



**Член-корреспондент РАН Виктор Иванов:**

## **«Квантовое бессмертие не за горами»**

*Что такое квантовые технологии и чем они отличаются от привычных? На каких принципах они построены и что могут дать людям? Что такое сегнетоэлектрическая память или принтер плазмонных наноструктур? Может ли наступить квантовое бессмертие и как это будет? Об этом и многом другом мы беседуем с директором Института квантовых технологий МФТИ членом-корреспондентом РАН **Виктором Владимировичем Ивановым**.*



**Виктор Владимирович, ваш Институт квантовых технологий был создан сравнительно недавно. Для чего?**

— Создание Института стало одним из важнейших элементов общей стратегии Физтеха, направленной на то, чтобы здесь не только проводились фундаментальные исследования, но чтобы результаты таких исследований применялись на практике для создания устройств и технологий, которые можно непосредственно передавать в производство. С этой целью создается сеть прикладных исследовательских институтов внутри МФТИ. Одним из них стал Институт квантовых технологий.

**— Какие конкретные задачи стоят перед вашим Институтом?**

— Это поисковые научные исследования, поиск того, что может быть актуальным в ближайшей и среднесрочной перспективе. Затем это необходимо довести до технологий, которые можно поставить на производство или довести до конкретного устройства и, разработав соответствующую документацию, передать на производство.

В этом ряду у нас стоит также подготовка специалистов, которые были бы обучены не только на научных поисковых исследованиях, но и на

прикладных, чтобы ребята смогли затем пойти на подобные производства и сразу же погрузиться в них, умели сами организовывать такие производства. Мы надеемся, что из тех, кто будет проходить у нас научно-исследовательскую работу, может получиться много инициаторов разных стартап-проектов. Мы готовим для них соответствующее образование. Безусловно, Институт направлен на разработку тех технологий и устройств, которые опираются на квантовые технологии и принципы, на эффекты квантования, управляемые законами квантовой механики.

— **Это сейчас очень популярное словосочетание — «квантовые технологии». Все об этом слышали, многие об этом говорят, совершенно не понимая, что это такое. Давай-**

### **В номере:**

- **Квантовое бессмертие не за горами**  
*В.В.Иванов*
- **ПО СЛЕДАМ НАШИХ ПУБЛИКАЦИЙ.**  
**Пара слов в защиту импульсной мощности**  
*В.П.Минаев*
- **ХРОНИКА.**
  - ▶ HOLOEXPO-2023
  - ▶ Хубэй – ЛАС: сотрудничество в фотонике
- **ИНТЕРНЕТ-НОВОСТИ. Объявления**

**те попробуем объяснить, насколько это возможно: чем квантовые технологии отличаются от всех остальных?**

— Квантовая физика отличается от классической тем, что в квантовом мире энергия, которой объекты могут обладать, оказывается дискретной. Информация передается порциями света, не непрерывным потоком, а порциями — квантами. Квантовая физика породила много



прикладных направлений. Она объяснила законы, которым подчиняется твердое тело: физика твердого тела базируется на квантовой физике. Строение молекул и химические реакции тоже объясняются квантовыми зако-

нами. Известно, что уровни энергии, на которых могут находиться отдельные атомы и молекулы, всегда дискретны. Даже полупроводниковые наночастицы твердого тела ведут себя подобно отдельным атомам и молекулам. Их назвали «квантовые точки», но на самом деле это наночастицы размером порядка 10 нм. Они также обладают квантовым эффектом. Маленький кусочек материи обладает квантовым эффектом. На них тоже строится новая физика, новые технологии, которые дают нам совершенно новое устройство и новое качество.

**— Может ли выясниться, что квантовый мир — это не предел минимизации структур и есть что-то еще миниатюрнее, чего мы сейчас не можем зафиксировать?**

— Я бы хотел вернуться к размерам: квантовый мир не означает «маленький мир». Например, малые наночастицы полупроводника с размером 10 нм больше размеров атома примерно в 100 раз и больше размеров ядра атома водорода в 10 млн раз — это очень много. Но квантовые эффекты могут проявляться на разном уровне размеров. Уменьшение размеров кусочка материи означает, что мы идем в мало-размерный мир, но квантовые эффекты сосредоточены повсюду. Крупные тела при определенных условиях тоже могут обладать квантовым эффектом.

**— Например?**

— Например, в современной микроэлектронике основным элементом в процессорах, в элементах памяти служит полевой транзистор. С развитием технологий размер его затвора постоянно уменьшается, что соответствует проектной норме микроэлектроники. Проектная норма первоначально микронных размеров постоянно снижалась до 160 нм, затем — 32 нм и сейчас пришли к 7 нм. Одновременно со снижением проектной нормы уменьшается и толщина

подзатворного диэлектрика. При определенной малой толщине подзатворного диэлектрика в полевом транзисторе, порядка 10 нм, электронный поток, который через него протекает, может описываться квантовым туннельным механизмом. Элементы полевых транзисторов в процессорах с низкой проектной нормой тоже работают на квантовых принципах, и это в широком смысле слова квантовое устройство.

**— Поговорим о некоторых квантовых устройствах, которыми вы занимаетесь, в частности разрабатываете прототип энерго-независимой сегнетоэлектрической памяти. Что это такое?**

— Энергонезависимая — это означает, что если вы имеете какой-то чип, где сохраняете информацию, и вы ее отключили от источника энергии, то информация в нем сохраняется. Вот флешка, все пользуются ими. Ее вынули из устройства, и на ней сохраняется и долго хранится информация.

**— Фактически это электронная память.**

— Да. У флешки сохраняется заряд в определенном состоянии в диэлектрическом кармане. Но флеш-память не обладает радиационной стойкостью. Она имеет конечный ресурс. В зависимости от конструкции это может быть 100 тыс. переключений. Потом она начинает давать ошибки и не работает.

**— А радиационная стойкость — это что?**

— Если определенная радиационная частица (быстрый электрон или гамма-квант) попадет в элемент флеш-памяти, она произведет разрушение диэлектрического барьера, который прекратит удерживать заряд, несущий информацию. Память не будет работать. А где много радиации? В космосе, например. Значит, в космосе флешка работать долго и надежно не будет. Точнее, она будет какое-то время жить, потому что попадание радиационных частиц — это случайный процесс, с определенной вероятностью, но через какое-то время она перестанет работать.

