

# The Effect of Silicon Wafer Substrate Micro Roughness on the Surface Particles of the Epitaxial Silicon Wafers

Erjing Zhao, Yongtao Wang, Zi Cao, Jiantao Liu, Jing Zhang, Jie Zheng, Liyan Cai, Genghang Zhong, Chenhua Han

Grinm Semiconductor Materials Co., Ltd., Beijing  
Email: Zhaoej\_0102@126.com

Received: Apr. 28<sup>th</sup>, 2018; accepted: May 13<sup>th</sup>, 2018; published: May 22<sup>nd</sup>, 2018

---

## Abstract

Through the analysis of epitaxial surface reaction mechanism and measurement of monocrystalline silicon surface test, it is found that the surface roughness of the wafer affects the particle distribution of 0.12  $\mu\text{m}$ , while the surface micro roughness Ra is about 0.5 - 0.8 nm, the 0.12  $\mu\text{m}$  small particle accumulation distribution on the surface of Silicon Wafer is detected by particle scanner (SP1) after the epitaxial growth. Through the process adjustment and improvement, the Ra is reduced to 0.2 - 0.4 nm, the 0.12  $\mu\text{m}$  small particle accumulation distribution on the surface of Silicon Wafer is found to disappear after the epitaxial growth.

## Keywords

Micro Roughness, Polishing Silicon Wafers, Epitaxial, Surface Particles

---

# 硅片衬底微粗糙度对外延硅片表面颗粒的影响

赵而敬, 王永涛, 曹 孜, 刘建涛, 张 静, 郑 捷, 蔡丽艳, 钟耕杭, 韩晨华

有研半导体材料有限公司, 北京  
Email: Zhaoej\_0102@126.com

收稿日期: 2018年4月28日; 录用日期: 2018年5月13日; 发布日期: 2018年5月22日

---

## 摘 要

通过对单晶硅外延表面反应机理和表面测试分析, 发现抛光片表面粗糙程度对外延后0.12  $\mu\text{m}$ 颗粒分布

文章引用: 赵而敬, 王永涛, 曹孜, 刘建涛, 张静, 郑捷, 蔡丽艳, 钟耕杭, 韩晨华. 硅片衬底微粗糙度对外延硅片表面颗粒的影响[J]. 材料科学, 2018, 8(5): 530-534. DOI: 10.12677/ms.2018.85061

有影响。表面微粗糙度Ra在0.5~0.8 nm左右, 经过外延生长, 硅片表面经过颗粒检测仪(SP1)检测会出现0.12  $\mu\text{m}$ 小颗粒聚集分布, 通过工艺调整改进, Ra降低到0.2~0.4 nm, 经过外延生长, 硅片表面经过颗粒检测仪(SP1)检测发现0.12  $\mu\text{m}$ 小颗粒聚集消失。

## 关键词

微粗糙度, 抛光硅片, 外延, 表面颗粒

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

目前半导体 IC 产业进入大规模和超大规模集成电路时代, 集成电路的特征向着纳米尺寸发展, 这就要求集成电路用表面质量越来越高的单晶硅片或者外延硅片, 表面如有加工过程的机械损伤等, 会造成外延表面的缺陷或者层错, 这也会给后续器件加工带来良率损失。根据目前硅片加工技术看, 抛光衬底或者外延衬底表面粗糙度基本在纳米级别, 微电子技术从微米级进入到纳米级, 甚至到 14 或者 7 nm 级别, 对硅片表面的微粗糙度或者颗粒的特征粒径尺寸要求越来越小[1], 150 mm 或者 200 mm 重掺单晶生长外延后, 需要严格管控表面颗粒和缺陷水平, 如果颗粒过多, 会造成外延缺陷, 影响产品成品率和表层质量, 一般要求硅片颗粒小于特征线宽的三分之一[2]。通常情况下, 由于衬底原因或者外延原因造成的外延层雾状缺陷, 通过清洗的方式是去除不掉的[3], 所以一般会考虑衬底或者外延工艺改进。有些学者也利用原子力显微镜进行微观分析雾状微观形态, 雾状区域起伏较大[4] [5]。对于影响外延片表面颗粒质量的, 我们需要从衬底片表面和外延反应机理进行探讨, 衬底表面粗糙度增大, 会严重影响外延片的表面质量[6], 同时外延工艺中合适气体的选择使用也会进一步提高外延片表面的质量[7] [8]。

本文发现部分抛光硅片在外延后出现 0.12  $\mu\text{m}$  颗粒聚集分布现象, 外延炉同炉其他批次外延后均未发现有类似现象。为解决此类问题, 我们对抛光片衬底微粗糙度进行分析, 并外延验证。

## 2. 实验部分

实验样品为 150 mm 重掺 As 硅片, 厚度  $675 \pm 15 \mu\text{m}$ , 晶向<111>, 电阻率 2~4 mohcm, 本实验通过硅抛光机将硅片抛光, 然后使用清洗机经过 SC1 和 SC2 清洗干燥; 利用 KAL Tencor SP1 测试表面颗粒; 然后进行外延生长, 生长温度 1100 $^{\circ}\text{C}$ , 外延厚度 50~60  $\mu\text{m}$ ; 外延后利用 SP1 测试表面颗粒分析。

