

УДК 621.383
EDN: GMEXSG

PACS: 85.60.-q

**Актуальные направления развития исследований
по полупроводниковой фотосенсорике в России в 2023 году***(Обзор материалов Форума «Микроэлектроника-2023»)**А. В. Полесский, А. В. Наумов, А. С. Башкатов, А. А. Астапова*

Представлен обзор докладов, представленных на Форуме «Микроэлектроника – 2023» в секции «Технологии оптоэлектроники и фотоники», подсекции «12.1 Опто- и фотоэлектроника», посвященных вопросам развития исследований в области оптоэлектроники и фотоники: полупроводниковой фотосенсорике и материалам фотосенсорике, микрокриогенной технике, технике тепловидения и ночного видения.

Ключевые слова: ИК-диапазон, ИК МФПУ, оптико-электронные системы (ОЭС), объективы.

DOI: 10.51368/2307-4469-2024-12-1-38-46

Введение

Форум «Микроэлектроника–2023» состоялся с 9 по 14 октября 2023 года на Федеральной территории «Сириус» в г. Сочи. Форум «Микроэлектроника» проводится с 2015 года и зарекомендовал себя как основная российская коммуникационная площадка между

Правительством Российской Федерации, Министерством промышленности и торговли Российской Федерации, Министерством науки и образования Российской Федерации, госкорпорациями, производственными предприятиями, дизайн-центрами, бизнес-сообществом, научными институтами, вузами и т. д. по широкому кругу вопросов стратегии научно-технологического развития микро- и радиоэлектронной отрасли. Общее количество участников Форума составило более 2500 человек.

На конференции Форума были представлены 869 научных докладов, из них 20 докладов (очных и стендовых) посвящены вопросам полупроводниковой фотосенсорике и материалам фотосенсорике, микрокриогенной технике, технике тепловидения и ночного видения в секции 12.1 «Опто- и фотоэлектроника». Эти направления во всем мире признаны критически важными и определяют уровень научного и технологического прогресса страны.

Полесский Алексей Викторович¹, гл. конструктор по НИОКР, к.т.н.

E-mail: poleskiyav@orion-ir.ru

Наумов Аркадий Валерьевич², рук. направления.**Башкатов Александр Сергеевич**³, нач. отдела оптоэлектронной техники.**Астапова Анна Александровна**¹, вед. инженер.¹ АО «НПО «Орион».

Россия, 111538, Москва, ул. Косинская, 9.

² АО «ОКБ «Астрон».

Россия, 140080, Московская область, г. Лыткарино, ул. Парковая, 1, к. 1.

E-mail: info@astrohn.ru

³ ФГБУ Всероссийский научно-исследовательский институт радиоэлектроники.

Россия, 141002, Московская обл., г. Мытищи,

ул. Колпакова, 2а, литера Б1.

E-mail: vniir@vniir-m.ru

*Статья поступила редакцию 19.12.2023**После доработки 10.01.2024**Принята к публикации 15.01.2024**Шифр научной специальности: 2.2.6.*© Полесский А. В., Наумов А. В., Башкатов А. С.,
Астапова А. А., 2024**Современное состояние и перспективы
развития фотоэлектроники**

С докладом «Состояние работ и перспективы развития матричных ФПУ среднего ИК диапазона спектра» выступил

сотрудник ГНЦ РФ АО «НПО «Орион» **К. О. Болтарь** (авторы – Болтарь К. О., д.ф.-м.н.; Бурлаков И. Д., д.т.н.; Власов П. В.; Ерошенков В. В.; Лопухин А. А., к.т.н.; Яковлева Н. И., д.т.н.). В докладе было представлено состояние работ по разработке матричных фотоприемных устройств (МФПУ) средневолнового ИК-диапазона на основе фотодиодов из антимонида индия (InSb) в ГНЦ РФ АО «НПО «Орион». Докладчик отметил, что МФПУ на основе фотодиодов средневолнового ИК-диапазона наиболее востребованы для различных устройств тепловидения и тепловизионной съемки. В ГНЦ РФ АО «НПО «Орион» серийно выпускаются МФПУ на основе объемного антимонида индия форматов 640×512 элементов с шагом 15 мкм с охладителем типа интегральный Стирлинг и электронным блоком сопряжения, выпускаются также МФПУ меньших форматов. Фотоэлектрические характеристики серийных МФПУ ограничиваются уровнем шума фонового излучения при относительном отверстии охлаждаемой диафрагмы 1:4. Постоянно ведутся работы по совершенствованию конструкции и технологии изготовления МФПУ, улучшающие долговременную стабильность ИК-изображения, линейность фотоотклика, однородность спектральных характеристик элементов, качество просветляющих покрытий фоточувствительного элемента, входного окна и оптического фильтра, технологию чернения диафрагмы.

