

Неслучайная случайность. Проложен новый путь развития фотоники

Наука развивается нелинейно: часто с высоты новых знаний и открытий приходится возвращаться к хорошо забытому старому, модернизируя его под современные потребности. Именно так произошло с многомодовыми световодами. Многомодовые волокна (мода – стабильное состояние электромагнитного поля внутри световода, иногда её условно определяют как траекторию, по которой распространяется свет) применялись со времени первых экспериментов по передаче оптических сигналов. Потом выяснилось, что многомодовый сигнал подвержен искажениям, и для связи стали использовать преимущественно одномодовые волокна, где пучок сохраняет свою форму при передаче. Однако с развитием технологий стало ясно, что одномодовые волокна имеют существенные ограничения по объёму передаваемой информации. Поэтому в проекте лаборатории мирового уровня [Института автоматизации и электрометрии СО РАН \(ИАиЭ СО РАН\)](#) «Фундаментальные задачи и новые технологии фотоники многомодовых волоконных световодов с регулярными и случайными трёхмерными структурами», поддержанном в 2021 году Российским научным фондом, ставятся задачи по созданию новой физической платформы фотоники на основе хорошо забытых многомодовых световодов в сочетании с суперсовременными многосердцевинными световодами.



Аспирант Кирилл Бронников, защитивший недавно кандидатскую диссертацию, занимается записью трёхмерных структур фемтосекундным лазером.

– Мы умеем «рисовать» в многомодовых световодах с помощью фемтосекундного лазера трёхмерные структуры, что позволяет управлять светом, формировать и передавать сложный оптический сигнал без искажений, – поясняет руководитель проекта, директор ИАиЭ СО РАН, член-корреспондент РАН [Сергей БАБИН](#). – Так мы вновь вернули хорошо забытые световоды «в строй». А многосердцевинные световоды были разработаны недавно, когда специалисты пришли к выводу, что для увеличения пропускной способности оптоволоконна необходимо задействовать пространственную координату и использовать не одну, а много сердцевин, в каждой из которых распространяется своя мода. Но если для

связи важно, чтобы свет проходил по каждой сердцевине независимо, то для других применений, в том числе лазерных, интересно взаимодействие сердцевин друг с другом, приводящее к новым свойствам пучка как при генерации, так и при распространении. Наш проект посвящён разработке и изучению новых типов волоконных световодов – многомодовых и многосердцевинных – с регулярными и случайными структурами показателя преломления, «записанными» фемтосекундным лазером.

Включение таких структур принципиально меняет свойства световодов. Результаты научных исследований не всегда предсказуемы, и в 2022 году наши достижения были связаны с многосердцевинными световодами. Мы работали с 7-сердцевинным световодом и научились с помощью пространственного модулятора света формировать из одного семь пучков излучения с заданной долей мощности и пространственным распределением, которые идеально заводятся в такой световод. Изучаем как пассивные, так и активные многосердцевинные световоды. У активных сердцевина легирована ионами редкоземельных элементов, что усиливает сигнал на определённых длинах волн. Мы наблюдали очень интересные эффекты: за счёт взаимодействия мод сердцевин между собой и с трёхмерными структурами свет может сфокусироваться в одной из них, а спектр излучения – резко сузиться, фактически мы преобразуем многосердцевинное излучение в обычное одномодовое, значительно улучшая при этом его параметры. Мы продолжаем изучать эти эффекты в сотрудничестве с теоретиками, которые строят модели, позволяющие предсказать какие-то новые возможности, даже если мы пока не зафиксировали их в эксперименте. Сейчас активно развиваем теорию непрерывной узкополосной генерации в многосердцевинных световодах, и здесь запись трёхмерных структур показателей преломления открывает новые, неизученные перспективы. Результаты наших исследований удалось опубликовать в самых престижных журналах, в частности, в *Opto-Electronic Advances* с импакт-фактором ~10.

– Сергей Алексеевич, когда мы с вами встречались сразу после начала реализации проекта, то говорили о том, что наука редко развивается чисто поступательным образом, несмотря на расписанный по годам план исследований. Столкнулась ли ваша команда за прошедшие полтора года с какими-то неожиданными открытиями?

– Да, и открытие это касается как раз старых добрых многомодовых световодов. Если в многосердцевинных световодах мы работаем с регулярными структурами, то в многомодовых мы их исследовали на предыдущем этапе, а сейчас перешли к изучению разных типов случайных структур. В частности, создаём внутри волокна такие точечные рассеиватели, когда свет рассеивается во все стороны и частично возвращается назад, что хорошо использовать для обратной связи при генерации пучков заданной формы в многомодовых волоконных лазерах. Иными словами, это гибридные случайно-регулярные структуры, когда сама точка является своего рода микрорешёткой, но решётки эти разбросаны внутри световода случайным образом. И, несмотря на этот случайный разброс, мы неожиданно получили узкополосное излучение очень высокого качества и пространственную фильтрацию пучка, сравнимую по характеристикам с воздействием сложных регулярных структур, исследованных на предыдущем этапе. Так что случайные структуры дали очень неслучайные результаты. Продолжаем и теоретические, и экспериментальные исследования в этом направлении.

– У вашего проекта, как и у многих победителей конкурса для лабораторий мирового уровня Президентской программы РФ, есть промышленные партнёры, что помогает быстрому поиску практического применения результатов фундаментальных исследований. Как развивается сотрудничество?

