



Развитие радиофотоники в Российской Федерации

Одним из наиболее быстро развивающихся направлений в секторе информационно-коммуникационных технологий фотоники является сегодня радиофотоника. На вопросы о работах по этой технологии в России и в мире «Лазер-Информу» ответил профессор **Виктор Васильевич Валуев**, руководитель подгруппы 7.2 «Радиофотоника» российской техплатформы «Инновационные лазерные оптические и оптоэлектронные технологии – фотоника», главный научный сотрудник НТЦ «Модуль».



– **Что такое радиофотоника в сегодняшнем понимании? Где она применяется и почему ею активно занимается в развитых странах?**

– Радиофотоника – интенсивно развивающееся в мире межотраслевое направление, позволяющее переносить сверхвысокочастотный (СВЧ) сигнал в оптическую область и обеспечивать передачу и обработку этого сигнала в оптике. Такой подход обеспечивает ряд преимуществ над классическими радиотехническими системами, среди которых сверхширокая полоса пропускания, малые потери и вес при передаче сигнала по волоконным линиям по сравнению с коаксиальными кабелями и невосприимчивость к электромагнитным помехам.

– **А в плане технической реализации этой технологии – какие системы и устройства относятся к радиофотонике, каков принцип их работы?**

– Радиофотонные технологии – это аналоговые технологии. Если в цифровой технике идет гонка за уменьшением размеров элемента (транзистора), то в радиофотонике каждый элемент должен выполнять определенную физическую функцию. Здесь СВЧ сигнал преобразуется в оптическую область с помощью модулятора, на который поступает лазерное излучение, а после обработки оптический сигнал преобразуется обратно в микроволновый сигнал с

помощью фотодетектора. Благодаря фотонной обработке возможно генерировать высокочастотный сигнал и точно обрабатывать сверхширокополосный сигнал.

Так, например, в АО «Лазерные системы» (С.Петербург) на базе радиофотонных технологий реализован многодиапазонный мобильный комплекс измерения динамических параметров атмосферы «ЛиРа» для нужд авиации. Зондирующая система «ЛиРы» объединяет преимущества радиодиапазонов Х и К_a и дополняет их доплеровским лидарным каналом, работающим в ближнем диапазоне ИК излучения. Совокупность различных частот зондирования обеспечивает возможность эффективной работы комплекса в широчайшем диапазоне метеоусловий. Применение методов радиофотоники на стыке СВЧ и лазерной техники позволяет отказаться от использования трех независимых зондирующих подсистем, объединив их на программно-аппаратном уровне посредством использования оптоэлектронного задающего генератора и радиофотонного прием-

В номере:

- Развитие радиофотоники в Российской Федерации *В.В.Валуев*
- ХРОНИКА. Конференция «Фотоника-2023» в Новосибирске
- ИНТЕРНЕТ-НОВОСТИ. Объявление

ного тракта, что, в свою очередь, не только повышает эксплуатационные характеристики комплекса, но и оптимизирует его состав.

– **Какую компонентную базу используют устройства радиофотоники? Является она сугубо индивидуальной для этой технической области или общей с другими оптическими технологиями обработки и передачи информации?**

– Компонентную базу радиофотоники принято делить на активную и пассивную. К активной относят лазеры, модуляторы, фотодиоды, усилители. К пассивной – фильтры, резонаторы, мультиплексоры, демультимплексоры и др. В оптических системах передачи цифровой информации используются импульсы с постоянной амплитудой (энергией), а в радиофотонике аналоговый сигнал изменяется в широких пределах, что предъявляет требование большого линейного динамического диапазона активной части компонентной базы. В связи с этим радиофотонная компонентная база может применяться в цифровых системах, но не наоборот.

– **Каков сегодняшний уровень мировой радиофотоники? Каковы основные направления и стимулы её развития, какие страны лидируют?**

– В последние 20-25 лет компонентная база радиофотоники интенсивно развивалась в США и странах Европы. Технологии создания компонент сильно зависят от частот СВЧ сигнала. В настоящее время созданы элементы для частот от единиц до сотен ГГц, что позволяет разрабатывать многоспектральные радиолокационные системы, панорамные приемники СВЧ диапазона, охватывающие области длин волн от метров до миллиметров, системы получения радиоизображений, в том числе в условиях туманов и сильной облачности. Наиболее активно в этом направлении работают специалисты КНР, Италии, США. Интенсивно создаются фотонные интегральные схемы, позволяющие максимально использовать преимущества фотоники.

– **А как начинались работы по радиофотонике в России? Какие этапы в развитии этих работ можно выделить?**

– В России комплексное развитие радиофотонных технологий началось в 2012 году благодаря активной деятельности **Алексея Николаевича Шулунова** – одного из ведущих специалистов и организаторов производства в советской и российской радиоэлектронной отрасли, понимавшего перспективы применения радиофотонных методов в радиолокации, связи и других областях и предложившего создать рабочую группу и консорциум организаций по развитию радиофотоники. Это предложение было поддержано академиком РАН **Ю.М. Михайловым**, академиком РАН **Ю.А. Гуляевым** и его сотрудником **В.А. Черепенным** (ныне академи-



Алексей Николаевич Шулунов (9.12.1937-25.07.2023)

ком РАН). В течение полугода **А.Н. Шулунов** с небольшой группой специалистов объездили все основные предприятия и институты страны (С.Петербург, Новосибирск, Томск, Пермь, Нижний Новгород, Великий Новгород, Москва и др.), которые являлись потенциальными участниками развития этого нового направления, и в конце 2012г. сформировали конкретные предложения по программе работ по развитию радиофотоники в России.

Большим вкладом в информационное обеспечение наших специалистов в этой области стал перевод профессором **М.Е. Белкиным** с состр. и выпуск в 2016г. на русском языке книги американских специалистов из Naval Res. Lab. «Основы микроволновой фотоники», а также неоднократное издание монографии **Д.Ф. Зайцева** «Нанофотоника».

