



ФГБНУ ТИСНУМ – ЛИДЕР ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА АНАЛИТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

TISNUM – THE LEADER OF DOMESTIC PRODUCTION OF ANALYTICAL EQUIPMENT AND RESEARCH OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF MATERIALS

А.Н.Алёшин, к.ф.-м.н., доцент, (ORCID: 0000-0001-7342-4638) / nanoindustry@technosphaera.ru
A.N.Alyoshin, Cand of Sc. (Physics and Mathematics), Docent

DOI: 10.22184/1993-8578.2019.12.6.382.385

Получено: 10.10.2019 г.

ФГБНУ ТИСНУМ основан в 1995 году как Научно-технический центр "Сверхтвердые материалы" (НТЦ СТМ). В 1998 году приказом Министерства науки и технологий он был реорганизован в Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов. Мы побывали в отделе исследования физико-механических свойств и познакомились с историей, научными разработками и линейкой аналитического оборудования, выпускаемого сотрудниками отдела, посетили Центр коллективного пользования научным оборудованием, где узнали о последних исследованиях наноструктурных, углеродных и сверхтвердых материалов.

TISNUM was founded in 1995 as the Scientific and Technical Center "Superhard Materials". We visited the department for the study of physical and mechanical properties and got acquainted with the history, scientific developments and a line of analytical equipment produced by the department's employees, visited the Center for the collective use of scientific equipment, where we learned about the latest research on nanostructured, carbon and superhard materials.

Информацией о научных основах аналитического оборудования ТИСНУМ и "НаноСкан" поделился первый заместитель директора по научной работе к.ф.-м.н. Усеинов Алексей Серверович:

Разработка приборов и аналитического оборудования для проведения исследований физико-механических свойств материалов контактными методами – твердости, модуля упругости, адгезии и многих других – важная задача для отечественного приборостроения. Объектами таких исследований являются тонкие и сверхтонкие пленки (единицы нанометров) полупроводников и диэлектриков, нано- и микроструктурированные объекты, МЭМС и НЭМС, природные и искусственные вещества, разнообразные покрытия, полимеры, материалы имплантов, керамика, материалы для

космической и атомной промышленности. Сейчас в России это направление поддерживается усилиями сотрудников Технологического института сверхтвердых и новых углеродных материалов, работающих в отделе исследования физико-механических свойств материалов, где происходит полный цикл создания передового аналитического оборудования – от научной идеи и патентов до разработки аттестованных промышленных образцов, внесенных в Государственный реестр средств измерений.

Краткую историю становления ФГБНУ ТИСНУМ рассказал ведущий научный сотрудник д.ф.м.н., профессор Решетов Владимир Николаевич:

В 90-е годы возникла команда инициативных научных сотрудников, заложившая научную

и техническую основы для создания аналитического прибора для измерения твердости материалов, совмещающего в себе атомно-силовой микроскоп и средства измерения физико-механических параметров исследуемых образцов, получившего название "НаноСкан". В те времена атомно-силовые микроскопы делали еще сами ученые. Идея отказа от чувствительного к вибрации прибора с оптической схемой слежения за кантилевером в пользу надежного, простого и долговечного решения привело к разработке идеи использования гибридного пьезорезонансного зондового датчика, чувствующего контакт с поверхностью исследуемого объекта вместо платина-иридиевой иглы, требующей постоянной заточки и обслуживания специалистом высокого класса. Одним из критериев при разработке прибора стала массовость, направленность на серийное изготовление в промышленных масштабах. Такой прибор может работать без предварительной настройки, обеспечивая высокий класс точности измерений. Разработанное программное обеспечение позволяло пользователю прибора, физику, на интуитивно понятном языке программирования составлять последовательность процедуры измерений. Оказалось, что в такой схеме прибора возможно закрепление алмазной иглы (пирамиды Берковича), что позволило проводить дополнительные измерения и существенно расширить возможности разрабатываемого устройства. Впоследствии, благодаря технологии легирования алмаза бором, стали возможными и электрические измерения в масштабах конгломератов атомов. С момента выпуска первой модели "НаноСкан" исходная конструкция прибора претерпела ряд существенных изменений и превратилась в сканирующий нанотвердомер, совмещающий в себе ряд измерительных возможностей, свойственных как АСМ (атомно-силовой микроскоп), так и наноинденторам. На базе приборов реализован целый ряд оригинальных измерительных методик, направленных на изучение механических и электрических свойств гетерогенных, композитных и наноструктурированных материалов. Физическое обоснование возможности количественного картографирования механических и электрических свойств материалов в процессе их сканирования резонансным зондом стало возможно благодаря детальному анализу процессов, происходящих в области контакта зондирующего острия с исследуемой поверхностью. Выявленные взаимосвязи этих микроскопических процессов с измеряемыми макроскопическими

