





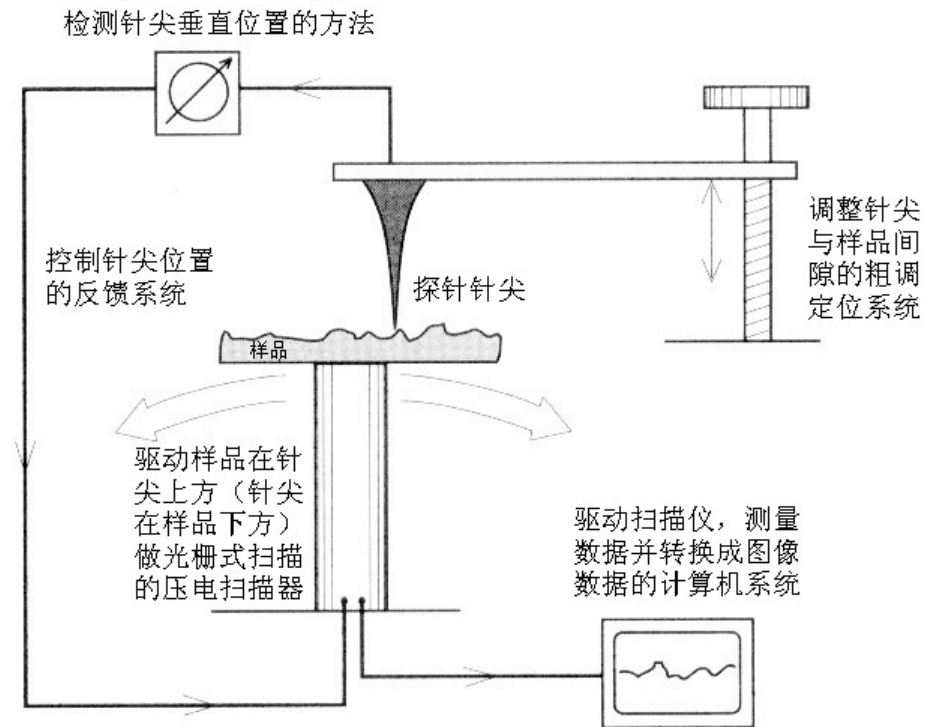
第四章 扫描探针显微分析技术



第四章 扫描探针显微分析技术

- 1. SPM的基本原理 
- 2. 扫描隧道显微镜 (**STM**) 
- 3. 原子力显微技术 
- 4. 磁力显微技术 

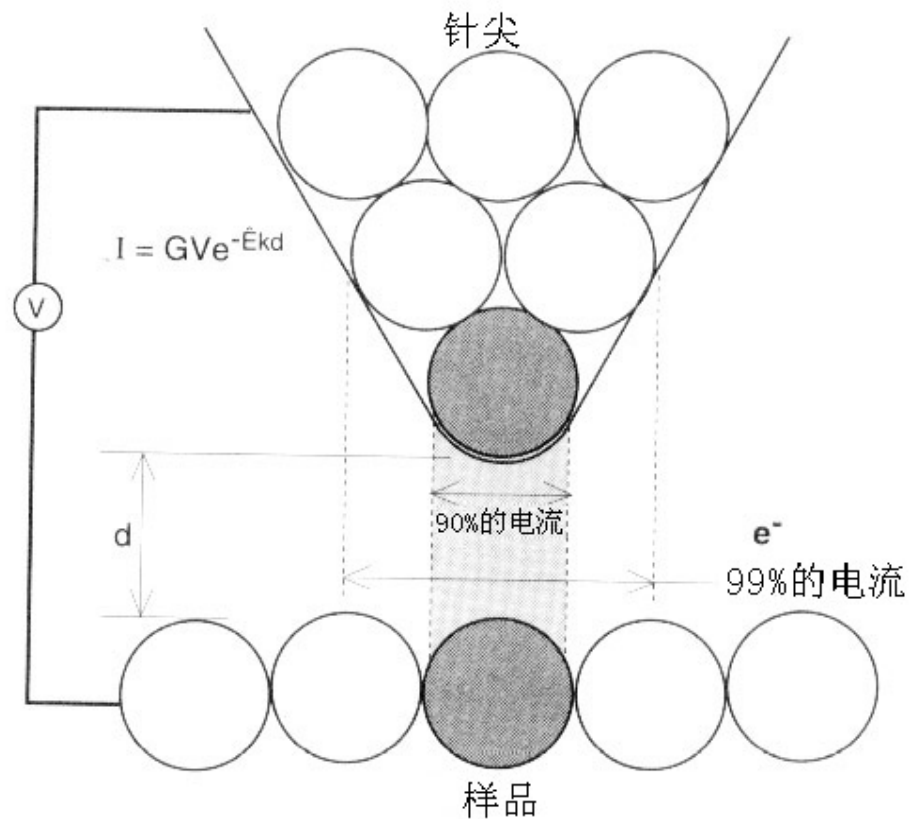
1. SPM的基本原理



2. 扫描隧道显微镜（STM）

- STM是所有扫描探针显微镜的祖先
- 1981年由Gerd Binnig和Heinrich Rohrer在苏伊士IBM实验室发明的。
