



ВЫСОКООРИЕНТИРОВАННЫЙ ПИРОЛИТИЧЕСКИЙ ГРАФИТ

О.Синицына, И.Яминский
yaminsky@nanoscopy.ru

Высокоориентированный пиролитический графит (ВОПГ) находит широкое применение в современной науке и технологиях. Накопленные данные о его поверхности позволяют с уверенностью интерпретировать результаты исследований и эффективно использовать этот материал в новых приложениях.

В нанотехнологии часто встречаются ситуации, когда для исследований требуется чистая, атомно-гладкая подложка. Тогда используются сколы кристаллов. Если необходима гидрофобная или проводящая подложка, лучшим вариантом является ВОПГ, широко используемый в зондовой микроскопии в качестве калибровочной решетки с периодом 2,46 Å (рис.1). ВОПГ также применяется для получения других форм углерода: графена и алмазов, для исследований в области Li-ионных аккумуляторов, причем многие задачи для студенческих практикумов по сканирующей зондовой микроскопии и литографии поставлены с его использованием.

Материал также использовался для других приложений, одно из которых – создание монокристаллов рентгеновского излуче-



Рис.1. Образец ВОПГ 10x10 мм², толщина 2 мм, мозаичность 1,7±0,5°

ния. До сих пор образцы ВОПГ классифицируются по параметру мозаичности [1], рассчитываемому на основании рентгеновских исследований. Чем меньше его значение, тем более упорядочены слои в графите.



Рис.2. СЗМ ФемтоСкан с открытой архитектурой широко используется в студенческих практикумах

Исследования с помощью сканирующего зондового микроскопа (СЗМ) (рис.2) на образцах с мозаичностью 0,4 и 0,8° показало, что для двух из них длина ступеней скола на площади в 1 мкм² находится в пределах 1–3 мкм¹. Однако для образцов с мозаичностью 0,8° возрастает доля многослойных ступеней скола. Таким образом, чем меньше мозаичность, тем более гладкие сколы образуются.

Кроме ориентированных в одном направлении ступеней скола на поверхности графита

та могут быть обнаружены различные дефекты. В конце 80-х и начале 90-х годов прошлого века не редки были случаи ошибочной интерпретации дефектов, как объектов исследования, нанесенных на поверхность графитовой подложки [2]. Однако в настоящее время накоплено множество данных по микроскопии поверхности графита, позволивших систематизировать основные дефекты (см. таблицу).

В первую очередь важно рассмотреть возникновение дефектов поверхности, которые могут возникнуть при синтезе графита и создании скола. Основные дефекты, связанные с первым процессом – краевые (рис.3а), и винтовые дислокации с перпендикулярным базисной плоскости вектором Бюргерса и межзеренные границы (рис.3б). При синтезе часть графитовых слоев формируется не полностью, в результате образуются краевые дислокации. На поверхностях скола ядра можно обнаружить ступени, в том числе, лежащие под несколькими слоями графита. Отличить краевые дислокации от ступеней скола несложно, поскольку у первых выделенное направление отсутствует.

Межзеренные границы – также наиболее распространенные дефекты на поверхности графита. ВОПГ в направлении,



Классификация дефектов поверхности ВОПГ

Генезис дефекта	Вид дефекта	Размерность дефекта			Методы наблюдения
		0	1	2	
При синтезе	Включения других фаз	Поры	Волокна		СТМ, АСМ*
	Дефекты атомной решетки, связанные с разрывами связей С-С		Краевые и винтовые дислокации с вектором Бюргера, перпендикулярным базисной плоскости		СТМ, АСМ
		Точечные дефекты	Межзеренные границы		СТМ, СРМ**
При синтезе или сколе	Дефекты упаковки слоев		Дислокационные ряды	Дислокационные сетки; муары	СТМ***, СРМ
При сколе	Дефекты строения атомной решетки, связанные с разрывами связей С-С	Звездообразные структуры	Ступени скола		СТМ, АСМ, РСМ

*Атомно-силовая микроскопия.

