

# LP-MOCVD 制备 AlGaInP 高亮度 橙黄色发光二极管\*

王国宏 马骁宇 曹 青 张玉芳 王树堂 李玉璋 陈良惠

(中国科学院半导体研究所 光电子器件国家工程研究中心 北京 100083)

**摘要** 利用 LP-MOCVD 外延生长 AlGaInP DH 结构橙黄色发光二极管, 引入厚层  $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{As}$  电流扩展层和  $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$  分布布拉格反射器 (DBR), 20mA 工作条件下, 工作电压 1.9V, 发光波长峰值在 605nm, 峰值半宽为 18.3nm, 管芯平均亮度达到 20mcd, 最大 29.4mcd, 透明封装成视角 ( $2\theta_{1/2}$ ) 15 的 LED 灯亮度达到 1cd

PACC: 4255P, 4260D, 6865, 7230

## 1 引言

可与 GaAs 衬底晶格匹配的 AlGaInP 系材料具有较宽的直接带隙 (1.9~2.3eV), 可实现从红色到绿色的各种波长, 特别在橙、黄波段发光效率很高, 是制备橙、黄光发光二极管的最佳材料<sup>[1]</sup>. 以日本东芝公司为代表的一些国际大公司利用 LP-MOCVD 技术研制了亮度大于 1cd 的从橙色 (630nm) 到绿色 (570nm) AlGaInP LED<sup>[2]</sup> 并实现商品化. 国内对 AlGaInP LED 的研究尚处起步阶段无商品化产品, LED 厂家靠进口管芯进行后道封装. 我们利用 Aixtron 公司的 IX200 RD MOCVD 设备外延生长 AlGaInP DH 结构的 LED, 引入厚层  $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{As}$  电流扩展层和衬底前 DBR 反射器, 在国内首先制备了高亮度 LED 器件, LED 管芯在 20mA 工作条件下, 工作电压 1.9V, 发光波长峰值在 605nm, 峰值半宽为 18.3nm, 平均亮度达到 20mcd, 最大 29.4mcd, 透明封装成视角 ( $2\theta_{1/2}$ ) 15 的 LED 灯亮度达到 1cd, 填补了国内空白, 为高亮度 AlGaInP LED 的商品化生产奠定了基础.

## 2 器件结构

图 1 为 AlGaInP 发光二极管结构剖面示意图. 其采用双异质结 (DH) 结构, 为实现橙黄色发光有源区采用非故意掺杂 ( $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}$ )<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P, 厚度 0.5~1 $\mu\text{m}$ . 上下限制层分别为 p 型和 n 型的 ( $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}$ )<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P, 掺杂浓度分别为: p 型  $1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 、n 型  $5 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ , 厚度

\* 国家“863”计划高科技重大项目

王国宏 男, 1964 年出生, 博士研究生, 从事 III-V 族半导体材料的 MOCVD 生长及发光器件的研究

马骁宇 男, 1963 年出生, 研究员, 从事 III-V 族半导体材料的 MOCVD 生长及半导体激光器的研究

曹 青 女, 1969 年出生, 工程师, 从事 III-V 族半导体材料的 MOCVD 生长及半导体激光器的工艺制作

1998-02-10 收到

0.5~1 μm. 电流扩展层采用 p-Al<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>As 掺杂浓度为 2~3 × 10<sup>18</sup> cm<sup>-3</sup>, 厚度 7 μm, Hall 测量室温电阻率为 5 × 10<sup>-2</sup> Ω·cm. 分布布拉格反射器 (DBR) 为 10 对 Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>As-AlAs, 根据 Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As 的光学参数<sup>[3]</sup>, 在波长 600nm 处 Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>As 和 AlAs 的折射率分别为 3.6 和 2.97, 每层 Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>As 和 AlAs 的厚度分别为 (1/4λ) 41.7nm 和 50.5nm. 厚度 0.1 μm 掺杂浓度为 1 × 10<sup>19</sup> cm<sup>-3</sup> p 型 GaAs 作为欧姆接触层 p 型和 n 型电极分别为 Au/Zn/Au/Cr/Au 和 AuGeNi

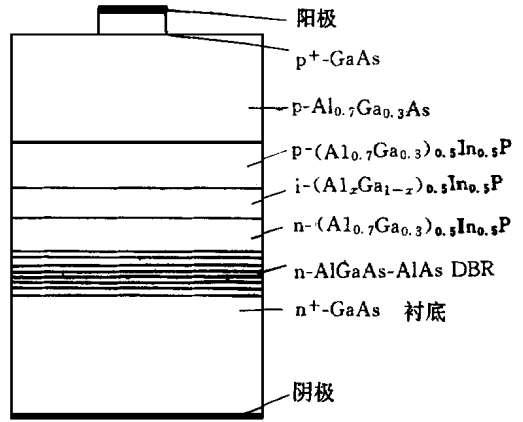


图 1 AlGaInP 发光二极管结构示意图

### 3 器件结构的 LP-MOCVD 外延生长和检测

(Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>)<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P 外延层材料生长的三族源分别为: TMAI, TMGa, TMIn, 五族源为 PH<sub>3</sub>, p 型掺杂剂和 n 型掺杂剂分别为 DEZn 和 2% 的 SiH<sub>4</sub>, 总 H<sub>2</sub> 流量为 7 l/min, 生长温度为 680~730 °C, 反应室压力 100~150 mbar, V/III 比 150~260, 生长速率 18~72 nm/min, p-AlGaAs 材料外延层材料生长的三族源分别为: TMAI, TMGa, 五族源为 AsH<sub>3</sub>. 掺杂剂分别为 DEZn, 总 H<sub>2</sub> 流量为 7 l/min, 生长温度为 720~750 °C, 反应室压力 20~50 mbar, V/III 比 100~150, 生长速率 50~70 nm/min, 采用 n-GaAs 衬底, 晶向 (100) 偏 (111) 4~10°.

