



X Форум «Микроэлектроника-2024»: достижения и перспективы фотоэлектроники

Российский форум «Микроэлектроника 2024», прошедший 23–28 сентября 2024 года на федеральной территории Сириус (Сочи), как и ожидали его участники, вновь стал самым масштабным событием в отрасли микроэлектроники и оптоэлектронной промышленности России. Юбилейный 10-й по счету форум состоялся в традиционной форме с использованием новейших цифровых технологий. В мероприятии приняли участие 3560 участников, прозвучали около 1000 докладов отраслевых экспертов. Организаторы Форума – АО «НИИМЭ» и АО «НИИМА «Прогресс» при поддержке Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Инновационным спонсором мероприятия в третий раз выступило предприятие холдинга «Швабе» – ОКБ «Астрон».

Открывая Форум, Председатель Правительства РФ Михаил Мишустин сказал: «Здесь ученые, представители бизнеса и органов власти ищут ответы на самые актуальные вопросы, обмениваются мнениями, идеями, опытом. Могут объединить усилия в перспективных проектах, в том числе в проектах, которые направлены на укрепление технологического, промышленного суверенитета и безопасности нашей страны.» В мероприятии приняли участие Первый заместитель Председателя Правительства РФ Денис Мантуров, Министр промышленности и торговли РФ Антон Алиханов, Министр науки и высшего образования РФ Валерий Фальков, а также Министр цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ Максют Шадаев.

Антон Алиханов заявил, что ведомство до конца текущего года намерено подготовить стратегию развития фотоники. Он пояснил, что данная

стратегия определит научную и промышленную политику до 2030 года. Алиханов добавил, что фотоника применяется в различных сферах деятельности. Он подчеркнул, что, по разным оценкам, мировой рынок техники с применением фотонных и лазерных технологий в прошлом году достиг примерно 20 млрд долларов. Аналогичный темп прогнозируется и в России, что обеспечит потенциальный спрос около 1 трлн рублей в горизонте 6 лет. Столь серьезные цифры объясняются, прежде всего, широким спектром применения лазерных технологий. Правительство определило эти направления приоритетными для развития отечественной промышленности. Эти направления способствуют улучшению жизни населения, открывая новые возможности для здравоохранения, промышленности, обеспечения безопасности и повседневной жизни. В России объем производства фотоники составил 180–200 млрд рублей,



и к 2030 году прогнозируется ежегодный рост порядка 10%.

То, что фотоника применяется в России в различных промышленных сферах и повышает эффективность экономической деятельности, подтвердил интерес к этому направлению на форуме. Повторяя опыт прошлого года, в рамках научной секции 12 «Технологии оптоэлектроники и фотоники. Опто- и фотоэлектроника. Интегральная фотоника, волоконные и лазерные технологии» были организованы 2 подсекции – 12.1 «Опто- и фотоэлектроника» и 12.2 «Интегральная фотоника, волоконные и лазерные технологии». Более 50 докладов, которые были посвящены современному состоянию и перспективам развития оптоэлектронных систем и фотоприемных устройств, вызвали интерес и живую дискуссию.

Работу секции 12-1 открыл доклад д.т.н. Бурлакова И.Д. «Современное состояние и направления развития фото- и оптоэлектроники инфракрасного диапазона в ГНЦ РФ АО «НПО «Орион». Были всесторонне рассмотрены основные тенденции развития современных технологий фотоэлектроники и полупроводниковых фоточувствительных материалов для ИК-областей спектра, а также современное состояние и основные направления развития фото- и оптоэлектроники в ГНЦ РФ АО «НПО «Орион».

Отличительной чертой последних десятилетий является стремительный рост исследований, направленных на создание фотосенсоров с применением материалов и структур ограниченной размерности. Этим новым путем развития фотосенсорика был посвящен доклад «Фотосенсоры на

основе коллоидных квантовых точек для видимого и коротковолнового ИК-диапазона (к.х.н. Попов В.С., ГНЦ РФ АО «НПО «Орион»). Фотосенсорика на основе материалов и структур ограниченной размерности в последнее десятилетие стала одним из наиболее динамично развивающихся направлений исследований по созданию устройств для регистрации электромагнитного излучения ИК-диапазона. В то же время для использования в микроэлектронике, и особенно в фотосенсорике, решающим фактором является совместимость технологии синтеза материалов ограниченной размерности с микроэлектронными и фотоэлектронными технологиями.

