



ХII Конгресс российской технологической платформы «Инновационные лазерные, оптические и оптоэлектронные технологии – фотоника»^{*}

(Москва, павильон «Форум» ЦВК «Экспоцентр», 26 – 28 марта 2024г.)

Пленарное заседание Конгресса

Заседание (27 марта, зал «Южный») собрало около 50 «очных» участников и более сотни дистанционных. В течение двух недель после проведения заседания его запись в интернете была просмотрена более двухсот раз.

На заседании было заслушано 3 обзорных доклада:

1. Г.Т.Микаелян, д.ф.-м.н., главный конструктор ООО «Лассард», научный руководитель НИИ «Инжект» – «Полупроводниковые лазеры и технологические аспекты их производства».

В докладе были указаны основополагающие работы выдающихся советских ученых – Н.Г.Басова, О.Н.Крохина, Ю.М.Попова и Ж.И.Алфёрова и их зарубежных коллег, которые явились фундаментом для развития научно-технического направления, получившего название «полупроводниковые инжекционные лазеры», или «диодные лазеры», был отмечен безусловный приоритет советских ученых.

Был приведён краткий обзор мирового лазерного рынка, который имеет тенденцию ежегодного непрерывного роста. Диодные лазеры в об-

щем объеме продаж составляют примерно 50%.

Основное место в докладе занял обзор технологических процессов, применяемых при изготовлении полупроводниковых инжекционных (диодных) лазеров. Они начинаются с выращивания монокристаллических малодислокационных слитков арсенида галлия методом вертикального градиентного вымораживания (VGF) и изготовления из этих слитков подложек, готовых для наращивания эпитаксиальных слоев (*epi-ready*).

Следующий этап – рост эпитаксиальных сло-

В номере:

- «Фотоника. Мир лазеров и оптики-2024»
 - XII Конгресс технологической платформы «Инновационные лазерные, оптические и оптоэлектронные технологии – фотоника»
 - ⇒ пленарное заседание
 - ⇒ научно-практические конференции
- Информация для членов ЛАС

^{*} В этом выпуске публикуется информация о части конференций, об остальных – в следующем «Л-И».

ев методами МОС-гидридной (MOCVD) или молекулярно-лучевой (MBE) эпитаксии и последующие постростовые технологические процессы, включающие вакуумное нанесение омических контактов, процессы фотолитографии, скалывания пластин и вакуумного напыления диэлектрических покрытий на зеркальные грани лазерных кристаллов.

Отдельно были рассмотрены методы расчета и моделирования как параметров техпроцессов роста, так и конструктивных требований к корпусным элементам при сборке лазерных кристаллов на теплоотвод и при их монтаже в ту или иную конструкцию корпуса, исходя из требований, обусловленных назначением конечного изделия.

Были обсуждены также технологические особенности производства и применения диодных лазеров, линеек и двухмерных решеток диодных лазеров, предназначенных для различных применений, таких как диодная накачка твердотельных и газовых лазеров, накачка волоконных лазеров, обработка материалов непосредственно прямым излучением диодных лазеров и др.

2. С.Л.Семёнов, д.ф.-м.н., руководитель Научного центра волоконной оптики им. Е.М.Дианова РАН при Институте общей физики РАН – «Оптические волокна в фотонике».

Докладчик сначала кратко ознакомил с основными применениями оптического волокна (волоконных световодов) в волоконно-оптической связи, волоконных лазерах и усилителях, а также в волоконно-оптических датчиках.

Далее он сделал краткий обзор основных видов стандартного и специального оптического волокна. Отмечено, что на стандартное телекоммуникационное волокно есть стандарты, идет массовое производство, цена приближается к уровню рентабельности. В мире в настоящее время производится более 500 млн км стандартного оптического волокна в год. Основное применение – передача информации (дальняя связь, внутригородские линии, «волокно в каждый дом» (FTTH), связь между и внутри дата-центров, бортовые линии передачи информации).

Состояние рынка стандартных световодов в мире:

- объем производства ~ 500 млн км в год;
- основные заказчики – кабельные заводы;
- главное требование заказчиков – низкие оптические потери (до 90% спроса – волокно стандарта G.652);
- цена за 1 км световода G.652 – менее 5 \$;
- обсуждается увеличение объема передаваемой информации по одному волокну путем передачи по разным модам или при использовании нескольких сердцевин в одном световоде.

Состояние рынка стандартного волокна в РФ:

- годовое потребление стандартного волокна

~ 5-8 млн км;

- организовано производство в Саранске – пока только вытяжка из импортных заготовок с импортными полимерными покрытиями;
- имеется производство волокна из покупных заготовок;
- для обеспечения устойчивости производства, а также из соображений импортозамещения и технологической безопасности необходимо наладить производство своих заготовок (2-я очередь завода в Саранске);
- будет нарастать потребность в модернизации процессов, улучшении параметров продукции и внедрении новых продуктов – нужен центр новых разработок;

Совсем иная ситуация со специальным волокном. Оно разрабатывается под конкретное применение, например:

- низкие/высокие температуры (внутри двигателя автомобиля/самолета, крылья самолета, космический аппарат);
- агрессивные среды (нефтяные скважины, паровые турбины, ...);
- передача лазерного излучения высокой мощности (лазерная сварка, ...);
- оборонные применения;
- медицина (обработка кровеносных сосудов, лазерная хирургия);
- волокна для телекоммуникаций (усилители, компенсаторы дисперсии);
- волокна для датчиков с повышенной стойкостью к температуре и радиации (бортовые кабели для атомной промышленности, авиации и космонавтики), анизотропные (сохраняющие поляризацию), для работы при высоких/низких температурах, стойкие к водороду, чувствительные к радиации;
- световоды для волоконных лазеров, усилителей и преобразователей излучения (активные (усиливающие) – легированные ионами редкоземельных или некоторых других элементов, компенсаторы дисперсии в схемах импульсных лазеров, высоконелинейные с заданной дисперсией для параметрического преобразования света и генерации суперконтинуума, с низкой нелинейностью и минимальной дисперсией для доставки излучения, фоточувствительные для записи решеток показателя преломления).

Соответственно рынок специального оптического волокна выглядит по-другому:

- каждый вид производится в небольших объемах – от нескольких тысяч км в год до десятка метров в год;
- цена в зависимости от их сложности может колебаться от единиц до сотен, а иногда и тысяч долларов за 1 метр;
- световод часто разрабатывается под конкретное применение;

- типичный случай – организация небольшого производства потребителем спецволокна конкретного типа для собственных нужд;
- решение для конкретной задачи – комбинация из большого набора возможностей по следующим направлениям: структура собственно световода (сердцевина, оболочка, микроструктуры), защитное покрытие, буфер и/или кабель.

Состояние дел в области спецволокна в РФ

- специальное волокно производится в ограниченных масштабах
- есть исследовательские организации, разрабатывающие и производящие по лабораторным технологиям по запросу широкий спектр специального волокна мирового уровня (НЦВО РАН + ИХВВ РАН, ФИРЭ РАН, НИТИОМ ВНЦ «ГОИ им. С.И. Вавилова»)
- есть промышленные организации, производящие специальное волокно ограниченной номенклатуры и объемов для своих нужд, а также частично для внешних заказчиков (ПНППК, «ИРЭ-Полус», «Опталинк», «Электроприбор», «Лассард», ВНИИТФ,...)

В последней части доклада была дана краткая информация об основных производителях стандартного и специального оптического волокна в Российской Федерации.

3. С.С.Страуне, к.ф.-м.н., заместитель научного руководителя Российского квантового центра – «Квантовые вычисления с одиночными нейтральными атомами».

Докладчик рассказал о том, что одиночные атомы в оптических ловушках в последние годы демонстрируют наиболее впечатляющий прогресс среди различных физических реализаций квантовых компьютеров. В недавних работах в такой системе уже продемонстрирована возможность коррекции ошибок и манипуляций с логическими кубитами. Основой квантового ре-

гистра являются одиночные атомы, в наших работах – ^{87}Rb , захватываемые в массивы жестко сфокусированных оптических пинцетов. Процесс захвата одиночных атомов из холодного газа в магнитооптической ловушке стохастический, однако разработаны методы сортировки и получения упорядоченных массивов из десятков и даже сотен атомов. В нашем случае кубиты кодируются в подуровни сверхтонкого расщепления основного состояния, что позволяет получать времена когерентности $T_2 \sim 1$ с и более. Адресные однокубитные операции осуществляются с помощью рамановского лазерного возбуждения сверхтонкого перехода и позволяют достигнуть точности более 0.99. Двухкубитные операции реализуются с помощью возбуждения атомов в ридберговские состояния и использования эффекта ридберговской блокады для уменьшения чувствительности операций к флуктуациям положения атомов. В экспериментах сотрудников МГУ и РКЦ в настоящий момент достигнута точность двухкубитных операций ~ 0.8 , ограниченная остаточным тепловым движением атомов и фазовыми шумами лазеров ридберговского возбуждения.

Одиночные атомы, захваченные в дипольные микроловушки или оптические пинцеты представляют собой одну из наиболее перспективных платформ для реализации квантовых вычислений.

Доклад вызвал активное обсуждение принципов и методов формирования упорядоченных массивов одиночных атомов, а также достижимых параметров квантовых регистров на их основе. Участники заседания особо остановились на достигнутых в эксперименте точностях логических вентилях, физических ограничениях, связанных с различными механизмами декогеренции, и обсудили перспективы дальнейшего развития этой технологии.

Научно-практические конференции рабочих групп ТП «Фотоника»

Краткие отчёты о конференциях Конгресса, представленные их организаторами (которые, как правило, были и их модераторами), публикуются ниже в порядке, соответствующем номерам рабочих групп. Все эти конференции транслировались в интернете, и потому их реальная аудитория была обычно существенно больше числа присутствовавших в залах.

