



Лазер и вектор развития

Использование современных технологий позволило металлообрабатывающему предприятию занять особую нишу на рынке¹

Необходимость импортозамещения и увеличившийся гособоронзаказ позволили многим предприятиям машиностроения и металлообработки значительно увеличить объемы производства. Оборонщики и их смежники трудятся в две-три смены и ищут новых партнеров для обеспечения комплектующими. Но воспользоваться ситуацией и расширить присутствие на рынке все же смогут не все, а лишь те, кто в последние годы вкладывал средства в оборудование и внедрял современные и эффективные технологии.

За верность фотонике



Одно из таких предприятий – **Региональный центр лазерных технологий (РЦЛТ)** – было создано в 1997 году. Когда в России мало кто слышал о промышленных лазерах и еще меньше компаний пытались их применять, *Анатолий Сухов* создал Региональный центр листообработки. Загрузить импортную новинку – обрабатывающий центр Tgimprf – работой было непросто, т.к. заводы в то время значительную часть комплектующих изготавливали сами и использовали традиционные технологии металлообработки. Это сегодня лазеры есть едва ли не на каждом предприятии, а тогда в их перспективности и огромных возможностях нужно было убеждать и промышленников, и власти. Но *Сухов*, настоящий энтузиаст и фанат фотоники, четверть века шел выбранным курсом – прямо, словно по лазерному лучу. Несмотря на трудности, укреплял материальную базу предприятия и расширял его компетенции, аккумулировал в своем составе уникальных специалистов, в том числе и благодаря тесным связям с Лазерной ассоциацией, руководителем Уральского Регионального Центра и вице-президентом которой он является.

«РЦЛТ начинался как лазерный центр по

раскройке металла. Сегодня мы переросли в высокотехнологичное машиностроительное предприятие полного цикла», – с гордостью констатирует генеральный директор.

Теперь это промышленная площадка, занимающая 37 тысяч квадратных метров, на которой сосредоточены десятки современных станков и обрабатывающих центров (уже давно не только лазерных), и парк оборудования непрерывно пополняется. Предприятие выпускает

В номере:

- **Лазер и вектор развития (РЦЛТ)**
- **Представляем победителей Конкурса ЛАС-2022**
 - ▶ Акустооптический затвор для лазеров диапазона 2-3 мкм
 - ▶ Сплавной волоконно-оптический разветвитель конфигурацией 2x2 и 3x3 на волокне диаметром 80 мкм с сохранением поляризации как элемент волоконно-оптического гироскопа
 - ▶ Полутоновые отражающие калибровочные маски и лазерная технология их изготовления
- **ИНТЕРНЕТ-НОВОСТИ. объявление**

¹ *Расширенная версия публикации в Российской газете № 55 (9000), вкладка «Экономика УрФО».*

разнообразную продукцию по чертежам, эскизам либо 3D-моделям заказчиков. При необходимости разрабатывает и конструкторскую документацию на изготавливаемые изделия. Продукция зачастую уникальная – от деталей для ядерных установок и комплектующих для авиапрома до «кружевной» стелы из нержавеющей стали, установленной на въезде в Вологду.

К слову, *Анатолий Сухов* все эти годы не только развивает свою компанию, но и активно пропагандирует технологии фотоники, объединяя единомышленников. При его активном участии в УрФУ создана базовая кафедра и появилось направление «Лазерная техника и лазерные технологии» для подготовки кадров для предприятий по программе бакалавриата «Лазерные, аддитивные и упрочняющие технологии в машиностроении» и программе магистратуры «Интеллектуальные системы лазерных и аддитивных производств», а в 2022 году РЦЛТ открыл лазерную академию для школьников. Ежегодно около тысячи человек приходят на предприятие на экскурсию, чтобы увидеть, как работают промышленные лазеры.



Практикум для студентов-заочников свердловского Политехникума.

Вот и на XXIII международной выставке «Металлообработка. Сварка – Урал», которая в середине марта с.г. проходила в МВЦ «Екатеринбург-Экспо», РЦЛТ не только представил свои возможности на стенде, на котором все дни было полно посетителей, но и организовал конференцию «Лазерные, аддитивные и сварочные технологии в промышленности». Ученые, эксперты, представители бизнеса из разных городов, от Москвы до Владивостока, получили хорошую возможность обменяться опытом и обсудить отраслевые тенденции. А в заключение – побывать на уральском предприятии, которое начало внедрять лазеры одним из первых в России.

Варят даже титан

Действо, которое казалось чудом в конце 1990-х, когда яркий лучик аккуратно вырезает из стального листа детали любой, даже самой



причудливой формы, завораживает и сегодня. И лазерная резка, причем объемная, по-прежнему остается в числе базовых компетенций РЦЛТ. Но еще среди них лазерная объемная сварка, термоупрочнение, высокоточная гибка металла, традиционная аргодуговая сварка, гидроабразивная и газоплазменная резка, механообработка, изготовление сложных и габаритных металлоконструкций и т.д. Причем здесь могут варить лист толщиной до 160 миллиметров как из стали, так и из более «капризных» металлов, например, из алюминия, нержавеющей стали, титана. И не только обрабатывать с помощью лазера, но и фрезеровать, гнуть, наплавлять, выпуская очень сложные и весьма масштабные изделия. Кстати, собственный рекорд предприятия на сегодня – неразборная металлическая конструкция массой 32 тонны.

«А комплект корпуса цилиндра низкого давления для паровой турбины весит 138 тонн», – рассказывает исполнительный директор РЦЛТ *Роман Завадских*, проводя экскурсию по цехам. «Это внушительные толстостенные детали, каждая из которых значительно выше человеческого роста. Когда-то заготовки для них были литыми, и турбинистам приходилось тратить много времени и сил на заваривание дефектов литья», – поясняет начальник отдела инноваций *Игорь Кетов*. Современные технологии позволяют изготавливать сварные цилиндры, и РЦЛТ сумел за несколько месяцев освоить их производство, когда его ближайший сосед Уральский турбинный завод обратился с таким предложением – у энергомашиностроителей нынче столько заказов, что собственных мощностей и человеческих ресурсов уже не хватает.

Еще одно крупногабаритное изделие – кузов карьерного экскаватора ЭКГ-15 для Уралмашзавода. С 2020 года РЦЛТ поставил УЗТМ и «ИЗ-Картэкс» несколько десятков комплектов. Предыстория такая же: некогда крупнейшее машиностроительное предприятие, «завод заводов», едва не сгинувшее в годы гайдаровских реформ, возрождается, наращивает объем производства. Но при ограниченности ресурсов



ему приходится концентрироваться на основных компетенциях, выпуске наиболее сложных комплектующих, отдавая остальное на аутсорсинг. Лазерный центр с готовностью взялся за этот проект и доказал, что современные технологии металлообработки позволяют делать такие конструкции хорошо.

