

УДК 621.383  
EDN: UUTGWU

PACS: 85.60.-q

## Достижения и перспективы развития фотоэлектроники на X Форуме «Микроэлектроника 2024»

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

*Дан обзор докладов, представленных на Форуме «Микроэлектроника 2024» на секции 12 «Технологии оптоэлектроники и фотоники», посвященных современному состоянию и перспективам развития оптико-электронных систем и фотоприемных устройств.*

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

DOI: 10.51368/2307-4469-2024-12-6-542-546

### Введение

Российский форум «Микроэлектроника 2024», прошедший 23–28 сентября 2024 г. на федеральной территории Сириус (Сочи), вновь стал самым масштабным событием в отрасли микро- и оптоэлектронной промышленности России. Юбилейный X-й по счету форум состоялся в традиционном очном формате с использованием новейших цифровых

технологий. В нем приняли участие 3560 участников, прозвучали около одной тысячи 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 выступил холдинг «Швабе» – АО «ОКБ «Астрон».

К участникам форума «Микроэлектроника 2024» обратился специально приехавший на открытие Форума Михаил Мишустин. Он отметил: «Здесь учёные, 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 Денис Мантуров, министр промышленности и торговли Антон Алиханов, министр науки и высшего образования Валерий Фальков, а также министр цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Максут Шадаев.

Глава Министерства промышленности и торговли Российской Федерации Антон Али-

---

**Наумов Аркадий Валерьевич**<sup>1</sup>, рук. направления.  
**Полесский Алексей Викторович**<sup>2</sup>, гл. конструктор по НИОКР, к.т.н.

**Башкатов Александр Сергеевич**<sup>3</sup>, нач. отдела оптоэлектронной техники.

**Астапова Анна Александровна**<sup>2</sup>, вед. инженер.

<sup>1</sup> АО «ОКБ «Астрон».

Россия, 140080, Московская обл., г. Лыткарино,

ул. Парковая, д. 1, к. 1.

E-mail: info@astrohn.ru

<sup>2</sup> АО «НПО «Орион».

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

E-mail: orion@orion-ir.ru

<sup>3</sup> 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 в редакцию 14.11.2024

После доработки 25.11.2024

Принята к публикации 12.12.2024

---

© Наумов А. В., Полесский А. В., Башкатов А. С.,  
Астапова А. А., 2024

ханов заявил, что ведомство до конца текущего года намерено подготовить стратегию развития фотоники. Он пояснил, что данная стратегия будет разработана до 2030 года. Алиханов добавил, что фотоника применяется в различных сферах деятельности, и подчеркнул, что, по разным оценкам, мировой рынок техники с применением фотонных и лазерных технологий в прошлом году достиг примерно 20 миллиардов 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 объём производства фотоники составил 180–200 млрд рублей, и к 2030 году прогнозируется ежегодный рост порядка 10 процентов.

В рамках деловой программы холдинг «Швабе» впервые на Форуме провел пленарное заседание «Задачи и перспективы развития технологий оптоэлектроники и фотоники». В докладах участников были затронуты вопросы обеспечения и достижения технологического суверенитета, расширения взаимодействия с РАН и научными организациями высшего образования. Фотоника, оптоэлектроника и радиофотоника являются драйверами экономического развития. Кроме того, от развития данных технологий зависит обороноспособность страны. Модератором выступил генеральный директор Государственного научного центра РФ АО «НПО «Орион» Вадим Старцев. В рамках мероприятия о состоянии дел и перспективах развития технологий оптоэлектроники и фотоники в Российской Федерации рассказал заместитель генерального директора холдинга «Швабе» – руководитель приоритетного технологического направления по технологиям оптоэлектроники и фотоники, доктор технических наук, профессор Сергей Попов. Он отметил, что одно из перспективных направлений – это создание фотосенсоров нового поколения на основе

коллоидных квантовых точек и приборов наблюдения на их основе, которые развиваются в АО «НПО «Орион».

