

АТОМНО-СИЛОВАЯ МИКРОСКОПИЯ (АСМ)

(Atomic force microscopy, AFM)

«Атом — это сила».

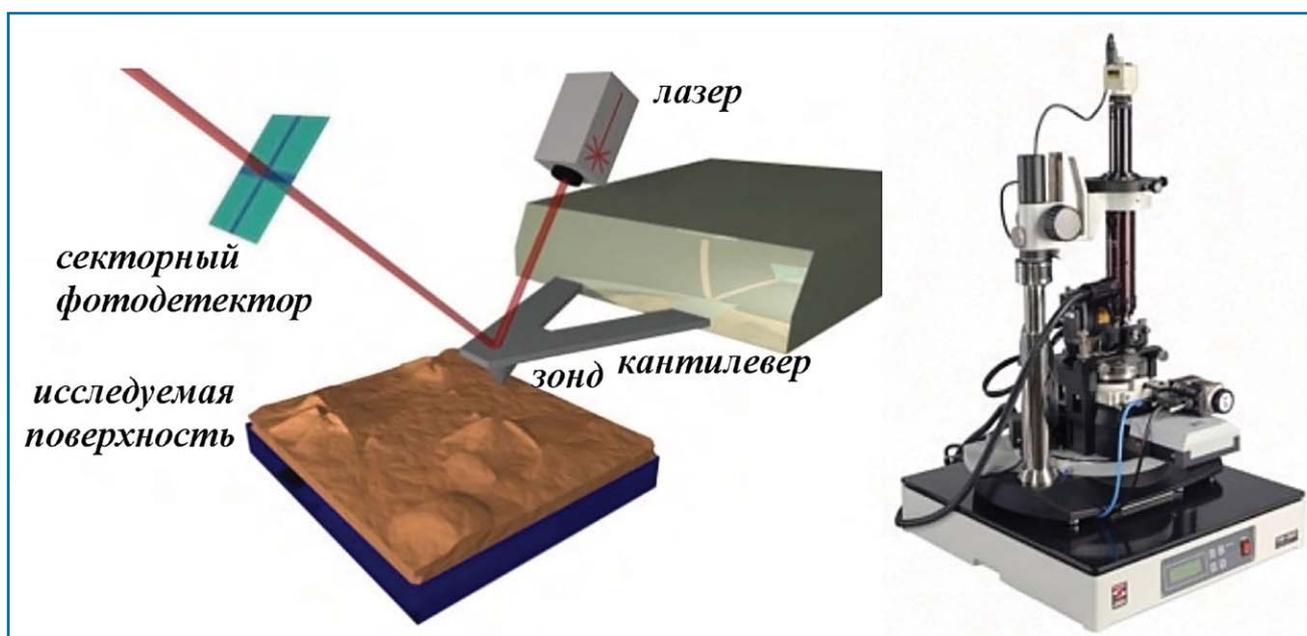
Крылатое выражение

Одной из наиболее распространенных разновидностей **сканирующей зондовой микроскопии** является атомно-силовая микроскопия. Первый микроскоп такого типа был сконструирован Г. Биннигом, Х. Гербером и С. Квайтом в 1986 году, после того как годом ранее Г. Бинниг показал принципиальную возможность неразрушающего контакта зонда (атомно-острой иглы) с поверхностью образца.

Действительно, если подвести зонд к образцу на расстояние в несколько ангстрем, то между атомами, образующими острие, и атомами, расположенными на поверхности образца, начнет действовать Ван-дер-Ваальсова сила притяжения. Под действием этой силы зонд будет приближаться к образцу до тех пор, пока не начнется

электростатическое отталкивание одноименно (отрицательно) заряженных электронных оболочек атомов зонда и поверхности.

В первых атомно-силовых микроскопах зонд (иголку кристаллического сапфира) закрепляли на тонкой платиновой фольге, за перемещением которой следили по изменению туннельного тока, по аналогии со **сканирующей туннельной микроскопией**. В настоящее время зонд закрепляют на гибкой балке, называемой **кантилевером** или консолью. При подводе зонда к образцу и возникновении отталкивающего взаимодействия **кантилевер** изгибается до тех пор, пока давление со стороны зонда (определяемое силой упругости консоли) не окажется больше предела упругой деформации материала образца или зонда.



Принципиальная схема и общий вид атомно-силового микроскопа (НТ-МДТ)

