

# Фотоэлектроника: элементная база и технология

УДК 621.383

## Горизонты фотоэлектроники

А. И. Дирочка, А. М. Филачёв

ФГУП «НПО "Орион"» — Государственный научный центр РФ, Москва, Россия

*Проанализированы основные тенденции развития фотоэлектроники и приборов ночного видения (по результатам XIX Международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения). Обсуждаются наиболее интересные доклады: по тепловидению, фокальным матрицам, системам обработки информации с фокальных матриц и системам охлаждения приборов, вопросы конструирования электронно-оптических систем, материаловедение для фотоэлектроники, в том числе органическое, физические явления и метрологические проблемы фотоэлектроники и др.*

23—26 мая 2006 г. в Москве состоялась XIX Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения с выставкой отечественных производителей оптико-электронных устройств, посвященная 60-летию ФГУП «НПО "Орион"».

Конференция проходила в ФГУП «НПО "Орион"» — ГНЦ РФ, который являлся организатором конференции и выставки. Конференция проходила при поддержке Министерства образования и науки РФ, Российского агентства по промышленности, Федерального агентства по науке и инновациям, Российской академии наук, Правительства Москвы, Российского отделения Международного общества по оптической технике (SPIE/RUS).

### Тематика конференции:

- полупроводниковые приемники излучения и формирователи сигналов изображения (физические исследования фотоприема и новых материалов; технология, включая электронную и ионно-плазменную; системы охлаждения и методы обработки сигнала);
- тепловые приемники излучения и формирователи сигналов изображения (физические исследования; технология; системы охлаждения и системы обработки сигнала);
- приборы ночного видения (на основе ЭОП и тепловизионные);
- микроэлектроника для фотоприемных устройств;
- новые направления и последние достижения в ИК-фотоэлектронике и приборах ночного видения.

На конференцию было заявлено около 300 докладов из ~100 организаций 10 стран (Азербайджан, Беларусь, Израиль, Польша, Российская Федерация, Турция, Узбекистан, Украина, Франция,

Корея). В работе конференции приняли участие представители из Литвы и Японии.

Тематика заявленных докладов заметно выходит за строгие рамки тематики конференции, она касается вопросов не только фотоэлектроники и приборов ночного видения, но и оптических приборов и их технологии; технологии фоточувствительных материалов и оптоэлектронных приборов и даже инновационных процессов в разработке и производстве фото- и оптико-электронных приборов.

Можно выделить несколько основных направлений, рассмотренных на конференции\*.

- Тепловидение, включая тепловизионные приборы, матричные и субматричные фотоприемные устройства на область 3—5 и 8—12 мкм.
- Системы охлаждения оптоэлектронных приборов.
- Технология материалов фотоэлектроники и приборных структур.
- Микроэлектроника считывания и обработки фотосигналов.
- Микроболометры.
- *p-i-n*-фотодиоды.
- Фотоэлектрические явления в полупроводниках и полупроводниковых структурах.
- Электронно-оптические преобразователи.
- Приборы ночного видения.
- Органические материалы в фотоэлектронике.
- Оптические приборы.
- Вопросы метрологии современных оптико-электронных приборов.
- Инновационные процессы в фотоэлектронике.

\* XIX Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения. (23—26 мая 2006. Москва, Россия). Тезисы докладов. — 232 с.

