

扩硼 Si 在连续 CO₂ 激光辐照后的特性

李元恒

(中国科学院力学研究所)

张玉峰 吴书祥 杜永昌

(北京大学)

1981年11月19日收到

提 要

本文研究了高温高浓度扩硼 Si 在连续 CO₂ 激光辐照后表面薄层电阻随激光功率密度和扫描速度的变化。实验发现,一定功率密度和扫描速度的 CO₂ 激光辐照可使扩硼 Si 的载流子面密度提高到原来的一倍半到三倍左右。

硅(Si)中扩散硼是研制各种半导体器件常用的手段。为弄清硼原子在 Si 中扩散和激活的规律人们一直进行着广泛的研究。例如,测定硼的深度分布与扩散温度、扩散时间的关系^[1],揭示不同温度下硼扩散系数随浓度的变化^[2],用中子辐照、等离子体溅射等方法增强扩散^[3,4]。实验表明,硼向 Si 中扩散的一个通常状态是高温扩散后有大量的原子沉淀在 Si 的表面附近^[5-7],这部分原子是非电激活的,并且影响扩散层的载流子寿命^[8,9]。R. T. Young 等人发现^[10],调 Q 红宝石激光辐照可以激活扩硼 Si 表层沉淀区的硼原子,使 Si 的薄层电阻明显下降、载流子面密度大幅度上升。鉴于 CO₂ 气体激光对 Si 所具有的深穿透特性以及它在离子注入 Si 退火中的成功应用^[11-14],本文用连续 CO₂ 激光对高温高浓度的扩硼 Si 进行了辐照试验。实验表明 CO₂ 激光辐照的效果与红宝石激光很类似,同样可使扩硼 Si 的表面薄层电阻显著下降,载流子面密度大大上升。并且 CO₂ 激光辐照还可保持迁移率大体不变,而红宝石激光却招致迁移率的明显降低。另外考虑到红宝石激光器效率很低(~0.1%),CO₂ 激光器效率相当高(~10%),使得在实用化上 CO₂ 激光有着更为光明的前景。

实验采用的样片是电阻率 8 欧姆厘米的〈111〉晶向无位错直拉 n 型单晶,片厚 0.45 毫米。单晶片经化学抛光和常规清洗后在氮气气氛中箱法固相扩硼,扩散后的样品切成 5 × 5 毫米²的方片。激光束由封离型连续 CO₂ 激光器提供,功率 40 瓦,光束直径 8 毫米,并用镀有增透膜的锗(Ge)聚焦镜调节光斑大小,以便控制功率密度。激光扫描通过样品台 x-y 方向的机械运动来完成。样片用石英玻璃支撑,做到与样品台热绝缘。首先我们取 1100℃、10 分钟的扩硼样品,调节激光光斑的直径到 3.5 毫米,即功率密度 ~420 瓦/厘米²,观测 Si 表面薄层电阻随激光扫描速度的变化(图 1)。结果表明,扩硼 Si 的薄层电阻先是随扫描速度的提高迅速减小,在 0.33 毫米/秒附近达到最低值。然后随着扫描速度的增加表面薄层电阻的值亦单调增加。也就是说,对于给定的激光功率密度存在着一

个最佳扫描速度。扫描速度太快, 样品表面的温升就小, 直接影响硼原子的电激活。但为什么扫描速度太慢也不好, 这个问题可能与电激活硼原子的热不稳定性有关。因为如果扫描速度太慢, 已经被激活的硼原子在 CO₂ 激光辐照高温的继续作用下会重新转变成非电激活, 这一点在硼离子注入硅的 CO₂ 激光退火实验中已观测到。

我们选定扫描速度 ~ 0.33 毫米/秒, 样品用 1000°C、30 分钟的扩硼 Si, 观察表面薄层电阻随激光功率密度的变化。结果表明, 随着激光功率密度的升高表面薄层电阻在某功率密度范围呈现突然的下降, 如图 2 所示。对

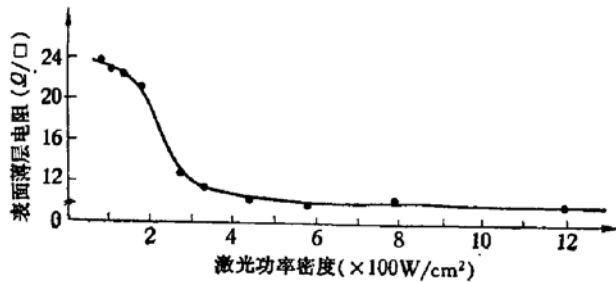


图 2 扩硼 Si 表面薄层电阻随激光功率密度的变化

本实验的样品和激光参数, 这个突变区发生在 200 瓦/厘米²到 300 瓦/厘米²之间。在 300 瓦/厘米²以上随着激光功率密度的进一步增加薄层电阻不再明显降低。需说明的是, 由于功率密度的增高是通过缩小光斑直径来实现的, 所以功率密度愈高, 样片上每点所受的辐照时间会愈短。但对本实验所取的慢扫描速度来说, 各种功率密度均能使样片表面达到稳定温度。辐照时间上的差异并不产生本质的影响。

