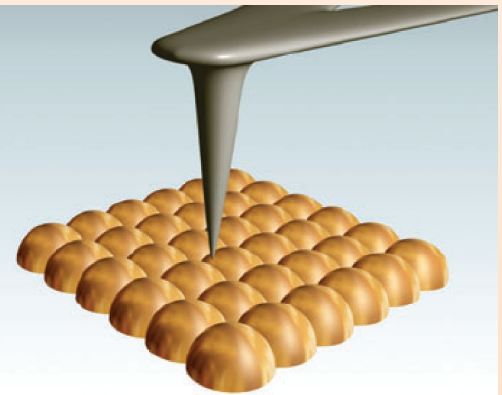


Применение зондовой микроскопии в нанотехнологиях



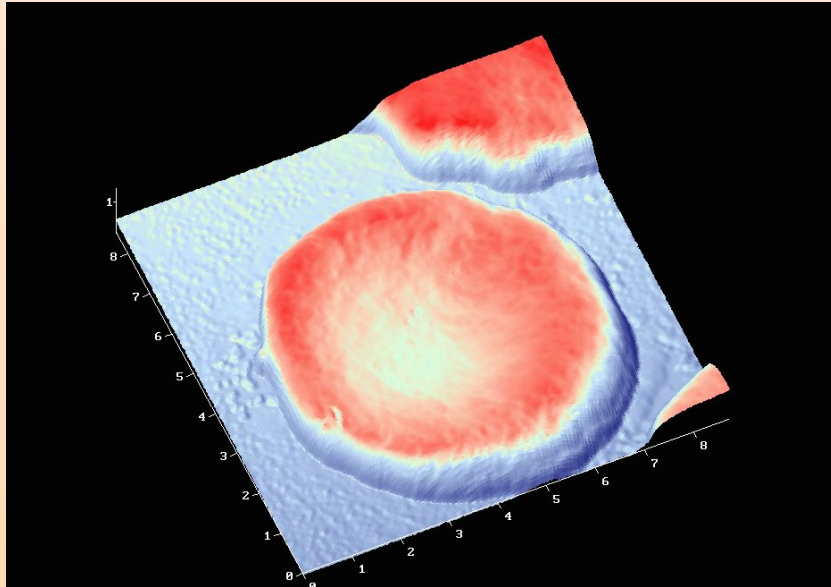
чл.-корр. АНТ, проф. Бухараев А.А.

**Казанский физико-технический институт
им. Е.К.Завойского Казанского научного центра РАН
*лаборатория физики и химии поверхности***

**Институт физики Казанского федерального университета,
*кафедра оптики и нанофотоники***

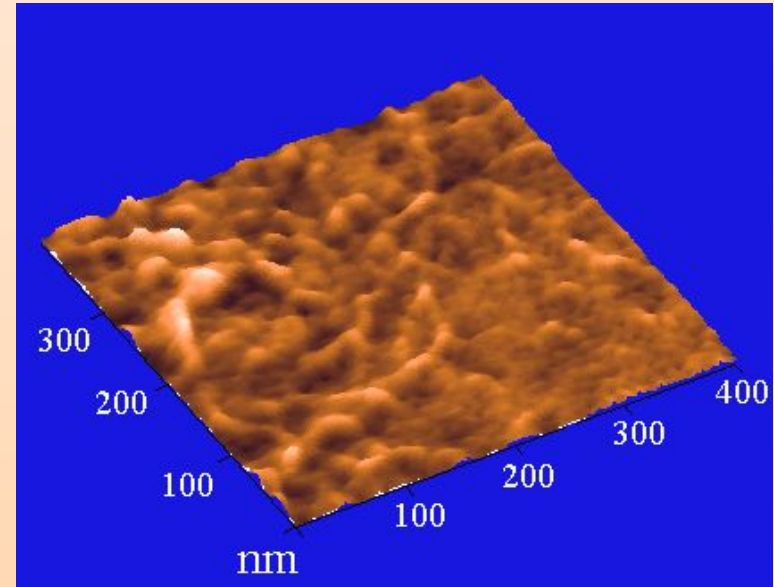
Примеры изображений микро и нанообъектов различного размера

(получены с помощью АСМ - атомно-силового микроскопа)



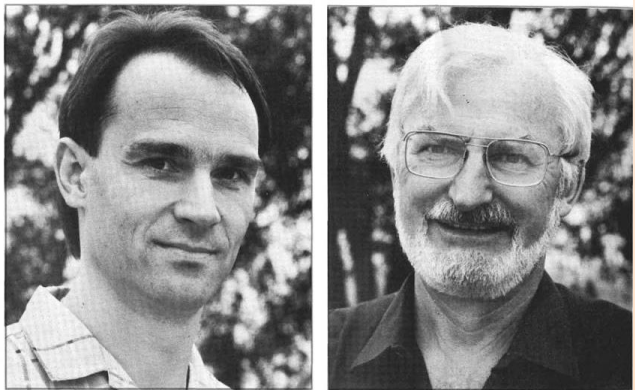
Увеличение в 10 000 раз !!!

АСМ-изображение эритроцита (~5 мкм).



Увеличение в 250 000 раз !!!

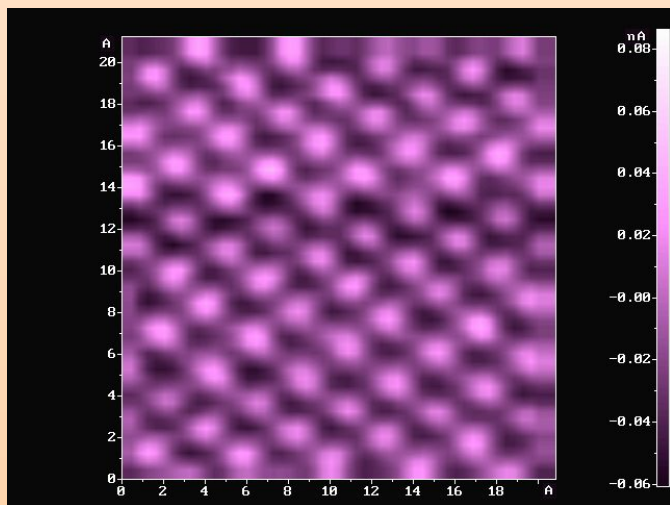
АСМ-изображение глобулярной структуры мембраны (поверхности) эритроцита)



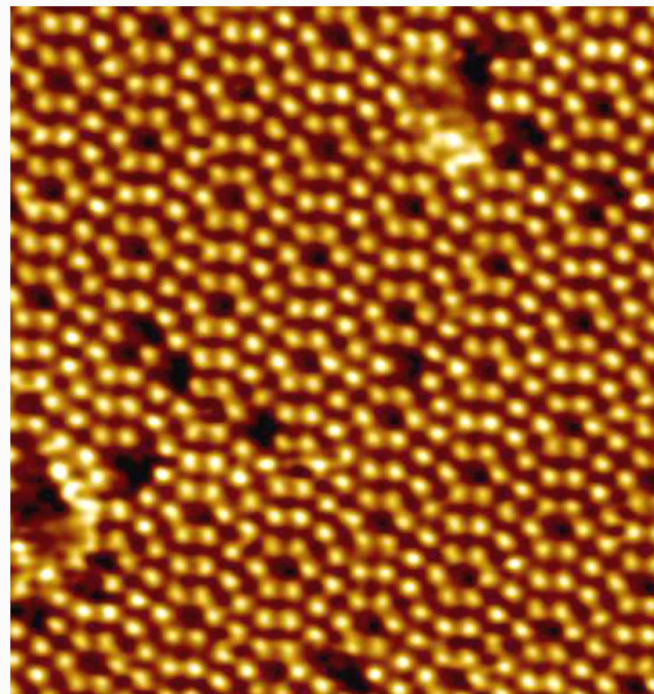
Герд Бинниг

Генрих Рорер

Изобретатели сканирующего туннельного микроскопа (СТМ), лауреаты Нобелевской премии по физике за 1986 г. Г. Бинниг и Г. Рорер.



