

文章编号:1007-2861(2003)06-0494-09

化学机械抛光技术的研究进展*

雷红¹, 雒建斌², 张朝辉²

(1. 上海大学 纳米中心, 上海 200436; 2. 清华大学 摩擦学国家重点实验室, 北京 100084)

摘要:化学机械抛光(chemical mechanical polishing, 简称CMP)技术几乎是迄今惟一的可以提供全局平面化的表面精加工技术, 可广泛用于集成电路芯片、计算机硬磁盘、微型机械系统(MEMS)、光学玻璃等表面的平整化。该文综述了CMP技术的研究现状, 指出了CMP急待解决的技术和理论问题, 并对其发展方向进行了展望。

关键词:表面微加工; 化学机械抛光; 平整化

中图分类号:TH 117 **文献标识码:**A

Advances in Chemical Mechanical Polishing

LEI Hong¹, LUO Jian-bin², ZHANG Cao-hui²

(1. Research Center of Nano-Science and Nano-Technology, Shanghai University, Shanghai 200436, China;

2. State Key Laboratory of Tribology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Chemical mechanical polishing (CMP) is the only finish machining technique up to date for surface global planarization, which has been widely used for the manufacturing of integrated circuits (IC), hard disk, micro-electromechanical systems (MEMS), optical glass, etc. The progress and problems of CMP are reviewed in the paper, and the future prospect of CMP is outlined.

Key words: surface micromachining; chemical mechanical polishing; planarization

在微电子制造中, 一直遵循摩尔定律和按比例缩小原理这两个著名定律, 以每隔3年芯片的集成度翻两番(增加4倍), 特征尺寸缩小1/3的速度发展。目前芯片的特征线宽为0.125 μm , 预计到2010年将达0.05 μm 。硅片作为集成电路(IC)芯片的基础材料, 其表面粗糙度和表面平整度成为影响集成电路刻蚀线宽的重要因素之一。目前, 由于器件尺寸的缩小、光学光刻设备焦深的减小, 已要求片子表面平整度达到纳米级^[1]。

在计算机硬盘技术中, 近年存储密度以每年60%的速度快速上升^[2], 目前计算机磁头的飞行高

度已降低到10 nm左右^[3,4], 并有进一步下降的要求, 磁头与磁盘间运行如此的接近要求磁头及硬盘表面超光滑, 磁头、磁盘的表面粗糙度、波纹度和纳米划痕不仅影响磁头的飞行稳定性, 而且影响表面的抗腐蚀性, 目前磁头、磁盘的表面粗糙度和波纹度均要求达到纳米级。

同时, 对于像光通讯中的晶体、精密阀门、光学玻璃、导电玻璃、机械磨具、陶瓷、金属材料、微电机系统(MEMS)、宝石、平面显示器、光导摄像机等表面的高精加工的要求也日益提高。超光滑、平整, 无微观缺陷的高精表面已成为关系这些高技术产品性

* 收稿日期: 2003-05-16 作者简介: 雷红(1968~), 男, 湖北襄樊人, 博士后, 主要从事纳米摩擦学研究。

能的重要因素。

随着电子产品表面质量要求的不断提高,表面平坦化加工技术也在不断发展。如最初半导体基片大多采用机械抛光的平整方法,但得到的表面损伤极其严重^[5];基于淀积技术的选择淀积、溅射玻璃 SOG (spin-on-glass)、低压 CVD (chemical vapor deposit)、等离子体增强 CVD、偏压溅射和属于结构的溅射后回腐蚀、热回流、淀积-腐蚀-淀积等方法^[6]也曾在 IC 工艺中获得应用,但均属局部平面化技术,其平坦化能力从几微米到几十微米不等,不能满足特征尺寸在 $0.35\ \mu\text{m}$ 以下的全局平面化要求。

1991 年 IBM 首次将化学机械抛光技术成功应用到 64 Mb DRAM 的生产中^[7],之后各种逻辑电路和存储器以不同的发展规模走向 CMP, CMP 将纳米粒子的研磨作用与氧化剂的化学作用有机地结合起来,满足了特征尺寸在 $0.35\ \mu\text{m}$ 以下的全局平面化要求。CMP 可以引人注目地得到用其他任何平面化加工不能得到的低的表面形貌变化^[8]。目前,化学机械抛光技术已成为几乎公认为惟一的全局平面化技术^[9],其应用范围正日益扩大。

与其他技术不同, CMP 技术是从实践中发展起来的,其发明、发展及走向应用都是在工业界而不是在学术界完成的,因而系统性的研究尤其是理论研究还比较欠缺,本文拟对目前国际上的研究成果进行综述,并提出未解决的理论及技术问题。

1 CMP 技术及研究现状

CMP 工艺的基本原理是将待抛光工件在一定的下压力及抛光液(由超细颗粒、化学氧化剂和液体介质组成的混合液)的存在下相对于一个抛光垫作旋转运动,借助磨粒的机械磨削及化学氧化剂的腐蚀作用来完成对工件表面的材料去除,并获得光洁表面^[10,11]。

CMP 技术所采用的设备及消耗品包括:抛光机、抛光液、抛光垫、后 CMP 清洗设备、抛光终点检测及工艺控制设备、废物处理和检测设备等^[12~14],其中抛光液和抛光垫为消耗品。一个完整的 CMP 工艺主要由抛光、后清洗和计量测量等部分组成, **抛光机、抛光液和抛光垫是 CMP 工艺的 3 大关键要素**,目前均依赖进口,其性能和相互匹配决定 CMP 能达到的表面平整水平。

1.1 抛光机

抛光机是从事 CMP 加工的场所,目前主要有

Applied materials (美)、Ebara (日本)、IPEC Planar (美)、Speed Fam (美)、Strasbaugh (美) 等公司生产^[15],图 1 为 SPEEDFAM 公司生产的一种用于计算机硬盘基片抛光的**双面抛光机** ,上盘可相对下盘做旋转运动,上盘与下盘均粘有抛光垫,工件放在下盘的齿轮片中,通过上盘施加一定的下压力,抛光液从上部供给,均匀地渗入抛光垫及抛光区域。CMP 设备目前正在由单头、双头抛光机向多头抛光机发展,结构逐步由**旋转运动结构向轨道抛光方法和线性抛光方法**^[16]方面发展。芯片的特征线宽的不断减小对 CMP 设备提出了更高的要求,如设备集成、干进干出、抛光头改进、多工序加工、无研磨膏 CMP、终点检测、自动输送接口、干法清洗圆片等,同时,对于 $0.18\ \mu\text{m}$ 或更小图形尺寸的新材料(低、高 k 值绝缘材料和铜)的 CMP 设备还有待开发。



图 1 一种硬盘基片 CMP 用双面抛光机

Fig. 1 The photograph of polisher for hard disk CMP

迄今,学者们对于化学机械抛光中的抛光液、抛光垫以及抛光参数对抛光性能的影响进行了大量的研究。

1.2 抛光液

抛光液是 CMP 的关键要素之一,抛光液的性能直接影响抛光后表面的质量。抛光液一般由超细固体粒子研磨剂(如纳米 SiO_2 、 Al_2O_3 粒子等)、表面活性剂、稳定剂、氧化剂等组成^[17~19],固体粒子提供研磨作用,化学氧化剂提供腐蚀溶解作用,图 2 为自制的一种硬盘抛光用纳米 SiO_2 抛光液的 Super-SEM 形貌。

