



## Новый коллективный член Лазерной ассоциации – Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН

*В конце 2011 года коллективным членом Лазерной ассоциации стал Физический институт им. П.Н.Лебедева Российской Академии наук. Настоящий выпуск «Лазер-Информа» посвящён этому замечательному научному центру, где трудами Н.Г.Басова и А.М.Прохорова с коллегами было положено начало всему тому, что сегодня мы называем квантовой электроникой и лазерной физикой, из чего выросла лазерная техника и, в конечном счёте, лазерная отрасль современного хай-тека.*

*В ФИАНе на самом высоком уровне ведутся исследования по многим направлениям современной физики, его сотрудники и сегодня занимают передовые позиции в целом ряде таких направлений. О некоторых недавних результатах в области фотоники, полученных в Институте, рассказывают публикуемые ниже заметки, любезно предоставленные редакции «Л-И» Агентством научной информации «ФИАН-информ», которому мы выражаем искреннюю благодарность.*



Физический институт им. П.Н.Лебедева (ФИАН) – старейший научно-исследовательский центр России, ровесник Российской Академии наук,

после учреждения которой физика в нашей стране получила полноправный статус самостоятельной науки.

ФИАН вправе гордиться достижениями своих учёных, удостоенных Нобелевских премий (И.Е.Тамм, П.А.Черенков, И.М.Франк, Н.Г.Басов, А.М.Прохоров, А.Д.Сахаров\*, В.Л.Гинзбург). Работы сотрудников ФИАН внесли впечатляющий вклад практически во все области современной физики. С именами учёных, работавших в Институте, связаны многие важные результаты и открытия:

➤ комбинационное рассеяние; рассеяние Ман-

дельштама-Бриллюэна; закон Вавилова; формула Левшина-Перрена; уровни Тамма; метод Хартри-Фока; принцип автофазировки; эффект Вавилова-Черенкова; эффект Франца-Келдыша; выдающийся вклад в теорию сверхпроводимости; идея обменной природы ядерных сил; концепция мюонного катализа ядерных реакций; объяснение происхождения барионной асимметрии Вселенной; концепция суперсимметрии;  
➤ основы управляемого термоядерного синтеза

### В номере:

- **Новый коллективный член Лазерной ассоциации – Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН**
  - ▶ Лазерное охлаждение атомов
  - ▶ Фемтосекундный волоконный лазер
  - ▶ Новая методика определения длины волн
  - ▶ Технология OLED
  - ▶ Полупроводниковый электроразрядный лазер
  - ▶ Квантовый фильтр
- **ИНТЕРНЕТ-НОВОСТИ**
- **Объявление**

\* А.Д.Сахаров был удостоен в 1975 году Нобелевской премии мира «за бесстрашную поддержку фундаментальных принципов мира между людьми» и «за мужественную борьбу со злоупотреблением властью и любыми формами подавления человеческого достоинства» (прим. редакции).

и термоядерного оружия; принцип инерциально-го (лазерного) термоядерного синтеза; концепция гибридного ядерного реактора; нейтронно-физические исследования;

➤ формулировка нового принципа генерации электромагнитных волн, создание мазеров и оптических квантовых генераторов, фундаментальные и прикладные работы в области лазеров для гражданского и оборонного применения (полупроводниковые инжекционные лазеры, электроионизационные, эксимерные, химические лазеры, фотодиссоционные лазеры с накачкой излучением открытого разряда и ударной волны); лазерные установки для сферического сжатия и нагрева плазмы; лазерные стандарты частоты; лазерная локация Луны; применение лазеров для зондирования атмосферы и контроля озонового слоя Земли;

➤ явление самофокусировки световых пучков в нелинейной среде; эффект обращения волнового фронта света; метод внутрирезонаторной спектроскопии;

➤ исследования элементарных частиц с помощью камеры Вильсона; принцип регистрации ядерных частиц – пузырьковая камера; исследования космических лучей на высокогорных станциях, аэростатах, космических аппаратах и нейтринных станциях на Кавказе; предсказание и обнаружение переходного излучения;

➤ теория раздувающейся Вселенной; основополагающие результаты в области радиоастрономии; открытие сверхкороны Солнца; обнаружение радиолиний высоковозбужденных атомов водорода и других элементов межзвездной среды; обнаружение поляризации радиоизлучения Крабовидной туманности; первые каталоги радиоисточников в сантиметровом диапазоне волн; исследования пульсаров и межпланетной плазмы; обнаружение гигантских радиоимпульсов пульсаров; создание интерферометров со сверхдлинной базой; исследования радиоизлучения скоплений галактик; обнаружение радиоизлучения рентгеновского пульсара;

➤ открытие сегнетоэлектрического состояния титаната бария; участие в разработке отечественных транзисторов; предсказание, обнаружение и исследование электронно-дырочной жидкости; разработка и создание сверхбыстродействующих устройств наноэлектроники на основе туннельно-резонансных гетероструктур.

Современный ФИАН обладает мощным кадровым потенциалом – его коллектив насчитывает около 1600 человек, в том числе около 200 докторов и 400 кандидатов наук, 20 членов РАН. Институт имеет филиалы в Троицке, Самаре, Протвино, Алма-Ате, радиоастрономическую обсерваторию в Пушино, лабораторию в Долгопрудном. Фундаментом успехов ФИАН является наличие традиционно сильных научных школ, возникших и развивавшихся вместе

с Институтом. Сложившаяся исторически широкая тематика исследований, которые охватывают практически все направления физики, обусловила нынешнюю структуру ФИАН, включающую шесть научных отделений.

Основными направлениями деятельности Института являются:

1. Теоретическая физика, включая квантовую теорию поля, квантовую статистику и теорию фундаментальных взаимодействий, нелинейную физику; физика высоких энергий, элементарных частиц, ядерная физика; биофизика.
2. Физика ускорителей заряженных частиц; импульсная электроника большой мощности; физическая электроника.
3. Классическая и квантовая оптика, люминесценция, рассеяние света; спектроскопия атомов, молекул, конденсированных сред, газов и плазмы; рентгенооптика.
4. Квантовая радиофизика; взаимодействие лазерного излучения с веществом; нелинейная оптика; лазерная метрология; информационные технологии.
5. Физика плазмы; управляемый термоядерный синтез; лазерный термоядерный синтез;
6. Физика твердого тела; полупроводники; мезоскопика; твердотельные наноструктуры; нанотехнологии; оптоэлектроника; сверхпроводимость.
7. Астрофизика, астрономия во всех диапазонах, космические лучи, космология (наземные и космические, экспериментальные и теоретические исследования); физика Солнца, атмосферы, ионосферы и магнитосферы Земли и планет; планетная и прикладная астрономия.
8. Экспериментальная техника, новые физические методы в научных исследованиях, технологии, технике, медицине и экологии.

Ежегодно учёными ФИАН публикуется около 20 монографий, более 1500 статей и докладов в российских и зарубежных журналах, сборниках материалов конференций.

