

# GaP $\lambda$ N LED p型层厚度的优化

李桂英 杨锡震 王亚非 李永良 赵普琴 孙寅官

(北京师范大学分析测试中心, 北京 100875)

(半导体材料科学开放实验室, 中国科学院半导体研究所, 北京 100083)

**摘要** 实测数据表明: GaP $\lambda$ N 发光二极管(LED) p型层厚度  $d$  为  $12 \sim 17 \mu\text{m}$  时, 管芯光强最高.  $d$  增大, 一方面可使表面复合的影响减小, 提高内量子效率; 另一方面又会使内吸收增大, 降低抽取效率. 综合考虑这两方面的影响, 选取有关参数, 对实测的  $d$  之优化值进行了合理的解释.

**关键词** GaP $\lambda$ N LED, 结构优化

## 1 引 言

近年来, 发光二极管(LED) 市场需求量相当大, 但国内生产用芯片大多依赖进口, 原因是用国产 GaP 外延制成的 LED 亮度和日本同类产品相比还有较大差距. 影响 GaP $\lambda$ N 外延片发光效率的因素很多, 如: 外延层结晶完整性、外延层掺 N 量、各层载流子浓度和外延层厚度等. 为了提高国产 LED 发光效率, 必需对影响外延片发光效率的各种因素进行研究, 对参数和工艺条件进行优化. 作为上述多种因素深入探讨的一步, 对 p 型层厚度  $d$  的优化从实验和理论两方面进行研究. 对自产和日产样品的实测结果表明:  $d$  的最佳值为  $12 \sim 17 \mu\text{m}$ . 根据描述  $d$  值对内量子效率和抽取效率影响的具体公式, 使用有关参数的合理值对  $d$  值进行优化, 计算结果与实测值相符.

## 2 实测结果

三个实验阶段制得的代表性外延片 p 型层厚度  $d$  和用外延片制成 LED 在 30mA 下实测最高总光通量  $\Phi$  的结果如下所示:

$d/\mu\text{m}$	24.3~47.5	18.8~27.8	7.8~19.3
$\Phi/\text{mlm}$	26.1	51.5	91.0

另外, 由外延片厚度和对从外延片所制 LED 管芯中随机抽取 32 只芯片测得的管芯光强结果也可以看出: p 型层厚度为  $12 \sim 17 \mu\text{m}$  的外延片所制管芯光强最高. 测量三片日本外延片, 其 p 型层厚度分别为  $15.4 \mu\text{m}$ 、 $14.7 \mu\text{m}$  和  $15.7 \mu\text{m}$ . 综上所述, 从实验数据来看, p 型层厚度的最佳值约在  $12 \sim 17 \mu\text{m}$  范围内.

## 3 分析讨论

有实验表明, 对于 GaP $\lambda$ N 绿色 LED, 主要发光区为 p 区. 外量子效率为<sup>[1]</sup>  $\eta_{\text{E}} = \eta \gamma \eta_{\text{ex}}$ , 式中  $\eta$  为内量子效率,  $\gamma$  为注入效率,  $\eta_{\text{ex}}$  为抽取效率. 计入表面复合的影响:

$$\eta_i = (1 + (R_i + R_s)/R_i)^{-1} \quad (1)$$

$R_t$ ,  $R_l$  和  $R_s$  分别为体内非辐射复合速率, 辐射复合速率, 和表面复合速率. 可以证明<sup>[2]</sup>:

$$R_s = D_n(\theta/d)^2 \quad (2)$$

$D_n$  为少子扩散系数,  $\theta$  为方程  $\tan\theta = (1/\theta)(Sd/D_n)$  在  $0 \sim \pi/2$  范围内的解, 式中  $S$  为表面复合速度. 对于未加封装的样品

$$\eta_{ex} = 1 - \bar{\alpha}d \quad (3)$$

$\bar{\alpha}$  为样品的平均吸收系数. 综上所述, 增加  $d$  一方面使  $\eta$  增加, 另一方面又使  $\eta_{ex}$  减少, 故  $p$  型层厚度  $d$  存在待优化的问题. 对于除  $p$  型层厚度不同外, 衬底、其它器件结构参数 ( $n_1, n_2$  层厚度及掺杂浓度等)、工艺条件及测试条件均相同的样品, 可以认为注入效率  $\eta$  相同, 故只须考虑  $\eta$  和  $\eta_{ex}$  两个因素. 忽略表面复合时,  $\eta = (1 + R_l/R_t)^{-1} = \eta^0$ . 于是

