

大学物理中开设原子力显微镜相关实验初探*

徐林华¹ 顾 斌¹ 黄余改²

(1. 南京信息工程大学数理学院, 江苏南京 210044;
2. 江苏教育学院生命科学与化学学院, 江苏南京 210013)

[摘 要] 本文简要介绍了原子力显微镜的重要性及其在当代社会中的广泛应用, 阐述了在大学物理实验课程中开设原子力显微镜的应用实验的必要性和重要意义, 结合作者的教学和科研经验, 指出利用原子力显微镜开设大学物理实验的两个层次性并给出了在不同层次上能开设的原子力显微镜物理实验的建议. 最后, 以分析纳米薄膜的形貌特性为例, 具体描述原子力显微镜在大学物理实验中的应用.

[关键词] 原子力显微镜; 大学物理实验; 教学改革

[中图分类号] G642.123 [文献标识码] A [文章编号] 1671-1696(2011)04-0058-04

原子力显微镜(Atomic Force Microscope, AFM)是由美国的 Binnig、Quate 和瑞士的 Gerber 三位科学家于 1985 年所发明的. 原子力显微镜与 1981 年发明的扫描隧道显微镜相比, 最大的差别在于它不是利用电子隧道效应, 而是利用原子之间的范德华力作用来呈现样品表面的特性. 它也不像传统的高分辨率电子显微镜那样要求样品导电或工作在真空环境下, AFM 既可以测量导电的物体, 也可以测量不导电的物体, 既可以在真空下工作, 也可以在大气中工作. 因此, 原子力显微镜诞生不久就在很多科研和生产实践领域获得了广泛的应用.

一、原子力显微镜在现代社会中的应用

1. AFM 在材料科学中的应用

原子力显微镜在材料科学中应用极为广泛, 特别是在薄膜材料的研究中^[1-3]. 原子力显微镜不但可以给出薄膜样品的二维和三维形貌, 还可以分析晶粒大小、表面粗糙度和表面形貌的相关程度等. 若将原子力显微镜与其它仪器联用, 还可以分析薄膜的其它性能. 比如, 徐国敏等人^[3]将 AFM 与铁电分析仪联用, 研究了锆钛酸铅薄膜样品的电滞回线, 这种测试技术为表征铁电薄膜微区的铁电性能提供了

一种新的思路.

2. AFM 在生物学中的应用

AFM 可以在任何环境下对生物大分子和细胞表面成像^[4,5]. 除此之外, AFM 还能测量生物分子内部和生物分子之间的相互作用力^[6,7], 这对于了解生物分子的结构和物理特性是非常有意义的. 例如王秋兰等人^[7]将 AFM 针尖用生物素化的单克隆抗体进行修饰, 对 CD 20⁺B 细胞表面的 CD 20 抗原-抗体之间的单分子力谱进行了探测. 在某种意义上说, 生物分子间作用力的研究, 就是对生命体功能活动中最根本原理的研究. 因此, AFM 为人们理解生命现象及相关原理, 提供了一种新的研究手段和工具.

3. AFM 在医学中的应用

由于 AFM 具有在纳米尺度上的成像功能而且应用起来比电子显微镜更方便, 近几年来, AFM 在医学中也获得了广泛的应用^[8-10]. 例如, 舒清明等人^[10]利用原子力显微镜观察了活体不同类型肿瘤细胞膜表面超微结构, 并分析了它们的共同特点. 这些 AFM 的应用研究为医学诊断和治疗提供了纳米尺度的高精度图像.

4. AFM 在测量学中的应用

目前, AFM 在测量技术中亦获得了广泛的应

* [收稿日期] 2011-06-11

[作者简介] 徐林华(1976-)男, 河北沧州人, 南京信息工程大学数理学院讲师, 博士.

用^[11,12]. 例如, 张晓锋等人^[11]提出了一种基于 AFM 的金刚石刀具刃口锋利度的检测方法, 而徐临燕等人^[12]则利用 AFM 测量了梁阵列的弹性系数, 并最终利用 MATLAB 求解超定方程组的方法解得梁阵列的杨氏模量和残余应力.

