

## 锌和氮离子注入 $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ 的光学和电学特性

李国辉 张通和 来永春 卢武星

(北京师范大学低能核物理研究所)

王 红 英

(苏州半导体厂)

1980年5月19日收到

本文主要研究了锌、氮离子注入  $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$  提高发光效率的机理。从锌在  $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$  中的剖面看出,在 p-n 结附近锌的浓度比较低,结果降低了发光层中沉积的锌原子对光的吸收。在 77K 的温度下,从阴极荧光光谱可以看出氮在  $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$  中已经形成了等电子陷阱。用锌、氮离子注入制作的发光二极管发光效率提高了近一倍。

### 一、实 验

在  $\text{GaAs}\langle 100 \rangle$  单晶片上外延生长 n 型  $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$  ( $x \approx 0.4$ )。外延层浓度是  $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ , 厚度是  $80 \mu\text{m}$ , 氮注入的能量是 160keV, 剂量是  $1-5 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ , 锌注入的能量是 80 keV, 剂量是  $2-4 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ , 注入时靶温是  $350^\circ\text{C}$ 。注入后的样品在  $6000 \text{ \AA}$  厚的  $\text{SiO}_2$  层保护下真空封管退火, 最后, 用离子注入工艺制备了发光二极管。

### 二、提高发光效率的原因

离子注入提高发光效率的原因有以下几点:

#### 1. 锌离子注入所形成的 p 区有宽的发光区域

锌、氮离子注入后的  $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$  样品在  $850^\circ\text{C}$  下经 35 分钟退火。我们用解理染色法

测量了结深。从照片(图 1)中看出在 p 区中间有一明显界限, 这就是  $p^+$  和  $p^-$  区的分界线, 此结果与 Yasuhiro<sup>[1]</sup> 等人所得的基本一致。这说明在 p-n 结附近锌的浓度比较低形成了指数尾巴。这样大大减少了 p 区内的光吸收。Yasuhiro<sup>[1]</sup> 的光致发光测量也说明了锌离子注入形成的 p 区有很宽的发光区域。



图 1 锌、氮离子注入  $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$   $850^\circ\text{C}$  退火 35 分钟 p-n 结染色象

#### 2. 氮离子注入形成等电子陷阱<sup>[2,3]</sup>

在 77K 下, 用电子探针测量的锌、氮离子注入  $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$  样品的阴极荧光光谱, 示于图 2。由图可见退火温度在  $750^\circ\text{C}$  以上时光谱中出现了两个发光峰<sup>[1]</sup>。这两个峰的高度随退火温度的提高而增加。通过分析和计算证明这两个峰分别是  $N_x$  和  $\Gamma$  峰。 $N_x$  峰是单个氮中心, 它是与 x 导带底能级相关联的束缚激子复合形成的, 而  $\Gamma$  峰是与锌受主有关的复合起主导作用的带边峰。这样氮在  $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$  中起到了等电子陷阱的作用, 形成了发光中心。这就是注入氮之所以能提高发光效率的原因。

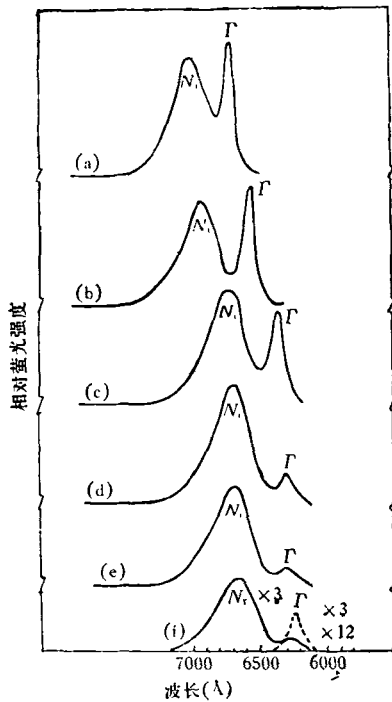


图2 锌、氮注入  $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$  在 77K 下的阴极荧光光谱

$\text{Zn}^+$ : 80keV,  $4 \times 10^{13}\text{cm}^{-2}$ ;  $\text{N}^+$ : 160keV,  $1 \times 10^{14}\text{cm}^{-2}$ ; a 为 1000°C 退火 6 分钟, b 为 950°C 退火 10 分钟, c 为 900°C 退火 20 分钟, d 为 850°C 退火 35 分钟, e 为 800°C 退火 2 小时, f 为 750°C 退火 4 小时, 虚线表示未退火