- STM是第一种能够在实空间获得表面原子结构图像的仪器。

STM的针尖~样品相互作用示意图

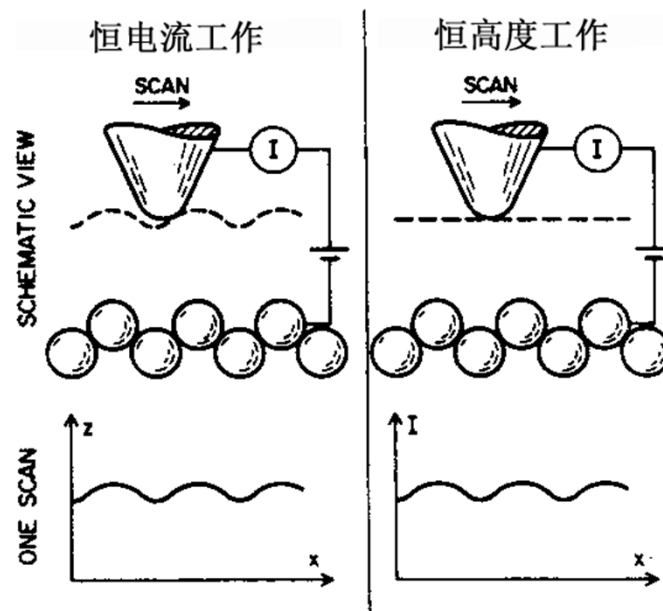


隧道电流是间距的指数函数；

如果针尖与样品间隙（Å级尺度）变化10%，隧道电流则变化一个数量级。

STM两种扫描模式

- 恒定高度模式—检测隧道电流变化
- 恒定电流模式—检测高度变化
- 两种模式各有利弊。恒高模式扫描速率较高，因为控制系统不必上下移动扫描器，但这种模式仅适用于相对平滑的表面。恒电流模式可以较高的精度测量不规则表面，但比较耗时。

