

### Экологический мониторинг и сопутствующие услуги

Этот рынок требует развития различных типов датчиков, интегрированных в системы, способные подготавливать понятную для пользователей информацию и в недалеком будущем самостоятельно принимать оптимальные решения. Особенно важно то, что он становится массовым вследствие ухудшающегося качества окружающей среды. Такая продукция востребована в особенности для контроля и оптимизации качества воздуха и воды. Существует ряд конкурирующих российских компаний, которые и станут ее основными потребителями. Несомненно, в ближайшее время можно ожидать существенного роста этого сегмента рынка.

### Научное приборостроение и технологическое машиностроение

В России уже ряд лет существуют компании, торговая марка которых распознаваема на мировых рынках оборудования для исследовательского сектора нанотехнологий. К их числу относится, например, группа компаний НТ-МДТ, специализирующаяся на изготовлении аналитического оборудования и технологических комплексов для микромеханики и наноэлектроники и являющаяся одной из лучших на рынке подобного оборудования. Ее дальнейшее развитие, в особенности в рамках частно-государственного партнерства, призвано обеспечить как технологическую независимость России в данной сфере, так и устойчивые позиции российского приборостроения на мировых рынках.

### Метрологические приборы и оборудование

Модернизация — основной приоритет развития отечественной промышленности. Для ее решения необходимы в первую очередь метрологические стандарты и оборудование, которое позволит сделать отечественные разработки и производство совместимыми с высокоразвитыми и развивающимися производствами мирового сообщества. Это, в свою очередь, требует формирования рынка метрологического оборудования, метрологических мер, выработку и согласование стандартов измерений. В России, несомненно, существуют все условия, чтобы попасть в число лидеров по разработке и производству такой техники и устройств на ее основе.

## ЗАРУБЕЖНОЕ ПРИЗНАНИЕ РОССИЙСКИХ ПРИБОРОВ

**В.А. Быков**, Генеральный директор компании НТ-МДТ, зам. директора по науке НИИФП им. Ф.В. Лукина, Лауреат Правительственной премии РФ в области науки и техники, д-р техн. наук

*В июле 2009 года были объявлены результаты ежегодного конкурса R&D 100 Award, который проводится авторитетным американским изданием Research&Development. В список 100 лучших приборов 2008 года вошел российский сканирующий микроскоп СОЛВЕР Некст.*

Номинироваться на премию R&D 100 Award может инновационная продукция, удовлетворяющая двум обязательным условиям:

- разработка должна представлять собой коммерческий продукт;
- продукт должен быть впервые представлен на рынке в год, предшествующий номинированию.

Еще одно условие — принципиальная новизна разработки: изделие должно отличаться уникальной особенностью, способной в будущем стать отраслевым стандартом. Это условие не обязательное, однако именно оно может обеспечить победу номинированному устройству.

Уникальная особенность зондового микроскопа СОЛВЕР Некст группы компаний НТ-МДТ — максимальная автоматизация.

Используя это изделие, даже малоквалифицированный оператор может задействовать в исследованиях потенциал заложенных в конструкцию прибора двух главных методов сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ):

атомно-силовой (АСМ) и сканирующей туннельной (СТМ).

Эти два подхода требуют совершенно разного оборудования. Обычно для замены одной измерительной головки на другую исследователь фактически разбирает установку и собирает ее снова в другой комплектации, поскольку после этого проводится длительный процесс настройки и отладки. Только тогда появляется возможность работы в новом режиме.

Принцип, реализованный в конструкции СОЛВЕР Некст, изначально позволяет избежать проблемы подобного рода. Полноценная автоматизация стала возможна благодаря разработке и внедрению ряда интеллектуальных систем, зарегистрированных под торговой маркой НТ-МДТ.

