

硅片高温工艺与塑性形变^①

谢书银

(中南工业大学应用物理与热能工程系, 长沙 410083)

万关良

(北京有色金属研究总院, 北京 100088)

李立本 张锦心

(浙江大学硅材料国家重点实验室, 杭州 310027)

摘 要 为减小硅片高温工艺中的形变, 通过仿硅器件在 1200 °C 热处理 1.5 h 高温工艺热处理实验, 研究了装片方式、升温速率和急冷温度等工艺条件对硅片弯曲度变化的影响, 实验结果表明硅片热处理中塑性形变主要是在急冷过程产生的, 快速加热对形变影响不大。急冷温度越高, 硅片中心与边缘温差越大, 因产生位错和滑移形成的塑性形变就越大, 1200 °C 急冷的弯曲度变化是 770 °C 急冷的 4 倍, 水平装片比竖直装片形变大, 紧贴式装片比间隔式容易弯曲。采用降低急冷温度, 由 1200 °C 缓慢降至 770 °C 左右再急冷, 配合竖直间隔方式装片和容器加盖等方法可减少高温工艺中硅片的形变。

关键词 硅片 高温工艺 塑性形变

中图法分类号 TN304.17

硅器件和集成电路的氧化和扩散等高温工艺过程中产生的硅片弯曲或翘曲等塑性形变, 严重影响光刻工艺的进行, 妨碍实现大规模集成电路微米及亚微米级图形对硅片平整度的要求; 此外, 形变引入的大量位错使器件漏电流剧增, 形变使器件几何尺寸改变(特别是 MOS 器件中的沟道), 它们都使器件的电学性能变坏^[1]。

硅片高温塑性形变不仅与材料的位错密度、氧与氮等杂质含量及形态以及硅片表面损伤状况有关^[2-4], 还跟器件本身的高温工艺条件密切相关。硅平面工艺中多次氧化、扩散等高温过程也能引起硅片的翘曲或弯曲。本文通过仿硅器件高温工艺的热处理实验, 研究高温工艺条件对硅片塑性形变的影响。以便减小高温工艺中硅片形变, 提高器件的成品率和性能。

1 实验方法

1.1 样品制备

试样硅单晶切成一定厚度的硅片, 用 M20 金刚砂加水研磨去除表面的切痕及其他划道和损伤, 需要化学腐蚀的再用体积比为 1:3 的氢氟酸和硝酸混合溶液腐蚀或抛光。

1.2 热处理

采用 KG-2C 高温扩散炉在氩气保护下进行热处理, 温度控制到 ± 1 °C。除明确注明的外, 均采用升温到 1200 °C 再将装硅片的石英坩埚送入恒温区, 石英坩埚无盖, 平叠式装片, 1200 °C 恒温 1.5 h 后, 将坩埚拉到炉端石英管口边, 急剧冷却。

1.3 塑性形变测定

按国家标准 GB/T6619-1995 硅片弯曲度测试方法测定弯曲度^[5]。各试样分别在热处理前、后测一次, 以其绝对差值的平均值作为热处理引起高温形变的程度。

2 实验结果

2.1 弯曲度变化

① 硅材料国家重点实验室资助项目 收稿日期: 1997-09-28; 修回日期: 1997-11-19 谢书银, 男, 57 岁, 副教授

各组试样硅片、参数、热处理工艺及弯曲度变化数值列入表 1:

2.2 位错变化

将一个无位错〈111〉硅片经研磨和化学腐蚀抛光后分为两半, 分别随 II 组 1 200 ℃, 1.5 h 急冷和 1 200 ℃, 1.5 h 后缓慢降至 770 ℃再急冷热处理, 用铬酸和氢氟酸混合液室温下腐蚀 50 min 显示位错坑。两半硅片交界处同一视场下的位错金相照片示于图 1。1 200 ℃急冷的半片出现大量位错, 而 770 ℃急冷的半片位错很少。取同一无位错 FZ 单晶的两个硅片, 研磨和化腐抛光后, 其中一片经 1 200 ℃急冷处理, 与未经热处理的另一片同时作显示位错腐蚀, 后者没有发现位错, 而前者出现由大量位错排组成的六角形“星形图形”, 1: 1 的实物照片如图 2 所示。

