

ЛОКАЛЬНОЕ ОКИСЛЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УСТРОЙСТВ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Г.Мешков, О.Синицына, И.Яминский
sinitsyna@gmail.com

Перспективными материалами для будущей наноэлектроники представляются углеродные нанотрубки, графен, тонкие графитовые пленки. Формирование диэлектрических наноструктур возможно, в частности, посредством локального окисления углеродных материалов.

Использование зондовой литографии позволяет добиться высокого пространственного разрешения, так как область воздействия при этом процессе на поверхность ограничивается радиусом закругления иглы, который составляет всего несколько единиц нанометров. Эксперименты проводились при помощи мультифункционального СЗМ ФемтоСкан на образцах высокоориентированного пиролитического графита (продукция ООО «Атомграф-Кристалл»), характеризующихся высокой степенью упорядочения углеродных слоев (графенов) вдоль оси, перпендикулярной к их плоскости [1].

Для окисления поверхности образца между ней и иглой прикладывалось напряжение, причем поверхность графита заряжалась положительно. Процесс проводился в режиме постоянной силы, действующей на поверхность со стороны иглы. Электролитом в системе служила адсорбированная вода. (Обычно в таких экспериментах вблизи иглы образуются ямки, так как графит окисляется до летучих оксидов.)

Предложена конструкция зонда [2], которая позволяет

окислять поверхность контролируемым образом и проводить частичное окисление графита с образованием выпуклых областей, которые предположительно состоят из оксида графита (рис.1). Первые результаты работ представлены в статье [3]. Ширина линии, формируемой на поверхности графита, зависит от условий проведения процесса окисления и геометрических параметров острия иглы. Минимальная ее величина, достигнутая в работе, составила около 10 нм.

Частицы оксида графита, полученные другими методами, уже применялись в качестве подзатворного диэлектрика для изготовления образцов полевых транзисторов из углеродных нанотрубок [4] и графена [5]. Однако следует учитывать,

что оксид графита – соединение нестехиометрическое, и его диэлектрические свойства значительно варьируются при изме-

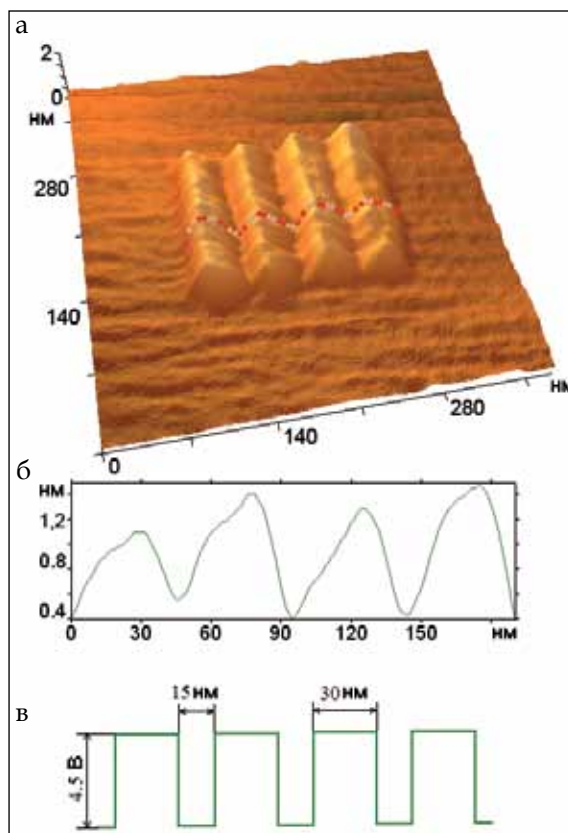


Рис.1. Линии на поверхности графита (а), профиль поверхности (б), маска, по которой выполнен рисунок (в)

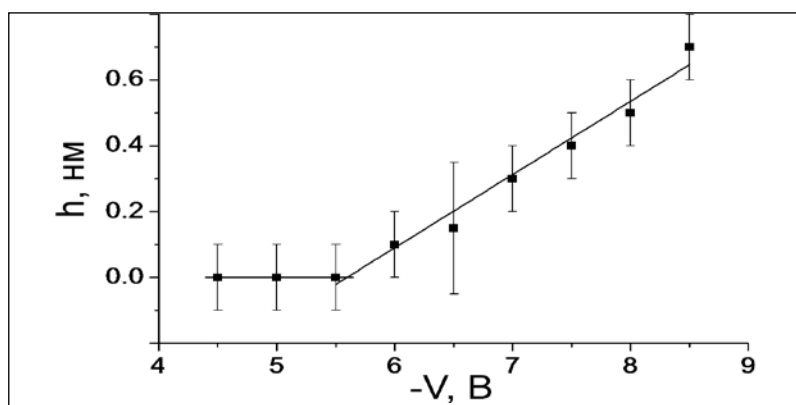


Рис.2. Зависимость высоты окисленных областей от напряжения между зондом и образцом

нении степени окисления углеродных слоев и количества интеркалированной воды в межслоевом пространстве. В связи с этим особое значение приобретают исследования закономерностей процесса частичного окисления углеродных слоев.