«Под запросы наших стратегических заказчиков – предприятий тяжелого машиностроения, ОПК, ТЭК – мы приобрели новое оборудование: только в 2022 году закуплено пять единиц, в том числе пятикоординатный обрабатывающий центр и другие современные станки», – коммерческий директор РЦЛТ Евгений Кунгуров показывает, в частности, еще не полностью распакованный порталный фрезерный центр. – *Сейчас идет утверждение инвестпрограммы на 2023 год: планируем приобрести еще два или три новых станка».*

Эксклюзив и серия

Интересных и перспективных проектов в последние годы у РЦЛТ немало. Например, с 2018 года предприятие начало изготавливать газоплотные двери для коксовых батарей. Несколько таких уже стоят на ММК, а та, что сейчас в цехе, предназначена для ЕВРАЗ НТМК. Как подчеркивает начальник технологического отдела *Денис Егоров*, благодаря таким дверям вредные выбросы коксохимического производ-



ства, от которых очень страдают жители Магнитогорска и Нижнего Тагила, заметно снизились.

Или взять титановый каркас антенной решетки для корабля, состоящий более чем из 370 деталей: этот заказ предполагает огромный объем сварки и высокую точность исполнения. А рекуператор для сталелитейной промышленности – 27-тонная конструкция, включающая 633 панели. *«Для их изготовления пришлось выполнить 47,5 километра лазерного шва»,* – уточняет *Игорь Кетов*. Важно, что производство новых и весьма непростых видов продукции в РЦЛТ осваивают в рекордные сроки: скажем, камеру грязного газа ионного фильтра диаметром 4,5 метра и высотой 4 метра из титана сделали за два месяца. И подобных примеров множество.

«За некоторые изделия между производителями нет конкуренции – их не умеет делать практически никто. А мы решаем такие сложные технологические задачи», – говорит начальник коммерческого отдела РЦЛТ *Евгений Зашихин*. – *Но следующая цель – серийное производство: около 15 процентов продукции останется эксклюзивной, остальное должно идти в серию, чтобы повысить экономическую эффективность производства».*

Гость из Владивостока *Денис Кильдюшев*, технический директор компании «СтальГрад», побывав на уральском предприятии, признался: *«У вас очень сложные изделия, наш ассортимент попроще. У нас в регионе вообще мало кто берется за эксклюзив – в основном из-за отсутствия квалифицированных кадров».*

Коллектив – еще одно важнейшее достижение РЦЛТ. Квалификация рабочих здесь очень высокая, а технологи и инженеры нередко с нуля разрабатывают технологии производства новых сложных продуктов, многие из которых запатентованы. Ну а подготовкой молодого пополнения компания занимается давно и целенаправленно в партнерстве с УрФУ и Екатеринбургским политехникумом.

«Задача РЦЛТ – стать инжиниринговым центром. Сегодня мы являемся интегратором: в связке с нашими специалистами работают конструкторы крупнейших предприятий-заказчиков. Нужно и дальше наращивать компетенции и формировать инжиниринговое ядро – такой запрос есть на рынке», – рассуждает руководитель проектов РЦЛТ *Сергей Лихачев*.

Как утверждает *Анатолий Сухов*, за последние пять лет число промышленных лазеров в России удвоилось. Однако мы видим, что далеко не все, кто их приобрел, сумели развернуть с их помощью эффективное производство и выйти на новый уровень развития. Екатеринбургцам это удалось.

Представляем победителей Конкурса ЛАС (2023) на лучшую отечественную разработку в области лазерной аппаратуры и лазерно-оптических технологий, вышедшую на рынок в 2021-2022гг.

*Номинация «Источники лазерного излучения и их компоненты,
устройства управления лазерным лучом и его транспортировки»
(конкурс имени М.Ф.Стельмаха)*

Диплом I степени

Акустооптический затвор для лазеров диапазона 2-3 мкм

*Авторский коллектив: В.Я.Молчанов, К.Б.Юшков, А.И.Чижиков, В.В.Гуров,
С.П.Аникин, Н.Ф.Науменко, Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический
университет «МИСИС» (НИТУ МИСИС), Москва*



Последние годы ха-
рактерны появлением
новых мощных импульс-
ных лазеров среднего

ИК-диапазона (Ho^{3+} :YAG, 2,1 мкм [1]; Fe^{2+} :ZnS, 3,49-4,65 мкм [2], Cr^{2+} :CdSe, 2,26-3,61 мкм [3] и др. Созданы фемтосекундные лазерные системы с усилителями Fe^{2+} :ZnSe, 4-5 мкм [4], с усилителями на поликристаллах Cr:ZnS и Cr:ZnSe, 1,9-3,4 мкм и на поликристаллах Fe:ZnS и Fe:ZnSe, 3,4-5 мкм [5]. В лазерах среднего ИК-диапазона применяются механические затворы, электрооптические, пассивные затворы на основе жидкостей или кристаллов, например, на Fe^{2+} :ZnSe [6]. Акустооптические (АО) затворы в среднем ИК-диапазоне практически не применяются. Исключения – в публикациях [7,8].

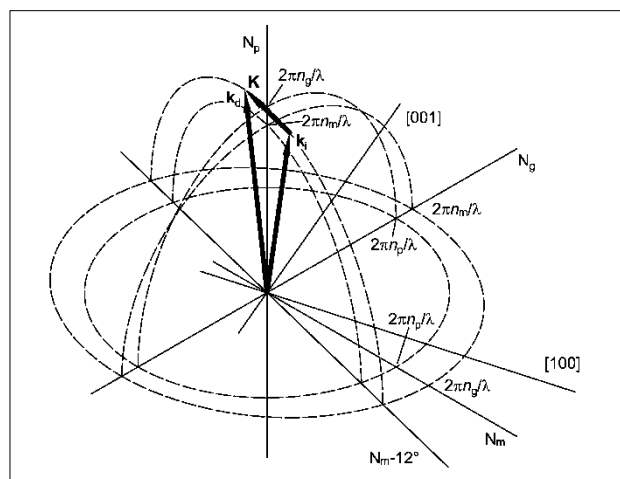


Рис.1 Векторная диаграмма изотропной дифракции в АО-затворе на медленной квазисдвиговой (QS) моде.