РГ1. Оптические материалы, узлы и компоненты фотоники (26 марта, зал «Мраморный»)

В конференции приняли очное участие более 30 человек. Председательствовал генеральный директор ООО «Лабфер» (Екатеринбург) профессор В.Я.Шур. Запланированная программа предусматривала 5 докладов:

1. «Лазерная керамика на основе $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Tm}$ », П.А.Рябочкина, А.О.Арискин, С.А.Хрущалина, М.В.Герасимов, В.В.Балашов, В.В.Осипов, В.А.Шитов, Р.Н.Максимов (МГУ им. Н.П.Огарева, ФИРЭ им. В.А.Котельникова РАН, Институт электрофизики УрО РАН)

2. «Практические результаты реставрационных возможностей технологии прецизионного реплицирования оптических поверхностей», *А.В.Лукин, А.Н.Мельников, Е.Г.Лисова, Н.А.Гурин, А.А.Свистунова (АО «НПО «ГИПО»; АО «Новосибирский приборостроительный завод», ИАиЭ СО РАН)*

3. «Делительные машины маятникового типа. Перспективы расширения практических возможностей реализации», *А.Н.Мельников, А.И.Карпов, В.А.Кренин, А.В.Лукин (АО «НПО «ГИПО», КНИТУ-КАИ)*

4. «Преобразователи частоты лазерного излучения на основе сегнетоэлектриков с регулярной доменной структурой», *В.Я.Шур, А.Р.Ахматханов, М.А.Чувакова, А.А.Есин, А.А.Бойко (ООО «Лабфер», Уральский федеральный университет, Новосибирский государственный университет)*

5. «Формирование оптических заготовок из объёмно-однородного кварцевого стекла», *А.К.Лесников, П.А.Лесников, Н.Г.Тюрнина (Институт химии силикатов им. И.В.Гребенщикова РАН, ООО «НПФ Кварцевое стекло»)*

К сожалению, по не зависевшим от организаторов конференции причинам состоялся лишь один доклад. Как выяснилось позже, докладчики из ГИПО не были командированы в Москву, докладчица из Саранска не смогла приехать из-за неожиданной необходимости участия в важнейшем для её Университета мероприятии, докладчика-петербуржца подкосила болезнь. Жаль, конечно, что мощные авторские коллективы заявленных сообщений не смогли оперативно произвести замены докладчиков.

В своём докладе *В.Я.Шур* представил последние достижения компании «Лабфер», полученные в сотрудничестве с сотрудниками Уральского и Новосибирского госуниверситетов. Совместные работы продемонстрировали богатые возможности использования монокристаллов и тонких плёнок сегнетоэлектриков с регулярной доменной структурой для преобразования частоты лазерного излучения. Были продемонстрированы достижения в создании элементов для генерации второй гармоники с рекордной эффективностью и в параметрической генерации света с перестройкой в аномально широком частотном диапазоне.

Известно, что сегнетоэлектрические кристаллы с прецизионными регулярными доменными структурами (РДС) с невозпроизводимостью периода не более 10 нм используются для нелинейно-оптических преобразований частоты лазерного излу-

чения, включающих генерацию второй гармоники и параметрическую генерацию света с рекордной эффективностью, за счет реализации условия фазового квазисинхронизма.

Разработанные в компании методы прецизионной доменной инженерии позволяют создавать стабильную регулярную доменную структуру с нанометровой точностью не только в монокристаллах ниобата лития и танталата лития, но также и в выращенных в России кристаллах семейства титанил-фосфата калия. Продемонстрирована оригинальная методика доменной инженерии с помощью сканирования электронным лучом. Создание регулярных доменных структур с субмикронными периодами в монокристаллических плёнках ниобата лития на изоляторе открывает возможности для реализации оптической параметрической генерации света обратной волны.

На основе проведённого детального исследования эволюции доменной структуры удалось создать РДС в тонких монокристаллических плёнках ниобата лития на изолирующей подложке, изготовленные методом ионного скалывания (LNOI), которые являются уникальным материалом для создания устройств квантовой фотоники и нелинейной оптики. Переключение поляризации локальным приложением напряжения с помощью проводящего зонда сканирующего зондового микроскопа позволило создать в LNOI стабильные субмикронные полосовые РДС с периодом менее 200 нм.

Изготовление веерных доменных структур в легированных MgO монокристаллах ниобата лития толщиной 1 мм обеспечило возможность получить параметрическую генерацию света с перестройкой холостой волны в одном элементе в исключительно широком спектральном диапазоне – от 2,5 до 4,5 мкм – при накачке лазером с длиной волны 1,053 мкм за счет перемещения луча накачки.

В докладе были рассмотрены возможности локального переключения поляризации без приложения электрического поля – с использованием только лазерного излучения (*light-only switching*) и было продемонстрировано создание доменных структур и волноводов как на поверхности, так и в объёме кристаллов с помощью сфокусированного излучения фемтосекундного ИК-лазера.

Представленный краткий обзор современного состояния этого нового перспективного направления доменной инженерии вызвал большой интерес участников конференции.

★ ★ ★

РГ2. «Волоконные световоды и волоконно-оптические компоненты»

(27 марта 2024г., зал «Западный»)

В конференции под председательством д.ф.-м.н. *В.С.Л.Семенова*, руководителя НЦВО ИОФ РАН, участвовали очно около 60 человек.

Во вступительном слове *С.Л.Семенов* сделал краткий обзор деятельности рабочей группы РГ2.

Далее было заслушано 7 докладов:

1. Руководитель Инжинирингового центра волоконной оптики АУ «Технопарк Мордовия» *М.Ю.Власов* в докладе «Организация опытного производства заготовок специальных волокон-

ных световодов на базе АУ «Технопарк Мордовия» рассказал о возможностях ИЦВО:

- запущена установка для изготовления заготовок оптических волокон методом POVD OG-485, ведется отработка режимов;
- запущена установка для изготовления заготовок оптических волокон методом SPCVD OG-470, ведется отработка режимов;
- успешно работают: установка жакетирования / масштабирования заготовок волоконных световодов OG-440 (тепломеханический станок), установка проведения контрольных испытаний для специализированного оптического волокна OG-80 (Перемотка оптического волокна) и башня вытяжки оптического волокна OG-510.

ИЦВО располагает также набором приборов для измерения оптических и геометрических характеристик волоконных световодов:

- показателя преломления в заготовках и световодах;
- ширины полосы пропускания и дифференциальной задержки мод в многомодовых световодах;
- спектрального затухания в одномодовых и многомодовых световодах, длины волны отсечки в одномодовых световодах, геометрических параметров световодов;
- геометрических параметров защитно-упрочняющего покрытия;
- диаметра поля моды и числовой апертуры;
- характеристик оптического волокна методом обратного рассеяния света.

ИЦВО ищет партнеров и потенциальных заказчиков для организации по их запросам мелкосерийного производства различных типов специального оптического волокна.

2. В докладе «Разработка и производство специальных оптических волокон в ПНППК» (докладчик – *О.Л.Вохмянина*) были кратко описаны направления научно-производственной деятельности Пермской научно-производственной приборостроительной компании (ПАО ПНППК, г.Пермь).

Затем были приведены результаты разработки и внедрения в производство специальных оптических волокон – термостойких и радиационно-стойких со специальными типами покрытий (полиимид, металл, углерод); многомодовых с градиентным профилем показателя преломления и одномодовых для геофизических применений; радиационно-стойких одномодовых анизотропных типа «Панда», а также активных, легированных эрбием, радиационно-стойких, в том числе, анизотропных (типа «Панда»). Была также дана информация о ходе разработки первой в РФ установки PCVD для получения преформ градиентных многомодовых радиационно-стойких волоконных световодов с высокой апертурой.

3. Руководитель ИЦВО ИОФ РАН *С.Л.Семенов* посвятил свой доклад «Специальное опти-

ческое волокно в ИЦВО РАН и ИХВВ РАН» основным разработкам в области специального оптического волокна, сделанным совместно ИЦВО РАН и ИХВВ РАН.

В их числе были кратко описаны:

- температуростойкие, водородостойкие и радиационно-стойкие световоды;
- световоды с увеличенным диаметром поля моды, легированные эрбием, а также иттербием, с пониженным фотопотемнением, в том числе тейперированные;
- композитные световоды на основе фосфатного и кварцевого стекла;
- фотонно-кристаллические световоды для генерации суперконтинуума;
- световоды с фотонной запрещенной зоной и заполненной сердцевинной;
- многосердцевинные волоконные световоды;
- фотонно-кристаллические световоды с воздушной сердцевинной;
- волоконные световоды для среднего ИК диапазона (2,5-20 мкм);
- волоконные световоды, легированные висмутом.

В качестве вывода было указано, что ИЦВО РАН и ИХВВ РАН обладают большим набором разработок специальных волоконных световодов мирового уровня. Они открыты для сотрудничества по разработке новых видов и внедрению разработанных волоконных световодов с уникальными свойствами.

4. В докладе группы авторов АО «НПО ГОИ им. С.И.Вавилова» (докладчик – *Г.А.Пчелкин*) «Разработка кварцевых киральных микроструктурированных оптических волокон в НПО ГОИ им. С.И.Вавилова» были продемонстрированы результаты разработки основ технологии изготовления киральных (закрученных) микроструктурированных оптических волокон (МСОВ) с наведением высокоинтенсивной закрутки (до 1000 об/м) различной топологии, а также исследование их с точки зрения возможности применения таких МСОВ в системах квантовой коммуникации в качестве генераторов орбитальных угловых моментов.

5. Работы ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН были представлены докладом *О.В.Бумова* «Волоконные брэгговские решетки, записанные с



помощью излучения фемтосекундного лазера, и их применение». Описаны возможности по записи в различных типах оптического волокна фемтосекундным излучением различных видов брэгговских решеток. Дана информация о свойствах получаемых брэгговских решеток.

6. В докладе «Аппарат для сварки волоконно-оптических разветвителей ФБТ-4.1» (докладчик – Л.Н.Платонов, ООО «ОПТЕЛ», Москва) был представлен разработанный компанией отечественный аппарат для изготовления сплавного (FBT) оптического разветвителя с конфигурацией деления 1(2) x 2. Доклад вызвал интерес

слушателей и оживленную дискуссию.

7. Заключительный доклад Р.Р. Кашиной (АО «ЛЛС», г.Санкт-Петербург) и Jimmy Shen (Shanghai Shinho Fiber Communication, Китай) «Оборудование китайского производства для работы со специальными оптическими волокнами: PM, MSF, LMA, DC» было посвящено описанию доступных на российском рынке сварочных аппаратов и скалывателей волокна китайской компании Shinho.

В дискуссии по докладам приняли участие ведущие специалисты в данной области. Отмечена огромная польза мероприятий такого рода.

