

«АВЕСТА»: особенности технологии сборки фемтосекундных лазеров

Визит на производство компании «АВЕСТА»

Н. Л. Истомина, Л. В. Карякина



Более 25 лет назад в Троицке была создана компания «АВЕСТА». Основное направление деятельности фирмы – разработка, производство и сервисное обслуживание твердотельных и волоконных фемтосекундных лазеров и соответствующего измерительного оборудования для научных и промышленных применений. Как создается оборудование «АВЕСТА», за счет каких технологий компания прочно заняла место среди лидеров? За ответом на эти вопросы редакция журнала ФОТОНИКА приехала в Троицк. Встречу организовал генеральный директор компании Александр Викторович Конященко.

В 20 км к юго-западу от Московской кольцевой автодороги по Калужскому шоссе расположился город Троицк. Здесь на площади чуть более 16 квадратных километров живут около 60 тысяч человек. По меркам города, это городское поселение, которое до 70-х годов XX века носило имя Академгородок, затем его переиме-

новали в Троицк. Статус наукограда Троицк получил в 2007 году.

Между тем задолго до этой даты город приобрел свое громкое имя в научном мире. Прежде всего благодаря известным научно-исследовательским центрам, в числе которых было отделение квантовой радиофизики Физического института Академии наук СССР (ФИАН). Еще в середине 60-х годов академик Николай Геннадьевич Басов, будучи директором ФИАН и имея определенное политическое влияние, получил разрешение на строительство дополнительной научно-исследовательской площадки. Быстро было организовано научное подразделение для исследований мощных химических лазеров, и территория была застроена исследовательскими корпусами.

С 90-х годов, когда на территории работало полноценное подразделение ФИАН, его сотрудники начали развивать направление прикладного использования фемтосекундных лазеров. Собственно компания «АВЕСТА» начала свою работу с небольшой группы в 3-4 человека. Главный приоритет



Александра Викторовича всегда состоял в том, чтобы рассчитывать только на свои силы. Сначала лазеры производили для собственных нужд, однако уже в 1992 году направление создания фемтосекундных лазеров для научных исследований стало отдельным бизнесом компании.

Фемтосекундный лазер – это очень сложный прибор. Для того чтобы его произвести, настроить, запустить и протестировать, нужно очень много сопутствующего вспомогательного оборудования. Резонатор и активная среда – вроде бы основные элементы лазера. Если добавить накачку для создания инверсии населенности, то получится генератор вынужденного излучения. Вроде бы все просто, но это еще не повод считать такой лазер уникальным инструментом. Только тогда, когда будет реализован многомодовый режим генерации и фазы мод будут синхронизованы друг с другом, когда в результате компенсации дисперсии элементов резонатора возникнет генерация спектрально-ограниченных фемтосекундных импульсов, только тогда беспорядочная череда флуктуационных пиков обретет уникальность. Теперь сформированная последовательность коротких импульсов позволит добиться высокого временного разрешения в спектроскопии, точной микрообработки материалов, создавать микрофлюидные каналы, оптические часы.

Длительность фемтосекундных импульсов существенно короче характерных времен фазовых переходов и термических процессов в веществах (десятков и сотен пикосекунд), а также времен, характеризующих протекание химических и биологических реакций. Это привело к высокой популярности фемтосекундных лазеров среди пользователей лазерных инструментов. Особенно перспективными фемтосекундные лазеры оказались с точки зрения приложений: в спектроскопии с высоким временным разрешением, в метрологии оптических частот, в диагностике быстропротекающих процессов. В медицинской технике лазерное текстурирование поверхности

материалов с помощью фемтосекундных лазеров позволяет добиваться высокой коррозионной стойкости, биосовместимости и биоактивности материалов.

За эти годы твердотельные фемтосекундные лазеры на $Ti:S$ и Yb , лазерные усилители на $Ti:S$ и $Cr:F$, волоконные лазеры на Er и Yb стали визитной карточкой компании «АВЕСТА», ее традиционной продукцией. Более 2500 клиентов

Длительность фемтосекундных импульсов существенно короче характерных времен фазовых переходов и термических процессов в веществах

по всему миру пользуются фемтосекундными лазерами производства фирмы «АВЕСТА». В терагерцевой спектроскопии они используются для генерации ТГц-импульса (при накачке кристалла $1\% MgO:LiNbO_3$ используется лазер $TeMa1050/100$). В современном материаловедении они применяются для производства высокотермостойких структур на основе ненасыщенных полимеров методом 3D-стереолитографии. В процессе двухфотонной полимеризации с использованием излучения второй гармоники иттербиевого фемтосекундного лазера «TeMa-1050/100» ($\lambda = 525$ нм,





длительность импульса 100 фс и частота 80 МГц) позволяет получать структуры с заданной архитектурой, с заданными оптическими и электрофизическими свойствами.

