

开放式多功能扫描探针显微镜系统

吴浚瀚 杨德亮 吴浚泓 袁伟华 黄桂珍 牟涛 商广义 万立骏 白春礼

(中国科学院化学研究所分子纳米结构与纳米技术重点实验室 北京 100080)

(中国科学院化学研究所本原纳米仪器有限公司 北京 100080)

E-mail: wjh@spm.com.cn

摘要 开放式多功能扫描探针显微镜、集成扫描隧道显微镜、原子力显微镜、横向力显微镜和静电力显微镜,具有接触、半接触和非接触工作模式,可进行作用力、电流、电位、光能量等参数的高度局域综合测量,具有极高的开放性和可扩展性,支持用户进行二次开发。

关键词 扫描探针显微镜;原子力显微镜;扫描隧道显微镜;开放式;多功能;纳米科技

中图分类号 TN16

The Open Multi-function Scanning Probe Microscope

Wu Junhan, Yang Deliang, Wu Junhong, Yuan Weihua, Huang Guizhen, Mou Tao, Shang Guangyi, Wan Lijun, Bai Chunli
(Key Lab of Molecule Nanostructure & Nanotechnology, Institute of Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

(Benyuan Nano-instruments Ltd., Institute of Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract The multi-function open scanning probe microscope (SPM), which includes scanning tunneling microscope (STM), atomic force microscope (AFM), lateral force microscope (LFM) and electrostatic force microscope (EFM) with contact mode, tapping mode and non-contact mode, is introduced in this paper.

Key words Scanning probe microscope; atomic force microscope; scanning tunneling microscope; open; multi-function; nanotechnology

1 前言

扫描探针显微镜 (Scanning Probe Microscopes, SPM) 的技术核心在于它具有极高的可控空间定位精度 (优于 0.1nm 量级), 因而使得它不但具有极高的分辨率 (可达原子级分辨), 而且具有极高的操纵和加工精度 (可实现单原子操纵)。

虽然纳米科技的历史可以追溯到 1959 年著名物理学家费曼在美国物理年会上的一次富有远见的报告, 但一般认为, 直到 1990 年 7 月, 第一届国际纳米科技会议和第五届国际扫描隧道显微学会议在美国巴尔的摩同时举行, 纳米科学技术这一崭新的学科才正式诞生^[1]。事实上, 在今天和可以预见的将来, SPM 不但是纳米科技的锐利眼睛, 而且是纳米科技的灵巧手指, 是纳米技术的核心技术支撑之一。同时, SPM 技术也是最重要的纳米尺度检测和表征技术。

2 扫描探针显微镜的发展及应用

1982 年, G. Binnig 和 H. Rohrer 研制成功扫描隧道

显微镜 (Scanning Tunneling Microscopes, STM)^[2], 并因此获得 1986 年诺贝尔物理学奖。此后, Binnig 等人又研制成功原子力显微镜 (AFM)^[3]。1988 年, 国外开始利用激光技术改进 AFM, 研制出激光检测的原子力显微镜 (Laser-AFM, 是目前应用最为广泛的原子力显微镜, 也称 AFM) 并于次年达到原子级分辨率^[4~6]。

此后, 类似原理的仪器相继问世, 由于它们都有一个共同的特点: 利用探针对被测样品进行扫描, 同时检测扫描过程中探针与样品的相互作用 (如样品-探针间的隧道电流或相互作用力等), 得到样品相关性质 (如电子态密度、形貌、摩擦力、磁畴结构等), 因而统称为扫描探针显微镜 (SPM)。

我国在该领域的研究和开发工作起步很早, 中国科学院化学研究所自 1987 年起先后研制成功了我国的第一台 STM、AFM、Laser-AFM 等 SPM 仪器^[7~10], 并广泛和深入地开展相关应用研究, 先后获得国家科技进步二、三等奖, 中科院科技进步一、二等奖等和国家发明专利多项。自 1989 年起, 中科院化学所本原纳米仪器公司批量生产相关仪器, 其 CSTM/CSPM 系

