

# 一种新型全方位反射 AlGaInP 薄膜发光二极管\*

高 伟<sup>†</sup> 邹德恕 李建军 郭伟玲 沈光地

(北京工业大学, 北京市光电子技术实验室, 北京 100022)

**摘要:** 提出了一种新型全方位反射 AlGaInP LED 结构和制作工艺. GaAs 外延片与含导电孔的 SiO<sub>2</sub>, Au 形成全方位反射镜后, 银浆键合在 Si 支架上, 去除 GaAs 衬底, 制作薄 AuGeNi 电极, 粗化, 生长 ITO, 制作厚 AuGeNi 电极, 合金则形成 ODR 薄膜 LED 结构. 300 μm × 300 μm 管芯裸装在 TO-18 金属管座上, 在 20mA 的电流驱动下, 测得电压为 2.2V, 光强达到 195mcd, 光功率达到 3.78mW, 比常规吸收衬底 LED 提高 3.6 倍.

**关键词:** 铝镓铟磷; 薄膜发光二极管; 全方位反射镜

**PACC:** 7280E; 7360F; 7865K; 7360D **EEACC:** 2520; 4220

**中图分类号:** TN3 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-4177(2008)04-0751-03

## 1 引言

半导体发光二极管(light-emitting diode, LED)已在很多高效固态照明领域中得到广泛的应用, 例如全色彩屏幕显示器、汽车用灯、背光源、交通信号灯、景观及日常照明等<sup>[1]</sup>. 由于半导体折射率与空气折射率相差大, 使出光面的出光锥体小, 电极、衬底对光的吸收等原因造成 AlGaInP LED 的光提取效率很低. 目前国内外的主要解决办法包括: 生长厚电流扩展层, 生长 DBR 反射镜, 晶片键合技术制作 GaP 透明衬底, 表面再构, 光子晶体, 晶体薄膜结构及全方位反射镜等<sup>[2]</sup>.

全方位反射镜薄膜 LED 结构能有效解决上述问题. 全方位反射镜(omni-directional reflector, ODR), 对从任何方向入射的光都具有高反射率, 使 LED 具有高提取效率<sup>[3]</sup>. 用 ODR 作为反光镜是制作高亮度 AlGaInP LED 一种新的方法. 本文提出了一种新型全方位反射 AlGaInP LED 结构, 使光强和光功率可以提高到常规吸收衬底 LED 的 3.6 倍.

## 2 制作结构

采用金属有机物化学气相沉积技术(MOCVD)在 GaAs 衬底上外延出“p 面向上”的 AlGaInP LED 多量子阱(MQW)结构. 这种新型 LED 的外延结构大致包括 n-GaAs 缓冲层、n-Ga<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P 腐蚀停层、n-GaAs 欧姆接触层、n-Ga<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P 腐蚀停层、n-(Al<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>)<sub>0.5</sub>-In<sub>0.5</sub>P 下限制层、(Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>)<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P/(Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>)<sub>0.5</sub>-In<sub>0.5</sub>P MQW 有源区、p-(Al<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>)<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P 上限制层、p-GaP 电流扩展层和 p-GaAs 欧姆接触层.

GaAs 外延之后的工艺制作方法大致分为 4 步:

(1) 在 p-GaAs 面 PECVD 生长  $\lambda/4n$  SiO<sub>2</sub> (105nm 厚,  $n = 1.42$ ), 光刻腐蚀出导电孔(6 μm 直径, 20 μm 间隔), 保留光刻胶, 溅射 AuZnAu 30nm 后剥离, 再溅射 Au 320nm, 合金. AuZnAu 只在导电孔处与半导体形成 p 型欧姆接触, 而在非导电孔处 Au, SiO<sub>2</sub> 与半导体形成全方位反射镜;

(2) 用银浆把 p-GaAs 面键合在 Si 支架上(100°C, 5h), 用双氧水和氨水腐蚀液去除 GaAs 衬底, 腐蚀停层 GaInP 会对下一层的 n-GaAs 欧姆接触层形成保护, 盐酸漂去 GaInP;

(3) 溅射 150nm AuGeNi, 光刻腐蚀出导电电极, 而后湿法腐蚀去除非电极区域的 GaAs, 盐酸漂去腐蚀停层 GaInP, 同时盐酸会对 2500nm 厚的 n-(Al<sub>0.7</sub>-Ga<sub>0.3</sub>)<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P 限制层形成粗化;

(4) 生长  $\lambda/4n$  的 ITO 透明电极, 再溅射 350nm 厚 AuGeNi, 光刻腐蚀出导电 n 型电极, 背面 Si 支架减薄、溅射 p 电极、合金, 最后解理出 300 μm × 300 μm 大小的管芯, 其电极上表面形状和结构截面如图 1(a) 和 (b) 所示.