В качестве задела для создания мегапиксельных МФПУ проработана конструкция МФПУ формата 1280×1024 элементов с шагом 12 мкм. МФПУ с фоточувствительными элементами на основе эпитаксиального InSb, выращенного методом МЛЭ на высоколегированных подложках InSb. Исследована возможность существенного повышения температуры криостатирования МФПУ до 140 К без ухудшения фотоэлектрических характеристик при замене поглощающего материала InSb с граничной длиной волны 5,6 мкм на несколько более широкозонные $Al_{0,02}In_{0,98}Sb$ или InAsSb с граничной длиной волны 4,9 мкм или 4,2 мкм и переходе к структурам типа xVn с блокирующим широкозонным слоем AlInSb.

С докладом «Проблемы и пути решения создания охлаждаемого устройства мегапиксельного формата на диапазон спектра

3–5 мкм» выступил сотрудник ГНЦ РФ АО «НПО «Орион» **А. Е. Мирофьянченко** (авторы – Мирофьянченко А. Е., к.т.н.; Мирофьянченко Е. В., к.т.н.; Якушев Т. Ю.). В докладе были подробно разобраны проблемы и пути решения создания первого отечественного охлаждаемого матричного фотоприемного устройства мегапиксельного формата на средневолновый инфракрасный диапазон спектра на основе InSb.

Докладчик напомнил, что идентификация объекта ИК-системой на основе МФПУ – сложная задача, для решения которой требуется увеличение разрешения и чувствительности ИК-системы. Переход на МФПУ с меньшим шагом пикселя и большим форматом позволит увеличить дальность обнаружения, при этом с технологической точки зрения крайне важно преодоление барьера создания мегапиксельной матрицы с шагом 10–12 мкм. Наиболее близкое устройство по рассматриваемой теме – ИК МФПУ на основе InSb формата 640×512 с шагом 15 мкм производства ГНЦ РФ АО «НПО «Орион». При разработке устройства мегапиксельного формата сформулирован ряд проблем, которые необходимо решить:

- снижение фотоэлектрической взаимосвязи между пикселями с помощью глубокого меза-травления с применением плазмохимических процессов травления вместо жидкостных;
- совершенствование технологии гибридной пайки с помощью In-микрорезистивных контактов;
- повышение однородности толщины и свойств функциональных слоев, в т. ч. диэлектрических по площади пластины;
- разработка и изготовление БИС считывания мегапиксельного формата для ИК МФПУ;
- увеличение диаметра серийно производимых подложек InSb.

В сфере производства фоточувствительного материала АО «Гиредмет» несколько лет назад продемонстрировал возможность изготовления монокристаллов антимонида индия и галлия диаметром 100 мм, однако серийный выпуск налажен только для диаметра 50 мм, применение которого нерентабельно при изготовлении устройств мегапиксельного формата. Отставание наблюдается в области производства высокочистых материалов (6N-9N), что в совокупности создает угрозы для техно-

логического суверенитета страны на ближайший период.

Было отмечено, что создание мегапиксельного устройства на основе антимонида индия в России в ближайшие 1–2 года возможно при комплексном планировании, реализации стратегических программ развития с достаточным уровнем финансирования на государственном уровне.