**Резистивная сканирующая микроскопия.

***Сканирующая туннельная микроскопия.

перпендикулярном слое, похож на монокристалл, поскольку все слои регулярно уложены и практически параллельны друг другу. Сами слои не являются сплошными, а состоят из кристаллитов диаметрами от 2 до 10 мкм, повернутыми относительно друг друга на различ-

ные углы. Межзеренные границы в этих структурах, как правило, неразличимы при использовании АСМ, так как связанный с ними рельеф очень мал. Однако электронная плотность вблизи границ возрастает, поэтому они легко обнаруживаются методами СТМ и СРМ.

Другой тип дефектов связан с нарушением упаковки слоев в графите, которое может возникать при синтезе ВОПГ и его сколе вследствие значительных деформаций образца. К таким дефектам следует отнести дислокационные решетки (рис.3в) и муары (рис.3г). При значительных деформациях могут возникать дислокационные ряды с вектором Бюргера, направленным вдоль плоскостей графита, и представляющие собой две частичные дислокации, между которыми располагается дефект упаковки. Если встречаются дислокационные ряды с различным направлением, то могут возникать треугольные дислокационные решетки и более сложные структуры [3]. Муары формируются при повороте одного слоя графита относительно соседнего, причем чем меньше угол поворота слоев, тем больше их период.

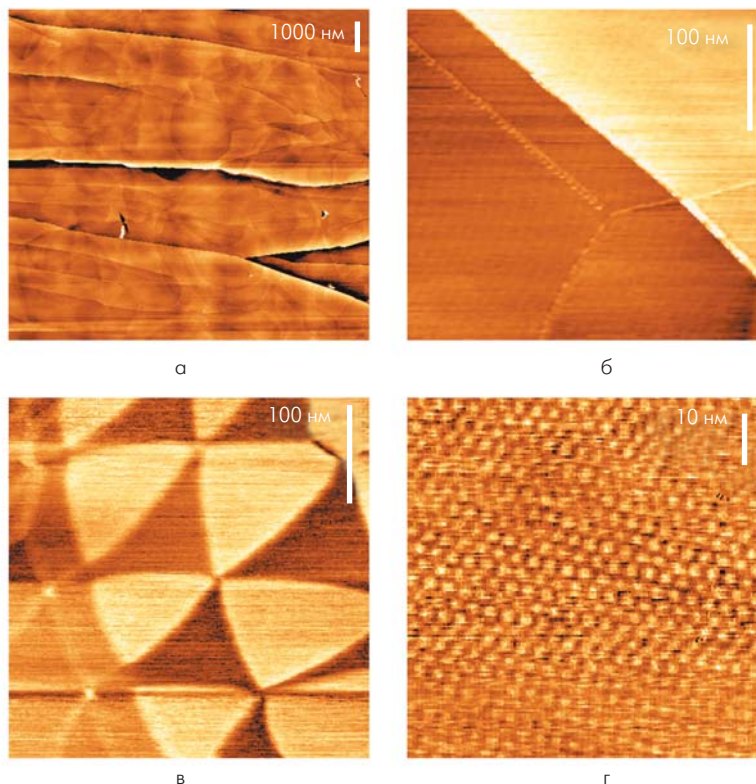


Рис.3. Дефекты поверхности ВОПГ: а – ступени скола и краевые дислокации (АСМ), б – межзеренные границы (СТМ), в – дислокационная решетка (СРМ), г – муар (СТМ)

Литература

1. <http://www.nanoscopy.ru/equipment/accessories/grafit/>
2. Heckl W.M., Binnig G. Domain walls on graphite mimic DNA. – Ultramicroscop, 1992, v.42–44, p.1073–1078.
3. Мешков Г., Сеницына О., Яминский И. Дислокационные сверхрешетки на поверхности сверхграфита. – Наноиндустрия, 2009, №6, с.12–13.