На конференции наиболее широко было представлено тепловизионное направление. Наряду с "приборными" докладами:

"Тепловизор второго поколения с тремя полями зрения" — Алеев Р. М., Бусарев А. В., Егорова В. В. и др. (ЗАО НПФ "Оптоойл", ФГУП «НПО "Орион"»);

"Тепловизионная камера с линейчатым ФПУ: идеология, реализация, результаты" — Терешин Е. А., Журавлев П. В. (КТИ ПМ) и др., в которых изложена идеология, конструкция и параметры разрабатываемых приборов, большой интерес вызвали доклады о фотоприемных устройствах для тепловизионных приборов, прежде всего, это доклады:

"Фотоприемные устройства для тепловизионной аппаратуры второго поколения" — Бурлаков И. Д., Дегтярев Е. В., Пономаренко В. П., Филачев А. М. (ФГУП «НПО "Орион"», ФГУП «22 ЦНИИ МО»);

"Большие смотрящие матрицы из КРТ фирмы SOFRADIR" — Триболе Ф. (SOFRADIR, Франция);

"Матричное фотоприемное устройство смотрящего типа формата 256x256 элементов, интегрированное с микрокриогенной системой охлаждения" — Болтарь К. О., Бурлаков И. Д., Яковлева Н. И. и др. (ФГУП «НПО "Орион"»);

"Матричное ФПУ формата 256x256 на основе InSb с высоким быстродействием и широкими функциональными возможностями" — Чишко В. Ф., Касаткин И. Л., Дирочка А. И. и др. (ФГУП «НПО "Орион"», РТК "Импекс");

"Фотоприемное устройство на основе матрицы МДП-фотодиодов на InAs для регистрации импульсных оптических сигналов" — Ли И. И., Базовкин В. М., Валишева Н. А. и др. (ИФП СО РАН);

"Новое поколение охлаждаемых многоэлементных фотоприемных устройств на основе фоточувствительных структур халькогенидов свинца" — Аракелов Г. А., Бочков В. Д., Дрожников Б. Н. и др. (ФГУП «НПО "Орион"»);

"Одно- и двухспектральные матричные фотоприемники на основе структур с квантовыми ямами" — Казаков А. А., Куликов В. Б., Бородин Д. В. и др. (ФГУП «НИИ "Полус"»);

"Инфракрасные фотоприемники на основе гетероструктур HgCdTe/CdZnTe/GaAs с варизонными слоями КРТ" — Варавин В. С., Васильев В. В., Дворецкий С. А. и др. (ИФП СО РАН).

В докладах приведены результаты работ исследователей и разработчиков из России и Франции по созданию матричных фотоприемных устройств 2-го поколения для основных спектральных диапазонов 1—3, 3—5 и 8—12 мкм на основе халькогенидов свинца (PbS, PbSe), антимонида и арсени-

да индия (InAs, InSb); твердых растворов теллурида кадмия-ртути ( $Cd_xHg_{1-x}Te$ ) и на основе структур с квантовыми ямами.

Представлены матрицы для диапазона 3—5 мкм формата вплоть до 640x512 и 1280x1024 элементов на основе HgCdTe, а также до 288x384 элементные смотрящие матрицы HgCdTe для диапазона 8—12 мкм, чувствительные в широком спектральном диапазоне.

Рассмотрены фотоэлектрические и эксплуатационные характеристики фотоприемных устройств со схемами предварительной обработки фотосигналов в охлаждаемой зоне форматов 2x256, 4x288, 256x256, 384x286, 768x576 (CdHgTe), 256x256 (InSb), 2x128 (PbS, PbSe).

Предложены основные области применения матричных фотоприемных устройств в оптико-электронной аппаратуре различного назначения. Наконец, представлены тенденции развития ИК-фотоприемников.

По направлению систем охлаждения следует выделить работы:

"Состояние и перспективы применения термоэлектричества в оптоэлектронике" — Анатыхчук Л. И., Разиньков В. В. (Институт термоэлектричества, Украина);

"Перспективы создания бесшумных криогенно охлаждаемых портативных тепловизоров" — Веприк А., Виленчик Г., Бройде Р., Пундак Н. (RICOR, Израиль);

"Интегрированные холодильные устройства фирмы Thales Cryogenics" — Жан-Ив Мартэн, Жан-Марк Кокиль (Thales Cryogenics, Франция);

"Результаты разработки ряда модульных МКС Сплит-Стирлинг для криостатирования ФПУ 1-го и 2-го поколений" — Липин М. В., Громов А. В. (ООО НТК "Криогенная техника").

