

研究简报

GaAs 中子嬗变掺杂的初步研究

莫培根 李寿春

(中国科学院上海冶金研究所)

李跃鑫 高集金 李石岭

(中国科学院原子能研究所)

1984年1月26日收到

采用未掺杂的 GaAs 晶体进行了中子嬗变掺杂试验。热退火处理能有效地消除辐照引入的晶格损伤。辐照后的晶体经 800℃ 在氢气气氛下处理 2.5 小时, 掺杂浓度与预期掺杂量接近。采用电化学 C-V 法测定掺杂均匀性, 结果表明掺杂浓度的相对标准偏差小于 5%。

一、引 言

Si 的中子嬗变掺杂 (NTD) 技术已确立多年。实践证明 NTD-Si 的电阻率均匀性大为提高, 满足了器件工艺的要求。Ga 和 As 的中子反应截面较大, 它的掺杂系数比 Si 约高一千倍, 而且辐照产生的放射性的半衰期也短(最长 27 小时)。按照核反应, 嬗变后的杂质为 Ge 及 Se, 为 n 型掺杂。对 GaAs 的 NTD 的研究自七十年代初 Мирианашвили 等^[1]报道后, 中断了多年, 直到七十年代末, 人们又重新对它进行研究^[2-4]。

不论水平法或 LEC 法生长的掺杂 GaAs 晶体, 由于杂质的分凝, 以及温场的起伏及不对称, 导致杂质的不均匀分布。即使掺入分配系数接近于 1 的杂质, 其微区不均匀性也难以克服。而 NTD 技术的主要优点是掺杂均匀性良好, 而且重掺杂材料不会有沉淀物, 它无疑是提高掺杂晶体质量的有效途径。

二、实 验

实验用的试样为未掺杂的水平法生长的 GaAs 晶体。在中国科学院原子能研究所轻水堆中辐照, 辐照温度 ~40℃; 热中子与快中子之比为 20; 经 22 小时辐照, 热中子积分通量(Φ)为 $3 \times 10^{18} \text{cm}^{-2}$, 预期掺杂浓度为 $5.1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ (按 0.17Φ 计算)。试样在堆内“聚存冷却”以消除体内放射性, 至规定水平后取出。

辐照后晶体的 ρ 在 $10^8 \Omega\text{-cm}$ 以上, 在氢气气氛下进行不同温度和时间的热退火, 以消除辐照引起的晶格损伤。试样无保护膜包裹, 表面用高纯石英片覆盖。

退火后的试样用 Hall 法测定电学参数, 个别试样还进行了电化学 C-V 法测定载流子浓度 (n) 分布和 77K 的光荧光谱线测定。

三、结果及讨论

图 1 为 400—800°C、半小时退火的 ρ 与退火温度 (T_a) 的关系。图中并画出 Mueller 等^[3]的结果。在 500—600°C 间退火的试样的 ρ 陡然下降, 从 10^7 降至 $10^{-2}\Omega\cdot\text{cm}$, 与 Mueller 等的结果相符合, 表明晶格损伤已大部份消除。温度再升高, ρ 趋于不变。

图 2 为 400—800°C、半小时退火的 n 、 μ (电子迁移率) 与 T_a 的关系。在 600—800°C 之间, n 随温度的升高而增加, 表明掺杂原子逐渐激活, 但尚未达预期掺杂量。 μ 与 T_a 的关系与 n 的变化相似, 随温度升高而增加。这意味着虽然 n 增加, 但由于晶格损伤的消除, 减弱了晶格散射的影响。

图 3 为 800°C 下的退火时间与 n 、 μ 的关系。似乎表明 n 与 μ 随退火时间的变化存在两个阶段。在两小时以前变化平缓, n 为 $2.9\text{--}3.3 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$, μ 为 $3090\text{--}3340\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 。但 2 小时后出现转折变化, n 上升至