В докладе сотрудника ГНЦ РФ АО «НПО Орион» **А. В. Полесского** рассматривался вопрос «Обработка изображений в ОЭС на основе современных отечественных матричных охлаждаемых ИК ФПУ», (авторы – Полесский А. В., к.т.н.; Бурлаков И. Д., д.т.н.; Драгунов Д. Э., Лазарев П. С., Ляпустин М. Ю., Старцев В. В.). В докладе представлены достижения в области обработки изображений в ОЭС средневолнового ИК-диапазона, использующих отечественные матричные ФПУ на основе антимонида индия и КРТ. Отмечено, что основной задачей любой тепловизионной оптико-электронной системы является формирование изображений в видимом диапазоне на основе теплового распределения наблюдаемой сцены. Изображения, полученные таким образом, должны отвечать ряду требований, одним из которых является минимальное время обнаружения и распознавания объектов. Современные образцы ИК-техники, представленные на рынке, помимо общеизвестных алгоритмов обработки изображений, также оснащены более современными алгоритмическими решениями, что позволяет добиться увеличения отношения сигналов объектов к фону и повысить резкость границ объектов.

Отмечено, что классические алгоритмы обработки ИК-изображений (деселекция дефектных элементов, двух- или трехточечная коррекция чувствительности, линейное преобразование контраста и яркости изображения) не способны обеспечить оптимальную трансляцию динамического диапазона исходного кадра (12–14 бит) в динамический диапазон отображающего устройства (8 бит). Для решения этой задачи применяются нелинейные преобразования значений исходного динамического диапазона. Такие преобразования способны обеспечить визуализацию наблюдаемой тепловизионной сцены без потери информации о наблюдаемых объектах. Авторами приведены алгоритмы нелинейных преобразований динамического диапазона исходного кадра для наиболее информативной визуализации наблюдаемой сцены, а также их программно-аппаратная реализация в устройствах, использующих отечественные матричные фотоприемные устройства формата 640×512 на основе антимонида индия производства ГНЦ РФ АО «НПО «Орион» и на основе КРТ производства ИФП СО РАН аналогичного формата (рис. 1а, 1б). Поскольку нелинейные преобразования пикселей исходного изображения являются чувствительными к качеству фотоприемного устройства, данные алгоритмы применимы только на ФПУ хорошего качества. Исследования показали, что ФПУ производства ГНЦ РФ АО «НПО «Орион» и ИФП СО РАН имеют высокое качество, что позволяет в полной мере применять подобные алгоритмы.



а)



б)

Рис. 1. Результаты работы разработанных алгоритмов: а) – исходное изображение; б) – изображение после нелинейных преобразований

В докладе **В. С. Попова** (ГНЦ РФ АО «НПО Орион») «*Матричные фотоприемники ИК-диапазона на основе нанодисперсных материалов*» (авторы – Попов В. С., к.х.н.; Пономаренко В. П., д.ф.-м.н.; Разумов В. Ф.; Иванов В. В., д.ф.-м.н.) рассмотрены принципы работы перспективных фотоприемников на основе коллоидных квантовых точек. Проанализированы передовые зарубежные и отечественные результаты в области создания фоточувствительных элементов на коллоидных квантовых точках и приборов на их основе. Отмечено, что в настоящее время в фотоэлектронике в части перспективных исследований и разработок много внимания уделяется вопросам создания фотосенсоров на основе размерно-квантованных, таких как 0D-, 1D- и 2D-нанодисперсных материалов.

Последние 3 года в области создания матричных ИК фотоприемных устройств появилось и активно развивается новое направление, связанное с использованием в качестве фоточувствительных материалов нанодисперсных полупроводников, получаемых методами жидкостной химии в виде суспензий – коллоидных квантовых точек. Основной особенностью данного типа матричных фотоприемников является возможность исключения наиболее сложных стадий изготовления характерных для классической технологии матричных ИК-фотоприемников. Благодаря отсутствию необходимости использования индиевых микроконтактов снимается ограничение, связанное с шагом фоточувствительных элементов матрицы, и предельный шаг начинает определяться топологической нормой СБИС считывания и дифракционным пределом. За последние несколько лет появились первые промышленные образцы ИК матричных фотоприемников мегапиксельного формата для расширенного спектрального диапазона (от видимого до 2,0 мкм). Также были продемонстрированы первые прототипы малоэлементных матричных фотоприемников на основе коллоидных квантовых точек, работающих в спектральном диапазоне 3–5 мкм.