Рассмотрены в основном микрокриогенные системы (МКС), работающие по термодинамическому циклу Стирлинга. Предложено несколько вариантов МКС. Разработанные МКС позволяют термостатировать фоточувствительные элементы фотоприемных устройств (ФПУ) на температурном уровне (75—80) К при тепловой нагрузке на МКС от 0,3 до 2,0 Вт. Приведены результаты исследований и испытаний МКС в различных условиях, особое внимание уделено уменьшению акустических шумов.

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

В методе термоэлектрического охлаждения (ТЭО) проанализированы фотоприемники, которые удобно сочетаются с ТЭО, и соответствующие им области температур охлаждения. Приведены данные о достижениях компьютерного проектиро-

вания как ТЭО для изделий фотоэлектроники, так и в целом оптоэлектронных систем с ТЭО. Рассмотрены особенности технологии изготовления ТЭО для оптоэлектронных устройств. Приведены сведения о тенденциях улучшения термоэлектрической добротности материалов, антидиффузионных слоев, механической и ресурсной стойкости.

Технологические проблемы получения материалов и приборных структур фотоэлектроники наиболее полно изложены в докладах:

"Гетероэпитаксиальные структуры теллурида кадмия и ртути для инфракрасных фотоприемников" — Алфимов С. А., Анциферов А. П., Сидоров Ю. Г. и др. (ИФП СО РАН);

"Гетероэпитаксиальные структуры РКТ ЖФЭ и многоэлементные фотоприемники на их основе" — Денисов И. А., Белогорохов А. И., Смирнова Н. А. и др. (ФГУП "ГИРЕДМЕТ", ОАО «Московский завод "Сапфир"»);

"Использование ионных источников с холодным катодом для решения технологических задач микрофотоэлектроники" — Козлов А. Н., Зайцев А. И., Даниловский А. Е. и др. (ФГУП «НПО "Орион"»).

Продолжены работы по производству гетероэпитаксиальных слоев КРТ МЛЭ на разных подложках и их исследования в направлении изучения физико-химических процессов роста, преднамеренного легирования, механизмов образования дефектов в целях создания основ технологии материала для инфракрасных фотоприемников 3-го поколения.

В ФГУП "Гиредмет" разработана технология и освоено опытно-промышленное производство не легированных и легированных индием эпитаксиальных слоев (ЭС)  $n$ -КРТ методом ЖФЭ на подложках кадмий—цинк—теллур. Характеристики полученных ЭС удовлетворяют требованиям, предъявляемым к фоточувствительному материалу при промышленном производстве многоэлементных фоторезисторов.

В технологии фоточувствительных элементов предлагается более широко использовать ионные источники с холодным катодом. В сравнении с плазменными технологическими процессами, процессы с применением ионных источников позволяют независимо контролировать энергию пучка, плотность ионного тока, направление пучка и остаточное давление в камере. Ионные источники могут работать при низком остаточном давлении и поэтому подходят для "чистых" процессов без привнесения примесей.

Обладая большой гибкостью управления, системы ионных пучков могут быть использованы в решении большого круга задач. Это очистка подложек, материалов, ионное травление, реактивное

травление, ионно-химическое травление, осаждение распылением, реактивное осаждение распылением, ионное асистирующее при нанесении пленок другими методами, нанесение алмазоподобных покрытий и модификация свойств материалов или модификация морфологии поверхности тонких пленок.

Проблеме развития микроэлектроники считывания и обработки фотосигналов посвящено много докладов, основными из которых являются доклады Сизова Ф. Ф. с сотр. (ИФП НАНУ), Минаева В. В. с сотр. (ОАО "Ангстрем") и др.