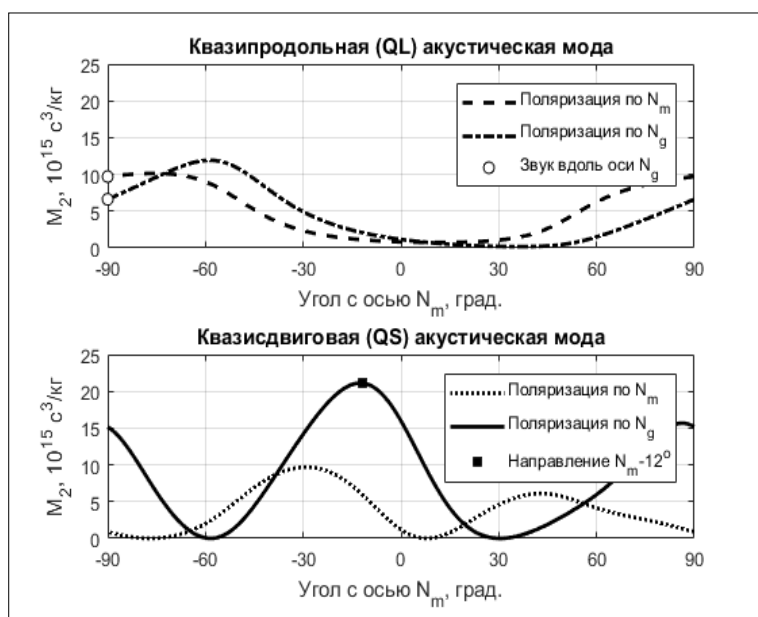


Рис.2 АО-качество M_2 монокристалла КИВ в плоскости N_mN_g .

В лазерных АО-затворах используют плавный или кристаллический кварц SiO_2 , который имеет высокий порог лазерного разрушения, но низкое АО-качество M_2 , определяющее потребляемую ВЧ-мощность. Особенностью АО-устройств является квадратичная зависимость потребляемой мощности от длины волны оптического излучения. Типичный лазерный АО-затвор на основе кварца с апертурой 3 мм на длине волны 1,064 мкм потребляет ВЧ-мощность порядка 30 Вт. При работе на длине волны 2,1 мкм (гольмиевый лазер Ho^{3+} :YAG) при прочих равных условиях теоретически потребуется управляющая ВЧ-мощность порядка 120 Вт. Эта фундаментальная особенность АО-взаимодействия является серьезным ограничивающим фактором в применении

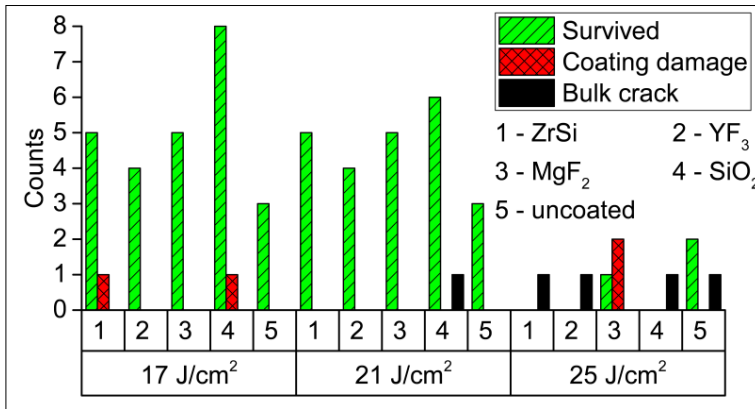


Рис.3 Лазерная стойкость монокристалла КИВ вдоль оси Np.

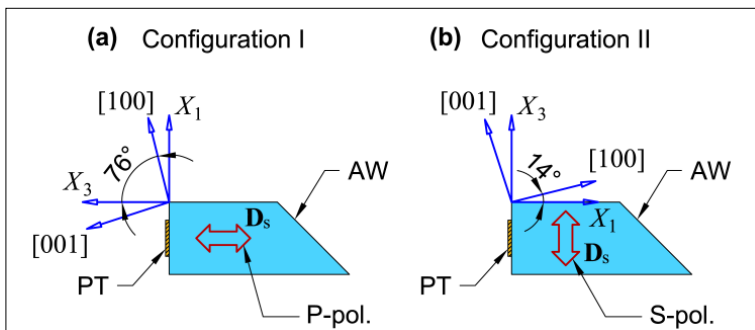


Рис.4 Две конфигурации АО затвора на монокристалле КИВ.

АО-затворов в новых мощных лазерах среднего ИК диапазона длин волн.

В НТУЦ Акустооптики НИТУ МИСИС освоено серийное производство АО лазерных затворов для 2-3 мкм диапазона длин волн с управляющей мощностью порядка 10 Вт на длине волны 2,1 мкм на основе лазерного кристалла КИВ ($KY(WO_4)_2$) группы калий-редкоземельных вольфраматов $KRE(WO_4)_2$, где $RE=Y, Yb, Gd, Lu$.

Кристаллы группы $KRE(WO_4)_2$, относящиеся к группе симметрии $2/m$ моноклинной сингонии, оптически двуосные, одна из осей симметрии эллипсоида показателей преломления N_p , совпадает с кристаллографической осью $[010]$. Две другие оси симметрии N_m и N_g лежат в плоскости (010) и образуют декартову систему координат. Векторная диаграмма изотропного АО взаимодействия в лазерном затворе на квазисдвиговой акустической моде (QS) показана на рис.1 (RU 2699947 С1 от 06.03.2019).

Упругие и фотоупругие свойства калий-редкоземельных вольфраматов $KRE(WO_4)_2$ частично исследованы в работе [9]. Установлено, что АО-качество M_2 кристаллов группы $KRE(WO_4)_2$ в отдельных срезах в несколько раз может превышать АО-качество M_2 плавленного кварца. АО-качество M_2 для изотропной дифракции на квазипродольной (QL) и квазисдвиговой (QS) акустических модах в плоскости $N_m N_g$ в монокристалле КИВ показано на рис.2 (RU 2699947 С1 от 06.03.2019).

В разработанном АО-затворе впервые используется квазисдвиговая (QS) акустическая

мода, более эффективная, чем квазипродольная (QL). АО-затвор не имеет зарубежных и отечественных аналогов (патенты на изобретение RU 2699947 С1 от 06.03.2019; RU 2778035 С1 от 12.04.2022; EA 039035 В1 от 24.11.2021; заявка на патент WO 2020/180205 А1 от 10.09.2020).

Лазерная стойкость монокристалла калий-итриевого вольфрамата $KY(WO_4)_2$ с различными просветляющими покрытиями при распространении импульсного лазерного излучения (25 нс; 2,1 мкм) вдоль оси Np монокристалла перпендикулярно плоскости симметрии измерена в [7] и приведена на рис.3. Большинство образцов выдерживают уровень плотности энергии 21 Дж/см².

