



«Новые методы определения твёрдости материалов»

Лекция 11

Lec_11_metod_opr_tverd_3MC_LNA_30_09_2015

**Приборы для измерения
наноtвёрдости.**

**Профессор Мощенок В.И.
Доцент Лалазарова Н.А.**

Содержание



11.1. Сканирующие микроскопы



11.2. Сканирующий туннельный микроскоп



11.3. Сканирующий атомно-силовой микроскоп



Список литературы к лекции 11



Контрольные вопросы

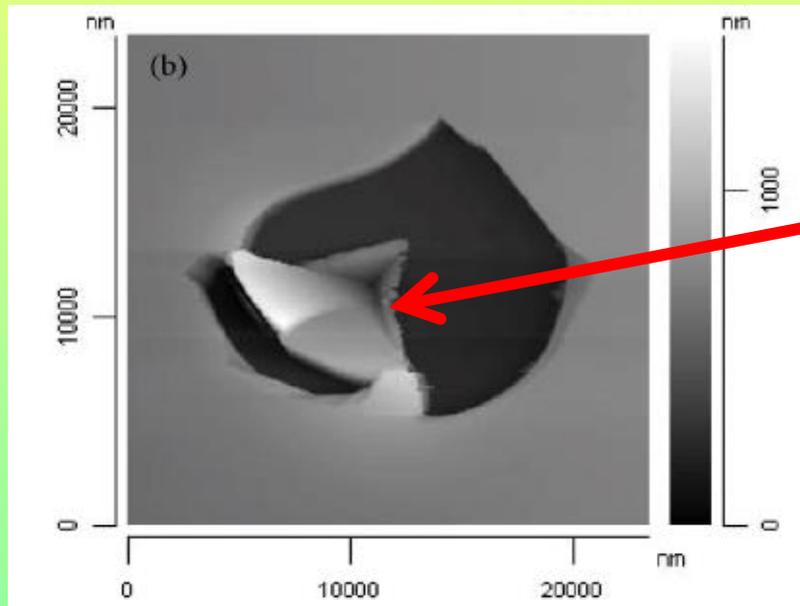


Задания для самостоятельной работы



11.1. Сканирующие микроскопы

XXI век – век нанотехнологий, когда люди работают с объектами наноразмерной величины. Поэтому в последнее время актуальной проблемой является определение твердости сверхтонких поверхностных слоев или покрытий, материалов в нанобъемах. Такие объекты требуют небольших нагрузок, что приводит к получению отпечатков малых размеров или неправильной формы.



**Параметры
отпечатка
сложно
определить**

Фотография отпечатка индентора Берковича для пленки Cr_2O_3 толщиной 1 нм для максимальной нагрузки 50 мН



Виды микроскопов

Параметры отпечатков при оценке нанотвёрдости определяют при помощи микроскопов:

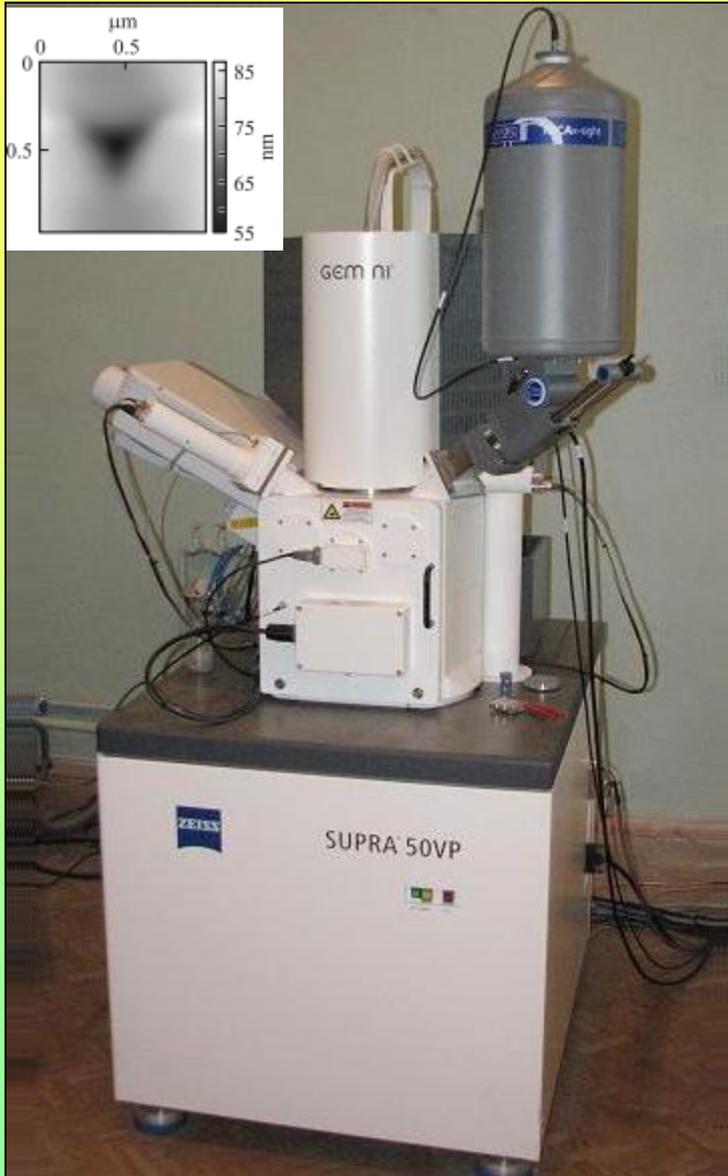
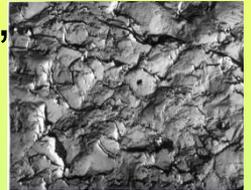
- просвечивающих электронных,
- атомно-силовых,
- сканирующих туннельных,
- растровых электронных и др.

