые устанавливают в приборах контроля качества пищевых продуктов. В части разработки многодиапазонных ФП наибольшие усилия были приложены для создания двухцветного ФПУ на основе Si + PbS для системы военного назначения .

Ведется работа и по многоэлементным структурам. В частности разработаны малоразмерные фоточувствительные блоки из PbS и PbSe с п = 64 , 128 , 256 . В докладе приводятся параметры, получаемые при измерении таких блоков. Блоки могут устанавливаться в различные конструкции неохлаждаемых и охлаждаемых ФП и ФПУ, как гражданского, так и военного применения. В таких устройствах

они стыкуются с различными системами обработки и считывания информации различной степени сложности

В докладе сообщается о предварительных результатах и перспективах развития и применения фоточувствительных матричных структур на основе пленок сульфида и селенида свинца.

Предельные параметры новых гибридных матриц на основе HgCdTe.

*Осипов В.В., Пономаренко В.П., Селяков А.Ю.
ГНЦ РФ ГУП «НПО «ОРИОН», Москва.*

Рассмотрена физика работы и предельные параметры ИК матриц на спектральные диапазоны 3 - 5 и 8 - 14 мкм, архитектура которых по сравнению с существующими матрицами более проста. В ячейках рассматриваемых матриц не используются элементы кремниевой микроэлектроники, а HgCdTe $p-n$ переходы играют роль, как фоточувствительных элементов, так и элементов коммутации, что обуславливает более высокие требования к параметрам таких $p-n$ переходов. Накопительные емкости занимают всю площадь под каждым $p-n$ переходом и изготавливаются на отдельной подложке, на основе диэлектриков с достаточно высокой диэлектрической проницаемостью. В отличие от ПЗС и ПЗИ в рассматриваемой матрице не используется перенос заряда между пространственно разнесенными электродами.

Анализируются зависимости фоточувствительности, обнаружительной способности, условий реализации VLIP режима и максимальной квантовой эффективности от конструктивных параметров рассматриваемой матрицы. Предлагается метод подавления шумов предусилителя типа $1/f$, который, позволяет реализовать в такой матрице предельно высокие пороговые характеристики при большом времени накопления фотосигнала.

Показано, что матрица на спектральный диапазон 3 - 5 мкм при температуре фона 300 K и использовании накопительных емкостей на основе TiO_2 может работать в VLIP режиме при формате 1024×1024 и время накопления фотосигнала в ней будет равно постоянной времени человеческого глаза. В матрице на спектральный диапазон 8 - 10 мкм VLIP режим реализуется при формате 256×256 , а время накопления фотосигнала в ней может достигать величины порядка 300 мкс. В случае использования интегрированных сегнетоэлектриков толщиной ~ 0.1 мкм и диэлектрической проницаемостью $\epsilon \geq 3500$ время накопления в матрице на спектральный диапазон 8 - 10 мкм может достигать 20 мс.

Пороговые характеристики фотоприемных устройств на основе фоторезисторов из $Cd_xHg_{1-x}Te$ при приеме коротких импульсов CO_2 лазера.

*Горелик Л.И., Кравченко Н.В., Куликов К.М., Трошкин Ю.С.
ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва.*

В настоящее время для приема импульсов CO_2 -лазера применяются фотодиоды на основе твердого раствора $Cd_xHg_{1-x}Te$.

При разработке комплексированных приборов представляет интерес использовать один и тот же базовый фоточувствительный элемент для приема достаточно коротких импульсов.

Рассмотрена возможность применения относительно низкочастотного фоторезистора для регистрации импульсов излучения CO_2 -лазера с длительностью до 20 нсек. Основой для предложения о возможности применения таких фотоприемников являются следующие данные: высокая вольтовая чувствительность фоторезисторов, низкое темновое сопротивление и возможность реализации собственных шумов.

Показано, что с использованием достаточно простых схемотехнических средств гибридной микроэлектроники может быть изготовлено содержащее в своем составе квазиоптимальный фильтр фотоприемное устройство, способное регистрировать импульсы излучения CO_2 -лазера длительностью 20 нс с пороговой мощностью 10^{-8} Вт. Определены основные требования к коэффициенту передачи и шумовым параметрам фотоприемного устройства, обеспечивающего оптимальное выделение сигнала.

Неохлаждаемые детекторы излучения для средней ИК - области спектра на основе $Cd_xHg_{1-x}Te$.

ГУСЕЙНОВ Э.К., КАЗИЕВ Ф.Н.

Институт фотоэлектроники Академии наук Азербайджанской Республики, Баку

В работе приводятся результаты разработки неохлаждаемых фотопроводящих и фотоэлектромагнитных детекторов ИК-излучения на основе твердых растворов теллуридов кадмия и ртути.

Фотопроводящие детекторы выполнены на основе материала $Cd_xHg_{1-x}Te$ состава $X \approx 0,24-0,25$ р-типа проводимости с концентрацией дырок $p \approx (3-5) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ при 77К. Чувствительный элемент фоторезистора представляет собой блок, из расположенных в ряд параллельно друг другу с малым зазором ,площадок в форме удлиненного прямо- угольника. Соединенные последовательно они образуют единую (квадратную) чувствительную площадку. Такое исполнение позволяет повысить вольтовую чувствительность фоторезистора, уменьшить рабочий ток и понизить требования к шумовым характеристикам предусилителя.

Основные параметры фоторезистора следующие. Размеры фотоприемной площадки $A_d = 2 \times 2 \text{ мм}^2$, число элементов, образующих чувствительную площадку - 4, межэлементный зазор - 40 $\mu\text{м}$. Сопротивление фоторезистора при рабочей температуре 295 К составляет $\sim 800 \text{ Ом}$. Длина волны $\lambda_{\text{max}} \approx 5 \text{ мкм}$. Вольтовая чувствительность в максимуме

спектральной характеристики $S_{\lambda} \approx 15-20$ В/Вт, удельная обнаружительная способность $D_{\lambda} \approx (0,7-1,0) \cdot 10^9$ см Гц^{1/2}Вт⁻¹, постоянная времени $\tau = (3-5) \cdot 10^{-8}$ с.

Показано, что исполнение такого типа фоторезистора в варианте с двухсторонней металлизацией под контактных областей позволяет повысить его чувствительность (\sim в 1,3 раза) за счет выравнивания градиента приложенного электрического поля по толщине чувствительного элемента.

Фотоэлектромагнитные (ФМЭ) детекторы выполнялись на основе материала р-типа проводимости с концентрацией дырок $\sim (0,8-1,0) \cdot 10^{17}$ см⁻³ состава $X \sim 0,2$. Как и в случае фоторезистора, ФМЭ детектор представляет собой блок из расположенных в ряд с малым зазором одинаковых чувствительных площадок. Блок чувствительных элементов монтируется на контактном растре специальной конфигурации, обеспечивающей последовательную коммутацию элементов таким образом, чтобы ФМЭ-сигналы от всех площадок суммировались. Такая модификация ФМЭ детектора позволяет повысить его выходное напряжение в n -раз (n - число элементов, образующих чувствительную площадку). Блок ФЧЭ размещается в узком (~ 2 мм) зазоре между полюсами постоянного магнита, обеспечивающего магнитное поле порядка 0,6-0,7 Тл.

Основные параметры ФМЭ детектора следующие. Число элементов и линейные размеры блока ФЧЭ - такие же, как и в случае фоторезистора. Длина волны максимума спектральной чувствительности при комнатной температуре $\lambda_{\max} \sim 6,6$ мкм. Сопротивление детектора составляет ≈ 320 Ом, монохроматическая вольтова чувствительность в максимуме спектральной характеристики $S_{\lambda} \sim 0,8 - 1,0$ В/Вт, удельная обнаружительная способность (на частоте 1200 Гц) равна $D_{\lambda} = (0,7-0,9) \cdot 10^8$ см Гц^{1/2} Вт⁻¹, постоянная времени $\tau = (5-7) \cdot 10^{-9}$ с.

Исследования стабильности характеристик фотодиодов КРТ.

¹Бовина Л.А., ¹Стафеев В.И., ¹Болтарь К.О., ²В.М.Лакеенков, ³Лоцинина М.А.

¹ ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва.

² ГНЦ РФ ГИРЕДМЕТ, Москва.

³ НПО «Геофизика», Москва

Фотодиоды из твердого раствора теллуридов кадмия - ртути являются основным чувствительным элементом современной инфракрасной техники, особенно тепловидения. В настоящем докладе приводятся результаты исследования их временной и температурной стабильности. Исследования проводились на фотодиодах, изготовленных методом ионного легирования по технологии, разработанной в НИИПФ. Исходный материал - объемные монокристаллы, выращенные в Гиредмете. Исследования проводились на измерительных установках НИИПФ и НПО «Геофизика». Испытания на температурную стабильность проводились при температурах +60°C и +70°C в режиме длительного хране-

ния. Исследования временной стабильности были начаты в 1990г. и проводятся до настоящего времени.

Исследования показали, что выдержка при повышенных температурах несколько улучшает их параметры. Хранение в нормальных условиях в течение 8 лет в разработанной в НИИПФ конструкции не ухудшает их обнаружительной способности.

В таблице приведены данные исследований временной стабильности для 8 фотодиодов, поставленных на испытания в октябре 1990 г. В первой строке приведены исходные значения обнаружительной способности, во второй максимальное ее уменьшение и в третьей – максимальное увеличение при всех испытаниях вплоть до августа 1998г.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Сред. знач. |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|
| Исходное значение $D^*_{\lambda_{max}}, 10^{10} \text{ ВТ}^{-1} \text{ Гц}^{-1/2}$ | 5,8 | 5,8 | 4,9 | 4,1 | 5,3 | 5,3 | 6,2 | 6,7 | |
| Максимальное изменение $D^*_{\lambda_{max}}$ в процессе испытаний, % | -5 | -2 | -3 | -2 | -2 | -12 | -23 | -7 | -4 |
| | +14 | +14 | +18 | +29 | +32 | +34 | +16 | +16 | +22 |

Разработка неохлаждаемых микроболометрических фоточувствительных структур на спектральном диапазоне 8-14 мкм.

Андрюшин С.Я., Либерова Г.В., А.В.Кульманов, Кравченко Н.В., Трищенко М.А., Эскин Ю.М.

ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион». Москва.

В последние годы большой интерес разработчиков и пользователей тепловизионной аппаратуры вызывает создание неохлаждаемых микроболометрических приемников ИК излучения. К их преимуществам относятся, помимо отсутствия необходимости охлаждения, также отсутствие необходимости модуляции потока входного излучения, лучшие весогабаритные и мощностные характеристики аппаратуры и ее потенциальная относительная дешевизна, связанная с технологической совместимостью микроболометрических элементов и кремниевых ИС.

В работе рассмотрены основные конструктивно-технологическое электро и теплофизические требования к микроболометрической структуре, приводятся сведения об уровне основных параметров полученных образцов.

Сравнительные исследования болометрических свойств тонкопленочных структур на основе диоксида ванадия и аморфного гидрированного кремния.

Зеров В.Ю., Куликов Ю.В., Маляров В.Г., ¹ Феоктистов Н.А.,

Хребтов И.А., Шаганов И.И.

ВНЦ "ГОИ им. С.И. Вавилова", Санкт-Петербург.

¹ФТИ им А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург.

Выбор материала чувствительного элемента микроболометрической матрицы в значительной степени определяет ее предельные параметры.

В данной работе представлены результаты исследований болометрических свойств структур на основе пленок диоксида ванадия (VO_2) и аморфного кремния, которые наиболее часто используются в зарубежных разработках. Измеряли такие основные характеристики, как температурный коэффициент сопротивления (ТКС), спектральная зависимость напряжения шума и коэффициента поглощения.

Пленки аморфного гидрированного кремния (a-Si:H) получали методом плазмохимического газофазного осаждения. Из-за высокого удельного сопротивления их использовали в микроболометрических структурах сэндвичного типа - металл - (a-Si:H) - металл. Electroдами служили пленки хрома. Структуры имели площадь $100 \times 100 \text{ мкм}^2$. Максимальный ТКС при оптимальном сопротивлении структур 10-20 кОм составил 2,1%К. Избыточный $1/f$ на частоте 30 Гц при токе 1,1 мкА у лучших образцов имел величину $(2-8) \times 10^{-8} \text{ В/Гц}^{1/2}$. Реализованный в сэндвич-структурах оптический резонатор позволил достигнуть 80% поглощения на длине волны 8 мкм и не менее 60% в интервале 6-12 мкм.

Пленки VO_2 получали реактивным магнетронным ионно-плазменным распылением металлического ванадия. Ввиду меньшего удельного сопротивления, эти пленки целесообразно было исследовать в структурах плоскостного типа. В качестве электродов использовали пленки V и Ti. Рабочая площадь VO_2 была $100 \times 300 \text{ мкм}$. Образцы имели ТКС 2-3%К. В результате улучшения контактов, избыточный $1/f$ шум при токе 1,1 мкА проявлялся на частоте $< 30 \text{ Гц}$. Расчетно и экспериментально показано, что коэффициент поглощения этих структур может быть доведен в интервале 8-12 мкм до $\sim 60\%$.

Таким образом, исследования показали, что характеристики микроболометрических структур удовлетворяют требованиям неохлаждаемых матриц. Следует отметить, что сэндвич-структуры на основе a-Si:H , обладая лучшим поглощением, имеют большую теплоемкость и в них проявляются эффект поля, ограничивающий чувствительность, что необходимо учитывать в конкретных разработках.

В части исследования шумов работа поддержана РФФИ по проекту №960218563.

Матричные ИК ПЗС с барьерами Шоттки из силицида платины и тепловизионные системы на их основе.

Агранов Г.А., Нестеров В.К., Тимофеев В.О., Штам А.И.,

¹Иванов В.Д., ¹Тихомиров С.В.

ЦНИИ "Электрон", Санкт-Петербург.

¹НТЦ "Юпитер - Z", Санкт-Петербург.

В докладе приводятся результаты исследований и разработок в области создания матричных ПЗС, с чувствительных в среднем ИК - диапазоне спектра, и тепловизионных систем на их основе.

ИК ПЗС представляет собой монолитный кремниевый прибор, чувствительными элементами которого являются диоды Шоттки из силицида платины. Приводятся конструкция двух типов ИК ПЗС: прибор ISD200M с числом элементов 256x290, четырехфазной организацией, временем накопления 38 мсек. и чересстрочным режимом разложения; прибор ISD201M с числом элементов 256x288, трехфазной организацией, временем накопления 19 мсек. и прогрессивной разверткой.

Разработанные приборы характеризуются высокой чувствительностью и хорошим пространственным разрешением, низким уровнем шумов считывания и малой неоднородностью видеосигнала. Ниже приведены основные параметры и характеристики рассматриваемых приборов:

| | ISD200M | ISD201M |
|---|-----------|-----------|
| Число элементов (ГхВ) | 256x290 | 256x288 |
| Размер элемента (ГхВ), мкм | 50x30 | 50x30 |
| Размер фоточувствительной области (ГхВ), мм | 12,8x9,57 | 12,8x9,57 |
| Спектральный диапазон чувствительности (без встроенного фильтра), мкм | 1-5,5 | 1-5,5 |
| Частота кадров, Гц | 25 | 50 |
| Динамический диапазон, дБ | 60 | 60 |
| Рабочая температура, К | 80 | 80 |

Приборы типа ISD200M в составе тепловизионной системы с объективом $f/1,1$, 90 мм, обеспечивают температурную чувствительность $NETD=0,07K$.

Считывающая электроника, выполненная на базе программно - управляемых модулей, обеспечивает гибкое управление ИК ПЗС и аналого-цифровую обработку видеосигнала с использованием 12 разрядного АЦП. Тепловые изображения, получаемые с ИК ПЗС, отображаются в реальном времени на экране стандартного телевизионного монитора и дополнительно обрабатываются специализированными процессорами обработки изображений на базе персональных компьютеров.

Тепловизионная система на базе IBM PC обеспечивает обработку тепловизионных изображений со скоростью до 5 кадров в секунду. Тепловизионная система на базе компьютера Power Macintosh обеспечива-

ет обработку тепловизионных изображений в реальном масштабе времени со скоростью 20 кадров в секунду.

В работе приводятся экспериментальные результаты и примеры тепловизионных изображений, полученные при испытании тепловизионных систем в различных применениях.

Гигантский всплеск фотоэлектрического усиления в пороговых собственных фоторезисторах при увеличении концентрации центров рекомбинации.

Холоднов В.А.

ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва

В линейном приближении по интенсивности света без предположения выполнения условия квазинейтральности выведено уравнение (4 порядка), описывающее распределение концентрации неравновесных носителей в образце при их рекомбинации через глубокую примесь с концентрацией N .

На основе анализа этого уравнения обоснована возможность гигантского всплеска фотоусиления при увеличении N [1]. Эффект реализуется при любой интенсивности рекомбинации на токовых контактах. Причины эффекта: чрезвычайное возрастание (на порядки) времен жизни фотоносителей в некотором интервале значений N с ростом N [2,3] и обращение в нуль амбиполярной подвижности при том же значении N , при котором времена жизни достигают максимального экстремума [1].

Показано, что за счет фотовозбуждения пространственного заряда величина всплеска немонотонно зависит от напряжения. Найдено предельно возможное фотоусиление.

Литература.

- [1] В.А.Холоднов // Письма в ЖЭТФ, 1998. Т.67, № 9, С. 655-660.
- [2] А.А. Drugova, V. A. Kholodnov // Solid-State Electronics, 1995, V.38, № 6, P.1247-1252.
- [3] В.А. Холоднов // ФТП, 1996, Т.30, № 6, С. 1011-1025.

Исследование фотоэлектрических размеров элементов в матричных ИК-фотоприемниках.

Болтарь К.О., Яковлева Н.И.

ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва

В связи с увеличением числа элементов матричных фотоприемников (МФП) на основе $CdHgTe$ в ИК диапазоне спектра до 128×128 , 384×288 и выше, произошло существенное уменьшение геометрических размеров отдельно взятого фоточувствительного элемента (ФЧЭ) матрицы до величины $\sim 20 \times 20$ мкм². Традиционный метод измерения эффективного размера фоточувствительной площадки и фотоэлектрической взаимосвязи при помощи оптического зонда дает слишком большую погрешность. В длинноволновой ИК области спектра 8-14 мкм, из-за дифракционной природы света размеры фотоприемника и оптического

зонда оказываются сравнимыми даже при идеальном ИК объективе, формирующем пятно оптического зонда. При сканировании ФЧЭ изображением светящейся щели с шириной, сравнимой с размером ФЧЭ, фотосигнал представляет собой не распределение чувствительности по площадке элемента, а свертку функции освещенности оптического зонда и функции распределения чувствительности по площадке элемента.

В работе разработан и экспериментально исследован метод восстановления функции распределения чувствительности по фотоприемнику $S(x)$ по экспериментально измеренной зависимости сигнала от перемещения $P(x)$ и известной функции распределения освещенности оптического зонда $E(x)$. Суть метода состоит в том, что истинная функция распределения чувствительности по фотоприемнику $S(x)$ есть обратное преобразование Фурье частного от деления преобразования Фурье экспериментальной зависимости на преобразование Фурье функции распределения освещенности оптического зонда $E(x)$.

Метод реализован на IBM PC и производится в едином цикле с измерением зависимости фотосигнала от перемещения оптического зонда вдоль площадки на автоматизированной установке под управлением ЭВМ.

Принцип построения и конструкция модуля охлаждения фотоприемника на основе многокаскадной термоэлектрической батареи.

Аракелов Г.А., Магнушевский В.Р., Сивенкова В.Н., Троицкий И.М.

ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва

В последние годы все большее применение находят унифицированные модули охлаждения фотоприемников (МОФ) на основе многокаскадных термоэлектрических батарей. Определяющие их особенности обуславливаются необходимостью обеспечения:

- максимально возможных перепадов температур в условиях жестких массо - габаритных - характеристик МОФ и ограничений по сбросу тепла;
- оптимальной функциональной совместимости МОФ с установленным на его теплопоглощающей поверхности фоточувствительным элементом;
- работоспособности МОФ в любом пространственном положении;
- сохраняемости электрических и теплотехнических параметров в течение длительной наработки (> 10000 часов) в пределах срока сохраняемости (>15,5 лет).

В докладе раскрыта взаимосвязь вышеуказанных требований к МОФ и предложены соответствующие конструктивные и технологические пути их реализации.

О детерминированно-стохастической модели ПНВ.

*Эдельштейн Ю.Г.
ГУДП СКБ ТНВ, Москва*

В отличие от преобладающего подхода к приборам ночного видения (ПНВ) как к системе, в которой значение главного выходного параметра дальности видения однозначно связано с входными воздействиями и параметрами прибора, предлагается рассматривать ПНВ как детерминированно - стохастическую систему (ДСС), состоящую из детерминированного звена - оптикоэлектронного канала (ОЭК) и стохастического звена - зрительного анализатора (ЗА).

ОЭК осуществляет изоморфное преобразование параметров объекта в параметры изображения, входные и выходные величины имеют одинаковую размерность и связаны фундаментальными физическими законами. ЗА осуществляет свертку параметров изображения в обобщенный показатель дальность видения. Стохастическая природа этого звена обусловлена тем, что закономерности преобразования информации в ЗА до конца не известны, дальность видения, оцениваемая экспертным методом в строгом метрологическом смысле не может быть измерена, т.к. не имеет эталона.

Практическим следствием подхода к ПНВ как к ДСС является возможность обосновать отказ от трудоемких процедур измерения дальности в полевых условиях и ограничиться проверкой объективных параметров ОЭК, полностью определяющих функциональные возможности аппаратуры. Предлагаемый подход делает также правомерным использование сравнительно простых физических и математических моделей для оценки влияния параметров ПНВ и внешних условий на видимость.

Малогабаритный высокочувствительный прибор ночного видения МН - 201.

*Антипова Л.Г., Крылов В.В., Новичкова Е.Ф.,
Петров И.Н., Плахов С.А., Степанов Р.М.
ЦНИИ "Электрон", Санкт-Петербург.*

Приводятся результаты разработки прибора ночного видения на основе ЭОПа второго поколения ЭПМ - 47Г.

Металлический корпус оригинальной крылообразной формы обеспечивает механическую прочность и надежность конструкции.

Прибор обладает характеристиками на уровне лучших мировых образцов.

Основными отличительными особенностями являются автоматическая регулировка яркости изображения, возможность работы левой рукой, совместимость с фото и телекамерой, индикация степени разряд-

ки источника питания. Лазерный ИК излучатель обеспечивает возможность работы в темноте.

Основные технические характеристики.

| | |
|--|------------------------|
| - Усилитель яркости | ЭОП типа ЭПМ-47Г. |
| - Диаметр входного окна | 18 мм. |
| - Разрешение | 30 штрих/мм. |
| - Усиление | 35000 крат. |
| - Интегральная чувствительность | более 280 мкА/лм. |
| - Объектив | фокус 56 мм, С-сборка. |
| - Окуляр | ±4 диоптрии. |
| - Увеличение оптической системы | 1,7 крат. |
| - Дальность ИК подсветки | 50 м. |
| - Дальность распознавания людей | 400 м. |
| - Напряжение питания (батарейки АА-2шт.) | 3 В. |
| - Угол поля зрения | 20 град. |
| - Время непрерывной работы | 8 час. |
| - Габаритные размеры | (165x107x56) мм. |
| - Масса | 690 г. |

Прибор может применяться при управлении транспортом и судовождении, поиске и спасении людей, для обнаружения неисправностей и утечек в силовых линиях электропередач, для контроля и управления транспортными потоками, при выполнении оперативных задач сотрудниками МВД, ФСБ, таможни.

Малые габариты, небольшой вес, удобство обращения, высокий уровень параметров в сочетании с невысокой ценой позволяют прибору найти широкое применение.

Переносной ночной активно-импульсный телевизионный прибор наблюдения с дистанционной передачей изображения.

Волков В.Г., Кощавцев Н.Ф., Лелейкин В.И., Чапнин В.А.

ГУДП СКБ ТНВ, Москва

Для решения широкого круга народно-хозяйственных проблем целесообразно использовать активно-импульсные приборы ночного видения (АИПНВ), которые могут работать при любой освещенности, как при нормальной, так и при пониженной прозрачности атмосферы и в условиях воздействия интенсивных световых помех.

При этом наибольший интерес представляет создание телевизионного АИ ПНВ с дистанционной передачей изображения. Это необходимо, в частности, для диспетчерского контроля железнодорожных путей и взлетно-посадочных полос.

В СКБ ТНВ разработан такой переносной АИ ПНВ наблюдения. Он может работать как в пассивном, так и в АИ режиме с лазерным подсветом. Изображение с помощью малогабаритного радиопередатчика передается в любом направлении на дальность до 200 м. Дальность действия АИ ПНВ в пассивном режиме до 1600 м, в АИ режиме - не менее 2000 м, угол поля зрения соответственно 5 град и 1 град x 0,75 град,

точность измерения дальности не хуже ± 10 м, масса АИ ПНВ с треногой не более 20 кг, питание - от встроенных аккумуляторных батарей с напряжением 12 В.

Описываются схема АИ ПНВ, результаты экспериментов, современные и перспективные возможности.

Малогабаритные очки ночного видения.

*Добровольский Ю.А., Коцавцев Н.Ф.,
Соколов Д.С., Федотова С.Ф., Шустов Н.М.
ГУДП СКБ ТНВ, Москва.*

В ночное время различные службы армии, силовых структур и спецподразделений спасения терпящих бедствие выделяют большой круг вопросов, связанных с ориентацией на местности, поиском различных объектов, ремонтом боевой техники, поиском преступников, повреждением различных агрегатов и устройств. Использование для этих целей современных дорогостоящих очков нецелесообразно. Решение практически всех перечисленных задач возможно при использовании бинокулярных очков низкой стоимости или монокулярных очков. При этом основным требованием к очкам помимо приемлемой дальности видимости, поля зрения и качества изображения является минимальная масса, т.к. выполнение большинства из вышеперечисленных задач требует очень длительного времени работы оператора в ОНВ.

