

兆声清洗法和离心喷射清洗法的比较

凤 坤¹ 史迅达² 李 刚¹ 许 峰¹ 刘培东¹

(1 宁波海纳半导体有限公司, 宁波 315800)

(2 北京有研半导体材料股份有限公司, 北京 100088)

摘要: 用基于改进的 RCA 清洗液结合兆声清洗法和离心喷射法清洗抛光的硅片, 干燥后用激光扫描法测试抛光硅片表面颗粒. 结果表明, 改进的 RCA 清洗液结合兆声的清洗方法对于去除硅片表面的微小颗粒具有更高的效率.

关键词: 兆声; 离心喷射; 清洗; 颗粒; 硅片; RCA

PACC: 7960; 6865; 0520F

中图分类号: TN305.97

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2005)02-0410-04

1 引言

2002 年度, $0.13\mu\text{m}$ 特征线宽集成电路加工工艺已经进入量产阶段. 集成电路的小尺寸化趋势带来了集成电路图形密度的增加, 进而提高了对硅片表面清洁度的要求. 例如, 对 $\phi 200\text{mm}$ 硅片的 180nm 特征线宽集成电路加工工艺, 如要保证成品率达到 95% , 在 $15\text{mm} \times 15\text{mm}$ 微区域大于 90nm 的颗粒应控制在 0.43 颗^[1]. 硅片清洗工艺的研究已成为超大规模集成电路工艺探索中的一大热点.

最近已有多种有关硅片清洗方法研究的报道^[2], 如 SPM 法、 O_3 法、微喷射束清洗法、擦洗法、等离子体清洗法、硅片在线真空清洗法等. 这些清洗工艺方法的发展都对集成电路技术起到了积极的推动作用. 但这些清洗方法都有其较为明显的缺点, 如 SPM 法去除金属沾污有效, 但去除颗粒的作用不明显; 擦洗法去除颗粒能力强, 但去除金属沾污能力弱; O_3 法臭氧制备不易且成本昂贵, 目前仍未推广到工业生产.

1965 年 Kern 发明的 RCA^[3] 清洗工艺经过人们不断改进后一直占据清洗工艺方法的主流地位. RCA 清洗法不但能有效去除硅片表面吸附的颗粒和金属杂质, 而且原材料制备方便成本低廉. 随着集成电路工艺的进步, 传统 RCA 清洗法在去除颗粒和

减少硅片表面微粗糙度等方面越来越难以满足工艺的要求.

本文采用了改进的 RCA 清洗液^[4]. 将 RCA1 (标准 1 号液) 稀释成 $\text{H}_2\text{O} \text{ H}_2\text{O}_2 \text{ NH}_4\text{OH} = 10 \ 0.5 \ 0.15$ 的比例, 将 RCA2 (标准 2 号液) 稀释成 $\text{H}_2\text{O} \ \text{H}_2\text{O}_2 \ \text{HCl} = 10 \ 0.5 \ 0.25$ 的比例, 再将改进的 RCA 清洗液分别用离心喷射法结合兆声清洗法对化学机械抛光 (CMP) 后的硅片进行清洗. 通过实验验证了兆声清洗法比离心喷射法在去除硅片表面的微小颗粒方面更具优越性.

2 实验

2.1 离心喷射清洗法和兆声清洗法^[5,6]

离心喷射清洗法分以下几个主要步骤: (1) 将稀释的 RCA1 以一定的速度喷射到高速旋转的硅片表面, 去除硅片表面的颗粒沾污和部分重金属沾污; (2) 将纯水以一定的速度喷射到高速旋转的硅片表面, 去除硅片表面残留的化学试剂; (3) 将稀释的 RCA2 以一定的速度喷射到高速旋转的硅片表面, 去除硅片表面的轻金属沾污; (4) 将纯水以一定的速度喷射到高速旋转的硅片表面, 去除硅片表面残留的化学试剂; (5) 停止喷射纯水, 让硅片继续保持高速旋转直至硅片表面完全干燥为止. 通常高速流动

的液体喷射到高速旋转的硅片表面时形成一层很薄的有着极高表面速度的涡流层,硅片表面沾污的颗粒极易在涡流层的作用下被去除.兆声清洗法较简单,就是在改进的 RCA 清洗法中引入一定输出功率的兆声.兆声能使硅片表面附近形成极薄的声学边界层,从而使硅片表面溶液中的气泡表面震动,其速度梯度很大,可以使气泡破裂产生空穴现象,从而产生极大的速度和压力,有利于去除颗粒.

