

扫描隧道显微镜技术初探

高晖

摘要

实验中诸多外界因素影响了最后得到的图像的分辨率和清晰度,需要屏蔽这些因素,以增强仪器的抗干扰能力。

KeyW ords: STM , TunnelEffect

引言

1982年, BM 瑞士苏黎士实验室的 G Binn ing 和 H Rohrer 研制出世界上第一台扫描隧道显微镜(Scann ing Tunneling M icroscope)。STM 使人类第一次能够实时地观察单个原子在物质表面的排列状态和与表面电子行为有关的物化性质,两人也因此获得诺贝尔奖。

通过本实验,可以加深对量子力学中隧道效应的理解,熟悉 STM 的实际操作,并观测到样品原子尺度的图像。

实验采用 NanoSPM -II型扫描隧道显微镜,在恒高模式下对 VCD 母盘和光栅的表面结构进行观测。



图 1 NanoSPM -III

STM 的核心原理：隧道效应 (Tunnel Effect)

考虑一维势垒：

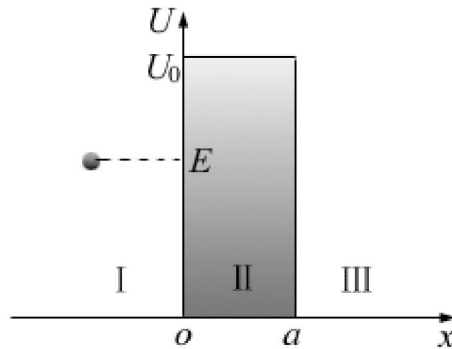


图 2 一维势垒

经典理论中，对于 I 区的低能量粒子 ($E < U_0$)，其穿透 II 区势垒达到 III 区的概率为零。

而在量子力学中，由于粒子具有波动性，粒子在 III 区的波函数并不为零，其透射系数为 $T = \frac{16E(U_0 - E)}{U_0^2} e^{-\frac{2a}{\hbar} \sqrt{2m(U_0 - E)}}$ ，这种效应称为隧道效应。

STM 应用了电子的隧道效应，物质表面的电子在表面边界外部呈指数衰减，衰减长度约 1nm。若探针与样品表面距离很近，他们的电子云便会发生重叠，此时在探针与样品间加一偏置电压 V_t ，则能得到他们之间的隧道电流 $J_t : V_t e^{-A\sqrt{\Phi}s}$ 。式中 A 为常数 (真空下约为 1)， Φ 为样品表面平均势垒高度，s 为针尖与样品间距。可见距离变化 0.1nm，隧道电流变化能达到一个数量级。由于隧道电流对距离变化的高度敏感，STM 可以得到原子级分辨率的样品表面图像。

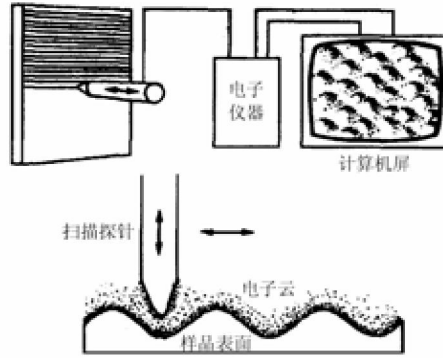


图 3 STM 系统

用 STM 观测 VCD 母盘与光栅样品

扫描参数设置如下

样品	高度范围	电流范围	扫描范围	X/Y偏移	扫描角度
VCD	75.99nm	5nA	2299nm	-320.88/-250.69nm	0
光栅	35nm	2nA	1800 nm	750.78/850.82 nm	0
样品	扫描速率	比例增益	积分增益	电流设置点	偏压
VCD	1.01Hz	10	10	0.497nA	50.66mV
光栅	3.48Hz	10	10	0.497nA	50.66mV

