



УДК 539.2:530.145
ББК 22.373.1

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАНОСТРУКТУР

Е.В. Прокофьева, О.Ю. Прокофьева, В.С. Саунин, А.Ю. Киселев, В.В. Алексеев

Предпринята попытка расширить и углубить возможности методов и средств исследования наноструктур. Определяется роль сканирующей зондовой микроскопии в сфере нанотехнологий.

Ключевые слова: наноструктуры, углеродные нанотрубки, нанотехнологии, катализаторы, сканирующая зондовая микроскопия, наноиндентирование.

1. Возможные новые катализаторы для выращивания углеродных нанотрубок методом каталитического пиролиза

В последние годы в различных областях науки и техники все более популярными становятся объекты нанометрового масштаба. Одним из таких объектов являются углеродные нанотрубки (УНТ), представляющие большой интерес для научных исследований. Открытие УНТ относится к наиболее значительным достижениям современной науки. Нанотрубки следует рассматривать как новый материал с уникальными свойствами, открывающими большие возможности для их широкого применения. Вследствие этого очень острой становится необходимость массового производства модифицированных с помощью УНТ материалов, а также поиск доступных и экономически выгодных для использования катализаторов [2].

Поиск новых катализаторов для роста УНТ является весьма актуальным в свете того, что исследование свойств УНТ – перспективное направление в нанотехнологии в целом, и с помощью новых катализаторов

могут быть получены УНТ с уникальными физико-химическими свойствами. Были установлены новые возможные катализаторы для дальнейшего массового производства УНТ методом каталитического пиролиза.

Для выращивания нанотрубок созданы различного рода установки, одной из которых является CVDomna, на которой получение УНТ осуществляется методом каталитического пиролиза. При работе с данной установкой используются определенные базовые катализаторы, в основном никелевый золь-гель. Вследствие ограниченности набора исходных катализаторов задачей нашего исследования стал поиск и расширение исходной базы катализаторов для их использования посредством метода каталитического пиролиза. Одним из главных условий поиска катализаторов стала его широкая доступность для использования в массовом производстве [6].

Исследуя базы катализаторов других установок для роста нанотрубок, а также альтернативных методов роста НТ, мы выбрали некоторые новые катализаторы для установки CVDomna: никель-хромовый катализатор, пористый оксид алюминия, питанный дихлоридом гексааммония-никеля и т. д. Катализаторы проходили стандартный технологический процесс в установке CVDomna. Также для массового роста УНТ методом каталитического пиролиза мы впервые использовали воду как добавку к основному катализатору, были подобраны оптимальные ус-

ловия роста УНТ на данной установке в присутствии воды.

2. Новые материалы для создания зондов сканирующего туннельного микроскопа

В наши дни все чаще говорят о нанотехнологиях. Нанотехнологии открывают большой спектр возможностей в разных областях: физике, электронике, химии, биологии и т. д. Появление наноструктур привело к созданию новых методов и средств, позволяющих изучать их свойства. Для исследования нанообъектов понадобились новые приборы, позволяющие более глубоко и подробно рассмотреть строение и состава вещества, так как обычные микроскопы не могли дать столь большого разрешения.

Наиболее новым и вместе с тем перспективным направлением в исследовании свойств поверхности, в том числе на атомарном уровне, является сканирующая зондовая микроскопия. Сканирующий туннельный микроскоп (СТМ) является вариантом сканирующего зондового микроскопа. СТМ предназначен для измерения рельефа поверхности с высоким пространственным разрешением. Принцип действия сканирующего туннельного микроскопа настолько прост, а потенциальные возможности настолько велики, что позволяет СТМ занять лидирующие позиции в сфере нанотехнологий, а также стать простым и доступным в использовании [4; 5].

Нами создана материальная база для создания новых зондов сканирующего туннельного микроскопа, а также модифицирована методика их травления.

Цель нашего исследования состояла в поиске новых материалов для создания зондов-СТМ. Зонды, которые на сегодняшний день используются в СТМ, являются дорогостоящими и малодоступными, например платина и вольфрам. В результате наших исследований мы подобрали новые материалы, преимущественно металлы и сплавы (железо, никром, марганец и т. д.), для создания зондов-СТМ. Как известно, в сканирующих туннельных микроскопах используются зонды нескольких типов. Широкое распространение получили зонды, приготовленные методом

электрохимического травления. Однако новые материалы для зондов потребовали модификации самого процесса травления, в частности поиска химических реактивов под определенный сплав или металл, а также модификации имеющейся установки для травления посредством замены некоторых составных ее элементов. Полученные зонды-СТМ на данном этапе исследования тестируются на предмет установления возможности получения с их помощью атомарного разрешения.