На первом этапе развития радиофотоники стояла задача создать минимальную компонентную базу для того, чтобы на втором этапе приступить к созданию более сложных устройств.

Лазеры. Благодаря многолетним стараниям группы специалистов во главе с **А.Н. Шулуновым** в АО «ОКБ-Планета» в тесной кооперации с ООО «Коннектор Оптикс» были созданы вертикально-излучающие лазеры. Практически одновременно в НИИ «Полюс» были разработаны и стали выпускаться лазеры с распределенной обратной связью (РОС-лазеры) с длиной волны излучения 1550 нм, активно используемые сегодня в устройствах радиофотоники.

Оптические модуляторы сигналов. В наиболее распространенном модуляторе Маха-Цендера (ММЦ) оптически модулируется радиочастотный (РЧ) сигнал. В типичной радиофотонной архитектуре ММЦ преобразует фазовую модуляцию в модуляцию интенсивности. Кристалл ниобата лития (LiNbO₃) является популярным материалом ММЦ. Другие материалы, такие как GaAs, Si, InP и органические полимеры также

используются при создании ММЦ. В ФТИ им. Иоффе разработана линейка модуляторов с использованием ниобата лития с полосой частот до 40 ГГц. Исследования по дальнейшему расширению полосы частот до 100 ГГц и выше ведутся в ФТИ им. А.Ф.Иоффе с использованием подложек ниобата лития в виде тонких пленок субмикронной толщины. Разработка промышленной технологии модуляторов ММЦ на основе ниобата лития была проведена в ПАО «ПНППК», где запущено производство модуляторов на различные частоты. В НИЯУ МИФИ совместно с НИИ «Полюс» ведутся работы по разработке модуляторов на основе фосфида индия (InP), полупроводникового материала AzB_5 , работающего в телекоммуникационном диапазоне 1500-1600 нм. Использование данного материала наиболее интересно для создания интегральных фотонных схем и позволяет изготавливать на одной подложке лазер, модулятор и фотоприемник.

Высокоскоростные фотодетекторы. Различные типы фотодиодов разработаны и выпускаются в АО НИИ Полюс им. М.Ф.Стедьмаха и ИФП СО РАН. В НИИ «Полюс» разработан мощный фотодиод, обеспечивающий рабочую полосу частот 0,1-12 ГГц при входной оптической мощности 40-50 мВт без насыщения выходной характеристики. В ИФП СО РАН (Новосибирск) разработаны бескорпусные фотодиоды с барьером Шоттки на основе гетероструктур InGaAs/InAlAs/InP с частотным диапазоном до 40 ГГц.

В процессе исследований находятся разработки различных пассивных элементов – мультиплексоров и демультимплексоров, фильтров и резонаторов, в том числе с использованием метода галереи шепчущих волн, аттенюаторов и фазовращателей. На втором этапе приступили к созданию устройств с использованием радиотонных технологий.

Оптические усилители. Усилитель на редкоземельном волокне EDFA является широко используемым волоконным усилителем, поскольку Er^{3+} имеет широкий спектр излучения с низкими потерями на длине волны 1550 нм. Выпускаются на предприятии НТО «ИРЭ-Полюс». налажено также производство полупроводниковых усилителей.

Одним из наиболее значимых устройств радиотонных систем различного применения является устройство для приема и обработки входных сигналов. Таким устройством является **радиотонный приемный канал**, в котором в общем случае производится преобразование таких сигналов в оптическую область, при необходимости осуществляется оптическая преобразование и обратное преобразование в электрическую область для последующей постобработки и анализа. При обработке сверхширокополосных сигналов возможно применение фотонных АЦП, созданием которых занимались сотрудники НИЯУ МИФИ и АО НТЦ «Модуль».

В Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина) были разработаны перестраиваемые сверхмалошумящие оптоэлектронные СВЧ генераторы X диапазона.

– Как сегодня организованы работы по радиофотонике в России, в Союзном государстве? Есть ли какие-то кооперации, общие программы, проекты?

– В нашей стране в течение многих лет рабочей группой специалистов во главе с *А.Н.Шулуновым* разрабатывался проект Программы развития радиофотоники, который в настоящее время рассматривается в Минпромторге РФ. В рамках Союзного государства ведутся совместные работы в этом направлении. Наиболее активно радиофотонные технологии разрабатываются группой специалистов, возглавляемых академиком АН Белоруссии и РАН *В.А.Лабунным*.

Для координации работ и ускорения создания компонентной базы радиофотоники Распоряжением Правительства РФ от 4 июля 2023г. №1781-р базовой организацией оборонно-промышленного комплекса, осуществляющей научную деятельность по развитию технологии радиофотоники, определён АО «Научно-исследовательский институт «Полюс» им. М.Ф.Стедьмаха», а его генеральный директор д.т.н., профессор *Е.В.Кузнецов* назначен руководителем приоритетного технологического направления по радиофотонике.

– А почему именно НИИ «Полюс» им. М.Ф.Стедьмаха стал базовой организацией? То, что это один из ведущих мировых центров работ по лазерной технике, общеизвестно, а что здесь сделали для радиофотоники?

– Компетенции АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф.Стедьмаха» в области технологий радиофотоники подтверждены многолетним научно-производственным опытом и положительными результатами научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, выполненных в период с 1995 года по настоящее время в интересах заказчиков. Были созданы приемные и передающие оптические модули, предназначенные для передачи и преобразования СВЧ сигналов в оптические, организовано их серийное производство на собственной технологической базе. Также были разработаны:

- унифицированный комплект передающего (ПОМ-27) и приемного (ПрОМ-15) оптических модулей со следующими параметрами: диапазон частот 1-12 ГГц, рабочая длина волны 1310 нм, коэффициент передачи не менее минус 32 дБ. Построены на основе лазеров Фабри-Перо (1310 нм), InGaAs PIN фотодиодов;
- комплект малошумящих оптоэлектронных модулей (ПОМ-28 и ПрОМ-16) с компенсацией потерь преобразования и сниженным коэффициентом шума тракта передачи за счет встроенных малошумящих усилителей. Построены на основе лазеров Фабри-Перо (1310 нм), InGaAs PIN фото-

диодов, GaAs НЕМТ МШУ со следующими параметрами: диапазон частот 1-5 ГГц (Литера 1), 5-10 ГГц (Литера 2), рабочая длина волны 1310 нм, коэффициент передачи не менее 2 дБ.

