

# 纳米操作加工过程定位检测问题研究\*

区仲荣, 傅惠南, 夏继盛

(广东工业大学, 广东广州 510090)

**摘要:**微纳米操作、加工、检测和控制各个领域获得广泛的研究和应用,在微纳米层次上进行原位、定位的操作、检测、加工是经常遇到的问题。扫描探针显微镜技术(Scanning probe microscope, SPM)提供强有力的工具,人们利用其不同类型的针尖与相应样品表面产生的化学或物理作用达到目的。但扫描探针显微镜针尖同时用于检测、加工和成像,会因为针尖磨损、状态的改变,影响检测信息的准确性、可靠性,直接影响结果的判定。本文提出一种在微操作加工过程的定位检测技术,即操作过程工具和探针承担不同任务,工具负责加工操作,探针用于检测并定位于操作加工位置,进行了实验并分析讨论定位过程相关问题。

**关键词:**扫描探针显微镜;检测;纳米操作;定位

中图分类号:TN16 文献标识码:A 文章编号:1009-9492(2006)09-0030-03

## 1 引言

在微观检测方面,扫描探针显微镜(SPM)由于可以获得样品表面三维形貌,还可以对样品进行纳米加工,受到了越来越多研究者的关注。在利用SPM探针对样品表面上某一点进行成像或加工时,存在着探针与样品之间的定位问题。一般情况下,可以借助光学显微镜和CCD摄像头把探针定位在样品某个区域。对于SPM加工来说,希望在加工后获得加工图形的形貌信息,通常要对加工图形成像。Z.J.Davis等人<sup>[1]</sup>通过光学显微镜把探针定位于CMOS电路板的预加工区域,利用AFM针尖氧化加工技术加工图形,由于加工图形的尺寸在微米级,故加工后可直接用光学显微镜观察到加工结果。借助光学显微镜和CCD摄像头可以较易实现探针与指定点的定位,由于光学显微镜和CCD摄像头的分辨率所限,其定位精度在微米级,对亚微米、纳米级的操作加工对象的定位则十分困难。

把SPM与其他分辨率更高的显微镜如扫描电子显微镜等结合,可以在高倍率显微镜下观察实现探针与样品的纳米级定位。M.C.Rogge等人<sup>[2]</sup>利用电子显微镜的电子束在指定区域四周刻写纳米线刻度,通过电子显微镜观察把探针定位在该纳米刻度上,再通过扫描管若干次扫描调整位置,使针尖定位在预定加工位置进行加工。纳米刻度对随后的SPM加工起定向作用,其定位精度小于50纳米。为了确定探针是否加工了图形,必须要对加工图形成像,但是氧化线在电子显微镜下是不可见的,因此采用SPM探针扫描观察,在加工后直接用探针来获取图形信息。探针在

加工过程中磨损较大,再用于扫描会对图像真实性产生一定的影响。

目前,基于SPM纳米加工方法的基本原理是利用不同类型的针尖在样品上进行化学反应或物理作用加工出图形。通常加工后为了获得加工信息,需要对加工图形进行定位与扫描得到其三维图像。这类加工方法所加工图形一般就在针尖下,直接扫描即可得到图像。如针尖雕刻是增大针尖与样品之间的相互作用力,并使针尖在样品表面进行刮擦、压痕等方式以产生纳米尺度结构,加工后加工图形一般就位于探针下,直接扫描即可得到其三维图。由于采用同一探针既进行加工又进行图像检测,因此容易实现加工结果的定点检测与控制。例如,沈阳自动化所刘连庆等人<sup>[3]</sup>利用光学显微镜和CCD摄像机把探针定位在感兴趣的区域,用针尖对样品刻写“SIA”刻痕,直接对加工图形扫描,能快速判断加工结果。

这些SPM加工技术一般采用接触模式,同一针尖在整个过程中既承担检测又作为操作加工工具。针尖会有一定的磨损,尤其是在加工过程中,磨损更大。针尖磨损及其状态的改变直接影响加工图形的尺寸,也影响检测信息的准确性、可靠性<sup>[4]</sup>。如果在加工后更换探针扫描,探针与加工图形的位置发生变化,则会出现探针与加工图形的定位问题,尤其是加工结果尺寸在纳米级时。另外,人们希望能有效地对微纳米操作加工过程实施检测和控制,针尖作为工具进行操作加工,不便于客观地实时反馈信息,阻碍了它的广泛应用。本文在实时可控纳米加工研究课题背

