

硅中离子注入层的红外瞬态退火及退火后 残留深能级缺陷的 DLTS 研究

范永平 罗晋生 周彩弟

(西安交通大学)

1985年7月11日收到

本文研究了硅中离子注入层的红外瞬态退火,证实了它与常规热退火具有相同的再结晶机理——固相外延再结晶过程。对于注 As^+ 和注 B^+ 样品的测试表明,红外瞬态退火具有电激活率高、缺陷消除彻底和注入杂质再分布小等优点。为了研究退火后残留深能级缺陷的电特性,对于离子注入 MOS 结构进行了 DLTS 测试。对于通过 920 \AA SiO_2 膜,注入剂量为 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ B^+ 、能量为 60 keV 的样品,经常规热退火和红外瞬态退火后分别测到了深能级 $E_T - E_V = 0.24 \pm 0.02 \text{ eV}$ 和 $E_T - E_V = 0.29 \pm 0.02 \text{ eV}$; 并对引入这些深能级的缺陷进行了讨论。

一、引言

近几年的研究表明,红外瞬态退火具有电激活率高、缺陷消除彻底和注入杂质再分布小等优点^[1,2,3]。红外瞬态退火实际上是样品中载流子吸收由石墨发出的红外线,在大约3秒内升温到 1000°C 左右,从而达到退火的目的。工作时辐照源温度为 1420 K ,辐照功率主要分布在 $1.5\text{--}3.0 \mu\text{m}$ 的红外区,峰值波长为 $2.0 \mu\text{m}$ 。在这种温度下通过 $10\text{--}40$ 秒的辐照就可以达到常规热退火 950°C 、 30 分钟的效果。

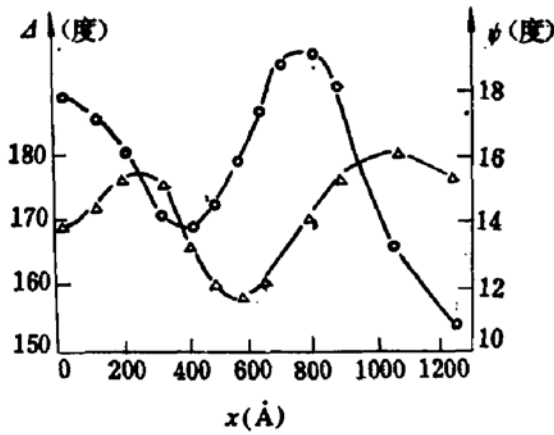
二、实验结果及讨论

1. 红外瞬态退火的固相外延再结晶机理

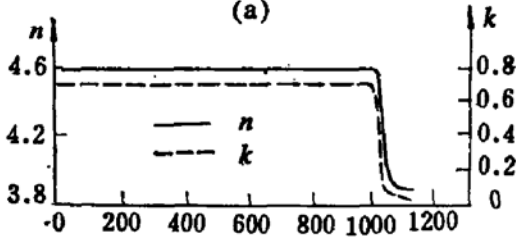
本文采用了计算离子注入层复折射率的分层媒质模型^[4],证实了离子注入非晶层的红外瞬态退火与常规热退火一样是固相外延再结晶过程。实验样品的材料是 $3\text{--}5 \Omega \cdot \text{cm}$ 的 P 型 $\langle 111 \rangle$ 单晶片, As^+ 注入能量为 150 keV , 剂量为 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$, 在室温下偏离 $\langle 111 \rangle$ 晶向 7° 注入。

图 1(a) 是通过阳极氧化剥层法用椭圆仪测得的注入层 ψ 和 Δ 随深度的变化,图 1(b) 是用分层媒质模型算出的折射率 n 和消光系数 K 随深度的变化;可以看出,对于以上注入条件所形成的非晶层厚度为 1000 \AA 。

