



# Конференция IX Конгресса Технологической платформы РФ «ФОТОНИКА»: «Оптические материалы и компоненты»

Д. В. Трасковецкая

ПАО «НПО «АЛМАЗ» имени академика А. А. Расплетина, Москва, Россия

Представлен краткий обзор докладов научно-технической конференции «Оптические материалы и компоненты», которая прошла в рамках IX Конгресса технологической платформы РФ «Фотоника». Конгресс сопровождал 15-ю юбилейную Международную специализированную выставку лазерной, оптической и оптоэлектронной техники «Фотоника. Мир лазеров и оптики-2021». Разнообразие представленных докладчиками разработок подчеркнуло актуальность развития области. Были представлены новые установки, оборудование, технологии, процессы и материалы. Большое количество экспериментов, оригинальных решений, а также профессиональных коопераций и планов говорит о повышенном интересе к теме оптических материалов.

**Ключевые слова:** осевые синтезированные голограммы, лазерный тримминг, ниобат лития, доменная структура, гребневые волноводы, интегральная оптика, free-form, ИК-диапазон, кристаллы КРС-5, линзы, зеркала, лазерные источники

Статья получена: 19.04.2021

Принята к публикации: 11.05.2021

## IX Congress of the Russian Technology Platform PHOTONICS: the Conference Materials and Components

D. V. Traskovetskaya

JSC NPO Almaz named after A. A. Raspletin, Moscow, Russia

A brief overview of the scientific and technical conference «Optical Materials and Components» is presented. It took place in the framework of the IX Congress of the Technology platform of the Russian Federation «PHOTONICS». The Congress accompanied the 15th Anniversary International Specialized Exhibition of Laser, Optical and Optoelectronic Technology «Photonics. World of Lasers and Optics-2021». New installations, equipment, technologies, processes and materials were presented. A large number of experiments, original solutions, as well as professional collaborations and plans indicate an increased interest in the topic of optical materials.

**Keywords:** axial synthesized holograms, laser trimming, lithium niobate, domain structure, ridge waveguides, integrated optics, free-form, IR range, KRS-5 crystals, lenses, mirrors, laser sources

Received: 19.04.2021

Accepted: 11.05.2021

На 15-й юбилейной Международной специализированной выставке лазерной, оптической и оптоэлектронной техники «Фотоника. Мир лазеров и оптики-2021», состоявшейся в Москве с 30 марта по 2 апреля в ЦВК «Экспоцентр», был представлен широкий спектр продуктов оптической и фотонной индустрии: лазеры, лазерные станки, тепловизионная техника, биомедицинские приборы. Ни одно из представленных изделий при своем создании не может обойтись без выбора оптических материалов, использования технологий контроля, прецизионного оборудования, метрологического обеспечения. Эти вопросы были рассмотрены в рамках деловой программы на конференции «Оптические материалы и компоненты». Модератором мероприятия выступил профессор Уральского федерального университета д. ф. - м. н. Владимир Яковлевич Щур.

Открыло заседание выступление А. Н. Мельникова (НПО «ГИПО», г. Казань). В докладе «Перспективы и практические возможности создания эталонного набора и поверочной установки для аттестации основных пробных стекол первого класса (ГОСТ 2786-82) на основе использования осевых синтезированных голограмм в качестве оптических образцов» (авторы А. В. Лукин, А. Н. Мельников, В. И. Курт, А. С. Дучицкий, А. И. Садрутдинов (НПО «ГИПО», г. Казань), Д. В. Новиков и И. А. Род (ВНИИМС, Москва), А. А. Янковский (ВНИИМ им. Д. И. Менделеева, Санкт-Петербург) были представлены основные принципы создания метрологической поверочной установки и ее принципиальная схема.

Потребность в создании новой поверочной установки вызвана внедрением в производство оптических деталей инновационных технологий. Наряду с классической блочной технологией серийного производства линз и зеркал со сфериче-

скими поверхностями, технологический контроль в котором обеспечивают рабочие пробные стекла (РПС), растет доля оптических элементов, изготавливаемых на современных прецизионных оптических станках с ЧПУ, создаваемых путем горячего прессования и моллирования без использования пробных стекол.

