

Наблюдение на СТМ коробчатой наноструктуры из графена, возникшей при механическом скалывании пиролиитического графита

Р. В. Лапшин^{1,2}

¹НИИ Физических проблем им. Ф. В. Лукина, 124460, г. Зеленоград, Россия

²Московский институт электронной техники, 124498, г. Зеленоград, Россия

На Рис. 1 представлена необычного вида поверхность монокристалла высокоориентированного пиролиитического графита (ВОПГ), возникшая в результате механического скалывания. Как правило, после скалывания ВОПГ образуются плоские атомарно-гладкие области размером от нескольких сотен нанометров до нескольких микрон. В рассматриваемом случае поверхность графита представляет собой многослойную систему параллельных объёмных полостей (каналов), плоские грани/стенки которых являются листами графена [1].

Внешний вид и изучение поперечных разрезов обнаруженных объёмных полостей показали, что полости в сечении имеют форму близкую к параллелограмму. Непосредственное измерение толщины стенки (на рисунке показана стрелками) “открытой” коробчатой наноструктуры даёт размер порядка 1 нм. По СТМ-сканам были приблизительно определены: средняя глубина полости $d=8\pm 1$ нм и средние размеры проекций ширин

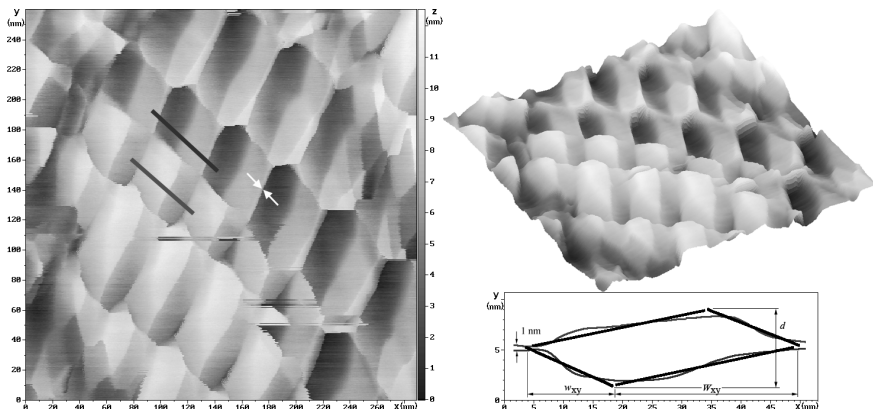


Рис. 1. Объёмная “коробчатая” наноструктура из графена. Наноструктура представляет собой многослойную систему параллельных полых каналов (полостей), поперечное сечение которых имеет форму близкую к параллелограмму. Толщина стенки наноструктуры (показана стрелками) составляет около 1 нм. СТМ изображение 512×512 точек, $U_{TUN}=50$ мВ, $I_{TUN}=890$ пА.

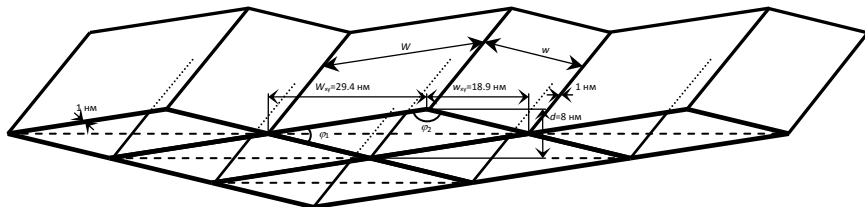


Рис. 2. Схематичное представление коробчатой наноструктуры и её характерные размеры. Пунктирными линиями условно показаны положения разведённых друг от друга плоскостей графита, из которых в процессе сдвига и пластической трансформации были образованы нижние и верхние грани (стенки) коробчатой наноструктуры. Толщина граней/стенок наноструктуры составляет около 1 нм. Углы в поперечном сечении канала $\varphi_1=19.7^\circ$, $\varphi_2=160.3^\circ$; ширина малой грани $w=19.3$ нм, ширина большой грани $W=29.7$ нм.

малой $w_{xy}=18\pm 1$ нм и большой $W_{xy}=28\pm 1$ нм граней полости. Модельное представление коробчатой наноструктуры и её характерные размеры приведены на Рис. 2.

Несмотря на сильно развитую поверхность наноструктуры и малую толщину её стенок/граней, на плоских почти горизонтальных участках граней удаётся получить атомарное разрешение. Среднее значение постоянной решётки $a=2.1 \text{ \AA}$, что сравнимо с постоянной решётки ВОПГ $a=2.46 \text{ \AA}$.

Анализ СТМ-изображений наноструктуры позволяет сделать вывод о том, что путём механического расщепления, изгиба и сдвига слоёв графита возможно создание объёмных конструкций из графена подобных обнаруженной. Отличительными чертами таких конструкций являются: простота способа получения, малая площадь контакта графеновых плоскостей с подложкой, большая площадь поверхности, нанометровые поперечные размеры каналов.

Изображение коробчатой наноструктуры получено на сканирующем туннельном микроскопе (СТМ) Солвер™ Р4 (производитель НТ-МДТ, Россия) на воздухе в режиме постоянного тока. В качестве иглы использовалась проволока NiCr диаметром 0.3 мкм, срезанная механически. Характерный уровень шума туннельного тока в ходе измерений составлял порядка 20 пА (от минимума до максимума).

В перспективе наноструктуры подобные обнаруженной могут использоваться в качестве чувствительных элементов датчиков, каталитических ячеек, теплоотводящих поверхностей, как наноканалы или молекулярные сита в микроканальных жидкостных устройствах.

1. K. S. Novoselov, A. K. Geim, S. V. Morozov, D. Jiang, Y. Zhang, S. V. Dubonos, I. V. Grigorieva, A. A. Firsov, *Science*, 2004, 306, 666-669.