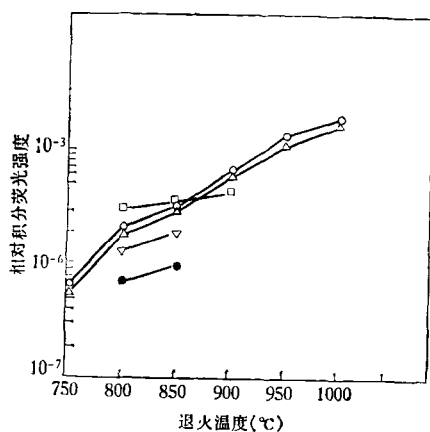


图3 锌、氮注入  $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$  在室温下积分荧光强度和退火温度的关系

$\text{Zn}^+$ : 80keV,  $4 \times 10^{13}\text{cm}^{-2}$ ;  $\text{N}^+$ : 160keV,  $\square$  为未注氮,  $\circ$  为  $1 \times 10^{14}\text{cm}^{-2}$ ,  $\triangle$  为  $5 \times 10^{14}\text{cm}^{-2}$ ,  $\nabla$  为  $1 \times 10^{15}\text{cm}^{-2}$ ,  $\bullet$  为  $5 \times 10^{15}\text{cm}^{-2}$

### 3. 用离子注入可选择最佳的掺杂浓度

我们对锌注入后的  $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$  样品又分别用  $1 \times 10^{14} - 5 \times 10^{15}\text{cm}^{-2}$  四个剂量注入氮, 样品经退火后在室温下测量了积分荧光强度 (图3)。从中看出氮的剂量在  $1 - 5 \times 10^{14}\text{cm}^{-2}$  时有比较高的积分荧光强度。而氮剂量比较大时荧光强度反而比较低。因此要提高发光效率必须控制好掺杂的浓度, 离子注入的特点正是能很好地控制掺杂浓度, 因此用离子注入提高发光管的发光效率是适宜的。

### 三、离子注入退火条件的选择

为了获得高发光强度的发光二极管, 我们考虑到要使发光材料中光吸收小, 使少数载流子能充分进行辐射复合。因此选择的 p-n 结深深在  $2\mu\text{m}$  左右。

当锌注入  $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$  的能量采用 400 keV 时, 平均投影射程为  $R_p = 1600 \text{ \AA}$ 。要使锌原子从这样的注入深度达到  $2\mu\text{m}$  的结深, 必须对注入的锌进行再扩散。

#### 1. 锌在 $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ 中的再扩散

我们认为离子注入层中的再扩散也同样遵循由 Fick 定律推出的热扩散方程<sup>[4]</sup>。从这个方程的简化解可以得到结深  $X_j$  和扩散系数  $D$  的近似关系为  $X_j \approx A \sqrt{Dt}$ , 其中  $t$  为扩散时间,  $A$  在峰值浓度和衬底浓度一定时为一常数。图 4 中表示了 750—1000°C 退火时所得的  $A \sqrt{D} - \frac{1}{T}$  的关系。

我们从载流子纵剖面分布 (850°C 退火, 几种不同的退火时间) 中得到了 850°C 时锌在  $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$  中的扩散系数  $D$ , 其值是  $1.3 \times 10^{-12}\text{cm}^2/\text{sec}$ 。从而我们就能找到不同退火温度的扩散系数, 并且确定制作发光管的退火条件。

#### 2. $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ 注入层的电特性和损伤恢复

我们用范德堡尔法测量了锌、氮注入后的

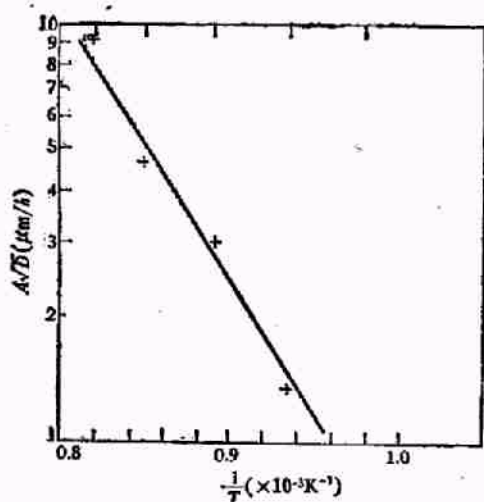


图4 锌在  $GaAs_{1-x}P_x$  中扩散的  $A\sqrt{D}$  与  $1/T$  的关系 ( $T$  为退火温度的绝对温度)  
 $Zn^+$ : 80keV,  $4 \times 10^{15} cm^{-2}$ ;  $N^+$ : 160keV,  $5 \times 10^{14} cm^{-2}$