Авторами предложено использовать апробированную и запатентованную специализированную метрологическую поверочную установку для проверки и калибровки контрольно-измерительных средств. Эталонный набор представлен аттестованной осевой отражательной синтезированной голограммой (ОСГ) и парой сферических основных пробных стекол (ОПС). Методика выполнения измерений на такой установке предложена как для выпуклых, так и для вогнутых поверхностей. Суть метода заключается в определении разницы радиусов кривизны – номинального значения и контролируемого. Это достигается за счет выполнения последовательных шагов: настройки автоколлимации с использованием ОСГ с фиксацией положения центра образцового оптического элемента, снятия показателей отсчета измерителя линейных перемещений образцовой и контролируемой детали, выявления разности двух отсчетов – величины и знака ошибки радиуса.

Поверочная установка состоит из комплекта 100 эталонных наборов (номинальные значения радиусов кривизны в диапазоне от 1 до 100 метров с шагом в один метр, стандартный световой диаметр элементов – 130 мм), сертифицированного прецизионного измерителя линейных перемещений (длина шкалы не менее 1000 мм, погрешность измерений не более 30 нм), специализированного программного обеспечения и руководства по эксплуатации. Следует заметить, что размер установки не зависит от диапазона контролируемых





параметров – радиусов оптических поверхностей, так как непосредственно измеряется не радиус кривизны, а его отклонение от номинального значения. Пробные стекла в эталонных наборах предлагается использовать с высоким предельным сопряжением 1 класса, формообразование рабочих поверхностей ОПС осуществляется технологией «притира», сопряжение не ниже «соломенного цвета», и наилучший используемый материал для увеличения точности измерений – астроситалл СО-115М.

Автор отметил, что для организации серийного выпуска эталонных наборов предлагается использовать технологии прецизионного копирования как синтезированной голограммы, так и пробных стекол. В целях уточнения целесообразности, себестоимости и сроков создания метрологической поверочной установки на основе предложенного эталонного набора желательнее провести рабочее техническое совещание специалистов и представителей АО «Швабе», Росстандарта и Минпромторга.

А. Н. Мельников представил также доклад «Проблемы и особенности организации серийного и массового производства линз и зеркал с поверхностями любой формы, в том числе free-form, путем прецизионной репликации для видимой и ИК- спектральных областей» авторского коллектива из Казани (А. В. Лукин, А. Н. Мельников, М. М. Ахметов, Е. Г. Лисова (НПО «ГИПО»), Г. В. Кукс (Казанский (Поволжский) федеральный университет), В. Н. Серова (Казанский национальный исследовательский технологический университет), посвященный цели снижения себестоимости продукции в производстве оптики. Прецизионная репликация оптических элементов на основе использования полимерных композиций холодного отверждения применяется для

копирования дифракционных и асферических оптических элементов, не требует дорогостоящего и энергоемкого станочного оборудования, проста в осуществлении, имеет относительно низкую себестоимость и малую трудоемкость, а используемые малоусадные полимерные композиции доступны для организации крупносерийного выпуска. Суть технологии – получение итоговой асферической поверхности или рельефно-фазовой дифракционной решетки в результате образования полимерного слоя между мастер-матрицей и подложкой за счет помещения между ними капли жидкого полимера и процесса полимеризации (термополимеризации продолжительностью в несколько часов) или УФ-полимеризации (до 5-10 минут). Конечная асферическая поверхность или рельефно-фазовая дифракционная решетка может быть как пропускающей, так и с отражением, если используется трехслойная система.

Существует целый банк из нескольких тысяч основных пробных стекол, наиболее точных по радиусу и общим местным отклонениям, реализация технологии позволяет изготавливать поверхности с высокой степенью повторяемости и предоставляет возможность получения конвейерной формы изготовления.

