

СКАНИРУЮЩАЯ ЗОНДОВАЯ МИКРОСКОПИЯ (СЗМ)

(Scanning Probe Microscopy)

«Бытие – это реальность, данная нам в ощущениях».

Классика марксизма-ленинизма



Лиса Алиса и слепой Кот Базилио

Для того чтобы увидеть атом, существует, как считается, громоздкий и дорогой электронный микроскоп. Однако, несмотря на известную поговорку, не всегда лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать. В ряде случаев можно получить больше информации, если атом... ощупать, в буквальном смысле. Для этого и существует сканирующая зондовая микроскопия. Зонд – это микроскопический, чрезвычайно чувствительный щуп, который пробегает, сканирует шероховатости поверхности атомарного размера. Более того, в ряде случаев зонд физически может двигать атомы.

В основе сканирования или «ощупывания» лежит достаточно простой принцип – атомы острия щупа «чувствуют» атомы, находящиеся на поверхности, тем сильнее, чем ближе они находятся друг к другу. Это похоже на то, как отталкиваются два сухих воздушных шарика, наэлектризованные о шерстяной свитер или волосы. В случае СЗМ возникающие силы межатомного взаимодействия чуть-чуть изменяют положение щупа, и это можно обнаружить за счет чувствительных детекторов. Подобным образом мы ощущаем приближающийся наэлектризованный воздушный шарик, который еще даже не коснулся наших волос. Другой известным всем пример – мошенник кот Базилио из сказки «Золотой ключик», который шел и «вслепую» ощупывал дорогу впереди себя специальной палочкой. Зонды СЗМ, как правило, именно «вслепую», но



Рис. 1. Аллегорическое представление персонажей наномира во время сеанса сканирующей зондовой микроскопии (компания Micromasch)

без всякого мошенничества, ощупывают поверхность (рис. 1).

Первый сканирующий зондовый микроскоп был придуман на кончике пера и затем создан в 1981 году Г. Биннигом и Г. Рорером из Цюрихского отделения фирмы ИВМ. Этот микроскоп, правда, регистрировал не изменение положения острого шупа, но изменение так называемого туннельного тока, возникающего за счет туннелирования электронов между поверхностью материала и зондом (сверхтонкой иглой), как только он приближается к поверхности на расстояние, сравнимое с межатомным. Движение зонда над поверхностью образца осуществлялось с помощью специальных *пьезодвигателей*, способных создавать запрограммированные компьютером перемещения с шагом в сто миллиардные доли метра (0,01 нм или 0,1 Å). Столь необычный и чрезвычайно эффективный способ исследования поверхности очень быстро был оценен научной общественностью и в 1986 году Бинниг и Рорер получили Нобелевскую премию за разработку *сканирующего туннельного микроскопа* (СТМ). Всего через год (1982 г.) Д.В. Пол, основываясь на аналогичных принципах, создал сканирующий оптический микроскоп ближнего поля, где в качестве зонда использовал остро заточенное оптоволокно, через которое регистрировал оптические свойства образца: отражение и пропускание света, люминесценцию, спектральные характеристики излучения. С появлением СТМ, СБОМ, а впоследствии *атомно-силового микро-*

скопа (АСМ, 1986 г.) стало возможным сделать новый шаг в изучении окружающего нас мира.

Современные методы зондовой микроскопии позволяют изучать рельеф, состав и структуру с разрешением в доли ангстрем, «видеть» и перемещать единичные атомы и молекулы. За последнее десятилетие применение зондовой микроскопии позволило значительно расширить познания в различных областях физики, химии и биологии (рис. 2).