\*广州市科技计划重点项目(项目编号:2002 Z2-D2041)

景下, 针对操作加工过程探针与操作工具分开产生的检测问题而展开。由于分别采用金刚石刀具进行样品表面加工, 采用探针对结果进行扫描检测, 加工后如何快速、准确地将加工图形定位到针尖下成为需要解决的关键问题。本文提出快速地将探针定位于微纳米加工区域的重定位技术方法。

## 2 定位方法及其分析

由于缺少更多直接观察的手段, 人们经常通过标记点实现纳米点、线的定位。对微观对象进行可重复或定点的操作、加工、检测及控制, 一般需要重复定位的运动机构或识别对象所处区域的特征、标记的方法。可进行微纳米控制的机械运动机构一般系统复杂、尺寸较大, 难以普遍使用; 实验研究常采用寻找特征或标记的方法。

通过标记法对微观操作加工进行定位时, 经常借助光学显微镜的观察辅助。普通光学显微镜对样品表面观察时, 由于光学显微镜分辨能力所限, 要求观察的对象或标记物线宽应大于微米。此外, 如果想在低倍率放大条件下容易寻找到对象则希望其尺寸在几十微米以上, 否则实验操作和辨认会比较困难。因此, 本实验采用低倍率光学显微镜观察时可以采取如下方法。

### (1) 网格法或多标记点方法

为了定位操作加工位置, 可以在试样上制作坐标网格, 或者采用标记点法。这样, 指定的操作加工位置便有了明确的标识, 可在随后的过程中跟踪或重复定位以进行相关研究。但网格制作会使试样制备变得困难而不方便, 有时又希望减少试样表面的损伤、破坏。对于透明的试样, 可在试样放置的工作台面上制作粗网格 (例如间隔为  $1\text{mm}\times 1\text{mm}$  网格), 这样, 借助低倍率光学显微镜即可将探针针尖定位在不超过  $0.5\text{mm}$  的方框内, 在该区域内可以进行微纳米操作加工。对于十分微小的加工结果, 显微镜难于或不能观察, 可通过扫描探针显微镜扫描再现加工图形。但扫描管的扫描范围一般不大, 特别是当观测对象的尺度十分微小时其扫描范围更小, 以保证仪器有足够的分辨能力。为了确定加工位置, 可在上述区域内制作标记。

例如可沿着在上述方框区域内的某一横轴或纵轴加工多个标记点, 标记点排列成直线, 如图 1 所示, 这时, 加工图形与直线的关系便已确定。考虑到操作加工方便以及微结构需要分辨率较高的扫描管 (相应的扫描范围小), 标记点尺寸不宜太大也不宜过小。例如实验研究中因扫描管其扫描范围为  $18\mu\text{m}$ , 曾采用加工的小标记点长宽  $4\mu\text{m}\times 4\mu\text{m}$ , 并确定直线上的标记点与点的间距为  $15\mu\text{m}$ , 小点总数 40 个。另外, 由于小标记在低倍率光学显微镜下不容易观测, 为观察判断方便, 可在小标记点后制作若干个较大标记点, 如大小  $30\mu\text{m}$  左右。

这样, 借助低倍率光学放大进行观察, 即可跟踪微纳米加工构造。首先, 在加工区域的方框内观察到若干个较

大标记点, 将探针针尖定于标记点所排列的直线一侧, 例如右侧, 且在 Y 方向上距离最靠近小标记点的大标记点约  $300\mu\text{m}$ , 在 X 方向距离直线约  $400\mu\text{m}$ ; 然后探针开始扫描, 扫描后

若没有发现小标记点, 则试样朝 +X 方向移动  $15\mu\text{m}$  后继续进行扫描; 如此继续, 只要每次扫描后试样移动的距离小于扫描管的扫描范围, 经过若干次扫描后在探针扫描范围内必然可以扫描到其中一个小标记点。获得小标记点后, 即可沿着 -Y 方向逐次移动试样 (移动的距离小于扫描管的扫描范围) 并扫描, 最后即可再现加工图形。