Разработаны две конфигурации лазерного АО-затвора. Ориентации кристалла КИВ для этих конфигураций показаны на рис.4. Конфигурация I (а) предназначена для работы с горизонтальной поляризацией лазерного излучения P-pol. Конфигурация II (в) – для вертикальной поляризации S-pol. Для

обеих конфигураций скорость квазисдвиговой (QS) акустической моды одна и та же – 2260 м/с.

Затвор (рис.5) изготовлен в НТУЦ Акустооптики (RU 2762515 С1 от 31.07.2020) методом оригинальной вакуумной нанотехнологии с образованием твердых растворов в связующих нанослоях. АО-устройства, изготовленные по этой технологии, не имеют химических или физических механизмов деградации параметров во времени и при воздействии внешних воздействующих факторов; соответствуют группе климатического исполнения УХЛ категория 4.1 по ГОСТ 15150-69 и группе механического исполнения М23 по ГОСТ 30631-99.

Основные характеристики двух конфигураций АО-затвора [7] приведены в табл.1. Рекордно

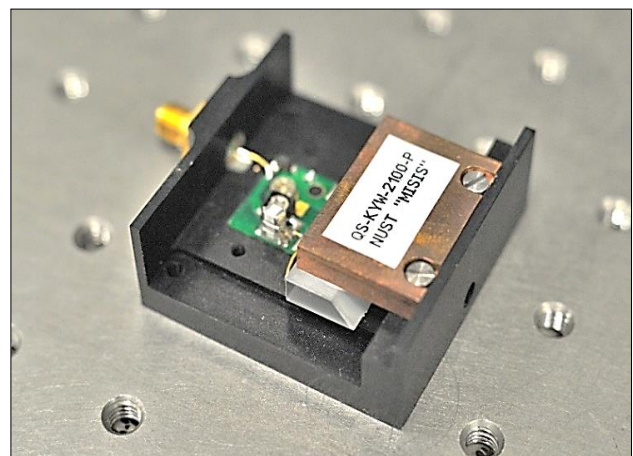


Рис.5 АО затвор на основе монокристалла КИВ.

Табл.1 Параметры АО затвора на основе монокристалла КИВ

Parameter	Configuration I	Configuration II
Design parameters		
Light polarization ^(a)	P (horizontal)	S (vertical)
Acoustic direction	X ₃ ([100] + 76°)	X ₁ ([100] – 14°)
Figure of merit M ₂ , 10 ⁻¹⁵ s ³ /kg	17	18
Acoustic velocity v, m/s		2260
Frequency, MHz		50.0
Aperture, mm		2.0
Test results at λ = 1.06 μm		
Nominal RF power ^(b) , W	1.0	1.2
Maximum RF power, W	4.0	4.0
Maximum efficiency, %	96	95
Test results at λ = 2.1 μm		
Nominal RF power ^(b) , W	6.2	7.2

^(a) Relative to base plane.
^(b) At 50% diffraction efficiency.

низкое энергопотребление АО-затвора (порядка 6 Вт в конфигурации I на длине волны 2,1 мкм при апертуре 2 мм) позволяет применять его в среднем ИК-диапазоне, не доступном для традиционных АО-затворов на основе кварца.

Литература

- [1]. П.А.Рябочкина, А.Н.Чабушкин, Н.Г.Захаров и др. Перестраиваемая лазерная генерация в двухмикронном диапазоне спектра на кристаллах кальций-ниобий-галлиевого граната, легированного ионами Ho³⁺ // *Квант. Электрон.*, Т.47, №.7, С.607, 2017.
 [2]. V.I.Kozlovskii, Yu.V.Korostelin, A.I.Landman, et al. Pulsed Fe²⁺:ZnS laser continuously tunable in the wavelength range of 3.49-4.65 μm // *Opt. Lett.*, V.41, no.1, P.1, 2011.

[3]. В.А.Акимов, В.И.Козловский, Ю.В.Коростелин и др. Эффективный импульсный Cr²⁺:CdSe-лазер с плавной перестройкой длины волны в спектральном диапазоне 2.26-3.61 мкм // *Квант. Электрон.*, Т.38, №.3, С.205, 2008.

[4]. Б.Г.Бравый, В.М.Гордиенко, В.И.Козловский и др. Мощная фемтосекундная лазерная система среднего ИК-диапазона (4-5 мкм) с использованием широкополосного усилителя на кристалле Fe²⁺:ZnSe // *Изв. РАН. Сер. Физ.*, Т.80, №.4, P.489, 2016.

[5]. S.Vasilyev, I.Moskalev, M.Mirov et al. Ultrafast middle-IR lasers and amplifiers based on polycrystalline Cr:ZnS and Cr:ZnSe // *Opt. Mater. Express*, V.7, no.7, P.2636, 2017.

[6]. А.А.Воронов, В.И.Козловский, Ю.В.Коростелин и др. Пассивный затвор на основе

монокристалла Fe²⁺:ZnSe для модуляции добротности лазеров трехмикронного диапазона // *Quant. Electr.*, *Квант. Электрон.*, Т.36, №.1, С.1, 2006.

[7]. A.V.Pushkin, M.M.Mazur, A.A.Sirotkin et al. Powerful 3-μm lasers acousto-optically Q-switched with KYW and KGW crystals // *Opt. Lett.*, V.44, no.19, P.4837, 2019.

[8]. A.I.Chizhikov, A.V.Mukhin, N.A.Egorov et al. High-efficiency KYW acousto-optic Q-switch for a Ho:YAG laser // *Opt. Lett.*, V.47, P.1085, 2022.

[9]. M.M.Mazur et al. Elastic and photo-elastic characteristics of laser crystals potassium rare-earth tungstates KRE(WO₄)₂, where RE=Y, Yb, Gd and Lu // *Ultrasonics*, V.54, P.1311, 2014.

