

# GaP $\lambda$ N LPE 片的位错对发光亮度的影响

李桂英 李永良 王亚非 杨锡震 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** 用化学腐蚀配合扫描电镜(SEM)对几种不同来源的国产 GaP $\lambda$ N 液相外延(LPE)材料及各自的衬底的位错密度  $N_D$  和发光亮度进行了测量. 结果表明: 样品的发光亮度随 LPE 层的  $N_D$  降低而升高, 降低衬底的  $N_D$  可降低 LPE 层的  $N_D$ .

**关键词** GaP $\lambda$ N, 位错密度, 发光二极管

## 1 前 言

关于 GaP LEC 单晶和 LPE 层的位错对绿色发光二极管(LED)发光效率影响的研究国外早有报道<sup>[1,2]</sup>. 国内对同类材料的研究也已有20多年的历史, 但对 GaP $\lambda$ N LPE 片的  $N_D$  及其对发光效率的影响的报道还很少.

一般认为: GaP 外延层的位错源于衬底, 在 GaP 单晶衬底中主要观察到两种腐蚀坑: 一种是由晶体的位错造成的, 称 D 坑; 另一种是由杂质或杂质积聚造成的, 称 S 坑<sup>[3]</sup>. 在外延过程中, S 坑密度会降低很多. 为探讨位错对 LED 发光效率的影响, 需要研究的是外延层中的 D 坑密度.

用化学腐蚀配合 SEM 对几种不同工艺制得的国产 GaP 单晶衬底和 LPE 层的位错进行了观测. 结果表明: 样品的发光亮度随 LPE 层的  $N_D$  降低而升高; 而 LPE 层的  $N_D$  又与衬底的  $N_D$  密切相关, 在  $N_D$  低的衬底上生长的 LPE 层  $N_D$  也明显降低.

## 2 实 验

所用化学腐蚀液是  $H_2SO_4 \lambda H_2O_2 \lambda HF = 3 \lambda \lambda \lambda$  (体积比), 简称 322 腐蚀液. 对于 GaP 这是一种很好的位错腐蚀剂, 它不仅可显示 (111) Ga 面和 (111) P 面的位错, 也可显示 (100) 面和偏离几度的 (100) 面的位错. 一般, 在 (100) 面上产生矩形坑; 在 (111) Ga 面上产生螺旋坑; 在 (111) P 面上产生三角形坑. 另外, 该腐蚀液能在切割和研磨过的表面显示位错, 无须事先抛光. 而且, 该腐蚀剂在配制时温度会自然地升到 90 $^{\circ}C$ , 用它腐蚀样片 8~15 分钟就可看到清晰的腐蚀坑. 腐蚀前, 先用丙酮、石油醚、乙醇等有机试剂除去试样表面的油脂, 然后把样品放到稀盐酸中泡 30~60 分钟, 再将它水平地放到装有腐蚀液的容器中, 在 60~90 $^{\circ}C$  的温度下腐蚀 8~15 分钟后立即用去离子水冲洗干净, 烘干待用. 位错观测用日立 X-650 型 SEM 进行. 测试条件为: 加速电压 20kV, 工作距离 15mm. 对每片样片测十个点, 将实测  $N_D$  求平均值作为该样片的  $N_D$  值.

样品的发光亮度采用简便的通电发光方法, 为对观察结果予以确认, 对样品的光致

发光谱进行了测量. 两种方法的结果相符良好.

实验中所用样品共三类: 其中YS-90和SD-97是在每次可投四片 $\Phi 45 \sim 50\text{mm}$  样片的小LPE系统上生长的; YS-92和YS-93是在每次可投24~30片 $\Phi 45 \sim 50\text{mm}$  样片的大LPE系统上生长的; 而32, 33和36是LED生产线上的不合格产品.

### 3 结果和讨论

GaP $\lambda$ N 的LPE一般是采用GaP(111)P面为生长面, 故在SEM上观测到的GaP LPE片正面的位错为三角坑; 而在样片的背面, 晶面为衬底的GaP(111)Ga面, 腐蚀样片正面时其背面同时也被腐蚀, 其位错也同时被显示出来. 这样, 可同时得到同一样片的LPE层和其衬底单晶的 $N_D$ . 如图1(a), (b)分别所示. 值得注意的是: 由于GaP LPE生长温度 $\sim 1000^\circ\text{C}$ , 低于单晶生长温度( $\sim 1470^\circ\text{C}$ ), 在相同的腐蚀条件下, 一般LPE层的位错先于单晶衬底的位错显示出来. 对所用各样品的实测结果列于表1中.