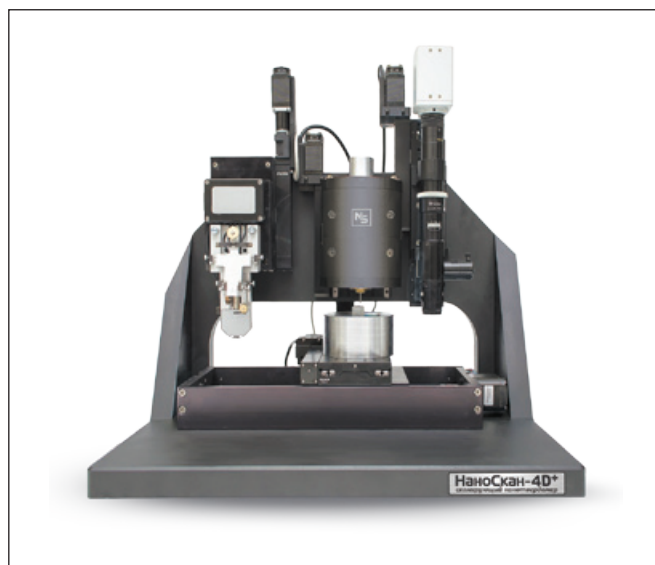


Рис.1. "НаноСкан-3D"

Fig.1. NanoScan-3D

параметрами резонансного зонда, используемого для картографирования механических и электрических свойств материалов в ходе сканирования их топографии, позволили создать научную базу для развития измерительных приборов с резонансными датчиками.

"НаноСкан" СЕГОДНЯ

За счет последовательного развития приборостроительного направления во ФГБНУ ТИСНУМ за 25 лет была разработана линейка аналитического оборудования в области исследования физико-механических свойств поверхности материалов.

Научная база и накопленный опыт работы с различными материалами стали надежным фундаментом для создания современных многофункциональных измерительных приборов, одна из последних моделей которых получила название "НаноСкан-4D".

Сегодня "НаноСкан" – это единственный российский серийный нанотвердомер, являющийся полноценным средством измерения. Залогом успешного развития приборов является тот факт, что под одной крышей, в буквальном смысле слова, собраны все стадии процесса создания прибора. Бок о бок трудятся инженеры, конструкторы, электронщики, программисты и ученые, которые проводят исследования с помощью своих же приборов. В этом же здании на первом этаже установлено прессовое оборудование и выращиваются высокочистые синтетические монокристаллы

алмаза, из которых в соседней комнате с помощью прецизионной лазерной резки и высокоточной механической полировки изготавливаются инденторы для использования в твердомерах "НаноСкан". Все звенья цепи производства прибора находятся в постоянном обмене информацией, что позволяет реализовывать в "НаноСкан" уникальные функции, недоступные в других приборах. Например, одним из последних запатентованных результатов является разработка индентора специальной геометрии, позволяющего одновременно с выполнением измерений механических свойств проводить наблюдение образца в оптический микроскоп прямо сквозь индентор. Данная методика позволяет контролировать состояние образца до, в процессе и после окончания таких измерительных процедур, как индентирование и царапание. Теперь пользователь может непосредственно визуализировать такие процессы, как образование трещин или упругое восстановление материала. При комбинировании данной методики с методами рамановской спектроскопии становится возможным исследовать структуру образца непосредственно в процессе нагружения. Ранее такие комплексные исследования были невозможны. Реализация такой уникальной функции стала возможной благодаря тесной совместной работе специалистов по выращиванию монокристаллов алмаза, огранщиков, физиков-оптиков и операторов "НаноСкан", собранных вместе во ФГБНУ ТИСНУМ.

Руководитель исследовательской группы, научный сотрудник к.ф.-м.н. Кравчук Константин Сергеевич о нанотвердомерах компании ФГБНУ ТИСНУМ:

Главным преимуществом нанотвердомеров по сравнению с традиционными приборами для измерения твердости является возможность проведения испытаний в малом объеме образца. Наноиндентирование – сегодня это основной метод исследования прочностных характеристик композитных материалов и тонких пленок. В настоящее время мы активно ведем исследования поверхностного слоя ряда сплавов, подверженных облучению тяжелыми ионами железа и титана. Средняя глубина проникновения ионов внутрь материала чуть больше 1 мкм. Механические свойства образца сильно меняются от глубины вследствие разной концентрации примесных атомов и разной плотности дефектов, образованных при облучении. Влияние данных факторов, а также отжига

образцов в различных условиях позволяет моделировать поведение материалов при их эксплуатации в экстремальных условиях, таких как космос или в реакторах атомных станций. Другой пример практического применения наших приборов – измерение твердости вырубных штампов. Была исследована твердость материала на поверхности и в объеме образца. Было обнаружено, что вершина острия кромки штампа после обработки имеет твердость в 1,5 раза выше исходного образца. Область упрочнения (глубина) не превышает 30 мкм. При этом механическая обработка детали при фрезеровании твердость поверхности не изменила. Интересным примером может служить исследование композитного углерод-углеродного материала, из которого изготавливают тормозные диски. Прочные углеродные волокна диаметром около 10 мкм лежат в мягкой, упругой матрице. Выявлено, что эксплуатационные свойства такого материала (прежде всего износостойкость) зависят в основном не от прочности отдельных его компонентов, а от близости упругих свойств компонентов друг к другу. При трении материалы с прочными углеродными волокнами разрушаются быстрее, так как волокна повреждают окружающий его материал и выкрашиваются большими кусками.