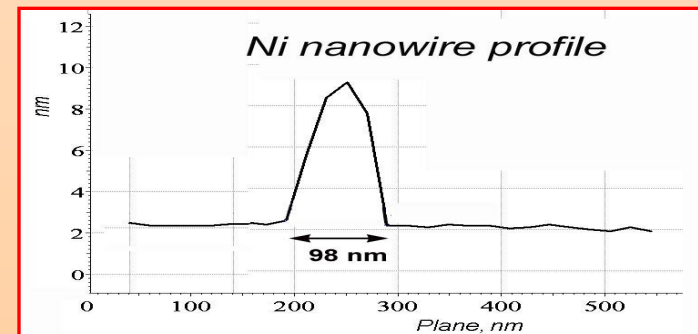
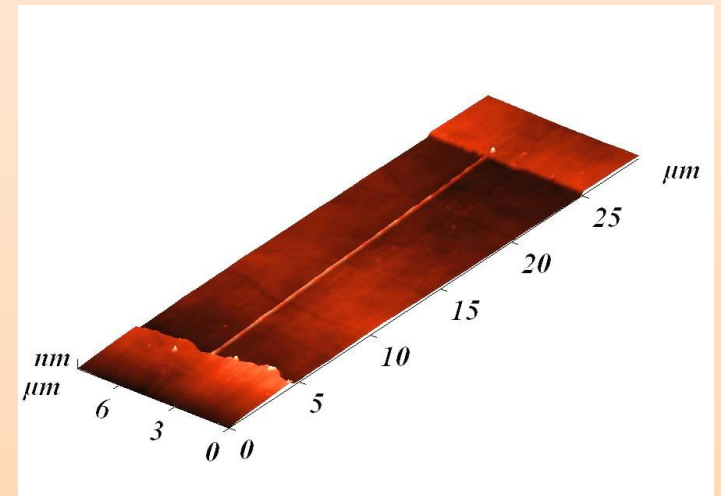
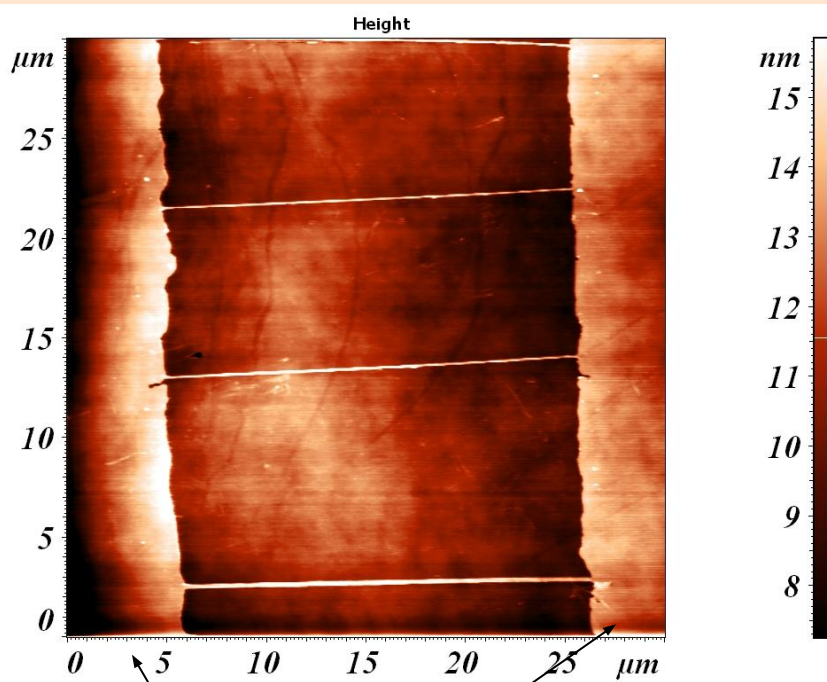
СТМ изображение атомов углерода на поверхности пиролитического графита



Изображение атомов кремния: структура Si (111)-(7x7), полученное с помощью сверхвысоковакуумного сканирующего туннельного микроскопа Multiprobe P (фирмы Omicron). КФТИ - декабрь 2006 г.

Увеличение в 1 000 000 раз !!!

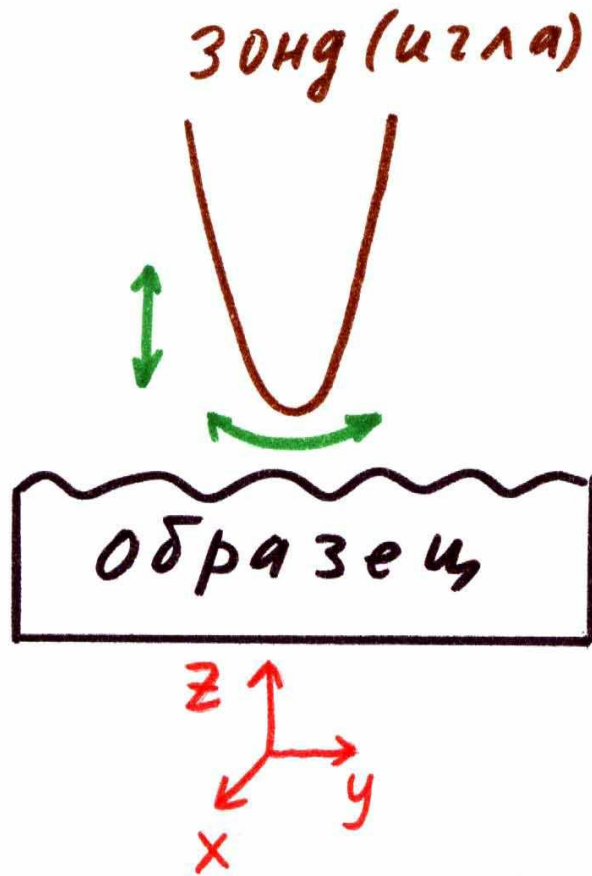
АСМ изображения нанопроволок никеля сечением 10x100 нм, полученных с помощью сканирующей зондовой литографии