В заключение Мельников А. Н. подчеркнул, что оптические элементы-реплики обладают основными преимуществами стеклянной оптики по сравнению с полимерной, но при этом себестоимость их серийного изготовления существенно ниже. Особое значение имеет реализация технологии для серийного и массового производства линз и зеркал со сферическими рабочими поверхностями, так как в данном случае не требуется самая трудоемкая и дорогостоящая операция – изготовление образцовых мастер-матриц. Их функции могут успешно выполнять сферические образцы





вые пробные стекла. Установлено, что по форме, классу частоты и уровню шероховатости реплицированная поверхность идентична рабочей поверхности соответствующей мастер-матрицы. Предложено (по аналогии с пробными стеклами) ввести следующую иерархию мастер-матриц: образцовые, контрольные и рабочие. При этом образцовые мастер-матрицы должны изготавливаться всегда парами (выпуклая и вогнутая). Реализация решения рассмотренной проблемы обеспечит выгодное качество и себестоимость сферической и асферической продукции, плоских деталей и деталей free-форм.

С докладом «Преобразование длины волны и управление когерентным излучением с помощью кристаллов и тонких пленок с регулярной доменной структурой» (авторы В. Я. Щур, А. Р. Ахматханов, А. А. Есин (ООО «Лабфер», г. Екатеринбург), Д. Б. Колкер (Новосибирский госуниверситет, Новосибирск), В. С. Павельев (Самарский госуниверситет им. С. П. Королева, г. Самара), Г. С. Соколовский (ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург) выступил один из авторов – В. Я. Щур. Под доменной структурой подразумеваются сегнетоэлектрические материалы. Например, образец преобразования частоты излучения в сегнетоэлектриках с периодической доменной структурой имеет длину 1-50 мм, ширину 2-10 мм и толщину 0,5-3 мм. Предваряя свое выступление, докладчик сказал, что коллективом зарегистрированы различные патенты, в том числе на способ формирования доменной структуры в монокристаллической пластине нелинейно-оптического сегнетоэлектрика.

Периодическая структура лежит в основе компактного и эффективного преобразователя частоты излучения в волоконном лазере для генерации второй гармоники: синий свет (генерация второй гар-

моники из 920 нм в 460 нм, структура выполнена в MgO: LN, толщина 1 мм, период 4,3 мкм), зеленый свет (генерация второй гармоники из 1064 нм в 532 нм, MgO: LN, толщина 1 мм, период 6,95 мкм), красный свет (генерация второй гармоники из 1246 нм в 623 нм, CLT, легированный 8% MgO, толщина 0,5 мм, период 12,2 мкм, апертура 0,35 мм и достаточно совершенная однородность по сечению). При генерации второй гармоники экспериментально наблюдаемая зависимость эффективности преобразования от температуры почти полностью совпадают с теоретической.

Доменная инженерия с помощью электронного луча позволяет получать доменные структуры высокого качества, с произвольной формой и произвольной ориентацией. При испытании стехиометрического танталата лития, легированного MgO были получены следующие значения: толщина 1 мм, период РДС 10,6 мкм, генерация второй гармоники из 1178 в 589 нм, выходная энергия до 15 Вт. Легирование магнием является принципиальным условием для повышения стойкости кристалла. Докладчик назвал стехиометрический танталат лучшим материалом из существующих в настоящее время, так как тот обладает высокой теплопроводностью, что исключает неоднородность нагрева кристалла.

Активно развивается прецизионная доменная инженерия (с точностью воспроизведения периодов на уровне нанометров). Это актуально, прежде всего в оптике. Суть технологии заключается в создании стабильных доменных структур в коммерчески доступных сегнетоэлектриках с важными для применения характеристиками. К периодическим структурам нанодоменных стенок в нелинейно-оптических монокристаллах относятся объемные и волноводные устройства, а в список периодически поляризованных кри-





сталлов входят: ниобат лития, танталат лития, титанил-фосфат калия и титанил-арсенат калия – кристаллы перспективны и завоевывают рынок.