Являясь пользователями своих приборов, разработчики понимают, насколько важна конечная конфигурация прибора, которая подбирается индивидуально в соответствии с требованиями и особенностями каждого заказчика. Это возможно сделать благодаря модульной структуре прибора, позволяющей в рамках единой измерительной системы совмещать модули твердомера, оптического микроскопа, атомно-силового микроскопа, конфокального оптического профилометра и др. Для расширения функциональности собранная конфигурация может быть дополнительно оснащена датчиками боковой нагрузки, предметным столиком с нагревом образцов и еще целым рядом полезных опций.

Флагманская на сегодняшний день модель "НаноСкан-4D+" наиболее автоматизирована и позволяет работать с более чем 30 методиками измерения физико-механических свойств на субмикронных и нанометровых масштабах линейных размеров (см. рис.1). "НаноСкан-4D" применяется не только в лабораторных, но и в производственных условиях для технологического контроля выпускаемой продукции для исследования ее механических и электрических свойств.

Руководитель проектов, инженер Медведев Владимир Сергеевич о практических применениях и перспективах использования приборов, выпускаемых во ФГБУ ТИСНУМ:

Мы работаем над расширением функционала и областей применения наших приборов, поскольку наши решения предоставляют возможность получать гораздо больше значений при проведении исследований, чем аналогичные приборы. Более того, наше активное сотрудничество с организациями разного профиля приводит к заинтересованности не только в наших существующих решениях, но и в разработке, испытаниях, внедрении новых решений. Сейчас мы активно разрабатываем и вносим в реестр СИ РФ новые приборы (о которых вы узнаете в будущем).

С ПОМОЩЬЮ ЛИНЕЙКИ ПРИБОРОВ "НаноСкан" МОЖНО ИЗМЕРЯТЬ:

- микро- и нанотвердость, модуль Юнга;
- тангенс угла механических потерь;
- степень упругого восстановления;
- адгезию и толщину покрытий;
- поверхностную карту механических свойств;
- зависимость механических свойств от глубины;
- томограммы механических свойств;
- жесткость и перемещение микроконструкций;
- трещиностойкость и износостойкость;
- линейную интенсивность износа;
- коэффициент трения и боковую нагрузку при царапании;
- рельеф поверхности и параметры шероховатости;
- вольт-амперные характеристики области контакта и удельное электрическое сопротивление.

Мы производим алмазные инденторы разной геометрии, а также зондовые датчики для сканирующей микроскопии (мягкие и жесткие), калибровочные образцы твердости и упругости (модуль Юнга): "поликарбонат", "алюминий", "плавленный кварц", "сапфир".

ФГБУ ТИСНУМ обеспечивает полный цикл сервисного и технического сопровождения поставляемых приборов, их последующую модернизацию и адаптацию под задачи заказчика.

Программное обеспечение приборов семейства "НаноСкан" позволяет осуществлять автоматизированное проведение измерений методами инструментального наноиндентирования, склерометрии, силовой спектроскопии, сканирующей зондовой и атомно-силовой



Рис.2. "НаноСкан-4D"

Fig.2. Nanoscan-4D

микроскопии; задавать параметры тестов с помощью оптического микроскопа или по изображению рельефа поверхности, полученного методами СЗМ или АСМ; проводить пакетную обработку экспериментальных данных наноидентирования с применением методов параллельных вычислений; гибко настраивать протокол индентирования; реализовывать произвольную последовательность измерений в автоматическом режиме благодаря языку макрокоманд; проводить математические преобразования, построения спектров, фильтрацию двух и трехмерных данных, аппроксимацию кривых; строить дву- и трехмерные карты распределения твердости и модуля упругости в зависимости от пространственных координат; рассчитывать измеряемые значения механических свойств и параметров шероховатости в соответствии с действующими стандартами ГОСТ и ISO.

Приборы серии "НаноСкан" размещены во многих ведущих исследовательских центрах России. Все созданные модели "НаноСкан" установлены в ТИСНУМ, включая самую первую модификацию 1999 года, работающую до сих пор. Приборы "НаноСкан-3D", "НаноСкан-4D", внесенные в Государственный реестр средств измерений, входят в состав ЦКП ФГБУ ТИСНУМ, расположенного по адресу г. Москва, г. Троицк, ул. Центральная, д. 7а (www.tisnum.ru/suec/suec.html). Подробнее о серии "НаноСкан" можно ознакомиться на сайте www.nanoscan.info. ■