Микроконтактные площадки

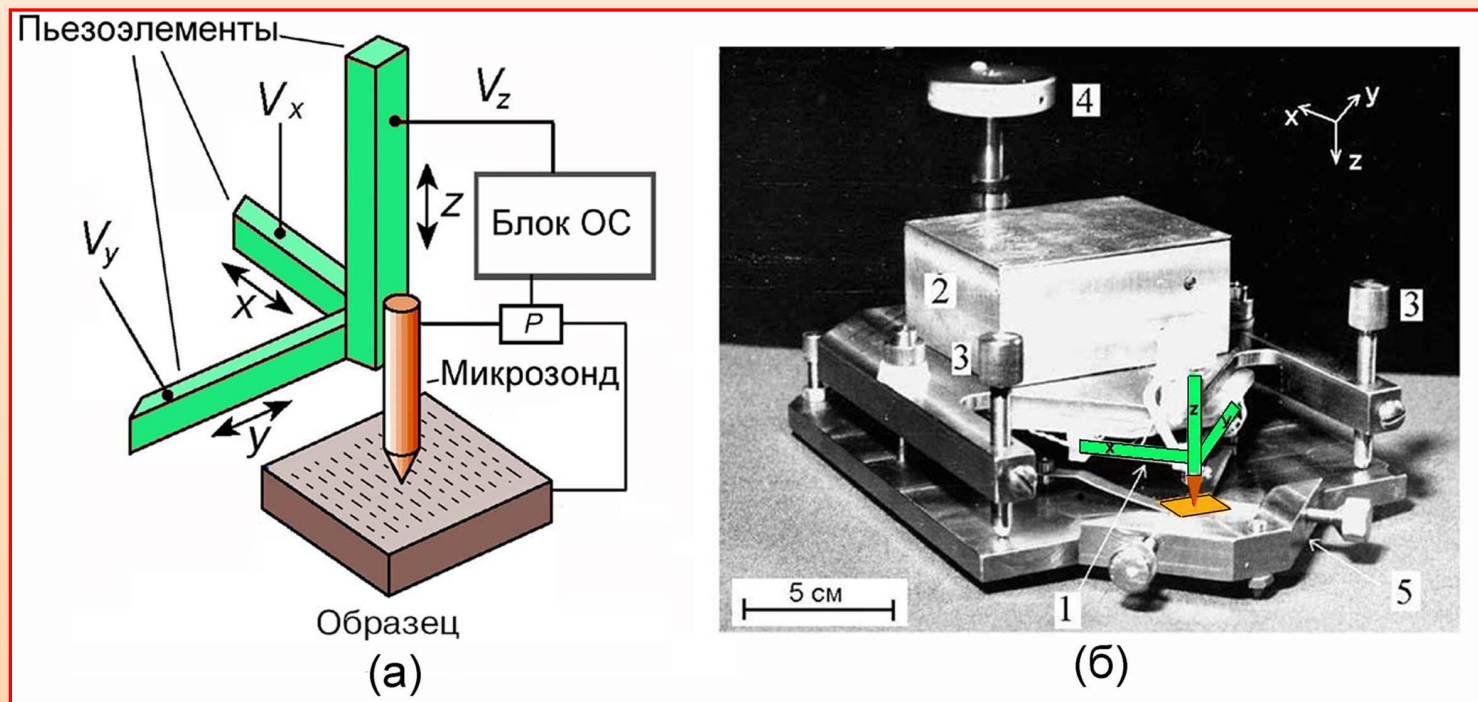
Профиль нанопроволоки Ni

Сканирование – построчное перемещение сверхострой иголки вдоль поверхности



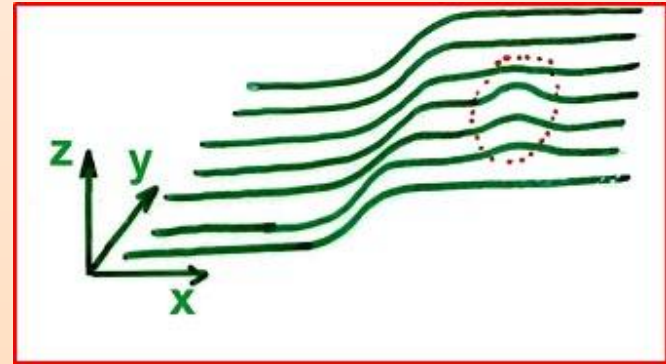
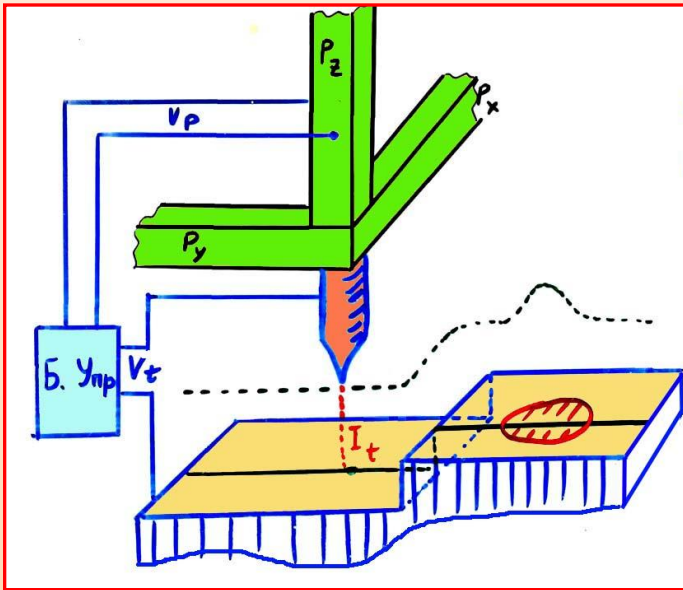
- иголка:
1. проводящая
 2. непроводящая
 3. ферромагнитная
 4. световод

Сканирующий туннельный микроскоп (СТМ) с пьезодвигателем типа трипод, созданный в Казанском ФТИ РАН в 1993 году под руководством автора.

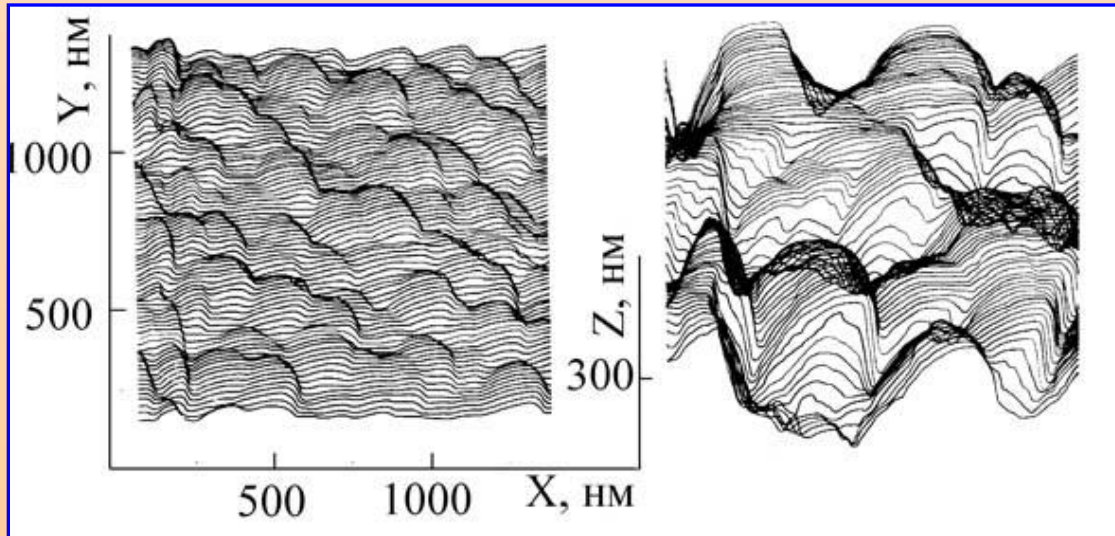


а – схема сканера; б – фотография СТМ,
1 – трехкоординатный пьезодвигатель,
2 – предусилитель туннельного тока,
3, 4 – микрометрические винты рычажного редуктора для подвода иглы СТМ к образцу,
5 – микрометрические винты для перемещения образца.

Схема работы СТМ



Профили, отображающие рельеф поверхности, полученные при сканировании в режиме постоянного туннельного тока.