收稿日期: 2003-03-30

作者简介: 吴浚瀚, 男, 1966 年, 理学硕士。1993 年在白春礼院士的指导下研制成功我国的第一台激光检测原子显微镜, 此后长期致力于扫描探针显微镜 (SPM) 类纳米表征仪器的开发及其产业化, 先后主持开发了本原 CSPM-9800、CSPM-2000 系列的 SPM, 产销百余台。现为本原纳米仪器公司总工程师。

列 SPM 累计产销百余台,装备了我国(包括港、台地区)和美国、日本、新加坡等一批高水准的实验室并取得了大量高水平的应用成果。

经过 20 年的发展,迄今 SPM 家族已经包括了 20 多种仪器,并且一直还在发展之中。表 1 为目前国际上应用较广、也相对比较成熟的几种 SPM 仪器^[11~12]。

表 1 几种常见的 SPM 仪器

	名称	检测信号	分辨率	备注
扫描探针显微镜	扫描隧道显微镜 (STM)	探针-样品间的隧道电流	0.1nm 量级 (原子级分辨率)	统称为扫描力显微镜 (SPM)
	原子力显微镜 (AFM)	探针-样品间的原子作用力		
	横向力显微镜 (LFM)	探针-样品间相对移动的横向作用力		
显微镜 (SPM)	磁力显微镜 (MFM)	磁性探针-磁性样品间的磁力	10nm 量级	
	静电力显微镜 (EFM)	带电荷探针-带电荷样品间的静电力	1nm	
	近场光学显微镜 (SNOM)	光探针接收到样品近场的光辐射	10 - 100nm 量级	

以中国科学院化学所 SPM 为代表的国产仪器,在主要技术指标和仪器性能等方面均达到国际先进水平。以 CSPM-2000 型 SPM 为例,该机集成了 STM、AFM 和 LFM,分辨率达到 0.1nm,最大扫描范围为 100 μ m,自带 FV 和力曲线等谱学功能和多种纳米加工功能,具有接触和轻敲多种工作模式,同时具有振幅和相差成像技术,系统实现了基于 DSP 的全数字反馈控制,在线控制软件和后分析软件可运行于 Win 9X/Me/2000/XP 等操作系统^[13]。图 1~3 为 CSPM-2000we 型 SPM 得到的结果^[14~15]。