В докладе были проанализированы передовые зарубежные и отечественные результаты в данной области, в частности результаты работ, проводимых в ГНЦ РФ АО «НПО «Орион» и МФТИ.

Крайне интересными были доклады, посвященные неохлаждаемым матричным фотоприемным устройствам болометрического типа, представленные авторами АО «ОКБ «Астрон» (г. Лыткарино). С докладом «*Применение программных продуктов САПР для моделирования оптико-электронных, электромагнитных и термомеханических свойств перспективных матричных микроболометрических приемников ИК-излучения*» выступил **А. А. Солодков** (авторы – Солодков А. А.; Москвичев В. Ю.; Шилейко Н. А.). В сообщении были представлены результаты отработки вариантов применения САПР для моделирования оптико-электронных, электромагнитных и термомеханических свойств перспективных матричных микроболометрических приемников ИК-излучения в рамках реализации ряда технологических проектов по созданию перспективных образцов.

Окончательные технические решения по выбору варианта компоновки, планируемого к изготовлению перспективного матричного микроболометрического приемника ИК-излучения (ММБП), представляющего собой устройство на основе микроэлектромеханических систем (МЭМС) возможна только при использовании многозадачной САПР или нескольких САПР, для которых обеспечивается взаимная передача результатов. Для выбора технических характеристик отдельных элементов ММБП (оптико-электронных, электромагнитных и термомеханических свойств), необходимо проводить моделирование в COMSOL Multiphysics® Software, ANSYS, CoventorMP. Для моделирования электронных матричных коммутаторов-мультиплексоров сигналов (МКМС), обеспечивающих считывание полезных сигналов, формируемых МЭМС-элементами в ММБП, применяется достаточно широкий круг САПР, однако для перспективных проектов требуются такие САПР, которые включают модули проектирования как аналоговых, так и цифровых схем, например, Cadence Virtuoso.

Специалистами АО «ОКБ «Астрон» в рамках реализации ряда проектов, направленных на создание перспективных ММБП ИК-излучения для систем формирования тепловизионных изображений, удовлетворяющих современным и перспективным требованиям потребителей, отработан методический под-

ход по применению отдельных программных продуктов САПР для моделирования конструкций и физических свойств таких ММБП.

Последовательность выполнения действий по моделированию и проектированию ММБП с использованием САПР отработана применительно к конструкции единичного чувствительного элемента (ЕЧЭ) для ММБП из разряда конструкций «классического типа», представляющей собой микромостиковую

конструкцию в виде тонкой мембраны, состоящей из нескольких функциональных слоев. Последовательность выполнения действий представлена на рис. 2. Графические изображения ММБП в сборе и отдельных его составных элементов, а также типовая структура слоев отдельного чувствительного МЭМС элемента, спроектированная в одном из пакетов топологического проектирования представлена на рис. 3.

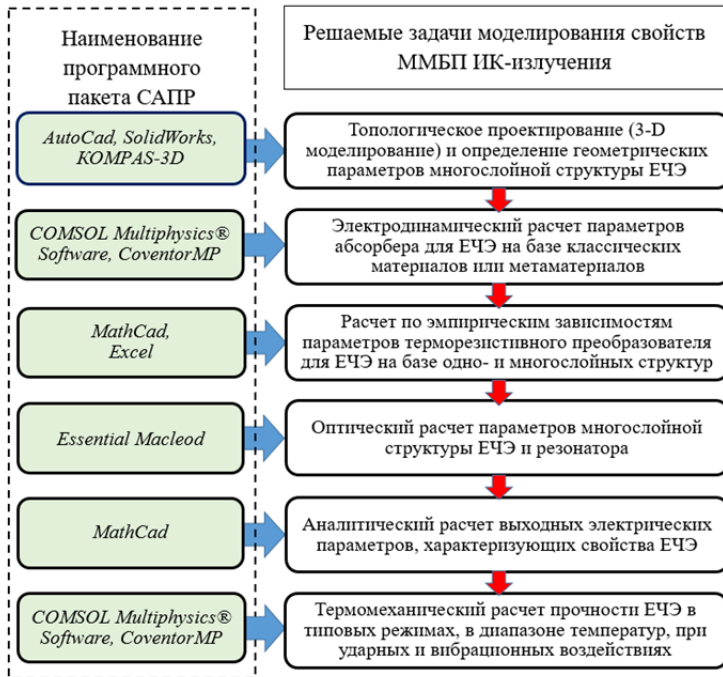


Рис. 2. Последовательность выполнения действий при моделировании и проектировании ММБП при применении САПР

