

数明显下降.

最近,该装置也成功地用于半导体芯片及电子器件的注氢、注氧处理,均获得明显的效果.

3 结论

自 1995 年冬至 1996 年夏,所研制的多功能等离子体浸没离子注入装置已分别在哈尔滨工业大学和香港城市大学投入对金属、陶瓷、聚合物及半导体材料表面改性和工业应用研究工作.装置成功地实现了多种气体等离子体注入、气-固离子混合注入、RF 等离子体渗氮及氮等离子体浸没离子注入、金属等离子体沉积与注入、离子束混合与离子束增强沉积,使离子注入与涂敷、溅射沉积等现代表面强化技术相结合,形成了若干综合性表面处理工艺,获得了所需膜厚的特定膜层性能与结构的理想改性层.初步研究表明,多功能等离子体浸没离子注入装置是现代材料表面改性的重要工具和手段.

参 考 文 献

[1] J. K. Hirvonen et al. , *Thin Solid Films* , 63(1979) ,5.

- [2] S. T. Pietraux , *Phys. Today* , 37-11(1984) ,38.
- [3] R. Hutchings et al. , *Wear* , 92(1983) , 143.
- [4] G. Dearnaley , *Nucl. Instrum. Methods* ,87(1985) ,158.
- [5] A. J. Armini et al. , *Mater. Sci. Eng. A* , 115(1989) , 67.
- [6] J. R. Conrad et al. , *J. Appl. Phys.* ,62(1987) , 4591.
- [7] J. R. Conrad , United States Patent , Number 476494 , Aug. 16 ,(1988) .
- [8] F. J. Worzala et al. , 7th Int. Conf. Ion & Plasma-Assisted Techniques , Geneva , Switzerland , May 31 -June 2 , (1989) .
- [9] 汤宝寅 ,物理 , 23(1994) ,41.
- [10] 汤宝寅 ,物理 ,23(1994) ,106.
- [11] B. Y. Tang et al. , *J. Appl. Phys.* ,73(1993) , 4176.
- [12] P. K. Chu et al. , 3rd Int. Workshop on Plasma-Based Ion Implantation , Dresden , Germany , September 15 -18 , (1996) .
- [13] S. Y. Wang et al. , 3rd Int. Workshop on Plasma-Based Ion Implantation , Dresden , Germany , September 15 -18 , (1996) .
- [14] S. Y. Wang et al. , Fifth Int. Conf. On Plasma Surface Engineering , Garmisch-Partenkirchen , Germany , September 9 -13 ,(1996) .
- [15] S. Y. Wang et al. , Tenth Int. Conf. on Ion Beam Modification of Materials , Albuquerque , New Mexico , USA , September 1 -6 , (1996) .

扫描探针显微镜在工业产品检测中的应用前景 *

戴长春 黄桂珍 白春礼

(中国科学院化学研究所,北京 100080)

张新文 施倪承

(中国地质大学材料科学与工程学院,北京 100083)

摘 要 讨论了扫描探针显微镜(SPM)的应用领域和 SPM 的发展现状,重点探讨了国产 SPM 应用于信息产业、能源产业以及航空航天等工业领域中高新技术产品质量检测的方法、存在的问题、以及应用的前景.

关键词 扫描探针显微镜,工业检测

* 1996 年 7 月 12 日收到初稿,1996 年 9 月 2 日修回

1 扫描探针显微镜的应用领域

利用量子理论中的隧道效应而发明的扫描隧道显微镜 (STM), 以及在 STM 基础上发展起来的一系列新型扫描探针显微镜 (SPM), 推动了纳米科技的蓬勃发展。由于扫描探针显微镜所具有的高分辨率、可获得实时图像以及可进行无损伤探测等优越性能, 它已广泛应用于材料、电子、物理、化学和生物等众多的科研领域, 并推动这些学科向前发展, 出现了一系列新的交叉学科, 如纳米电子学、纳米机械学、纳米材料学、纳米生物学、纳米化学、纳米矿物学等。

目前 SPM 的应用已不仅仅局限于基础研究方面, 它已迅速向应用领域扩展。特别是在工业领域中高新技术产品的测试方面, 原子力显微镜已成为信息产业中大规模集成电路芯片、高密度光盘、磁盘等在线检测的必备手段。SPM 应用于工业领域, 推动了 SPM 仪器的更新和发展。国外一些 SPM 厂家已经开始将产品重点向工业用仪器转移。有人预测, 这将是一个潜在市场价值十分可观的领域。