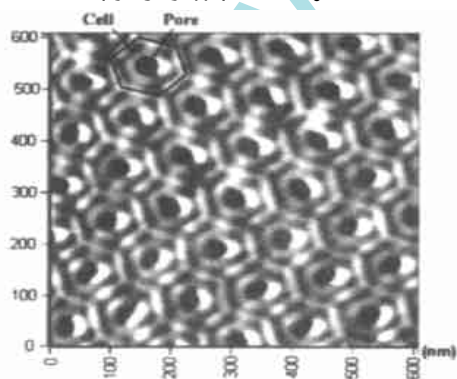


图 1 多孔氧化铝模板 (Porous Alumina Membranes) 的 AFM 图象



图 2 在 p 型 Si (111) 上以氧化法进行纳米加工得到的中科院院徽

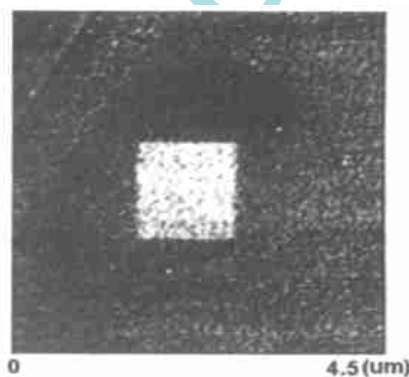


图 3 浸笔印刷术 (DPN) 在金基底上 1,6-己二硫醇的摩擦力图像

3 开放式多功能扫描探针显微镜

SPM 应用于各学科研究时所遇到的各种现象和问题及其解决,推动着新的 SPM 仪器的发明和完善,而且,SPM 技术与其他技术的结合,产生了许多新技术和新发现。

一方面,研究人员应用通用的 SPM 仪器作为技术手段进行研究工作,另一方面,针对自己的研究领域和研究课题,他们也通过改造现成的 SPM 仪器以满足其特殊应用的需求。随着纳米科技的持续深入的发展,这种情况将日趋普遍。因此,用户对仪器的多功能和开放性也要求也越来越高,而目前进口和国产的商品化 SPM 仪器,基于厂家自身的商业利益,一般不向用户开放软、硬件的底层技术资源,因而用户难于进行二次开发。

我们研制的开放式多功能扫描探针显微镜,系统结构如图 4 所示。与国外或我们以前的同类仪器相比,主要特色在于其开放式结构和多功能。所谓开放式结构,有两方面的意义:1) 系统内部预留多个冗余的可控输入/输出信号处理通道,使得系统具有方便灵活的功能扩展能力;2) 系统外部具备标准的开放接口,使得系统具备强大的外接功能,满足用户进行二

次开发的特殊要求。在 SPM 探头的电子和机械部分、电子控制电路部分、控制软件系统等各个子系统,从最初规划到最终完成,除实现内部的设计功能,更为日后其他应用预留扩展空间,使其易于满足不同用户的特殊应用。所谓多功能,也包含两个层次的含义:1)在一个系统上,实现多种 SPM 测试技术或纳米加工方法,即克服现有 SPM 只能同时获得物体单一性质的不足,提高电、光、力的综合与实时探测能力。2)在一种 SPM 测试技术或纳米加工方法中同时或交替进行多种测量和操纵。实际上,系统的多功能和开放式结构是统一的,多功能是其开放式结构的结果,而开放式结构是其多功能的必备条件。

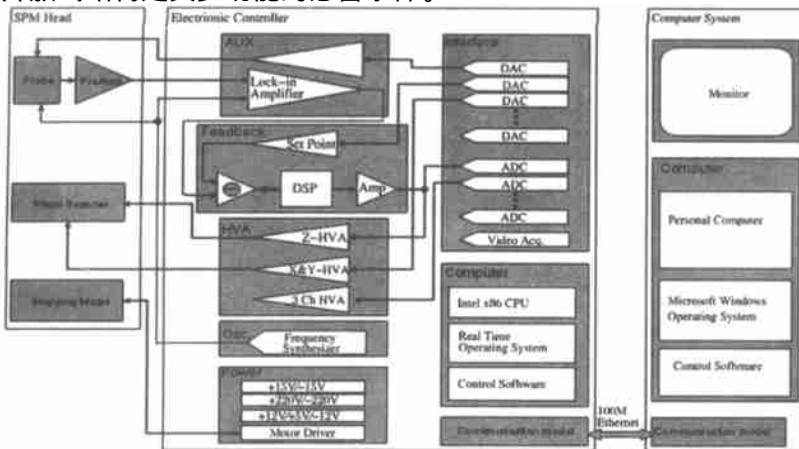


图4 开放式多功能扫描探针显微镜系统结构示意图

因此,我们研制的多功能开放式扫描探针显微镜,实际上是一个能直接供应给用户的,集成 STM, AFM, LFM, EFM 的,具有接触、半接触和非接触工作模式的,可进行作用力、电流、电位、光能量等参数的高度局域测量的,具有极高的开放性和可扩展性的 SPM 系统。它主要包括:

a. 开放的探头平台:包括可分解独立式具有内/外部扫描器底座、扫描/固定样品台、多功能单体扫描探针检测头等;

b. 电子控制系统:包括高稳定的低压和高压电源、基于 DSP 的自动反馈控制系统、基于 DDS 技术的高稳定信号源、基于高压集成运算放大器的低噪音高压扫描驱动电路、高速高分辨 A/D 和 D/A,基于 Intel x86 处理器的系统控制调度内嵌核心模块等;

c. 系统软件:包括内嵌系统的高度实时性控制软件、for Microsoft Windows 9X/Me/2000/XP 全系列操作系统的用户控制界面软件、内嵌系统和用户操作软件的通信软件模块、实时采集数据的离线分析处理软件。