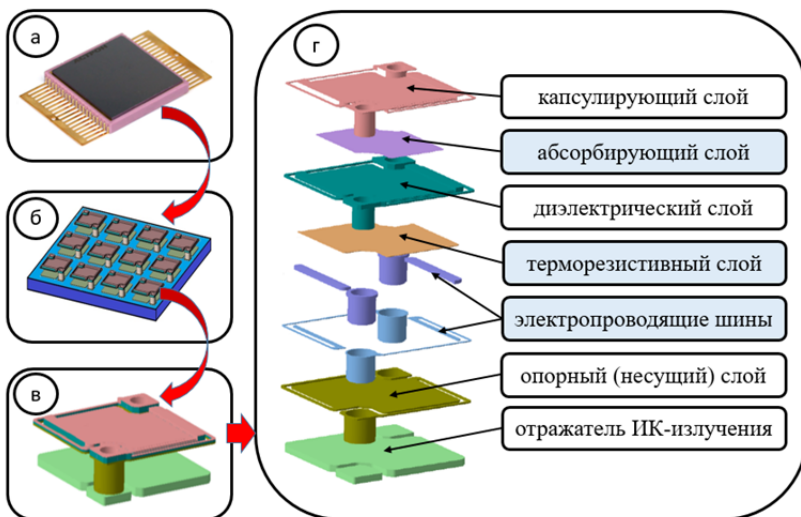


Рис. 3. Графические изображения ММБП в сборе (а), фрагмента кристалла ММБП с чувствительными МЭМС-элементами (б), отдельного чувствительного МЭМС-элемента (в) и послойной конструкции (структуры) отдельного чувствительного МЭМС элемента (г)

С интересным докладом «Фотоприёмное устройство на основе матричного микроболометрического детектора со спектральным диапазоном чувствительности 2–16 мкм»

выступил сотрудник АО «ОКБ «Астрон» **Н. А. Шилейко** (авторы – Хафизов Р. З.; Белоконев В. М.; Москвичев В. Ю.; Серов В. В.; Шилейко Н. А.; Шатунов Д. Ю.; Сильниц-

кая О. А.). Он сообщил, что в ОКБ «Астрон» разработано ФПУ на основе матричного микроболометрического детектора с равномерным спектром поглощения на уровне 90 % в диапазоне 2–16 мкм. Он привел результаты экспериментальных исследований параметров ФПУ, демонстрирующие возможности расширения характеристик оптико-электронных систем. Авторы отметили, что матричные микроболометрические детекторы, обеспечивающие широкополосное поглощение теплового излучения, позволяют существенно улучшить характеристики ОЭС по обнаружению, распознаванию и идентификации техногенных объектов, составные части которых в результате функционирования нагреваются в широком (от 30 до 300 °С) диапазоне температур.

На рис. 4 представлена спектральная характеристика ФПУ с матричным микроболометрическим детектором (формат 640×480, шаг пикселей 17 мкм), демонстрирующая равномерное поглощение ИК-излучения (на уровне 90 %) в диапазоне 2–16 мкм. Проведены экспериментальные исследования по сравнению характеристик ФПУ в составе оптико-электронного модуля, разработанного АО «ОКБ «Астрон», при регистрации излучения в различных ИК-диапазонах (3–5, 8–12, 2–16 мкм). Показано, что реализация широкополосной чувствительности позволяет улучшить тепловизионные и тепlopеленгационные возможности ОЭС.

