

文章编号: 1000-7032(2013)04-0480-05

# 不同形状的电阻挡层对 GaN 基 LED 光效的影响

曹伟伟, 朱彦旭\*, 郭伟玲, 刘建朋, 俞鑫, 邓叶, 徐晨

(北京工业大学 光电子技术省部共建教育部重点实验室, 北京 100124)

**摘要:** 电阻挡层(CBL)可以改善发光二极管(LED)的发光效率和输出光功率,其形状对电流的阻挡作用有影响。本文通过等离子体增强化学气相沉积设备(PECVD)在InGaN/GaN多量子阱外延片上制备了SiO<sub>2</sub>薄膜,并腐蚀出不同结构作为电阻挡层:A组形状与P电极形状相同,B组为Y形CBL,C组为点状CBL。通过对这3组芯片与常规芯片的对比,发现加入CBL对小功率LED的电压特性影响比较小,并且电阻挡层形状与金属电极形状相同时对光效的提高最大,可以提高14.6%。

**关键词:** 发光二极管(LED); 电阻挡层(CBL); 光效

中图分类号: TN383.1 文献标识码: A DOI: 10.3788/fgxb20133404.0480

## Improving Luminous Efficacy of The GaN-based Light-emitting Diodes by Using Different Shapes of Current Blocking Layer

CAO Wei-wei, ZHU Yan-xu\*, Guo WEI-ling, LIU Jian-peng, YU Xin, DENG Ye, XU Chen  
(Key Laboratory of Optoelectronics Technology, Ministry of Education, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

\* Corresponding Author, E-mail: zhuyx@bjut.edu.cn

**Abstract:** Current blocking layer (CBL) was used to improve light output power and luminous efficacy of the LEDs. The structure of CBL can block the current from entering the active region below the top contact. The shape of current blocking layer impacts properties of LEDs, so we fabricate different kinds of SiO<sub>2</sub> CBL by plasma enhanced chemical vapor deposition (PECVD) and etched. There are 3 shapes in the experiment: Group A has a whole structure of CBL which approximately has a same shape of top metal contact layer, group B is a Y-shaped which located on top of the upper confinement, and group C only has a point-shaped structure under the metal pad electrode. According to the experiment, we obtain that the difference of voltage between different groups is not too large in low power LEDs, when CBL and P-electrode have the same shape, the LED has the best properties and by 14.6% compared to that of conventional LEDs.

**Key words:** light-emitting diodes(LEDs), current blocking layer(CBL), luminous efficacy

## 1 引 言

LED具有体积小、寿命长、可靠性高、耗电量

小等优点<sup>[1]</sup>,现已广泛应用于室内照明、交通指挥、汽车照明、大屏幕显示、电子通信等领域<sup>[2-5]</sup>。

随着宽禁带半导体材料 GaN 的广泛研究和应用,

收稿日期: 2012-11-25; 修订日期: 2013-01-07

基金项目: 北京市教委基金(KM201210005004); 国家自然科学基金(61107026); 国家科技支撑计划(2011BAE01B14)资助项目

作者简介: 曹伟伟(1988-),男,山西临汾人,主要从事光电子器件、探测器等半导体器件的研究。

E-mail: lionking1118@126.com

其外延技术已经获得重大突破,内量子效率可以达到 80% 以上。但是,与外延技术的逐渐发展成熟相比,光电转换效率和输出光功率却没有随着内量子效率的显著提高而产生质的飞跃。光效  $\eta$  是光源所发出的总光通量  $\Phi$  (lm, 亮度) 与该光源所消耗的电功率  $P$  (W) 的比值。根据光效定义,提高光效有两种方法:一是提高光通量,二是降低电功率。通常通过退火使电流扩展层氧化铟锡 (ITO) 与 P-GaN 形成欧姆接触<sup>[6-7]</sup>,可以达到降低电功率的目的。对于光通量的提高,在内量子效率一定的情况下可以通过表面和侧壁粗化,加大光提取效率<sup>[8]</sup>;也可以通过增加电流阻挡 (CBL) 以缓解台面边缘的电流拥挤效应<sup>[9]</sup>,同时加大芯片出光部分电流注入并减少 P 金属电极对光子的吸收,从而达到提高光通量的目的。

在金属电极和芯片之间插入  $\text{SiO}_2$  做电阻挡层,理论上会导致其电压较常规器件偏高<sup>[10]</sup>,这就需要综合对比电流电压特性和发光效率,在不同情况下选择不同结构的 CBL 以满足需要。本文通过对不同结构 CBL 的发光二极管进行研究,为实际生产及应用中阻挡层的选取提供了理论依据。