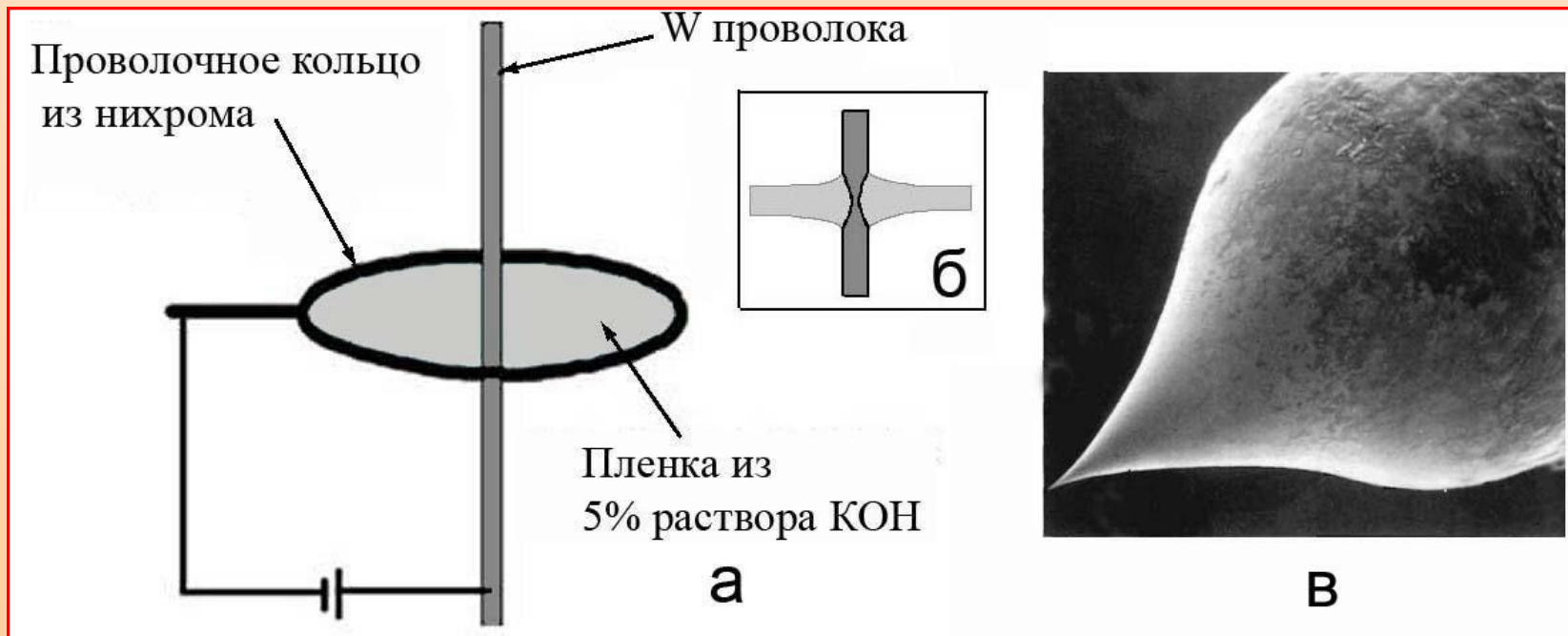
Экспериментальные СТМ изображения поверхности Si, подвергнутого ионному облучению.

Изготовление микрозонда для СТМ из W проволоки:

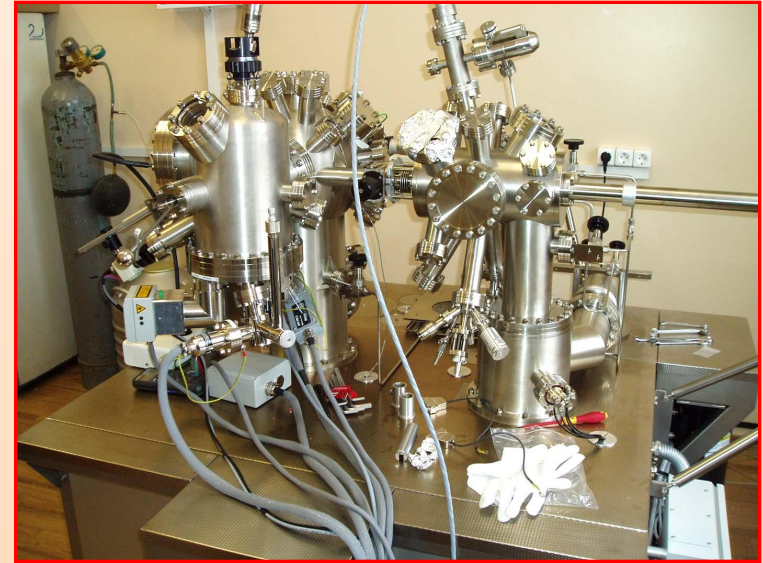
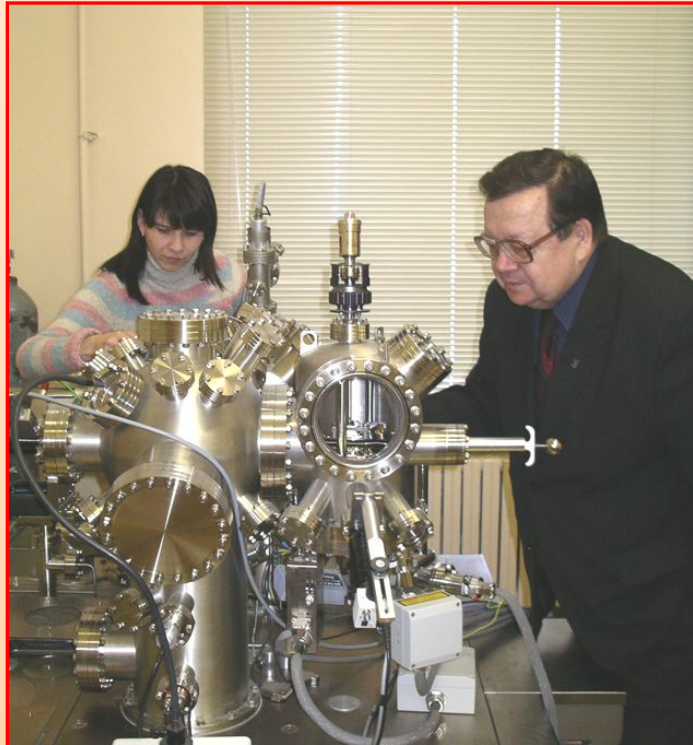
а – схема электрохимического перетравливания проволоки,

б – место соприкосновения раствора щелочи и проволоки, где происходит травление,

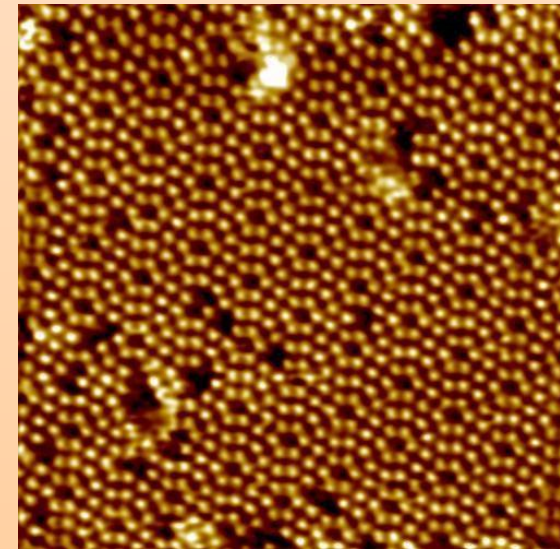
в – изображение кончика W иглы, полученное с помощью растрового электронного микроскопа с увеличением в 75 раз.



Изображения отдельных атомов на поверхности кристаллов лучше всего получать в сверхвысоком вакууме.