В АО «НИИ «Полус» в 2019г. впервые в России был разработан одночастотный с длиной волны 1550 нм РОС-лазер с мощностью более 50 мВт на выходе одномодового волокна, необходимый для радиофотонных трактов с внешней модуляцией излучения. Там же была разработана конструкция мощного фотодиода на основе соединений InP/InGaAs, обеспечивающая рабочую полосу частот 0,1-12 ГГц при входной оптической мощности 40-50 мВт (на длине волны 1,55 мкм), разработан и освоен в серийном производстве InGaAs PIN-фотодиод с верхней граничной частотой 2 ГГц.

– Многие организации нашей отрасли отмечают сейчас необходимость существенного улучшения системы подготовки кадров для работ по фотонике и её применениям. А как обстоят дела с кадрами для радиофотоники?

– Развитие радиофотонных технологий требует наличия высококвалифицированных специалистов. Для решения этой задачи на базе МИРЭА была запущена программа дополнительного профессионального образования. С 2021 года программа «Радиофотонные технологии в контексте разработки перспективных радиотехнических систем» продолжается на базе Казанского национального исследовательского технического университета имени А.Н.Туполева.

Целью программы является формирование у разработчиков радиоэлектронной аппаратуры, включая СВЧ технику, компетенций в области радиофотоники, развитие теоретических знаний и практических навыков в проектировании различных радиофотонных узлов и устройств и оценки их характеристик в сравнении с традиционными решениями.

Одним из результатов обучения является формирование у слушателей понимания конкурентных преимуществ и ограничений применения радиофотонных технологий при построении различных радиоэлектронных систем.

В настоящее время идет третий набор на обучение 2023/2024. Программа курса включает основы оптоэлектроники, волоконной оптики, фотонных интегральных схем, проектирования радиофотонных систем в специализированных САПР. По окон-

чании курсов осуществляется защита квалификационной работы по разработке прототипов радиофотонных устройств различного назначения, тематика которых увязана с направлениями НИОКР, включенных в проект программы развития радиофотоники в РФ. В случае успешного окончания выдается диплом о повышении квалификации государственного образца.

Пополнение коллективов предприятий квалифицированными кадрами, а также внимание государственных структур к новым направлениям развития науки и техники поможет перейти к более быстрому освоению новых технологий и ускорению их применения в перспективных образцах новой техники.

– Научно-практические конференции по радиофотонике, которые Вы проводите в рамках Конгресса техплатформы «Фотоника» во время ежегодных выставок «Фотоника. Мир лазеров и оптики» в московском «Экспоцентре», являются одними из самых многочисленных и активных среди почти двух десятков аналогичных конференций Конгресса ТП. Как Вы объясняете такой интерес к этой тематике? На какие научные и практические результаты в отечественной радиофотонике можно сейчас рассчитывать?

– Появление каждого нового направления в науке и технике приводит к взрывному интересу ученых и специалистов, так как перед ними ставятся новые задачи в разработке сложных технологий, новых материалов, появлению систем с новыми или кардинально лучшими параметрами. Так произошло и с идеей переноса радиоволн на оптическую несущую, частота которой на порядки больше частоты радиоволн. Если продолжить эту идею, то можно предположить, что и свет можно перенести на более высокочастотную несущую, которой является рентгеновское излучение. Это позволило бы передавать свет на такой несущей через любые преграды. Надеюсь, что работы в области радиофотоники в нашей стране будут продолжаться. Однако для этого необходимо создание полного спектра необходимой компонентной базы, активных и пассивных элементов (в первую очередь нужен модулятор в чиповом исполнении), что позволит в ближайшем будущем перейти к разработке и выпуску фотонных интегральных схем.

– Спасибо за интервью, Виктор Васильевич!

От редакции бюллетеня «Лазер-Информ»

Во втором августовском выпуске «Л-И» этого года - №16 (751) – была допущена досадная неточность. На стр. 9 в левой колонке текста использован некорректный оборот – «удельная плотность». Следует читать «плотность».

Приносим свои извинения читателям и благодарим Ю.А.Вараксу (Минск), который обратил наше внимание на эту терминологическую ошибку.

ХРОНИКА

Конференция «Фотоника-2023» в Новосибирске

В Новосибирском Академгородке прошла организованная Институтом физики полупроводников им. А.В.Ржанова СО РАН Российская конференция и школа



молодых ученых «Фотоника-2023», собравшая более 160 участников из Москвы, Санкт-Петербурга, Новосибирска, Екатеринбурга, Зеленограда, Томска, Зеленограда и других городов.

«Фотоника-2023» продолжила серию научных конференций, посвященных полупроводниковой фотоэлектронике. Это событие стало традиционным в Новосибирске, опыт предыдущих конференций продемонстрировал плодотворность обсуждения смежных проблем фотоэлектроники в рамках одного мероприятия.

Эта конференция признана в России и за рубежом, её тематика охватывает широкий круг вопросов физики квантовых эффектов, оптических и фотоэлектрических явлений, формирования наноструктур на основе широкого спектра полупроводниковых материалов и нанокристаллов, преобразования и взаимодействия оптического излучения с веществом.

В этом году в мероприятии приняли участие специалисты из 12 регионов Российской Федерации, представив 133 доклада. На заседаниях, проходивших на территории «Точки кипения — Новосибирск», ведущие ученые и представители промышленности обсудили актуальные вопросы полупроводниковой фотоэлектроники.