## 2 实 验

本实验所用 InGaN/GaN 多量子阱外延片是利用金属化合物气相沉积设备 (MOCVD) 生长的,衬底为蓝宝石 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )。在实验前,将外延片用丙酮、无水乙醇超声清洗并煮沸两次,接着用大量去离子水冲洗,以除去外延片表面的油污等有机物。然后,用王水 ( $V(\text{HNO}_3):V(\text{HCl})=1:3$ ) 煮沸清洗 15 min 以除去表面的金属离子,并提高 P 型 GaN 表面空穴的浓度,这样有利于在后期合金过程形成良好的欧姆接触。最后,用大量去离子水冲洗干净并用氮气吹干。采用 PECVD 方法在外延片上生长 100 nm 的  $\text{SiO}_2$  作为电阻挡层,光刻并用 BOE 溶液腐蚀出图 1 所示 3 种形状,其中 B、C 是 A 结构的分解。A 结构与电极形状一样,B 为 Y 形,C 结构仅保留圆形压焊点以下部分,为点状。另外,将没有淀积电流阻挡层的常规 LED (D) 作为对比器件,除了 CBL 结构的差别外,这 4 组芯片的其他工艺过程和结构都相同。

腐蚀完  $\text{SiO}_2$  后,在其上用电子束蒸发 200 nm 的 ITO 作透明导电电极,对 ITO 过腐蚀以露出 N 电极区域。在氮气环境中,将芯片在 530 °C 下退

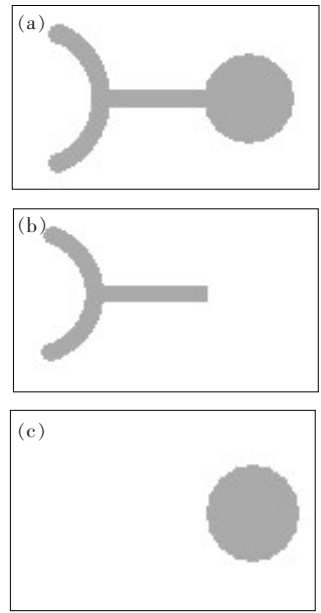


图 1 3 种不同结构的 CBL。(a) 结构 A;(b) 结构 B;(c) 结构 C。

Fig. 1 Three kinds of CBL of A(a), B(b), and C(c).

火 25 min,使 ITO 和 P-GaN 形成良好的欧姆接触。采用感应耦合等离子体刻蚀 (ICP) 方法刻蚀 N 电极到 N-GaN, N、P 台面同时溅射沉积 Ti/Al/Ti/Au (20 nm/200 nm/40 nm/100 nm) 作金属电极。实际器件如图 2 所示,尺寸大小为 0.254 mm × 0.406 mm (10 mil × 16 mil)。最后将芯片减薄至 100  $\mu\text{m}$ ,划片,裂片,每组随机取 10 个进行压焊测试。

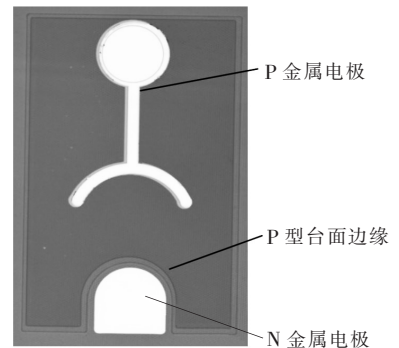


图 2 GaN 基 LED 器件图

Fig. 2 Top view of the GaN-based LED

## 3 结果与讨论

### 3.1 CBL 结构对光电性能的影响

利用实验室中远方 V620 LED 测试仪对 4 组不同形状 CBL 的 LED 进行测试,电流与光电转换效率曲线如图 3 所示。

由图3可知,无CBL结构的D组LED光效为7.39 lm/W,而A、B、C3组的光效为8.47, 8.22, 8.08 lm/W,分别比D组大14.6%, 11%和9%,表明CBL结构可以提高器件的光电转换效率。在常规器件中, P金属电极下方存在电流分布,因此该区域会有一些数目的光子产生。而金属电极为不透光材料,这部分光无法被正常提取,会以热的形式被吸收,对器件的发光性能和可靠性存在潜在危害。在电极下边加一层电流阻挡层会阻碍电流流经电极下方区域,阻碍该区域光子的产生,从而减少了注入电流的浪费,使电流主要集中于未被P金属电极遮挡而可以进行正常光提取的出光区。图3中对比的是20 mA下的电光转换效率。因为 $I = JS$ ,当电极下方加入电流阻挡层后,电流流过的横向面积 $S$ 由于阻挡层的存在比没有阻挡层时要小,所以会间接使得芯片中出光区的电流密度 $J$ 增大。在外延片内量子效率一定的情况下,电流密度的增大使得芯片中出光区中产