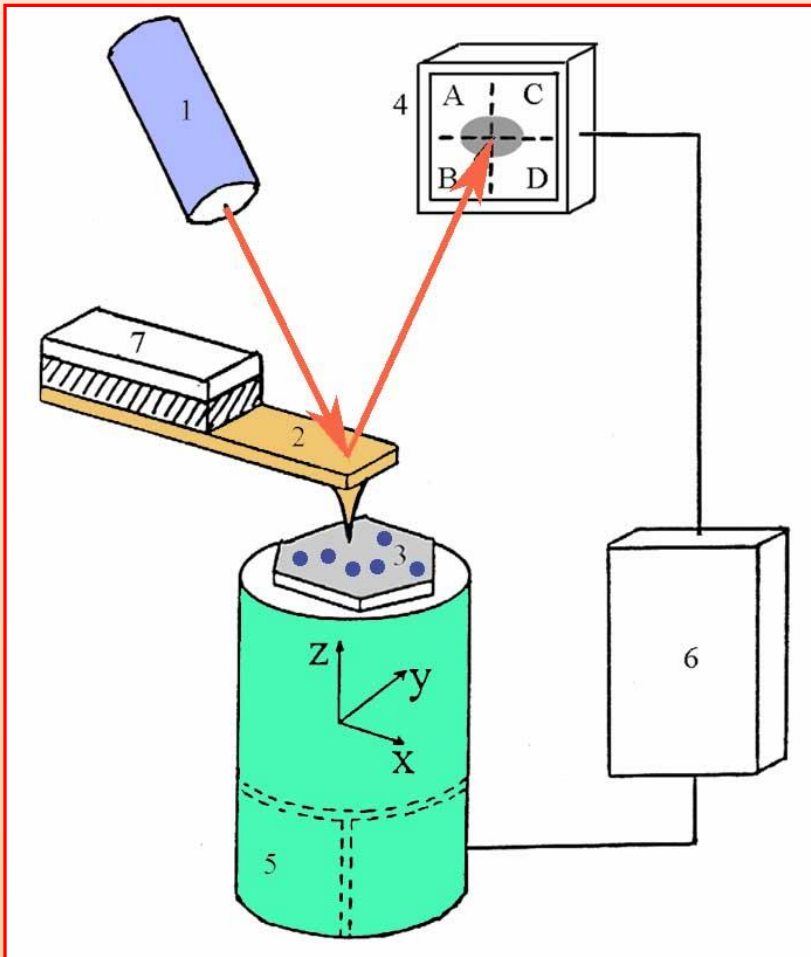


**Сверхвысоковакуумный СЗМ
фирмы «Omicron»**



**СТМ изображение структуры (7x7) из
отдельных атомов кремния**

Схема атомно-силового микроскопа



1 - лазер

2 - кантилевер(микросонд)

3 - образец

4 - четырехсекционный
фотодиод

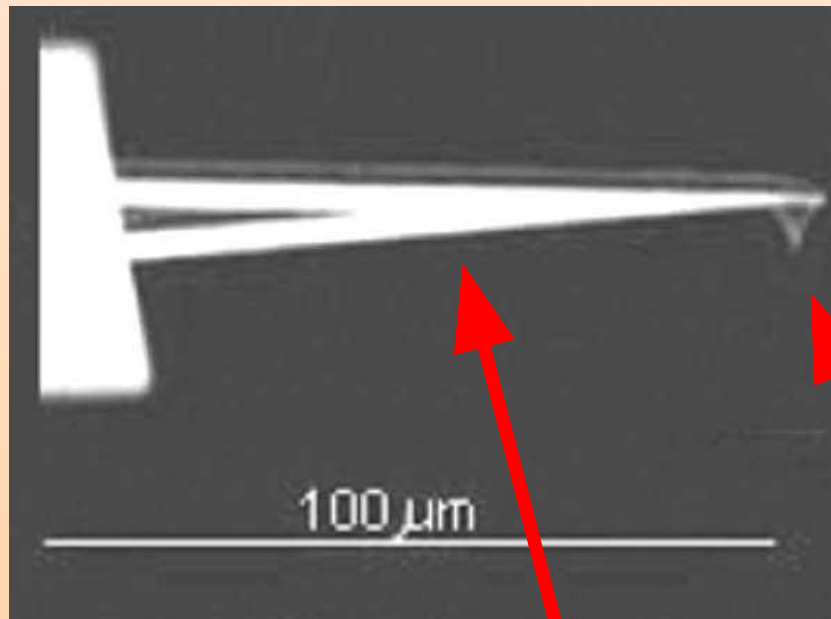
5 - трубчатый
пьезодвигатель

6 - блок обратной связи

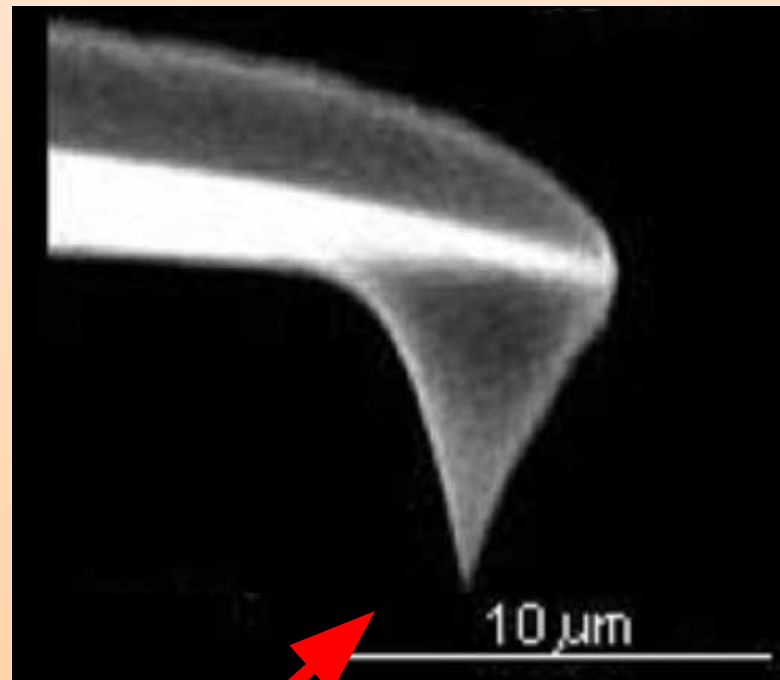
7 - пьезомодулятор

Микрозонд - кантилевер АСМ

(Фотографии получены на сканирующем электронном микроскопе)