Хорошим обучающим курсом для молодых ученых, приехавших на «Фотонику», стал цикл подробных приглашенных докладов от специалистов ИФП СО РАН, Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Института физики микроструктур РАН, Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова, НИУ «Высшая школа экономики», Физико-технического института им. А.Ф.Иоффе РАН, Института автоматики и электрометрии СО РАН, АО НПО «Орион», АО «Зеленоградский нанотехнологический центр» и других организаций.

Основные направления конференции:

- методы и технологии получения наноструктурированных материалов и наноструктур для перспективных устройств фотоники;
- фотоэлектрические явления в полупроводниковых структурах;
- фотодетекторы ИК-диапазона на основе соединений A2B6 и A3B5, элементарных полу-

проводников и квантовых наноструктур;

- солнечные элементы и фотовольтаика;
- полупроводниковые излучатели и сенсоры;

- квантовые устройства и системы;
- полупроводниковые приемники и излучатели терагерцового диапазона;
- физические основы элементной базы радиофотоники;
- приборы ночного видения;
- оптико-электронные системы и комплексы.

Открывая конференцию, председатель ее Программного комитета, директор Института физики полупроводников им. А.В.Ржанова СО

РАН академик РАН Александр Васильевич Латышев рассказал, что 2023 год — юбилейный для конференции: «Двадцать лет назад мы провели совещание «Фотоника», и в ходе работы ему был присвоен статус конференции. С тех пор конференция проходит в Новосибирске раз в два года».

Александр Латышев подчеркнул, что с самого начала «Фотоника» сформировалась как площадка для совместной работы представителей научных и производственных организаций — на конференции участники узнают как о передовых разработках, так и о запросах и потребностях индустрии.

Среди недавних достижений ИФП СО РАН в области фотонных технологий его директор назвал разработку оптического детектора спина свободных электронов с пространственным разрешением («спин-детектора»), повышение квантовой эффективности кремниевых фотодетекторов, разработку детектора и излучателя одиночных фотонов, разработку мощных СВЧ-фотодиодов, создание сверхминиатюрных излучателей — полупроводниковых лазеров с вертикальным резонатором, с высокой стабильностью.

«Лазеры с вертикальным резонатором — это самые миниатюрные лазеры, которые можно создавать, в нашем случае их размер — 300 на 300 микрон. Для них разработана технология производства, можно добиться излучения на определенной длине волны. Устройства были апробированы в ряде организаций, эта разработка открывает перспективы существенно улучшить характеристики большого числа телекоммуникационных и навига-



ционных устройств. Сейчас требуется оптимизация технологии ЛВР для уменьшения неконтролируемых шумов с целью замещения аналога производства США», — объяснил директор ИФП СО РАН.

Первый приглашенный доклад «Состояние работ и перспективы матричных фотоприемных устройств на основе антимонида индия» представил начальник научно-технологического комплекса ГНЦ РФ АО НПО «Орион» доктор физико-математических наук **Константин Олегович Болтарь**. Он объяснил, что антимонид индия, наряду с теллуридом кадмия и ртути, лидируют на мировом рынке матричных фотоприемных устройств для средневолнового инфракрасного диапазона — это ведущие фоточувствительные материалы.



Специалисты НПО «Орион» производят фотоприемные устройства на основе антимонида индия и работают над улучшением их характеристик. В частности, они исследуют свойства эпитаксиального антимонида индия. Соединение выращивалось методом молекулярно-лучевой эпитаксии технологами научной группы заведующего лабораторией ИФП СО РАН доктора физико-математических наук **Константина Сергеевича Журавлева**. «Мы показали преимущество по пространственному разрешению эпитаксиальных структур $InSb$ на высоколегированной подложке в сравнении с объемными структурами антимонида индия», — отметил **К.О. Болтарь**.

Кроме того, ученые работали с бинарными соединениями $InSb$, $AllnSb$ и $InAsSb$: «Эти, выращенные методом молекулярно-лучевой эпитаксии барьерные nVn -структуры, перспективны для создания матричных фотоприемных устройств с уменьшенным энергопотреблением. Для реализации преимуществ требуются исследовательские и технологические работы», — добавил докладчик.

«Фотоника» объединяет

Участники конференции отметили обилие интересных докладов, актуальность тематики и важность консолидирующей роли мероприятия. «У меня большой интерес к «Фотонике»: значимо, что организаторы — **Александр Васильевич Латышев** и его команда — регулярно проводят конференцию и объединяют организации, работающие в разных областях развития фотоники. Сейчас сформировался большой кластер фотоники в Москве, строится завод по производству фотонных интегральных схем в Подмоскowie, но нужно консолидировать все направления, чтобы была единая программа развития фотоники, общая для всей страны.

Один из «целевых» для меня докладов сделал заместитель директора ИФП СО РАН доктор наук **Максим Витальевич Якушев** — о состоянии и перспективах развития охлаждаемых фотоприемных устройств на основе сложных гетероструктур узкозонных полупроводников, также мне интересен доклад заместителя по научной работе Института физики микроструктур РАН доктора наук **Владимира Изяславовича Гавриленко** о двухфотонных квантово-каскадных лазерах, сообщение старшего научного сотрудника ИФП СО РАН кандидата наук **Дмитрия Владимировича Гуляева** «Электрооптические модуляторы S -диапазона на основе InP », — поделился впечатлениями проректор Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» доктор технических наук **Николай Иванович Каргин**.

Физик отметил, что хорошо знаком с работами ученых из ИФП СО РАН: «Институт физики полупроводников является законодателем мод в технологии молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ), более того, он производит востребованное сейчас оборудование для МЛЭ. Также хорошо известны работы исследователей ИФП СО РАН в области радиофотоники, СВЧ-технологий».



