

硅衬底超精密 CMP 中抛光液的研究*

钟 旻^{1,2} 张楷亮^{1,†} 宋志棠¹ 封松林¹

(1 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)

(2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 针对硅衬底的化学机械抛光, 采用自制的大粒径硅溶胶抛光液进行抛光实验, 研究了抛光液中主要组分对抛光速率和表面平整度的影响, 以提高抛光速率和抛光质量, 采用测厚仪、AFM、台阶仪对抛光速率和表面进行了测试和表征. 通过优化实验获得了高速率、高平整的抛光表面. 去除速率(MRR)达 697nm/min, 表面粗糙度(RMS)降低至 0.4516nm, 在提高抛光速率的同时对硅片实现了超精密抛光.

关键词: 化学机械抛光; 胶体 SiO₂; 抛光速率; 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)S0-0400-03

1 引言

目前, IC 工业向着大直径晶片、小特征尺寸发展. 随着集成度的提高, 要求晶片的平整度达到纳米级($<0.1\mu\text{m}$). 此时传统的平坦化技术已无法满足需要, 而化学机械抛光(CMP)技术是公认的惟一的全局平坦化技术^[1~10]. 目前, 我国硅衬底片化学机械抛光使用的抛光液、抛光垫基本依赖进口, 价格昂贵使得硅片抛光成本较高. 因此, 研究自主抛光液对降低国内硅抛光成本有着积极意义. 本文主要采用自制的大粒径硅溶胶抛光液来提高抛光速率, 并研究了其他因素如抛光液酸碱度、速率促进剂等对表面平整度的影响, 优化出最佳工艺条件, 在提高抛光速率的同时保证表面平整度以满足工业上对硅片抛光速率和平整度的要求.

2 实验

2.1 实验仪器

抛光机为美国 CETR 公司的 CP4 型, 抛光垫为美国 Rodel 公司生产的. 抛光表面采用 AFM(美国 Quesant Instrument Corporation 的 Q-Scope-TM250 型)和台阶仪(美国 Veeco 的 Dektak 6M)测试表征.

2.2 实验步骤

采用自制胶体 SiO₂ 配制抛光液, 在一定的抛光

工艺条件下抛光 20min 后, 水抛 1min. 用自制清洗液将硅片清洗干净, 氮气吹干. 用测厚仪在抛光前后测量硅片上相同五点的厚度, 取其平均值. 将抛光前后的厚度相减得到去除量, 除以抛光时间即抛光的平均速率. 观察表面有无损伤、玷污等情况, 并用 AFM、台阶仪对表面平整度进行检测.

3 结果与讨论

抛光液是 CMP 的关键要素之一, 它由磨料、速率促进剂、pH 值调节剂和表面活性剂等组成. 在影响去除速率的因素中抛光液的研磨颗粒最为关键^[11], 图 1 中曲线 A 为采用平均粒径分别为 20, 80 和 100nm 的硅溶胶抛光液的抛光速率对比实验结果. 其中平均粒径为 80nm 时去除速率最大, 20nm 的硅溶胶抛光液机械磨削作用较小, 抛光速率较慢; 100nm 的硅溶胶抛光液抛光速率略有下降并且表面有划伤, 这是因为在其他条件相同的情况下粒径越大, 机械磨削作用越大, 与化学作用相比强机械作用造成表面划伤, 且无法有效提高抛光速率. 而粒径为 80nm 的 SiO₂ 抛光液中化学作用与机械作用的相匹配使得抛光速率达到最大并且表面无损伤.

图 1 中的柱状图为自制的 80nm SiO₂ 抛光液, 在不同磨料浓度、溶液酸碱度和速率促进剂浓度下抛光速率的变化(实验样品 1#, 2#, 3#, 4#). 1# 和 2# 样品为其他条件相同而研磨料浓度不同时抛光速率的比较. 随着研磨料浓度增大, 2# 样品的抛光速率与 1# 相比也随之增大. 这是由于研磨料浓

* 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

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

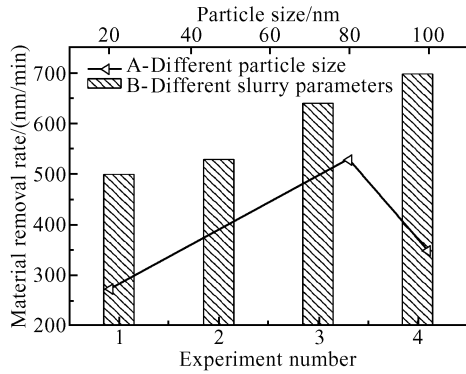


图 1 抛光液中各种参数对抛光速率的影响
Fig.1 Influence of slurry components on MRR

度的增大,使得参与机械抛光的有效研磨料颗粒数量增多,从而使抛光速率得到改善.2#和3#为其他条件相同而 pH 值不同的速率比较,pH 值可以改变化学反应的速率以及磨料悬浮的稳定性和磨料的有效性,从而影响抛光效果和去除速率.实验发现,当 pH 值较小时(碱性条件下),在硅片表面难以形成易去除的表面层,使得抛光速率降低;pH 值太大则会使化学反应大于机械作用,在表面形成腐蚀坑从而影响表面的平整度.3#和4#为其他条件相同时是否加入速率促进剂的速率比较.由4#可以看出,在加入微量速率促进剂并在合适的酸碱度下,能加速硅片表面与抛光液的化学反应,不断露出新鲜的表面,从而提高材料的去除速率.经过参数调整发

