

# 硅晶片双面超精密化学机械抛光\*

张楷亮<sup>†</sup> 宋志棠 钟 旻 郑鸣捷 封松林

(中国科学院上海微系统与信息技术研究所 纳米技术研究室, 信息功能材料国家重点实验室, 上海 200050)

**摘要:** 为提高硅晶片双面超精密抛光的抛光速率, 在分析双抛工艺过程基础上, 采用自制大粒径二氧化硅胶体磨料配制了 SIMIT8030-I 型新型纳米抛光液, 在双垫双抛机台上进行抛光实验. 抛光液、抛光前后厚度、平坦性能及粗糙度通过 SEM、ADE-9520 型晶片表面测试仪、AFM 进行了表征. 结果表明: 与进口抛光液 Nalco2350 相比, SIMIT8030-I 型抛光液不仅提高抛光速率 40% ( $14\mu\text{m}/\text{h}$  vs  $10\mu\text{m}/\text{h}$ ); 而且表面平坦性 TTV 和 TIR 得到改善; 表面粗糙度由  $0.4728\text{nm}$  降至  $0.2874\text{nm}$ , 即提高抛光速率同时显著改善了抛光表面平坦性和粗糙度.

**关键词:** 硅晶片; 双面抛光; 化学机械抛光; 抛光液  
EEACC: 2550; 2220

中图分类号: TN305.2 文献标识码: A 文章编号: 0253-4177(2006)S0-0396-04

## 1 引言

集成电路沿着摩尔定律飞速发展至今, 特征线宽的日趋减小 ( $90\text{nm}$  工艺已经工业化,  $65\text{nm}$  工艺测试实验已经完全通过, 各大公司正在研发  $45\text{nm}$  工艺技术) 迫使微电子制造工艺正在挑战极限, 其中把超平坦化技术化学机械抛光 (CMP) 的研究也推向了新的高潮<sup>[1~3]</sup>. 作为最重要的半导体材料——硅衬底, 其表面平整度及粗糙度也随着 IC 器件的纳米图形化要求越来越高. 对于某些器件工艺, 单面抛光已无法满足要求. 能够提供超平整表面、低粗糙度的双面超精密抛光显得日益重要; 此外硅单晶双面抛光片也是传感器、微电子机械系统 (MEMS) 等特殊器件制作的关键基材之一, 应用范围广泛, 需求量逐年递增<sup>[4]</sup>. 国外多采用两步工艺进行双面抛光, 即先有蜡粘片式单抛, 再采用吸附式进行另一面抛光. 近年来开始研制双面研磨及双面抛光设备, 但进口双面超精密抛光设备价格昂贵, 所以目前国内尚无可以批量高精度生产合格硅单晶双面抛光片的厂家, 另外采用双面抛光机抛光效率较低也是其难以发展的主要原因. 结合国内硅材料的快速发展及纳米 IC、MEMS、传感器的广大需求, 本研究利用国产双面抛光机进行双面超精密抛光研究, 分析进口抛光液试验时效率较低的原因, 自制大粒径胶体二氧化硅纳米抛光液, 进行了对比实验, 对抛光速率, 表

面平整度、粗糙度等进行研究.

## 2 实验

### 2.1 抛光液的制备

采用硅粉法和离子交换复合工艺制备了大粒径胶体二氧化硅纳米抛光研磨料; 根据低金属离子含量要求, 分别通过离子交换和超滤浓缩等工艺进一步纯化; 同样 pH 值调节剂优选无金属离子的有机强碱用于抛光液的 pH 值调整; 按照一定组分比例加入表面活性剂、消泡剂、速率促进剂等配制成高纯的纳米抛光液.

### 2.2 抛光实验

本实验研究新型双面超精密抛光液, 在双面抛光机上分别用进口抛光液 Nalco2350 和自制抛光液 SIMIT8030-I 型进行实验. 抛光过程依次包括四个阶段: 轻压、中压、重压和修抛, 为保证游轮盘内硅晶片与上下双层抛光垫的紧密接触和防止硅片跑片, 分别在开始阶段不断施加压力并短暂维持一定时间, 相应地转速也不断提高, 压力和转速分别升至设定值, 开始重压抛光. 抛光一定时间后, 停止抛光液供给, 用去离子水进行修抛, 此阶段压力下降至中压以下, 也称水抛.

