

# ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ НАНОИНДУСТРИИ

Л.Раткин  
rathkeen@bk.ru

14–15 декабря 2010 года на собрании Российской академии наук (РАН) в Москве "Лазеры: 50 лет в науке, технике и медицине" рассматривалось применение лазерных технологий в различных отраслях, включая наноиндустрию.

Во вступительном слове acad. Ю.Осипов подчеркнул важную роль лауреатов Нобелевской премии 1964 года академиков РАН А.Проخورова, Н.Басова, а также Ч.Таунса (США) в развитии лазерной индустрии.

В докладе нобелевского лауреата, вице-президента РАН acad. Ж.Алферова был поднят широкий спектр вопросов – от фундаментальных исследований в сфере нанотехнологий и полупроводниковых лазеров до методологии преподавания наноиндустриальных дисциплин на примере Санкт-Петербургского академического университета – научно-образовательного центра нанотехнологий РАН.

Рассматривая исторические аспекты, докладчик отметил, что состязание СССР и США стимулировало ускорение работ по созданию лазеров на p-n-переходах: эффективная межзонная излучательная рекомбинация GaAs-диодов наблюдалась в ФТИ АН в январе 1962 года, а в Lincoln Lab (МТИ) – в июле того же года, в сентябре-декабре 1962 года в ФИАН исследовалось когерентное излучение из GaAs-перехода. Одновременно такие же работы проводились General Electric и IBM. Односторонняя инжекция в классических гетероструктурах была теоретически обоснована В.Шокли в 1948 году, диффузии во встроенном квазиэлектрическом поле – Г.Кремером в 1956 году, суперинжек-

ция – группой Ж.Алферова в 1966 году. Экспериментальная проверка этих теоретических положений проведена группой Ж.Алферова в 1965, 1967 и 1968 годах, соответственно. В 1962 году Л.Келдышем были выдвинуты идеи сверхрешеток, а предложения по изучению электронных и оптических ограничений для таких структур сформулированы Ж.Алферовым, Р.Казариновым и Г.Кремером в 1963 году. Соответствующие эксперименты были проведены группами Ж.Алферова в 1968 и Л.Есаки в 1970 году. Решеточно-согласованные гетеропереходы Ge-GaAs исследовались Р.Андерсоном в 1959 году, Al-GaAs – Ж.Алферовым, Д.Вудалом и Г.Руппрехтом в 1967 году.

Возможность контроля *in situ* точности роста структур по составу и толщине и чистота материалов  $A_{III}B_V$  достигаются при применении молекулярно-пучковой эпитаксии. Приборно-ориентированной крупномасштабной технологией, обеспечивающей получение высокочистых материалов, является газофазная эпитаксия из металлоорганических соединений с однородностью распределения и воспроизводимостью от пластины к пластине, достигаемыми благодаря оригинальному методу вращения подложки.

Создание перенастраиваемых лазеров с диапазоном непрерывной перестройки 175 нм стало возможным бла-

годаря методу преднамеренного разупорядочения квантовых точек.

Мощные полупроводниковые лазеры на наноструктурах применяются в навигации, для резки и сварки, в медицинской технике, атмосферной и волоконно-оптической связи, волоконных лазерах, атмосферных лидарах, для передачи энергии в волокне и атмосфере.

Выступление acad. С.Багаева касалось применения лазеров в метрологии и высокоточной физике, перспектив научного сотрудничества РФ (Институт лазерной физики СО РАН) и Франции (Лаборатория физики лазеров Университета Париж-Норд) в рамках программы GDRE "Лазеры, оптические информационные технологии и нанотехнологии" и гранта РФФИ.

В докладе директора Научного центра волоконной оптики РАН acad. Е.Дианова рассматривались вопросы развития лазерной и волоконно-оптической индустрии. Отмечалась, в частности, перспективность развития про-



Ю.Осипов



**Ж.Алферов**

мышленного производства фемтосекундных волоконных лазеров для создания нано- и микроструктур, прецизионной обработки различных материалов, в медицине и биологии, а также в астрофизике для фундаментальных исследований по поиску экзопланет и определению скорости расширения

Вселенной с точностью 1 см/с, в прецизионных и компактных оптических часах.

Лауреат Государственной премии РФ в области науки и технологий за 2009 год д.ф.-м.н. проф. Н.Винокуров (Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН) затронул проблему создания лазеров на свободных электронах (ЛСЭ). В соавторстве с академиками А.Скринским и Г.Кулипановым проведены исследования, проанализированы достижения и спрогнозированы перспективы развития лазерных технологий. В частности, при абляции оргстекла несфокусированным лазерным пучком за 3 мин без признаков горения материала просверлено отверстие длиной 50 мм. Такой механизм, как отметил докладчик, может найти применение при производстве наноматериалов.