Нами была проработана конструкция бипланарных ОНВ на новом ЭОПе "Супер-О" разработки НИИ электронных приборов. Малые габариты ЭОП (оптическая длина ~ 21 мм), высокое разрешение (до 50 штр/мм) и высокая чувствительность (до 400 мкА/лю за фильтром КС) позволяют создать ОНВ с массой бинокля 240г.. Дальность видимости человека составляет >180 м. ОНВ превосходит все существующие ОНВ нулевого поколения по массе и дальности действия.

На основе ЭОП второго поколения "Фарватер-Гран" были разработаны монокулярные ОНВ, обеспечивающие дальность действия 150м, поле зрения 40° и массу 400г. Учитывая, что ЭОП обеспечивает коэффициент преобразования 30000, ОНВ работают при освещенности до $1 \cdot 10^3$ лк. Исследования показали, что большинство задач, выполняемых ночью, могут решаться при использовании монокулярных ОНВ.

Новый прицельный комплекс.

*Добровольский Ю.А., Коцавцев Н.Ф.,
Федотова С.Ф., Шустов Н.М.
ГУДП СКБ ТНВ, Москва.*

Наиболее эффективным средством ведения боевых действий ночью является прицельный комплекс, состоящий из очков ночного видения (ОНВ) и лазерного целеуказателя (ЦЛ) устанавливаемого на оружии. Эффективность ведения прицельной стрельбы по любым целям на дальности действия прямого выстрела (200-250 м) без введения балли-

стических поправок эффективней, чем стрельба при использовании только очков или даже специализированного ночного прицела практически в 2 раза. При этом нет необходимости осуществлять классическое прицеливание, а, следовательно, и проводить обучение стрелка. Прицельную стрельбу можно вести с любого положения (лежа, с колена, стоя, в движении). С обычным прицелом и при использовании только ОНВ прицельную стрельбу в движении вести невозможно, а с других положений требуется достаточно большое время на прицеливание. Учитывая, что ОНВ крепятся на голове, а ЦЛ на оружии, одним из требований к этим устройствам является их небольшая масса.

В настоящее время на оснащении армии находятся прицельный комплекс, в состав которого входят ОНВ (поле зрения 38° , масса 0,8 кг) и ЦЛ (масса 650г). Нами был разработан прицельный комплекс с существенно более высокими эксплуатационными характеристиками, включающий ОНВ с полем зрения 44° и массой 0,46кг и ЦЛ с массой 300г. Особенностью нового прицельного комплекса является существенное улучшение эксплуатационных характеристик ОНВ за счет введения диоптрийной наводки отдельно для каждого глаза оператора и исключения установки по базе глаз за счет использования окуляров с большими зрачками. Анализ антропометрических данных и проведенные испытания показали, что при диаметре выходного зрачка окуляра 10 мм у 90 % операторов нет необходимости в регулировке межзрачкового расстояния. При диаметре выходного зрачка 11,5 мм этот процент возрастает до 95%.

Дальность действия нового прицельного комплекса соответствует существующему на вооружении.

Высокочувствительные гибридные приборы видимого, УФ и ближнего ИК диапазонов.

*Суриков И.Н., Венедиктов Н.Я., Минкин В.А.,¹ Пахомов М.Т.
ЦНИИ "Электрон", Санкт-Петербург
¹НИИИЭП, Москва.*

Успехи микроэлектроники в области фоточувствительных приборов с переносом заряда (ФППЗ), усиления фотонного потока с помощью усилителей яркости (УЯ) с микроканальными пластинами позволило создать серию новых высокочувствительных гибридных приборов третьего поколения видимого, УФ и ближнего ИК диапазонов. Эти приборы имеют значительно меньшие габариты, массу и энергопотребление. Использование принципа считывания с помощью переноса заряда снижает инерционность и повышает разрешающую способность при передаче движущихся объектов, а также повышает стабильность растра и снижает геометрические искажения.

После краткого анализа состояния и перспектив развития высокочувствительных гибридных приборов приводятся основные парамет-

ры некоторых зарубежных и отечественных приборов третьего поколения.

Особое внимание уделено способу сочленения ФППЗ с УЯ и требованиям к УЯ и ФППЗ для получения максимальной чувствительности гибридного прибора. Рассмотрены особенности сочленения с помощью промежуточной оптики, фокона и волоконно-оптического диска. Показано, что использование прямого сочленения крупноформатных матриц через диск позволяет повысить разрешающую способность, световой диапазон и контрастную чувствительность гибридного прибора.

Подробно рассматриваются данные некоторых моделей гибридных приборов для различных областей спектра и с различными матрицами ФППЗ (см. таблицу) и показывается возможность их дальнейшего совершенствования на базе новых ФППЗ и УЯ.

Таблица.

Основные данные гибридных передающих приборов видимого, УФ и ближнего ИК диапазонов.

| Конструктивные особенности и параметры | Тип прибора Э ₁ | Тип прибора Э ₂ | Тип прибора Э ₃ |
|---|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Размер входного изображения, мм | 9,7x12,9 | 6,6x8,8 | 6,6x8,8 |
| Число элементов ФППЗ | 580x760 | 580x520 | 580x520 |
| Тип фотокатода | Многощел. | Многощел. | Бищелочн. |
| Спектральный диапазон чувствительности, мкм | 0,4-0,85 | 0,4-0,85 | 0,25-0,6 |
| Максимум спектральной чувствительности, мкм | 0,6-0,7 | 0,4-0,85 | 0,42-0,48 |
| Разрешающая способность, ТВЛ | 450 | 350 | 350 |
| Пороговая чувствительность, облученность (Вт/эл). | 1×10^{-6} лк | 5×10^{-6} лк | 10^{-13} (Вт/эл) |

Приведены результаты натурных испытаний высокочувствительных камер с гибридными приборами. Показано, что рассмотренные приборы могут найти применение в различных специальных, прикладных и научных системах.

Применение твердотельных преобразователей изображения в технике ночного видения.

*Волков В.Г., Коцавцев Н.Ф., Лелейкин В.И., Чапнин В.А.
ГУДП СКБ ТНВ, Москва.*

В настоящее время наибольшее распространение получили приборы ночного видения (ПНВ) на основе электронно-оптических преобразователей (ЭОП), работающих в области спектра 0,4-0,9 мкм. Однако для создания перспективных ПНВ наиболее целесообразно перейти к

использованию рабочей области спектра 1,4-1,8 мкм. Это позволит в 1,4-1,5 раза повысить контраст в изображении, создаваемом ПНВ, работать в условиях почти на 2 порядка большей естественной ночной освещенности, увеличить на 10-20% обеспеченность освещенностью работу ПНВ ночью в течение года.

Для создания таких ПНВ оптимальным вариантом является применение твердотельных преобразователей изображения (ТПИ), работающих в области спектра 0,4-2 мкм и выполненных на базе системы МДП-жидкий кристалл. В отличие от ЭОП ТПИ - безвакуумный прибор, не требует высоковольтного питания, его устойчивость к воздействию световых помех на несколько порядков выше, чем у ЭОП.

В СКБ ТНВ разработан портативный ПНВ на базе ТПИ. ПНВ имеет увеличение 2 крат, угол поля зрения 27 град., разрешающую способность 15штр/мм и массу 0,6 кг. Приведены схема построения ПНВ, результаты

экспериментов. Показаны пути достижения предельных возможностей ТПИ в интересах развития перспективных ПНВ.

Электронно-лучевые технологии (технические характеристики и внедрение)

Гайдукова И.С., Уваев А.Г., Филачев А.М.

ГП НИИ ЭиИО. Москва

¹ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва

Электронно-ионно-плазменные технологии отнесены Правительством Российской Федерации к числу 17 приоритетных направлений развития науки и техники. Это объясняется как принципиально высокими возможностями этих технологических процессов, так и тем обстоятельством, что позиции российской науки в этом направлении опережают мировой уровень. В связи с этим аналитический обзор электронно-лучевых технологических процессов реализованных на в НПО «Орион» и ГП НИИЭиО на разработанном и внедренном в отечественную промышленность электронно-лучевом технологическом оборудовании представляется весьма актуальным.

В предлагаемой работе подробно представлены принципиальные возможности и технические характеристики технологических процессов размерной обработки электронным лучом таких как перфорация сквозных и глухих отверстий, изготовление прямых сквозных и глухих пазов, резка сверхтвердых, химически чистых и активных материалов, контурная резка тонкостенных элементов, контурное и рельефное гравирование, скрайбирование и резка поверхностных нанесенных слоев. Описаны технологические процессы, разработанные и внедренные в производство в машиностроении, авиационной, радиотехнической промышленности.

Для решения задач микрофотоэлектроники на ЭЛУ типа «Элурс» были реализованы технология получения типовых контактных пластин электронно-лучевым способом, технология формирования микроштырь-

ковой структуры на поверхности деталей теплообменных устройств и ряд других.

Технические параметры и возможность автоматизации электронно-лучевых технологических процессов делают их весьма перспективными в точном приборостроении, микроэлектронике и ряде других производств.

Перспективы применения электронной литографии в производстве изделий микрофотоэлектроники.

¹Балашов Б.Н., ²Васичев Б.Н.

¹Московский государственный институт электроники и математики.

²ГП НИИ ЭиИО, Москва

Основным отличием технологии производства современных изделий микрофотоэлектроники является необходимость формирования трехмерных (непланарных) структур, выполненных из различных полупроводниковых материалов. Проведение технологических операций фотолитографии в этом случае или крайне затруднено, или в принципе невозможно из-за малой глубины резкости оптической системы. Эти технические и технологические трудности наиболее просто можно решить путем применения установок для электронной литографии нового поколения, в которых обеспечивается возможность экспонирования электронным зондом с изменяемым углом падения на мишень и динамической системой подфокусировки. Установки нового типа позволяют в частности проводить экспонирование линий на вертикальных и наклонных поверхностях структуры, на стенках колодцев и канавок и т.д.

Установка для электронной литографии нового типа использует электронно-оптическую систему (ЭОС), формирующую субмикронный электронный зонд с изменяемой геометрией сечения на мишени. Объективная система ЭОС содержит систему формирования подвижного осесимметричного магнитного поля, что позволяет увеличить размер поля экспонирования и изменять угол падения пучка на мишень. Такая система включает в себя основную магнитную систему (магнитную линзу) с каналом большого диаметра и корректоров поля, подключенных к системе управления при помощи цифро-аналоговых преобразователей (ЦАПов). Для формирования подвижного осесимметричного поля в окрестности заданной произвольной, например криволинейной оси симметрии, проходящей в пределах свободного пространства канала магнитной линзы, на основе математической модели вычисляются необходимые значения корректирующих токов, а затем при помощи ЦАПов такие токи подаются в обмотки корректоров поля. В результате магнитное поле, создаваемое обмотками корректоров, компенсирует неосесимметричные компоненты вектора индукции магнитного поля в окрестности заданной оси симметрии поля, формируя, таким образом, подвижное осесимметричное магнитное поле.

Ионный распылитель со встречно-расположенными мишенями.

Гайдукова И.С., Еремин А.П., Смольянинов В.Д., ¹Филачев А.М.

ГП НИИ ЭиИО, Москва

¹ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва

Получение тонких высококачественных металлических, диэлектрических, полупроводниковых и магнитных пленок является одной из актуальных задач технологии изготовления элементов радиоэлектронной аппаратуры, робототехники, вычислительной техники, технических средств связи.

В последние годы для решения этих проблем широко используется метод магнетронного распыления. Настоящая работа посвящена разработке и экспериментальному исследованию магнетронного распылителя нового класса со встречно расположенными мишенями, а также разработке ряда технологических процессов, в том числе нанесения пленок из магнитных материалов.

Конструкция магнитопровода распылителя позволяет менять расстояние между мишенями, которые одновременно являются полюсами магнитной системы и таким образом создается магнитное поле необходимое для концентрации высокоплотной плазмы на поверхности мишени. Мишени оснащены системой водяного охлаждения.

В зависимости от требований и целей технологического процесса подложки располагаются либо по всему периметру разрядного промежутка, или одна - две подложки устанавливаются между мишенями. За один технологический цикл можно нанести покрытие на 10 подложек размером 60x48 мм². Конструкция ионного распылителя позволяет устанавливать его практически в любой вакуумной установке. Экспериментальные исследования разработанного ионного распылителя показали эффективность его использования для получения тонкопленочных покрытий различного назначения из металлов, диэлектриков, сплавов и магнитных материалов, что представляет особый интерес. Проведенные исследования позволили найти зависимость коэрцитивной силы напыляемых магнитных пленок от условий напыления. Исследования дефектности показали высокое качество нанесенных магнитных пленок.

Вакуумная установка для травления плёнок потоками заряженных частиц.

Еремин А.П., Смольянинов В.Д., ¹Филачев А.М.

ГП НИИ ЭиИО, Москва.

¹ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва

Установка предназначена для ионного травления тонкопленочных покрытий, ионной очистки перед напылением, модификации поверхности материалов и элементов устройств в высоком вакууме.

Установка позволяет производить травление стальных пленок толщиной до 1,5 мкм на подложках размером 48x 60 мм или пластинах диаметром 76 мм. Ионное травление 72 подложек, расположенных на

охлаждаемом водой вращающемся барабане, производится с помощью двух ионных источников "Ион-4". Наличие холодного катода в ионных источниках позволяет использовать в качестве рабочего газа не только инертные, но и активные газы. Применение нейтрализатора заряда ионного пучка позволяет обрабатывать поверхности диэлектриков.

При создании установки применены принципиально новые технические решения по обеспечению равномерности распределения ионного пучка на большой поверхности, что обеспечило равномерность травления пленок в пределах $\pm 5\%$ и воспроизводимость параметров технологического процесса.

Направленный пучок ионов позволяет производить травление различных материалов на подложках практически из любых материалов с большой селективностью.

Вводя в плазму реактивные газы (O_2 , CF_4 и другие) возможно, увеличить скорость травления и селективность в несколько раз по сравнению с традиционной обработкой ионизированным аргоном.

В работе приводится описание и технические характеристики установки, конструкция которой позволяет без больших затрат переходить к изменению или расширению номенклатуры технологических процессов и обрабатываемых изделий.

Моделирование иммерсионного объектива технологической фотоэмиссионной установки, предназначенной для исследования и контроля эмиссионных характеристик полупроводниковых материалов, используемых в микрофотоэлектронике.

Васичев Б.Н., Розенфельд Л.Б., Михальцов Е.П.

ГП НИИ ЭиИО, Москва

Электронно-микроскопические исследования, проводимые с помощью фотоэмиссионного электронного микроскопа, позволяют контролировать основные интегральные и локальные свойства поверхностей, эмитирующих электроны под влиянием облучения светом с разными спектральными характеристиками, *in situ* изучать изменения этих характеристик под влиянием различных факторов, а также визуализировать изменения, происходящие на поверхности при различных технологических операциях. Основное достоинство фотоэмиссионного метода исследования заключается в том, что он является неразрушающим в отличие от многих электронно-микроскопических методов. Этот метод обладает исключительно высокой разрешающей способностью по глубине (несколько ангстрем). Однако существующие электронные фотоэмиссионные микроскопы не позволяют проводить контроль поверхности полупроводниковых пластин стандартных размеров. Кроме того, они обладают недостаточной величиной поля зрения, что ограничивает их технологические возможности.

Электронно-оптические и эксплуатационные характеристики фотоэмиссионной установки для контроля поверхности определяются в пер-

вую очередь конструкцией иммерсионного объектива, осветителя и камеры объектов.

В данной работе описана методика, алгоритм и программное обеспечение для расчета иммерсионных объективов, предназначенных для технологических установок. В численном эксперименте рассмотрено влияние наложения аксиально-симметричных электрических и магнитных полей на аберрации иммерсионного объектива. Конфигурации электродов и магнитопровода иммерсионного объектива оптимизированы с учетом освещения объекта светом в широком телесном угле и обеспечения контроля пластин большого размера.

Получение и свойства гетероструктур $Cd_xHg_{1-x}Te/Cd_{1-y}Zn_yTe$.

Лакеенков В.М., Денисов И.А., Смирнова Н.А., Белов А.Г.,

Белогорохов А.И., Пашкова Н.В.

ГНЦ РФ «ГИРЕДМЕТ», Москва

В работе исследовались эпитаксиальные слои $p-Cd_xHg_{1-x}Te$ ($0,19 \leq X \leq 0,30$), выращенные на подложках $Cd_{1-y}Zn_yTe$ ($0 \leq Y \leq 0,06$) n - и p -типов электропроводности диаметром 20 и 24 мм. Слои $Cd_xHg_{1-x}Te$ толщиной 20-40 мкм были получены методом жидкофазной эпитаксии из раствора-расплава на основе теллура. Для уменьшения концентрации дырок гетероструктуры подвергались отжигу в насыщенных парах ртути при температурах 340-360°C в течение 3-5 часов.

Состав эпитаксиальных слоёв определялся по разработанной нами методике, основанной на измерении спектров пропускания гетероструктур в ближней инфракрасной области при $T = 295K$. Электрофизические измерения проводились по методу Ван-дер-Пау при $T = 295K$ и $77K$ в диапазоне магнитных полей 0,1-1,4 Тл. Совершенство полученных слоёв контролировалось металлографическими и рентгеновскими методами. Путём послойного стравливания тонких слоёв материала изучено распределение состава и электрофизических параметров по толщине эпитаксиального слоя. Исследовано также распределение электрофизических параметров по площади гетероструктуры.

Полученные эпитаксиальные слои имели электропроводность p -типа с концентрацией дырок при $T=77K$ ($7,0 \times 10^{15} - 3,0 \times 10^{16}$) $см^{-3}$ и подвижностью (450 - 650) $см^2/V \times с$; разброс по составу, X , по площади гетероструктуры составлял 0,002 - 0,005. Включения второй фазы и малоугловые границы отсутствовали, плотность дислокаций не превышала $5,0 \times 10^4$ $см^{-2}$. Полуширина кривых качания не превышала 40-50 угловых секунд.

Проведены теоретические оценки вклада подложки в электрофизические параметры всей гетероструктуры. Показано, что при анализе данных гальваномагнитных измерений влияние подложки можно не учитывать из-за наличия вблизи гетерогранице потенциального барьера, «развязывающего» слой и подложку по току. Проанализирована зависимость коэффициента Холла от индукции магнитного поля, $R(B)$, при

$T=77\text{K}$ при наличии трёх типов свободных носителей заряда: электронов, лёгких и тяжёлых дырок. Показано, что с помощью компьютерной подгонки, варьируя значения концентраций и подвижностей свободных носителей заряда, можно добиться удовлетворительного согласия результатов расчёта с экспериментальными данными. Оценены погрешности определения значений концентрации и подвижности свободных носителей заряда, возникающие при использовании упрощённых соотношений. Установлено, что пренебрежение вкладом в $R(B)$ от электронов и лёгких дырок приводит к погрешностям в определении концентрации и подвижности тяжёлых дырок, не превышающим 20%.

Осаждение из паров металлоорганических соединений и ртути эпитаксиальных слоев $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ на подложках из арсенида галлия.

Девярых Г.Г., Моисеев А.Н., Котков А.П., Дорофеев В.В.

Институт химии высокочистых веществ РАН., Н.Новгород.

Осаждение проводили в вертикальном кварцевом реакторе с внешним резистивным нагревателем при давлении 0,2 атм. в потоке очищенного водорода. В качестве исходных реагентов использовали высокочистые диметилкадмий (ДМК), диэтилтеллур (ДЭТ), диизопропилтеллур (ДиПТ) и ртуть марки Р 10-6. Рост слоев $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ (КРТ) осуществляли послойным осаждением тонких чередующихся слоев CdTe и HgTe с перемешиванием их за счет взаимной диффузии (ИМР-методика).

Подложками служили пластины полуизолирующего арсенида галлия с ориентацией (111)В и $(100)2-4^\circ \rightarrow \langle 110 \rangle$, которые располагались на вращающемся графитовом пьедестале.

Осаждение КРТ вели на предварительно выращенном в этом же реакторе буферном слое CdTe (~3мкм) при 350°C и парциальном давлении МОС $10^{-5}-10^{-3}$ атм, ртути $(3-7)\times 10^{-2}$ атм. При использовании системы ДМК+ДЭТ+Hg для обеспечения приемлемой скорости осаждения рост подслоя HgTe осуществляли при меньшем потоке и температуре зоны предкрекинга $\sim 380^\circ\text{C}$, подслоя CdTe - при большем потоке и минимальной температуре зоны предкрекинга ($\sim 300^\circ\text{C}$). Замена ДЭТ на ДиПТ позволила заметно повысить скорость роста HgTe и отказаться от термодублирования зоны предкрекинга.

Слои as-grown КРТ имели n-тип проводимости, концентрацию и подвижность носителей заряда для $x \approx 0.2$: $n_{77} = 10^{15}-10^{16} \text{ см}^{-3}$, $\mu_{77} = (20-50)\times 10^3 \text{ см}^2/\text{вкс}$, после отжига слоев в парах ртути (220°C , ~10 часов): $n_{77} = (1-3)\times 10^{15} \text{ см}^{-3}$, $\mu_{77} = (60-90)\times 10^3 \text{ см}^2/\text{вкс}$. Неоднородность состава слоев КРТ составила $\Delta x = \pm 0,005$ на $\sim 4 \text{ см}^2$, полуширина кривой качания рентгеновской дифракции 2-5 угл. мин.

Перспективный метод получения эпитаксиальных плёнок и р-п структур в сверхвысоком вакууме.

Нуриев И.Р., Ахмедов Э.А., Салаев Э.Ю., Абдуллаев М.И.

Институт фотоэлектроники АН Азербайджанской Республики, Баку.

Разработана оригинальная методика получения эпитаксиальных пленок полупроводников типа A^4B^6 и р-п структур на их основе в сверхвысоком вакууме методом "горячей стенки".

Предлагаемая методика реализована на совершенно новой установке впервые созданной и внедренной в Институте Фотоэлектроники АН Азербайджана. Определены условия выращивания эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Sn_xTe$ ($x=0,2$) и $PbTe_{1-y}Se_y$ ($y=0.08$) в сверхвысоком вакууме и установлены закономерности их роста на различных подложках.

С целью увеличения подвижности носителей заряда и улучшения структурного совершенства пленок был использован дополнительный компенсирующий источник паров халькогена. Кристаллическая структура полученных эпитаксиальных пленок и р-п структур исследовались электронографическим, электронно-микроскопическими и рентгенодифрактометрическими методами. Получены изопериодические гетероструктуры р- $Pb_{1-x}Sn_xTe$ ($x=0,2$) - п - $PbTe_{1-y}Se_y$ ($y=0.08$).

На полученных гетероструктурах изготовлены фоточувствительные элементы с параметрами: $R_{\circ A}=0.6-0.8 \text{ Ом.см}^2$; $\lambda=10,5 \text{ мкм}$.

Информационное обеспечение разработок технологии нанесения тонких пленок в вакууме.

Панфилов Ю.В.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

На основе классификации методов нанесения тонких пленок в вакууме [1] и элементов вакуумного технологического оборудования [2,3,4,], материалов научно-технических конференций и симпозиумов на последние 20 лет, проспектов и других информационных материалов отечественных организаций и зарубежных компаний создан комплект баз данных, связывающих информацию о тонкопленочных материалах, свойствах и характеристиках покрытий, условиях и режимах их нанесения и последующей обработки, материалах и размерах подложек и их предварительной обработке, контролируемых параметрах и средствах измерения. Кроме того, в базах данных содержатся сведения об оборудовании для нанесения тонких пленок в вакууме, его структуре и компоновке, электронных, ионных, плазменных и других источниках нанесения пленок, элементах вакуумных систем, а также, о действующих заводах-изготовителях и научно-исследовательских коллективах.

Оригинальность разработанного комплекта баз данных заключается в том, что анализ более 1200 докладов, представленных на научно-технических конференциях по технологии и оборудованию для нанесе-

ния тонких пленок в вакууме, микроэлектронике и близким к этим тема- тикам позволил:

1. Выявить некоторые закономерности или взаимосвязи, которые трудно получить экспериментально, например, между температу- рой подложки и давлением остаточных газов в сверхвысоковаку- умной среде при осаждении монокристаллических пленок;
2. Значительно сократить подготовку и проведение эксперимен- тальных исследований за счет выявления аналогов с требуемы- ми или близкими условиями и режимами;
3. Установить деловые контакты со специалистами в области тех- нологии и оборудования для нанесения тонких пленок в вакууме, инженерии поверхности, контроля и диагностики свойств и харак- теристик тонкопленочных покрытий, а также получить информа- цию о реально существующих производствах, разработанных ими технологиях и оборудовании, выпускаемых товарах и оказы- ваемых услугах..

Литература.

1. Ковалев Л.К., Панфилов Ю.В. Методы нанесения тонких пленок в ва- кууме // Справочник. Инженерный журнал.1997.№ 3.С.20-28.
2. Панфилов Ю.В., Рябов В.Т., Цветков Ю.Б. Оборудование производ- ства интегральных микросхем и промышленные роботы.// М. Радио и связь., 1988.С.320.
3. Минайчев В.Е., Панфилов Ю.В. Вакуумные насосы: базы данных // Справочник. Инженерный журнал. 1997.С. 21-26.
4. Панфилов Ю.В., Курбатов О.К., Буравцев А.Т. Вакуумные клапа- ны,затворы, регуляторы давления и расхода газа: базы данных // Спра- вочник., Инженерный журнал.1998. № 5 (14). С. 26-36.

Высококчувствительный матричный ФППЗ с числом элементов 780x580 для систем ночного видения.

Забродская В.П., Тимофеев В.О.

ЦНИИ "Электрон", Санкт-Петербург.