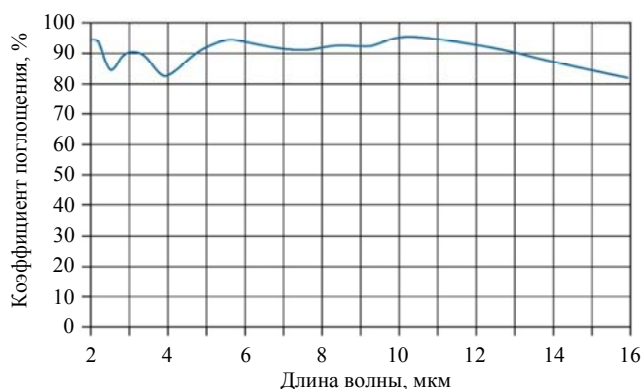


Рис. 4. Спектральная характеристика поглощения ИК-излучения ФПУ с матричным микроболометрическим детектором (формат 640×480, шаг пикселей 17 мкм)

К проблемам создания неохлаждаемых МФПУ также можно отнести доклад **А. Ю. Кунцевича** из Физического института

им. П. Н. Лебедева Российской академии наук «Рост аморфного оксида ванадия при реактивном электронно-лучевом испарении и характеристика скорости отклика резистивных фоточувствительных элементов» (авторы – Кунцевич А. Ю., д.ф.-м.н.; Таркаева Е. В.; Блуменау М. И.; Ивлева В. А.; Дулебо А. И.). Известно, что аморфный VOx — основной материал неохлаждаемых болометров, с сильной зависимостью $R(T)$, но при этом не имеющий гистерезисного фазового перехода, свойственного кристаллическим VOx. В своем докладе авторы сообщили о росте пленок аморфного VOx при низких температурах с малым количеством технологических параметров.

Основным показателем качества пленки аморфного VOx является температурный коэффициент сопротивления (ТКС), значение которого в приборах от -3%/К до -1%/К. До сих пор аморфные пленки VOx получались реактивным магнетронным напылением, что требовало стабилизации ряда техпараметров: давления, соотношения Ar и O₂ в смеси, состава мишени, типа подложки, тока разряда, температуры подложки. Авторами было предложено выращивать аморфные пленки VOx путем реактивного e-beam распыления в атмосфере O₂. ТКС полученных пленок доходил до -2,5%/К, т.е. процесс позволял создавать пленки с требованиями, достаточными для создания микроболометрических матриц и обладал высокой производительностью из-за малого количества технологических параметров.

Для характеристики пленок разработан метод «накачка-зондирование», который позволяет изучать релаксацию сопротивления после воздействия лазерного импульса. Лазерный импульс воздействует на образец, после чего при пропускании электрического импульса наносекундной длительности с заданным временем задержки t через образец, согласованный на 50 Ом, при помощи осциллографа измеряется коэффициент прохождения, связанный с сопротивлением R . Зависимость $R(t)$ позволяет найти время релаксации системы. Метод может найти применение для характеристики фотопроводящих детекторных материалов.

К другому кругу проблем оптоэлектроники относился доклад сотрудника АО «ЦНИИ «Циклон» **С. А. Стахарного** «Тон-

кая настройка качества изображения для вывода на экране OLED микродисплеев с кремниевой СБИС управления» (авторы – Забабурин А. Ю.; Нуриев А. В., к.т.н.; Стахарный С. А.; Шипицин Д. С., к.ф.-м.н.). Известно, что на сегодняшний день активно развиваются индивидуальные средства отображения информации, построенные на миниатюрных дисплеях – микродисплеях. Микродисплеи на основе органических светодиодов (OLED) с кремниевой СБИС управления, которые обладают рядом преимуществ:

- имеют эффективный самосветящийся экран, не требующий системы коллимации внешней подсветки;
- высокое быстродействие в широком диапазоне температур, не требующее системы подогрева при отрицательных температурах;
- возможность формирования матричных экранов с высокой плотностью пикселей для изображений высокого разрешения;
- широкий цветовой охват и качество изображения в широком угле обзора;
- хорошая изученность и высокая технологичность производства СБИС управления на основе традиционных кремниевых технологий.

Данные свойства позволяют обеспечить компактные габариты и низкое энергопотребление OLED микродисплеев, что крайне важно при создании портативных эргономичных средств отображения информации (наголовных видеомодулей, очков и шлемов виртуальной, дополненной и смешанной реальности – VR/AR/MR).