### Достижения и перспективы развития

С докладом «Состояние и перспективы развития радиофотоники в России» выступил руководитель приоритетного технологического направления «Технологии радиофотоники», генеральный директор АО «НИИ «Полус» им. М. Ф. Стельмаха», доктор технических наук, профессор Евгений Кузнецов. Он рассказал о преимуществах радиотехнических систем, созданных на основе технологий радиофотоники. К отличиям относятся высокая надежность, сверхширокополосность, высокие скорости передачи данных, устойчивость к внешним помехам и другие. Кроме того, Евгений Кузнецов выделил основные этапы по созданию электронной компонентной базы и фотонных интегральных схем в России, а также отметил иные проекты в области развития лазерной техники.

Кроме того, свои работы и исследования на тему перспективных технологий представили доктор физико-математических наук, профессор, начальник отдела функциональной электроники АО «НИИМЭ» Александр Итальянцев, доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, директор Физико-технического института имени А. Ф. Иоффе Сергей Иванов и руководитель Центра перспективной электроники Фонда перспективных исследований Алексей Заблоцкий. Были затронуты вопросы технологического суверенитета в области оптоэлектроники и фотоники, наращивания научно-технологического задела, расширения взаимодействия с РАН и научными вузами.

В этом году для работы секции 12 «Технологии оптоэлектроники и фотоники. Опто- и фотоэлектроника. Интегральная фотоника, волоконные и лазерные технологии» были, как и в прошлом году, организованы 2 подсекции – 12.1 «Опто- и фотоэлектроника» и 12.2 «Интегральная фотоника, волоконные и лазерные технологии». Всего в двух секциях было сделано более 50 докладов, которые были посвящены современному состоянию и перспективам развития оптико-электрон-

ных систем и фотоприемных устройств. В первой подсекции прозвучали доклады, сделанные специалистами АО «ОКБ «Астрон», АО «НПО «Орион», АО «ЦНИИ «Циклон», АО «НИИ «Полюс» им. М. Ф. Стельмаха» и другими.

Работа секции 12.1 открылась докладом «Современное состояние и направления развития фото- и оптоэлектроники инфракрасного диапазона в ГНЦ РФ АО «НПО «Орион» д.т.н., профессора Бурлакова И. Д. Были всесторонне рассмотрены основные тенденции развития современных технологий фотоэлектроники и полупроводниковых фоточувствительных материалов для инфракрасных 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 путям развития фотосенсорики был посвящен разносторонний доклад «Фотосенсоры на основе коллоидных квантовых точек для видимого и коротковолнового ИК диапазона», который подготовил к.х.н. Попов В. С. из 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 инфракрасного диапазона. В то же время, для использования в микроэлектронике, и особенно в фотосенсорике, решающим фактором является совместимость технологии синтеза материалов ограниченной размерности с микро- и фотоэлектронными технологиями.

Крайне перспективному направлению был посвящен доклад «Технология прецизионного прессования линз. Состояние и перспективы освоения в России» коллектива авторов к.т.н. Полесский А. В., Семенченко Н. А., Сайкина Т. С., Старцев В. В., к.х.н. Семенча А. В., к.т.н. Архипова Л. Н., Щербаков К. В. 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, по-

лировки и доводки оптических поверхностей). Недостатками данной технологии является: невозможность 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-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 моллирования, 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 выслушали доклад д.ф.-м.н. 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 автора Пихтина Н. А. из ФТИ им. А. Ф. Иоффе «Полупроводниковые лазеры для опто- и микроэлектронных приложений». 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 металлооргани-