Представляем основные технические характеристики высоко- чувствительного ФППЗ с кадровым переносом заряда для видимого и ближнего ИК диапазонов. Прибор содержит секцию накопления (СН) с высокой эффективностью, секцию памяти, выходной регистр, обеспечи- вающий перенос заряда на частоте 15 Мгц при размахе управляющих импульсов не более 5 - 8 В и два симметричных выходных узла, необхо- димые для эффективного подавления тактовой помехи сброса во внешнем дифференциальном усилителе. Вы- чтение тактовой помехи позволяет реализовать высокое предваритель- ное усиление перед схемой ДКВ для снижения вклада собственных шу- мов ДКВ при работе с малыми зарядовыми пакетами.

Основные характеристики проектируемого ФППЗ:

| | |
|--------------------------|---------------------------------|
| Размер секции накопления | 13,06x9,79мм (соответствует 1") |
| Число элементов | СН - 768x288,СП - 768x288 |

Размер фоточувствительного элемента СН-17(Г)х34(В)мкм,СП-17(Г)х21(В)мкм

| | |
|---|----------------------------|
| Fill - фактор по открытой от поликремния области | 40% |
| Заряд, соответствующий полной яме | 170000e |
| Шум считывания на частоте 15мгц с двойной коррелированной выборкой | 10 e (СКО) |
| Темновой ток при - 30° С, не более | 30 e/эл-т/сек |
| Напряжение насыщения, не менее | 650мВ |
| Интегральная чувствительность, не менее | 400 мВ/лк |
| Монохроматическая чувствительность на $\lambda=0,67\mu\text{м}$, не менее | 15 В/см ² мк Дж |
| Пороговая освещенность от источника типа "А" при отношении сигнал/шум = 1, не более | 10 ⁻⁴ лк |
| Относительная СК неравномерность чувствительности по полю, не более | 2,5% |
| Относительная СК неравномерность чувствительности между 2-мя соседними элементами, не более | 1% |
| Напряжение темнового сигнала, не более | 10 ⁻⁵ |
| $U_{\text{нас}}$ | |
| Неэффективность переноса заряда в диапазоне (0,001 - 0,9) $U_{\text{нас}}$, не более | 0,007 |

Созданная на основе прибора с приведенными техническими характеристиками телевизионная камера должна обеспечить при использовании объектива со светосилой 1:1,0 и освещенностью на местности 0,01лк отношение сигнал/шум около 10, т.е. порог чувствительности при $S/N = 1 \cdot 10^{-3}$ лк.

С целью дальнейшего повышения чувствительности нам представляется целесообразным создание гибридной камеры, состоящей из ЭОПа с катодом на основе арсенида галлия без применения МКП и описанного выше ФППЗ, путем стыковки через стекловолоконную оптическую систему.

Ожидаемый порог чувствительности на местности при $S/N = 1$ не хуже 10^{-6} лк.

Новые планарные ИК матрицы на основе InSb.

*Морозов В.А., Осипов В.В., Селяков А.Ю., Таубкин И.И.
ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва.*

К сегодняшнему дню смотрящие матрицы ИК диапазона, обладающие предельно высокими пороговыми характеристиками, разработаны только в гибридном варианте на основе InSb и CdHgTe фотодиодов. В таких матрицах фоточувствительные элементы соединяются с кремниевой микросхемой обработки фотосигнала посредством индиевых столбиков. Пороговые характеристики планарных матриц на PtSi фотодиодов Шоттки и микроболметров, так же как и гибридных матриц на основе GaAs/AlGaAs квантово-размерных гетероструктур, существенно ниже теоретического предела. Мы рассматриваем физику рабо-

ты и основные параметры предложенной и изготовленной нами планарной ИК матрицы нового типа InSb. В отличие от фото -ПЗИ и ПЗС в такой матрице не используется перенос фотоносителей между пространственно-разнесенными электродами вдоль границы раздела полупроводник -диэлектрик, а в отличие от гибридных матриц в ней не используются индиевые столбики. Рассматриваемая матрица характеризуется высокими параметрами, а её архитектура крайне проста. В такой матрице фотодетекторы и элементы обработки фотосигнала формируются на единой InSb подложке, таким образом, каждая фоточувствительная ячейка матрицы представляет собой *новый полупроводниковый прибор, реализующий все основные функции: детектирование ИК излучения, накопление фотосигнала и его считывание.*

Разработаны математические модели режимов накопления и считывания рассматриваемой матрицы, проанализированы её фотоэлектрические и пороговые характеристики, а также найдены оптимальные параметры, при которых пороговые характеристики близки к теоретическому пределу. Представлены результаты экспериментального исследования изготовленных нами матриц форматом 64x64 и 128x128. Время накопления фотосигнала в них превышает 300мкс, поэтому, как показывают расчеты, рассматриваемая матрица может работать в VLIP режиме вплоть до формата 512x512. Матрицы подобного типа могут быть изготовлены и в гибридном варианте, при этом время накопления фотосигнала в них может достигать величины порядка постоянной времени человеческого глаза, а VLIP режим может реализоваться вплоть до формата 1024x1024.

Схемотехника многоэлементных фотоприёмных устройств на основе фоторезистивных слоёв из халькогенидов свинца.

Бочков В.Д. , Храпунов М.Л.

ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва.

В настоящее время активно ведутся работы по созданию многоканальных фотоприёмных устройств, работающих в области спектра (345)мкм , выполненных на основе высокочувствительных охлаждаемых гибридных фотомодулей (ФМ), состоящих из многоэлементного фоточувствительного элемента (ФЧЭ), мультиплексоров и устройства охлаждения (например, ТЭО) .

Применение таких ФМ позволит улучшить весогабаритные показатели оптико - электронной аппаратуры уменьшить потребляемую мощность , снизить стоимость и трудоемкость изготовления ФПУ .

Коммутация сигналов в ФМ осуществляется при помощи бескорпусных БИС мультиплексоров с предусилителями на входах.

Для достижения предельных пороговых характеристик таких фотомодулей параметры ФЧЭ и мультиплексоров должны быть взаимно согласованы.

Настоящая работа посвящена:

- исследованию мультиплексоров, с целью их оптимального сопря-

жения с 128 - элементным фоторезистором из PbSe ;

- определению требований к параметрам фоторезистора и мультиплексора, обеспечивающих реализацию обнаружительной способности фотомодуля при $t_{\text{фр}} = \text{минус } 80^{\circ} \text{C}$, $(D \cdot \lambda_{\text{max}}) \Phi \text{М} > 2 \times 10^{10} \text{Вт}^{-1} \text{См} \text{Гц}^{1/2}$.

В работе приведены результаты расчетных и экспериментальных исследований мультиплексоров и ФПУ, а также проведена оценка перспектив их применения в оптико - электронной аппаратуре.

Новая серия матричных ФППЗ видимого и ближнего ИК диапазона с эффективным антиблужингом и электронным затвором.

Тимофеев В.О.

ЦНИИ "Электрон", Санкт-Петербург.

В докладе приводятся результаты исследований и разработок в области создания матричных ФППЗ с горизонтальным антиблужингом, обладающих способностью подавлять расплывание изображения при локальных пересветках с кратностью до 3000 раз. Приборы обладают чувствительностью в видимой и ближней ИК областях спектра и позволяют управлять временем накопления заряда в диапазоне 0,1-20 мсек. с помощью встроенного электронного затвора.

Разработанные приборы характеризуются высокими чувствительностью и пространственным разрешением, низким уровнем шумов считывания и малой неравномерностью видеосигнала.

Ниже приведены основные параметры и характеристики представляемых приборов:

| | ISD34MD | ISD35MD | "Калипсо" | "Лидер" |
|---|---------|---------|-----------|-----------|
| Формат | 1/2 | 2/3 | 1 | 11.8x11,8 |
| Число элементов (ГхВ) | 512x580 | 768x580 | 1024x1160 | 512x512 |
| Размер эл-та (ГхВ) | 13x17 | 13x26 | 13x17 | 23x23 |
| Типовая интегральная чувствительность, мВ/лк | | 75 | 50 | 120 |
| Освещенность насыщения, лк | 15 | 15 | 15 | 15 |
| Динамический диапазон, dB (с двойной коррелированной выборкой). | 80 | 80 | 70 | 90 |

Первые три прибора предназначены для построения тепловизионных систем стандартного телевизионного режима, работающих в условиях естественной освещенности, прибор "Лидер-1" в основном предназначен для построения систем астроориентации. В докладе сообщается необходимая дополнительная информация.

В целом в работе приводятся экспериментальные результаты по использованию приборов в телевизионных системах, а также описывается специально разработанный комплекс БИС, необходимый для управления приборами.

Новая серия 9-ти микронных матричных ФППЗ для радиационностойких телевизионных систем.

Тимофеев В.О.

ЦНИИ "Электрон", Санкт-Петербург.

В докладе приводятся результаты исследований и разработок в области создания матричных одно и двухсекционных ФППЗ чувствительных в видимой и ближней ИК областях спектра, предназначенных для использования в малогабаритных замкнутых телевизионных системах стандартного телевизионного режима, обладающих радиационной стойкостью вплоть до $2 \cdot 10^5$ Рад от Co^{60} .

Разработанные приборы характеризуются высокой чувствительностью и хорошим пространственным разрешением, низким уровнем шумов и малой неравномерностью видеосигнала.

Ниже приведены основные параметры и характеристики представляемых приборов:

| | ISD33M | ISD36MD | ISD30MD | ISD31 MD | ISD23MD |
|--|-------------|---------|---------|-------------|---------------|
| Формат | 1/6 | 1/3 | 1/3 | 1/2 | 2/3 |
| Число элементов (ГхВ) | 256x14 5 | 512x290 | 512x280 | 768x5 80 | 1024x116 0 |
| Размер эл-та (ГхВ) | 9x12 | 9x12 | 9x12 | 9x18 | 9x9 |
| Типовая интегральная чувствительность, мВ/лк | 50 | 50 | 50 | 75 | 40 |
| Освещенность насыщения, лк | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Динамический диапазон, дВ (с двойной коррелированной выборкой) | 80 | 80 | 80 | 80 | 70 |

В приборах приняты меры для унификации электрических режимов работы, в частности амплитуды управляющих импульсов выходных регистров с частотой 50-20МГц не превышают 8,0В, а амплитуды импульсов вертикального переноса 10В.

Постоянные управляющие напряжения для приборов находятся в диапазоне 0-18 В.

В работе приводятся дополнительные экспериментальные результаты, полученные при испытаниях замкнутых телевизионных систем в условиях радиационного воздействия.

Сверхвысокочувствительный одноэлементный фотоприемник на основе фотодиода с ПЗС - ым считыванием заряда.

Тимофеев В.О.

ЦНИИ "Электрон", Санкт-Петербург.

Точное измерение облученности, начиная с уровней $5 \cdot 10^{-13} - 10^{-12}$ Вт/см² в диапазоне длин волн 0,2 - 1,1 мкм является в настоящее время трудноразрешимой задачей, особенно в том случае, когда площадь облучаемой поверхности не превышает несколько квадратных миллиметров. Очевидно, что наилучшим одноэлементным приемником излучения для решения этой задачи является кремниевый фотодиод с хорошим антиотражающим покрытием, обладающий квантовым выходом до 70-90% в максимуме спектральной характеристики и включенный в режиме короткого замыкания, т.е. нагруженный на усилитель тока или стробируемый интегратор. Однако, схемная реализация измерителя облученности, основанного на прямом измерении фототока со значениями порядка 0,1 пА, существенно ограничивается низким соотношением сигнал/шум, свойственным данной операции.

В докладе сообщается о разработке охлаждаемого одноэлементного фотодиодного приемника (ФДП), работающего по принципу фоточувствительных приборов с переносом заряда (ФППЗ) и реализующего следующую последовательность операций:

1. накопление в потенциальной яме фотогенерированных при постоянном смещении на фотодиоде электронов;
2. сброс фотоэлектронов в узел преобразования заряд напряжение с коэффициентом преобразования 1-1,5 мкВ/электрон, с выходным сопротивлением 3 Ком;
3. выполнение двойной коррелированной выборки выходного сигнала с помощью внешней схемы управления.

С целью дополнительного снижения темнового сигнала ФДП в конструкции кристалла применены охранные кольца сложной структуры. Прибор выполнен по одноуровневой поликремниевой технологии.

Основные параметры разработанного приемника:

- площадь фотодиодов $5,0 \text{ мм}^2$;
- монохроматическая чувствительность на длине волны 0,67 мкм составляет $(6-10) \cdot 10 \text{ В} \cdot \text{см}^2 / \text{мкДж}$ (для источника с $T_{\text{цв}} = 2856 \text{ К}$ ориентировочное значение интегральной чувствительности $5 \cdot 10^5 \text{ В/лк} \cdot \text{с}$);
- время накопления заряда $0,001 - 1000 \text{ мс}$;
- диапазон спектральной чувствительности (по уровню 0,1) $0,25 - 1,08 \text{ мкм}$;
- рабочая температура кристалла фотоприемника - $30 \pm 0,1^\circ \text{C}$ в нормальных внешних условиях.

Для расширения динамического диапазона в сторону измерения больших облученностей ФДП содержит узел снижения коэффициента преобразования заряд напряжение в 10^3 раз.

Специализированные инфракрасные ПЗС матрицы с барьерами Шоттки 1,2-5,5 мкм с числом элементов 512x512.

Арутюнов В.А., Богатыренко Н.Г., Прокофьев А.Е.

ЦНИИ "Электрон", Санкт-Петербург.

В ЦНИИ "Электрон" в рамках ОКР "Картуз-2" разработана и изготовлена большеформатная матрица 512x512 элементов по стандартной ПЗС - технологии с детекторами на основе селенида платины и проведены исследования ее основных характеристик. Матрица состоит из двух модулей размером 512 (V)x256 (H), изготавливаемых на одном кристалле, и характеризуется следующими параметрами: шаг детекторов по горизонтали - 40мкм, шаг детекторов по вертикали - 30мкм, частота работы горизонтального регистра ≤ 5 МГц, частота работы вертикального регистра ≤ 15 КГц, коэффициент заполнения $\sim 33\%$, время накопления - 40 мс, частота кадров 25 кадров/с, чувствительность $1,6 \cdot 10^9$ В/Вт/элемент в диапазоне 3-5 мкм. Каждый модуль имеет независимое управление и выход видеосигнала. Таким образом, в камере может быть использована как вся матрица с общим числом элементов 512x512, так и любой из модулей с числом элементов 512(H)x256(V) обеспечивая панорамный формат фокальной плоскости.

Разбиение фокальной плоскости на два независимых модуля позволило оптимизировать временные параметры управляющих напряжений, тепловыделение и зарядовую емкость детекторов.

Анализ применения такого подхода к проектированию показал возможность создания ПЗС матриц с общим число элементов 10^6 с размером фокальной плоскости 40x40 мм без нарушения шага между детекторами по всей фокальной плоскости. Обсуждаются особенности применения матриц данного класса в традиционных и специализированных (в частности, в панорамах) системах тепловидения, а также их новые качества, базирующиеся на эффекте накопления заряда на детекторах.

Приповерхностные варизонные слои с малым градиентом состава как факторы эффективного подавления поверхностной рекомбинации в пороговых ИК-фотоприёмниках на основе CdHgTe.

Другова А.А., Холоднов В.А.

ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион»

CdHgTe образцы n-типа, размер которых по свету меньше диффузионной длины дырок, используются для создания пороговых фоторезисторов на длину волны 8-12 мкм и 3-5 мкм. Нами показано, что приповерхностные варизонные слои могут обеспечить предельную фотомодуляцию (отвечающую отсутствию поверхностной рекомбинации) проводимости таких образцов. Это обусловлено формированием такого распределения фотоносителей, которое препятствует их диффузии к поверхностям даже при малых варизонных полях $E < 1$ В/см. Поэтому количество дефектов в варизонных слоях можно сократить, уменьшая мольный градиент.

Особенности спектральных характеристик пороговых ИК-фоторезисторов на основе CdHgTe гетероэпитаксиальных структур с неоднородным профилем приповерхностного варизонного поля.

*Другова А.А., Холоднов В.А.
ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва.*

Проведен теоретический анализ влияния профиля приповерхностного варизонного поля на спектральную характеристику фотопроводимости $S(\lambda)$. Предложена физическая модель, объясняющая крупномасштабные вертикальные провалы в экспериментальных зависимостях $S(\lambda)$ молекулярно-лучевых гетероэпитаксиальных CdHgTe структур, наблюдавшиеся в интервале длин волн 3-12 мкм. Основа модели - наличие гомогенных участков в приповерхностных варизонных слоях. Сравнение результатов расчета с экспериментальными данными показало, что измерение $S(\lambda)$ позволяет контролировать мольный состав приповерхностного варизонного слоя.

О возможности объяснения аномальной зависимости шум-фактор от коэффициента размножения носителей в лавинных фотодиодах на основе гетероструктур с широкозонным слоем за счёт задержки носителей на гетерогранице.

*Курочкин Н.Е., Холоднов В.А.
ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва.*

Предложена модель для объяснения экспериментально наблюдавшегося в работах [1-3], противоречащего, казалось бы, самой физике лавинного размножения носителей, эффекта: падения лавинного шум-фактора при больших значениях коэффициента размножения носителей M с ростом M в лавинных фотоприемниках на основе гетероструктур кремний-широкозонный слой.

Основа модели - задержка носителей на некоторое время вблизи гетерогранице за счет захвата их либо в приповерхностную потенциальную яму (например, такая яма есть в SiO_2/Si [1] и TiO_2/Si [2]), либо на поверхностные состояния.

Результаты расчета численно согласуются с экспериментальными данными [1-3].

Литература.

- [1] Бурбаев Т.М., Кравченко В.В., Курбатов В. А., Щубин В.Э. // Краткие сообщения по физике, 1990, № 4, С. 19-21.
- [2] Болтаев А.П., Бурбаев Т.М., Калюжная Г.А. и др.// ФТП, 1995, Т.29, №7, С. 1220-1225.
- [3] Bacchetta N., Bisello D., Sadygov Z/ et. al.// Nucl. Instr. And Meth. In Phys. Res.(A), 1997, V. 387, №1-2, P. 225-230.

Влияние широкозонной части р-п перехода на протекание в нём процесса лавинного размножения носителей.

Курочкин Н.Е., Холоднов В.А.

ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва

В приближении Шокли и Вольфа (предельные случаи слабого и сильного полей [1]) показано, что даже при большом отличии ширины запрещенных зон узкозонного (У) и широкозонного (Ш) слоев при анализе лавинного фотоусиления в р-п гетеропереходе часто нельзя пренебрегать размножением носителей в Ш-части. Причины: 1. Приобретение носителями энергии за счет скачка энергетических зон на гетерогранице (ГГ). 2. Диэлектрическая проницаемость Ш-слоя обычно меньше, чем У-слоя, поэтому на ГГ поле в Ш-слое больше, чем в У-слое. 3. Должна сказываться [1-3] разница в уровнях легирования Ш - и У-слоев.

Литература.

1. Техника оптической связи, под ред. У. Тсанга, Мир, М., 1988.
2. В.А. Холоднов //ФТП, 1996, Т. 30, № 6, С. 53-55.
- В.А. Холоднов //Оптический журнал, 1996, № 6, С. 53-55.

Пороговые характеристики ИК фотодиодной матрицы с накоплением сигнала на терморезисторах.

Серебрянников П.С.

ГУП НПО ГУП «НПО «Орион», Москва

Использовать терморезистор как накопительный элемент было предложено в [1]. Анализ, проведенный в настоящей работе показал, что возможность выхода на времена накопления порядка времени кадра или иначе улучшения отношения с/ш в $\approx \sqrt{M}$ раз по сравнению со случаем без накопления; M - число элементов в матрице) возможно лишь при большом значении усиления (коэффициента преобразования) G . Величина G определяется как отношение изменения опросного тока терморезистора к изменению тока диода и равна $2I_p R I_0 \alpha_{tr} R_T$. Здесь: I_p - обратный ток фотодиода, определяемый фоном, I_0 - опросный ток терморезистора, R - его сопротивление, R_T - тепловое сопротивление терморезистора [K^0/W], α_{tr} - температурный коэффициент сопротивления. Увеличение значений I_0, R ограничивается тепловыделением при опросе. При реально достижимых параметрах по R_T, α_{tr} [2] пороговые характеристики ИК фотодиодной матрицы с накоплением сигнала на терморезисторах определяются следующими величинами:

$$NETD=0.012^0 \quad (G=3.45)$$

Пороговая мощность при приеме монохроматического излучения ($\lambda = 10$ мкм):

$$P_{пор} = 0.65 \cdot 10^{-11} \text{ Вт}$$

Параметры расчета: $A=40 \cdot 40 \text{ мкм}^2$ - площадь элемента, оптика $F/1.0$, спектральный диапазон фотодиода $\lambda = 8 - 14 \text{ мкм}$, температура фотодиода и терморезистора 77^0 К , температура фона 293^0 К , $\alpha_{TK}=0.1 \text{ 1/К}^0$, $R_T=10^7 \text{ К}^0/\text{Вт}$, $R=5 \cdot 10^5 \text{ ом}$, $I_0=10^{-5} \text{ А}$, $M=340 \cdot 240=8.16 \cdot 10^4$, $T_k=3.3 \cdot 10^{-2} \text{ с}$ - время кадра (30 кадров в 1с).

Та же матрица без накопления имеет $\text{NETD}=0.148^0$, пороговая мощность $8.1 \cdot 10^{-11} \text{ Вт}$ ($\lambda = 10 \text{ мкм}$); с накоплением на емкости (10^7 электронов) $\text{NETD}=0.031^0$, пороговая мощность $1.7 \cdot 10^{-11} \text{ Вт}$ ($\lambda = 10 \text{ мкм}$). Пороговые характеристики ИК фотодиодной матрицы с накоплением сигнала на терморезисторах, по-видимому, могут быть значительно улучшены при применении в качестве терморезистора сверхпроводника, имеющего переход в сверхпроводящее состояние при 77^0 К .

Литература.

[1] Таубкин И.И., Трищенко М.А., Эскин Ю.М., Стафеев В.И. // Патент № 2084990 « Фоточувствительная матрица», с приоритетом от 26.04.94г.

[2] Wood R.A. // SPIE , 1993, v. 2022, p. 322-329.

Характер зависимости усиления в пороговом собственном фоторезисторе от концентрации двухуровневой рекомбинационной примеси.

*Серебренников П.С., Холоднов В.А.
ГНЦ РФ ГУП « НПО «ОРИОН», Москва.*

Возможность подавления эффекта насыщения в фоторезисторах с вытягивающими контактами за счет увеличения концентрации рекомбинационной примеси проанализирована в [1]. В этой работе в приближении одноуровневой рекомбинационной примеси показано, что при N примерно равной концентрации мелких доноров N_D , амбиполярная подвижность μ_a обращается в ноль, что и устраняет насыщение усиления при увеличении приложенного напряжения. В настоящей работе рассмотрена зависимость усиления от концентрации двухуровневой рекомбинационной примеси. Расчет показал, что μ_a обращается в ноль при $N \cong 0.5N_D$, т. е. при том же значении N при котором время жизни электронов $\tau_n(N)$ имеет максимум (случай близкого расположения уровней) [2]. Очень существенно, что μ_a , в отличие от случая одноуровневой рекомбинационной примеси, остается малой в пределах нескольких порядков по N . Например, даже при $N / N_D = 10^{-2}$ отношение $\mu_a / \mu_p \ll 1$, где μ_p - подвижность дырок. Параметры расчета: $N/n_i=10^5$, $\mu_n = 1500 \text{ В/см}^2 \text{ с}$, $\mu_p = 450 \text{ В/см}^2 \text{ с}$, $\varepsilon_{i2} - \varepsilon_{i1} = 5kT$, где μ_n - подвижность электронов, ε_{i2} и ε_{i1} - энергии 1-ого и 2-ого уровней, соотношение между коэффициентами захвата на уровни как в [2]. Малое значение μ_a приводит к существенному увеличению G . При

$N / N_D = 10^{-2}$ в одноуровневой системе $G < 2$, а в двухуровневой $G \approx 10$ (поле $E = 10 \text{ В / см}$, длина образца 0.1 см , $n_i = 1.45 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$, коэффициент захвата дырки на минусодозарядный центр $10^{-6} \text{ см}^3 / \text{с}$. $G = 3000$ при $N = 0.5 N_D$. Малое μ_a при $N \cong 0.5 N_D$ связано с малостью отношения времени жизни дырок $\tau_n \tau_p$ к τ_p при этих концентрациях (всплеск τ_n при $N = 0,5 N_d$, а τ_p при $N = N_d$)[2]. Получено, что в отличие от одноуровневой в двухуровневой системе зависимость $G(N)$ может иметь два максимума и минимума.

Литература.

1. Холоднов В.А., Другова А.А. // Письма в ЖТФ, Т.23, № 2, С. 80-87.
Холоднов В.А., Серебренников П.С. // Письма в ЖТФ, т. 23, № 7, С. 39-45.

Новые трапецеидальные δ -легированные сверхрешётки для детектирования дальнего ИК излучения.

*В.В. Осипов, А.Ю. Селяков
ГНЦ РФ ГУП «НПО «ОРИОН», Москва.*

Предложена сверхрешетка нового типа, которая формируется в монокристаллическом широкозонном невырожденном гомогенном полупроводнике последовательностью пар близкорасположенных донорных и акцепторных δ -легированных слоев. Такая сверхрешетка может быть выращена на основе одного из хорошо известных монокристаллических полупроводников типа InSb, InAs, GaAs и Ge. Энергетическая диаграмма такой сверхрешетки состоит из чередующихся трапецеидальных потенциальных ям n и p типа для электронов и дырок. Показано, что благодаря сверхсильным электрическим полям, образующимся между этими δ -легированными слоями, величина коэффициента электропоглощения ИК излучения близка к коэффициенту межзонного поглощения света и слабо зависит от энергии кванта вплоть до дальнего инфракрасного диапазона. Найдено, что в предложенной трапецеидальной δ -легированной сверхрешетке (ТСР) на основе InSb или InAs может эффективно поглощаться ИК излучение вплоть до 50-100 мкм.

