

用 DLTS 研究注氧硅中深中心缺陷

张玉峰 张丽珠 吴书祥 杜永昌

(北京大学物理系)

1981年10月22日收到

近年来,离子注入在半导体中产生的缺陷及其退火行为被广泛地研究,DLTS 技术提供了一个高灵敏度测量低浓度深中心缺陷的方法^[1,2]。本文用 DLTS 技术测量了注氧硅中缺陷的热退火和 CW-CO₂ 激光退火行为。

一、样品制备

样品采用 N-型硅外延片,外延层厚度 10 μ m,电阻率 $\sim 1\Omega \cdot \text{cm}$,室温下注氧,能量是 200keV 剂量为 $\sim 10^{12}/\text{cm}^2$,每片样品的 4/5 注氧,1/5 不注氧以作比较。注入后的样品经过常规清洗之后一部分留作 CW-CO₂ 激光退火,一部分在氮气保护下进行热退火。热退火范围从 450 $^{\circ}$ —850 $^{\circ}$ C,每 50 $^{\circ}$ C 一个阶梯,共有八个热退火温度点,每个温度点的时间都是 15 分钟,退火后用真空镀膜技术作成铝-硅肖脱基二极管和用化学淀积的方法作成金-硅肖脱基二极管,管心直径为 600 μ m,背面烧结金铟片以作欧姆接触。

CW CO₂ 激光器波长是 10.6 μ m,通过一焦距为 20cm 的锗透镜调节光束直径来调节激光功率密度。在自然气氛中用三种方式进行激光退火,(a)正面辐照 30 秒,功率密度 $\sim 500\text{W}/\text{cm}^2$,光束直径 $\phi = 3\text{mm}$ 。(b)背面以 1.4cm/分的速率扫描辐照,功率密度 $\sim 500\text{W}/\text{cm}^2$,光束直径 $\phi = 3\text{mm}$,交叠区为 1/3。(c)不聚焦背辐照一分钟,功率密度 80 W/cm²。激光退火后制成和前述相同的肖特基管进行测量。

二、测试结果

在 450 $^{\circ}$ C 热退火后观察到了七个深中心缺陷能级,DLTS 输出如图 1(a)所示。这七个深中心能级在禁带中的位置列于表 1。利用热发射率 e_s 对温度 T 的依赖关系,作

表 1 450 $^{\circ}$ C 热退火后注氧硅中缺陷能级和俘获截面

	能级在禁带中的位置 (eV)	俘获截面 ($\times 10^{-17}\text{cm}^2$)
E_{T1}	$E_c - 0.17$	~ 1.8
E_{T2}	$E_c - 0.21$	~ 1.9
E_{T3}	$E_c - 0.23$	~ 1
E_{T4}	$E_c - 0.25$	~ 1.1
E_{T5}	$E_c - 0.28$	~ 1.4
E_{T6}	$E_c - 0.40$	~ 1.5
E_{T7}	$E_c - 0.53$	~ 1.2

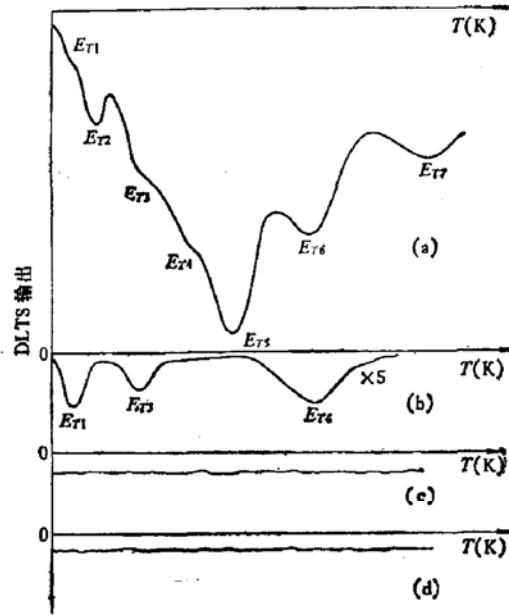


图 1 硅中注氧样品的 DLTS 输出

(a) 450°C 热退火后的 DLTS 输出 (b) 600°C 热退火后的 DLTS 输出 (c) 700°C 热退火后的 DLTS 输出 (d) CWCO₂ 激光退火后的 DLTS 输出 (激光能量密度 80 W/cm², 背面辐照一分钟) 偏压 -1.5V 脉冲幅度 1.5V 脉冲宽度 10μs t₁ = 1ms t₂ = 10ms

