

УДК 547.022.1/.4+621.385.833.2

ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОТРУБОК И ДРУГИХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР С ПОМОЩЬЮ СКАНИРУЮЩЕГО ТУННЕЛЬНОГО МИКРОСКОПА НТК «УМКА»

О. С. Малиновская

Институт нанотехнологий Международного фонда конверсии, ул. Б.Татарская 38, г. Москва, Россия
E-mail: mal_olga@land.ru

Важной задачей современной физики является исследование структурных свойств наноматериалов. Следует отметить, что в настоящее время существуют приборы, позволяющие изучать материалы на атомарном уровне: полевой ионный микроскоп и просвечивающий электронный микроскоп высокого разрешения, однако оба они имеют существенные ограничения по применимости, связанные со специфическими требованиями к форме образцов. В первом случае образцы должны иметь форму острых игл из проводящего материала с радиусом закругления не более 100 нм, а во втором - тонких полосок толщиной менее 100 нм.

Поэтому изобретение в 1982 году Г. Биннигом и Г. Рорером сканирующего туннельного микроскопа (СТМ, АСМ), который не накладывает ограничений на размеры образцов, значительно расширило возможности методов микроскопии.

В настоящее время появилось очень много различных вариаций сканирующего туннельного микроскопа. В данной работе использовался Нанотехнологический комплекс «Умка», выпускаемый Институтом нанотехнологий Международного фонда конверсии.

Сканирующий туннельный микроскоп – Нанотехнологический комплекс «Умка» (НТК «Умка», рис. 1) – предназначен для ознакомления и обучения современным методам исследования поверхностей, проведения широкого класса лабораторных и исследовательских работ в области нанотехнологии, физики, химии, биологии, генетики и т. п. Более подробно этот вопрос излагается в [1].



Рис. 1. Общий вид Нанотехнологического комплекса «Умка»

НТК «Умка» прост в освоении, имеет встроенную систему виброизоляции и специальную систему сохранения зондов, что позволяет получать данные с высокой достоверностью и использовать комплекс в реальных условиях учебного процесса или в исследовательской лаборатории без применения специальных мер по виброизоляции и электромагнитной совместимости. Высокие термостабильность и собственная резонансная частота конструкции, оригинальная схема входного каскада усилителя туннельного тока, работающая с пикоамперными токами в полосе частот до 100 кГц, позволяет исследовать биологические и слабо проводящие объекты без дополнительных технологических операций (запыление металлом и т. п.).

Основные технические характеристики микроскопа приведены в табл. 1.

Таблица 1. Основные технические характеристики НТК «Умка»

Габариты блока сканирования, мм	210x210x120
блока электроники, мм	135x300x260
Вибрационная изоляция	встроенная
Размеры образца, мм	7x7x10
Сканирование	зондом
Диаметр зонда, мм	0,5
Область сканирования, мкм	7x7
Максимальное число точек сканирования	65535x65535
Диапазон токов СТМ, пА	10–50000
Разрешение по XY, нм	0,02
Разрешение по Z, нм	0,01

С помощью НТК «Умка» исследованы образцы с нанотрубками, полученными методом токового отжига графитовой бумаги [2] и методом магнетронного напыления на различные типы подложек [3].

Сканирование образцов графитовой бумаги с нанотрубками проводилось при непосредственном помещении образца в блок сканирования без дополнительных обработок (рис. 2, 3). Ток сканирования $I = 0,7$ нА, а напряжение $U = 0,5$ В.

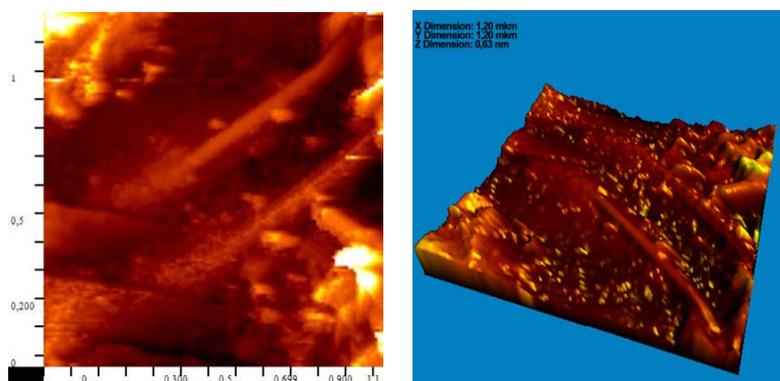


Рис. 2. 3D- и СТМ-изображения поверхности графитовой бумаги с нанотрубкой (длина 500 нм, диаметр 59 нм)