В настоящее время используемые кристаллы ниобата и танталата зарубежного производства. Однако интересны результаты работы с регулярной доменной структурой на кристаллах титанила фосфата калия российского производства. Органическая симметрия  $C_{2v}$  материала, по которой растут полоски, представляет собой полосовые домены. Параметры полоски: ширина до 100 нм и длина более 50 мкм. Фактически такие домены возникают и устойчиво существуют, что является предпосылкой для создания эффективных структур. Например, российский кристалл с РДС РРКТР, с регулярной доменной структурой для ПГС: 2,4 мкм, толщина 1 мм, длина 8 мм, период 37,97 мкм, длина волны 2,3 мкм, частота импульсов 4 КГц, длительность 16 нс, пороговая мощность 850 мВт, пороговая энергия 210 мкДж. Также не меньший интерес вызывает российский с РДС РРКТА титанил арсенат калия. Титанил арсенат калия по сравнению с классическим КТР характеризуется меньшим поглощением в видимом диапазоне, более широким диапазоном прозрачности в среднем ИК (до 5,2 мкм), большими значениями нелинейной восприимчивости, его период 39,2 мкм, толщина кристалла 1,15 мм, пороговая мощность 240 мВт, пороговая энергия 60 мкДж, квантовая эффективность 30%. Такие большие кристаллы выращивают коллеги в Новосибирске.

Кроме того, реализованы гребневые волноводы для ГВГ с возможностью перестраивать лазер в видимом диапазоне. Для выпиливания гребешка пилой требуются такие процессы как прецизионная резка, шлифовка и полировка пластин. Для решения этих задач используются шлифовально-полировальный станок (Logitech Ltd, Великобритания), обеспечивающий точность снятия материала 3 мкм, коллоидная суспензия –  $SiO_2$ , шероховатость менее 1 нм. Прецизионная дисковая пила (DISCO DAAD 3220, Япония) позволяет делать пазы в пределе порядка 10 мкм (точность позиционирования 1 мкм, ширина реза для LN 100 мкм, шероховатость 10 нм). Особенность гребневого волновода в колоссальном скачке коэффициента преломления. Рекордный размер гребешка – длина 10 мм, ширина – 4 мкм.

Представляет интерес новый материал, который только начали использовать в оптике, а в основном применяют в акустике – тонкая монокристаллическая пленка ниобата лития на изоляторе LNOI, полученная температурным сколом после ионной имплантации и приклеенная на LN подложку. Такие тонкие пленки ниобата лития используются для создания устройств микрофоники: преобразователей частоты излучения, микрокольцевых резонаторов, электрооптических модуляторов, параметрических генераторов, волноводов. Возможно получение переключения с помощью сканирующего зондового микроскопа с периодом до 150 нм, хорошей воспроизводимостью. Это реализуется в толщине пленки 400 нм или 700 нм, наблюдается высокая периодичность структуры с периодами до 200 нм, оптическая параметрическая генерация света обратной волны, реализация новых типов нелинейно-оптических преобразований.

Докладчик упомянул о дифракционных оптических элементах, где в управляемых фазовых модуляторах можно изменять величину коэффициента преломления, прикладывая напряжение. Сферы применения таких структур многообразны: в лазерной обработке – при экспонировании в фотолитографии, термообработке, перфорации, абляции, резке; в медицине – в косметологии,

в медицине – в косметологии,



офтальмологии, хирургии; в других применениях оптических системах связи, лидарах, оптических пинцетах. Говорилось об управляемых дифракционных элементах на доменной структуре на основе ниобата лития. Сегнетоэлектрические периодические доменные структуры позволяют переключать поляризацию.

В конце доклада автор затронул вопрос очевидного преимущества твердотельных систем в управлении когерентным излучением перед жидкими кристаллами. Так, время переключения у сегнетоэлектриков 1-10 нс, а у жидких кристаллов 5-50 мс. Порог повреждения у первых 10 000 кВт/см<sup>2</sup> против 100 кВт/см<sup>2</sup> у жидких кристаллов, адресация сигнала у сегнетоэлектриков с периодической структурой – матричная, у жидких кристаллов – локальная.