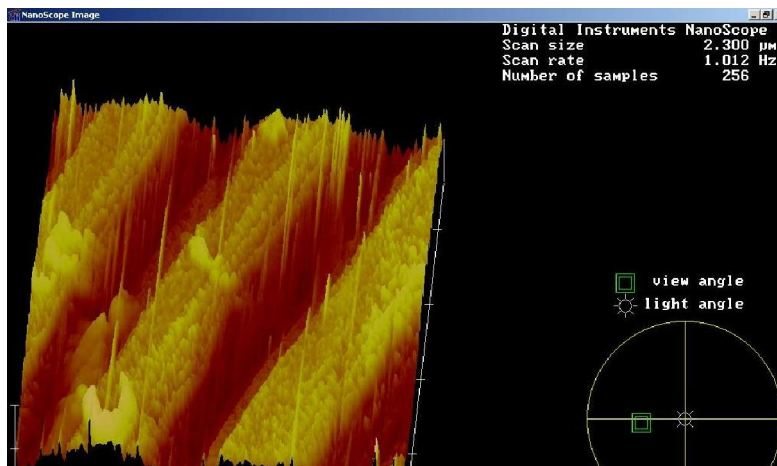


图 4 VCD 母盘三位图像

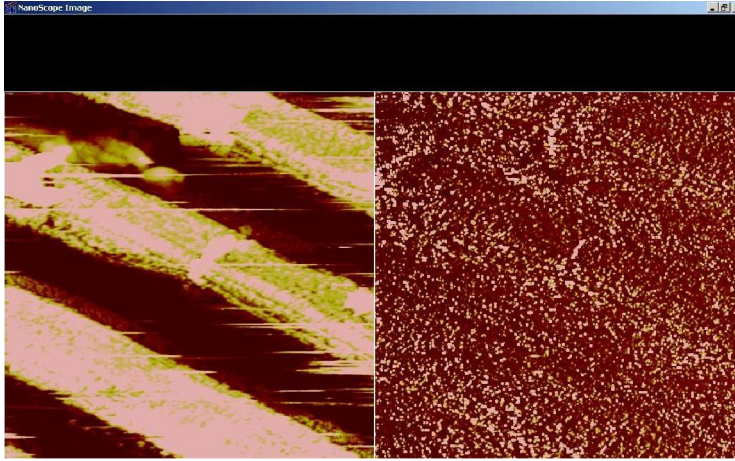


图 5 VCD 母盘二维图像

使用 Nanoscope 软件做离线分析, 得到 VCD 母盘槽宽 485nm, 条宽 521nm, 槽深 180nm。

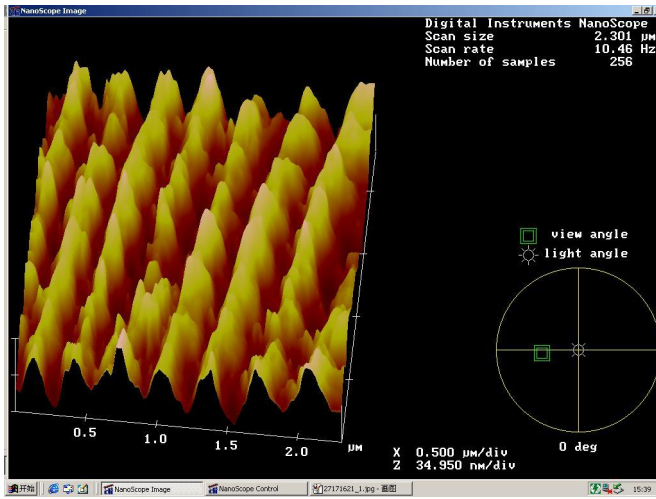


图 6 光栅三位图像

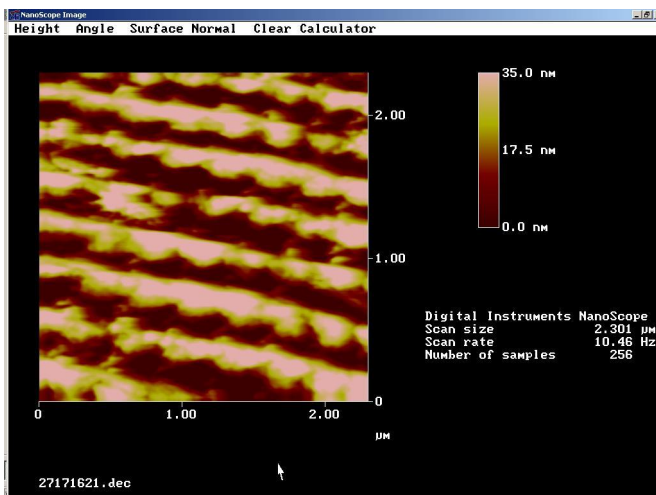


图 7 光栅二维图像

测得光栅常数 $d=350\text{nm}$ 。

对 NanoSPM - III的改进设想

考虑到实验中诸多外界因素影响了最后得到的图像的分辨率和清晰度,需要屏蔽这些因素,以增强仪器的抗干扰能力。

针尖。STM 成像对针尖的要求很高,理想条件下针尖仅有一个原子大小。然而实验中针尖做成后无法直接判断针尖质量,只有待进针完成开始扫描时才能一步步判断针尖是否符合要求。对于针尖的观察,可以利用高分辨率透射电子显微镜 (TEM) 大致辨别针尖质量,或是场离子显微镜 (FM) 进行直接观察。这样可以在确认针尖状态的情况下进行 STM 扫描,提高了对 STM 仪器的使用效率。使用 FM 的缺点在于需要真空环境,增加了真空泵设备的投入和抽真空的时间。

抗震。由于仪器工作时针尖与样品的间距一般小于 1nm ,同时隧道电流与间距成指数关系,因此任何微小的震动都会对仪器的稳定性产生影响。实验室中 NanoSPM - III 被放置在房间门口处,人员进出说话声等极易对扫描造成干扰。一方面在实验室使用中要尽量减少不必要的人员进出,另一方面可以采取一系列简单易行的抗震措施,如在仪器外部加装一个留有活动窗口的玻璃罩或金属罩,在仪器底部增加沙子充填的底座(类似设备在普通物理实验的激光照相中有应用),给实验室的桌椅底部贴上垫片等。

小结

STM 作为近代物理实验中的一个新生儿,对其原理的理解和使用方法的熟悉,是一次直接和近代物理体系亲密接触的契机,更能激发对新兴科技的兴趣。

在此对在实验过程中给予大力支持的朱永强老师和马进同学致以衷心的感谢。

参考文献

- [1] 白春礼, 扫描隧道显微术及其应用, 上海科学技术出版社, 1992
- [2] 冯尚行, 章海军, 程舒雯, 扫描隧道显微镜系统的优化研究, 光学仪器, 2004
- [3] 陈熙谋, 光学 近代物理, 北京大学出版社, 2002
- [4] 扫描隧道显微镜技术专题, <http://www.spm.com.cn/>
- [5] 仪器信息网, <http://www.instrument.com.cn/>