多标记点方法可以实现加工图形的定位, 但标记点的数量多, 除了伤害样品表面以外, 还增加了加工时间与扫描次数, 降低了实验效率, 而且扫描次数增多对针尖伤害比较大。

### (2) 特征标记法

为了克服上述问题, 提出特征标记法。

特征标记法对加工区域的定位, 基本原理如图 2 所示。假设在上述加工方框区域内进行了微纳米沟槽加工, 为检测该沟槽, 在沟槽附近加工一小标记点以方便定位。例如本实验研究在微加工沟槽 -Y 方向距离  $15\mu\text{m}$  处附近加工一小标记点, 采用的标记点为长宽  $4\mu\text{m}\times 4\mu\text{m}$ 。然后沿着 +Y 方向移动试样达到一定的远离距离 (其大小考虑刀具加工的特征

标记点不影响加工沟槽区域以及试样表面的实际情况而定), 在该处加工一个特征标记点, 在低倍率光学显微镜下可见且尺寸小于扫描范围 (为寻找方便, 也可加工若干个特征标记点)。例如本实验加工的特征标记点长宽为  $10\mu\text{m}$ , 与小标记点之间间隔  $150\mu\text{m}$ 。

定位加工沟槽点位置时, 首先在低倍率光学显微镜下

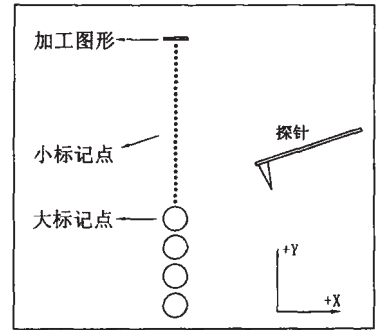


图 1 多标记点法示意图

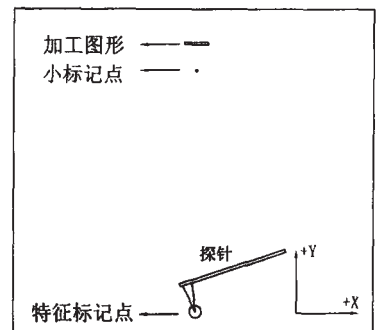


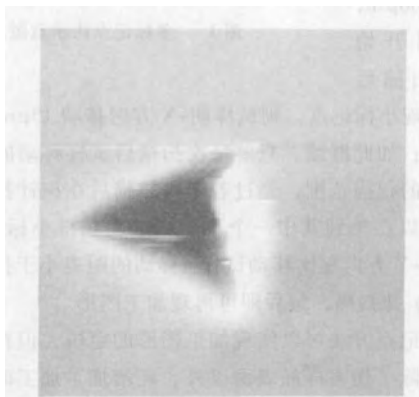
图 2 特征点法示意图

寻找特征标记点, 将探针针尖对准该特征标记点后扫描, 调整试样位置使特征点落在扫描图像的中央, 然后根据加工时小标记点与特征标记点之间的方向与距离关系移动试样, 此时扫描即可再现小标记点。此后, 再往加工沟槽图案的方向移动  $15\mu\text{m}$ , 可扫描加工沟槽, 从而实现探针与加工沟槽位置的重复定位检测。下面通过实验来说明观察结果。

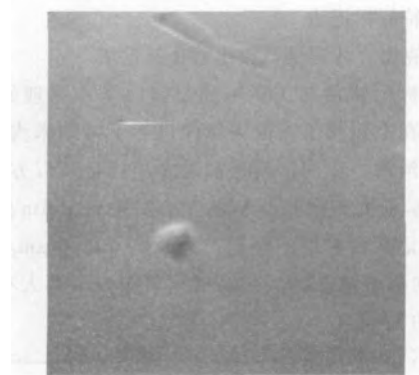
### 3 实验

#### (1) 实验条件

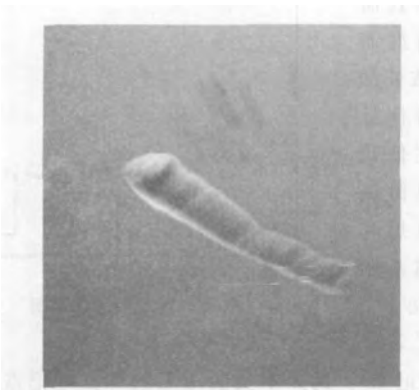
本实验采用 本原 CSPM2000 (样品扫描模式), 氮化硅



(a) 特征标记点



(b) 小标记点



(c) 沟槽

图3 沟槽的定位过程

探针悬臂长  $200\mu\text{m}$ , 力常数  $k$  为  $0.35\text{N/m}$ 。扫描管的扫描范围为  $18\mu\text{m}$ 。用金刚石刀尖作为刀具, 未刻录的光盘为样品。光学显微镜的放大倍数为 30 倍。采用螺杆进给装置, 可以实现样品微米级的移动。