Фундаментальные работы ФИАН тесно переплетаются с прикладными, многие фундаментальные исследования доводятся до конкретных разработок, при этом сохраняется разумный баланс между прикладными разработками и фундаментальными исследованиями. Как следствие, успешно развивается инновационная деятельность, в перспективе много востребованных научных разработок, особенно в лазерных технологиях, наноэлектронике, сильноточной электронике, в создании уникальных медицинских установок, в научном приборостроении. Проводится последовательная политика защиты интеллектуальной собственности, большое количество разработок Института защищено патентами и внедрено в

промышленное использование.

В 2008г. в Институте были начаты работы по организации технопарка в подмосковном Троицке, на территории ФИАН, где располагается часть его лабораторий. Тематика работ в Технопарке включает научное приборостроение, оптоэлектронику, лазерную технику, в том числе разработку и создание компонентов и полупроводников для нее, материаловедение и создание новых материалов.

Полифизичность Института, заданная создателем современного ФИАН *С.И.Вавиловым*, существенно облегчает возможность выполнения исследований на пересечении нескольких направлений науки.

Таким образом, ФИАН, сочетая в себе черты научного, учебного, информационного и культурного центра, был и остаётся одним из лучших физических институтов страны.

*В.А.Жебит, АНИ «ФИАН-информ»*

## Лазерное охлаждение атомов - задачи такого класса всегда решаются на границе чувствительности

*Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН – один из мировых лидеров в области лазерного охлаждения атомов. Сотрудники ФИАН, работающие в этом направлении, активно сотрудничают со специалистами Всероссийского научно-исследовательского института физико-технических и радиотехнических измерений (ФГУП ВНИИФТРИ) – главного метрологического центра страны. Полученные результаты исследований позволили приступить к решению немислимой ранее задачи – созданию уникального лазера с шириной спектра менее одного герца.*

Процесс лазерного охлаждения связан с замедлением атомов в лазерном поле. Находящиеся в постоянном движении атомы рассеивают фотоны (кванты света). Именно поэтому свет (поток фотонов) воздействует на атомы. А если частота его излучения правильно настроена относительно перехода в атоме, частица, попавшая в такой специально подготовленный свет, замедляется. Частица «вязнет» в световом потоке, тормозится и, соответственно, охлаждается до очень низких температур. Существенно ниже тех, что удается получить любым другим способом, например, в криостатах.

Установка лазерного охлаждения – это вакуумная камера, в которую с шести сторон направлены лазерные пучки. Ведь для охлаждения атом надо затормозить по всем трем координатам (возможным направлениям движения). Горячие атомы запускаются в камеру либо в виде пара, либо как пучок. После охлаждения облачко из холодных и пойманных атомов, парящих в вакууме («левитирующих»), выглядит как светящаяся точка. Можно менять количество атомов в облачке от единиц до нескольких миллионов. При отключении излучения лазеров облачко начинает падать под действием силы тяжести.

Говорит доктор физ.-мат. наук чл.-корр. РАН *Николай Колачевский*: «Если охлаждать (при помощи холодильника) газ, он превратится сначала в жидкость, а затем в твердое тело. А у него совершенно другие характеристики по сравнению с отдельными атомами – из-за сильных взаимодействий в решетке вместо тонких уровней возникают зоны, и свойства меняются радикальным образом... Поэтому для решения задачи глубокого охлаждения от-

дельных частиц криостаты не подходят. Кроме того, предельно достижимые температуры, которые обеспечивают современные криостаты, – порядка 50 милликельвинов, то есть 0,05 К. А в задачах лазерного охлаждения речь идет о микрокельвинах, что на три порядка величины ниже. Охлажденные атомы представляют собой разреженный газ в управляемом режиме, что дает возможность наблюдать ряд специфических эффектов, например, переход в Бозе-конденсированное состояние, изучать квантовую природу этих атомов, а также использовать их в ряде прикладных задач».

Охлаждение нового элемента (а из таблицы Менделеева охлаждена лишь небольшая часть) – отдельная исследовательская работа, ведь у каждого элемента свои специфические уровни энергии, что требует использования лазеров с определенными характеристиками. Такая работа всегда отмечается в профессиональном сообществе. В ФИАНе был впервые охлажден лантаноид тулий (Tm). Результаты работы будут использованы в исследованиях квантовых взаимодействий при сверхнизких температурах и в прецизионной метрологии.

Для этих исследований есть прикладные задачи, например, связанные с развитием программ ГЛОНАСС и прецизионным позиционированием. Но основное – метрология. Самые точные эталоны частот, самые точные в мире часы, которые снабжают частотой международные лаборатории, базируются сегодня на холодных атомах. Совместные работы в этой области ведут ФИАН и ФГУП ВНИИФТРИ – национальный метрологический институт России.

Наибольший исследовательский интерес в этой области, по словам *Николая Колачевского*, представляют оптические стандарты. Напри-

мер, цезиевый фонтан – установка для стандартов частоты, в которой облако холодных атомов цезия подбрасывается вверх и проходит через радиочастотный резонатор лазерного охлаждения, – работает в радиочастотном диапазоне, на мазерном переходе. Если же добиться повышения несущей частоты, можно повысить стабильность и точность, что и достигается в оптических стандартах, базирующихся на лазерных переходах в холодных атомах.

В ФИАНе начинаются опытно-конструкторские работы для стандартов частоты по созданию лазера с шириной спектра менее одного герца. Частота его составит 500 терагерц ( $5 \cdot 10^{14}$  колебаний в секунду), а электронная стабилизация по специальному резонатору

позволит добиться стабильности менее одного «неправильного» колебания в секунду. Луч такого лазера можно было бы послать на Луну и получить обратно – он сохранил бы свою когерентность и позволил бы наблюдать интерференцию. В прикладном аспекте такие характеристики будут использованы прежде всего при работе со стандартами частоты. Кроме того, возникают совершенно новые возможности при передаче частот. Это может быть сверхстабильная синхронизация приемника-передатчика, особенно при больших потоках информации, без применения синхронизирующих импульсов. Или, например, настройки для считывания сигналов ускорителя частиц с очень высоким синхронным временным разрешением.

\* \* \*

## **Компания-резидент Троицкого технопарка ФИАН выводит на рынок компактный фемтосекундный волоконный лазер**

*Сотрудники компании «Авеста-Проект» (резидента Троицкого технопарка ФИАН) разработали компактный фемтосекундный волоконный лазер, легко уместящийся даже на ладони. За счет сравнительной простоты конструкции он станет экономичным аналогом исследовательских лазерных установок с ультракороткой длительностью импульсов, которые смогут позволить себе даже лаборатории образовательных учреждений.*

**Ф**емтосекундные импульсные лазеры используются как во многих областях физики, биологии, медицины и других естественных наук, так и в прикладных сферах, таких, как тестирование телекоммуникационного оборудования, многофотонная микроскопия, параметрическая генерация, метрология оптических частот и др. Чаще всего для подобных задач используются довольно дорогостоящие установки (например, титан-сапфировый или хром-форстеритовый лазеры), требующие наличия стабильной и мощной системы накачки. Но в данном случае накачка лазера и вся электроника уже встроены в миниатюрный корпус, и для того, чтобы лазер начал излучать, достаточно только с помощью адаптера подключить его к электросети.