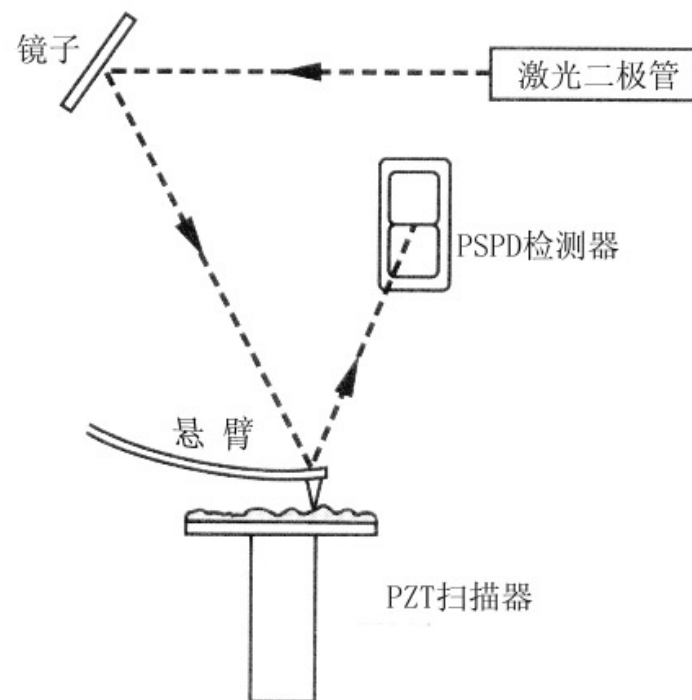


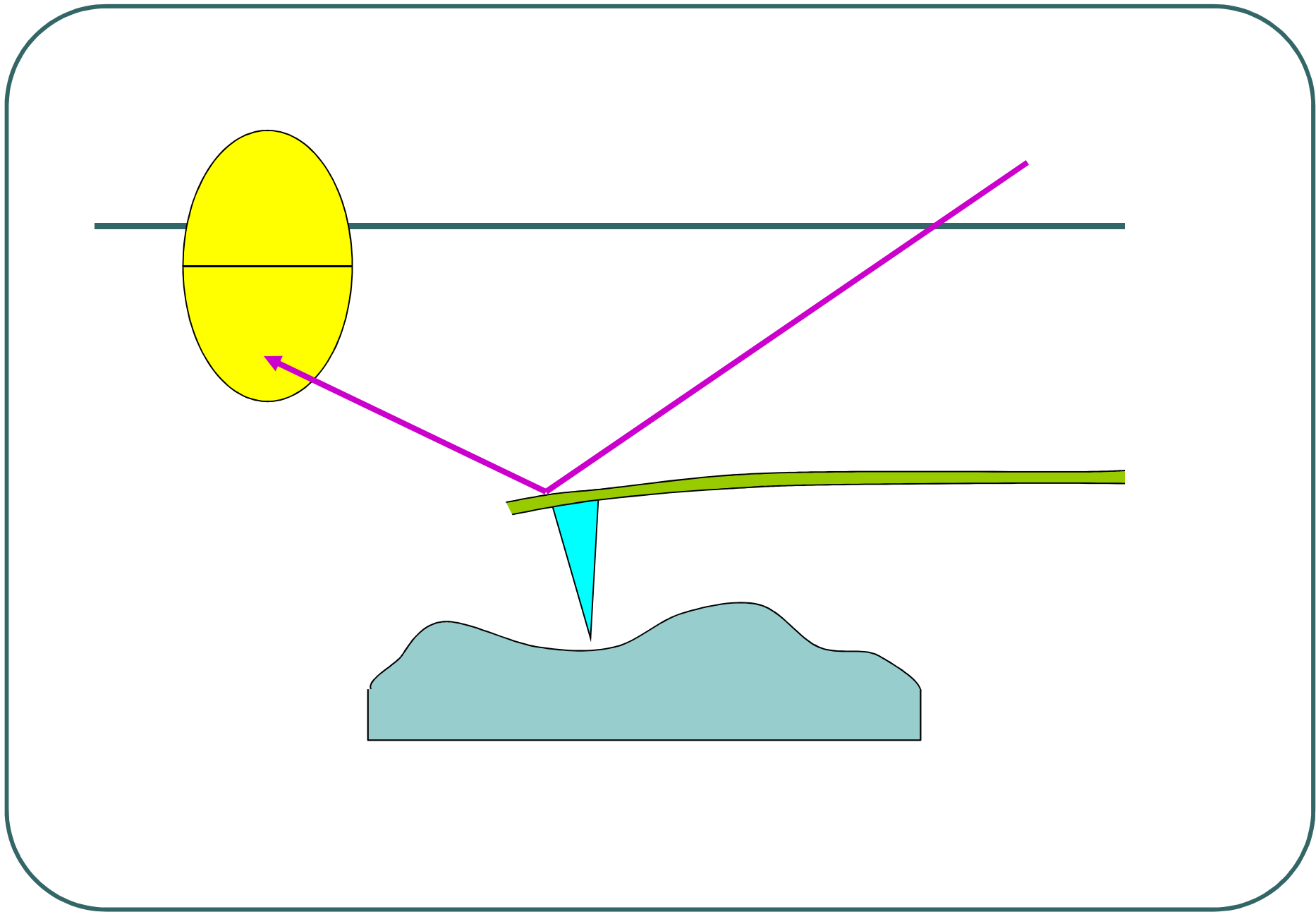
3. 原子力显微技术

