

南京大学物理学院
近代物理实验

近代物理实验

原子力显微镜 实验报告

姓名	杨峻
学号	111120174
院系 班级	物理学院 2011 级 5 班
报告日期	2014 年 4 月 7 日

§1 引言

在当今的科学技术中, 如何观察、测量、分析尺寸小于可见光波长的物体, 是一个重要的研究方向。扫描隧道显微镜 (STM) 使人们首次能够真正实时地观察到单个原子在物体表面的排列方式和与表面电子行为有关的物理、化学性质。STM 要求样品表面能够导电, 从而使得 STM 只能直接观察导体和半导体的表面结构。为了克服 STM 的不足之处, 推出了原子力显微镜 (AFM)。AFM 是通过探针与被测样品之间微弱的相互作用力 (原子力) 来获得物质表面形貌的信息。因此, AFM 除导电样品外, 还能够观测非导电样品的表面结构, 且不需要用导电薄膜覆盖, 其应用领域将更为广阔。除物理, 化学生物等领域外, AFM 在为微电子, 微机械学, 新型材料, 医学等领域有着广泛的应用, 以 STM 和 AFM 为基础, 衍生出一系列的扫描探针显微镜, 有激光里显微镜, 磁力显微镜, 扫描探针显微镜主要用于对物质表面在纳米线上进行成像和分析。

§2 实验目的

1. 了解原子力显微镜的工作原理
2. 掌握用原子力显微镜进行表面观测的方法

§3 实验原理

1. AFM 的工作原理在原子力显微镜的系统中, 可分成三个部分: 力检测部分、位置检测部分、反馈系统。

在 AFM 中用一个安装在对微弱力极敏感的微悬臂上的极细探针。当探针与样品接触时, 由于它们原子之间存在极微弱的作用力 (吸引或排斥力), 引起微悬臂偏转。扫描时控制这种作用力恒定, 带针尖的微悬臂将对应于原子间作用力的等位面, 在垂直于样品表面方向上起伏运动, 因而会使反射光的位置改变而造成偏移量, 通过光电检测系统 (通常利用光学、电容或隧道电流方法) 对微悬臂的偏转进行扫描, 测得微悬臂对应于扫描各点的位置变化, 此时激光检测器会记录此偏移量, 也会把此时的信号给反馈系统, 以利于系统做适当的调整。将信号放大与转换从而得到样品表面原子级的三维立体形貌图像。AFM 的核心部件是力的传感器件, 包括微悬臂 (Cantilever) 和固定于其一端的针尖。根据物理学原理, 施加到 Cantilever 末端力的表达式为:

$$F = k\Delta Z \quad (1)$$

其中 ΔZ 表示针尖相对于式样间的距离, K 是 Cantilever 的弹性系数。

2. AFM 关键部位 AFM 关键部份是力敏感元件和力敏感检测装置。所以微悬臂和针尖是决定 AFM 灵敏度的核心。为了能够准确地反映出样品表面与针尖之间微弱的相互作用力的变化, 得到更真实的样品表面形貌, 提高 AFM 的灵敏度, 微悬臂的设计通常要求满足下述条件:

- (a) 较低的力学弹性系数, 使很小的力就可以产生可观测的位移
- (b) 较高的力学共振频率
- (c) 高的横向刚性, 针尖与样品表面的摩擦不会使它发生弯曲
- (d) 微悬臂长度尽可能短
- (e) 微悬臂带有能够通过光学、电容或隧道电流方法检测其动态位移的镜子或电极

(f) 针尖尽可能尖锐。

3. AFM 的工作模式

- (a) 接触模式
- (b) 非接触模式
- (c) 共振或轻敲模式

§4 实验装置

1. 样品台 包括压电陶瓷 xy 扫描单元与 z 向反馈系统，样品与针尖之间的 z 向粗调、细调机构，可选用表面较为光滑的样品，做成小片状，背面适于粘贴在样品架上。
2. 光源系统 半导体激光器，电源盒。
3. 测量控制系统 PSD 光电信号处理电路，反馈控制电路，高压电源，扫描与图像处理软件。