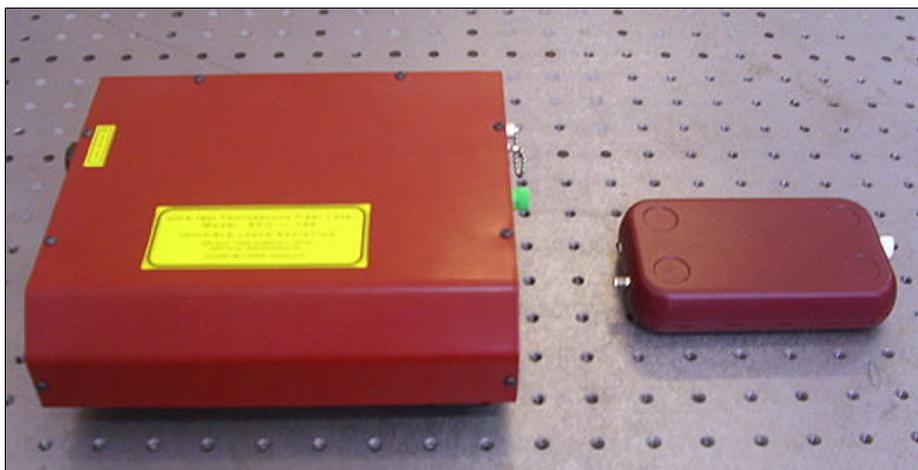
«Он может применяться в составе сложных систем, например, как задающий генератор для усилительных систем или отдельно, как самостоятельный источник импульсов, скажем, для лабораторных работ. У нас в России лаборатории чаще всего небогаты и не могут себе позволить купить системы стоимостью под сотни тысяч долларов, а какие-нибудь исследования в областях, связанных с применением ультракоротких импульсов, вести хотелось бы. Для подобных целей этот лазер подходит идеально», – комментирует руководитель отдела волоконных систем ООО «Авеста-Проект» *Антон Таусенев*.

Лазер «PErL» (именно так, в созвучности с

жемчужиной, называется миниатюрная установка, PErL – *Pulse Erbium Laser*) – не первый волоконный лазер компании с похожими техническими характеристиками, его прототипом является другой фемтосекундный волоконный лазер – «EFO» (*Erbium Fiber Oscillator*). Систему удалось миниатюризировать и одновременно удешевить, и все за счет принципиально иной схемы работы. Как известно, важнейшим элементом любого лазера является резонатор, используемый для создания положительной обратной связи и в простейшем варианте состоящий из двух зеркал. В случае с «PErL» в качестве одного из зеркал резонатора использовался насыщающийся поглотитель, нанесенный на полупроводниковое зеркало, а в качестве второго – обычное зеркало. Такая схема занимает минимум полезного пространства.

«Произошло не логическое развитие, а, скорее, отдельная эволюция продукта. За счет иной схемы работы «PErL» гораздо компактнее по сравнению с предшественником, и это не принимая во внимание, что у модели «EFO» еще отдельно идет блок питания, а здесь вся электроника встроена в корпус», – говорит научный сотрудник компании *Алексей Плоцкий*.

Что касается технических характеристик, то лазер работает в диапазоне длин волны 1530-1560 нм, при этом длительность импульсов может варьироваться в диапазоне 0,25-5 пс и определяться пользователем под конкретную



На фото: справа - лазер PErL (габариты: 13,6 x 7,6 x 2,4 см), слева - его предшественник EFO

задачу. Средняя мощность лазерного излучения достигает 50 мВт, частота повторения импульсов – 60 МГц.

В настоящее время «PErL» активно «путешествует» по специализированным выставкам, и неспроста – ведь это самый компактный в России фемтосекундный лазер. Последняя из них – «Photonic-West» – проходила в США с 23 по 28

января этого года, следующая – «ФОТОНИКА. МИР ЛАЗЕРОВ И ОПТИКИ-2012» – пройдет в апреле в центральном выставочном комплексе «Экспоцентр». В скором времени информация о лазере станет доступна и на сайте компании-разработчика – одной из компаний-резидентов Троицкого технопарка ФИАН, специализирующихся на высокотехнологичном производстве.

Разработчики «Авеста-Проект» до прихода в компанию учились в аспирантуре под руководством сотрудников ФИАН и уже в тот период начали сотрудничество с компанией. Их научный руководитель доктор физ.-мат. наук *Петр Георгиевич Крюков* считает такое сотрудничество научного института и инновационной компании весьма продуктивным.

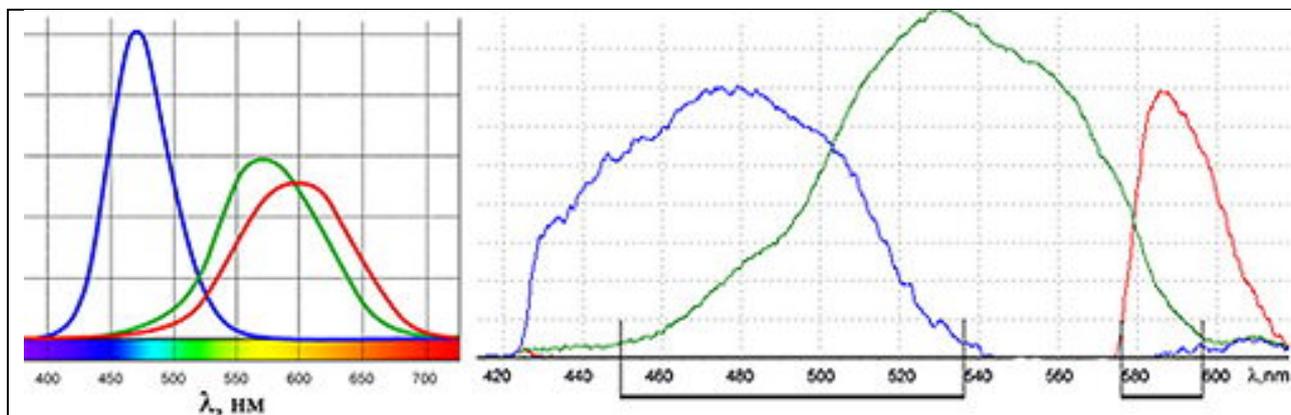
\* \* \*

## Новая методика определения длины волны светового излучения

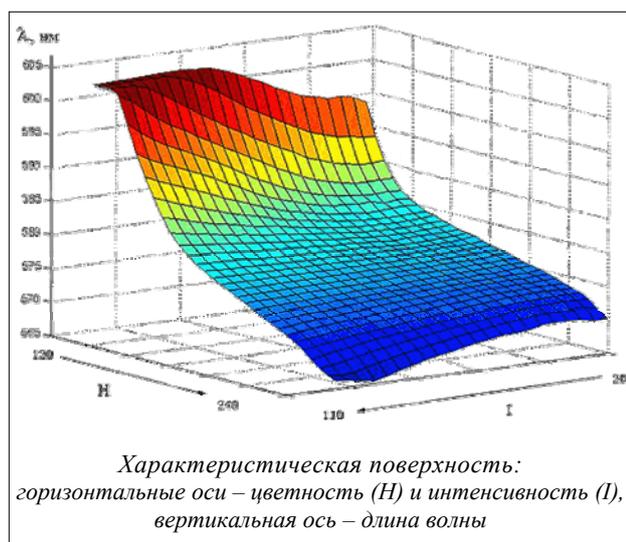
Сотрудники Физического института им. П.Н.Лебедева РАН разработали методику определения длины волны монохроматического светового излучения с точностью выше 1 нм. Для этого достаточно сфотографировать излучающую поверхность на цифровой фотоаппарат и соответствующим образом обработать получившееся изображение. При этом ученые столкнулись с дефектом цветопередачи, присущим практически всем современным цифровым фотоаппаратам.

