

Позиционирование зонда сканирующего микроскопа-нанолиитографа по локальным особенностям поверхности

Р. В. Латшин
(НИИ Физических проблем)

Техника сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ) имеет ограничения на предельную точность, с которой выполняются измерения элементов поверхности. Ограничения вызваны величиной шума, свойственного измерительному инструменту. Одним из широко используемых способов борьбы с шумами является многократное усреднение получаемых данных. Из-за того, что сканирующий зондовый микроскоп подвержен влиянию термодрейфа¹ и ползучести,² эффективность применения усреднения резко падает и практически сводится на нет.

Для подавления перечисленных выше искажающих факторов предлагается способ сканирования и позиционирования,³ основная идея которого заключается в использовании особенностей исследуемой поверхности в качестве опорных точек при выполнении перемещений. Перемещения осуществляются от одной особенности к другой, расположенной по соседству. В результате образуется связанная последовательность, в которой особенности размещены относительно друг друга. Поиск, обнаружение и вычисление координат положения особенности выполняет программа распознавания.⁴ Сканируя небольшую область (сегмент) вокруг каждой особенности, а затем, раскладывая полученные фрагменты по соответствующим позициям, определенным при распознавании, можно реконструировать реальный рельеф поверхности.

Ряд ограничений на класс поверхностей накладывается со стороны используемой процедуры распознавания. В связи с необходимостью производить распознавание в реальном масштабе времени, предпочтительны поверхности, особенности которых имеют между собой приблизительно одинаковые размеры и рассеяны по поверхности более-менее равномерно, протяженности объектов в разных направлениях в плоскости сканирования должны быть сравнимы, допускается тренд поверхности и неровности, по размеру значительно превосходящие рассматриваемые особенности. Большая часть ограничений, по-видимому, носит временный характер и с ростом вычислительной мощности компьютеров, совершенствованием алгоритма и эволюцией микроскопов отпадет.

В настоящий момент приемлемый класс поверхностей включает все поверхности с атомным рельефом, поверхности, состоящие из молекул, различного рода цепочек, кластеров, зерен, пор, паттернов и т. п. Причем, перечисленные типы поверхностей могут быть упорядоченными, частично упорядоченными, а также разупорядоченными.

Поскольку в разработанном методе производится распознавание сосканированного изображения, то особенности рельефа следует понимать в широком смысле. Физически они могут представлять собой области намагниченно-

сти, места локализации электрического заряда и т. п. Поэтому описываемый в работе алгоритм в общем случае применим для целого семейства сканирующих зондовых приборов. Например, он может использоваться как в сканирующем туннельном и атомно-силовом микроскопах, так и в оптическом микроскопе ближнего поля, сканирующем электронном микроскопе и др.

Основной отличительной чертой предлагаемого метода является его способность подавлять шумы микроскопа, что приводит к существенному увеличению точности СЗМ-измерений. Многократное усреднение сегментов поверхности, а также относительного расстояния между ними позволяет избавиться от влияния шумов, как в системе стабилизации туннельного тока, так и в системе латерального позиционирования. В результате чего возможно реконструировать рельеф, предельные подробности в котором мельче чем те, что способен обнаружить микроскоп при обычном сканировании.

Нелинейность, остаточная неортогональность, а также паразитные связи между манипуляторами корректируются с использованием распределенных в пространстве сканирования калибровочных коэффициентов и углов косости, определяемых автоматически в процессе измерения эталонной поверхности. В отличие от известных систем с активной динамической коррекцией работы пьезоманипуляторов¹ погрешность косинуса и погрешность смещения Аббе отсутствуют принципиально.

Разработанный алгоритм снимает ограничения на размер скана, а также позволяет, что особенно важно для нанолитографии, осуществить прецизионное позиционирование зонда микроскопа на атомарно-гладкой поверхности. Эксперименты, связанные с манипуляцией атомами, молекулами и небольшими кластерами, теперь могут выполняться при комнатной температуре.

Поскольку в способе высокая точность измерений достигается ценой резкого снижения производительности сканирования (большое число усреднений, дополнительные перемещения зонда, более высокая избыточность данных), то применение алгоритма на практике определяется во многом быстроедействием микроскопа.

В перспективе метод может использоваться для автоматического поиска на поверхности различных дефектов: вакансий, включений, дислокаций, моноатомных ступенек, областей разупорядоченности, областей с различными фазовыми состояниями и т. п., а также ведения их статистики.

¹J. E. Griffith, D. A. Grigg, Dimensional metrology with scanning probe microscopes, *J. Appl. Phys.* **74**, R83 (1993).

²S. Vieira, The behavior and calibration of some piezoelectric ceramics used in the STM, *IBM J. Res. Develop.* **30**, 553 (1986).

³Р. В. Лапшин, Способ измерения рельефа поверхности сканирующим зондовым микроскопом, Заявка на патент РФ № 99112623 (1999).

⁴R. V. Lapshin, Automatic lateral calibration of tunneling microscope scanners, *Rev. Sci. Instrum.* **69**, 3268 (1998).