薄层载流子浓度  $N_s$ 、电阻率  $\rho_s$  和迁移率  $\mu_H$  与退火温度  $T_s$  的关系(图5)。从图中看到 900°C 退火激活率达到 100%。电子衍射测量表明, 850°C 退火的样品出现了布拉格(Bragg)点。图

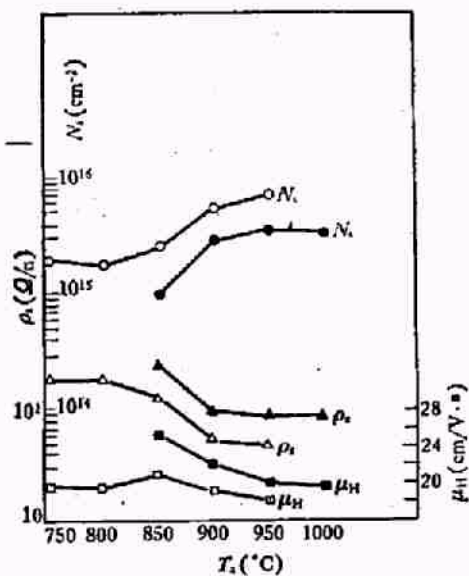


图5 锌、氮离子注入  $GaAs_{1-x}P_x$ ,  $N_s$ ,  $\rho_s$ ,  $\mu_H$  与退火温度的关系

$Zn^+$ : 80keV,  $4 \times 10^{15} cm^{-2}$  时的  $N_s$ ,  $\rho_s$ ,  $\mu_H$  用空心符号表示;  $2 \times 10^{15} cm^{-2}$  时的  $N_s$ ,  $\rho_s$ ,  $\mu_H$  用实心符号表示

6 进一步说明离子注入辐射损伤基本消除, 而在 950°C 以上退火的样品表面产生了热分解。

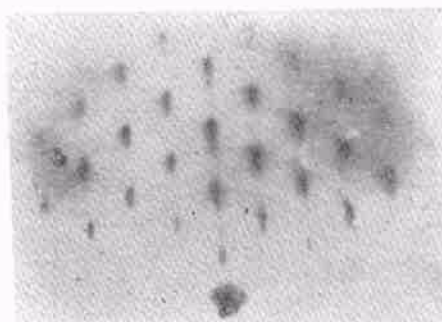


图6 锌、氮注入  $GaAs_{1-x}P_x$  850°C 退火后电子衍射图

从以上分析, 我们认为锌、氮离子注入  $GaAs_{1-x}P_x$  的退火温度选择在 850—900°C 为最佳。

#### 四、制管的初步结果

用上述最佳的注入和退火条件制备了台面发光二极管。在同一个样品上采用离子注入和热扩散两种方式制管。结果表明用离子注入制备的发光管比热扩散的发光效率高 84—93%, 而注入锌和氮的样品比只注锌的发光效率高 20—30%。

本工作得到中国科学院半导体所、北京有色所、1411 所的大力协助, 在此表示感谢。

参加本工作的还有马玉岗、苏颖、吕贤淑、沈京华等。

#### 参 考 文 献

- [1] Yusuhiro Shiraki et al., Applications of Ion Beams to Materials, Conference Series Number 28, The Institute of Physics London and Bristol, (1975), 86.
- [2] R. E. Anderson et al., *J. Appl. Phys.*, 48-6(1977), 2453.
- [3] 李国辉、庄蔚华、李成基、周德明, 北京师范大学学报(自然科学版), 1(1980), 47.
- [4] P. D. Townsend et al., Ion Implantation Sputtering and Their Applications, Academic Press London, New York, San Francisco, chapter 5, (1975), 88.