

# 扫描隧道显微镜与原子力显微镜

Scanning Tunneling Microscope (STM)  
&  
Atomic Force Microscope (AFM)

邹滔滔 2023(f)

# 不同显微镜的对比：

## ❖ 光学：

- 折射、衍射、反射
- 白光、荧光、激光

## ❖ 电子：

- 折射、衍射、反射
- 电子束

## ❖ 探针扫描：

- 探针与样品表面的相互作用

# 不同显微镜的对比:

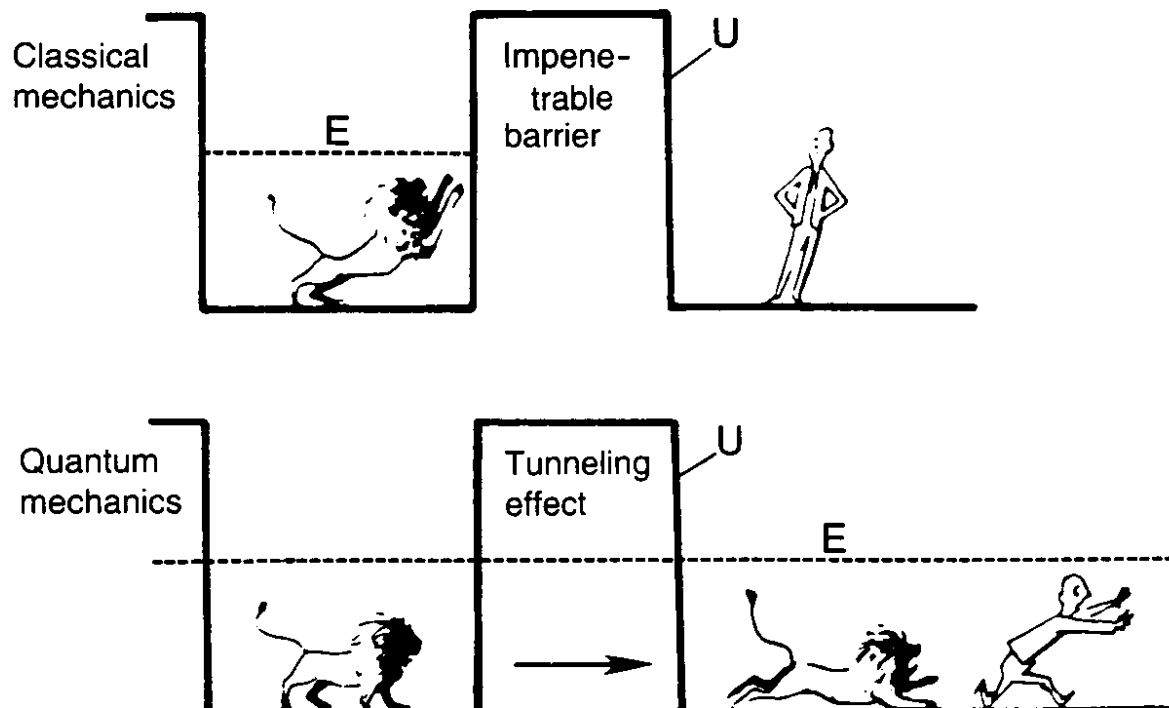
Technique	Image Formed By	Lowest Resolvable Unit	Approx Lower Limit
Optical Microscopy	Light Rays	Microns ( $\mu\text{m}$ )	1 $\mu\text{m}$ (monochromatic light)
Confocal Microscopy	Coherent Light Source (Laser)	Microns ( $\mu\text{m}$ )	.1 $\mu\text{m}$ (X-Y Direction)
Transmission Electron Microscopy (TEM)	Electrons	Angstroms ( $\text{\AA}$ )	2 $\text{\AA}$ (high resolution TEM)
Scanning Electron Microscopy (SEM)	Electrons	Nanometers (nm) to Angstroms ( $\text{\AA}$ )	10 nm (100 $\text{\AA}$ )
Atomic Force & Scanning Tunneling Microscopies (AFM/STM)	Molecular Mechanical Probes	Angstroms ( $\text{\AA}$ )	40 $\text{\AA}$ (theoretical)