Теоретически изучена излучательная рекомбинация в ТСР, которая определяется оптическими туннельными переходами электронов из состояний вблизи дна n ям в состояния вблизи дна p ям. Получено выражение для скорости такой излучательной рекомбинации и показано, что излучательное время жизни в ТСР за счет эффектов туннелирования и пространственного разделения электронов и дырок может достигать величин порядка 1 мс и слабо зависит от температуры. Поэтому фоторезисторы на основе ТСР могут обладать сверхвысокой фоточувствительностью. Рассчитаны фотоэлектрические и пороговые характеристики фоторезисторов на основе ТСР.

Обоснована перспективность использования ТСП в качестве фоточувствительных и накопительных элементов смотрящих матриц с большим временем накопления фотосигнала на различные спектральные диапазоны.

Результаты разработки гибридных ИК-ПЗС для систем высокого разрешения диапазона 3-5 мкм.

Винецкий Ю.П., Трищенко М.А., Фамицкий В.И., Астахов В.П.

ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва

¹АООТ «Завод Сапфир», Москва

Представлены результаты проектирования и приборной реализации линейных и многорядных-ВЗН гибридных ИК ПЗС с размером элемента 50x50 мкм, работающих при низком уровне фоновой засветки (плоский угол поля зрения $\sim 4^0$). Для указанных систем характерны фоновые токи элемента $\sim 3 \times 10^{-11}$ А и менее, что обуславливает высокие требования ко всем элементам тракта обработки сигнала – темновым токам фоточувствительного элемента, коэффициенту шума входных устройств ПЗС, шуму переноса/считывания. Рассмотрены приборные решения на основе метода прямой токовой инжекции и с предварительным однокристалльным усилителем, позволяющие реализовать заданные требования. Излагаются результаты комплекса работ по моделированию, оптимизации топологии и режимов работы ИК ПЗС, аппаратурному обеспечению и экспериментальные результаты, полученные на лабораторных образцах.

Малогабаритное ФПУ на основе GaP-фотодиода с барьером Шоттки для спектрального диапазона 0,3...0,5 мкм.

Лобиков Ю.В., Кутыманов А.В., Огнева О.В., Трищенко М.А., Хакуашев П.Е.

ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва.

Приводятся данные о конструкции ФПУ и особенностях его изготовления.

Сообщается о принципах схемотехнических решений и особенностях УФ-фотодиода.

Описаны результаты исследований ФПУ, в том числе и экспериментальные характеристики. Сообщаются основные параметры ФПУ.

Матричное фотоприемное устройство на основе InSb форматом 128x128 элементов.

Акимов В.М., Васильков В.Н., Касаткин И.Т., Климанов Е.А., Морозов В.А., Рябова А.А., Чижко В.Ф.

ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва.

Разработана конструкция и изготовлено матричное фотоприемное устройство на область спектра 3–5 мкм на основе антимонида индия. Фоточувствительный элемент представляет собой матрицу фотодиодов, изготовленных ионной имплантацией или диффузией кадмия в пластины n-типа проводимости. Размер фотодиодов 30x30 мкм с шагом 40 мкм. Уменьшение толщины n-области до 20–30 мкм проводилось ме-

ханической и химико-механической полировкой с последующей приклейкой на кремниевую подложку. Обработка сигналов с матрицы фотодиодов проводилась р-канальным МОП-мультиплексором, электрическая и механическая связь с которым осуществлялась при помощи индиевых столбов. Мультиплексор обеспечивал построчное накопление фотосигнала на емкости накопления, передачу его на емкость хранения и вывод видеосигнала с частотой не выше 2 МГц. Охлаждение до температуры $T=80\text{K}$ осуществлялось малогабаритной газовой криогенной машиной типа интегрированный Стирлинг весом 650 г.

Высокочастотные кремниевые фотодиоды для приема излучения в диапазоне спектра 0,6 -1,1 мкм.

*Деготь Ю.М., Забенькин О.Н., Мельникова Т.М., Кульманов А.В.,
Кравченко Н.В., Огнева О.В.
ГНЦ РФ ГУП "НПО "Орион", Москва*

Рассматриваются особенности пригодной к серийному выпуску технологии изготовления и основные фотоэлектрические характеристики одноэлементных и многоэлементных pin-фотодиодов для работы в области спектра 0,8 - 0,9 мкм и для приема импульсного лазерного излучения 1,06 мкм. Диаметр фоточувствительной площадки лежит в пределах от 0,2мм до 14 мкм.

Обсуждаются перспективы изготовления одноэлементных лавинных фотодиодов и линеек с количеством элементов 8-10 для работы в широком спектральном диапазоне 0,6 - 1,1 мкм с коэффициентом умножения от 10 до 100...

Матричное фотоприемное устройство на основе селенида свинца.

*Бочков В.Д., Дразжников Б.Н., Казанцев Г.А., Кафтаненко Э.И., Хрипунов М.Л.
ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва*

Разработано и прошло успешное испытание в составе аппаратуры специального назначения матричное фотоприемное устройство (ФПУ) на основе матрицы из PbSe с X-Y адресацией, фоточувствительные элементы в которой соединены между собой по так называемой "push-pool" схеме.

ФПУ включает фотоприемный блок (ФП) и блок управления (БУ), устанавливаемые непосредственно на оптико-механический блок аппаратуры. В состав ФП входят матрица с термоэлектрическим охладителем и датчиком температуры, устройство предварительной обработки, устройство формирования видеосигнала; в состав БУ - устройство синхронизации и устройство стабилизации питания.

В ФПУ решены задачи по устранению "структурной помехи", электрической связи между опрашиваемыми и неопрашиваемыми элементами матрицы, реализованы два режима работы - термостабилизации и охлаждения, что позволило обеспечить высокую чувствительность ФПУ.

Основные характеристики ФПУ:

| | |
|--|---------------------------|
| Тип материала матрицы | - PbSe |
| Формат матрицы, элементов | - 8 x 8 |
| Размер фоточувствительного элемента, мм x мм | - 1,2 x 1,2 |
| Спектральный диапазон, мкм | - 3 - 5 |
| Динамический диапазон, дБ, не менее | - 60 |
| Мощность энергопотребления, Вт | - 8,6 |
| Время опроса одного канала, мкс | - 7,8 |
| Частота кадров, Кгц | - 1,0 |
| Пороговый поток, Вт/эл: - в режиме термостабилизации (0° С), не более | - 6,32 x 10 ⁻⁸ |
| - при температуре охлаждения минус 20° С, не более | - 3,20 x 10 ⁻⁸ |
| Время выхода на режим, мин, не более | - 3 |

Сернисто - свинцовый 256-канальный фотомодуль.

Бочков В.Д., Малюгин Ю.А., Храпунов М.Т., Залевская Л.Н.

ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва

Фотомодуль представляет собой функционально и конструктивно законченное устройство, обеспечивающее фотоэлектрическое и пространственно-временное преобразование оптического излучения в области спектра (1,5÷2,5) мкм в оптико-электронной аппаратуре. В состав фотомодуля входят:

- линейка из 256-элементного сернисто-свинцового пленочного фоторезистора:

- четыре микросборки предварительного усиления и коммутации, выполненные на основе микросхем 64 - канальных ПЗС мультиплексоров (ПЗСМ);

- коммутационная плата;

- герметичный корпус с входным окном и выходным разъемом.

Выходные сигналы фотомодуля передаются по четырем каналам.

Фотомодуль работает при температуре $25 \pm 10^\circ \text{C}$ и обладает обнаружительной способностью на длине волны $(2,2 \pm 0,1)$ мкм, равной $5 \cdot 10^{10} \text{ Вт}^{-1} \times \text{см} \cdot \text{Гц}^{1/2}$.

В работе кратко описывается технология и конструкция фотомодуля, анализируется функциональная схема ПЗС - мультиплексора и предусилителей, даются рекомендации по применению и эксплуатации фотомодуля в части обеспечения нормальной работы и формирования единого видеосигнала от 256-элементного фоторезистора.

Фоточувствительные слои PbSe со смещенной длинноволновой границей фоточувствительности.

*Казанцев Г.А., Глебов Ю.А., Паняева В.С., Камышина Т.Я., Зверева Н.Ю.
ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва.*

Приводятся результаты исследования слоёв PbSe с высокими значениями D^* , осаждённых на подложках из фотостекла с селективными интерференционными зеркалами, увеличивающими фотоактивное поглощение в области спектра 4 мкм и более без ухудшения D^* в более коротковолновой области спектра.

В качестве подложки используется фотостекло с нанесённым дихроичным зеркалом в виде интерференционной матрицы Фабри-Перро, представляющей собой многослойную систему из нескольких десятков тонких слоёв с различными показателями преломления и строго определённой толщиной каждого слоя.

Поступающее к ФЧ-слою излучение проходит через слой, частично поглощается в нём, создавая эффект фотопроводимости, и, отражаясь от дихроичного зеркала в спектрально-ограниченной области, вновь возвращается в слой PbSe, создавая дополнительный эффект фотопроводимости. Суммируясь, оба фотоэффекта приводят к смещению длинноволновой границы чувствительности.

В процессе работы были решены задачи изготовления на подложках из фото-стекла дихроичных зеркал и высокочувствительных слоёв PbSe по специально разработанной технологии с двухкратным осаждением.

С этой целью последний слой дихроичного зеркала изготавливался на базе двуокиси кремния.

Для длины волны 4.7 мкм вольтовая чувствительность слоёв PbSe при наличии зеркал, увеличивается в (243) раза, а D^* ~ в 2 раза.

Матричные фотоприемники ИК диапазона формата 128x128 и 384x288 на основе фотодиодов из $Cd_xHg_{1-x}Te$.

*Л.А.Бовина, К.О.Болтарь, И.Д.Бурлаков, С.В.Головин, В.Ю.Иванов, В.М.Акимов,
Е.А.Климанов, В.И.Стафеев,¹В.М.Лакеенков, Ю.Г.Сидоров²
ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва.*

¹ГНЦ РФ «ГИРЕДМЕТ, Москва

²Институт физики полупроводников СО РАН

Матричные фотоприемники (МФП) ИК диапазонов спектра 3-5 мкм и 8-12 мкм широко применяются в основных типах современных тепловизионных и тепловизионных систем различного назначения. Их достоинством является отсутствие блока оптико-механической развертки, что существенно снижает стоимость и повышает надежность систем.

В настоящем докладе приводятся результаты разработки и исследований МФП форматов 128x128 и 384x288 на основе фотодиодов из $Cd_xHg_{1-x}Te$. В качестве исходного материала использовались эпитакси-

альные слои КРТ, выращенные методами жидкостной, молекулярно-лучевой и ИКД эпитаксии. Р-п переход создавался методом ионной имплантации. Толщина эпитаксиального слоя 7 - 20 мкм. В качестве подложки при молекулярно-лучевой эпитаксии использовался GaAs, в других методах теллурид кадмия цинка.

В фотодиодных матрицах формата 128x128 шаг был 40 мкм, а в матрице формата 384x288 шаг 35 мкм. Размер р-п перехода 20 мкм, суммарная высота индиевых столбиков 10 мкм при диаметре 15 мкм.

Фотодиодная матрица стыковалась с кремниевым МОП-мультиплексором, изготовленным по n-МОП технологии. МОП-мультиплексор обеспечивал считывание, построчное накопление сигналов и их вывод из холодной зоны.

Приведены результаты исследований вольтамперных и спектральных характеристик, диаграммы и гистограммы распределения обнаружительной способности по площади МФП.

Матричные фотоприемники форматов 4x48, 2x96, 4x128, 2x256 на основе фотодиодов из $Cd_xHg_{1-x}Te$.

*Л.А.Бовина, В.Н.Соляков, Н.Г.Мансветов, И.Д.Бурлаков, С.В.Головин, В.Ю.Иванов, В.И.Стафеев, Ю.К.Ильин, Е.А.Климанов
ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва*

В работе представлены результаты разработки и исследования многорядных матричных фотоприемников (МФП) форматов 4x48, 2x96, 4x128, 2x256, предназначенных для работы в режиме временной задержки и накопления (ВЗН) на спектральные диапазоны 3-5 и 8-11 мкм.

Исследованные МФП содержат матрицу фоточувствительных элементов (МФЧЭ) и два чипа кремниевых БИС, размещаемых в фокальной плоскости рядом с МФЧЭ. МФЧЭ выполнены на основе фотодиодов из КРТ. В зависимости от процентного содержания кадмия и ртути в исходном материале можно изменять спектральный диапазон фоточувствительности МФЧЭ от 1-2 мкм до 8-12 мкм при незначительной модификации базовых технологических процессов. Кремниевая БИС обеспечивает интегрирование и усиление фотосигналов от отдельных ФЧЭ и их мультиплексирование на 4 выходные шины. Гибридизация МФЧЭ и кремниевых БИС осуществляется стыковкой через индиевые столбики на контактный растр из сапфира, на котором расположены токоведущие дорожки, обеспечивающие соединение всех ФЧЭ с входом кремниевой БИС, а также контактные площадки для датчика температуры, подачи управляющих напряжений и вывода сигналов.

Все МФП размещаются в унифицированном вакуумном криостатируемом корпусе, позволяющем применять как дрессельные системы охлаждения, так и микрокриогенную систему типа Сплит-Стирлинг. Теплопритоки корпуса не превышают 0,3 Вт, тепловыделение при работе МФП не более 0,05 Вт.

Исследования фотоэлектрических характеристик МФП на спектральный диапазон 8-10,5 мкм показали возможность достижения

удельной обнаружительной способности до $(1-2) \cdot 10^{11} \text{ Вт}^{-1} \text{ см Гц}^{1/2}$ для МФП 4x48 и 4x128 при суммировании сигналов от 4-х ФЧЭ в режиме ВЗН и $(7-10) \cdot 10^{10} \text{ Вт}^{-1} \text{ см Гц}^{1/2}$ для МФП форматов 2x96 и 2x256 при суммировании сигналов от 2-х ФЧЭ.

Фотоприемники ультрафиолетового диапазона на основе широкозонных соединений A^3B^5 .

И.Д.Анисимова, В.И.Стафеев

ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва.

В настоящем докладе сообщается о фотоприемниках на основе широкозонных полупроводниковых материалов GaP, GaAs и их тройного соединения $\text{GaP}_x\text{As}_{1-x}$.

Для создания фотоприемников использован барьер Шоттки с полупрозрачным металлическим слоем. В качестве исходного материала использованы эпитаксиальные структуры $n - n^+ - n$ типа с нелегированным $n -$ слоем.

Созданные фотодиоды обладают фоточувствительностью в диапазонах:

200 – 510 нм (для GaP), 250 – 680 (750) нм (для $\text{GaP}_x\text{As}_{1-x}$) и 250 – 900 нм (для GaAs). Размер чувствительной площадки фотодиодов: 150x150 мкм, 400x400 мкм, диаметр: 300 мкм, 1; 1,5; 2; 3; 5; 8 мкм. Токовая чувствительность при $\lambda=300$ нм: 0,06 А/Вт, 0,03 А/Вт и 0,04 А/Вт соответственно. Монохроматический порог чувствительности для фотодиодов из фосфида галлия при $\lambda_{\text{max}} \sim 2 \cdot 10^{-15} \text{ Вт} \cdot \text{Гц}^{-1/2}$. Фотоприемники обладают широким динамическим диапазоном – $10^{-12} - 10^{-2} \text{ Вт/см}^2$, способны работать при повышенных температурах.

Проведено сравнение основных характеристик фотодиодов, изготовленных различными технологическими методами.

Отрицательная проводимость и генерация ВЧ колебаний в фотодиодах из $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$.

К.О.Болтарь, Л.А.Бовина, Л.Д.Сагинов, В.Н.Соляков, В.И.Стафеев

ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва

В [1] обнаружено отрицательное дифференциальное сопротивление в монокристаллах кадмия-ртути-теллура. В настоящей работе экспериментально исследуется отрицательная дифференциальная проводимость (ОДП) вольт-амперной характеристики (ВАХ) $p-n$ переходов в КРТ и генерация ВЧ-колебаний в этой структуре.

ВАХ туннельного типа с областью ОДП были обнаружены в $p-n$ переходах, сформированных ионной имплантацией бора в подложках КРТ состава $x = 0.3$ с концентрацией примесей p -типа в подложке $1 \div 3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Размеры $p-n$ переходов составляли $200 \times 200 \text{ мкм}^2$.

Измерения проводились при охлаждении образцов жидким азотом до $T=80^\circ\text{K}$. ВАХ диодов при измерениях с холодной диафрагмой имели форму, характерную для туннельных диодов с участком отрицательной

дифференциальной проводимости. Величина тока в пике составляла $I_p=400$ нА, в минимуме $I_v=300$ нА, напряжение пика $U_p=50$ мВ, напряжение минимума $U_v=90$ мВ. Величина ОДП составляла $\sim 10^{-5}$ Сим.

При измерениях без холодной диафрагмы вольтамперные характеристики смещались вдоль оси токов на величину фототока. При этом участок с ОДП перемещался в область отрицательных токов. Для возбуждения электрических колебаний к диоду подключался колебательный контур, в котором была предусмотрена возможность отдельной регулировки его сопротивления по постоянному и переменному току. Регулировкой сопротивления по постоянному току обеспечивалось попадание рабочей точки на участок ОДП. При этом наблюдалась генерация ВЧ колебаний без подачи извне электрического смещения на резонансной частоте колебательного контура (~ 150 кГц). Мощность генерируемых колебаний составляла $\sim 1,5 \cdot 10^{-9}$ Вт, что соответствует эффективности преобразования тепловой энергии фонового излучения в энергию ВЧ колебаний $\sim 10^{-4}$.

Литература.

[1] Л.А.Бовина, В.К.Григорьев, В.И.Стафеев, Е.А.Сычевская, Труды симпозиума по физике плазмы и электрическим неустойчивостям в твердых телах, «МИНТИС», Вильнюс, 198 (1972).

Основные фотоэлектрические характеристики фоторезисторов на основе материала Cd Hg Te в гетеродинном режиме.

*Горелик Л.И., Куликов К.М., Трошкин Ю.С., Шаронов Ю.П.
ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва.*

В системах лазерной локации и связи для повышения чувствительности приемных устройств широко применяется метод гетеродинного детектирования. В качестве фотоприемника в таких системах традиционно используются фотодиоды. Известно, что стоимость фотодиодов превышает стоимость аналогичного фоторезистора благодаря более сложной технологии и необходимости в более совершенном исходном материале.

Рассмотрена возможность построения оптического гетеродинного приемника на базе фоторезистора из Cd Hg Te с X 0,2. Рассчитаны зависимости пороговой мощности от оптической мощности гетеродина, напряжения постоянного смещения на фоторезисторе, частоты и шумов предварительного усилителя.

Показано, что при напряжениях смещения 0,3-0,5 В пороговая чувствительность фоторезистора сравнивается с чувствительностью фотодиода. Оптимальная мощность гетеродина лежит в диапазоне $5 \cdot 10^{-7}$ - $5 \cdot 10^{-6}$ Вт, что значительно ниже мощности, необходимой для работы фотодиода. Граничная частота гетеродинного приемника зависит от напряжения постоянного смещения и от мощности гетеродина и может достигать 40 МГц для фоторезисторов с размером фоточувствительной площадки 35x35 мкм или 50x50 мкм.

Одноканальный малогабаритный фотоприемный комплекс на основе КРТ.

*Киселева Л.В., Кузнецова Т.В., Поповян Г.Э., Трошкин Ю.С., Шаронов Ю.П.
ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва.*

Фотоприемный комплекс (ФПК) на спектральный диапазон 8-12 мкм выполнен в виде единого блока, состоящего из малогабаритной МКС типа Стирлинга, вакуумного фоторезистора (ФР) из КРТ, смонтированного на пальце МКС, и малощумящего предусилителя (ПУ).

Конструкция ФПК и схема ПУ позволяют реализовать параметры малощумящего ФР. По своим эксплуатационным характеристикам ФПК пригоден для использования, как в наземных условиях, так и в авиационной аппаратуре.

Фоторезистор с внутренним накоплением сигнала (типа SPRITE), охлаждаемый малогабаритной МКС Сплит-Стирлинга.

*Поповян Г.Э., Трошкин Ю.С., Шаронов Ю.П.
ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва.*

Разработанная для многоплощадочных ФП из КРТ вакуумная конструкция со стеклянно-металлическим держателем доработана применительно к ФР типа SPRITE. Малогабаритная МКС Сплит-Стирлинга холодопроизводительностью 0,7 Вт обеспечивает работу восьмиканального ФП при скорости сканирования $V = 256 \text{ м/с}$.

Вакуумные фоторезисторы на основе КРТ для диапазона спектра 8-12 мкм.

*Трошкин Ю.С.
ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва.*

Разработаны, изготовлены и исследованы фоторезисторы (ФР) на основе КРТ в топологии две линейки по 16, 32 или 48 элементов. ФР выполнены в вакуумной конструкции со стекло-металлическим держателем и обеспечивают высокие эксплуатационные тактико-технические характеристики при работе с различными системами охлаждения.

Разработка многоэлементного ФПУ для инфракрасной спектроскопии Марса.

*Степанушкин А.Г., Рюхтин В.В.
ОАО «ЦКБ Ритм», Черновцы, Украина.*

Инфракрасная спектроскопия является одним из самых эффективных методов дистанционного исследования планет, используемых на космических аппаратах. По спектрам можно определить состав и температуру атмосферных газов, давление, состав и концентрацию аэрозолей, температуру поверхности, оценить её минералогический состав, получить карту высот.

Разработанное в рамках данной работы многоэлементное ФПУ на основе селенида свинца предназначено для использования в составе ин-

фракрасного спектрометра, применяемого для исследования состава атмосферы планеты Марс.

Многоканальное ФПУ «Планета» представляет собой устройство, состоящее из 128-элементной линейки фоторезисторов, 128 предварительных усилителей, 16 аналоговых мультиплексоров и 16 окончательных усилителей, то есть ФПУ имеет 16 параллельных макроканалов (и соответственно 16 выходов) с мультиплексерной обработкой внутри макроканала. Управление осуществляется в параллельном коде «1-2-4», уровни управляющих сигналов - КМОП.

Несущим узлом конструкции ФПУ является металлостеклянный цоколь, имеющий форму полого четырёхгранника с фланцем под герметизацию и посадочной поверхностью для установки ФПУ в спектрометре. Торцевая поверхность четырёхгранника цоколя служит монтажной поверхностью для установки фоточувствительной структуры, а боковые грани для приклейки плат усилителей. Внутренняя поверхность цоколя предназначена под радиатор, выполняющий роль теплопровода между корпусом ФПУ и термостабилизирующим устройством системы, обеспечивающей оптимальное радиационное охлаждение от космического пространства.

Электрическая часть ФПУ выполнена по гибридно - плёночной технологии с применением бескорпусных комплектующих изделий. При коммутации используется метод объёмно-планарного монтажа. Монтаж выполнен золотой проволокой методом импульсной сварки.

Нами получены следующие основные характеристики ФПУ:

| | |
|---|--|
| -удельная обнаружительная способность в максимуме спектральной чувствительности, не менее | $D_{\lambda, \max}^* \geq 3 \cdot 10^{10} \text{ см.Гц}^{-1} \cdot \text{Вт}^{-1/2}$; |
| - вольтовая чувствительность, не менее | 10^6 В/Вт ; |
| - коэффициент по вольтовой чувствительности | 0,05 -0,15; |
| - размер одного фоточувствительного элемента | 80x320 мкм; |
| - сопротивление нагрузки ФПУ, не менее | 2 кОм; |
| - ёмкость нагрузки не более | 200 пкф. |

Разработанные в процессе выполнения работы ФПУ были поставлены в ИКИ РАН г. Москва, где успешно прошли все приёмосдаточные испытания, в том числе и на специальных стендах во Франции и Бельгии.

МОНОЛИТНЫЕ ПРИМЕСНЫЕ ИК ПЗС¹.

Ретроспектива, ограничения и предпосылки развития

ФЕТИСОВ Е.А

ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва

Впервые в открытой печати краткие сведения по отечественным ИК ПЗС были включены в обзорную часть доклада Б.И. Фукса на симпозиуме Европейского космического агентства (1992г.), где сообщалось о разработке матричных и строчных приемников инфракрасного изображения с числом элементов до 768 x 256. Для всего ряда приведенных в настоящем докладе

ИК ПЗС характерны монолитная конструкция и планарная технология изготовления. Приборы созданы на основе теории нестационарных процессов в слабоионизованных полупроводниках, развитой в СССР в 70-е годы.

Государственный Научно-исследовательский институт физических проблем (Зеленоград), занимающийся развитием кремниевых ПЗС с 1970 года, приступил к разработкам примесных ИК ПЗС в 1974 году, основная часть работ в данном направлении была проделана к 1986 году. Результаты, однако, представляют не только исторический интерес: как показало дальнейшее развитие ИК фотоприемников (структуры с блокированной проводимостью по примесной зоне, примесное легирование чувствительных слоев в гетероструктурах $\text{Ge}(x)\text{Si}(1-x)/\text{Si}$ и ПЗС на их основе, ИК ПЗС с барьерами Шоттки и др.), «монолитный» подход к созданию строчных приемников инфракрасного изображения является по-прежнему перспективным.