В докладе Сизова Ф. Ф. приводится сравнительный анализ параметров схем считывания с матриц формата 4x288 различной организации, изготовленных по разным технологиям. Все схемы считывания имели входной каскад прямой инжекции с элементами, позволяющими тестирование без подключения фотодиодов, TDI-регистры с тремя элементами задержки между соседними входами. С использованием ПЗС-технологии изготовлены 2- и 4-фазные схемы считывания с различными типами каналов – поверхностные, скрытые и *semiburied*, содержащие 10-битовые регистры TDI в каждом канале, 18-канальное мультиплексирование на 16 выходов.

Приведены основные параметры — *charge handling capacity*, передаточные характеристики, нелинейность выходной характеристики, разброс по напряжению смещения, подаваемого на фотодиоды. Использование ПЗС элементной базы для мультиплексирования приводит к увеличению взаимосвязи между каналами из-за наличия довольно значительной неэффективности переноса при криогенных температурах.

Сравнительный анализ показывает, что схемы считывания различных типов отличаются в первую очередь количеством выводов, различным внешним сервисом, но имеют близкие основные параметры.

ФГУП «НПП "Пульсар"», ООО «РТК "Импекс"» и ФГУП «НПО "Орион"» разработано семейство КМОП микросхем считывания сигнала с линеек, субматриц и матриц фоточувствительных элементов на основе InSb, PbS, PbSe, AlGaAs/GaAs, CdHgTe и др.

Разработан комплекс аппаратно-программных средств мониторинга, диагностики и контроля изготовления КМОП СБИС.

На конференции были широко представлены работы по  $p$ - $i$ - $n$ -фотодиодам из Беларуси, России и Турции.

В пленарном докладе Ю. П. Яковлева (ФТИ РАН) сообщается о последних достижениях в разработке  $p$ - $i$ - $n$ -фотодиодов на основе GaInAsSb/AlGaAsSb и InAsSbP/InAs, изготовленных мето-

дом жидкофазной эпитаксии и методом газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений (МОГФЭ).

Рассматриваются результаты, полученные для быстродействующих высокоэффективных GaSb/GaInAsSb/GaAlAsSb-фотодиодов на спектральный диапазон 1,5—2,5 мкм. Разработана широкая гамма таких фотодиодов с диаметрами фоточувствительной площадки 0,075—2,8 мм. Отличительными их особенностями являются высокая токовая монохроматическая чувствительность в максимуме спектра; высокое быстродействие — полоса пропускания фотодиодов с площадкой 0,075 мм достигает значений 1,5—2 ГГц; малое время отклика — 100—300 пс, низкое значение плотности обратных темновых токов. Обнаружительная способность фотодиодов в максимуме спектральной чувствительности достигала  $(5—8) \cdot 10^{10}$  см·Вт<sup>-1</sup>·Гц<sup>1/2</sup>.

Представлены также основные параметры, достигнутые на высокоэффективных быстродействующих InAs/InAsSbP-фотодиодах, выращенных методом МОГФЭ с широкозонным "окном" из InAsSbP для спектрального диапазона 2,0—3,6 мкм.

Исследованию фотоэлектрических явлений в полупроводниках и полупроводниковых структурах посвящено большое число работ. Следует выделить доклад "Инжекционные фотодиоды" "отца" инжекционных фотодиодов В. И. Стафеева (ФГУП «НПО "Орион"»). Проанализирован новый класс полупроводниковых фотоприемников с внутренним усилением и высокой фоточувствительностью в области собственного, примесного, далекого инфракрасного и субмиллиметрового излучения — инжекционные фотодиоды (ИФД).

При высоких уровнях инжекции концентрации неравновесных электронов и дырок равны и значительно превышают концентрацию равновесных. Они определяют проводимость базы, толщина которой в несколько раз превышает длину диффузионного смещения неосновных носителей. При освещении увеличивается концентрация носителей заряда и уменьшается сопротивление базы и падение напряжения на ней. Это приводит к увеличению напряжения на *p-n*-переходе и усилению инжекции носителей в базу, что дополнительно снижает ее сопротивление, усиливает инжекцию и т. д. Положительная обратная связь обеспечивает инжекционное усиление первичного фототока.

