

计算机控制的扫描隧道显微镜

黄桂珍 戴长春 陈增波
刘杰三 张文信 白春礼

(中国科学院化学研究所)

摘 要

本文介绍了我们研制的计算机控制的扫描隧道显微镜。该仪器由扫描隧道显微镜主体、电子控制机箱和计算机控制系统组成。文中着重介绍了仪器主体和电子反馈线路的设计思想及作为三维扫描控制器件的压电陶瓷管的使用方式,讨论了一些关键技术问题。

自从 Binnig 和 Rohrer 的开创性工作^[1]以来,扫描隧道显微镜(简称 STM)在国外的
发展很快。它作为具有原子级分辨率,并能实时观察样品表面形貌和态密度分布的有力工具,受到科学界的普遍重视。

本文介绍我们研制的计算机控制的 STM 研制中解决的几个关键性技术问题。关于 STM 的一般原理,请参阅文献[1-5]。

一、装置原理与技术关键

仪器由 STM 主体、电子控制机箱和计算机控制系统组成(图 1)。针尖的扫描和数据采集由计算机控制。得到的信号可在高分辨图象终端上以灰度象或线扫描象实时显示或存储在

行背底扣除、平滑、统计分布、Fourier 变换、剖面面显示等分析和处理^[6]。

隧道电流的强度一般为 nA 数量级。为了减小干扰,我们将二级前置放大器直接固定在仪器主体的机架上。

控制针尖在 Z 方向高度的电子反馈线路,由差分、对数、积分和高压四个放大器组成。差分和对数放大器用于比较隧道电流的实测值与设定值,并将信号对数放大,以适应电流与样品-针尖间距之间的指数关系。积分放大器将差值积分放大并可调节增益和时间常数。高压放大器的输出用于控制压电陶瓷扫描控制器件在 Z 方向的变化。控制线路部分还包括 X, Y 偏置电压的调节, X, Y 扫描电压的放大,样品与针尖之间偏置电压和预置电流值的调节,隧道谱数据采集控制电路等。

为使 STM 达到原子级高分辨率,并满足扫描范围尽可能大的要求,需要选择合适的扫描控制器件。经过比较三角架型、十字型等器件,我们最后选用了压电陶瓷管。其特点是体积小,外径仅为 6.35mm,很适用于制备小巧的 STM,如低温 STM 等。其垂直和平行于管轴方向的固有谐振频率分别为 8kHz 和 10kHz,稳定性好,且压电系数大,使仪器更为实用。使用这种扫描控制器件,使我们研制的 STM 主

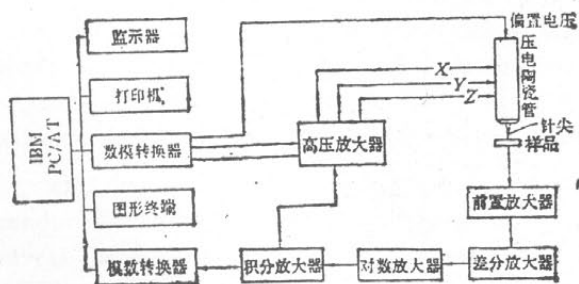


图 1 计算机控制的 STM 框图

计算机磁盘内。已存储的数据可随时调出,进
物理

体尺寸只有 $76 \times 76 \times 40\text{mm}^3$ 。

管状压电陶瓷材料示于图 2(a)。管表面电极可划分为与 Z 轴平行的四等分, 管内壁为一均匀电极。使用这种三维扫描控制器件, 应注意避免 XY 扫描的非正交性。我们将压电陶瓷管作为由四块陶瓷片构成的方柱 [图 2(b)] 来分析这个问题。