\* 国家重点基础研究发展规划 (批准号: 2006CB302700), 中国科学院 (批准号: Y2005027), 上海-应用材料科技合作共同计划 (批准号: AM 基金 0414), 中国博士后科学基金 (批准号: 2005037522), 上海市科委项目 (批准号: 0552nm043, 05JC14076, 05R214156, AM0517, 06QA14060, 06XD14025, 0652nm003, 06DZ22017) 和美国 SST 公司资助项目

<sup>†</sup> 通信作者. Email: zhangkl@mail.sim.ac.cn  
2005-12-20 收到

### 2.3 测试及表征

抛光机为兰州兰新 X-62 318P 3D-1 型双面精密抛光机(见图 1);抛光垫为 Alpha125-3 型,断面分析见图 2;抛光速率及表面测试仪为 ADE-9520;粗糙度采用美国 Q-Scope250 型原子力显微镜(AFM);抛光液颗粒度测试采用日立场发射扫描电镜 S-4700.

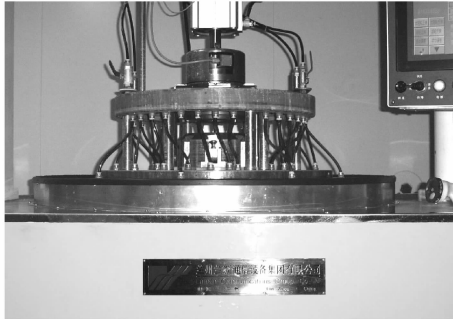


图 1 双面抛光机

Fig.1 Double side fine CMP polisher

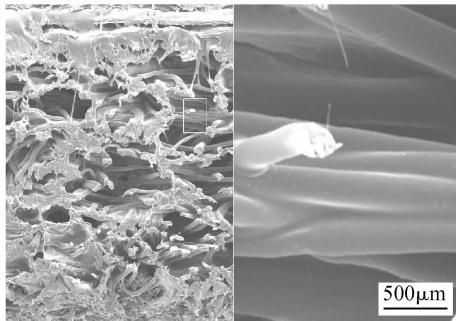


图 2 抛光垫 Alpha125-3(SEM)

Fig.2 SEM of polishing pad Alpha125-3

## 3 结果与讨论

### 3.1 双抛过程分析及新型抛光液磨料表征

硅片双面抛光通常先采用蜡粘单面抛光,之后再进行无蜡背面抛光,这样在抛光过程中至少需要两次清洗,而且涉及粘蜡、去蜡等工艺.抛光之后的表面平整度很大程度上受抛光蜡、粘蜡工艺水平的影响,涂蜡的均匀性对抛光片的平整度、翘曲度有着重要的影响.本研究采用双面抛光机,不仅在抛盘上装有抛光垫,在抛头上也装有抛光垫,双垫之间采用游龙盘装载硅晶圆片,抛光液由上盘采用多孔注入方式加至双垫之间.采用双垫双面抛光,避免了粘蜡、去蜡工艺,减少了清洗工序次数,而且改善了抛光片的平整性能.但双垫双抛工艺中,硅晶圆片仅仅

被限制于游龙盘的孔内,在孔内受到摩擦力时可以旋转,相应的相对摩擦效果降低,进而降低了去除速率.目前采用此工艺进行双面抛光的研究报道中,速率通常为  $10\mu\text{m}/\text{h}$ ,影响了抛光效率.

众所周知,化学机械抛光是机械和化学作用的综合效果,单一增强机械作用会增大表面损伤,单一提高化学作用会降低表面平整效果.二者的相互平衡不仅可以保证高抛光速率,而且可以实现高质量的抛光表面.对于双垫双抛工艺,与单面抛光相比,采用相同抛光液的情况下,由于硅晶圆片的可滑动性,使得机械摩擦作用有些减弱,从而影响抛光效率.为此适当调整 CMP 过程中的机械研磨作用及与化学组分的匹配成为本研究提高抛光效率的出发点.