Освещение из примесной области спектра изменяет заполнение примесных уровней, что приводит к изменению не только концентрации неравновесных носителей, но и их распределению и проводимости базы. Поглощение излучения свободными носителями изменяет их энергию и подвижность. Фоточувствительность на этом эффекте увеличивается с ростом длины волны и простира-

ется до субмиллиметрового диапазона. Именно эти эффекты создают дополнительное "параметрическое" усиление фототока и вносят основной вклад в усиление фототока в ИФД.

Инжекционный механизм усиления обеспечивает примерно одинаковое усиление как фотосигнала, так и шумов, поэтому обнаружительная способность ИФД не хуже, чем у аналогичных фоторезисторов. Коэффициент усиления может достигать  $10^3—10^6$ .

При малых прямых токах фоточувствительность в области собственного поглощения намного больше, чем в области примесного. Однако примесная фоточувствительность при больших токах может превысить собственную. Высокая фоточувствительность, в отличие от обычных фотодиодов, наблюдается при освещении со стороны, противоположной *p-n*-переходу. Для фотоприемников ИК-диапазона используются легированные Ge, Si, GaAs и узкозонные полупроводники.

Для ультрафиолетового диапазона используются соединения GaP, GaP<sub>x</sub>As<sub>1-x</sub> и GaAs, ZnS и другие широкозонные полупроводники с фоточувствительностью в области спектра 200—900 нм. Наилучшими параметрами обладают ИФД на основе арсенида галлия, легированного хромом, и ИФД с гетеропереходом GaAlAs—GaAs.

Важными достоинствами ИФД являются их технологичность, повышенная временная стабильность и надежность, поскольку они работают в пропускном направлении, и роль *p-n*-переходов сводится только к обеспечению хорошей инжекции неосновных носителей в базовую область.

В докладе "ИК-фотопроводимость в многослойных гетероструктурах InGaAs/GaAs с квантовыми точками" Шашкина В. И. и др. (Институт физики микроструктур РАН) обсуждаются перспективы применения полупроводниковых гетероструктур с квантовыми точками (КТ) в качестве нового материала для фотоприемников ИК-диапазона.

Дискретный характер энергетического спектра в КТ приводит к подавлению фононного механизма релаксации фотовозбужденных носителей заряда, увеличению времени их жизни и снижению темновых токов, что позволяет рассчитывать на создание неохлаждаемых фотоприемников. В работе проанализировано современное состояние исследований в этой области, а также отмечено, что реализованная чувствительность ИК-фотоприемников на КТ до сих пор уступает существующим фотоприемникам, а оптимальная рабочая температура лежит вблизи 100 К. Основная проблема — малый коэффициент поглощения ИК-излучения и темновые токи инжекционного характера. Рассмотрены основные направления исследований, с которыми связаны надежды на улуч-

шение параметров фотоприемников. Среди них — инженерия структур с КТ для подавления темного тока путем включения дополнительных барьерных и туннельно-прозрачных слоев, использование техники роста "dot in well", сверхрешетки на основе слоев КТ.

Приведены результаты исследований ИК-фотопроводимости в гетероструктурах InGaAs/GaAs с КТ. Характерные размеры и форма заросших КТ исследованы методом просвечивающей электронной микроскопии, энергетические уровни массивов КТ определялись методом фотолуминесценции. При нормальном падении излучения в спектрах продольной и вертикальной фотопроводимости наблюдалось несколько линий в ИК-диапазоне (3, 5 и 14 мкм); в зависимости от условий роста структуры имели от одной до трех спектральных линий. Предложен новый механизм продольной ИК-фотопроводимости в структурах с двухмерными каналами вблизи КТ, связанный с изменением подвижности электронов в двухмерном канале в результате снижения кулоновского рассеяния на заряженных КТ при их фотовозбуждении и нейтрализации заряда.