★ ★ ★

РГЗ. «Фотонные интегральные схемы»

(27 марта, зал «Фотон»)

Конференция «Фотонные интегральные схемы» была организована Зеленоградским нанотехнологическим центром и ТП «Фотоника» в рамках XII Конгресса российской технологической платформы «Инновационные лазерные, оптические и оптоэлектронные технологии – фотоника».

В мероприятии приняли ведущие эксперты в области фотоники, в том числе представители таких широко известных в отрасли предприятий и организаций, как ООО «Т8», АО «ИнфоТекС», Сколтех, ФИАН и др.

Ключевыми темами конференции явились вопросы квантовой криптографии, новых материалов в области фотоники, использования кремния в качестве основной платформы для фотонной интеграции. Активно обсуждалось применение фотонных технологий для усиления нейросетей.

Председательствовавший на конференции советник генерального директора АО «ЗНТЦ» К.Э.Певчих рассказал о тенденциях развития мировой интегральной фотоники, в том числе о переходе к совмещению технологий на основе элементов A_3B_5 и кремниевой технологии. В своем докладе на тему «Гетерогенная интеграция ФИС с лазерами и фотодетекторами» эксперт отметил необходимость изменения конструкции активных и пассивных оптических элементов, а также создания технологии промышленной сборки, измерений и испытаний кристаллов фотонных интегральных схем. По мнению докладчика, создание такой технологической платформы сделает возможной гетерогенную сборку фотонных интегральных схем (ФИС) на индустриальной основе.

Тема кремниевой фотоники также нашла отражение в докладе М.С.Ковалева (ФИАН) «Интегральная фотоника ближнего и среднего инфракрасного диапазона с локально-интегрированными детекторами/излучателями на сверх-

легированном кремнии: перспективы». Был представлен комплексный обзор современного состояния таких ключевых фотонных устройств, как волноводы, источники света и детекторы. Большой интерес участники конференции проявили к развитию систем квантового распределения ключей (КРК). В рамках развития данного направления в настоящее время в России реализуется государственная стратегия развития квантовых коммуникаций и создания квантовых сетей на российском оборудовании КРК.

В.Г.Криштоп (АО «ИнфоТекС») в своем докладе «Фотонные интегральные схемы для систем квантового распределения ключей» отметил, что в РФ квантовые сети создаются на отечественном оборудовании КРК и подчеркнул, что в области квантовых коммуникаций наша страна не уступает общепризнанным мировым лидерам Китаю и США. Но в то же время существует ряд проблем, связанных с волоконной оптикой и производством ФИС. Были затронуты вопросы, связанные с определением перечня интегральных оптических решений, которые требуется разработать для квантовых коммуникаций, а также приведены примеры реализации некоторых решений за рубежом. В.Г.Криштоп рассказал, что с целью решения указанных в докладе проблем Зеленоградский Нанотехнологический центр совместно с научными и технологическими партнерами осуществляет разработку необходимой элементной базы для систем КРК. В ходе выступления он представил результаты интеграции в оборудование КРК основных элементов, выполненных на кристаллах фотонных интегральных схем — фотонных источников, детекторов, интерферометров, генераторов случайных чисел и элементов управления и формирования квантовых состояний. Эксперт рассказал, что в настоящее время разработан интегральный интерферометр Маха-Цендера для применения в КРК. Зеленоградским



Наноцентром изготовлены его первые прототипы, а в АО «ИнфоТеКС» проведены их первые измерения. Длина линии задержки составляет 4.1нс, а точность измерений - 40пс. По итогам испытаний запланирован ряд усовершенствований для достижения целевых характеристик.

Результаты работ в области применений фотонных интегральных схем для современных оптических коммуникаций, квантовых технологий, оптических систем мониторинга и оптических вычислителей, лидаров и оптических нейросетей представил *А.В.Шипулин* («Сколтех») в докладе «Применение ФИС в фотонных схемах». Целью данных работ является перевод результатов фундаментальных исследований в промышленное применение. В докладе были рассмотрены вопросы применения ФИС для совместной оптической системы связи и датчиков в самолетах и спутниках различных типов. Были продемонстрированы результаты тестирования недавно изготовленных по дизайнам «Сколтеха» фотонных интегральных схем.

Тема доклада *А.И.Никифорова* (ИФП СО РАН) – «Интегральные германиевые фотодетекторы для фотонных интегральных схем».

В.Н.Трещиковым (ООО «Т8») в докладе «Фотонный сопроцессор в компактном исполнении (ФИС) для вычислений в нейросети» были представлены обзоры:

- технологических платформ ФИС для приемопередатчиков (трансиверов) – ядра оптических систем связи;
- концепций оптического (фотонного) сопроцессора и их возможных практических приложений;
- существующих макетов оптических сопроцессоров и характеристик, заявленных их производителями.

О проблемах и результатах моделирования компонентов ФИС в отечественном САПР рассказал *В.Кириченко* (Холдинг «Т1»).

В рамках конференции активно обсуждались возможности планарных числовых голограмм в спектрометрии. С докладом по этому вопросу выступил *И.А.Ивонин* (ООО «ФОТИСС»). Эксперт рассказал о разработанной ООО «ФОТИСС» программе «Спектроплан», которая используется как для генерации GDS-II дизайнов планарных голограмм, так и для проверки их

работоспособности «на лету». В основе работы программы – использование методов ModeProp и GratingMod для расчета в неколлинеарных направлениях, которые позволили не только сохранить математическую точность задачи (векторность, нелинейность) и скорость решения, но и убрать квази-одномерные ограничения распространенных численных методов. В докладе было отмечено, что результаты дизайнов были использованы в изготовлении планарных спектрометров, а экспериментальное тестирование показало хорошую согласованность с численными расчетами. Так, например, было подтверждено рекордное спектральное разрешение 0.02 нм (в области видимого света) в спектрометре размером с флешку USB.

П.И.Лазаренко (НИУ МИЭТ) представил обзор современных тенденций развития энергонезависимых элементов фотоники на основе фазопеременных материалов и рассказал о результатах, достигнутых его научной группой в коллаборации с университетами, научно-исследовательскими и коммерческими организациями РФ в данном направлении. Докладчик отметил, что в настоящий момент продемонстрирована возможность применения материала $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$, наиболее широко распространенного представителя РСМ, для создания различных реконфигурируемых нанофотонных устройств (модуляторов света, оптических переключателей, поляризационных фильтров, элементов для управления направлением распространения и фазой светового пучка), интегрально-оптических элементов (тонкопленочных волноводов, кольцевых резонаторов, интерферометров Маха-Цендера и делителей сигнала) и элементов отображения информации (оптические отражающие дисплеи, голографические изображения). Особенно эффективно тонкие пленки $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ могут быть использованы в элементах, работающих вблизи телекоммуникационной длины волны (1550 нм).

Отдельный интерес и оживленную дискуссию вызвали темы «Решетка вертикального ввода-вывода излучения для ФИС на основе метаматериала «глаз мотылька»», «Фотонные интегральные схемы на основе гетероструктур $\text{AзВ}_5/\text{КНИ}$ ».

В заключение мероприятия председатель конференции пригласил ее участников войти в состав рабочей группы технологической платформы «Фотоника» «Фотонные интегральные схемы», базовой организацией которой является Зеленоградский нанотехнологический центр, и принять участие в разработке дорожной карты по данному направлению, а также в выработке рекомендаций по подготовке необходимых кадровых ресурсов.

РГ4. «Узлы и устройства фотоники для научного приборостроения»

(28 марта, зал «Мраморный»)

В рамках конференции было заслушано 4 доклада, представлявших ведущие научные организации (ещё 2 заявленных доклада были сняты в последний момент авторами)

Число участников конференции составило около 30 человек. Снижение численности аудитории по сравнению с предыдущим годом, по видимому, отчасти связано с заранее объявленной трансляцией мероприятия в интернете. Председательствовал на конференции д.т.н. *В.Э.Пожар*, зав. отделом НТЦ УП РАН.

Научно-технологическим центром уникального приборостроения Российской академии наук (НТЦ УП РАН) были представлены два доклада, посвященные разработанной мультиспектральной камере для одномоментной регистрации спектральных (16 каналов) и пространственных данных. В первом из них *А.В.Гурылева* описала состав и устройство камеры видимого и ближнего инфракрасного (ИК) диапазона, а также ее применение в задачах сельского хозяйства. В частности, заложенный в разработку камеры принцип позволяет определять многочисленные спектральные (многоволновые) индексы, используемые для контроля за состоянием растений на разных фазах развития (всходы, созревание, урожай). Отмечен большой интерес к разработке со стороны организаций аграрного и пищевого сектора.

Второй доклад, представленный *П.В.Зининым*, был посвящен использованию аналогичной мультиспектральной камеры для задач контроля состояния вещества в «алмазных нако-

вальнях», в которых создаются большое давление и температура. Для контроля состояния вещества в разных точках, различающихся как давлением, так и температурой, необходимо получать одновременно информацию о спектре излучения элементов сжимаемого объекта и распределении его по пространству (полю зрения камеры). А для изучения быстропротекающих процессов, связанных с фазовыми переходами сжатого вещества, необходимо отслеживать динамику изменения всех этих параметров. Весь этот комплекс измерений, направленный, в том числе, на получение новых веществ и изучение их свойств, может быть получен только с помощью такой камеры.

П.В.Василевский (МИЭТ) проинформировал о нелинейно-оптических свойствах нанодисперсных сред на основе комплексов углеродных нанотрубок и фталоцианинов. Проведенный анализ множества таких соединений позволяет создать эффективное устройство ограничения мощности падающего лазерного излучения. Решается проблема компактизации таких устройств.

В докладе *Д.В.Обыденнова* (НТУЦ Акустооптики МИСиС) обсуждался вопрос захвата диэлектрических микрочастиц лазерным излучением, имеющим кольцевую структуру, которая формируется с помощью акустооптических устройств. Было показано, как можно группировать таким излучением частицы и выстраивать кольцеобразные структуры, что может представлять интерес для создания лазерного пинцета.

★ ★ ★

РГ5. «Метрологическое обеспечение фотоники»

(28 марта, зал «Мраморный»)

В заседании конференции группы РГ5 «Метрологическое обеспечение фотоники» технологической платформы (ТП) «Фотоника» в общей сложности приняло участие более 20 человек. Максимальное заполнение зала наблюдалось в середине и конце работы секции, сидячих мест всем хватило.

Член Консультационного комитета ТП «Фотоника», главный научный сотрудник ФГБУ «ВНИИОФИ», *В.Н.Крутиков* произнёс вступительное слово, были согласованы программа выступлений в количестве 9 докладов и их регламент.