ческих 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. Рассмотрены технологические процессы эпитаксиального роста гетероструктур, их постростовой обработки (планарные технологии), технологии монтажа кристаллов и их характеризации. 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  $^{133}\text{Cs}$ . Созданные лабораторные ВИЛ спектрального диапазона 894,6 нм в диапазоне рабочих температур до  $+70^\circ\text{C}$  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  $\sim 20$  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 микроболлометрических приемников ИК-излучения», в котором изложили свои предложения по вопросам конструктивно-технологических аспектов проектирования матричного микроболлометрического детектора с шагом элементов 12 мкм и отработке технологии корпусирования перспективных крупноформатных матричных микроболлометрических приемников ИК-излучения. Вопросам изготовления неохлаждаемых микроболлометров также был

посвящен доклад «Технология изготовления неохлаждаемой микроболлометрической ИК-матрицы с шагом элементов 17 мкм», который представил автор из ООО «Маппер» Юркин Н. О.

Еще одному новому пути развития фотосенсорики было посвящено выступление специалистов ГНЦ РФ АО «НПО «Орион» «Матричные SWIR фотоприемники на основе мезопланарных InGaAs XВn-гетероструктур», которое представил Иродов Н. А. В докладе были представлены результаты исследований фотоэлектрических параметров элементов в МФЧЭ на основе гетероэпитаксиальных XВn-структур с поглощающим слоем InGaAs диапазона 1–1,7 мкм. Показана перспективность использования мезопланарной 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 АО «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 критичным является ресурс работы от аккумуляторной батареи.

С большим интересом все участники Секции выслушали доклад «Обоснование возможности создания оптико-электронных си-

стем технического зрения робототехнических комплексов воздушного, наземного и подводного назначения для применения в условиях естественных и организованных оптических помех», представленный заместителем генерального директора по научной работе, к.т.н., профессором Грузевичем Ю. К. из ОАО «НПО Геофизика-НВ». В докладе были представлены 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.

На Форуме обсуждался широкий круг вопросов, касающихся оптических приборов на спектральную область от ультрафиолета до дальнего ИК, а также была представлена выставка научно-технических достижений организаций-участников конференции.

## Заключение

Завершая далеко не полный обзор событий X Форума «Микроэлектроника 2024», нужно отметить, что Форум в демократичной атмосфере, как и в предыдущие годы, собрал авторитетных учёных, производственников, чиновников институтов развития, членов Академии наук, а также ведущих специалистов в области проектирования микро- и оптоэлектроники. Этот уникальный «сплав» является отличительной чертой Форума, а его общая атмосфера дает всем участникам ощущение, что все трудности, стоящие перед страной, будут преодолены.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Российский форум «Микроэлектроника 2024» X Научная конференция «ЭКБ и микроэлектронные модули». Сборник тезисов Научно-технологический университет «Сириус», 23–28 сентября 2024 г. – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2024.

PACS: 85.60.-q

## Achievements and development prospects of photoelectronics at the X Forum «Microelectronics 2024»

*A. V. Naumov<sup>1</sup>, A. V. Polessky<sup>2</sup>, A. S. Bashkatov<sup>3</sup> and A. A. Astapova<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> ASTROHN Technology Ltd.

1 Parkovaya st., Lytkarino, Moscow Region, 140080, Russia

<sup>2</sup> Orion R&P Association, JSC

9 Kosinskaya st., Moscow, 111538, Russia

<sup>3</sup> FSBI All-Russian Research Institute of Radio Electronics

2a Kolpakova st., Mytishchi, Moscow Region, 141002, Russia

*Received 14.11.2024; revised 25.11.2024; accepted 12.12.2024*

***A reports overview of the section 12 «Optoelectronics and Photonics Technologies», subsection 12.1 «Opto- and Photoelectronics» given at the Forum «Microelectronics 2024» were given. The section was devoted to the current state and development prospects of optical-electronic systems and photodetectors.***

***Keywords:*** microelectronics 2024; IR range; IR FPA; optical-electronic systems; lens.

## REFERENCES

1. Russian Forum «Microelectronics 2024» 10th Scientific Conference «Electronic components and microelectronic modules». Collection of abstracts Scientific and Technological University «Sirius», September 23-28, 2024. Moscow, TEKHNOСFЕRA, 2024.