– Промышленные партнёры финансируют этот проект с большим интересом, потому что мы уже перешли от стадии поисковых исследований к стадии вполне просматриваемых промышленных применений. Активно работаем с компаниями пермского промышленного

кластера «Фотоника» над применением многосерцевинных световодов с встроенными структурами в качестве датчиков формы и трёхмерных деформаций. В таких световодах можно использовать особые материалы, формируя на этой основе датчики, способные работать в агрессивных средах, например, радиационно стойкие, а также датчики для авиакосмических применений. Не менее важно уметь получать и обрабатывать информацию с датчиков. Мы вместе с пермскими компаниями уже разработали такие приборы, они проходят тестирование.

В сотрудничестве с новосибирским СибНИА им. С.А.Чаплыгина вышли на использование многосерцевинных решёток показателя преломления в качестве датчиков сложных деформаций для авиационной промышленности. Структурированные волокна встраивают в композитные материалы для более точного анализа состояния несущих поверхностей, ведь в этой отрасли любая деформация может стать причиной катастрофы.

То есть у нас уже есть проекты и договоры с индустриальными партнёрами, средства от которых идут в том числе на закупку оборудования и значительно увеличивают наши технологические возможности.

Одним из ведущих за годы работы над проектом стало биомедицинское направление. Вместе с лабораторией спектроскопии комбинационного рассеяния ИАиЭ (руководитель – член-корреспондент РАН Н.В.Суровцев) работаем и над лазерными источниками для биомедицины, и над диагностикой биомедицинских объектов с использованием многомодовых волокон. Этой темой занимается наш постдок из Германии, не покинувший институт, несмотря на сложную международную обстановку. Мы добавили в спектроскопию биологических объектов волоконные технологии. Это и волоконные устройства для сбора информации, и источники излучения, просвечивающие объект на нужной длине волны. Например, так можно контролировать процесс замораживания эмбрионов.



Студенты Никита Бочкарев и Саша Ревякин заводят структурированный пучок в 7-серцевинный световод

Перспективны и разработанные нами источники для научного применения. Недавно команда проекта была усилена еще одним постдоком – сотрудницей Института лазерной физики СО РАН. Мы вместе начали создавать новый тип источников сверхкоротких импульсов на основе многосердцевинных световодов. Если все задуманное получится, специалисты ИЛФ СО РАН смогут использовать такие устройства в оптических часах и при создании стандартов частоты с улучшенными характеристиками.

– Насколько я знаю, в заявке на грант говорилось о создании в ИАиЭ СО РАН двух новых молодёжных лабораторий...

– Сейчас внутри нашего коллектива сформировались две молодёжные группы, которые уже успели получить собственные гранты РФФИ по смежным тематикам. Группа Александра Достовалова изучает периодические структуры на поверхности различных материалов, используя уникальное оборудование коллег из Дальневосточного отделения РАН. Группа Дениса Харенко работает в области биомедицины: разрабатывает лазерные источники для нелинейной микроскопии, чтобы анализировать структуру ткани с помощью многофотонной люминесценции. Надеюсь, что в ближайшем будущем эти две группы смогут получить официальный статус молодёжных лабораторий.

Развиваем мы и российско-китайский проект, тоже получивший поддержку РФФИ в 2021 году. Если в прошлом году из-за пандемии работали в основном над теорией, то сейчас начали планировать с китайскими коллегами совместные эксперименты по исследованию нелинейной динамики излучения в многомодовых волоконных усилителях и лазерах. В 2022 году провели международный семинар по волоконным лазерам, приурочив к нему международную молодёжную школу по нелинейной фотонике. Такие школы с приглашением ведущих специалистов в области нелинейной фотоники и волоконной оптики (иностранцы участвовали в режиме онлайн, а российские – очно) мы уже второй год подряд реализуем вместе с Новосибирским государственным университетом.

– Каковы ближайшие планы работы по гранту?

– Если в первые два года мы сосредоточились на фундаментальной части – исследовали физические эффекты – то теперь планируем начать разработку конкретных устройств и систем в интересах промышленных партнёров. Сюда входят лазерные и сенсорные устройства на основе многомодовых и многосердцевинных волоконных световодов с регулярными и случайными структурами показателя преломления.

Кроме того, хотим выйти на новый уровень: ведём исследования по преобразованию излучения из ближнего инфракрасного в видимый и ультрафиолетовый диапазоны. Сейчас работаем с ИК-источниками в области 1 микрона, а собираемся перейти в ближний ультрафиолет – 0,25 микрона. В каком-то смысле мы замкнём круг: новые источники позволят эффективно записывать в световодах новые трёхмерные структуры. Переход к ультрафиолету даст возможность существенно улучшить пространственное разрешение, позволив тем самым формировать более «мелкие» структуры и исследовать многомодовые эффекты в новых спектральных диапазонах.

Ольга КОЛЕСОВА

Фото Натальи Коляды

Источники:

[Неслучайная случайность. Проложен новый путь развития фотоники](https://poisknews.ru) – Поиск (poisknews.ru), Москва, 18 марта 2023.

[Неслучайная случайность. Проложен новый путь развития фотоники](#) – Российский научный фонд (rscf.ru), Москва, 20 марта 2023.

[Новый путь развития фотоники](#) – Российская академия наук (ras.ru), Москва, 21 марта 2023.