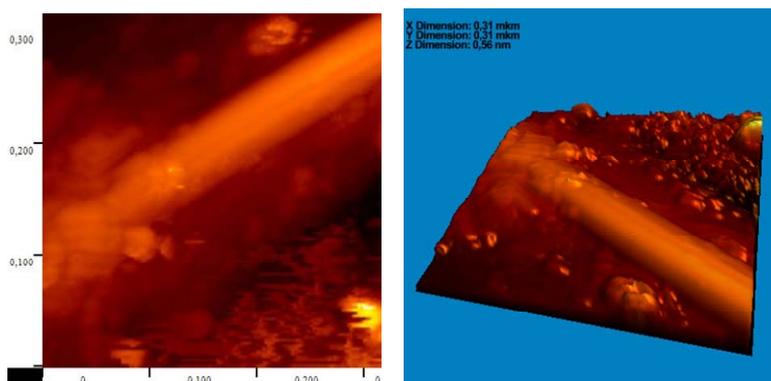


Рис. 3. 3D- и СТМ-изображения поверхности графитовой бумаги с нанотрубкой (длина 500 нм, диаметр 59 нм)

По результатам сканирования можно заключить, что средняя длина нанотрубок, полученных методом токового отжига, составляет 420 нм, а диаметр ~ 35 нм. Нанотрубки, как правило, малодефектны. На поверхности графитовой бумаги обнаружены Т-образные и V-образные нанотрубки.

Сканирование образцов, полученных методом магнетронного напыления, показало, что магнетронное напыление привело к образованию глобул (нанокурганов) на образцах, покрытых тонким слоем золота. Эти нанокурганы представляют собой слоистую структуру и могут являться глобулами из нанотрубок или других образований графита. Тонкая структура глобул хорошо наблюдается на её профиле (рис. 4 и 5).

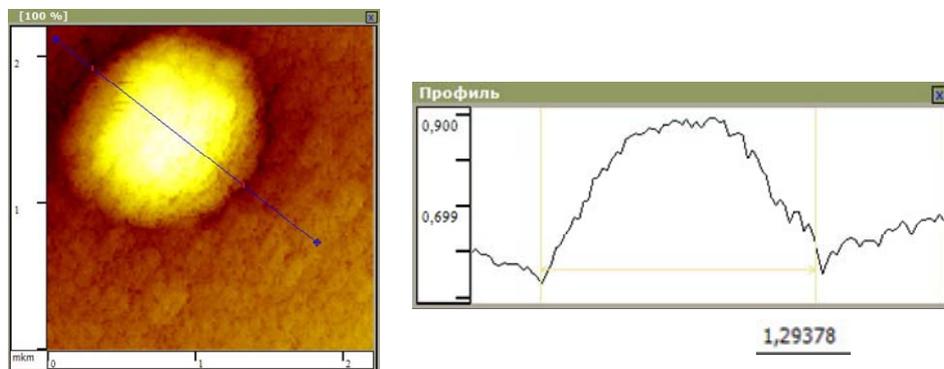


Рис. 4. СТМ-изображение и профиль глобулы (нанокургана), диаметр глобулы 1,294 мкм

Сравнение профиля поверхности глобулы и углеродной пленки на золоте (разные участках одно и того же образца) представлено на рис. 5. Видно, что поверхность глобул является хорошо структурированной.

Кроме того, рост нанокурганов обеспечивает чистую зону захвата вокруг себя (рис. 6). Это является классическим примером роста островка с зоной захвата. Относительная величина обеднения зоны захвата составляет 15 %.

Более мелкие нанокурганы и в большем количестве получены при магнетронном напылении на стекло, покрытое оксидами индия и олова. Глобулы имеют шарообразную форму и также являются углеродными образованиями.

