

Новый тип лазеров: перспективы в телекоммуникации, медицине и микроскопии

А. АПОЛОНСКИЙ, Мюнхенский университет Людвига-Максимилиана, Институт квантовой оптики общества Макса Планка, Гархинг, Германия.
E-mail: alexander.apolonsky@physik.uni-muenchen.de

Квантовые технологии, современная оптика, изучение лазеров уже много лет являются предметом исследований преподавателей и студентов НГУ. Часть этих исследований ведётся в сотрудничестве с ведущими мировыми исследовательскими центрами. О некоторых перспективных направлениях рассказывает сотрудник одного из таких центров, выпускник НГУ Александр Аполонский.

Ключевые слова: квантовые технологии, волоконный лазер, НГУ

Хотя с момента создания первого лазера прошло больше полувека, до сих пор появляются новые типы лазеров. Иногда новизна состоит в замене старых компонент новыми, обладающими лучшими свойствами, а иногда – в использовании новых принципов действия. Именно таким является разработанный нами волоконный лазер, основанный на генерации нелинейно связанных диссипативных солитонов. Он был впервые продемонстрирован нашей международной группой в 2013 г. в рамках совместного проекта, составляющего часть программы Минобрнауки РФ «Кадры». В нём я выступал в качестве зарубежного ученого, представляющего Мюнхенский университет Людвига-Максимилиана и Институт квантовой оптики общества Макса Планка. Работа на разных её этапах была освещена в нескольких публикациях, в том числе в журнале *Nature Communications* (2014 г.).

Лазер, названный «ДС/РДС лазером»¹, основан на достаточно сложной концепции, о чём свидетельствует хотя бы то, что до сего дня другие исследовательские группы не смогли повторить наши результаты. Не вдаваясь в технические детали, объясню, зачем понадобилось создание такого лазера. Он сочетает в себе высокую энергию импульсов и широкий спектр

¹ ДС – диссипативный солитон, РДС – рамановский диссипативный солитон. Новизна состоит в том, что они генерируются в одном лазере, взаимодействуя между собой. Это и позволяет добиться ранее недоступных характеристик.

излучения – ранее недостижимое сочетание критических лазерных параметров. Высокая энергия импульсов необходима для реализации нелинейных оптических экспериментов, например, для преобразования излучения в новые спектральные диапазоны. Чем выше энергия импульсов, тем более эффективно будут генерироваться новые спектральные компоненты. Созданный нами лазер позволяет не только значительно увеличить энергию импульса (для этого существуют и другие пути), но и расширить его спектр.

Если объединить все сгенерированные в нашем лазере импульсы разных цветов, то они будут выглядеть на шкале частот как «гребёнка» равноотстоящих пиков с ширинами, сравнимыми с расстояниями между ними. Если бы удалось заполнить «дыры» между пиками, то получившийся сплошной суммарный спектр в идеале дал бы короткий (десятки фемтосекунд²) световой импульс высокой энергии. Это часть нового проекта, который мы наметили в рамках пятой волны программы мегагрантов. Она не менее сложна, чем первая часть проделанной работы, – собственно создание ДС/РДС лазера. В настоящее время происходит международная оценка этого нового проекта, результаты ожидаются в сентябре-ноябре 2016 г.

Работа по ДС/РДС лазеру оказалась успешной из-за наличия как необходимых компетенций, так и активных исследовательских групп в новосибирском Академгородке: мощной лаборатории волоконных лазеров под руководством С. А. Бабина в Институте автоматики и электрометрии СО РАН (он и возглавляет этот проект в целом) и эффективной группы Института вычислительных технологий СО РАН под руководством ректора НГУ М. П. Федорука.

Имея такой уникальный лазерный инструмент, мы планировали несколько новых проектов. Одно из направлений – переход на длины волн, используемые в телекоммуникациях. Первые теоретические исследования показывают возможность реализации такой модификации ДС/РДС лазера, сейчас дело за экспериментом. Расширение спектра за счет использования такого лазера позволит увеличить количество каналов передачи данных. Этот проект финансируется за счёт гранта, выделенного

² Фемтосекунда – 10^{-15} секунды.

в рамках федеральной целевой программы. Возглавляют проект ректор НГУ М. П. Федорук и руководитель международного центра фотоники НГУ С. К. Турицын.

Много обещает разработанный нами лазер для медицинской спектроскопии. Во взаимодействии с новосибирскими медиками и биологами мы планируем развитие малоинвазивной медицинской диагностики, нацеленной на надёжное выявление максимально ранней стадии заболеваний. В настоящее время такой универсальной диагностики не существует. Таковой может стать оптически-ориентированная диагностика биологических проб (крови, дыхания). Над её реализацией работают несколько исследовательских групп в разных странах. Кстати, уже пару лет я активно участвую в такой деятельности в Германии (правда, в усечённом варианте, с упором на онкологию). Я слышал об успехах в этой области и новосибирских исследовательских групп, но не знаю их достижений.