Проводя параллели с международной конференцией по фотонным интегральным схемам, прошедшей в этом году в Брюсселе, **Н.И. Каргин** подчеркнул, что тематики симпозиумов хорошо согласуются. Исследователи в России и за рубежом работают над одними и теми же вопросами, но для конференции в Брюсселе характерна большая ориентированность на потребности рынка, его динамику развития в ближайшее десятилетие.

Фотонные технологии сегодня и завтра

О фотонных технологиях, которые уже присутствуют в жизни каждого из нас, рассказал советник генерального директора Зеленоградского нанотехнологического центра (ЗНТЦ) **Константин Эдуардович Певчих**. Его доклад касался развития областей применения фотонных интегральных схем (ФИС), наукоемких разработок, нужных для производства ФИС в России. Использование фотонных интегральных схем позволяет увеличить скорость обработки и передачи данных в несколько десятков или даже сотен раз, уменьшить размеры функциональных элементов электроники. Это достигается за счет интеграции на чипе одновременно электронных и оптических компонентов, способных принять световой сигнал, обработать его и транслировать дальше. Сейчас ФИС широко применяются в телекоммуникациях, в

трансиверах — приборах, необходимых для одновременной обработки и передачи светового сигнала, пришедшего по оптическому волокну. Рынок потребления трансиверов растет, так как становится все больше передаваемых данных, появляются новые дата-центры.

В области производства отечественных трансиверов ЗНТЦ сотрудничает и с ИФП СО РАН. «Со специалистами лаборатории молекулярно-лучевой эпитаксии элементарных полупроводников и соединений АЗВ5 ИФП СО РАН мы завершили уже один совместный договор на выполнение НИР по разработке эпитаксиальных гетероструктур «германий на кремнии» — полупроводникового материала, необходимого для создания фотоприемника, одного из компонентов ФИС. Сейчас подали заявку в Российский научный фонд в рамках нового конкурса уже на отработку технологии производства фотодетекторов. Мы собираемся производить трансиверы по новым технологиям, и часть из этих технологий — от ИФП СО РАН. К тому же мы заинтересованы в установках молекулярно-лучевой эпитаксии, которые производит Институт», — отметил К.Э.Певчих.

Еще одна область использования фотонных интегральных схем — сенсорика, то есть создание разнообразных оптических сенсоров для контроля сложных инженерных объектов, летательных аппаратов или, например, сенсоров, имеющих биомедицинское применение.

«Сейчас мы уже привыкли к получению разнообразных данных при помощи оптических датчиков, но пока световой сигнал трансформируется в электрический для последующей обработки. Например, во многих умных часах стоят оптические сенсорные системы. Если обрабатывать световой сигнал, не переводя его в цифровой — на «оптическом» чипе, это позволит перейти к следующему поколению сенсорных систем. В результате будет выигрыш в быстродействии устройств — фотоны движутся со скоростью света. К тому же оптические системы независимы от электромагнитных помех.

Другое распространенное применение оптических сенсоров — мониторинг деформаций, температуры, шумов. Лопастей вертолета или крылья самолета пронизывают оптоволоком — таким образом, по сигналам, снимаемым с волокна, определяется степень износа, усталость материала. Пока станции обработки данных для таких устройств электронные, но производители стремятся к тому, чтобы сделать их оптическими — сни-

жается вес, повышается надежность», — объяснил К.Певчих.

Новая физика

Старший научный сотрудник Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова кандидат физико-математических наук Антон Владимирович Иконников, приехавший на «Фотонику» впервые, представлял приглашенный доклад «Магнитопоглощение в гетероструктурах на основе CdHgTe с двойными квантовыми ямами». «Раньше я предполагал, что основной фокус конференции направлен на обсуждение характеристик разнообразных фотоприемных устройств, их приложений, методов обработки сигнала и т.п. Выяснилось, что я ошибался — на конференции представлены доклады по самым разным направлениям, касающиеся и фундаментальной физики, и прикладных аспектов. Для меня был открытием доклад заведующего лабораторией ИФП СО РАН члена-корреспондента РАН Игоря Ильича Рябцева «Квантовые сенсоры электрических полей на основе ридберговских атомов». Я впервые узнал, что можно сделать квантовый сенсор — детектор электрического поля на основе атома, приведенного в высоковозбужденное состояние.

Еще запомнилось сообщение старшего научного сотрудника МГУ кандидата химических наук Ольги Владимировны Бойцовой «Покрытия VO₂ на кристаллических подложках для устройств визуализации ИК и ТГц диапазонов». Здесь мне понравилось то, что доклад, связанный в большей степени с химией, был интересен мне как физики. Вообще, могу отметить, что мне понятны и интересны большинство докладов на этой конференции — они хорошо излагаются, плюс, возможно, дело в том, что у меня уже довольно большой опыт и экспертиза.

Мне очень нравится, что на этой конференции нет параллельных секций — получается слушать доклады, которые иначе не послушал бы никогда. При двух параллельных секциях, например, условно «технологической» и «физической», я пойду на вторую. Здесь же сообщения следуют один за другим — и есть интересные для меня моменты в областях, далеких от моей специализации», — поделился впечатлениями ученый.

В своем докладе А.В.Иконников рассказал об исследованиях особенностей двойных квантовых ям на основе теллурида кадмия и ртути. Такие многослойные гетероструктуры выращиваются методом молекулярно-лучевой эпитаксии специалистами ИФП СО РАН. «В двойных квантовых ямах, в отличие от оди-





ночных, есть уникальные топологические фазы. Например, фазы, где две энергетические зоны соприкасаются и можно, прикладывая напряжение, управлять щелью (запрещенной зоной), как в двуслойном графене — здесь могут быть практические применения по созданию детекторов или лазеров, работающих в терагерцовом диапазоне. Кроме того, в двойной квантовой яме можно реализовать состояние топологического изолятора высокого порядка: по сравнению с «обычным» топологическим изолятором, проводящие состояния могут быть не на краях, а на углах образ-

ца. Это новая физика, это интересно. С помощью магнитоспектроскопии, которой я занимаюсь, можно выяснить, с одной стороны, зонную структуру выращенного образца, его соответствие заданным параметрам, а с другой — исследовать новые тонкие эффекты, интересные с точки зрения фундаментальной физики», — добавил докладчик.

