DOI: 10.22184/1993-7296.FRos.2019.13.6.552.557

# LASER World of PHOTONICS 2019. Квантовые технологии и не только

**Квантовые технологии – наступающая революция в мире науки и техники. Ни одна новостная лента не обходится без каких-либо упоминаний о них, венчурные агентства вступили в схватку между собой за право финансировать инновации. На выставке LASER World of PHOTONICS 2019 в Мюнхене были представлены интересные продукты по этому мегатренду.**

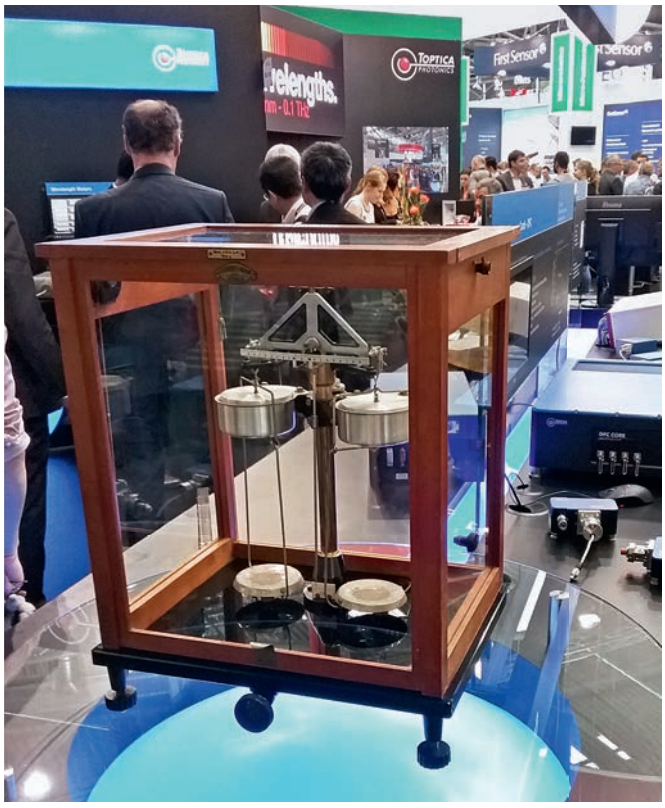
Среди лидеров – компания Toptica Photonics. На протяжении более двух десятков лет Toptica оттачивала мастерство, создавая лазеры, и теперь они идеально подходят для новых стартапов в области квантовых технологий. Компания представила посетителям выставки квантовые симуляторы, атомные часы и демонстратор квантовых вычислений с ионной ловушкой. На выставке редакция журнала ФОТОНИКА посетила экспозицию компании Toptica, экскурсию по продуктам провел доктор Ян Шефер, менеджер Toptica по продажам в Германии, Австрии, Швейцарии, странах Балтии и России.

**Господин Ян Шефер, расскажите, пожалуйста, об устройствах для квантовой метрологии. Эта тема очень интересна для наших читателей.**

Вначале я бы хотел представить нашу компанию Toptica Photonics. Toptica разрабатывает и производит высокотехнологичные лазерные системы для научных и промышленных применений. Пользователи продукции компании Toptica – научные исследовательские коллективы и OEM-клиенты. Все они отмечают широкие возможности использования лазеров Toptica, благодаря ряду высоких технических характеристик, в том числе идеальному профилю лазерного пучка, надежности и долговечности изделий.

Toptica – частная компания, основанная в 1998 году. Ее штаб-квартира расположена в городе Грефельфинг недалеко от Мюнхена (Германия). Компания насчитывает 300 сотрудников, которые разрабатывают системы под индивидуальные заказы. Toptica тесно сотрудничает с несколькими университетами и институтами, причем самые последние научные открытия часто бывают включены в коммерческие продукты. В настоящее время ее годовые доходы составляют около 60 млн евро.

Ян Шефер является глубоким экспертом в области лазерной физики и лазерных приложений. Он получил докторскую степень по физике в Эрлангенском университете/Институте света Макса Планка. В годы своей университетской карьеры Ян Шефер проводил экспериментальные исследования в области микролазеров с квантовыми точками и области создания лазерных ловушек для захвата ионов.