将与以上注入条件相同的样品进行红外辐照,辐照源温度为 1050°C , 辐照时间为 20 秒,然后再用同样的方法测量 ψ 和 Δ 随深度的变化,结果如图 2(a)。图 2(b) 是算出的 n 和 K 随深度的分布;显然,与未辐照样品相比,辐照样品的 ψ 和 Δ 分布曲线向表面平移

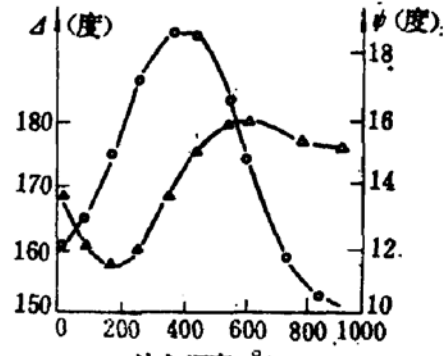


(a)

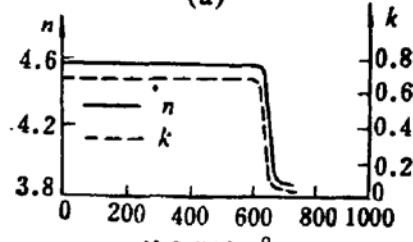


(b)

图 1(a) 未退火样品的 ϕ 、 Δ 随深度的分布
(b) 未退火样品的 n 、 K 随注入深度的分布



(a)



(b)

图 2(a) 辐照样品的 ϕ 、 Δ 随深度的分布。
辐照条件 1050°C, 20 秒。
(b) 辐照样品的 n 、 K 随注入深度的分布。
辐照条件 1050°C, 20 秒。

了大约 400 Å, 而形状未变, 这与离子注入非晶层的固相外延再结晶模型完全一致。此外, 根据平移的距离可以得到在这种辐照条件下的固相外延速率大约为 20 Å/秒。

2. 退火后注入层的载流子浓度分布

对于注 As^+ 和注 B^+ 样品退火后注入层载流子浓度分布的测量表明, 红外瞬态退火样品中杂质的再分布要比常规热退火的小得多。图 3 是 B^+ 注入样品退火后的载流子浓度分布。 B^+ 注入条件为 20 keV、 $3 \times 10^{14} cm^{-2}$, 通过 630 Å SiO_2 膜注入。红外瞬态退火是在 1150°C 源温下辐照 40 秒; 常规热退火是在 950°C 下恒温 30 分钟。可以看出红外瞬态退火样品中杂质的内扩展只是常规热退火样品的一半, 而且, 霍尔测量表明, 两种情况下注入杂质的激活率都在 95% 左右。

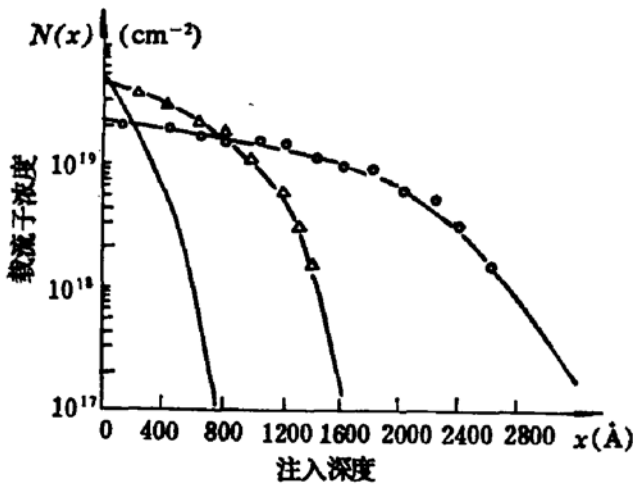


图 3 退火后注入层的载流子浓度分布。 B^+ 注入条件为 20keV、 $3 \times 10^{14} cm^{-2}$, 通过 630 Å SiO_2 注入。红外瞬态退火条件为 1150°C、40 秒; 常规热退火条件为 950°C、30 分钟。

