



ПЛАТФОРМА НАНОЭДЬЮКАТОР

Е.Газарова
spm@ntmdt.ru

В начале 1990-х годов нанотехнология делала только первые шаги в качестве самостоятельного направления науки. Однако уже в последующее десятилетие произошел существенный качественный скачок, и нанотехнология превратилась в приоритетное направление. Стало очевидно, что при таких темпах развития в ближайшем будущем обязательно возникнет спрос на специалистов в этой области.

История создания. Время учить

Для подготовки специалистов в области нанотехнологии необходимо соответствующее оборудование, которое существенно отличается от профессиональных аналогов и обладает определенной спецификой.

Название
НАНОЭДЬЮКАТОР объединяет два корня:
nano (греч. *nános*) – одна миллиардная доля (10^{-9});
educator (англ.) – педагог, преподаватель.

НАНОЭДЬЮКАТОР – учебно-научный измерительный комплекс на основе сканирующего зондового микроскопа (СЗМ), направленный на формирование полноценного класса для обучения основам нанотехнологий, а также подходящий для научных исследований.

Конструктивное решение
Комплектация поставки класса **НАНОЭДЬЮКАТОР**:
– 3–5 студентоориентированных СЗМ;
– учебно-методические пособия и лабораторные практикумы;
– тестовые образцы и набор зондов.

Поставляемые конфигурации:
НАНОЭДЬЮКАТОР,
НАНОЭДЬЮКАТОР II

Катализатором создания нового класса оборудования послужила встреча специалистов НТ-МДТ с А.Голубком на открытии Фонда знаменитого ученого Ж.Алферова им. А.Ф.Иоффе. Тогда А.Голубок занимал пост заместителя директора Института аналитического приборостроения РАН, заведовал кафедрой в СПбГУ ИТМО, а также читал лекции по сканирующей зондовой микроскопии для студентов кафедры Ж.Алферова.

На этой встрече и возникла идея создать СЗМ, на котором могли бы обучаться студенты Лицея и НОЦ. Начало 2000 годов было периодом активного завоевания НТ-МДТ мирового рынка – усилились разработчики сосредотачивались на создании приборов ряда СОЛВЕР, началось воплощение платформы ИНТЕГРА. Однако разработка обучающего СЗМ оказалась очень заманчивой идеей, поэтому руководство НТ-МДТ приняло решение создать этот прибор силами внешних специалистов.

К тому времени у группы А.Голубка уже были некоторые наработки в этой области, а куратором проекта от НТ-МДТ был назначен В.Котов (ныне директор по производству НТ-МДТ), которому и принадлежит авторство названия **НАНОЭДЬЮКАТОР**.

Впоследствии концепция прибора была поддержана Фондом

Ж.И.Алферов – один из крупнейших российских ученых в области физики и техники полупроводников, получивший широкую известность и мировое признание. Автор более 500 научных работ, в том числе трех монографий и свыше 50 изобретений.

В 2000 году Шведская королевская академия наук присвоила ему (совместно с Г.Кремером) Нобелевскую премию по физике за "фундаментальные работы, заложившие основы современных информационных технологий посредством создания полупроводниковых гетероструктур, используемых в сверхвысокочастотной и оптической электронике".

На средства Нобелевской премии был учрежден Фонд поддержки образования и науки талантливой учащейся молодежи, содействия ее профессиональному росту, поощрения творческой активности в проведении научных исследований в приоритетных областях науки.

Ж.И.Алферов – один из основателей Лицея «Физико-техническая школа» Учреждения РАН С.-Петербургского Академического университета – научно-образовательного центра (НОЦ) нанотехнологий РАН.

содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере и Фондом поддержки образования и науки для поддержки талантливой учащейся молодежи.



Трудный путь познания

При разработке СЗМ для образовательных целей необходимо было учесть ряд факторов. Простой прибор должен обладать возможностями, способными показать студентам мир наноизмерений во всем его многообразии. Важно отметить, что существовало также ограничение по себестоимости, поскольку вряд ли школы и университеты смогут позволить себе оборудовать класс дорогостоящими системами.

Ко времени начала сотрудничества НТ-МДТ и коллектива лаборатории СЗМ ИАП РАН под руководством А.Голубка уже были разработаны три составляющие будущего устройства: сканер-трипод на биморфных элементах (рис.1), электроника для управления измерительной головкой СЗМ, начальные варианты пьезорезонансного зондового датчика-картриджа с зондом из вольфрамовой проволоки.

