

剥层椭偏法对 As^+ 注入 Si 热退火过程的进一步研究

陈敏麒 张 宏 罗晋生

(西安交通大学)

1982年7月14日收到

提 要

本文用剥层椭偏光法^[1,2]对 As^+ 离子注入硅的热退火过程作了较详细的研究。 As^+ 离子注入剂量为 $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$, 能量为 100keV。在 300—800°C 之间各种不同温度下退火, 得到了在这几种温度下固相外延平均速率及复折射率分布的变化。我们发现在各种温度下非晶层的消光系数都变小, 尾部的折射率变大。

一、前 言

T. Lohner 等对离子注入 Si 在不同温度下退火后表面椭偏参数的变化作过研究, 但没有得到有规律变化的结果^[2]。莫党等用多人射角法测定了在各种不同温度下退火后 As^+ 离子注入 Si 非晶层厚度的变化^[3]。在陈敏麒等最近的工作中得到了用分层模型模拟计算非均匀吸收膜椭偏光参数的方法^[4]。根据此方法, 可以对注入层进行剥层测量得到的椭偏参数 ϕ 和 Δ 值, 通过数值模拟求得注入层内复折射率的分布。罗晋生等后来的工作^[4]用背散射实验所得的损伤分布与复折射率分布作了比较, 并用这种方法研究了 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 、150keV As^+ 离子注入的 Si 在 500°C 温度下的热退火过程, 证实了离子注入引起的非晶层在热退火时发生固相外延, 并测出了固相外延的平均速率。本文用这种方法进一步研究了 $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ As^+ 离子注入 Si 在各种不同温度条件下非晶层的退火过程中复折射率分布的变化, 得到一些有趣的结果。

二、实验方法和结果

实验使用 $\langle 111 \rangle$ P型硅单晶片, 电阻率为 $3-6\Omega \cdot \text{cm}$, 样品表面经铬离子抛光成镜面。注入 As^+ 的剂量为 $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$, 注入能量为 100keV, 注入方向偏离 $\langle 111 \rangle$ 晶向 $7^\circ - 8^\circ$ 以防止沟道效应。从这样片上划取几块 $6 \times 6 \text{ mm}^2$ 的样品, 在 300、400、450、500、600、650、700 及 800°C 等温度下分别退火, 退火在干 N_2 中进行, 退火时间不一。然后对各个样品分别进行剥层椭偏光法测量和模拟计算。计算中取天然氧化膜厚度为 12 \AA , 折射率为 1.46。

用阳极氧化方法进行剥层。阳极氧化溶液由乙二醇与酒石酸按照 100 毫升: 3.3 克的比例并加入适量的 NH_4OH 配制而成, 阳极氧化的电流密度为 7 mA/cm^2 , 每次阳极氧

化剥去的硅层厚度可由椭偏仪测出每次氧化的 SiO_2 层厚度乘 0.4 而得到^[3]。

图 1 为固相外延平均速率随退火温度的变化。可知，在温度小于 450°C 时非晶层厚度基本不变，温度在 500—600°C 之间外延平均速率急剧增加，这与莫党等^[3]的报道一致。

图 2 为 500°C 及 600°C 温度下退火 10 分钟后 n 和 k 分布的变化。结果表明，在 500°C 退火情况下，在离表面 400 Å 的范围， n 略有减小；在尾部约 300—400 Å 的范围内 n 从原来的 4.58 增为 4.65；在非晶层中部约 60 Å 的范围 n 减为 4.44；在整个非晶层内，消光系数 k 从 0.66 减为 0.37—0.39；非晶层厚度从约 980 Å 变为 930 Å。在 600°C 退火 10 分钟后，非晶层推移到距表面约 240 Å 处，即外延平均速率约 74 Å/分， n 为 4.65， k 为

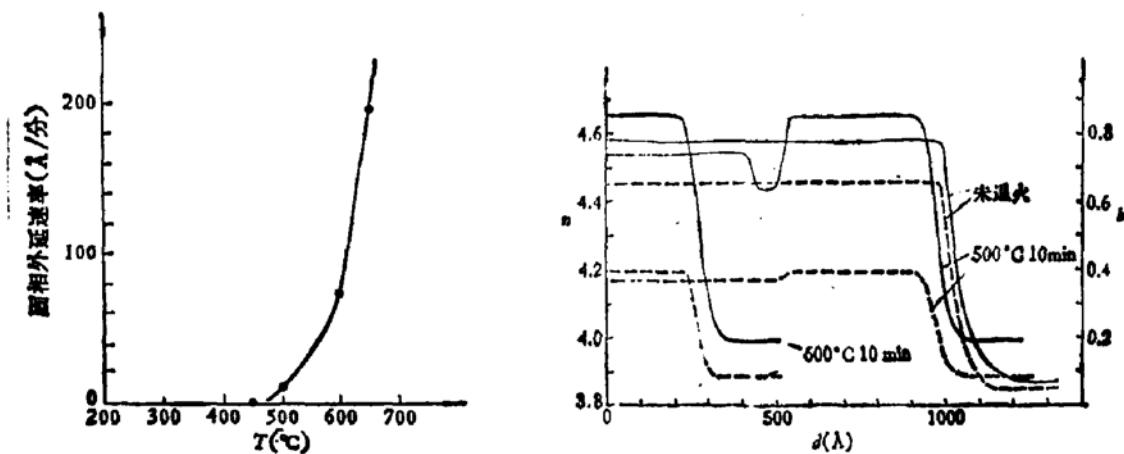


图 2
 $\text{As}^+ \rightarrow \text{Si}, 5 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}, 100 \text{keV}$
 ——— n , ——— k

