

InP 中的 Be、P 共注入及其退火特性研究

张永刚 富小妹 潘慧珍

(中国科学院上海冶金研究所, 上海)

1988年5月21日收到

本文对 InP 中的 Be 单注入和 Be、P 共注入及其退火特性进行了比较。SIMS 和电化学 C-V 测试结果表明：采用 Be、P 共注入可以抑制退火过程中的 Be 扩散再分布，提高载流子的激活率，改善 Pn 结的电特性。与单注入相比，共注入样品 Be 的激活率提高了近一倍。pn 结的击穿电压提高，漏电流明显减小。文中对共注入改善退火特性的机理进行了讨论。

主题词： 离子注入，热退火，铍，磷，化合物半导体

一、引言

InP 系材料具有较高的电子迁移速度和良好的光电性能，在高速电子器件和光电器件方面有广泛的作用，特别适合于长波长光电子集成电路的制作，是近年来研究的重点。

在器件制作过程中，需要对材料进行掺杂，常采用的方法是掺杂外延，扩散和离子注入。用离子注入法进行掺杂具有可控性强、重复性好、有利于局部选择掺杂等优点，已得到广泛应用。对 InP 系材料，Be 由于其质量小，具有注入损伤小，射程可控范围大，电激活率高等特点，是最有效的 P 型离子注入掺杂剂。

人们对 InP 系材料中的 Be 离子注入已进行了研究^[1-3]，但还存在一些问题。这是由于：一方面 InP 系材料的热分解温度较低，(如 InP 的热分解温度低于 500℃)，不能采用高温长时间的退火，这不利于注入损伤的恢复。另一方面，Be 有较高的热扩散系数，退火过程中往往伴有较严重的内扩散再分布，不利于精确控制结深和制作浅结器件。现在常采用快速热退火(RTA)来解决这些问题^[4,5]，但需要一定的设备条件。选用合适的离子进行共注入也可改善退火性能^[6]。本文报道了对 InP 采用 Be、P 共注入以改善其热退火性能的研究结果。

二、实验方法

实验中采用的材料为 LEC 生长的非掺杂 InP 单晶，晶向为 [100]，载流子浓度 $n = 1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ，迁移率 $3850 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ 。为便于比较，制作了 Be 单注入和 Be、P 共注入两种样品。先进行 Be 注入，条件为 50 keV， $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ ，(采用较高的剂量主要是为了提高 SIMS 测试的灵敏度)，然后在同一样品上切下一半加注 P，条件为 160 keV， $2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 。

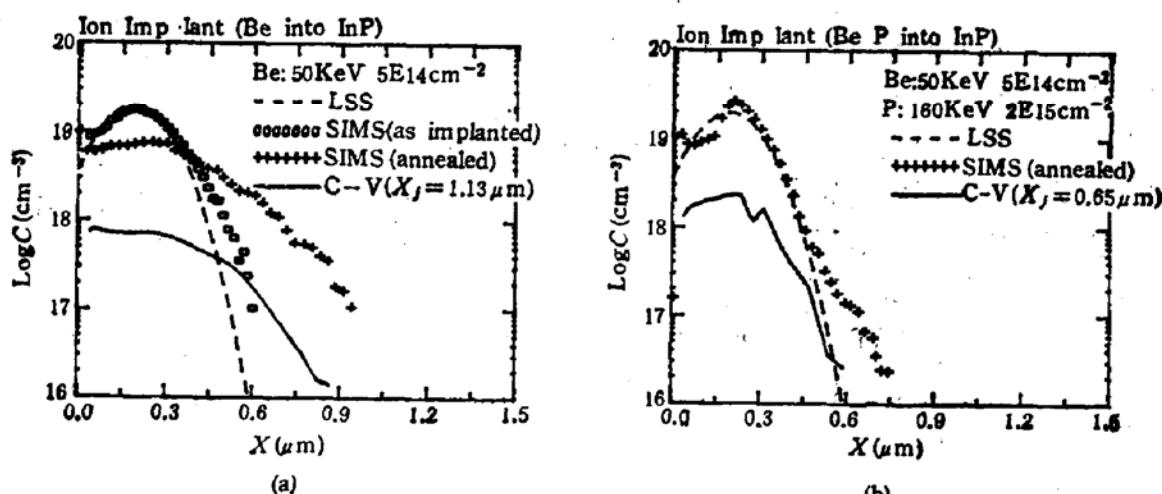
注入后的样品用 PECVD Si_3N_4 进行包封, 厚约 3000\AA , 然后在 N_2 气氛中进行退火, 条件为 $650^\circ\text{C}, 15\text{min}$.