Однако даже этими методами не всегда можно получить точные параметры отпечатка.



Растровая электронная микроскопия

Растровый электронный микроскоп основан на принципе сканирования электронным лучом исследуемого объекта, увеличение $10\text{-}10^6$ раз.

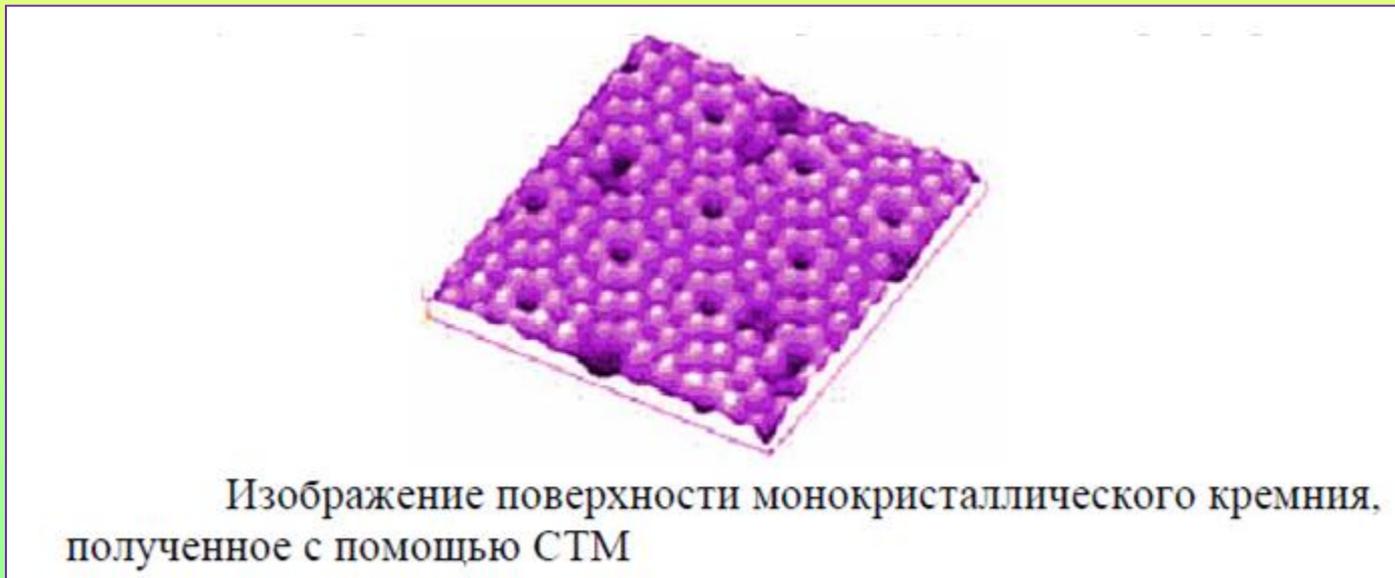


Растровый электронный микроскоп JEOL JSM-7001F



11.2. Сканирующий туннельный микроскоп

Традиционно нанотехнологию связывают с созданием сканирующего туннельного микроскопа (СТМ). Его создатели Г.Биннинг и Г.Рорер, с помощью СТМ в 1982 г. впервые получили изображение золота, а затем и кремния с атомарным разрешением.