* * *

Номинация «Оптическая связь и фотонная информатика»

Диплом I степени

Сплавной волоконно-оптический разветвитель на волокне с сохранением поляризации диаметром 80 мкм конфигурацией 2x2 и 3x3 как элемент волоконно-оптического гироскопа

Авторский коллектив: П.Е.Железов, М.С.Алимбеков, С.А.Смирнов,
 АУ «Технопарк-Мордовия», г.Саранск, Республика Мордовия



Сплавные волоконно-оптические компоненты, в том числе разветвители, применяются в различных

оптических системах. Эти устройства являются неотъемлемой частью всех типов волоконных лазеров и усилителей, используются в волоконно-оптических приборах, датчиках, сетях связи и телекоммуникации. Волоконно-оптичес-

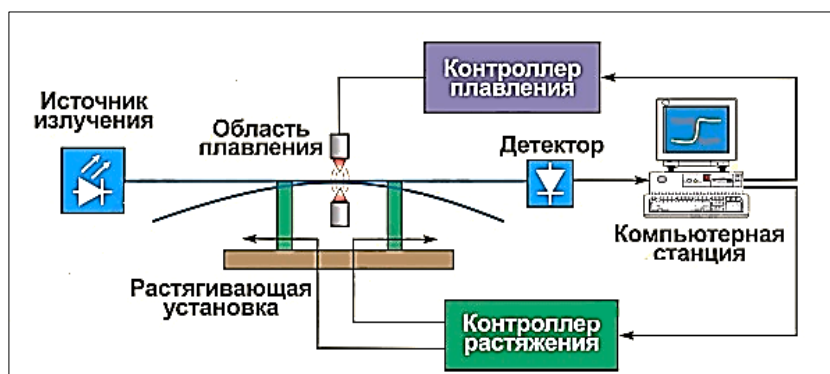


Рис.1 Схема системы для изготовления сплавных разветвителей.

кие разветвители с сохранением поляризации применяются в лазерах с линейно поляризованным выходным излучением, а также как элементы фазовых детекторов и гироскопов, систем связи с квантовым распределением ключей.

В настоящее время на отечественном рынке существует потребность в сплавных волоконно-оптических компонентах, в том числе на волокне с сохранением поляризации. Одно из активно развивающихся направлений – это волоконно-оптические гироскопы, в которых в качестве чувствительного элемента используют одномодовое анизотропное волокно типа Panda

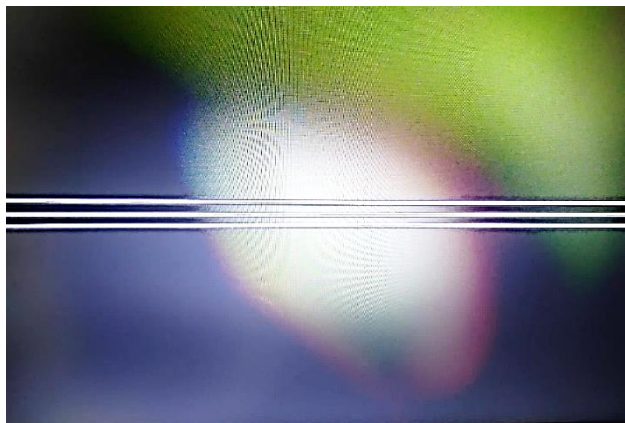


Рис.2 Три оптических волокна, подготовленных для сплавления.

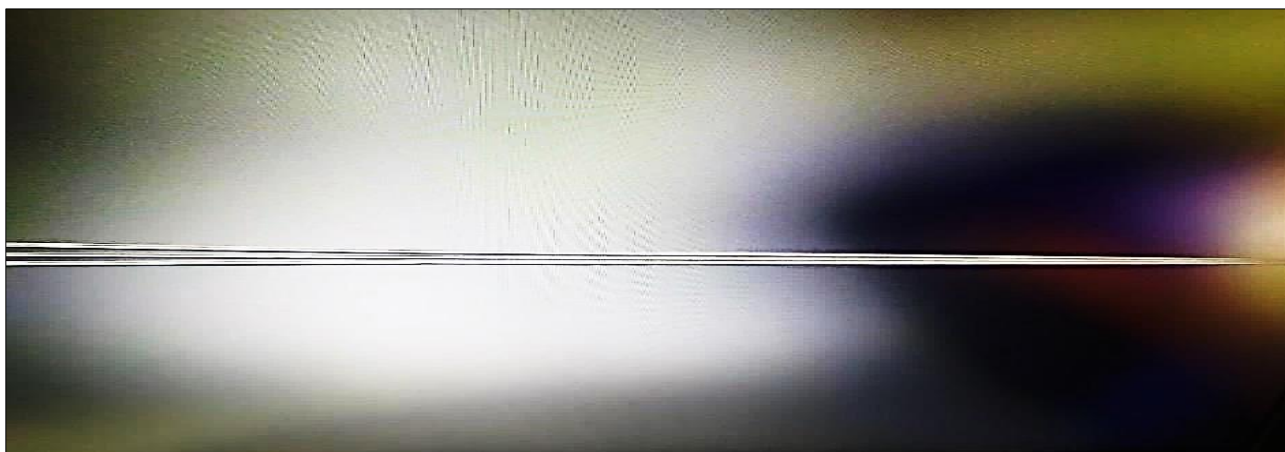


Рис.3 Волокна разветвителя после сплавления.

диаметром 80 мкм, способное сохранять поляризацию вводимого в него излучения. Одними из основных компонентов волоконно-оптических гироскопов являются волоконно-оптические разветвители на специальном оптическом волокне с сохранением поляризации.

Такие волокна имеют сильное внутреннее двулучепреломление, такое, что при условии, что свет заводится в волокно параллельно одной из осей двулуче-

преломления, поляризация света в волокне будет сохранена, т.е. останется линейной, даже если волокно согнуто. Обычный метод создания сильного двулучепреломления – включение в заготовку двух (не обязательно цилиндрических) стержней напряжения с измененным составом стекла (с другой степенью теплового расширения) по разные стороны от сердцевины. Когда волокно вытягивается из такой преформы, эти дополнительные элементы вызывают механическое напряжение с четко определенной ориентацией. Также эти стержни используются для ориентации волокон при сварке и сплавлении.

При изготовлении сплавных волоконно-оптических разветвителей с сохранением поляризации существует возможность непосредственного визуального контроля положения и ориентации стержней в волокне. Это позволяет вращать волокно и непрерывно контролировать положение стержней для максимально точного выставления и ориентирования волокон перед процессом сплавления.