抛光液的化学成分及浓度、磨粒的种类、大小、形状及浓度、抛光液的粘度、pH 值、流速、流动途径对去除速度都有影响。

Stein 等^[20]研究了金属 W 在含 KIO_3 的 Al_2O_3 抛光液中进行 CMP 的动力学过程,发现抛光速率与 KIO_3 浓度、 Al_2O_3 浓度、抛光压力、转速、抛光垫

类型均有关,加工温度与除 KIO_3 浓度外的以上因素有关,表明在 Al_2O_3 磨粒与 W 表面间的化学、物理相互作用很复杂,并且在 W CMP 中起重要作用。

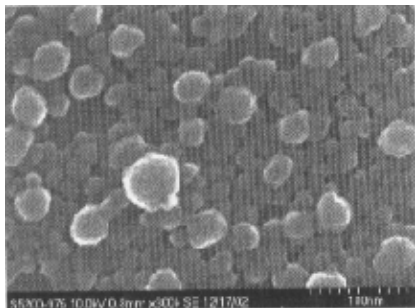


图2 纳米 SiO_2 抛光液的 Super-SEM 形貌

Fig. 2 SEM image of nano-scale SiO_2 particles

磨粒对抛光性能的影响研究较多.关于磨粒粒径对抛光性能的影响,研究结果还不统一.1996年 Michael 等^[21]提出了 CMP 加工中颗粒尺寸对抛光液抛光性能(如抛光速率、微划痕数量)的重要性.随后 Zhou 等^[22]研究了在单晶硅晶片的抛光中,纳米 SiO_2 粒径(10~140 nm)对去除率的影响,发现在试验条件下,粒径 80 nm 的 SiO_2 粒子去除率最高,得到的表面质量最好;而 Biellmann 等^[23]对金属 W CMP 的研究却发现,抛光后表面的局部粗糙度与 Al_2O_3 磨粒的粒径间没有相关性,而去除率则随颗粒减小反而增加。

Jindal 等^[24]研究了含 Al_2O_3 和 SiO_2 混合颗粒的抛光液在金属 Cu 大马士革抛光中的效果,得到了满意的抛光液/CMP 特性。

Mazaheri 等^[25]研究了 CMP 中磨粒的表面粗糙度对去除率的影响,发现相同直径时,表面不平磨粒的渗透深度比球形磨粒大,但去除率比后者小。

针对抛光液中大颗粒的存在对抛光性能的影响,Basim 等^[26]研究发现,随着大颗粒尺寸及浓度的增加,抛光后氧化膜表面的缺陷增加,并且抛光机理也发生相应变化,因而为获得满意的抛光结果,必须采取有效的方法去除抛光液中的大颗粒。

同时,研磨料的分散稳定性对于 CMP 抛光液也是很重要的.王相田等^[27]研究了分散法制备 SiO_2 浆料时,水溶液 pH 值、分散时间、搅拌速度、分散工艺等与浆料稳定性的关系。

对于抛光液粘度的影响,Mullany 等^[28]采用理论和试验方法均表明,抛光液粘度的变化对硅晶片

CMP 中材料的去除率有影响。

抛光不同的材料所需的抛光浆液组成、pH 值也不相同,在镶嵌 W CMP 工艺中典型使用铁氰酸盐、磷酸盐和胶体 SiO_2 或悬浮 Al_2O_3 粒子的混合物,溶液的 pH 值在 5.0~6.5 之间;抛光氧化物的抛光液一般以 SiO_2 为磨料,pH 值一般控制在 $\text{pH} > 10$;而金属的 CMP 大多选用酸性条件,如 $\text{pH} < 3$ ^[29],以保持较高的材料移除速率。

[30,31]等作者系统研究了纳米 SiO_2 抛光液对 Ni-P 敷镀的硬盘基片的化学机械抛光性能,发现抛光液的抛光性能与抛光液中纳米 SiO_2 粒子的粒径及浓度、氧化剂的用量、抛光液的 pH 值、抛光液的流量等均有关,适宜的抛光液组成为:粒径 10~50 nm 和浓度 4%~7%;氧化剂的用量 1%~2%。抛光液的 pH 值 1~3,流量不小于 300 mL/min,过大的流量对抛光性能没有进一步提高,只会增加成本。

目前,抛光液的研究以 ILD (inter-level dielectrical layer) CMP、金属 CMP (如 W CMP) 为主,随着 IC 工艺的发展,研究的重点正转移到用铜做层间引线的领域上来,铜的 CMP (包括 Cu CMP 抛光液)作为微型器件的主要加工工艺,各国均在加紧工艺研究^[32]。

抛光液研究的最终目的是找到化学作用和机械作用的最佳结合,以致能获得去除速率高、平面度好、膜厚均匀性好及选择性高的抛光液.此外还要考虑易清洗性、对设备的腐蚀性、废料的处理费用及安全性等问题。

1.3 抛光垫

抛光垫是输送抛光液的关键部件,抛光垫表面是一层具有多孔性结构的高分子材料,如图 3 所示,高分子材料一般为生长法得到的聚氨酯(PU)、聚碳酸酯(PC)等,抛光垫起着储存抛光液以及将抛光液中的磨蚀粒子送入片子表面并去除磨屑,圆晶片上那些微突部分被抛光垫磨去而平坦化了^[33]。

抛光垫的机械性能,如硬度、弹性和剪切模量、毛孔的大小及分布、可压缩性、粘弹性、表面粗糙度以及抛光垫使用的不同时期对抛光速度及最终平整度起着重要作用。

Shi 等^[34]建立了用软抛光垫抛光时的抛光速率方程,认为软垫时抛光速率对压力的依赖性 with 硬垫时完全不同.抛光垫的硬度对抛光均匀性也有明显的影响,硬垫可获得较好的模内均匀性(WIDNU)和较大的平面化距离,软垫可改善片内均匀性

(WIWNU),为获得良好的 WIDNU 和 WIWNU,可组合使用软、硬垫^[35],在圆片及其固定装置间加一层弹性背膜(backing film),可满足刚性及弹性的双重要求。

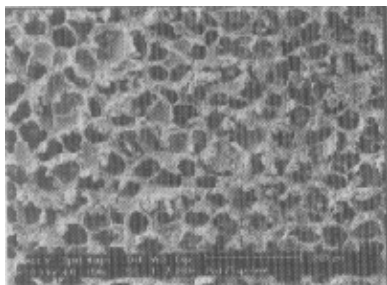


图3 KK001抛光垫表面的SEM图像

Fig. 3 SEM image of the surface of KK001 polishing pad

Stavreva 等^[36]对比了压缩性不同的 IC1000 与 IC1000/SUBA IV 两种抛光垫,发现可压缩性大的 IC1000/SUBA IV 抛光垫表现出更高的片间均匀性和抛光速率。

Thakurta 等^[37]考虑了抛光垫的可压缩性、多孔性和抛光液的传输方式建立了 CMP 的平面化模型,抛光垫不同会影响抛光垫与工件间的液膜厚度,进而影响去除率的大小。

鉴于抛光垫表面特性的重要性,Sikder 等^[38]用动力机械分析结合高分辨力扫描电镜对抛光垫的机械粘弹性能、表面形貌进行了分析,采用一种通用的微摩擦计对抛光垫在压力下的形变行为进行了研究。