Ретроспектива развития лазерных технологий была представлена в докладе секретаря Отделения нанотехнологий и



**В.Конов**

информационных технологий РАН акад. Е.Велихова. Он отметил, что создание первого лазера Т.Мейманом и первого CO<sub>2</sub>- лазера К.Пателом способствовало ускорению разработки лазерного оружия. Среди первоочередных задач в этой сфере докладчик отметил оптимизацию взаимодействия лазерного излучения с материалами, разработку высокоточных систем определения местоположения быстро перемещающихся мишеней, систем наведения лазерных пучков, создание экспериментальных лазеров с мощ-



**Е.Велихов**

ностью от 1 МТ и энергией порядка 10 МДж, а также разработку технологии производства спецтехники, в том числе оптики для высокомошных световых потоков. Отмечено, в частности, что для мощных лазеров были разработаны технологии "силовых" оптических компонентов, в том числе адаптивных, для систем вывода и управления излучением и резонаторов, обеспечивающие высокую стабильность качества лазерного пучка.

Созданы также теоретические модели с описанием свойств активной среды, оптики резонаторов и электрического газового разряда, сконструированы эффективные и высоконадежные опторезонаторы и обоснованы методы получения активной среды в больших объемах. Были представлены результаты разработки, в том числе, технологических быстропоточных  $\text{CO}_2$ -лазеров с самостоятельным разрядом постоянного тока мощностью 3 кВт, а также мощностью 10 кВт с накачкой самостоятельным разрядом и прокачкой газа с помощью турбины авиадвигателя, многолучевых  $\text{CO}_2$ -лазеров с диффузионным охлаждением и накачкой безэлектродным разрядом переменного тока мощностью 3 кВт, импульсно-периодических лазеров для разделения изотопов и обработки материалов, экспериментальных технологических  $\text{CO}_2$ -лазеров с быстрым потоком рабочей смеси мощностью 13 кВт. Эти работы позволили внедрить в промышленное производство широкий спектр лазерных техно-

логий, доработанных до нанометрового диапазона.

Акад. Е.Велихов рассказал также об истории становления ведущего отраслевого Института проблем лазерных и информационных технологий (ИПЛИТ) РАН, созданного в 1979 году как НИЦ по технологическим лазерам АН СССР при активной поддержке президента АН СССР А.Александрова. При разработке и производстве промышленных технологических лазеров и комплексов для обработки материалов была разработана серия специализированных лазеров, том числе многолучевой  $\text{CO}_2$ -лазер мощностью 4 кВт с диффузионным охлаждением рабочей смеси,  $\text{CO}_2$ -лазер с поперечной прокачкой 2,5 и 5 кВт, лазерный технологический комплекс на основе быстропоточного  $\text{CO}_2$ -лазера мощностью 6 кВт с применением самофильтрующего резонатора для резки листовых материалов (например, стали толщиной до 25 мм). Докладчик отметил, что в условиях возрастающей конкуренции на рынке вооружений и военной техники применение лазерных технологий позволило на нанотехнологической базе создать конкурентоспособные оборонительные системы нового поколения.

Лауреат Государственной премии РФ в области науки и технологий за 2009 год, директор ИПЛИТ РАН акад. В.Панченко посвятил выступление лазерно-информационным биомедицинским технологиям. В частности, им рассмотрено использование лазеров в отоларингологии, интеллектуальных лазерных систем в медицине для дистанционного биомоделирования, адаптивных оптических систем для офтальмологии, поверхностно-селективное лазерное спекание (ПСАС) и сверхкритические флюидные технологии для создания биоматериалов и матриц для тканевой инженерии, лазерные технологии быстрого прототипирования и



**В.Панченко**

стереолитографии. Докладчик отметил, что уже в 2004 году в институте была достигнута разрешающая способность в 180 нм.

В выступлении чл.-кор. РАН В.Конова (Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН) рассматривались результаты работ по лазерно-плазменной микро- и нанотехнологии со средней мощностью излучения 50–100 кВт, длительностью воздействия от фемтосекундного до непрерывного. Исследования проводились в вакууме, жидкости или газе с интенсивностью облучения до  $10^{14}$ – $10^{16}$  Вт/см<sup>2</sup>, в видимом, УФ- и ИК-диапазонах, с квантово-размерными структурами, газами, твердыми телами, плазмой и жидкостью. Наблюдалась генерация лазерной плазмы, лазерная абляция, фотовозбуждение и ионизация вещества, стимулирование излучением химических реакций, а также изменение фазового состава, модификация структуры и термодиформация. Отмечена перспективность методов создания микро- и наноструктур в объеме и на поверхности материалов, том числе наноструктур при лазерной графитизации алмаза. (Принцип локального микро- и наноструктурирования в объеме твердых тел предполагает минимизацию энергии лазерного импульса для исключения механических разрушений, низкую интенсивность лазерного излучения, прозрачность и наблюдаемость фазовых или структурных превращений материала).

Фото Л.Раткин