Технология изготовления сплавных волоконно-оптических разветвителей представляет собой сплавление боковыми поверхностями двух или трёх оптических волокон (в зависимости от конфигурации) при вытягивании и нагреве, например, пламенем водородной горелки. Процесс изготовления осуществляется с

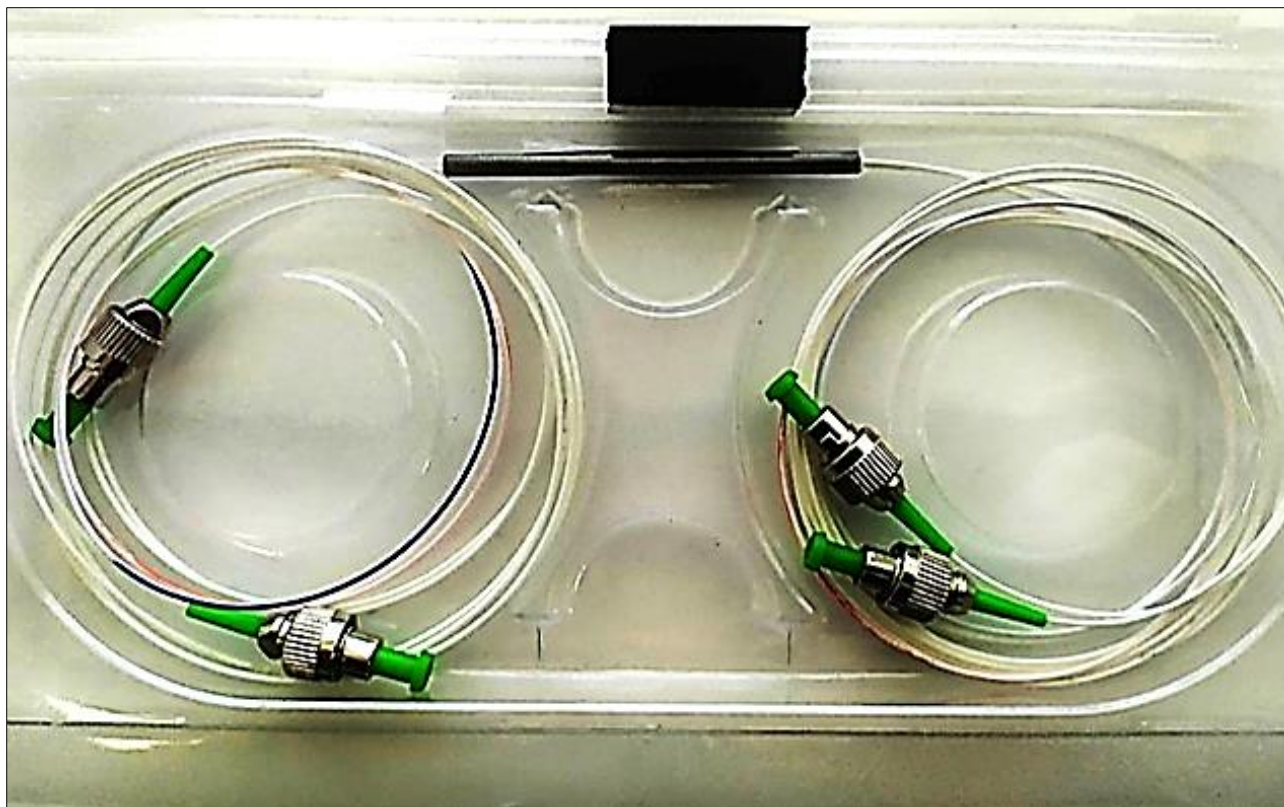


Рис.4 Волоконно-оптический разветвитель.

постоянной подачей оптической мощности на вход будущего разветвителями и контролем оптических мощностей в выходных плечах изготавливаемого разветвителя. По достижении необходимого деления мощности между выходными плечами сплавного волоконно-оптического разветвителя, процесс останавливается (*рис.1*).

На *рис.2* показаны расположенные параллельно три оптических волокна, подготовленных для сплавления:

Изготовление разветвителей мощности, сохраняющих поляризацию проходящего сигнала, требует взаимного установления волокон по отношению к направляющим стержням перед сплавлением. Вращение волокон для установления взаимной ориентации направляющих стержней выполняется с помощью специального устройства поворота, которое позволяет в ручном режиме повернуть волокна для установления необходимой взаимной ориентации направляющих стержней. Положение направляющих стержней волокон контролируется микроскопом. Для повышения контраста изображения волокна помещаются в иммерсионную жидкость. После установления требуемой взаимной ориентации направляющих стержней выполняется технологический этап сплавления.

Процесс сплавления волокон характеризуется такими параметрами как температура пламени горелки, время сплавления, скорость перемещения горелки, зависимость температуры

пламени горелки от времени. Процесс сплавления контролируется в режиме реального времени по измерению коэффициента деления мощности разветвителя и вносимым потерям (*рис.3*).

После завершения процесса сплавления полученный разветвитель заклеивается в кварцевую подложку, а место сплавления защищается термоусаживаемой трубкой. При необходимости дополнительной механической защиты разветвитель устанавливается в металлическую трубку с керамическими заглушками, волокна помещаются в защитную трубку, устанавливаются коннекторы (*рис.4*).

Изготавливаемые по разработанной технологии сплавные волоконно-оптические разветвители имеют характеристики, необходимые для использования их как элементов оптической схемы волоконного гироскопа. В *табл.1* приведены основные характеристики разветвителя АУ «Технопарк-Мордовия» в сравнении с зарубежным аналогом.

Стоит подчеркнуть, что в АУ «Технопарк-Мордовия» при изготовлении данных разветвителей используется специальное волокно российского производства, а основные технические характеристики соответствуют лучшим мировым аналогам.

Представленные разветвители были разработаны в 2021г. и выведены на рынок в 2022-м. В течение 2021-2022гг. были выполнены экспериментальная научная работа, научно-исследо-

Табл.1 Сравнение характеристик разветвителя производства АУ «Технопарк-Мордовия» с зарубежным аналогом

№ п/п	Наименование параметра	Разработанный разветвитель	Аналог Seagnol (Китай)
1	Оптическое волокно	Panda 80 ПАО «ЛНППК»	PM 1550 RC 80 fiber YOFC
2	Рабочий диапазон длин волн, нм	1550±20	1550±15
3	Прямые потери, не более, дБ	0,4	0,5
4	Коэффициент экстинкции, не менее, дБ	18	16
5	Отклонение коэффициента деления мощности, не более, %	2,0	3,5

вательская работа и опытно-конструкторская работа по теме сплавных волоконно-оптических разветвителей на волокне с сохранением поляризации диаметром 80 мкм конфигурацией 2x2 и 3x3.

После изготовления опытных образцов и последующей апробации в 2022 году были осуществлены первые коммерческие поставки.

Лаборатория по изготовлению сплавных волоконно-оптических компонентов АУ «Технопарк-Мордовия» на данный момент является единственной в России, где изготавливаются

сплавные волоконно-оптические компоненты на волокне с сохранением поляризации, которые успешно применяются при разработке новых и выпуске серийных изделий российскими производителями оптоэлектронной продукции.

Также продолжают работы по разработке новых типов сплавных волоконно-оптических компонентов на специальном оптическом волокне для удовлетворения текущих потребностей рынка и замены зарубежных аналогов отечественными устройствами.

