



原子力显微镜探针自动逼近系统设计与应用

周凯波, 黄毛毛, 殷玉娟

天津大学; 精密测试技术及仪器国家重点实验室, 天津 300072

摘要 设计出一套能独立运作的原子力显微镜 (AFM) 探针自动逼近系统, 可广泛应用于大部分原子力显微扫描系统的独立开发。逼近过程中, 通过 VB 的串口通讯发送指令控制单片机采集 AFM 微悬臂梁的偏转信号, 并传送到计算机进行分析显示, 实时监测探针与样品之间的作用力, 最终实现探针的自动逼近。该系统可与多种相关原子力显微镜设备组合应用, 达到个性化多功能检测的目的。

关键词 原子力显微镜; 步进电机; 逼近系统; 数据采集

中图分类号 TP216, TN16

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2009)18-0043-04

Design and Application of Auto-feeding System for Atomic Force Microscopy Probe

ZHOU Kaibo, HUANG Maomao, YIN Yujuan

State Key Laboratory of Precision Measuring Techniques and Instruments; Tianjin University, Tianjin 300072, China

Abstract Atomic Force Microscope (AFM), one of the most effective and important means of testing and processing in nanometer technology, is receiving increasing popularity in applications related with nanometer technology. The current trend of development of AFM involves its composite function. Direct observation of the surface of the nano-scale morphology is not the only thing AFM can do, it also supports nanofabrication, biological materials testing and even the mechanical property test for nanostructures. Therefore, design and development of a multifunctional AFM system is becoming a demand. The auto-feeding system, as a part of the whole AFM system, plays a very important role. In this paper, an auto-feeding system for AFM probe is designed, which can be widely used in the independent development of AFM scanning system. It can not only reduce the manufacturing costs of AFM, but also contribute to the extended applications of AFM. Single chip and A/D converter are utilized as its front-end system, and the data collected from A/D is sent to PC

through RS-232 serial port, meanwhile, Visual Basic is applied to deal with data analysis and processing, and finally to realize the automatic control of the stepper motor for AFM scanning. The system can work with SIS AFM head stably, and they can provide users the access to personalized multi-function measurements.

Keywords atomic force microscope; stepping motor; feeding system; data acquisition

0 引言

原子力显微镜 (Atomic Force Microscope, AFM)^[1] 是继扫描隧道显微镜 (STM)^[2] 之后迅速发展起来的一种原子级分辨率扫描显微镜。它通过监测待测样品表面与一个微型力敏感元件之间的极微弱的原子间作用力来研究物质的表面结构。这种具有原子级分辨率的仪器可用于导体、半导体和非导体材料表面的结构研究, 在表面科学、材料科学和生命科学等领域的研究中具有特殊的重要意义。

由 AFM 原理和原子力作用规律^[2] 可知, 只有当 AFM 针尖与待测样品表面的间距达到纳米级时, 样品表面原子与微探针之间才能产生稳定的原子力, 使微悬臂发生偏转。样品向探针逼近直至进入稳定的原子力状态称为 AFM 的逼近状态, 此过程如果通过手动调节机械装置, 很难达到原子级定位精度。调节不够, AFM 针尖与样品表面间距在一定的范围之外, 无法使悬臂梁正常工作, 调节太深往往又会使探针与样品接触而直接导致样品或探针损伤。为了减少不必要的浪费, 提高逼近系统的自动化性能, 本研究通过计算机控制步进电

收稿日期: 2009-07-13

作者简介: 周凯波, 研究方向为微纳加工测试、MEMS 技术, 电子信箱: gavinzhou85@gmail.com



机,实现样品与微探针的逼近。

1 系统设计

AFM 正常工作的前提是探针充分逼近样品进入原子力状态,使微悬臂发生一定量的偏转,通过特定的检测装置,将微悬臂的偏转量转化为对应的偏置电压值^[3]。因此,通过对此电压的采集、分析和处理,可以控制步进电机实现 AFM 的自动逼近。AFM 自动逼近系统框图如图 1 所示。系统由 PC 机、单片机、步进电机驱动器、步进电机和 A/D 转换器组成,基本原理是:首先设置一窗口电压值 V_{REF} ,即预置一个微悬臂偏转量,然后通过上位机 VB 界面给单片机发送指令,控制步进电机带动测头开始垂直往下运动,同时启动数据采集,检测微悬臂梁偏移量所对应输出的电压值,一旦采集到的电压值 V_{IN} 与预设电压 V_{REF} 相同,立即发送指令给单片机使其控制步进电机停止转动。自此,AFM 自动逼近过程运行结束,开始对样品进行扫描。