仪器特点：

- (a) 扫描时间比较短，如果扫描一幅图像需要十多分钟，那么周围的电干扰，光干扰以及震动，温度的变化等因素将直接影响到图像的准确性和完整性。
- (b) 卧式设计：主要是消除微悬臂自身的重力对纵原子力的干扰，卧式 AFM 中的重力方向与用于成像的原子力互相垂直，从而提高了仪器的灵敏度。

§5 实验内容

1. 用 CCD 光学显微镜观察标准光栅和探针，估算微悬臂的有效长度。
2. 安装样品。
3. 进入软件的扫描界面，单击“开始扫描”按钮连续扫描若干次，得到满意图像后单击“捕获图像”按钮以保存图像。
4. 如果要用鼠标选区扫描，必须先按“停止扫描”钮再用鼠标选区，否则可能损坏探针。
5. 先按“停止扫描”钮，再退出扫描界面。
6. 退出样品。
7. 数据处理：在软件的图像处理界面完善图像，标注尺寸、记录相应的粗糙度统计结果、做三维效果图。
8. 打印图像。

§6 实验结果

1. 导电 ITO 粗糙度 R_a : 27.5 nm ; R_y : 613.9 nm ; R_z : 613.9 nm

扫描范围 X: 4000 nm ; Y: 4000 nm

图像大小 X: 400 pixel ; Y: 400 pixel

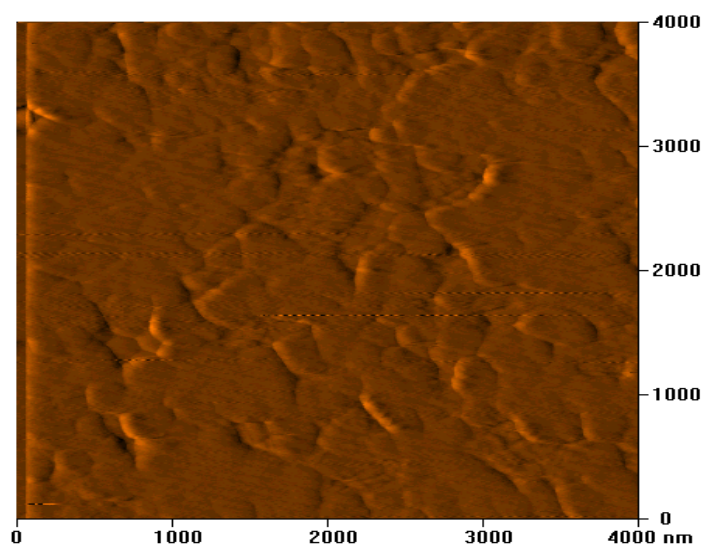


Figure 1: ITO 二维扫描

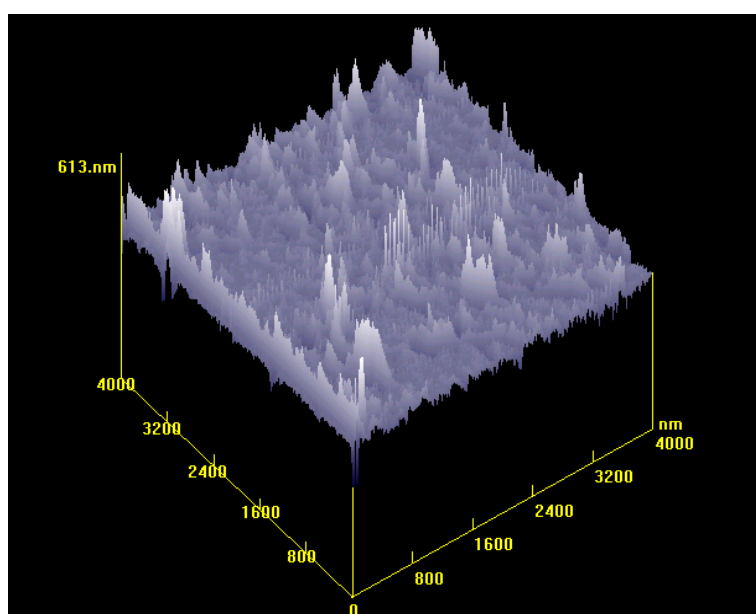


