

## Сканирующая зондовая микроскопия наноразмерных структур: диагностика и литография

*М. С. Дунаевский<sup>1</sup>, А. Н. Титков*

<sup>1</sup>ФТИ им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

*тел: (812) 272-93-17, эл. почта: Mike.Dunaeffsky@mail.ioffe.ru*

В последнее десятилетие уделяется много внимания исследованию свойств низко-размерных твердотельных структур с линейными размерами порядка десятков нанометров и менее. Структуры столь малых размеров обычно называются наноструктурами и могут проявлять удивительные свойства отличные от свойств объемных материалов. Важнейшую роль играют методы диагностики наноструктур. Одним из интенсивно развиваемых направлений диагностики наноструктур на сегодняшний день является сканирующая-зондовая микроскопия (СЗМ). СЗМ — это семейство экспериментальных методов изучения локальных свойств поверхности, основанных на регистрации взаимодействия твердотельного острого зонда с изучаемой поверхностью. Зонд сканирует поверхность и в зависимости от типа взаимодействия зонд-поверхность можно с нанометровым разрешением измерять: а) топографию поверхности, б) потенциал поверхности, в) твердость поверхности и другие важные свойства поверхности. Результатом измерения является двумерная карта распределения поверхностных свойств, в простейшем случае это может быть, например, трехмерная топография поверхности. Методы зондовой микроскопии обладают нанометровым разрешением, что обусловлено нанометровой остротой зонда (радиус закругления кончика СЗМ-зонда  $R_{tip} < 10 \text{ нм}$ ). Природа взаимодействия зонда с поверхностью может быть разной. Так например, зонд покрытый магнитным покрытием будет «чувствовать» магнитные силы, таким образом можно реализовать магнито-силовую микроскопию [1]. Зонд, покрытый проводящим покрытием будет способен детектировать электростатическое взаимодействие в режиме электро-силовой микроскопии [2]. В настоящий момент СЗМ насчитывает свыше десятка различных методов, позволяющих выполнять микроскопию различных свойств поверхности с нанометровым разрешением.

СЗМ позволяет исследовать самые разные объекты: квантовые точки и квантовые ямы, нанотрубки, нановискеры, каталитические наночастицы металлов (Ni, Co, Pt, Pd и др.), моноатомные ступени, атомы и атомарные кластеры, сегнетоэлектрические и магнитные домены, ДНК, полимеры и тонкие органические пленки, вирусы и другие биологические объекты. Как правило, СЗМ применяется для исследования объектов, лежащих на поверхности. Однако, существуют определенные подходы, которые позволяют как бы «заглянуть в объем» и получить информацию о наноструктурах закрытых покровными слоями. В докладе будут рассмотрены три подхода:

- 1) скалывание образцов с зарощенными наноструктурами с последующей СЗМ-визуализацией,
- 2) стравливание покровных слоев с получением доступа к наноструктурам,

3) зарядка наноструктур с последующей визуализацией дальнедействующего кулоновского потенциала.

Сканирующая-зондовая микроскопия также предоставляет возможность для нанолитографии — локальной модификации поверхности под зондом, то есть также является методом создания наноструктур. Будут рассмотрены следующие виды СЗМ-нанолитографии:

- а) Локальное анодное окисление под СЗМ-зондом,
- б) Гравировка (процарапывание) поверхности мягкого материала СЗМ-зондом,
- в) Перенос материала с СЗМ-зонда на поверхность и наоборот материала с поверхности на зонд.

Также будет рассмотрена зарядовая СЗМ-нанолитография — создание СЗМ-зондом в тонкой диэлектрической пленке локальных заряженных участков. Основное преимущество СЗМ-нанолитографии заключается в возможности формировать СЗМ-зондом тонкий литографический рисунок на поверхности с шириной линий 10 нм. Характерная ширина литографических линий связана с радиусом закругления кончика СЗМ-зонда, который может составлять 10 нм и менее. Это положительным образом отличает СЗМ-литографию от методов оптической литографии, где минимальный формируемый рисунок определяется дифракционным пределом, связанным с длиной волны используемого света. Основным недостатком СЗМ-литографии является относительно низкая скорость формирования рисунка.

### Литература

1. Y. Martin, H. K. Wickramasinghe, Appl. Phys. Lett. , 50, 1455, (1987)
2. Y. Martin, D. W. Abraham, H. K. Wickramasinghe, Appl. Phys. Lett. , 52, 1103, (1988).