2.2 实验过程

实验 1:取 200 片规格为 p 111、 $\phi 125\text{mm}$ 、 $525\mu\text{m}$ 中心厚度、电阻率 $3 \sim 5 \text{ }\Omega\cdot\text{cm}$ CMP 后的硅片,先放入含活性剂^[7]的水槽中浸泡 10min,然后取 100 片放入配好稀释 RCA 清洗液(清洗液的温度为 75°C)的 FSI 清洗机(离心喷射清洗法)中清洗;另 100 片放入配好稀释 RCA 清洗液的 MARUWA 清洗机(兆声清洗法)中清洗.清洗完成后分别用 WIS-CR80 颗粒测试仪按 $0.15, 0.18, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8\mu\text{m}$ 的设置检测硅片表面颗粒状况.

实验 2:取 100 片规格为 n 100、 $\phi 150\text{mm}$ 、中心厚度 $675\mu\text{m}$ 、电阻率 $0.003 \sim 0.007 \text{ }\Omega\cdot\text{cm}$ CMP 后的硅片.同样 50 片用兆声清洗法清洗,另外 50 片用离心喷射清洗法清洗.清洗完成后分别用 WIS-CR80 颗粒测试仪按 $0.15, 0.18, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8\mu\text{m}$ 的设置检测硅片表面颗粒状况.

3 结果与讨论

图 1 给出了经过离心喷射法和兆声清洗法清洗后 $\phi 125\text{mm}, \phi 150\text{mm}$ 硅片表面不同粒径颗粒平均个数.从图中可以看出,兆声清洗法在去除小颗粒方面比离心喷射法具有显著的优势,而在大颗粒的去除上与离心喷射法相当.

图 2 给出了经过离心喷射法和兆声清洗后清洗后 $\phi 125\text{mm}, \phi 150\text{mm}$ 硅片表面平均总颗粒数.可以看出,在总体的颗粒去除效果上,兆声清洗法比离心喷射法具有明显的优势.

在集成电路工艺中颗粒沾污^[5]的机会很多,它们主要来自工艺流程、洁净室物料以及洁净室人员.如何去除硅片表面吸附的微小颗粒意义重大.超过 80% 的集成电路工厂中的废品都是由于颗粒沾污引起的.在有效解决去除颗粒沾污前,必须先了解颗粒是如何吸附在硅片表面上的.

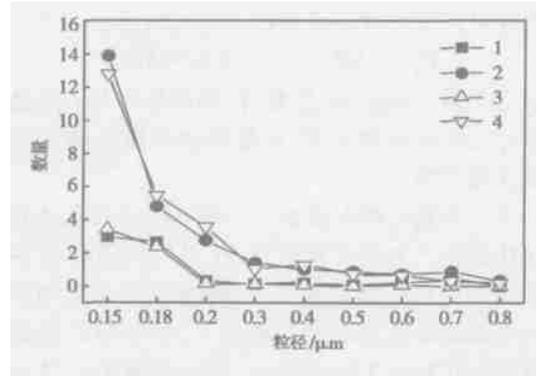


图 1 离心喷射法和兆声清洗法清洗后 $\phi 125\text{mm}, \phi 150\text{mm}$ 硅片表面不同粒径颗粒平均分布 1:实验 1 兆声清洗法;2:实验 1 离心喷射法;3:实验 2 兆声清洗法;4:实验 2 离心喷射法
Fig. 1 Particle size profile on the $\phi 125\text{mm}, \phi 150\text{mm}$ wafers surface after cleaning by spin rinse and megasonics method 1: Experiment 1 megasonics cleaning; 2: Experiment 1 spin rinse cleaning; 3: Experiment 2 megasonics cleaning; 4: Experiment 2 spin rinse cleaning