事实上,抛光垫表面的结构、化学和机械性质随着抛光垫的使用时间延长会发生变化,Moy 等^[39]采用 EPMA、WDS(波长色散光谱)、FTIR 等分析了 W 和氧化物 CMP 过程中聚氨酯抛光垫的降解和磨损,Lu 等^[40]对新的和使用过的聚氨酯抛光垫的物理化学改变进行了定量研究,发现使用后的抛光垫的物理改变(如毛孔尺寸、粗糙度等)比化学改变更大,并认为这些改变对抛光垫的 CMP 性能有重要影响。

同时,抛光垫使用过程中表面会逐渐变平,出现“釉化”现象,使去除速度下降,造成抛光速率不均匀,用修整的方法可以恢复抛光垫的粗糙面,改善其容纳浆料的能力,从而使去除速度得到维持并可延长抛光垫的寿命^[41]。Chen 等^[42]研究了抛光垫修整过程中的特征,从试验数据推导了抛光垫的磨损速

率方程,得出了为达到均匀的抛光垫形貌所需要遵守的设计准则。

另外,新抛光垫使用前一般需要对其表面进行打磨处理,使其表面结构、形貌达到合适的状态,抛光垫的性能与其使用前的前处理工艺也密切相关,Li 等^[43]研究了 SiO₂ 膜抛光性能与抛光垫在水中浸泡时间、抛光垫前处理状态、抛光垫表面温度间的函数关系,认为抛光垫的前处理对于 CMP 至关重要。

改进抛光垫材料、提高其抛光性能、延长其使用寿命从而减小加工损耗是 CMP 抛光垫研究的主要内容及方向。

1.4 抛光工艺参数

合适的 CMP 工艺条件对于改进 CMP 加工性能至关重要,随着具体试验条件的不同,CMP 工艺参数如抛光压力、转速、抛光时间等以不同的方式和程度影响最终的抛光效果。

Chen 等^[44]分析了抛光参数如抛光压力、转速等对 CMP 加工性能的影响,发现各个参数都能以不同的方式影响 CMP 性能。

Cho 等^[45]分析了 Al 薄膜的 CMP 过程中抛光压力、磨粒浓度等机械参数变化时的抛光效果,结果表明较低的抛光压力(10 kPa)和相对较高的 Al₂O₃ 磨粒浓度(5 wt%)时,Al 薄膜表面的质量最满意。

Stavreva 等^[46]研究了 Cu CMP 中过程参数对 CMP 过程中平整化行为以及 Cu 凹陷、SiO₂ 薄化现象的影响,发现在试验的压力(10.9~32.8 kPa)和转速(24.3~105.5 cm/s)下,对 Cu 凹陷、SiO₂ 薄化现象都没有影响,抛光压力对平整速率也没影响,平整速率随着移除的 Cu 膜厚度而线性下降,而转速应避免低速,因为低速会导致低的平整化进程,这与 Cho 的结果似乎矛盾。

[30]作者在硬盘 CMP 的研究中发现,随着抛光压力的增加(74~86 kg),抛光后盘片的表面粗糙度(Ra)先降后升,适宜的抛光压力为 764 N 左右;随着抛光时间的延长,Ra 持续下降,降低速率为先快后慢,8 min 后基本稳定。

综合以上的研究成果可见,学者们对 CMP 的各个方面进行了细致的研究,但事实上,CMP 是一个复杂的化学机械过程,它与被抛光材料、抛光液、抛光垫以及抛光工艺参数等因数均有关,这些因素并不是孤立起作用的,它们之间存在复杂的相互作用。如 Liang 等^[47]在铜互连线 CMP 过程的研究中发现,Cu 与聚氨酯抛光垫间存在界面材料转移现

象,即在摩擦的刺激下,抛光垫的分子转移到Cu表面,被氧化的铜表面也被转移到聚氨酯表面,而对转移膜的理解将有助于了解缺陷的形成、抛光垫的状态、以及其使用寿命。Zhou等^[48]的研究也发现CMP过程中抛光垫与抛光液的相互作用能够充分和不可逆地改变抛光垫的物理机械性质和化学结构。

目前,抛光要素之间的相互影响、相互作用及其与抛光性能的关系研究还有待加强,弄清这些相互关系对于实现这些因素的相互最佳配合,以达到满意的CMP效果,以及探索确切的CMP机理至关重要。

1.5 CMP机理研究

CMP过程涉及到摩擦学、化学、流体力学、固体物理等诸多学科领域,因而其作用机理非常复杂,也增加了研究的难度。针对化学机械抛光加工过程中的磨损机理和材料去除机制,大量的学者进行了研究,归纳起来,主要有4种建模方法。

第一种方法是基于化学机械抛光过程结果的唯象学方法。1927年,Preston^[49]提出了第一个机械模型,它经验主义地将去除率和摩擦力作的功联系起来;1991年Burke^[50]和Warnock^[51]基于基本的抛光原理,提出了半经验主义的和唯象学的模型,这种方法未完全揭示磨损机理。

第二种方法是基于流体动力学理论。1994年Runnels等^[52]在数值求解了Navier-Stokes方程后,研究了化学机械抛光过程的润滑与磨损率;1999年Sundararajan等^[53]通过解雷诺方程计算了CMP浆料膜的厚度和流体动力压力。

第三种方法是利用接触力学理论。1993年,Yu等^[54]通过测量抛光垫表面粗糙度探索了基于表面粗糙度分布的磨损机理;1996年,Liu等^[55]基于磨粒在抛光垫和硅片之间的滚动运动分析了化学机械抛光的磨损机理;1999年,Larsen-Basse和Liang^[56]指出化学机械抛光的主要磨损机理是由于抛光液中的颗粒所产生的磨损;同年,Tseng等^[57]基于弹性接触理论建立了一种理论模型,模拟了抛光垫和晶片界面间由于晶片曲率引起的压力分布,解释了晶片抛光的不均匀性问题;2002年Borucki^[58]基于Greenwood-Williamson接触理论提出了晶片CMP加工抛光速率衰减的数学模型,预测结果与实验吻合较好。

第四种方法是建立于接触力学和流体力学理论上。1994年,Y.Yu等^[59]结合抛光垫的Ra及抛光

液流体动力学压力的影响,提出一种物理CMP模型;1997年,Srinivasa-Murthy^[60]模拟了化学机械抛光的应力分布,指出化学机械抛光晶片的不平度与晶片表面的应力分布相关;1999年Tichy等^[61]提出了一种一维模型来预测CMP加工中流体动力学压力的大小以及载荷、转速、粗糙度的影响;2000~2001年Cho^[62]和Park^[63]等人建立了化学机械抛光加工时整个硅片范围的三维流体力学模型,分析了抛光液厚度和压力分布及接触剪应力分布。

但在上述的建模方法中,抛光液的化学反应在化学机械抛光过程中的作用没有同时考虑,用这些理论模型揭示化学机械抛光加工过程的本质还有一定的局限性。

为此,另外一些学者对CMP中的化学作用进行了研究,1995年Steigerwald等^[64]对Cu CMP的化学过程进行了研究,推断主要的材料去除机理为表面的机械磨损及紧接着的磨削的化学溶解,并认为化学作用在Cu CMP起重要作用;1999年Subramanian等^[65]结合CMP中的传输现象和化学反应提出了一种模型,并采用铜在不含磨粒的硝酸铁抛光液的CMP实验进行了证实,该模型可研究CMP过程中各种相竞争的化学反应;2001年Hernandez等^[66]采用XPS对Cu CMP后的表面进行了化学分析,发现存在CuO和Cu(OH)₂氧化膜,并推断Cu CMP的去除率由金属铜的氧化速度和氧化膜的溶解速度决定。

