

зованного финансирования разных лабораторий позволят отечественным организациям быть конкурентоспособными по отношению к рынку в десятки миллиардов долларов наукоемкой продукции. Поэтому выход напрашивается один — это пересмотр государственной политики в отношении инновационных

разработок, подобных тем, о которых говорилось выше. Нужны целевые государственные программы, детализирующие научно-техническую политику в конкретном направлении, централизующие финансирование и организующие собственно процесс разработки конечного продукта.

*Б.В.Гриньов*

### **Прогнозування науково-технічного та інноваційного розвитку сцинтиляційного матеріалознавства й інженерії**

*Здійснено аналіз тенденцій науково-технологічного прогресу в галузі детектування радіації, зокрема розробок і використання сцинтиляторів, з точки зору останніх світових тенденцій і стану справ в Україні.*

*В.С. Коваленко*

## **Современное состояние и перспективы развития лазерных методов обработки материалов**

*Освещены новые достижения в области лазерной техники и технологии, разработки НИИ лазерной техники и технологии НТУУ «КПИ», изложены концепции е-предприятия, позволяющего интегрировать научные и производственные ресурсы в данной области, национальной технологической платформы Украины. Приведены приоритеты, требующие особого внимания и поддержки, в области лазерной техники и технологии на ближайшие 3–5, 10–15 и 20–25 лет.*

Высокие технологии определяют уровень выпускаемой продукции, ее конкурентоспособность и, в конечном счете, эффективность всей производственной деятельности. В условиях глобализации мировой экономики от степени развития высоких технологий и их использования в производственной сфере зависят выживаемость любой страны, ее экономический потенциал. К высоким технологиям прежде всего относятся новейшие методы обработки материалов, разработанные на базе последних достижений фундаментальных наук, и, в частности, лазерная технология. Создание лазеров и разработка лазерных

технологий оказали решающее влияние на глобализацию мировой экономики. Благодаря этим технологиям мощное развитие получили информационные технологии и системы коммуникации, применение лазерной технологии в производстве современных микропроцессоров привело к созданию новых поколений быстродействующих компьютеров, небывалое значение приобрел Интернет. Важность сегодняшнего и дальнейшего взаимовлияния лазерных технологий и глобализации подтверждается проведением запланированного на июль 2006 г. в Вашингтоне (США) международного симпозиума

© В.С.Коваленко, 2006

«Глобализация и лазерная технология». Автор приглашен с пленарным докладом от Украины, где, как известно, первые исследования в области лазерной технологии были инициированы еще в 1964 г. и была создана первая в Украине и одна из первых в СССР лаборатория лазерной технологии при КПИ.

Несмотря на то, что эта сравнительно новая область науки и техники переживает в настоящее время уже свое сорокалетие, в ней, тем не менее, в последние годы наблюдается настоящий бум, связанный как с созданием новых типов лазеров, так и с появлением новых применений лазерного излучения. А их на сегодняшний день насчитывается уже более 360. Мировой же объем рынка лазерной техники и технологии еще в 2004 г. превышал 90 миллиардов долларов (без учета разработок в военной области).

Одним из главных недостатков лазерных систем до недавнего времени считался низкий к.п.д. излучателей, приводящий к большому потреблению электроэнергии, требующий использования специальных систем охлаждения, обуславливающий значительные габариты технологического оборудования. Появление надежных и доступных полупроводниковых лазеров (имеющих к.п.д. до нескольких десятков процентов) позволило использовать их для накачки мощных лазеров на твердом теле, что повысило эффективность лазеров на алюмоиттриевом гранате (АИГ), а также значительно упростило конструкцию технологических установок. Сейчас уже разработаны установки с мощностью излучения до нескольких киловатт. Их можно использовать для резки, упрочнения, сварки, наплавки и т.п. Излучение этих лазеров может сравнительно легко транспортироваться на значительные расстояния, подаваться в труднодоступные места с помощью оптических волоконных световодов, что является важным достоинством указанных типов лазеров.

Следующим шагом явилось создание компактных матричных полупроводни-

ковых лазеров мощностью до нескольких киловатт, которые являются серьезными конкурентами другим существующим типам лазеров и, по мнению многих специалистов, могут в ближайшие годы вытеснить традиционные CO<sub>2</sub>-лазеры.