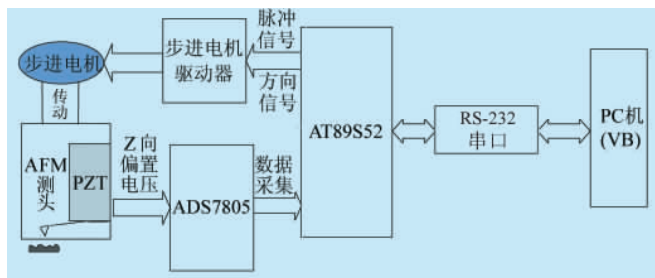


图 1 AFM 自动逼近系统组成

Fig. 1 Schematic diagram of the auto-feeder system

2 系统电路设计

2.1 微控制器 89S52

微控制器是前端系统的核心部件,主要任务是数据采集、步进电机控制及数据通讯等。相对于 AT89 系列单片机,选择通用性强、功耗小、性能良好的 8 位 AT89S52 微处理器芯片。其 CPU 采用与 MCS-51 兼容的结构和指令系统。AT89S52 具有 8 KB 的 Flash 存储空间、2 KB E²PROM、256 B 片内 Ram、3 个 16 位的定时器/计数器、可编程串口通讯、可编程看门狗定时器 WDT、6 个中断源等特点,大大简化了电路设计。

2.2 A/D 转换芯片 ADS7805

ADS7805^[4]是 Burr-Brown 公司的 16 bit 高精度转换器,采样速率为 100 kHz,被广泛应用于测试装置。ADS7805 采用 CMOS 工艺结构,包括采样/保持(S/H)、参考基准电压、内部时钟等电路。单通道输入,模拟输入电压范围为 -10~+10 V,工作电压 +5 V,功耗 100 mW。ADS7805 采用逐次逼近式工作原理,转换结果的 16 位数据并行输出到数据线上,开始转换和读取上一次转换的结果,可以同时进行。

ADS7805 用 /CS 和 R/(/C) 及 /BUSY 控制转换开始、数据

有效、数据读取等操作。当 /CS 为低电平, /BUSY 为高电平以及在 R/(/C) 端出现下降沿时,即开始一个新的转换;当 /CS 为低电平时,在 R/(/C) 端出现上升沿时,可以并行输出 16 位数据。

2.3 ADS7805 与 AT89S52 接口电路

ADS7805 与 AT89S52 的接口电路如图 2 所示。ADS7805 的外围电阻用于补偿零点误差和增益误差,AT89S52 的 P2.0、P2.1、P2.2 分别与 ADS7805 的 R/(/C)、/CS、/BUSY 相连接;当 ADS7805 的 BYTE=0 时,6~13 和 15~22 脚分别对应于 Bit 15~Bit 8、Bit 7~Bit 0;并分别接到 2 片 74LS573 锁存器的输入端,其对应输出接 AT89S52 的 P1、P0 口即高 8 位和低 8 位,74LS573 锁存器的 /OE 接 P2.7, P2.7 反向后接 74LS573 锁存器的 LE 控制,当 P2.7 输出一个低电平时,打开锁存器把 AD 转换的数据读取到单片机中。

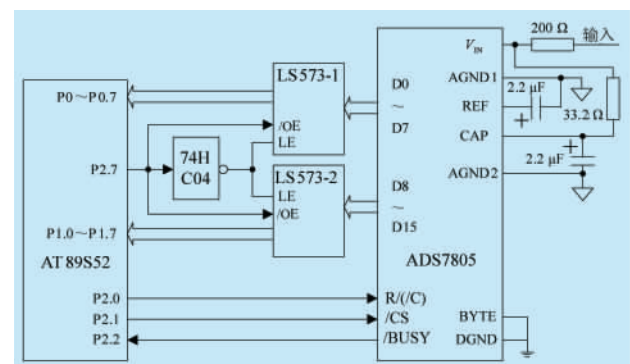


图 2 ADS7805 与 AT89S52 接口电路

Fig. 2 Interface circuit between ADS7805 and AT89S52

2.4 步进电机控制电路

本文采用电控平移台竖直放置方法实现探针在垂直方向的升降,电控平移台通过步进电机驱动,实现位移调整自动化。由于 AFM 针尖与样品表面之间的距离必须达到纳米级才驱能使原子之间发生作用力,继而导致微悬臂偏转产生偏置电压,因此,步进电机的单步最小位移量必须控制在纳米级分辨率,然而一般步进电机很难达到如此高的定位精度,必须对步进电机进行步距细分。