Измерены зависимости высоты окисленных областей на поверхности графита от величины напряжения, приложенного между зондом и образцом. На типичной зависимости (рис.2) можно выделить два участка: при напряжениях от -4,5 до -5,5 В рост высоты окисленной области практически не наблюдается; при напряжении менее -5,5 В такая высота растет линейно, при напряжениях более -4,5 В окисления поверхности графита не происходит. Можно предположить, что рост высоты окисленных областей связан с интеркаля-

цией молекул воды между слоями графита.

Изучение зависимости относительного коэффициента трения, определяемого как отношение коэффициента трения между иглой и окисленной поверхностью к коэффициенту трения между иглой и немодифицированной поверхностью графита от высоты окисленной поверхности, также показало наличие двух ступеней окисления (рис.3). На первой ступени резкий рост относительного коэффициента трения может быть объяснен высокой скоростью окисления верхнего углеродного слоя, сопровождающегося его декорированием кислородсодержащими группами. В результате, верхний слой становится гидрофильным, что облегчает на второй ступени процесс интеркаляции молекул воды с поверхности в межслоевое пространство.

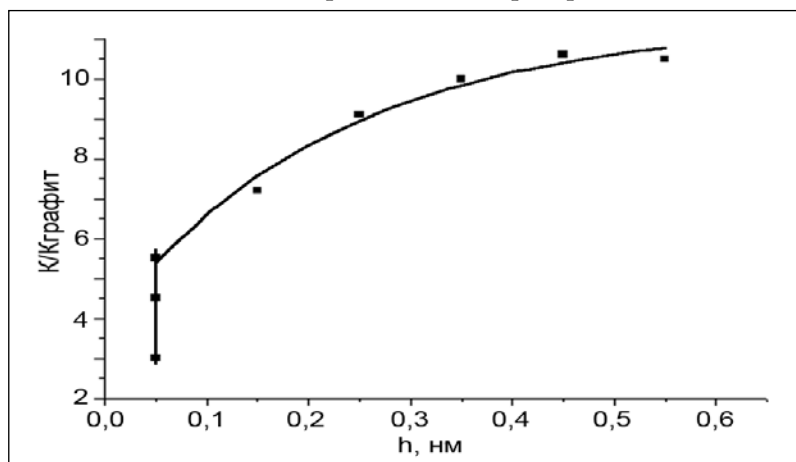


Рис.3. Зависимость относительного коэффициента трения между зондом и поверхностью от высоты окисленных областей

Таким образом, в работе показано, что с помощью зондовой литографии возможно создание в углеродных слоях диэлектрических элементов с высоким пространственным разрешением; причем частичное окисление углеродных слоев протекает в два этапа: сначала окисляется преимущественно верхний слой, затем начинается интеркаляция воды в межслоевое пространство. Регулируя напряжение между иглой и поверхностью образца, можно добиться получения обладающего необходимыми диэлектрическими свойствами материала с различной степенью окисления и интеркаляции углеродных слоев.

Авторы выражают благодарность за поддержку Министерству образования и науки РФ (госконтракты П255, П717, П973), НАТО – программа «Наука для мира» (грант CBN.NR.NRSFP 983204), Фонду содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (7713р/11277 и программа УМНИК).

Литература

1. <http://www.nanoscopy.net/>
2. Мешков Г.Б., Сеницына О.В., Яминский И.В. Патент на изобретение «Зонд для локального анодного окисления материалов» № 2383078. Патент на полезную модель «Зонд для локального анодного окисления материалов. Варианты» № 86342.
3. Мешков Г., Сеницына О., Яминский И. Новые разработки в области зондовой литографии углеродных материалов. – Нанотехнология, 2009, № 2, с. 28–30.
4. FU WangYang, LIU Lei, WANG WenLong, WU MuHong, XU Zhi, BAI XueDong, WANG EnGe. Carbon nanotube transistors with graphene oxide films as gate dielectrics. Sci. China Phys. Mech. Astron, 2010, vol. 53, № 5, p. 828.
5. Standley B.; Mendez A.; Schmidgall E.; Bockrath M. Graphene field-effect transistors built with graphene-oxide gate dielectric. American Physical Society, APS March Meeting 2010, March 15–19, 2010.