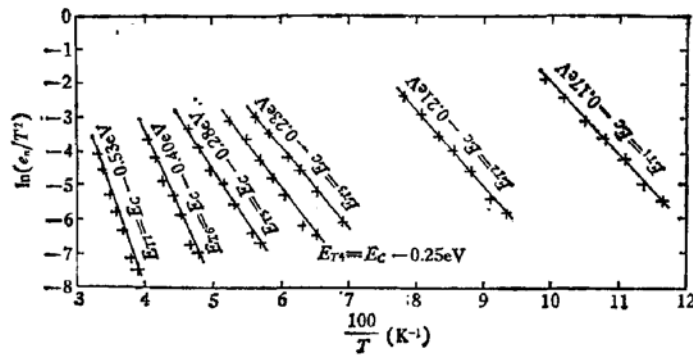


图 2 $\ln [e_n/T^2]$ 作为 $\frac{1000}{T}$ 的函数图

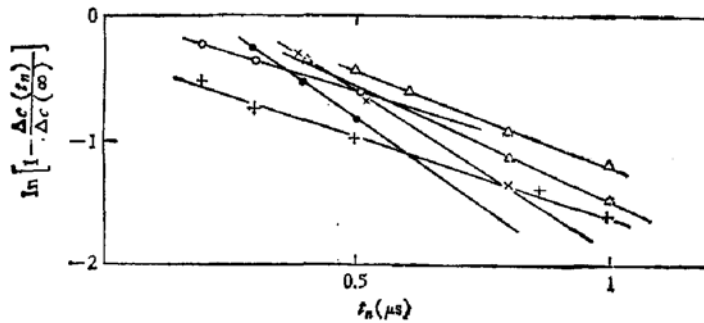


图 3 $\ln \left[1 - \frac{\Delta C(t_n)}{\Delta C(\infty)} \right]$ 作为 t_n 的函数图

○ E_{T1}, + E_{T2}, ● E_{T4}, △ E_{T3}, × E_{T6}, ▲ E_{T7}

$\ln(c_n/T^2)$ 对 $1/T$ 的曲线, 由斜率则可求出这七个深中心在禁带中的位置, 如图 2 所示. 在 600°C 热退火后仅观察到 E_{T1} 、 E_{T3} 、 E_{T6} 三个能级, 并且浓度大大降低, 其 DLTS 输出如图 1(b) 所示. 700°C 热退火后缺陷全部消除, DLTS 输出如图 1(c) 所示.

作 $\ln\left[1 - \frac{\Delta C(t_n)}{\Delta C(\infty)}\right]$ 对 t_n 的曲线由斜率就可以求出俘获截面, 如图 3 所示. t_n 是注入脉冲的宽度, $\Delta C(t_n)$ 是注入脉冲宽度为 t_n 时的瞬态电容, $\Delta C(\infty)$ 是饱和注入时的瞬态电容. 七个缺陷能级的俘获截面列于表 1.

我们用改变注入脉冲幅度的方法测量了 450°C 热退火后缺陷的剖面分布如图 4 所示.

CWCO₂ 激光退火后的 DLTS 测量表明缺陷全部消除, 这表明前述三种方式的激光退火对缺陷的消除作用至少和 700°C 热退火相当, 并且没有产生新的缺陷.

三、讨论和结论

辐照缺陷的结构被认为和注入离子的种类无关而主要和产生的空位团有关^[2,4,5], 因此电子、中子辐照和不同种类的离子注入都可能产生同样结构的缺陷, 通过对缺陷退火行为的分析并和已经报道的数据进行比较可以确定缺陷的可能结构.

在电子辐照 N 型硅中^[6,7]和离子注入硅中^[8,9]都观察到了 $E_{T1} = E_c - 0.17\text{eV}$ 能级, 这个缺陷中心是众所周知的氢-空位对(通常称为 A 中心).

