

12

Получение и использование позиционных меток в сканирующей зондовой микроскопии

© В.Н. Лозовский, С.Н. Чеботарев, В.А. Ирха, Г.В. Валов

Южно-Российский государственный университет
(Новочеркасский политехнический институт), Новочеркасск
E-mail: v-irx@rambler.ru

Поступило в Редакцию 19 марта 2010 г.

Описывается разработанный авторами способ получения на поверхности 1D- и 2D-объектов специальных позиционных меток, позволяющих фиксировать локальные области исследований с помощью сканирующей зондовой микроскопии. Демонстрируется эффективность использования позиционных меток в практике зондовых исследований на уровне наномасштабов.

В сканирующей зондовой микроскопии возникают трудности фиксации выбранных для исследований локальных позиций на 1D- и 2D-нано- и микрообъектах, например, для последующих исследований в тех же точках. В атомно-силовой микроскопии для повторного наведения в заданную область могут быть использованы лишь объекты с ярко выраженным микрорельефом, характерные особенности которого видны при минимальном увеличении или в видеосистему контроля позиционирования образца. При использовании образца с гладкой поверхностью вероятность повторного наведения в заданную область резко снижается и зависит от размера максимального поля сканирования атомно-силового микроскопа (которое обычно составляет $50 \mu\text{m}$); в случае,

когда необходимо исследовать образец в нанометровом диапазоне, эта вероятность падает практически до нуля.

Поэтому для повторных (позиционно совмещенных) исследований необходимы специальные „позиционные“ метки, удовлетворяющие определенным требованиям. Эти метки должны обладать заданной локализованностью на поверхности объекта и сохраняться в процессе всех последующих манипуляций с образцами. Метка не должна значительно превышать по размеру исследуемую область (иначе это затруднит определение положения участка относительно метки), но она должна выделяться на фоне окружающего рельефа. Ее высота должна быть больше средней высоты рельефа на исследуемом участке. При проведении исследований в нанометровом диапазоне целесообразно применять набор уменьшающихся меток, наибольшая из которых обнаружима сама как крупный объект, например с помощью штатной видеосистемы контроля позиционирования образца. Важно, чтобы влиянием меток и процесса их получения на результаты исследования (и на его длительность) можно было пренебречь. Желательно также иметь возможность формировать метки с помощью оборудования, которое используется в рассматриваемом исследовании, причем на его первом или предварительном этапах.

Данное сообщение посвящено описанию способа получения на 1D- и 2D-нанообъектах позиционных меток, удовлетворяющих приведенным выше требованиям, и исследованию возможности их использования в сканирующей зондовой микроскопии.

Разработанный способ получения позиционных меток основан на эффекте электрон-стимулированного осаждения (ЭСО) вещества метки на поверхность исследуемого образца [1]. Метки формировались в электронном микроскопе Quanta 200. Возможность их применения исследовалась с помощью сканирующего зондового микроскопа Solver HV и микроскопа Quanta 200 с приставкой для рентгеновского энергодисперсионного микроанализа EDAX Genesis.

В настоящей работе в качестве материала меток выбран углерод. Для выращивания этих меток не нужно дополнительно вводить в зону роста газ-прекурсор, содержащий углерод. Расчет и практика показывают, что концентрация молекул двуокиси углерода в атмосфере вакуумной камеры микроскопа (при давлении газов 10^{-4} Па) достаточна для формирования на поверхности образца любого необходимого количества позиционных меток.

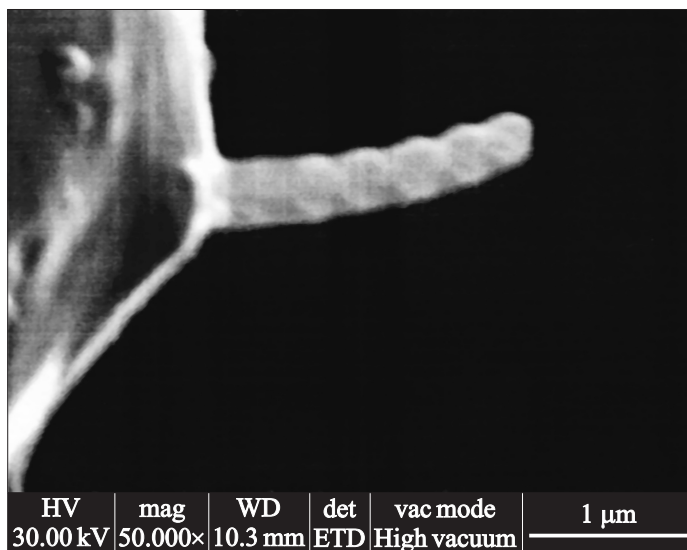


Рис. 1. 1D-микрообъект с позиционными нанометками.

Предложенным методом могут быть получены метки любой формы, например точки, параллельные и пересекающиеся линии и т. д. Размеры метки могут варьироваться от единиц до сотен нанометров в диаметре и по высоте. Минимальный диаметр метки определяется сечением электронного луча, а ее высота — возможностью контролируемо управлять длительностью роста. Углеродные метки устойчивы к воздействию жидкостей, используемых для „освежения“ поверхности образца после хранения перед последующими исследованиями. При необходимости вещество метки можно удалить воздействием кислородосодержащей плазмы или отжигом в воздухе при температуре более 500°C .