抛光液不仅提供抛光过程中发生化学反应的组分,还包括 CMP 过程中起机械磨削作用的磨料,为实现高质量的抛光表面,通常研磨料采用硬度适中的纳米二氧化硅磨料.具有高稳定性的胶体二氧化硅纳米磨料更是在半导体抛光磨料市场中占有绝对地位,但商业胶体二氧化硅多为小粒径产品,如  $20\sim 30\text{nm}$ ,甚至更小.国外多采用  $50\sim 70\text{nm}$  的胶体二氧化硅研磨料配制抛光液,典型产品为 Nalco2350(平均粒径  $50\text{nm}$  左右,二氧化硅浓度为  $50\%$ ).研究表明研磨料粒径大小及分布对抛光速率及表面有着重要的影响<sup>[5,6]</sup>,粒径增大可有效改善抛光速率,且粒径大小分布导致抛光液中包含有效研磨料和无效研磨料两部分,如图 3 所示.由于抛光垫的弹性形变及硅晶圆片表面的凹凸形貌,只有平均粒径以上的部分研磨料真正参与了 CMP 的机械研磨,而小粒径却仅参与了抛光产物的质量传递过程.为此大粒径纳米胶体二氧化硅研磨料成为本研究的首选,采用离子交换-水热法制备了大粒径胶体二氧化硅研磨料,其颗粒大小及分布见图 4.从图 4 可以看出,自制的胶体二氧化硅研磨料平均粒径为  $90\sim 110\text{nm}$ ,且大小相对较为均匀.

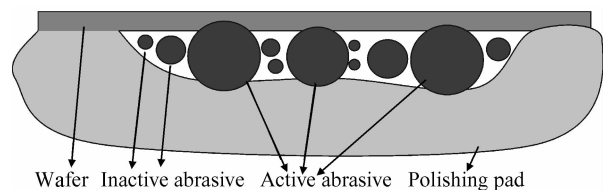


图 3 粒径不同研磨料在非接触区域研磨示意图

Fig.3 Schematic of polishing of abrasive with different particle sizes in non-contact area

### 3.2 抛光速率及抛光表面的分析

本研究主要针对当前双垫双抛工艺中,抛光速率较低研究新型抛光液,以提高抛光速率并实现高

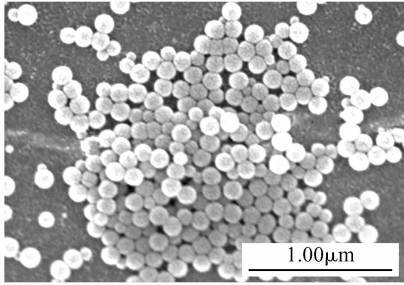


图 4 自制抛光液研磨料粒径分析(SEM)

Fig.4 SEM of abrasives for slurry self-made

平整表面. 实验中与典型的进口抛光液 Nalco2350 进行对比. 在同样的抛光工艺条件下(包括压力、转速、抛光液稀释比等条件), 采用 10 : 1 稀释的 Nalco2350 抛光液循环使用时, 抛光平均速率仅为  $10\mu\text{m}/\text{h}$ , 抛光后表面平整度相对较好, TTV 和 TIR 均在  $2.0\mu\text{m}$  左右. 实验中所用硅晶圆片为 20 片平均厚度为  $530.0\mu\text{m}$  的  $\Phi 100\text{mm}$  的硅片, 抛光时间为 90min, 抛光后由硅片表面测试仪 9520 测试抛光厚度及表面平整度情况, 测试结果如图 5 所示. 图 5 中上半部分为抛光后厚度情况, 抛光后 20 片硅晶圆片厚度在  $509.0\mu\text{m}$  左右, 平均去除厚度  $21.0\mu\text{m}$ , 抛光速率达  $14.0\mu\text{m}/\text{h}$ , 与 Nalco2350 抛光液相比, 速率提高了 40%. 就抛光硅片的表面平坦度而言, 图 5 下半部分结果表明, 20 片硅片双面抛光片的 TTV 和 TIR 均小于  $2.0\mu\text{m}$ , TTV 集中在  $1.5\sim 1.8\mu\text{m}$ , TIR 集中在  $1.2\sim 1.7\mu\text{m}$ , 与 Nalco2350 相比, 平坦度有了明显改善. 总之, 自制新型纳米抛光液 SIMIT8030-I 型用于硅晶圆片双垫双面抛光后不仅提高了抛光速率, 而且改善了抛光后表面平坦性.