总的看来,尽管人们对CMP加工中的机械作用、流体力学、化学作用等诸多方面进行了广泛的研究,但鉴于化学机械抛光的复杂性,已有的CMP机理研究,都只是从某个方面或侧面对CMP进行了简化分析或建模,还缺乏一个能够综合考虑各方面因素的CMP模型。

2 CMP研究存在的问题

十余年来,尽管CMP技术发展迅速,但CMP仍然存在很多未解决的问题,目前我们依然远没有揭示真实的CMP机理,还有很多基本的规律和问题还没有回答,CMP加工过程的控制仍停留在半经验阶段,难以保证表面的更高精度和平整度加工要求,这一问题在下一代硬盘片(Wa,Ra<0.1 nm)、ULSI和芯片晶片的加工中更为突出。CMP工艺的复杂性、影响因素的多样性增加了问题的研究难度,也使得现有的研究及实验结果还有很多相互矛盾的

地方。CMP 加工性能的进一步提高有赖于这些基本规律及存在的工艺问题的有效解决,归纳一下,主要问题如下:

(1) CMP 加工材料去除机理

包括纳米二相流的基本问题、纳米磨损的基本机理和纳米固体颗粒的作用规律等一系列科学问题,以及抛光液、抛光垫、工件三者之间的物理化学作用、微观流体力学、接触力学作用、化学腐蚀和氧化作用、润滑作用和机械作用的平衡关系等。

CMP 加工中工件和抛光垫间所处的润滑状态与材料去除关系密切,但至今尚无定论。Runnels 和 Eyman^[67]采用润滑理论预测晶片和抛光垫间液膜厚度在 45~95 μm ,应处于流体动力润滑状态;而 H. Lang 等^[68]在实验室实验机上模拟 Cu CMP 过程,发现远未达到流体动力润滑状态,而应处于边界到混合润滑状态,并且如考虑到抛光工艺参数如压力、转速和抛光液的粘度、流动性等变化时对液膜厚度的影响,情况将更为复杂。

(2) 抛光过程纳米粒子的运动规律及行为

抛光液中的纳米粒子行为对抛光质量和抛光特性有重要的影响。Zhang 等^[69,70]曾将其简化为刚性球体后用微极流体理论模拟了其性能,并用特征长度来表述它们在薄膜润滑中的作用,但目前抛光液中的固体粒子在 CMP 加工中的运动规律我们知之甚少,该方面研究将涉及纳米粒子与抛光片之间的碰撞行为及因此而引起的抛光片的弹性形变、温度场、应力场变化规律,表面凹坑及其他表面损伤缺陷的关系。

(3) 缺陷的生成机理

对于亚纳米级抛光,任何一个微小的缺陷如划痕、点蚀、凹坑、突起、粘污等都会导致产品报废。1998 年 Elbel^[71]等提出了一个数学途径来描述 WCMP 中的腐蚀和凹陷现象,2000 年 Nguyen 等^[72]研究了 Cu CMP 的凹陷与抛光时间和抛光液化学的关系,发现氧化剂的浓度、铜膜的厚度对凹陷影响很大,2002 年 Lai 等^[73]研究发现抛光凹陷与磨粒的大小、硬度以及抛光垫的硬度均有关,但确切的缺陷形成机理依然不清楚,迄今 Cu CMP 中的凹陷现象还是一个实际的难题。

因而探索它们的形成机理,揭示微观损伤、微接触和微磨损规律,可以为计算机硬盘片和硅片加工中获得无损伤无缺陷的表面提供理论依据。

(4) 选择性抛光机理

在表面加工过程中,其对象往往是多种软硬不同材料,如绝缘体、层间介质(TaN、TaC、WN、TiW 等)、镶嵌金属(W、Al、Cu、Au 等)。选择性抛光机理研究可为含不同性质、不同硬度材料的表面平坦化提供理论依据。

(5) CMP 工艺方面的实际问题

在 CMP 加工中,由于目前加工控制还处于半经验状态,难以维持稳定的、一次通过性的生产运转,因而开发实用的在线检测工具是必须的;另外抛后片子表面残留浆料的清除是 CMP 后清洗工艺的主要课题,在实际生产中,片子表面残留物超标也是造成成品率下降的主要因素之一。

3 CMP 技术的发展方向

化学机械抛光中,由于固体磨粒的存在,在抛光过程中不可避免带来一些问题,如粒子的分散稳定性问题,粒子的聚集会造成抛光划痕的产生,从而降低成品率。

近几年,无颗粒抛光技术陆续见报道,2000 年, Kondo 等^[74]报道了在制作铜互连线中采用了完全无颗粒的抛光加工,可以得到一个非常干净、无划痕、抗腐蚀的抛光表面,并且腐蚀和凹陷总深度减少到传统化学机械抛光时的五分之一以下,而且无颗粒抛光降低了化学机械抛光液的成本,有助于解决废抛光液引起的环境污染;2002 年,Laursen 等^[75]研究发现无颗粒抛光可导致对铜过抛的低敏感性及低的凹陷和腐蚀水平,传统的含磨粒的化学机械抛光能达到 0.13 μm 的工艺要求,而无颗粒抛光可达到超过 0.10 μm 的工艺要求,因而无颗粒抛光可望成为下一代低 k 值铜大马士革加工工艺中必不可少的抛光技术。

与化学机械抛光相比,无颗粒抛光的报道还很少,研究的还很成熟,尽管人们推测无颗粒抛光的材料去除机理为化学氧化及摩擦化学反应,但还缺少直接的在线检测及证据,摩擦化学反应的复杂性增加了机理研究的难度。与 CMP 不同,其抛光液完全不含固体粒子,抛光液为含有强氧化性的氧化剂如双氧水、重铬酸钠及其他助剂的水溶液。同时,与 CMP 不同,无颗粒抛光的抛光液、抛光垫和抛光工艺参数以及抛光机理均不同,因而对于无颗粒抛光的抛光液、抛光垫、抛光工艺以及抛光理论均需深入研究。

4 结束语

十余年来,作为几乎惟一的可以达到全局平面化的表面精加工技术,CMP技术的应用取得了迅速发展.但由于CMP产生背景的特殊性及CMP加工影响因素的复杂性,其理论研究相对欠缺,这也局限了CMP加工精度的进一步提高,面对下一代计算机硬盘、ULSI芯片晶片表面的亚纳米级无缺陷的要求,必须研究确切的CMP机理.同时,针对现有CMP技术中存在的加工划痕等难题,需要探索新型超精抛光技术.