2 扫描探针显微镜的发展现状

从 STM 发展起来的扫描探针显微镜的种类主要包括: 扫描隧道显微镜 (STM)、原子力显微镜 (AFM)、摩擦力显微镜 (LFM)、磁力显微镜 (MFM)、扫描近场光学显微镜 (SNOM)、弹道电子发射显微镜 (BEEM)、以及扫描热显微镜等^[1]。其中应用最广的是 STM, AFM, LFM 和 MFM 等。现在, 扫描探针显微镜已发展成为集光学、电子学、压电学、磁学、摩擦学、精密机械、光电技术、图像信息的采集、存储、处理、显示以及计算机控制等研究成果于一身的高科技仪器设备。它能够把显微尺度 (可达原子水平) 的物体表面形貌、表面结构放大到人眼可清楚观察的尺度, 达到显微成像的目的。

继 80 年代末中国科学院化学研究所、中国

科学院电子显微镜实验室、北京大学、清华大学、中国科学院上海原子核研究所、中国科学院真空物理实验室、重庆大学等单位相继研制成功国产扫描隧道显微镜以来, 国内 SPM 仪器的研究就紧随国外 SPM 仪器研究的进展而发展。例如, 中国科学院化学研究所及其所属的本原显微仪器开发中心研制成功原子力显微镜、低温 STM、摩擦力显微镜, 并将几种探针显微镜结合成多功能扫描探针显微镜。目前该中心还在研制磁力显微镜以及新模式探针显微镜等。为了便于操作, 他们还设计了与 SPM 联用的光学电视显微镜及 CCD 监视系统, 使视野覆盖从原子水平到微米的不同区域。这些显微镜的研制开发对促进国内纳米探测仪器以及纳米微加工的发展研究起了积极的作用。但是以往仪器的用户主要是科研单位和高等院校, 在工业领域中的应用尚未涉足。

3 扫描探针显微镜在工业产品检测中的应用

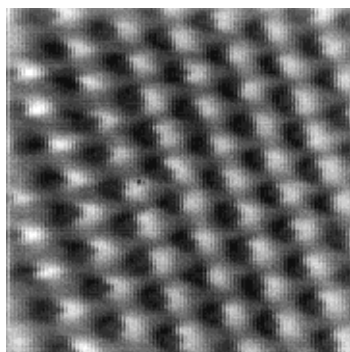
为了尝试 SPM 在工业上应用的可能性, 我们选择了一些有代表性的样品, 用国产 CSPM-930b 型扫描探针显微镜进行了测试。这些样品包括大规模集成电路芯片、光盘、磁盘、碳纤维、电池材料和镀膜镜面等。

3.1 大规模集成电路

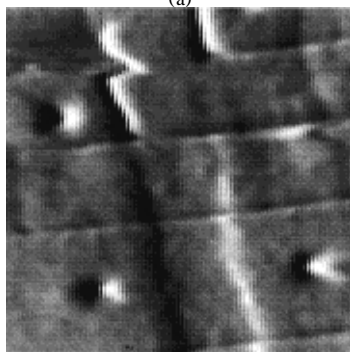
半导体芯片的加工技术主要有光学光刻和电子束光刻等^[2]。在工艺过程中, 由芯片结构引进的缺陷与损伤会影响其物理性能和器件的可靠性, 对这种缺陷与损伤的观察和研究, 对于改进工艺过程有重要意义。我们选用报废的计算机协处理器 80387 芯片, 将外壳去掉后使电路内部裸露出来。图 1(a), (b) 为采用 $15\mu\text{m} \times 18\mu\text{m}$ 的扫描范围获得的较典型的集成电路局部 AFM 图像。由图 1 可以看到集成电路局部的刻线和接点, 某些地方的缺陷、不平整、刻线不平滑等可能对其性能产生影响。

3.2 光盘

光盘是 70 年代出现的重大科技发明。由

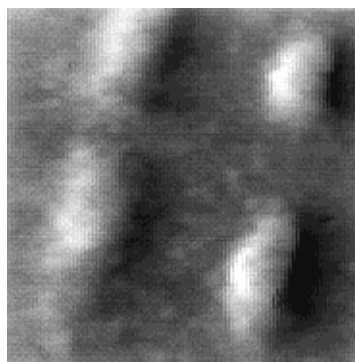


(a)

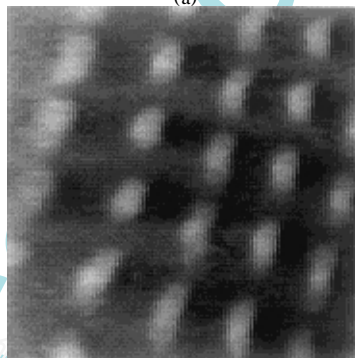


(b)

图1 80387 芯片
(a) 某台阶局部;(b) 集成电路布线区局部
(扫描范围 $15\mu\text{m} \times 18\mu\text{m}$)