# 扫描隧道显微镜（STM）的发明

- ❖ 光学显微镜不能观察到纳米级的微观粒子。
- ❖ 电子显微镜由于高速电子容易透入物质深处，低速电子又容易被样品的电磁场偏折，故电子显微镜很少能对表面结构有所揭示。

以上两种显微镜都不能用于研究物质的微观表面，人们急需一种能够观测物质表面结构的显微术。

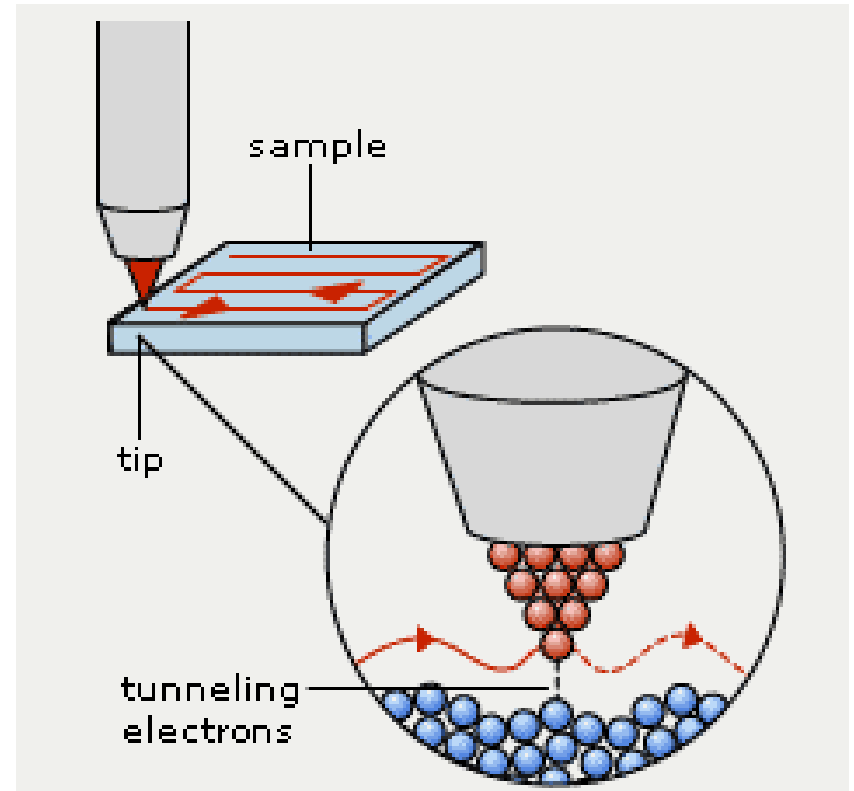
# STM的发明



❖ 对于经典物理学来说，当一个粒子的动能 $E$ 低于前方势垒的高度 $V_0$ 时，它不可能越过此势垒，即透射系数等于零，粒子将完全被弹回。而按照量子力学的计算，在一般情况下，其透射系数不等于零，也就是说，粒子可以穿过比它能量更高的势垒，这个现象称为隧道效应。

# STM的基本原理

- ❖ 将原子线度的极细探针和被研究物质的表面作为两个电极，当样品与针尖的距离非常接近(通常小于1nm)时，在外加电场的作用下，电子会穿过两个电极之间的势垒流向另一电极。



(被观测样品应具有一定的导电性才可以产生隧道电流)