图 2 (见图版 D) 为外延层的扫描电镜照片, 从图中可见各层界面非常清晰平整, 图 3 (见图版 D) 为外延层腐蚀 Al<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>As 后的 X 射线双晶衍射摇摆曲线, 由衍射峰的对称性判断图中 0, -1, +1 峰分别为 DBR 反射器的 0 级和 ±1 级峰, 并由衍射角度计算出 DBR 的周期为 81.7nm, 与设计值偏差 10%, 峰 a 对应 (Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>)<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P 外延层, 失配度为 1.5 × 10<sup>-3</sup>, 由于 (Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>)<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P 的热膨胀系数小于 GaAs 衬底的热膨胀系数, 生长温度下匹配的外延层在室温测试时应为 1 × 10<sup>-3</sup> 正失配, 所以 (Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>)<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P 外延层在生长温度下的失配度只有 0.5 × 10<sup>-3</sup>. 峰 b, c, d 为 (Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>)<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P 限制层的干涉条纹, 很强的干涉条纹也说明了外延层界面非常平整

### 4 器件的光电特性

外延片蒸发上下电极后光刻上电极解理成 300 × 300 μm 芯片, 测试管芯 I-V 特性和辐射功率随电流的变化如图 4 所示 (见图版 D). 20mA 时工作电压 1.9V, 串联电阻 1.6Ω, 辐射功率 0.225mW. 透明封装成 Φ5 LED 灯, 封装视角为 (2θ<sub>1/2</sub>) 15°. 测试发光强度随电流的变化如图 5 所示 (见图版 D). 在 20mA 时亮度达到 1000mcd. 20mA、50mA、80mA 电流下光谱分布如图 6 所示, 20mA 时峰值波长在 605nm 处, 峰值宽 (FWHM) 18.3nm. 随着电流的增加, 发光波长发生红移, 并且半宽增加, 这主要是由于 (Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>)<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P 材料的热导较差, 温度效应引起的带隙减小大于带填充效应

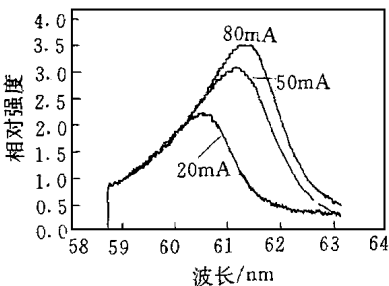


图 6 不同电流下 LED 管芯的电致发光光谱

## 5 结 论

利用 LP-MOCVD 生长了高质量的 AlGaInP 高亮度橙黄色发光二极管外延材料, 实现了 20mA 工作条件下, 工作电压 1.9V, 发光波长峰值在 605nm, 峰值半宽为 18.3nm, 管芯平均亮度达到 20mcd, 最大 29.4mcd, 透明封装成视角 ( $2\theta_{1/2}$ ) 15 的 LED 灯亮度大于 1000mcd, 达到了国际目前高亮度发光二极管的产品水平。

**致谢** 感谢南昌国营 746 厂刘和初总工、北京晶辉光电子有限公司刘铁墉总工、黄伟伟工程师在 LED 管芯制备、封装和测试中的大力支持, 感谢廉鹏、归强、王丽明、张洪琴、郭良等同志在器件制作中给予的帮助

## 参 考 文 献

- [ 1 ] S. A. Maranowski, M. D. Camras, C. H. Chen *et al.*, SPIE, 1997, **3002**: 110
- [ 2 ] H. Sugawara, K. Itaya, Appl Phys Lett, 1992, **61**(15): 1775
- [ 3 ] D. E. Aspnes, S. M. Kelso, R. A. Lohan *et al.*, J. Appl Phys, 1986, **60**(2): 754

# AlGaInP High Brightness Orange Light Emitting Diodes Manufactured by LP-MOCVD

Wang Guohong, Ma Xiaoyu, Cao Qing, Zhang Yufang,  
Wang Shutang, Li Yuzhang, Chen Lianghui

*(National Engineering Research Center for Optoelectronic Devices, Institute of Semiconductors,  
The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083)*

Received 10 February 1998

**Abstract** AlGaInP high brightness orange light emitting diodes (LEDs) are fabricated by low pressure metalorganic chemical vapor deposition (LP-MOCVD) technology. AlGaInP double heterojunction structure is used as active layer. 10 pairs of Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>As/AlAs distributed Bragg reflector and 7μm Al<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>As current spreading layer are employed to reduce the absorption of GaAs substrate and upper anode respectively. At 20mA, the emitting peak wavelength of LEDs is 605nm with 18.3nm FWHM and 0.225mW radiation power. Brightness of the LED chips and LED lamps with 15° viewing angle ( $2\theta_{1/2}$ ) reach 29.4mcd and 1000mcd respectively.

**PACC:** 4255P, 4260D, 6865, 7230