

通过 InGaAsP 外延层的 InP 深 Zn 扩散 理论与实验研究

肖德元 徐少华 郭康瑾

(中国科学院上海冶金研究所, 上海, 200050)

摘要: 研究了 Zn 在 InP、InGaAsP 以及 InGaAsP/InP 中的扩散, 扩散结深均与时间的平方根成正比. 对于 InGaAsP/InP 单异质结, 扩散结深还与 InGaAsP 覆盖层的厚度 x_0 有关. 推导出其结深与扩散时间的函数关系为 $x_j / \sqrt{t} = -x_0 / (r\sqrt{t}) + I$.

关键词: Zn 扩散, 两界面扩散模型, 光电子器件.

引言

InGaAsP/InP 异质结器件用于长波长光纤通信的最新进展, 引起我们对这种材料深 Zn 扩散的极大兴趣. 为制作 InP 系光电子器件, 人们经常采用在 InP 上生长 InGaAsP 四元材料做欧姆接触层, 这是因为 Zn 扩散的 P 型四元层的接触电阻比 Zn 扩散 InP 层要小得多^[1]. 大多数 InGaAsP/InP 异质结光电子器件的制作, 需要在 InGaAsP/InP 异质结之间进行多层扩散. 例如扩散条形激光器^[2]、高速发光二极管^[3]及平面异质结晶体管^[4]等. 尽管人们对 Zn 在 InGaAsP 或 InP 中的扩散已经进行了广泛深入的研究, 但由于 Zn 在 InGaAsP 中的扩散系数及溶解度不同于 InP, 因而对于 Zn 在 InGaAsP/InP 异质结之间的扩散还缺乏足够的了解. 本文研究 Zn 通过 InGaAsP 扩散进入 InP 的实验, 采用两界面扩散模型推导出扩散结深与时间和四元厚度之间的函数关系, 利用这一函数关系可以估计 Zn 在 InGaAsP/InP 双异质结中的扩散深度, 对于实际光电子器件的制作非常有用.

1 实验

本文使用的 InGaAsP/InP 异质结材料是采用液相外延 (LPE) 技术在 (100) 晶向 InP 衬底上外延生长的. 四元层的载流子浓度为 $2 \sim 5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, 其能带宽度 E_g 由光荧光谱测量. 生长厚度为 $0.2 \sim 0.4 \mu\text{m}$. InP、InGaAsP 以及 InGaAsP/InP 异质结的 Zn 扩散是采用石英管封闭形式, 在 650°C 温度下进行的, 这一温度介于 LPE 生长温度与扩散后

的器件制作工艺温度之间. 扩散结深 x_j 采用光学显微镜和扫描电镜在解理或磨角斜面上测得.

2 理论分析

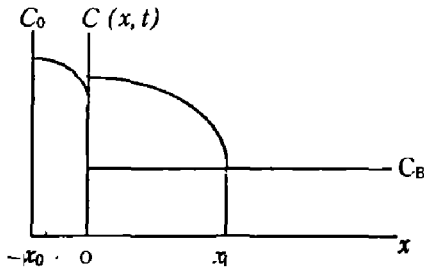


图1 Zn通过InGaAsP覆盖层扩散入InP层的杂质浓度分布示意图
Fig. 1 Schematic illustration of impurity distribution after the diffusion of Zn into InP through InGaAsP

我们采用 A. S. Grove 的两界面扩散模型来解释实验结果. 图 1 是两界面扩散模型载流子浓度分布示意图, 其中 x 轴代表深度, 其坐标原点选在 InGaAsP/InP 界面. 纵坐标为 Zn 通过厚度为 x_0 的四元覆盖层扩散进入 InP 中的浓度分布 $C(x, t)$, 由下式给出^[5]:

$$\frac{C(x, t)}{C_0} \approx \frac{2mr}{(m+r)} \operatorname{erfc} \left(\frac{x_0}{2\sqrt{D_0 t}} + \frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right). \quad (1)$$

式 (1) 中 $r = \sqrt{D_0/D}$ 为扩散速率比率, D_0 和 D 分别为 Zn 在 InGaAsP 及 InP 中的扩散系数; C_0 代表 InGaAsP 的恒定表面源浓度; 常数 m 为 Zn 在 InGaAsP/InP 界面的热分凝系数. 知道 Zn 通过

InGaAsP 覆盖层扩散进入 InP 中的深度对于器件的制作工艺是非常重要的. 由 $C(x, t)$ 等于 InP 背景掺杂浓度 C_B 可以确定结深 x_j , 即

$$C_B = \frac{C_0 2mr}{(m+r)} \operatorname{erfc} \left(\frac{x_0}{2\sqrt{D_0 t}} + \frac{x_j}{2\sqrt{Dt}} \right), \quad (2)$$

由式 (2) 推得

$$\frac{x_j}{\sqrt{t}} = \frac{-x_0}{(r\sqrt{t})} + I, \quad (3)$$

式 (3) 中

$$I = 2\sqrt{D} \operatorname{arg} \left\{ \operatorname{erfc} \left[\frac{(m+r)C_B}{(2mrC_0)} \right] \right\}. \quad (4)$$

3 实验结果

图 2 表明 Zn 在 InGaAsP 及 InP 中扩散结深 x_j 均与扩散时间 t 的平方根成正比, 且 Zn 在 InP 中的扩散速率比在 InGaAsP 中快, 由图 2 很容易计算得到扩散速率比率 r 为 0.6.

