

# 多功能扫描探针显微镜的设计与实现

戴长春 黄桂珍 张新文 施倪承

(中国科学院化学研究所, 中国地质大学)

**摘要** 扫描探针显微镜发展至今已经成为具有探测、微加工、微控制和各种谱学等功能的综合性仪器。我们研制的多功能扫描探针显微镜, 是一种与光学显微镜结合的、具有 STM、AFM、LFM 等多模式和功能的实用型仪器。

**关键词** 扫描探针显微镜, 纳米科技。

## 0 引言

八十年代初以扫描隧道显微镜 (STM) 为代表的纳米探测仪器的面世<sup>[1]</sup>, 推动了一系列纳米学科的兴起与发展。经过十多年的更新换代, 纳米探测仪器已经发展成为包括 STM、原子力显微镜 (AFM)、摩擦力显微镜 (FFM)、磁力显微镜 (MFM)、弹道电子显微镜 (BEEM) 等多种具有纳米水平分辨率的扫描探针显微镜 (SPM) 家族<sup>[2]</sup>。SPM 在功能上也不仅仅局限于微区成像, 而是成为具有探测、微加工、微控制和各种谱学等功能的综合性仪器。因此, 扫描探针显微镜的不断发展, 已经成为人类认识和改造微观世界的必不可少的工具。

中国科学院化学研究所本原显微仪器开发中心和中国地质大学合作研制的多功能扫描探针显微镜, 是一种与光学显微镜结合的、具有 STM、AFM、LFM 等多模式和功能的实用型仪器。

## 1 设计思想

从 STM 发展起来的扫描探针显微镜的种类虽然很多<sup>[3]</sup>, 但都程度不同地继承了 STM 仪器的一些设计方法。它们的主要差别在于探头的不同。就探头而言, SPM 可分为与隧道效应有关的显微镜、扫描力显微镜、光子扫描隧道显微镜, 以及扫描热显微镜等等。其中应用最广的是 STM、AFM、LFM 和 MFM 等。对于实用型的 SPM 在设计时应考虑其不同的用途, 充分利用各种显微镜的相似部分, 使其具有通用性。另外, 尽可能高的分辨率和覆盖从纳米至微米的扫

描范围,以及操作方便等也是需要考虑的因素。

基于如上分析,我们的扫描探针显微镜设计成由几个单元组成(图1):其中电路控制系统、计算机软硬件系统等相似性强的部分尽可能具有兼容性;探针显微镜主体一分为二,扫描驱动部分设计成通用底座,根据不同用途更换不同的探头,从而达到多功能的目的。为了便于操作,我们还设计与SPM联用的光学显微镜及CCD监视系统,使视野覆盖从原子水平到微米的不同区域。

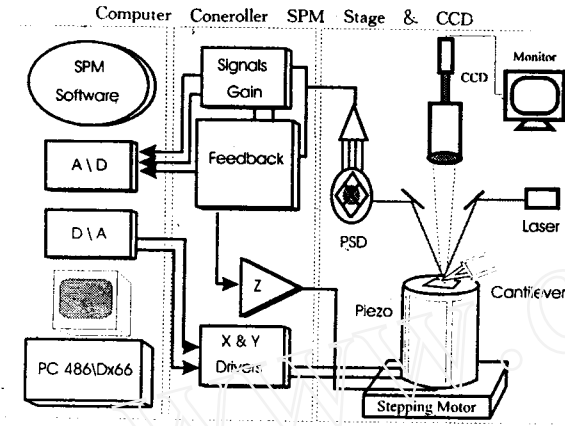


图1 扫描探针显微镜系统框图

## 2 研 制

### 2.1 SPM 主体

SPM 主体是扫描探针显微镜的核心,分为探头和扫描驱动基座上下两个实体,由光路系统(STM 为导电探针)、前置放大部分、扫描驱动部分、步进电机部分以及机械调节系统等部分组成。

对于扫描力探头(如 AFM、LFM),光路系统包括激光光源、准直及聚焦透镜、微悬臂、光敏检测器及其机械调节系统。激光光源采用可见光半导体激光器(GaAlAs

Laser, 670nm, 3mW)作为单色光源,光束经准直及聚焦透镜汇聚,再经镜面反射后入射到微悬臂背部镜面。从微悬臂反射的光束经一可调节光束方向的反光镜照射到光敏检测器上。光路采用多次反射的方案是为了便于上方的光学显微镜直接观察。激光器电源采用恒流、恒功率、稳压输出。聚焦光斑应能被约  $20\mu$  宽的悬臂梁镜面有效反射,反射光斑应呈椭圆形。微悬臂采用  $\text{SiO}_2$  或  $\text{Si}_3\text{N}_4$  材料制成,背面有镀金镜面,微悬臂的弹性系数在  $0.1\text{N/m}$ — $10\text{N/m}$  之间。光敏检测器为四象限位置敏感检测器(PSD),PSD 的四象限呈“ $\diamond$ ”形放置,调零时反射光斑应落在四象限中央。在机械设计上,光敏检测器和激光、透镜部分都需要三维可调,以利于光斑准确汇聚在微悬臂和反射到 PSD 上。

