

## 一种适用于扫描探针显微镜的符合扫描模式

傅 星, 胡小唐

(天津大学 精密仪器与光电子工程学院, 天津 300072)

**摘 要:** 扫描模式问题是长期困扰包括扫描隧道显微镜 (STM), 原子力显微镜 (AFM) 在内的扫描探针显微镜 (SPM) 测量精度和速度的关键问题。理论与实验均表明: “符合扫描” 消除了原有扫描模式带来的测量误差。这种模式还使测量速度提高了约 70%, 不仅可以使现在的观察型 STM 的性能得到提高, 而更重要的是对 SPM 从观察型向计量型的转变在扫描模式方面提供了保障, 对原子量级信息读取速度和精度的提高也具有重要意义。

**关键词:** 扫描隧道显微镜 原子力显微镜 扫描探针显微镜 扫描模式 “符合扫描”

**中图分类号:** TH742 **文献标识码:** A

## A newly developed coincidence scanning mode appropriate to SPM

FU Xing, HU Xiao - tang

(College of Precision Instruments and Optical Electronics Engineering, Tianjing University, Tianjing 300072, China)

**Abstract:** Scanning mode has been a technical puzzle for the improvement of measurement accuracy and rate of SPM, including STM and AFM, for a long time. It is shown on theory and experiment that a newly developed coincidence scanning mode can avoid measuring error caused by present scanning modes, and reduce the scanning time up to 70%. It can be used to improve the quality of image of STM. It is very significant not only to change SPM from observing one to metrology one, but also to recognize atoms accurately and speedily.

**Key words:** scanning tunneling microscope, atomic force microscope, scanning probe microscope, scanning mode, “the coincidence scanning”

### 1 引言

根据检测方式的不同, STM 可以分为恒高法检测和恒流法检测<sup>[1]</sup>。恒高法是保持针尖在样品上方一个恒定高度的水平面上做扫描运动, 检测隧道电流的变化, 检测数据集代表了样品表面的形貌和电特性。用这个数据集可以作出样品表面的形貌图像。恒高法因为不必移动针尖的高度, 因此, 测试速度较快, 但它仅适用于相对平滑的样品表面。恒流法是用反馈的方法调整针尖的高度, 保持恒定的隧道电流, 针尖高度的运动轨迹反映了样品表面形貌的变化。恒流法可以高精度地测量不规则的表面,

但是由于需要不停地移动针尖的高度, 因此测试速度较慢。

典型的 STM 的扫描范围可从几纳米至一百微米, 每行的数据点为 64 至 512 (有些系统可达到 1 024), 通常扫描区域为一正方形。因此, 总的数据点数为  $64 \times 64$  至  $512 \times 512$  (或  $1\ 024 \times 1\ 024$ ), 即  $4\ 096 \sim 262\ 144$  (1 048 576) 点。

通常的扫描模式有两种扫描速度, 慢速扫描 (通常为 2 Hz) 和快速扫描 (通常为 10 Hz)。由于样品表面的凸、凹变化, 使得采集的图像产生失真, 要减小失真, 就要用较慢的速度进行扫描。由于表面形貌是未知的, STM 只好改变扫描速度以适应样品表面形貌的不均匀性。早期的 STM 是使用一种速度

扫描。为了测量的准确性,需要使用较低的速度扫描全程。后来有了一种改进的方案,就是在转向处使用慢速,克服转向时带来的检测误差。文献[2]报道了一种改进的称为“适应扫描”的方案,它是在检测系统检测到形貌的突变时,自动地将扫描速率降为 2 Hz,在相对平坦的部分将扫描速率提高到 10 Hz。这种技术维持了针尖和样品表面沿陡峭边缘相互作用时适当的测量精度,扫描速度也有较大提高。