Темой следующего доклада «Интегральная оптика на ниобате лития: новые разработки и применения» (авторы: М. В. Парфенов, А. В. Шамрай, А. В. Тронеv, П. М. Аргузов, В. В. Лебедев, А. В. Варламов, И. В. Ильичев (ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург) стал обзор новых компонентов. Выступающий (А. В. Шамрай) подчеркнул, что технология интегрально-оптических схем на подложках ниобата лития находится на промышленном уровне и имеет множество применений в области телекоммуникаций, радиофотоники и высокочастотных оптических датчиков. Ниобат лития занимает определенную нишу и широко используется, а развитие технологии на подложках ниобата лития связано с гибридными тонкопленочными волноводными структурами и новыми областями применения. В квантовых информационных технологиях, где еще не определена базовая технология, перспективы ниобата лития, например в качестве модуляторов, выглядят очень реальными. К тому же нелинейные эффекты могут быть

использованы для преобразования частот или формирования квантовых состояний света. Потенциально могут быть реализованы нелинейные оптические элементы на периодической структуре и в решении других задач. Так преобразователь длины волны используется для создания спутанных состояний фотонов за счет спонтанных down-конверсий, а легированные редкой землей волноводы могут быть использованы в качестве квантовой памяти.

Ниобат лития характеризуется высокой стабильностью температуры, высокой оптической мощностью, низкими оптическими шумами, доступностью и простой отработанной технологией волноводов, к недостаткам следует отнести пиро-, акусто-, пьезо-оптический, фоторефрактивный и некоторые другие эффекты, например дрейф рабочей точки.

Получаемые в лаборатории параметры волноводов соответствуют передовому мировому уровню. Общие оптические потери для устройств из волокна в волокно (одномодовых) на пластинах составляют 2,2 дБ на X-срезе и 1,5 дБ (регулярно 1,6 дБ) на Z-срезе, диапазон рабочих длин волн 1500-1600 нм (возможна разработка на другие длины волн), внутренние потери меньше 0,01 дБ/мм.

Разработаны конфигурации, и отработаны технологические режимы изготовления базовых волноводных элементов интегрально-оптических схем: прямой, поворот, делитель мощности, Y-разветвители, X-ответвители, пленочные поляризаторы, решетки Брэгга, электрооптические модуляторы, зеркала, поляризационные делители, управляемые делители, акустооптические модуляторы.

Известно, что для высокочастотных электродов принято использовать гальваническое золото,





но, ввиду экономических предпосылок (золотой электролит дорогой, поставляется в больших объемах, быстро портится), была разработана оригинальная технология серебряных электродов. Изготавливаются собственные СВЧ-серебряные электроды с небольшим золочением, что обеспечивает хорошие характеристики: полоса частот модуляции составляет более 25 ГГц по уровню 3 дБ, если говорить о цифровых применениях, на этом можно создавать модуляторы с тактовой частотой 100 гигабит в секунду, оптические потери: амплитудный МЦМ X срез 3,5 дБ, фазовый Z срез 1,6 дБ, высокочастотное полуволновое напряжение меньше 5В и контраст модуляции больше 30 дБ.

Создан модулятор Маха-Цендера с двойным выходом для балансного детектирования, который позволяет подавлять синфазную помеху на 20 дБ в полосе 3–5 ГГц. В данный момент устройство используется для создания квантового генератора шума в качестве источника физической энтропии при создании истинных последовательностей случайных чисел.

Осуществляется выпуск интегрально-оптических модуляторов для высокоточных волоконно-оптических датчиков – устройств, применяемых в навигационных системах морского базирования. Разработан и реализуем акустооптический модулятор сдвига частоты за счет взаимодействия распространяющегося по оптическому волноводу излучения с бегущей акустической волной. В настоящий момент величина сдвига частоты определяется характеристиками кристалла ниобата лития.

Новые применения различных интегрально-оптических схем диктуют все более жесткие технические требования к ним. В частности, решался вопрос создания модуляторов с предельно высоким контрастом модуляции (50 дБ

и выше), что востребовано в распределенных волоконно-оптических датчиках, когерентных рефлектометрах, где уровень шумов определяется контрастом между опрашиваемым когерентным импульсом и темнотой. Для реализации таких устройств создана технология лазерного тримминга с использованием тонкой металлической пленки титана. Преимущество титана в том, что он легко окисляется под воздействием лазерного излучения, кроме того, оксид титана обладает показателем преломления, немного больше самой подложки ниобата лития. Реализовали такую зондовую установку, которая позволяет локально окислять титановые структуры на поверхности волноводов из ниобата лития. Образование оксида титана подтверждено спектроскопическими измерениями. В зависимости от поляризации оптического излучения при малых толщинах пленка оксида титана создает достаточно значительное поглощение, поэтому, выжигая пленку, возможно точно и эффективно управлять потерями в оптических волноводах, что было использовано для балансировки потерь в плечах интерферометра МЦМ модулятора с высоким контрастом модуляции (–30 дБ). Лазерный тримминг позволяет повышать контраст модуляции устройств, что актуально для оптических датчиков, а также в системах квантовой криптографии, где контраст имеет значение с точки зрения взлома таких систем.