В качестве примесей, ответственных за фоточувствительность, использовались Tl , In и Ga с соответствующими длинноволновыми границами спектрального диапазона 5, 8 и 18 мкм. В докладе приведены основные параметры разработанных ПЗС в сравнении с современным зарубежным уровнем выпускаемых многоэлементных фотоприемников: спектральный диапазон, число элементов, размер, шаг и коэффициент заполнения ячейки, порог чувствительности при некоторых значениях времени накопления и мощности фона, рабочая температура. В ряде случаев достигнута чувствительность, ограниченная фоном (BLIP). Указаны физические принципы построения ячеек и оригинальные технические решения, положенные в основу устройства ячеек и архитектуры матриц. В больших ПЗС на $\text{Si}:\text{Tl}$ ячейки функционировали в режиме объемного накопления и аналогового считывания, при этом «память» ловушек используется для улучшения характеристик; упрощения конструкции и технологии. Отечественный технологический уровень ко времени создания ИК матриц 768×256 не позволял получать обычные ПЗС видимого диапазона такого уровня интеграции и, более того, со столь большой площадью - около 2 см^2 .

В докладе проанализированы технические причины приостановки развития примесных монолитных ИК ПЗС, отмечены нерешенные проблемы и обозначены перспективы развития и возможности применения полученных результатов.

¹ Результаты исследований и разработок в НИИ ПФ изложены в неопубликованной работе: Гонтарь В.М., Орешкин Г.И., Фетисов Е.А., Фукс Б.И., Хафизов Р.З., Монолитные примесные ИКПЗС. 1992г.

**Фотоприёмные устройства
на основе гетероструктурных rip -фотодиодов
на спектральный диапазон 1,06 – 1,55 мкм.**

*Боровков П.М., Кравченко Н.В., Потапов А.В.
ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион»*

Разработаны высокочувствительные фотоприёмные устройства для нового поколения лазерных локаторов и дальномеров, работающих в

безопасном для глаз спектральном диапазоне. ФПУ состоят из InGaAs pin-фотодиодов с диаметром фоточувствительной площадки (0,08 – 0,2) мм и малошумящего предварительного усилителя с Шоттки-барьерным GaAs полевым транзистором во входном каскаде. ФПУ при полосе пропускания 10 МГц и времени разрешения порядка 200 нс в динамическом диапазоне входных сигналов 10^5 , имеют чувствительность порядка 6 нВт на длине волны 1,55 мкм и не более 10 нВт на длине волны 1,06 мкм, что сравнимо с чувствительностью серийных ФПУ на Si ЛФД. При этом ФПУ имеют значительно более высокие эксплуатационные характеристики (низкое напряжение питания, высокая спецстойкость и надежность).

Вольтовая чувствительность ФПУ не менее 10^4 В/Вт;

Напряжение питания 12 В;

Габаритные размеры: $\varnothing 30 \times 10$ мм

Масса не более 40 Г.

Фотоприемные устройства

для волоконно - оптических систем передачи

на спектральные диапазоны 0,8–0,9 мкм и 1,2–1,6 мкм.

Боровков П.М., Давыдов Я.А., Казарин Л.Н., Кравченко Н.В., Фролов Н.В.

ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион»

Разработан унифицированный ряд высокочувствительных трансимпедансных и интегрирующих фотоприемных устройств для магистральных, зонных и внутриобъектовых оптических линий связи на широкий спектр скоростей приема информации: 2 Мбит/с – 1 Гбит/с. ФПУ состоят из Si или InGaAs pin-фотодиода и малошумящего предварительного усилителя с GaAs - полевым транзистором во входном каскаде.

Конструктивно ФПУ выполнены в герметичном металлостеклянном корпусе с отрезком одно - или многомодового оптического кабеля, армированного стандартным разъемом.

Напряжение питания ± 5 В;

Габаритные размеры: $25 \times 20 \times 10$ мм;

Масса не более 60 г.

Фотоприемные устройства

на основе кремниевых pin-фотодиодов на спектральный диапазон 0,5–1,1 мкм.

Боровков П.М., Кравченко Н.В., Потапов А.В.

ГУП РФ ГУП «НПО «Орион», Москва.

Разработаны и серийно выпускаются высокочастотные одноканальные и многоканальные ФПУ для регистрации импульсного лазерного излучения в системах дальнометрии (одноканальные) и широкопольных системах лазерного управления и наведения (многоэлементные координатные). ФПУ состоят из одноэлементного или многоэлементного (квадрантного) фотодиодов с диаметром фоточувствительных площадок до 14 мм и соответствующего количества предварительных

усилителей. Конструктивно ФПУ выполнены в герметичном металло-стеклянном корпусе.

| | |
|---|-----------------------|
| Пороговая чувствительность к импульсу длительностью 20 нс на длине волны 1,06 мкм | (10 – 100) нВт; |
| Вольтовая чувствительность | не менее 10^4 В/Вт; |
| Верхняя граничная частота | (0,3 – 5,0) МГц; |
| Напряжение питания по цепи ФД | минус 200 В; |
| Угол поля зрения | $(60 – 120)^\circ$; |
| Масса | не более 60 г. |

Физика процессов генерации фотоносителей в барьерах Шоттки и возможности управления величиной и спектральной зависимостью квантовой эффективности в ИК ПЗС БШ.

В.Г. Иванов, В.И. Панасенко

ЦНИИ "Электрон", Санкт-Петербург.

Физические механизмы генерации фотоносителей в диодах с барьерами Шоттки (ДБШ) сильно отличаются от диодов с р-п переходом в полупроводниках для энергий квантов меньших ширины запрещенной зоны и делают возможной работу ДБШ в ИК области спектра. При этом, поскольку в ДБШ генерируются избыточные основные носители заряда, возбуждаемые световыми квантами с уровня Ферми в металлическом слое силицида, обеспечивается очень малая фотоэлектрическая инерционность и высокая равномерность фотоответа в ДБШ, когда они являются элементами в многоэлементных ИК приемниках - например, в ИК ПЗС БШ. Это делает кремниевые ИК ПЗС БШ одними из самых перспективных в настоящее время многоэлементных ИК приемников. Однако, характерная "падающая" с длиной волны форма спектральной характеристики ДБШ и малые величины внешней квантовой эффективности (Y_{EX}) на длинноволновом краю спектра требуют тщательной оптимизации параметров ДБШ для работы по объектам с $T < 300K$.

Для конкретных величин уровня фона ИК ПЗС БШ и времени накопления оптимизируется обычно среднее значение Y_{EX} представляющее собой интеграл по λ от произведения внутренней квантовой эффективности Y_i , вероятности поглощения квантов в слое силицида и нормированной (с учетом фильтра и оптической ловушки) спектральной характеристики излучателя. В целом ряде случаев определяющую роль играет зависимость Y_i от энергии квантов ($h\nu$).

Теоретически и экспериментально показано, что $Y_i(h\nu)$ в случае появления эффекта резонанса горячих электронов весьма сильно отличается от стандартных зависимостей даваемых теорией Фаулера. На длинноволновом крае появляется рост Y_i и изгиб зависимости $(Y_i \cdot h\nu)^{1/2} = f(h\nu)$ вверх, сильно зависящий от отношения длины остывания горячих электронов к толщине слоя силицида - L_{γ}/d . При малых L_{γ}/d этот эффект незначителен. Наличие указанного изгиба кривой $(Y_i \cdot h\nu)^{1/2} =$

$f(h\nu)$ позволяет облегчить противоречие между необходимой потенциального барьера и рабочей температурой ДБШ. Обсуждается проблема увеличения L_3/d для силицидов металлов и полупроводников. Отмечаются преимущества последних с точки зрения оптимизации параметров ИК ПЗС БШ.

Охлаждаемые МОП-мультиплексоры для матричного ФПУ “смотрящего” типа.

*Акимов В.М., Климанов Е.А., Лисейкин В.П., Тимофеев А.А., Щукин С.В.
ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва*

В докладе приводятся результаты разработок ряда охлаждаемых до 77К кремниевых МОП-мультиплексоров, для X-Y адресации фотосигнала с ИК фотодиодных матриц на основе КРТ и InSb различных форматов. Представлены электрическая схема, временной режим работы и топология МОП-мультиплексоров формата 32x32 и 128x128 с регистрами сдвига. Рассматриваются технология n и p-канальных МОП-мультиплексоров и вопросы конструкторско-технологической стыковки с ИК фотодиодными матрицами с помощью трехслойной металлической разводки V-Al-Mo и In столбиков. Приводятся основные параметры разработанных МОП-мультиплексоров. Проведено проектирование топологии и конструкции кристаллов МОП-мультиплексоров формата 384x288, которые выполнены с учетом возможности формирования на общей подложке гибридной полноформатной матрицы формата 768x576. Изготовлены первые образцы таких МОП-мультиплексоров. Указываются перспективы дальнейшего развития кремниевых МОП-мультиплексоров для полноформатных матричных ФПУ, состоящих из 4-х кристаллов МОП-мультиплексоров формата 384x288.

Серия многоканальных малозумящих гибридных ИС для многоканальных ФПУ на КРТ-фоторезисторах.

Ефимова З.Н., Заславский А.В., Кузнецов П.А., Климанов Е.А., Тимофеев А.А., Хомяков Л.П.

ГНЦ РФ ГУП «НПО «ОРИОН», Москва

В докладе представлены результаты разработки многоканальных ГИС предварительных усилителей и вторичных источников питания (ВИП) на основе двухканального дифференциального усилителя «Элан».

Рассмотрены различные варианты схемотехники усилительных каналов, включая схемы с разделенным конденсатором на входе и с интегратором в обратной связи, их преимущества и недостатки.

Приведены конкретные примеры реализации указанных схем в виде ГИС восьмиканальных усилителей для ФПУ на основе фоторезисторов КРТ, размещаемом в стандартном корпусе 157.29-1, а также ГИС четырехканальных усилителей в корпусе 151.25-1.

Показано, что использование в рассмотренных ГИС дифференциального усилителя «Элан» с цепью обратной связи 100, формируемой на кристалле, позволяет существенно сократить площадь одного канала

усиления, а также применять схемотехнические решения, которые в сравнимых габаритах невозможно реализовать на серийных операционных усилителях из-за необходимости формирования ОС с помощью внешних элементов.

Приведены основные параметры ГИС предварительных усилителей: э.д.с. шума, приведенного к входу — не более $2 \text{ нВ/Гц}^{1/2}$ при нормальных условиях, полоса частот — от 2 Гц до 100 ... 150 кГц, диапазон коэффициентов усиления — от 200 до 5000.

Рассмотрена схемотехника и параметры ВИП на основе дифференциального усилителя «Элан» и примеры его реализации в виде ГИС на основе серийного корпуса 155.29-1.

Малозащумящий дифференциальный усилитель для многоканальных ФПУ на основе КРТ.

*Борисов В.К., Заславский А.В., Кузнецов П.А., Тимофеев А.А., Хромов С.С.,
Хомяков Л.П.*

ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва.

В докладе представляются результаты разработки двухканального бескорпусного дифференциального усилителя для применения в многоканальных ФПУ на основе КРТ - фоторезисторов.

Усилитель разрабатывался в двух модификациях: усилитель общего применения, предназначенный для использования в ГИС с заданием коэффициента усиления внешней цепью (микросхема У1А БУТИ. 431136.003), а также усилитель с цепью обратной связи, сформированной на кристалле и позволяющей в процессе изготовления устанавливать заданные значения коэффициента усиления из набора 200, 400, 800, 2000 (микросхема У1Б БУТИ. 431136.005).

Особенностями разработанных микросхем являются: низкий уровень шума ($1,5$ и $2,0 \text{ нВ / Гц}^{1/2}$ на частоте 1кГц для модификаций У1А и У1Б) соответственно, повышенная стойкость к воздействию спецфакторов, относительно низкое рабочее напряжение $\pm 6\text{В}$, а также наличие двух каналов на одном кристалле, что дает существенный выигрыш в плотности расположения элементов ГИС.

Охлаждаемые МОП мультиплексоры для многорядных ФПУ на основе КРТ-диодов.

*Ильин Ю.К., Климанов Е.А., Щукин С.В., Тимофеев А.А.
ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва.*

Выполнена разработка двухканальной охлаждаемой кремниевой ИС для многорядных линейных структур ФПУ на основе КРТ. Проведены испытания и осуществляется поставка образцов для ФПУ формата 16x4, 32x4, 48x4, 128x4. Для каждой фотоприемной линейки поставляются два кремниевых образца, один прямой другой зеркальный. Все соединения выполняются на растре, в качестве элементов контактирования используются индиевые столбики выращиваемые на поверхности кристаллов методом напыления. Оба кристалла независимы.

Структурная схема всей номенклатуры образцов одинакова. Функции, выполняемые схемой следующие:

- обеспечение рабочего режима фотодиодов по постоянному току,
- выполнение накопления сигнала параллельно по всем каналам,
- перепись накопленного сигнала из секции накопления в секцию хранения,
- независимое управление процессами считывания и накопления,
- последовательное считывание информации по 2-м и 4-м каналам.

Входная цепь ИС содержит общую цепь смещения для всех входных транзисторов, которые для входного сигнала от фотодиода включены по схеме с общим затвором. Ток входного транзистора через ключевой транзистор, управляемый фазой накопления выполняет разряд накопительной емкости на величину определяемую длительностью фазы накопления и величиной фототока. Из накопительной емкости фазой переписи сигнал переносится в емкость хранения. Получившийся в результате суммирования сигнал определяет напряжение на затворе выходного транзистора. Последовательный опрос этих транзисторов производится через ключи, управляемые многофазным регистром сдвига. Регистр сдвига — динамический.

Разработка выполнена по n-МОП технологии. С учетом двухканальности топологические размеры каждого канала 35 мкм.

Новый принцип организация системы считывания сигналов фокальных ИК –матриц.

Ю.Р.Винецкий.

ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва

С усовершенствованием фоточувствительных элементов, ростом требований к скорости считывания и точности представления видеосигнала в фокально-плоскостных матрицах все более критичным «узким местом» современных ИК-сенсоров становится система считывания / мультиплексирования сигнала. Анализ показывает, что это во многом является следствием ограниченности традиционного подхода к построению системы считывания, в основе которого лежит мультиплексирование амплитуд сигналов ФЧЭ, накопленных за время кадра, на единый выход прибора. Преодолеть ряд принципиальных ограничений и технических трудностей традиционного подхода можно перейдя к альтернативному способу кодирования информации о локальной интенсивности засветки. В предлагаемом подходе способ кодирования и передачи сигнала становится более «цифровым», при этом центр тяжести требований к элементам обработки перемещается в область обеспечения необходимо быстродействия цифровых элементов, что, ввиду исключительно быстрого прогресса цифровой микроэлектроники, значительно облегчает их реализацию. Способ представления/ передачи сигнала при этом больше напоминает тот, который используется в системах зрения живых организмов. Показано, что в различных прило-

жениях предлагаемый подход позволяет «расшить» традиционно узкие места системы считывания: облегчить требования к внутриячейной обработке, помехозащищенности и шумам тракта транспортировки сигнала от ФЧЭ к выходу прибора, исключить дорогостоящие высокоразрядные АЦП.

Предлагаются примеры схемотехнической реализации предложенного подхода и варианты архитектуры ИК-матриц.

Портативная тепловизионная камера длинноволнового ИК диапазона для широкого круга применений.

*Степанов Р.М., Станская Т.Б., Меркин С.Ю.
ЦНИИ "Электрон", Санкт-Петербург.*

В ЦНИИ "Электрон" совместно с фирмой ISG (Англия) разработана портативная тепловизионная камера на базе пировидикона ЛИ-492 и ФОС 27В-20 с использованием современной зарубежной электроники.

Предлагаемая камера длинноволнового ИК диапазона позволяет осуществлять работу в условиях плохой видимости: низкая освещенность, дым, туман.

Тепловизионная камера была использована для:

- поисковых и спасательных работ при чрезвычайных ситуациях в условиях плохой видимости;
- ликвидации пожаров;
- систем пожарной безопасности;
- систем охраны для ночного времени и условий плохой видимости;
- дистанционного контроля распределения температуры на поверхности промышленных объектов (на тепловых электростанциях, в металлургической, химической промышленности, на железнодорожном транспорте)
- обнаружения утечек тепла (в зданиях, на теплотрассах);
- неразрушающего контроля (в радиоаппаратостроении, в промышленности строительных материалов).

Основные параметры тепловизионной камеры:

- | | |
|---|-------------|
| - минимальная обнаруживаемая разность температур (при температуре фона 300К), С | 0,1 |
| - разрешающая способность, тел лин./поле зрения | 150 |
| - угол поля зрения, град. | 40 |
| - рабочая область спектра, мкм | 8 - 14 |
| - потребляемая мощность, Вт | 7,0 |
| - длительность работы от аккумулятора, мин | 60 |
| - напряжение питания (при работе от внешнего источника), И | 8-15 |
| - габариты, мм | 310x156x115 |
| - масса (с аккумулятором), кг | 2,7 |

Преимуществами предлагаемой тепловизионной камеры являются:

- малые габариты, масса, потребляемая мощность;
- высокая чувствительность;
- полностью автоматизированное управление;
- автономное питание;

- встроенный электронный видеоискатель;
- герметичность и высокая ударопрочность корпуса;
- работа в широком диапазоне температур окружающей среды;
- выход стандартного ТВ сигнала для записи изображения на видеоманитофон, работы с ПЭВМ и внешнем видеоконтрольном устройством.

Организовано серийное производство камеры, разработаны модификации камеры со встроенным пирометром и ТВ каналом видимого диапазона.

Характеристики многофункциональной экспериментальной цифровой ИК камеры на основе ИКПЗС БШ «Картуз» при передаче натуральных сюжетов.

*В.А. Арутюнов, В.Г. Иванов, А.Е. Прокофьев.
ЦНИИ "Электрон", Санкт-Петербург.*

Испытание телевизионных камер по натурным сюжетам дают информацию о возможностях и параметрах камеры "в целом" и поэтому представляют несомненный интерес, как для разработчиков камер, так и для пользователей.

В докладе представлены результаты испытаний инфракрасной телевизионной камеры (ИК ТВК) диапазоном 3-5 мкм по передаче городских сюжетов с дальностями 0,2 - 10 км. Испытания проводились в дневных и ночных условиях, в ясную погоду, облачность и дождь, при температурах -1 до +12°C.

ИК ТВК создана на базе кремниевого матричного фотоприемника (ФП) типа ИК ПЗС с барьерами Шоттки из силинида платины. Опытные ФП с числом элементов 256x256 разработаны в ЦНИИ "Электрон" в рамках ОКР "Картуз-2". Особенности матричного ФП позволили оптимальным образом сочетать особенности ФП с цифровой обработкой видеосигнала и создать полностью (по времени, энергии и пространству) ИК ТВК. Камера состояла (кроме матрицы) из криостата с оптическим входом, объектива с $D_{вх} = 80\text{мм}$, $D/f = 1:1,1$ и $2\beta = 10^\circ$, цифрового видеоканала, работающего в 12-разрядном коде и с временем передачи кадра 40мс. ИК ТВК осуществляла цифровую поэлементную обработку изображений в реальном масштабе времени либо самостоятельно, либо (в случае использования статических методов обработки) совместно с внешней ЭВМ.

Показано, что высокая пространственная, временная и энергетическая стабильность цифрового образа сюжета позволяет обеспечить эффективную цифровую обработку видеосигнала по всей разрядной сетке. В частности, для выделения очень слабых контрастов деталей сюжетов использован метод "энергетического окна", скользящего в пределах всей разрядной сетки АЦП и позволяющего усиливать, обрабатывать и визуализировать только заданную часть цифрового сигнала. С его помощью удается уверенно выделять и визуализировать в дождь температурные перепады в 1-2°C с отношением сигнал/ шум не менее 20, как на уровне высоких температур, содержащихся в сюжете (двигатели и коле-

са движущихся автомашин), так и на уровне низких температур в этом сюжете листва на деревьях). Смаз изображений от движущихся объектов полностью отсутствует. (Реализованная угловая скорость объектов - до 0,05 рад/с). Получена NETD по мелкой детали в пределах 60-120мк (в зависимости от температуры объекта). ИК ТВК с барьерами Шоттки по основным ТТТ могут быть использованы как в интересах МО, так и в народном хозяйстве (промышленность, медицина, МЧС) при работе с высокодинамичным сюжетом.

Влияние ионизирующих излучений на основные параметры фотодиодов на основе селенида индия.

К.А.Аскеров, Р.Ю.Алиев, Д.И.Караев

Институт Фотозлектроники АН Азербайджанской Республики, Баку.

Исследовалось влияние имитирующих факторов ядерного взрыва и протонного облучения на фотоэлектрические свойства фотодиодов на основе селенида индия. Исследуемые фотоприемники были подвергнуты следующим типам ионизирующих излучений:

на воздействие поражающих факторов ядерного взрыва с уровнем нейтронов с энергией $>0,1$ МэВ и флюенсом $3,0 \cdot 10^{12} \text{см}^{-2}$ и импульсного гамма-излучения с мощностью $1,0 \cdot 10^{10}$ Р/с;

на воздействие протонного излучения с флюенсом $5,0 \cdot 10^{13} \text{см}^{-2}$.

До и после указанных выше видов ионизирующего излучения измерялись спектральные характеристики, амплитудно-частотные характеристики, монохроматическая и вольт-ваттная чувствительности фотодиодов. Установлено, что импульсное гамма-излучение и импульсное нейтронное облучение приводят к улучшению фотоэлектрических и частотных характеристик исследуемых фотодиодов. Показано, что большие флюенсы протонного облучения облегчают процесс образования комплексов в межслойном промежутке слоистого селенида индия, вследствие чего несколько ухудшаются фотоэлектрические параметры фотодиодов.

Исследовано также влияние изохронного отжига продолжительностью 30 минут на фотоэлектрические свойства облученных фотодиодов. Выяснено, что после изохронного отжига в интервале 70-1300С (с шагом в 20 градусов) фотоэлектрические параметры исследуемых фотодиодов почти полностью восстанавливаются. Установлено, что дефекты, вводимые облучением являются нестабильными, они исчезают за одну стадию изохронного отжига, т.е. происходит постепенная рекомбинация радиационных дефектов.

По результатам проведенных исследований можно рекомендовать указанные фотоприемники для использования в условиях повышенной радиации.

Система автоматизированных измерений спектральных характеристик плотности слабых излучений.

Ю.Р. Винецкий, Ю.Д. Козырев, П.Е. Хакуашев.

ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва.

Представлены результаты разработки лабораторной системы автоматизированных измерений. Установка ориентирована на измерение спектральных характеристик плотности слабых излучений в спектральном диапазоне 1,0..2,0 мкм, когда сигнал необходимо выделять из смеси с собственными шумами излучателя, фотоприемного тракта и наводками (в частности, излучателей на основе SiEr). Представлена структура системы автоматических измерений, алгоритмы обработки сигнала и результаты математического моделирования их эффективности, выбор оптимального метода обработки. Описаны аппаратные компоненты и гибкий интерфейс программы. Приводятся основные достигнутые характеристики системы: спектральное разрешение до 0,02 мкм, коэффициент повышения отношения сигнал-шум в результате совместной цифровой и аналоговой фильтрации 30..1000 раз, пороговый уровень фотосигнала, сокращение времени на измерение одной спектральной характеристики до 20 раз.

Аномалии состава собственного окисла, выращенного на поверхности КРТ различной ориентации

З.И. Гусева, О.Н. Евсеева, Ю.С. Мезин, ¹В.Г. Средин

ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва

*¹Военная академия ракетных войск стратегического назначения
им. Петра Великого*

Проведены исследования зависимости состава собственного окисла, выращенного на поверхности монокристаллов $Cd_xHg_{1-x}Te$, от ориентации поверхностей кристаллов. Работы выполнены на монокристаллах составов $X=0,19 - 0,25$, имевших дырочный тип проводимости. Поверхности исследуемых кристаллов имели ориентацию (100), (110) и (111) с отклонениями, не превышающими 6° . Слои окислов наращивались в строго идентичных условиях путем анодирования в 0,1N растворе КОН в этиленгликоле. Толщина всех наращенных слоев составляла 110 – 130 нм. Выполненный методом ЭСХА послойный анализ состава анодного окисла показал, что для плоскостей (111) и (100) состав окисла плавно изменяется от подложки к поверхности окисного слоя. В окисле же на поверхности (110) обнаружена прослойка неокисленного теллура. Проведены также исследования свойств границы раздела анодный окисел – поверхность монокристалла, что позволило установить ряд закономерностей. Обнаружено, что скорость роста окисла, а также поверхностная плотность встроенного в окисел заряда выше для кристаллов с ориентацией поверхности (110). В работе обсуждается связь обнаруженных эффектов с физико – химическими свойствами поверхностей кристалла.

Электрические и теплотехнические параметры термоэлектрических охладителей с теплосбрасывающими радиаторами фотоприёмников.

Аракелов Г.А., Магнушевский В.Р.

ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва.

В настоящее время международная практика сертификации электрических и теплотехнических параметров термоэлектрических охладителей (ТЭО) основана на фиксации их, так называемых, максимальных параметров: разности температур T_{max} , падения напряжения U_{max} , тока I_{max} , холодопроизводительности Q_{max} , время выхода на режим $0,9\Delta T_{max}$. Однако, на практике реальные (рабочие) значения I_p и U_p и, следовательно, все остальные параметры ТЭО зависят от степени перегрева его тепловыделяющей поверхности относительно окружающей среды и могут существенно отличаться от паспортных. Таким образом, необходима оптимизация электрических режимов ТЭО с учетом степени эффективности системы теплосброса.

В докладе приведены результаты аналитического рассмотрения особенностей совместной эксплуатации системы "ТЭО + радиатор" и предложена графическая методика расчета оптимальных рабочих характеристик ТЭО в зависимости от величины теплового сопротивления радиатора. Приведены экспериментальные данные. Впервые введен и обоснован параметр "эффективная разность температур".

Анализ химических технологий изготовления фоточувствительных структур сернистого свинца, используемых в ФЭП, выпускаемых предприятием.

Буткевич В.Г., Глобус Е.Р., Залевская Л.Н.

ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва.