Балка кантилевера

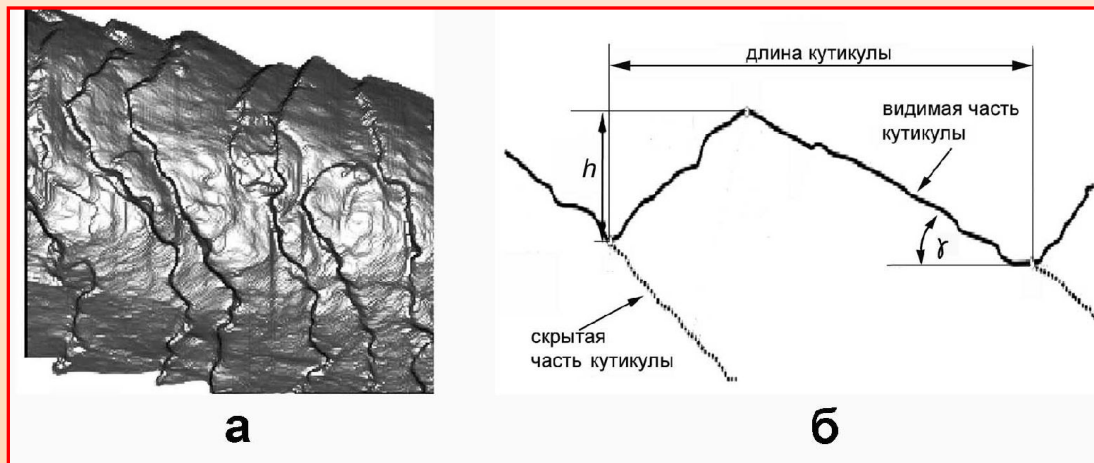


Игла кантилевера

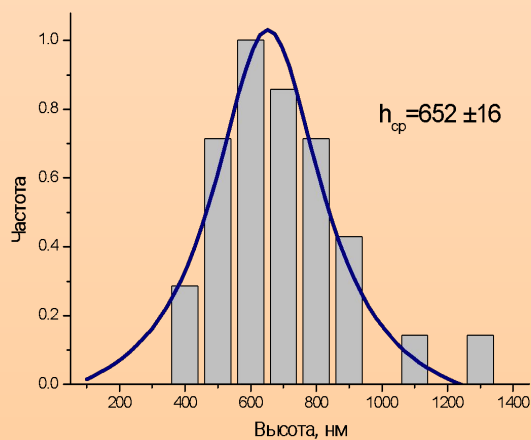
Атомно-силовой микроскоп Solver P47
российской фирмы НТ-МДТ (Зеленоград)



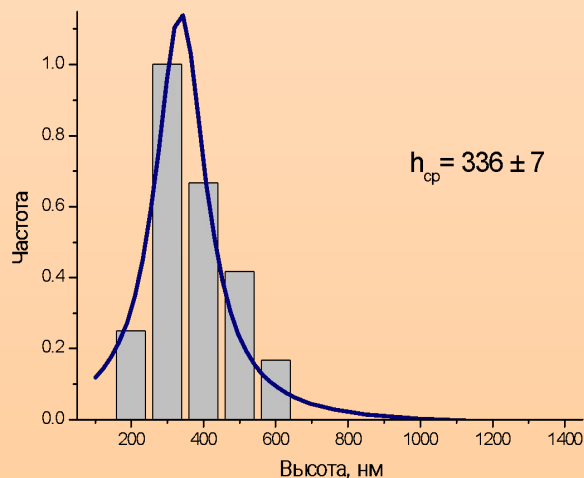
С помощью АСМ получают трехмерные изображения поверхности. Это позволяет, например, изучать воздействие косметических препаратов на структуру волоса



а – 3D изображение фрагмента волоса человека;
б – профиль волоса, по которому определяется высота кутикулы (h).



а

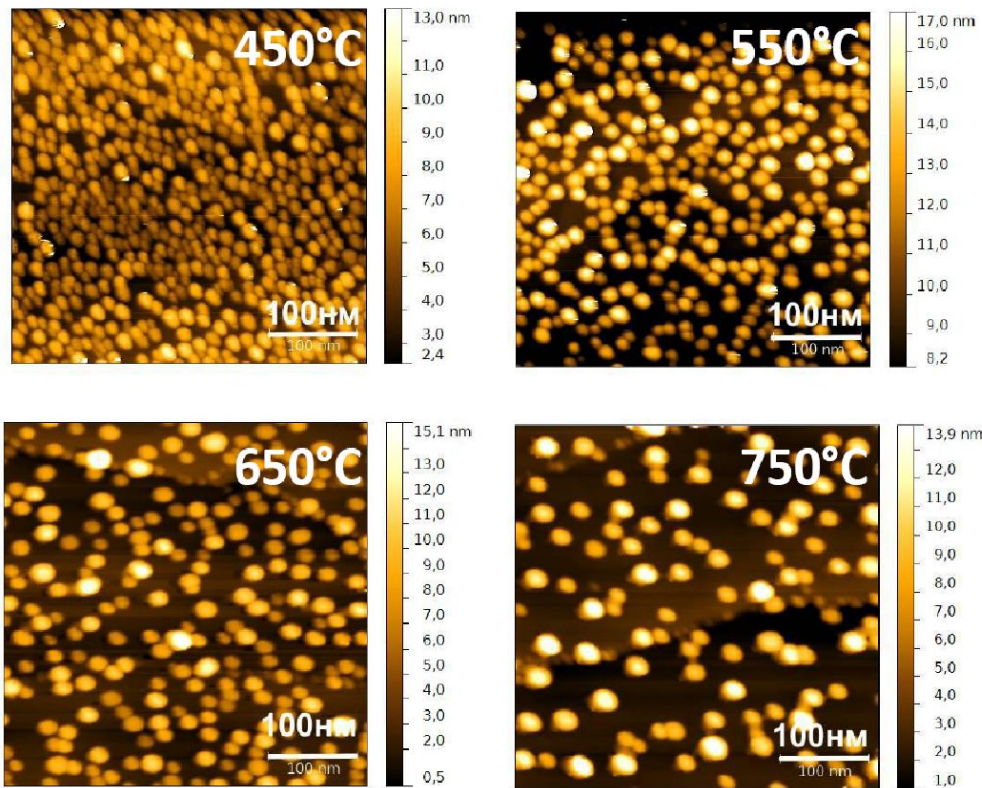


б

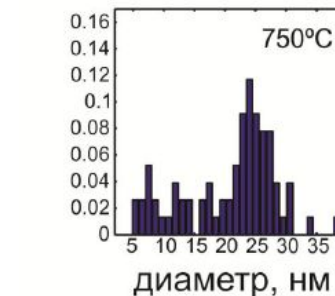
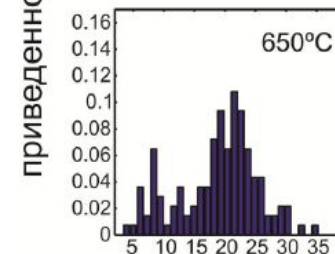
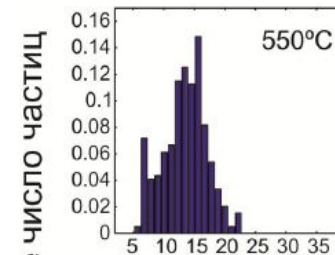
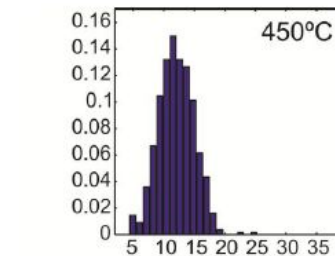
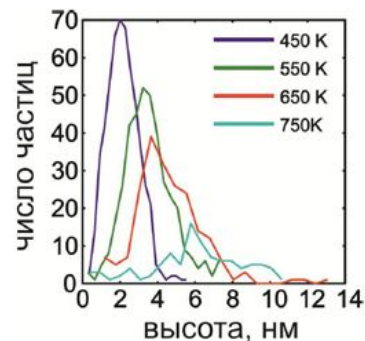
Уменьшение высоты кутикул под действием демитикона :
а - волос, повреждённый химической завивкой,
б - этот же волос, обработанный диметиконом

Пример использования АСМ при изучении процессов формирования наночастиц Co, на поверхности графита.