**— А ваши сегнетоэлектрические устройства будут?**

— В сегнетоэлектрической памяти принцип хранения информации другой. Он состоит не в удержании заряда диэлектриком. Информация хранится в поляризации маленького кусочка диэлектрического вещества в микроразмерном конденсаторе. Оно в электрическом поле поляризуется и после снятия поля сохраняет поляризацию — это и есть свойство сегнетоэлектричества. Вещество может долго хранить это состояние. Ресурс хранения информации, или поляризации, такого конденсатора очень большой. Он может достигать миллиардов переключений. Ему не страшно локальное повреждение быст-

рой радиационной частицей. Кусочек сегнетоэлектрика может локально повредиться, но основная его масса будет продолжать хранить поляризацию, то есть хранить информацию.

**— Вы уже создали такие устройства?**

— Мы их разрабатываем. Здесь мы не одиноки, работаем совместно с ключевыми организациями в области микроэлектроники. Наша головная организация, которая создает новую микроэлектронику, — Научно-исследовательский институт молекулярной электроники, он далее ставит технологические процессы на основной российской фабрике «Микрон» в Зеленограде. Мы разрабатываем в лабораториях основы технологии элементов памяти и вместе с ними переносим технологию на промышленное оборудование. Далее на фабрике будет организовано массовое производство чипов памяти.

**— Иначе говоря, скоро можно будет пойти в магазин электроники и купить такое устройство вместо привычной флешки?**

— Мы уверены, что так будет. У каждого нового устройства есть период развития. Первоначально это будут не очень емкие чипы памяти, не с гигабайтами, существенно меньше. Принципы хранения памяти будут совершенствоваться, будут создаваться все новые устройства с большей памятью. И постепенно, я уверен, мы как научная организация будем способствовать тому, что создадим новое поколение памяти. Это первый шаг, который мы делаем. Сегнетоэлектрическая память будет развиваться.

Но мы работаем и с другими концепциями памяти, которые основаны на изменении резистивного состояния материала, что тоже очень перспективно. Это будет позволять создавать более емкие чипы памяти. Мы видим программу развития примерно до десятилетия, мы сконцентрировались на этих устройствах памяти, будем их развивать и совершенствовать, выводить на широкий рынок.

**— Поговорим о проекте по созданию твердотельных фоточувствительных элементов на основе коллоидных квантовых точек. Вы уже сказали про квантовые точки. Что это такое?**

— Речь идет вот о чем. Фотоприемное устройство — один из видов широкого семейства, которое называется «оптоэлектронные устройства». «Фотоприемное» означает, что оно принимает свет и создает электрический сигнал. Есть обратное устройство. Например, дисплей на любом мобильном телефоне, мониторе компьютера — это устройство, которое преобразует электрический сигнал в изображение, в свет. Они разрабатываются по близким технологиям, но их оптимизация и настройка происходят разным образом.

Интересны еще два типа оптоэлектронных изделий: солнечные батареи — это тоже фотоприемное устройство, оно преобразует солнечную энергию света в электрическую энергию. Сигнал несет не информацию, а энергию. Есть еще различного типа оптоэлектронные сенсоры. Они получают информацию об объекте в виде света и преобразуют ее в сигнал, далее устанавливается связь оптического сигнала со свойством объекта.

Например, качество продуктов питания. «Смотришь» на него сенсором, получаешь информацию в виде электронного сигнала и знаешь, хорошее качество или нет. Такой оптоэлектронный прибор дает информацию о состоянии качества продукта. Все эти четыре вида оптоэлектронных устройств в настоящее время создаются на новых физических принципах. Ранее эти чувствительные структуры, которые принимают излучение или генерируют его, формировались широко распространенными методами напыления тонких слоев и литографией.

А в последние годы научный мир придумал совершенно новый подход: формировать фоточувствительные слои не напылением, а путем укладки ряда наночастиц, чувствительных к излучению, причем в таком технологическом процессе не требуется литография.



**— Эти частицы и называются квантовыми точками?**

— Да, это маленькие кусочки полупроводникового материала. Они укладываются в стройные ряды между рядами других наночастиц, это вспомогательные переходные проводящие электроны слои. Такой «слоеный пирог» из наночастиц определенных типов технологически формировать гораздо проще и экономичней, чем методом напыления и литографии.

**— Почему так?**

— Методы напыления — это вакуумные технологии, использующие дорогостоящее оборудование, причем для формирования многопиксельных устройств эти методы должны быть дополнены методами литографии. А укладка тонких слоев наночастиц делается методами либо спин-коутинга (нанесение тонкого слоя на центрифугах), либо чернильной печати наночастицами на принтерах. Эти процессы реализуются в чистой газовой атмосфере и не требуют вакуумного оборудования.

**— Какими именно принтерами?**

— Например, используются струйные принтеры, наподобие офисной техники. Для этого

создаются специальные промышленные принтеры, которые надежно работают и могут формировать слои из разных наночастиц. Когда вы печатаете офисным струйным принтером, там есть разноцветные чернила, которые при смешивании дают любой цвет. Это RGB-технология. А для печати функциональных микроструктур вы заряжаете в «чернильницы» такого принтера чернила из разных частиц, например квантовые точки, частицы промежуточного слоя, оксида цинка, частицы серебра, и печатаете раз-



ные слои — полупроводящие, проводящие и диэлектрические. Это выходит существенно дешевле. И еще возникают преимущества из физических принципов функционирования таких оптоэлектронных устройств, которые свя-

заны с тем, что некоторые устройства, получаемые методами напыления и литографии, могут работать только с охлаждением, а устройства на квантовых точках охлаждения не требуют.

**— Каким образом это можно использовать для приборов ночного видения?**

— Организации, которые занимаются приборами ночного видения, это знают. Мы разрабатываем эти технологии для оптоэлектронных устройств. Формируя такие функциональные слои, мы заставляем структуры вырабатывать или преобразовывать оптический сигнал в электрический или наоборот.

**— Когда я читаю о приборах ночного видения, у меня сразу возникает представление, что, может быть, в недалеком будущем мы будем оснащены такими приборами и сможем видеть в темноте, как кошки. То есть благодаря таким разработкам у нас появится новая сверхспособность.**

— Возможно, это будет именно так.