Следующая «Фотоника» будет через два года, мероприятие традиционно чередуется с близкой по тематике конференцией, которую проводит АО НПО «Орион».

Пресс-служба ИФП СО РАН

ИНТЕРНЕТ-НОВОСТИ

Производитель водонагревателей увеличил производительность, внедрив оборудование кольцевой лазерной сварки

Филиал «Ижевского завода тепловой техники» (ИЗТТ) в г.Киржач Владимирской области, который является резидентом технопарка «Русклимат ИКСЭл», завершил испытания и ввел в эксплуатацию оборудование кольцевой лазерной сварки для выпуска водонагревателей, что позволило увеличить производительность и повысить качество продукции.

Высокотехнологичное оборудование нарастило производительность участка сборки водонагревателей на 25% и позволит сократить расходы на изготовление элементов водонагревательных приборов, что даст возможность сдерживать рост стоимости конечного продукта, вызванный инфляцией, для российского потребителя.

Объем инвестиций в реализацию проекта модернизации ИЗТТ в Киржаче составляет 45 млн рублей. Завод успешно реализует государственную программу импортозамещения. Доля российских комплектующих и материалов при производстве водонагревателей составляет 78%.

Пилотный проект соединения верхней и ниж-

ней крышки бойлеров с использованием кольцевой лазерной сварки является продолжением программы модернизации, запущенной в августе 2022 года, когда в эксплуатацию были введены 3 лазерные установки для продольного соединения шва внутреннего бака. Технология полностью оправдала ожидания, количество внутреннего брака уменьшилось в 4 раза, а производительность продольной сварки выросла на 50%, тем самым доказав свою практическую эффективность.

Уже в ближайшей перспективе — полная модернизация сварочного оборудования завода,

что обеспечит высокое качество сварных соединений частей водонагревателей, изготовленных на ИЗТТ, и сделает их самым надежным продуктом на рынке.

Поставщиком новейших волоконных лазерных источников выступил российский производитель НТО «ИРЭ-Полюс» (группа компаний IPG), основатель которого — заслуженный ученый в области лазерной физики, техники и технологии **Валентин Павлович Гапонцев**.

https://www.c-o-k.ru/market_news/iztt-moderniziruets-proizvodstvo-vodonagrevateley

★ ★ ★

Лазер вместо радио: уникальная технология связи с Землей из глубин космоса

В октябре НАСА запустит зонд «Психея» к металлическому астероиду на расстоянии 500 миллионов километров от Земли. Он будет нести на борту новую систему лазерной связи, которая обещает революционизировать миссии в дальнем космосе.

Человечество совершило замечательные скачки с начала космической эры, побывав вблизи каждой планеты в Солнечной системе и даже отправив автоматические космические корабли в межзвездное пространство. Но эти замечательные миссии все еще сдерживаются особенностями радиосвязи.

Полагаясь на старомодные радиосистемы X-диапазона, пилотируемые и роботизированные миссии страдают от пропускной способности и скорости передачи, которые смехотворно малы и медленны. Отправка одного изображения с высоким разрешением с орбитального аппарата НАСА Mars Reconnaissance Orbiter может занять полтора часа, а загрузка данных облета Плутона космическим кораблем New Horizons заняла 16 дней.

В свете этого НАСА экспериментировало с использованием лазеров, чтобы не только создать гораздо более быструю прямую связь между космическими миссиями и Землей, но и освободить сеть дальнего космоса (DSN) антенн для более важных задач, чем рутинная связь.

Последним из этих экспериментов является проект НАСА Deep Space Optical Communications (DSOC), который включает установку лазерного приемопередатчика ближнего инфракрасного

диапазона на борту космического корабля Psyche. Цель демонстрации — не только увидеть, как система работает на расстоянии сотен миллионов миль, но и изучить, как оптимизировать работу двух наземных станций в Южной Калифорнии и компенсировать мешающие силы.

При работе DSOC увеличит поток данных в 10–100 раз благодаря телескопу с апертурой 22 см, оснащенный никогда ранее не использовавшейся камерой для подсчета фотонов, а также подсистемой для автономного сканирования и фиксации на высоких частотах. Паломарская обсерватория в округе Сан-Диего, Калифорния, которая находится примерно в 130 км к югу от Столовой горы, будет действовать как канал связи. Кроме того, новая система распорок будет гасить вибрации космического корабля, чтобы лазер оставался зафиксированным на удаленной цели.

Между тем, телескоп Хейла в Паломаре будет использовать блок детектора одиночных фотонов из сверхпроводящей нанопроволоки с криогенным охлаждением, который, как следует из его названия, может обнаружить даже одиночный фотон лазера. Из-за огромного расстояния, которое нужно преодолеть частицам, оба конца системы должны компенсировать изменение положения Земли и «Психеи» в течение десятков минут, необходимых для прохождения сигнала между ними.

<https://www.techinsider.ru/science/1608701-lazermesto-radio-zond-nasa-ispytaet-unikalnuyutehnologiyu-svyazi-s-zemlei-iz-glubin-kosmosa/>

★ ★ ★

Китай впервые передал данные со спутника на Землю по лазерному лучу

Китайская компания *Chang Guang Satellite Technology (CGST)*, главный в стране разработчик и оператор спутников, успешно провела испытания технологии формирования устойчивой лазерной связи между орбитой и Землей. Вместе со специалистами Исследовательского института аэрокосмической информации (AIR) Академии наук Китая инженеры компании добились стабильной лазерной связи между аппаратом дистанционного зондирования Земли «Цзилинь-1» и наземной станцией слежения. Скорость соединения достигла 1 Гбит/с.