В первом докладе «Современное состояние метрологического обеспечения технологий и продукции фотоники» *В.Н.Крутиков* обозначил актуальные для метрологического обеспечения направления развития фотоники – квантовые

стандарты частоты, квантовые компьютеры, квантовые коммуникации (квантовая криптография), квантовые гравиметры. Был рассмотрен состав первичных эталонов ВНИИОФИ, обеспечивающих единство измерений параметров оптического излучения, оптических элементов и оптико-электронных приборов, используемых в области фотоники. Автор отметил достижения в разработке эталонных средств измерений параметров лазерного излучения в диапазоне мощностей от 0,001 до 100 кВт, а также результаты завершившегося в 2023 году совершенствования Государственного первичного специального эталона единиц длины и времени распространения сигнала в оптическом волокне, средней мощности, ослабления и длины волны оптического излучения для волоконно-оптических систем передачи (ВОСП) различного назначения.

Привел статистику выпуска мелкосерийных отечественных измерительных приборов силами ВНИИОФИ в советский период и обратил внимание на отсутствие данной деятельности у современных НИИ – за редким исключением.

Далее выступил ведущий инженер-конструктор ФГБУ «ВНИИОФИ» *А.И.Колпаков* с докладом «Состояние и перспективы метрологического обеспечения параметров импульсных лазеров». Он отметил актуальность применения импульсной лазерной техники, рассказал о соответствующем эталонном оборудовании ВНИИОФИ для ее метрологического обеспечения, в том числе о ходе совершенствования Комплекса технических средств для воспроизведения, хранения и передачи единицы энергии импульсного лазерного излучения из состава государственного первичного специального эталона единицы энергии, распределения плотности энергии, длительности импульса и длины волны лазерного излучения ГЭТ 187-2016.

В третьем докладе «Состояние и перспективы метрологического обеспечения измерений временных характеристик ультракоротких оптических импульсов» научный сотрудник ФГБУ «ВНИИОФИ» *М.В.Канзюба* отметил актуальность применения пикосекундных импульсных лазерных систем, свойства которых существенно зависят от временных характеристик генерируемого импульсного излучения, в связи с чем возрастает потребность в средствах измерений (СИ) временных характеристик импульсного лазерного излучения в субпикосекундном и пикосекундном диапазоне ($10^{-13}...10^{-11}$ с) и их метрологическом обеспечении. Докладчик рассказал о существующих корреляционных (косвенных) методах измерений временных характеристик ультракоротких лазерных импульсов, их недостатках, а также о электронно-оптическом (прямом) методе, позволяющем измерять не только временные, но и пространственные параметры излучения, подходящем не только для лазерного, но и некогерентного излучения, применимого в широком спектральном диапазоне, включая жесткий ультрафиолет, мягкий и жесткий рентген, с возможностью предельного усиления яркости вплоть до режима счёта фотонов, что позволяет исследовать слабосветящиеся процессы. Был рассмотрен принцип действия электронно-оптической камеры (ЭОК), реализующей указанный метод, а также некоторые виды ЭОК отечественного производства (ФГБУ «ВНИИОФИ»).

Четвертый доклад «Метрологическое обеспечение средств измерений коэффициента передачи модуляции объективов» нач. лаборатории ФГБУ «ВНИИОФИ» *Г.Н.Вишнякова* был посвящён результатам разработки метрологического обеспечения измерений коэффициента переда-

чи модуляции (КПМ) объективов. Необходимость таких измерений обусловлена широкой областью применения оптических измерительных видеосистем, в которых основным элементом служит объектив. В ходе работ были созданы набор эталонных объективов, установка для измерения коэффициента передачи модуляции оптических систем, программы расчета КПМ в видимом диапазоне длин волн «MTFMeterV» и в инфракрасном диапазоне длин волн «MTFMeterI». Указанное оборудование включено в состав государственного первичного эталона единиц оптической силы очковой оптики ГЭТ 205-2013, добавлена ветка в соответствующую поверочную схему.

В пятом докладе «Метрологическое обеспечение средств измерений толщины оптических покрытий» нач. отделения ФГБУ «ВНИИОФИ» *В.Л.Минаев* сделал обзор методов и средств измерений показателя преломления и толщины оптических покрытий, а также изложил результаты совершенствования Государственного первичного эталона единицы комплексного показателя преломления ГЭТ 203-2012, в состав которого вошли две эталонные установки для воспроизведения, хранения и передачи единицы комплексного показателя преломления и единицы длины в области измерений толщины покрытий на базе спектральных эллипсометров. В результате проведенных работ появилась возможность измерений толщин оптических покрытий с помощью эталонной аппаратуры ГЭТ 203 в диапазоне от 1 до 50 мкм с расширенной неопределенностью не более 0,5%, а также метрологического обеспечения соответствующих средств измерений с учетом разработки новой поверочной схемы.

Далее был заслушан доклад инженера ВНИИОФИ *А.А.Самойленко* под названием «Метрологическое обеспечение приборов для межоперационного контроля изделий микроэлектроники в условиях чистых производственных помещений», посвященный результатам разработки Государственного рабочего эталона (РЭ) единицы длины в диапазоне от 0,020 до 20,000 мкм, предназначенного для проверки из-



мерительных растровых электронных микроскопов (РЭМ) методом сличений при помощи компаратора, применяемых в чистых зонах производственных линий микроэлектроники. При передаче единицы длины к РЭМ тест-объект изготавливается в ходе технологического процесса в чистой зоне и хранится в ней до проведения измерений, затем геометрические характеристики структур тест-объекта измеряют в чистой зоне на поверяемом РЭМ, затем измерения проводят вне чистой зоны с помощью РЭ. Были представлены оптическая схема, состав и внешний вид РЭ, а также алгоритм измерений параметров периодической структуры тест-объекта.

А.Е.Ерошкина, техник ВНИИОФИ, в докладе «Узлы ввода света из волокна в интегральные фотонные схемы: моделирование и эксперимент» затронула проблему ввода оптического излучения в интегральные фотонные схемы (ИФС). Была разработана модель процесса ввода излучения в ИФС с использованием оптического волокна (ОВ) и входного участка ИФС в виде зауженного участка волоновода (тейпера). Исследованы два вида ОВ на входе

ИФС – с прямым сколом (торцем) и линзированное. Эксперимент показал чуть меньшее ослабление излучения для первого случая. Соединение ОВ и торца ИФС осуществлялось с помощью клея. Был сделан вывод, что для достижения значений ослабления, полученных в ходе моделирования, необходимо полировать торец ИФС.

В заключение инженер АО «ЛЛС» *М.Д.Комиссаров* сделал обзорный доклад «Оборудование для измерения характеристик лазерного излучения в условиях санкционного давления» об аппаратуре китайской фирмы CAI Huang Thermoelectricity для измерений мощности лазерного излучения, а также профиля пучка и параметра M^2 .

По тематике сделанных докладов было задано более 20 вопросов.

Таким образом, на конференции были обсуждены актуальные проблемы, достижения и перспективы развития метрологического обеспечения фотоники. Все запланированные доклады, кроме одного, состоялись в соответствии с программой секции.

★ ★ ★

РГ6. «Лазерная макрообработка промышленных материалов»

26 марта, зал «Южный»

Конференция проходила под руководством д.т.н. *Г.А.Туричина*, ректора Санкт-Петербургского Государственного морского технического университета, члена Консультационного комитета ТП «Фотоника», и координатора РГ6 *Н.А.Стешенковой*, начальника Лазерного центра судостроения АО «ЦТСС». Мероприятие, как обычно, вызвало большой интерес участников выставки, проходило при переполненном зале. Общее количество непосредственных участников составило 123 человека, а *on-line* трансляцию конференции посмотрели более 300 зрителей

За 3 часа напряженной работы участники конференции заслушали и обсудили следующие доклады:

1. «Современные разработки и результаты промышленного освоения лазерных и аддитивных технологий», *Г.А.Турчин*, д.т.н., ФГБОУ ВО «СПбГМТУ»

Основными направлениями деятельности Института лазерных и сварочных технологий (ИЛИСТ) ФГБОУ ВО «СПбГМТУ» является разработка и внедрение инновационных машиностроительных технологий, ключевыми из которых являются технологии лазерной обработки материалов, включая технологии прямого лазерного выращивания. Разработано и изготовлено более 30 специализированных лазерных технологических комплексов для решения про-

изводственных задач судостроения и судоремонта, атомной и тепловой энергетики, авиационного и ракетного двигателестроения, в том числе роботизированные комплексы прямого лазерного выращивания, лазерной наплавки, лазерно-дуговой сварки, лазерной резки, дистанционной лазерной сварки со сканированием и лазерной сварки в труднодоступных местах.

В Институте продолжают работы по внедрению научных разработок в области гибридной лазерно-дуговой сварки в судостроительное производство. Для АО «Онежский судостроительно-судоремонтный завод», в рамках задачи по цифровизации верфи, ИЛИСТ СПбГМТУ разработал и изготовил установку технологическую сварочную лазерно-дуговую (УТСЛД). Установка реализует технологию гибридной лазерно-дуговой сварки (ГЛДС) и применяется для сварки объемных конструкций, в частности фундаментов и балок различного назначения и конфигураций.

На текущий момент ИЛИСТ СПбГМТУ является крупнейшим отечественным производителем установок прямого лазерного выращивания, занимая 30% рынка аддитивных установок в Российской Федерации». Запущено серийное производство установок прямого лазерного выращивания (ПЛВ). Технология ПЛВ позволяет создавать из металлических порошков крупногабаритные детали сложной формы – диамет-

ром до двух метров и весом до 4-х тонн. В серии – 3 модели установок ПЛВ: ИЛИСТ-М, ИЛИСТ-Л, ИЛИСТ-ХЛ.

Роботизированная установка прямого лазерного выращивания ИЛИСТ-М создана специально для университетов и исследовательских центров. Комплекс ИЛИСТ-М разработан в рамках программы «Приоритет 2030» для обучения студентов в технологических центрах аддитивных и сопутствующих технологий на базе вузов и предприятий высокотехнологических отраслей промышленности.