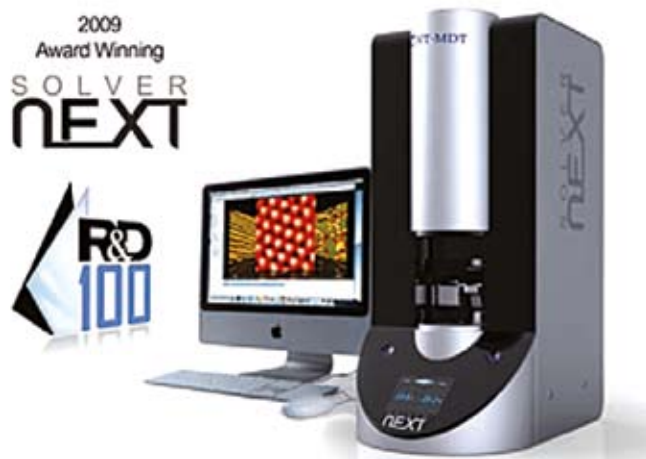
Для управления измерительными головками предназначена система HeadHiPEX™ (Head High Precision EXchange System), обеспечивающая автоматическую смену встроенных (АСМ, СТМ) и дополнительных внешних головок, и осуществляющая

одновременное их прецизионное позиционирование над образцом.

СОЛВЕР Некст оборудован также многофункциональной системой IsoShield™, поддерживающей вокруг образца заданную однородную среду (постоянную температуру, контролируемый уровень влажности, пренебрежимо малый уровень паразитного электромагнитного поля, электростатическую изоляцию), а также обеспечивающей защиту оператора от лазерных лучей при открытой измерительной ячейке.

Для навигации образца в СОЛВЕР Некст предусмотрена легкая в управлении автоматическая прецизионная система PINpoint™ (Precision Instrument Navigation System), обеспечивающая точное расположение образца и прицельное позиционирование системы видеонаблюдения.

Электронная система переключения размера области сканирования ScanScaler™ обеспечивает автоматизированное переключение режима сканера между большим (до 100 мкм) и малым полями сканирования.



**Рис. 1.** СОЛВЕР Некст — полностью автоматизированный СЗМ широкого применения

ExpertFBA™ (Expert Fine Beam Alignment System) облегчает управление микроскопом, обеспечивая автоматическую юстировку оптической системы (кантилевер — лазер — фотодиод).

Все эти технические особенности принципиально важны, поскольку открывают дорогу к дальнейшей автоматизации зондовых микроскопов и указывают направление для создания роботизированных исследовательских комплексов по принципу «все в одном». Таким образом, можно констатировать, что СОЛВЕР Некст представляет собой инновационную разработку со значительным стратегическим потенциалом, который и был отмечен экспертной комиссией R&D 100 Award.

СЗМ СОЛВЕР Некст был представлен на рынок группой компаний НТ-МДТ в 2008 году. Его востребованность исследователями и эффективность на мировом рынке уже доказаны высоким уровнем продаж: к настоящему времени подобные приборы установлены более чем в 48 научных центрах и институтах России и зарубежья. Это позволяет сделать вывод о конкурентоспособности продукта.

Среди факторов конкурентоспособности СЗМ СОЛВЕР Некст также следует указать мощный контроллер последнего поколения (до 40 Гц), обеспечивающий исключительно высокую скорость сканирования и получения результата.

Большой популярностью среди исследователей пользуется возможность мгновенной интеграции полученных результатов в сеть. Благодаря инновационному, специально разработанному приложению для iPhone™ — MDTServer™ — СОЛВЕР Некст предоставляет уникальную возможность передачи, хранения и просмотра полученных сканов с помощью мобильного телефона в 2D- и 3D-формате.

Приложение позволяет обмениваться изображениями с устройствами, совместимыми с Mac OS® или Windows®, производить обработку сканов. Кроме того, обеспечена возможность полного удаленного управления СЗМ через Интернет. Таким образом, СОЛВЕР Некст представляет собой удивительный и редкий в современной России пример коммерчески эффективного высокотехнологичного продукта, в котором реализован ряд инновационных разработок.

Это не единственный факт признания российских высокотехнологичных продуктов

в мире. В 2006 году награда R&D 100 Award была впервые присуждена разработанной НТ-МДТ Зондовой НаноЛаборатории ИНТЕГРА Спектра, которая представляет собой измерительный комплекс для исследования одного и того же образца с помощью методов атомно-силовой микроскопии (АСМ), конфокальной микроскопии и спектроскопии комбинационного рассеяния (КР).