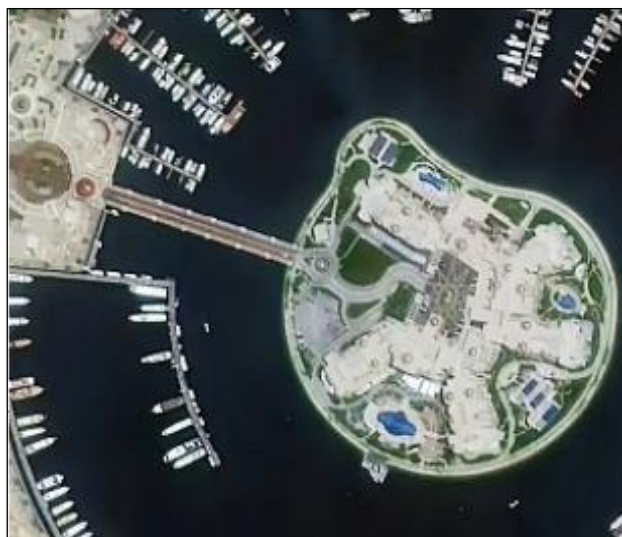
По словам Чэнь Шаньбао, главного конструктора зонда, компании удалось провести первые в Китае успешные испытания технологии передачи данных на сверхвысокой скорости. Этот прорыв позволит преодолеть проблему задержек при отправке данных спутникового наблюдения на Землю и поспособствует развитию многих ключевых отраслей.

Скорость соединения во время испытаний достигла 10 Гбит/с. Предыдущий рекорд передачи CGST на радиочастоте составлял 1 Гбит/с. У NASA в мае получилось намного лучше — 200 Гбит/с.

Это достижение позволит Китаю повысить скорость передачи данных. Учитывая тенденцию к наращиванию численности спутниковых группировок на орбите Земли это значительно повысит эффективность дистанционного зондирования. Особенно при условии появления дополнительной межспутниковой лазерной связи, пишет Space News.

В ходе подготовки зонда к испытаниям был разработан ряд новых технологий, в том числе, устройства прогнозирования атмосферного канала, планирования и распределения задач, быстрого захвата, создания цепочки сигналов, адаптивной оптической коррекции лазерных сигналов и безошибочной передачи данных в сложных атмосферных условиях.

Спутник «Цзилинь-1» делает панхроматические снимки с разрешением от 0,5 до 0,75 м. После



испытаний компания опубликовала изображения, переданные с орбиты на Землю в ходе испытаний лазерной связи.

Компания CGST объединяет ученых и инженеров из Института оптики, точной механики и физики Академии наук Китая. Она была создана в 2014 году и на сегодня управляет 108 орбитальными спутниками. К 2025 году CGST планирует увеличить их численность до 300.

<https://www.nanonewsnet.ru/news/2023/kitai-vpervye-peredal-dannye-so-sputnika-na-zemlyu-polazernomu-luchu>

★ ★ ★

Австралийцы первыми в мире отказались от животных в клетках, заменив их в зоопарке голограммами

Голографические копии животных можно не только увидеть, но ещё и погладить и покормить.

«Не переживайте, если на вас наступит бронтозавр. Он вас не раздавит» — так представляет себя первый в мире голографический зоопарк, открывшийся в австралийском Брисбене. В вольерах здесь вместо реальных животных — их проекции. Они ведут себя как живые и их даже можно угостить — к примеру, 3D-травой. Для того чтобы увидеть голографическую живность, нужно надеть специальные очки.

Зоопарк находится в закрытом помещении и занимает площадь 1,5 км². Центр был создан австралийской компанией Axiom Holographics, которая обычно производит оборудование для научных центров, поэтому животные получились крайне реалистичными.

В голографическом зоопарке есть секции Африки, Австралии и Северного полюса, в октябре откроется Азия. Тут можно попробовать скрыться от толпы напуганных слонов, повеселиться в реке с бегемотами и посмотреть, как под вами проплывают трёхметровые золотые рыбки.

Однако главное отличие этого зоопарка от реальных в том, что здесь можно посмотреть на ди-



нозавров и даже понаблюдать, как вылупляются их детёныши.

— Наверняка, когда вы приходили в зоопарк, замечали, что многие животные прячутся — им не нравится внимание на уровне инстинкта. А наши виртуальные питомцы такого не делают, — рассказывает Metro генеральный директор Axiom Holographics Брюс Делл. — Ещё один момент: голография позволяет «воскрешать» тех животных, которые уже вымерли, умень-

шать тех, кто слишком большой, – тот же кит не влезет ни в один бассейн, а у нас он плещется во всей красе – и увеличивать тех, кто очень мал. Например, наши насекомые таких размеров, что человек рядом с ними сам чувствует себя муравьём.

Кроме голографических животных, зоопарк в Брисбене воспроизводит ещё и запахи. Брюс Делл объясняет, что для этого нужно было создать сложные машины, которые подают воздух и рассеивают запахи, свойственные тем местам, где обитают животные.

– В октябре мы запустим секцию Азия, и у нас уже готов запах лепестков цветущей сакуры, – говорит Делл. – Большинство людей не осознают, насколько важен запах места. Свой спе-

цифический аромат есть даже у водопада, поэтому мы и разработали систему ароматизации пространств.

Большой популярностью пользуется зоопарк у детей. Владельцы дома для голографических животных считают, что их бизнес может стать прекрасной альтернативой походу в кинотеатр. Во-первых, программы животных время от времени дополняются, как сериал. А во-вторых, фильмы, которые крутят в кино, через какое-то время появляются в Сети, что невозможно для голографического зоопарка – его можно увидеть только выйдя из дома.