Так сложилась история, что преимущественное развитие на российских лазерных просторах получили лазеры для научных исследований. Тематика исследований компании «АВЕСТА» расширялась, и для собственных нужд при настройке лазера стало необходимым собирать автокорреляторы для измерения длительности импульсов, спектрометры для исследования спектра генерации, фотоприемники различных типов для детектирования сигналов и их дальнейшей обработки в электрон-

исследования временных и спектральных характеристик, оборудование детектирования оптических сигналов, электронные блоки фазовой автоподстройки частоты, детали крепежа для элементов лазера, столики, подвижки, оправки, держатели оптики как метрических, так и дюймовых габаритов. Открыли собственный механический цех. Сейчас полная номенклатура продукции компании – более 700 единиц. Имя «АВЕСТА» оказалось настолько блестящим, что не только лазеры, но и дополнительные аксессуары и приборы для диагностики и измерений стали удачно продаваться под этим брендом. В целом с 1996 по 2020 год было продано более 2500 фемтосекундных лазеров по всему миру.

Фемтосекундный лазер, как продукт, в принципе, не может быть серийным изделием. Это устройство настолько сложное, что каждый отдельный прибор, даже серийный или штатный, требует индивидуального подхода и индивидуальной настройки. Эти операции достаточно затратные и могут выполняться только грамотными специалистами с уровнем квалификации не ниже инженера первой категории. Компания приветствует выпускников разных вузов: МИФИ, МГУ, МГТУ им. Баумана, МИРЭА, ДВУПС, видящих свой карьерный путь в стенах компании.

Каждый лазер – это индивидуальная работа, к его созданию нужен индивидуальный подход, с учетом большого количества тонкостей и нюансов технических требований и функционального назначения. Очень часто в компанию «АВЕСТА» обращаются заказчики не просто за конкретным лазерным инструментом. Они представляют только перечень технических характеристик требуемого под свои задачи прибора, а сотрудники «АВЕСТЫ» рассматривают возможности его разработки и создания уже с точки зрения наиболее современных и рациональных научно-технических решений, безусловно, с соблюдением высокого качества и уровня надежности. Для решения задач заказчика компания может даже предложить совместить несколько самостоятельных

Твердотельные фемтосекундные лазеры на $Ti:S$ и Yb , лазерные усилители на $Ti:S$ и $Cr:F$, волоконные лазеры на Er и Yb стали визитной карточкой компании «АВЕСТА»

ных блоках синхронизации и автоматического регулирования параметров, делать оптомеханику, детали для конструкции лазера. Но потом все это переродилось уже в самостоятельный выпуск продукции. Таким образом, в продуктовой линейке «АВЕСТА» постепенно появлялись уже самостоятельные направления: диагностическое оборудование для

модулей друг с другом в единую лазерную систему. Так, например, родился прибор EFO-COMB – первый серийный и коммерчески доступный оптический синтезатор частоты отечественного производства. Связка высокостабильного задающего генератора и нескольких оптических усилителей, генераторов гармоник и суперконтинуума с высокотехнологичным электронным блоком детектирования и обработки сигналов. Это единая система, которая может применяться для решения различных задач в метрологии, стандартизации и синхронизации. EFO-COMB подходит для исследовательских и промышленных применений: прецизионное измерение длины, оптические часы, астрономия, передача эталонных сигналов времени и частоты по оптоволокну, создания бортовых и носимых стандартов частоты, стабилизации и синхронизации различных генераторов.

Модули на основе специальных микроструктурированных волоконных световодов (т. н. фотонно-кристаллические световоды, или ФКС) серии GECON применяются для генерации суперконтинуума. Такие модули можно использовать с источниками излучения на титан-сапфире TiF или с эрбиевыми волоконными лазерами с генерацией второй гармоники EFOA-SH. Широкий непрерывный спектр от 400 нм до ближнего ИК-диапазона позволяет решать широкий спектр задач в спектроскопии, современных технологиях флуоресцентной микроскопии при исследованиях в области биофизики и т. д.

Титан-сапфировый лазерный генератор, синхронизованный по частоте следования импульсов с Yb-лазером накачки за счет нелинейного взаимодействия импульсов накачки и генерации в кристалле активной среды, стал одним из новых лазерных инструментов, выведенных компанией «АВЕСТА» на рынок. Его применение в визуализации биообъектов за счет двухфотонного поглощения позволит использовать инструмент в физиологии, тканевой инженерии, работе с химерами. Современная технология локальной фотополимеризации

(PDMS) также выполнима с помощью этого лазерного инструмента.