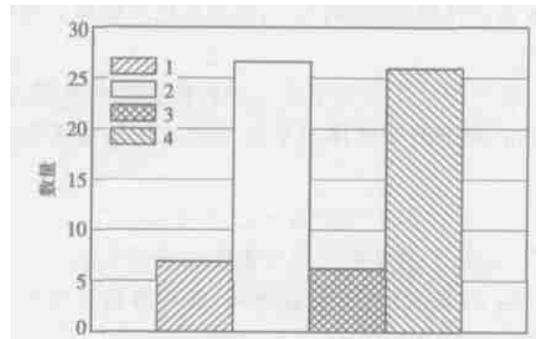


图 2 离心喷射法和兆声清洗法清洗后 $\phi 125\text{mm}, \phi 150\text{mm}$ 硅片表面平均总颗粒数 1:实验 1 兆声清洗法;2:实验 1 离心喷射法;3:实验 2 兆声清洗法;4:实验 2 离心喷射法
Fig. 2 Average total particle number on the $\phi 125\text{mm}, \phi 150\text{mm}$ wafer surface after cleaning by spin rinse and megasonics method 1: Experiment 1 megasonics cleaning; 2: Experiment 1 spin rinse cleaning; 3: Experiment 2 megasonics cleaning; 4: Experiment 2 spin rinse cleaning

吸附在硅片表面上的颗粒有刚性颗粒和塑性颗粒两类,塑性颗粒吸附到硅片表面之后发生了一定的形变^[6],吸附的颗粒和硅片表面存在着一定的表面力场.要使颗粒离开硅片表面必须有足够的力推动它以克服这种表面自力场.已有研究表明颗粒在硅片表面吸附的时间越长,刚性颗粒可能与硅片表面发生键合,塑性颗粒的形变就越明显,颗粒与硅片表面之间的力场就越大,去除颗粒的难度也就越大.所以一定要及时清洗被沾污的硅片.颗粒与硅片之

间的吸附作用力 (F_a) 可用以下公式表示:

$$F_a = AR(1 + a^2/RZ_0)/6Z_0^2$$

其中 A 是 Hamaker 常数; R 是颗粒半径; Z_0 是颗粒重心与硅片表面距离; a 是形变颗粒与硅片表面接触区域的半径.

无论是离心喷射清洗法中高速流动的液体在旋转硅片表面产生的薄涡流层, 还是兆声清洗法在硅片表面产生的声学边界层^[7], 都是以剪切流的形式作用在黏附在硅片表面的颗粒上. 剪切流产生的推力使颗粒在硅片上产生滚动, 从而使颗粒脱离硅片表面. 刚性颗粒很容易在外力的作用下发生滚动而被去除, 但形变了塑性颗粒则需要足够的力才能使它在硅片表面发生滚动从而被去除. 剪切流作用在硅片表面颗粒上的推力可用下面公式表示:

$$F_d = 32\mu(\text{Re}^*)^2/$$

其中 μ 为摩擦系数; ρ 为液体密度; $\text{Re}^* = RU^*/\rho\nu$, 为 Reynolds 常数; U^* 为离硅片表面 R 处的液体流速; ν 为流体粘滞系数; F_d 为外部作用在颗粒上的推力.

图 3 为硅片表面形变了颗粒受力分析图, 由 Hubbe 关于形变球体与平面接触时的扭矩平衡定理:

$$F_d(1.399R - a) = F_a a$$

其中 a 为形变颗粒与硅片表面的接触半径.

当 F_d 增大时, 平衡被破坏, 颗粒将被从硅片表面去除. 引入:

$$\lambda = 1.399 F_d R / F_a a$$

即 $\lambda > 1$, 颗粒将立即脱离硅片表面.