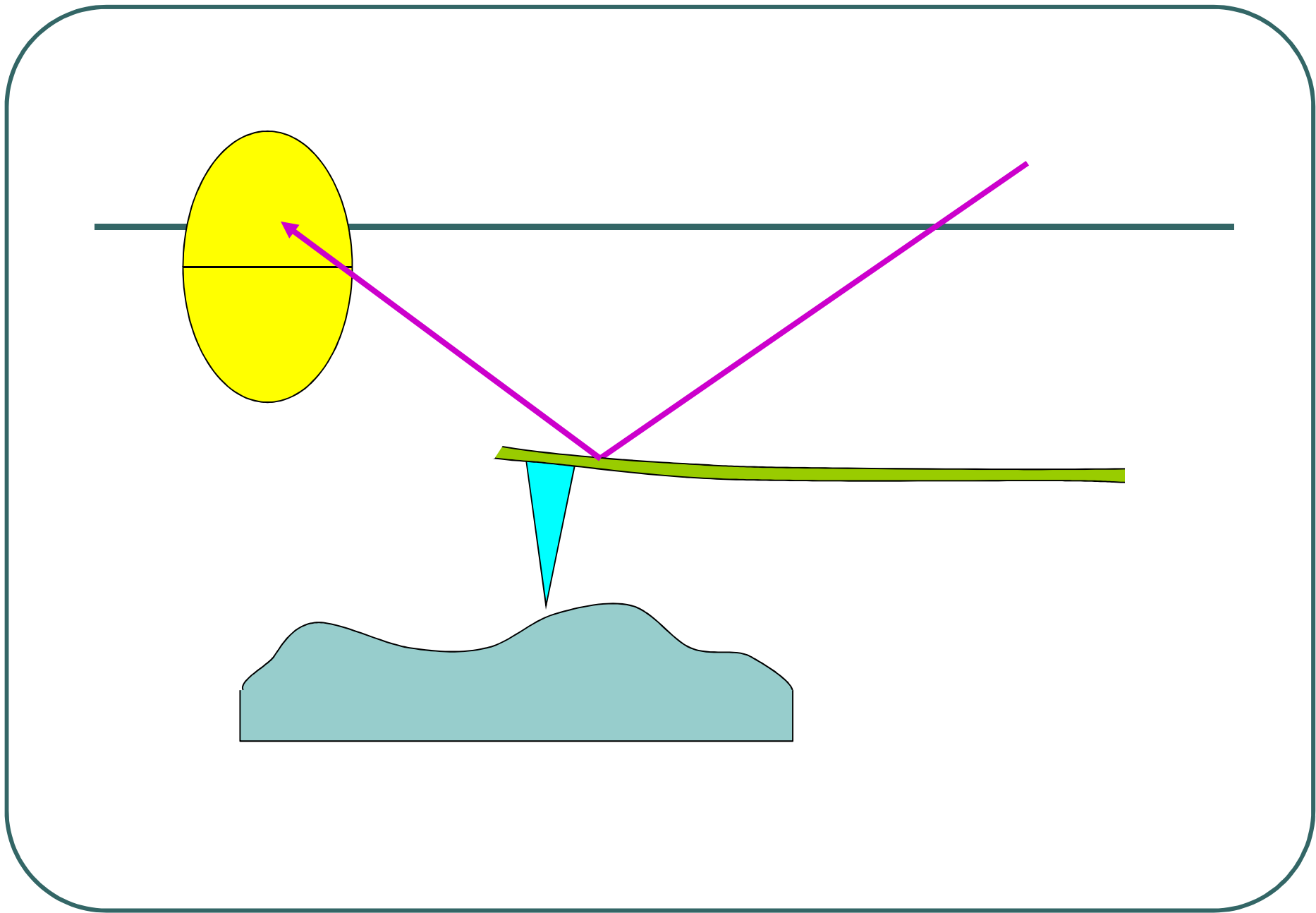
- 3.1 原子力显微镜的结构
- 3.2造成**AFM**悬臂偏转的力
- 3.3两种类型的**AFM**