Идея развития колориметрического метода определения длины волны появилась у физиков из ФИАНа в процессе разработки голографических сенсоров для диагностики концентрации различных составляющих рас-

творов. При опускании сенсора в раствор, содержащий диагностируемые компоненты, голографический слой разбухает или наоборот сжимается, и при освещении голограммы белым светом длина волны отраженного от нее



Спектральная чувствительность колбочек глаза (слева) и сенсоров исследованных фотоаппаратов (справа) (на интервале 540-575 нм фотоаппарат не чувствует изменения цвета)



излучения изменяется. Такие пластинки могут быть использованы для определения кислотности среды, содержания в ней спирта, ионов некоторых металлов, глюкозы, определения качества воды и многого другого. С помощью одной пластинки можно анализировать сразу несколько образцов, например, тестировать на глюкозу одновременно несколько проб крови от разных пациентов. Это несложно осуществить при разделении самой голограммы на несколько непересекающихся областей. Но тогда необходимо и сами отклики измерять в большом массиве точек пространства. Привычный спектрометр с волоконно-оптическим входом здесь не помощник – нужно промерить слишком большое количество точек, но методами науки об измерении цвета – колориметрии – эту задачу решить можно.

«Все наши ощущения о цвете построены на одновременном действии трех типов цветовых колбочек и возможности мозга обрабатывать их показания. Известные всем компоненты RGB в каком-то смысле этому соответствуют. От поверхности сенсоров отражаются узкие спектральные линии, то есть цвет монохроматический, и поэтому колориметрически достаточно сигналов даже от двух спектральных каналов зная соотношение этих сигналов в конкретной точке, мы можем определить в ней длину волны», – объясняет руководитель работы, кандидат физ.-мат. наук *Александр Крайский*.

Иными словами, каждый пиксель цифрового изображения в системе RGB содержит три цветовых компоненты – красную, зеленую и синюю. В случае монохроматического излучения, которое дают сенсоры, можно ограничиться и двумя компонентами этой системы. Проще говоря, для того, чтобы найти распределение средней длины волны по поверхности сенсора, нужно сфотографировать излучающую поверх-

ность, выделить с помощью специальной программы минимум две компоненты системы RGB и определить их соотношения в различных точках фотографии. Но, конечно, предварительно нужно знать, как конкретный фотоаппарат отображает излучение с различными длинами волн.

«Найти такие зависимости для фотоаппаратов в Интернете нам не удалось, представители различных фирм, к которым мы обращались на выставках, также ничем не смогли помочь. В итоге мы сделали простую установку и стали фотографировать спектр. Следует отметить, что работали мы с распространенными форматами цифровых изображений – BMP и JPG. Далее из изображения выделили RGB компоненты и увидели, что разница в цветовосприятии глаза и фотоаппаратов в каком-то смысле катастрофическая. Глаз устроен так, что в любой области присутствуют минимум две цветовые компоненты, тут же оказалось, что в спектральном диапазоне 540-575 нм фотоаппараты вообще не чувствуют изменений цветового тона», – констатирует *Крайский*.

Всего физики исследовали более десятка различных фотоаппаратов, оказалось, что спектральные характеристики их приемных матриц принципиальных различий не имеют. В итоге был выбран и откалиброван один фотоаппарат. Для калибровки выбранным фотоаппаратом с различной выдержкой снимали непрерывный спектр – спектр лампы накаливания с наложенным на него для градуировки спектром ртутной лампы. В последующем этот спектр использовался как опорный для калибровки изображений по длинам волн.

«Встроенный процессор фотоаппарата обрабатывает сигнал с матрицы так, чтобы улучшить восприятие изображения глазом, – поясняет участница работы, научный сотрудник ФИАН *Татьяна Миронова*. – Поэтому при изменении экспозиции изменяются не только величины сигналов в каналах R, G, B, но и их соотношение. По сводной фотографии спектров мы определяем, как для конкретной длины волны изменяется соотношение цветовых компонент в конкретной точке в зависимости от ее яркости».

Для автоматизации процесса определения длины волны все возможные вариации зависимости ее от цветности и интенсивности были учтены при составлении характеристической поверхности. Пока это было сделано для конкретного фотоаппарата, в дальнейшем на этом же принципе можно изготовить специальный прибор, но уже с широкополосной системой регистрации, то есть без «пробела» в диапазоне от 540 до 575 нм. При необходимости также можно сконструировать систему, работающую

не только во всем видимом диапазоне, но и во всем диапазоне чувствительности приемной матрицы, который простирается вплоть до инфракрасной области.

Погрешность в определении длины волны в

эксперименте для сплошного спектра не превышает 0,32 нм. При этом точность определения тем выше, чем меньше градиент длины волны. Размер фотографии в данном случае влияния на погрешность не оказывает.

\* \* \*

## Сделаны предложения в Федеральную программу «Национальная технологическая база»

*В 2011 году закончился первый этап (2007-2011гг.) Федеральной целевой программы «Национальная технологическая база». В нем принимали участие и специалисты Физического института им. П.Н.Лебедева РАН (успешная разработка определенного вида светоизлучающих диодов по технологии OLED – Organic Light Emitting Diode). Сейчас в ФИАНе подготовлены предложения по двум важным технологическим направлениям для работы в следующем этапе ФЦП, запланированном на 2012-2016гг. – разработке технологии roll-to-roll и созданию гибридных полупроводниковых материалов. Рассказывает руководитель Отдела люминесценции им. С.И.Вавилова, профессор, доктор физико-математических наук Алексей Витухновский.*

Первое наше предложение касается так называемой технологии roll-to-roll. Это направление – пока потенциальное – чрезвычайно популярно в мире. Уже сделаны первые реальные шаги. Эта исключительно многообещающая технологическая ниша. Связано это с тем, что мы окружены всякого рода экранами, дисплеями... Телевизоры, мобильные телефоны, компьютеры, GPS-навигаторы – огромная масса самых различных устройств и приборов имеет дисплей.

В производстве дисплеев совсем недавно произошел всем заметный переворот. Громоздкие электроннолучевые трубки, которые использовались в телевизорах и мониторах, были вытеснены с рынка жидкокристаллическими (ЖК) экранами. В любом доме, в любой организации, везде – ЖК-мониторы. «Сообщество кинескопов» активно сопротивлялось, но переход на ЖК произошел. Были вложены колоссальные деньги, ведь необходимо было ликвидировать или перепрофилировать многочисленные производства. Но и ЖК-мониторы отживают свой век. На подходе следующее поколение – продукт технологии OLED – органические светоизлучающие диоды, на базе которых можно сделать более совершенные дисплеи. В прессе и в научных кругах идет очень интенсивная борьба между этими двумя направлениями. Теперь уже «жидкокристаллические» разработчики и производители не хотят сдавать позиции. Они объясняют, что могут все это улучшить. А новые, «светодиодные», – пытаются захватить рынок, внедрить технологию. Борьба, в общем, вполне понятная.

