

原子力显微镜

周肇威

(山西师范大学物理系)

1981年 G. Binnig 和 H. Rohrer 研制了第一台扫描隧道效应显微镜 (STM)^[1]。STM 是利用样品表面和探针之间的隧道电流进行观测的。由于隧道电流对针端与样品之间的距离极端敏感,当针端在样品表面上扫描时,若样品表面结构有极小的起伏,就会使隧道电流有可观的变化,于是 STM 就可以通过反馈机构用压电元件控制针端运动,使隧道电流恒定,也就是使针端与样品表面之间的距离保持恒定,这样再用计算机处理针端的运动数据,就可以在荧光屏或绘图仪上显示出小到原子尺度的表面特征。不过 STM 要用电子隧道电流,因而不能直接用来检验绝缘体。1986年, G. Binnig 等又建议^[2]将 STM 的原理和针式轮廓曲线仪 (SP) 的原理结合起来,制造一种原子力显微镜 (AFM),可以用它在原子的尺度上研究绝缘体 (或导体) 的表面。AFM 和 STM 有许多共同

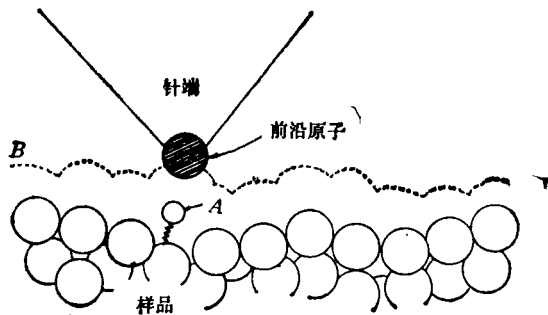


图 1

点,它们都是用针端在样品表面上进行扫描,显示出表面上的变化的。针端上的原子和样品表面上的原子之间有相互作用力:静电力、范德瓦耳斯力等(见图1)。当然,它们之间距离愈大,原子力愈小。象许多测力仪器一样,从原理上讲,AFM 也是用“弹簧”来检测力的。图 2(a)

物理

是实验装置,其中的肱梁(金箔)就相当于“弹簧”,见图 2(b)。当金刚石针端上的原子受到样

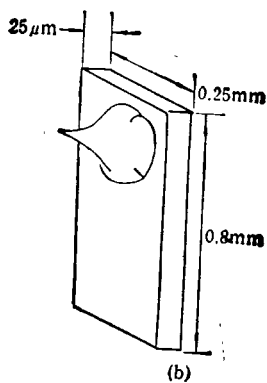
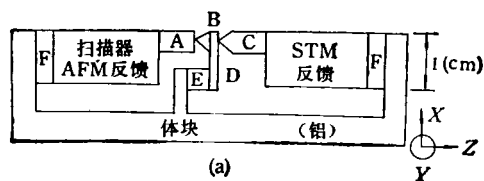


图 2 实验装置

A 为 AFM 样品; B 为金刚石针; C 为 STM 针端 (Au); D 为肱梁 (STM 的样品); E 为调制压电体; F 为 VITON 人造橡胶

品表面上的原子作用且作用力大时,金箔偏向样品,使金箔与 STM 针端的距离变大,隧道电流就变小,AFM 就是用 STM 来检测“弹簧”的形变从而测定原子力的。为了能测原子力,需要“弹簧”在给定的力作用下产生最大的偏转,这就要“弹簧”尽可能软。为了降低“弹簧”对于建筑物振动所造成的 100Hz 左右的噪扰的灵敏度,又要求“弹簧”比较刚硬,从而使其具有较高的共振频率。根据弹簧系统的共振频率公式 $\nu_0 = (1/2\pi)(k/m_0)^{1/2}$,可见要兼顾上述两方面,在减小 k 使弹簧软些时,还必须减小 m_0 以保持

k/m_0 这个比值较大。“弹簧”系统极限情况如图 1 所示。在 STM 间隙中 A 点处只有一个单独的原子被吸附。由于“弹簧”系统跟邻近各原子耦合, k 应该用等效倔强系数。国外有人用微工艺技术 (microfabrication) 制成质量小于 10^{-10}kg 而共振频率大于 2kHz 的人造“弹簧”系统。如果隧道间隙受调制, 则用 STM 可以测出 10^{-3}nm 的位移, 相应地可测出 $2 \times 10^{-16}\text{N}$ 的力; 当弹簧系统的品质因数提高到 $Q = 100$ 时, 还可以把测力的极限减小两个数量级。