Одной из последних разработок СПбГМТУ является установка прямого лазерного выращивания на базе лазерного источника видимого диапазона. Эта установка расширяет спектр обрабатываемых аддитивными методами материалов. Становится возможным создание принципиально новых теплонагруженных узлов и деталей из сплавов с высокой теплопроводностью и отражающей способностью, таких как жаропрочные медные сплавы. Уникальная возможность сочетания различных материалов в одной технологической операции позволит снизить себестоимость изготовления биметаллических изделий и расширить область их применения.

2. «Технология селективного лазерного сплавления: достигнутые результаты и перспективы развития», А.А.Ким, к.т.н., АО «Лазерные системы».

За последний год в АО «ЛС» проведена глубокая модернизация серийных установок для селективного лазерного сплавления (СЛС). На текущий момент всё выпускаемое оборудование является полностью импортонезависимым. «Старшая» модель установки СЛС М-450-М получила заключение Минпромторга об отсутствии критической зависимости от иностранных компонентов и является отечественной.

В настоящий момент АО «ЛС» занимается разработкой и изготовлением промышленного образца установки для селективного лазерного сплавления с рабочим полем 500x500x500 мм. Ведутся работы по расширению производственных площадей, необходимых для обеспечения возросшего спроса на отечественные установки для СЛС.

Созданный в АО «ЛС» Центр аддитивных технологий оказывает как услуги по контрактному производству заготовок и деталей по чертежам и 3D-деталям Заказчика, так и оказывает комплекс финишной обработки и контроля геометрических, металлографических и физико-механических параметров изделий.

«Лазерные системы» уделяют большое внимание одному из самых критически важных для освоения новых технологий аспектов деятельности - обучению персонала Заказчика. В организации разработана и успешно реализуется

многоступенчатая программа подготовки специалистов, включая обучение основам технологии СЛС и работе на установках АО «ЛС».

3. «Процедура получения одобрения на применение технологических процессов лазерной и лазерно-дуговой сварки при строительстве судов, поднадзорных российскому морскому регистру судоходства», В.В.Осипов, ФГБОУ ВО «СПбГМТУ»

В январе 2024 года ИЛИСТ СПбГМТУ завершил выполнение научно-исследовательской работы по разработке требований к лазерной и лазерно-дуговой сварке по заказу Российского морского регистра судоходства (РМРС). В результате разработаны предложения по новой редакции разделов 2-6 части Правил классификации и постройки морских судов, часть XIV «Сварка», разделов 4-6 части Правил технического наблюдения за постройкой судов и изготовлением материалов и изделий для судов, часть III «Техническое наблюдение за изготовлением материалов».

Документы переданы в РМРС для завершения процедуры одобрения технологии лазерно-дуговой сварки типовых сварных соединений судовых конструкций. Внедрение гибридной лазерно-дуговой сварки позволит повысить точность изготовления судовых металлоконструкций, сократить количество присадочной проволоки и, в конечном итоге, снизить себестоимость производимой продукции.

4. «Лазерная безопасность. Новые положения и базовые принципы», О.А.Крючина, НТО «ИРЭ-Полюс».

1 марта 2024г. вступил в силу новый стандарт по лазерной безопасности ГОСТ Р 71028-2023 «Оптика и фотоника. Оборудование на базе волоконных лазеров. Требования лазерной безопасности». Лазерные технологические процессы всегда сопровождаются повышенными уровнями энергетических характеристик отраженного и рассеянного излучений - как лазерного, так и сопутствующего, которые в производственных условиях являются вредными и опасными факторами. Национальный стандарт создан на базе апробированного на НТО «ИРЭ-Полюс» стандарта организации – СТО «ИРЭ-Полюс». Он содержит актуальные требования к лазерной безопасности и рекомендации по вопросам обеспечения и контроля их выполнения с учётом последних достижений в этой области.

Одной из целей данного стандарта было устранение противоречий между стандартизированными ранее терминами и теми определениями, которые используются в современной практике работы предприятий лазерной отрасли. При разработке стандарта была проведена гармонизация с другими стандартами в области лазерной безопасности, а также с различ-

ными нормативными документами. ГОСТ Р 71028-2023 распространяется на оборудование на базе волоконных лазеров, применяемое для обработки материалов в технологических целях на производственных объектах и площадках и не распространяется на оборудование, в состав которого входят лазеры 1-го класса опасности по ГОСТ IEC 60825-1. Но все положения нового стандарта являются универсальными и справедливы не только для оборудования на базе волоконных лазеров, но и для других технологических комплексов на базе твердотельных и газовых лазеров, используемых в промышленном производстве и других сферах.

5. «Лазерная наплавка компонентов газовых турбин», *Г.Г.Задыкян, ФГБОУ ВО «СПбГМТУ».*

До 30% аварий, возникающих при эксплуатации газовых турбин, происходит из-за отказа силовых установок. Современные высокотехнологичные технологии лазерной наплавки позволяют в кратчайшие сроки осуществлять ремонт деталей и узлов установок, вышедших из строя. В СПбГМТУ ведется большая работа по созданию оборудования для реализации лазерных технологий, имеющих широкий спектр применений, здесь разработан также комплекс научно-исследовательских, производственных и учебных мероприятий, позволяющий разрабатывать производственные лазерные технологии с привлечением студентов и молодых ученых.

В частности, для ремонта газотурбинного двигателя ГТК-10И специалистами и учащимися СПбГМТУ была разработана методология исследований, проведен комплекс испытаний и отработана технология восстановления лазерной наплавкой изношенных рабочих поверхностей полного комплекта лопаток первой ступени двигателя.

6. «Установка для ударного лазерного упрочнения», *А.С.Щекин, ООО «ЛАССАРД»*

ООО «ЛАССАРД» представило первую отечественную установку для лазерного ударного упрочнения - твердотельный лазер с ламповой накачкой с энергией в импульсе до 50 Дж и длительностью 17 нс. Задающий генератор изготовлен в АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», а полный цикл разработки и изготовления оптомеханики осуществлялся на производственной площадке компании «ЛАССАРД».

Технология лазерного ударного упрочнения позволяет повысить усталостную прочность металлических изделий за счет мощного лазерного импульса, когда на поверхности детали формируется волна, меняющая структуру материала. Испытания технологии ударного лазерного упрочнения проводились на образцах из стали ШХ15, где на обработанной зоне удалось достичь увеличения микротвердости до 2,5 раз при плотности мощности 7,5 ГВт/см² и увеличения сжимающих напряжений до 60%.

7. Представители Московской межотраслевой ассоциации главных сварщиков ежегодно участвуют в деловой программе выставки «Фотоника», проявляя значительный интерес к лазерным технологиям и стремление внедрить результаты инновационных цифровых технологий в собственное производство.

2024 год не оказался исключением – с результатами собственного продвижения лазерных технологий и с предложениями к сотрудничеству выступил представитель ООО «Интеллектуальные Робот Системы» *В.Р.Гулимханов*. В докладе «Применение роботизированных лазерных технологий в авиационной и атомной отраслях промышленности» он рассказал о преимуществах и опыте применения роботизированных систем в составе технологического оборудования для лазерной резки, сварки и порошковой наплавки. Участникам конференции были представлены реализованные компанией «Интеллектуальные Робот Системы» проекты по созданию и внедрению роботизированных лазерных комплексов на предприятиях различных отраслей промышленности, включая: Корпорацию «Тактическое Ракетное Вооружение», АО «Объединенная двигательная корпорация», АО НПО «Высокоточные комплексы», ГК «Роскосмос», ГК «Росатом», Концерн ВКО «Алмаз-Антей», ПАО «Мотовилихинские заводы», АО «Криогенмаш» и др.

8. «Разработка и внедрение лазерных технологий при обработке титановых сплавов и сталей», *А.Г.Сухов, д.т.н., ЗАО «РЦЛТ»*

Одним из ключевых вопросов, поднимаемых в ходе конференции, стал вопрос критической нехватки кадров. Только по предприятиям ОПК Свердловской области дефицит кадров составляет 9918 чел., из них в Екатеринбурге – 3741 чел. С целью решения данной проблемы докладчик предложил ряд инициатив по популяризации лазерных технологий среди школьников, а также по набору учеников в колледжи из школы с последующим их трудоустройством на предприятиях отрасли.

Неподготовленность технического персонала и отсутствие у него опыта практической работы



с новыми лазерными технологиями и оборудованием – еще одна актуальная проблема, которую в ЗАО «РЦЛТ» стараются решать собственными силами. На базе ЗАО «РЦЛТ» и Ассоциации «Уральский лазерный инновационно-технологический центр» создается Региональный центр подготовки специалистов для высокотехнологичных производств в машиностроении. Центр будет осуществлять профессиональное обучение студентов колледжей и техникумов рабочим профессиям, востребованным на промышленных предприятиях.

Парк оборудования и производственные возможности РЦЛТ серьезно выросли за последние годы. В центре представлен весь комплекс лазерных технологий и оборудования для резки, сварки, наплавки и термообработки, на базе роботизированных систем и пятиосевых многофункциональных комплексов.

9. «Лазерные технологи в ИТПМ СО РАН: от фундаментальных исследований к прикладным задачам», *А.Г.Маликов, д.т.н., ИТПМ СО РАН*

Широкое применение металлических материалов во всех областях техники указывает на большую актуальность развития аддитивных технологий, в первую очередь, как технологий, позволяющих получать новые конструктивные изделия и элементы, а также как востребованных технологий ремонта.

Являясь представителем академической науки, *А.Г.Маликов* значительную часть доклада посвятил вопросам исследования физических процессов, протекающих при взаимодействии лазерного излучения с веществом в процессе прямого лазерного выращивания, опыту применения данной технологии для ремонта узлов газотурбинных двигателей из сплавов на основе титана и использования для наплавки порошка из функционально гетерогенных материалов (металлокерамика).

Несмотря на то, что аддитивное производство металлических материалов, являясь составляющей производственной индустрией, играет ключевую роль в промышленности, полных физических законов формирования металлических и, что немаловажно, металлокерамических материалов, нет. Комплексное использование методов подобию и размерности на сегодняшний день невозможно ввиду отсутствия критерия, объединяющего геометрию, структуру и механику процесса.

10. «Передовые технологии для раскроя электротехнической стали», *Н.М.Авилкин, НТО «Лазеры и аппаратура»*

Особое внимание в докладе уделено направлению деятельности компании «Лазеры и аппаратура» по импортозамещению узлов и компонентной базы производимого в организации оборудования. В настоящее время уже нала-



жено производство следующих ключевых компонентов: механических деталей и узлов, оптических модулей, кинематических систем, электронных модулей и систем управления. Докладчик рассказал о компетенциях в области лазерной резки электротехнической стали толщиной от 0,15 до 0,5 мм.