# STM的基本原理

❖ 隧道电流强度对针尖和样品之间的距离有着指数依赖关系：

$$I \propto V_b \exp\left(-A\phi^{\frac{1}{2}}S\right)$$

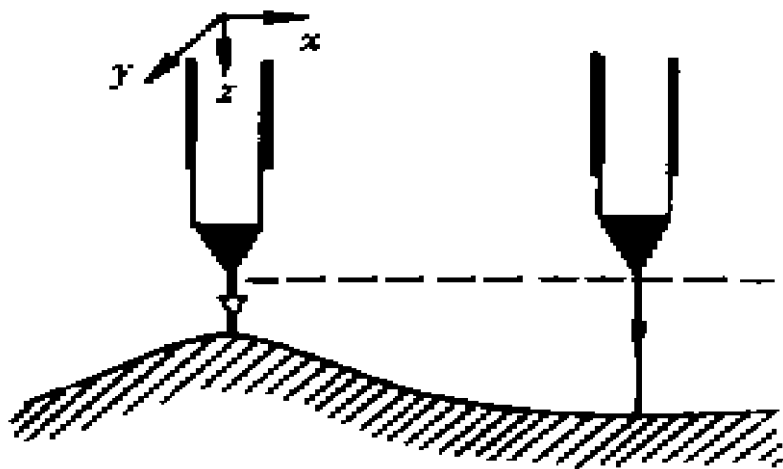
→ I 是隧道电流

→ S 是针尖和样品之间距离

# STM的工作模式

## ❖ 恒高模式

$x, y$ 方向仍起着扫描的作用, 而 $z$ 方向则保持水平高度不变, 由于隧道电流随距离有着明显的变化, 只要记录电流变化的曲线, 就可以给出高度的变化

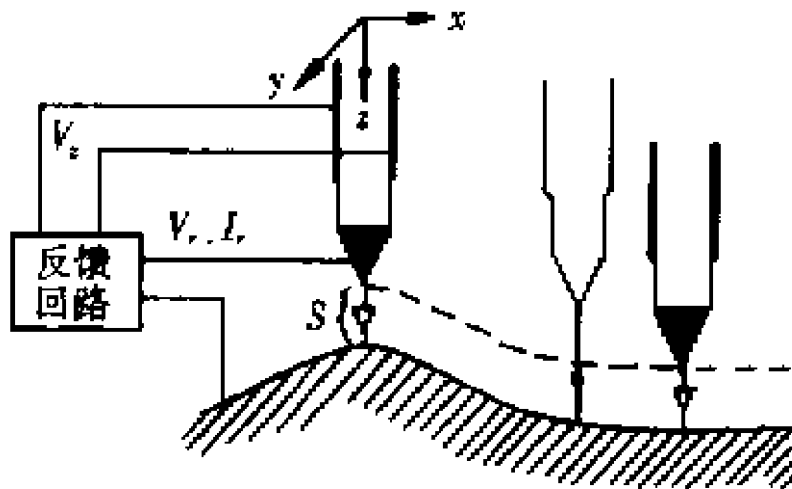




# STM的工作模式

## ❖ 恒流模式

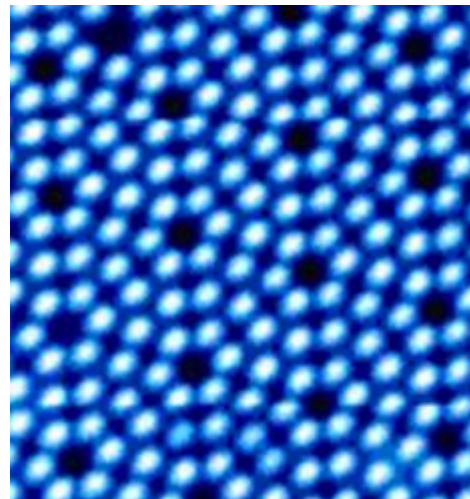
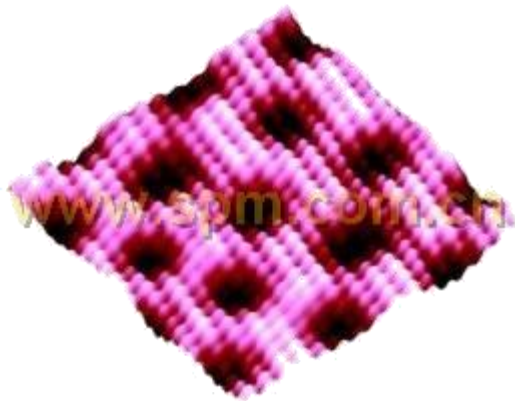
$x$ ,  $y$ 方向起着扫描作用，而 $z$ 方向具有一套反馈系统，初始的隧道电流为一恒定值，当样品表面凸起时，针尖就会后退，以保持隧道电流的值不变；当样品表面凹进时，反馈系统将使针尖向前移动，计算机记录了针尖上下移动的轨迹，合成起来，就可给出样品表面的三维行貌图。