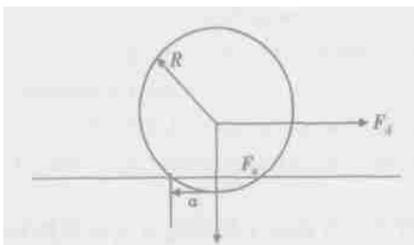


图 3 颗粒在硅片表面受力分析图

Fig. 3 Analyse of forces work on deformed particle

结合本次实验, 离心喷射清洗法中靠机器旋转所得到的涡流层表面速度有限, 远小于兆声清洗法中一定输出功率的兆声使硅片表面附近形成极薄的声学边界层产生极大的速度. 即离心喷射法对去除

硅片表面颗粒提供的推力 F_d 远小于兆声清洗法. 所以当形变颗粒粒径 R 减小到一定水平时, 离心喷射法清洗室必定有 $\lambda < 1$, 即对小颗粒的去除效果较差. 而兆声清洗法中提供的推力 F_d 很大及颗粒粒径 R 减小到一定水平时仍有 $\lambda \gg 1$, 所以对小颗粒仍有良好的去除效果.

4 结论

颗粒作用吸附在硅片上时会产生一定的形变, 颗粒与硅片表面之间的主要作用力为范德华力. 离心喷射法和兆声清洗法去除颗粒的原理是外力导致硅片表面产生薄流体力学层, 薄流体力学层表面剪切流的推力使颗粒在硅片表面产生滚动, 从而去除颗粒. 颗粒的去除效率随 λ 值增大而增大. 兆声清洗法中因兆声而产生的声学边界层中的高频流提供了极高的 λ 值, 从而可以更有效地去除硅片表面吸附的微小颗粒. 通过分析和实验比较可以看出, 改进的 RCA 结合兆声的清洗方法将是未来超大规模集成电路清洗工艺的一个发展方向.

参考文献

- [1] Heyns M, Hasenack C, Keersmaecker R D, et al. Proceeding of cleaning technology in semiconductor device manufacturing. Electrochemical Society, NJ, 1990
- [2] Takizawa R, Nakanishi T, Honda K, et al. Ultraclean technique for silicon wafer surface with HNO_3 -HF systems. Jpn J Appl Phys, 1998, 27(11): L2210
- [3] Kern W. Handbook of semiconductor wafer cleaning technology. New Jersey: Noyes Publication, 1993
- [4] Couteau T, McBride M, Riley D, et al. Dilute RCA cleaning chemistries. Semiconductor International, 1998, 26(10): 95
- [5] Cao Baocheng, Yu Xinhao, Ma Honglei, et al. Study of silicon wafer cleaning effects using cleaning solutions containing surfactant and chelates. Chinese Journal of Semiconductors, 2001, 22(9): 1226 (in Chinese) [曹宝成, 于新好, 马洪磊, 等. 用表面活性剂和螯合剂的清洗液清洗硅片的研究. 半导体学报, 2001, 22(9): 1226]
- [6] Zhang Fan, Busnaina A A, Fury M A, et al. The removal of deformed particles from silicon wafer. J Electron Mater, 2000, 23(2): 207
- [7] Wu Y, Franklin C, Bran M, et al. Acoustic property characterization of a single wafer megasonic cleaner. Semiconductor Fabtech, 1999, 9: 177

Comparison of Spinning Spray and Megasonics Cleaning Method

Feng Kun¹, Shi Xunda², Li Gang¹, Xu Feng¹, and Liu Peidong¹

(1 *Haina Semiconductor Co. Ltd, Ningbo 315800, China*)

(2 *GRINM Semiconductor Materials Co. Ltd, Beijing 100088, China*)

Abstract : This paper analyses and compares the mechanism for the removal of submicron particles from the silicon wafer surface by spinning spray and megasonics cleaning method. The experiments prove that the modified RCA associated with megasonics cleaning method can achieve a higher rate of submicron particle removal.

Key words : megasonics; spin rinse; cleaning; particle; wafer; RCA

PACC : 7960; 6865; 0520F

Article ID : 0253-4177(2005)01-0410-04