**— У вас разработки одна интереснее другой. А что представляет собой однолучевой оптический литограф?**

— Литография — очень важный процесс и инструмент, с которым связано создание в электронике современных устройств, любых чипов, которые формируются из множества полевых транзисторов, межсоединений, функциональных слоев. Без литографии не делается ни одна микросхема. Безмасковая оптическая литография очень актуальна для исследований. Когда ясно, что нужно создать какое-то конкретное изделие, его конструкция понятна, есть ее проект, его отладили и он работает, тогда делают набор шаблонов под эту микросхему и с помощью литографии засвечивают большую пластину, на ней создают структуру

транзисторов уже на большой фабрике.

Литографический процесс сам по себе не работает, он засвечивает специальное вещество, которое называется «фоторезист». Например, нанесли какое-то напыление, пленку на пластину, на которой нужно из материала этой пленки построить определенный рисунок. Там может быть миллиард элементов. Сначала эту пленку из функционального материала закрывают фоторезистом — веществом, в котором при облучении светом происходят какие-то химические превращения. Например, в том литографе, который мы разрабатываем, полимеризуется фоторезист. А там, где свет не попал, остается жидким. Потом смывается все, что не полимеризовалось, и рисунок остается только в тех местах, где произошла полимеризация.

Полимеризация под действием света производится таким же образом, как мы с вами лечим зубы, когда доктор ставит светополимерные пломбы: сначала кладет мягкое вещество, а потом светит ультрафиолетовой лампой и пломба отвердевает. Там тоже применяется некий аналог фоторезиста.

**— Но почему рисунок остается только в нужном месте?**

— На пластине остается только полимеризованный рисунок. После этого убирают химическим травлением те места, где открыта нанесенная пленка из функционального материала. И получается рисунок только в том месте, где лежал фоторезист. А потом этот фоторезист удаляется и строится следующее напыление. Так выращивается структура. Для того чтобы сделать один функциональный слой, нужно провести несколько операций. И важнейшим элементом в этих операциях служит литография. Она задает минимальный размер элемента, который можно получить.

**— Какой же это размер?**

— Минимальный литографический размер элемента определяет качество этого литографа. Сколь малый элемент можно получить таким литографом, говорит о том, насколько хорош литограф. Мы разрабатываем однолучевой оптический литограф для научных исследований, который может иметь проектный масштаб до 100 нм.

**— Это мало?**

— Это не очень маленький размер. Но для очень многих задач, которые стоят в микроэлектронике, в фотонике, это очень нужное устройство.

**— Что оно дает практически?**

— Его возможно применять в литографии для микроэлектроники, рисовать на пластинах заданный рисунок. А еще у него есть трехмерная версия, когда в объеме фоторезиста он может создавать пространственную структуру из опти-

чески прозрачного полимера. Этот оптический материал конструируется из вещества фоторезиста. Там, где прошел лазерный фокус литографа, фоторезист полимеризуется. И если мы заполнили некую емкость фоторезистом на определенную глубину и рисуем в ней определенный трехмерный объект с помощью лазерного фокуса, там, где прошел лазерный луч, остается заподимеризованное оптически прозрачное вещество. Эта архитектура оптически прозрачного объекта может быть, например, набором микрообъективов, фотонной межкристальной структурой или элементами фотонных интегральных схем для фотонных вычислителей.

— Среди ваших разработок есть также принтер плазмонных наноструктур. Что это за разработка, чем он отличается от известных всем принтеров?

— Существуют направления формирования принтерами тонких фоточувствительных слоев в оптоэлектронных устройствах. Принтерами можно печатать массу других устройств. Можно печатать индуктивные, активные, резистивные элементы микроэлектроники. У них проектная норма будет измеряться не нанометрами, а микрометрами. Но есть большое разнообразие простых микроэлектронных устройств, которые нужны людям, и их можно изготавливать таким дешевым образом.

Почему печатать устройства выгоднее и дешевле, нежели делать литографию? В литографии для создания одного слоя нужно провести несколько операций. А в процессе печати один слой делается за одну операцию.

— То есть литография выгоднее напыления, но такая печать выгоднее литографии?

— Литография работает вместе с напылением. Она из напыленной пленки позволяет делать рисунок. Здесь нужно сделать несколько операций. А методом печати этот рисунок изготавливается за один проход. Определенное вещество подается через сопло диаметром потока, скажем, 10 мкм, и рисунок шириной 10 мкм можно сделать принтером. В настоящее время технологи стремятся уменьшить этот размер.

— Поэтому и наноструктуры?

— Да. Поскольку рисунок делается из частиц, говорят «наноструктуры с частицами».

— Но почему мы называем этот принтер плазмонным?

— Он может печатать рисунок не просто определенными частицами — он может создавать рисунок из частиц фиксированного размера. Например, из металлических частиц фиксированного размера. Этот размер он может изменять: напечатать частицами с размерами 50 нм, 100 нм или 300 нм. А чем интересны эти частицы? Тем, что в оптоэлектронных устройствах есть понятие «плазмонное усиление».

Если вы нанесете такие частицы рядом с активным слоем, который улавливает излучение, то плазмонные частицы концентрируют электромагнитное поле как усилитель (подобно усилителю в радиотехнике), и оптоэлектронное устройство становится эффективнее в несколько раз. У этого принтера есть опция: он может создавать такие структуры. Поэтому мы его и назвали принтером плазмонных структур.

— Такой принтер уже существует?

— Мы его разрабатываем.

— А есть что-то в вашем Институте, что уже работает?

— Мы работаем всего полгода. Но это не означает, что мы родились всего полгода назад. Просто институт реально был создан на базе уже имеющегося на Физтехе задела из прикладных и поисковых лабораторий, которые двигались в этих направлениях, в том числе создавали и создают сейчас сверхпроводниковые квантовые процессоры. Все эти лаборатории после определенного осмысления было принято решение собрать вместе, объединить в единую структуру, чтобы общими усилиями эти подразделения могли не просто создавать отдельные процессы и устройства, а объединяться и делать совместно готовые продукты, а затем передавать их в производство.

У нас есть направление «наноэлектроника» — это различные концепции памяти, мы их разрабатываем и планируем передавать дальше. Затем есть направление «квантовые системы» — это сверхпроводниковые квантовые процессоры, устройства на квантовых точках, различная фотосенсорика, фотоприемные устройства. Следующим шагом в этом направлении мы планируем заниматься дисплеями. И третье направление — это научное оборудование, которое нужно для микроэлектроники, для задач создания квантовых устройств. Мы разрабатываем такое оборудование, которое и сами можем использовать. Мы хорошо понимаем это оборудование. Таким образом, разработка научного оборудования связана с другими направлениями.

