

溅射 GaAs SOI 电子束退火再结晶 及 MBE GaAs SOI 高频感应 石墨棒热退火再结晶

朱蔚雯 王渭源

(中国科学院上海冶金研究所)

1985年3月28日收到

本文首次报道了溅射 GaAs SOI 电子束退火再结晶以及 MBE GaAs SOI 高频感应石墨棒热退火再结晶。对实验所得 SOI 样品，用 ED 和 TEM 分析 GaAs 薄膜的结晶性，用 X-射线衍射测量薄膜表面的择优取向，用霍耳效应测量定出载流子浓度和迁移率。

一、引言

在 Si 片热氧化而形成的 SiO_2 绝缘层上，沉积无定形或多晶 Si 薄膜，然后以能量束辐照使无定形或多晶 Si 薄膜长成大晶粒，再结合 Si 平面工艺，这种 SOI 技术，很有可能在几年内用于制造 Si 高速和高密度的三维集成电路 (IC)^[1-3]。

与 Si SOI 相比，GaAs SOI 的研究更复杂，更困难。国际上才刚刚开始^[4-7]。然而，一旦实现了 GaAs SOI，不仅可用廉价的 Si 代替昂贵的 GaAs 材料，而且能将 GaAs 光电功能器件与 Si IC 集成起来，构成新功能器件或 IC。

二、实验方法

在 $\langle 111 \rangle$ 单晶 Si 衬底上热氧化一层 3000 \AA SiO_2 。用溅射或 MBE 沉积 $\sim 5000 \text{ \AA}$ 多晶 GaAs 薄膜，晶粒尺寸均为 $100-200 \text{ \AA}$ 。然后用 CVD 法生长 $\sim 6000 \text{ \AA}$ SiO_2 保护层（衬底温度 440°C ），所得样品置于纯氮气氛， 600°C 下致密化 30 分钟备用。

电子束退火重结晶用长沙半导体工艺设备研究所 DT-1 连续电子束退火机，所用样品为溅射 GaAs SOI。

实验条件：退火功率， $300\text{W}-540\text{W}$ ；束斑直径 $\sim 4\text{mm}$ ； x 方向扫描速度， $1.5 \times 10^4 \text{cm/s}$ ； y 方向扫描速度， 15cm/s ；重复扫描次数 14 次。衬底预热辐照功率 90W ；预扫描次数、15 或 20 次。

高频感应石墨棒瞬态热退火用自制的设备，所用样品为 MBE GaAs SOI。

实验条件：高频发生器电流和高压分别为 $0.95-1.05\text{A}$ 和 $2.20-2.32\text{kV}$ ，石墨棒温

度(光学高温计测), 1360—1540°C; 样品移动速度, 1.2mm/s。

三、实验结果及讨论

溅射得到的多晶 GaAs 晶粒尺寸为 100—200 Å, 实验结果发现。随着电子束退火功率由 300 增大至 540W, GaAs SOI 表面 $\langle 110 \rangle$ 择优取向增强, 图 1(a)、(b)、(c) 分别为退火前和 300、540W 两种功率退火后(预扫描 15 次), GaAs SOI 表面 X-射线衍射曲