参考文献:

- [1] Schuler J. CMP technology and markets [C]. SEMICON China 99 Technical Symposium. Beijing, China, 1999. 17—18.
- [2] Han H, Ryan F, McClure M. Ultra-thin tetrahedral amorphous carbon film as solder overcoat for high areal density magnetic recording [J]. Surface and Coatings Technology, 1999, **121**: 579—584.
- [3] Menon A K. Critical requirements for 100 Gb/in² head media interface [C]. Proceedings of the Symposium on Interface Tribology towards 100 Gb/in². Orlando: Floride, 1999. 1—9.
- [4] Bhushan B. Chemical, mechanical and tribological characterization of ultra-thin and hard amorphous carbon coatings as thin as 3.5 nm, recent development [J]. Diam and Relat Mater, 1999, **8**: 1985—2015.
- [5] 施为得,陈宝印.硅单晶片的SiO₂抛光[J].半导体技术,1984,**2**(1):26—27.
- [6] 江瑞生.集成电路多层结构中的化学机械抛光技术[J].半导体技术,1998,**23**(1):6—9.
- [7] Furey Michael A. The early days of CMP [J]. Solid State Technol, 1997, **40**(5): 81—86.
- [8] Rentln P. Chemical mechanical planarization: fundamental issues of interlevel dielectric applications [C]. Meet Solid State Sci Technol Subsection Proc, 1992.
- [9] Ali I. Chemical-mechanical polishing of interlayer dielectric: a review [J]. Solid State Technology, 1994, **34**: 63—70.
- [10] Malik F, Hasan M. Manufacturability of the CMP process [J]. Thin Solid Films, 1995, **270**: 612—615.
- [11] Jairath R, Farkas J, Huang C K, et al. Chemical-mechanical polishing: process manufacturability [J]. Solid State Technology, 1994, **7**: 71—75.
- [12] Steigermald J M, Murarka S P, Gutmann R J. Chemical mechanical planarization of microelectronic materials [M]. New York: A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, Inc, USA, 1996. 324.
- [13] Kaufman F B, Thompson D B, Broabie R E, et al. Chemical-mechanical polishing for fabricating patterned W metal features as chip interconnects [J]. J Electrochem Soc, 1991, **138** (11): 3460—3464.
- [14] Sivaram S, Bath H, Leggett R, et al. Planarizing interlevel dielectrics by chemical-mechanical polishing [J]. Solid State Technology, 1992, **5**: 87—91.
- [15] 董志义. CMP设备市场及技术现状 [J]. 电子工业专用设备, 2000, **29**(4): 11—18.
- [16] Jairath. Linear planarization for CMP [J]. Solid State Technology, 1996, **39**(10): 107.
- [17] 科莱恩(法国)公司.铜基材料表层的机械化学抛光方法, CN, 1244033A(2000).
- [18] 卡伯特公司.金属层用的化学机械抛光淤浆 [P]. CN, 1166805A(1997).
- [19] 摩托罗拉公司.用于铜的化学机械抛光(CMP)浆液以及用于集成电路制造的方法 [P]. CN, 1223308A(1999).
- [20] Stein D J, Hetherington D L, Cecchi J L. Investigation of the kinetics of tungsten chemical mechanical polishing in potassium iodate-based slurries [J]. J Electrochem Soc, 1999, **146**(1): 376—381.
- [21] Michael C P, Duncan A G. The importance of particle size to the performance of abrasive particles in the CMP process [J]. J Electro Mater, 1996, **25** (10): 1612—1616.
- [22] Zhou C H, Shan L, Hight R, et al. Influence of colloidal abrasive size on material removal rate and surface finish in SiO₂ chemical mechanical polishing [J]. Tribology Transation, 2002, **45** (2): 232—230.
- [23] Biemann M, Mahajan U, Singh R K. Effect of particle size during tungsten chemical mechanical polishing [J]. Electrochemical and Solid-State Letters, 1999, **2**(8): 401—403.
- [24] Jindal A, Hegde S, Babu S V. Chemical mechanical polishing using mixed abrasive slurries [J].

- Electrochem Solid State Letters, 2002, **5**(7): G48—G50.
- [25] Mazaheri A R, Ahmadi G. Modeling the effect of humpy abrasive particles on chemical mechanical polishing [J]. J Electrochem Soc, 2002, **149**(7): G370—G375.
- [26] Basim G B, Adler J J, Mahajan U, et al. Effect of particle size of chemical mechanical polishing slurries for enhanced polishing with minimal defects [J]. J Electrochem Soc, 2000, **147**(9): 3523—3528.
- [27] 王相田,刘伟,金字尧,等. SiO_2 化学机械抛光浆料的制备与性能研究 [J]. 华东理工大学学报, 1998, **24**(6): 681—685.
- [28] Mullany B, Byrne G. The effect of slurry viscosity on chemical-mechanical polishing of silicon wafers [J]. J Mater Proc Tech, 2003, **132**: 28—34.
- [29] Farid M, Masood H. Manufacturability of the CMP process [J]. Thin Solid Films, 1995, **270**: 612—615.
- [30] 雷红. 纳米粒子的表面改性及应用研究 [D]. 北京: 清华大学博士后研究报告, 2003. 23—61.
- [31] Lei Hong, Luo Jianbin, Pan Guoshun, et al. Chemical mechanical polishing of computer hard disk substrate in colloidal SiO_2 slurry [J]. International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation, 2002, **3**: 455—459.
- [32] Bajaj R, Zutshi A, Surana R, et al. Integration challenges for CMP of copper [J]. MRS Bulletin, 2002, **27**(10): 776—778.
- [33] John Schuler. Technology and market for CMP [C]. SEMICON China 99 Technical Symposium, Beijing, China, 17—18, 1999: O—1—6.
- [34] Shi E G, Zhao B. Modeling of chemical-mechanical polishing with soft pads [J]. Applied Physics A, 1998, **67**: 249—252.
- [35] Ali I, Roy S, Shinn G. Chemical-mechanical polishing of interlayer dielectric: A review [J]. Solid State Technol, 1994, **37**(10): 63.
- [36] Stavreva Z, Zeidler D, Plotner M, et al. Characteristics in chemical-mechanical polishing of copper: comparison of polishing pads [J]. Appl Surf Sci, 1997, **108**: 39—44.
- [37] Thakurta D G, Borst C L, Schwendeman D W, et al. Pad porosity, compressibility and slurry delivery effects in chemical-mechanical planarization: modeling and experiments [J]. Thin Solid Films, 2000, **366** (1—2): 181—190.
- [38] Sikder A K, Irfan I M, Belyave A, et al. Evaluation of mechanical and tribological behavior, and surface characteristics of CMP pads [C]. Materials Research Society Symposium-Proceedings v 671 Apr 18-20 2001, 2001 Materials Research Society, p M1. 8. 1—M1. 8. 7 0272-9172.
- [39] Moy A L, Cecchi J L, Hetherington D L, et al. Polyurethane pad degradation and wear due to tungsten and oxide CMP [C]. Materials Research Society Symposium-Proceedings v 671, Apr 18-20 2001, 2001 Materials Research Society p M1. 7. 1—M1. 7. 6 0272-9172.
- [40] Lu H, Fookes B, Obeng Y, et al. Quantitative analysis of physical and chemical changes in CMP polyurethane pad surfaces [J]. Mater Character, 2002, **49**: 35—44.
- [41] Hooper B J, Byrne G, Galligan S. Pad conditioning in chemical mechanical polishing [J]. J Mater Process Tech, 2002, **123**: 107—113.
- [42] Chen C Y, Yu C C, Shen S H. Operational aspects of chemical mechanical polishing: polish pad profile optimization [J]. J Electrochem Soc, 2000, **147**(10): 3922—3930.
- [43] Li W D, Shin D W, Tomozawa M. The effect of the polishing pad treatment on the chemical-mechanical polishing of SiO_2 films [J]. Thin Solid Films, 1995, **270**: 601—606.
- [44] Chen D Z, Lee B S. Parameter analysis of chemical mechanical polishing: An investigation based on the pattern planarization model [J]. J Electrochem Soc, 1999, **146**(9): 3420—3424.
- [45] Cho W, Ahn Y, Baek C W. Effect of mechanical process parameters on chemical mechanical polishing of Al thin films [J]. Microelectron Eng, 2003, **65**: 13—23.
- [46] Stavreva Z, Zeidler D, Plotner M. Influence of process parameters on chemical-mechanical polishing of copper [J]. Microelectronic Engineering, 1997, **37/38**: 143—149.
- [47] Liang H, Mogne T L, Martin J M. Interfacial transfer between copper and polyurethane in chemical-mechanical polishing [J]. J Electronic materials, 2002, **31**(8): 872—885.
- [48] Zhou Y Y, Davis E C. Variation of polish pad shape during pad dressing [J]. Materials Science and Engineering B: Solid-State Materials for Advanced Technology, 1999, **68**(2): 91—98.
- [49] Preston F. The theory and design of plate glass

