

SSX-1 型实用扫描隧道显微镜

姚骏恩 贺节 商广义 艺苑 焦越坎

(中国科学院北京电子显微镜实验室)

本文综述了能够直接观察到单个原子的场离子显微镜、透射电子显微镜、扫描隧道显微镜,报告了 SSX-1 型实用扫描隧道显微镜主要特点与改进之处,和开展扫描隧道显微学研究取得一些结果。

直接观察试样中单个原子象是电子显微学家长期追求的目标^[1]。Müller 在 1957 年首先用场离子显微镜 FIM 在液氢温度下获得了钨单晶针尖的单个原子象^[2], 但是由于试样必须制成曲率半径仅为数十毫米的针尖, 氦在极高的电场强度 (450MV/cm) 下电离而投影成象, 因而只限于研究可制成极细针尖的材料。其次, 透射式电子显微镜经过了半个世纪左右的发展, 也已达原子分辨率。1970 年, 美国芝加哥大学的 Crewe 用场发射超高真空高分辨本领扫描透射电子显微镜 (STEM) 观察了铀和钍——BTCA 中铀原子和钍原子^[3]。日本的 H. Hashimoto 于 1971 年在一般的透射电镜 (TEM) 上也观察到铀、钍原子^[4]。第三种能够直接观察到单个原子的便是八十年代初发展起来的扫描隧道显微镜 (STM)^[5]。用它可直接得到实空间中表面结构的三维图象。它的横向分辨率为 0.1—0.2nm, 而深度分辨率高达 0.01 nm, 放大倍数可达数千万倍, 比一般电子显微镜还高上百倍。它克服了 FIM, TEM 中样品必须处于真空中的限制, 既可在真空, 也可在大气, 甚至液体中直接观察物质表面结构, 避免了生物试样在真空中会因脱水而产生假象, 也不存在 TEM 中高能电子束对试样的辐照损伤。STM 的创制者联邦德国的 G. Binnig, 瑞士的 H. Rohrer 和五十余年前电子显微镜的发明者 E. Ruska 同时获得了 1986 年诺贝尔奖金物理学奖。以上三种原子分辨率显微镜的性能比较列于表 1。关于扫描隧道显微镜的一般原理, 可参考文献 [5—8]。

表 1 三种原子分辨率显微镜的性能比较

	FIM	TEM	STM
横向分辨率	~0.1nm	~0.1nm	~0.1nm
深度分辨率			~0.01nm
使用条件	超高真空	高真空	大气、液体、真空
辐照损伤		有	无
样品制备	难	一般	容易, 一般, 难 ¹⁾
成象解释	易	一般	容易, 一般, 难
观察范围	nm	nm以上	nm~ μ m

1) 难易视所研究的样品而定。

中国科学院北京电子显微镜实验室于 1986 年底开始自行设计研制扫描隧道显微镜。1987 年 11 月我们与化学研究所合作在我国首次调试成功, 分辨率达到原子级。多次得到高定向石墨晶体的原子排列图象 (图 1), 两个相邻碳原子六角环中心的距离为 0.246nm, 六角环相邻原子的距离为 0.148nm^[9]。文献 [9] 已介绍了其工作原理, 仪器描述和解决的几个关键技术问题, 以及得到的石墨原子象等。在此基础上我们又制成 SSX-1 扫描隧道显微镜^[10], 主体照片示于图 2, 装置结构示于图 3。针尖粗细调机构与文献 [11] 相似。针尖 T 和试样 S 间的距离可用固定在机架 F 上的粗调螺杆 M₁ 和精调螺杆 M₂ 来调节; M₂ 由步进电机驱动。固定在头部 H 上的陶瓷管 P 作为三维扫描控制器。与文献 [9, 12] 不同之处在于: 外壁上的两对电极用作 X, Z 扫描, 而不是 x, y 扫描。仪器减震系统由橡胶相隔的几层钢板组成。