В работах Чишко В. Ф. и др. (ФГУП «НПО "Орион"»), Климова А. Э. и др. (ИФП СО РАН) рассмотрены проблемы создания фотоприемников на основе материала свинец—олово—теллур и механизмы фоточувствительности при легировании его индием.

Несколько интересных докладов по исследованиям фотоприемников УФ-диапазона представило ООО "Уралалмазинвест" совместно с другими организациями.

Разработке микроболометрических матриц и их использованию в тепловизионных приборах посвящены доклады, представленные от ФГУП «НПО "Орион"»; ОАО «ЦНИИ "Циклон"»; ОАО "Пеленг" и НПО "Интеграл", г. Минск.

Рассмотрены технологические способы получения пленок оксида ванадия с повышенной величиной температурного коэффициента сопротивления (ТКС). Пленки оксида ванадия, полученные методом магнетронного распыления ванадиевой мишени в газовой смеси аргона и кислорода, имеющие величину ТКС 1,5—1,8 %/°С, подвергались дополнительному отжигу в среде кислорода или кислорода и водорода в различных температурных и временных режимах. Величина ТКС пленок после отжига составляла 5—6 %/°С.

Большое внимание уделялось разработке процесса получения малонапряженных пленок нитрида кремния и исследованию их свойств, так как они являются основным конструкционным материалом микромостиковых структур микроболометрических МФП. Наличие остаточных

напряжений в таких пленках приводит к деформациям и, как следствие, изменению величины резонансной полости Фабри-Перо.

В лаборатории полупроводников ИФТТП НАНБ получены тонкие сегнетоэлектрические пленки  $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$  методом импульсного лазерного напыления для пирозлектрических МФП.

Из докладов, посвященных электронно-оптическим преобразователям (ЭОП), в первую очередь следует выделить два:

"Компьютерное моделирование ЭОП и фотоэлектронных пушек для экспериментов по электронной дифракции с временным разрешением" — Монастырский М. А. и др. (ИОФ РАН, ФГУП «НПО "Орион"»);

"Автоматизированный стенд для измерения параметров электронно-оптических преобразователей" — Терехов А. С. и др. (ИФП СО РАН).

В первом из них обсуждаются теоретические основы и результаты компьютерного моделирования принципиально новой электронно-оптической системы с нестационарным электрическим полем, позволяющим значительно сжимать электронные пучки во времени. Метод основан на том, что в зависящем от времени поле осуществима идеальная временная фокусировка пучка фотоэлектронов, которая принципиально нереализуема в статических полях. Эффект фокусировки делает возможным прорыв во временном разрешении от уровня 200 фс, достигнутого в современных фотоэлектронных приборах, до единиц фемтосекунд и даже аттосекундного диапазона. В последних опытах удалось сжать пучок электронов до 8 фс.

Во втором докладе рассмотрен универсальный модульный стенд, позволяющий измерять около 40 параметров ЭОП 2<sup>+</sup>—4 поколений. Оптические и электронные модули стенда размещены на единой термостабилизированной металлической платформе и защищены от внешнего излучения. Оптические модули стенда (источники света, объективы, цифровая ПЗС-телекамера типа S1C с ПЗС-матрицей формата 1225×1300) установлены на двух независимых двухкоординатных платформах, оборудованных шаговыми двигателями и фотоэлектрическими датчиками перемещений. Ошибки позиционирования оптических модулей не превышают 0,3 мкм. Для управления платформами, оптическими и электронными модулями стенда используется ПЭВМ. Для обеспечения стабильности интенсивности, спектрального состава и пространственной однородности светового пучка, падающего на фотокатод, в стенде использован мультиспектральный светодиодный осветитель, излучающий на 11 длинах волн в диапазоне 450—1060 нм. Стабильность квантовой эффективности и шумовых характеристик цифровой ПЗС-телекамеры обеспечивается термостабилизацией.