Совершенно новые технологические возможности предлагают так называемые световолоконные лазеры (Fiber Optics Laser). В них активной средой является само волокно, компактно собранное, а оптическая накачка осуществляется полупроводниковыми лазерами. Излучение эмитируется из торца волокна. В настоящее время в промышленности уже успешно эксплуатируются такие лазерные системы с мощностью излучения от 1 до 10 киловатт и к.п.д. 30—60%, отличающиеся высоким уровнем компактности (наиболее перспективные разработки выполнены нашим соотечественником д-ром Валерием Гапонцевым, в недавнем прошлом гражданином Украины, который организовал выпуск разнообразного оборудования на этой основе в ведущих промышленно развитых странах мира — Японии, США, Германии, Италии). Появились также довольно надежные эксимерные лазеры, генерирующие излучение в ультрафиолетовой области электромагнитного спектра. Благодаря очень малой длине волны излучения и наносекундным импульсам с помощью этих лазеров удастся выполнить уникальные операции микрообработки с высокой производительностью. Применение ультрафиолетового лазерного излучения для суперфинишной обработки оптических поверхностей и ответственных элементов оптоэлектроники позволяет получить качество поверхности, не достижимое никакими другими существующими методами. Вместе с тем до сих пор актуальны и находят широкое распространение лазеры на CO<sub>2</sub>. Несмотря на ряд недостатков, на сегодняшний день они обеспечивают самую высокую среднюю мощность излучения

относительно доступными средствами. Наиболее распространены лазерные производственные комплексы с уровнем мощности 2—6 кВт. Особые перспективы развития лазерная технология имеет в современном автомобилестроении в связи с началом широкого использования листового алюминия и его сплавов при изготовлении кузовов автомобиля. Эта тенденция развивается в связи с тем, что применение алюминия ведет к 25%-ному сокращению затрат на изготовление автомобиля и дает существенные выгоды при его эксплуатации (в частности сокращение расхода топлива благодаря уменьшению веса). Широкое же применение алюминия в автомобилестроении возможно лишь при использовании высокоэффективных процессов лазерного раскроя и лазерной сварки листового алюминия.

Наряду с совершенствованием уже ставших традиционными лазерных технологий размерной обработки, упрочнения, сварки и др. среди новых применений лазера нельзя не упомянуть лазерную маркировку, гравирование изделий, нанесение закодированных аудио- и видеоинформации на компакт-дисках, что равнозначно революции в информационных технологиях. Возможности совершенствования в этой области далеко не исчерпаны, особенно в плане повышения разрешающей способности и, следовательно, компактности различных систем при разработке лазеров с очень малыми длинами волн излучения.

Большие резервы в расширении возможностей использования лазерного излучения кроются не только в уменьшении длины волны излучения, но и в сокращении длительности лазерных импульсов. Так, при использовании фемтосекундных импульсов реализуется механизм разрушения материала путем абляции, что позволяет реализовать особо качественную прецизионную размерную обработку (без следов оплавления или испарения материала).

Стремительное развитие компьютерной техники, микропроцессорных систем в определяющей мере также зависит от уровня совершенствования лазерной технологии. Степень миниатюризации и качество литографии при изготовлении микрочипов зависят от длины волны излучения лазера и точности дозирования энергии. Широко освоенная в лазерной литографии обработка излучением эксимерного лазера на KrF с длиной волны 248 нм обеспечивает получение микрочипов с огромными возможностями сохранения информации. Так, микропроцессор 256М DRAM объемом в несколько кубических миллиметров содержит 540 миллионов транзисторов и емкостей, формирующих объем памяти, эквивалентный объему информации, размещающейся на 2100 газетных страницах. В современном микропроцессоре Pentium 4 размеры структурных элементов составляют до 130 нм. По прогнозу, подготовленному совместно ведущими специалистами Японии, Украины, США, Германии, Нидерландов — членами СИРП (Международной академии машиностроения, Париж) и доложенному в пленарном докладе на Генеральной ассамблее академии в Сан-Себастьяне (Испания, 2003 г.) [1], к 2009 году ожидается возможность изготовления микропроцессора с объемом памяти 64 гигабайта (64 Gb DRAM) с размерами структурных элементов до 70 нм (т.е. объем памяти по сравнению с существующими возможностями увеличится на 3 порядка!). Для этого потребуются более короткая длина волны излучения — до 193 нм и даже до 157 нм.