Важно, что сканер на биморфах обеспечивал большой диапазон сканирования по всем трем координатам, что облегчало работу для неподготовленных пользователей.

Обычно для измерения локальной силы взаимодействия с поверхностью исследуемого образца используется кремниевый кантилевер с оптической схемой регистрации его отклонения. В СЗМ НАНОЭДЬЮКАТОР был применен датчик с иглой из вольфрамовой проволоки, работающий на основе пьезорезонансного метода регистрации силового взаимодействия. Вольфрамовая проволока обеспечивает результат менее точный, чем кремниевый кантилевер, но ее серьезное преимущество – возможность многократного использования. Для повторного затачивания вольфрамовой проволоки было создано специальное устройство – так называемая "гравилка", причем процесс затачивания проволоки осуществлялся методом электрохимического травления в слабом щелочном растворе и являлся настолько простой процедурой, что мог проводиться студентами и школьниками

во время лабораторного практикума. Это было гораздо удобнее, чем использование кантилеверов, которые приходится менять довольно часто, а регулярная покупка расходных материалов образовательным центрам в те времена была не под силу.

Цифровой контроллер для управляющей электроники был создан компанией "АМТ", которая предложила довольно интересное решение. Блок управления работал через специальную интерфейсную плату, которая через USB-порт соединялась с компьютером. Характерно, что уже в 2000-е годы НАНОЭДЬЮКАТОР мог подключаться к любому компьютеру. Особое внимание было уделено программному обеспечению (ПО), ориентированному на начинающих пользователей.

Дизайн первой версии прибора был прямым следствием конструкции сканера-трипода. Специалистами был создан округлый корпус, вместивший в себя конструкцию СЗМ (рис.2).

Созданный СЗМ НАНОЭДЬЮКАТОР был ориентирован на студенческую аудиторию, объединял в себе возможности СТМ и АСМ и обеспечивал наглядность обучения. Помимо этого его стоимость была существенно ниже, чем аналогов.

Серийное производство СЗМ НАНОЭДЬЮКАТОР было организовано в С.-Петербурге. Там приборы собирались, испытыва-

Сканирующий элемент трипод представляет собой соединение трех трубок в один узел, позволяющее проводить прецизионные перемещения зонда микроскопа в трех взаимно-перпендикулярных направлениях. Недостатки этой конструкции: сложность изготовления и сильная асимметрия. В настоящее время в сканирующей зондовой микроскопии наиболее широко используются сканеры на основе одного трубчатого элемента.

Биморф представляет собой две пластины пьезоэлектрика, склеенные между собой таким образом, что вектора поляризации в каждой из них направлены в противоположные стороны. При подаче напряжения на электроды биморфа одна из пластин расширяется, а другая сжимается, что приводит к изгибу всего элемента. Такой изгиб под действием электрических полей положен в основу работы биморфных пьезосканеров.

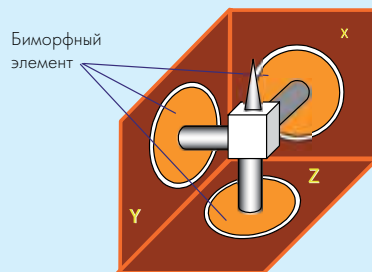


Рис.1. Трехкоординатный сканер на биморфных элементах



Рис.2. Класс СЗМ НАНОЭДЬЮКАТОР. Первая версия прибора

лись и передавались в главный офис НТ-МДТ (г. Зеленоград), где осуществлялось их тестирование, регламентирование, а также готовились руководства для пользователей, производились упаковка приборов и их отправка заказчикам.

При разработке СЗМ НАНОЭДЬЮКАТОР сначала НТ-МДТ сотрудничала с группой А.Голубка как с командой внешних разработчиков. Однако этот опыт оказался настолько удачным, что впоследствии был создан филиал компании в С.-Петербурге – НТ-СПб. Сотрудники этого филиала продолжали совершенствовать прибор, дорабатывать для него ПО и проводить сервисное обслуживание уже установленных классов. Учебно-методическую поддержку проекта НАНОЭДЬЮКАТОР осуществляла кафедра нанотехнологий и материаловедения СПбГУ ИТМО, студенты и преподаватели которой также принимали участие в работе НТ-СПб.

Все большое начинается с малого

В 2000–2003 годах одновременно с разработкой прибора НТ-МДТ осуществляла продвижение на рынок концепции обучающего оборудования. Финансовая ситуация в образовании в то время была очень неоднозначная, но уже чувствовалась готовность государства обеспечить поддержку образовательным проектам.