Единственной проблемой, связанной с ниобатом лития, является трудно реализуемый на таких материалах детектор одиночных фотонов. При решении данной задачи в качестве базовой технологии формирования детекторов были использованы детекторы на полупроводниковых наноструктурах, где чувствительность определяется малыми размерами сверхпроводниковой струк-



туры. Регистрация одиночных фотонов происходит за счет эффекта горящего пятна, когда падающий на структуру фотон выводит ее локально из сверхпроводящего состояния. За счет того, что ток начинает обтекать этот участок, плотность тока превышает критическую, и вся структура переходит из сверхпроводящего в обычное состояние, что регистрируется как всплеск напряжения. В качестве сверхпроводящего материала для таких структур был использован нитрит ниобия – тонкие пленки нитрида ниобия наносились коллегами из ИФТТ РАН (Моск. обл., г. Черноголовка).

Для обеспечения высоких сверхпроводящих характеристик важно, чтобы технология формирования пленок была высокотемпературная. Диффузией титана сформированы структуры датчиков на оптических волноводах. Перспективным является вариант обращения к гибридным волноводам, в том числе тонкопленочным, но, говоря о детекторе одиночных фотонов, возникает проблема с высокотемпературной обработкой – подложки не выдерживают высоких температур. Для подложек рекомендован температурный режим обработки не выше 500 градусов (вследствие разрушения структуры), в то время как необходима температура в 600 градусов. В итоге за счет реализации гибридного волновода на оксиде титана (характеризующегося более высоким показателем преломления: 2,3 по сравнению с 2,14) была разработана иная структура.

Докладчик отметил, что Лаборатория квантовой электроники ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН является одним из лидеров в области интегрально-оптических схем на ниобате лития и развивает новейшие подходы для получения интегрально-оптических устройств с уникальными характеристиками, отвечающими современным применениям.

Тема «Изготовление и применение внеосевых синтезированных голограмм для задач оптического контроля free-form оптики и юстировки сложных оптических систем» была рассмотрена в докладе авторов из Института автоматики и электрометрии СО РАН, Новосибирск (В.П.Корольков, Р.К.Насыров, Р.В.Шиманский, В.Н.Хомутов). Об используемых в Институте технологиях формирования фазового микрорельефа рассказал В.П.Корольков, он сделал обзор о термохимической прямой записи на пленке хрома (локальное окисление пленки хрома, травление жидкостным образом и травление кварца через маску на необходимую глубину), о записи на фоторезисте, нанесенном на хром (создание рисунка на резисте, проявление хрома под ним, плазменное травление кварцевой/стеклянной подложки) и о многоуровневой записи по фоторезисту (запись осуществляется на резисте и затем с него переводится в кварц или кремний).

Разработанные подходы к изготовлению синтезированных голограмм (СГ) обладают рядом преимуществ: возможностью комбинирования с высокой точностью расположения друг относительно друга амплитудных и фазовых дифракционных структур в одной голограмме; высокой производительностью (максимальное время записи 20 часов при шаге 0,25 мкм и диаметре светового поля СГ 200 мм, на что в случае с электронно-лучевой литографией понадобились бы недели). Также разработан алгоритм двухкоординатной компенсации дрейфа системы записи, ведь за 20 часов работы установка дрейфует, компоненты сдвигаются друг относительно друга, и процесс калибровки становится очень важным. Более того, разработан комплекс методов пост-проверки топологии по встроенным меткам – после записи удается осуществить проверку сдвига меток относительно заданного







положения. Докладчик подчекнул, что в круговой лазерной записывающей системе CLWS-300IAE отсутствуют ошибки стыковки между полосами или кадрами сканеров, все пишется одним пучком. К тому же можно использовать нестандартные большие и толстые кварцевые и ситалловые подложки, что не под силу стандартному литографическому оборудованию.