样片	扩散温度 及时间	激光辐照前			激光辐照后		
		R_{\square} (Ω/\square)	N_s (cm^{-2})	μ ($\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)	R_{\square} (Ω/\square)	N_s (cm^{-2})	μ ($\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)
A ₁	1100°C, 10分	37	4.5×10^{18}	38	24	6.1×10^{18}	42
A ₂	1000°C, 30分	23	6.7×10^{18}	38	10	1.5×10^{19}	40
A ₃	900°C, 50分	62	2.5×10^{19}	44	20	7.9×10^{18}	45

从测量结果可以看到, 各种扩硼 Si 在连续 CO₂ 激光辐照后表面载流子密度均有显著的升高, 最高者可达原来的三倍多(如样片 A₃), 并且与此同时薄层电阻呈现相应的下降。值得注意的是, CO₂ 激光辐照后载流子的迁移率大体不变。这一点与红宝石激光辐照的效果很不相同, 红宝石激光辐照后迁移率下降 20—25%^[10]。

从图 1、2 和表 1 的实验结果可以证实, 一定功率密度和扫描速度的连续 CO₂ 激光辐

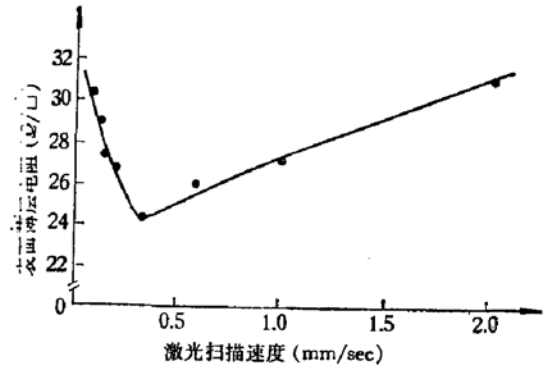


图 1 扩硼 Si 表面薄层电阻随激光扫描速度的变化

照。在 300 瓦/厘米²以上随着激光功率密度的进一步增加薄层电阻不再明显降低。需说明的是, 由于功率密度的增高是通过缩小光斑直径来实现的, 所以功率密度愈高, 样片上每点所受的辐照时间会愈短。但对本实验所取的慢扫描速度来说, 各种功率密度均能使样片表面达到稳定温度。辐照时间上的差异并不产生本质的影响。

表 1 扩硼 Si 的电学参数在 CO₂ 激光辐照前后的变化

照对提高扩散 Si 载流子面密度和降低表面薄层电阻有相当明显的效果。这很可能是由于表面附近的沉淀团在 CO₂ 激光作用下被分解、导致硼原子电激活的缘故。

本工作承蒙秦国刚同志指导,程秋利、邢妙香、常锦莲同志在样品制作上曾给予帮助。作者在此表示谢意。

参 考 文 献

- [1] K. Shohno, T. Kim and C. Kim, *J. Electrochem. Soc.*, 127(7), 1546 (1980).
- [2] S. Matsumoto, Y. Ishikawa, Y. Shirai, S. Sekine and T. Niimi, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 19(1), 217 (1980).
- [3] U. Gosele, International Conference on Defects and Radiation Effects in Semiconductors. (France, 11—14 Sept 1978) p. 538—544.
- [4] G. D. Bagratishvili, R. B. Dzhanelidze, D. A. Jishiasvili, L. V. Piskanovskii and Z. N. Shiolashvili, *Phys. Status Solidi*, A56(1), 27 (1979).
- [5] M. L. Yoshi and F. Wilhelm, *J. Electrochem. Soc.*, 112, 185 (1965).
- [6] P. F. Schmidt and R. Sticklev, *J. Electrochem. Soc.*, 111, 1188 (1964).
- [7] R. A. McDonald, G. G. Ehlenberger and T. R. Huffman, *Solid State Electron.*, 9, 807 (1966).
- [8] J. Lindmayer and J. Allison, Conference Record of the 9th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Silver Spring, Md., 1972, p. 83—84.
- [9] R. K. Jain and R. Van Overstraeten, *J. Appl. Phys.*, 44, 2437 (1973).
- [10] R. T. Young, and J. Narayan, *Appl. Phys. Lett.*, 33(1), 14 (1978).
- [11] 李元恒, 物理学报 30 (4), 542 (1981).
- [12] 李元恒, 光学学报 1 (4), 377 (1981).
- [13] M. Takai, P. H. Tsien, S. C. Tsou, D. Rösenthaller, M. Ramin, H. Ryssel and I. Ruge, *Appl. Physics*, 22(2), 129 (1980).
- [14] S. C. Tsou, P. H. Tsien, M. Takai, D. Rösenthaller, M. Ramin, H. Ryssel and I. Ruge, *Appl. Physics*, 23(2), 163 (1980).

Properties of Boron-Diffused Si Irradiated by CW CO₂ Laser

Li Yuanheng

(Institute of Mechanics, Academia Sinica)

Zhang Yufeng, Wu Shuxiang and Du Yongchang

(Peking University)

Abstract

The dependence of sheet resistance on power density and scanning velocity of CW CO₂ laser irradiation on Si diffused at high temperature with high concentration of boron has been investigated. The experimental data show that the surface carrier concentration of B-diffused Si increases by 50 to 200% after CO₂ laser irradiation with a certain power density and scanning velocity.