Основные рынки фотоники, которым Toptica адресует свою продукцию, – это квантовая оптика, квантовые технологии (QT), биология и спектроскопия, а также контрольное и измерительное оборудование. Компания позиционирует себя как лидера, владеющего ключевыми технологиями в области создания одномодовых и одночастотных диодных лазеров, перестраиваемых диодных лазеров, волоконных лазеров (ps/fs), терагерцевых систем и частотных комбов для QT. Ни одна новость, публикуемая современными научными изданиями, не обходится без упоминания о QT. И Toptica активно участвует в сложных QT-проектах, – она партнер в четырех крупных проектах флагманского квантового проекта ЕС и возглавляет один из трех пилотных проектов Национальной квантовой инициативы Германии.

Вместе со своими партнерами из научных лабораторий Toptica продвигает на рынки квантовые симуляторы, в ее отделах R&D созданы портативные атомные часы и демонстратор квантовых вычислений на основе ионной ловушки. На выставке LASER World of PHOTONICS 2019 компания была одним из организаторов двух панельных сессий, посвященных оптическим QT: одна – в области вычислений, другая – в области связи.

Наша компания производит только лазеры и лазерные установки. Здесь на выставке мы экспонируем основную часть наших лазерных технологий.

В России официальным представителем компании Toptica является компания «ЕвроЛэйз» (www.eurolase.ru), которая с 1999 года специализируется на поставке лазеров, аналитического оборудования, оптомеханических, оптических приборов и инструментов для науки и промышленности. Специалисты компании имеют многолетний опыт работы в прикладных областях науки, что позволяет квалифицированно консультировать заказчиков по вопросам выбора и эксплуатации оборудования. Все поставляемое оборудование обеспечивается гарантийным обслуживанием на всей территории Российской Федерации.

**Экспозиция компании построена в стиле музея техники и технологий. Мы видим старинные часы, арифмометр, телефон. Какую идею вы закладывали в основу экспозиции?**

Посетитель должен увидеть, как инновации изменили привычные для него объекты: часы, счетные инструменты, средства связи. Продукция охватывает самые разнообразные применения, начиная с диодных лазеров.

Премьерой выставки Laser World of Photonics 2019 стали диодные перестраиваемые лазеры с внешней решеткой серии DLC – TOPO. Благодаря полностью моторизованному и управляемому контроллеру DLC pro, лазер обеспечивает действительно узкую ширину линии 2 МГц ($1 \cdot 10^{-5}$ см$^{-1}$) и предназначен для средней ИК-спектроскопии (1,45–4,0 мкм (2500–6900 см$^{-1}$). В декабре 2018 года лазер серии DLC – TOPO удостоился премии Prism Awards for Photonics Innovation.

Лазеры серии DLC – TOPO выпускаются в широком диапазоне длин волн от 633 нм до 1600 нм. Такие лазеры имеются в синем диапазоне волн, но если вам надо получить видимый или ультрафиолетовый диапазон, то применяется технология удвоения или учетверения частоты для получения желаемой длины волны. Но, на самом деле, вы один раз генерируете вторую гармонику внутри резонатора, а второй раз – вне его. Это также специальная технология, которую применяет Toptica.

Toptica в экспозиции представила серии различных лазеров. Конструкция перестраиваемых диодных лазеров обеспечивает излучение с очень узкой шириной линии. Такие лазеры работают в широком диапазоне волн от 200 нм до 3500 нм и даже достигают 4000 нм. Все устройства состоят из модулей, начиная с диодных решетчатых лазеров, включая портативные усилители для получения большей мощности и устройства с нелинейным двойным преобразованием частоты в резонаторе, которые эффективны при удвоении частоты.

Toptica выпускает фемтосекундные лазеры для регистрации ультрабыстрых молекулярных и атомных процессов. Компания очень сильна в квантовых технологиях, поскольку наши лазеры имеют исключительно стабильную частоту, которую дополнительно можно стабилизировать по опорному сигналу.

