

原子力显微镜

阮白
理春
科礼

(中国科学院化学研究所)

原子力显微镜 (Atomic Force Microscope, 简称 AFM) 是一种通过监测探针与被测物质表面原子之间微弱的相互作用力 ($10^{-12} \sim 10^{-8} \text{N}$) 来研究固体的表面形貌的仪器。宾尼等人于 1986 年首先研制成功 AFM, 中国科学院化学研究所也在 1989 年初研制出具有先进水平的 AFM。

由于 AFM 不仅可用于导体、半导体表面的研究, 而且还能用于研究绝缘体的表面结构, 因此对促进表面科学、材料科学和生命科学等领域的发展具有重要价值。

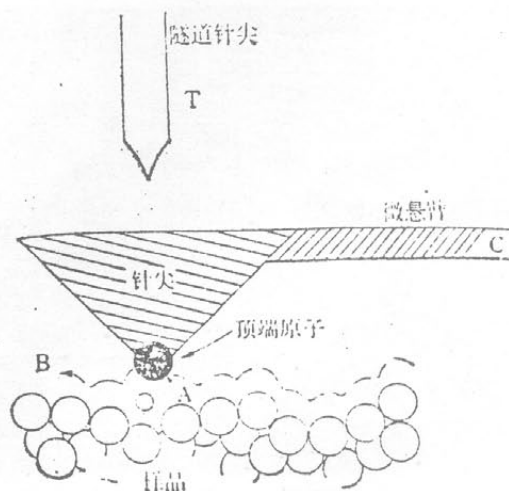
原理和结构 AFM 是在扫描隧道显微镜 (简称 STM) 的基础上发展起来的表面分析仪器。AFM 的基本原理如图所示, 图中 C 是一个对微弱力很敏感的微悬臂, 在它的自由端有一个微小的针尖, 针尖上 A 点与样品 S 相接触, 当样品在水平方向上扫描时, 带有针尖的悬臂 C 将对应于针尖-样品相互作用的等位面 B, 在纵方向上下起伏。在悬臂的另一方装有隧道电流针尖 T, 测量 C 与 T 之间的隧道电流信号变化, 由此便可得知微悬臂 C 的振动状况, 从而获得样品的表面结构信息。

AFM 由探头、电子线路、计算机及高分辨图像显示终端等几部分组成。微悬臂、隧道电流针尖及样品都安装在探头上。为了能够精确扫描并保证在扫描时悬臂与针尖之间的距离

能满足产生隧道电流的条件 ($< 10 \text{埃}$), 单靠机械调整是不够的, 还需要有精确的微步移动装置。由于压电陶瓷材料在电场作用下能在一定范围内出现线性伸缩, 因而常在 AFM 探头中采用两只压电陶瓷管, 通过电子反馈线路对隧道电流进行反馈。把反馈电压加在其中一只陶瓷管上, 用以控制隧道电流针尖在 Z 方向的位置, 而在另一只压电陶瓷管上加上扫描电压, 这样就可以实现对样品的扫描。扫描又分为两种模式: 一种是恒电流扫描, 即保持隧道电流的大小不变, 监测隧道电流针尖在 Z 方向的运动轨迹; 另一种是恒高度扫描, 即保持针尖的位置恒定, 监测隧道电流的变化。将以上扫描所得到的信号经过模数转换后, 输入计算机进行处理, 便可在图像终端上得到样品的表面形貌。

主要用途 表面对物质的性质起着重要的作用, 许多物理过程、化学过程、生命过程都在物质表面进行, 或它们与表面有着密切的关系, 因此研究表面对于了解这些过程及其作用机制是非常重要的。

摩擦是自然界存在的一种普遍现象, 摩擦力就是相对运动的两个物体之间表面的相互作用力。宏观的摩擦力比较容易测量, 但从微观上了解摩擦力却很困难。目前, 有人通过测量平行于表面的钨丝在扫描时的振动, 从微观上测得了周期性的摩擦力的大小。如果把铁磁性



薄片做为 AFM 中的微悬臂, 则它就可以测量磁头、磁带等磁性记录材料表面的磁场。

在微电子、半导体生产工艺中, 深入了解半导体材料的表面结构和表面粗糙度是非常必要的。研究表明, 由于半导体的导电性较差, 因此用 AFM 研究半导体比用 STM 容易得到结果。现在, 人们利用 AFM 可以对半导体材料在大范围内进行表面研究, 并能得到样品的表面形貌。

在催化过程中, 催化剂及载体的表面起着决定性作用。一般认为, 表面台阶、表面缺陷及位错对催化的贡献最大。利用 AFM, 人们对催化剂的最表面层在原子级分辨率水平上进行研究, 并给出表面形貌, 为人们对催化

过程和催化机制进行更深入地探讨创造了有利条件。

膜科学是一门新兴学科, 它涉及到物理、化学、生物等研究领域。膜的结构与功能密切相关, 研究膜的结构有利于人们更好的认识和利用膜。中科院化学研究所用自制的 AFM 对聚吡咯膜表面进行了观察, 给出了该膜的表面形貌。

AFM 的出现拓宽了扫描隧道显微镜的研究领域, 尽管目前 AFM 在稳定性、重复性等方面还有待于进一步改善, 但这种新技术能在原子级水平上观察物质特别是绝缘体的表面三维结构, 从而为人类认识微观世界的奥秘开拓了视野。