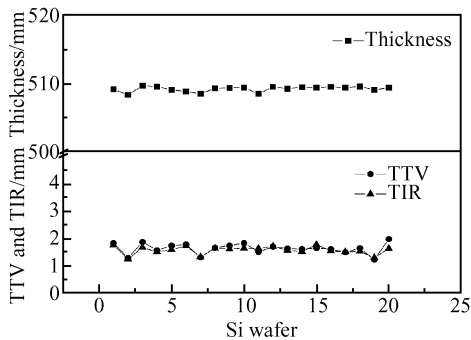
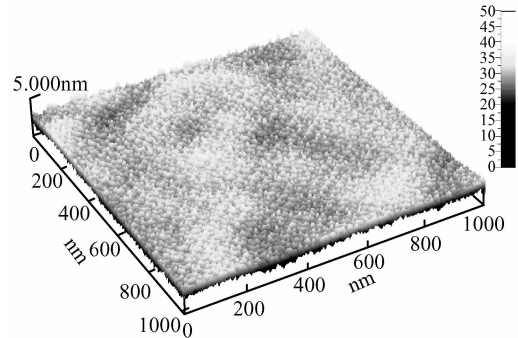


图 5 SIMIT8030 抛光液抛光硅片的表面平坦化情况

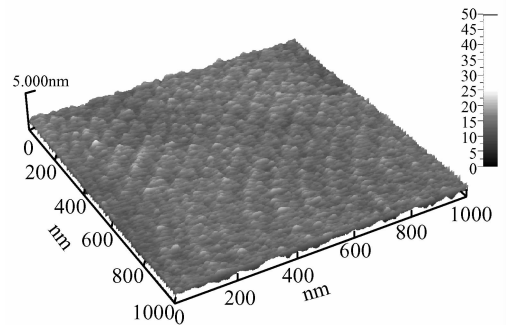
Fig.5 Surface planarization of Si wafer polished with SIMIT8030 slurry

与 Nalco2350 相比, SIMIT8030-I 型抛光液的纳米研磨料粒径相对增大, 为考察磨料粒径的增大是否会影响抛光表面的损伤, 本研究对两种抛光液抛光硅晶圆片的表面通过 AFM 进行了粗糙度测

试, 结果见图 6. 其中图 6(a) 是用 Nalco2350 抛光液的抛光表面三维形貌, 均方根粗糙度为  $0.4728\text{nm}$ ; 图 6(b) 是用 SIMIT8030-I 型抛光液的抛光表面三维形貌, 均方根粗糙度被降至为  $0.2874\text{nm}$ . AFM 结果表明自制新型抛光液 SIMIT8030-I 型, 虽然粒径有所增大, 但粒径仍在纳米范围内, 不仅未影响表面损伤, 反而由于机械作用与化学作用的匹配应用使得表面粗糙度有所下降.



(a) Nalco2350 slurry



(b) SIMIT8030-I slurry

图 6 自制抛光液 SIMIT8030 与进口抛光液 Nalco2350 抛光表面 AFM 图的对比

Fig.6 Comparison of polished surface with SIMIT8030 and Nalco2350 slurry (AFM)

## 4 结论

为改善硅晶圆片双垫双抛的抛光速率, 本研究在分析双抛工艺过程基础上, 自制大粒径胶体二氧化硅纳米磨料, 并配制新型抛光液 SIMIT8030-I 型, 与进口抛光液 Nalco2350 进行对比实验, 得出如下结论:

- (1) 相同工艺条件下, 抛光速率提高了 40% ( $14\mu\text{m}/\text{h}$  vs  $10\mu\text{m}/\text{h}$ );
- (2) 表面平坦性 TTV 和 TIR 得到改善;
- (3) 表面粗糙度由  $0.4728\text{nm}$  降至  $0.2874\text{nm}$ .