При разработке оборудования выяснилось, что совмещение конфокального оптического микроскопа и АСМ (уменьшение дрейфов в оптической части системы, позиционирование зонда в определенных зонах светового пучка, повышение эффективности сбора оптических сигналов) открыло путь для принципиально новых возможностей.

В частности, оказалось, что зонд со специальным острием из благородного металла (золото или серебро) в фокусе светового пучка может выступать нанолокальным «усилителем» КР в приповерхностном слое образца. Сигнал КР в непосредственной близости от острия зонда оказывается во много раз больше, чем от других участков образца, освещаемых тем



**Рис. 2.** Приложение MDTServer™ для хранения, просмотра и обмена сканами через iPhone™



**Рис. 3.** Зондовая НаноЛаборатория ИНТЕГРА Спектра объединяет возможности АСМ с конфокальной оптической микроскопией и спектроскопией люминесценции и КР

же пучком света. Напомним, что минимальный диаметр светового пятна в фокусе оптической системы ограничен дифракцией и не может быть меньше 170 нм, т.е. именно это разрешение предельно для КР-спектроскопии при использовании конфокального оптического микроскопа. Зона локального усиления КР составляет вокруг острия зонда от нескольких единиц до нескольких десятков нанометров. Именно размером этой зоны определяется разрешение, с которым можно производить КР-спектроскопию и картировать распределение интенсивности того или иного характеристического сигнала по поверхности образца, а значит, получать данные о его химическом составе. Таким образом, конвергенция подходов зондовой микроскопии и подошедших к своему физическому пределу возможностей оптической микроскопии позволила перейти через этот предел и реализовать исследовательский комплекс для КР-спектроскопии с пространственным разрешением около 50 нм.

Описанная выше Зондовая НаноЛаборатория ИНТЕГРА Спектра — первый и единственный коммерческий прибор, позволивший обойти принципиальное ограничение дифракции благодаря использованию гигантского усиления сигнала КР (в английской литературе TERS — Tip Enhanced Raman Scattering).

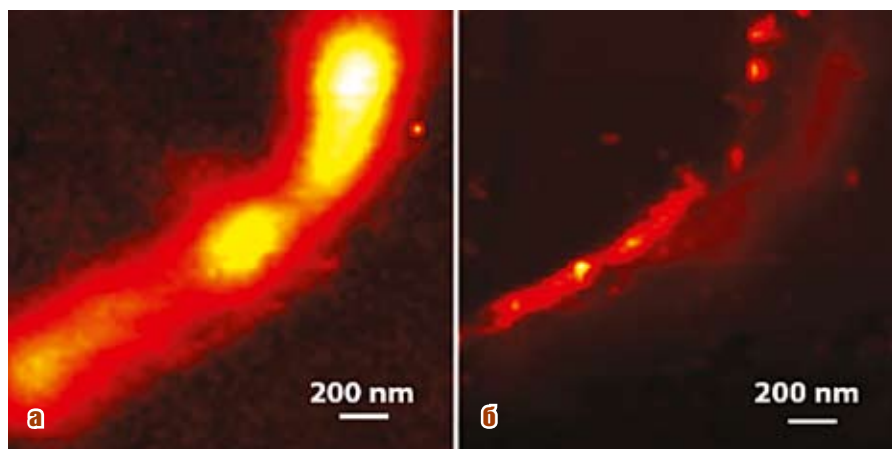
Использование TERS и интеграция в одном приборе нескольких методик сделали возможным исследование не только нанотрубок, но и графена, поскольку физиков, разработчиков новых материалов, инженеров нанотехнологий — ученых разных специализаций привлекают его уни-

кальные свойства, например, такие как аномальная электро- и теплопроводность. Исследователи, специализирующиеся в фундаментальной физике, в высшей степени заинтересованы возможностью изучения необычных квантовых эффектов в двумерных кристаллах.