3.1 原子力显微镜的结构

- 针尖和样品表面间的力导致悬臂弯曲或偏转。
- 当针尖在样品上方扫描或样品在针尖下做光栅式运动时，探测器可实时地检测悬臂的状态，并将其对应的表面形貌像显示记录下来。

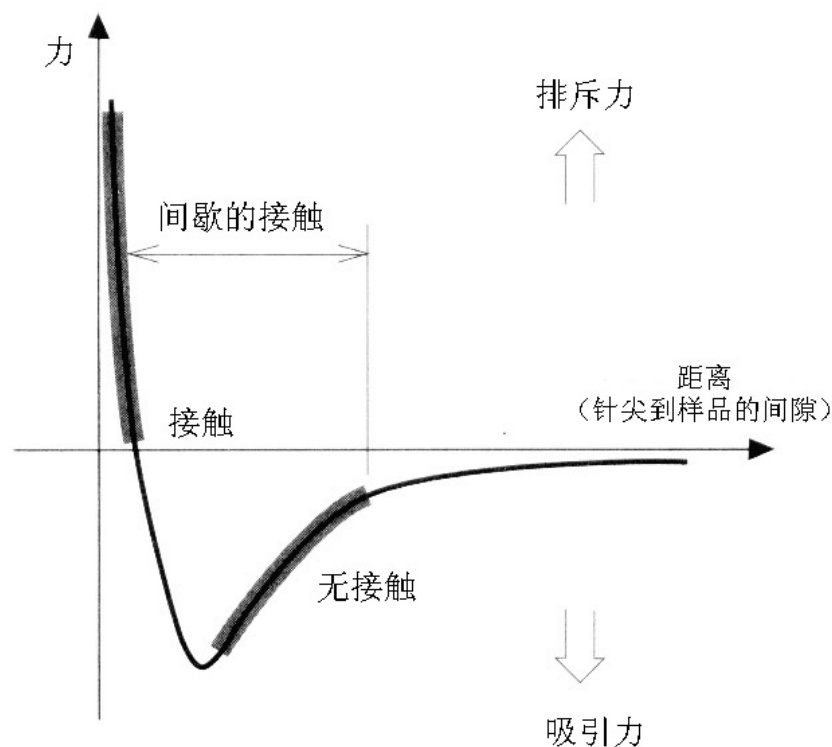






3.2造成AFM悬臂偏转的力

- 范德瓦尔斯力。
- 毛细力。由于通常环境下，在样品表面存在一层水膜，水膜延伸并包裹住针尖，就会产生毛细力，它具有很强的吸引（大约为10-8N）。
- 范德瓦尔斯力和毛细力的合力构成接触力。



3.3 两种类型的AFM

- 3.3.1 接触式AFM
- 3.3.2 非接触AFM

3.3.1 接触式AFM

- AFM针尖与样品有轻微的物理接触。在这种工作模式下，针尖和与之相连的悬臂受范德瓦尔斯力和毛细力两种力的作用，二者的合力构成接触力。
- 当扫描器驱动针尖在样品表面（或样品在针尖下方）移动时，接触力会使悬臂弯曲，产生适应形貌的变形。检测这些变形，便可以得到表面形貌像。