# STM的应用

## ❖ “看见”了以前所看不到的东西

STM具有惊人的分辨本领，水平分辨率小于0.1纳米，垂直分辨率小于0.001纳米。一般来讲，物体在固态下原子之间的距离在零点一到零点几个纳米之间。在扫描隧道显微镜下，导电物质表面结构的原子、分子状态清晰可见。



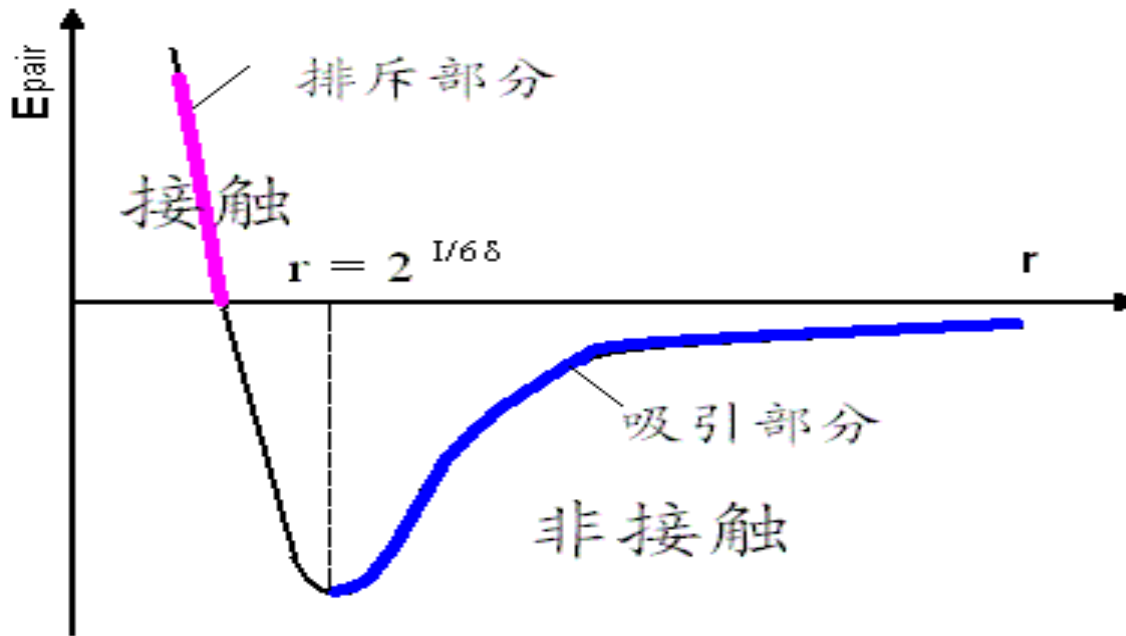
# STM的局限性

- ❖ 扫描隧道显微镜所观察的样品**必须具有一定程度的导电性**，对于半导体，观测的效果就差于导体，对于绝缘体则根本无法直接观察。如果在样品表面覆盖导电层，则由于导电层的粒度和均匀性等问题又限制了图象对真实表面的分辨率。