3 讨论

高温热处理过程中, 硅片的弯曲度变化是塑性形变的结果, 塑性形变是借助于滑移进行的。快速加热和冷却, 硅片中特别是其径向方

向产生很大的温度梯度, 当引起的热应力超过此温度下产生位错的临界应力时, 硅片就因位错的产生和运动而发生塑性形变。加热和冷却过程对硅片形变的影响是有差别的, 因为硅对红外线透明^[6], 加热速率要比冷却速率缓慢, 快速加热比快速冷却产生的塑性形变小。第 I 组升温到 1 200 ℃再送片的急速加热对硅片弯曲度影响不比缓慢升温的大很多, 可见塑性形变主要是在急冷降温过程中产生的。

第 II 组降温方式对弯曲度影响的实验结果表明, 三种冷却温度中, 1 200 ℃直接急冷的冷却速率最大, 产生的热应力也最大, 而且硅片所处温度也比其他两种高得多, 产生了大量位错, 所以弯曲度变化最大, 是 770 ℃急冷的 4 倍。图 1 原无位错的硅片经 1 200 ℃急冷产生大量位错, 而降温到 770 ℃再急冷时产生的位错却很少, 正好说明上述分析。硅片高温工艺中采用由 1 200 ℃缓慢降温到 770 ℃左右再急冷的分段降温方式, 虽费一点时间, 但可大大减小硅片的塑性形变。图 2 中 1 200 ℃急冷使无位错硅片产生位错星形结构也说明这一点, 而且还发现星形结构在硅片边缘部分最明显,

表 1 不同热处理工艺下硅片弯曲度的变化
Table 1 Change of bow for silicon wafer

No.	Type and direction	Diameter d/mm	Thickness δ/mm	Surface	Resistivity ρ/(Ωcm)	Wafer amount N	Heat treatment process	Average of bow change/μm
I	CZP 〈111〉	57	0.33	Lapping	8~12	5	Heating after sending wafer 1 200 ℃, 1.5 h ↓	3.0
						6	Heating before sending wafer 1 200 ℃, 1.5 h ↓	3.2
II	CZN 〈111〉	62	0.23	Lapping	35	6	1 200 ℃, 1.5 h ↓	12.3
						6	1 200 ℃, 1.5 h ↘ 1 000 ℃ ↓	6.2
						6	1 200 ℃, 1.5 h ↘ 1 000 ℃ ↘ 770 ℃ ↓	3.0
III	CZN 〈111〉	50	0.51	Chemical etch	20	6	1 200 ℃, 2 h ↓ Horizontal laying with out gap	3.5
						6	1 200 ℃, 2 h ↓ Horizontal laying with gap	3.0
						6	1 200 ℃, 2 h ↓ Perpendicular laying with gap	2.2
IV	FZN 〈111〉	51	0.29	Lapping	100	5	1 200 ℃, 1.5 h ↓ with cover	4.0
						5	1 200 ℃, 1.5 h ↓ with no cover	10

“↓” —Fast cooling to room temperature; “↘” —Slow cooling for 1 h

这是降温过程中, 边缘冷却速率大的缘故。另外, 星形结构的“星角”都出现在硅片边缘锯齿状破损处, 这与 Sumino^[7]用原位 X 射线貌相术观察到的无位错硅片承受应力时, 位错产生于表面锯齿处是一致的。