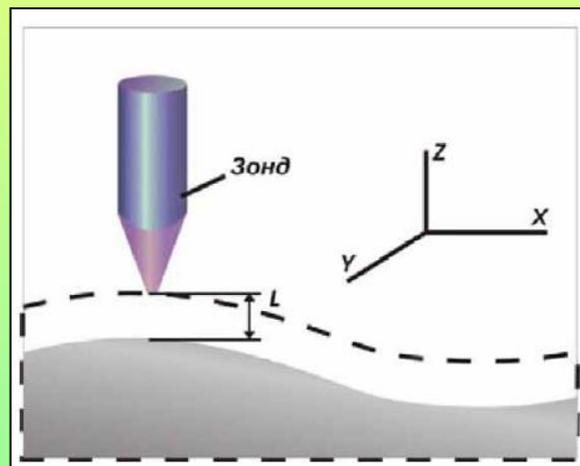
За это открытие в 1985 г. учёные были удостоены Нобелевской премии.

Сканирующий туннельный микроскоп.

Принцип действия

Принцип работы СТМ основан на туннелировании электронов через вакуумный барьер. Рабочим органом СТМ – зондом - служит токопроводящая металлическая игла. Зонд подводится к изучаемой поверхности на очень близкое расстояние (около 0,5 нм) и, при подаче на зонд постоянного напряжения, между ними возникает туннельный ток, который экспоненциально зависит от расстояния между зондом и образцом.

При увеличении расстояния лишь на 0,1 нм туннельный ток уменьшается почти в 10 раз.



Принцип работы СТМ

Именно это и обеспечивает высокую разрешающую способность микроскопа, поскольку незначительные изменения по высоте рельефа поверхности вызывают существенные изменения туннельного тока.

Поддерживая ток и расстояние постоянным следящей системы, зонд сканирует поверхность, перемещаясь над нею по осям X и Y, то опускаясь, то поднимаясь в зависимости от рельефа.



Схема сканирующего туннельного микроскопа

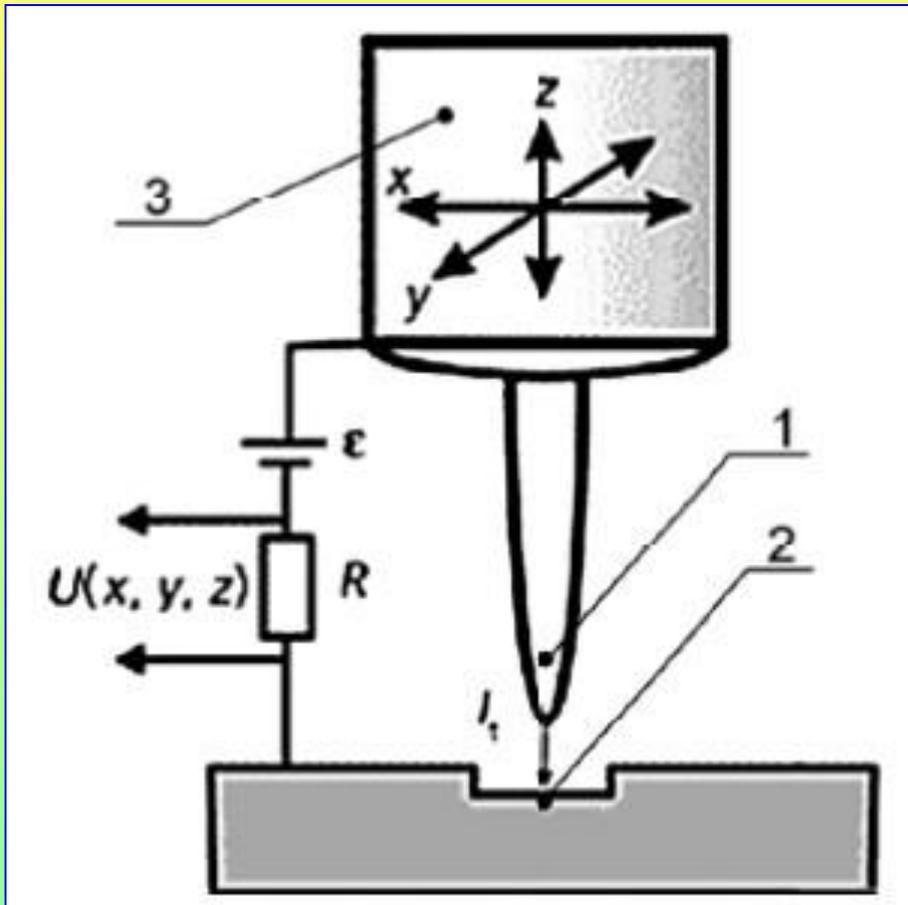


Схема работы сканирующего туннельного микроскопа: 1 – зонд (токопроводящая металлическая игла); 2 – исследуемая поверхность; 3 – пьезодатчик