А в целом, чтобы завершить чип памяти или другое устройство и предложить какому-то заводу: «Все, технология готова, можете забирать», — для этого мы на Физтехе задумали и проектируем в настоящее время опытный технологический центр, который называется «Специализированный технологический центр гибридной микроэлектроники».



— Или, иначе говоря, «университетская фабрика».

— Совершенно верно. Это опытный участок, где будут технологические цепочки, подобные тем, которые стоят на больших фабриках. На них мы будем обрабатывать процессы, а потом передавать на большие производственные фабрики.

Зачем это нужно? В микроэлектронике по-другому не бывает. Ни одна индустриальная фабрика не возьмет процесс из лаборатории. Нужно, чтобы процесс был обкатан на технологической линии, потому что там возникает множество разных ошибок. Их нужно исключать, процессы отлаживать, только после этого можно ставить на производство, потому что на больших фабриках экспериментировать очень дорого.

— Виктор Владимирович, недавно мой младший ребенок произнес термин «кванто-

вое бессмертие». Что это такое в вашем понимании? Может быть, квантовое бессмертие — это то, что остается после нас в виде статей, книг, учеников? То есть информация, память, о которой мы говорили.

— Я думаю так: человечество вступает в новое качество, переходит в информационный мир, основанный на квантовых технологиях. Скоро мы будем жить в потоке информации, и то хорошее, что человечество будет создавать, сможет храниться в облаке информации. И человечество будет этим пользоваться. В этом смысле ваш ребенок безусловно прав: квантовое бессмертие не за горами.

*Информация взята с портала «Научная Россия» (<https://scientificrussia.ru/>).*

*Беседовала Наталья Лескова*

## ПО СЛЕДАМ НАШИХ ПУБЛИКАЦИЙ

### Пара слов в защиту импульсной мощности.

*В.П.Минаев, к.т.н, эксперт ЛАС.*

В статье [1] коллега В.Н.Крутиков оспаривает правомочность использования термина «импульсная мощность», которой в лазерной физике и лазерной технике для импульсных лазеров обозначается величина энергии, отнесенная к длительности импульса. При этом он предлагает ограничиться термином «мощность излучения», определяемым как количество энергии излучения, выделенной (произведённой) за одну секунду. В лазерной физике и лазерной технике это называют «средней мощностью». Начнем с того, что импульсная мощность — это важнейший параметр импульсных лазеров, который используется, начиная с первых публикаций в этой области. Например, в [2] с помощью балансной теории остроумно вычисляется этот параметр для лазеров, работающих в режиме накопления инверсной населенности (с модуляцией добротности).

При этом следует учитывать, что именно «импульсная мощность» определяет характер воздействия в случае большинства применений импульсных лазеров. При этом очевидно, что при одинаковой средней мощности результат воздействия непрерывного и импульсно-периодического излучения с разной длительностью импульсов оказывается существенно различным. Так, в случае медицинского применения непрерывное излучение с длиной волны  $\lambda \approx 0,5 \dots 1$  мкм уровня десятков Ватт осуществляет рассечение биоткани с коагуляцией прилегающей к разрезу области, обеспечивая тем самым гемостаз, тогда как импульсно-периодическое излучение с длительностью импульсов по-



*Рис.1 Результат воздействия импульсов излучения с длительностью ~10 фс.*

рядка единиц фемтосекунд обеспечивает холодную абляцию, обеспечивающую деликатное удаление ткани без значимого нагрева прилегающих областей. Приведу два примера такого воздействия. На **рис.1** из [3] представлено удаление в режиме холодной абляции фемтосекундным излучением воспламеняющегося состава из спичечной головки, а на **рис.2** из [4] — нанесение метки на оболочку эмбриона. Понятно, одной средней мощностью здесь не обойтись. То есть подобно Вовочке из известного анекдота можно задать вопрос: «Как так, импульсная мощность есть (и, заметим, работает), а слов таких нет?».

Поэтому в связи с необходимостью термина «импульсная мощность» и понятным его физическим смыслом, поскольку он не занят в системе метрологических терминов, представля-



**Рис.2** Пример нанесенного на оболочку эмбриона кода «07TEX» — (а); микрохирургия оболочки на стадии бластоцисты для инициации хэтчинга вперед трофобластом — (б).  
Использовано излучение с длиной волны  $\lambda=514$  нм длительностью импульсов 280 фс.

емой В.Н. Крутиковым, надо ввести его в эту систему. И коль ее надо мерить, то нет ничего страшного, если в силу ее размерности импульсная мощность будет измеряться в Ваттах. Тем более, что у большинства специалистов, работающих в области лазеров, этот термин идиосинкразии не вызывает.

#### Литература

1. Крутиков В.Н. Измеряйте правильно! // Ла-

зер-Информ N 16 (751), август 2023, с.6-8.  
2. Микаэлян А.Л., Тер-Микаэлян М.Л., Турков Ю.Г. Оптические квантовые генераторы на твердом теле. — М.: Сов. радио, 1967.  
3. Niemz M.H. Laser-Tissue Interactions. Edition Springer Berlin Heidelberg New York, 2007.  
4. Ильина И.В., Храмова Ю.В., Филатов М.А. и др. Новые технологии с применением фемтосекундного лазерного скальпеля для вспомогательных репродуктивных технологий. Сборник тезисов VII Троицкая конференция с международным участием "Медицинская физика" (ТКМФ-7). 19–21 октября 2020 г., Москва. — М.: Издательство ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М.Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет). — 2020. — 320 с., с.133-134.

## ХРОНИКА

### HOLOEXPO 2023

Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям «HOLOEXPO 2023» проводилась 12–15 сентября 2023г. в Сочи, в конференц-центре гостиницы City Park Hotel.

«HOLOEXPO-2023» стала уже 20-й с момента ее основания, и в честь этого юбилея были организованы торжественные мероприятия – приветственный коктейль, торжественный ужин, а проведенные в рамках конференции «Чтения» были посвящены памяти ее основателя – С.Б.Одинокова. Высокие оценки получила конференция от ее участников и гостей за интересную, содержательную научную программу и комфортную насыщенную социальную программу, способствовавшую неформальному общению в профессиональном сообществе. Большое количество положительных отзывов прозвучало в адрес оргкомитета мероприятия, и по мнению экспертов, конференция «HOLOEXPO 2023» в целом была проведена на беспрецедентно высоком уровне, она полностью выполнила свои основные научные задачи.

