

12 MeV 电子辐照缺陷能级的研究

吴凤美 赖启基 张莉华

(南京大学物理系)

近年来,利用 1—12MeV 加速电子辐照,在硅材料中可以成功地引入复合中心,并代替扩金等工艺.它有效、精确地控制了器件寿命参数.全面衡量器件各参数,可以看出,12 MeV 电子辐照比低能量电子辐照或 Co- γ 辐照更有利于半导体器件参数的全面最佳化^[1].在 1—12MeV 电子辐照中,12MeV 电子有较强的穿透力和引入缺陷的能力.在相同的复合效果条件下,12MeV 电子辐照又比 γ 辐照剂量小得多.

本文研究在 3×10^{12} — 6×10^{13} e/cm² 剂量范围内,12MeV 电子辐照在硅中产生的缺陷能级及其退火特性,讨论了缺陷能级随辐照剂量的变化和对少子寿命的影响.

一、样品与实验

实验所用样品是电阻率为 50—80 $\Omega \cdot \text{cm}$ 的 n 型直拉单晶硅片,(111)晶向,进行硼扩散制成 p⁺n 结,塑料封装.

用我校本系研制的直线加速器产生的 12MeV 高能电子束进行辐照,剂量从 3×10^{12} — 6×10^{13} e/cm²,照射剂量的均匀度优于 10%.辐照时样品不加热,样品在辐照时自升温小于 80℃.用深能级瞬态谱 DLTS 仪测量辐照引入硅中的缺陷能级和俘获截面,用二极管反向电流恢复时间方法测定辐照前后的硅体内少子寿命参数.

二、实验结果与讨论

1. 12MeV 电子辐照引入于硅体内的缺陷能级

12MeV 电子辐照在 n 型直拉单晶硅中引入的缺陷能级典型能谱如图 1 所示.辐照剂量 ϕ_e 为 3×10^{13} e/cm².由图 1 可见,12 MeV 电子辐照在硅体内形成五个缺陷能级, E_1 — E_3 为多子陷阱能级, H_1 , H_2 为少子陷

阱能级.它们在硅禁带中的能级位置和俘获截面如表 1 所示.

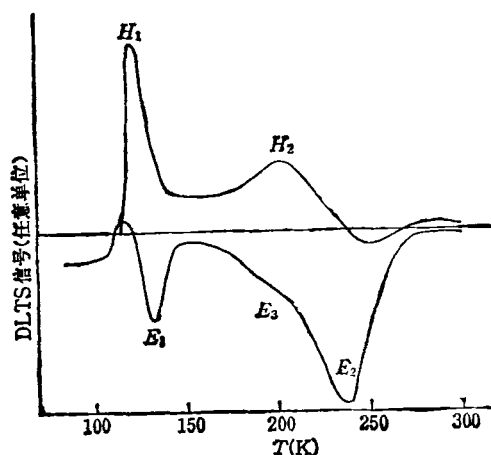


图 1 12MeV 电子辐照的典型能级谱

以上实验结果与文献 [2—5] 所得的结论相比较,可以看到,用 12MeV 电子辐照,除了在硅体内引入与氧空位 [O-V] 缺陷相联系的能级 E_1 外,还产生与双空位 [V-V] 缺陷相联系的能级 E_2 . E_1 和 E_2 的能级密度和俘获截面都较大,对硅材料寿命的降低将起显著的作用. E_3 能级经 200℃ 退火 30 分钟后基本消失,退火后材料的少子寿命与 E_3 关系不大.

2. 主要缺陷能级密度与辐照剂量的关系

在剂量为 5×10^{12} — 6×10^{13} e/cm² 范围内, E_1 , E_2 相对能级密度 N_T/N_D 与辐照剂量 ϕ_e 基本呈线性关系,如图 2 所示.并且,双空位缺陷 E_2 的增长速率远比氧空位 E_1 大.我们所用的材料是直拉单晶硅片,虽然氧含量较区熔硅高,但辐照后双空位缺陷密度仍然很高.实验结果和 Kimerling^[2] 观点相符,即双空位密度与氧

表 1

缺陷能级	E_1	E_2	E_3	H_1	H_2
能级位置 (eV)	$E_c - 0.19$	$E_c - 0.45$	$E_c - 0.36$	$E_v + 0.18$	$E_v + 0.35$
俘获截面 (cm ²)	1.6×10^{-15}	2.4×10^{-16}	4.7×10^{-16}	4.9×10^{-16}	7.2×10^{-16}