3. 退火后残留深能级缺陷的 DLTS 测试

本实验是用 NJ. M. DLTS 仪进行

的,样品采用 B^+ 注入 MOS 结构,衬底是 $3\sim 5 \Omega \cdot \text{cm}$ 的 P 型 $\langle 100 \rangle$ 硅片。实验中为了减小界面态的影响,一般选取 V_r 使 $C(V_r) = C_{\min}$, 而 V_p 的选取则要求硅表面仍处于耗尽状态。

表 1 退火后样品中的深能级参数

退火条件	$E_T - E_V(\text{eV})$	$\sigma_p(\text{cm}^2)$
常规热退火	0.24 ± 0.02	6×10^{-19}
红外瞬态退火	0.29 ± 0.02	1.3×10^{-18}

对于通过 930 \AA SiO_2 膜,注入剂量为 $10^{12} \text{ cm}^{-2} B^+$, 能量为 60 keV 的样品,经 950°C 、30 分钟常规热退火和 1150°C 、40 秒红外瞬态退火后分别测到了一个深能级,如表 1。目前,对于离子注入硅中经 600°C 以上退火后残留电活性缺陷的报道很少。文献 [5, 6] 指出,双空位、三空位、平面型和非平面型四空位经过大约 250°C 退火即可消失;只有含有六个空位以上的团状结构在 350°C 才出现, 500°C 时浓度最大,经 550°C 退火后消失。因此我们认为在高温退火过程中由离子注入所引入的硅空位、硅和注入杂质的间隙原子以及这些简单缺陷的络合物发生了相互作用,形成了更为复杂的缺陷,在禁带中引入了深能级。至于经常规热退火和红外瞬态退火后能级位置有差别可能是因为两种退火过程中所形成的这种复杂缺陷的结构有所不同。

三、结 论

实验证明红外瞬态退火与传统的热退火相比,最引人注目的优点是注入杂质的再分布小,而且它的电激活率和缺陷消除能力也都达到或超过了常规热退火的水平。从外延机理上来讲,红外瞬态退火和常规热退火一样都属于固相外延再结晶过程。DLTS 研究表明,经过两种退火后都有一残留深能级缺陷存在,但两者的能级位置不同,这说明两种退火过程中所引入的复杂缺陷的结构有所不同,因此可以说红外瞬态退火和常规热退火从微观过程上来说还是有所差别的。

参 考 文 献

- [1] D. F. Downey, C. J. Russo, and J. T. White *Solid State Technology*, September 87, (1982).
- [2] R. T. Fuchs, C. J. Russo, P. R. Hanley, and T. I. Kamins, *Appl. Phys. Lett.*, **39**, 604(1981).
- [3] 侯东彦,钱佩信,李志坚,半导体学报, **4**, 579, (1983).
- [4] 罗晋生,陈敏麒,西安交通大学报,第二、三期, (1981).
- [5] J. Krynicki and J. C. Bourgoin, *Appl. Phys.*, **18**, 275(1979).
- [6] *Radiation Effects in Semiconductor*, (1976). Edited by N. B. Urli and J. W. Corbett.

Transient Annealing of Ion Implanted Si and DLTS Study of Residual Defects

Fan Yongping, Luo Jinsheng and Zhou Caidi
(*Xi'an Jiaotong University*)

Abstract

Transient annealing with a heated graphite stripe has been studied. Solid-phase epitaxial recrystallization of ion implantation induced amorphous layer in Si has been proved by layer stripping ellipsometric method. The experimental results show that the electrical activation is comparable to or better than that obtained by conventional furnace annealing, but with negligible redistribution of implanted impurities. DLTS measurements have been performed on low dose B⁺-implanted MOS structures. For dose of $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$, annealing at 950°C for 30 minutes with conventional furnace and annealing with a heated graphite stripe, one deep level for each annealing process has been found. The possible assignments for these deep-levels are also discussed.