Конференция проводилась при поддержке ведущих университетов и научно-исследовательских институтов России: МГТУ им. Н.Э.Баумана, Университета ИТМО, МГУ им. М.В.Ломоносова, Национального ядерного университета «МИФИ», Самарского университета, Пензенского государственного университета архитектуры и строительства, КНИТУ–КАИ, НТЦ «Оптоэлектроника» Московского политеха, ТУСУР, ФИАН, ФТИ им. А.Ф.Иоффе, ИСОИ РАН — филиала ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, ИАиЭ РАН, Университета ВОЕНМЕХ, Института органической химии имени Н.Н. Ворожцова СО РАН, Оптического общества имени Д.С.Рожественского, Общественной научно-технической академии «Контенант» (Красногорск), АО «ГОИ имени С.И.Вавилова» и др.

#### Спонсоры и партнеры

##### Платиновый спонсор конференции:

- АО «НПО «КРИПТЕН».

##### Бронзовые спонсоры конференции:

- ООО «ХолоГрэйт»,

- АО «НТЦ «Атлас»,
- ЗАО «ГОЛОГРАФИЧЕСКАЯ ИНДУСТРИЯ»,
- ООО «Активная Фотоника»,
- Чеглаков Андрей Валерьевич.

**Спонсор:**

- ООО «Компания «АЗИМУТ ФОТОНИКС».

**Партнеры:**

- ООО «Оптико-голографические приборы»,
- ООО «Альянс оптических систем»,
- ООО «Джеймс Ривер Бранч».

**Информационные партнеры:**

- Лазерная ассоциация,
- СПбГЭТУ «ЛЭТИ»,
- МГТУ им. Баумана,
- Журнал «Мир техники кино»,
- «Оптический Журнал»,
- Оптическое общество имени Д.С.Рожественского,
- Журнал «Фотоника»,
- Информационный ресурс «HOLOGRAPHICA».

**Организатор конференции:**

- ООО «Оптико-голографические приборы».

**Программа конференции**

«HOLOEXPO 2023» традиционно объединила для обсуждения передовых исследований, тенденций и проблем отрасли экспертов из академических кругов и голографической промышленности, а также экспертов и ученых по прикладным направлениям оптики и фотоники. В рамках конференции были проведены:

- ✓ Круглый стол «Актуальные вопросы и перспективы развития систем дополненной реальности».
- ✓ Пленарное заседание «Тенденции развития оптических технологий».
- ✓ Секция 1 «Дифракционные и голограммные оптические элементы, микрооптика и метаматериалы».
- ✓ Секция 2 «Структурированный свет и управление параметрами лазерного излучения».
- ✓ Секция 3 «Системы визуализации и отображения информации для AR/VR».



- ✓ Секция 4 «Оптические защитные технологии».
- ✓ Секция 5 «Интегральная фотоника и оптические коммуникации».
- ✓ Секция 6 «Интерферометрия и метрология».
- ✓ Секция 7 «Квантовые оптические технологии».
- ✓ Секция 8 «Технологии микроструктурирования».
- ✓ Секция 9 «Цифровая голография и методы визуализации».
- ✓ Секция 10 «Фоточувствительные материалы».

Всего было предоставлено рекордное количество докладов – 112 (не считая докладов на «Чтениях» и докладов круглого стола). Из них 57 устных и 55 стендовых. По итогам выступлений программным комитетом были отобраны лучшие доклады – по одному из каждой секции из числа устных и стендовых. Методом общего онлайн-голосования среди этих номинантов было выбрано по одному докладу. Набрали большинство голосов и стали победителями:

- в номинации «Лучший устный доклад» – «Интегральная фотоника на основе анизотропных ван-дер-ваальсовых материалов», авторы – А.А.Вишневецкий, Г.Е.Ермолаев, Д.Грудинин, И.Круглов, В.Волков (XPANCEO, Дубай ОАЭ)
- в номинации «Лучший стендовый доклад» – «Особенности разработки составных оптических волноводов для устройств дополненной реальности», авторы – А.Б.Соломашенко, О.Л.Афанасьева, А.С.Кузнецов (МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва)

**Вручение наград**

На приветственном коктейле в честь 20-летия конференции были вручены награды Оптического общества имени Д.С.Рожественского. Провели церемонию награждения президент Оптического общества *Константин Владимирович Дукельский* и председатель программного комитета HOLOEXPO Science&Practice *Владимир Юрьевич Венедиктов*. В соответствии с совместным решением президиума Оптического общества имени Д.С.Рожественского и Программного комитета международной конференции «HOLOEXPO 2023» почетными дипломами и медалями разного достоинства за различные достижения в голографии, прикладной оптике и фотонике были награждены 11 ученых. Были вручены 2 медали им. В.С.Летохова (молодым ученым), 4 медали им. Ю.Н.Денисюка, 2 медали им. Д.С.Рожественского, 2 диплома почетных членов сообщества и 1 почетный диплом.

**Демозона**

На конференции была проведена демонстрация образцов оптомеханики, оптоэлектронных компонентов и лазерного оборудования ООО «Компания «АЗИМУТ Фотоникс», ООО «Специальные Системы. Фотоника», ООО «Фотонные технологические системы» и ООО «Активная



Фотоника», а также была организована выставка и представлены образцы изобразительных голограмм *В.П.Кузнецова*.

### Публикации

#### • Сборник тезисов

По завершении конференции публикуется сборник тезисов докладов, индексируемый РИНЦ. Тезисы докладов, которые не было доложены авторами на конференции (из числа как устных докладов, так и стендовых) в этом сборнике не публикуются.

#### • Спецвыпуск «Оптического журнала»

После проведения «HOLOEXPO 2023» будут приниматься статьи в специальный выпуск «Оптического журнала», посвященный конференции. Статья должна представлять собой оригинальную исследовательскую или обзорную работу, оформленную по требованиям издательства.

Англоязычная версия «Оптического журнала» издается «Optic» (бывшее OSA) под названием Journal of Optical Technology и индексируется в Web of Science и Scopus, квалификация Q3, Q4.