空位密度之比与辐照能量有关,随着电子辐照能量增加,该比值增大。

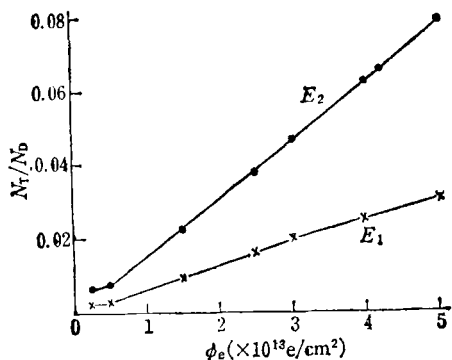


图2 E_1, E_2 能级密度与辐照剂量的关系

3. 缺陷能级的退火特性

- (1) E_3 能级在 200°C 退火 30 分钟后基本消失。
- (2) 在退火过程中会产生新的缺陷能级 H_3, H_4 和 H_5 , 其能级位置分别为 $(E_v + 0.27), (E_v + 0.42)$ 和 $(E_v + 0.49)$ eV, 它们的俘获截面均小于 10^{-15} cm^2 。图 3 为 $3 \times 10^{13} \text{ e/cm}^2$ 电子辐照再经 200 °C 退火 30 分钟后的 DLTS 图。

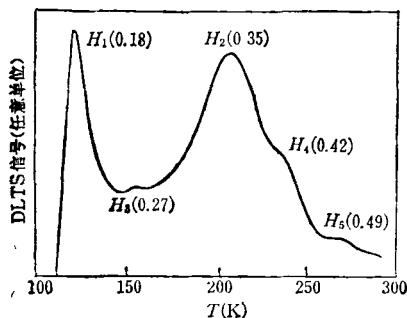


图3 200°C退火后的少子陷阱能级图

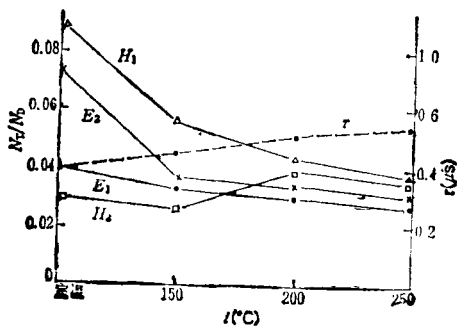


图4 等时退火曲线

(3) E_1, E_2, H_1, H_2 缺陷能级密度随退火温度变化如图 4 所示。可以看到, E_2, H_1 经 150°C 退火, 能级密度下降较快, E_1 和 H_2 能级在室温至 250°C 范围内, 密度减少不多。在 150—250°C 退火范围内, E_1 与 E_2, H_1 与 H_2 缺陷能级密度趋于接近, 似乎处于相互平衡状态。

以上事实还表明, 室温条件下辐照形成的缺陷受温度升高的影响会释放出空位等, 造成某些缺陷的解体, 或者空位与其他缺陷、杂质原子等进一步作用, 形成新的缺陷。

4. 少子寿命随退火温度的变化

退火后少子寿命稍有回升。图 4 中的样品起始寿命为 $8 \mu\text{s}$, 在 $3 \times 10^{13} \text{ e/cm}^2$ 剂量辐照后寿命下降到 $0.4 \mu\text{s}$, 再经 250°C 左右退火回升到 $0.56 \mu\text{s}$ 。样品进一步在 200°C 贮存 240 小时并电老化, 少子寿命仍然保持 $0.56 \mu\text{s}$ 左右, 测得 E_1, E_2 的密度也变化不大。可见, 用 12MeV 电子辐照, 只要经过适当温度退火 30 分钟后 (如 250°C), 辐照器件的寿命参数基本稳定。

5. 12MeV 电子辐照的辐照损伤系数

如果辐照前后样品的寿命为 τ_0 和 τ , 辐照损伤系数 K 等于 $(1/\tau - 1/\tau_0)/\phi_e$ 。用 12MeV 电子辐照可获得较大的 K 值, 并能较高效率地在硅中引入复合中心。实验得出 12MeV 电子辐照的 K 值为 $10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$ 左右, 比 1MeV 电子辐照高两个数量级。辐照是在器件封装后进行的, 可见 12MeV 电子很适合于封装器件的辐照。

蒋永兴、陆用义、朱以璋、王元林和冯文荃等参加了辐照工作。

参 考 文 献

- [1] R. O. Carlson, Y. S. Sun, H. B. Assalit, *IEEE Trans. Electron Devices*, ED-24-8(1977), 1103.
- [2] L. C. Kimerling, *IEEE Trans. Nuclear Science*, NS-23-6(1976), 1497.
- [3] A. O. Ewwaraye, Edmund Sun, *J. Appl. Phys.*, 47-9(1976), 3776.
- [4] A. O. Ewwaraye, B. J. Baliga, *J. Electro Chem. Soc.*, 124-6(1977), 913.
- [5] S. D. Brotherton, P. Brodley, *J. Appl. Phys.*, 53-8(1982), 5720.