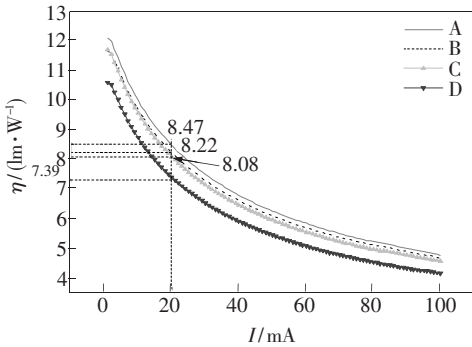


图3 不同形状CBL的LED的电流-光效曲线

Fig. 3  $\eta$ - $I$  Characteristics of the LEDs with different CBL shapes

生的光子数目增多,这就使得提取出的光通量增加,对提高光电转换效率具有明显的积极影响。

图4是4组芯片的电流-电压曲线。在工作电流为20 mA时,A、B、C、D4组器件的电压差别不大,分别为3.117, 3.114, 3.105, 3.105 V。随着电流的增大,4组芯片的电压差逐渐加大,但是依旧不很明显,最大不超过0.1 V。所以,如果工艺比较成熟,加入电流阻挡层虽然会使电压增大,但是对于小功率芯片的影响很小。

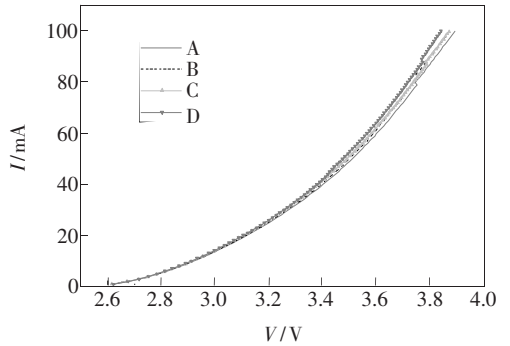


图4 4组LED器件的I-V曲线

Fig. 4 I-V characteristics of four LEDs

### 3.2 不同结构CBL对LED光效的影响

从图3可知,在注入电流为20 mA时,A、B、C3组的光效分别为8.47, 8.22, 8.08 lm/W,其中以A组器件的光效提高最为显著。据此我们可以得出结论:当阻挡层的形状与P电极形状相同时,芯片光学性能的提高最为明显。

图5(a)为常规蓝宝石衬底的GaN基LED的结构示意图,图中简单标识了电流的流动路径<sup>[11]</sup>。如图所示,由于N型GaN的电阻较P型

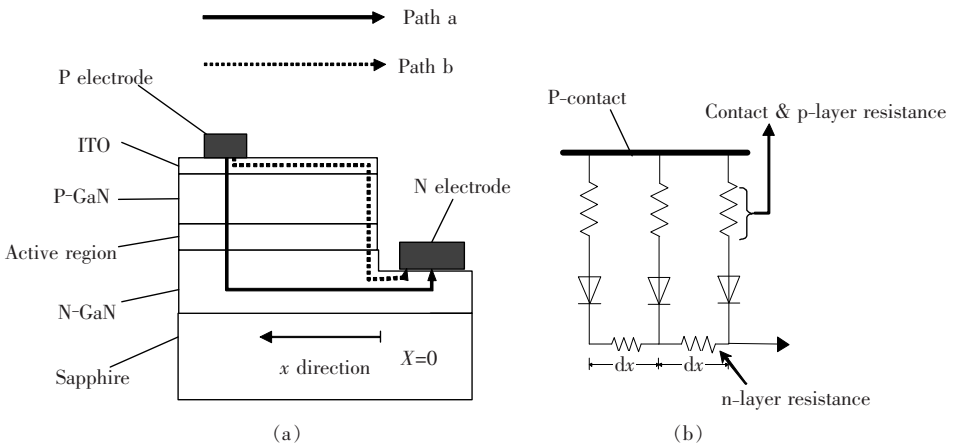


图5 常规蓝宝石衬底GaN基LED电流路径简化图(a)及等效电路图(b)

Fig. 5 (a) Current crowding happened in a mesa-structure GaN-based LED grown on sapphire. (b) Equivalent circuit consisting of n-type and p-type layer resistances, p-type contact resistance.