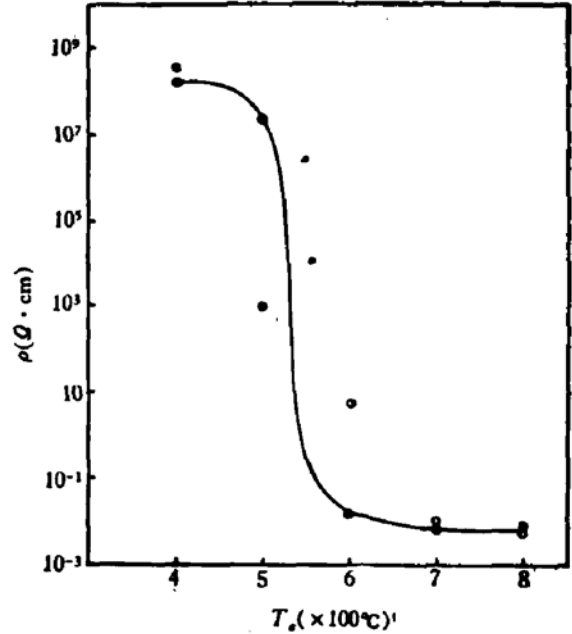


图 1 辐照后, 退火半小时的试样的 ρ 与 T_a 的关系

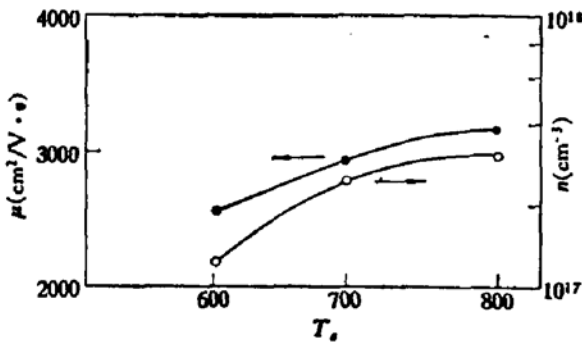


图 2 辐照后, 退火半小时的试样的 n 、 μ 与 T_a 的关系

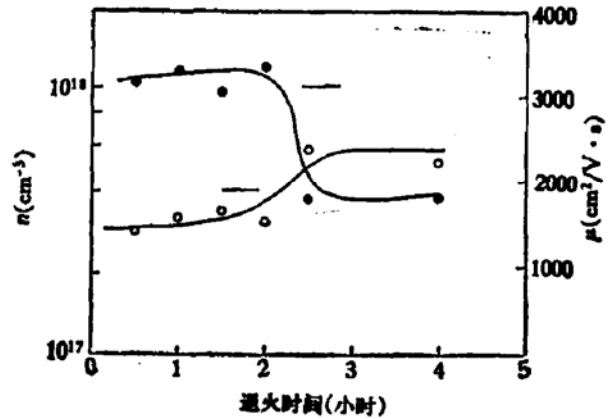


图 3 辐照后, 800°C 退火的试样的 n 、 μ 与退火时间的关系

$5.5 \pm 0.25 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$, 与预期掺杂量接近, 而 μ 则下降至 $1820\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 。这结果与 Greene^[2] 报道的相近, 但与 Mueller 等及 Vesaghi^[4] 的结果都不相同。后两者没有出现此现象。

嬗变掺杂量与理论计算接近, 可以认为 Ge 和 Se 分别是只占 Ga 位的 Ge_{Ga} 和只占 As 位的 Se_{As} 的离化施主。对 μ 似应只考虑杂质散射的影响, 然而测定的 μ 值都偏低。由于试样是未掺杂的晶体, 很难用其它杂质散射来解释。是否由于退火工艺的不同而引起热缺陷组态的变化, 有待深入研究。

光荧光测试结果表明,辐照后试样不出现光荧光峰,600°C 退火的也不明显,800°C、2.5 小时退火的出现 1.560 eV 峰及 ~ 1.473 eV 和 ~ 1.390 eV 的很宽的辐射带。这结果与 Kressel 等^[1]报道的掺 Ge 的 GaAs 大致相同。这意味着晶体的特性已恢复到一般掺杂晶体。

用电化学 C-V 法测定 850°C、半小时退火后试样的 n 分布,以考察其均匀性,测得 n 的相对标准偏差为 4.6%,比 HB 法的掺 Si 晶体的均匀性^[6]有所改善,表明 NTD 技术对提高 GaAs 掺杂均匀性是有利的。

四、小 结

辐照后的试样,经 600°C、半小时退火后,晶格损伤大部份消除,嬗变原子开始激活。退火温度在 800°C、时间 2.5 小时以上,嬗变掺杂浓度与理论预期值接近,但迁移率有所下降,其原因有待探明。

应用 NTD 技术,对提高 GaAs 掺杂的均匀性是有效的。

参 考 文 献

- [1] Ш. М. Мирянашвили, Д. И. Нанобашвили, *Физ. Тех. Полупров.*, 4, 1879 (1970).
- [2] P. D. Greene, *Solid State Communication*, 32, 325 (1979).
- [3] J. E. Mueller, W. Kellner, H. Kriepkamp, E. W. Hass and G. Fisher, *J. Appl. Phys.*, 51, 3178 (1980).
- [4] M. A. Vesaghi, *Phys. Rev. B*25, 5436 (1982).
- [5] H. Kressel, F. Z. Hawrylo and P. Lefur, *J. Appl. Phys.*, 39, 4059 (1968).
- [6] 莫培根,杨林宝,稀有金属, No. 2, 34(1982).

Preliminary Study on the Doping of GaAs by Neutron Transmutation

Mo Peigen, Li Shouchun,

(Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica)

Li Yuexin, Gao Jijin and Li Shiling

(Institute of Atomic Energy, Academia Sinica)

Abstract

Undoped GaAs crystals have been irradiated with thermal neutrons to introduce shallow donors. The irradiation-induced damages can be removed effectively by thermal annealing. In this process, the expected doping level ($\sim 5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) can be obtained with the integral neutron flux $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-2}$, after annealing at 800°C in H_2 ambient for 2.5 h. The homogeneity of the doping of the wafers is determined by the electrochemical C-V technique. The results show that the relative standard deviation of the doping concentration is lower than 5%.