本研究通过实验配制了新型纳米抛光液 SIMIT8030-I 型, 在双垫双面超精密抛光中不仅可以提

高抛光速率,并且有效改善了抛光表面平坦性和粗糙度.

### 参考文献

- [ 1 ] Zantye P B, Kumar A, Sikder A K. Chemical mechanical planarization for microelectronics applications. *Mater Sci Eng R: Reports*, 2004, 45(3~6): 89
- [ 2 ] Zhang Kailiang, Liu Yuling, Wang Fang. Chemic-mechanical polishing of silicon wafer in ULSI. *Chinese Journal of Semiconductors*, 2004, 25(1): 115 (in Chinese) [张楷亮, 刘玉岭, 王芳, 等. ULSI 硅衬底的化学机械抛光. *半导体学报*, 2004, 25(1): 115]
- [ 3 ] Liu Yuling, Zhang Kailiang, Wang Fang. Investigation on the final polishing liquid and technique of silicon substrate in ULSI. *Microelectron Eng*, 2003, 66(1~4): 438
- [ 4 ] Guido W, Johann G, Thomas A. Double-side polishing process with reduced scratch rate and device for carrying out the process. US6645862, 2003
- [ 5 ] Luo Jianfeng, Dornfeld D A. Material removal regions in chemical mechanical planarization for submicron integrated circuit fabrication: coupling effects of slurry chemicals, abrasive size distribution, and wafer-pad contact area. *IEEE Trans Semicond Manuf*, 2003, 16(1): 45
- [ 6 ] Zhou Chunhong, Shan Lei, Robert H J. Influence of colloidal abrasive size on material removal rate and surface finish in SiO<sub>2</sub> chemical mechanical polishing. *Lubrication Engineering*, 2002, 58(1): 35

## Double Side Fine CMP of Silicon Wafer\*

Zhang Kailiang<sup>†</sup>, Song Zhitang, Zhong Min, Zheng Mingjie, and Feng Songlin

(*Laboratory of Nano Technology, State Key Laboratory of Functional Materials for Informatics, Shanghai Institute of Microsystem and Information Technology, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050, China*)

**Abstract:** Based on the analysis of double side fine CMP process, new type of polishing slurry named SIMIT8030- I was first prepared in order to improve the polishing rate for double side fine CMP, which contained colloidal silica nano-abrasives with large particle. Polishing tests were performed with the double side polisher, and the properties including the size of abrasives, thickness, planarization (TTV and TIR) and roughness were characterized by SEM, wafer thickness measurements ADE-9520, AFM and so on. Results show that comparing with Nalco2350 slurry, polishing rate was increased 40% (14 μm/h vs 10 μm/h); TTV and TIR were also less than those of Nalco2350 slurry; the RMS of roughness was reduced from 0.4728 nm to 0.2874 nm. In all, new type of slurry not only increased the removal rate, but also improved the surface planarization and roughness simultaneously.

**Key words:** Si wafer; double side fine polishing; CMP; slurry

**EEACC:** 2550; 2220

**Article ID:** 0253-4177(2006)S0-0396-04

\* Project supported by the State Key Development Program for Basic Research of China (No. 2006CB302700), the Chinese Academy of Sciences (No. Y2005027), the Shanghai-Applied Materials Foundation (AM-Foundation No. 0414), the China Postdoctoral Science Foundation (2005037522), and the Science and Technology Council of Shanghai (Nos. 0552nm043, 05JC14076, 05R214156, AM0517, 06QA14060, 06XD14025, 0652nm003, 06DZ22017)

<sup>†</sup> Corresponding author. Email: zhangkl@mail.sim.ac.cn

Received 20 December 2005