**Представьте, пожалуйста, новинки терагерцевых лазеров.**

Toptica владеет широким спектром технологий для производства терагерцевых систем разного применения, в основе которых лежат как непрерывная, так и импульсная генерация терагерцевого излучения. Комплексирование перестраиваемых диодных лазеров и фемтосекундных волоконных лазеров совместно с оптоэлектронными элементами на основе GaAs и In GaAs, служащими для создания фотопроводящих антенн, позволяет создавать на их базе ТГц-генераторы и устройства. У Toptica есть две технологии: первая использует импульсные волоконные лазеры, и вторая – перестраиваемые диодные лазеры, работающие в режиме CW.

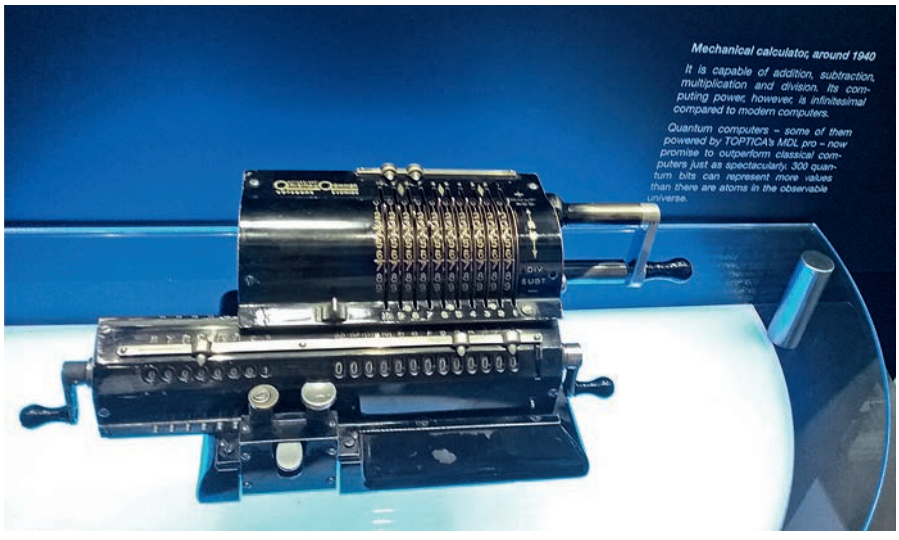
На выставке представлена наша новая импульсная система TeraFlash smart, которая может проводить измерения со скоростью 1600 импульсов в секунду и используется для измерения толщины образца, обеспечивая быстрые измерения толщины слоя даже на скоростных

движущихся образцах. Главное применение TeraFlash Smart – спектроскопия в терагерцевом диапазоне частот, неразрушающее тестирование, измерение толщины слоя и исследование материалов. В отличие от традиционных терагерцевых спектрометров во временной области, устройство TeraFlash smart не использует механический блок задержки, но включает в себя два синхронизированных фемтосекундных лазера с электронной задержкой («оптически дискретизированный с электрическим управлением», ECOPS).

**Вы анонсировали новинки в области квантовой метрологии. Какие продукты компания представила на выставке?**

Поскольку вы интересуетесь квантовой оптикой и метрологией, я бы хотел показать вам еще пару других вещей. У нас есть лазерные источники для квантового компьютера. Есть система из четырех стабилизированных диодных лазеров, которые используются для того, чтобы захватить ионы кальция в ловушку. Таким образом, вы можете иметь полную установку, собранную из лазеров различного назначения, для различных экспериментов, что очень удобно.

И еще одна установка, наша гордость, – система под названием Difference Frequency Comb. Это как бы линейка в частотном пространстве. Она используется для экспериментов по исследованию холодных атомов или оптических часов. Для создания оптических часов применяются разные химические элементы, например, стронций, иттербий. Вы точно отслеживаете переход в атоме




и максимально точно определяете частоту, чтобы потом использовать полученные значения как эталон времени.

Вот этот большой агрегат обеспечивает стабильную работу системы GPS. Пока его конструкция остается довольно большой, агрегат состоит из многих модулей, но это самая актуальная технология. Нам надо сделать его более стабильным. Для начала, чтобы сделать его более компактным и удобным в использовании, т.е. мы используем stable frequency comb расческу стабильности частоты.