Измерение параметров ЭОП производится с помощью управляющей программы, которая отображает перечень методик измерения и предлагает выбрать ту из них, которая предназначена для измерения требуемого параметра. После запуска выбранной методики управляющая программа проводит оптические и электрические измерения и оформляет протокол, в котором указываются рассчитанные значения параметров, условия проведения измерений и другая служебная информация.

Обсуждены новые подходы к измерению некоторых параметров ЭОП, таких как предел разрешения, ореол и другие, а также проблемы метрологической аттестации.

Основные доклады по ПНВ и оптическим приборам представлены от ФГУП «ЦКБ "Точприбор"», ОАО "Катод", ФГУП НИИКИ ОЭП, ФНПЦ ОАО КМЗ и ФГУП "ГИПО".

Для повышения безопасности вождения автомобилей в темное время суток разработана импульсная ночная система вождения на основе ЭОП 2++ поколения производства ОАО "Катод", сочлененного через оптику переноса с ПЗС-камерой. Прибор обеспечивает видимость полотна дороги и обочины при освещенности  $10^{-2}$  лк 215 м, а в тумане — 40 м. Эта система также позволяет защитить водителя от ослепления фарами встречных машин. Поле зрения системы  $6^\circ \times 9^\circ$ . Водитель наблюдает изображение полотна дороги и обочины на экране монитора. Для обеспечения работы прибора в режиме стробирования разработан специальный мощный светодиодный осветитель. Частота следования импульсов составляет несколько килогерц. Чем более сложная метеорологическая обстановка, тем короче импульс подсветки.

Представлен также новый цифровой измеритель ночной освещенности. Подробно обсуждены методы обнаружения и подавления оптико-электронных средств.

Обобщен опыт НИИКИ ОЭП по изготовлению ИК-линзовых, зеркальных и зеркально-линзовых объективов, работающих в областях спектра 3—5 и 8—14 мкм, согласованных с конструкцией современных МФПУ. Рассмотрены комплексный технологический процесс их изготовления и методики измерения выходных параметров.

Определены требования к входному контролю заготовок оптических элементов (ОЭ) из непрозрачных в видимой области материалов. Проведен сравнительный анализ формообразования ОЭ алмазным микроточением и полированием. Рассмотрена технология центрирования металлических зеркал с асферическими рабочими поверхностями.

В цикле докладов А. И. Гоева и др. (ФНПЦ ОАО КМЗ) обсуждаются перспективы использова-

ния новых материалов для получения высококачественных оптических покрытий, таких как титанат гадолиния, титанат лютеция, цирконат гадолиния и цирконат лютеция. В качестве гиперспектральной оптической среды предлагается использовать поликристаллический селенид цинка.

Оптические материалы и структуры для фотоэлектроники подробно рассмотрены в докладах Ермакова О. Н. и др.

Приведен обзор новых отечественных органических материалов. Представлены экспериментальные данные по их оптическим характеристикам в широком спектральном диапазоне, включая спектры оптического поглощения и люминесценции.

Исследованы двухслойные приборные органические структуры. Представлены данные по их ВАХ и фотоэлектрическим параметрам. Установлено, что эти структуры обладают фоточувствительностью в УФ-области спектра с максимумом фоточувствительности при  $\lambda \sim 380$  нм.

Проведено сравнение органических и неорганических фотоприемников.

Проблемные вопросы метрологического обеспечения современных оптико-электронных систем поставлены в докладе Белоусова Ю. И. (Филиал ФГУП «ЦНИИ "Комета"», "НПЦ ОЭКН", Санкт-Петербург). Он считает, что эти проблемы в самом общем виде можно обозначить как выработку облика нового поколения ФПУ и создание системы параметров, необходимой и достаточной для исчерпывающей характеристики современных и перспективных ФПУ.