На рис. 1 приведено изображение меток, нанесенных на углеродный вискер („1D-нанообъект“), выращенный на вольфраме методом ЭСО, непосредственно перед формированием меток.

Наращивание вискера на вольфраме и последующее нанесение на нем меток осуществлялись в камере сканирующего электронного микроскопа Quanta 200. Время нанесения каждой метки на 1D-

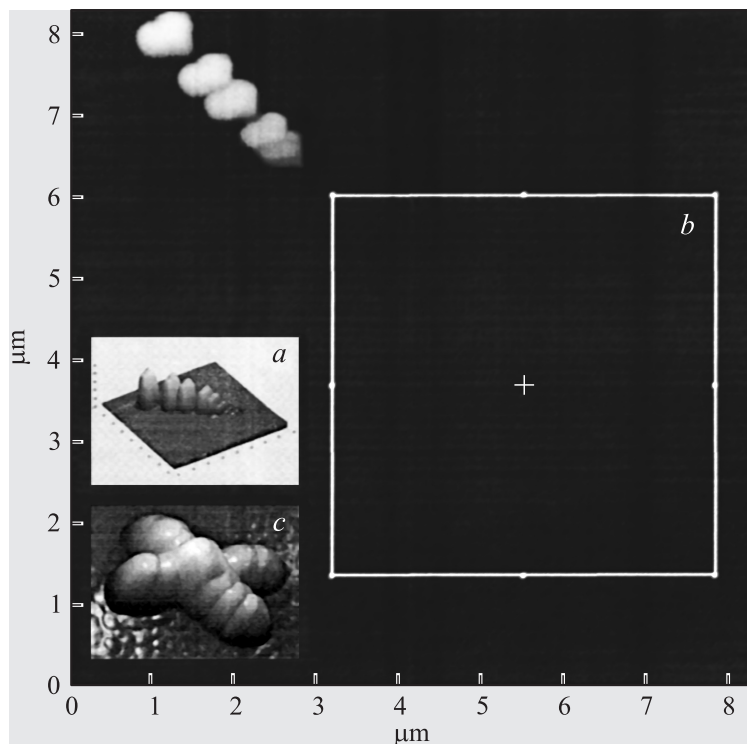


Рис. 2. Вариант серии меток на 2D-объекте: *a* — трехмерное изображение меток; *b* — область исследования, положение которой фиксирует серия меток; *c* — пример сложной метки.

объекте — 40 с. Метки использовались для повторных исследований распределения концентрации атомов вольфрама, диффундирующих в углеродный вискер из подложки, на которой он выращен. Исследования проводились с помощью рентгеновского энергодисперсионного микроанализатора EDAX Genesis. Для повторного наведения электронного луча в прежнюю точку использовались описанные выше метки. Выяснилось, что наличие метки занижает измеренное значение концентрации диффузанта на величину, пропорциональную отношению объемов метки (не содержащей диффузанта) и исследуемой области. Соответствующая

поправка может быть вычислена. Кроме того, она может быть уменьшена выбором размера метки. Для меток, представленных на рис. 1, эта поправка составила в среднем 10 ат. %.

Для изучения возможности нанесения и эффективности использования меток на 2D-объекте были выращены методом молекулярной гомоэпитаксии кремниевые нанослои, не содержащие морфологических неоднородностей, которые можно было бы использовать при повторном позиционировании заданной области (см. рис. 2).

В левом верхнем углу рис. 2 представлен вариант серии уменьшающихся меток, имеющих заостренные выступы. Эти выступы ориентированы в направлении области исследования (*b*) для облегчения повторного наведения на нее зонда сканирующего атомно-силового микроскопа Solver HV. Нижняя (наименьшая) метка своим правым основанием указывает на верхний левый край этой области. В рассматриваемом примере данная область имеет форму квадрата размером $4.75 \times 4.75 \mu\text{m}$. Видно, что поверхность эпислоя в области квадрата достаточно однородна и не имеет деталей, которые можно было бы использовать (в отсутствие меток) для идентификации этой области при повторном исследовании.

Трехмерное изображение меток представлено на вставке (*a*). Самая маленькая метка (крайняя справа) имеет средний диаметр и высоту около 10 nm. Наибольшая — превышает в диаметре 300 nm, ее высота — 500 nm. Серия меток легко обнаружима с помощью видеосистемы контроля позиционирования образца.

На вставке (*c*) показана метка сложной формы. В этом примере метка представляет собой две пересекающиеся линии.

В заключение отметим, что время, затрачиваемое на нанесение меток, значительно меньше времени, расходуемого на поиск места для проведения повторных исследований в одной и той же точке 1D- и 2D-нано- или микрообъекта методами сканирующей электронной и зондовой микроскопии без использования меток.

Список литературы

- [1] *Lemoine P., Roy S.S., Quinn J.P., Maguire P.D., McLaughlin J.A.D.* // Appl. Phys. A-materials science & Processing. 2007. V. 86. N 4. P. 451–456.