За годы работы компании было рассмотрено много схем реализации лазеров с ультракороткими импульсами, произошло много изменений в самой конструкции фемтосекундных лазеров. Постоянно совершенствуются схемы как пассивной, так и активной синхронизация мод, с учетом наиболее современных

Фемтосекундный лазер, как продукт, в принципе, не может быть серийным изделием

и актуальных результатов исследований в области физики лазеров ультракоротких импульсов и их адаптации к применению в коммерчески доступных turn-key системах с высоким уровнем автоматизации и надежности. «X» и «Z» конфигурации конструкции лазера обеспечивают острую фокусировку в активной среде и хорошее согласование мод с параметрами лазера накачки. Высокая оптическая нелинейность в структурах полупроводникового зеркала с насыщающимся поглощением (SESAM) и сверхбыстрые времена релаксации их электронных возбуждений (десятки



фемтосекунд) позволили использовать их в качестве насыщающихся поглотителей для реализации режима самосинхронизации мод при формировании фемтосекундных импульсов в лазерах ближнего ИК-диапазона. В конструкции одного из самых компактных волоконных лазеров «PEGL» такой насыщающий поглотитель является одним из зеркал резонатора, собранного по наиболее эффективной современной схеме

«X» и «Z» конфигурации конструкции лазера обеспечивают острую фокусировку в активной среде и хорошее согласование мод с параметрами лазера накачки

на оптических волокнах с поддержкой состояния поляризации. Для достижения меньшей длительности импульса после компрессии используют различные волноводные структуры, заполненные газовой средой, для обеспечения высокого значения нелинейного показателя преломления. Таков капиллярный компрессор Compulse-800, который обеспечивает на выходе длительность импульса <10 фс и энергию 500 мкДж на частоте 1 кГц.

Продолжая традиции самолетостроителей СССР, компания «АВЕСТА» дает

всем своим лазерам имена их создателей. Так родились имена TeTa, TeMa.

Сотрудники компании ведут постоянные исследования. Их результаты затем лягут в основу рабочих режимов будущих инструментов. Изученные эффекты взаимодействия излучения ультракоротких лазерных импульсов с веществом впоследствии используются в фемтосекундных лазерах для производства элементов микроэлектроники, проведения стресс-тестов (модели TeTa, ANTAUS). Для chirпирования и компрессии импульсов требуются нелинейные оптические кристаллы, капилляры, заполненные газом. Подбор давления и температуры этих газов, выбор нелинейных кристаллов и их длины, поиск зависимостей параметров лазерного пучка от дисперсии материалов, определение толщины нелинейных поглотителей, наносимых на зеркала резонаторов – все это результаты многолетних тщательных испытаний. Другие испытания направлены на подбор материалов для изготовления конструкции лазеров. В вакуумной технике существует огромная проблема «газящих» материалов. Компрессоры импульсов мощных усилительных систем выпускаются в герметичных корпусах с разряженной атмосферой, и все крепежные и юстировочные узлы в них подбираются с особой тщательностью, для избежания образования нагара и грязевого налета на оптических поверхностях, которые неизбежно привели бы к быстрому выходу модуля из строя. Кроме того, компания «АВЕСТА» регулярно осуществляет сервисное и профилактическое обслуживание поставленных систем при необходимости на протяжении многолетнего срока эксплуатации.

Компания «АВЕСТА» создала высокий технологический уровень производства. Весь производственный цикл направлен на создание стабильных в эксплуатации лазерных инструментов. Требования герметичности конструкции, автоматической подстройки длины резонатора обеспечивают юстировочные работы над каждым лазером в «чистых помещениях». Еще на этапе



проектирования и прототипирования обрабатываются все элементы конструкции. Точные дисперсионные характеристики определяются должным подбором длины кристалла активной среды, активных и пассивных волоконных световодов и других элементов резонатора. Герметичность корпуса конструкции обеспечивает сухие условия эксплуатации нелинейных оптических кристаллов, известных своей высокой гигроскопичностью. В особых условиях «чистых помещений» происходит настройка резонатора титан-сапфирового лазера, совмещение перетяжек излучений накачки и генерации, настройка компрессора генератора для синхронного режима генерации двух лазеров. Для сохранения синхронизации и для стабилизации центральной длины волны спектра в ходе эксплуатации лазера создано ПО управления подстройкой длины резонатора на основе обратной связи с датчиков температуры, влажности, давления. Накачка у фемтосекундных лазеров производства «АВЕСТА» разная: все зависит от требований заказчика к характеристикам лазера. Например, для титан-сапфирового лазера выпускаются варианты конструкции с прямой диодной накачкой или с накачкой DPSS Yb лазером.