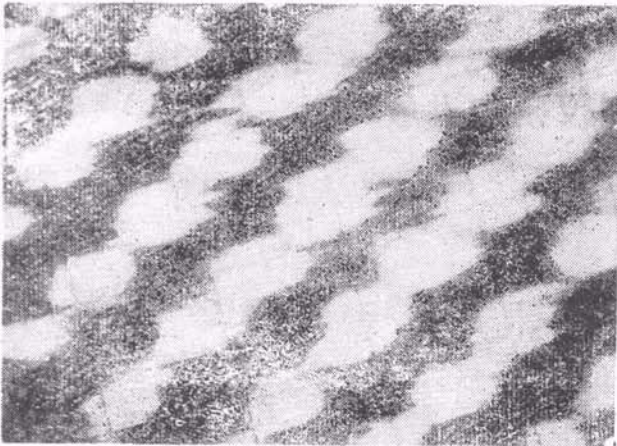


图 1 空气中高定向石墨表面原子排列图象

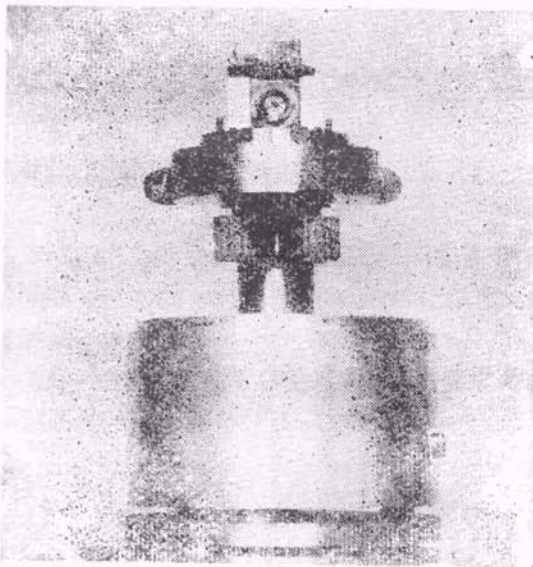


图 2 SSX-1 扫描隧道显微镜

SSX-1 型与我们第一台 STM 相比,优点是: (1)由于试样水平放置,所以既可以观察空气中,也可以观察处于液体中的试样; (2) 试样可沿其表面作 X, Y 方向移动 $\pm 2\text{mm}$; (3) 具有更强的抗音频干扰和地面震动的能力; (4) 针尖和样品间距离的精细调节, 由步进马达及反馈电子回路自动进行。另外, 所得扫描隧道电流象还可经计算机进行平滑、微分、统计分布、伪彩色、傅里叶变换和灰度变化曲线描制等图象处理和分析。

用上述 STM, 即使在不用任何外部减震

物理

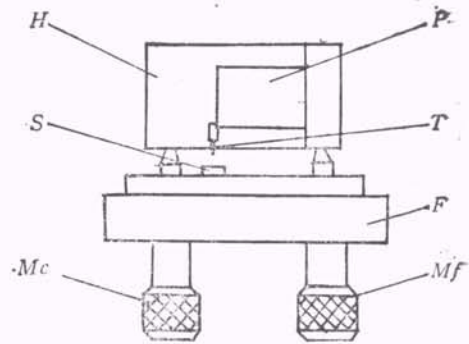


图 3 SSX-1 扫描隧道显微镜主体结构图

装置的条件也曾得到了清晰的石墨表面原子排列图象。观测到的全息衍射光栅 ($4300\text{线}/\text{mm}$) 示于图 4, 可以清晰反映光栅剖面槽形。

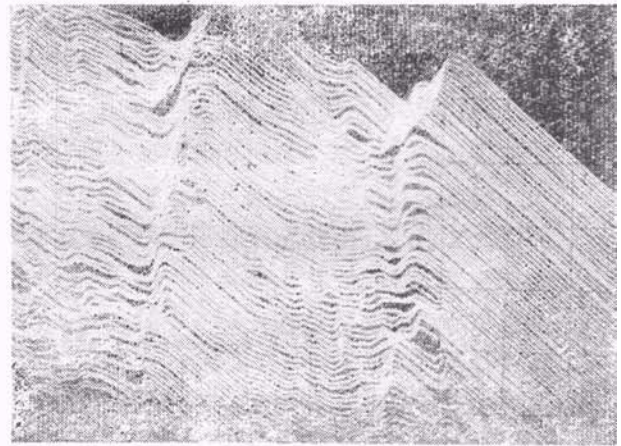


图 4 全息衍射光栅的 STM 线扫描象

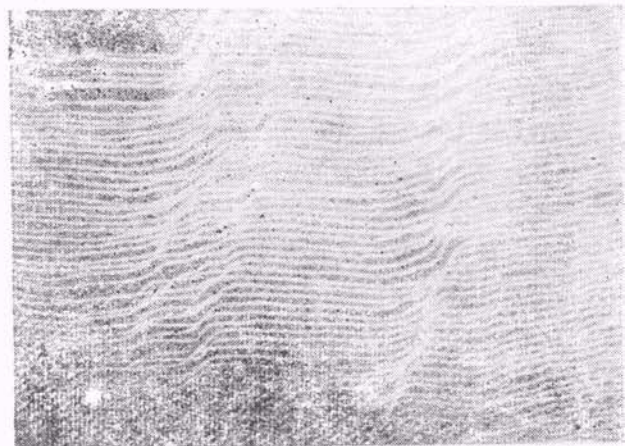


图 5 标准块规表面形貌线扫描象

计量用的块规表面非常平滑, N. Garcia

(下转第 510 页)