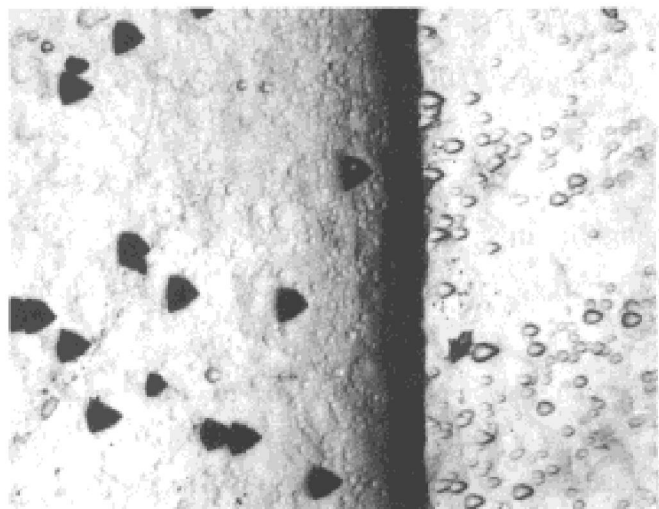


图1 1200 °C急冷(左)和
770 °C急冷(右)的位错照片

**Fig. 1 Dislocations for fast cooling from
1200 °C(left) and for fast cooling
from 770° (right), × 100**

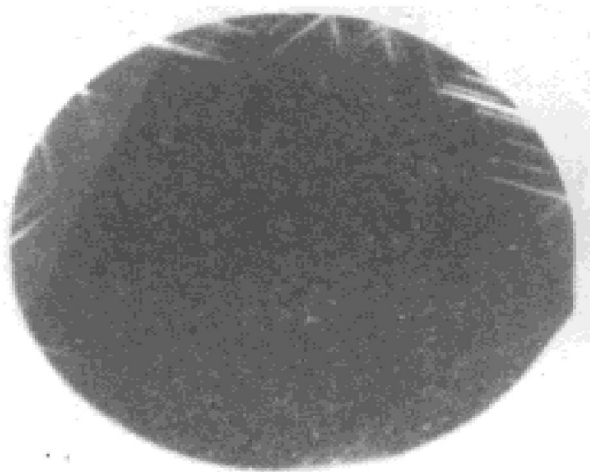


图2 无位错硅片 1200 °C急冷出现
位错星形结构的实物照片

**Fig. 2 Star structure after
fast cooling from 1200 °C, × 1**

第 II 组装片方式对比中, 水平装片比竖直装片弯曲度变化大是因为在受到热应力的同时重力作用增加了硅片的形变。紧贴式比间隔式弯曲度大是由于间隙有利于硅片中心部分

的热幅射, 减小中心与边缘的温差, 使热应力减小。据报道用约 10 μm 直径热电偶测得竖直间隔装片由 1200 °C 急冷时硅片边缘与中心的温差有 100 °C 左右, 可见紧叠式装片时这个温差会更大。第 IV 组是装片坩埚加盖试验。加盖比无盖情况减小了热幅射, 使冷却速率减慢, 特别是硅片边缘的冷却速率减小, 使硅片径向温度梯度减小, 所以形变得到明显改善。

4 结论

(1) 硅片热处理塑性形变主要发生在急剧降温过程, 急冷温差越大, 塑性形变越严重。

(2) 硅器件高温工艺中采用分段降温方式并配合竖直装片、适当间隔和容器加盖等措施可减小硅片的形变。

REFERENCES

- 1 Thebault D and Jastrzebski L. RCA Rev., 1980, 41: 592.
- 2 Xie Shuyin(谢书银), Shi Zhiyi(石志仪), Li Jidong(李冀东) and Dong Ping(董萍). The Chinese journal of nonferrous metals(中国有色金属学报), 1997, 7 (1): 169.
- 3 Xie Shuyin(谢书银), Shi Zhiyi(石志仪), Chen Zhongxiang(陈中祥) and Zhang Weilian(张维连). Semiconductor proceeding(半导体学报), 1997, 18 (9): 710.
- 4 Xie Shuyin(谢书银), Shi Zhiyi(石志仪) and Chen Zhongxiang(陈中祥). Semiconductor technology(半导体技术), 1997, 5: 24.
- 5 Wang Congzan(王从赞), Guo Jin(郭瑾) and Yuan Jingyi(袁景怡). State Standard Text Methods for Bow of Silicon(国家标准硅片弯曲度测试方法) GB/T6619- 1995.
- 6 She Siming(余思明). Material Science for Semiconductor Silicon(半导体硅材料学), Changsha: Central South University of Technology Press, 1992, 502.
- 7 Sumino K and Harada H. Phil Mag, 1981, A44: 1319.

ELEVATED TEMPERATURE PROCESS AND PLASTIC DEFORMATION OF SILICON WAFER

Xie Shuyin

*Department of Applied physics and Heat Engineering,
Central South University of Technology, Changsha 410083, P. R. China*

Wan Guanliang

Beijing General Research Institute for Non-ferrous Metals, Beijing 100088, P. R. China

Li Liben and Zhang Jinxin

State Key Laboratory of Si Materials, Zhejiang University, Hangzhou 310027, P. R. China

ABSTRACT The effects of elevated temperature process parameters, fashion of placing wafer, elevating temperature rate and fast cooling temperature on the change of bow of silicon wafer were studied by 1 200 °C for 1.5 h heat treatment of silicon wafer for decreasing plastic deformation of silicon wafer during high temperature process. The results showed that the fast cooling caused the plastic deformation, and the fast heating did not affect the deformation; the higher the fast cooling temperature and the larger the difference of temperature between the centre and the edge of a silicon wafer, the larger the plastic deformation caused by the dislocation and its slip. The change of bow of silicon wafer cooled at 1 200 °C was 4 times that at 770 °C. Decreasing the fast cooling temperature, covering the vessel and placing the wafers perpendicularly with gap decreased the deformation of the silicon wafer.

Key words silicon wafer elevated temperature process plastic deformation

(编辑 吴家泉)