抛光片利用 NiKon eclipse L200N 显微镜测试表面形貌, 利用 NEW VieW8000 系列非接触 3D 表面轮廓仪测试表面形貌和粗糙度。

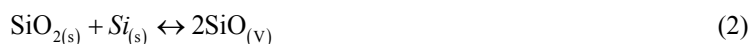
## 3. 结论与分析

### 3.1. 外延后小颗粒微缺陷形成机理的探讨

单晶经过线切割, 倒角, 研磨, 腐蚀、LTO (低温氧化硅薄膜)薄膜, 抛光, 清洗后, 制成抛光硅片, 抛光硅片会经过参数, 颗粒等检测, 颗粒检测中的 haze 能够体现表面的粗糙程度。由于制成硅片的晶体硅在高温结晶过程中, 会有各种微小缺陷, 比如 COP (单晶原生缺陷), 硅片经过化学机械抛光后, 这种原生缺陷, 以及抛光微粗糙都会在硅片表面体现, 同时表面硅原子与空气中氧气反应, 生产表面自然氧

化膜。如图 1，硅片表面相对粗糙，自然氧化膜生长分布不均匀，在 COP 以及微粗糙度大的区域，裸露硅原子和外界氧键合形成硅表面的自然氧化层。

这种表面微粗糙的硅片，在外延过程高温条件下  $H_2$  和表面氧化层  $SiO_2$  反应，反应机理如下：



根据上面反应公式看，高温下  $SiO_2$  和  $H_2$  反应，表面氧化物去除，最后形成 Si-H 键，但是表面存在微粗糙，以及 COP 内部未反应区域，会有残留 Si-O，经过  $H_2$  高温处理后，微粗糙度大的区域以及 COP 密度高的区域，在外延过程中，会产生表面小颗粒等微缺陷，如果表面粗糙程度足够大，甚至会产生 pit，以及外延橘皮等现象。

### 3.2. 表面小颗粒微缺陷探测分析

从图 2 和图 3 看出，表面颗粒检测仪 KLA Tencor SP1 利用 Normal 模式进行外延表面测试，发现 0.12  $\mu m$  大小的颗粒较多，然而利用 Oblique 模式测试不能探测到，在 SP1 探测模式里面 Normal 模式属于直射激光光散射检测，而 Oblique 模式属于斜入射激光散射检测，对于表面微粗糙程度高的硅片，垂直入射激光检测方式更能体现外延小颗粒微缺陷分布。

### 3.3. 表面微观形貌对外延表面的影响

外延温度 1100  $^{\circ}C$ ，外延 50  $\mu m$ ，经过外延后，外延片表面利用 Normal 模式进行外延表面测试，发现硅片表面 0.12  $\mu m$  颗粒较多，分布在中心和边缘位置，如图 4(1)中的白色小点，利用显微镜观察此批抛光片表面，显微镜形貌粗糙，如图 4(2)，可见表面出现不平整。抛光工艺经过改善后，重新抛光硅片，再次经过外延后，外延片表面 0.12  $\mu m$  颗粒明显减少，如图 4(3)，同时利用显微镜观察抛光片表面，硅片表面平坦，如图 4(4)。可见抛光片表面粗糙程度对外延后的 0.12  $\mu m$  小颗粒有较大影响。

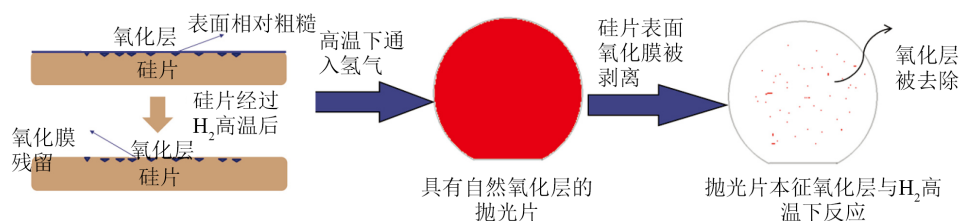


Figure 1. The reaction of  $H_2$  and silicon oxide on silicon wafers at high temperature