В последние годы заметно возрастающее влияние естественных наук на развитие техники и, в частности, на развитие машиностроения. С использованием новейших достижений науки и техники от классического принципа — послойного удаления с заготовки всего лишнего материала до получения детали заданной формы и размеров — удалось прийти к реализации качественно

нового принципа — послойному наращиванию (росту) детали до получения изделия с требуемыми параметрами. При этом методе реализуется взаимная интеграция новых информационных технологий, современной компьютерной техники и новейших технологий лазерной обработки материалов.

Разработка лазерной технологии синтеза 3-мерных объектов (Rapid Prototyping) позволяет изготавливать детали с заданными свойствами их различных участков, значительно сократить цикл от чертежа к готовому изделию, очень быстро (в течение нескольких часов) изготовить деталь (или ее модель, прототип) сложной пространственной формы без использования специального инструмента и оснастки.

До недавнего времени, пользуясь рассматриваемыми технологиями, можно было изготавливать детали в основном из различных видов пластмасс, керамики, плотной бумаги, пропитанной клеем, металлических пластин и фольг. Серьезные успехи, достигнутые в последние годы в области лазерной наплавки металлических композиций, позволили реализовать технологию выращивания 3-мерных металлических объектов. В этом случае можно программировать не только форму и размерные характеристики получаемых деталей, но и состав материала, а, следовательно, и свойства детали в разных ее сечениях. Благодаря таким уникальным характеристикам технологии она в ряде случаев получила и новое название — прямое осаждение металла (DMD — Direct Metal Deposition). Такая технология очень перспективна для получения сложных полостей штампов, литейных форм, пресс-форм, другой оснастки для изготовления деталей давлением, а также для ремонта износившихся участков такой дорогостоящей оснастки.

В НИИ лазерной техники и технологии НТУУ «КПИ» разработано специальное оборудование для формирования изделий сложной пространствен-

ной формы из порошковых металлических и керамических материалов. С его помощью возможна реализация двух схем выращивания 3-мерных объектов. Согласно первой схеме на рабочем столе накатывается слой порошкового материала определенной толщины, который затем подвергается процессу спекания лазерным излучением, сканирующим по программе, соответствующей заданному сечению спроектированного изделия. Далее стол опускается на величину, равную высоте сформированного слоя, накатывается новая порция порошкового материала и производится спекание очередного слоя материала. Так постепенно слой за слоем материализуется имеющаяся 3-мерная виртуальная модель изделия. При второй схеме реализации процесса световод с фокусирующей головкой совместно с питателем порошкового материала фиксируется в руке антропоморфного робота, который перемещается относительно стола по программе, соответствующей определенным сечениям виртуальной 3-мерной модели изделия. В НИИ проводятся также исследования по разработке технологии восстановления 3-мерного объекта по существующему 2-мерному черно-белому или цветному изображению объекта. С помощью специально разработанного устройства оцениваются оптические характеристики плоского изображения, которые используются для создания виртуальной 3-мерной модели объекта. Эта информация может быть затем использована для материализации модели методами лазерного прототипирования.

Очевидно, что в будущем с увеличением сложности пространственной формы изделий, неизбежным ростом номенклатуры таких изделий при одновременном снижении серийности выпуска, необходимости частых изменений выпускаемой продукции, диктуемых потребностями рынка, роль различных технологий синтеза 3-мерных изделий неизмеримо возрастет.

Новые перспективы создают комбинированные процессы, или, как их иначе сейчас называют, гибридные технологии. Особое внимание исследователей привлекают технологии, основанные на сочетании воздействия на материал лазерного излучения и электрической дуги, подвода плазменной струи в зону обработки и т.п. Эффект достигается за счет прямого использования электрической энергии для управления термическими процессами, возможности использования менее мощного лазерного излучения для достижения необходимого результата обработки.

Для Украины суперактуальной проблемой является организация изготовления лазерного технологического оборудования. Для этого имеются необходимые условия — опытные кадры, интеллектуальный и производственный опыт, производственная и научная база: НИИ лазерной техники и технологии (НИИ ЛТ и Т) НТУУ «КПИ», ИЭС им. Е.О.Патона, Институт физики, Институт физики полупроводников (Киев), Институт монокристаллов (Харьков), заводы «Ротор» (Черкассы) и «Электроника» (Львов), ряд малых предприятий и др.