В докладе анализируются разработанные и широко используемые в настоящее время на предприятии варианты технологии получения фоточувствительных структур сернистого свинца на базе химических методов осаждения из растворов.

Разработанные химические процессы обеспечивают достижение высокого уровня обнаружительной способности и позволяют варьировать электрическими и фотоэлектрическими параметрами и характеристиками слоев PbS с целью их оптимизации применительно к требованиям применения в составе той или иной аппаратуры.

Преимущества ряда разработанных химических процессов обеспечили возможность изготовления высокочувствительных и стабильных во времени многоэлементных структур, а также их использование для получения фотоприемников матричного типа на подложках разного химического состава, включая кремниевые структуры, содержащие микроэлектронные схемы усиления, коммутации и преобразования информации.

Терминологические вопросы оценки пороговых характеристик приемников излучения.

Борисов В.А., Долганин Ю.Н.

ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва.

При расчете основных характеристик - дальности действия (ДД) или пороговой разности температур (DT) любой оптико-электронной системы (ОЭС) - среди исходных величин обязательно присутствуют параметры используемого в системе приемника оптического излучения и, прежде всего, чувствительность и обнаружительная способность.

При всем разнообразии представлений выходного сигнала и потока (среднеквадратическое значение, средневыпрямленное, амплитудное, пиковое, среднее по мощности и т.д.) в определении чувствительности ограничились требованием, при котором и сигнал, и поток представляются одинаковым образом (и неважно каким). Если выходной сигнал измеряется в СКЗ, то и поток тоже измеряется в СКЗ; если берется пиковое значение сигнала, то и поток тоже измеряется в пиковом выражении и т.д.

Такая вольность в определении чувствительности (свойственная, кстати, терминам технической и нормативной литературы, приводит к неоднозначности функциональной связи $D = f(F_{пор})$, где D - обнаружительная способность, $F_{пор}$ - пороговый поток. И, более того, в импульсном режиме использования переход от одного представления сигнала к шуму к другому приводит к неравноточности определений указанных пороговых характеристик.

В работе показано, что:

- с точки зрения терминологической корректности необходимо исключить многозначность из определения чувствительности и оговаривать условия ее получения: отношения СКЗ сигнала, амплитуды и пика к полному (пиковому) значению потока,
- необходимо ввести отдельные определения обнаружительной способности и порогового потока для модуляционных и импульсных воздействий, соответствующие одинаковым значениям доверительной вероятности (например, стандартной).

Межэлементная связь в матричных ИК-фотоприемниках.

К.О.Болтарь, Н.Г.Мансветов, В.И.Стафеев, Н.И.Яковлева

ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва

Взаимосвязь между чувствительными элементами матричного ИК фотоприемника (МФП) может привести к существенному размытию изображения, полученному при помощи МФП или его искажению.

Нами исследована взаимосвязь фоточувствительных элементов матричных фотоприемников формата 32x32 и 128x128 из КРТ фотодиодов, состыкованных с помощью In столбиков с кремниевыми МОП-мультиплексорами.

Экспериментальные исследования взаимосвязи фоточувствительных элементов МФП проведены в двух режимах:

1. Пятно оптического зонда фокусируется на один из фоточувствительных элементов фотоприемной матрицы. Затем пятно излучения перемещается вдоль чувствительных элементов МФП. Результаты измерений фиксируются на графике зависимости фотоотклика этого элемента от перемещения. Этот режим позволяет исследовать взаимосвязь, обусловленную диффузией фотогенерированных носителей, приповерхностным инверсным слоем, фоторезистивным эффектом в подложке КРТ, определять эффективную фоточувствительную площадку данного элемента.
2. Пятно оптического зонда фокусируется на один или несколько расположенных рядом элементов и измеряется сигнал всех элементов матрицы. В этом режиме исследуется взаимосвязь элементов в рабочем режиме функционирования МФП, а при перемещении оптического пятна по всему полю МФП можно исследовать дефектные элементы МФП.

Экспериментально и теоретически исследовано влияние утечек стоков ключевых транзисторов МОП-мультиплексора с построчным накоплением на взаимосвязь.

Высокочувствительные приборы для УФ области спектра.

В.М. Белоконев, И.Н. Суриков

ЦНИИ "Электрон", Санкт-Петербург.

Ультрафиолетовая область спектра все чаще начинается использоваться для решения специальных, научных и прикладных задач. Исследования многих авторов показывают ее перспективность для многих направлений.

Рассмотрены перспективные области применения УФ систем и особенности работы передающих УФ приборов в реальной аппаратуре. Показана необходимость в таких системах высокой пороговой и контрастной чувствительности. Особое внимание уделено областям спектра использования УФ систем и показана перспективность гибридных телевизионных приборов с солнечно-слепыми фотокатодами и бищелочными фотокатодами. Показано, что использование бищелочного фотокатода со специальными фильтрами решает задачу создания систем в области 300-400нм. Приводятся характеристики двух типов приборов для УФ области спектра для решения специальных, научных и прикладных задач (см. таблицу).

Таблица.

Основные характеристики гибридных передающих приборов для УФ области спектра.

| Конструктивные особенности и параметры | УФ1 | УФ2 |
|--|----------------|------------|
| Размер входного изображения, мм | 9,7x12,9 | 6,6x8,8 |
| Число элементов ФППЗ | 580x760 | 580x520 |
| Тип фотокатода | Теллурид цезия | бищелочной |

| | | |
|---|-------------|-------------|
| Спектральный диапазон чувствительности, мкм | 0,2 - 0,35 | 0,25 - 0,6 |
| Максимум спектральной чувствительности, мкм | 0,23 - 0,28 | 0,42 - 0,48 |
| Разрешающая способность, ТВЛ | 400 | 350 |
| Пороговая чувствительность, Вт/эл | 10^{-13} | 10^{-13} |

Показана возможность создания на базе этих приборов серии УФ камер для специальных задач, атомной промышленности, топливно-энергетического комплекса, медико-биологических исследований и экологического контроля. Рассматриваются перспективы развития УФ гибридных приборов.

Тепловизор на основе «смотрящей» матрицы из $\text{Cd}_{0,2}\text{Hg}_{0,8}\text{Te}$ формата 128x128.

К.О. Болтарь, Л.А. Бовина, Л.Д. Сагинов, В.И. Стафеев, ¹И.С. Гибин, ¹В.М. Малеев

ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва

¹СНИИОС, Новосибирск

ГУП «НПО Орион» совместно с Сибирским НИИ Оптических систем разработали и изготовили макет бесканерного тепловизора на основе матричного фотоприемника (МФП) формата 128x128 ИК-диапазона спектра 8÷12 мкм. Состав тепловизора:

- МФП;
- Микрокриогенная система Сплит-Стирлинга;
- Электронный блок обработки данных;
- ИК-объектив с фокусным расстоянием 70 мм и относительным отверстием 1:1,5;
- Дисплей;
- Корпус;

МФП состоит из матрицы фоточувствительных элементов (МФЧЭ) на основе фотодиодов из КРТ, состыкованной на In столбиках с охлаждаемым МОП-мультиплексором с построчным накоплением фото-сигнала, размещенные в криостатируемом корпусе типа «Арча». Шаг МФП 40 мкм, среднее по МФЧЭ значение удельной обнаружительной способности в максимуме спектральной характеристики $4,5 \cdot 10^{10} \text{ Вт}^{-1} \text{ см}^2 \text{ Гц}^{-1/2}$.

Микрокриогенная система Сплит-Стирлинга обеспечивает охлаждение МФП до температуры 80К и стабилизацию температуры с точностью не хуже 0,1К. Напряжение питания МКС 27В постоянного тока, стационарное энергопотребление 40Вт.

Электронный блок обработки включает модуль управления МФП и модуль обработки сигналов, выполняющий двухточечную коррекцию неравномерности чувствительности и осуществляющий алгоритм устранения из изображения дефектных элементов. На выходе блока формиру-

ется полный телевизионный сигнал (стандарт RS-343А, ГОСТ 7845-92) с частотой кадров 25 Гц. Эквивалентная шуму разница температур тепловизора не превышает 0,1К.

Очки ночного видения для пилотирования вертолетов

Добровольский Ю.А., Кощавцев Н.Ф., Украинский С.А.,

Шустов Н.М., Эдельштейн Ю.Г.

ГУДП СКБ ТНВ, Москва

Создание средств, обеспечивающих применение авиации в темное время суток, относится к числу важнейших задач техники ночного видения. В связи с этим несомненный интерес представляет законченная в СКБ ТНВ опытно-конструкторская работа "Очки ночного видения для членов экипажей вертолетов", шифр "Скосок", основные результаты которой отражены в настоящем докладе.

Очки представляют собой бинокулярный нашлемный прибор, построенный с использованием ЭОП третьего поколения разработки Новосибирского ОКБ "Катод".

Очки "Скосок", не имеющие пока аналогов в России, по своим характеристикам не уступают известным зарубежным образцам.

Особенности аппаратуры "Скосок", связанные с тем, что она размещается непосредственно на шлеме пилота и в большой мере влияет на условия его жизнедеятельности и безопасности, потребовали решения целого ряда научно-технических проблем, к которым относятся:

- создание малогабаритной высоконадежной конструкции, обеспечивающей быстросъемную установку и необходимые регулировки по размерам головы пилотов;

- разработка технических решений, позволяющих адаптировать систему освещения оборудования кабины для исключения ее влияния на видимость в очки;

- отработка методик всесторонних летных испытаний.

Успешное решение этих проблем стало возможным благодаря творческому взаимодействию нескольких предприятий авиапромышленности и институтов ВВС.

В настоящее время закончены Государственные испытания аппаратуры "Скосок" на специально дооборудованном вертолете и очки рекомендованы к серийному производству.

Создание очков "Скосок" является начальным звеном в оснащении пилотов нашлемными средствами индикации обстановки и параметров полета. Дальнейшими шагами в этом перспективнейшем направлении оптико-электронного приборостроения являются: разработка устройств ввода в ночные очки пилотажной информации, разработка очков прилегающего профиля, позволяющих катапультироваться, а также создание аппаратуры отображения информации от бортовых датчиков, интегрированной в шлем. По всем этим направлениям в СКБ ТНВ имеется задел, необходимый для проведения полномасштабных разработок.

Обработка результатов полевых испытаний методом множественной корреляции.

*Кривошапкин И.Б., Эдельштейн Ю.Г.
ГУДП СКБ ТНВ, Москва.*

Определение дальности действия прибора ночного видения в натуральных условиях сопряжено с большими временными затратами и очень трудоемки. Одной из причин этого является использование при обработке полученных результатов не всей набранной при испытаниях статистики, а только той ее части, которая получена в условиях, близким к т.н. нормированным (заданным в НТД).

Использование статистического материала, накопленного за весь период испытаний, позволит существенно сократить затраты на проведение натуральных испытаний.

В основу предлагаемого метода положено нахождение регрессионной зависимости получаемой дальности действия прибора ночного видения от внешних условий, измеренных в момент конкретного наблюдения. Предполагается, что в определенных пределах эта зависимость может иметь линейный вид типа $L = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n$, где a_1, a_2, \dots, a_n - коэффициенты, входящие в уравнение корреляции; x_1, x_2, \dots, x_n - параметры внешних условий (освещенность, пропускание атмосферы и т.д.). После нахождения коэффициентов регрессии известными методами, которые реализованы в современных ПК, и введения в уравнение нормированных параметров внешних условий можно определить дальность действия прибора ночного видения для этих условий.

На основании этого метода разработан Государственный стандарт ГОСТ Р 50772-95 "Приборы ночного видения электронно-оптические. Метод определения параметров".

Телевизионный передающий прибор для области спектра 0,4 - 2,0 мкм.

*Коршунова Г.И., Степанов Р.М., Наумов Ю.В., Андреева К.П.
ЦНИИ «Электрон», Санкт-Петербург.*

В работе сообщается о неохлаждаемом ИК телевизионном передающем приборе диаметром 26мм с магнитным управлением электронным лучом.

Отличительной особенностью прибора являются широкий спектральный диапазон (от 0,4 до 0,2 мкм), низкая инерционность (не более 40%), а также небольшой темновой ток (не более 40 нА).

Мишень прибора изготовлена на основе PbO-S. Технология ее изготовления обеспечивает высокую интегральную чувствительность (ток сигнала ≥ 200 нА при освещенности 5 лк на фильтре из ИКС-2, установленном перед входным окном), а также высокую спектральную чувствительность в ИК области спектра (≥ 200 нА /мкВт на длине волны 1,0 мкм).

Прибор предназначен для передающих телевизионных систем ве-

щательного режима разложения, работающих в видимом и (или) ближнем ИК диапазонах спектра и может применяться в тепловидении при наблюдении нагретых объектов, а также позволяет вести наблюдение в неосвещенном помещении с ИК подсветкой. Другими областями применения прибора являются медицина, охранные системы, экспертиза документов и произведений искусства, контроль технологических процессов при производстве полупроводников и приборов на их основе.

Разработка низкофоновых фотоэлектронных умножителей.

Г.С. Вильдгрубе А.А. Репников, Н.Н. Яковлев, Т.Н. Пальте.
ЦНИИ "Электрон", Санкт-Петербург.

Выполнены работы по созданию фотоэлектронных умножителей из материалов, имеющих низкий собственный радиоактивный фон.

Такие ФЭУ находят применение:

- в нейтринных лабораториях (Баксанская нейтринная лаборатория);
- в различных разведывательных и контрольных устройствах, когда требуется определять (фиксировать) слабые потоки радиоактивного излучения;
- в геологии для разведки редких и драгоценных металлов.

ЦНИИ "Электрон" занимался этой проблемой еще в середине восьмидесятых годов. В результате той работы были разведаны месторождения низкофоновых песков в Сибири; в г. Новосибирске на заводе "Экран" была разработана технология изготовления низкофоновых стекол "Экранит" и освоены ряд типонаименований ФЭУ из этого стекла, разработанных в ЦНИИ "Электрон". Собственный радиоактивный фон ФЭУ из этого стекла диаметром фотокатода 80мм составлял 0,25 - 0,47 имп/с; в связи с общим снижением потребности в ФЭУ за время "Перестройки" и последующего периода, варить стекло в г. Новосибирске стало не выгодно и варка была прекращена. Кроме того, в это время за рубежом появились экспериментальные образцы ФЭУ аналогов с собственным радиоактивным фоном 0,11 - 0,12 имп/с.

С целью обеспечения необходимого уровня аналогичных изделий в России в НТЦ "Петроник" совместно с ЦНИИ "Электрон" и рядом предприятий входящих в ГНЦ "ГОИ им. С.И. Вавилова" (Лензос) была разработана уникальная технология варки стекла УС 11401, имеющего низкий собственный радиоактивный фон и более лучшие характеристики по светопропусканию.

Разработана технология вытяжки цилиндров диаметром >50мм и изготовлены из них оболочки для ФЭУ, включая изготовление низкофоновой ножки прибора.

В результате проведенных работ разработаны конструкция и технология изготовления низкофоновых ФЭУ с собственным радиоактивным фоном 0,02 - 0,1 имп./с, этот результат является лучшим достижением среди приборов аналогов данного типа, как отечественных, так и зарубежных.

Высококочувствительные передающие телевизионные камеры.

*И.С. Васильев., А.С. Мирзоянц, И.Н. Суриков
ЦНИИ "Электрон", Санкт-Петербург.*

Создание нового класса гибридных высококочувствительных приборов на основе усилителей яркости с микроканальными пластинами и фоточувствительных приборов с переносом заряда (ФППЗ) большой площади и с повышенной синей чувствительностью позволило создать новое поколение высококочувствительных камер с меньшими габаритами, меньшей потребляемой мощностью. В таблице приведены основные параметры двух типов камер КТВ-1 и КТВ-2, использующих новые высококочувствительные гибридные приборы с сочленением усилителей яркости через стекловолоконный прямой контакт с большеформатной ФППЗ.

Таблица.

Высококочувствительные телевизионные камеры видимого и ближнего ИК диапазона.

| | КТВ-1 | КТВ-2 |
|---|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Размер входного изображения на фотокатоде, мм | 9,7x12,9 | 6,6x8,8 |
| Диапазон спектральной чувствительности на уровне 20%, мм | 400-850 | 400-850 |
| Число элементов изображения ФППЗ | 580(В)x760(Г) | 680(В)x520(Г) |
| Рабочий диапазон освещенности на фотокатодe, лк | $1 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-1}$ | $5 \times 10^{-6} - 5 \times 10^{-1}$ |
| Режим регулирования чувствительности | Автоматический или ручной | Автоматический |
| Разрешающая способность при освещенности 5×10^{-4} лк, ТВЛ | 450 | 350 |
| Геометрические искажения, % | ≤ 2 | ≤ 2 |
| Режим синхронизации | Автономный | Автономный |
| Время готовности, с | 10 | 10 |
| Напряжение питания (постоянное), В | 27 ± 2 | 14-16 |
| Ток потребления, А | 0,45 | 0,3 |

Размеры оптической проекции на фоточувствительную поверхность прибора позволяет использовать оптико-механические узлы, рассчитанные на работу с 26 (18) мм видиконами и ФППЗ 1" (2"/3"), соответственно. Камеры обеспечивают формирование на выходе полного телевизионного видеосигнала по ГОСТ 22006-76, положительной полярности с размахом 0,8 - 0,5 В на нагрузке 75 Ом. В камере КТВ-1 предусмотрен контроллер, выполняющий автоматическое управление гибридным прибором по заданным параметрам сигнала, что улучшает передачу

точечных объектов и работу в однофотонном режиме. При специальном заказе с помощью контроллера может быть предусмотрено управление внешними устройствами: диафрагмой, светофильтрами и т.д.

В камере КТВ-1 используется малогабаритная встроенная в гибридный прибор система авторегулировки по среднему току гибридного прибора. В системах снижает напряжение на электродах прибора при больших освещенностях. Это повышает его устойчивость к пересветкам.

Высококочувствительные камеры КТВ-1 и КТВ-2 могут использоваться в специальных прикладных и научных телевизионных системах, охранных целей в ночных условиях, исследований флюоресценции, черенковского излучения, биомедицинских явлений и др.

Новая высококочувствительная телевизионная передающая трубка с пироэлектрической мишенью, использующая эффект модуляции тока электронного луча.

*Березкин Н.А., Дун А.З., Меркин С.Ю.
ЦНИИ "Электрон", Санкт-Петербург.*

Разработана новая высококочувствительная телевизионная трубка с пироэлектрической мишенью, в которой для формирования выходного сигнала используется эффект модуляции тока луча потенциальным рельефом мишени. Заряды, возникающие на элементах мишени под действием регистрируемого теплового излучения, модулируют ток луча, сканирующего мишень. Реализация этого метода формирования выходного сигнала позволила создать новую передающую трубку с мозаичной мишенью на основе дейтерированного триглицинсульфата с чувствительностью в режиме панорамирования более 50мкА/Вт, предельным разрешением 400 теллин./растр (22тел.ин./мм) при глубине модуляции на отметке 200 теллин./растр более 60%. Диапазон рабочих температур от - 10°С до +50°С. Экспериментальные и теоретические исследования показали, что использование оптимальных электрического режима и геометрии мишени, безкроссоверного прожектора позволяют увеличить чувствительность до 100-150мкА/Вт.

Чувствительность телевизионной камеры с новой передающей трубкой составляет 0,03 градуса, что превышает чувствительность камеры с пироэлектрической матрицей.

Разработка электроннолучевых трубок (ЭЛТ) для применения в нашлемных дисплейных устройствах (НДУ).

*А.А. Репников, Ю.М. Елимелех, Сосновик М.И.
ЦНИИ "Электрон", Санкт-Петербург.*

Концепция нашлемных прицелов и дисплеев обсуждается много лет. В США авиационная промышленность запросила достаточно большое количество миниатюрных ЭЛТ с высоким разрешением пригодных в нашлемных дисплейных устройствах.

Такие устройства широко используются в различных областях применения. В ЦНИИ "Электрон" с участием НТП "Петроник" в течение

1996-1998г.г. были проведены работы по созданию ряда ЭЛТ для НДУ и для дисплеев различного применения, работающих в разных областях спектра. Кроме того, разработаны макеты малогабаритных дисплеев на электростатических ЭЛТ.

Работы проводились в основном по двум направлениям:

- разработка малогабаритных проекционных ЭЛТ с магнитным отклонением и электростатической фокусировкой с высокими разрешающей способностью и яркостью свечения экрана, пригодных для дисплеев работающих в условиях больших внешних освещенностей;
- разработка малогабаритных ЭЛТ с электростатическими отклонением и фокусировкой работающих в условиях слабых внешних освещенностей.

При выполнении работ по первому направлению решены вопросы оптимизации люминофора по яркости его свечения и возможности его использования при передаче движущихся изображений (устранен "след" движущихся изображений при достижении необходимой яркости свечения экрана).

Основные характеристики семейства миниатюрных трубок сведены в таблицу.

| Тип ЭЛТ | Отклонение | Вес, г. | Длина, мм | Диаметр экрана, горловины | Разрешение, ТВ лин | Яркость свечения Кд/м ² | Напряжение на аноде кВ |
|-----------------------|------------|------------------------|-----------|---------------------------|--------------------|------------------------------------|------------------------|
| 9ЛМЗН индикаторная | Магн. | ≤ 300 | ≤ 165 | 81x44/22 | 1000/800 | 3420 | 15 |
| «Панда» проекционная. | Магн. | ≤ 30 с О.С. = 60 | ≤ 100 | 26,4/13 | 500/40 | 1000 | 7 |
| 1 ЛК | Эл./ста | 15 | ≤ 70 | 13 | 350/30 | 35 | 1 |
| 4 ЛК | Магн. | 50 | ≤ 135 | 42/18 | 600/50 | 20000 | 15 |
| 2 ЛК | Эл./ста | 20 | 85 | 18 | 450/40 | 35 | 1 |

Герметизированный металлокерамический ЭОП второго поколения ЭПМ - 47Г.

*Л.Г. Антипова, Н.Я. Венедиктов, В.А. Михайлов,
И.Н. Петров, С.А. Плахов, Р.М. Степанов.
ЦНИИ "Электрон", Санкт-Петербург.*

Изделие ЭПМ - 47Г - электронно-оптический преобразователь второго поколения с волоконно-оптическими пластинами на выходе и на входе, герметизированный в едином пластмассовом корпусе со встроенным источником питания.

Впервые в отечественной практике ЭОП имеет металлокерамический корпус, что обеспечивает ему высокую механическую прочность и надежность конструкции.

В ЭОП используется МКП с углом наклона каналов в 11 град., что позволяет избавиться от прямопролетного пятна на изображении.

По своим параметрам ЭПМ-47Г не уступает лучшим зарубежным аналогам и отечественному аналогу "Бриз".

Основные параметры изделия:

| | |
|--|--|
| - рабочее поле фотокатода | 18 мм; |
| - интегральная чувствительность фотокатода, не менее | 240 мкА/лм; |
| - чувствительность с фильтром КС-17, не менее | 60 мкА/лм; |
| - коэффициент преобразования регулируемый | 20000-40000; |
| - предел разрешения в центре, не менее | 31 штр./мм; |
| - яркость темного фона, не более | 5×10^{-4} кд/м ² ; |
| - увеличение в центре | 1,0 + 0,05 |

В приборе используется многощелочной фотокатод со спектральной характеристикой в диапазоне 400-86- нм. Максимум спектральной чувствительности лежит в области 480-540 нм.

На выходе прибора применяется люминесцентный экран типа К57.

Изделие ЭПМ47Г предназначено для применения в приборах ночного видения, в гибридных передающих телевизионных приборах, в аппаратуре для научных исследований и других областях народного хозяйства.

Разработка источников питания для ЭОП различных поколений.

А.А. Репников, В.Л. Михайлов

ЦНИИ "Электрон", Санкт-Петербург.

НТП "Петроник" г. Санкт-Петербург проводит работы по созданию источников питания для ЭОП разных поколений.

Источники питания разрабатываются в основном по 2-м направлениям:

- синусоидальные схемы преобразования (дно и 2-х трансформаторные)
- импульсные схемы преобразования (одно и 2-х трансформаторные).

Разработаны макеты однотрансформаторных импульсных источников питания для ЭОПов 2^{го} и 3^{го} поколений с током потребления не более 8мА и с приемлемыми остальными параметрами. (Макеты испытывались в ОКБ "Катод" г. Новосибирска с ЭОП "Калитка").

Цена в 1997г. не превышала 90 долларов США.

Разработаны опытные образцы 2-х трансформаторных синусоидальных источников питания для ЭОПов 2^{го} поколения. Источник использовался с ЭОП "Белка".

Стрелковые прицелы и наблюдательные приборы, изготовленные в ЗАО "Пуск" г. Санкт-Петербурга прошли испытания в боевых условиях и сравнительные испытания в г. Ижевске. Испытания показали преимущество разработанных прицелов и приборов наблюдения по сравне-

нию с другими существующими в России аналогичными изделиями. Стоимость таких источников ~ 120 долларов США. ЭОПы "Белка" по цене 801 доллар США.

Проводятся работы импульсного 2-х трансформаторного источника питания для ЭОПов 2^{го} и 3^{го} поколений с целью улучшения параметров по сравнению с синусоидальными источниками. Параллельно проводятся работы по совершенствованию элементной базы:

- разрабатываются и поставляются трансформаторы различных модификаций в АО "Магнетон" г. Санкт-Петербург;

- разрабатываются и поставляются конденсаторы и подстроечные резисторы в АООТ "Реконд" г. Санкт-Петербург.

изготавливаются и поставляются источники питания для ЭОП нулевого поколения по цене ~ 20 долларов США.

XXI Век - Век Биометрических Технологий.

Минкин В.А., Штам А.И.

ГУП НПП "Электрон", Санкт-Петербург.