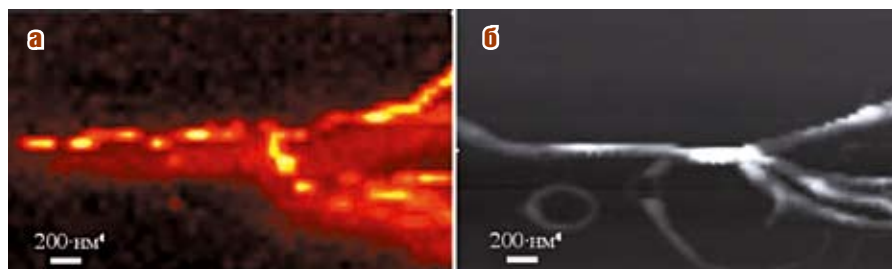
ИНТЕГРА Спектра, благодаря своим техническим характеристикам, обеспечивает

высокую точность операций, необходимую для манипуляций со структурой, толщиной в один атомарный слой. Комбинация АСМ, флуоресцентной, СБОМ, рэлеевской и КР-микроскопией предоставляет уникальные возможности для исследования графена. Различные АСМ-методики позволяют исследовать механические, электрические, магнитные и даже эластичные свойства образцов этого материала. Возможно также исследование локальной работы выхода, проводимости, емкости, пьезоотклика и других свойств поверхности.

Одновременное использование АСМ-и КР-спектроскопии позволяет получить информацию о толщине слоя, структурной однородности, присутствии примесей или дефектов и т.д. Применение микроскопии Рэля и СНОМ позволяет измерять локальные оптические свойства образца, обеспечивая дополнительную информацию о его структуре. Важно, что большинство измерительных методик могут быть реализованы в контролируемой атмосфере: при различной влажности и температуре, в жидкости (в некоторых конфигурациях), в электрохимической среде и во внешнем магнитном поле.



**Рис. 4.** КР-микроскопия УНТ: а) конфокальное КР-изображение пучка нанотрубок, б) TERS изображение того же пучка в том же спектральном диапазоне (G-линия). (Лаборатория Prof. G. de With (TUE, Голландия); Dr. S. Kharintsev, Dr. G. Hoffmann, Dr. J. Loose; П. Дорожкин (ИТ-МДТ, Россия. Прибор ИНТЕГРА Спектра)



**Рис. 5.** TERS изображение (а) пучка УНТ диаметром около 90 нм имеет практически такую же толщину, как и его АСМ-изображение (б). Пространственное разрешение TERS-картирования также можно оценить на участках «ветвления» пучка. (J. Jao, R. Zenobi (ETH Zurich, Швейцария), G. Hoffman, J. Loose, (TUE, Голландия), П. Дорожкин (ИТ-МДТ, Россия. Прибор ИНТЕГРА Спектра)



С использованием НаноЛаборатории ИНТЕГРА Спектра в одном эксперименте можно получать АСМ, флуоресцентные, рэлеевские изображения и карты КР с одной и той же области (рис. 6).

ИНТЕГРА Спектра уже нашла свою аудиторию исследователей: 76 этих приборов установлены в лабораториях известных научных учреждений, в том числе в РНЦ «Курчатовский институт», Trinity College (Ирландия), Fraunhofer Institute Interfacial Engineering and Biotechnology (Германия), Imperial College London (Великобритания) и др.

Приведенные примеры российских приборов, получивших высокую оценку ведущих мировых экспертов, дают основание полагать, что процесс возрождения отечественной высокотехнологичной индустрии набирает обороты.

### НАНОЭДЬЮКАТОР II – обладатель R&D 100 Award

НАНОЭДЬЮКАТОР II (рис. 6) — это учебно-научный измерительный комплекс на основе сканирующего зондового микроскопа (СЗМ), который направлен на изучение принципов работы с СЗМ, приобретение навыков исследования нанообъектов и нано-



Рис. 6. НАНОЭДЬЮКАТОР II

структур, осуществление наноманипуляции и нанолитографии.

Американский журнал «Research & Development» включил НАНОЭДЬЮКАТОР II компании НТ-МДТ, единственной из России, в список 100 лучших научно-исследовательских разработок 2011 года.