При прогнозировании научно-технического развития рассматриваемого направления следует учитывать накопленный в Украине опыт подготовки кадров различного уровня, так как известно, что без квалифицированных специалистов развитие и эксплуатация высокоэффективных технологий и оборудования просто невозможны. Украина же обладает безусловным приоритетом в этом направлении. В КПИ еще в 1965—1966 гг. впервые в мировой практике были выполнены пробные разработки дипломных проектов по лазерной технологии будущими инженерами-машиностроителями. И такие проекты готовились вплоть до 1984 г., когда по инициативе КПИ и МВТУ им. Баумана (Москва) впервые в Украине и в бывшем СССР была открыта новая инженерная специальность «Оборудование и

технология лазерной обработки материалов». В КПИ за прошедшие годы подготовлено более 800 инженеров и магистров этого направления (сейчас специальность имеет название «Обработка материалов по спецтехнологиям»). Кроме того, подготовлена большая группа магистров-иностранцев, граждан из 26 зарубежных стран. Также на базе НТУУ «КПИ» на протяжении последних десятилетий успешно работает единственный в Украине специализированный совет по защите докторских диссертаций по специальности 05.03.07 «Физико-технические методы обработки». За годы работы совета защищено более 30 кандидатских и 6 докторских диссертаций по лазерной технологии.

Учитывая наличие в Украине довольно разветвленной сети научных, производственных и образовательных учреждений, обладающих сложным и дорогостоящим оборудованием, которое в силу многих причин не может использоваться эффективно, в НИИ ЛТ и Т НТУУ «КПИ» разработана концепция *e*-предприятия, позволяющая интегрировать в локальную или региональную систему научные и производственные ресурсы в области лазерной технологии [2]. В таком виртуальном предприятии может быть обеспечена оперативность поиска заказчика и исполнителя, разработки конкретного технологического задания, выбора и поставки необходимого материала, изготовления изделия и отправки его потребителю за счет высокоэффективного использования современных средств коммуникации и разработки специального программного продукта. В НИИ ЛТ и Т создан банк данных доступного лазерного технологического оборудования в различных организациях Украины, а также за ее пределами. Использование WEB-технологии дает возможность обеспечить максимальную эксплуатацию оборудования, сократить нерациональные простои, повысить конкурентоспособность малых и средних

предприятий, значительно ускорить окупаемость оборудования. Создание электронного предприятия на базе высокоэффективного использования лазерного технологического оборудования соответствует тем интеграционным тенденциям, которые в настоящее время развиваются в Евросоюзе.

Указанным тенденциям отвечает и разработка странами Европы национальных технологических платформ промышленности будущего (National ManuFuture Technological Platform). По инициативе СИРП и ряда других профессиональных международных организаций автор (совместно с проф. А. Грабченко, Харьковский национальный политехнический университет) приглашен выступить в качестве координатора от Украины для разработки национальной технологической платформы. Наряду с другими отечественными разработками упомянутое e-предприятие может составить основу национальной технологической платформы Украины. Такие национальные технологические платформы входят интегральными элементами в разрабатываемую в настоящее время 7-ю Рамочную программу Евросоюза, определяющую научно-техническое развитие Европы на ближайшее будущее.

Таким образом, в Украине имеются практически все необходимые факторы для приоритетного развития научных исследований и разработки необходимого оборудования в области лазерной технологии в нашей стране.

В то же время на эту проблему следует смотреть шире, так как лазерная технология является одним из важнейших составляющих элементов еще более глобального направления — фотоники, куда входит целый комплекс вопросов, связанных с разработкой проблем оптики, оптоэлектроники, квантовой электроники и пр. Известно, что в высокоразвитых странах фотоника является приоритетом высшего уровня. Это подтверждается разработкой соответствующих национальных программ. Учитывая, что в Ук-

раине имеется уникальный опыт выполнения фундаментальных исследований в указанном направлении в различных учреждениях НАНУ и в университетах, целесообразно при разработке прогнозов научного и инновационного развития на последующие годы предусмотреть возможность дальнейшего акцентирования ресурсов на данной тематике.