5. AFM 在纳米科学中的应用

随着纳米科学与技术的兴起, AFM 在纳米科学中的应用也越来越被人们所重视. 利用原子力显微镜可以实现原子和分子的操纵^[13,14], 这为人类在更大程度上认识和利用物质提供了非常有利的工具. 例如, 于海波等人提出了一种基于原子力显微镜的纳米焊接方法^[13], 碳纳米管的焊接实验表明: 在脉冲偏压为 20 V、探针-样品距离为 20~30 nm 时, 可以实现有效的纳米焊接, 并且焊接后接触电阻变小.

二、开设原子力显微镜实验的必要性及建议

大学物理实验课程的教学目标是使学生系统地掌握物理实验的基本知识、基本方法和基本技能, 培养学生发现问题、分析问题和解决问题的能力. 大学物理实验课程的基础性和重要性是不言而喻的, 大学物理实验课程的教学质量直接影响着学生的综合素质. 随着信息社会的迅速发展和社会对人才类型要求的转变, 近些年来很多高校对大学物理实验课程进行了或正在进行着改革, 而大学物理实验课程教学改革的一个重要方面就是教学内容的改革. 目前, 大多数高校的物理实验课的内容设置与当代的科学技术发展水平相比还明显滞后, 发展也很不均衡. 很多实验项目与中学的实验项目有重复或包含不少在现代科研和生产中已成为过时的内容、方法或设备. 因此, 从培养学生创新素质的层面上来讲, 必须在大学物理实验课程中增加新的实验内容, 特别是与当代科学技术紧密结合的综合性实验内容.

对于与原子力显微镜相关的物理实验, 从原子力显微镜的构造原理上来讲, 它涉及到光、机、电三方面的内容, 这些结构和工作原理的学习非常有利于学生对现在科学仪器的深刻认识(很多现代仪器都是光机电一体化仪器). 再者, 从 AFM 应用的角度来说, 由上面对原子力显微镜在当代社会中的应用的介绍, 我们可以知道: AFM 是一种非常重要的仪器, 无论是在物理、化学、材料、生物、医学、工程等方面都有着非常广泛的应用, 很多学生在校期间或以后工作中都可能会用到原子力显微镜. 因此,

在大学物理实验中开设原子力显微镜的相关实验符合大学生现代科学综合素质培养的目标, 是非常重要的, 也是非常重要的. 目前, 国内一些重点大学如中科大、北京大学等已经在物理实验课程中开设了原子力显微镜应用的实验, 南京信息工程大学物理实验中心也正在筹划在物理实验课程中开设原子力显微镜应用的创新性实验项目.

对于一般高校, 在开设原子力显微镜实验项目时, 若学校的经济条件允许, 可以开设面向全部本科生的普通物理实验, 若学校经济条件不允许, 可以开设中级物理实验、创新性物理实验或选修性质的实验, 即只开设面向一部分专业的学生的实验项目. 这种分层次、分类别的大学物理实验项目设置可以结合学校和专业特点, 充分发挥仪器的使用价值.

那么在大学物理实验课程中可以开设哪些与 AFM 相关的实验项目呢? 这必须要考虑到经济成本和学生的专业倾向性. 若是面向全体学生的实验项目, 则主要是让学生掌握原子力显微镜的结构和工作原理, 以研究成像为主. 若这个实验课是专业选修课, 对于材料类、物理类、生物医学类的学生可以侧重于表面成像与原子操纵等方面; 对于测试计量、仪器仪表等专业的学生则可侧重于原子力显微镜在测量方面的应用(比如利用 AFM 研究金属薄膜导线的亚微米局域电导率精确测量技术^[15]等). 因此我们建议根据不同情况, 在大学物理实验中可以开设与原子力显微镜相关的如下实验: 研究薄膜的形貌特性的实验、利用原子力显微镜测量光栅常数的实验、利用原子力显微镜研究界面摩擦过程热力耦合行为的实验、利用原子力显微镜操纵原子、分子或纳米粒子的实验等.

三、原子力显微镜在大学物理实验中的应用实例

下面以分析纳米薄膜的形貌特性为例, 对于原子力显微镜在大学物理实验中的应用作个简要介绍.