Но между этими подходами есть абсолютно очевидные различия. Новые OLED-устройства являются активными. Что это значит? Основой любого дисплея служит пиксель – элемент, об-

ращаясь к которому электронным образом, мы получаем ответ «темно» или «свет», получаем цвет. В OLED-мониторе этот пиксель – активный. То есть этот маленький элемент (многослойная структура) при приложенном напряжении сам излучает свет. А в ЖК-устройстве необходима подсветка – в этих мониторах экран освещают люминесцентные лампы, а каждый пиксель управляется тем, что молекулы жидкого кристалла ориентируются определенным образом. Все это происходит в рассеянном свете, поэтому, естественно, качество ЖК-дисплеев (контрастность, яркость и пр.) имеет вполне понятные ограничения.

Кроме того, в технологии OLED возможно использование гибких подложек, а следовательно, можно говорить и о создании гибкого экрана. Сегодня все ЖК-устройства, условно говоря, двухслойные. Есть слой, в котором находятся пиксели, и есть еще одна плата или плоскость, на которой находятся электронные ключи. Это транзисторы, которые управляют пикселями – прикладывают напряжение, и под действием электрического поля молекулы определенным образом ориентируются. Принципиально такую же вторую матрицу нужно делать и для OLED-устройства, ведь и там к каждому конкретному пикселю тоже нужно подавать напряжение. Это задача уже решена в рамках схемотехники. Но существует большая проблема – сделать эту управляющую матрицу тоже органической. То есть нужно сделать органический транзистор. Тогда экран станет гибким. Если же пойти чуть дальше, всю систему можно сделать прозрачной! Прозрачный пластик, на котором возникает картинка... И некоторый прогресс в этом уже есть. Эта технология может иметь огромное применение в военной и гражданской сферах. Самый простой пример – возникающая на стек-

ле автомобиля карта взамен нынешнего GPS-навигатора.

Но есть и еще одна, исключительно важная, возможность использования технологии OLED – это источники освещения. Как известно, президент Д.А.Медведев подписал федеральный закон, ограничивающий оборот ламп накаливания. Речь идет о переходе на энергосберегающие лампы. Но эти лампы содержат высокотоксичную ртуть, что создает серьезную проблему, связанную с их утилизацией. Альтернативой может послужить твердотельное светодиодное освещение. Такие светодиоды построены на неорганических соединениях, где основой служит GaN. Он используется как источник синего света, а имея синий, можно, добавляя разные слои, получить белый свет (но пока спектр его далеко не идеален в плане физиологического воздействия). Отдельную задачу представляет подбор компонентов, но основой является синее излучение. Минус же здесь в том, что неорганические материалы не позволяют создавать источники света большой площади. Трудно даже представить, как их нанести на какую-то гибкую подложку. Использование органических соединений позволяет решить эту проблему.

Мы используем металлоорганические (цинковые) комплексы, дающие голубое свечение. Этот материал с помощью метода центрифугирования можно наносить на большие поверхности. А это открывает перспективы развития самых разных источников освещения для городского хозяйства, транспорта, домов. Например, создание светящихся «обоев» уже вполне реально. В эту гонку включены все, все хотят первыми получить: А) дисплеи нового поколения; В) источники света на новых принципах.

В ФИАНе этим направлением занимается как раз наш отдел, для этого введены в эксплуатацию несколько технологических установок. Ясно, что это дело перспективное и представляет как научный, так и коммерческий интерес.

Технология *roll-to-roll* подобна той, что используется в полиграфии. Две бобины и гибкая пластиковая пленка. Это тот же материал (полиэтилентерефталат - ПЭТ), из которого сделаны бутылки для кока-колы. Такую пленку можно с одного валика перетаскивать на другой и по мере продвижения наносить на нее разные слои. Очевидные преимущества такого подхода - дешевизна и универсальность. Ведь эту технологию можно использовать для производства не только OLED-устройств но и, например, солнечных батарей. Исключительно перспективно использовать ее при создании источников света (светящиеся обои, панели и т.п.). Разработка такой технологии потребует приобретения специальных лабораторных ус-

тановок, выпускают которые всего две-три фирмы в мире.

Но органика имеет свои недостатки, прежде всего, это короткий срок службы. Главные враги здесь – кислород и водяные пары, вызывающие деградацию органических слоев, в основном, через окисление. Решением проблемы может стать гибридный материал, представляющий собой органическую матрицу и внедренные в нее неорганические полупроводниковые, наночастицы, например, сульфида кадмия (CdS). Когда размеры объекта составляют несколько нанометров ( $10^{-9}$  м) – квантоворазмерная система, – начинают действовать другие законы. Главный параметр полупроводниковой неорганики – это ширина запрещенной зоны. В квантоворазмерной системе само это понятие просто исчезает – формируется уровневая система, подобная атомной. Наночастица CdSe, CdS или ZnS имеет размер 2 нм – и будет поглощать и излучать синий свет. Частица большего размера – 4 нм – уже зеленый. Еще больше – красный. То есть с изменением системы энергетических уровней меняются и оптические свойства. Если же поместить в какую-либо матрицу синие, зеленые и красные частицы (с определенным удельным весом, определенным образом расположенные и т.д.), то получится белый цвет. Использование таких композитных или гибридных (органика и неорганика) материалов – исключительно интересное направление. Эти частицы называются квантовыми точками (термин неустоявшийся).

Создавать их можно методом эпитаксии, но это сложнейшая и очень дорогая технология. Методы же коллоидной химии, предложенные нашими коллегами из МГУ (Факультет наук о материалах), позволяют технологически просто получать квантовые точки разного размера и разного состава. А мы внедряем их в органическую матрицу и пытаемся получить органические светодиоды с определенными свойствами.

Серьезная проблема здесь – отношение «доллар на люмен». То есть насколько это будет дешево. Понятно, что должно быть дешево. И также понятно, что создать монослой квантовых точек между двумя слоями органики – это довольно экзотическая задача. Технологически она решена, но очень соблазнительно сделать систему, где квантовые точки были бы просто замешаны в органической матрице, как изюм в булке. Но здесь еще есть много проблем.

Главное же для нас то, что, используя весь арсенал нашей техники, мы можем исследовать тонкие процессы внутри этих квантовых точек, их взаимодействие с органическим окружением. Здесь много задач чисто физиче-

ских, фундаментальных.

Если проект (предложения во второй этап ФЦП «Национальная технологическая база», запланированный на 2012-2016гг.) будет поддержан, в перспективе мы должны создать устройства на базе гибридных материалов с

помощью технологий *roll-to-roll*. Но кроме того, мы надеемся получить много новых знаний о поведении квантовых точек и нанокристаллов в разных условиях. Вот это и есть наша задача – заниматься не только чисто технологическими вопросами, но и физикой.