将一个尖针端(绝缘的或导电的都可以)放在样品表面附近的地方, 它就要受到样品的作用, 尖针端上受到的是原子力。AFM 中是利用反馈机构把这个力维持在一个很小的恒定值上。当针端向旁边移动时, 它将按照表面的轮廓, 沿着图 1 中 B 那样的迹线运动。

如图 2 所示, 装着金刚石针的肱梁夹在 AFM 的样品和 STM 的针端之间。肱梁固定在一个称为调制压电体的小压电元件之上, 压电体是用来驱动肱梁, 使之以本身的共振频率振动。加周期性的调制是为了提高信噪比。

STM 的针端也安装在一块压电元件上, 就是这块压电元件把隧道电流维持在一个不变的值上。AFM 的样品则接在三维压电驱动器上, 实际上是由它进行 X, Y, Z 扫描的。实验装置中用一个反馈回路使作用在金刚石针上的力

(上接第 368 页)

(SCR) 作为低电压 ($1 \sim 2\text{kV}$) 下的放电开关, 经一个可饱和变压器 Tr 升压到几十 kV 的电压, 然后, 经二级或多级由可饱和电感构成的磁脉冲压缩器, 最后可得到脉宽约为 100ns , 上升时间约为 20ns 的窄放电电流脉冲, 脉冲电压可达几十 kV , 峰值电流为几 kA 。这种电路对于大功率、高重复率脉冲激光器具有重要意义, 我国和世界其他国家均在大力发展中。

维持在一个恒定的水平上。VITON 人造橡皮是隔离装置, 用它对高频机械振动产生阻尼并消除肱梁、STM 的针端和 AFM 的样品之间的耦合。实验装置中是利用机械力挤压 VITON 人造橡皮使针端接近样品。象袖珍显微镜 (第四代 STM) 那样^[3], 建筑物带来的高频振动 ($>100\text{Hz}$), 是用彼此隔着 VITON 人造橡皮的一叠金属板来滤掉的。

G. Binnig 等人还采用四种反馈电路连接方式进行试验。他们发现第四种模式 (只用一个反馈电路接到 AFM 上, 由 STM 里的隧道电流来控制, 使作用在金刚石针上的力维持不变) 在实验的可重复性上, 效果最好。他们用这样的装置绘制了陶瓷 (Al_2O_3) 样品表面的 AFM 迹线。他们指出, AFM 的灵敏度完全能测量样品和针上的增原子之间的所有重要的力。用这种装置研究样品表面, 在空气中的初步结果表明, 它的横向分辨本领是 3nm , 竖向分辨本领小于 0.1nm 。目前国外有几个小组都在研究 AFM, 估计这种情况很快就会有所改进。

- [1] C. F. Quate, 物理 16-3(1987), 129.
- [2] G. Binnig et al., *Phys. Rev. Lett.*, 56-9 (1986), 930.
- [3] B. H. Flowers and E. Mendoza, *Properties of Matter*, Wiley, London, (1970), 22—55.

- [1] Zir Karny, et al., *Rev. Sci. Instrum.*, 51(1980), 1426.
- [2] Rober E. Grove, *Laser Focus*, 18-7 (1982), 45.
- [3] Susan Black and T. R. Burkes, *Proc. 2nd IEEE Int. Pulsed Power Conf.*, Lubbock, TX 1979 (IEEE New York, 1979), 102.
- [4] D. Basting et al., *Laser & Optoelectronic*, 2(1984), 128.
- [5] T. Shimada et al., *Jpn. J. Appl. Phys.*, 24-11 (1985), 855.