Zolix 公司生产的 TSA50-C 超薄型电控平移台,其行程为 50 mm,分辨率达 0.625 μm,重复定位精度小于 5 μm,步进电机步距角为 1.8°,螺杆导程 1 mm。当电控平移台配上具有细分功能驱动器后,便可作为 AFM 自动逼近系统的机械执行机构。雷赛公司生产的细分型高性能步进驱动器 MA335B,其细分精度可由用户轻易设定,最高可达 128 细分(25 600 步/圈)。假设电控平移台的移动距离为 d ,则移动行程 d 和驱动器细分数 F 、脉冲数 p 等参数的关系为

$$d = \frac{slp}{360^\circ F}$$

其中,步进电机步距角 $s=1.8^\circ$,螺杆导程 $l=1$ mm。 F 和 p 的取值根据具体实验需要,可以很方便地通过驱动器和单片机进

行设定。若取细分精度最大为 128,可得电控平移台最小位移量为 39 nm,达到实际要求。图 3 为步进电机驱动控制电路,由单片机输出两路分别作为脉冲信号和方向信号,脉冲频率决定步进电机的运转速度,单片机每输出一个脉冲,步进电机转过一个步距角。

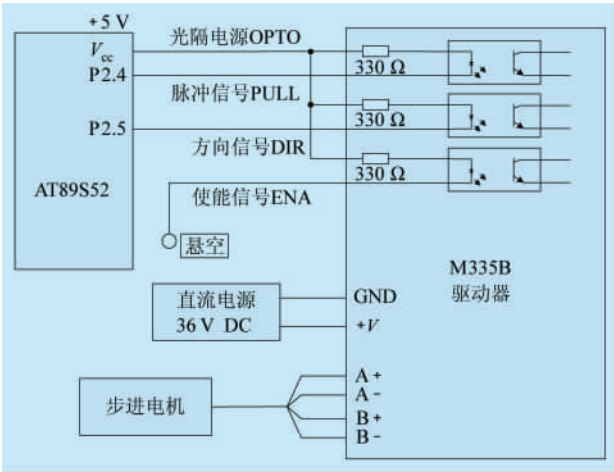


图 3 步进电机驱动控制电路
Fig. 3 Driving and controlling circuit of stepper motor

3 软件设计

3.1 系统软件流程

在程序设计中,首先通过 VB 编程对串口初始化并设置参数,以保证与单片机的正常通讯。然后由界面按钮向单片机发送操作指令,调用 ADS7805 采集子程序,当 $V_{IN} \neq V_{REF}$ 时,表明探针还在接近样品过程中,原子间无相互作用力,步进电机转过一个步距角,直到采集到的电压值与预设值相等为止。总体软件设计流程如图 4 所示。

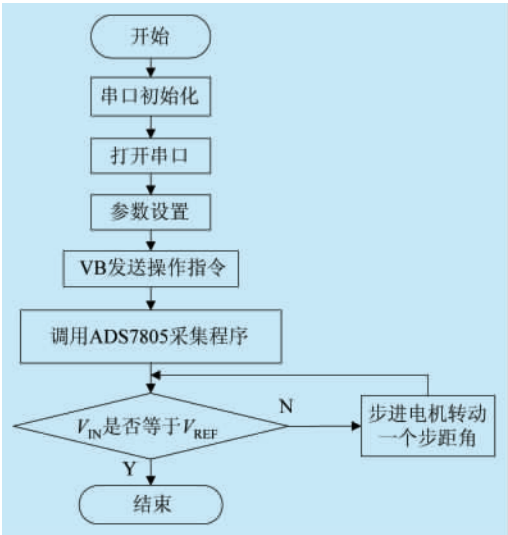


图 4 总体软件设计流程图
Fig. 4 Flowchart of overall software design

3.2 程序设计

系统软件设计主要包括上下位机两部分。下位机部分主要是步进电机控制信号输出以及数据采集与发送,上位机需要完成 VB 的 RS232 串口通讯,指令发送,数据接收和处理分析。步进电机的控制信号即脉冲信号与方向信号可由内部定时器实现,数据采集依据 AD 芯片内部时序,然后通过查询/BUSY 端信号把采到的二进制数直接发送到上位机进行后续转换处理。下面主要介绍上位机 VB 程序的设计。