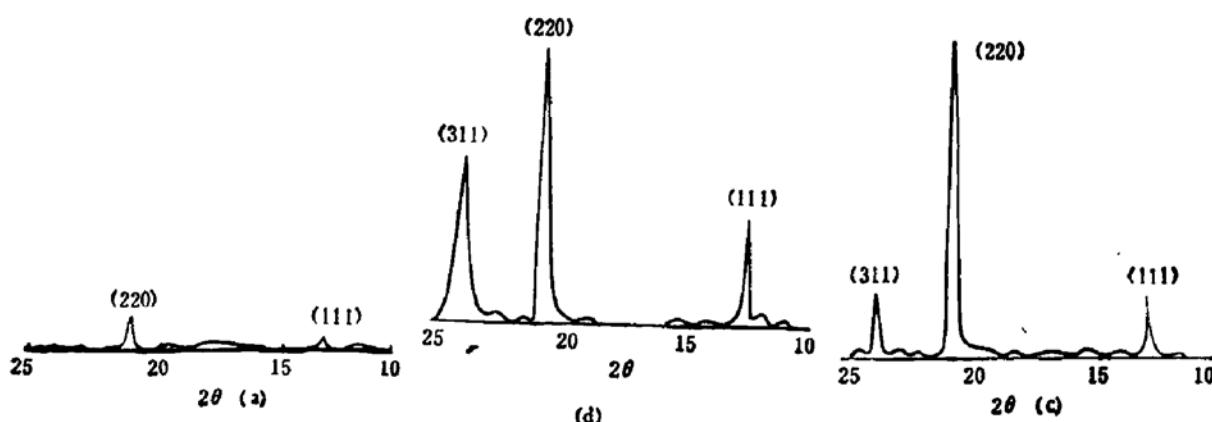


图 1 GaAs SOI 表面 X-射线衍射曲线(衍射靶为 Mo, 下同)

(a) 退火前 (b) 300W 退火后 (c) 540W 退火后

线。图 2(a)、(b) 分别为退火前和 540W 退火后材料的 TEM 照片。可见样品经退火后晶粒尺寸长大至 $1 \mu\text{m}^2$ 。无论 $P = 300$ 或 540W 退火后样品表面平整光亮。无熔化

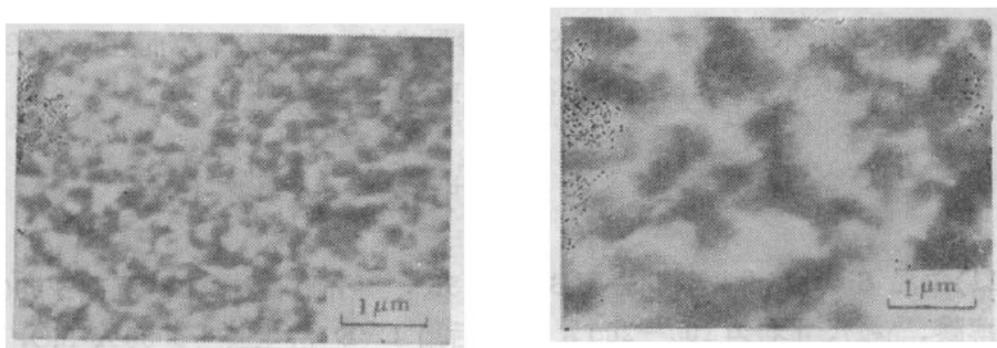


图 2 GaAs SOI TEM 照片

(a) 退火前($\times 10000$) (b) 540W 退火后($\times 2300$)

迹象。我们认为, 进一步增大功率至 GaAs 薄膜达到液相重结晶, 可能获得更大的晶粒。但是, 衬底温度过高(预扫描 20 次), y 方向扫描速度慢到 $V_y = 6\text{cm/s}$ (两次扫描重叠较多), GaAs 薄膜出现爆裂、成团, 不连续现象, 很可能是过份熔化所致。

图 3, 4 分别为退火前和石墨棒温度为 1480°C 退火后 MBE GaAs SOI 表面电子衍射照片(测试时, 在样品上随机取 3 点, 同一样品其各点的电子衍射照片基本相同), 可见, 退火后多晶 GaAs 晶粒度明显长大, 并且呈 $\langle 111 \rangle$ 取向。这一结果经 X-射线衍射曲线所