"В самом начале пути у классов НАНОЭДЬЮКАТОР не было рынка, зато было наше видение, концепция и желание сделать этот прибор".

Зам. генерального директора НТ-МДТ, директор по производству В.Котов

НТ-МДТ стремилась предложить для обучения не отдельные приборы, а комплексную мини-лабораторию, укомплектованную учебными пособиями, тестовыми образцами и другими необходимыми изделиями, готовую для проведения обучения уже на следующий день после установ-

ки. Подобная концепция полноценного класса соответствовала требованиям времени.

19 ноября 2003 года в НОЦ "Физика твердотельных наноструктур" Нижегородского университета состоялось официальное открытие первой в России специализированной учебной лаборатории НАНОЭДЬЮКАТОР, которая состояла из пяти приборов НТ-МДТ, пяти компьютеров и принтера. Виброзащитные столы нижегородцы сделали сами: это были мраморные плиты, подерживаемые теннисными шариками. Выглядела такая конструкция непривычно, но поставленную задачу решала хорошо. Минимальный набор необходимых учебно-методических материалов для первого класса НАНОЭДЬЮКАТОР был подготовлен благодаря преподавательской деятельности А.Голубка.

В классе НАНОЭДЬЮКАТОР Нижегородского университета началось активное обучение студентов и школьников основам нанотехнологий; был поставлен учебный процесс и наработаны лабораторные материалы.

"Наша продукция обычно совершенствуется благодаря нашим клиентам: чем они требовательнее, тем лучше получается прибор".

Зам. генерального директора НТ-МДТ, директор по производству В.Котов

Большая часть нынешних учебно-методических пособий создана при творческом участии коллективов Института физики микроструктур и Нижегородского университета: учебник "Основы СЗМ" написан В.Мироновым, а лабораторные практикумы по физике, биологии и химии подготовлены группой А.Круглова.

В настоящее время в России ведется активная работа по созданию национальной нанотехнологической сети. Более 40 университетов ведут подготовку бакалавров, магистров и других специалистов, имея лицензии или заключения учебно-методического объединения на право обра-

зовательной деятельности по направлению нанотехнологии (НТ); ряд высших учебных заведений модернизирует существующие учебные программы, включая в них НТ-разделы.

Классы НАНОЭДЬЮКАТОР уже широко используются при организации учебно-исследовательского процесса по большому числу тематических направлений nanoиндустрии.

К настоящему времени классы НАНОЭДЬЮКАТОР установлены в более чем 150 университетах, исследовательских центрах и школах России, из них около 35 вузов оснащены СЗМ-комплексами в соответствии с Государственным контрактом по заказу Министерства образования и науки РФ.

Нет предела совершенству

На определенном этапе НАНОЭДЬЮКАТОР был лучшим в своем классе приборов и в существующей ценовой нише, но с развитием отрасли требования клиентов повышались. Уже на этапе обучения студентов многие центры хотели совмещать обучение с научной деятельностью. Естественно, от образовательного прибора стали ожидать характеристик, сопоставимых с профессиональным оборудованием.

В результате возникла потребность в новом обучающем СЗМ, на котором можно не только знакомить студентов с основами СЗМ, но и получать научные результаты. Этот прибор должен был отвечать всем требованиям, предъявляемым к качественному СЗМ. Прежде всего, речь шла о снижении шумов, включении в конструкцию датчиков перемещения зонда, позволяющих контролировать его реальное положение относительно образца и компенсировать несовершенства пьезокерамических элементов, а также об обеспечении возможности добывать атомарное разрешение (рис.3).

Перед разработчиками НТ-МДТ стояла задача не только создать обучающий СЗМ нового поколения, но и остаться в том же диапазоне цен, т.е. новый прибор должен быть таким