Основой всех типов сканирующей зондовой микроскопии является, как уже отмечалось, взаимодействие зонда с исследуемой поверхностью за счет механических, электрических или магнитных сил. Так, для сканирующей туннельной микроскопии откликом системы является туннельный ток, протекающий между зондом и сканируемой поверхностью, для атомно-силовой микроскопии – Ван-дер-Ваальсовы силы отталкивания зонда от поверхности, в случае магнитно-силовой микроскопии зонд реагирует на изменение магнитного поля над образцом, в ближнепольной микроскопии оптические свойства образца детектируются через диафрагму, находящуюся в ближней зоне исследуемой поверхности и т.д. Природа взаимодействия и определяет принадлежность прибора к тому или иному члену семейства зондовых микроскопов.

Процесс сканирования осуществляется путем линейной (построчной) развертки прямоугольного или квадратного участка поверхности по координатам X и Y, тогда как измеряемый сигнал

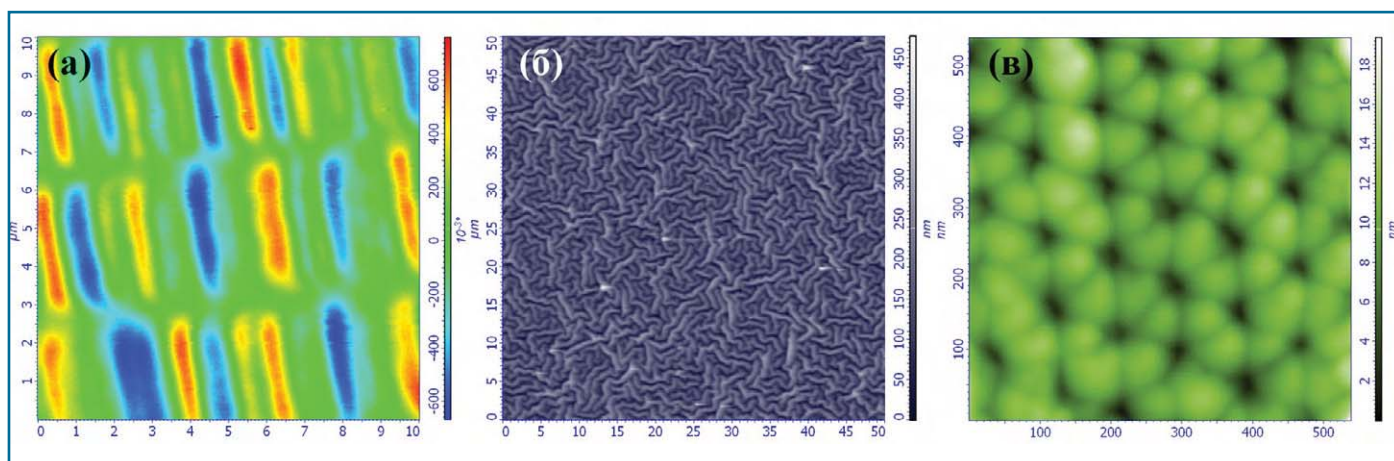


Рис. 2. Магнитные домены на поверхности компьютерного жесткого диска (а, магнитно-силовая микроскопия), люминесцентное покрытие бензоата тербия на проводящем стекле (б), поверхность анодированного оксида алюминия (в). Изображения получены на ФНМ МГУ, СЗМ NT-MDT Integra Aura