\* \* \*

## Разработан полупроводниковый электроразрядный лазер

*Сотрудники Физического института им. П.Н.Лебедева РАН и Института электрофизики УрО РАН (г.Екатеринбург) разработали конструкцию нового типа лазера – полупроводникового электроразрядного. С некоторым приближением устройство можно назвать более совершенной версией стримерного полупроводникового лазера.*

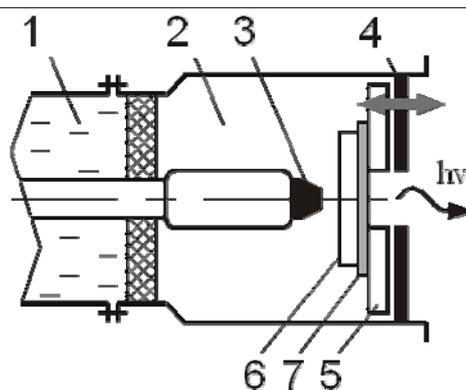
Термин «электроразрядный лазер» более известен в сочетании с газовой средой - электроразрядные газовые лазеры довольно распространены. Принцип их работы, условно говоря, заключается в следующем: напряжение, прикладываемое к газовой трубке, ускоряет электроны, активизируя процесс ионизации, в результате возникают условия для оптических переходов, которые способствуют усилению, а потом генерации лазерного излучения. Что касается полупроводников, то известны «стримерные» полупроводниковые лазеры, возбуждаемые наносекундными ( $10^{-7}$ -  $10^{-8}$  с) импульсами высокого напряжения. Эти лазеры содержат генератор высоковольтных импульсов, один электрод которого подсоединен к полупроводниковой пластине, помещенной в жидкий диэлектрик, а второй удален на значительное расстояние для предотвращения пробоя полупроводниковой пластины. Существенным недостатком таких лазеров является возникновение генерации лазерного излучения вдоль определенных кристаллографических направлений и малый диаметр генерирующей области (до десятка микрон), что связано с распределением электрических полей в кристалле и ограничивает мощность, увеличивает расходимость излучения и не позволяет управлять числом и местом положения генерирующих областей. Сотрудники ФИАН и Института электрофизики УрО РАН смогли устранить перечисленные недостатки, для чего существенно изменили конструкцию лазера и, в частности, применили возбуждение наносекундными импульсами.

«Применение наносекундных импульсов позволяет увеличить пробивную прочность, сблизить электроды, между которыми расположена полупроводниковая пластина и обеспечить условия, в которых разряд распространяется по направлению силовых линий электрического поля. При этом отпадает необходимость помещать кристалл и электрод в жидкую диэлектрическую среду, и появляются дополнительные возможности ионизации полу-

проводника излучением разряда и электронным пучком, образующимися в разрядном промежутке при приложении высоковольтных наносекундных импульсов», – рассказывает руководитель разработки доктор технических наук Александр Насибов.

Под действием наносекундных импульсов электрического поля и электронного пучка в результате ударной ионизации, туннельного и фотоэффекта образуется плотная электронно-дырочная плазма, в которой возникают условия для усиления и генерации лазерного излучения.

«Работа широко известных полупроводниковых лазеров основана на p-n переходах, вы пропускаете через него ток и за счет инжекции носителей получаете излучение. В полупроводниковом электроразрядном лазере используется монокристалл, то есть p-n перехода нет, работает другой принцип, больше похожий на то, что происходит в газовых лазерах. Вы прикладываете напряжение, напряженность электрического поля



*Схема полупроводникового электроразрядного лазера*

1 - передающая линия, 2 – камера с электродами 3 и 4, 5 - полупроводниковая пластина лазерной мишени (ЛМ), 6 – подложка. ЛМ состоит из плоскопараллельной полупроводниковой пластины 5 и подложки 6, соединенных между собой тонкой диэлектрической прослойкой 7 с одним или несколькими отверстиями.

Также ПЭЛ содержит генератор высоковольтных импульсов – на схеме не показан

возрастает, электроны разгоняются, происходит ионизация атомов или ионов, в зависимости от того, какой используется кристалл, и в кристалле образуется плазма. А в электронно-дырочной плазме при определенной плотности электронно-дырочных пар возможно усиление и генерация света. Вот эту идею мы и реализуем», – рассказывает *Александр Насибов*.

В зависимости от приложенного импульсного напряжения и длительности импульсов (десятки-сотни пикосекунд) лазер может излучать световые импульсы мощностью от десятков до сотен киловатт с длиной волны, определяемой

шириной запрещенной зоны полупроводника – от 300 нм до 3 мкм. Активный элемент лазера – полупроводниковая пластина – может быть изготовлена из двойного или тройного прямозонного полупроводникового соединения A<sub>2</sub>B<sub>6</sub>(ZnS, ZnSe, CdS, CdSe, ZnSSe, ZnCdS, CdSSe) или A<sub>3</sub>B<sub>5</sub> (GaAs, GaN, GaAlN, GaAlAs, AlN, InN и т.п.).

Предусматривается применение лазера в устройствах оптоэлектроники, оптической связи, при исследовании быстропротекающих процессов в биологических тканях и в регистрирующих приборах.

\* \* \*

## Квантовый фильтр для задач квантовой фотоники

*В Лаборатории оптики активных сред Физического института им. П.Н.Лебедева РАН создается уникальный прибор для задач квантовой фотоники. Устройство – квантовый фильтр на основе атома рубидия (детерминированный однофотонный источник) – позволит преобразовывать лазерный импульс в одиночный фотон. Установка уже собрана, и в настоящее время проводится очередной цикл экспериментов. Получение контролируемого фотона «по запросу» методом фильтрации из лазерного импульса будет использовано в фундаментальных исследованиях. Такие приборы понадобятся, например, для разработки квантовой памяти и создания принципиально неразрушимого кодирования при передаче данных.*

**И**дея заключается в том, чтобы использовать свойства атомной среды, определенным образом организованной, для «фильтрации» с высокой вероятностью, вплоть до 100%, одиночного фотона из лазерного импульса. Предложили эту идею известные физики-теоретики *Валерий Юдин* (Новосибирский государственный технический университет) и *Алексей Тайченачев* (Новосибирский государственный университет).

Если к четырехуровневой системе (атому с четырьмя энергетическими уровнями) приложить специально подобранное мощное световое поле и пробный импульс, этот импульс в среде будет рассеиваться до тех пор, пока в нем не останется ровно один фотон. Но когда в импульсе останется последний фотон, среда для него становится абсолютно прозрачной. Возникает эта прозрачность в среде, когда разница частот световых полей совпадает с разницей частот двух атомных уровней.

