

Zn、Zn-Cd 在 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 中扩散的研究*

张桂成 杨易

(中国科学院上海冶金研究所)

提 要

本文利用 ZnAs_2 、 $\text{ZnAs}_2 + \text{Cd}$ 作扩散源,研究了 Zn、Zn-Cd 在 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 中的扩散. 给出了扩散温度和扩散时间,扩散源的种类和材料的组份对 $x_j - \sqrt{t}$ 关系的影响,Zn 在 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 中的扩散速度 (x_j/t) 较 Zn-Cd 在 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 中的快. 在 500°C — 600°C , Zn 在 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 的表面浓度为 1×10^{19} — $2 \times 10^{20}\text{cm}^{-3}$. Zn 在 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 中的表面浓度较在 InP 中的高. 利用 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 作 $1.3\mu\text{m}$ 发光管的接触层可使接触电阻降低.

一、引 言

$\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 材料的禁带宽度随着组份的变化而相应地改变,它适合于作 0.85 — $3.44\mu\text{m}$ 光电器件的材料. 含 In53% 的 n -InGaAs 属直接带隙的半导体材料,

$$E_g = 0.75\text{eV},$$

用它可制作高性能的生长结二极管和 APD^[1], 在 $1.3\mu\text{m}$ 和 $1.55\mu\text{m}$ 低损耗, 低色散光纤通信系统中可作探测器件. p - $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 也可作 InGaAsP/InP 双异质结构材料的接触层, 对降低串联电阻有明显作用^[2].

Zn 在 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 中扩散是制作光电二极管^[3], 雪崩管和 FET 器件的重要工艺, 本文分别用 ZnAs_2 , $\text{ZnAs}_2 + \text{Cd}$ 作扩散源, 研究了 $x_j - \sqrt{t}$ 关系和影响它的因素.

二、实验方法

采用在 n -InP 衬底上液相外延生长的 n - $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 外延片作扩散样品, 外延层参数为 $x = 0.53$, 电子浓度分别为 1.4×10^{14} , 5 — 7×10^{15} 和 1 — $2 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$, 外延层厚度在 2 — $13\mu\text{m}$ 范围内. 分别用 ZnAs_2 , $\text{ZnAs}_2 + \text{Cd}(2:1)$ 作杂质扩散源, 将样品和扩散源分别置于能抽真空的石英管中, 在 3 — $5 \times 10^{-3}\text{mmHg}$ 真空度下封管, 将封闭的石英管放在扩散炉的恒温区中进行扩散, 扩散完成后迅速冷却源的尾端. 扩散样品解理后用铁氰化钾溶液腐蚀显结, 在显微镜下观察结深. 用范德堡法和电化学 C-V 法测量浓度.

* 1985年2月26日收到, 1985年7月30日修改定稿.

三、实验结果

1. $x_j - \sqrt{t}$ 关系

图 1 是用 ZnAs_2 作扩散源时, 分别在 500° , 550° , 600° 和 640°C 进行扩散时的结深 (x_j) 与扩散时间方根 (\sqrt{t}) 的关系. 从图 1 可见, 在同一扩散温度下, $x_j - \sqrt{t}$ 有较好的线性关系, 表明 Zn 向 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 中扩散时服从费克定律. 在同一扩散时间内, x_j 随扩散温度 (T) 的增高而增大.

图 2 是扩散 $p-n$ 结前沿的扫描电镜照片, 从图可见, $p-n$ 结前沿光洁平坦.

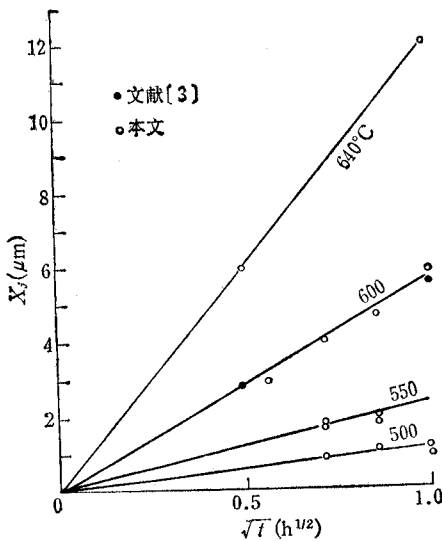


图 1 Zn 向 InGaAs 中扩散时的 $x_j - \sqrt{t}$ 关系

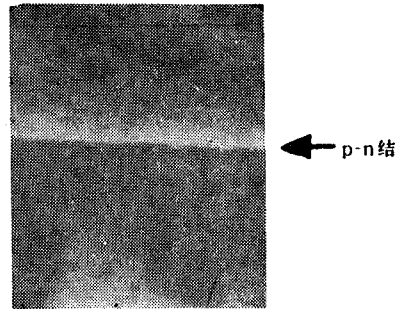


图 2 扩散 $p-n$ 结前沿 ($\times 10000$)