$$\eta = (1/\eta^0 + R_s/R_t) \quad (4)$$

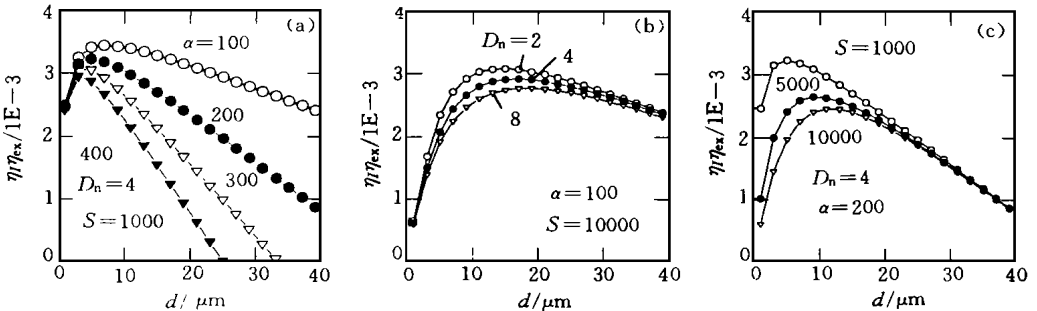
可见, 决定  $\eta$  有三个参数:  $\eta^0$ ,  $R_l$  和  $R_s$ . 曾有报道<sup>[3]</sup>:  $\eta^0 = 0.004$ ,  $R_l = 6.7 \times 10^4 \text{ cm/sec}$ .  $R_s$  由(2)式给出, 其中  $D_n = (kT/e)\mu_n$ , 早期报道:  $p$  型 GaP 中的电子迁移率  $\mu_n = 77 \sim 145 \text{ cm}^2/\text{V sec}$ , 由之求得  $D_n = 2 \sim 4 \text{ cm}^2/\text{sec}$ . 拟合中取  $D_n = 2 \sim 8 \text{ cm}^2/\text{sec}$ . 一般认为:  $\eta_{ex} = 0.2$ <sup>[3]</sup>, 对于  $d = 20$  和  $35 \mu\text{m}$  两种情形, 由(3)式求得  $\bar{\alpha}$  分别为  $400$  和  $228 \text{ cm}^{-1}$ , 拟合中取  $100 \sim 400 \text{ cm}^{-1}$ . 拟合所得典型结果如图1和表1所示(表1中  $d^*$  为  $d$  的优化值).

表1 典型拟合结果

Table 1 Typical results of fit.

$D_n/\text{cm}^2/\text{sec}$	$\bar{\alpha}/\text{cm}^{-1}$	$S/\text{cm}/\text{sec}$	$d^*/\mu\text{m}$
2~8	100~400	1,000	3~7
2~8	100~400	5,000	7~15
2~8	100~400	10,000	7~19

由图1和表1可见:  $S$ ,  $D_n$  相同,  $\bar{\alpha}$  增大,  $d^*$  值减小, 乘积  $\eta\eta_{ex}$  的最大值  $\eta$  值减小(图1a);  $S$ ,  $\bar{\alpha}$  一定,  $D_n$  增大,  $d^*$  增大而  $\eta^*$  减小(图1b);  $D_n$ ,  $\bar{\alpha}$  一定,  $S$  增大,  $d^*$  增大而  $\eta^*$  减小(图1c). 其它数据组合的拟合结果也有类似行为. 可见: 为提高  $\eta^*$  值, 应在可能的范



(a)  $D_n = 4 \text{ cm}^2/\text{sec}$ ,  $S = 1000/\text{sec}$ ,  $\alpha = 100, 200, 300, 400 \text{ cm}^{-1}$ ; (b)  $\alpha = 100 \text{ cm}^{-1}$ ,

$S = 10000 \text{ cm}/\text{sec}$ ,  $D_n = 2, 4, 8 \text{ cm}^2/\text{sec}$ ; (c)  $\alpha = 200 \text{ cm}^{-1}$ ,  $D_n = 4 \text{ cm}^2/\text{sec}$ ,  $S = 1000, 5000, 10000 \text{ cm}/\text{sec}$

图1 典型拟合结果

Fig. 1 Typical results of fit.

围内减小  $D_n$  和  $S$ . 显然, 提高材料的表面质量有利于减小  $S$ , 对提高  $\eta^*$  有利, 同时使  $d^*$  减小, 即  $p$  型层厚度须相应减小.  $D_n$  的减小虽有利于  $\eta^*$  提高, 但  $D_n = \mu_n$ , 意味着  $\mu_n$  也

将随之减小,这对材料的电性能不利,还可能影响注入效率.需权衡两方面的因素,进一步优化.拟合中使用  $S = 1000 \sim 10000 \text{ cm/sec}$ , 参看 Gaubas 等<sup>[4]</sup>报道的 Si 的表面速度值  $S = 280 \sim 6300 \text{ cm/sec}$ , 可见以上结果基本合理.

值得注意的是:以上所取各参数,由于工艺条件和结构参数不同,会有一些变化(但一般仍在合理范围之内).随之会使拟合所得  $d^*$  值也会有些变化,但仍在  $12 \sim 17 \mu\text{m}$  范围内.为求得具体材料的最佳  $d$  值,最好使用实测样品的有关参数.而作为一般性的参考值,以上求得的优化值仍然是有意义的.

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Li S, Sheng. *Semiconductor Physical Electronics*. Plenum Press, 1993.  
 [ 2 ] Ye Liangxiu. *Semiconductor Physics*, ( ) Ch. 5, High Education Press, Beijing, 1983 (in Chinese).  
 [ 3 ] Peak A R, Hamilton B. *Deep Centers in Semiconductors*, Ch. 5, 1984.  
 [ 4 ] Gaubas E *et al.*, *J. Appl. Phys.*, 1996, **80**: 6293.

# OPTIMIZATION OF THICKNESS OF p-LAYER IN GaP<sup>XIII</sup> LED

Li Guiying Yang Xizhen Wang Yafei Li Yongliang Sun Yinguan

(*The Analysis and Measurement Center, Beijing Normal University, Beijing 100875*)

(*Laboratory of Semiconductor Materials Science, Institute of Semiconductors,*

*Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083*)

## Abstract

From the experimental results, it is clear that luminescence intensity of the wafer reaches the maximum, when the thickness of p-type layer ( $d$ ) in a GaP<sup>XIII</sup> light emitting diode is in a range of  $12 \sim 17 \mu\text{m}$ . Increasing  $d$  the effect of the surface recombination might be compressed, making the internal quantum efficiency to be increased. At the same time, it might increase the internal absorption, resulting in a decrease of the extraction efficiency. Combining the two factors, and using the reasonable values of the relevant parameters, a rational explanation for the optimum value of  $d$  measured experimentally is obtained.

**Key words** GaP<sup>XIII</sup> LED, optimization of structure