

ДИСЛОКАЦИОННЫЕ СВЕРХРЕШЕТКИ НА ПОВЕРХНОСТИ ГРАФИТА

Поиск новых перспективных методов наноструктурирования материалов – важная задача современного материаловедения, причем особое внимание уделяется использованию для этих целей электронной и зондовой литографии. Примером может служить локальное анодное окисление графита, в котором с помощью иглы зондового микроскопа по точкам создается диэлектрический рисунок [1]. Заманчивой альтернативой является использование процессов самоупорядочения дислокаций в графите для формирования периодических наноструктур.

Известно, что в этом материале полные дислокации с вектором Бюргера, лежащим в базисной плоскости, расщепляются на две частичные, между которыми образуется дефект упаковки слоев (рис.1) [2]. Частичные дислокации в свою очередь отталкиваются друг от друга, и при их расхождении увеличивается площадь дефекта упаковки, что повышает энергию кристалла. В результате дислокационный ряд имеет равновесную ширину. Соседние ряды также взаимодействуют между собой, что и приводит к образованию периодической решетки.

Наблюдение дислокационных структур на поверхности графита проводилось на мультифункциональном сканирующем зондовом микроскопе «ФемтоСкан» (ООО «НПП «Центр перспективных технологий»). Использовались кантилеверы с проводящим покрытием frc11 (НИИФП им. Ф.В. Лукина), иглы для туннельной микроскопии из платиново-иридиевой проволоки, высокоориентированный пиролитический графит (ООО «Атомграф АГ» [3]). Зондовые изображения обрабатывались с помощью программного обеспечения «ФемтоСкан Онлайн».

На рис.2 показана дислокационная решетка, образовавшаяся в области выхода на поверхность винтовой дислокации. Вдали от точек закрепления дислокаций на атомных ступенях или межзеренных границах ширина наблюдавшихся рядов – от 15 до 65 нм. При приближении к поверхности дислокационные ряды сужаются, так как уменьшается сила отталкивания между частичными дислокациями.

Если встречаются дислокационные ряды с различным направлением, результатом их взаимодействия становится об-

разование дислокационной сетки (рис.3а). Сетка состоит из треугольных областей, разграниченных частичными дислокациями. Внутри каждого второго треугольника расположен дефект упаковки. Треугольники с дефектами упаковки имеют вогнутые границы, что связано со стремлением кристалла сократить площадь таких дефектов.

При использовании сканирующей резистивной микроскопии, реализуемой аналогично методу атомно-силовой микроскопии, дополнительно к топографии поверхности, позволяющей измерять протекающий через контакт между зондом и образцом ток [4], было обнаружено, что в области прохождения дислокационных структур слои графита остаются совершенно плоскими.

На рис.3а и б дано сравнение токового и топографического изображения одной и той же области поверхности графита. Контраст, возникающий на токовых изображениях, связан с из-

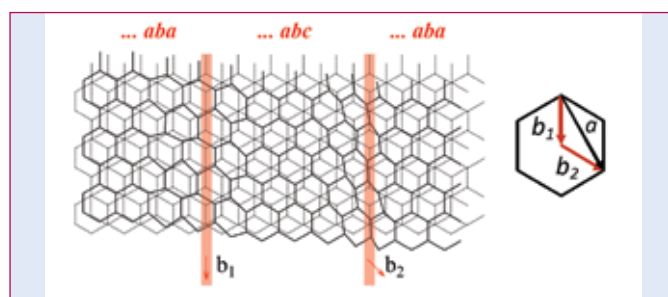


Рис.1 Схема дислокационного ряда в структуре графита. После прохождения частичной дислокации верхний слой смещается в третье положение, образуя упаковку типа abc (у бездефектного графита слои упакованы по принципу aba – положение третьего слоя совпадает с положением первого)

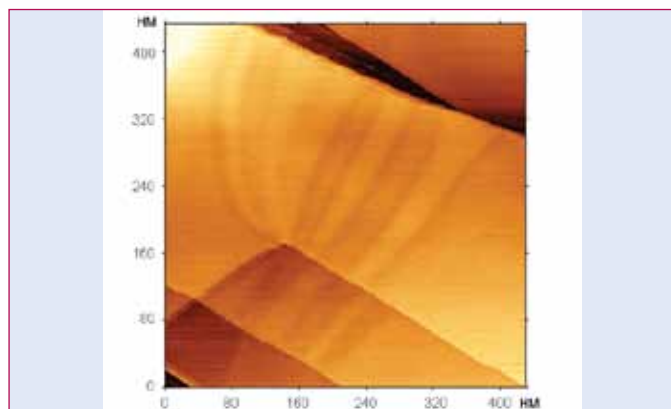


Рис.2 Дислокационные ряды на поверхности графита (сканирующая туннельная микроскопия)

менением электронной структуры поверхности в области залегания дислокационной решетки. Наблюдение дислокационных структур возможно с помощью сканирующего туннельного микроскопа (см. рис.2), так как принцип его действия основан на измерении туннельного тока между зондом и поверхностью, величина которого зависит от электронной структуры образца.