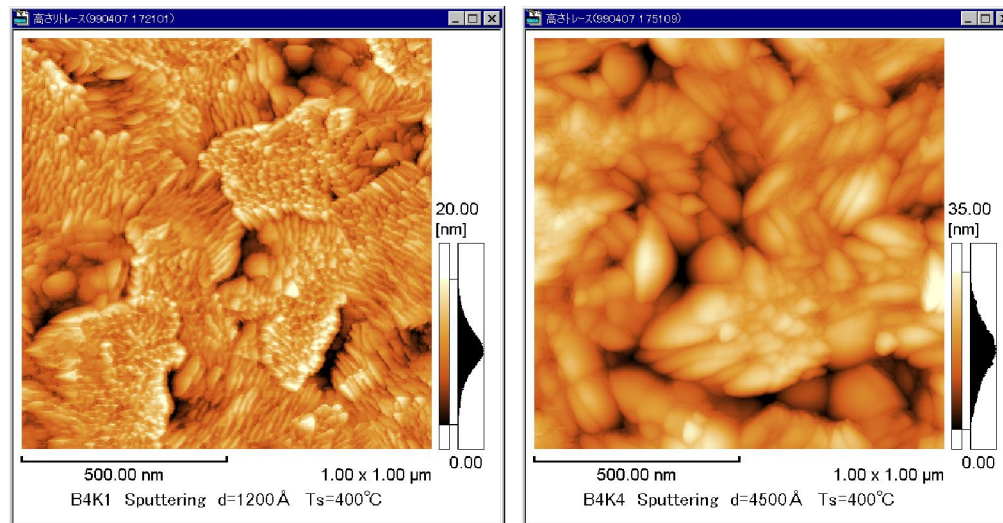
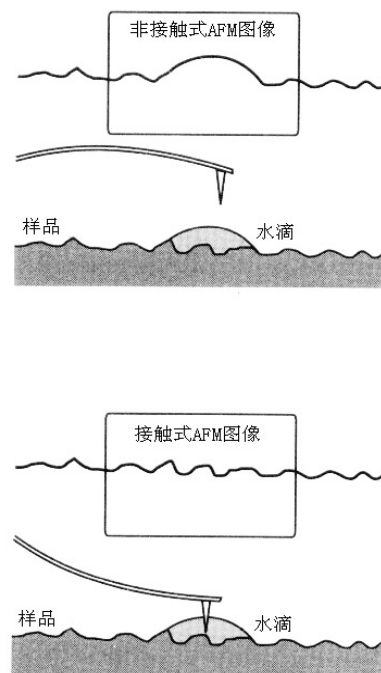


图7.5溅射过程中，不同厚度的透明导电涂层ITO的表面形貌像
(左) 120nm (右) 450nm

3.3.2 非接触AFM

- 非接触AFM（NC-AFM）应用一种振动悬臂技术，针尖与样品间距处于数十至数百埃的范围。此范围在图7-4范德瓦尔斯曲线中标注为非接触区间。
- 刚硬的悬臂在系统的驱动下以接近于共振点的频率振动。
- 共振频率随随着悬臂所受的力的梯度变化，也反映针一样间隙或样品形貌的变化。
- 检测共振频率或振幅的变化，可以获得样品表面形貌信息。