- polishing machines [J]. *J Soc Glass Technol*, 1927, **11**: 214–256.
- [50] Burke P A. Semi-empirical modeling of SiO₂ chemical-mechanical polishing planarization [J]. *VMIC Conf*, 1991, **1112**: 379–384.
- [51] Warnock J. A two-dimensional process model for chemomechanical polishing planarization [J]. *J Electrochem Soc*, 1991, **138**(8): 2398–2402.
- [52] Runnels S R, Eyman L M. Tribology analysis of chemical-mechanical polishing [J]. *Journal of the Electrochemical Society*, 1994, **141**(6): 1698–1701.
- [53] Sundararajan S, Thakurta D G. Two-dimensional wafer-scale chemical-mechanical planarization models based on lubrication theory and mass transport [J]. *Journal of the Electrochemical Society*, 1999, **146**(2): 761–766.
- [54] Yu Y, Yu C, Orłowski M. A statistical polishing pad model for chemical-mechanical polishing [M]. *IEEE IEDM Washington DC*, Dec. 1993, 5–8: 865–868.
- [55] Liu C, Dai B, Tseng W, et al. Modeling of the wear mechanism during chemical-mechanical polishing [J]. *J of the Electrochemical Society*, 1996, **143**(2): 716–721.
- [56] Larsen-Basse J, Liang H. Probable role of abrasion in chemo-mechanical polishing of tungsten [J]. *Wear*, 1999, **233–235**: 647–654.
- [57] Tseng W T, Wang Y H, Chin J H. **Effects of film stress on the chemical mechanical polishing process** [J]. *J Electrochem Soc*, 1999, **146**(11): 4273–4280.
- [58] Brorucki L. Mathematical modeling of polish-rate decay in chemical-mechanical polishing [J]. *J Engineering Mathematics*, 2002, **43**: 105–114.
- [59] IEEE Int. Workshop on numerical modeling of processes and devices for integrated circuits [M]. New York, 1994, 5–6: 29–32.
- [60] Srinivasa-Murthy C, Wang D, Beaudoin S P, et al. Stress distribution in chemical mechanical polishing [J]. *Thin solid films*, 1997, **308–309**: 533–537.
- [61] Tichy J. Contact mechanics and lubrication hydrodynamics of chemical-mechanical polishing [J]. *J of the Electrochemical Society*, 1999, **146**(4): 1523–1528.
- [62] Cho C H, Park S S, Ahn Y. Three-dimensional wafer scale hydrodynamic modeling for chemical mechanical polishing [J]. *Thin Solid Films*, 2001, **389**(1–2): 254–260.
- [63] Park S S, Cho C H, Ahn Y. Hydrodynamic analysis of chemical mechanical polishing process [J]. *Trib Intern*, 2000, **33**: 723–730.
- [64] Steigerwald M, Murarka S D. Chemical processes in the chemical mechanical polishing of copper [J]. *J Materials Chemistry and Physics*, 1995, **41**: 217–228.
- [65] Subramanian R S. Transport phenomena in Chemical mechanical polishing [J]. *J Electrochem Soc*, 1999, **146**(11): 4263–4272.
- [66] Hernandez J, Wrschka P. Surface chemistry studies of copper chemical mechanical planarization [J]. *J Electrochem Soc*, 2001, **148**(7): G389.
- [67] Runnels S R, Eyman L M. Tribology analysis of chemical-mechanical polishing [J]. *Journal of the Electrochemical Society*, 1994, **141**(6): 1698–1701.
- [68] Liang H, Xu G H. Lubricating behavior in chemical-mechanical polishing of copper [J]. *Scripta Materialia*, 2002, **46**: 343–347.
- [69] Zhang C H, Wen S Z, Luo J B. On Characteristics of lubrication at Nano-scale in two-phase fluid system [J]. *Science in China (Series B)*, 2002, **45**(2): 166–172.
- [70] 张朝辉, 温铸铸, 维建斌. 薄膜润滑的微极流体模拟 [J]. *机械工程学报*, 2001, **37**(9): 4–8.
- [71] Elbel N, Neureither B, Ebersberger B. Tungsten chemical mechanical polishing [J]. *J Electrochem Soc*, 1998, **145**(5): 1659–1664.
- [72] Nguyen V, Vankranenbury H, Woerlee P. Dependency of dishing on polishing time and slurry chemistry in Cu CMP [J]. *Microelectronic Eng*, 2000, **50**: 403–410.
- [73] Lai J Y, Saka N, Chun J H. **Evolution of copper-oxide damascene structures in chemical mechanical polishing** [J]. *J Electrochem Soc*, 2002, **149**(1): G41–G50.
- [74] Seiichi Kondo. Abrasive-free polishing for copper damascene interconnection [J]. *J Electrochem Soc*, 2000, **147**(10): 3907.
- [75] Thomas Laursen, Malcolm Grief. Characterization and optimization of copper chemical mechanical planarization [J]. *J Electronic Mater*, 2002, **31**(10): 1059.

(编辑:周薇纬)

作者: 雷红, 雒建斌, 张朝辉
作者单位: 雷红(上海大学, 纳米中心, 上海, 200436), 雒建斌, 张朝辉(清华大学, 摩擦学国家重点实验室, 北京, 100084)
刊名: 上海大学学报(自然科学版) 
英文刊名: JOURNAL OF SHANGHAI UNIVERSITY (NATURAL SCIENCE)
年, 卷(期): 2003, 9(6)
被引用次数: 29次

参考文献(75条)