Были проведены работы по проверке вогнутого внеосевого зеркала (используемые в ИАиЭ СО РАН методы позволяют встраивать голограммы в голограмму). Поставленная в интерферометр голограмма, помимо компенсации волнового фронта для основного элемента, формирует несколько точек на голограмме и рядом с ней, что позволяет совмещать метки с необходимым положением проверяемого элемента. Был осуществлен постконтроль по выходу годных при сборке двухлинзового объектива, проверка как многолинзового объектива при помощи многозональной СГ, так и контроль внеосевого трехлинзового блока. Также был реализован контроль 3-х зеркального эксцентричного объектива.

Завершая презентацию, докладчик от имени авторов работы выразил благодарность коллегам за предоставленные материалы, а также подчекнул, что ИАиЭ СО РАН обладает уникальным оборудованием и специалистами для разработки и изготовления разнообразных синтезированных голограмм под задачи контроля free-form оптики, юстировки сложных оптических систем, а также для изготовления высокоэффективных дифракционных и микрооптических элементов. Разработаны интерферометрические схемы контроля асферических зеркал и внеосевых сегментов, а также многокомпонентных оптических систем. Разработаны методы расчета и изготовления СГ для них. Предложен, промоделирован и экспериментально

апробирован интерферометрический метод юстировки многокомпонентных оптических систем на основе многозональных СГ, что позволяет выставить оптические компоненты с погрешностью единицы микрон, в том числе эксцентрично расположенные асферические линзы и зеркала. Ограничением данного метода является количество юстируемых компонентов при помощи одной СГ, которое составляет 3-4 элемента. Также ограничением является максимальный угол дифракции (12-15 градусов), который обусловлен технологией изготовления фазового рельефа ДОО.

Результаты работ, проводимых в НОЦ «Фотоника и ИК-техника» и Лаборатории стабилизированных лазерных систем (МГТУ им.Н.Э.Баумана) были продемонстрированы в сообщении «Перспективные твердотельные лазерные источники среднего ИК-диапазона» (В.А.Лазарев, МГТУ им.Н.Э.Баумана). Выбор ИК-диапазона для создания лазерных источников обусловлен широким спектром характерных линий поглощения различных веществ в этом диапазоне, что перспективно для спектроскопии и медицинских приложений лазеров. Основные направления развития Лаборатории – это создание лазеров, генерирующих в среднем ИК-диапазоне.

Говорилось о работах по повышению стабильности частоты на новых линиях метана, о коллаборации с Миланским политехническим университетом (Politecnico di Milano), в результате которой был собран перестраиваемый (от 2,2 до 2,8 мкм) с помощью дифракционной решетки лазер на основе кристалла арсенида кадмия с хромом. Его эффективность составила 47,6%, порог накачки 0,25 W и максимальная выходная мощность 2,3 Вт при накачке в 6,2 Вт. Также удалось разработать два источника и осуществить перестройку лазера на кристалле арсенида цинка, допированного хро-





# CARBIDE

**ФЕМТОСЕКУНДНЫЕ ЛАЗЕРЫ  
ИНДУСТРИАЛЬНОГО КЛАССА**

80 Вт @ 1030 нм (ИК)

> 30 Вт @ 343 нм (УФ)

190 фс – 20 пс

Единичный импульс – 2 МГц

800 мкДж

1030, 515, 343, 257 нм

Перестраиваемый ГГц и МГц режим пакета импульсов  
с функцией вывода «burst-in-burst»



мом в диапазоне 2,1–2,7 мкм, что актуально для медицинской диагностики. Необходимость создания источника диктовало условие, что в достигнутом диапазоне существует характерная линия поглощения коллагена, за счет чего можно отделять ткань онкологической опухоли от здоровой ткани.

Однако сотрудники столкнулись с тем, что при использовании традиционных просветляющих покрытий в лазерных кристаллах при большой оптической мощности излучения покрытия трескаются. Поэтому экспериментальным путем пришлось искать выход, и из нескольких способов (микроструктурирование поверхности, травление через титановую пленку, высаживание монослоя шариков SiO<sub>2</sub>, использование маски из «инвертированной» SiO<sub>2</sub>-структуры) была выбрана прямая лазерная абляция.