Крайне перспективному направлению был посвящен доклад «Технология прецизионного прессования линз. Состояние и перспективы освоения в России», коллектива авторов: к.т.н. А.В. Полесский, Н.А. Семенченко, Т.С. Сайкина, В.В. Старцев, к.х.н. А.В. Семенча, к.т.н. Л.Н. Архипова, К.В. Щербаков. В настоящее время в России для производства объективов наиболее широко используется «классическая» технология, т.е. получение линз методом механической обработки с применением абразивных материалов (шлифовки, полировки и доводки оптических поверхностей). Недостатками данной технологии является: сложность получения асферических поверхностей, технические сложности получения линз диаметром менее 10 мм и сравнительно долгий технологический цикл производства линзы. Технология прецизионного прессования линз в мире появилась в 2000-х годах. Она позволяет изготавливать асферические линзы и другие





оптические детали сложной формы из силикатного и халькогенидного стекла методом прессования. Ранее для получения оптических элементов использовались технологии молирования, горячего прессования и литья, но они не позволяли получать сразу готовые оптические элементы, не требующие дополнительной обработки оптических поверхностей. С 2022 года АО «НПО Орион» выполняет технологические работы, направленные на разработку объективов для диапазона 0,4–2 мкм и 8–14 мкм с линзами, получаемыми методом прецизионного прессования.

Участники с интересом встретили доклад Ладугина М. А. из АО «НИИ «Полюс» им. М. Ф. Стельмаха» «Полупроводниковые лазеры и фотоприемники спектрального диапазона 1300–2000 нм». Докладчик отметил, что спектральный диапазон 1300–2000 нм привлекателен для решения широкого круга задач, включая передачу информации по волоконно-оптическим линиям связи и создание лазерных приборов, безопасных для глаз человека. Для изготовления полупроводниковых лазеров и фотоприемников указанного спектрального диапазона широко используются полупроводниковые гетероструктуры на основе InP. В докладе обсуждались различные подходы, направленные на совершенствование выходных характеристик таких приборов, в первую очередь, за счет вариации конструкции гетероструктур.

Участники Форума отметили интересный доклад «Полупроводниковые лазеры для опто- и микроэлектронных приложений» д. ф.-м. н. Пихтина Н. А.,

ФТИ им. А. Ф. Иоффе. В докладе обсуждались конструкции торцевых лазерных диодов на основе квантоворазмерных гетероструктур из Al-In-Ga-As-P твердых растворов, выращенных на подложках GaAs (диапазон длин волн излучения 630–1100 нм) и InP (диапазон длин волн излучения 1260–2000 нм) методом газофазной эпитаксии из металлорганических соединений (МОС-гидридной эпитаксией). Главное внимание уделялось требованиям к их основным выходным электрооптическим характеристикам – оптическая мощность, КПД, расходимость, спектральная и пространственная яркость, температурная стабильность, надежность – в зависимости от конкретных применений. Были рассмотрены технологические процессы эпитаксиального роста гетероструктур, их постростовой обработки (планарные технологии), технологии монтажа кристаллов и их характеристики. Приведены достигнутые выходные параметры разработанных и изготовленных многомодовых и одномодовых торцевых полупроводниковых лазеров, работающих при непрерывной и импульсной (длительность от 1 нс до 100 нс) накачке. Представлены результаты разработок в области создания вертикально-излучающих лазеров (ВИЛ) на основе InGaAs/AlGaAs гетероструктур, выращенных методом молекулярно-пучковой эпитаксии. Описаны разработки ВИЛ для атомных сенсоров на атомах ^{133}Cs . Созданные лабораторные ВИЛ спектрального диапазона 894,6 нм в диапазоне рабочих температур до +70С демонстрируют субмиллиамперные пороговые токи, максимальную выходную мощность до 2,5 мВт, одномодовую генерацию с фактором подавления мод высшего порядка более 30 дБ и фиксированное направление линейной поляризации выходного излучения с фактором подавления ортогональной поляризации ~20 дБ. По своим характеристикам разработанные приборы не уступают лучшим мировым аналогам и прошли успешную предварительную апробацию для использования в компактных квантовых стандартах частоты и перспективных ядерных магнитных гироскопах.