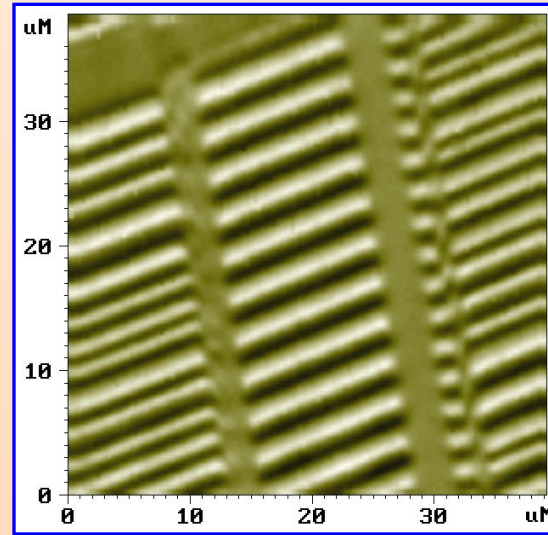
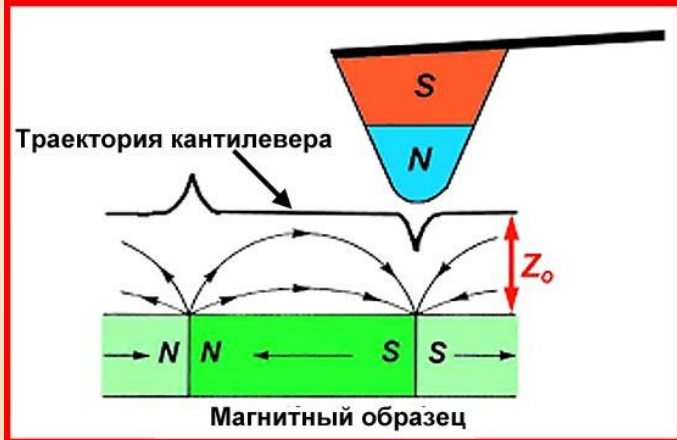
Поверхность ВОПГ на разных стадиях нагрева



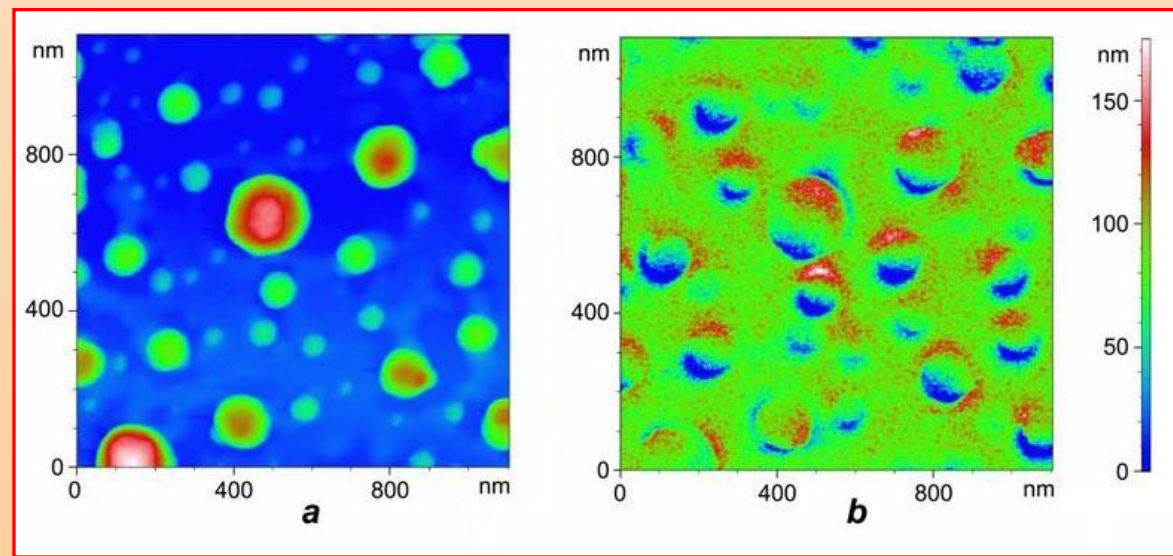
Гистограммы распределения высот и диаметров частиц после отжига при различных температурах



Магнитно-силовой микроскоп - атомно-силовой микроскоп с магнитным зондом

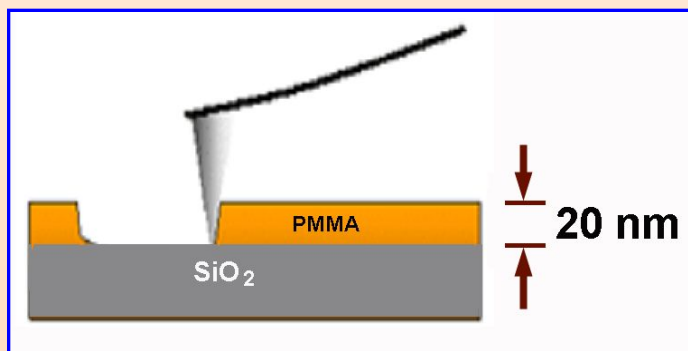


МСМ
изображение
поверхности
винчестера ПК
с записанной
информацией

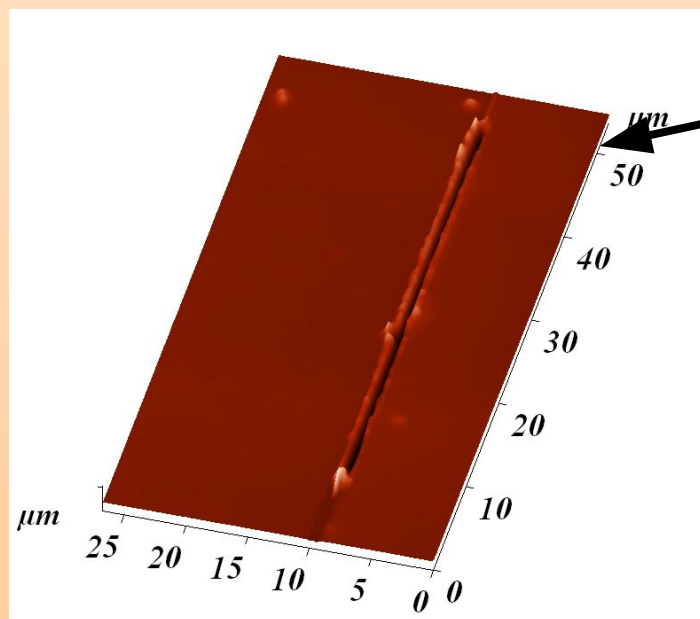


АСМ (a) и МСМ (b) изображения наночастиц Co

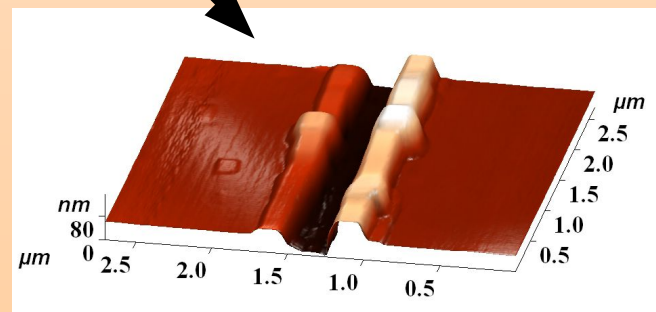
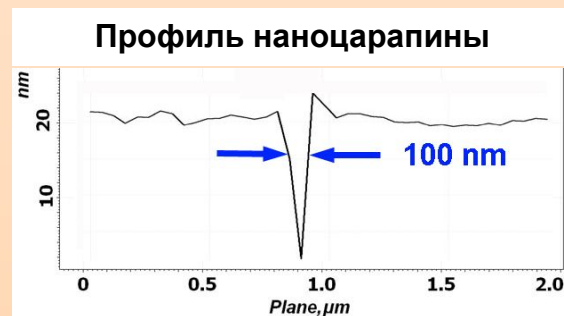
Сканирующая зондовая нанолитография



Скрайбирование (удаление) нанослоя полимера иглой АСМ.