Номинация «Информационно-управленческие технологии и системы фотоники»

Диплом I степени

Полутоновые отражающие калибровочные маски и лазерная технология их изготовления

Авторский коллектив:

***Р.И.Куц, В.П.Корольков, А.Р.Саметов, ИАиЭ СО РАН, г.Новосибирск
А.П.Михайлович, М.С.Петров, С.В.Сомина, А.Л.Козерчук,
ООО «СИАМС», г.Екатеринбург***



Оптическая микроскопия является одним из основных методов исследования морфологии материалов, изучения их фазовых и структурных составляющих. Объектами испытаний и контроля являются металлы, сплавы, волокна, слои и покрытия, композитные материалы и т.д. С появлением автоматизированных систем анализа изображения этот вид исследования становится менее трудоемким, а значит более технологичным и востребованным.

Несмотря на разнообразие методик исследования микроструктуры материалов количество стандартных образцов (СО) для них чрезвычайно мало, а имеющиеся по уровню утвер-

ждения относятся к категории отраслевых стандартных образцов и стандартных образцов предприятий и, в большинстве случаев, выпускаются в виде единичных экземпляров.

Возможности серийного выпуска стандартных образцов материалов, пригодных для метрологического обеспечения методик измерений морфологических параметров материалов, основанных на методе оптической микроскопии, ограничены, так как важными признаками СО является стабильность и однородность. Как правило, перед исследованием материал требует специальной подготовки исследуемой поверхности, которая остается



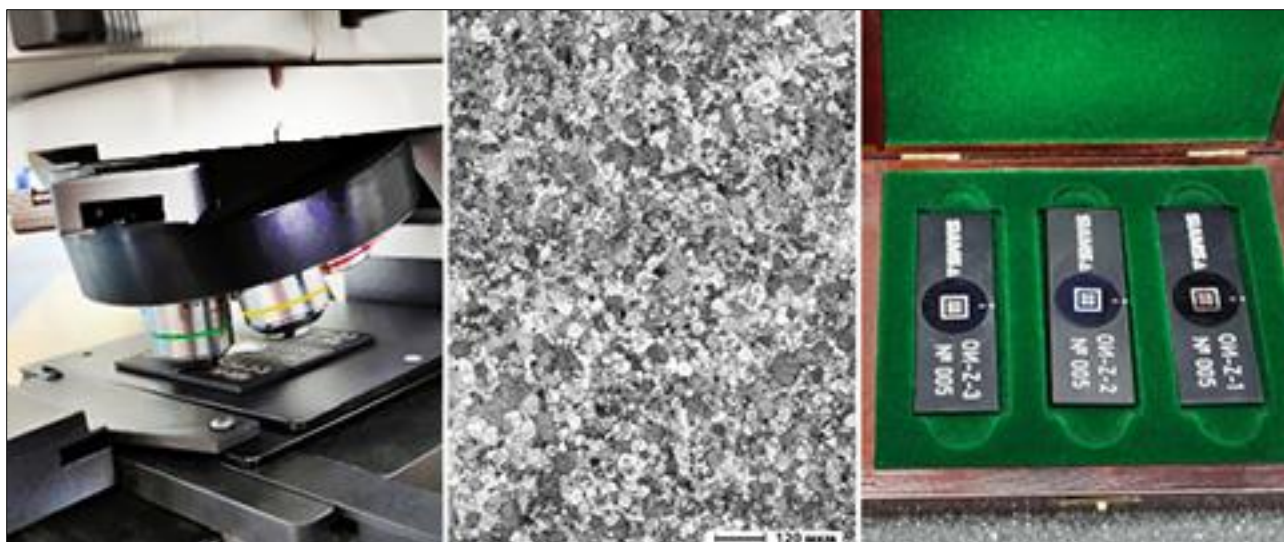


Рис.1 Микроскопические измерения стандартных калибровочных масок (слева); полутонное изображение структуры материала в отраженном свете (в середине); полутонные калибровочные маски (справа).

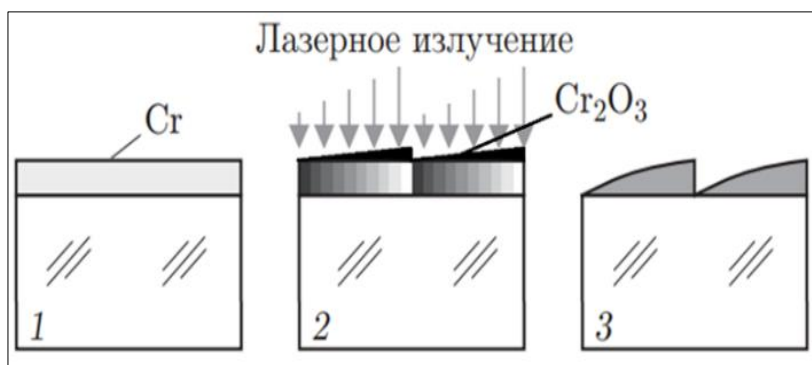


Рис.2 Технологические этапы создания отражающей полутонной калибровочной маски:

1 – напыление пленки хрома, 2 - термохимическая лазерная запись, 3- селективное травление через оксидную маску.

неизменной и пригодной для анализа ограниченное непродолжительное время. Подготовка может включать такие операции как шлифовка и полировка, а также различные виды химического и физического воздействия с целью выявления интересующих элементов микроструктуры. Для повторного исследования образец готовится заново. Гарантировать однородность микроструктуры во всем объеме образца, т.е. неизменность аттестованной характеристики, возможно не всегда. Существуют также материалы, требующие специальных, дорогостоящих способов транспортировки, обусловленных соображениями безопасности.

Созданные с использованием лазерных технологий полутонные калибровочные маски (рис.1) лишены приведенных выше недостатков. Они содержат элементы структуры заданного размера, обладают высокой стабильностью и контролируемой однородностью в пределах плоскости образца, не требуют специальных дорогостоящих условий эксплуатации и транспортировки, компактны. Подготовка об-

разца к измерениям не приводит к изменению структуры его поверхности независимо от количества проведенных исследований, так как не требуются шлифовка, полировка, травление и другие виды воздействия. Эти преимущества образцов облегчают процедуру их аттестации (сертификации). Образцы могут использоваться для различных видов метрологических работ: при валидации (аттестации) методик измерений, при оценке пригодности методик измерения, контроле правильности, оценке смещения результатов измерений, подтверждении степени эквивалентности результатов измерений двух или более лабораторий. Предлагаемый новый продукт востребован испытательными лабораториями и операторами межлабораторных сличительных (сравнительных) испытаний как стандарт для материаловедческой микроскопии.



Рис.3 Круговая лазерная записывающая система CLWS-300IAE.