从仪器特点讲,开放式多功能 SPM,由于同时具有多种功能,可广泛应用于各常规研究领域,又因其具有开放式结构,更能够或容易满足各个特殊领域和特殊应用的需求。

从应用的领域讲,开放式多功能的 SPM,可以广泛应用于表面科学、物理学和化学、微电子学、电子材料学、先进材料和纳米材料、纳米粉体、生命科学、先进制造和加工技术、以及超高密度信息存储等研究领域。

从仪器的功能来讲,开放式多功能 SPM 作为一种在纳米级尺度上既能够成像,又能够进行微观和高度空间局域的性质测量,同时具备加工和操纵功能,可在大气下、液体或可控环境中工作的仪器,适用于以下几类研究:超微尺度空间结构、电流密度场、摩擦力场、电势分布等的等高线绘制;纳米尺度的接触力检测、摩擦力检测、电学性质检测、隧道结 I-V 和 dI/dV 特性检测、微区电磁场检测;利用刻蚀和场蒸发等方法在纳米

尺度上构筑和加工结构单元、利用脉冲信号实现纳米尺度的信息单元存储等;利用连续成像技术,监控和重现纳米空间上的变化过程(即纳米电影)。

4 结束语

未来的前沿科技具有纳米科技的特征,纳米科技已是今后高科技的基础,随着纳米科技发展和纳米产业的兴起,SPM 的应用将日趋深入、广泛和普及,尤其是大量跨学科前瞻性研究工作的开展及新兴研究和应用领域出现,多功能开放式的 SPM 仪器将更具应用前景。

致谢:感谢本单位郭玉国、宫建茹两位博士为作者提供了他们的最新工作进展和实验结果。

参考文献

- [1] 白春礼. 纳米科学与技术, 昆明: 云南科技出版社, 1995, 2~3
- [2] Binnig, G., Rohrer, H., Appl. Phys. Lett., 1981, 40:178~181
- [3] Binnig, G., Quate, C. F., Gerber, Ch., Phys. Rev. Lett., 1986, 56:930~933
- [4] Amer, N. M., Meyer, G., Bull. Am. Phys. Soc., 1988, 33:319~323
- [5] Meyer, G., Amer, N. M., Appl. Phys. Lett., 1988, 53:1045~1017
- [6] Alexander, S., Hellenmans L., Marti, O. et. al. J. Appl. Phys., 1989, 164~167
- [7] 白春礼, 微机控制的扫描隧道显微镜, 科学通报, (1989) 34(5):399
- [8] 黄桂珍, 白春礼等, 石墨晶体的高分辨扫描隧道显微像, 化学通报, (1988) 10:38
- [9] 吴浚瀚, 白春礼等, 激光检测原子力显微镜的研制, 科学通报, (1993) 38(9):790
- [10] 吴浚瀚, 白春礼等, 云母和石墨表面结构的激光检测原子力显微镜研究, 科学通报, (1993) 38(10):904
- [11] 商广义, 白春礼等, 扫描探针显微镜在纳米科技中的应用, 现代科学仪器 1998, (1-2):77~79
- [12] 白春礼, 田芳, 扫描力显微镜, 现代科学仪器 1998, (1-2):79~83
- [13] 本原纳米仪器公司, CSPMT-2000 系列扫描隧道显微镜简介, www.spm.com.cn, 2003, 1, 28
- [14] Guo Yu-Guo, Wan Li-Jun, Gong Jian-Ru, Bai Chun-Li, Preparation And 2002, 4:3422~2424
- [15] 宫建茹, 万立骏, 白春礼. 扫描探针纳米加工技术的现状与发展趋势, 大学化学, (2003) 18(1):7