

УДК 544.023

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОПАЛОВОЙ МАТРИЦЫ ПРИ АСМ-ИССЛЕДОВАНИИ

Юлия Игоревна Симукова

*Студентка 5 курса,
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»,
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Е.В. Булыгина,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в
машиностроении»,
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Исследование поверхности с высоким пространственным разрешением является важным элементом разработки новейших технологий. В распоряжении исследователя в настоящее время имеется достаточно богатый арсенал приборов, которые обеспечивают получение изображения исследуемой поверхности с нанометровым разрешением. К ним относятся: просвечивающий и сканирующий электронный, ближнепольный оптический, атомно-силовой и туннельный зондовые микроскопы. Успехи электроники привели к тому, что в настоящее время из всех перечисленных приборов зондовая микроскопия является наиболее доступным методом исследований, обеспечивая, при этом, наивысшее разрешение – от ангстрема (у простых приборов) до сотых долей ангстрема (у прецизионных микроскопов). Экстремально малые размеры объектов, с которыми оперируют нанотехнологии, делают крайне затруднительной визуализацию объектов и процессов, протекающих с их участием.

Следствием этого является проблема соответствия измеренного и реального состояний объекта наноизмерений.

Целью проекта является исследование влияния размеров зонда на точность определения параметров АСМ – изображения матрицы синтетического опала. Синтетические опалы - пористые среды, каркас которых построен из образующих регулярную гранецентрированную кубическую решетку, плотно упакованных монодисперсных сферических частиц аморфного оксида кремния диаметром от сотен до тысяч нанометров, являются перспективным материалом для формирования трехмерных наноструктур. Непосредственно опаловые матрицы (рис. 1), т.е системы на основе упорядоченных наносфер кремнезема SiO_2 , получают осаждением монодисперсных частиц диоксида кремния из коллоидного раствора.

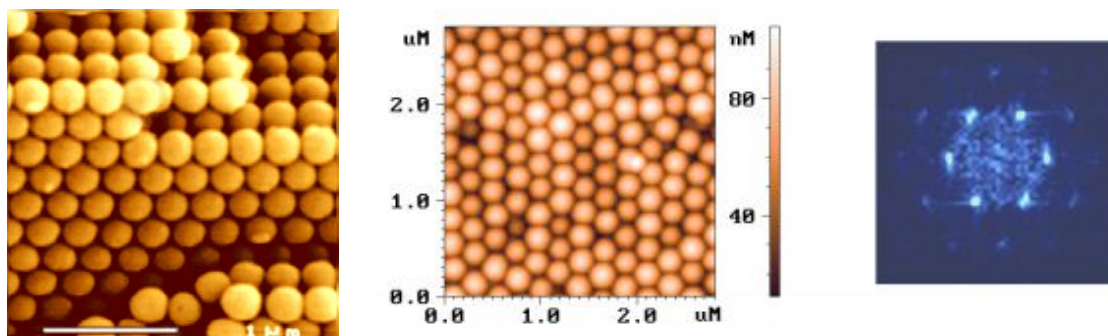


Рис. 1. Опаловая матрица [2]

Рассмотрим острие зонда в приближении конуса, заканчивающегося полусферой, радиусом закругления R . Тогда результирующее изображение глобулы опаловой матрицы будет являться суммой форм острия иглы кантилевера и глобулы. Зная диаметр глобулы d , и измерив ширину полученного изображения w , можно вычислить эффективный радиус закругления острия кантилевера АСМ (рис. 2 а, б). При этом используем приближение, в котором считаем, что глобула не претерпевает значительных деформаций, и высота глобулы равна ее диаметру.

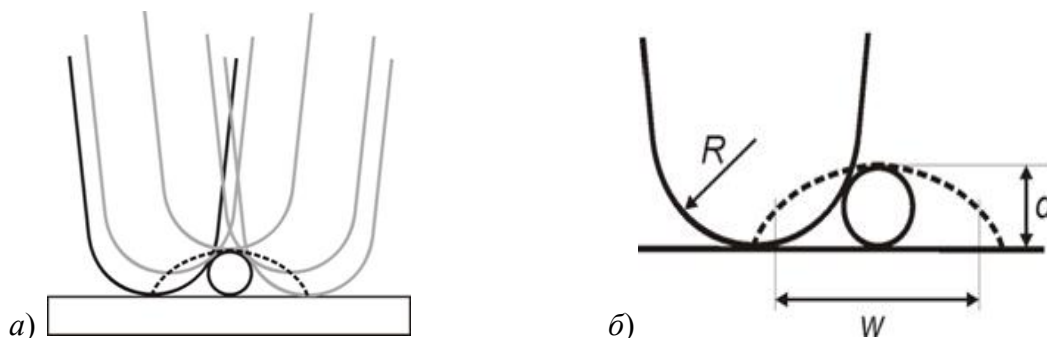


Рис. 2. а - траектория движения иглы атомно-силового микроскопа при сканировании глобулы, лежащей на основании;
б - вид сечения изображения глобулы в атомно-силовом микроскопе [1]

Измерение ширины изображения глобулы лучше проводить на ее полувысоте. Тогда реальный диаметр глобулы можно будет рассчитать, используя следующее выражение:

$$R = 0.25d^{-1} \cdot (w^2 - d^2),$$

где R – эффективный радиус острия иглы атомно-силового микроскопа;
 d - диаметр глобулы; w - ширина изображения глобулы, измеренная на полувысоте.

Представленная зависимость позволяет вычислить отклонение истинного размера глобулы опаловой матрицы от размера, измеренного на АСМ-изображении. Так, для глобул диаметром 500 нм при использовании зондов с диаметрами $D_1 = 10$ нм и $D_2 = 35$ нм это отклонение составляет 9,90 нм и 33,85 нм, соответственно. Для глобул диаметром 200 нм при использовании зондов этих же зондов отклонение составляет 9,76 нм и 32,38 нм, соответственно.

Экспериментальные исследования опаловых матриц, сформированных из глобул диаметром 200 нм, произведенные на АСМ Solver Next, подтвердили правильность теоретических выкладок.

Таким образом, в процессе сканирования выявился один из основных артефактов АСМ: эффект "уширения профиля". Как и ожидалось, уширение изображения тем больше, чем больше радиус кривизны зонда.

Данные сведения следует учитывать при дальнейшем исследовании образцов на атомно-силовом микроскопе для восстановления реальной геометрии опаловой матрицы и наноструктур на ее основе.

Литература

1. Методическое пособие «Получение СЗМ изображения углеродных нанотрубок. Оценка радиуса закругления острия зонда», Центр Нанотехнологий в Электронике Московского Института Электронной Техники (Технический Университет)
2. <http://www.ntmdt.ru/scan-gallery/group/opal-matrix>
3. <http://www.nanotechwestregion.ru>