我们认为,现有的扫描模式有两个缺点,一是当扫描器扫到某点时,即使隧道电流等于电流设定值,扫描器还是要等待一个固定的时间后再进行下一点的扫描,这是使扫描时间增加的原因;二是当扫描器扫到某点时,如果隧道电流不等于电流设定值,扫描器在等待一个固定时间后,不论隧道电流值是否等于电流设定值,便进行下一点的扫描,使得该点的数据为一虚假数据。

## 2 “符合扫描”模式

本文提出一种新的扫描模式,可以称其为“符合扫描”模式。在这种模式下, X, Y 扫描器的扫描运动不再受时间的控制,而是受隧道电流检测与电流设定值比较电路产生的“符合”信号控制。符合信号是在隧道电流等于电流设定值时产生的。当扫描器扫到某点时,如果隧道电流等于设定值,则扫描器快速地进行下一点的扫描;如果隧道电流不等于设定值,则扫描器一直等到两者相等时才进行下一点的扫描。这样即提高了显像速度,又保证了测量精度,从而克服了现有扫描模式的缺点。

具体调节流程如图 1。其中符合的判别为电流设定值减去隧道电流值。

## 3 实验

本文在 CSTM - 9000 型 STM 仪器 上利用这种模式做了测量实验。考虑到驱动电源和压电陶瓷的响应时间,本实验设定调节周期为 100 μs(A/D 的转换时间为 2 μs,D/A 的转换时间为 1 μs)。在对同一石墨样品的同一个区域(1 μm × 1 μm)的采样实验中,将原系统的扫描时间与改变扫描模式后的扫描时间进行对比,结果如图 2。图 2(a)为原模式扫描图,其扫描范围为 1 μm × 1 μm,采样点为 180 × 180 个,扫描平均时间为 40.6 s;图 2(b)为改变扫描模式后的扫描图,其扫描范围为 1 μm × 1 μm,采样点为 180 × 180 个,扫描平均时间为 15.1 s。对同一区

域,保持探针与样品不动,用原系统和新的扫描模式交替扫描五次,用原系统扫描时间的平均值  $T_1$  代表原系统用时,用新的扫描模式所用时间的平均值  $T_2$  代表新模式用时。

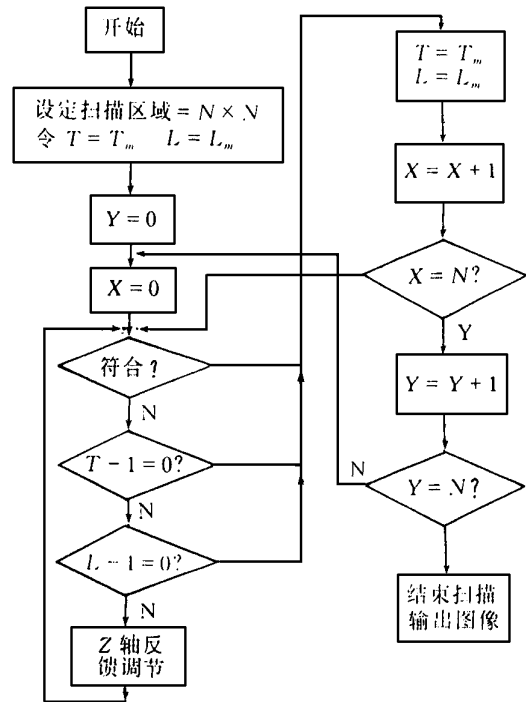
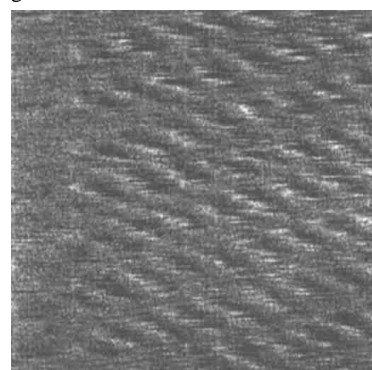
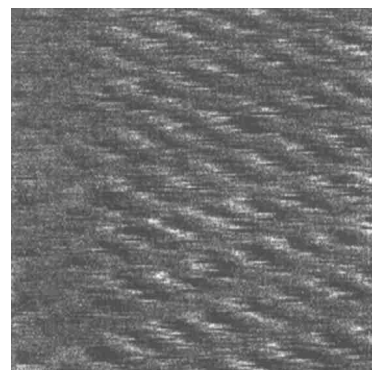