E_{T2} 在 600°C 热退火后消失, 这和磷注入 N 型硅^[2]观察到的 $E_c - 0.21\text{eV}$ 缺陷能级的退火行为十分相似, 文献 [2] 认为是较大的空位团. E_{T3} 和离子注入^[2]电子^[7]和中子^[10]辐照 N 型中观察到的 $E_c - 0.23\text{eV}$ 的缺陷能级是相同的, 文献 [7], [10] 认为这个缺陷和带两个负电荷的双空位有关. 但在我们的工作中, E_{T3} 在 600°C 退火后依然存在, 因而它可能是较大的空位团^[2]. $E_{T6} = E_c - 0.40\text{eV}$ 的退火行为和硅中注磷^[2]观察到的 $E_c - 0.39\text{eV}$ 和硅中注硒^[11]观察到的 $E_c - 0.41\text{eV}$ 能级的退火行为相似, 一般认为这个能级是由双空位在禁带中引起的^[6]. 也可能是双空位中心和磷空位中心的络合物^[4]. 在注铁的 N 型硅中^[12]和自注入硅中^[3]都观察到了和 E_{T4} 、 E_{T7} 相类似的能级, 这些能级在 500°C 退火后依然存在, 因而它们都可能是较大的空位团.

我们用 DLTS 研究了注氧硅中产生的缺陷的热退火和 CWCO₂ 激光退火行为, 测量了在不同退火条件下缺陷能级在禁带中的位置, 俘获截面和剖面分布, 在 450°C 热退火后观察到了七个电子陷阱, 在 600°C 退火后有三个缺陷能级消失, 700°C 热退火后没有测到缺陷能级. 三种方式进行 CWCO₂ 激光退火对缺陷的消除作用至少和 700°C 热退火相当.

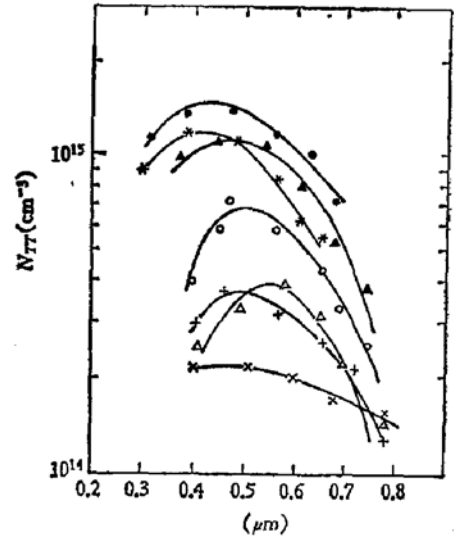


图 4 硅中注氧 450°C 热退后深中心缺陷的浓度剖面分布

× E_{T1} , + E_{T2} , Δ E_{T3} , ○ E_{T4} , ▲ E_{T5} , ● E_{T6} , * E_{T7} .

本工作承蒙秦国刚同志指导,北京师范大学王文勋在离子注入方面,中国科学院力学所李元恒同志在激光退火方面,晏懋洵、邢妙香、程秋立、常锦莲等同志在样品制作和测试方面都给了不少帮助,作者深表谢意。

参 考 文 献

- [1] D. V. Lang, *J. Appl. Phys.*, **45**, 3023 (1974).
- [2] J. Krgmicki and J. C. Bourgoin, *Appl. Phys.*, **18** 275 (1979).
- [3] K. L. Wang, *Appl. Phys. Lett.*, **29**, 700 (1976).
- [4] K. L. Wang, *Appl. Phys. Lett.*, **36**, 48 (1980).
- [5] C. T. Sah, *Semiconductor Silicon 1977*, ed. by H. R. Huff and Erhad (The Third International Symposium on Silicon Materials Science and Technology, Princeton 1977) Proc, **77-2**, p. 868.
- [6] J. W. Walker and C. T. Sah, *Phys. Rev.*, **B7**, 4589 (1973).
- [7] A. O. Ewaraye and E. Sum, *J. Appl. Phys.*, **47**, 3775 (1976).
- [8] A. Mitic et al., *Appl. Phys. Lett.*, **37**, 727 (1980).
- [9] J. H. Crawford and L. M. Slifkin, *Point Defects in Solids*, (Plenum London 1975) p. 324.
- [10] Yutaka Tokuda et al., *Jpn. J. Appl. Phys.*, **18**, 309 (1979).
- [11] F. Richou et al., *Appl. Phys. Lett.*, **31**, 525 (1971).
- [12] H. Hefevre and M. Schulz, *Appl. Phys.*, **18**, 35 (1979).

Study of Deep Level Defects in O⁺ Implanted Si by DLTS

Zhang Yufeng, Zhang Lizhu, Wu Shuxiang and Du Yongchang
(Department of Physics, Peking University)