1. Menon A K [Critical requirements for 100 Gb/in² head media interface](#) 1999
2. Nguyen V; Vankranenbury H; Woerlee P [Dependency of dishing on polishing time and slurry chemistry in Cu CMP](#)[外文期刊] 2000(1/4)
3. Elbel N; Neureither B; Ebersberger B [Tungsten chemical mechanical polishing](#)[外文期刊] 1998(05)
4. 张朝辉; 温诗铸; 雒建斌 [薄膜润滑的微极流体模拟](#)[期刊论文]-[机械工程学报](#) 2001(09)
5. Fury Michael A [The early days of CMP](#) 1997(05)
6. 江瑞生 [集成电路多层结构中的化学机械抛光技术](#) 1998(01)
7. Cho W; Ahn Y; Baek C W [Effect of mechanical process parameters on chemical mechanical polishing of Al thin films](#)[外文期刊] 2003
8. Chen D Z; Lee B S [Parameter analysis of chemical mechanical polishing: An investigation based on the pattern planarization model](#)[外文期刊] 1999(09)
9. Li W D; Shin D W; Tomozawa M [The effect of the polishing pad treatment on the chemical-mechanical polishing of SiO₂ films](#) 1995
10. Mullany B; Byrne G [The effect of slurry viscosity on chemical-mechanical polishing of silicon wafers](#)[外文期刊] 2003
11. Bhushan B [Chemical, mechanical and tribological characterization of ultra-thin and hard amorphous carbon coatings as thin as 3.5 nm, recent development](#)[外文期刊] 1999(11)
12. Steigermald J M; Murarka S P; Gutmann R J [Chemical mechanical planarization of microelectronic materials](#) 1996
13. Ali I [Chemical-mechanical polishing of interlayer dielectric: a review](#) 1994
14. Rentln P [Chemical-mechanical planarization: fundamental issues of interlevel dielectric applications](#) 1992
15. Thomas Laursen; Malcolm Grief [Characterization and optimization of copper chemical mechanical planarization](#)[外文期刊] 2002(10)
16. Seiichi Kondo [Abrasive free polishing for copper damascene interconnection](#) 2000(10)
17. Lai J Y; Saka N; Chun J H [Evolution of copper oxide damascene structures in chemical mechanical polishing](#)[外文期刊] 2002(01)
18. Zhang C H; Wen S Z; Luo J B [On characteristics of lubrication at nano-scale in two-phase fluid system](#)[期刊论文]-[中国科学B辑\(英文版\)](#) 2002(02)
19. Liang H; Xu G H [Lubricating behavior in chemical mechanical polishing of copper](#)[外文期刊] 2002

20. [Runnels S R;Eyman L M Tribology analysis of chemical-mechanical polishing](#)[外文期刊] 1994(06)
21. [Hernandez J;Wrschka P Surface chemistry studies of copper chemical mechanical planarization](#)[外文期刊] 2001(07)
22. [Subramanian R S Transport phenomena in Chemical mechanical polishing](#)[外文期刊] 1999(11)
23. [Steigerwald M;Murarka S D Chemical processes in the chemical mechanical polishing of copper](#)[外文期刊] 1995
24. [Park S S;Cho C H;Ahn Y Hydrodynamic analysis of chemical mechanical polishing process](#)[外文期刊] 2000
25. [Cho C H;Park S S;Ahn Y Three-dimensional wafer scale hydrodynamic modeling for chemical mechanical polishing](#)[外文期刊] 2001(1/2)
26. [Tichy J Contact mechanics and lubrication hydrodynamics of chemical-mechanical polishing](#)[外文期刊] 1999(04)
27. [Srinivasa Murthy C;Wang D;Beaudoin S P Stress distribution in chemical mechanical polishing](#)[外文期刊] 1997
28. [IEEE Int Workshop on numerical modeling of processes and devices for integrated circuits](#) 1994
29. [Brorucki L Mathematical modeling of polish-rate decay in chemical-mechanical polishing](#)[外文期刊] 2002(2/4)
30. [Tseng W T;Wang Y H;Chin J H Effects of film stress on the chemical mechanical polishing process](#)[外文期刊] 1999(11)
31. [施为得;陈宝印 硅单晶片的SiO₂抛光](#) 1984(01)
32. [Larsen Basse J;Liang H Probable role of abrasion in chemo-mechanical polishing of tungsten](#)[外文期刊] 1999(0)
33. [Liu C;Dai B;Tseng W Modeling of the wear mechanism during chemical-mechanical polishing](#)[外文期刊] 1996(02)
34. [Yu Y;Yu C;Orlowski M A statistical polishing pad model for chemical-mechanical polishing](#)[外文会议] 1993
35. [Sundararajan S;Thakurta D G Two-dimensional wafer-scale chemical-mechanical planarization models based on lubrication theory and mass transport](#)[外文期刊] 1999(02)
36. [Runnels S R;Eyman L M Tribology analysis of chemical-mechanical polishing](#)[外文期刊] 1994(06)
37. [Warnock J A two-dimensional process model for chemomechanical polishing planarization](#)[外文期刊] 1991(08)
38. [Burke P A Semi-empirical modeling of SiO₂ chemical-mechanical polishing planarization](#) 1991
39. [Preston F The theory and design of plate glass polishing machines](#) 1927(11)
40. [Zhou Y Y;Davis E C Variation of polish pad shape during pad dressing](#) 1999(02)
41. [Liang H;Mogne T L;Martin J M Interfacial transfer between copper and polyurethane in chemical-mechanical polishing](#)[外文期刊] 2002(08)
42. [Stavreva Z;Zeidler D;Plotner M Influence of process parameters on chemical-mechanical polishing of copper](#)[外文期刊] 1997

43. [Chen C Y;Yu C C;Shen S H Operational aspects of chemical mechanical polishing: polish pad profile optimization](#)[外文期刊] 2000(10)
44. [Hooper B J;Byrne G;Galligan S Pad conditioning in chemical mechanical polishing](#)[外文期刊] 2002(1)
45. [Lu H;Fookes B;Obeng Y Quantitive analysis of physical and chemical changes in CMP polyurethane pad surfaces](#) 2002
46. [Moy A L;Cecchi J L;Hetherington D L Polyurethane pad degradation and wear due to tungsten and oxide CMP](#)
47. [Sikder A K;Irfan I M;Belyave A Evaluation of mechanical and tribological behavior, and surface characteristics of CMP pads](#)
48. [Thakurta D G;Borst C L;Schwendeman D W Pad porosity, compressibility and slurry delivery effects in chemical-mechanical planarization:modeling and experiments](#)[外文期刊] 2000(1/2)
49. [Stavreva Z;Zeidler D;Plotner M Characteristics in chemical-mechanical polishing of copper: comparison of polishing pads](#) 1997
50. [Ali I;Roy S;Shinn G Chemical-mechanical polishing of interlayer dielectric: A review](#) 1994(10)
51. [Shi E G;Zhao B Modeling of chemical-mechanical polishing with soft pads](#)[外文期刊] 1998(2)
52. [John Schuler Technology and market for CMP](#) 1999
53. [Bajaj R;Zutshi A;Surana R Integration challenges for CMP of copper](#)[外文期刊] 2002(10)
54. [Lei Hong;Luo Jianbin;Pan Guoshun Chemical mechanical polishing of computer hard disk substrate in colloidal SiO₂ slurry](#) 2002
55. [雷红 纳米粒子的表面改性及应用研究](#) 2003
56. [Farid M;Masood H Manufacturability of the CMP process](#) 1995
57. [HanH;Ryan F;Mcclure M Ultra-thin tetrahedral amorphous carbon film as solider overcoat for high areal density magnetic recording](#) 1999
58. [王相田;刘伟;金字尧 SiO₂化学机械抛光浆料的制备与性能研究](#) 1998(06)
59. [Basim G B;Adler J J;Mahajan U Effect of particle size of chemical mechanical polishing slurries for enhanced polishing with minimal defects](#)[外文期刊] 2000(09)
60. [Mazaheri A R;Ahmadi G Modeling the effect of bumpy abrasive particles on chemical mechanical polishing](#)[外文期刊] 2002(07)
61. [Jindal A;Hegde S;Babu S V Chemical mechanical polishing using mixed abrasive slurries](#)[外文期刊] 2002(07)
62. [Bielmann M;Mahajan U;Singh R K Effect of particle size during tungsten chemical mechanical polishing](#)[外文期刊] 1999(08)
63. [Zhou C H;Shan L;Hight R Influence of colloidal abrasive size on material removal rate and surface finish in SiO₂ chemical mechanical polishing](#) 2002(02)
64. [Michael C P;Duncan A G The importance of particle size to the performance of abrasive particles in the CMP process](#) 1996(10)
65. [Stein D J;Hetherington D L;Cecchi J L Investigation of the kinetics of tungsten chemical mechanical polishing in potassium iodate-based slurries](#)[外文期刊] 1999(01)