Экспериментальная установка, созданная в ФИАНе, включает два лазерных источника, несколько цепей привязки, кювету с рубидием и ряд вспомогательных устройств. Говорит старший научный сотрудник лаборатории оптики активных сред, кандидат физ.-мат. наук *Алексей Акимов*: «Один лазер создает мощное поле, облучающее среду. Второй – производит импульс излучения, на него накладывается множество всяких ограничений. Мощное поле просветляет среду и не рассеивается, его надо отделить от импульса – с помощью поляриза-

ции, интерференционными фильтрами. Ряд устройств позволяет формировать импульсы и настраивать их частоту так, чтобы они совпадали с нужными переходами в атомах среды. Необходимое четырехуровневое состояние атомов рубидия поддерживается внешним магнитным полем. Газообразный рубидий находится в 4-сантиметровой вакуумной кювете с небольшим добавлением буферного газа».

Установка собрана. Задача текущей серии экспериментов – убрать побочные эффекты, влияющие на пропускание системы, и подобрать оптимальный режим импульсов. Успешное завершение всего проекта даст надежный источник одиночных фотонов, основанный не на спонтанном излучении, а действующий «по кнопке».

Области применения нового устройства – фундаментальные исследования в квантовой фотонике, а также работы по созданию квантовой памяти. Ведь один фотон – это минимальный квант информации, который вообще может передаваться. С этим связано и другое возможное приложение – шифрование при передаче информации. Если создан один фотон в некотором специально заданном состоянии, его нельзя «измерить», не испортив, то есть не разрушив, его состояние. Такая «естественная степень защиты», присущая одному фотону, может послужить базисом для разработки «абсолютного» кодирования в будущих устройствах для шифрования, при котором никакая попытка «взлома» не сможет остаться незамеченной.

## И вновь о метаматериалах

3 февраля с.г. в ФИАН приехали сотрудники Института теоретической и прикладной электродинамики РАН А.Н.Лагарьков и В.Н.Кисель с докладом о результатах их исследований в области метаматериалов.

Метаматериалами принято называть композитные материалы, в силу своих структурных особенностей проявляющие свойства, не характерные для природных материалов. В качестве характерных свойств метаматериалов принято рассматривать:

- отрицательные значения электрической и магнитной проницаемости;
- отрицательный коэффициент преломления;
- сильные киральные свойства и др.

Весьма важно различать понятия метаматериалов и фотонных кристаллов: в метаматериалах, в отличие от фотонных кристаллов, размер включений или, как их называют, «мета-атомов» и расстояние между ними должны быть существенно меньше длины волны.

Науке давно известны материалы с отрицательной диэлектрической проницаемостью – это любые металлы, при частотах несколько превышающих плазменную частоту. В этих условиях отрицательное значение электрической проницаемости ( $\epsilon < 0$ ) обусловлено тем, что свободные электроны в металле экранируют металл от внешнего электромагнитного поля. Однако материалов с отрицательной магнитной проницаемостью ( $\mu < 0$ ) на оптических частотах в природе не существует.

Впервые информация о существовании таких материалов появилась в 1904г. в работе Г.Лэмба (*Lamb H.*), опубликованной в журнале Лондонского математического общества. И лишь в 1940г. речь о них снова зашла в лекциях сотрудника ФИАН Л.И.Мандельштама по оптике, которые он читал в МГУ. Л.И.Мандельштам сообщил, что вследствие отрицательных значений электрической и магнитной проницаемости в таких материалах возникают электромагнитные волны, у которых фазовая и групповая скорости имеют противоположные направления, и в результате возникает отрицательное лучепреломление на границе двух сред, в которых наблюдается противоположное направление векторов групповой и фазовой скоростей волны.

Соответствующие явления на границе раздела с гиротропной средой были рассмотрены также в известной монографии В.Н.Аграновича и В.Л.Гинзбурга, вышедшей в 1965г. В 1967 году сотрудник ФИАН В.Г.Веселаго выдвинул гипотезу о существовании материалов с отрицательным показателем преломления (УФН, 1967, т.92, с 517). Он убедительно доказал, что они будут обладать совершенно иными свойствами, в частности, отрицательным преломлением электромагнитной волны при прохождении границы раздела двух сред, аномальными эффектами Доплера и Вавилова-Черенкова. Широкою известность получили эксперименты с так называемой «линзой Веселаго».

В 1999г. английский ученый Д.Пендру (*Pendry J.*) получил отрицательную магнитную проницаемость,

используя электропроводящее кольцо с зазором. Само кольцо представляло собой виток проводника, обладающий собственной индуктивностью, зазор же обладал свойствами конденсатора, обладающего некоторой ёмкостью, что в совокупности образовывало простейший колебательный контур.

Сотрудники Института теоретической и прикладной электродинамики РАН А.Н.Лагарьков и В.Н.Кисель в своём докладе, в частности, сообщили о проведённых ими исследованиях композитов с различными резонансными включениями, позволяющими получить резонансные характеристики, при которых в определённых диапазонах обеспечиваются требуемые характеристики метаматериала. Докладчики подробно изложили свой взгляд на возможности компенсации потерь в метаматериалах.

Перспективными являются направления исследований, такие как поглощение энергии всенаправленного источника и беспроводная передача энергии в системах с метаматериалом. Использование метаматериалов открывает новые возможности для разработки различных СВЧ- и оптических устройств. В этот список входят фокусирующие системы, нанолазеры, поглотители, резонаторы и многие другие устройства. Разработка новых электромагнитных материалов с элементарной ячейкой, обладающей заранее заданными свойствами, не всегда встречающимися в природе, – это новое направление в технологиях, сулящее огромные перспективы.

Комментируя событие, главный научный сотрудник Сектора теории взаимодействия излучения с веществом ФИАН, д.ф.-м.н. Василий Климов сообщил: «Данный доклад представляет знаменательное явление в научной жизни ФИАН. Авторы убедительно показали важность, актуальность и, самое главное, – практическую реализуемость многих идей, которые ранее казались фантастическими. Чрезвычайно важно и то, что экспериментальные работы по проверке уникальных свойств метаматериалов проводились в России. Это говорит о том, что российская наука занимает одну из лидирующих позиций в области метаматериалов и их применений. Еще одним важным аспектом данного семинара является то, что он, несомненно, активизирует исследования в этой области в ФИАНе. Сейчас здесь исследованием метаматериалов занимается наша группа по нанооптике и наноплазмонике с привлечением нескольких студентов и аспирантов. Сразу после семинара несколько ученых высказали интерес к работе в этом направлении, и мы надеемся, что в скором времени число публикаций от ФИАН в этой области существенно возрастет. Наличие такого научного ядра станет важным фактором в развертывании сколковского проекта «Квантовые метаматериалы» на базе ФИАН».

<http://www.nanonewsnet.ru/news/2012/metamaterialy-v-fiane-0>



## ОПТИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ и ПОКРЫТИЯ

Измерения лазерных параметров

Лазеры и лазерная оптика CVI MELLES GRIOT

Лазеры CONTINUUM и QUANTRONIX

Производственная компания ООО «Электростекло» предлагает:

**ОПТИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ:** Окна (плоскопараллельные пластины), линзы из лейкосапфира  $Al_2O_3$ , Ge, Si, ZnSe, ZnS,  $CaF_2$ ,  $BaF_2$ , лазерная оптика для УФ, видимого и ИК диапазонов, световоды из стекла, сапфира, кварца, МНПВО (ATR) элементы из ZnSe, Ge, Si, микросферы; колпаки (обтекатели) из стекла, лейкосапфира  $Al_2O_3$ , Ge, Si, ZnSe, ZnS; призмы и уголковые отражатели; фильтры из цветного стекла; лазерные активные элементы из Nd- и Er:Yb-фосфатного стекла; металлооптика из меди, молибдена и алюминия;

**ОПТИЧЕСКИЕ КРИСТАЛЛЫ:** Фториды  $CaF_2$  (флюорит),  $BaF_2$ , LiF,  $MgF_2$ ; селенид и сульфид цинка ZnSe, ZnS; полупроводники, Ge, Si; кристаллический кварц, лейкосапфир  $Al_2O_3$  и кальцит  $CaCO_3$ ; галогениды щелочных металлов NaCl, KCl, KBr.