#### (2) 实验方案与结果

加工一条沟槽作为加工图形后, 根据上述的特征标记点法分别加工小标记点与特征标记点。检测时, 首先将探针置于特征标记点附近并扫描成像, 如图 3 (a) 所示, 特征标记点的扫描图像呈现金刚石刀尖的三角形压痕特征。获得特征点图像后, 根据特征点形状将试样沿加工顺序的逆过程移动约  $150\mu\text{m}$ , 然后对试样表面扫描成像, 如图 3 (b) 所示, 可得到小标记点图像, 小标记点的形状与特征点基本类似。另外, 从图 3 (b) 看到沟槽与标记点的距离约  $15\mu\text{m}$ , 与方案一致。实际操作过程由于操作控制误差及进给装置误差, 可能产生一些偏离, 图 3 (b) 中的位置比预期偏下约  $4\mu\text{m}$ , 但基本能控制在扫描区域内。当小标记点位置获得后, 即可通过调整位置和扫描, 得到沟槽的扫描图像如图 3 (c) 所示。图 3 中除图 3 (c) 扫描范围为  $9.7\mu\text{m}\times 9.7\mu\text{m}$  外, 其他扫描范围为  $18\mu\text{m}\times 18\mu\text{m}$ 。

从上述实验操作的数据看, 各加工位置与实验方案吻合。在特征点法中, 特征点具有一定的特征而且可被观察, 加工图形与特征标记点的位置关系已知, 因此可应用于纳米图形的定位。特征点法仍需改进, 如改进样品进给装置, 减小进给误差, 以在扫描特征点后直接定位在加工图形上, 以进一步提高实验效率。

### 4 结论

实验结果表明, 利用特征较明显的点以及点与加工图形已知的位置关系, 能快速、精确地实现加工图形的定位, 提高实验效率。

参考文献:

- [1] Z.J. Davis, G. Abadal, O. Hansen, et al. AFM lithography of aluminum for fabrication of nanomechanical systems [J]. *Ultra microscopy*, 2003, 97: 467-472.
- [2] M.C. Rogge, C. Fühner, U.F. Keyser, et al. Fabrication of double quantum dots by combining AFM and e-beam lithography [J]. *Physica E*, 2004, (21): 483-486.
- [3] 刘连庆, 焦念东, 田孝军, 等. 基于 SPM 的超媒体人机接口 [J]. *纳米技术与精密工程*, 2005, 3 (2): 112-116.
- [4] 王宏霞, 傅惠南, 区仲荣. SPM 探针制备的新进展 [J]. *新技术新工艺*, 2005, (2): 49-51.

第一作者简介: 区仲荣, 男, 1980 年生, 广东高要人, 硕士研究生。研究领域: 机械制造及其自动化。

(编辑: 梁 玉)

**Key words:** manufacturing grid; manufacturing resources; coordinated resource sharing; small-to-medium Enterprises (SME)

**006-09-30 Study on Location Detection in Nano Manipulation Machining**

**OU Zhong-rong, FU Hui-nan, XIA Ji-sheng**(Guangdong University of Technology, Guangzhou510090, China)

**Abstract:** Micro/nanometer manipulation, machining, detection and controlling are widely studied and applied in many fields while there are still a lot of difficulties in location manipulation, machining or in-site operation. Scanning probe microscope (SPM) is a powerful tool, and much used in manipulation and detecting in micro/nanometer fields. However, when a tip is used as a tool as same for scanning tip in a machining or manipulation process, exactness and reliability of the detected information are influenced because of the abrasion and the changed state of the tip. In this paper, a locating method in micro/nanometer manipulating and detecting is proposed, in which a diamond tool is used for machining and the tip is used for scanning and detecting the machining results. Relative location problems are also discussed.