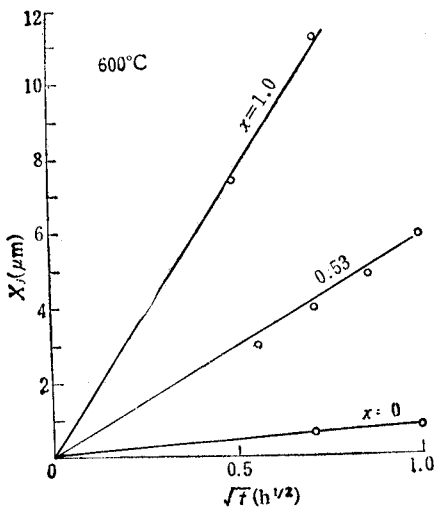


图 3 x 值对 $x_j - \sqrt{t}$ 关系的影响

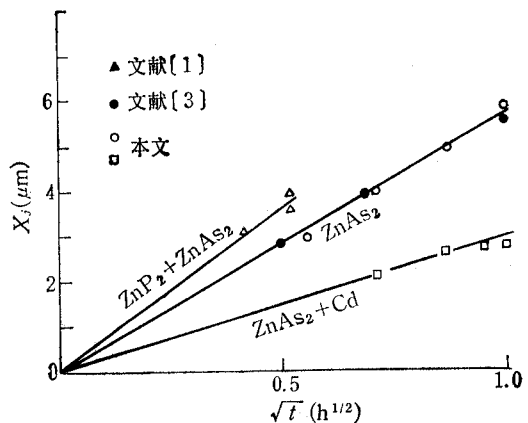


图 4 扩散源种类对 $x_j - \sqrt{t}$ 的影响

2. $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 组份对 x_j 的影响

在 600°C 下,对 x 值不同的三种样品进行扩散时的 $x_j-\sqrt{t}$ 关系,如图 3 所示。从图 3 可见,在相同的扩散条件下, x_j 随 x 值的增大而增大。

3. 扩散源种类对 $x_j-\sqrt{t}$ 关系的影响

图 4 是在 600°C 下,采用 ZnAs_2 和 $\text{ZnAs}_2 + \text{Cd}(2:1)$ 两种扩散杂质源进行扩散时的 $x_j-\sqrt{t}$ 关系。从图 4 可见。在相同的扩散条件下 ZnAs_2 与 $\text{ZnAs}_2 + \text{Cd}$ 混合源相比, x_j 明显不同, ZnAs_2 源较 $\text{ZnAs}_2 + \text{Cd}$ 混合源的 x_j 大,其扩散速度 (x_j^2/t) 相差 3.6 倍。而用 $\text{ZnAs}_2 + \text{ZnP}_2(1:1)$ 扩散源又较用 ZnAs_2 源时扩散速度快。

4. 扩散层浓度及其分布

将扩散温度的倒数 ($1/T$) 对受主浓度 (p) 作图,如图 5 所示。在 $500^\circ-600^\circ\text{C}$ 的扩散温度内,表面受主浓度为 $10^{19}-3 \times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ 。图 6 是用化学 $C-V$ 法测量扩散层浓度的剖面分布图。

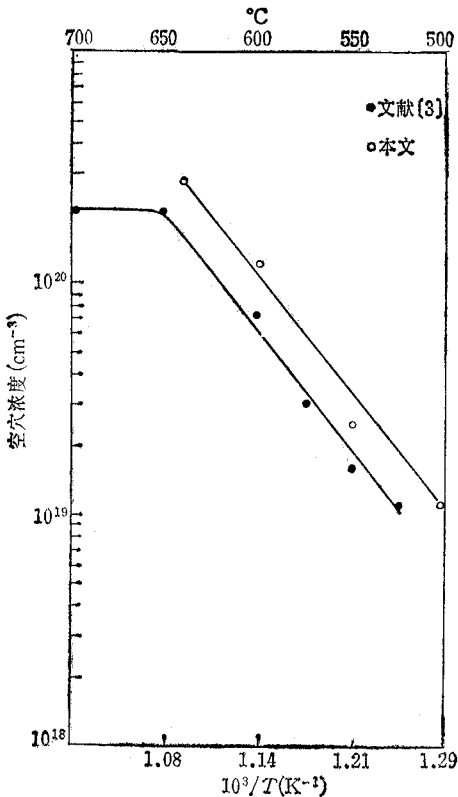


图 5 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}(x = 0.53)$ 的表面受主浓度对 $1/T$ 的关系