(a)



(b)

图2 金属光盘
(a) 扫描范围 $2\mu\text{m} \times 2\mu\text{m}$;(b) 扫描范围 $8\mu\text{m} \times 8\mu\text{m}$

于它在信息存储与检索领域有广泛的应用前景,已被人们称为“下一代记录媒体”。目前常用的材料为 Te-Se-Pb 的 $30-50\text{nm}$ 的薄膜,也可以是 Sb_2Se_3 及 Bi_2Te_3 的多层薄膜。样品采用金属光盘碎片。图2显示的是金属光盘的凸起台阶和沟槽。台阶间隔 $1.6\mu\text{m}$ 左右,宽 $0.6\mu\text{m}$,图像中信息道和部分缺陷是明显的。可见,SPM可以用于对光盘的加工精度及缺陷进行抽样取点检测。

3.3 软磁盘

软磁盘是目前计算机的主要的记录材料,它的磁性材料组成多为 Nb-Fe-B 系列。图3是我们对 8.9cm 、 1.44M 高密度软磁盘与 12.3cm 、 1.2M 低密度软磁盘表面扫描得到的AFM图像,可以看到 8.9cm 的盘表面的颗粒比 12.3cm 的盘明显较细而均匀,平整度也较好。

3.4 镍氢电池

镍氢电池简记作 MNi-H 电池,是能源领域中一种新发展起来的高技术产品,具有比能量

高、充放电性能好、无污染等优良性能。它是一种综合了燃料电池和镉镍密封电池技术的优点而发展起来的新型材料。图4样品为广东省中山市国家高技术新型储能材料工程开发中心生产的新型镍氢电池的正负极片材料。据分析,材料中孔洞的大小、多少和深浅分布可能对电池的性能、质量产生一定的影响。

3.5 碳纤维

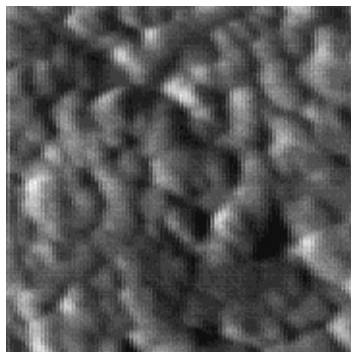
碳纤维复合材料因为具有高强度、低密度、高模量等特殊的力学性能而广泛应用于航空航天等多种领域。物质材料的性能与其微观结构关系密切,观察和研究碳纤维材料的微观结构对于碳纤维的应用有着重要意义。原子力显微镜下观察到的碳纤维的纵向条纹和横向裂纹都可能影响碳纤维产品的质量与性能。

3.6 镀膜镜面

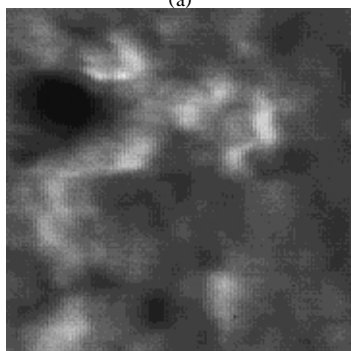
图5是样品为玻璃表面溅射铁镍合金的AFM图像。由图5可观察到镜面所溅射的金属颗粒。由AFM图像可以清楚地观察到颗粒

物理

分布的均匀度、平整度,这些都是影响镜面质量的因素.



(a)



(b)

图3 软磁盘

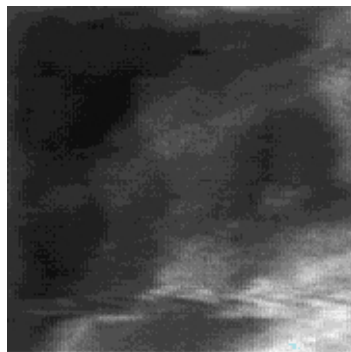
(a) 市售 8.9cm、1.44M 磁盘;(b) 市售 12.3cm、1.44M 磁盘
(扫描范围 $8\mu\text{m} \times 8\mu\text{m}$)

3.7 光栅

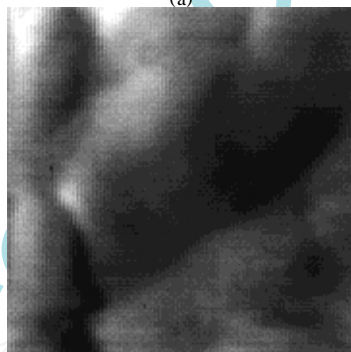
图 6 为镀金膜光栅样品用于定标. 扫描范围约 $17\mu\text{m} \times 20\mu\text{m}$. 从图像可以看到 SPM 仪器的扫描范围,扫描范围是衡量 SPM 仪器性能的一个重要指标.