# 原子力显微镜（AFM）的基本原理

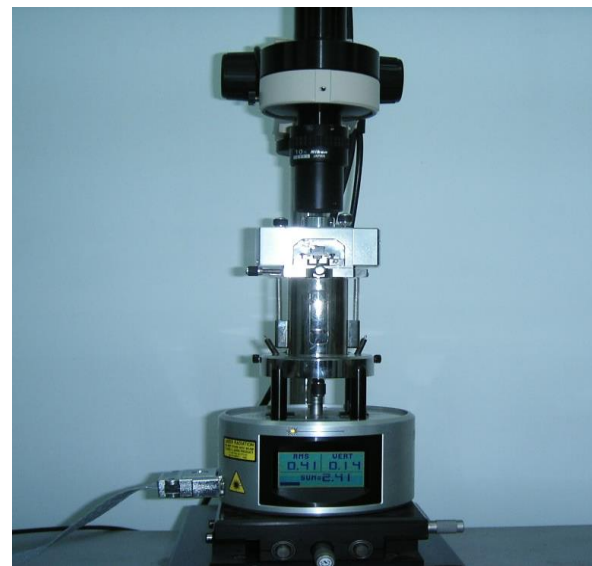
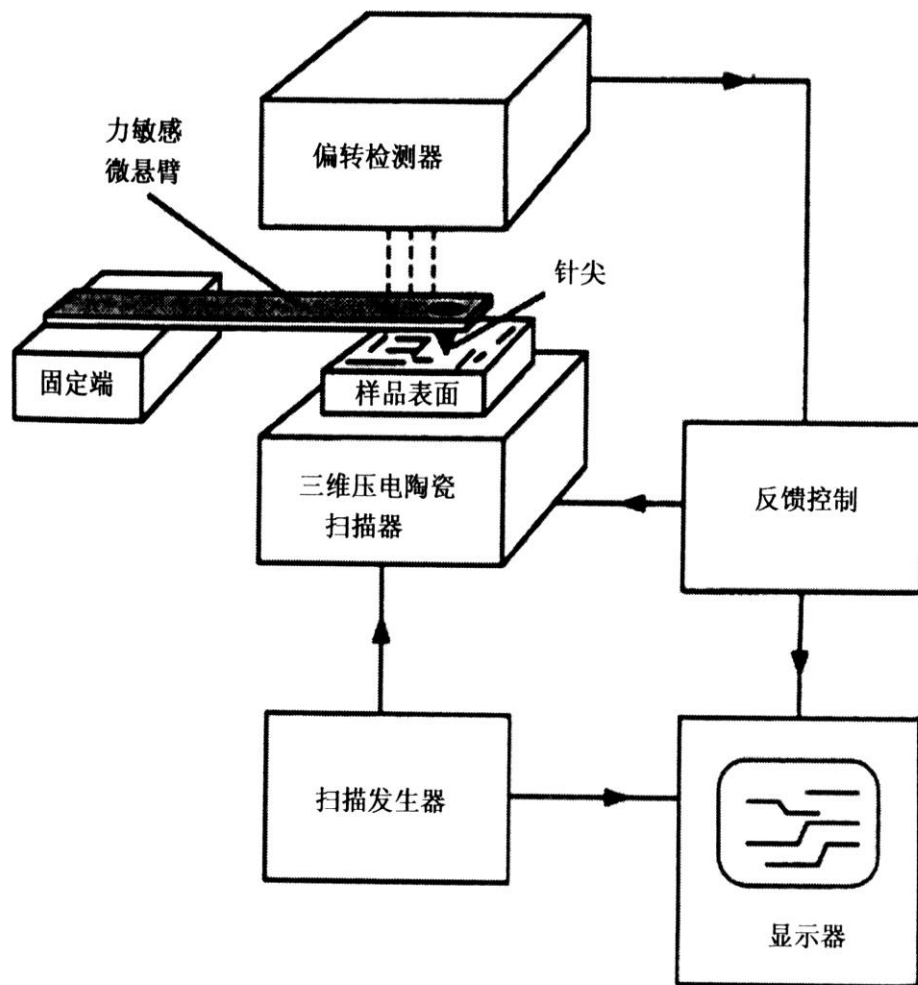
- ❖ 原子力显微镜是一种类似于扫描隧道显微镜的显微技术，它的仪器构成（机械结构和控制系统）在很大程度上与扫描隧道显微镜相同。如用三维压电扫描器，反馈控制器等。
- ❖ 它们的主要不同点是扫描隧道显微镜检测的是针尖和样品间的隧道电流，而原子力显微镜检测的是针尖和样品间的力。