### Итоги

В этом году в конференции приняло участие 186 делегатов из 86 организаций от науки, бизнеса и образовательных учреждений. Стоит отметить существенное увеличение числа молодых ученых и специалистов, многие из которых посетили конференцию впервые. Высокий интерес вызвала онлайн-трансляция конференции, которая по итогам 3 дней мероприятия насчитывала более 1500 просмотров. Обобщая и резюмируя научную часть прошедшей конференции, её участники сформулировали следующие тезисы о направлениях развития прикладной оптики и роли голографии в них:

- В области защитной голографии сегодня существенное внимание уделяется способам расчета сложных поверхностей на массивах плоских линз, равно как френелевским поверхностям, формирующим объемное изображение, а также методам микро- и наноструктурирования, которые позволяют в комбинации с многослойным напылением создавать целые классы новых защитных элементов. Не теряет своей актуальности наноплазмоника и комбинированные защитные элементы - как по способу изготовления и применению различных технологий, так и по формируемым визуальным признакам и эффектам. Отмечается, что необходимо преодолеть значительное технологическое отставание от передовых производителей таких изделий, предлагающих их на мировом рынке, преодолеть развитием собственной технико-технологической базы, а также более эффективным использованием имеющейся



производственной базы и научного потенциала, ускоренным внедрением собственных новых разработок.

- Развитие систем виртуальной и дополненной реальности, в большинстве своем основанных на использовании тех или иных голографических технологий, вышло на уровень отдельной отрасли техники и технологии. Ведутся не только активные научные и инженерные разработки, но и работы в области совершенствования технологий, экономики и эргономики. При этом наблюдается очевидный разнобой в терминологии и понятиях. Путаница зачастую усугубляется недобросовестными рекламными и маркетинговыми лозунгами. Необходима выработка единой терминологии и глоссария, а затем, вероятно, и государственного стандарта.

- Наблюдается явный ренессанс в интерферометрии, в т.ч. голографической, и связанных технологиях. Появилось много новых схем. Широкое применение цифровых технологий дает качественно новые возможности. Зарождается новое направление – голографическая томография и микротомография, т.е. синтез трехмерного образа полупрозрачного объекта (например, биологического) на основе цифровой интерферометрической и голографической информации. Целесообразно в рамках следующей конференции HOLOEXPO провести научно-практический семинар или круглый стол по этой проблематике.

- В рамках секции «Дифракционные и голограммные оптические элементы, микрооптика и метаматериалы» были представлены как устные, так и стендовые доклады, охватывавшие широкий спектр проблем - развитие и совершенствование спектральных приборов, мультиапертурных гиперспектрометров и тепловизионной оптики, нетривиальные преобразования волновых фронтов, компенсация абер-

раций и оптические вычисления, многослойные интерференционные метаматериалы в задачах оптической терагерцовой спектроскопии и многие другие. Эти доклады, с одной стороны, продемонстрировали несомненные достижения в решении соответствующих проблем, а с другой – определили направления дальнейших исследований и стимулировали поиск новых эффективных решений актуальных задач прикладной оптики и голографии.

- В рамках конференции «HOLOEXPO 2023» были весьма успешно проведены секции, посвященные проблематике квантовой оптики и т.н. структурированному свету. Все участники были едины в том, что объединение этих тем с классической голографией является научно обоснованным и весьма продуктивным. Все три области науки сильно переплетаются и взаимно обогащают друг друга. Так, например, особенно ясно проступила глубинная физическая и даже философская общности корней голографической памяти и квантовой памяти.

Все представленные на пленарном заседании доклады вызвали значительный интерес у абсолютного большинства участников конференции. Они были посвящены наиболее перспективным направлениям развития оптических технологий и призваны выделить те из них, в которые участники конференции, и прежде всего молодые исследователи, могли бы в дальнейшем внести значительный вклад и, как следствие, расширить тематику будущих конференций.

На торжественном ужине в честь 20-летия конференции были вручены памятные подарки и дипломы спонсорам конференции, дипломы постоянным участникам, организаторам разных лет, волонтерам и участникам, оказавшим существенный личный вклад в развитие и организацию конференции, а также всем членам программного комитета.

*В.Ю.Венедиктов, СПб ГЭТУ «ЛЭТИ»,  
председатель Программного комитета,*

*А.В.Смирнов, АО «Криптен»,  
председатель Организационного комитета*

★ ★ ★

## Хубэй – ЛАС: сотрудничество в фотонике

В офисе Лазерной ассоциации 20 сентября с.г. состоялась рабочая встреча с представителями Администрации провинции Хубэй, КНР. В составе китайской делегации были Генеральный директор Департамента науки и техники Правительства Хубэй *Фэн Яньфэй*, зам. начальника Отдела важнейших проектов в этом Департаменте *Чэнь Чуанцзинь*, исполнительный директор Китайско-российского центра научно-технического сотрудничества в городе Ухань провинции Хубэй *Чжу Юнь*, руководители управлений науки и техники трёх регионов этой провинции – *Си Дэчэн* (гор. Санъян), *Лю Хунся* (гор. Хуанши), *Ху Мин* (Эньши-Туцзя-Мяоский автономный округ). Лазерную ассоциацию на встрече представляли президент ЛАС *И.Б.Ковш*, вице-президент ЛАС *С.В.Полов* и *Л.В.Беднякова*, директор Центра трансфера технологий ЛАС, секретарь Совета ЛАС.

Встреча была организована по инициативе китайской стороны и посвящена возможностям расширения и активизации сотрудничества организаций – членов ЛАС с коллегами в провинции Хубэй.

Открывая встречу, *И.Б.Ковш* рассказал гостям о деятельности Лазерной ассоциации, о её составе, об опыте взаимодействия с действующими в провинции Хубэй Лазерной ассоциацией Оптической долины Китая и Зоной развития новых технологий им. Озера Дунху. В результате этого взаимодействия более 60 организаций-членов ЛАС побывали в Хубэе, став

участниками коллективных экспозиций, которые ежегодно организуются на выставках OVC EXPO в Ухане, и установили деловые контакты с интересующими их местными компаниями и лабораториями, более 80 ведущих российских и белорусских специалистов выступили с приглашёнными докладами на конференциях в Китае, что, как правило, тоже имело своим последствием рабочие связи с китайскими коллегами, десяткам компаний и институтов из провинции Хубэй была оказана консультационная и организационная помощь в их поездках в Россию для участия в Московской выставке «Фотоника» и посещения лазерно-оптических центров в России и Беларуси. Был организован целый ряд совместных проектов, созданы совместные предприятия, сотрудники научных центров из провинции Хубэй ежегодно публиковались в ведущем российском отраслевом научном журнале «Квантовая электроника».