Для НТ-МДТ это уже третья награда: в 2006 году престижную премию получила зондовая лаборатория ИНТЕГРА Спектра

(АСМ / конфокальной флуоресценции и комбинационного / СБОМ / TERS), в 2009 году — полностью автоматизированный прибор СЗМ СОЛВЕР Некст.

В свое время в R&D 100 вошли такие перевернувшие мир идеи, как изобретение фотовспышки, факса, принтера, никотинового пластыря, жидкокристаллического дисплея, телевидения высокого разрешения.

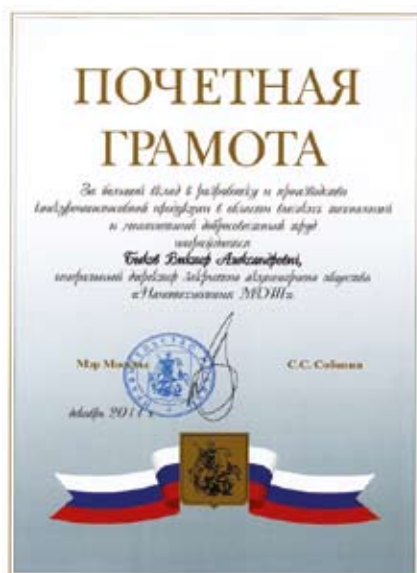
Главная идея комплекса НАНОЭДЬЮКАТОР II заключается в том, что изучение невидимых в оптический микроскоп клеток и структур происходит на уровне атомарного разрешения с помощью атомно-силового (АСМ) и сканирующего туннельного микроскопа (СТМ). Использование СЗМ в школах и вузах — это прорыв в области образования и подготовки высококвалифицированных кадров для наноиндустрии. Специально созданный для углубленного изучения принципов СЗМ в школах и вузах, НАНОЭДЬЮКАТОР II может быть использован и для научных исследований.

## ОТЕЧЕСТВЕННОЕ ПРИЗНАНИЕ ПРИБОРОВ КОМПАНИИ НТ-МДТ

В декабре 2011 года Мэр Москвы С.С. Собянин наградил Генерального директора НТ-МДТ Быкова Виктора Александровича Почетной грамотой за вклад в разработку и производство конкурентоспособной продукции в области высоких технологий и многолетний добросовестный труд.

Быков Виктор Александрович, доктор технических наук, Президент Нанотехнологического общества России (НОР) в 2010–2012 гг., Председатель Гильдии высоких технологий и инноваций Московской Торгово-Промышленной Палаты, лауреат Правительственной премии Российской Федерации в области науки и техники, автор и соавтор свыше 170 научных трудов, из них 63 свидетельства на изобретения и патенты.

Компания НТ-МДТ, созданная в 1990 г., в настоящее время является признанным во всем мире производителем научно-технологического оборудования для нанотехнологий. НТ-МДТ поставяет свою продукцию в 60 стран мира, имеет представительства в



Ирландии, Голландии, США и Китае. Согласно исследованию независимого агентства Future Markets Inc., доля продукции НТ-МДТ на мировом рынке СЗМ составила 16%, что соответствует 2 месту в мире (данные

на 2011 г.). Продукция НТ-МДТ включает в себя четыре линии:

- 1) Платформа ИНТЕГРА, разработанная как основа для развития возможностей сканирующей зондовой микроскопии.
- 2) Платформа СОЛВЕР, предназначенная для исследования свойств поверхности в масштабе нанометров.
- 3) Платформа НАНОЭДЬЮКАТОР, созданная для обучения принципам работы с СЗМ, приобретения навыков исследования нанообъектов и наноструктур, осуществления нанолитографии и наноманипуляций в школах и вузах.
- 4) Модульная технологическая платформа НАНОФАБ, позволяющая формировать нанотехнологические комплексы (НТК) с кластерной компоновкой.

В разные годы продукция НТ-МДТ была удостоена престижных званий и наград, включая Премию ЮНЕСКО «За вклад в развитие нанонауки и нанотехнологий» (см. стр. 62).