Основной прогресс в развитии электроники в конце XX века определяется быстрым развитием КМОП технологии и использованием ее для повышения параметров процессоров. Это приводит к ускоренной миниатюризации компьютеров при одновременном повышении их быстродействия, памяти и появлению дополнительных возможностей по вводу и обработке информации. Термин "мультимедиа", применяемый в начале только к РС, в будущем должен быть распространен на новый класс устройств, объединяющих в себе различные функции.

Примерный набор функций представляется авторам следующим:

1. Персональный компьютер с периферийными устройствами;
2. Сотовый телефон.
3. Кредитная карта.
4. Устройство идентификации пользователя.

Конструктивной выполнение данного "чуда" будет напоминать современный сотовый телефон с несколько расширенными возможностями, причем первые три функции могут быть реализованы на практике уже в 1999 - 2000 году. Однако реализовать первые три функции без уверенной идентификации - вещь просто опасная. Совмещение финансовой информации о пользователе с малогабаритностью устройства должно гарантировать абсолютную невозможность его использования другим человеком.

Наиболее развитая, в настоящее время, технология биометрической идентификации пользователя основана на принципе анализа дактилоскопического изображения с помощью дакточипа.

В ГУП НПП "Электрон" разработана технология и освоен промышленный выпуск дакточипов для устройств идентификации. Дакточип представляет собой волоконно-оптический ФППЗ с числом фоточувствительных элементов 512 x 576 и обеспечивает на выходе аналого-

вый телевизионный сигнал с разрешающей способностью 1000 dpi по площади отпечатка пальца 10 x 15 мм.

Гетероэпитаксиальные структуры на основе GaAs для фотокатодов до 1,1 мкм.

Л.Г. Забелина, А.С. Петров

ЦНИИ "Электрон", Санкт-Петербург.

С 1974 года в ЦНИИ "Электрон" ведутся разработки эпитаксиальных методов получения слоев соединений A^3B^5 , предназначенных для использования в качестве отражаемых и полупрозрачных фотокатодов (ФК) с отрицательным электронным средством (ОЭС) чувствительных к свету в диапазоне 0,35 - 1,1 мкм.

В качестве методов использовались жидкостная эпитаксия, газофазная эпитаксия на основе транспортных реакций и эпитаксия с применением металлоорганических соединений (МОС). Последний метод применялся для выращивания гетероструктур для полупрозрачного ОЭС ФК, чувствительного в диапазоне длин волн 0,55 - 0,91 мкм с интегральной чувствительностью 800 - 1500 мкА/лм в системе GaAs - $Al_{(x)}$ - $Ga_{(1-x)}AlAs$. Такие гетероструктуры, термокомпрессированные со стеклянными входными окнами приборов, применяются при разработке как ФЭУ с полупрозрачными ФК, так и ЭОПов 3-го поколения.

Одной из проблем в создании приборов ночного видения является получение полупроводниковой структуры со сдвинутой в ближнюю ИК - область спектральной характеристикой за край поглощения арсенида галлия (0,9 - 1,1 мкм). Показано, что для решения этого вопроса в качестве активного слоя фотокатодной гетероструктуры должен быть выращен слой не арсенида галлия, а более указанного твердого раствора $In(0,18)Ga(0,82)As$ или $GaAs(0,86)Sb(0,14)$. При этом интегральная чувствительность ФК с активным слоем $In_{(x)}Ga_{(1-x)}As$ становится ниже по сравнению с чувствительностью ОЭС ФК для видимого диапазона спектра и достигает 250 - 1000 мкА/лм. Зато известно, что чувствительность на длине волны 1,06 мкм ИК ФК может превышать 0,3 мА/Вт.

Нами был разработан ФЭУ "Комета-1" с непрозрачным ОЭС ИК ФК на основе структур GaAs - $In(0,18)Ga(0,82)As$ с чувствительностью в диапазоне 0,35 - 1,1 мкм и квантовой эффективностью на длине волны 1,06 мкм 0,5 - 2% (на отдельных приборах квантовая эффективность - 5 - 7%).

Влияние проникающей радиации на свойства термоохладителей.

Р.Ю. Алиев, К.А. Аскеров

Институт Фотозлектроники АН Азербайджанской Республики, Баку

Исследовано влияние гамма-квантов, электронного и импульсного

гамма-нейтронного облучений на термоэлектрические свойства термоохладителей на основе твердых растворов систем Bi_2Te_3 - Sb_2Te_3 и Bi_2Te_3 - Bi_2Se_3 .

В качестве коммутационного сплава применялся сплав $\text{Bi}+\text{Sn}$ с температурой плавления ~ 413 К. До и после облучения измерялись значения электропроводности ветвей термоэлемента, контактное сопротивление границ раздела образцов, термоэлектрические параметров модулей и охладителей.

Для выяснения механизма действия облучения на термоэлектрические параметры ТЭО предварительно исследовали также влияние этих излучений на свойства исходных кристаллов.

Исследуемые образцы были получены направленной кристаллизацией-методом Бриджмена и подвергались воздействию гамма-излучений в интервале флюенсов 10^6 - 10^8 Р, электронного облучения с энергией 25 МэВ в интервале флюенсов 10^{13} - 10^{14} см⁻² и импульсного гамма-нейтронного облучения в интервале флюенсов 10^{13} - 10^{14} см⁻².

Из исследований влияния ионизирующих излучений различного вида на температурный перепад ΔT термоэлектрического охладителя (ТЭО) следовало, что после облучения охладителя гамма-нейтронами флюенсом $5 \cdot 10^{13}$ см⁻², ΔT значительно растёт. При облучении же охладителя электронами и гамма квантами ΔT падает. Оптимальный ток питания, время выхода на режим и другие параметры ТЭО после облучения не претерпевали заметного изменения.

Установлено, что изменение основных параметров охладителей при облучении обусловлено как изменением параметров ветвей, так и изменением сопротивлений переходных контактов. Показано, что изотермический отжиг приводит к залечиванию радиационных дефектов, как в объеме, так и в приконтактной области ветвей термоэлементов.

Электронные и физико - химические явления в коммутационных контактах термоэлементов термоэлектрических охладителей.

Т.Д.Алиева, Н.М.Ахундова, Д.Ш.Абдинов

Институт Фотозлектроники АН Азербайджанской Республики, Баку.

Исследованы основные электронные и физико-химические явления, происходящие на коммутационных переходных контактах термоэлементов на основе кристаллов твердых растворов систем Bi_2Te_3 - Sb_2Te_3 и Bi_2Te_3 - Bi_2Se_3 с металлическими сплавами на основе Bi , Sb , Sn , Pb , Cd , Ag , Ni .

При этом были рассмотрены влияния следующих факторов на указанные явления: степени нарушенности и состояния поверхностного слоя торцов ветвей (кристаллов), диффузии компонентов контактного сплава в приконтактный слой ветвей, образования промежуточных фаз на границе раздела из-за химического взаимодействия компонентов кристаллов и сплавов, смачиваемости и адгезии на границе раздела.

Показано, что решающую роль в формировании электрических и адгезионных свойств переходных контактов играют степень нарушенно-

сти поверхностного слоя кристалла, диффузия атомов компонентов контактного материала в приконтактную область кристалла, приводящая к изменению концентрации основных свободных носителей заряда и работы выхода электронов, а также образование слоев новых промежуточных фаз на границе раздела. При этом, при малых концентрациях элементов в контактном материале решающую роль играет диффузионное легирование приконтактного слоя, а при больших концентрациях образование новых промежуточных фаз в переходном контакте. Обнаруживается корреляция между сопротивлением слоев образовавшихся промежуточных фаз и сопротивлением переходного контакта.

Показана возможность создания достаточно низкоомных и стабильных по электрическим параметрам переходных коммутационных контактов в термоэлементах с удовлетворительной адгезионной прочностью.

Проведенные исследования электронных и физико-химических явлений в переходных коммутационных контактах термоэлементов на основе твердых растворов теллуридов висмута и сурьмы с различными металлическими сплавами позволяют решить ряд технологических вопросов, возникающих при изготовлении термоэлементов, и создать более высокоэффективные термоэлектрические охладители.

Высокоэффективный экструдированный материал на основе $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$ для низкотемпературных охладителей.

М.М. Тагиев, Ф.С. Самедов, З.Ф. Агаев

Институт Фотозлектроники АН Азербайджанской Республики, Баку.

Твердые растворы систем Bi - Sb имеют рекордно высокую термоэлектрическую эффективность (Z) в области низких температур (ниже $\sim 200\text{K}$) и применяются для создания низкотемпературных термо, магнитотермоэлектрических, а также фотозлектрических преобразователей. Однако из-за слоистости структуры монокристаллы систем Bi - Sb обладают низкой механической прочностью, что ограничивает их применение при создании электронных преобразователей.

В данной работе получены высокоэффективные и прочные экструдированные материалы на основе твердых растворов $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$ для низкотемпературных электронных охладителей. Термо- и магнитотермоэлектрическая добротности разработанного материала достаточно высокие и близки к монокристаллическим образцам, а прочность на изгиб в ~ 3 раза превышает прочность монокристаллических образцов, что делает этот материал перспективным для применения в производстве.

Исследовано влияние донорного (Te) и акцепторного (Pb) примесей на электропроводность (σ), коэффициенты термо-э.д.с. (α) и Холла (R_x), теплопроводности (c) экструдированных образцов твердого раствора $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$ в интервале температур 77-300K и при напряженностях магнитного поля до $\sim 74 \times 10^4 \text{A/m}$

Легированием образцов $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$ с 0,005 ат.% Te Z растет от $\sim 5,8 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$ и достигает значения $\sim 6,2 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$. Магнитотермо-

электрическая добротность (Z_{\max}) твердого раствора $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$, легированного 0,005 ат.% Te при температуре $\sim 77\text{K}$ и напряженности магнитного поля $\sim 11 \times 10^4 \text{ А/м}$, имеет значение $\sim 7,2 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

Показано, что при легировании образцов $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$ свинцом с концентраций 0,05 ат.% и более происходит смена типа проводимости с электронного на дырочный при температурах ниже $\sim 130\text{K}$, что приводит к инверсии знака коэффициентов α и R_x . Z образцов p-типа проводимости достигает значения $\sim 0,84 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ при $\sim 77\text{K}$.

Значения $Z = 6,2 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ и $Z_{\text{м.т.э.}} = 7,2 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ для экструдированных образцов $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$, легированных 0,005 ат.% Te, а также значение $Z = 5,8 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ для нелегированных экструдированных образцов, полученных нами, позволяют рекомендовать эти материалы для создания низкотемпературных термо- и магнитотермоэлектрических электронных охладителей.

Влияние удельного сопротивления ветвей и сопротивления переходных контактов на термоэлектрические свойства термоэлементов.

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

Институт Фотозлектроники Академии наук Азербайджанской Республики, Баку.

Исследованы зависимости термоэлектрической эффективности Z термоэлементов на основе $\text{Bi}_{0,5}\text{Sb}_{1,5}\text{Te}_3$ и $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$ от удельного сопротивления ρ материалов ветвей при разных значениях сопротивления переходных контактов r_k и длины ветвей l ; от l ветвей при разных ρ и r_k ; и от r_k переходных контактов при разных значениях ρ и l ветвей.

Слитки p- $\text{Bi}_{0,5}\text{Sb}_{1,5}\text{Te}_3$ и n- $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$ получены методом горячей экструзии. Для изготовления ветвей были использованы слитки с электропроводностью от ~ 570 до $\sim 1600 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$. В качестве коммутационных сплавов использовали системы Bi- Sn, Bi- Sn - Sb, Bi- Pb - Sn, Bi - Pb - Cd- Sn, которые создали с указанными кристаллами контакты с r_k от 10^{-4} до $6 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.см}^2$. Добротность Z определялась измерением в стационарном режиме максимального градиента температуры (ΔT_{\max}), возникающего на термоэлементах при прохождении через них оптимального тока, в вакууме $\sim 1,3 \cdot 10^{-1} \text{ Па}$, при температуре окружающей среды $\sim 296 \text{ K}$ и температуре горячего спая 300 K .

Выяснено, что для данного коммутационного сплава длина l_k , после которой с уменьшением длины ветвей наблюдается сильное падение ΔT_{\max} , не зависит от удельного сопротивления ветвей. Однако, при переходе от сплава с меньшим контактным сопротивлением к сплавам с большим контактным сопротивлением, l_k смещается в сторону больших длин ветвей. Это объясняется тем, что для одного и того же сплава r_k само зависит от ρ кристаллов; с ростом ρ уменьшается концентрация основных носителей тока в кристалле, что приводит к росту сопротивления перехода кристалл-контактный сплав. Установлено, что r_k контак-

тов прямо пропорционально ρ ветвей. Поэтому отношение r_k / ρ при изменении ρ остается постоянным. При переходе же от одного сплава к другому r_k меняется, что приводит к смещению l_k .

Полученные результаты использованы при разработке различных термоэлектрических охладителей для ИК фотоприемников.

Особенности роста и электрофизические свойства эпитаксиальных плёнок $Pb_{1-x}Sn_xSe:In$.

Э.Ю.Салаев, И.Р.Нуриев, Х.Д.Джалилова, Н.В.Фараджев

Институт Фотозлектроники АН Азербайджанской Республики, Баку

Твердые растворы $Pb_{1-x}Sn_xSe$ являются перспективным материалом для оптоэлектроники.

Эпитаксиальные пленки этих материалов используются в оптоэлектронике, и нашли практическое применение в спектральном диапазоне 8-12 мкм в качестве фотодиодов с барьером Шоттки. Однако о фотопроводимости монокристаллов или эпитаксиальных пленок твердых растворов $Pb_{1-x}Sn_xSe$, до настоящего времени не сообщалось, что, по-видимому, связано с отсутствием материалов с пониженной концентрацией ($\leq 10^{16} \text{см}^{-3}$).

В настоящей работе исследованы особенности роста эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x=0.03-0.07$), легированных In с различными степенями компенсации. В качестве подложек использовались свежесколотые грани и полированные пластины BaF_2 (111,100). Пленки выращивались методом конденсации молекулярных пучков из заранее синтезированных твердых растворов $Pb_{1-x}Sn_xSe$, легированных In.

Сведения о структуре пленок были получены электронографическим, рентгенодифрактометрическим и электронномикроскопическим методами.

Структурно совершенные пленки толщиной 1ц1,5 мкм получались при температуре подложек (400-450) 0,5оС. Значения полуширины кривого качания рентгеновской дифракции, концентрации и подвижности носителей заряда соответственно составляли: $W_{1/2}=180-200$; $\pi=2-5 \cdot 10^{16} \text{см}^{-3}$; $\mu=2-3 \cdot 10^4 \text{см}^2/\text{В.с}$.

Пленки имели зеркально-гладкую поверхность с плоскостями роста (100,111) на различных подложках.

Исследование процессов роста кристаллов $CdTe$ и $Cd_xHg_{1-x}Te$ из Тераствора во вращающемся магнитном поле на Земле и в космосе

А.С. Томсон¹, В.В. Крапухин¹, А.С. Сенченков²

¹ ГУП "НПО "Орион", Москва, ² КБОМ/ ТЦ "Слав", Москва.

Фундаментальная идея выращивания кристаллов в космосе заключается в возможности исключить гравитационную конвекцию и обеспечить диффузионный массоперенос в жидкой фазе. Однако в действительности имеется ряд факторов, которые влияют на массоперенос в жидкости: остаточные низкочастотные ускорения, градиент поверхностного натяжения на свободной поверхности жидкости, вибрационные ус-

корения и т.д. Вариантом решения рассматриваемой проблемы является создание таких условий, при которых не будет заметно влияние реальной динамической ситуации на борту КА на процесс роста кристалла. Например, такие условия могут быть созданы путем использования вращающихся магнитных полей.

В докладе приведены результаты теоретического и экспериментального исследования возможности получения полупроводниковых кристаллов соединений A^2B^6 с высокой степенью однородности свойств в макро- и микромасштабе путем управления процессами массопереноса в жидкой фазе с помощью вращающихся магнитных полей. Важным отличием этой работы от проводившихся ранее являются достаточно большие размеры выращиваемых кристаллов (\varnothing 25 мм).

В космическом эксперименте на ИСЗ "Фотон-9" выращены кристаллы CdTe в кварцевой ампуле из Te-раствора с перемешиванием жидкой фазы магнитным полем. Изучено влияние свободного объема на форму фронта кристаллизации и образование включений второй фазы. Установлено, что перенос теллура через паровую фазу приводит к возникновению локальных жидких зон на обратной стороне затравки, которые перемещаются в объем растущего кристалла. При перемешивании жидкой фазы магнитным полем в условиях микротяжести свободный объем собирается в растворе в виде полости, нарушающей процесс кристаллизации.

Наземная отработка процесса кристаллизации $Cd_xHg_{1-x}Te$ выполнялась на установке "Зона-4". Выращивание кристаллов проводилось в кварцевой ампуле с внутренним \varnothing 25 мм при максимальной температуре 650 - 670 °С в зоне со скоростью 2,5 мкм/мин без затравочного кристалла. Магнитная индукция в зоне варьировалась в пределах 0 - 6 мТл, частота вращения - 400 Гц.

Для уменьшения свободного объема синтез исходного слитка для выращивания кристалла $Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te$ проводился путем сплавления бинарных соединений с избытком теллура в ампуле с плавающей крышкой. На начальной стадии процесса кристаллизации происходило образование зоны раствора за счет движения обогащенных теллуrom включений в область исходного слитка с наиболее высокой температурой. Дальнейшее перемещение зонного нагревателя обеспечивало рост кристалла без включений второй фазы.

Исследована макро- и микроструктура выращенных кристаллов и вариации состава твердого раствора в осевом и радиальном направлении. Зависимость однородности состава кристалла в поперечном сечении кристалла от величины приложенного магнитного поля соответствует результатам математического моделирования процессов тепло - и массопереноса.

Исследование аномальной электронной эмиссии из стекла при электронно-лучевой обработке.

¹Фукс Б.И., ²Филачев А.М., ³Гринфельд Д.Э.
¹ИРЭ РАН, ²ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», ³МФТИ.

Электронно-лучевая обработка диэлектрических материалов существенно затруднена тем, что вносимый электрический заряд не может распространяться по веществу и покидать область обработки. Вместе с тем, накопление заряда приводит к возникновению сильных электрических полей, которые оказывают влияние на электронную эмиссию с поверхности. Кроме обычной вторичной электронной эмиссии, имеющей место при облучении ускоренными электронами поверхности любых веществ, при воздействии электронного луча на ряд диэлектриков имеет место иной механизм эмиссии, связанный с сильным разогревом электрическим полем подсистемы свободных электронов. Последние образуются в веществе в результате его ионизации электронным лучом.

Рассматриваемый механизм приводит к электронной эмиссии, существенно превышающей по интенсивности вторичную, что приводит к практически полной утечке внесенного в материал заряда даже при высоких энергиях электронного луча, когда вторичная эмиссия мала. При этом обработка материала упрощается.

При высокой интенсивности облучения, которая необходима при обработке вещества, эмиссия горячих электронов носит импульсный характер. Накопленный заряд покидает вещество за серию очень коротких импульсов с высокой интенсивностью тока. Эта черта рассматриваемого механизма эмиссии может быть объяснена спецификой электрон-фононного взаимодействия.

В докладе представлены результаты исследования эмиссии электронов с поверхности силикатных стекол при различных режимах воздействия на них ускоренных электронов. Обсуждаются основные особенности явления.

Интерференционные покрытия конструктивных узлов и элементов фотоприемников.

*Буткевич В.Г., Глебов Ю.А., Глобус Е.Р., Алмазов Ю.А.,
Зверева Н.Ю., Ревзина О.Г.
ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва*

Развитие промышленности фотоприемных устройств потребовало, чтобы оптические покрытия, как и другие используемые комплектующие узлы, удовлетворяли бы весьма жестким технологическим (на этапах сборки фотоприемника) и эксплуатационным требованиям. Поэтому с самого начала разработки ИК-приемников в ГУП "НПО "Орион" развивались нетрадиционные методы производства оптических покрытий и впервые в мире совместно с ГОИ им. Вавилова было налажено серийное производство высокопрочных просветляющих покрытий для германия, кремния и сапфира методом реактивного катодного распыления окислов тугоплавких металлов.

В дальнейшем в ГУП "НПО "Орион" были разработаны нетрадиционные методы осаждения оптических слоев сульфидов, селенидов и фторидов из низкотемпературной плазмы и ионных пучков, что позволило создавать конструкции фотоприемников для области спектра 8 4 14 мкм.

Принципиально новым технологическим решением явилась разработка интерференционных систем на основе процесса управляемого слоистого прокисления кремния, которые по прочности практически не отличаются от монокристаллического кремния.

Наиболее сложным процессом является процесс нанесения оптических покрытий непосредственно на чувствительные элементы вследствие опасности их физического или химического взаимодействия. Разработка метода ионно - термического осаждения позволила частично решить эти проблемы и, в частности, проблему просветления элементов кадмий -ртуть -теллур .

Изготовление « тонкой структуры » для матричного фоточувствительного элемента на основе антимонида индия.

*Васильков В.Н., Касаткин И.Л., Костина Т.А., Морозов В.А.,
Рябова А.А., ¹Чеканова Г.В., Чишко В.Ф.
ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва
¹ГУП завод «Альфа»*

Технологический процесс изготовления матричного фоточувствительного элемента на основе InSb включает высокотемпературный (> 550К) операции, которые не могут быть выполнены на заранее изготовленной «тонкой структуре» из-за наличия слоя клея. Нами разработана методика, позволяющая изготавливать «тонкую структуру» после выполнения других технологических процессов, с сохранением всех параметров фотодиодов.

Наша методика включает следующие основные этапы:

- наклеивание пластины антимонида индия с готовыми фотодиодными матрицами на промежуточный носитель (лейкосапфир) рабочей стороной вниз, используя термопластические клеи;
- утоньшение InSb от 600 до 25мкм с применением механической и химической обработок;
- наклеивание на обратную сторону полученной структуры пластины кремния прозрачного в средней ИК - области, используя хладостойкий клей;
- отклеивание промежуточного носителя и отмывка рабочей стороны от термопластического клея.

Измерения параметров фотодиодов до и после этих операций показали, что не происходит никакой их деградации. Квантовая эффективность при засветке с тыльной стороны составляет 75% от квантовой эффективности при засветке с лицевой стороны.

Электрогидродинамический источник ионов и микрокапель.

ГАСАНОВ И.С.

Институт Фотозлектроники Академии наук Азербайджанской Республики, Баку.

Острийные источники на основе проводящих жидкостей, обладающие наибольшей яркостью ионной эмиссии, являются привлекательным объектом для исследований и технологических применений. Такие источники используются в микроэлектронике для прецизионной модификации поверхности материалов, исправления дефектов масок, получения высококачественных пленок осаждением микрокапельной фазы. Разработка стабильного многоострийного источника также перспективно для создания космических двигателей малой тяги.

В источниках данного типа процессы разогрева зоны эмиссии встречным потоком электронов, испарения рабочего вещества, ионообразования происходят в области субмикронного масштаба, что сильно затрудняет диагностику явлений. В связи с этим, несмотря на достаточно длительный период исследований, общепринятого и обоснованного понимания процессов не достигнуто.

В работе изучался жидкометаллический источник ионов индия и олова с током до 150 мкА и энергией до 20 кэВ. Система позволяла регистрировать частотный спектр ионного тока и масс-спектр пучка. Впервые было обнаружено, что возбуждение колебаний тока и генерация микрокапель происходят синхронно. Также было обращено внимание, что спектр размеров микрокапель является непрерывным в диапазоне 20 - 400 Å^0 , а частотный спектр - дискретным в диапазоне 1 - 30 МГц. Причем, каждый пик в спектре колебаний возникает пороговым образом при увеличении тока пучка.

Дискретная форма спектра колебаний свидетельствует о перегреве вершины жидкого выступа встречными электронами, приводящего к разлету заряженных микрокапель. Последующий пик в спектре появится тогда, когда электронный поток будет в состоянии разогреть более широкую концентрическую зону эмиттера.

Следует отметить, что генерация микрокапель при определенном токе пучка не приводит к излому вольтамперной характеристики источника. Это свидетельствует о том, что разлет микрокапель не нарушает процесса ионной эмиссии.

Приведенные данные позволяют утверждать, что образование ионов в электрогидродинамическом источнике происходит вследствие полевой ионизации атомов рабочей жидкости при их аномальном испарении в результате возбуждения электронной подсистемы эмиттера встречным потоком вторичных электронов.

Кремнийорганический высокоэластичный конструкционный клей герметик для полупроводниковых структур.

Антипова М.А., Молостова А.Ю., Глобус Е.Р., Макарова Т.Н.

ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва.

Разработан принципиально новый тип полимерного клея - гер-

метика на основе силоксануретановых блоксополимеров для герметизации и сборки фотоприемников на основе халькогенидов свинца. Герметик отличается от известных полимерных клеев - герметиков, применяемых в технологии изготовления названных фотоприемников (компаунды УК-1, УК-2, ЦР-3 и др.), уникальным набором свойств в части повышенной эластичности, ускоренного режима отверждения с возможностью варьировать его в зависимости от технологических требований, при сохранении адгезионной прочности, оптической прозрачности и способности к стабилизации фотоэлектрических параметров фоточувствительных структур. Никакого отрицательного воздействия на характеристики ФЧ - пленок на основе халькогенидов свинца клей не оказывает, в т.ч. и в случае полимеризации на поверхности пленок. Новый клей-герметик представляет собой экологически чистую композицию за счет использования нетоксичного отвердителя (взамен токсичного диизоцианата для подобных композиций).

На представленный клей герметик получен патент Российской Федерации.

В настоящее время клей-герметик широко используется в технологии изготовления нескольких типов фотоприемников. Разработанный клей-герметик может быть рекомендован в качестве защитного покрытия, конструкционного, оптического клея и заливочного компаунда для изделий электронной промышленности, приборостроения и других отраслей промышленности.