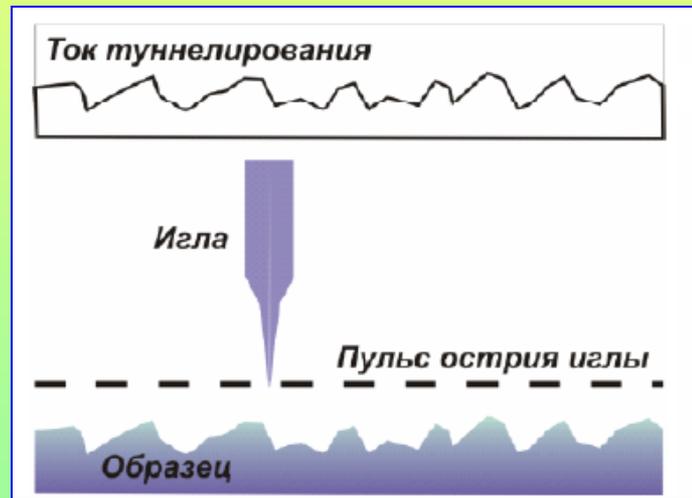
Сканирующий туннельный микроскоп.

Принцип действия

Информация о перемещении иглы отслеживается компьютером и программно визуализируется, чтобы исследователь мог увидеть на экране объект с нужным разрешением.

Существует два варианта конструкции СТМ в зависимости от режима сканирования образцов.

В режиме постоянной высоты иглы перемещается в горизонтальной плоскости над образцом, а ток туннелирования изменяется.



Исходя из данных о величине тока туннелирования, измеренной в каждой точке, строится образ рельефа.

Режим работы СТМ – изменяющийся туннельный ток

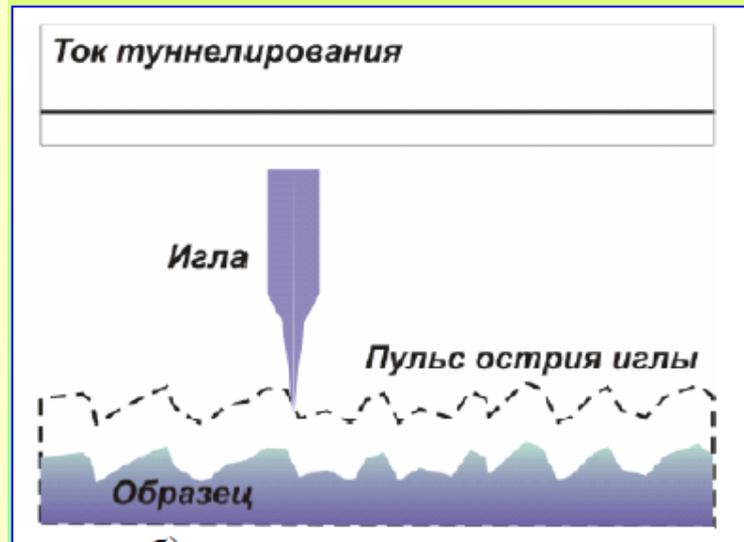


Сканирующий туннельный микроскоп.

Принцип действия

В **режиме постоянного тока СТМ** задействуется система обратной связи для поддержания постоянного тока туннелирования путём подстройки высоты сканирующего устройства над поверхностью в каждой её точке.

У каждого режима есть преимущества и недостатки. Режим постоянной высоты более быстрый, но может использоваться только для относительно гладких образцов.



В режиме постоянного тока можно с высокой точностью изучать сложные поверхности, но он занимает больше времени.

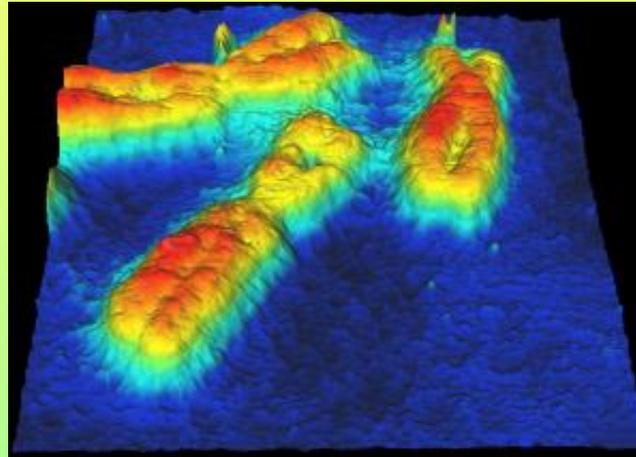
Режим работы СТМ – постоянный туннельный ток