Лаборатория открыта для практического осуществления различных идей, и в скором времени будут развиваться следующие направления: создание перестраиваемого Cr:ZnSe лазера для медицинской диагностики, лазера на кристалле Cr: CdSe с модуляцией добротности для оптоакустики, создание тулиевой РМ МОРА-системы для халькогенидных волноводов, тулиевой МОРА-системы для параметрического генератора.

Завершил конференцию доклад «Технология обработки оптических деталей из кристаллов КРС-5 методом алмазного точения и фрезерования» (авторы: Е. М. Захаревич, В. В. Лапшин, ООО «Научно-производственное предприятие Станкостроительный завод «Туламаш», г. Тула; М. С. Кузнецов, АО «Государственный научно-исследовательский и проектный институт редкометаллической промышленности «Гиредмет»,

Москва). КРС-5 – это галогенид таллия с широкой областью применений в медицине, волноводной технике, военном деле, спектрометрии. Основной проблемой является сложность оптической обработки кристаллов галогенидов таллия из-за мягкости и пластичности материала, высокого коэффициента термического расширения, низкой теплопроводности, а также высокой анизотропии. Используемые традиционно технологии обработки приводят к образованию глубокого нарушенного слоя кристаллической структуры при шлифовке и низкому выходу в годное при финишной доводке оптической поверхности ручной полировкой.

Апробирование метода точения при обработке кристаллов показало образование дефектных зон, связанных с анизотропией обрабатываемого материала, то есть при обработке плоской поверхности получаются области с хрупким скалыванием, которые не обработать алмазом. Из-за этого следующим шагом стало обращение к способу алмазного фрезерования. Здесь важным условием являлось определение ориентации кристалла таким образом, чтобы получить гладкую поверхность без сколов. После фиксации кристалла в нужной ориентации обработка производилась продольной подачей летучим резцом, также использовалась вакуумная планшайба для обработки с двух сторон.

Доклад вызвал интерес аудитории, и за рамками презентации докладчик также упомянул об обработке хрупких материалов, в том числе сверхтвердых, методом алмазного шлифования в режиме квазипластического резания, микрообработке, обработке с наложением ультразвука. Были затронуты вопросы специфики оборудования, технологий и материалов.

Множество высокотехнологичных отраслевых решений содержит комплекс оптических и фотонных технологий – от проблем организации серийного производства линз и зеркал до практической реализации преобразования длины волны и управления когерентным излучением. Информация о новых оптических материалах и элементах, а также о технологиях их создания, обработки и контроля была с большим интересом встречена слушателями конференции.

### АВТОР

Д. В. Трасковецкая, инженер, ПАО «НПО «АЛМАЗ» имени академика А. А. Расплетина; dashatraskovetskaja@yandex.ru, Москва, Россия.

### ABOUT AUTHOR

Darya Traskovetskaya, dashatraskovetskaja@yandex.ru, engineer, JSC NPO Almaz named after A. A. Raspletin, Moscow, Russia





- внедрено свыше 300 различных систем
- модернизировано свыше 250-ти приборов
- поставлено более 10-ти тысяч единиц измерительного инструмента

# 25 лет с Вами!



**НОВИНКА!**

## TomoScope XS

Новинка – впервые в России самый компактный измерительный томограф в мире – TomoScope XS производства Werth Messtechnik (Германия) для неразрушающего 3D контроля геометрии деталей с погрешностью до 4,5 мкм, поиска скрытых дефектов и обратного инжиниринга.

**TomoScope XS – большие возможности в малом формате!**

*Внесение в госреестр 2021 год.*

198099, Россия, Санкт-Петербург,  
Промышленная ул., д. 5  
Тел.: (812) 335-09-75  
E-mail: [info@uran-spb.ru](mailto:info@uran-spb.ru)  
[www.uran-spb.ru](http://www.uran-spb.ru)



с 24 по 28 мая 2021 в ЦВК «Экспоцентр»

**Металлообработка — 2021**  
Павильон № 7, зал 4, стенд № 74B01