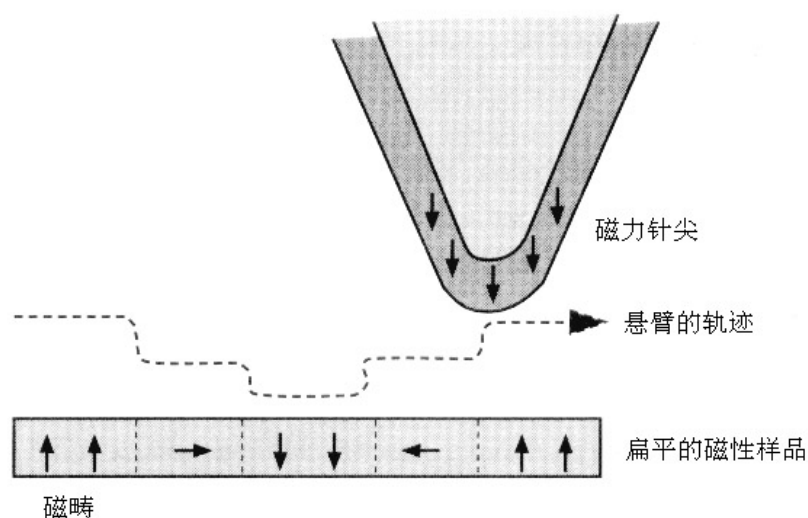


含水滴表面的接触和非接触AFM图像

4. 其它SPM技术

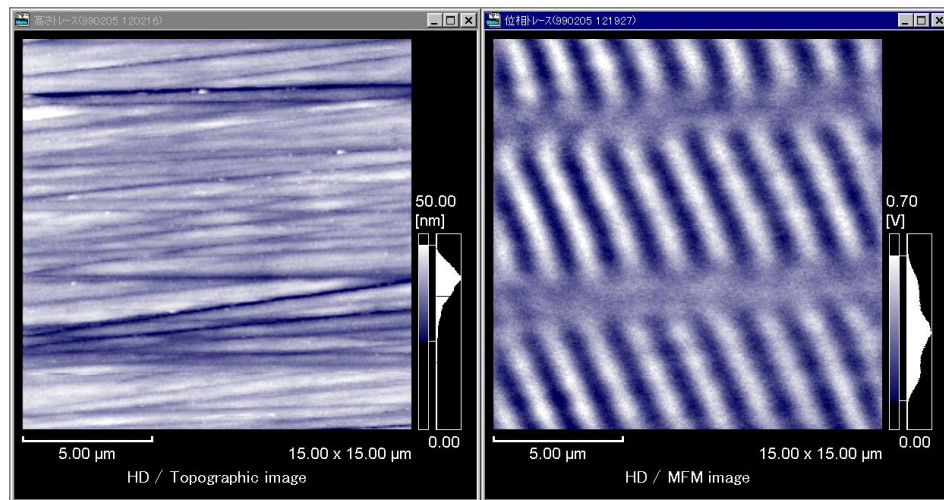
4.1 磁力显微技术

- 磁力显微技术（MFM）可对样品表面磁力的空间变化成像。
- MFM的针尖上镀有铁磁性薄膜，系统工作在非接触模式，检测由随针一样间隙变化的磁场引起的悬臂共振频率的变化



4.1 磁力显微技术

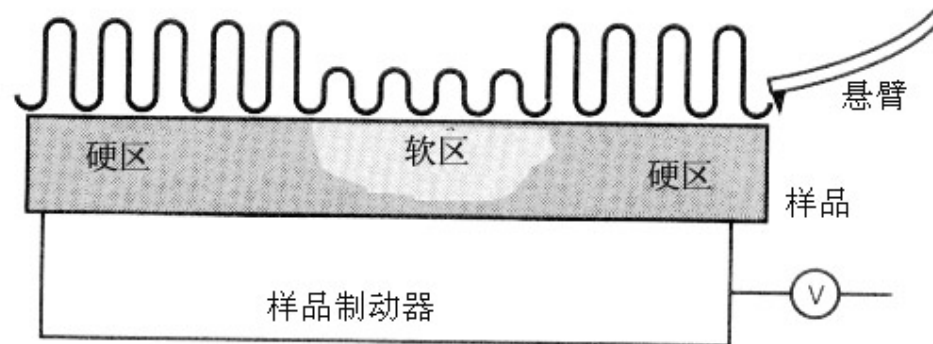
- 用磁力针尖获得的图像都包含着表面形貌和磁特性
- 与范德瓦尔斯力相比，原子间磁力在较大的间隙时仍保留一定量值。在不同的针尖高度下采集一系列图像是剥离两种效应的一种途径。
- 如果针尖靠近表面，即处在标准的非接触模式工作区间，则图像主要含形貌信息。
- 随着间隙增大，磁力效应变得显著。