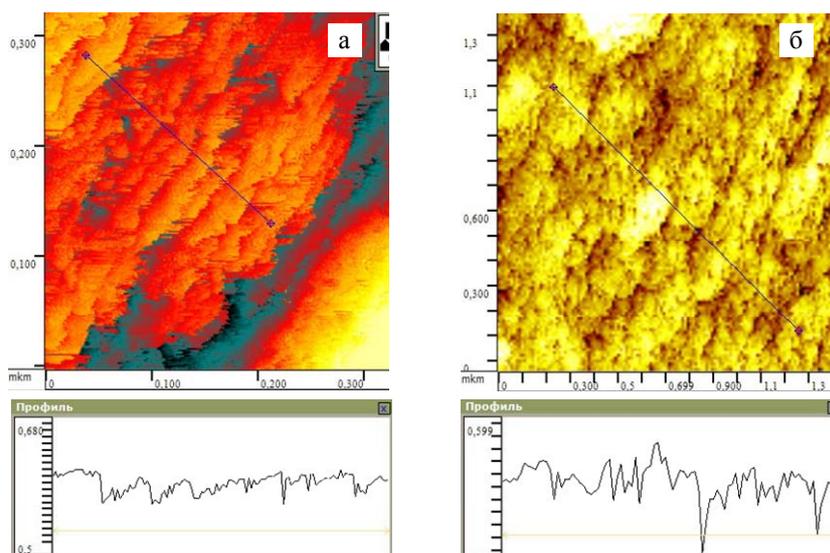


Рис. 5. СТМ-изображения и профили поверхностей: а – стенки глобулы (нанокургана); б – углеродной пленки на поверхности золота

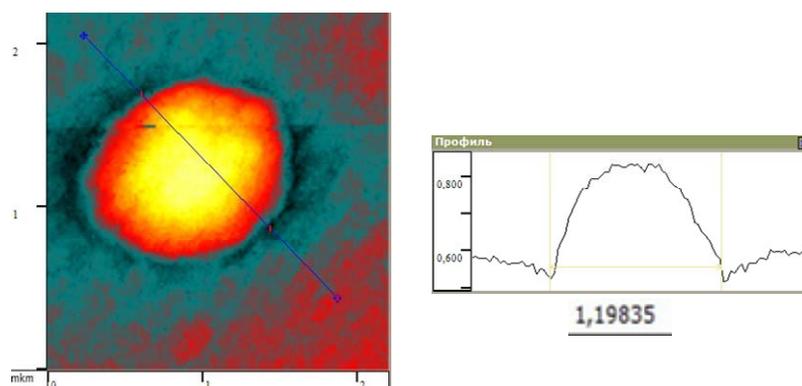


Рис. 6. СТМ-изображение и профиль нанокургана с чистой зоной захвата вокруг себя

Вытянутые трубчатые нанокурганы образовались на поликоре, покрытом хромом. На поверхности хрома на стекле после магнетронного напыления также обнаружены глобулы. Их отличает неправильная форма и плохая адгезия с подложкой, выявленная при сканировании на СТМ.

Таким образом, СТМ позволяет исследовать углеродные структуры, такие как нанотрубки и глобулы (нанокурганы), на различных типах подложек, обнаружить тонкую структуру образцов и некоторые их свойства.

Литература:

1. Малиновская О. С., Соколов И. В., Коробов Д. Ю., Яблоков М. Ю. Сканирующая туннельная микроскопия: особенности работы с наноструктурированными объектами // М.: ИНАТ МФК, Материалы конференции «Нанотехнологии – производству 2005», Фрязино, 2005.
2. Антоненко С. В., Малиновская О. С., Мальцев С. Н. Модификация графитовой бумаги с помощью токового отжига. М.: МИФИ. Научная сессия МИФИ-2005. Сб. науч. тр. Т.4. С. 175.
3. Антоненко С. В., Малиновская О. С., Мальцев С. Н. Различные способы получения образцов с нанотрубками: на графитовой бумаге и с помощью магнетрона. М.: РНЦ «Курчатовский институт», Науч. конф. Института сверхпроводимости и физики твердого тела. Сб. // Исследования в области физики конденсированных сред и сверхпроводимости. 2005. С. 53.