**СТЕКЛА:** К8, оптические стекла (ГОСТ 3514-94), ситаллы, пирекс, плавленный кварц КУ-1, KB и KI, цветные стёкла (107 марок, ГОСТ 9411-91), наборы цветных стёкол (96 марок). Любые тёмла SCHOTT, OHARA, CORNING.

**ОПТИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ:** диэлектрические, металлические, отражающие, просветляющие, в том числе широкополосные, полярирующие. Покрытия с высокой лучевой прочностью. Защитные покрытия.

**ЛАЗЕРЫ:** Лазерные дальнометры. Твердотельные лазеры для научных исследований компаний CONTINUUM, QUANTRONIX. Серийные бюджетные лазеры компании CVI MELLES GRIOT.

ООО "Электростекло" является эксклюзивным представителем в России группы компаний OPHIR-SPIRICON-PHOTON.

### Приборы для измерения параметров лазерного излучения компании OPHIR-SPIRICON-PHOTON



- **Фотодиодные головки** для измерения мощности от единиц пикоВатт до 3 Ватт
- **Термопарные головки** для мощностей до 10 кВт и энергий импульса до 600 Дж
- **Пирозлектрические головки** для измерения энергии импульсов от наноджоулей до 40 Дж с частотой повторения до 25 кГц
- **Интегральные сферы** для регистрации лучей с расходимостью до  $\pm 40$  град.
- **Микропроцессорные дисплеи**, работающие с любой измерительной головкой OPHIR: NOVA, NOVA II, VEGA, одно- и двухканальные дисплеи LaserStar, а также **USB интерфейсы** - компактный интерфейс Juno, многоканальные модели PULSAR и беспроводной интерфейс QUASAR с дальностью действия до 50 метров

- **Анализаторы профиля излучения** для УФ, видимого и ближнего ИК диапазонов спектра (до 1,6 мкм). Пирозлектрические матричные камеры PYROCAM III для анализа излучения от 13 нм вплоть до сотен ТГц. Анализаторы качества лазерного пучка  $M^2$  (согласно ISO), в том числе с быстродействием до 20 сек. Анализатор профиля Mode Check для промышленных  $CO_2$  лазеров. Сканирующие анализаторы для излучения от 190 нм до 100 мкм, диаметром от 4 микрон, высокой лучевой плотностью без аттенуаторов.
- **ОЕМ датчики**, предназначенные для интеграции в лазерные системы конечного пользователя.

ГАРАНТИЯ - КАЛИБРОВКА - РЕМОТ

ДОПУЩЕНЫ К ПРИМЕНЕНИЮ В РФ (ВНЕСЕНЫ В ГОСРЕЕСТР СИ)



### $CO_2$ ОПТИКА компании OPHIR OPTRONICS для $CO_2$ лазеров мощностью до 10 кВт и металлообрабатывающих лазерных центров производства ведущих мировых фирм: Amada, Bystronic, Prima, Rofin Sinar, Trumpf.

- Просветленные МЕНИСКИ и ПЛОСКО-ВЫПУКЛЫЕ линзы из ZnSe диаметром 38.1 и 50.8 мм с высоким коэффициентом пропускания > 99.35%. Повышенный ресурс эксплуатации и стойкость к технологическим загрязнениям.
- Просветленные ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ПЛАСТИНЫ (окна) из ZnSe с высоким коэффициентом пропускания > 99.35%.
- Зеркала из КРЕМНИЯ и МЕДИ с фазовым сдвигом  $0^\circ$  (при угле падения  $45^\circ$ ), коэффициент отражения > 99.5%.
- Плоские зеркала из КРЕМНИЯ и МЕДИ с фазовым сдвигом  $90^\circ$  (при угле падения  $45^\circ$ ), коэффициент отражения > 98.5%.
- РЕЗОНАТОРНАЯ ОПТИКА. ВЫХОДНЫЕ ЗЕРКАЛА из ZnSe (35-70%), ЗАДНИЕ ЗЕРКАЛА из Ge, коэф. отражения до 99.7%.

ГАРАНТИЯ КАЧЕСТВА - УВЕЛИЧЕННОЕ ВРЕМЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ - ВЫСОКАЯ ЛУЧЕВАЯ ПРОЧНОСТЬ

ООО «Электростекло» является эксклюзивным представителем в России компании CVI MELLES GRIOT

### Каталожная высокоточная оптика с покрытиями мирового класса, лазеры, оптические столы и оптомеханика

- любая лазерная оптика для всех видов лазеров и диапазона длин волн от 157 нм до 20 мкм, с лучевой прочностью до 30 Дж/см<sup>2</sup>
- оптические фильтры: узкополосные, интерференционные, широкополосные, отсекающие, блокирующие, имитирующие свойства цветных стекол, аттенуаторы
- высокоточная оптика: поляризаторы, светоделители, волновые пластины, наборы объективов, ахроматы, лазерные отражатели (квантроны), призмы
- лазеры: диодные, твердотельные, ионные (аргоновые и криптоновые), He-Cd и He-Ne
- оптомеханика, оптические столы с виброизоляцией, затворы, диафрагмы, оборудование под ключ для лазерно-оптических лабораторий



Информацию о продукции OPHIR-SPIRICON-PHOTON, CVI MELLES GRIOT, CONTINUUM и QUANTRONIX можно получить на сайтах: <http://www.ophiropt.com/ru>, [www.photon-inc.com](http://www.photon-inc.com), [www.cvimellesgriot.com](http://www.cvimellesgriot.com), [www.continuumlasers.com](http://www.continuumlasers.com), [www.quantronix.com](http://www.quantronix.com) или в ООО "Электростекло" <http://www.elektrosteklo.ru>, [www.ophiropt.ru](http://www.ophiropt.ru)

Контактные лица: Приборы и лазеры: Чеснокова Ольга Валерьевна, тел. (495) 234-59-52, e-mail: chesnokova@elektrosteklo.ru

Оптика: Чаговец Кристина Николаевна, тел. (495) 234-59-51, e-mail: chagovets@electrosteklo.ru

ООО «Электростекло», Москва, 119571, пр. Вернадского, 113-106, факс: (495) 433-51-15

#### «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: las@tsr.ru <http://www.cislaser.com>  
Банковские реквизиты ЛАС:  
р/с № 40703810500005172121  
в ОАО «Мастер-Банк»  
корр.счт 30101810000000000353  
БИК - 044525353 ИНН 7728042440