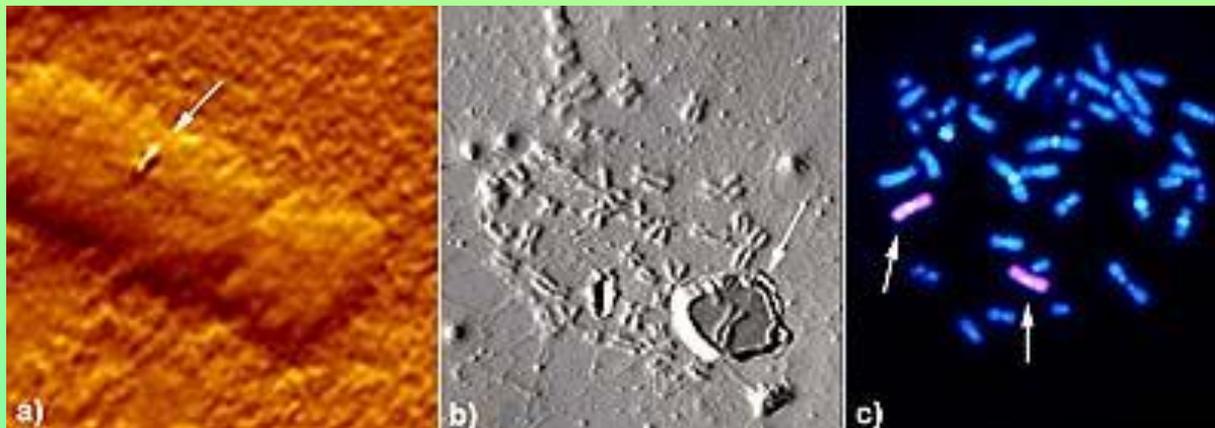
11.3. Атомно-силовой микроскоп

Туннельный микроскоп позволил учёным исследовать поверхности на атомарном уровне, но он может применяться только для токопроводящих материалов

В 1986 году в лаборатории цюрихского отделения IBM были созданы микроскопы следующего поколения – атомно-силовые (АСМ).

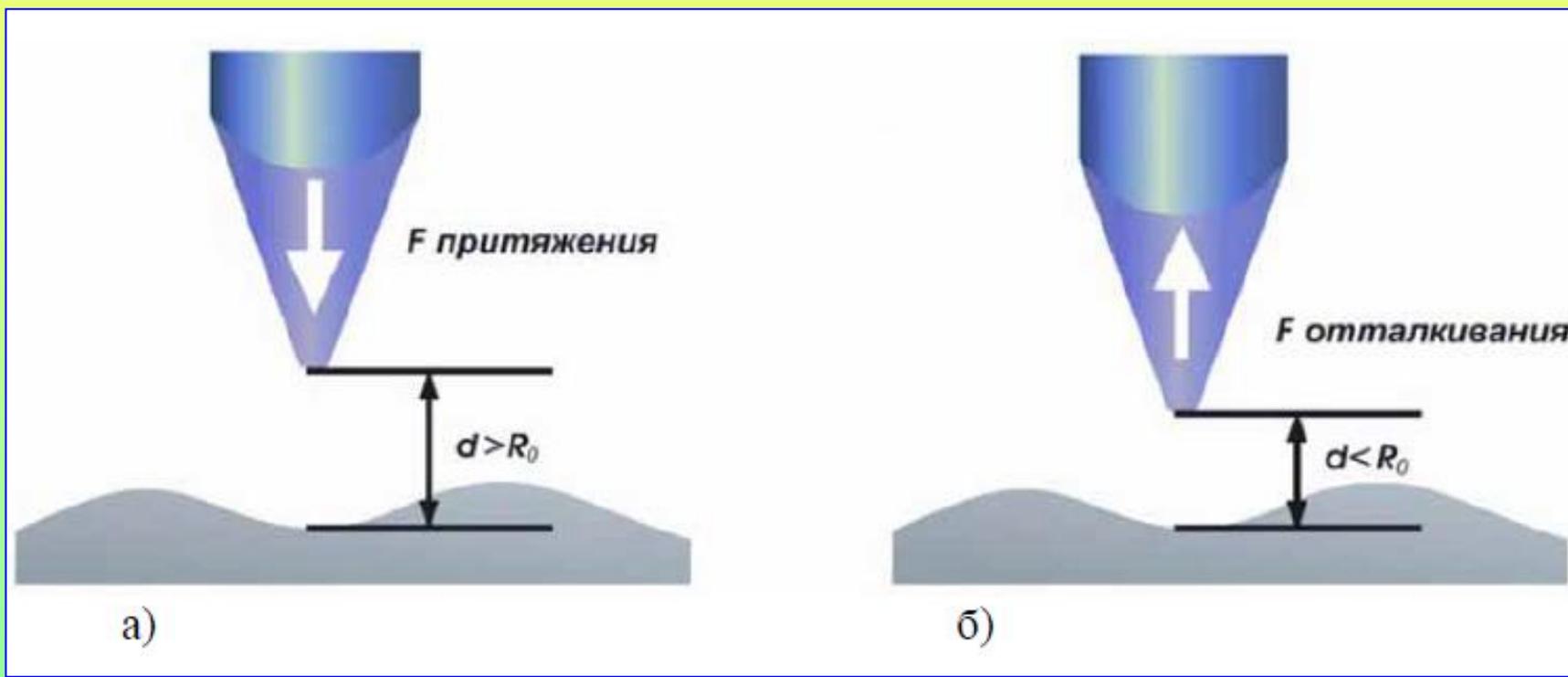


АСМ тоже позволяет исследовать поверхность с атомной точностью, но уже любых материалов.