样品退火前后进行了 SIMS 测试以确定 Be 原子在 InP 中的深度分布及其变化情况。退火后的样品进行了电化学 C-V 测试以确定载流子的深度分布及其激活情况。最后在样品的正面和背面分别制作 AuZn 和 AuGeNi 欧姆接触电极, 腐蚀出台面后进行 pn 结的 I-V 特性测试。

三、实验结果与讨论

单注入和共注入样品中退火前后的 Be 原子分布及退火后的载流子分布如图 1 所示, 图中亦示出了 LSS 计算值。(共注入样品中退火前的 Be 原子分布与单注入基本相同, 故未画出)。由图可见, 退火前的 Be 原子基本上符合 LSS 分布, 但在低浓度区域的误差较大, 估计是由于 SIMS 测试的灵敏度较低引起的。

对于 Be 单注入的样品, 退火后 Be 原子的分布发生了较大的变化。由图 1(a) 上可以看出, 峰值附近的浓度下降较多, 有较严重的扩散再分布, 这是退火过程中注入损伤引起的增强扩散和常规的热扩散共同作用的结果。由图 1(b) 可见, 对于 Be、P 共注入的样品, 扩散作用明显减弱, 峰值附近浓度基本无变化。从载流子的分布上看, 单注入样品的载流子浓度较低, 分布较宽, 最高浓度为 $7.8 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$, 结深约 $1.13\mu\text{m}$ 。共注入样品的载流子分布有明显改善, 浓度较高, 分布较窄, 最高浓度达 $2.3 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$, 结深约 $0.65\mu\text{m}$ 。从载流子的分布估算出单注入样品的 Be 激活率为 6.7%, 而共注入样品为 12.7%, 提高了近一倍。

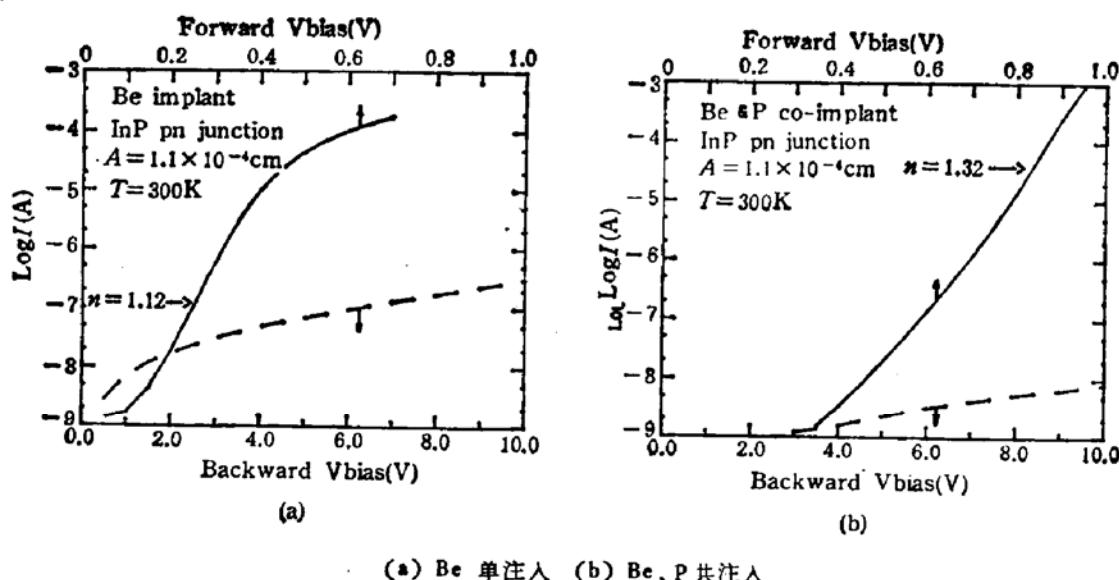


(a) Be 单注入 (b) Be、P 共注入
图 1 样品中的 Be 原子及载流子分布

我们认为, 共注入样品退火性能的改善与退火过程中注入损伤的恢复和载流子的激活机制有关。退火过程中注入损伤的恢复一般有两种机制: 一是当注入能量剂量较小、损伤较轻时, 晶体中只形成不连续的缺陷群, 此时只需在较低温度下退火即可使缺陷群分解并被吸收或湮灭, 从而使损伤恢复。另一是当注入能量剂量较大, 损伤严重时, 注入