Оптимальное включение фотосопротивлений.

*Ю.Н. Долганин, В.В. Загулин
ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва.*

Вопросы оптимального включения фотосопротивлений (ФС) в схему питания при технической реализации на практике традиционно рассматриваются с двух сторон: выбор оптимального сопротивления нагрузки и оптимизация режима питания при выборе тока смещения. Выбор сопротивления нагрузки, в свою очередь, рассматривается с точек зрения: получения максимальной амплитуды сигнала, минимизации зависимости выходного сигнала от изменения характеристик ФС (например, темнового или "фонового" сопротивления), достижения максимального отношения сигнала к шуму.

В работе рассмотрены особенности каждого из направлений оптимизации для указанных схем и даны некоторые рекомендации по практической реализации оптимальных режимов включения ФС.

Показано, что:

- сименсовая чувствительность является показателем качества ФС,
- вольтовая, токовая омная и пороговая чувствительности характеризуют не только качество ФС, но и схему включения последнего (приведены формулы, связывающие указанные параметры с сименсовой чувствительностью),

-оптимизация сопротивления нагрузки по критерию максимума амплитуды сигнала для случая, когда собственные шумы ФС относительно входного каскада усилителя велики, либо не целесообразна, поскольку возможна перегрузка усилителя по постоянной составляющей сигнала, либо вредна, так как требует большого напряжения питания и ухудшает собственные характеристики ФС,

-оптимизация сопротивления нагрузки по критерию максимума амплитуды сигнала для случая, когда собственные шумы ФС относительно входного каскада усилителя малы, не проводится,

-оптимизация сопротивления нагрузки по критерию максимального отношения $U_c/U_{ш}$ для низкоомного ФС достигается при $R_n \gg R_t$ (причем уровень шума при $R_n \gg R_t$ меньше, чем при $R_n = R_t$) для высокоомного ФС с преобладанием г-р-шума над тепловым критерий максимального отношения $U_c/U_{ш}$ безразличен к величине R_n , оптимизация сопротивления нагрузки по критерию минимальной зависимости выходного сигнала от изменений теплового сопротивления ФС достигается только тогда, когда выходной сигнал является функцией только собственной чувствительности ФС, то есть в режиме короткого замыкания, оптимизация сопротивления нагрузки по критерию минимальной зависимости выходного сигнала от изменений теплового сопротивления ФС для низкоомных приемников излучения имеет побочный эффект - возрастает коэффициент электрической связи, ток смещения по критерию максимального отношения $U_c/U_{ш}$ имеет оптимум, определяемый материалом приемника и его конструкцией.

Обоснование и разработка предложений по методикам испытаний тепловизионных модулей на надежность

¹Дегтярев Е.В., ¹Дмитриев Е.П., Заитов Ф.И., д.т.н.,

¹Солодков А.А., Черкашина В.Н.

ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва.

¹ЦНИИ-22 МО РФ.

Проведен анализ номенклатуры унифицированных функциональных (модулей) тепловизионных приборов (ТВП) и обоснованы предложения по использованию эффективных методов ускоренных испытаний тепловизионных модулей на долговечность и сохраняемость, прогнозирования их показателей надежности по результатам ограниченных по длительности испытаний.

При подготовке предложений по использованию эффективных методов ускоренной оценки надежности модулей ТВП, включая и методы их прогнозирования, учитывался опыт, накопленный по этой проблеме для изделий и аппаратуры, наиболее близких как по своему конструктивно-техническому исполнению, так и режимам и условиям эксплуатации с исследуемыми объектами.

Для каждого вида модуля определены "элементные" и аппаратурные аналоги и предложены конкретные методы ускоренных испытаний на надежность.

Прогнозирование шумовых характеристик фотоприемных устройств, работающих в полях ионизирующих излучений

Заитов Ф.А.¹ Краснов Л.В., Черкашина В.Н.

ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва.

¹ НИИ физики Санкт-Петербургского ГУ.

Весьма существенной характеристикой качества работы фотоприемных устройств (ФПУ) является уровень шума, регистрируемый ФПУ в полях ионизирующих излучений.

Эффективным методом решения задач прогнозирования шумовых характеристик фотоприемных устройств, подвергнутых воздействию импульсных нейтронов или работающих в полях ионизирующих излучений, является теоретический расчет этих характеристик. Физические процессы возникновения этого шума существенно отличаются от процессов, вызывающих дробовый шум, связанный с дискретностью носителей заряда при протекании темновых токов через фотоприемники. Сложность задачи, возникающей из-за стохастической природы физических явлений, ответственных за появление ионизационных токов в фоточувствительных структурах, влечет за собой и сложность используемых математических методов. Расчеты, в большинстве случаев, могут быть выполнены лишь численным способом с использованием мощных ЭВМ.

Метод математического моделирования оказывается наиболее адекватным физическим процессам, протекающим в фотоприемных устройствах в полях ионизирующих излучений.

В работе приводится описание программы расчета шумового тока в фотодиоде, обусловленного воздействием ионизирующих излучений, а также сравнение результатов расчета с использованием разработанной программы и измерений шумовых токов в кремниевом фотодиоде при воздействии гамма-излучения различной мощности. Расхождение между расчетными и экспериментальными величинами не более чем вдвое.

Новые полимерные материалы для изготовления ФР и ФПУ на основе КРТ.

Хитрова Л.М., Трошкин Ю.С., Беляев В.П.,

Поповян Г.Э., Киселева Л.В.

ГНФ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва.

С целью повышения качества ФР и ФПУ из тройного полупроводникового сплава КРТ, для упрощения технологии и расширения ее возможностей разработаны новые и опробованы в новом качестве ранее разработанные клеевые композиции.

В развитие РТМЗ-1950-91 разработано два новых крио- и химически стойких клея: эпоксикремний-органический клей «ФХ-5Р» и акриловый ультрафиолетового отверждения клей «Орион-2», которые предназначены для приклейки пластин КРТ к подложке.

Вакуумноплотный модифицированный клей «ХСК-Н» применен для крепления входных окон и элементов стеклянного держателя и обеспечивает надежное соединение в диапазоне температур от 77К до 423К.

Разработана виброгасящая тиксотропная композиция «Орион-65» для монтажа многослойных печатных плат, ее использование приводит к снижению виброшумов и повышает вибропрочность ФПУ.

Магнитоэлектрические свойства коммутационных контактов термоэлементов на основе твёрдого раствора $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$.

М.М. Тагиев.

Институт Фотозлектроники АН Азербайджанской Республики, Баку.

Исследованы зависимости переходного сопротивления (r_k) экструдированных образцов твердого раствора $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ со сплавами, содержащими атомы олова (сплав масс. %: 57Bi+43Sn) от термообработки, в интервале температур от ~77 до ~300 К и напряженности магнитного поля (H) до $\sim 74 \times 10^4$ А/м.

Были исследованы образцы, не прошедшие после экструзии термообработку и эти же образцы прошедшие послеэкструзионную термообработку при 503 К в течение 5 часов. Выяснено, что характер изменения r_k твердого раствора $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ указанным сплавом и удельного сопротивления (ρ) самого твердого раствора от H одинаковые.

В результате диффузии атомов Sn из контактного сплава в твердый раствор $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$, вблизи контакта возникает приконтактный слой данного твердого раствора, легированный атомами Sn, приводящей к возникновению структуры твердый раствор $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ - промежуточный слой твердого раствора $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$, сильнолегированный акцепторными атомами Sn - контактный сплав. Переходное сопротивление структуры, в основном, определяется переходным сопротивлением перехода твердый раствор $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ - промежуточный слой.

При легировании экструдированных образцов твердого раствора атомами теллура r_k переходного контакта резко падает, что обусловлено как компенсацией акцепторного действия атомов Sn диффундирующих из контактного сплава в приконтактную область твердого раствора атомами Te, так и ростом концентрации электронов в $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$.

Легированием приконтактного слоя твердых растворов систем Bi - Sb атомами теллура в структурах твердый раствор Bi - Sb - контактный сплав можно существенно уменьшить сопротивление переходных контактов в преобразователях на основе этих структур и тем самым значительно увеличить эффективность преобразователей.

Формирователь тестовых полей.

Малеев Н.М., Золотцева В.В., Кулибаба В.И., Михайлов В.Н.

Сибирский НИИ оптических систем, Новосибирск.

Формирователь тестовых полей - это универсальный метрологический стенд для проведения лабораторно-стендовых испытаний и исследова-

дований в условиях разработки и серийного производства как многоэлементных приемных устройств (линейного и матричного типа), так и тепловизионных приборов на их основе.

В состав формирователя входят:

- опτικο-механический блок;
- блок электроники;
- управляющая ЭВМ - IBM PC/AT.

Оптико - механический блок формирователя тестовых полей на базе созданных и разрабатываемых модулей позволяет: спроектировать тестовое поле в плоскость фоточувствительной площадки исследуемого фотоприемного устройства или создать коллимированное излучение для исследования тепловизионных приборов.

В состав оптико-механического блока входят:

- 1) источник излучения;
- 2) модуль тестовых объектов;
- 3) коллимационный объектив;
- 4) проекционный объектив;
- 5) радиометр.

Источником излучения служит модель абсолютно черного тела. Нагрев и охлаждение осуществляется с помощью термоэлектрических элементов. Контроль температуры осуществляется с помощью калиброванного термосопротивления.

Модуль тестовых объектов представляет собой тестовый объект, изготовленный по специальной технологии и установленный с специальный изолирующий держатель с возможностью подогрева и контроля температуры излучающей поверхности.

Коллимационный объектив заимствован из серийно идущих изделий, а также имеется ряд рассчитанных объективов для разных спектральных диапазонов.

Проекционный объектив может формироваться либо дополнением к коллимационному объективу такого же второго объектива, либо установкой специального рассчитанного объектива.

Для метрологической аттестации спроектированного тестового поля или коллимированного излучения разработан радиометр. Радиометр выполнен на основе одиночного фотоприемника, установленного на специальной прецизионной подвижке по осям координат.

Источник излучения, модуль тестовых объектов, коллимационный объектив или проекционный объектив установлены на двух координатном прецизионном столике, который дает возможность точно установить в заданное положение данные модули. Сборка оптико-механического блока выполнена на массивной чугунной плите с регулируемыми и крепежными винтами.

Устройство обработки сигналов смотрящих ИК-матриц формата 128x128, КРТ.

*Золотцев В.В., Кулибаба В. И., Малеев Н.М.
Сибирский НИИ оптических систем, Новосибирск.*

В данном Устройстве реализована конвейерная структура с сигнальным процессором в качестве основного и единственного вычислительного элемента. Неизменной аппаратной частью, связанной с процессором обработки потока цифровых данных в устройстве, является модуль цифрового сигнального процессора, а часть аппаратуры, непосредственно сопрягаемая с матрице, может быть легко заменена путем замены модулей АЦП (файла конфигурации КЛМ), спроектированных под конкретный вид ФПУ. Таким образом, прибор хорошо адаптируется под любой тип матрицы из существующего спектра. Программы работы цифрового сигнального процессора также являются сменными и адаптируются под конкретные вид матрицы и алгоритм обработки информации. Устройство может быть применено для создания цифровых устройств обработки изображений цифровых матричных тепловизоров, стендов для исследования матричных ФПУ со скоростью обработки до 25 TV - кадров в секунду с матрицами формата до 128x128.

В состав настоящего Устройства обработки смотрящих матриц входят следующие модули и блоки:

- 1) модуль процессора, выполняющий функции управления работой всего устройства и обработки потока цифровых, данных по основному алгоритму $Y=(X-A)*B$;
- 2) модуль аналого-цифрового преобразования, который осуществляет формирование всех управляющих сигналов для МФПУ, генерирует сигналы синхронизации работы МФПУ и всего прибора в целом, преобразует аналоговые выходные информационные сигналы матрицы в цифровой 12-ти разрядный код;
- 3) модуль входного буфера, осуществляющий прием потока цифровых данных и сигналов синхронизации из модуля АЦП, табличную коррекцию дефектов элементов МФПУ, формирование и хранение массива фототоков в буферном ЗУ;
- 4) модуль телевизионного буфера, предназначенный для хранения и отображения на экране TV- монитора массива информации, принятой из магистрали системного модуля;
- 5) панель управления, предназначенная для выбора режимов работы Устройства, смены вида отображаемой информации и т.п.

Краткие технические характеристики устройства

| | |
|---|-----|
| Число генерируемых или принимаемых внешних управляющих дискретных сигналов для МФПУ | 12 |
| Минимальный период опроса элементов МФПУ (ns) | 800 |
| Период опроса кадров (mS) | 20 |
| Разрядность телевизионного ЦАП (отображение по ГОСТ 2745-92) | 8 |

Устройство обработки сигналов матриц, работающих в режиме ВЗН, на КРТ.

*Золотцев В.В., Кулибаба В.И., Малеев Н.М.
Сибирский НИИ оптических систем, Новосибирск.*

В серии этих устройств реализована конвейерная структура с жесткой аппаратной реализацией основного алгоритма $Ax+B$ и вспомогательным каналом управления и вычислений с процессорным элементом. В структуре Устройства имеются два параллельных канала обработки: конвейерный аппаратный вычислитель, работающий по жесткому алгоритму в темпе поступления входных данных; и процессорный модуль программных вычислений, обеспечивающий обработку данных по произвольным алгоритмам вне темпа входного потока и производящий вспомогательные вычисления для конвейерной обработки. Устройство может быть применено для создания цифровых устройств обработки изображений, цифровых матричных тепловизоров, стендов для исследования матричных ФПУ со скоростью обработки до 25 TV- кадров в секунду с линейками ВЗН до 2×256 или матрицами формата до 512×512 .

В состав устройства входят:

1) модуль АЦП, осуществляющий аналого-цифровое преобразование информационных сигналов фотоматриц по 2-м параллельным каналам и формирование последовательного потока 12-ти разрядных цифровых данных;

2) модуль управления, который содержит процессор ADSP2181 с сопутствующими элементами, осуществляющий управление работой всего Устройства в целом и обеспечивающий реакцию на органы управления, он же производит вспомогательные вычисления для процессора конвейерной обработки или программную обработку данных по гибким алгоритмам без привязки к телевизионному темпу. Модуль управления имеет связь со всеми модулями Устройства по магистрали обмена;

3) в модуле входного буфера расположены узлы, осуществляющие прием входного потока цифровых данных, обеспечивающие табличную адресную коррекцию дефектов МФП и формирующие поток данных для последующих узлов, стоящих в конвейерной цепочке аппаратной обработки. В модуле входного буфера находится также контроллер конвейерной магистрали, по которой проходит однонаправленный поток цифровых данных в процессе конвейерной обработки;

4) модуль цифровой обработки вмещает в себя сумматор и умножитель с сопутствующими элементами, осуществляющие дальнейшую конвейерную обработку потока данных по жесткому алгоритму в темпе их поступления из конвейерной магистрали;

5) в модуле телевизионного буфера расположены узлы, формирующие выходной кадровый массив для отображения. В модуле телевизионного буфера находится также цифроаналоговый преобразователь, формирующий сигнал для телевизионного монитора.

Компиляция изображений по многоспектральным и/или многоканальным данным.

*П.Г. Попов, И.В. Борисов, В.Н. Горенок
Сибирский НИИ оптических систем, Новосибирск.*

Применение многоканальных систем получения и обработки видеoinформации предопределяет задачу синтеза интегрированного изображения наблюдаемой сцены из изображений, полученных по различным каналам, т.к. интеграция изображения позволяет получить информацию, которая недоступна при раздельном и последовательном анализе.

Предлагается метод компиляции изображений, основанный на анализе и комбинировании спектров Фурье локальных окрестностей изображений. Метод применим для любого количества каналов наблюдения (в частности, для видимого и ИК диапазонов). Метод компиляции изображений удовлетворяет следующим требованиям:

- компилированное изображение должно отличаться от исходных изображений более высоким качеством (визуальным - для наблюдения, признаковым - для распознавания и т.д. в зависимости от поставленной задачи);
- качество компилированного изображения должно быть, по крайней мере, не хуже качества исходного изображения при блокировании (поражении или зашумлении) каких-либо остальных каналов наблюдения;
- метод компиляции изображений не должен опираться на точное знание статистических характеристик изображений и шумов, т.е. должен быть робастным;
- метод компиляции должен обеспечивать работу с любым количеством каналов наблюдения, независимо от их спектрального диапазона и сочетания.

Главной проблемой компиляции изображения для визуального их отображения является "сохранение рисунка": важные детали компонент изображения должны быть представлены на результирующем сводном изображении. В то время как сама процедура компиляции не должна вносить элементов искажения. Однако при сканировании линейными или матричными фотоприемниками изображение искажается одномерными или двумерными геометрическими шумами. Для устранения этих артефактов в предлагаемую процедуру вводится фильтрация геометрических шумов, заключающаяся в наложении на спектры локальных окрестностей анизотропных фильтров. Процедура фильтрации является неинструктируемой, оценка параметров входного изображения и процесс фильтрации выполняются полностью автоматически. Быстрый алгоритм компиляции позволяет проводить обработку в темпе поступления данных.

Медицинский газоанализатор на лазерах и фотоприёмниках ближнего ИК - диапазона.

¹А.Д.Бритов, А.И.Надеждинский, А.А.Березин, ¹А.С.Кононов, ¹Н.А.Суллейманов,
О.В.Ершов, В.Г.Кутяк

¹ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва
ЦЕНИ ИОФ АН

В настоящее время в медицине появился усиленный интерес к диагностике функциональных расстройств и раннего обнаружения заболеваний жизненных систем человека с помощью анализа газовых микрокомпонент выдыхаемого воздуха человека.

В частности лазерный анализ может быть применен в лечении онкологических заболеваний. Есть основания считать, что с его помощью возможна более ранняя диагностика появления раковых клеток во внутренних органах человека.

С помощью высокочувствительного лазерного спектрального анализа имеется возможность в выдыхаемом и вдыхаемом газах обнаружить все микрокомпоненты, которые могут свидетельствовать о функциональных расстройствах в организме. На основании тех или иных микрокомпонент, возможно, оценить состояние органов и систем и в соответствии с этим целенаправленно проводить терапию этих нарушений. Анализ можно проводить в реальном масштабе времени, либо путем взятия пробы выдыхаемого воздуха в кювету.

Газоаналитический метод является альтернативой методам диагностики, основанным на анализе крови. Он отличается неинвазивностью, исключает возможность заражения гепатитом и СПИДом, выполняется в реальном масштабе времени и в перспективе может диагностировать развитие заболеваний (диабет, рак внутренних органов, цирроз печени и др.) на более ранних стадиях.

Прибор основан на методе диодно-лазерной спектроскопии, обладающим высокой обнаружительной способностью выявления следов газообразных веществ (до 1 млрд^{-1}). Лазерно-спектроскопический анализатор в неохлаждаемом варианте включает в себя лазерный модуль с перестройкой частоты с помощью изменения температуры в Пельтье холодильнике, многоходовую кювету, фотоприемный модуль и систему регистрации. В этом случае регистрируется СО и метан на основе составных частот. Прорабатывается вопрос о регистрации других газов на основе составных частот в ближней ИК области в неохлаждаемом варианте. В аппаратуре предусматривается выход на компьютерную обработку информации.

Технические параметры:

- спектральный диапазон - в районе 1,7 мкм;
- чувствительность - определяется возможностью обнаружения следов газов, превышающих фоновый уровень (не менее $5 * 10^{-6}$ об. и выше);
- низковольтное напряжение питания лазера $\sim 1\text{В}$;
- напряжение питания блока обработки сигналов в макете - 220 В, может быть снижено до 12 В и меньше;

- мощность - десятки Вт;
- условия эксплуатации - 16 - 25°C;
- относительная влажность - 90%.

Основы теории точности проектирования электронно-ионно-лучевого технологического оборудования.

Васичев Б.Н., Зотова М.О.

ГП НИИ ЭиИО. Москва.

Успехи многих технологических процессов связаны с качеством элионной техники, используемой для осуществления этих процессов. Показатели качества любого устройства зависят от точности систем, оказывающих влияние на функционирование электронно- и ионно-оптических элементов электронно- и ионно-лучевого оборудования.

При проектировании технологического оборудования обычно выполняются точностные расчеты либо в целях определения ожидаемых показателей качества электронно- и ионно-лучевого оборудования, либо в целях определения допусков на случайные ошибки (из условия заданных показателей качества) на конструктивные параметры узлов и деталей.

Расчеты на точность - это получение численных значений ошибок проектирования, изготовления, сборки и эксплуатации, а следовательно и технологии. Расчеты завершают точностной анализ, состоящий в выявлении источников, находений передаточных функций ошибок и получении расчетных формул. На основе полученных расчетом численных значений ошибок делается оценка по оптимизации принимаемых решений при конструировании либо оценка возможностей технологического процесса.

В процессе конструирования должна осуществляться оптимизация частных конструкторских решений на уровне узлов и проверка принятых допусков на электронно-оптические параметры и технологические первичные ошибки, а также расчет на точность всей элионной системы с учетом как теоретических, так и эксплуатационных ошибок. Такой метод конструирования позволит сократить число или отказаться совсем от многочисленных и частых подгонок и юстировок, уменьшить диапазон регулирования питающих токов и напряжений, исключить использование ЭВМ или микропроцессоров, осуществляющих подналадку и корректировку работы элионных систем для осуществления заданного технологического процесса. Все это позволит значительно упростить эксплуатацию, повысить надежность технологического процесса и снизить стоимость элионного оборудования.

Результаты разработки фотодиодов на InSb с ультранизкими темновыми токами для высокочувствительных ИК ПЗС.

Винецкий Ю.Р., Титов А.Г.¹, Фамицкий В.И., Астахов В.П.¹, Гиндин Д.А.,

Ю.Р. Карпов В.В., Соловьева Г.С., Талимов А.В.¹

АООТ «Завод Сапфир», Москва.

¹ ГНЦ РФ ГУП «НПО «Орион», Москва.

Для низкофоновых систем высокого разрешения на базе гибридных ИК-матриц актуальна задача существенного уменьшения величин темновых токов фоточувствительных элементов (менее $3 \cdot 10^{-11}$ А/площадку). Обсуждаются возможности и пути усовершенствования базовой технологии изготовления фотодиодов на InSb, позволяющие применять эту технологию для производства "низкофоновых" фотоприемников. Представлены результаты трех серий экспериментов по определению: наиболее эффективного режима постимплантационного отжига, целесообразности изменения топологии кристалла и оптимальных условий разварки кристалла в изделиях. При этом сравниваются:

- отжиги без капсулирующей пленки (импульсный фотонный излучением галогенных ламп и стационарный при $T=280^{\circ}\text{C}$ или $T=375^{\circ}\text{C}$) и с капсулирующей пленкой (базовый стационарный при $T=375^{\circ}\text{C}$);

- базовая топология и топологии с измененным зазором между площадками и "охраным" кольцом (ОК) и дополнительным диэлектрическим слоем под контактной площадкой;

- различные последовательности и условия проведения процесса разварки.

Сравнение проводится исходя из анализа прямых и обратных ветвей темновых ВАХ и величин темновых токов при обратном смещении 200 мВ.

На основании анализа результатов предложены следующие пути усовершенствования базовой технологии и топологии кристалла. а также его разварки в изделиях:

- замена базового стационарного отжига с капсулирующей пленкой при $T=375^{\circ}\text{C}$ на импульсный фотонный (380°C , 10-30 с) или стационарный без капсулирующей пленки при $T=280^{\circ}\text{C}$ при "смягчении" режима имплантации ионов Be^{+} ($E=40\text{кэВ}$, $D=20\text{мкКул/см}^2$);

- уменьшение зазора между площадкой и ОК от 30 до $7 \div 10$ мкм;

- введение дополнительного диэлектрического слоя под контактной площадкой;

- проведение разварки от растра или кристалла ПЗС к контактной площадке кристалла с предварительной разваркой и заземлением общего вывода.

Указанные меры позволили достигнуть величин темновых токов до

$7 \cdot 10^{-12} \text{А}$ на фоточувствительных площадках $50 \cdot 50 \text{ мкм}^2$, что отвечает условиям реализации VLIP-режима в низкофоновой системе.

Электронно-оптическая система для установки электронной литографии со сканирующей электроннооптической осью.

*Васичев Б.Н., ¹Балашов В.Н.
ГП НИИ ЭиИО. Москва*

¹ *Московский государственный институт электроники и математики.*

Наиболее простым и дешевым технологическим процессом при производстве малосерийных заказных ЗСБИС является так называемая однокристалльная технология, при которой на кремниевой или какой либо другой полупроводниковой пластине диаметром не более 16 мм размещается одна СБИС размером 10x10 мм или несколько меньшего размера. Однокристалльная технология производства ЗСБИС позволяет существенно упростить конструкцию электронно-литографической установки, да и всей технологической линейки, за счет совмещения ряда функций в одной рабочей камере литографа. Упрощается процедура совмещения, возможна оперативное ретуширование топологического слоя и его контроль, нанесение и проявление резиста за счет применения новых технических решений в конструкции электронно-оптической системы - электронной линзы со сканирующей электронной осью и ряда других.

Основная техническая сложность возникающая при создании объективной системы с большим полем сканирования - разработка способа динамической коррекции аберраций отклонения электронного пучка. Разработка метода коррекции основана на подходах вычислительной электронной оптики, состоящих в создании точных математических моделей электроннооптических систем и их численном исследовании и оптимизации. Традиционные математические модели электронной оптики не позволяют построить адекватную модель электронной линзы со сканирующей оптической осью.

Новые математические модели основаны на отказе от представления электромагнитных полей в форме степенных рядов и используя прямую интерполяцию полей на сетке или представление полей в форме интеграла Фурье и позволяет достаточно точно описать оптические характеристики электронных линз со сканирующей оптической осью при любой величине поля сканирования оси от ее геометрического центра в пределах конструктивных решений данной линзы.