Атомно-силовой микроскоп. Принцип действия

Принцип действия АСМ и СТМ практически одинаков, только в отличие от туннельного, атомно-силовой микроскоп основан **на использовании сил межатомных связей**. На малых расстояниях (около 0,1 нм) между атомами действуют силы отталкивания, а на больших – силы притяжения. Эти силы уравниваются на расстоянии между атомами около 0,2 нм.



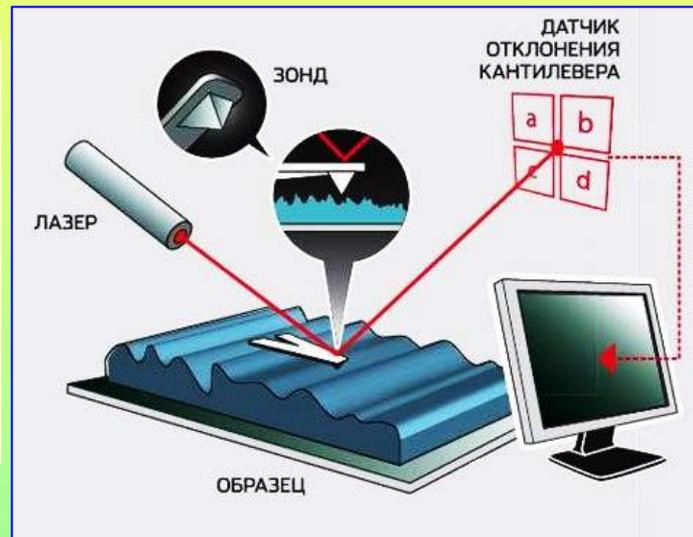
Принцип действия АСМ: а – притяжение, б - отталкивание



Атомно-силовой микроскоп. Принцип действия

В АСМ такими телами служат исследуемая поверхность и скользящее над ней остриё. В качестве зонда в АСМ обычно используется алмазная игла. При измерении силы F , действующей между поверхностью и остриём, пружинка, на которой оно закреплено, отклоняется, и это регистрируется датчиком.

Величина отклонения упругого элемента (пружинки) несёт информацию о рельефе поверхности.



Подобно СТМ в АСМ сканирование поверхности может происходить двумя способами: сканирование кантилевером (держатель зонда) и сканирование подложкой.

В первом случае вдоль исследуемой поверхности движется кантилевер, во втором относительно неподвижного кантилевера движется сама подложка. АСМ позволяет исследовать как токопроводящие, так и не токопроводящие материалы.



Атомно-силовой микроскоп

Сегодня сканирующие зондовые микроскопы (СЗМ) являются основным инструментом исследований наноматериалов. Благодаря значительным усовершенствованиям они позволяют изучать топологию (геометрические особенности) исследуемых объектов, и другие характеристики:

твёрдость, магнитные и электрические свойства и др.

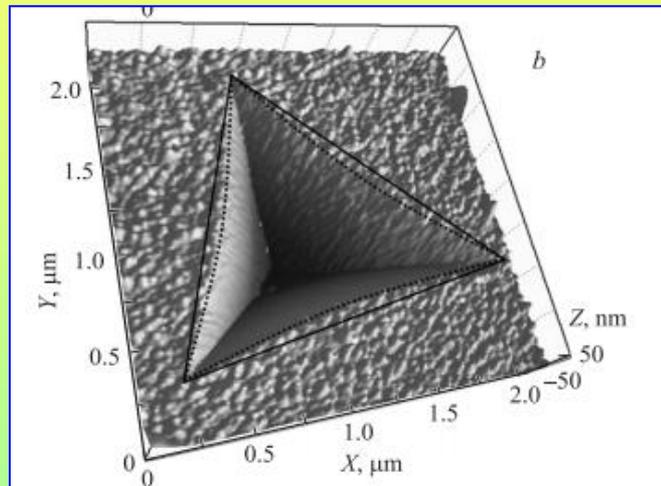
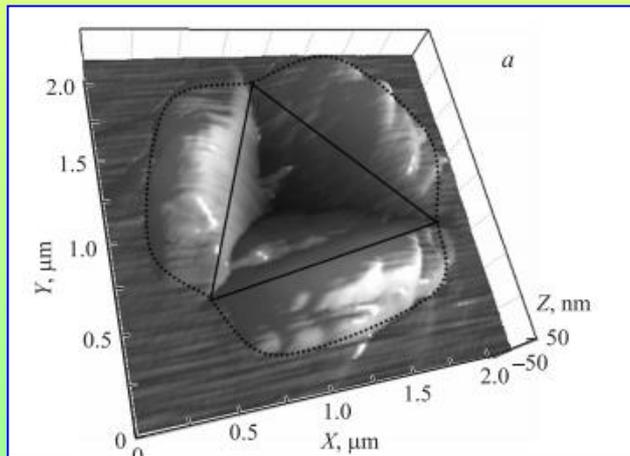