Zn 通过 InGaAsP/InP 单异质结扩散的实验结果由图 3 给出, 实验数据与式 (3) 所表达的直线符合得比较好, 式 (3) 可以改写为

$$x_j = At^{1/2} - Bx_0. \quad (5)$$

这里 $A = 10.0 \mu\text{m}/\text{h}$, $B = 1.67$ 是 r 的倒数.

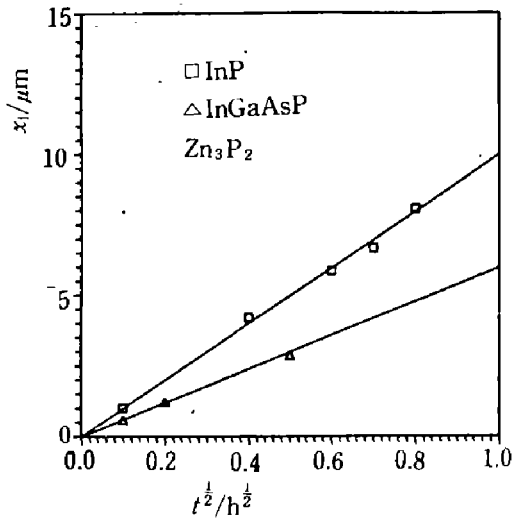


图 2 650℃时 Zn 分别扩散入 InP 及 InGaAsP 层的扩散结深 x_j 与时间 t 的平方根关系
 Fig. 2 Junction depth vs diffusion time ($t^{1/2}$) for Zn diffusion into InP and InGaAsP at 650℃

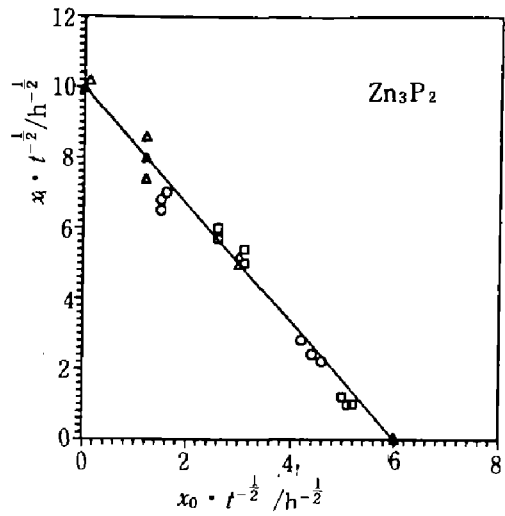


图 3 650℃时 Zn 通过 InGaAsP 覆盖层扩散入 InP 层的实验结果
 (三种符号 Δ 、 \circ 、 \square 代表三次实验)
 Fig. 3 Diffusion of Zn into InP through InGaAsP at 650℃

对于扩穿 InP 层的深 Zn 扩散, 由本文给出的函数关系还无法准确给出其扩散结深, 必须采用更复杂的数值模拟. 但是, 它可以判别在给定的时间里, 扩散是否穿过 InP 进入双异质结, 而这对于实际器件的制作是极其重要的.

4 结论

本文研究了 Zn 在 InP、InGaAsP 以及 InGaAsP/InP 中的扩散, 扩散结深 x_j 与时间 t 的平方根成正比. 对于 InGaAsP/InP 单异质结, 扩散结深还与 InGaAsP 覆盖层的厚度 x_0 有关. 推导出的函数关系 $x_j / \sqrt{t} = -x_0 / (r\sqrt{t}) + I$ 对于研制 Zn 扩散异质结光电子器件是很有意义的.

参 考 文 献

- 1 Van Gorp G J et al. *J. Appl. Phys.*, 1988, **64**(7): 3468
- 2 Yamamoto T et al. *IEEE J. Quantum Elctron.*, 1978, **QE-14**: 95
- 3 Suzuki A et al. *Electronics Letters*, 1984, **20**(7): 273
- 4 Kroemer H. *Proc. IEEE*, 1982, **13**: 70
- 5 Grove A S. *Physics and Technology of Semiconductor Devices*, New York: John Wiley and Sons, Inc., 1968: 75

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF DIFFUSION OF Zn INTO InP THROUGH InGaAsP

Xiao Deyuan, Xu Shaohua, Guo Kangjin

(Shanghai Institute of Metallurgy, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050, China)

Abstract: Diffusion of Zn into InP, InGaAsP and InGaAsP/InP single heterostructures has been studied. The depth of the diffusion front is found to be proportional to the square root of the diffusion time. For single heterostructures the junction depth is dependent on the InGaAsP epilayer thickness x_0 , i.e. $x_j/\sqrt{t} = -x_0/(r\sqrt{t}) + I$, which is very useful in the fabrication of many electronic and optoelectronic devices where heterostructures are used and Zn diffusion is necessary.

Key words: Zn diffusion, two-boundary diffusion model, optoelectronic devices.