Мы стабилизируем лазеры частотной гребенкой, и делаем это хорошо, поскольку в основе устройства частотной гребенки лежат наши же ультрабыстрые волоконные лазеры, где у нас накоплен большой положительный опыт. И все это устройство комбинируется с перестраиваемыми диодными лазерами для создания систем стабилизацией частоты, используемых в таких экспериментах, как, например, оптические часы для эксперимента LIGO.

**В экспозиции появился необычный лазер для создания опорной звезды. Toptica расширяет область своих продуктов?**

В 2016 году у компании Toptica появилась дочерняя компания TOPTICA Projects, которая является ведущей мировой компанией, владеющей лазерной технологией создания натриевой направляющей звезды – проект SodiumStar, и продвигает этот проект во все большие наземные телескопы. Это уникальная система – очень мощный желтый лазер для адаптивной оптики телескопов (Laser Guide Star – LGS).

Существуют естественная опорная звезда и искусственная. Мы создаем лазером искусственную опорную звезду, потому что на небе не так много звезд, по которым можно ориентироваться. Дело в том, что результаты астрономических наблюдений больших наземных телескопов сильно зависят от турбулентности среды. Чтобы выйти за пределы ограничений, астрономы для коррекции атмосферных искажений света снабжают телескопы адаптивной оптикой, которая восстанавливает волновой фронт. Однако для работы адаптивных оптических систем требуется наличие опорного источника света с известным волновым фронтом. Сравнение известного волнового фронта опорной звезды с волновым фронтом, полученным в результате астрономических наблюдения опорной звезды, позволяет внести коррективы в результаты наблюдений других объектов и тем самым приблизиться к теоретическому пределу углового разрешения телескопа. Для этого используют лазерный метод создания искусственной звезды. На высоте около 90 км существует слой атомов Na, который можно возбудить мощным лазером и получить опорный источник. Искусственная

звезда возникает, когда мощный лазер заставляет этот слой атомов натрия светиться и излучать когерентный свет на длине волны 589 нм. Лазер должен быть включен в систему адаптивной оптики, но создание такого мощного лазера с узконаправленным излучением и связанным с системой управления адаптивной оптикой является нетривиальной задачей.

Принцип работы лазерного блока базируется на схеме, содержащей полупроводниковый генератор (диодный лазер с линейным поляризованным непрерывным излучением на длине волны 1178 нм) в качестве затравочного источника для рамановского волоконного усилителя, накачиваемого поляризованным волоконным лазером (PM). Длина волны излучения стабилизируется с помощью высокоточного измерителя длины волны с высоким разрешением 10 МГц. Пройдя последующее усиление, мощное лазерное излучение преобразуется в желтую область спектра в модуле генерации второй гармоники (SHGM). Частотные боковые полосы для оптической перекачки генерируются через ток модуляции затравочного лазера. Узкий спектральный выход согласован по моде с эффективным резонатором удвоения частоты и обеспечивает на выходе оптическую мощность выше, чем 20 Вт, на длине волны 589 нм. Технология запатентована ESO (Европейская южная обсерватория, межправительственная астрономическая организация Европы, создана в 1962 году).

Лазер имеет модульную конструкцию и удобен для использования в астрономических целях. Тестирование лазерного блока для дистанционного управления прошло в суровых условиях на горной вершине при наличии тепловых и вибрационных (из-за сейсмичности) колебаний. Общий вес модуля 700 кг.

Компания Toptica выпускает лазер SodiumStar 20/2, принятый в качестве квазистандартного для создания искусственной звезды для действующих и планируемых сверхгигантских телескопов следующего поколения по всем мире. Кроме проекта искусственной звезды, TOPTICA Projects отвечает за разработку специализированных лазерных систем с очень высокой технической сложностью, которые выходят за рамки производимых Toptica готовых компонентов и модулей.

**Благодарим вас за интересную беседу!**

*С доктором Я. Шефером беседовали*
*О. Азарова, Н. Истомина и Л. Карякина*