

# 原子力显微镜用于纳米级三维表面形貌及微小尺寸的测量

## The Application of AFM in the Surface topography and Dimension Measurement in Three Dimension with Nano-Scale

项目批准号：59575086

中国计量科学研究院 赵克功、高思田\*、陈允昌、毛起广、徐毅

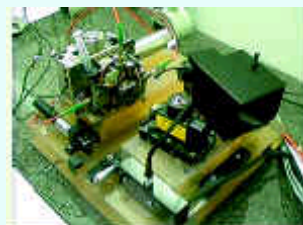
作为一种纳米测量设备，原子力显微镜已在材料科学等领域得到广泛应用，目前人们正试图使原子力显微镜成为一种计量仪器进入工业测量领域，用于集成电路的线宽等特征尺寸及表面粗糙度的测量。本项目研究的计量型原子力显微镜具有量值溯源性，可将纳米测量的量值直接溯源到米定义激光波长基准，填补了我国国家纳米计量的空白，对纳米技术在我国工业生产中的应用和发展将具有重要的意义。

### ● 主要研究成果

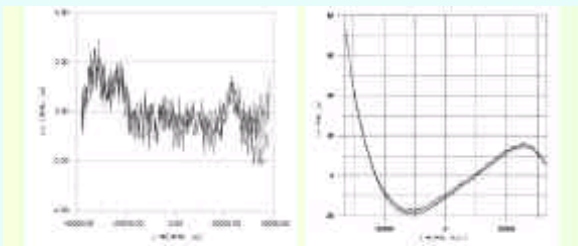
计量型原子力显微镜（图一）是将国家自然科学基金委资助项目与德国对计量院的无偿援助项目相结合，由中国计量科学研究院（NIM）与德国物理技术研究院（PTB）共同合作研制。该计量型原子力显微镜有如下的特点：

- (1) 计量型原子力显微镜的设计符合科学计量仪器的要求。
- (2) 首次在原子力显微镜上固结了三维微型激光干涉测量系统，对原子力显微镜的位置误差 进行校准，从而将纳米测量的量值直接溯源到米定义激光波长基准。
- (3) 研制了整体三维弹性位移台，并使用电容传感器进行位移控制。压电陶瓷驱动器的连接采用一端球形支撑的结构，大大提高了仪器的整体计量性能。
- (4) 从运动学的角度通过数学分析建立了扫描器运动模型，并首次用于原子力显微镜的动态校准方法，取得了比较好的结果。

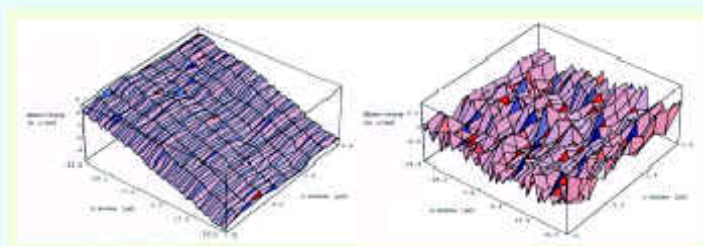
在原子力显微镜的校准方面进行了大量的工作，包括一维的位置直线性和耦合误差修正校准方法以及三维全空间误差修正方法。其中X轴的非线性误差校准和三维位置误差的校准前后变化如下图所示：



图一、计量型原子力显微镜



图二、x轴的一维非线性误差（左：校准前、右：校准后）



图三、x轴的三维校准（左：校准前、右：校准后）

对一个300纳米的台阶高度样板（图四）进行了测量，该样板经过德国物理技术研究院的检定测试（检定结果：290.8nm），测量结果如下表：

目前，这台计量型原子力显微镜已用于膜厚的测量工作。并已经用于纳米预备国际比对项目之一的台阶高度国际比对的测量中。

### ● 研究成果的科学意义和应用前景

当前纳米测量技术和纳米计量标准已经得到了世界主要工业国家的普遍重视，国际计量局（BIPM）已经成立纳米计量工作组，并正在进行多达5个项目的国际比对测量。

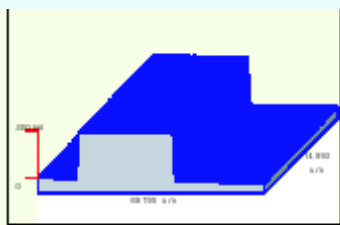
计量型原子力显微镜的建立填补了我国国家纳米计量的空白，将对我国纳米技术、精密机械工业、微电子工业及其它高新产业的发展与提高，对纳米技术在我国工业生产中的应用与发展将具有重要的意义。纳米测量系统的建立也使我们能够开展检定测试服务，从而建立我国自己的纳米量值溯源体系。

### ● 代表性论著目录

- (1) K. Hasche , 赵克功, 高思田, 徐毅等, 计量型原子力显微镜, 计量学报, 1998, 19, 1-8

表1 测量结果(单位: 纳米)

测量次数	测量值	偏差
1	292.2	1.4
2	291.8	1.0
3	291.6	0.8
平均值	291.9	1.1



图四、300纳米台阶高度测量图形

(2) M. Bienias, 高思田, K. Hasche, R. Seemann, K. Thiele, A metrological scanning force microscope used for coating thickness and other topographical measurements, Applied Physics A, 1998, 66, S837~S842

(3) 高思田, 赵克功, 王春艳, The Calibration of Non-linear Error and Cross-talk Error of the Metrological Atomic Force Microscope, 仪器仪表学报, 1999, 20, 441~447



工程与材料科学部、国际合作局 主办  
数理科学部、化学科学部 协办