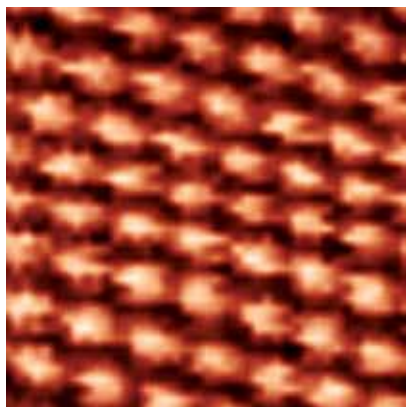


Рис.3. СТМ-изображение атомарной решетки на графите. Размер 2×2 нм

же экономичным, как его предшественник. К 2008 году компанией НТ-МДТ уже был выпущен на рынок автоматизированный СЗМ СОЛВЕР Некст, в котором была реализована смена поколений управляющей электроники, полностью переделано ПО. В 2009 году на рынок была выпущена НаноЛаборатория ИНТЕГРА Лайф, в которой также апробировались новые решения в ПО и в электронике. В следующей версии СЗМ НАНОЭДЬЮКАТОР II (рис.4) специалисты НТ-МДТ решили объединить все наработки компании и особенно учесть опыт создания современных автоматизированных СЗМ.

В профессиональных приборах (СОЛВЕР Некст, ИНТЕГРА



Рис.4. НАНОЭДЬЮКАТОР II – учебно-научный комплекс на основе полупрофессионального СЗМ, подходящий как для формирования обучающей нанолаборатории, так и для научных исследований

Лайф) были реализованы три основных элемента новизны (контроллер, ПО и техническое решение), вследствие чего была пересмотрена вся концепция производства и управления прибором с точки зрения автоматизации.

Принципиально новые контроллеры обеспечивали возможность на основе единой системы построить электронику и для СЗМ обычного назначения, и для прибора с расширенной функциональностью. Поскольку электронное управление тесно связано с ПО, возникла возможность унифицировать оборудование, и в СЗМ даже невысокого класса стоимости встроить ПО, заключающее в себе результаты многолетних наработок компании. Так, в СЗМ НАНОЭДЬЮКАТОР II используется новый контроллер Р9, и сканирование производится уже трубчатым сканером (рис.5).

Другим направлением развития обучающего прибора стало изменение дизайна. После анализа ситуации в мире выявилась интересная тенденция: мода на дизайн приборов в стиле Apple. По этой причине было решено сделать ставку на Apple-дизайн и работу под операционную систему Mac OS, которая для СЗМ НАНОЭДЬЮКАТОР обладает двумя существенными преимуществами: она может обеспечить безвирусное функционирование и сетевые возможности, не требующие дополнительного пакета ПО. Последнее особенно важно, поскольку пять приборов, составляющих класс НАНОЭДЬЮКАТОР, объединяются между собой в единую сеть для того, чтобы преподаватель имел возможность осуществлять со своего компьютера дистанционный контроль любого рабочего места учащихся.

ПО как низкого, так и высокого уровня под Windows OS уже было написано. Инженеры-программисты НТ-МДТ оперативно справились с задачей создания аналогичной программы для Mac OS. Таким образом, появилась возможность предлагать пользователям приобретать классы НАНОЭДЬЮКАТОР, работающие под Windows или под Mac OS.

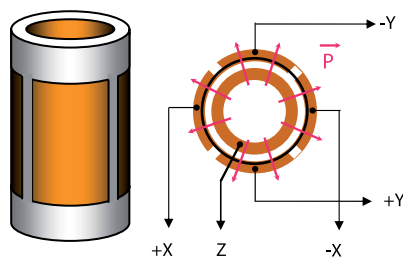


Рис.5. Трубчатый пьезосканер работает посредством изгиба полой пьезоэлектрической трубки в латеральной плоскости и удлинения или сжатия трубки по оси Z

Для управления аппаратными устройствами (например, контроллерами) используется ПО низкого уровня. Для управления пользовательскими приложениями (например, графическим и текстовым интерфейсом) создается ПО высокого уровня.

Разработкой дизайна СЗМ НАНОЭДЬЮКАТОР II занимались промышленные дизайнеры НТ-МДТ из ее ирландского офиса. Задача заключалась в том, чтобы при сохранении хорошего качества прибора уложиться в заданную себестоимость. Новый сканер был аккуратно встроен в корпус нового дизайна, конструкция которого позволяет сканировать профессиональным кремниевым зондом или вольфрамовой проволокой – по выбору пользователя. Блок электронного управления и устройство для травления зондом были также переделаны в общем стилистическом ключе.

Таким образом, в настоящее время СЗМ НАНОЭДЬЮКАТОР II представляет собой полупрофессиональный прибор с качественным ПО и современным контроллером, отвечающий не только для целей обучения, но и для решения ряда исследовательских задач.

После отработки технологии серийного производства НТ-МДТ планирует выпустить НАНОЭДЬЮКАТОР II на рынок в 2011 году. ■