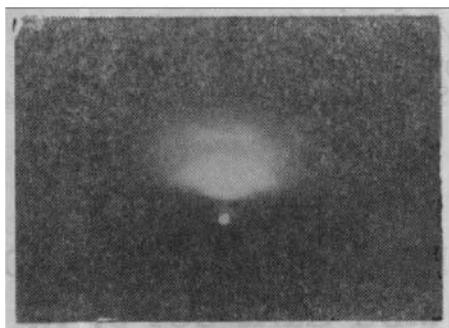


图3 MBE GaAs SOI 退火前电子衍射照片

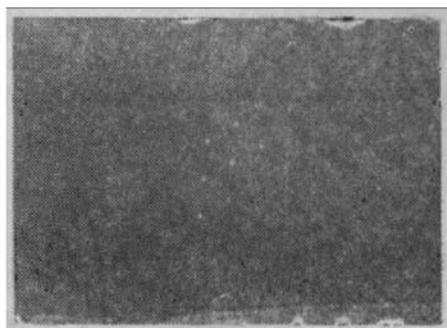


图4 MBE GaAs SOI 退火后电子衍射照片

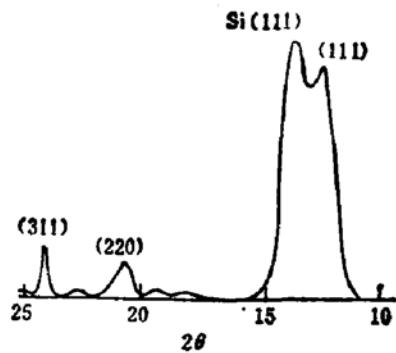


图5 MBE GaAs SOI 1480°C 石墨棒退火后 X-射线衍射曲线

证实(图5)。图4样品,用霍耳法得到GaAs的载流子浓度和电子迁移率分别为 $3.7 \times 10^{17}/\text{cm}^2$ 和 $1.1 \times 10^3 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{S}$ 。重结晶前, $\mu_n < 50 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{S}$, 一般体单晶GaAs相应载流子浓度时, $\mu_n \approx 3 \times 10^3 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{S}$, 可看出, 退火后材料的结晶性和电学性质有较明显的提高。

实验中发现,由于GaAs与SiO₂的热膨胀系数不同(分别为 6×10^{-6} 和 $0.35 \times 10^{-6} \text{ deg}^{-1}$),如果区熔前样品衬底温度过高($\sim 700^\circ\text{C}$),使得表面SiO₂保护层爆裂, MBE GaAs层脱起,大量样品损失。为控制衬底温度,区熔前样品置于感应线圈边端,根据经验,观察石墨舟颜色,限制升温时间(5—7分钟)。

本文用了两种再结晶方法,两种方法各有利弊。电子束退火重结晶,其束扫描、束形状和加热深度便于控制,并且吸收的束功率与材料的电学性质、光学性质无关^[10],但设备较复杂。石墨棒瞬态热退火设备简单,熔区为线状,样品表面温度与材料参数无关,而只与石墨棒温度有关,但是,要控制小的熔区则比较困难。

参 考 文 献

- [1] Y. Akasaka, G. W. Cullen, J. F. Gibbons, C. Hilland and P. J. Vail, Energy Beam-Solid Interactions and Transient Thermal Processing, 1983, M. R. S. Symposia Proceedings (North-Holland, New York 1984) p. 3.
- [2] K. K. Ng, G. K. Celler, E. L. Povilonis, L. H. Trimble and S. M. Sze, in ref. 1, p. 559.
- [3] Y. Ohmachi, Y. Shinoda, T. Inai, M. Nakano and M. Takagi, IEEE Electron Device Letters, EDL-4, 366 (1983).

- [4] Li Xiqiang, Chen Zhihao, Lin Chenglu and Wang Weiyuan, in ref. [1], p. 621.
- [5] 鲍希茂, 韩平, 尹金妹, 电子学报, 待发表.
- [6] Y. Ohmachi, Y. Shinoda and T. Nishioka, IEDM Technical Digest 315 (1983).
- [7] M. Takai, T. Tanigawa, K. Gamo and S. Namba, in ref. [1], p. 397.
- [8] M. Tamura, H. Tamura and T. Tokuyawa, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 19, L23 (1980).
- [9] J. C. C. Fan, M. W. Geis and B. -Y Tsaur, *Appl. Phys. Lett.*, 38, 365 (1981).
- [10] R. J. Hawryluk, Andrew M. Hawryluk and Harry I. Smith, *J. Appl. Phys.*, 45, 2551 (1974).

Electron-Beam Recrystallization of RF Sputtering GaAs SOI and Thermal Recrystallization of MBE GaAs SOI by RF Induction Graphite Strip Heater

Zhu Weiwen and Wang Weiyuan

(Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica)

Abstract

The electron-beam recrystallization of RF sputtering GaAs SOI and thermal recrystallization of MBE GaAs SOI by RF induction graphite strip heater are presented for the first time. Using ED, TEM, X-ray diffraction and Hall effect, the grain size, crystal orientations, carrier concentrations and Hall mobilities of the GaAs films on SOI are measured.