Из современных представлений о динамике процессов генерации, распространения и регистрации оптических сигналов можно утверждать, что перспективные ОЭП должны иметь возможность адаптации к текущим условиям наблюдения, причем не только по времени экспозиции, но и по спектральным, поляризационным и другим характеристикам.

Таким образом, одной из существенных черт ФПУ нового поколения является способность оперативного изменения характеристик для обеспечения адаптации ОЭП в целом к условиям наблюдения.

Другая проблема связана с первой и заключается в том, что в современной практике описания характеристик ФПУ используется слишком большое количество параметров, удобных конкретному разработчику, но не позволяющих нетривиальным образом сравнивать разные ФПУ или оценивать эффективность их применения в ОЭП. Ощущается настоятельная необходимость выработать с участием основных разработчиков и потребителей ФПУ современную систему параметров ФПУ и методик их измерения с учетом нынешнего уровня и перспективы развития ИК-техники.

Аналогичного типа проблемы затрагиваются в уже цитируемом ранее докладе Терехова А. С.

Впервые на конференции по фотоэлектронике был представлен цикл докладов по особенностям инновационных процессов в фотоэлектронике и оптико-электронном приборостроении в целом. Все работы были представлены от ФГУП «НПО «Орион» и выполнены под руководством А. М. Филачёва и М. Д. Корнеевой.

Таким образом, обзор докладов, представленных на XIX Международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения, свидетельствует о высоком уровне результатов ведущих фирм, и можно утверждать, что приведенные доклады охватывают практически весь круг проблем, стоящих перед этой динамически развивающейся научно-технической отраслью.

Статья поступила в редакцию 11 октября 2006 г.

## Horizons of photoelectronics

*A. I. Dirochka, A. M. Filachev*

ORION Research-and-Production Association, Moscow, Russia

*The basic tendencies of development of photoelectronics and night vision devices (by results of XIX International Scientific and Engineering Conference on Photoelectronis and Night Vision Devices) are analyzed. The most interesting reports are discussed: on thermal imaging devices; on FPA; on ROIS of FPA and about cooling systems; questions of designing of electron-optical systems; science of materials for photoelectronics including organic; the physical phenomena and metrological problems of photoelectronics etc.*

УДК 621.383

## Фотоприемные устройства для тепловизионной аппаратуры второго поколения

*И. Д. Бурлаков, В. П. Пономаренко, А. М. Филачёв*

ФГУП «НПО "Орион"» — Государственный научный центр РФ, Москва, Россия

*Е. В. Дегтярев*

ФГУП «22 Центральный научно-исследовательский институт Министерства обороны Российской Федерации», Москва, Россия

*Рассмотрены этапы и тенденции развития фотоприемных устройств на области спектра 3—5 и 8—12 мкм для применения в оптико-электронной аппаратуре специального и гражданского назначения. Проанализированы схемы построения фотоприемных устройств для работы в режиме временной задержки и накопления (ВЗН). Показаны преимущества концепции построения ВЗН-матриц, в которой аналоговое суммирование фото-сигналов в фокальной плоскости заменено на цифровое суммирование вне фотоприемника в специализированном модуле электронной обработки (МЭО). Приведены характеристики матричных фотоприемных устройств второго поколения как многорядного, так и смотрящего типа, разработанных в ФГУП «НПО "Орион"». Сформулированы требования к основным характеристикам перспективных модульных фотоприемных устройств второго поколения (фотоприемник + блок электронной обработки + система охлаждения) для тепловизионной и тепlopеленгационной аппаратуры.*

Стремительное развитие тепловизионной техники, произошедшее во второй половине XX столетия, потребовало кардинального со-

вершенствования технологии инфракрасных (ИК) фотоприемных устройств. Начав с разработки полупроводниковых материалов, фото