现在本实验中,采用粒径为 80nm、浓度为 10%的硅溶胶抛光液,pH 值为 10.5~11.0,速率促进剂含量在 0.5%~1.0%时抛光速率可达到 697nm/min,比采用进口抛光液在相同工艺条件下的抛光速率 500nm/min 提高了近 40%.

用台阶仪测出大面积内(扫描长度范围:0~20000 μ m)的硅片表面平整度.从图 2 可以看到,未抛光的硅片表面 R_a^* (算术平均值) = 641.7nm, R_q^* (均方根平均值) = 799.3nm;抛光后硅片表面 R_a^* = 13.46nm, R_q^* = 17.26nm.数据表明:用自制的大粒径硅溶胶抛光液抛光后,硅片表面的 R_a, R_q 均大大降低,抛光后硅片表面平整度大大提高.

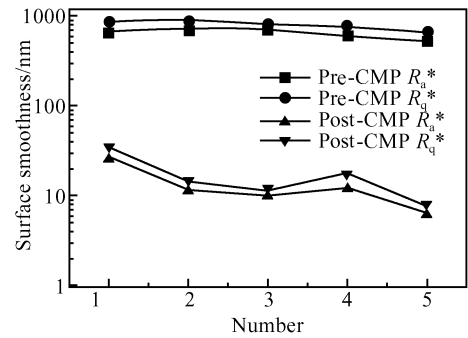


图 2 抛光前后表面平整度的比较
Fig.2 Comparison of wafer surface roughness of Pre- and Post-CMP

图 3 为用 AFM 测得扫描范围 5 μ m \times 5 μ m 内硅

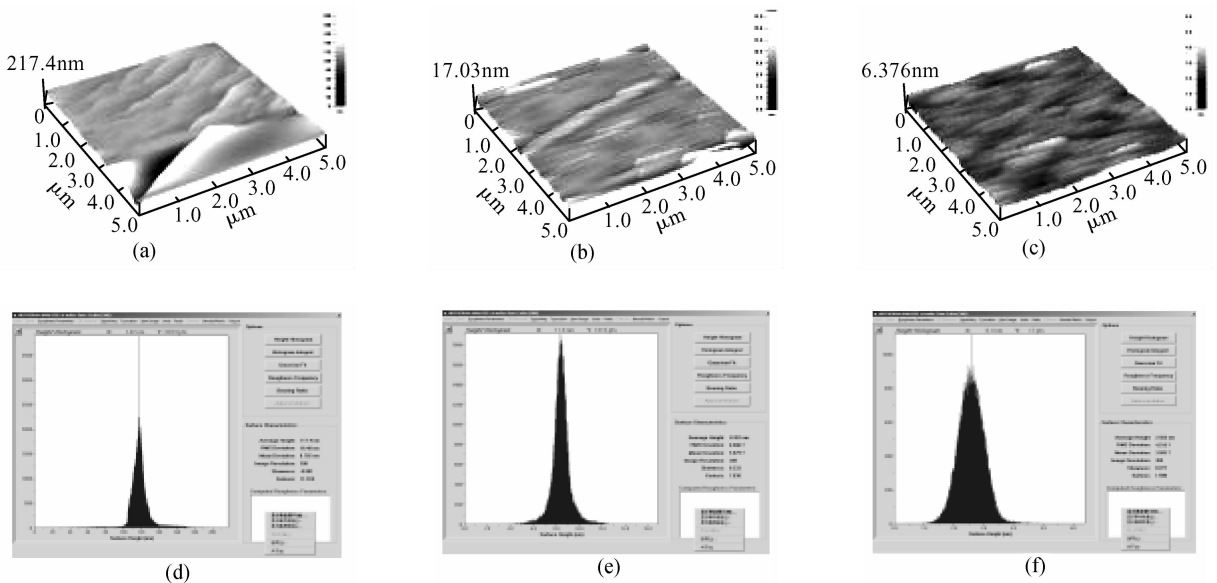


图 3 抛光液对抛光表面平整度的影响 (a) Pre-CMP 的硅片表面;(b) Post-CMP 的硅片表面(对比实验);(c) Post-CMP 的硅片表面;(d) Pre-CMP 的硅片表面的粗糙度;(e) Post-CMP 的硅片表面的粗糙度(对比实验);(f) Post-CMP 的硅片表面的粗糙度