Производственные помещения компании занимают два здания: в одном из них находится отдел волоконных лазеров и часть отдела проектирования управляющих контроллеров, в другом – отдел твердотельных фемтосекундных лазеров, большая часть усилителей и цех механообработки. Для подавления рассеянного светового фона внутри оптического тракта конструкции лазерных устройств,

некоторые ее элементы необходимо покрыть светопоглощающим материалом (диафрагмы, столики, подвижки и другие детали, изготавливаемые из алюминия). Эти операции выполняют в цехе гальванических покрытий. После чернения можно, например, вклеить в подставку линзу или зеркало. На российском рынке продукция оптомеханики компании «АВЕСТА» демонстрирует ряд преимуществ перед аналогичной продукцией иных известных производителей. Качество и точность позиционирования – все примерно одинаковое, а сроки поставки продукции компании – быстрые.

Бренду «АВЕСТА» свойственны высокие показатели качества, соответствие современным требованиям к характеристикам оборудования и высокая надежность

Очень важный аспект работы компании «АВЕСТА» – обеспечение качества продукции. Поэтому компания как можно больше узлов делает сама. Разумеется, некоторые комплектующие закупаются, но при этом они проходят тщательный входной контроль. На всех позициях в компании «АВЕСТА» работают только высококвалифицированные специалисты. Это инженеры, сотрудники механосборочных цехов и сервисных служб. Бренду «АВЕСТА» свойственны высокие показатели качества, соответствие современным требованиям к характеристикам оборудования и высокая надежность. ■



УНИКАЛЬНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

ВЫСОКОАПЕРТУРНЫЕ ГРАДИЕНТНЫЕ ЛИНЗЫ

NEW!

Градиентная линза **IPG-GRL-18-55-048** - оптический элемент в виде цилиндра с плоскими полированными торцами. Градиентная линза является основой современных микрооптических устройств, предназначенных для фокусировки и коллимации излучения, передачи и трансформации изображения.



ПРАКТИЧЕСКОЕ ОТСУТСТВИЕ СФЕРИЧЕСКИХ АБЕРРАЦИЙ

Минимальные сферические aberrации, обусловленные градиентным распределением показателя преломления, делают их незаменимыми при создании элементной базы волоконно-оптических линий связи, контрольно-измерительной аппаратуры систем связи и передачи информации, медицинских устройств.



Преимущества

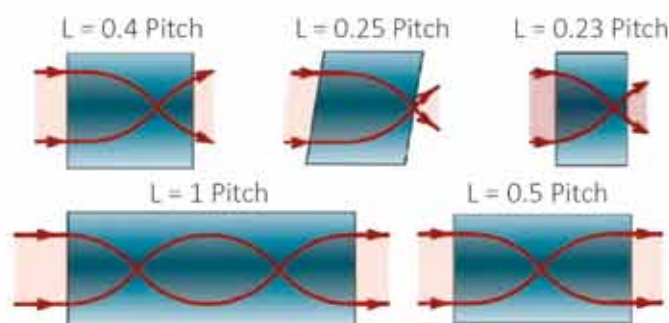
Параметры линзы определяются радиальным градиентом показателя преломления

Плоскопараллельные торцы

Большая посадочная поверхность (цилиндрическая)

Формирование параметров линзы (фокусное расстояние, рабочий отрезок, расходящийся / сходящийся / коллимированный пучок на выходе) подбором ее длины

Собственная разработка с гарантией качества



НЕПРЕВЗОЙДЁННАЯ НАДЁЖНОСТЬ ОПТИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ

НТО "ИРЭ-Полюс" производит различные компоненты, включая диоды накачки, волоконные брэгговские решетки, акусто-оптические модуляторы, объединители, ответвители, оптические изоляторы, активное волокно, коллиматоры и другие компоненты.



СОБСТВЕННАЯ РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО

НТО "ИРЭ-Полюс" разрабатывает и серийно производит высокоэффективные волоконные лазеры и усилители, оптические компоненты, узлы, модули, приборы, подсистемы и системы для:

- Промышленных комплексов лазерной резки, сварки, наплавки, термообработки, маркировки, очистки и т.д.
- Оптической локации, дистанционного контроля промышленных объектов и атмосферы
- Контрольно-измерительных систем, сенсорики
- Научных исследований
- Волоконной, атмосферной и спутниковой оптической связи, кабельного телевидения
- Хирургии и биомедицины

НТО «ИРЭ-Полюс» является вертикально интегрированной компанией, производящей все компоненты для своих законченных продуктов, включая диоды накачки, акустооптические модуляторы, изоляторы, объединители, ответвители, оптическое волокно и другие компоненты.

+7 (496) 255 74 46; sales@ntoire-polus.ru

www.ipgphotonics.com