Изменение параметров сканирования дислокационной структуры может привести к инверсии ее контраста на изображении. На рис.4 показана инверсия дислокационной сетки, возникающая при изменении полярности приложенного между зондом и поверхностью графита напряжения, причем контраст может изменяться не для всей решетки, а только для отдельных треугольных областей. По всей видимости, такое явление связано с зарядкой областей, расположенных между частичными дислокациями.

Формирование дислокационных структур происходит при деформации графитовых слоев. Образование и движение в базисной плоскости частичных дислокаций не требует разрывов ковалентных связей между углеродными атомами, по-

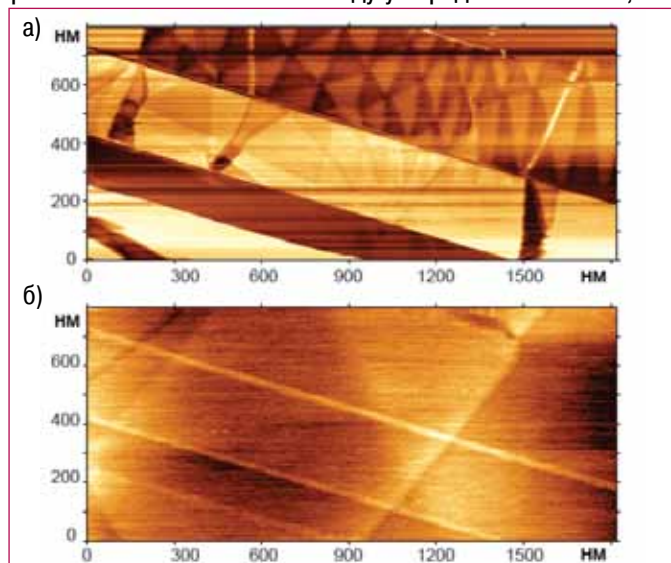


Рис.3 Сравнение токового (а) и топографического (б) изображений поверхности графита, содержащей дислокационную сетку

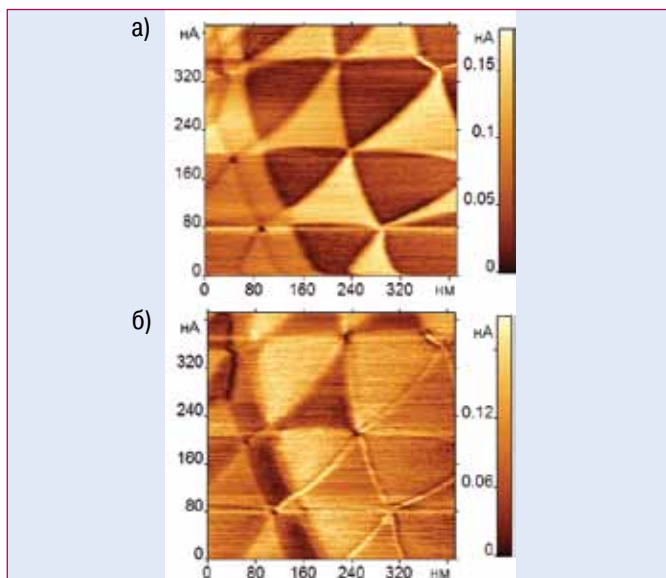


Рис.4 Инверсия контраста дислокационной сетки при изменении полярности напряжения U , приложенного между зондом и поверхностью образца: а) $U = -9$ мВ, б) $U = +9$ мВ

этому сопряжено с низкой затратой энергии. В частности, перемещение дислокационных рядов происходит под силовым воздействием иглы зондового микроскопа [5].

Дислокационные структуры можно рассматривать как готовые блоки для формирования наноструктур на базе графитовых слоев. Кроме того, механические манипуляции с углеродными наноструктурами могут стать причиной драматических изменений их транспортных свойств вследствие образования дислокационных решеток. Таким образом, контроль за формированием дислокационных структур должен стать важным этапом при изготовлении наноструктур на основе графитовых слоев.

Авторы выражают благодарность за поддержку Роснауке, Рособразованию (госконтракты: 02.512.11.2279, 02.513.11.3448, П255, П717, П973), НАТО (программа «Наука для мира» грант CBN.NR.NRSFP 983204) и Корейскому институту науки и технологий (проект KIST-MSU).

ЛИТЕРАТУРА

1. Мешков Г., Сеницына О., Яминский И. Новые разработки в области зондовой литографии углеродных материалов. – Наноиндустрия, 2009, № 2, с. 28–30.
2. Химические и физические свойства углерода. /Под. ред. Уокер Ф. – М.: Мир, 1969, с. 10–77.
3. <http://www.nanoscopy.net/rus/products/accessories/hopg.shtm>
4. Shafai C., Thomson D.J., Simard-Normandin M. Two-dimensional delineation of semiconductor doping by scanning resistance microscopy. – J. Vac. Sci. Technol., 1994, В 12 (1), p. 378–382.
5. Сеницына О.В., Яминский И.В. Зондовая микроскопия дислокационных структур на поверхности графита. XV Российский симпозиум по растровой электронной микроскопии и аналитическим методам исследования твердых тел, Черногоровка, 2007 г., 4–7 июня. Сборник тезисов докладов, с. 52–53.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В РОССИИ

9 октября 2009 года в научно-исследовательском ядерном университете МИФИ при поддержке ЗАО “НТ-МДТ” была проведена первая конференция “Развитие нанотехнологического проекта в России: состояние и перспективы”, приуроченная к годовщине создания Нанотехнологического общества России (НОР).