对于实验所用的薄膜样品, 若是一个综合性的创新实验, 可以让学生自己制备薄膜(比如用磁控溅射法、溶胶-凝胶法等), 然后再用原子力显微镜等仪器分析薄膜的物理特性, 中科大已经设置了这方面的创新性实验包括从薄膜样品的制备到光电性能分析, 形成一个综合性的实验项目. 若是一个普通物理实验, 教师需要提供薄膜样品, 最好是采用不同技

术制备的多个样品,这样的话就可以进行对比研究.我们在这里使用的样品是采用电子束蒸发技术制备出来的 ZnO 纳米薄膜.图 1(a)和(b)分别是薄膜的二维和三维形貌图,由图 1(a)可以看到,这个样品具有均匀的晶粒,平均的晶粒大小是 32 nm.由 AFM 的附带软件可以计算出样品的平均表面粗糙度是 2.28 nm,很显然,薄膜表面是非常光滑的.再由图 1(b)可以看到 ZnO 薄膜的晶粒是圆柱状的,即晶粒沿垂直于衬底表面的方向生长,这和 X 射线衍射的分析结

果是吻合的(X 射线衍射图谱在这里没有给出).图 2 给出的是薄膜的横截面图,也显示出了圆柱状的 ZnO 晶粒.图 3 显示的是 ZnO 晶粒的分布图.图 4 给出的是形貌的自相关图谱.以上这些都是原子力显微镜能做出的最基本分析,但是这些结果对于了解薄膜的形貌特性及解释相关的光学或电学性质的变化是非常重要的.在我们先前的工作中,我们利用原子力显微镜研究了 ZnO 薄膜生长模式的变化^[16],详细的分析结果可以参见文献^[16].

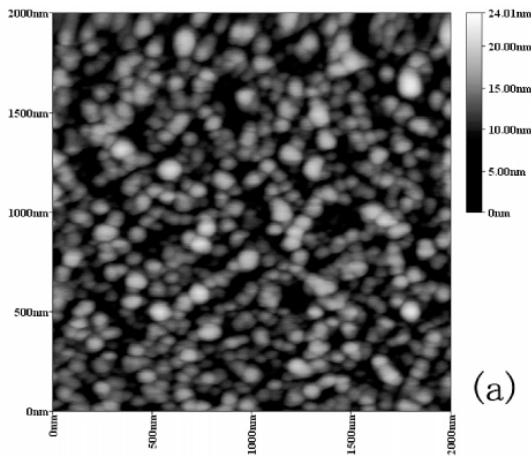


图 1 ZnO 薄膜的二维形貌(a)和三维形貌图(b)