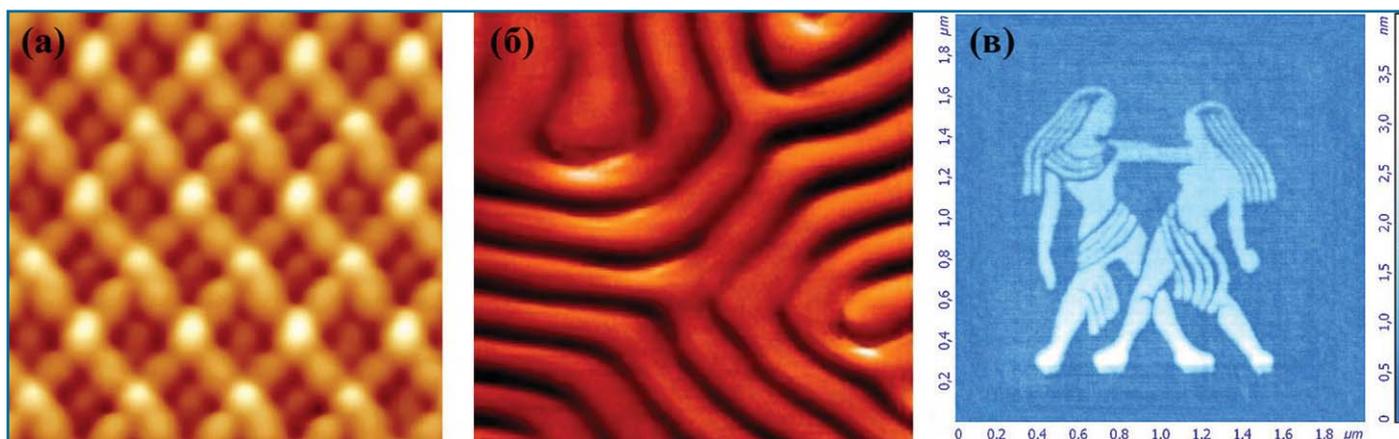


Рис. 1. АСМ-изображения поверхности Ge/Si (а) (Т. Eguchi и др., Omicron); магнитных доменов в монокристалле $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ (б) (А. Wadas, R. Wiesendanger, Omicron); локально окисленной тонкой пленки титана (в) (Смирнов В.А., ТИ ЮФУ, НТ-МДТ)

Таким образом, основным свойством кантилевера является его жесткость, а подбор материала и геометрических характеристик кантилевера позволяет использовать метод АСМ для самых различных приложений.

Перемещаясь в плоскости образца над поверхностью, кантилевер изгибается, отслеживая ее рельеф. При сканировании образца в контактном режиме его поверхность частично повреждается, а разрешение метода оказывается достаточно низким. Разработка методов полуконтактного и бесконтактного сканирования, когда зонд входит в контакт с поверхностью только в нижней точке траектории собственных резонансных колебаний или не входит в контакт вообще, позволила увеличить разрешение АСМ, значительно снизив давление на образец со стороны зонда. Для регистрации отклонения кантилевера предложены различные системы, основанные на использовании емкостных датчиков, интерферометров, систем отклонения светового луча или пьезоэлектрических датчиков. В современных приборах угол изгиба кантилевера регистрируется с помощью лазера, луч которого отражается от внешней стороны консоли и падает на фотодиодный секторный датчик. Система обратной связи отслеживает изменение сигнала на фотодетекторе и управляет системой нанопозиционирования. Использование *пъездвигателей* и атомно-острых зондов позволяет добиться атомного разрешения АСМ в высоком вакууме.

Помимо непосредственного исследования структуры поверхности методом контактной АСМ, можно регистрировать силы трения и адгезионные силы. В настоящее время разработаны многопроходные методики, при которых регистрируется не только топография, но и электростатическое или магнитное взаимодействие зонда с образцом. С помощью этих методик удается определять магнитную и электронную структуру поверхности, строить распределения поверхностного потенциала и электрической емкости и т.д. (рис. 1). Для этого используют специальные кантилеверы с магнитными или проводящи-

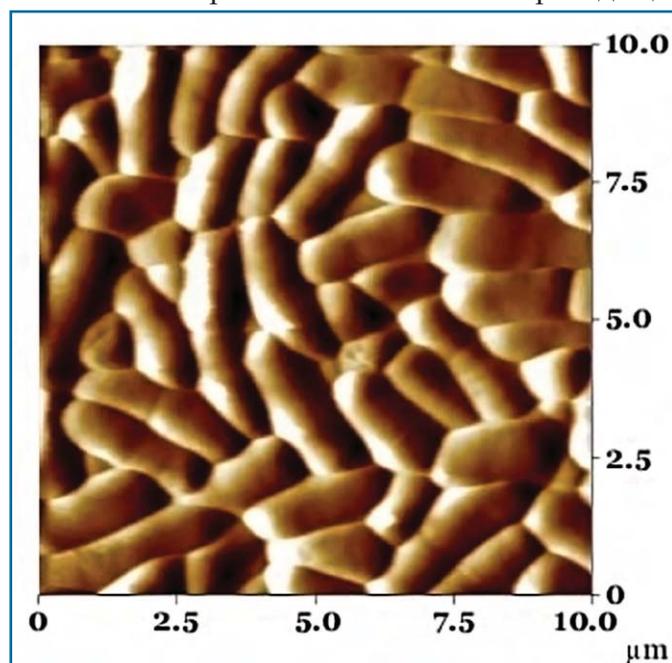


Рис. 2. АСМ изображение культуры бактерий *Escherichiacoli* (А. Razatos Institute for Molecular Cell Biology, США, Digital Instruments)

ми покрытиями. АСМ также применяются для модификации поверхности. Используя жесткие зонды, можно делать гравировку и проводить наночеканку – выдавливать на поверхности крошечные рисунки. Применение жидкостной атомно-силовой микроскопии позволяет локально проводить электрохимические реакции, при-

кладывая разность потенциалов между зондом и проводящей поверхностью (рис. 1в), а также открывает возможность применения АСМ для исследования биологических объектов (рис. 2). АСМ уже стал одним из основных *наноинструментов* нанотехнологов, быть может, следующий шаг за покорением *бионанотехнологий*?

Литература:

1. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. М.: Мир, 2004.
2. Scanning Probe Microscopy and Spectroscopy: Theory, Techniques, and Applications Ed. Dawn Bonnell Wiley-VCH; 2 edition, 2000.
3. www.ntmdt.ru