**Key words:** SPM; detection; Nano manipulation; location

**006-09-33 Optimization of the Double-swing-arm Independent Suspension System Using UG Software**

**LI Chuan-lin, YE Li-qing, SONG Ning**(Guangdong Lingnan Polytechnic College, Guangzhou510663, China)

**Abstract:** The model and the motion of the double-swing-arms suspension system are simplified and simulated by the MODELING and MOTION modules of UG software according to the characteristics of the framework. The objective of the design is to keep the inclining of the wheel to minimum angle as the wheel swing up and down to its limit position. Two optimized methods are brought forward, which are based on the function of the UG software.

**Key words:** swing-arm suspension; UG; motion; stimulation; optimization

**006-09-35 Design of System of Removing Glue Bubbles in LED Fully-automatic Glue-Injection Machine**

**LUO Xiao-lin<sup>1</sup>, WU Rui-hua<sup>2</sup>, YU Hai-xu<sup>3</sup>**(1.Guangdong Technological Teachers College, Guangzhou510635,China;2.Jiangmen Vocational Technological College, Jiangmen52903, China; 3.Guangdong Broadcast & TV University, GuangZhou510091, China)

**Abstract:** This paper detailedly studies the mechanism of removing glue bubbles in the productive process of LED Fully-automatic glue-injection machine from the overall Development Plan for LED Fully-automatic glue-injection machine. An appropriate project is formulated and the structures of parts are designed.

**Key words:** glue-injection machine; bubble; remove

**006-09-42 Efficient Realization of FFT in OFDM**

**XU Hai-bo<sup>1</sup>, DU Huan<sup>2</sup>**(1.The fourth Graduate Brigade of the Second Artillery Engineering College, Xi'an710025,China;2.Com-

puter Science Department of Hubei Normal University, Huangshi435002, China)

**Abstract:** FFT algorithm used in OFDM base band processing is studied and errors in structure chart of Radix-23 SDF 64 points FFT in correlated papers are corrected. 64 points FFT can be implemented with only one complex multiplication and several additions. A fix point quantization method is proposed, and simulation shows that the method can offer more than 50dB quantization SNR.

**Key words:** OFDM; FFT; pipeline; Radix-23

**006-09-55 The Development and Study of the Automatic Aluminous-Winding Machine Auto Control System**

**SUI Xiu-lin<sup>1</sup>, GE Jiang-hua<sup>1,2</sup>, GUO Yong-bo<sup>1</sup>, WANG Ya-ping<sup>1</sup>**(Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

**Abstract:** This paper introduces the design method and implementation technique of the automatic aluminum tape winding machine, which include the monolithic construction and the principle of operation and the software design approach of the automatic aluminous tape winding machine control system. It adopts SIEMENS S7 programmable logic controller and transducer incorporate with frequency control technology and systemic pressure constant principium to control the hydraulic pressure system and the electric control system credibility, furthermore, the pitch of the winding tube could be adjusted freely. Though introduce the Proportional-Integral-Differential Controller, it could optimize the control system. In addition, it brings forward the energy saving way.

**Key words:** automatic aluminous-winding machine; programmable logic controller; frequency control

**006-09-58 Research on Analysis Methods for Monitoring Data Based on Time Series Modeling**

**LI Qi-yi, ZOU Yan-biao**(College of Mechanical Engineering, South China University of Technology, Guangzhou510640, China)

**Abstract:** Home telemonitoring systems origin from the telemedicine and smart home, which own the functionalities of the health care and the monitor. The characteristics of systems is that they can monitor patient's vital parameters in a long-term, continuous way at home, detect abnormal statuses. Methods are proposed in this paper for monitoring data data-processing. These methods are based on time series model. Models order is determined based on the FPE criterion. The parameters of models are identified by Least-square algorithms. The vital signs data from PhysioBank biomedicine database are used for system test. The results prove that it can be used for vital signals data-processing online.

**Key words:** telemonitoring; vital signs; time series model

**006-09-60 The External Grinder Has Been Modified for the CNC Camshaft Grinder**

**SUN Zhi-yong, HAN Qiu-shi, ZHENG Jun**(Beijing Institute of Machinery, Beijing100085, China)

**Abstract:** The external grinder has been modified for the CNC camshaft grinder. Some important contents are introduced, they