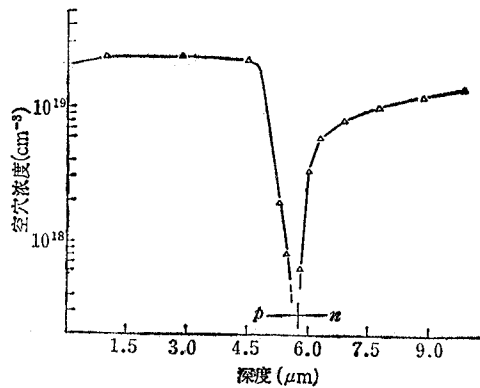


图 6 载流子浓度剖面

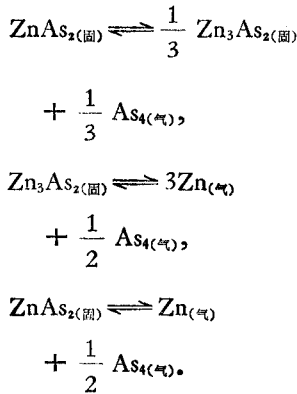
四、讨 论

(1) 从图 3 可见,对 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 材料而言, Zn 扩散层深度 x_j 不仅受扩散温度、扩散时间和扩散源种类的影响(图 4),而且受 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 材料组份 x 值的影响,并且相当

明显. 这与 Zn 在 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ 中扩散时的规律类似^[4,5], x_j 均随 x 值的增大而增大. 按有效扩散系数 $\text{Deff} = d^2/4t$ 关系^[6] 计算在 x 值分别为 0, 0.53 和 1 的三种材料中, Deff 的比值分别为 876:144:1. 表明 x 值对 Deff 的影响很明显.

(2) 从图 4 可见, 在相同扩散条件下采用 ZnAs_2 扩散源较 $\text{ZnAs}_2 + \text{Cd}$ 混合扩散源的扩散速度大 3.6 倍. 这可能是由于 Zn 向 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 中扩散时与 Zn-Cd 同时向 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 中扩散时有不同的激活能 ΔE ^[6]. 按 $x_j \propto \Delta E/kT$ ^[7] 关系, 在 ZnAs_2 源中加 Cd 时使 ΔE 降低, 导致 $(x_j)_{\text{Zn-Cd}} < (x_j)_{\text{Zn}}$.

在扩散条件下 ZnAs_2 源发生分解反应:



$(\text{As}_4)_{\text{气}}$ 的存在可防止 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 化合物的分解, 保证了扩散后样品表面光洁. 由于 Cd 的熔点和沸点较低, 在扩散条件下以 $\text{Cd}_{(\text{气})}$ 形式与 $\text{Zn}_{(\text{气})}$ 形式同时向 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 中扩散, 其扩散机构与 $\text{Zn}_{\text{气}}$ 向 InGaAs 中扩散时的 $\text{Zn}_i^{2+}-\text{Zn}_s^{-}$ ^[8] (间隙-替位)模型是否相同, 有待研究.

(3) 从图 5、图 6 可见, 在 $500^\circ\text{C}-600^\circ\text{C}$ 范围内, 扩散样品的表面受主浓度为 $1 \times 10^{19}-2 \times 10^{20}\text{cm}^{-3}$, 扩散层电阻率低到 $10^{-2}-10^{-3}\Omega\text{-cm}$, 从而使 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 器件的 p 面电极有较低的接触电阻. 在相同的扩散条件下, $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 材料的表面受主浓度 (p) 较 InP 或 InGaAsP 材料的表面受主浓度高^[8], 如图 7 所示, 这对 $\text{InGaAsP}/\text{InP}$ 光电器件 p 面电极比接触电阻的降低和串联电阻 R_s 的降低是有利的. 由于液相外延生长的 $\text{InP}/\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 材料的 $\Delta a/a < 3 \times 10^{-4}$ ^[2], 也为采用 $\text{In}_{0.55}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 材料作 $\text{InGaAsP}/\text{InP}$ 双异质结发光管的接触层提供了应用前景. 为了改善器件的近场特性, 采用 $n\text{-In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 作接触层, 经选择 Zn 扩散工艺制造反向隔离型器件, 为近场特性的改善和耦合效率的提