Достоинство оптической спектроскопии по сравнению с применяющейся сейчас масс-спектрометрией – возможность быстрого и глобального (т. е. суммарного) сравнения спектров поглощения биопроб исследуемых групп пациентов с контрольными группами. Основная техническая проблема такой диагностики в настоящее время заключается в отсутствии широкополосных лазеров среднего инфракрасного диапазона. А все биопробы очень сильно поглощают излучение как раз в этом диапазоне. Из-за отсутствия лазеров приходится строить специальные схемы для преобразования имеющегося излучения в эту область спектра. Такие схемы малоэффективны, и поэтому, для того чтобы получить на выходе уверенно детектируемый сигнал, требуют на входе значительной энергии инфракрасного лазера. Мы такую схему недавно реализовали в Германии с помощью дискового иттербиевого лазера и нелинейного кристалла, и в настоящее время тестируем световую чувствительность и динамический диапазон спектрометра с этими элементами. О сложности проделанной работы свидетельствует публикация обеих её частей (одна относительно инфракрасного лазера, а другая – про перевод его излучения в средний инфракрасный диапазон и построение чувствительного спектрометра на его основе) в журналах семейства Nature.

В проекте, запланированном совместно с новосибирским Академгородком, мы хотим вместо дискового использовать ДС/РДС лазер, поскольку дисковая технология необходимого уровня в настоящее время разработана лишь одной фирмой Германии. Поэтому предлагаемый волоконный вариант лазерного источника можно рассматривать как пример импортозамещения. Более того, продвинутый вариант ДС/РДС лазера с дополнительными компонентами позволяет получить очень широкий непрерывный спектр и потому выглядит очень перспективным. Хочу заметить, что и в немецком, и в новосибирском проектах используется нелинейный кристалл, выращиваемый в технологическом бюро «СКТБ Монокристалл» (новосибирский Академгородок). В мире нет других мест, где такой кристалл могут вырастить. Ростовая группа под руководством Л. И. Исаенко предоставляет технологическую поддержку упомянутого выше проекта.

Нужно сказать, что уже десятки лет успешно развиваются спектрометры среднего инфракрасного диапазона, основанные на нелазерном (термическом) источнике излучения. Такие спектрометры, называемые «Фурье-спектрометрами», за последние 40 лет были доведены до чрезвычайно высокого уровня, который мы, даже имея лазерный источник, по некоторым параметрам до сих пор не можем превзойти. Используя такой спектрометр, мы уже год работаем в области медицинской спектроскопии, разрабатывая протоколы взятия, исследования и хранения биопроб, а также статистический анализ полученных спектроскопических данных. Всё наработанное пригодится нам при введении в строй лазерного спектрометра. Согласно литературе, достигнутая специфичность и чувствительность³ диагностики с помощью Фурье-спектрометров для ряда заболеваний уже достигает уровня 90%, что может стать достаточным основанием для медиков рассматривать этот метод диагностики как дополнительный к имеющимся. Заметим также, что для большинства видов онкологии существующие диагностики *in vitro*⁴ (в основном на основе гистологического исследования тканей после биопсии) не дают

³ Чувствительность – вероятность верного обнаружения болезни у исследуемого индивидуума, специфичность – вероятность отсутствия ложного диагноза у здорового индивидуума.

⁴ *In vitro* – вне живого организма, *in vivo* – на (или внутри) живой ткани при живом организме.

чувствительности и специфичности выше 95%. В немецком проекте, анализируя кровь пациентов, мы достигли чувствительности 90% и специфичности 99% для рака лёгких (правда, на не очень большой статистике: сотня пациентов и пятьдесят человек в контрольной группе). Отличия разных стадий заболевания пока менее надёжны. С точки зрения пациента анализ крови гораздо предпочтительней биопсии.

Наличие очень широкого непрерывного спектра среднего инфракрасного диапазона позволяет осуществлять ближнепольную микроскопию биологических объектов с пространственным разрешением в десятки нанометров⁵. Уже сейчас такой подход позволяет исследовать *in vitro* структуру костей у больных, страдающих остеопорозом, или зубов. Например, обнаружено, что зубы пронизаны каналами непонятного назначения размером менее микрона.

Нелинейная (лазерная) оптическая микроскопия позволяет определять пространственные характеристики биологических объектов с разрешением в микрометры (что достаточно для визуализации клеток), причем не только *in vitro*, но и *in vivo*. Как правило, этот вид микроскопии требует маркеров, попадающих в опухоли и флуоресцирующих в определенном диапазоне спектра, детектируемом в эксперименте. Наличие широкого инфракрасного спектра лазера позволяет использовать большой набор маркеров и оптимизировать при этом пропускание тканей, также зависящее от длины волны. Разработанный нами ДС/РДС лазер имеет хорошие перспективы в обоих видах микроскопии.

«ЭКО»-информ

Согласно данным Ассоциации VDW и консалтинговой компании Ortech Consulting (Швейцария), лазерное технологическое оборудование занимает сегодня 12% мирового рынка обрабатывающего технологического оборудования (в стоимостном выражении), причем эта доля достаточно быстро увеличивается. В отдельных секторах зарубежной обрабатывающей промышленности лазерные технологии занимают до 30–35%.

⁵ Нанометр – 10^{-6} мм, микрометр (микрон) – 10^{-3} мм.