***Рекомендации по определению приоритетных научно-технических и инновационных разработок в стране, требующих особого внимания и поддержки Кабинета Министров Украины:***

1. *Приоритеты на ближайшие 3—5 лет:*
  - ❖ организация выпуска технологического лазерного оборудования для выполнения наиболее распространенных операций — резки, прошивки отверстий, сварки, упрочнения изделий, маркировки и т.п. (отраслевая программа);
  - ❖ коммерциализация разработанных в НИИ ЛТ и Т НТУУ «КПИ» лазерной технологии и оборудования для формирования 3-мерных изделий из порошковых металлических и керамических материалов;
  - ❖ реализация концепции виртуального предприятия, разработанного НИИ ЛТ и Т НТУУ «КПИ» для более эффективного использования имеющегося в стране лазерного технологического оборудования;
  - ❖ активизация подготовки кадров (инженерных и высшей квалификации) на базе кафедры лазерной технологии НТУУ «КПИ» в области новейших технологий и оборудования для обработки материалов (различных специальных технологий — лазерной, электроннолучевой, ионно-плазменной, микро- и нанотехнологий и т.п.).
2. *Приоритеты на ближайшие 10—15 лет:*
  - ❖ разработка и организация выпуска лазеров новых типов — диодных, оптоволоконных, эксимерных и др. (отраслевая программа);

- ❖ создание центров высокоэффективных технологий (Center of Excellency) с государственной поддержкой как базовых для распространения опыта внедрения передовых технологий и оборудования. Для начала необходимо использовать наиболее развитые в этом плане подразделения университетов и институтов НАНУ (общенациональная программа).
- 3. *Приоритеты на ближайшие 20—25 лет:*
- ❖ мобилизация ресурсов на расширение фундаментальных и прикладных исследований для развития высокоприоритетного и глобального направления развития науки и техники — фотоники (общенациональная программа).

1. *Laser Machining by Short an Ultrashort Pulses, State of the Art / J.Meijer, A.Gilner, D.Hoffman, V.Kovalenko, T.Masuzawa et al. // Keynote Paper for CIRP General Assembly (San-Sebastian, 18—25 Aug. 2002), 2002. — 22 p.*

2. *Kovalenko V., Mamalis A., Kolpakov V. WEB-Technologies Application to Increase the Efficiency of Laser Industrial Systems // Proc. of LTWMP-05/ Ed. by prof. B. Paton and prof. V. Kovalenko. — Kiev, 2005, — P. 64—66.*

*В.С.Коваленко*

### **Сучасний стан і перспективи розвитку лазерних методів обробки матеріалів**

*Висвітлено нові досягнення у галузі лазерної техніки і технології, розробки НДІ лазерної техніки і технології НТТУ «КПІ», викладено концепції е-підприємства, яке дозволяє інтегрувати наукові та виробничі ресурси у даній галузі, національної технічної платформи України. Наведено пріоритети, потребуючі особливої уваги і підтримки, в галузі лазерної техніки і технології на найближчі 3—5, 10—15 та 20—25 років.*

*А.В. Рагуля, В.М. Крячек*

## **Развитие нанонаук и нанотехнологий в Украине на перспективу до 2020 г.**

*Статья содержит обзор состояния нанонауки и нанотехнологий в мире и в Украине, названы проблемы, сдерживающие развитие и реализацию нанотехнологий в Украине, минимальные меры, необходимые для реализации нанотехнологий в Украине.*

### **Обзор состояния нанонауки и нанотехнологий в мире и в Украине**

Уровень развития нанотехнологий в той или иной стране становится все более четким индикатором перспектив конкурентоспособности страны в области «хай-тек». В развитых странах с нанотехнологиями связывают новую промышленную революцию и интенсивный рост ВВП. Этот тезис можно проиллюстрировать диаграммой (рис.1).

Глобальный цикл развития бизнеса в области технологий материалов составляет 50—60 лет. Технические инновации, привнесенные новыми материалами, влияют на экономическое развитие и промышленную революцию. Так, предыдущий период ознаменовался созданием материалов для ядерной энергетики и вооружений, космических и авиационных технологий, для электроники и компьютеров, металлургии, нефте- и га-

© А.В. Рагуля, В.М. Крячек, 2006