<https://www.gazetametro.ru/articles/avstralijsy-pervymi-v-mire-otkazalis-ot-zhivotnyh-v-kletkah-zameniv-ih-v-zooparke-gologrammami-15-08-2023>

★ ★ ★

2 акра в час — производительность Laser Weeder в борьбе с сорняками при помощи лазеров с искусственным интеллектом

Компания Carbon Robotics разработала инновационный метод борьбы с сорняками при помощи лазеров с искусственным интеллектом.

Вместо применения химических веществ система камер обнаруживает сорняки и нацеливается на них лазером. Установка Laser Weeder, буксируемая трактором, обладает способностью уничтожать до 200 тысяч сорняков в час. Делает она это при помощи 12 камер с высоким разрешением и 30 углекислотных лазеров, работающих на длине волны 10,6 мкм и имеющих мощность 150 Вт. Дополнительно к уничтожению сорняков Laser Weeder мо-

жет прореживать пересеянные культуры.

При скорости 1 миля/час и ширине 6 метров Laser Weeder покрывает 2 акра в час.

Пока Laser Weeder продается только в Канаде и США. Он был протестирован на различных культурах, в том числе на картофеле, чесноке и луке. Искусственный интеллект установки может распознавать более 40 сельскохозяйственных культур. В ближайшем будущем компания Carbon Robotics планирует выйти и на европейский рынок.

<https://www.fertilizerdaily.ru/20230725-carbon-robotics-predlagaet-lazerom-borotsya-s-sornyakami/>

★ ★ ★

Китайские ученые сообщили, что их лазерное оружие сможет работать «бесконечно»

Исследователи из Национального университета оборонных технологий в Китае утверждают, что преодолели самую большую проблему при создании лазерного оружия — перегрев. Предполагается, что новая разработка системы охлаждения позволит поддерживать работу высокоэнергетического лазера «бесконечно».

Издание South China Morning Post сообщило, что новая китайская система охлаждения использует газ, проходящий через оружие, для отвода избыточного тепла и позволяет бесконечно стрелять лазерными лучами без потери мощности или деформации.

Высокоэнергетические лазерные системы сегодня применяют для вывода из строя беспилотных летательных аппаратов, но оружие перегревается при каждом использовании, что вынуждает операторов отключать его для охлаждения.

Британский военный эксперт Стив Уивер заметил, что если ученые в Китае действительно достигли подобного технологического прорыва, то



они во многом превзойдут США, которые активно развивали технологию лазерного оружия.

<https://naked-science.ru/community/872524>



**XXXIV международная конференция
ЛАЗЕРЫ В НАУКЕ, ТЕХНИКЕ, МЕДИЦИНЕ
XXXIV International Conference
LASERS IN SCIENCE, TECHNOLOGY, MEDICINE**

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

МИРЭА-РОССИЙСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ,
МОСКОВСКОЕ НТО РАДИОТЕХНИКИ, ЭЛЕКТРОНИКИ И СВЯЗИ им. А.С.ПОПОВА,
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Н.Э.БАУМАНА,
НАЦИОНАЛЬНЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ОНКОЛОГИИ им. Н.Н.БЛОХИНА,
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»,
ЛАЗЕРНАЯ АССОЦИАЦИЯ

**ПРИГЛАШАЮТ ВАС ПРИНЯТЬ УЧАСТИЕ В КОНФЕРЕНЦИИ «ЛАЗЕРЫ'2023»,
КОТОРАЯ СОСТОИТСЯ В МИРЭА-РОССИЙСКОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
С 14 ПО 16 НОЯБРЯ 2023Г. (ОТКРЫТИЕ 14 НОЯБРЯ В 12-00)**

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТЫ КОНФЕРЕНЦИИ:

- ◆ лазерные системы локации и связи;
- ◆ лазерные магистрали передачи энергии;
- ◆ фотоника в исследовании и освоении Мирового океана;
- ◆ современные лазерные измерительные системы;
- ◆ генерация мощного терагерцевого излучения;
- ◆ воздушное лазерное сканирование;
- ◆ новые оптические схемы и режимы работы твердотельных лазеров;
- ◆ перспективные активные и нелинейные среды;
- ◆ волоконные кольцевые лазеры фемтосекундных импульсов;
- ◆ твердотельные лазеры среднего ИК-диапазона;
- ◆ ИК-фотодетекторы;
- ◆ лазеры в хирургии;
- ◆ применение низкоинтенсивных лазеров в терапии;
- ◆ люминесцентная диагностика и тераностика в онкологии;
- ◆ фотодинамическая и светокислородная терапия;
- ◆ современные лазерные медицинские приборы;
- ◆ современные технологии в оплотехнике;
- ◆ лазерное он-лайн детектирование изотопов молекулярных газов;
- ◆ исследование процессов взаимодействия лазерного излучения с веществом;
- ◆ лазерные сварка, наплавка и ударная обработка различных материалов.

КОНТАКТЫ: тел.: +7-499-394.46.04; +7-916-675.71.66; +7-962-917.30.97; +7-905-555.84.64
e-mail: mntores@mail.ru

Текущая информация на сайтах: www.mntores.ru/las.html или www.mntores.inlife.ru

«Лазер-Информ»
Издание зарегистрировано в
межведомственной комиссии
МГСНД 26.12.91. Рег. № 281
© Лазерная ассоциация.
Перепечатка материалов и их
использование в любой форме
возможны только
с разрешения редакции.

Отпечатано в НТИУЦ ЛАС
Тираж 500 экз.

Главный редактор
И.Б.Ковш
Редактор Т.А.Микаэлян
Ред.-издательская группа:
Т.Н.Васильева
Е.Н.Макеева

Наш адрес:
117342, Москва, ул. Введенского, д.3, ЛАС
Тел: (495)333-0022 Факс: (495)334-4780
E-mail: info@cislaser.com
<http://www.cislaser.com>
Банковские реквизиты ЛАС:
р/с 40703810538000006886
В ПАО «Сбербанк» г.Москва
к/с 30101810400000000225
БИК 044525225