Вместе с тем OLED микродисплеи имеют особенности характеристик, связанные с фундаментально физическими свойствами электролюминесцентных OLED структур, особенностями кремниевой технологии при создании СБИС управления. Основной проблемой является наличие существенной нелинейности вольт-яркостной характеристики OLED структур и наличие порогового напряжения, до достижения которого электролюминесценция отсутствует. Вывод изображения без коррекции входящего видеосигнала может привести к потере информативности в виде отсутствия изображения в низких тонах градации яркости и существенному искажению зависимости яркости от уровня кодирования исходного видеосигнала.

В работе были проведены исследования и разработаны алгоритмы преобразования входного цифрового видеосигнала для получения наиболее информативного визуального отображения на экране OLED микродисплеев без потери качества исходного изображения. Исследования проведены с учетом физических свойств электролюминесцентных OLED структур, изготовленных в АО «ЦНИИ «Циклон», а также пиксельных ячеек в привязке к отечественной кремниевой технологии с проектными нормами 180 нм АО «Микрон». Результаты работы применимы для повышения качества аппаратуры с применением уже разработанных OLED микродисплеев и используются для проектирования кремниевых СБИС управления разрабатываемых OLED микродисплеев с расширенными функциональными возможностями.

Еще одним из интересных направлений, представленных на Форуме, являлось создание детекторов на основе многоканальных электронных усилителей (МЭУ), которые нашли самое широкое применение в различных сферах науки и техники, таких как исследования в области ядерной физики, масс-спектрометрии, техники для космических исследований, медицины, электронной микроскопии и т. д. Этому интересному направлению был посвящен доклад представителя ООО ВТЦ «Баспик» **С. В. Кривова** «*Многоканальные электронные усилители: принцип работы и сферы применения*».

В докладе были освещены новейшие разработки ООО Владикавказского Технологического Центра «Баспик» в области МЭУ и детекторов на их основе. Представлен модельный ряд продукции с описанием их технических характеристик и сфер применения. За последнее время предприятием разработаны и освоены детекторы для времяпролетной масс-спектрометрии, квадрупольной масс-спектрометрии, рентгеновской спектрометрии, детекторы ультрафиолетового и видимого излучения, детекторы для диагностики профиля пучка заряженных частиц в ускорителях и т. д. В докладе сделан акцент на возможность и необходимость импортозамещения широкой номенклатуры изделий на основе МЭУ на российском рынке.

Интересный доклад сделал сотрудник АО «ОКБ «Астрон» **М. В. Агринский** «*Соз-*

дание и применение оптических термопластов с заданным ходом дисперсионной кривой» (авторы – Агринский М. В.; Агринский Н. Н.; Откупман Д. Г.; Попов В. К.). Ими созданы новые оптические материалы – термопласты. Показано применение созданных термопластов в объективах с апохроматической абберационной коррекцией.

В настоящее время для обнаружения и распознавания малоразмерных и значительно удалённых объектов съёмки требуются объективы с фокусным расстоянием f' более 100 мм. При использовании неорганического оптического стекла для линз такого объектива вес его, по сравнению с короткофокусными, применяемыми сейчас, возрастет минимум на порядок, что неприемлемо для легких БПЛА. Применением в оптической схеме объектива линз из органического стекла (полимеров), задача по снижению веса объективов с $f' > 100$ мм частично решается. Так, удельный вес поликарбоната (ПК) примерно в 10 раз меньше, чем у силикатного стекла. Ограничением является то, что доступными оптически полимера являются только полиметилметакрилат (ПММА) и поликарбонат (ПК), чего явно недостаточно для хроматической абберационной коррекции, особенно длиннофокусных объективов.

Качество изображения линзовых оптических систем высокой светосилы, работающих в широком спектральном диапазоне, в значительной степени обусловлено остаточными хроматическими абберациями. Для построения качественного изображения необходимо исправить в системе не только первичный хроматизм, но и вторичный спектр, наличие которого накладывает ограничение на предельно достижимые технические характеристики системы, в частности, на возможность развития относительного отверстия. Для эффективной коррекции вторичного спектра необходимы материалы с заданным ходом дисперсионной кривой, характеризуемой такими параметрами, как относительная частная дисперсия PFD и коэффициент дисперсии ν_D .