图 1 符合扫描流程图

Fig. 1 Flowsheet of coincidence scanning



(a)



(b)

图 2 扫描图像

Fig. 2 Scanning image

实验表明,新的扫描模式比原有扫描模式的检测速度快了近 70%,图像质量也有所改善。在实验中,本文还解决了两个实际问题:

(1) 样品有严重缺陷。在这种情况下,可能出现隧道电流始终达不到设定值(或隧道电流消失)的情况,如果扫描器还要等到有符合信号时才继续扫描的话,就造成扫描器不能正常工作。解决的方法是增加判别信号。有两种信号可以作为判别信号,一是时间信号,如果在一个预定的时间( $T_m$ )内,隧道电流还不等于设定值,就认为是缺陷,跳过这一点而进行下一点的扫描;二是  $Z$  轴移动的距离,如果  $Z$  轴移动了一个足够大的距离( $L_m$ )后,隧道电流还不等于设定值,就可以移到下一点继续扫描;

(2) 符合信号的判断标准。有的情况下,如果要等到隧道电流完全等于电流设定值要花相当的时间。本文在实际的检测中设置了一个误差限  $e > 0$ ,当隧道电流与电流设定值的差的绝对值小于  $e$  时,即为符合。同时用两者的实际差值对显像进行修正。

#### 4 结语

本文所述的符合扫描模式不仅适用于 STM,而

且适用于 AFM 等几乎所有 SPM 仪器的  $Z$  轴反馈控制。这种扫描模式对 STM 的测量精度和速度的提高,特别是对 STM 仪器从观测型向测量型的转变具有非常重要的意义。

#### 参 考 文 献

- [1] Kuk Y, Silverman P J. Scanning tunneling microscope instrumentation[J]. Review of Science Instruments, 1989, 60(2): 165 ~ 178.
- [2] Technique & Technologies for Scanning Probe Microscopy[M]. Park Scientific Instruments, 1997.



傅 星 男, 1957 年 10 月生, 1998 年 1 月获博士学位, 讲师。主要从事精密测控技术、测试计量技术及虚拟测试技术的研究。曾经和正在承担多项国家及省部委自然科学基金项目的研究, 并完成了多项计算机测控系统工程项目的研制与开发。

(上接第 194 页)

由图 6 我们也看到,由于 LCTV 的分辨率低,其栅格结构造成的高级衍射严重限制输入目标的大小。以图 6 中的目标字母 V 为例,其宽度仅为 0.5 mm 左右,但更大的宽度将造成各级衍射间的相互重叠。因此,系统的实用化还有待于 LCTV 的光学特性(如分辨率、灰度、相位等)的提高。

#### 4 结论

本文描述一种一维光学相关器,在其傅里叶平面内,一个 LCTV 编码成单级二元纯位相滤波器用于图像实时编码或解码。初步光学实验结果证明,其原理方案是可行的,其实用化需要高性能的 SLM。

#### 参 考 文 献

- 1 Arsenault H H, Mediavilla J. Optical processing of line functions[C]. In: Proc. ICO Conf. Opt. Methods in Sci. and Ind. Meas., Tokyo, 1974: 235 ~ 239.
- 2 Goodman J W. Introduction to Fourier Optics[M]. McGraw - Hill Book Company, 1968: 86.



徐 琳 女, 1964 年 4 月生, 1991 年毕业于南京理工大学, 获硕士学位, 现为南京理工大学讲师, 从事光电技术与计算机控制的教学与科研工作。