## 3 结果与讨论

对相同结构 GaAs 外延片制作两组样品, A 组是用常规制作的 p 面出光的带有吸收衬底的圆形电极 LED, 称之为 AS-LED; B 组是用新型全方位反射 AlGaInP 薄膜 LED 的新工艺制作 n 面发光的 LED, 称之为 ODR TF-LED. 两组样品在 20mA 的驱动电流下, 测试结果如表 1 所示, 光强随电流变化比较如图 2 所示. A 组光强和光功率提高到了 B 组的 3.6 倍, 光效提高到原来的 3.2 倍, 而峰值波长并没有变化. 新工艺制作的 ODR TF-LED 的光谱分布、光强角度分布分别如图 3

\* 北京市人才强教计划项目(批准号:05002015200504)和北京市科委高效高亮度单芯片半导体照明器件的研发与产业化(批准号:D0404003040221)资助项目

<sup>†</sup> 通信作者. Email: gaowei@emails.bjut.edu.cn

2007-09-17 收到, 2007-10-25 定稿

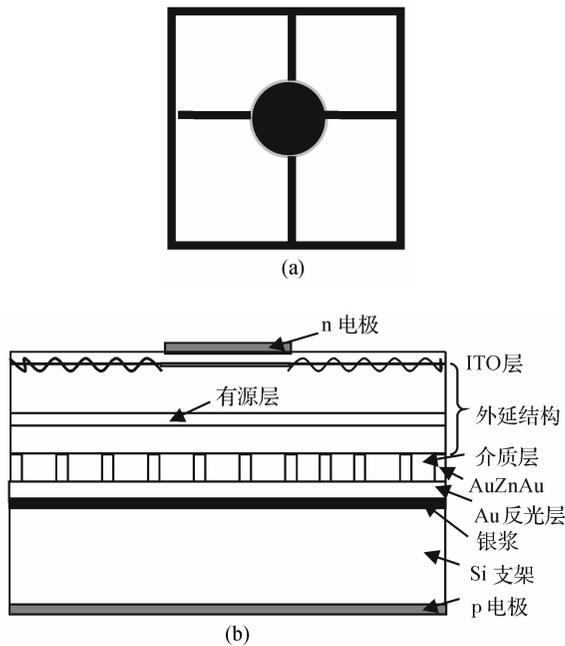


图 1 (a) ODR 薄膜 LED 上表面电极形状;(b) ODR 薄膜 LED 结构示意图

Fig.1 (a) Upper electrode shape of ODR-LED;(b) Structure schematics of ODR-LED

表 1 A 组和 B 组样品测试比较结果  
Table 1 Test result of group A and B

样品	电压 /V	光强 /mcd	光功率 /mW	光通量 /lm	峰值波长 /nm	主波长 /nm	光效 /(lm/W)
AS-LED	2.05	54	1.083	0.2157	632	621.5	5.37
ODR TF-LED	2.20	195	3.78	0.7352	632	622.5	17.18

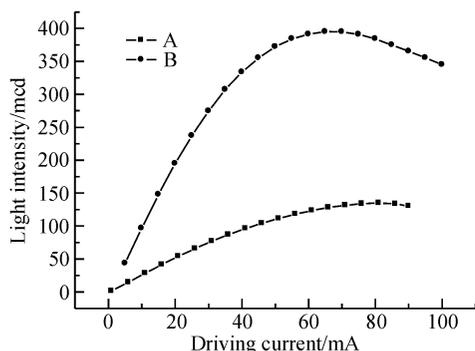


图 2 A 组和 B 组电流-光强曲线比较

Fig.2 Light intensity-current characteristic of group A and B

(a)和(b)所示。

新型结构大大提高了 LED 的亮度,主要原因归结如下:

(1) 去除了对光存在吸收的 GaAs 衬底,采用了导电、散热性能较好的 Si 支架;

(2) ODR 对从任何方向入射的光均具有高反射率、高提取效率. ODR 中,金属 Au 比 AuZn 反射率要高<sup>[4]</sup>,但是,工艺中需要 AuZnAu 和 p-GaAs 形成欧姆接触.新型结构中,AuZnAu 欧姆接触只形成在导电孔

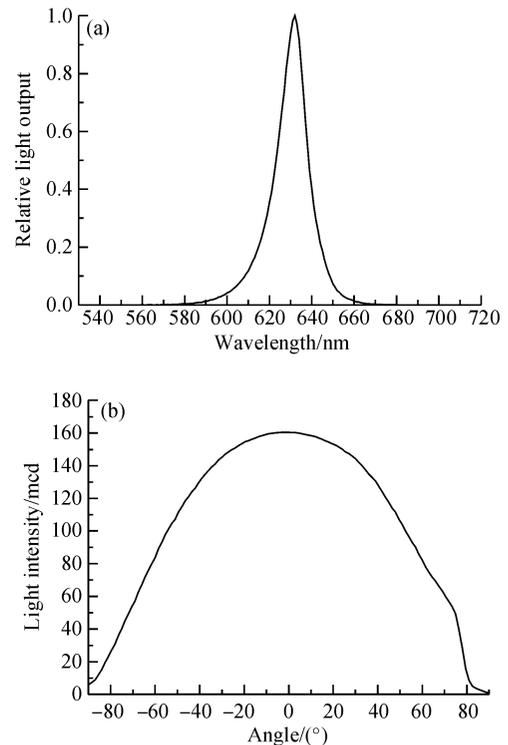


图 3 (a)ODR TF-LED 的光谱分布;(b) ODR TF-LED 的光强空间分布

Fig.3(a) Relative light output versus spectrum for ODR TF-LED;(b) Light intensity versus angle for ODR TF-LED