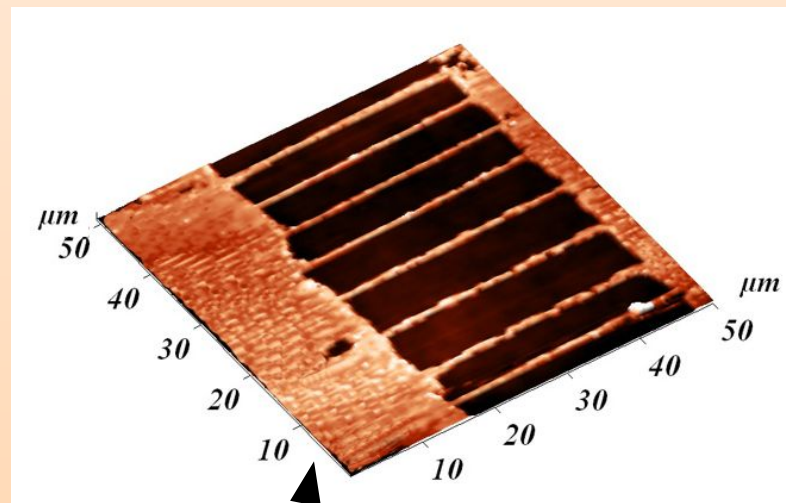
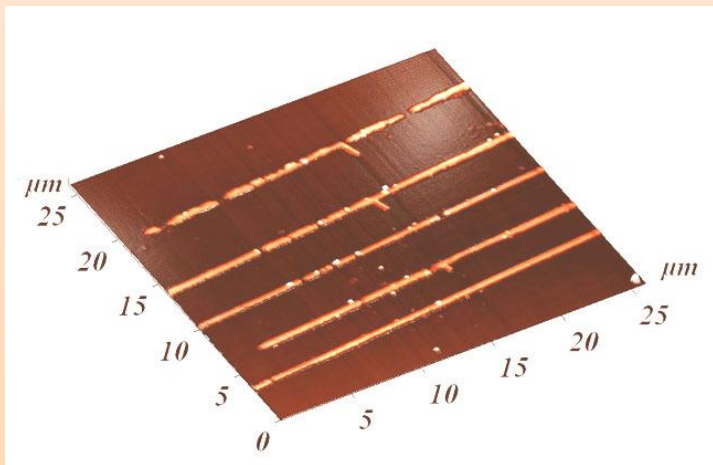


Нанозарапины

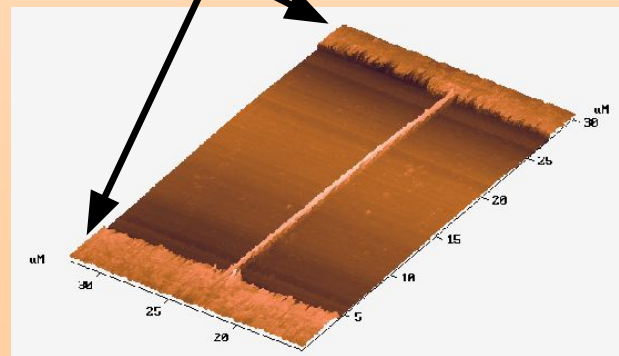
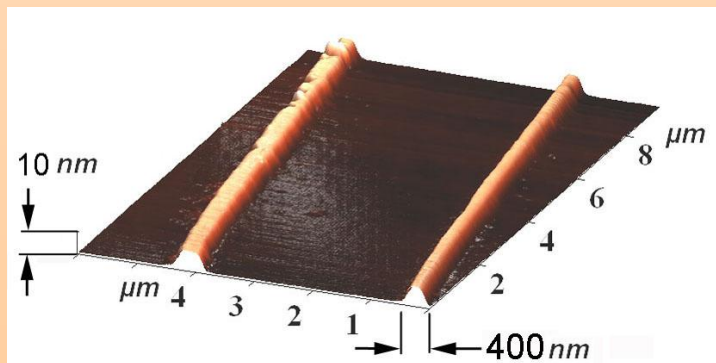


АСМ изображения поверхности полимера после скрайбирования

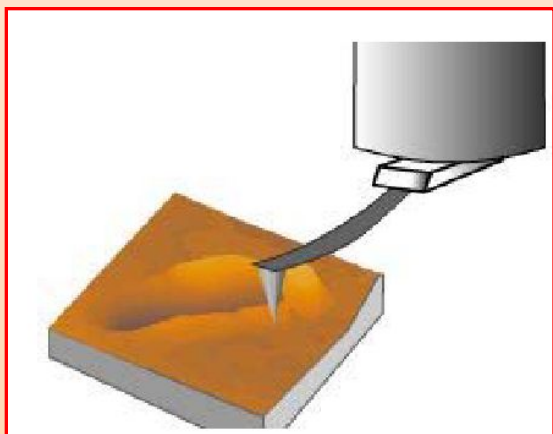
АСМ изображения нанопроволок Co на поверхности диоксида кремния, полученных методом сканирующей зондовой нанолитографии



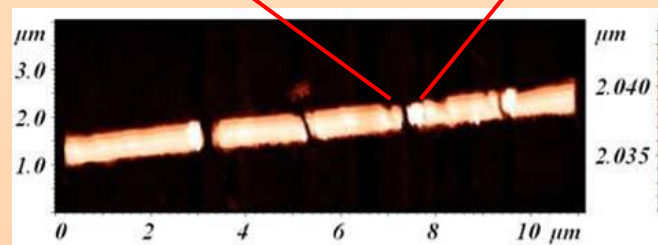
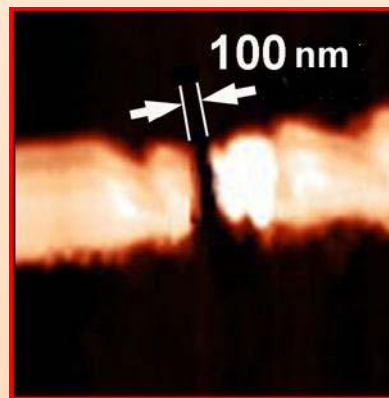
Микроконтактные площадки



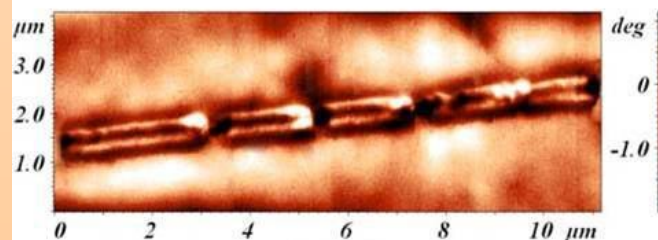
Резка нанопроволоки Co на отдельные фрагменты иглой АСМ



Скрайбирование



АСМ изображение



МСМ изображение

Заключение

- ❑ Современный уровень сканирующей зондовой микроскопии позволяет наряду с морфологией поверхности определять упругие, адгезионные, электрические, магнитные и другие характеристики с нанометровым пространственным разрешением.
- ❑ Важно, что многие процессы на поверхности можно изучать в реальном масштабе времени.
- ❑ С помощью СЗМ можно создавать наноструктуры методом литографии и путем перемещения атомов и молекул по заданной траектории.