图 1. 高温下  $H_2$  和硅片表面硅的氧化物反应示意

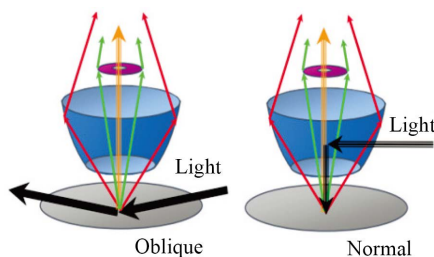


Figure 2. The Oblique and Normal mode

图 2. Oblique 和 Normal 模式示意图

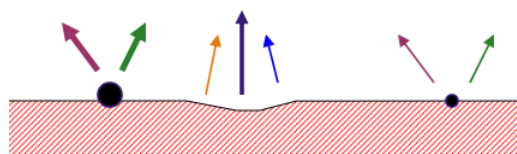


Figure 3. Surface particle scattering phenomenon

图 3. 表面颗粒散射示意图

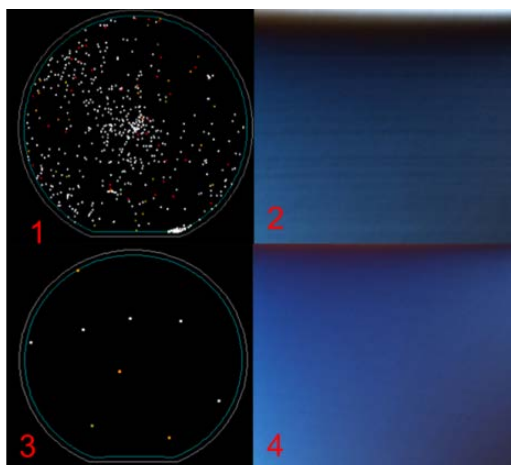


Figure 4. Surface roughness vs. epitaxial wafer surface particle map. (1) Normal mode SP1 map; (2)  $10 \times 20$  microscope map; (3) Normal mode SP1 map; (4)  $10 \times 20$  microscope map

图 4. 表面粗糙度和外延后表面颗粒图。(1) Normal 模式 SP1 测试图; (2)  $10 \times 20$  倍显微镜观察; (3) Normal 模式 SP1 测试图; (4)  $10 \times 20$  倍显微镜观察

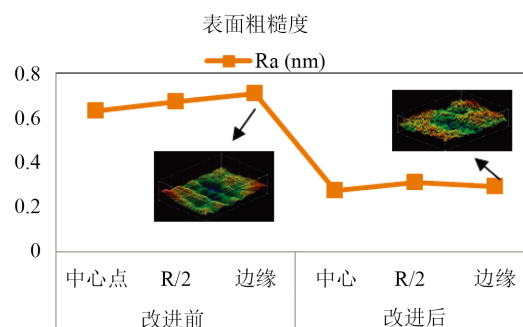


Figure 5. Surface roughness vs. Polish process

图 5. 抛光工艺改善前后衬底表面粗糙度变化

为量化对比抛光工艺改善前后对硅片表面粗糙度的影响, 利用 NEW VieW8000 系列非接触 3D 表面轮廓仪测试抛光工艺改善前后抛光硅片的粗糙度值和形貌, 如图 5, 发现粗糙度 Ra 在 0.5~0.8 nm 之间, 微观形貌显示表面微观起伏较大, 相对粗糙, 改善抛光工艺后, 将粗糙度降低到 Ra 在 0.2~0.4 nm 之间, 形貌显示表面微观起伏较小, 相对光滑平坦。

#### 4. 结论

抛光硅片表面状况可以影响外延后表面  $0.12 \mu\text{m}$  颗粒分布, 当抛光片表面粗糙度较大时, 外延后硅

片使用 Tencor SP1 表面颗粒测试仪 normal 模式测试时, 0.12  $\mu\text{m}$  小颗粒会有聚集发生, 进行抛光工艺改进, 将表面粗糙度 Ra 降低到 0.2~0.4 nm 可以明显改善外延后表面 0.12  $\mu\text{m}$  颗粒。

## 基金项目

国家科技重大专项(2010ZX02302001)。

## 参考文献

- [1] 王启元, 蔡田海, 郁元桓, 等. 用于先进 CMOS 电路的 150 mm 硅外延片外延生长[J]. 半导体学报, 2000, 21(5): 426-430.
- [2] 武永超, 杨洪星, 张伟才, 等. 硅抛光片表面颗粒度控制[J]. 电子工业专用设备, 2010, 39(10): 20-22.
- [3] 张双琴. 硅外延表面雾缺陷的研究[J]. 中外企业家, 2014(11): 249-249.
- [4] 吴敬文, 朱伟民. 原子力显微镜观察硅外延片的表面白雾缺陷[J]. 微电子学, 1995(4): 48-50.
- [5] 康薇, 底亚雷, 颜晓飞. 硅外延表面雾缺陷的研究[J]. 中国科技投资, 2017(15).
- [6] 李普生. 对影响外延片表面质量的若干问题的研究[J]. 甘肃科技, 2016, 32(19): 43-45.
- [7] 徐非. 硅外延工艺中 HCl 气相腐蚀技术研究[J]. 科技创新导报, 2008(33): 254-254.
- [8] 李智囊, 唐驰. HCl 腐蚀抛光技术研究[C]//中国电子学会. 全国半导体集成电路、硅材料学术会议论文集: 2007 年卷. 重庆, 2007: 464-467.

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2160-7613, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [ms@hanspub.org](mailto:ms@hanspub.org)