Для расширения каталога полимерных оптических материалов с целью проектирования объективов апохроматов были созданы нетрадиционные оптические материалы – термопласты:

1) оптическая среда (термопластичная) с показателями преломления $n_F = 1,6310$, $n_d = 1,6203$, $n_C = 1,6074$; плотностью $1,17$ г/см³; поверхностным натяжением 36 дин/см; областью прозрачности от $0,33$ до $1,8$ мкм;

2) оптическая среда (термопластичная) с показателями преломления $n_F = 1,6501$, $n_d = 1,6385$, $n_C = 1,6236$; плотностью $1,34$ г/см³; поверхностным натяжением 43 дин/см; областью прозрачности от $0,35$ до $2,0$ мкм.

Проведён расчет объектива-апохромата. Параксиальные характеристики следующие: $f' = 100$ мм; размер изображения $2y' = 11,2$ мм; диафрагменное число $F/\# = 3,3$. На рис. 5 представлено схемное изображение объектива.

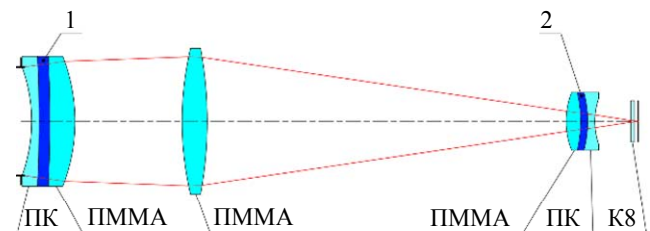


Рис. 5. Схемное изображение объектива (голубой цвет – полимеры, синий – созданные термопласты)

Заключение

Подводя итог проделанной работы, участники высоко оценили работу Форума в целом и секции 12.1 в частности, как научно-технические результаты, так и общую атмосферу проведения мероприятия, отметив важность обмена опытом в микро- и оптоэлектронике.

Результаты работы и итоговые материалы секции 12.1 лягут в основу Дорожной карты развития оптоэлектроники в России деятельности, создаваемой Рабочей группой Комитета по научно-технологическому и инфраструктурному развитию Совета по развитию электронной промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Российский форум «Микроэлектроника 2023» 9-я Научная конференция «ЭКБ и микроэлектронные модули». Сборник тезисов Парк науки и искусства «Сириус», 9–14 октября 2023 г. – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2023. С. 970.

Current directions for the development of research on semiconductor photosensory in Russia in 2023

(Review of materials of the Microelectronics-2023 Forum)

A. V. Polessky¹, A. V. Naumov², A. S. Bashkatov³ and A. A. Astapova¹

¹ Orion R&P Association, JSC
9 Kosinskaya st., Moscow, 111538, Russia
E-mail: polesskiyav@orion-ir.ru

² ASTROHN Technology Ltd.
Bd 1, 1 Parkovaya st., Lytkarino, Moscow Region, 140080, Russia
E-mail: info@astrohn.ru

³ FSBI All-Russian Research Institute of Radio Electronics
2a Kolpakova st., Mytishchi, Moscow Region, 141002, Russia
E-mail: vniir@vniir-m.ru

Received 19.12.2023; revised 10.01.2024; accepted 15.01.2024

A reports overview of the section “Optoelectronics and Photonics Technologies”, subsection “12.1 Opto- and Photoelectronics” given at the Forum “Microelectronics – 2023” were given. The section was devoted to the development and research in the field of optoelectronics and photonics: semiconductor photosensors and photosensor materials, microcryogenic technology, thermal imaging and night vision.

Keywords: Microelectronics 2023, IR range, IR FPA, optical-electronic systems, lens.

REFERENCES

1. Russian Forum “Microelectronics 2023” 9th Scientific Conference “ECB and Microelectronic Modules”. Collection of abstracts Park of Science and Art “Sirius”, October 9–14, 2023 M.: TECHNOSPHERE, 2023. P. 970.