Табл.1 Технические характеристики отражающих полутонных калибровочных масок

Материал калибровочной маски	хромовая пленка переменной толщины на низко-отражающей диэлектрической подложке
Пространственное разрешение калибровочной маски	не хуже 1 мкм
Размер адресной сетки при лазерной записи калибровочных масок	не более 250 нм
Динамический диапазон относительного изменения коэффициента отражения в структуре калибровочной маски	не хуже 8
Отклонение от локального заданного уровня отражения	не более 10%.

Для изготовления полутонных отражательных калибровочных масок была разработана лазерная термохимическая технология (рис.2) формирования наноразмерного трехмерного рельефа на хромовой пленке, нанесенной на стеклянную подложку. Технология базируется на результатах фундаментальных исследований, посвященных методам записи бинарных фотошаблонов, проведенных научными коллективами под руководством В.П.Вейко (ИТМО) и А.Г.Полещука (ИАиЭ СО РАН). В рамках нового НИОКР, выполненного по заказу ООО «СИАМС», удалось найти режимы высокоточной лазерной обработки и химического травления, позволившие перейти от бинарных пропускающих фотошаблонов к полутонным отражающим с высоким контрастом модуляции коэффициента отражения.

Процесс лазерной записи ведется на разработанной в ИАиЭ СО РАН круговой лазерной записывающей системе CLWS-300IAE (рис.3) с длиной волны записывающего лазера 532 нм и диаметром записывающего пятна менее 700 нм. Стеклянная заготовка, покрытая пленкой хрома, устанавливается на планшайбе аэро-

статического шпинделя и вращается с постоянной скоростью. Сфокусированный записывающий пучок перемещается вдоль радиуса и модулируется в соответствии с радиальной координатой и структурой изготавливаемой маски.

В табл.1 приведены технические характеристики отражающих полутонных калибровочных масок.

Существующие в мире аналоги полутонных микроизображений изготавливаются на мягких материалах – пленках халькогенидов, фоточувствительных эмульсий, олова и его сплава. С точки зрения механической стойкости отражающие маски на таких материалах не идут ни в какое сравнение с калибровочными масками, изготавливаемыми на пленках хрома по термохимической лазерной технологии. Еще одним преимуществом нашей технологии является то, что задействуются широко распространенные материалы – стандартные заготовки с хромовым напылением, используемые для изготовления фотошаблонов в микроэлектронике. Предлагаемый нами новый продукт уникален на мировом уровне и будет востребован как стандарт для материаловедческой микроскопии.

ИНТЕРНЕТ-НОВОСТИ

Китай может использовать мощное лазерное оружие для взлома американских спутников

Военная база в глубине западного Китая необычайно активна, когда над ее головой находятся иностранные спутники — признак того, что Пекин может использовать лазерное оружие для их электронного зондирования. Считается, что на Восточном испытательном полигоне Корла, расположенном в провинции Синьцзян, находится как минимум два китайских лазерных оружия. Правительство США считает, что Китай пытается лишить его огромных достижений в области спутниковых технологий, повреждая или даже захватывая военные спутники, чтобы не допустить их использования в военное время.

Согласно Army Technology, на Восточном испытательном полигоне Корла размещены два ла-

зерных оружия, и они наиболее активны в «солнечный полдень», или в тот момент, когда солнце находится точно к югу от лазерного испытательного полигона. Солнечный полдень — благоприятное время для спутников-шпионов и других спутников обработки изображений на солнечно-синхронной орбите —, орбитальном пути, который проходит с севера на юг над Северным и Южным полюсами. Спутник-шпион на солнечно-синхронной орбите может отображать одно и то же место в солнечный полдень каждый день с максимальным солнечным светом над областью изображения на Земле. Это полезно не только для максимальной четкости изображения, но и для наблюдения за ежедневными изменениями.

Лазерное оружие изначально создавалось как противоспутниковое (ASAT). Китайские военные изучили недавние западные военные кампании, особенно американские, и пришли к выводу, что военные спутники дают огромное преимущество в современных боевых действиях. Спутники-шпионы могут заглянуть вглубь Китая, а спутники GPS позволяют западным силам легко перемещаться за тысячи миль от дома. Военные спутники связи

позволяют воздушным, наземным и военно-морским силам, действующим в самых отдаленных уголках Земли, связываться с Пентагоном и другими штабами в режиме реального времени. Ухудшение или уничтожение этого потенциала помещает иностранным силам действовать на заднем дворе Китая, особенно на Тайване.

<https://www.popularmechanics.com/military/weapons/a43756144/china-laser-weapons-hack-american-satellites/>

Международное агентство социально-экономического развития совместно с Русско-Азиатским Союзом промышленников и предпринимателей организует бизнес-миссию **«25-я Международная выставка оптоэлектроники СЮЕ 2023.**

Глобальная конференция по оптоэлектронике 2023»

4-9 сентября 2023г., г.Шеньчжэнь, провинция Гуандун, КНР

СЮЕ 2023 – это одно из самых заметных в мире событие в сфере информатики и связи. Более 3000 ведущих игроков отрасли соберутся под одной крышей, чтобы продемонстрировать всю цепочку поставок оптоэлектроники, охватывающую микросхемы, компоненты, устройства, оборудование и даже прикладные решения.

В рамках мероприятия пройдут специализированные международные выставки:

- Information and Communication Expo
- Lasers Technology & Intelligent Manufacturing Expo
- Infrared Applications Expo
- Precision Optics Expo & Camera Expo
- Photonics Innovation and Display Expo
- Intelligent Sensing Expo

Кроме выставки СЮЕ 2023 планируется проведение **Глобальной конференции оптоэлектроники OGC**

с целью внедрения научных достижений в области оптоэлектроники в промышленное производство и сотрудничества Китая с остальным миром.

В рамках данного события состоятся 10 конференций по темам, охватывающим ▶прецизионную оптику, ▶ оптическую связь, ▶ лазеры, ▶инфракрасные приложения и ▶волоконные датчики. В ней примут участие эксперты, руководство научно-исследовательских институтов, военных предприятий и оптоэлектронных компаний. Ожидается участие более 500 специалистов.

Основная задача бизнес-миссии – реализация совместных российско-китайских проектов в сфере оптоэлектроники
(Программа и Презентация на сайте <http://www.maser-optoelectronics.ru>).

К участию в бизнес-миссии приглашаются производители телекоммуникационного оборудования, промышленной электроники, систем безопасности, автоэлектроники, медицинской электроники, потребительской электроники, а также компании оборонно-промышленного комплекса и российские дистрибьюторы электронных компонентов.

Контактные лица по вопросам участия: Елена Иванова, тел.: +7 495 233 48 92
Дмитрий Чернов тел.: +7 906 776 60 71 Илья Гусев тел.: +7 926 078 68 79

«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