VB 程序设计的大部分功能都是借助于 MSComm^[5]实现的。MSComm 是 Microsoft 公司提供的主要用于串行通信编程的 ActiveX 控件。它包括一系列属性、方法和事件,应用程序通过 MSComm 控件提供的接口访问控件的功能。使用时,只需设置控件的一些属性,就可以轻松地实现与单片机的串口通讯。VB 控制界面如图 5 所示。



图 5 上位机 VB 操作界面
Fig. 5 Interface for VB operation

4 结论

本研究设计的系统已经成功应用于德国 Surface Imaging System (SIS) 公司生产的 Ultraobjective^[6]系列原子力显微镜平台,图 6 为系统与 SIS 测头组合而成的微型多功能原子力扫描

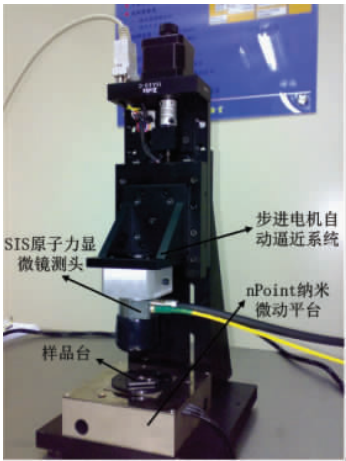


图 6 SIS 测头组合应用图
Fig. 6 Application with SIS AFM head

描平台实物图。

该组合体积小, 安装方便, 利用光线干涉法检测探针位移, 免除一般反射型 AFM 因调整光路带来的不便。最大平面 xy 向扫描范围为 $200\ \mu\text{m} \times 200\ \mu\text{m}$, 纵向 z 为 $2.8 \sim 10\ \mu\text{m}$, 水平分辨率小于 $1\ \text{nm}$, 垂直分辨率小于 $0.01\ \text{nm}$ 。图 6 中, 最底部是 nPoint 公司生产的纳米微动平台, 行程范围是 $100\ \mu\text{m} \times 100\ \mu\text{m} \times 25\ \mu\text{m}$, 通过 USB 与计算机连接, 可以实现 xyz 三方向高精度定位控制。配合使用时, 除实现样品三维形貌检测外, 加上特定模块后更能实现微纳米结构的力学性能测试、力-距曲线标定^[7]及生物材料研究等, 极大地扩展了 AFM 的应用极限。该设计同样适用于各种原子力显微镜研发设计中, 只需找到微悬臂梁的偏转信号, 便可利用实现探针或样品的自动逼近。

参考文献 (References)

- [1] Binnig G, Quate C F, Gerber C H. Atomic force microscope [J]. *Physical Review*, 1986, 56(9): 930-933.

- [2] Binnig G, Rohrer H. Scanning tunneling microscope[J]. *Helvetica Physica Acta*, 1982, 55(4): 726-735.
- [3] 马全红, 赵冰. 原子力显微镜中探针与样品间作用力及 AMF 的应用 [J]. *大学化学*, 2000, 15(5): 33-36.
Ma Quanhong, Zhao Bing. *College Chemistry*, 2000, 15(5): 33-36.
- [4] 范昌波, 吴星. 16 位高精度 A/D 在直流测量装置中的应用 [J]. *仪表技术*, 2008, 56(2): 61-64.
Fan Changbo, Wu Xing. *Instrumentation Technology*, 2008, 56 (2): 61-64.
- [5] 范逸之, 陈立元. Visual Basic 与 RS-232 串行通讯控制 [M]. 北京: 中国青年出版社, 2002: 58-97.
Fan Yizhi, Chen Liyuan. RS-232 serial communication of Visual Basic [M]. Beijing: China Youth Press, 2002: 58-97.
- [6] Hofmann N, Hausotte T, Jager G, *et al.* Measurements with an atomic force microscope using a long travel nanopositioning and nanomeasuring machine [C]. The 4th IEEE Conference on Nanotechnology. Munich, Germany, 16-19 August, 2004: 183-185.
- [7] Cappella B, Dietler G. Force-distance curves by atomic force microscope [J]. *Surface Science Reports*, 1999, 34(10): 1-10.

(责任编辑 朱宇)

时间: 2009年10月

地点: 安徽合肥

2009年中国工程热物理学会 (燃烧学) 学术年会

主 办: 中国工程热物理学会

承 办: 中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室

通信地址: 北京2706信箱 (100080)
中国工程热物理学会秘书处
电子信箱: cset@mail.etp.ac.cn