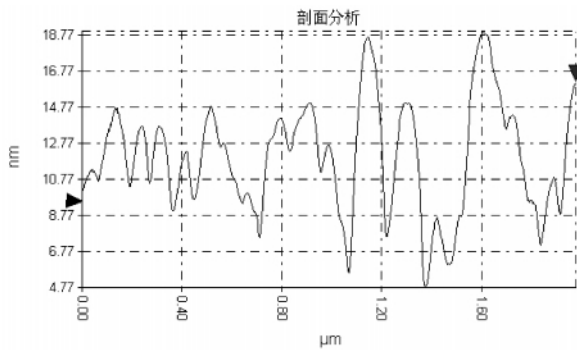


图 2 ZnO 薄膜的横切面形貌图

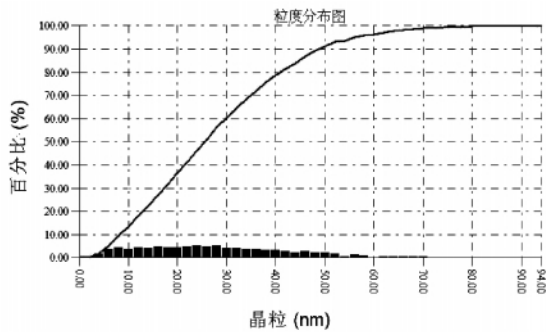


图 3 ZnO 薄膜的晶粒分布图

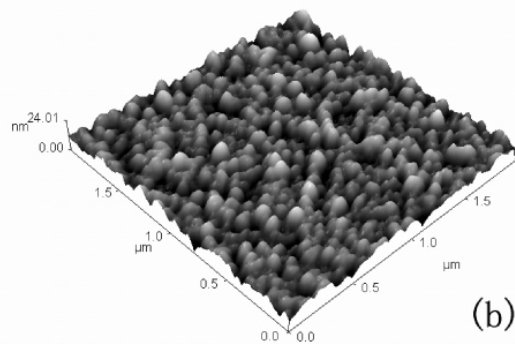


图 4 ZnO 薄膜的形貌自相关图谱

四、结束语

原子力显微镜是一种非常重要的分析仪器,已广泛地应用于科研、生产当中.在大学物理实验课程中开设与原子力显微镜相关的实验项目,可以有效促进大学物理实验课程适应社会需求,有益于拓展学生的视野、提高学生的创新意识和增强学生的创新能力.

[参 考 文 献]

- [1] Georgi P. Daniel, V. B. Justinictor, Prabitha B. Nair, K. Joy, Peter Koshy, P. V. Thomas. Effect of annealing temperature on the structural and optical properties of ZnO thin films prepared by RF magnetron sputtering [J]. *Physica B*, 2010, (7).
- [2] Kyu-Seog Hwang, Bo-An Kang, Ju-Hyun Jeong, Young-Sun Jeon, Byung-Hoom Kim. Spin coating-pyrolysis derived highly c-axis-oriented ZnO layers prepared at various temperatures [J]. *Current Applied Physics*, 2007, (4).
- [3] 徐国敏, 赵高扬, 张卫华, 等. 基于原子力显微技术的 PZT 薄膜铁电性能研究 [J]. *压电与声光*, 2010, (3).
- [4] 吕正检, 陈国平. 原子力显微镜与蛋白质研究 [J]. *生物医学工程杂志*, 2010, (3).
- [5] 李林强, 咎林森, 孟嫚. 原子力显微镜在牛肉嫩度测定中的应用研究 [J]. *食品工业科技*, 2010, (2).
- [6] 王牧, 蔡继业. 原子力显微镜在生物分子力学性质方面的研究 [J]. *现代科学仪器*, 2010, (1).
- [7] 王秋兰, 卢育洪, 李盛璞, 等. B 细胞膜 CD 20 抗原的分布与单分子力谱探测 [J]. *生物工程学报*, 2011, (1).
- [8] R. Bash, H. Wang, C. Anderson, J. Yodh, G. Hager, S. M. Lindsay, D. Lohr. AFM imaging of protein movements: Histone H2A-H2B release during nucleosome remodeling [J]. *FEBS Letters*, 2006, (19).
- [9] 陈纤纤. 基于原子力显微镜技术对血管内皮功能障碍的研究 [J]. *生物医学工程学杂志*, 2011, (1).
- [10] 舒清明, 李月月, 朱茗, 等. 原子力显微镜下几种癌细胞形态特征的共性分析 [J]. *南方医科大学学报*, 2011, (2).
- [11] 张晓峰, 王宝瑞, 杜文浩, 等. 一种基于 AFM 的金刚石刀具刃口锋利度的检测方法 [J]. *工具技术*, 2011, (2).
- [12] 徐临燕, 栗大超, 刘瑞鹏, 等. 基于 AFM 的纳米梁杨氏模量和残余应力测量 [J]. *仪器仪表学报*, 2010, (1).
- [13] 于海波, 董再励, 李文荣. 基于原子力显微镜的碳纳米管焊接 [J]. *纳米技术与精密工程*, 2010, (3).
- [14] Oscar Custance, Ruben Perez, Seizo Morita. Atomic force microscopy as a tool for atom manipulation [J]. *Nature Nanotechnology*, 2009, (4).
- [15] 吴蕾, 葛耀峥, 居冰峰. 金属薄膜导线的亚微米局域电导率精确测量技术 [J]. *机械工程学报*, 2011, (4).
- [16] Linhua Xu, Xiangyin Li, Yulin Chen, Fei Xu. Structural and optical properties of ZnO thin films prepared by sol-gel method with different thickness [J]. *Applied Surface Science*, 2011, (9).

(责任编辑 胡 明)