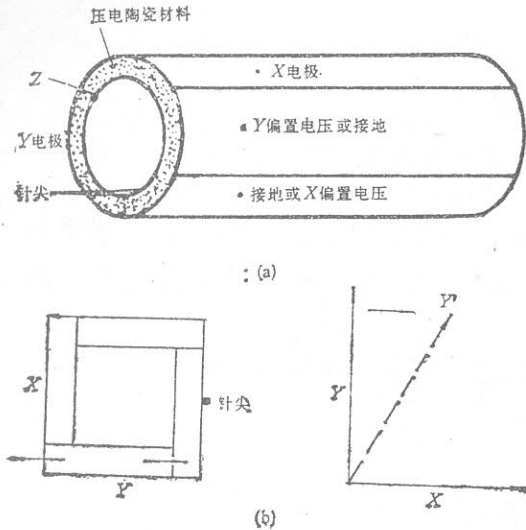


图 2 管状压电陶瓷扫描控制器件与模型

在这个模型中, 针尖固定在与 X 电极相对的电极上。在 X 电极的内外壁加一电场, 则 X 电极沿 Z 方向膨胀, 使管子朝 X 方向弯曲, 带动针尖沿 X 轴方向移动。但在给 Y 电极的内外壁加一电场时, 它在沿 Z 轴方向膨胀的同时, 亦在 X 方向引起膨胀, 使针尖在 X 方向亦轻微移动。这样, 加在 Y 上的电场实际上是使针尖沿 Y' 方向而不是 Y 方向移动。这导致了在 XY 平面上扫描时 X 和 Y 轴的非正交性。为了解决这个问题, 我们将针尖固定在管轴的中心位置。

使用压电陶瓷管作为扫描控制器件应注意的另外一个问题是, 如何在电极上施加相对电压。以前人们^[7]多采用图 2(a)的接线方式, 即把与 X 和 Y 相对的电极接一直流偏压或接地。由于加在管内壁的 Z 电压是相对于管外壁的电势之和而言, 所以扫描时 X 和 Y 电极上的交流电场将导致 Z 电压实际值的改变。因此, 我们在与 X 和 Y 相对的两个电极上, 分别施加与 X 和 Y 的振幅和频率相同但符号相反的电压, 以保证

在扫描时压电陶瓷管外壁四个电极上电压之和为零, 不改变加在内壁上的 Z 电压的基准。这样, 也使得在施加相同电压的前提下, 加大扫描范围。

STM 主体使用两个超精细螺杆并配合杠杆减距原理来调节针尖与样品之间的距离。其基本原理类似于文献[8]所述。本装置粗调的最小步距为几个 μm , 调节量可达几个 cm; 细调的最小步距为几十个 nm, 调节范围为几个 μm 。

STM 放置在一个由多层金属板叠置而成的平台上, 每层金属板之间放置三个真空橡胶圆柱。平台由两级弹簧悬挂在金属屏蔽箱内。这种多级减震系统能比较有效地消除 1.5Hz 以上的外界振动干扰。另外, 我们还采用了磁铁与铜板相对位移所产生的涡流表进行振动阻尼。

二、结果与讨论

我们研制的这台计算机控制的 STM, 实现了数据的自动采集、存储和分析。仪器主体部分小巧, 具有较大的刚性和稳定性。用这台仪器得到的石墨图象, 可清楚地分辨出 A, B 位原子^[9], 达到了原子级分辨率。我们曾在不采用任何外部减震装置的情况下, 也得到了比较清晰的原子图象。用这台仪器, 我们还得到了一种有机导体 (BEDT-TTF)₂Ag(SCN)₂ 和 MoS₂ 等样品的 STM 象, 这些结果将另文发表。

本工作得到中国科学院院长基金的特殊支持。沈维滇和郑南玖先生对本工作给予大力协助, 谨致谢意。

- [1] G. Binnig and H. Rohrer, *Surface Sci.*, 126 (1983), 236.
- [2] 戴道宣, 物理, 14-4(1985), 235.
- [3] 白春礼、傅亨, 百科知识, No. 3 (1987), 71.
- [4] C. F. Quate, 物理, 16-3(1987), 129.
- [5] 汪世才, 物理, 16-6(1987), 321.
- [6] 白春礼、戴长春、黄桂珍、陈增波、刘杰三、傅亨, 物理化学学报, 5-1(1989), 3.
- [7] G. Binnig and D. P. E. Smith, *Rev. Sci. Instrum.*, 57(1986), 1688.
- [8] T. R. Albrecht and C. F. Quate, *J. Vac. Sci., Tech.*, A6-2(1988), 287.
- [9] 黄桂珍、戴长春、陈增波、刘杰三、白春礼、傅亨, 化学通报, No. 10(1988), 38.