Технологические комплексы для раскроя металла, выпускаемые компанией «Лазеры и аппаратура», содержат все устройства, необходимые для работы с тонколистовым рулонным металлом, а именно устройства натяжения и устройства фиксации. Используемая в комплексах оптическая головка оснащена функцией автоматического управления фокусом.

11. «Лазерное термоупрочнение жаропрочных сталей», *А.Д.Ахметов, ФГБОУ ВО «СПбГМТУ»*

Сегодня тренд импортозамещения в значительной степени связан не только с созданием отечественных комплектующих изделий, но и с разработкой отечественных технологий, позволяющих производить ремонт выходящих из строя узлов и элементов существующих технических изделий.

При производстве паровых турбин возникла проблема воссоздания лазерной технологии защиты от эрозии входной кромки лопаток паровых турбин. В СПбГМТУ была проведена опытная работа по лазерному упрочнению поверхности образцов из стали 15X11МФ. В качестве рабочего инструмента использовалась оптическая головка-сканатор, а в качестве лазерного источника – высокомоушнй волоконный лазер (15 кВт). В ходе работы на плоских образцах постоянного сечения были определены режимы лазерного термоупрочнения, обеспечивающие получение необходимых технических характеристик обрабатываемой зоны. По результатам экспериментов на образцах переменного сечения установлено, что с увеличением толщины пластины в зоне упрочнения одного источника нагрева становится недостаточно и необходимо использование дополнительного источника. Сейчас в СПбГМТУ проводится работа по определению оптимального источника нагрева, дополнительного к лазерному источнику.

12. «Почему больше не нужна плазма: современные лазерные технологии обработки крупногабаритного листа и трубы», *М.И.Яковлев, АО «ЛЛС».*

Докладчик рассказал о выпускаемых АО «ЛЛС» широкопортальных машинах лазерного раскроя металла на основе мощных – в 40 кВт - лазерных источников, позволяющих осуществлять раскрой листового металла толщиной до 100 мм. В качестве рабочего инструмента используется поворотная оптическая головка собственной разработки, с помощью которой можно резать фаски, а также обрабатывать трубы.

13. «Мобильные установки для упрочнения штамповой оснастки», *Д.О.Чухланцев, ООО «Термолазер».*

ООО «Термолазер» производит технологическое оборудование для обработки металлов с применением технологий лазерного термоупрочнения, наплавки, легирования, сварки и других видов обработки. Наибольший интерес из последних разработок компании представляет мобильный роботизированный комплекс,

построенный на базе диодного лазера собственной разработки, интегрированного в рабочий инструмент и размещенного непосредственно на запястье робота. С применением данного оборудования специалистами «Термолазер» была разработана технология и выполнены работы по термоупрочнению матрицы штампа холодной штамповки для АО «АВТОВАЗ». Для обеспечения выполнения нескольких технологических операций при восстановлении деталей штампов – таких как удаление изношенного металла, профильная наплавка штампа, шлифование поверхности и термообработка изделия – роботизированный комплекс оборудован сменными рабочими инструментами – фрезерной головкой, шлифовальной головкой и головкой с диодным лазером.

Участники научно-практической конференции выразили глубокую благодарность Лазерной ассоциации и Секретариату технологической платформы «Фотоника» за предоставленную возможность встретиться, обсудить насущные вопросы и поделиться научно-техническими достижениями.

* * *

РГ7. «Лазерная микрообработка в микроэлектронике, приборостроении, гравировке и маркировке»

(27 марта, зал «Южный»)

В конференции приняли участие около 70 человек. Председательствовал *И.Н.Фомин*, директор по развитию компании ООО «Лазерный центр». Были представлены все анонсированные доклады, вызвавшие значительный интерес и живые дискуссии в процессе их презентации. Мероприятие собрало ведущих экспертов отрасли и представителей высших учебных заведений, активно применяющих лазерные системы на практике. Участники активно делились своим опытом и знаниями в области лазерных технологий.

Ключевые темы конференции:

- ✓ **микроэлектроника:** лазерная абляция, резка, сварка и маркировка микроэлектронных компонентов.
- ✓ **приборостроение:** применение лазерной микрообработки в производстве медицинских изделий, оптических элементов и других приборов.
- ✓ **гравировка:** лазерная гравировка на различных материалах, включая металлы, пластик, дерево и стекло.
- ✓ **маркировка:** лазерная маркировка продукции для обеспечения защиты от подделок.

1. В своем вступительном слове *И.Н.Фоменко* кратко охарактеризовал текущие тенденции на

рынке лазерного оборудования, выделяя следующие аспекты:

- **Цифровизация:** в сфере станкостроения активно внедряются позиционирование, машинное зрение и системы выбора параметров обработки. Человек отвечает за это все меньше, так как искусственный интеллект берет на себя эту ответственность.
- **Переориентация:** страны, бывшие ранее ведущими в области фотоники, такие как Германия, Франция и Япония, больше не являются главными центрами формирования взглядов для России. Сегодняшние реалии требуют от нас самостоятельно развивать компонентную базу. Российское производство во многих областях микрообработки достигает новых высот.
- **Роль Китая:** Китай является как нашим мощником, так и потенциальным конкурентом, что требует от нас более внимательного подхода к сотрудничеству с ним.
- **Очистка рынка:** произошло существенное очищение рынка, что способствует повышению конкурентоспособности компаний.
- **Финансирование:** государство играет ключевую роль как источник финансирования, что стимулирует спрос на отечественное оборудование и новые технологические разработки.

2. Начальник сектора отдела продаж компа-

нии ООО НТО «ИРЭ-Полюс» *С.В.Петров* представил обзор новейших лазерных излучателей, разработанных и освоенных в производстве «ИРЭ-Полюс». В их числе были рассмотрены:

- стандартные непрерывные волоконные лазеры, предназначенные для решения типовых промышленных задач;
- наносекундные волоконные лазеры;
- специализированные непрерывные волоконные лазеры для выполнения прецизионной обработки.

Дополнительно были представлены следующие продукты:

- ультрафиолетовый лазер с длиной волны 340 нм, разработанный по запросу потребителей (полностью российского производства);
- пикосекундные лазеры для прецизионной обработки, используемые для раскроя стекла, перфорации, снятия слоя и структурирования;
- лазерный излучатель, генерирующий зеленый свет с длиной волны 515 нм (успешно протестирован компанией «Лазерный Центр»);
- ультрафиолетовый пикосекундный лазер мощностью 40 Вт;
- лазеры, предназначенные для использования в лидарах;
- лазерные устройства для очистки и сварки материалов.

Было отмечено, что все компоненты производятся внутри компании (за исключением плат), что подтверждает полную импортозамещенность производства.

3. Руководитель Отдела поддержки и технологий ООО «Лазерный Центр» *О.С.Васильев* представил доклад на тему «Лазерные технологии: ключевые процессы для оптимизации производственных возможностей предприятия».

Основные тезисы его выступления:

- Наша компания занимается производством и продажей станков для маркировки металлов в различных отраслях промышленности. В настоящее время микрообработка становится все более востребованной в микроэлектронике, в связи с чем возрастают требования к решению типовых задач в этой отрасли.
- Особенно важно отметить, что при работе с элементами двигателя необходимо избегать использования красителей, так как алюминий не подвержен чернению под воздействием лазерного излучения. Наша технология позволяет осуществлять контрастную маркировку без необходимости применения красочных материалов.
- Кроме того, при сверлении по центру фрезы необходимо учитывать, что при высоких скоростях вращения даже минимальные дефекты в металле могут привести к дисбалансу инструмента. Наша маркировка не влияет на топологию поверхности, что позволяет использовать ее в системах ЧПУ с высокими скоростями.

- Компания успешно интегрирует технологии маркировки в линии производства, работающие на сверхвысоких скоростях. Системы лазерной обработки «МиниМаркер 2» способны осуществлять маркировку изделий со скоростью до 70 метров в минуту и наносить до 900 тысяч маркировок в час.

- Возможности нашего оборудования охватывают также маркировку микрокодов, оптоволоконной продукции и проводов. Компания работает с кодами 2D и предлагает оборудование, способное обеспечивать высокую точность и скорость маркировки, не допуская режима «старт-стоп».

- Парк излучателей компании охватывает широкий диапазон длин волн – от 10 мкм до 355 нм УФ, что позволяет эффективно выполнять различные задачи по маркировке с высокой точностью и надежностью.

4. На конференции выступил *Д.С.Вирко*, представляющий ООО «ЦНИИ ЛОТ», с докладом о новом оборудовании для ювелирной промышленности под названием «ТурбоФорма».

Инженерам компании удалось из 3D-модели в формате STL получать в металле готовое изделие или инструмент – например, штампы для чеканки серийных изделий. Требования к штампам включают достижение высокого качества PROOF. Для этой цели используется технология LaserBarking, которая внедрена в систему «ТурбоФорма». Технология не требует дополнительной обработки.

Инновационная разработка LaserBarking® отличается от 3D-гравировки, поскольку представляет собой новый метод, включающий в себя поэтапное контролируемое удаление тончайших слоев материала с помощью сфокусированного лазерного луча.

Качество поверхности с рельефом, достигаемое с помощью данного метода, сравнимо с полировкой материала или обработкой на полировальном станке высокого класса. Технология позволяет создавать заданные формы в материалах с очень высокой твердостью, например в штамповых сталях с твердостью по Роквеллу HRC = 58 единиц. Штамповые стали используются при изготовлении штампов и пуансонов сложных конфигураций, которые при закалке должны мало деформироваться. Соответственно технологию можно использовать в производстве пресс-форм для литья алюминия или иных других легкосплавных материалов. В связи с данными особенностями технологию LaserBarking® нельзя считать аналогичной 3D-гравировке.

Докладчик отметил, что в 2013 году директор *С.Г.Горный* и главный технолог *К.В.Юдин* были удостоены ордена «Карл Фаберже» за разработку уникальных технологий трехмерной художественной обработки металлов.

5. В.С.Бондарев (ООО «Лазерный центр») рассказал о системе МикроСЕТ, которая находит применение в производстве СВЧ интегральных систем, микросхем тонко- и толстостенных типов, п/п приборов, СВЧ ферритовой техники, элементов Пельтье и металлокерамических корпусов.