硬盘磁记录单元的形貌像（左）和MFM图像（右）

4. 其它SPM技术

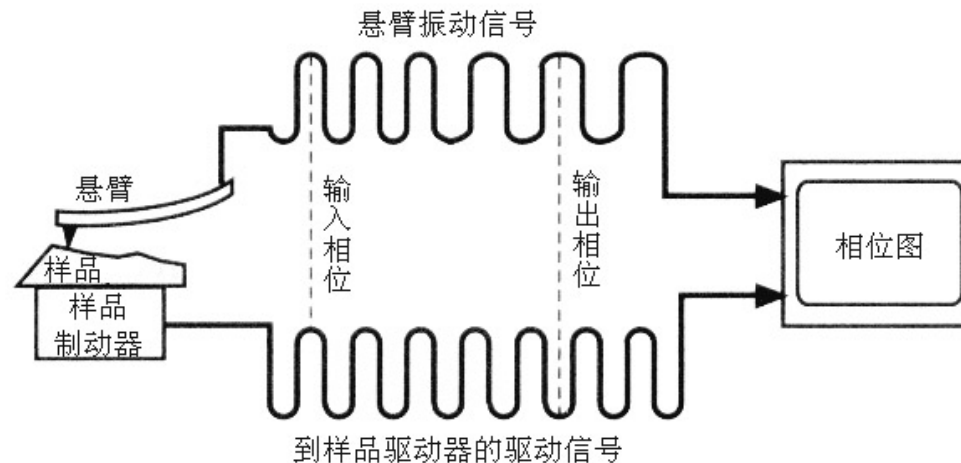
- 4.2 力调制显微术（FMM）
- AFM针尖以接触方式扫描样品，将一周期信号加在针尖或样品上，由此信号驱动产生的悬臂调制振幅随样品弹性而变。



4. 其它SPM技术

● 4.2 力调制显微术（FMM）

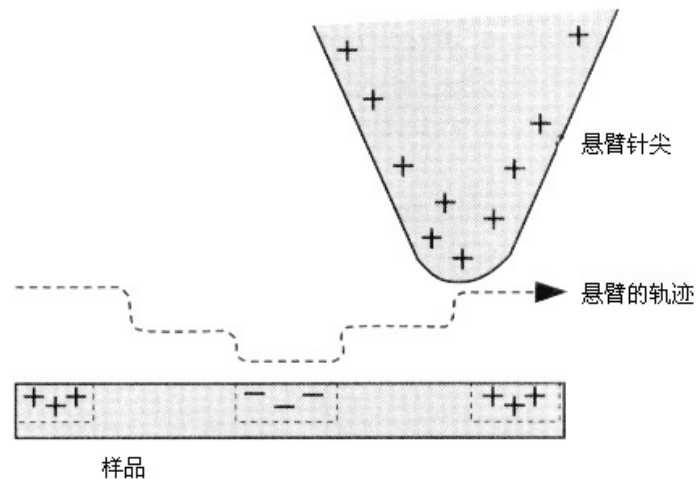
- 相位检测显微技术也称之为相位成像，这种技术借助测量悬臂振动驱动和振动输出信号之间的位相延迟，研究弹性、粘度和摩擦等表面机械性能的变化。



4. 其它SPM技术

● 4.3 静电力显微技术（EFM）

- 静电力显微技术（EFM）显示出样品表面的局部电荷畴结构。
- 在针尖与样品之间施加电压，当悬臂扫描至静电荷时，悬臂偏转。



4. 其它SPM技术

- 4.4 扫描电容显微技术（SCM）
- 4.5 热扫描显微技术（TSM）
- 4.6 近场扫描光学显微术(NSOM)
- 4.7 纳米光刻



本章重点

- STM的工作原理
- AFM的工作原理