区形成了非晶层, 此时依靠由晶体内部无损伤区域及表面的残余晶粒向非晶区的固相外延作用, 亦可在不太高的退火温度下使损伤得到恢复。在中等的能量剂量下, 损伤较严重但尚未形成非晶层, 以上两种机制都不能充分作用, 这时往往需要很高的退火温度才能使注入损伤充分恢复。对于 InP 中的 Be 注入, 由于 Be 的质量较小, 在我们所用的能量剂量下虽有较大损伤但尚未形成非晶层, 因此在 650°C 的退火温度下注入损伤未充分恢复, 使退火过程中的增强扩散作用加强, 产生了较严重的 Be 再分布。而加注较高能量剂量的 P 后, 形成了非晶层, 退火中损伤得到较快恢复, 从而抑制了增强扩散作用。此外, 加注 P 使得 InP 中的 P 空位减少, 这对 Be 的替位激活是有利的, 同时也抑制了沿 P 空位进行的扩散作用。以上这些与实验结果是相符的。

图 2 示出了单注入与共注入 pn 结的 $I-V$ 特性。从反向特性上看, 共注入样品的饱和电流要明显小于单注入样品。这说明共注入样品的注入损伤恢复较好, 结区由损伤引起的复合中心较少。共注入样品的击穿电压也较高, 为 35V, 而单注入样品只有 25V。共注入样品的正向理想因子要大于单注入样品, 估计是由于结较浅, 离表面电极较近所致。



(a) Be 单注入 (b) Be、P 共注入

图(2) InP Pn 结的 $I-V$ 特性

由于 InP 的热分解温度很低, 退火中采用适当的包封是必需的, 否则 P 挥发会严重影响表面质量。我们采用 PECVD Si_3N_4 进行包封, 在 650°C、15min 的退火条件下样品表面保持良好。在更高的温度下则需采取进一步措施。表面加注 P 对 InP 的分解也应有一定抑制作用。实验中亦采用 CVD SiO_2 进行了包封试验, 效果较差, 估计是由于 SiO_2 与 InP 间的热胀系数相差较大, 应力较大所致。

前述结果表明, 采用共注入可以改善注入后的退火特性, 使在较低的温度下注入损伤得到较快地恢复。一般共注入应选用在被注入材料中不具有电活性的, 质量较大的离子, 并采用较高的能量、剂量以使有充分的能量沉积。有关共注入离子的种类及注入能量剂量的优化有待作进一步研究。

四、结 论

1. 在 InP 中采用 Be、P 共注入可以降低退火温度, 抑制 Be 的扩散再分布, 提高激活率, 特别有利于浅结器件的制作。

2. 与 Be 单注入相比, Be、P 共注入使 Be 的激活率提高了近一倍, pn 结的击穿电压提高, 漏电流明显降低, 能够满足器件制作的要求。

感谢陈如意, 薛正留同志在离子注入和 SIMS 测试上给予的帮助。

参 考 文 献

- [1] W. J. Devlin, K. T. Ip, L. F. Eastman, G. H. Morrison and J. Comas, *Int. Symp. GaAs and Related Compound*, 1978, p. 510—518.
- [2] K. V. Vaidyanathan, H. L. Dunlap and C. L. Anderson, *Int. Symp. GaAs and Related Compound*, 1981, p. 395—399.
- [3] K. Tabatabaei, A. N. M. M. Choudhury, N. J. Slater and C. G. Fonstad, *Appl. Phys. Lett.*, 40(8), 517(1982).
- [4] B. Tell, R. F. Leheng, A. S. H. Liao, J. J. Bridges, E. G. Burkhardt, T. Y. Chany and E. D. Beebe, *Appl. Phys. Lett.*, 44(4), 438(1984).
- [5] N. J. Barnett, D. C. Bartle, N. Nichous and J. D. Grange, *Int. Symp. GaAs and Related Compound*, 1984, p. 77—82.
- [6] L. Vescan, J. Selders, M. Maier, H. Kräutle and H. Beneking, *J. Crystal Growth*, 67, 353(1984).

Study on Ion Co-Implantation of Be and P into InP and Its Annealing Behaviour

Zhang Yonggang, Fu Xiaomei and Pan Huizhen
(Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica, Shanghai)

Abstract

The comparison between Be single-implantation and Be, P co-implantation has been made. SIMS and electrochemical C-V measurement show that the indiffusion and redistribution during furnace annealing have been suppressed by co-implantation. This results in higher activation and better junction characteristics. Doubling in activation and an order of reduction in p-n junction's leakage current have been reached. The mechanism has been discussed.

KEY WORDS: Ion implantation, Thermal annealing, Beryllium, Phosphor, Compound semiconductor.