Для лазерной микрообработки в этой системе используются разнообразные излучатели, включая лазер производства IPG Photonics. Этот лазер имеет регулируемый диапазон длительности импульсов и широкий диапазон измерения частоты импульсов, что делает его идеальным инструментом для обработки материалов электроники.

Системы МикроСЕТ обеспечивают высокую точность обработки – в 2-8 мкм. Перед внедрением данного оборудования специалисты проводят тщательное тестирование технологий на конкретных материалах и задачах заказчика, что позволяет обеспечить готовый результат для пользователя, а не просто поставить оборудование.

Ключевое преимущество систем МикроСЕТ – это полностью отечественное программно-аппаратное решение, включая российское технологическое сопровождение, гарантийное и постгарантийное обслуживание. Это существенно сокращает затраты отечественных предприятий на закупку, внедрение и эксплуатацию такого оборудования, что в свою очередь влияет на себестоимость готовой продукции. Кроме того, компания-производитель оснащает оборудование собственным программным обеспечением, оригинальными системами управления и обеспечивает полную технологическую поддержку в течение всего срока эксплуатации оборудования.

6. Профессор кафедры фотоники СПбГЭТУ «ЛЭТИ» В.А.Парфенов поделился опытом создания лаборатории лазерных технологий на территории университета. История возникновения «ЛазерЛаб» началась в 2022 году на базе Научного парка СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Важным стратегическим партнером лаборатории стал ООО «Лазерный Центр». В августе 2022 года был подписан договор о научно-техническом сотрудничестве, где стороны согласились о создании совместной научно-исследовательской лаборатории «ЛазерЛаб» на базе университета. Направление сотрудничества – разработка новых технологий и специализированного лазерного оборудования для обработки материалов для электроники и микроэлектроники.

В СПбГЭТУ «ЛЭТИ» была передана установка «МиниМаркер 2» в безвозмездное пользование сроком на 1,5 года. В дальнейшем ВУЗ самостоятельно приобрел систему «МикроСЕТ», которую сотрудники ВУЗа по достоинству оценили. На новом оборудовании было выпол-

нено множество научных и исследовательских работ, таких как деметаллизация и создание сложных топологий. Например, проведена деметаллизация стеклотекстолитовых подложек (с удалением медного покрытия), деметаллизация керамических подложек (покрытие из серебряной проводящей пасты), а также осуществлена резка и скрайбирование кристаллических материалов, таких как корундовая керамика толщиной 1 мм, гадолиний-галлиевый гранат толщиной 0,5 мкм и сапфировая подложка толщиной 1 мм.

В.А.Парфенов отметил, что одним из основных направлений исследований кафедры фотоники является фотовольтаика. Сотрудничество с физико-техническим институтом им. Иоффе позволяет университету активно развивать эту область. Совместными усилиями были успешно проведены работы по лазерному скрайбированию тонкопленочных солнечных модулей, улучшающему их эффективность.

Одним из новых направлений в экспериментах в медицинской сфере является создание микрофлюидных топологий. Эти специальные канавки, выполненные из материалов, таких как стекло и нержавеющей сталь, которые используются для создания лекарственных препаратов. Наш университет успешно оптимизировал процесс лазерной обработки нержавеющей стали для формирования микроканалов полукруглого профиля глубиной до 500 мкм с оптимальным значением шероховатости поверхности.

7. В ходе своего выступления директор по развитию Центра трансфера лазерных технологий Университета ИТМО **А.В.Логин** подчеркнул, что с постоянным развитием науки и технологий, а также созданием новых материалов и методов обработки, возникает необходимость в разработке новых функциональных свойств на микро- и наноуровне.

На основании запросов реального сектора экономики были выделены такие ключевые свойства материалов, как оптические параметры (с возможностью изменения цвета), смачиваемость (создание гидрофильных / гидрофобных поверхностей) и биосовместимость. Для достижения этих функциональных свойств в ЦЛТ и ИТМО используются волоконные лазерные комплексы компании ООО «Лазерный Центр».

Докладчик указал следующие основные области применения цветной лазерной маркировки:

- медицина, где возникающие после обработки оксидные пленки остаются нетоксичными;
- промышленность, где нужный цвет обработанного материала получается без необходимости использования дополнительных материалов;
- космические технологии, где крайне важна экономия каждого грамма при запуске аппаратов;

- декоративное искусство, где цветная лазерная маркировка находит свое применение.

Благодаря системе «МиниМаркер 2» появилась возможность локально управлять направлением отражения от дифракционной решетки, создаваемой на поверхности стали, за счет чего возможно создание защитных голограмм с динамическим изменением цвета, изображения или движением отдельных элементов изображения, то есть реализация визуальных защитных эффектов.

Кроме того, возможно достижение и скрытых защитных эффектов, а именно:

- точного совпадения колориметрических координат при сравнении с ранее разработанным шаблоном в результате считывания изображений;
- наличия различных методов формирования структур по поверхности.

А за счет эффекта плазмонного резонанса в наночастицах, сформированных после лазерного воздействия, мы можем окрашивать поверхность драгоценных металлов.

Лазерная обработка позволяет управлять смачиваемостью поверхности металлов. При лазерном воздействии на сталь образуются гидрофильные оксиды, которые при увеличении интенсивности или покрытия могут превратиться в супергидрофильные. Это улучшит адгезионные свойства для краски и биологических объектов. Поверхность также может быть преобразована в гидрофобную изменением химического состава. Гидрофобные поверхности могут использоваться для защиты от обледевления или размножения бактерий. Путем использования лазерно-индуцированных изменений поверхности можно эффективно предотвращать биообрастание.

Возможно также лазерное управление био-

совместимостью поверхности металлов. Такое управление является ключевым аспектом совместного проекта ИТМО и ООО «Лазерный Центр» который выполняется сейчас в рамках известного Постановления № 218 Правительства РФ. Один из основных продуктов этого проекта – идеальный дентальный имплантат, который удалось разработать, выделив три функциональные зоны и создав специальную функциональную структуру для каждой из них.

Исследователи ИТМО уделили особое внимание структуре канавки для резьбы имплантата, длина которой соответствует размерам клеток костной ткани. Это решение уже показало отличные результаты в проведенных доклинических и клинических исследованиях благодаря высокой остеоинтеграции.

На шейке имплантата удалось воссоздать структуру компактной костной ткани остеона, которая успешно продемонстрировала пролиферацию и миграцию клеток. На абатменте – переходнике между имплантатом и коронкой, где важна биосовместимость с эпителиальными клетками и антибактериальность, была создана оксидная структура, которая при УФ облучении обладает антибактериальными свойствами.

А.В.Логинов сообщил, что завод «Ленмерит» уже успешно внедряет первую разработку детального имплантата в производство, остальные будут протестированы *in vivo* в следующем году. Кроме того, в ИТМО идут активные разработки роботизированного комплекса для обработки медицинских изделий сложной формы.

Научно-практическая конференция «Лазерная микрообработка – 2024» стала значимым событием для отрасли и продемонстрировала высокий потенциал лазерных технологий для решения различных задач в микроэлектронике, приборостроении, гравировке и маркировке.

★ ★ ★

РГ8. «Контрольно-измерительные и диагностические технологии фотоники»

26 марта, зал «Фотон»

В работе конференции участвовало более 50 чел., председательствовал её организатор, координатор РГ8 член-корреспондент РАН С.А.Бабин (ИАиЭ СО РАН)

На заседании было представлено 6 докладов, посвященных контрольно-измерительным системам и диагностическим технологиям фотоники для контроля поверхности, формы и объема деталей из оптических и конструкционных материалов (металлов, сплавов, полимеров и т.д.), а также проблеме измерения координат объектов и положения элементов в оптических схемах.

1. Доклад «Применение разработок ИАиЭ СО РАН для создания и анализа шкал оптических энкодеров угловых и линейных перемещений», В.П.Корольков, В.П.Бессмельцев, А.В.Кириянов (Институт автоматики и электрометрии СО РАН, г.Новосибирск) был посвящен разработанному в ИАиЭ комплексу оборудования и технологий, которые могут быть использованы для формирования линейных и угловых шкал. Решение задачи производства прецизионных шкал крайне важно для импортозамещения в области станкостроения и приборостроения. Разработанное

оборудование включает установки лазерной литографии с фемто-пикосекундными и непрерывными лазерами. Кроме оборудования собственной разработки ЦКП ИАиЭ СО РАН располагает установкой лазерной литографии DWL66+ и установками магнетронного напыления пленок и реактивного ионного травления, служащих базой для реализации различных технологий микрообработки поверхностей оптического качества.

2. В докладе «Оптоинформационный метод субдифракционных угловых измерений», *А.В. Савин, А.С. Борейшо, А.Г. Ершов, С.Ю. Страхов, Г. Суханов* (АО «Лазерные системы», БГТУ «Военмех», г. Санкт-Петербург), представленном *А.В. Савиным*, была предложена компактная оптическая схема на основе интерферометра Майкельсона с подвижным уголкового отражателем, обеспечивающая погрешность угловых измерений менее 1% дифракционного предела, а также соответствующий метод обработки данных. Метод основан на математической обработке в реальном времени массива двумерных интерференционных картин. Приведены результаты численного моделирования процесса измерений. Показано, что алгоритм работает даже для зашумленных данных (SNR~1) и невысоком пространственном разрешении изображений (64x64).

3. Доклад «Развитие в ИФП СО РАН эллипсометрических методов и аппаратуры для контроля тонкопленочных структур и новых материалов в ИФП СО РАН», *И.А. Азаров, Е.В. Спесивцев, В.А. Швец, С.В. Рыхлицкий, М.В. Якушев* (Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, г. Новосибирск), представленный *Е.В. Спесивцевым*, был посвящен обзору состояния эллипсометрической тематики. Дана историческая ретроспектива развития метода в Институте. Описаны области применения, физические принципы и классификация эллипсометрической аппаратуры. Представлена базовая измерительная схема эллипсометра, запатентованная Институтом и положенная в основу разработанных приборов. Рассмотрен ряд современных моделей эллипсометров, изготавливаемых и поставляемых Институтом в научные и промышленные организации страны. Показан ряд примеров научных исследований и измерений, проведенных с использованием этих приборов, демонстрирующий высокий уровень развития эллипсометрии в ИФП СО РАН.