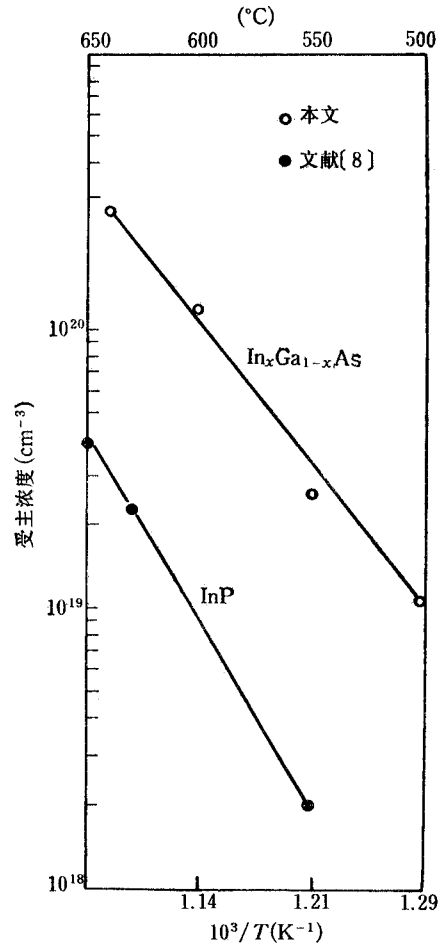


图 7 InGaAs 和 InP 的表面受主浓度对扩散温度的关系

高提供了条件。因此该材料不仅能作光电探测器件而且也适宜作 InGaAsP/InP 光电器件的接触材料。

五、结 束 语

(1) 用 ZnAs_2 、 ZnAs_2+Cd 作扩散源分别在 500°C 、 550°C 、 600°C 和 640°C 扩散温度下,研究了扩散结深 x_j 与扩散时间 \sqrt{t} 的关系。结果表明扩散温度,扩散时间,扩散源种类和材料组份 x 值等因素,皆对 $x_j-\sqrt{t}$ 关系有重要的影响。

(2) 在 500°C — 600°C 扩散条件下,扩散层的表面受主浓度在 1×10^{19} — $2 \times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ 范围。此值较相同扩散条件下 Zn 向 InP 中扩散时的表面受主浓度高,用 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 材料作 InGaAsP/InP 双异质结器件的接触层,有利于器件串联电阻的降低。

李允平,蒋惠英,胡雨生参加部份工作,徐国华,吴鼎芬提供部份外延片,作者一并致谢。

参 考 文 献

- [1] Yuichi Matsuchima, et al., *Appl. Phys.*, 35(1979), 466.
- [2] 邬祥生等, 发光与显示, 1(1983), 1.
- [3] Yoshihisa, Yamamoto, et al., *Jpn. J. Appl. Phys.*, 19(1980), 121.
- [4] Y-R Yuan, et al., *J. Appl. Phys.*, 54(1983), 6044.
- [5] T. Kagawa, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 20(1981), 597.
- [6] Y. Horikoshi, et al., *ibid.*, 20(1981), 437.
- [7] Y. Motsumoto, *ibid.*, 22(1983), 1699.
- [8] 张桂成等, 电子科学学刊, 5(1983), 221.

STUDY OF Zn, Zn-Cd DIFFUSION IN $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$

Zhang Guicheng, Yang Yi

(Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica)

The diffusion of Zn, Zn-Cd in $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ is investigated using ZnAs_2 and ZnAs_2+Cd as the diffusion source. The effect of the diffusion temperature, diffusion time, variety of the diffusion source and composition of the material on the relation of the $x_j-\sqrt{t}$ is given. The diffusion velocity (x_j^2/t) of the Zn in $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ is faster than that of the Zn-Cd in $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$. The surface hole concentration of Zn in $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ is 1×10^{19} — $2 \times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ at 500 — 600°C . At the same diffusion condition, the surface concentration of Zn in $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ is higher than that of Zn in InP. Reducing of contact resistance by use of $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ contact layer for $1.3\ \mu\text{m}$ LED can be expected.