*Фэн Яньфэй*, выступавший вторым, сообщил, что провинция Хубэй по объёму ВВП занимает сегодня 7 место среди 33 территориальных образований верхнего уровня в Китае, при этом Хубэй обладает мощным научным и производственным потенциалом. Здесь работают 132 университета, в которых обучаются около 2 млн. студентов. Направление фотоники и оптоэлектроники является для этой провинции одним из 5 приоритетных, в городах Хубэй имеется более 200 крупных предприятий, выпускающих лазерную технику, в т.ч. технологические

установки, оборудование оптической связи, разнообразную оптоэлектронику. Из 16 крупнейших китайских предприятий лазерно-оптической отрасли, акции которых торгуются на мировых биржах, 6 работают в провинции Хубэй. Половина общеитайского годового оборота в фотонике приходится сегодня на эту провинцию, и она активно развивает свою фотонную отрасль. В Особой экономической зоне им. Озера Дунху создан Лазерный кластер, для поддержки его работ сформирован специальный фонд в 10 млрд юаней, который может поддерживать, в т.ч., и проекты китайско-российского «лазерного» сотрудничества. Правительство провинции Хубэй считает такое сотрудничество полезным и важным, оно должно помогать достижению целей, поставленных перед страной на «лазерную десятилетку» – стартовавшее в 2015г. «Десятилетие лазерной промышленности Китая».

*С.В.Попов* представил китайским коллегам ряд быстро развивающихся сегодня в России секторов фотоники – оптические материалы, лазерно-оптическая аппаратура, в т.ч. медицинская, оптоэлектронные системы. В этих секторах, по его оценке, в России работает сегодня не менее 20 тыс. специалистов, в т.ч. большое количество кандидатов и докторов наук. Имеющийся опыт реализации совместных с китайскими коллегами проектов по фотонике россий-

ские отраслевые предприятия и институты считают вполне положительным и готовы продолжать и развивать это сотрудничество. Проведённый в рамках деловой программы международной выставки «Фотоника. Мир лазеров и оптики» в марте этого года в Москве круглый стол по перспективам такого сотрудничества это наглядно продемонстрировал.

Обсуждение путей и возможностей взаимодействия китайских и российских отраслевых организаций и объединений показало, что все участники рабочей встречи едины во мнении, что такое взаимодействие в сегодняшних условиях является весьма целесообразным для развития фотоники в обеих странах и должно охватить различные направления деятельности – от совместных НИОКР до совместных предприятий, от участия в выставках и конференциях до организации перевода отраслевых научно-технических журналов – китайских на русский и русскоязычных на китайский – для распространения их в Китае и России, соответственно.

В заключение руководитель делегации провинции Хубэй *Фэн Яньфэй* выразил благодарность руководству Лазерной ассоциации за организацию этой встречи и тёплый приём и пригласил Оптический холдинг к активному сотрудничеству с организациями лазерного кластера в Особой экономической зоне им. Озера Дунху.

*Секретариат ЛАС*

## ИНТЕРНЕТ-НОВОСТИ

### Фотонные датчики помогут понять растения и выявить их вредителей

*Ученые Пермского научно-исследовательского института сельского хозяйства предложили исследовать жизнь растений и насекомых с помощью звуковых фотонных сенсоров.*

Чувствительным элементом здесь выступает тончайшее оптическое волокно, каждая точка которого способна улавливать вибрации на разных частотах. Институт входит в состав Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН.

— Недавно стало известно, что представители флоры подают сигналы в частотном диапазоне от 40 Гц до 80 кГц, — пояснил младший научный сотрудник лаборатории агробioфотоники Пермского НИИСХ *Артем Туров*. — Расшифровка этих данных может многое сказать об их состоянии: развивается ли растение нормально или испытывает сильный стресс ввиду каких-либо факторов. Что касается насекомых, например, вредителей, то здесь акустический мониторинг позволяет зафиксировать их активность в тех случаях, когда прямой визуальный контроль невозможен.



Научному коллективу удалось оптимизировать систему опроса распределенного сенсора, добившись значительного подавления шума при передаче сигналов и сделав саму систему

ощутимо дешевле современных аналогов. Сейчас ученые проводят серию дополнительных лабораторных испытаний, а в ближайшие два года планируется разработать версию системы

для выездных исследований и испытать фотонные сенсоры в реальных условиях.

<https://www.ras.ru/news/shownews.aspx?id=58752131-b49c-401d-a99a-aa884764fc7c>

\*\*\*

## Гигантские лазерные указки в Аравийской пустыне — что это за сооружения на самом деле

*Столп огня, указывающий путникам путь к воде – такое новшество решили установить в большой пустыне Нафуд на севере Саудовской Аравии. Огромные «лазерные указки», направленные в небо, должны показать путникам, куда идти, чтобы найти воду и ночлег. Оказывается, здесь это — настоящая проблема, люди погибают в пустыне даже в наше время, не понимая, куда идти.*

Пустыня Нафуд имеет площадь 64 тыс. квадратных километров. Путники едут туда по разным причинам – например, одна из последних трагических историй касается мужчины, который поехал на машине, чтобы заготовить дровами.

Согласно статистике за прошлый год, в течение этого периода специалистам пришлось спасти 13 тыс. застрявших в пустыне транспортных средств, а число людей, потерянных в пустыне, составило 142 – и только 100 из них остались живы.

Местному аналогу нашего МЧС довольно часто приходится участвовать в поисках заблудившихся людей и часто бывает так, что людей находят недалеко от источников воды, но в темноте люди не могли их найти или не знали, что они там есть.

Сначала в пустыне было установлено силами активистов и поддержке властей всего 11 таких световых маяков. Однако когда об инициативе стало известно, один из саудовских бизнесменов предложил выделить деньги на установку ещё сотни таких же сооружений.

Идёт обсуждение и возможности установки таких маяков и в других аравийских пустынях — общая площадь пустынь в стране составляет около 650 тыс. квадратных километров. Инициаторы проекта считают, что особого внимания требуют именно удалённые от городов территории, тем более, что и источников воды в этих пустынях не так много.