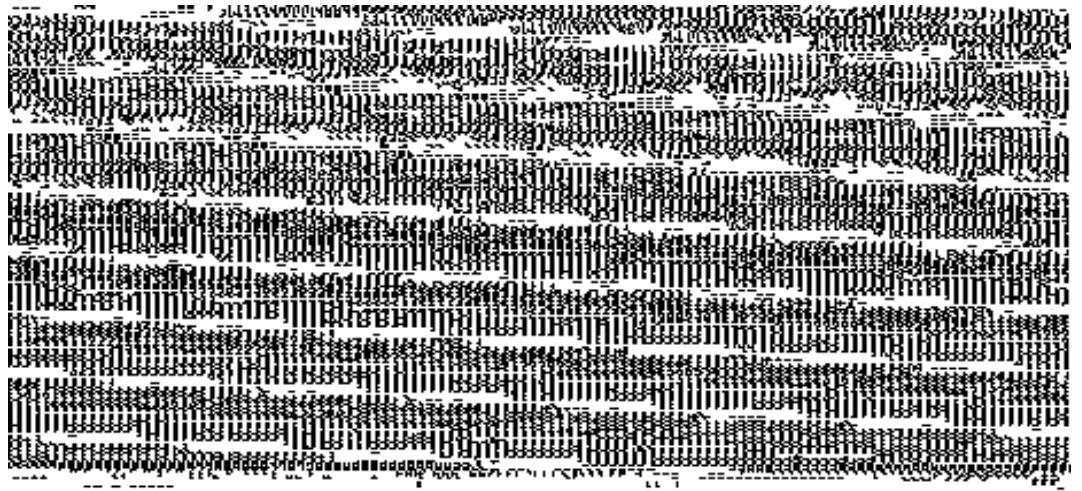


图1 实测 GaP LPE 样片的腐蚀坑

Fig. 1 Etched pit of GaP LPE samples.

表1 测试结果

Table 1 Measurement results.

样品编号	YS-90	YS-92	YS-93	SD-97	32	33	36
外延片直径 $\Phi/\text{mm}$	45	45	45	45	50	50	50
LPE层 $N_D/10^5\text{cm}^{-2}$	0.223	0.908	0.611	0.538	1.74	1.23	1.77
衬底 $N_D/10^5\text{cm}^{-2}$	1.3	1.66	2.00	1.91	2.98	2.83	2.80
发光亮度	强	较强	较强	较强	弱	一般	弱

由表中所示数据可以看出: 从LPE层的 $N_D$ 来看,  $\Phi 50\text{mm}$ 的样片高于 $\Phi 45\text{mm}$ 样片, YS-92和YS-93高于YS-90和SD-97. 衬底的 $N_D$ 也低, 外延层的 $N_D$ 也低; 外延层的 $N_D$ 均低于衬底的 $N_D$ . 外延层的 $N_D$ 愈低, 其发光亮度愈强.

如前所述, YS-92和YS-93与YS-90和SD-97及32, 33和36三组样品是分别在不同的LPE系统中生长的. 可见, 外延层的 $N_D$ 与外延系统和外延工艺密切相关. 同时, 衬底

$N_D$  低, 外延层的  $N_D$  低. 可见: 为提高绿色 GaP LED 的发光效率, 应选择低  $N_D$  的 GaP 单晶作衬底, 还应改进外延工艺和外延系统. 如上表所示, 各样品的 LPE 层  $N_D$  均低于各自衬底的  $N_D$ , YS-90, SD-97 和 YS-93 三个样品的 LPE 层  $N_D$  的降低更为明显, 这与外延工艺的改进有关.

由表中所示数据还可看出: 外延层的  $N_D$  与样品的发光亮度有明显的对应关系:  $N_D$  最低的外延片发光亮度最强;  $N_D$  较低的外延片发光亮度较好;  $N_D$  最高的外延片发光亮度最弱. 这是因为高效率绿色 LED 的少数载流子扩散长度比较长, 当外延层  $N_D$  过高时, 相邻位错间的平均间距接近少数载流子扩散长度, 非平衡载流子通过位错的复合使发光效率降低.

## 4 结 论

采用 322 腐蚀液腐蚀, 配合 SEM 测试, 对几种不同来源的国产 GaP $\lambda$ LN LPE 样品进行了衬底和外延  $N_D$  的测量. 实验结果表明: 外延片的发光亮度随其外延层  $N_D$  的降低而提高; 外延层的  $N_D$  又随衬底  $N_D$  的降低而降低. 为提高 GaP $\lambda$ LN 绿色 LED 的发光效率, 应注意选用  $N_D$  较低的衬底材料和改进外延工艺和外延系统.

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Brantley W A *et al.*, Appl. Phys., 1975, **46**(6): 2629.  
 [ 2 ] 川端敏, 古池进. 公开特许公报(A), 昭59-22374.  
 [ 3 ] Beppu T *et al.*, Jap. J. Appl. Phys., 1978, **17**(3): 509.

# DISLOCATION DENSITY OF GaP $\lambda$ LN LPE WAFER AND ITS INFLUENCE ON BRIGHTNESS

Li Guiying Li Yongliang Wang Yafei Yang Xizhen 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

Using chemical etching combined with SEM measurement, the dislocation densities  $N_D$  of the epilayer and substrate in GaP $\lambda$ LN LPE wafers from different sources are carried out. The brightness of the samples are measured also. The results indicate that the brightness increases as decreasing of the  $N_D$  of the epilayer and a decreasing of the epilayer  $N_D$  can be caused by decreasing the substrate  $N_D$ .

**Key words** GaP $\lambda$ LN, dislocation, LED