Figure 2: ITO 三维扫描

2. A4 纸粗糙度 R_a : 2.8 nm ; R_y : 43.0 nm ; R_z : 43.0 nm

扫描范围 X: 4000 nm ; Y: 4000 nm

图像大小 X: 400 pixel ; Y: 400 pixel

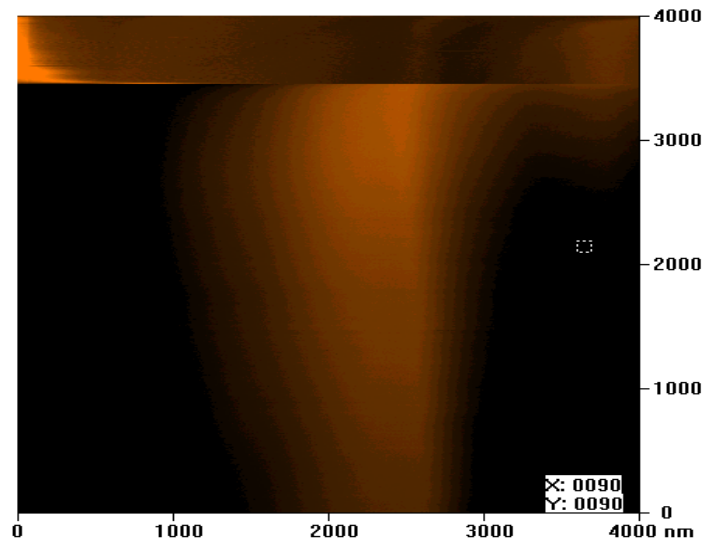


Figure 3: A4 二维扫描

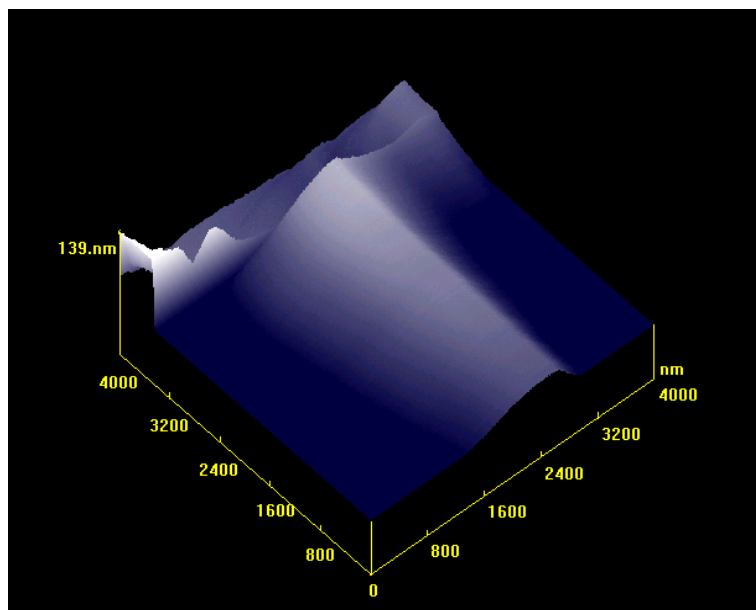


Figure 4: A4 三维扫描

3. Cu 粗糙度 Ra: 15.1 nm ; Ry: 254.4 nm ; Rz: 254.4 nm

扫描范围 X: 4000 nm ; Y: 4000 nm

图像大小 X: 400 pixel ; Y: 400 pixel

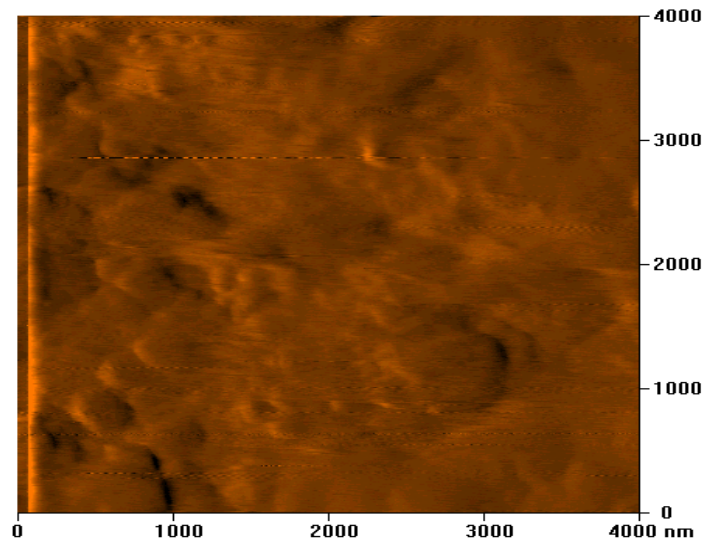


Figure 5: Cu 二维扫描

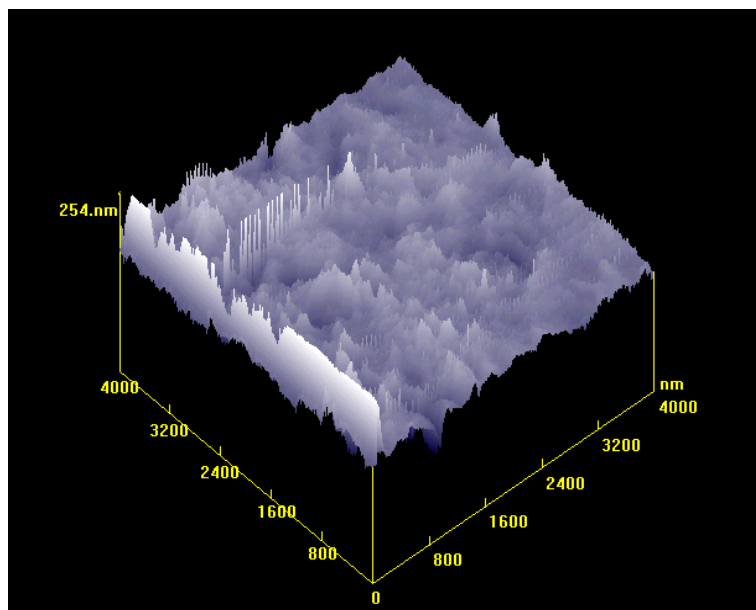


Figure 6: Cu 三维扫描

§7 思考题

1. AFM 探测到的原子力的由哪两种主要成分组成？
一种是吸引力即范德瓦耳斯力；另外一种电子云重叠而引起的排斥相互作用。
2. 怎样使用 AFM，才能较好地保护探针？