Рис. 4. Изображения отпечатков индентора Берковича в пленках As_2Se_3 (a) и Ge_2Se_3 (b), полученные сканированием в атомно-силовом микроскопе.

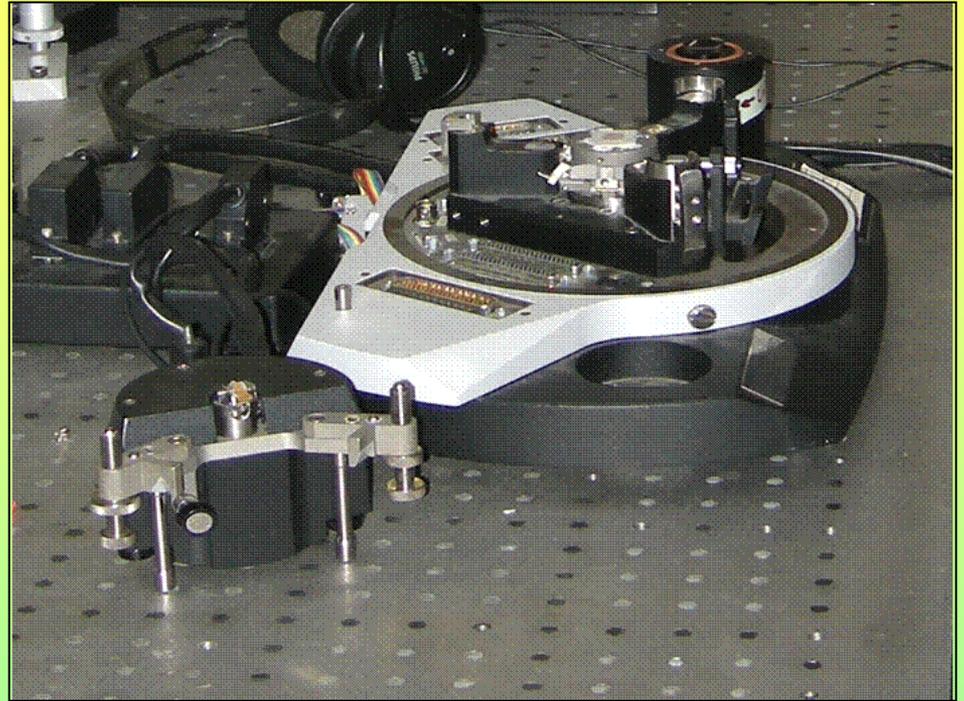
Кроме определения различных параметров, современные СЗМ позволяют **манипулировать** **нанообъектами**,

обеспечивая захват отдельных атомов и перенос их в новую позицию, производить атомарную сборку проводников шириной в один атом, придавая тем самым поверхностям различных предметов новые нужные качества.