3. Наноидентирование через призму автомобилестроения

Как уже говорилось ранее, нанотехнология – высокотехнологичная отрасль, направленная на изучение и работу с атомами и молекулами. Разработки в этой области ведут к революционным успехам в различных областях науки и техники, в частности автомобилестроении. Автомобили будущего станут более комфортными и интеллектуальными, основанными на легких и прочных материалах и новых энергетических установках. Практически каждая деталь автомобиля может быть усовершенствована при помощи нанотехнологий (НТ). НТ в автомобилестроении может быть связана с решением множества проблем и технических задач, относящихся к ходовой части, весу конструкции, динамике движения, уменьшению износа, возможностям вторичной переработки и т. п. Большие перспективы имеет внедрение прозрачных многослойных наноматериалов. В частности, наносимые на стекло металлические покрытия толщиной в несколько нанометров могут одновременно отражать инфракрасное излучение и придавать стеклу дополнительную термостойкость. Перспективы нанотехнологии в автомобильной промышленности сейчас во многом связываются с использованием наноструктурных металлических материалов, обладающих огромной прочностью и другими высокими механическими характеристиками, а также с производством новейших типов металлокерамики. Разрабатывается большое число лаков на основе наносистем, обладающих не только высокой прочностью, но и даже способностью к «самовосстановлению» поверхности [3]. Актуальность данного исследе-

дования в том, что в свете стремительно развивающихся методик нанесения нанопокровов на различные объекты, в частности детали автотранспортных средств, с целью модификации их физико-химических свойств одним из важнейших исследуемых свойств является твердость нанообъектов, а также их пластичность и упругость.

Именно твердость является одной из важнейших механических характеристик наноструктурированных материалов. Измерение твердости – значительно менее трудоемкая операция, чем большинство других видов механических испытаний, и не сопровождается разрушением изделия, такие методики широко распространены в промышленности и используются при контроле технологических процессов, определении эксплуатационных характеристик изделий.

Для исследования механических свойств различных наноструктурированных материалов широко применяется специальный метод определения микротвердости вещества – наноиндентирование. Оно основано исключительно на механическом воздействии на исследуемую поверхность. Метод очень прост и заключается в прецизионном погружении зонда в поверхность образца на глубину нескольких нм и непрерывной регистрации прилагаемого усилия. Наноиндентор (нанотвердомер) – прибор, позволяющий осуществить наноиндентирование. Данное оборудование предоставляет возможность посредством высокоэффективного автоматизированного метода определить твердость и модуль упругости определенных точек поверхностных слоев. При этом анализу могут подвергаться самые различные материалы, в том числе наноструктурированные материалы для различных составных элементов автотранспортных средств. Прибор может быть использован для количественной оценки свойств их твердых покрытий, однослойных и многослойных покрытий, плотных мягких материалов, многофазных сплавов. С помощью нанотвердомера можно проводить тестирование поверхностного покрытия автомобильных транспортных средств, полупроводниковых пластин и т. п. [1]

В современном приборостроении существуют наноинденторы как отдельные устройства, не являющиеся периферийными модуля-

ми атомно-силового микроскопа (АСМ). Однако в наших исследованиях измерение механических свойств нанообъектов осуществимо только в случае использования наносклерометрического модуля АСМ SolverPro. Посредством наносклерометрического модуля была проведена модификация и сканирование поверхности исследуемого объекта на открытом воздухе в жесткой полуконтактной методике. В качестве зонда зондового датчика использовался алмазный индентор Берковича.

Отсутствие поверочной схемы для средств измерений механических свойств в наномасштабе приводит к тому, что единственным способом обеспечения прослеживаемости значений твердости из микро- в наномасштаб является использование стандартных образцов (мер), аттестованных на эталоне микротвердости (по Виккерсу). В настоящее время эталонным объектом для измерения микротвердости принято считать плавленый кварц, однако нигде не конкретизируется, что этот образец является эталонным для нанообъектов (нанопленок), что мы и поставили под сомнение. Установление возможных эталонов является одной из важных проблем нашего исследования. Единой системы эталонов для измерения механических свойств до сих пор не выработано.

В результате проведенного исследования мы выделили ряд материалов, которые могут быть использованы в качестве эталонов для наноиндентирования. Разработаны и аттестованы меры твердости, необходимые для калибровки нанотвердомера. В качестве материалов для изготовления таких мер были выбраны, например, монокристалл Al_2O_3 (сапфир, грань С), а также и другие материалы, однородные по своей структуре. Измерение твердости и модуля упругости осуществлялось методом динамического наноиндентирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балабанов, В. И. Нанотехнологии. Наука будущего / В. И. Балабанов. – М. : Эксмо, 2008. – 256 с.
2. Ивановский, А. Л. Квантовая химия в материаловедении. Нанотубулярные формы вещества / А. Л. Ивановский. – Екатеринбург : УрОРАН, 1999. – 176 с.

3. Кобаяси, Н. Введение в нанотехнологию : пер. с япон. / Н. Кобаяси. – М. : БИНОМ ; Лаборатория знаний, 2005. – 134 с.

4. Маслова, Н. С. Сканирующая туннельная микроскопия атомной структуры, электронных свойств и поверхностных реакций / Н. С. Маслова, В. И. Панов // Успехи физических наук. – 1989. – Т. 157, № 1. – С. 185–195.

5. Миронов, В. Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии / В. Л. Миронов. – Н. Новгород : РНИФМ, 2004. – 110 с.

6. Симунин, М. М. Анализ температурного профиля полупроводникового образца в дилатометре с ИК-нагревом / М. М. Симунин // Микроэлектроника и информатика. – М. : МИЭТ, 2004. – 60 с.

NEW FEATURES AND METHODS OF NANOSTRUCTURES VARIOUS CHARACTERISTICS STUDY

E.V. Prokofyeva, O.Yu. Prokofyeva, V.S. Saunin, A.Yu. Kiselev, V.V. Alekseev

An attempt to expand and deepen the capabilities and methods of nanostructures research was made. The role of scanning probe microscopy in nanotechnology is defined.

Key words: *nanostructures, carbon nanotubes, nano-catalysts, scanning probe microscopy, nanoindentation.*