Fig.3 Influence of the slurry on the surface roughness (a) Wafer surface of Pre-CMP;(b) Wafer surface of Post-CMP (for comparison);(c) Wafer surface of Post-CMP;(d) RMS of the wafer of Pre-CMP;(e) RMS of the wafer of Post-CMP (for comparison);(f) RMS of the wafer of Post-CMP

片在化学机械抛光前后表面平整度的变化. 抛光前表面最大差值为 217.4nm, 平均粗糙度(RMS)为 16.48nm(图 3(a),(d));在相同工艺条件下采用进口抛光液作对比实验,抛光后,表面最大差值为 17.03nm, RMS 为 0.89nm(图 3(b),(e));采用大粒径硅溶胶抛光液抛光后,表面最大差值为 6.376nm, RMS 为 0.4516nm(图 3(c),(f)).由结果可知,使用大粒径硅溶胶抛光后,表面微凸峰的尺寸更加微小,表面的微观起伏更趋于平缓,表面粗糙度明显降低.

4 结论

通过大量实验得到采用自制的 80nm 大粒径硅溶胶抛光液,在合适的浓度和溶液酸碱度下加入适当的速率促进剂可使硅片的抛光速率达到 697nm/min,与进口抛光液的抛光速率相比提高了近 40%,其表面平均粗糙度为 0.4516nm,比进口抛光液抛光后的表面更加平坦,在提高抛光速率的同时对硅片实现了超精密抛光.

参考文献

- [1] Zantye P B, Kumar A, Sikder A K. Chemical mechanical planarization for microelectronics applications. *Mater Sci Eng R*, 2004, 45(3~6): 89
- [2] Zhang Kailiang, Liu Yuling, Wang Fang, et al. Chemical-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] Seok J, Kim A T, Sukam C P. Inverse analysis of material removal data using a multiscale CMP model. *Microelectron Eng*, 2003, 70(2~4): 478
- [4] Liu Yuling, Tan Baimei, Zhang Kailiang. Properties, manufacture and test engineering of substrate materials based on Si wafer for ULSI. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2002(in Chinese)[刘玉岭, 檀柏梅, 张楷亮. 超大规模集成电路衬底材料性能及加工测试技术工程. 北京: 冶金工业出版社, 2002]
- [5] Chen C C A, Shu L S, Lee S R. Mechano-chemical polishing of silicon wafers. *Journal of Materials Processing Technology*, 2003, 14(1~3): 373
- [6] Tichy J, Levert J A, Shan L, et al. Contact mechanics and lubrication hydrodynamics of chemical mechanical polishing. *J Electrochemical Society*, 1999, 146(4): 1523
- [7] Sniewowski J J. Chemical-mechanical polishing: Enhancing the manufacturability of MEMS. *Precision Engineering*, 1997, 20(2): 146
- [8] Liu Yuling, Tan Baimei, Zhang Kailiang. Microelectronics technology and engineering: materials, process and test. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2004(in Chinese)[刘玉岭, 檀柏梅, 张楷亮. 微电子技术工程——材料、工艺与测试. 北京: 冶金工业出版社, 2004]
- [9] Marcadal C, Richard E, Torres J, et al. CVD process for copper interconnection. *Microelectron Eng*, 1997, 37/38: 97
- [10] Schuler John. CMP technology and markets. *Semicond China Technical Symposium*, Beijing, China, 1999
- [11] Kunz R R, Clark H R, Nitishin P M. High resolution studies of crystalline damage induced by lapping and single-point diamond machining of Si(100). *J Mater Res*, 1996, 11(5): 1228

Research on CMP Slurry for Fine Polishing of Si Substrate*

Zhong Min^{1,2}, Zhang Kailiang^{1,†}, Song Zhitang¹, and Feng Songlin¹

(1 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)

(2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Chemical mechanical polishing is one of the most important processes in IC fabrication. In order to increase the polishing rate and get smooth surface, a series of polishing experiments about the effect of slurry components were done by using self-made colloidal silica nanometer slurry with large particle abrasives, and its thickness and surface were characterized by atomic profiler, AFM and thickness tester. Results show that after the recipes of slurry including the pH value, the concentration of abrasive and other additives were optimized, higher removal rate and smoother surface were achieved. The removal rate was 697nm/min, and the RMS of surface roughness was 0.4516nm. In sum, higher removal rate and ultra-fine surface were achieved simultaneously.

Key words: chemical mechanical polishing; colloidal SiO₂; material removal rate; slurry

EEACC: 2550; 2220

Article ID: 0253-4177(2006)S0-0400-03

* 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)

† Corresponding author. Email: zhangkl@mail.sim.ac.cn

Received 20 December 2005