Атомно-силовая микроскопия

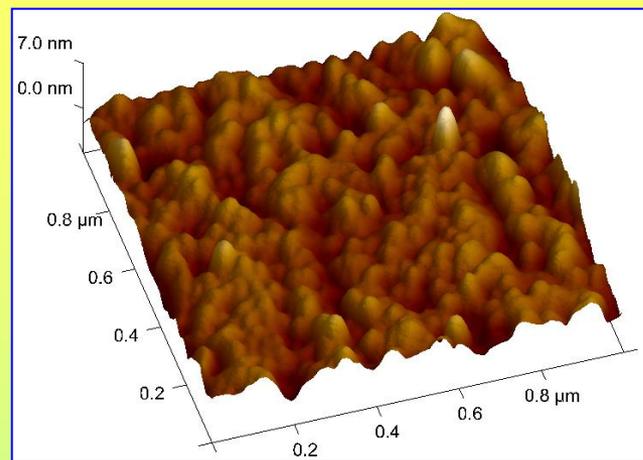
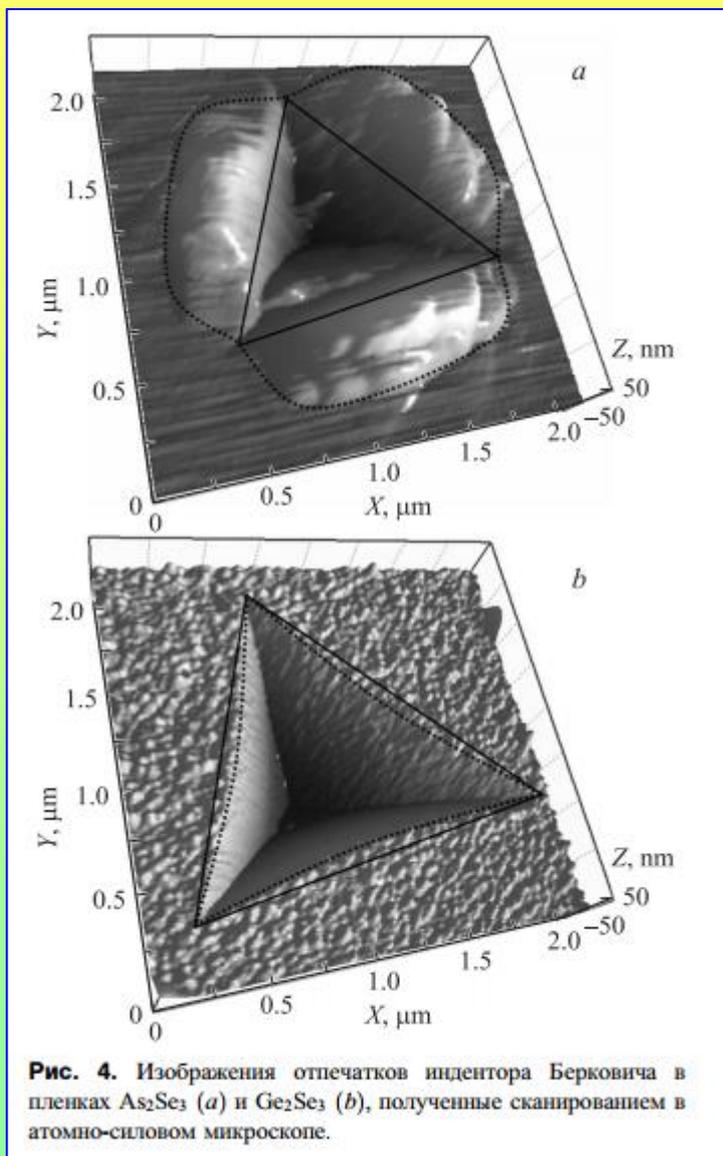
Атомно-силовые микроскопы



Используется для определения рельефа поверхности с разрешением от десятков ангстрем (1 ангстрем= 10^{-10} м) вплоть до атомарного. В отличие от сканирующего туннельного микроскопа, с помощью атомно-силового микроскопа можно исследовать как проводящие, так и непроводящие поверхности. Ввиду способности не только сканировать, но и манипулировать атомами, назван силовым.



Атомно-силовая микроскопия



3D изображение
топографии
поверхности
образца n-Si.
Размер кадра
 $1 \times 1 \mu\text{m}^2$.



Список литературы к лекции 11

1) Мощенок В.И. Новые методы определения твердости материалов : монография / В.И. Мощенок. – 2-е изд. доп. и перераб. – Х. : ХНАДУ, 2013. – 324 с.

2) Биланич В.С, Кикемезей С.С., Ризак И.М., Ризак В.М. Исследование динамики и механизмов деформирования тонких халькогенидных плёнок $As(Ge)_2Se_3$ методом наноиндентирования // Физика твёрдого тела, 2011.-Т. 53, Вып.11.- С. 2200-2203.

3) Азаренков Н.А., Верёвкин А.А., Ковтун Г.П. Основы нанотехнологий и наноматериалов: учебное пособие.-Х.: Изд-во ХНГУ им. В.Н. Каразина, 2009.- 66 с.



Контрольные вопросы

1. На каком принципе основаны приборы для измерения нанотвёрдости по восстановленному отпечатку?

2. Как устроен атомно-силовой микроскоп?

3. Как устроен сканирующий туннельный микроскоп?

Задания для самостоятельной работы

- 1. Изучить принцип работы и области применения растровых электронных микроскопов.**
- 2. Изучить устройство и области применения сканирующих туннельных микроскопов.**



Кафедра технології металлов и матеріалознавства

Лалазарова Наталиа Алексеевна

E-mail: lalaz1991@mail.ru

г. Харьков, ул. Петровского, 25, ХНАДУ, КАФЕДРА ТМ и М

Tel.(8-057)707-37-92