处,在非导电孔处,只有 Au 形成反光镜,这样解决了 AuZnAu 作为欧姆接触金属反射率低的矛盾;

(3) 外延结构中 n-(Al<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>)<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P 限制层的厚度为 2500nm,起到电流扩展作用,并且可以使表面粗化,形成纳米结构.表面粗化抑制了 LED 表面的光反射,增强了光的散射使一部分光逸出,另一部分光经 ODR 反射后可再一次出射.此限制层既提高了 LED 的亮度,又使得之后生长的 ITO 和限制层的接触比较牢固;

(4) 新型结构中,采用了  形电极形状,有效解决了电流拥挤的问题,使得电流扩展较好.

新型结构中,有几组矛盾:(1)导电孔处的通路占整个芯片的面积越小,接触电阻越大,正向电压也越大,但对反光镜来说反光效果越好;(2)外延结构中 n-(Al<sub>0.7</sub>-Ga<sub>0.3</sub>)<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P 限制层的厚度越厚,对电流扩展越好,但对后生长的量子阱会有影响,降低发光效率;(3)量子阱对数越多其内量子效率越大,但对 ODR 反射的光吸收越多;(4)电极面积越大,电流扩展越好,但电极部分吸收有源区发出的光.优化制作工艺能更好地缓和这几组矛盾,进一步提高 LED 亮度.

## 4 结论

新型全方位反射 AlGaInP LED 结构和制作工艺,在 20mA 的电流驱动下,测得电压为 2.2V,光强达到 195mcd,光功率达到 3.78mW,约提高到常规工艺吸收

衬底 LED 的 3.6 倍,证明新型全方位反射 AlGaInP 薄膜 LED 结构能大大提高亮度和效率.

### 参考文献

[ 1 ] Jan W, Liao T F, Chen T P, et al. AlGaInP light-emitting diode with metal reflector structure. *Proceeding of SPIE*, 2005, 5739: 81

[ 2 ] Thomas G, Schuber E F. High-efficiency AlGaInP light-emitting diodes for solid-state lighting applications. *J Appl Phys*, 2004, 95 (5): 2203

[ 3 ] Thomas G, Schubert E F, Graff J W, et al. AlGaInP light-emitting diodes with omnidirectionally reflecting submount. *Proceeding of SPIE*, 2003, 4996: 26

[ 4 ] Wirth R, Illek S, Karnutsch C, et al. Recent progress of AlGaInP thin-film light-emitting diodes. *Proceeding of SPIE*, 2003, 4996: 1

## Study of a New Pattern of Omni-Directional Reflector AlGaInP Thin-Film Light-Emitting Diodes\*

Gao Wei<sup>†</sup>, Zou Deshu, Li Jianjun, Guo Weiling, and Shen Guangdi

(*Beijing University of Technology, Beijing Optoelectronic Technology Laboratory, Beijing 100022, China*)

**Abstract:** A novel AlGaInP thin-film light emitting diode (LED) with an omni directional reflector structure is proposed and the corresponding fabrication process is developed. The omni-directional reflector was realized by the combination of a GaAs epi-wafer, SiO<sub>2</sub> with conductive micro-contacts, and Au. The LED structure and Si substrate carrier were then brought into contact using silver-loaded epoxy. Then, the GaAs substrate was removed and stopped on the etching stop layer. After the etching stop layer was removed, a thin AuGeNi electrode, the roughed surface, an ITO current spreading layer, a thick AuGeNi n-electrode, a AuZnAu p-electrode, and alloy were fabricated. The wafer was cut into 300 $\mu$ m  $\times$  300 $\mu$ m chips and then packaged into TO-18 without epoxy resin. For 20mA driving current, the voltage is 2.2V, and light intensity and light power respectively reach 195mcd and 3.78mW, which is 3.6 times higher than the absorbing-substrate LEDs.

**Key words:** AlGaInP; thin-film light-emitting diode; omni-directional reflector

**PACC:** 7280E; 7360F; 7865K

**Article ID:** 0253-4177(2008)04-0751-03

\* Project supported by the Talent Promoting Education of Beijing (No. 05002015200504) and the Beijing Committee of Science and Technology (No. D0404003040221)

<sup>†</sup> Corresponding author. Email: gaowei@emails.bjut.edu.cn

Received 17 September 2007, revised manuscript received 25 October 2007

©2008 Chinese Institute of Electronics