# AFM的基本原理



- ❖ 假设两个原子，一个是在探针尖端，另一个是在样本表面，随着它们之间的距离发生变化，它们间的作用力也随之改变。原子力显微镜就是利用这种原子间距离和作用力的对应关系来把样品表面的原子形貌呈现出来。

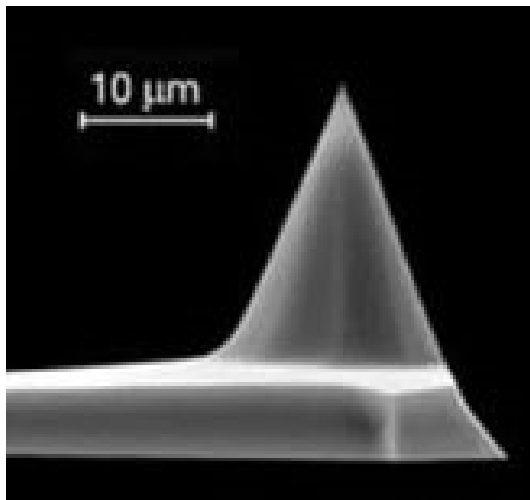
# AFM的基本结构



- 1、探针系统
- 2、扫描系统
- 3、检测系统
- 4、反馈系统

# AFM的基本结构

## ❖ 探针系统

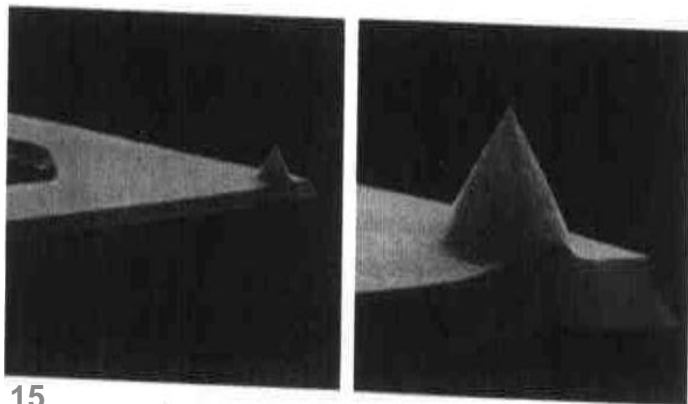


AFM探针的针尖

→ 探针组件是AFM的关键部分。由微悬臂和微悬臂末端的针尖组成。

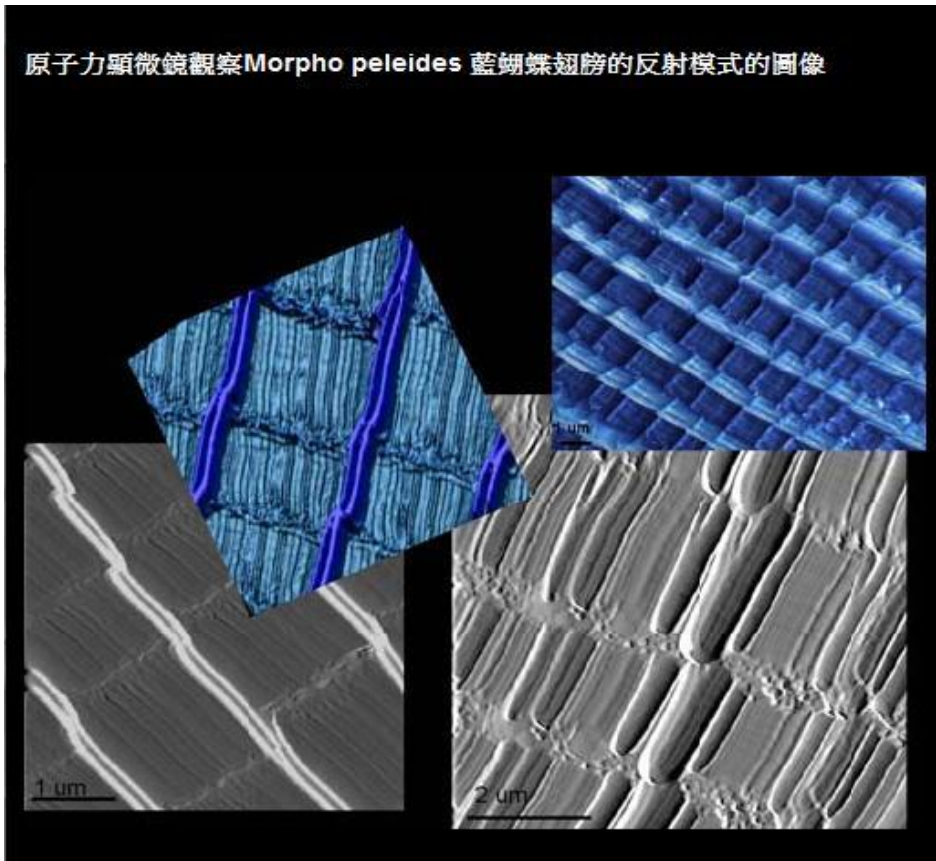
→ 随着精细加工技术的发展，人们已经能制造出各种形状和特殊要求的针尖。

→ 微悬臂是由Si或Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>经光刻技术加工而成的。微悬臂的背面镀有一层金属以达到镜面反射。