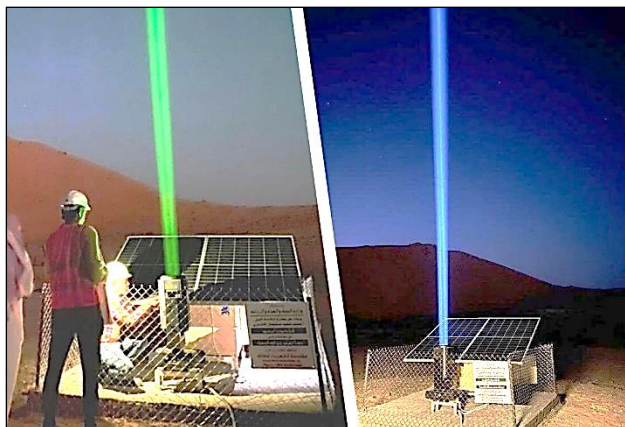
Речь, кстати, идёт не об оазисах или реках. В Саудовской Аравии есть специальное Министерство окружающей среды, сельского хозяйства и водных ресурсов, которое отвечает за изучение расположения водных пластов под землёй и бурение скважин.

Именно возле таких скважин сейчас и ставятся «лазерные указки» – а затем скважины и световые маяки будут появляться одновременно. Чтобы получить воду в пустыне, порой приходится довольно сильно постараться – минимальная глубина колодца составляет около 150 метров, но обычно приходится буриться глубже, и есть даже скважины глубиной до 1500 метров.

Так что можно сказать, что это уникальные точки, где одновременно человек прорывается на полтора километра вниз и вверх (хотя, честно говоря, про высоту луча ничего не сообщается).

Энергия для работы установок получается с помощью солнечных батарей, так что всё работает по классической схеме – солнечные панели позволяют копить электричество днём, а ночью оно используется для указания заблудившимся путникам, в какую сторону им двигаться, чтобы не умереть от жажды.

Кстати, первые новости по этой теме и фотографии быстро разлетелись по Сети, вызвав бурное обсуждение. Дело в том, что заголовки



сообщают о лазерах в пустыне, а на снимках это и правда напоминает скорей гигантский меч джедая или выстрел из огромной лазерной пушки, нежели просто свет маяка.

Появились и вопросы о безопасности таких установок для тех же самолётов или даже космических ракет. Как минимум, быстро выяснилось,

что никакой опасности эти установки не несут, а вопрос так называемого «светового загрязнения» в данном случае просто неактуален для пустыни – никто не против, чтоб было и посветлее. Особенно если говорить о том, что речь идёт о спасении жизни людей.

<https://dzen.ru/a/YWXsavvjCCpwSzuv>

**ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений» (ФГБУ «ВНИИОФИ»)**

*при поддержке Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт)*

**Всероссийская научно-техническая конференция  
«Метрологическое обеспечение фотоники-2023».**

**15 - 16 ноября 2023г., гостиница «Салют», Москва**

*Основная задача конференции – привлечь внимание метрологического научно-технического сообщества и предприятий промышленности, в том числе производителей измерительной техники, к необходимости более тесной интеграции.*

**Тематика конференции** охватывает вопросы по следующим актуальным темам:

- импортозамещение и новые разработки в области фотометрии и производства приборов для оптико-физических измерений;
- теоретические и экспериментальные методы и средства исследований характеристик некогерентного оптического излучения;
- метрология лазерного излучения;
- теоретические и экспериментальные исследования новых материалов для фотоники, в том числе наноматериалов, с применением оптико-физических методов измерений;
- измерения энергетических, частотно-временных, спектральных и пространственных характеристик излучения в волоконной оптике;
- новые направления в метрологии, основанные на интерференционных и голографических методах, методах оптической томографии и профилометрии трехмерных амплитудных и фазовых объектов, в том числе нанообъектов, рефрактометрии и поляриметрии;
- фотоника в лабораторной медицине.

*Для участия в конференции приглашаются представители подведомственных организаций федеральных органов исполнительной власти, специалисты научно-исследовательских и метрологических институтов, региональных центров метрологии, предприятий и организаций промышленного сектора, осуществляющих свою деятельность в области фотометрии и производстве приборов оптико-физических измерений, а также другие заинтересованные лица.*

*В работе конференции примут участие представители федеральных органов исполнительной власти – Минпромторга России и Росстандарта.*

**Срок подачи заявок на участие – 20 октября 2023г.**

Актуальная информация о ходе подготовки конференции будет размещаться на сайте ФГБУ «ВНИИОФИ» [www.vniiofi.ru](http://www.vniiofi.ru).

**Контакты:** тел.: (495) 437-33-01

E-mail: [conference@vniiofi.ru](mailto:conference@vniiofi.ru)

# ФОТОНИКА

МИР ЛАЗЕРОВ И ОПТИКИ

18-я международная специализированная выставка лазерной, оптической и оптоэлектронной техники

**26–29 марта 2024**

Лазерная ассоциация и АО «Экспоцентр» ежегодно проводят в Москве форум лазерно-оптической отрасли. Он объединяет выставку лазерной, оптической и оптоэлектронной техники и работающий одновременно с ней Конгресс, включающий в себя научно-практические конференции по всем направлениям развития и применения этой техники.

Московский Форум давно стал крупнейшим выставочно-конгрессным мероприятием в области фотоники в России, СНГ и Восточной Европе, главной рабочей площадкой отечественного рынка фотоники.

## Итоги «Фотоники-2023»

- ▶ 164 участника выставки ▶ экспозиция увеличилась на 15% и превысила 3000 кв.м,
  - ▶ 8150 посетителей (+37% к прошлому году)
  - ▶ более 20 компаний впервые приняли участие,
- ▶ состоялось 31 мероприятие деловой программы, где были озвучены 218 докладов.

*Форум собрал в высшей степени целевую и заинтересованную аудиторию:*

- 85% посетителей нашли здесь интересующую их продукцию или технические решения,
- 47% осуществляют закупки по результатам посещения выставки,
- 74% посетителей принимают участие в принятии решений о закупках;
- 90% рекомендуют посещение Форума своим коллегам и партнёрам

«Фотоника. Мир лазеров и оптики – 2024» продолжит и преумножит традиции. Участники и посетители ждут обширная экспозиция и насыщенная деловая программа.

**26–29 марта 2024г. должны быть отмечены особо в вашем рабочем календаре, коллеги! Это дни нашей общей встречи в Москве, в павильоне «Форум» Экспоцентра на Красной Пресне! Ждём Вас!**

Секретариат ЛАС

Дирекция выставки «Фотоника. Мир лазеров и оптики»

### «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