4. В докладе «Промышленное применение компактных оптических спектрометров на основе плоских дифракционных решеток в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне», *В.М. Поляков, А.С. Бобе, С.И. Томашевич, Ю.И. Хатанзейская* (ООО «ГК Р-АЭРО», ООО «Геофотоника», университет ИТМО, г. Санкт-Петербург) *В.М. Поляков* рассказал о применении оптичес-

ких спектрометров в диапазоне 200-1100 нм и 950-2550 нм для онлайн - анализа состава углеводородов в условиях скважины. Спектрометры применяются для регистрации спектрального распределения сигнала флуоресценции и спектрального распределения оптической плотности исследуемого образца. Также были рассмотрены применение оптических спектрометров видимого диапазона со спектральным разрешением до 0,1 нм для контроля технологического процесса конвертирования в черной и цветной металлургии и применение нейросетей для анализа регистрируемых сигналов.

5. *Е.В. Власов* в докладе «Разработки КТИ НП СО РАН для научных и промышленных применений» (Конструкторско-технологический институт научного приборостроения СО РАН, г. Новосибирск) познакомил с разработками систем неразрушающего контроля, основанных на оптических методах и ориентированных на задачи контроля продукции и технологических процессов на высокотехнологических российских предприятиях. В КТИ НП СО РАН разработан широкий спектр оптоэлектронных систем, встраиваемых непосредственно в технологические линии в том числе с факторами производственной опасности.

6. «Лазерный доплеровский измеритель скорости воздушных потоков» – тема доклада *Ю.Д. Каминского* (АО «НИИТеплоприбор», Москва). Докладчик рассмотрел перспективы создания новых моделей лазерных измерителей скорости воздушных потоков для различных задач авиационного приборостроения. В первую очередь, бортовых измерителей для летательных аппаратов, а также претензионных измерителей для эталонных аэродинамических установок, отличающихся высокой точностью в широком диапазоне скоростей, надежностью, ограниченным влиянием внешних факторов, возможностью имитационной градуировки и поверки. В докладе был дан краткий обзор ЛДИС, разработанных в АО «НИИТеплоприбор» ранее, и зарубежных публикаций по бортовым лазерным системам для измерения воздушной скорости летательных аппаратов. Учитывая интерес к таким системам и опираясь на опыт АО «НИИТеплоприбор» в создании бортовых ЛДИС для наземного и морского транспорта, сотрудники Института провели исследования возможности создания бортового ЛДИС и разработали экспериментальный образец для проведения лабораторных и стендовых испытаний – «ЛИВС». Прибор был использован в составе системы воздушных сигналов «СВС-Л», разработанной АО «Аэроприбор-Восход», которая была успешно продемонстрирована на международных выставках «МАКС» и «АРМИЯ». Вторая актуальная задача применения «ЛИВС» – претензион-

ный измеритель скорости воздушных потоков для эталонных аэродинамических установок в диапазоне скоростей от 0,05 до 25 м/с. В настоящее время в ФАУ «ЦАГИ» проводятся испытания ЛИВС на эталоне скорости «ЭМС» 0,05/100-300, по результатам которых будет рассмотрена возможность проведения разработки новых моделей лазерных измерителей скорости различного назначения.

Обсуждение докладов было продолжено в частном порядке после окончания заседания. Необходимо отметить, что формат проведения конференции в рамках деловой программы выставки «Фотоника-2024» способствует подбору слушателей, ориентированных на получение практической информации и установлению контактов с разработчиками новой контрольно-диагностической аппаратуры.

★ ★ ★

РГ9. Фотоника в медицине и науках о жизни.

28 марта, зал «Южный»

Участниками конференции, проводившейся под руководством заведующего кафедрой БМТ-1 МГТУ им. Н.Э.Баумана *А.В.Самородова*, стали специалисты по разработке оптической и лазерной медицинской техники из Москвы, Снежинска, Саратова, а также посетители выставки «Фотоника» – в общей сложности более 50 человек. На заседании прозвучали 8 докладов.

1. В докладе «Биофотоника: тренды 2024» *А.В.Самородовым* (МГТУ им. Н.Э.Баумана) были рассмотрены основные направления исследований и разработок в области биофотоники, ключевые тренды и факторы, определяющие развитие мирового рынка биофотоники, особенности его динамики в контексте мирового рынка медицинских изделий, проведен анализ факторов, влияющих на развитие российского рынка медицинских изделий.

2. Тема доклада начальника отдела РФЯЦ-ВНИИТФ, к.т.н. *А.В.Березина* – лазерные медицинские приборы разработки Института, их отличительные особенности, технические возможности и характеристики.

3. *Е.Н.Римская* представила доклад «Мультиспектральная дифференциальная диагностика злокачественных новообразований кожи» (*Е.Н.Римская, И.Н.Сараева, С.Н.Шельгина, А.Б.Тимурзиева, К.Г.Кудрин, Е.В.Переведенцева, Н.Н.Мельник, С.И.Кудряшов*, ФИАН). Ранняя диагностика злокачественных новообразований кожи является чрезвычайно актуальной и социально значимой проблемой. Одним из неинвазивных методов, обладающим значительным потенциалом повышения эффективности ранней диагностики опухолей кожи, является микроспектроскопия комбинационного рассеяния света (КР) и фотолюминесценции (ФЛ) с длинами волны возбуждения, лежащими в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах (532, 785, 1064 нм). В результате анализа спектров КР/ФЛ при различных длинах волн возбуждения (532, 785 и 1064 нм) получены спектральные критерии дифференциальной диагностики опухолей кожи с чувствительностью и специфичностью более 95%.

4. В докладе *И.С.Голяка* (МГТУ им. Н.Э.Бау-

мана) «Применение элементов искусственного интеллекта в инфракрасной спектроскопии для биомедицинских приложений» было рассмотрено применение методов машинного и глубокого обучения для решения задач спектрального анализа качества лекарственных препаратов и ранней диагностики хронических заболеваний по выдыхаемому человеком воздуху. При исследовании качества лекарственных аппаратов источником излучения служил рамановский спектрометр с длиной волны 785 нм и мощностью 120 мВт. В качестве тестируемых веществ выступал аспирин различных производителей. В качестве метода машинного обучения использовалась неглубокая нейронная сеть. Сверточная 1-D нейронная сеть для классификации качества аспирина позволяет получить точность классификации более 90%.

Для диагностики выдыхаемого человеком воздуха применялась экспериментальная установка, содержащая квантово-каскадный лазер, который излучает в импульсном режиме с пиковой мощностью до 150 мВт в спектральном диапазоне 5,3-12,8 мкм, и многопроходную газовую ячейку Эрриота с определенной длиной оптического пути 76 м. С помощью этой установки были получены спектры выдыхаемого воздуха в среднем ИК-диапазоне у 165 добровольцев, включая здоровых людей, пациентов с сахарным диабетом 1-го типа, бронхиальной астмой и пневмонией. В докладе показано, что сочетание автоэнкодеров с методом опорных векторов позволяет добиться точности классификации близкой к 100%, и тем самым превзойти сочетания других комбинаций методов машинного обучения.

5. Доцент кафедры оптики и биофотоники СГУ им. Чернышевского *П.А.Тимошина* представила результаты исследований в направлении диагностики микрогемодинамики с помощью спекл-визуализации с применением технологии оптического просветления биотканей (*П.А.Тимошина, Ю.И.Сурков, В.В.Тучин, СГУ им. Н.Г.Чернышевского, ТГУ*). Методика спекл-визуализации основана на статистическом ана-

лизе спекл-структур – изображений, которые возникают при рассеянии когерентного лазерного излучения на поверхности биоткани.

Заболевания сердечно-сосудистой системы и диабет вызывают нарушения микрогемодинамики и изменения структуры тканей сосудов. Для получения наиболее качественного изображения глубоких слоёв тканей ученые СГУ и ТГУ разрабатывают технологии оптического просветления, которые могут использоваться также для построения карт сосудистой системы, а также совершенствуют иммерсионные агенты, которые не только улучшают визуализацию, но и помогают находить патологические отклонения. Планируются исследования возможности применения технологии оптического просветления в нейрохирургии.

Исследования проводятся при поддержке гранта РФФИ № 23-14-00287 «Разработка фундаментальных основ метода оптического просветления биологических тканей и его приложение к решению задач диагностики и терапии патологических процессов».

В заключение своего доклада *П.А.Тимошина* пригласила коллег на ежегодную международную конференцию *Saratov Fall Meeting*.

6. Сотрудник Института физики СГУ им. Н.Г.Чернышевского *Д.Н.Браташов* в своем док-

ладе рассказал о результатах исследований возможностей фотоакустической *in vivo* проточной цитометрии и *in vivo*-спектроскопии с применением перестраиваемых лазерных систем.

7,8. Представители АО «ЛПС» *К.Гончаров* и *Д.Тарванен* в рамках своих докладов сделали обзор рынка, а также поделились опытом внедрения компонентной базы азиатских производителей для создания систем визуализации перфузии органов и тканей на основе интерферометрии малой когерентности и лазеров с короткими и ультракороткими импульсами для применения в научных исследованиях.

Аудитория была активна, задавали много вопросов, в процессе дискуссии происходил полезный обмен мнениями.

В завершении конференции состоялось совместное заседание рабочей группы №9 технологической платформы «Фотоника» и НТС по биомедицинской фотонике при Совете Лазерной ассоциации, на котором при участии зам. председателя НТС д.т.н. *Д.А.Розаткина* (МОНИКИ им. М.Ф.Владимирского) были обсуждены пути улучшения взаимодействия и координации работ участников РГ9 и сформулированы предложения по организации совместных с НТС заседаний для обсуждения результатов и перспектив профильных исследований и разработок.

Информация для членов Лазерной ассоциации

3 апреля с.г. письмом исх. № 74/03-13078 на имя президента ЛАС И.Б.Ковша Главное управление Министерства юстиции Российской Федерации по Москве сообщило, что 02.04.2024 в Единый государственный реестр юридических лиц внесена запись за государственным регистрационным номером 2247703390780 о признании недействительной записи от 31.05.2022 за государственным регистрационным номером 2227704722694 о ликвидации Лазерной ассоциации.

Таким образом, Лазерная ассоциация как некоммерческая научно-техническая организация, зарегистрированная в качестве юрлица 07.09.1990 года и лишённая этого юрлица в мае 2022 года, восстановлена во всех своих юридических правах.

«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