仔细调节接触距离，粗调时，不要让探针压迫样品，保持 1mm，扫描过程中保证探针不产生破坏性形变。
3. 原子力显微镜有哪些应用？

原子力显微镜可以用于研究金属和半导体的表面形貌、表面重构、表面电子态及动态过程, 超导体表面结构和电子态层状材料中的电荷密度等。另外原子力显微镜在摩擦学中的有许多应用, 如纳米摩擦、纳米润滑、纳米磨损、纳米摩擦化学反应和机电纳米表面加工等。在生物上, 原子显微镜可以用来研究生物宏观分子, 甚至活的生物组织。观察细胞等等。

4. 与传统的光学显微镜、电子显微镜相比, 扫描探针显微镜的分辨本领主要受什么因素限制?

传统的光学显微镜和电子显微镜存在衍射极限, 即只能分辨光波长或电子波长以上线度的结构。而扫描探针显微镜的分辨本领主要取决于: 探针针尖的尺寸; 微悬臂的弹性系数, 弹性系数越低, AFM 越灵敏; 悬臂的长度和激光光线的长度之比; 探测器 PSD 对光斑位置的灵敏度。对于分辨率一定的图像, 扫描范围越小, 获得的表面形貌越精细。

5. 要对悬臂的弯曲量进行精确测量, 除了在 AFM 中使用光杠杆这个方法外, 还有哪些方法可以达到相同数量级的测量精度?

可采用电学方法: 隧道电流法根据隧道电流对电极间距离非常敏感的原理, 将 SIM 用的针尖置于微悬臂的背面作为探测器, 通过针尖与微悬臂间产生的隧道电流的变化就可以检测由于原子间相互作用力令微悬臂产生的形变。电容法通过测量微悬臂与一参考电极间的电容变化来检测微悬臂产生的形变。