Конференцию открыл президент НОР декан факультета наук о материалах МГУ им. М.В. Ломоносова акад. Ю.Третьяков докладом о новых тенденциях в российском образовании и нанотехнологическом вызове современному обществу.

В качестве базовых докладчик выделил социологические, информационные, организационные, научно-исследовательские, научно-популяризационные, профориентационные, учебно-методические и междисциплинарные аспекты проблемы, анализ которых будет способствовать развитию нанотехнологической инфраструктуры и поддержке финансирования научно-образовательных центров и центров коллективного пользования.

Выступление директора Института иммунологии и физиологии УрО РАН, председателя комитета по науке и наукоемким технологиям ГД ФС РФ акад. В.Черешнева было посвящено применению нанотехнологий в биологии и медицине. Как подчеркнул докладчик, новые композитные нанобиоматериалы могут быть созданы модификацией полимеров с органическими производными фуллеренов, что предполагает предварительную обработку их поверхности ионно-плазменными методами.

В докладе отмечено, что требования своевременности и адресности действия противовирусных препаратов основаны на биосовместимости структуры носителя и пролонгации действия за счет постепенного высвобождения лекарственного препарата, причем защита от воздействия ферментов достигается при использовании наноконтейнеров или нанокapsул, например, биodeградируемых и нетоксичных липосом размерами 100–300 нм, мембрана которых для адресной доставки может сливаться с мембраной клетки.

Докладчик подчеркнул, что биodeградируемость, биосовместимость и нетоксичность кремниевых наночастиц совместно с технологией получения нанопористых форм кремния позволяют применять их для повышения эффективности лечения, но гидрофобность нанокремния усложняет получение водных суспензий лечебных материалов, что выдвигает требование дополнительной обработки для придания им гидрофильных свойств.

Этапы формирования и перспективы развития инфраструктуры национальной нанотехнологической сети затрагивались в докладе М.Попова – руководителя Агентства по вопросам головной научной организации РНЦ “Курчатовский институт”. В числе отраслевых проблем отмечалось отставание системы управления деятельностью этой сети от ее материально-технической базы, что обуславливается отсутствием нормативно-правового обеспечения и механиз-

мов управления ее деятельностью на межведомственном уровне. Также указывалась недостаточная эффективность инфраструктурной базы сети из-за неоптимального применения интеллектуальной собственности, дублирования функций в деятельности ее участников и отсутствия синергетического эффекта.

Доклад заведующего лабораторией Росатома д.ф.-м.н. В.Петрунина “Ультрадисперсные наноматериалы” был посвящен разработкам наноматериалов и нанотехнологий для атомной отрасли. В частности, совместное исследование МИФИ и ВНИИХТ подтверждает возможность снижения на 200°C температур спекания и/или увеличения размера зерна до 35–40 мкм топливных таблеток для АЭС без ухудшения других характеристик.

В докладе приведены также примеры применения нанотехнологий для производства с использованием упрочняющих добавок наноструктурированного оксида алюминия керамики на основе ZnO_2 для чувствительных элементов датчиков кислорода. Разработанные в МИФИ на основе ультрадисперсных порошков с размерами частиц 0,005–0,5 мкм типографские краски могут использоваться для защиты ценных бумаг и изделий от подделки: их защитные признаки подтверждены лабораторными и производственными испытаниями в Объединении “Госзнак” и ЗАО “Опцион”. Гранулированные сорбенты с сорбционно-активными наноструктурированными мембранами предназначены для высокоэффективной очистки загрязненных жидких и газовых сред: аэрозолей – от радионуклидов йода, питьевой воды – от токсичных примесей.

На конференции также были представлены доклады директора ЗАО “НТ-МДТ” В.Быкова о развитии отечественного приборостроения для нанотехнологий, замдиректора ИПМ им. М.В. Келдыша РАН Г.Малинецкого о проектировании будущего с участием нанотехнологий и их роли в новой реальности, С.Калужного о деятельности Государственной корпорации нанотехнологий.

Участники конференции отметили:

- ключевую роль госкорпораций и госструктур при формировании системы координации и мер ответственности за реализацию Программы 2015 года и приоритетных nanoиндустриальных проектов;
- необходимость формирования на внутреннем рынке устойчивого растущего спроса на nanoиндустриальную продукцию – в настоящее время спрос отсутствует;
- отставание нормативно-правового и кадрового обеспечения nanoиндустрии в России от развития методической базы и инфраструктуры национальной нанотехнологической сети.

По завершении конференции президентом НОР был избран генеральный директор ФГУП “ВИАМ” президент Ассоциации государственных научных центров РФ акад. Е.Каблов; почетным президентом общества – Ю. Третьяков.

Л. Паткин, rathkeen@bk.ru