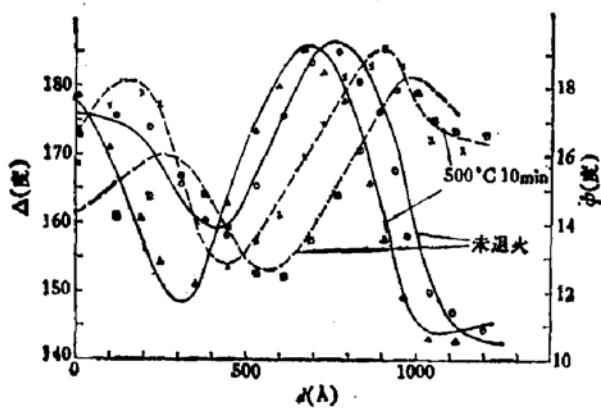


图 3 $\text{As}^+ \rightarrow \text{Si}, 5 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}, 100 \text{keV}$ 。

- 实验 ψ } 未退火
- 实验 Δ }
- △ 实验 ψ } $500^\circ\text{C}, 10\text{ min}$
- × 实验 Δ } $500^\circ\text{C}, 10\text{ min}$
- 理论 ψ , ---理论 Δ

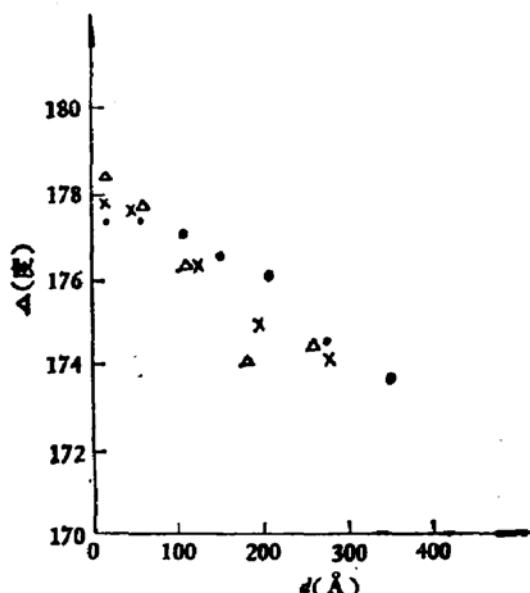


图 4

- $800^\circ\text{C}, 10\text{ min}$
- × $650^\circ\text{C}, 10\text{ min}$
- △ $650^\circ\text{C}, 5\text{ min}$
- 实验 ψ } 未退火
- 实验 Δ }
- △ 实验 ψ } $500^\circ\text{C}, 10\text{ min}$
- × 实验 Δ } $500^\circ\text{C}, 10\text{ min}$

0.39,与 500°C、10 分钟退火后的尾部相符合。图 3 为 500°C 温度下退火 10 分钟及未退火的 ϕ 和 Δ 分布的模拟曲线及曲线点,由图可知理论与实验符合相当好。

对 300°C 退火 10 分钟, 400°C 退火 10 分钟及 30 分钟, 450°C 退火 20 分钟的测量表明, 虽然在这几种情况下非晶层厚度基本不变, 但非晶层的消光系数变小; 温度越高, 退火时间越长, 消光系数变得越小。

图 4 为 650°C 退火 5 分钟及 10 分钟、800°C 退火 10 分钟后 Δ 分布曲线。曲线表明, 在这几种情况下, 非晶层基本消失, 即外延平均速率超过 196 Å/分。曲线还表明在离表面 100—200 Å 的范围内存在一晶格较难恢复正常层。

三、结 论

1. As⁺ 离子注入 Si 的非晶层固相外延平均速率在 500—600°C 之间随温度急增。
 2. 在 300—600°C 各种温度下退火后, 非晶层的消光系数都变小; 靠尾部的非晶层折射率变大, 靠表面的非晶层折射率略变小。
 3. 表面 100—200 Å 的范围内存在一特殊层, 该层晶格较难恢复正常。
- As⁺ 离子注入是由陕西省微电子研究所刘玉书, 贾淑文等同志代做的, 特此感谢。

参 考 文 献

- [1] 陈敏麒, 罗晋生, 西安交通大学学报, 1981 年第二期。
- [2] T. Lohner, G. Mezey, E. Kótai, F. Pászti, L. Királyhidi, G. Vályi and J. Gyulai, Proceedings of the Second International Conference on Ion Beam Modification of Materials. (1981) 591.
- [3] 莫党, 陈树光, 余玉贞, 黄炳忠, 物理学报, 29, 1214(1980).
- [4] 罗晋生, 陈敏麒, 周彩弟, 西安交通大学学报 1981 年第三期
- [5] J. R. Adams, *Surface Sci.*, 56, 307 (1976).

A Study of Ellipsometric Parameters in the Thermal Annealing Process of As Ion-Implanted Si

Chen Minqi, Zhang Hong and Luo Jinsheng
(Xi'an Jiaotong University)

Abstract

The thermal annealing processes of As ion-implanted Si have been studied through the ellipsometric method proposed by the authers in 1981. The dose of As ion is 5×10^{14} cm⁻², the implanted energy is 100 keV. The samples are annealed under the temperatures ranging from 300—800°C. It has been found that the average epitaxial rate of the thermal annealing increases sharply with the temperature, and that the coefficient k of the amorphous layer drops down from the normal value 0.66 to 0.37—0.39; and that the refractive index n of the tail portion of the n curve rises from 4.58 to 4.65.