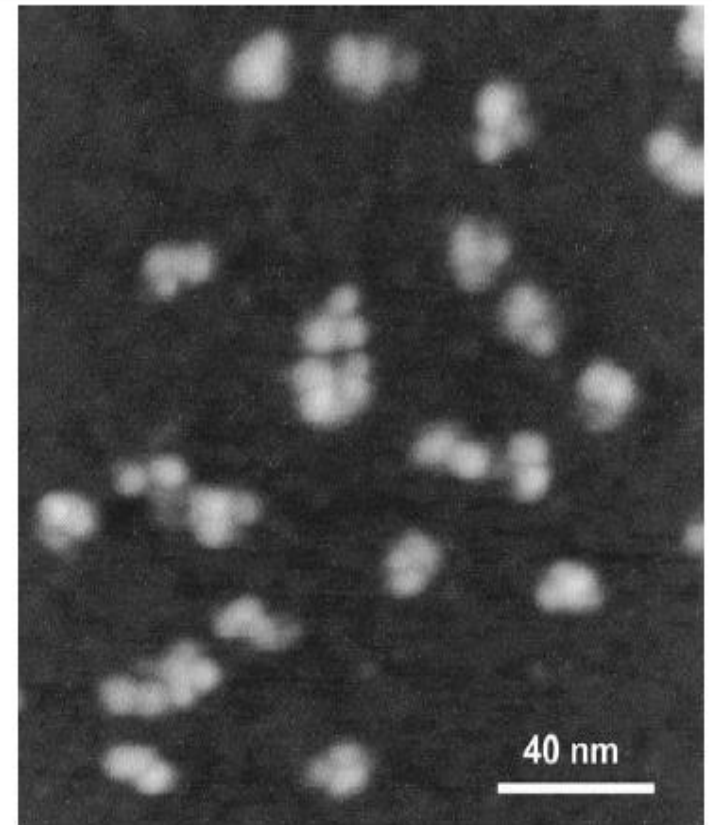


# AFM的应用

❖ 样品表面形态、纳米结构、链构象等方面研究



蝴蝶翅膀的AFM成像

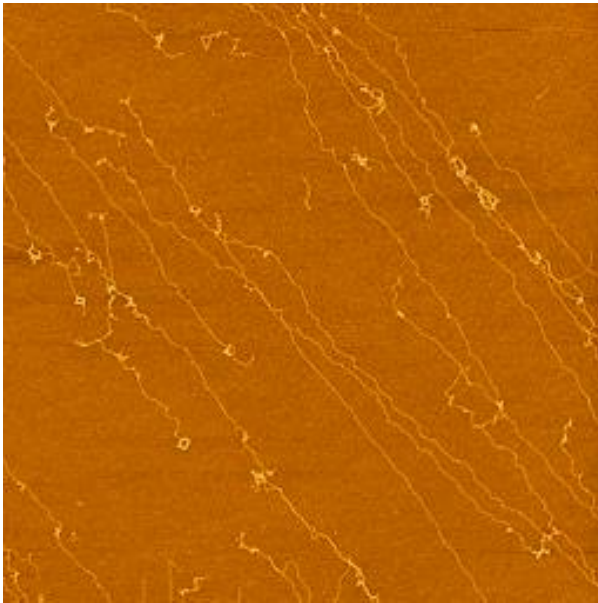


云母片上的抗体分子的AFM成像



# AFM的应用

## ❖ 生物样品



$\lambda$ -DNA