3.8 矿物及固体材料的结晶度观察

已经查明地壳中的某些铁锰氧化物及粘土矿物其结晶粒度属纳米量级^[3], 根据纳米科学中固体粒度与其物理性质的相互关系,估计上述矿物种属对于开发天然的纳米固体材料具有重要意义,对于此类材料的结晶粒度通常只能用透射电镜加以观察,但很难揭示其形貌特征,SPM 显然适用于该类材料的表面形貌及粒度特征的观察,并有利于揭示其特性与物性之间的关系.



(a)



(b)

图4 镍氢电池的极片

(a) 正极片;(b) 负极片
(扫描范围 $5\mu\text{m} \times 6\mu\text{m}$)

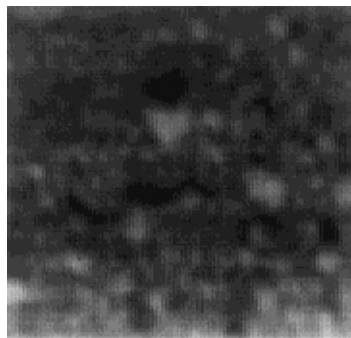


图5 铁镍合金镀膜镜面

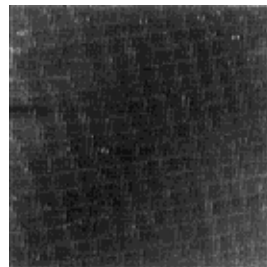


图6 光栅

SPM 应用于工业领域,将会促进信息功能材料(如集成电路芯片、磁盘、光盘等磁、光记录材料)在线检测的实现,从而大大推动信息产业的发展,产生不可估量的经济效益。镍氢电池的在线检测可以为镍氢电池的大规模生产提供必要条件,对于能源产业中占重要地位的储能材料的开发应用提供了一种新的手段。碳纤维等材料的在线检测也将对航空航天等产业的发展起到积极的作用。

4 存在的问题

国产 SPM 虽然在分辨率等主要技术性能方面与国外同类仪器相差不大,但是由于种种原因(如资金投入、人员配备、生产条件等),在整体水平上还有一些差距,因此在应用于工业生产方面尚有不足之处。主要表现在以下几方面。

4.1 扫描范围不够大

国外 SPM 最大扫描范围可达到 $125\mu\text{m}$,而目前商品化的国产 SPM 的最大扫描范围为十几个 μm ,影响观察的视野。这主要与国产压电陶瓷管的性能和所加电压有关。

4.2 大范围位移尚不够精确

国外 SPM 仪器与精密移动平台结合在一起,如 Digital Instruments 公司的 Dimension 7000,位移精度可达 $1\mu\text{m}$,位移量最大可达 $100\text{mm} \times 200\text{mm}$ 。

4.3 样品尺寸不能太大

对大样品只能进行破坏性检测,这将不利

于产品的在线检测。这是由扫描方式和仪器的整体设计决定的。

4.4 功能尚欠缺

如现在采用的是接触式探测,有可能对样品造成损坏。有待于开发 SPM 的非接触式探测功能。

虽然存在着上述不足,但是在投入一定的资金、人力等条件下,这些问题是不难解决的。

5 展望

毫无疑问,扫描探针显微镜应用于工业检测,是促使 SPM 进一步更新、发展的动力。扫描探针显微镜将走出实验室的小天地,迈向工业化生产的大舞台。只要我们把握时机,根据中国国内仪器发展的实际条件,吸收国外仪器的长处,加快 SPM 仪器改进的步伐,国产扫描探针显微镜必将在我国现代化工业这个大舞台上发挥积极的作用。

致谢 清华大学摩擦学国家专业实验室路新春先生、广东省中山市国家高技术新型储能材料工程开发中心钟发平先生提供部分样品,特此感谢!

参 考 文 献

- [1] 白春礼,扫描隧道显微术及其应用,上海科学出版社,(1992).
- [2] 白春礼,纳米科学与技术,云南科技出版社,(1995).
- [3] 施倪承等,中国科学(B 辑),25(1995),778.

也谈建筑中的物理学*

钱 丽 康

(嘉兴高等专科学校,浙江嘉兴 314001)

摘 要 综合介绍了为使建筑达到适用、安全、经济、美观的要求及提供舒适、卫生的生活和工作环境而涉及的物理学知识在建筑造型、结构、性能、设备等方面的应用,说明建筑的发展与物理学息息相关。

关键词 建筑,物理,应用

* 1996 年 7 月 30 日收到初稿,1996 年 10 月 21 日修回