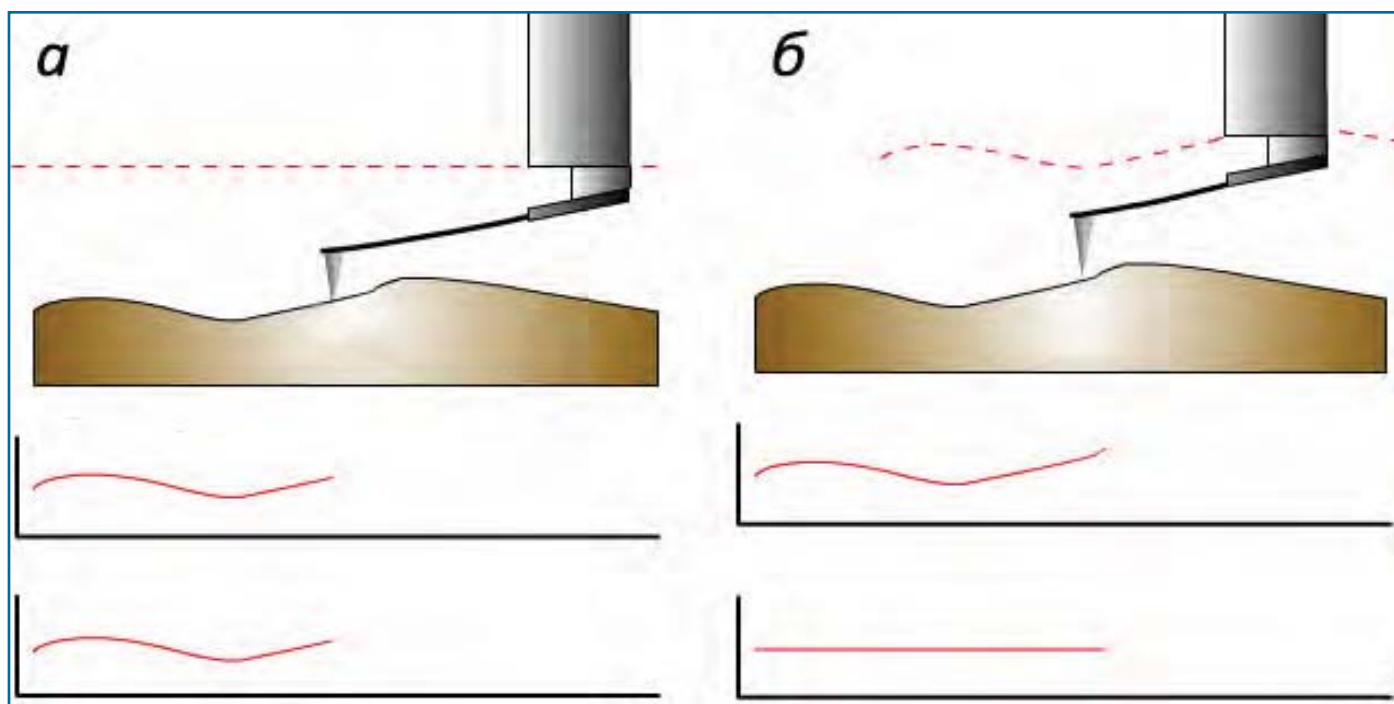


Рис. 3. Разновидности контактной АСМ: а — метод постоянной высоты, б — метод постоянного взаимодействия (www.ntmdt.ru)

коррелирует с положением зонда над образцом по координате Z . В зависимости от принципа измерения сигнала различают два способа исследования поверхности методом СЗМ (рис. 3).

Метод постоянной высоты заключается в точном измерении величины взаимодействия зонда и поверхности в процессе сканирования при постоянном расстоянии между зондом и поверхностью образца. В результате получают зависимость интенсивности регистрируемого сигнала от положения зонда над образцом.

Метод постоянного взаимодействия заключается в измерении координаты зонда Z над образцом в процессе сканирования при постоянной

интенсивности рабочего взаимодействия, которое задается путем обратной связи. В результате получают зависимость расстояния между зондом и поверхностью образца $Z|_{I=\text{const}}(X, Y)$ при постоянной интенсивности сигнала от положения зонда над образцом. Однако полученный этим методом массив данных не отображает реальной картины топографии поверхности. Метод постоянного взаимодействия обычно используется для исследования корреляции топографического контраста с другими типами рабочих взаимодействий (как, например, ориентации магнитных доменов, напряженности электростатического поля над образцом и т.д.).

Литература:

1. www.ntmdt.ru
2. Scanning Probe Microscopy and Spectroscopy: Theory, Techniques, and Applications Ed. Dawn Bonnell Wiley-VCH; 2 edition, 2000.