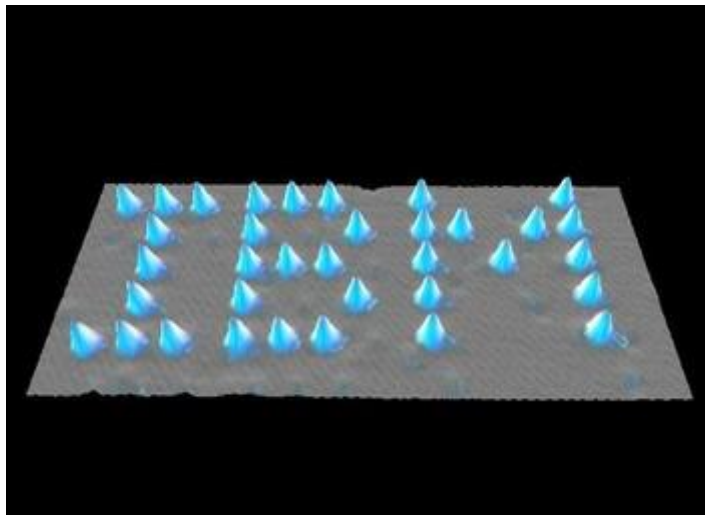


霍乱菌

# AFM的应用

## ❖ 纳米加工

利用AFM对样品进行表面原子搬运，原子蚀刻，制造纳米器件



用AFM针尖移动Si原子形成的IBM文字

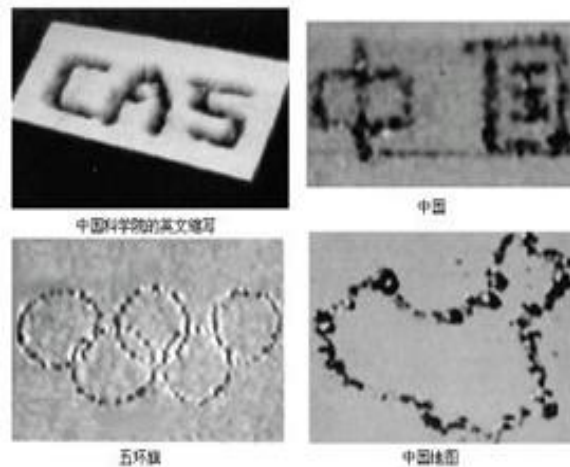


图 12 用 STM 在石墨表面上刻蚀的图案

STM针尖移动原子形成的图形文字

The End