前置放大部分由精密仪器放大器组成,分别捕捉和放大光敏检测器四象限的横向和法向的差动电流信号,并将信号转换成毫伏级电压信号,用于输出和控制反馈电路。

STM 探头的设计相对简单一些,探头部分主要包括导电探针插座和高灵敏度的 I—V 转换前置放大器。LFM 探头与 AFM 探头的差别在于多一路探测横向力的检测电路。而 MFM 探头的微悬臂采用磁性探针和增加一微型压电振荡器。

扫描驱动基座设计为通用性的。扫描驱动部分是指可以负载样品做 X、Y 水平扫描移动和 Z 轴反馈控制移动的压电陶瓷管。在(150Volt 电压驱动下,X、Y 扫描范围可从  $2\text{nm} \times 2\text{nm}$  达到  $10\mu \times 10\mu$ 、使仪器不仅可以在原子尺度研究样品结构,还可以进行大范围形貌观察。步进电机采用步距角为  $0.3$  度的精密电机。

机械设计包括探头的整体设计,激光部分、检测器的安装和三维机械调节,样品的 X 和 Y 方向机械平移调节,微悬臂安装及锁定装置,样品磁性底座、显微镜主体屏蔽及减震装置,连线

和接插件安装等。

## 2.2 光学显微镜及 CCD 系统

用于微米水平定位及实时监视探针及样品的系统包括体视显微镜、CCD 摄像头和监视器。其中体视显微镜要求具有长工作距、大视场和连续变倍, CCD 采用 0.04LUX, 460 线黑白摄像头。为了给观察区域提供照明, 光源从显微镜的左侧视镜引入。

## 2.3 电路控制系统

由于 SPM 是在纳米级水平上对样品进行研究, 而 SPM 的信号十分微弱, 一般在 nA 级或  $\mu\text{V}$  级水平上, 因此对整个电路的设计有很高的要求。SPM 的控制电路包括反馈电路部分(比较电路、增益放大电路、积分电路、Z 轴高压放大等)、驱动电路部分、法向信号放大部分等。针对横向力研究的特点, 还增加了横向力信号增益单元、参比信号控制部分和 Z 轴调节控制部分。电路部分还包括纳米加工和谱学控制的各种功能。

## 2.4 软件

SPM 的软件包括两个部分, 图象扫描、采集和显示程序; 图象处理程序。

图象扫描、采集和显示程序可实现 SPM 的表面拓扑图象的实时采集、灰度图象显示以及数据存储。扫描范围、扫描方向、数据采集速度、工作模式等相关参数可随时设定。SPM 的软件能够得到多种谱学的函数曲线。例如, I-V 曲线、I-Z 曲线、I<sub>ref</sub>-V<sub>z</sub> 曲线、V<sub>z</sub>~I<sub>t</sub> 曲线等。为了实现纳米加工的工作, 软件增加了表面修饰功能。

SPM 的图象处理功能包括二维、三维以及线扫描图象, 以及各种图象分析、处理功能。

## 3 测试与试验结果

使用研制的多功能扫描探针显微镜, 我们对云母、光盘、镀金膜、光栅等样品进行了测试。试验表明, 这台 SPM 的各项指标均达到设计要求。仪器主要指标如下:

横向分辨率:	STM < 1Å	FM < 3Å
扫描范围:	1nm × 1nm	10 $\mu\text{m}$ × 10 $\mu\text{m}$
功能:	STM、AFM、LFM、STS、纳米加工等	

## 参 考 文 献

- [1] G. Binnig et al., Appl. Phys. Lett., 1982, 40, No 2, 178
- [2] 白春礼, 《扫描隧道显微术及其应用》, 上海科学出版社
- [3] 白春礼, 商广义, 现代科学仪器, 1994 4.

## The Design of An Multimode Scanning Probe Microscope

Dai, Chang—chun Huang, Gui—zhen Zhang, Xin—wen Shi, Ni—cheng

(Institute of Chemistry, Chinese Academy of Science, China University of Geosciences)

(下转第 367 页)

## Atomic Force Microscope combined with Optical Microscope and Impact Driving Mechanism

Zhang, Hai—Jun Huang, Wen—Hao Lin, Song  
(Univ. of Science and Technology of China)

**ABSTRACT:** In this paper, an atomic force microscope combined with optical microscope (OM) and the impact driving mechanism for micro displacement are reported. Using OM and CCD camera, the micro cantilever and sample can be monitored in the range of  $550\mu\text{m} \times 450\mu\text{m}$ . The sample can be moved in two dimensions with the step of  $0.5\mu\text{m}$  by the IDM. The maximum scanning range is  $3\mu\text{m} \times 3\mu\text{m}$ , the resolution is about 1 nm. Some images obtained by our microscope are given.

(上接第 271 页)

**ABSTRACT:** Several styles of high resolution scanning probe microscopes, SPM, have been developed in recent years. Our Multimode scanning probe microscope is capable of operating in several common scanning modes, as STM, AFM, LFM, STS, etc. It consists of four major components: The microscope, the controller, the optical microscope with CCD monitor and the computer workstation. The microscopes contain, a piezoelectric scanner which controls the scanning motion, the head which varies for STMs and AFMs. The controller is the analog system to control the microscope and select image data. The optical microscope and CCD use for monitoring the cantilever and sample. And computer workstation supplies the scanning, image displaying and processing. The SPM can scan a wide variety of samples with scan sizes from the atomic level up to 10 microns squares. The SPM is operated easier, for it is installed a monitoring system to observe states of cantilever and sample real—timely.

**KEY WORDS:** Scanning Probe Microscope, Nano—scale Science And Technology