Коллектив авторов из АО «ОКБ «Астрон» представил доклад «Отработка в «ОКБ «Астрон» технологии корпусирования перспективных крупноформатных матричных микроболометрических приемников ИК-излучения», в котором изложили свои предложения по вопросам конструктивно-технологических аспектов проектирования матричного микроболометрического детектора с шагом элементов 12 мкм и отработке технологии корпусирования перспективных крупноформатных матричных микроболометрических приемни-

ков ИК-излучения. Вопросам изготовления неохлаждаемых микроболометров также был посвящен доклад «Технология изготовления неохлаждаемой микроболометрической ИК-матрицы с шагом элементов 17 мкм», который представил автор из ООО «Маппер» Юркин Н. О.

Еще одному новому направлению фотосенсорики было посвящено выступление специалистов ГНЦ РФ АО «НПО «ОРИОН» «Матричные SWIR фотоприемники на основе меза-планарных InGaAs XВп-гетероструктур», которое представил Иродов Н. А. В докладе были показаны результаты исследований фотоэлектрических параметров элементов в МФЧЭ на основе гетероэпитаксиальных XВп-структур с поглощающим слоем InGaAs диапазона 1-1,7 мкм. Показана перспективность использования меза-планарной технологии для изготовления высокоэффективных матриц фотодиодов, позволяющей успешно сочетать малый темновой ток и ампер-ваттную чувствительность.

Развитию систем отображения информации (СОИ) был посвящен доклад «Перспективные OLED микродисплеи с интегрированными блоками и настраиваемыми алгоритмами обработки изображения», который представил к. т. н., Стахарный С. А. из ЦНИИ «Циклон». На сегодняшний день OLED технология становится доминирующей в индустрии основы современных СОИ – плоскочелюстных дисплеев. Отдельным классом данных устройств являются OLED микродисплеи с кремниевой СБИС управления, применяемые в различных окологлазных СОИ индивидуального типа (ИСОИ) с моно- и бинокулярной оптической схемой. Данные ИСОИ позволяют решать большой круг задач, в том числе специфических, где необходима предварительная обработка изображения, выявляющая наблюдаемые объекты и их свойства на окружающем фоне. Для этих целей в аппаратуре применяются внешние блоки на основе процессоров или ПЛИС с необходимой схемой обвязки этих микросхем. Такое решение усложняет процесс разработки, увеличивает количество комплектующих изделий, а главное сильно увеличивают энергопотребление (около 200 мВт), что может быть критично в портативной технике, где лимитирующим параметром является ресурс работы от аккумуляторной батареи.

С большим интересом все участники секции 12 выслушали доклад «Обоснование возможности создания оптико-электронных систем технического зрения робототехнических комплексов воздушного, наземного и подводного назначения для применения в условиях естественных и организованных



ных оптических помех», представленный д. т. н. Ю. К. Грузевичем из АО «НПО Геофизика-НВ». В докладе были даны оценки возможности применения лазерных оптико-электронных, активно-импульсных каналов в системах технического зрения воздушных, наземных и подводных робототехнических комплексов в условиях естественных и организованных оптических помех. Также обсуждался широкий круг вопросов, касающихся оптических приборов для широкого диапазона от УФ до дальнего ИК.

Завершая далеко не полный обзор событий X Форума «Микроэлектроника-2024», хочется сказать, что мероприятия Форума проходили в доброжелательной атмосфере, доклады почти всегда вызвали дискуссию, которая отражала заинтересованность слушателей. В рамках форума работала выставка научно-технических достижений организаций-участников конференции. Форум собрал авторитетных ученых, производственников, чиновников институтов развития, членов РАН, а также ведущих специалистов в области проектирования изделий микроэлектроники и оптоэлектроники. Этот уникальный «сплав» является отличительной чертой Форума. Общая атмосфера Форума дает всем участникам уверенность, что все трудности, стоящие перед страной, будут преодолены.

Пожелаем всем успехов в достижении заявленных целей!

А. С. Башкатов, А. В. Наумов, А. В. Полесский