66. [摩托罗拉公司](#) [用于铜的化学机械抛光\(CMP\)浆液以及用于集成电路制造的方法](#) 1999
67. [卡伯特公司](#) [金属层用的化学机械抛光淤浆](#) 1997
68. [科莱恩\(法国\)公司](#) [铜基材料表层的机械化学抛光方法](#) 2000
69. [Jairath](#) [Linear planarization for CMP](#) 1996(10)
70. [董志义](#) [CMP设备市场及技术现状](#)[期刊论文]-[电子工业专用设备](#) 2000(04)
71. [Sivaram S;Bath H;Leggett R](#) [Planarizing interlevel dielectrics by chemical-mechanical polishing](#) 1992
72. [Kaufman F B;Thompson D B;Broobie R E](#) [Chemical-mechanical polishing for fabricating patterned W metal features as chip interconnects](#) 1991(11)
73. [Jairath R;Farkas J;Huang C K](#) [Chemical mechanical polishing: process manufacturability](#) 1994
74. [Malik F;Hasan M](#) [Manufacturability of the CMP process](#) 1995
75. [Schuler J](#) [CMP technology and markets](#) 1999

引证文献(29条)

1. [肖强](#), [李言](#), [李淑娟](#) [SiC单晶片CMP超精密加工技术现状与趋势](#)[期刊论文]-[宇航材料工艺](#) 2010(1)
2. [刘涛](#), [高慧莹](#), [张领强](#), [陈学森](#) [化学机械抛光压力控制技术研究](#)[期刊论文]-[电子工业专用设备](#) 2010(9)
3. [雷红](#), [司马能](#), [屠锡富](#), [布乃敬](#), [严琼林](#), [吴鑫](#) [氧化硅/氧化铁复合磨粒用于硬盘基片的抛光研究](#)[期刊论文]-[摩擦学报](#) 2010(3)
4. [张健](#), [史宝军](#), [杜运东](#), [杨廷毅](#) [化学机械抛光技术研究现状与展望](#)[期刊论文]-[山东建筑大学学报](#) 2009(2)
5. [陆中](#), [陈杨](#) [化学机械抛光浆料研究进展](#)[期刊论文]-[半导体技术](#) 2009(12)
6. [刘玉岭](#), [牛新环](#), [檀柏梅](#), [肖文明](#) [固体表面高精密平面化技术研究进展](#)[期刊论文]-[河北工业大学学报](#) 2009(2)
7. [詹阳](#), [周国安](#) [化学机械抛光过程优化研究](#)[期刊论文]-[电子工业专用设备](#) 2009(4)
8. [修树东](#), [倪忠进](#), [陈茂军](#) [化学机械抛光的研究进展](#)[期刊论文]-[机械研究与应用](#) 2008(6)
9. [李咸珍](#), [刘玉岭](#), [宗思邈](#), [张伟](#), [江焱](#) [影响微晶玻璃CMP速率主要因素的研究](#)[期刊论文]-[半导体技术](#) 2008(8)
10. [赵之雯](#) [蓝宝石衬底纳米级超光滑表面加工工艺研究](#)[期刊论文]-[新技术新工艺](#) 2008(2)
11. [马振国](#), [刘玉岭](#), [武亚红](#), [王立发](#), [陈景](#) [蓝宝石衬底nm级CMP技术研究](#)[期刊论文]-[微纳电子技术](#) 2008(1)
12. [卢海参](#), [何良恩](#), [刘建刚](#) [基于DOE优化设计抛光工艺参数](#)[期刊论文]-[半导体技术](#) 2008(5)
13. [刘春香](#), [杨洪星](#), [吕菲](#), [赵权](#) [锗晶片化学机械抛光的条件分析](#)[期刊论文]-[中国电子科学研究院学报](#) 2008(1)
14. [夏绍灵](#), [彭进](#), [邹文俊](#), [张琳琪](#) [新型复合表面抛光技术](#)[期刊论文]-[新技术新工艺](#) 2008(7)
15. [赵之雯](#) [蓝宝石衬底的化学机械抛光工艺研究](#)[期刊论文]-[超硬材料工程](#) 2007(4)
16. [胡建东](#), [李永绣](#), [周雪珍](#) [铜在含碘酸钾的CeO₂浆料中CMP的抛光速率及影响因素的研究](#)[期刊论文]-[有色金属\(冶炼部分\)](#) 2007(4)
17. [雷红](#), [卢海参](#) [氧化铝-g-聚丙烯酰胺复合磨粒的制备及表征](#)[期刊论文]-[无机化学学报](#) 2007(10)
18. [檀柏梅](#), [牛新环](#), [韩丽丽](#), [刘玉岭](#), [崔春翔](#) [铈酸锂CMP速率的影响因素分析](#)[期刊论文]-[半导体学报](#) 2007(z1)
19. [卢海参](#), [雷红](#), [张泽芳](#), [肖保其](#) [超细氧化铝表面改性及其抛光特性](#)[期刊论文]-[润滑与密封](#) 2007(2)
20. [张鹏珍](#), [雷红](#), [张剑平](#), [施利毅](#) [纳米氧化铈的制备及其抛光性能的研究](#)[期刊论文]-[光学技术](#) 2006(5)
21. [赵之雯](#), [牛新环](#), [檀柏梅](#), [袁育杰](#), [刘玉岭](#) [蓝宝石衬底材料CMP抛光工艺研究](#)[期刊论文]-[微纳电子技术](#) 2006(1)
22. [雷红](#), [张鹏珍](#), [卢海参](#) [纳米氧化硅在玻璃基片表面亚纳米级抛光中的应用](#)[期刊论文]-[润滑与密封](#) 2006(1)

23. [阎晓明](#) [CMP设备监控系统的设计与开发](#)[学位论文]硕士 2006
24. [张朝辉](#), [雒建斌](#), [温诗铸](#) [化学机械抛光中纳米颗粒的作用分析](#)[期刊论文]-[物理学报](#) 2005(5)
25. [超细氧化铝抛光液的制备及其抛光特性研究](#)[期刊论文]-[功能材料](#) 2005(9)
26. [张磊](#), [雒建斌](#), [张朝辉](#) [利用荧光技术对二氧化硅胶体旋转流动特性的研究](#)[期刊论文]-[润滑与密封](#) 2005(2)
27. [张朝辉](#), [雒建斌](#) [化学机械抛光中抛光液流动的微极性分析](#)[期刊论文]-[北京交通大学学报](#) 2005(1)
28. [高波](#) [气囊抛光实验样机研制及其关键技术研究](#)[学位论文]博士 2005
29. [康桂文](#) [磁流变抛光硬脆材料去除特性及面形控制技术研究](#)[学位论文]博士 2005

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_shdxxb200306007.aspx