GaN 的电流扩展层 ITO 的电阻要大,电流通过路径 b 的电阻较路径 a 的电阻要小<sup>[12]</sup>,所以电流聚集于 P 台面边缘处,也就是说该区域极易产生电流拥堵<sup>[13]</sup>。

图 5(b) 为 GaN 基 LED 器件的等效电路图。从图 5(a) 中知道  $x$  方向为从 N 电极指向 P 电极, P 台面边缘处为零点。利用基尔霍夫电流定律可推导出电流密度与坐标  $x$  的关系<sup>[14]</sup> 如下:

$$J_x = J_0 \exp(-x/L_s)$$

其中  $J_0$  为 P 台面边缘处的电流密度,  $L_s$  为电流扩展长度,是电流密度减小到  $J_0$  的  $1/e$  处的长度,所以  $J_{1s}/J_0 = 1/e$ ,由该式可以对电流密度分布有一个近似的定值分析。从公式中可以得出,电流密度分布以指数递减形式分布,越远离台面则边缘电流密度越小。根据上述公式可以得出如下结论:在一定范围内,如果电阻挡层越靠近 P 台面边缘,所阻挡的电流密度就越大,能阻止更多不

能正常提取的光子的产生,减少对载流子的浪费,对器件性能产生的积极影响也就越大。据此可以对图 3 进行解释:由于 B 组电阻挡层较 C 组要靠近台面边缘处,所以 B 组中电阻挡层对光效的改善较 C 组要好;而 A 组是 B 组和 C 组电阻挡层的结合,对光效的提高较 B、C 两组都要好,因此 A 组的光学性能是最好的。

## 4 结 论

在 LED 的电流扩展层和 P-GaN 层中间加入电阻挡层可以有效降低不能正常提取的光子的产生量,加大出光部分的电流密度,最终使得器件的输出光功率和光电转换效率在相同电流下得到较大提高。加入阻挡层对电流-电压特性有一定影响,但是对于小功率芯片,电压提高的幅度不是很大。当电阻挡层的形状与电极形状相同时,器件的输出光功率和光电转换效率提高最为显著。

## 参 考 文 献:

- [ 1 ] Yu L Y, Niu P J, Xing H Y, *et al.* Influence of electron beam irradiation on the luminescence properties of GaN-based LED [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2012, 33(8):869-872 (in Chinese).
- [ 2 ] Jiang H X, Jin S X, Li J, *et al.* III-nitride blue micro displays [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2001, 78(9):1303-1305.
- [ 3 ] Lin Y C, Chang S J, Su Y K, *et al.* High power nitride based light emitting diodes with Ni/ITO p-type contacts [J]. *Solid-State Electronics*, 2003, 47(9):1565-1568.
- [ 4 ] Yin C A, Zhao C J, Liu X Y, *et al.* Development of white light emitting diode [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2000, 21(4):380-382 (in Chinese).
- [ 5 ] Zhou Z, Feng S W, Zhang G C, *et al.* The aging characteristics of high-power GaN-based white light-emitting diodes [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2011, 32(10):1046-1050 (in Chinese).
- [ 6 ] Wang W J, Li X F, Shi J F, *et al.* Effect of ITO interface modulation layer on the performances of LEDs with Ga-doped ZnO electrode [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2012, 33(2):210-215 (in Chinese).
- [ 7 ] Liu J P, Zhu Y X, Guo W L, *et al.* The effect of ITO annealing on electrical characteristic of GaN based LED [J]. *Acta Phys. Sinica* (物理学报), 2012, 61(13):425-431 (in Chinese).
- [ 8 ] Fujii T, Gao Y, Sharma R, *et al.* Increase in the extraction efficiency of GaN-based light-emitting diodes *via* surface roughening [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2004, 84(6):855-857.
- [ 9 ] Huh C, Lee J, Kim D, *et al.* Improvement in light-output efficiency of InGaN/GaN multiple-quantum well light-emitting diodes by current blocking layer [J]. *J. Appl. Phys.*, 2002, 92(5):2248-2250.
- [ 10 ] Tsai M A, Yu P C, Chen J R, *et al.* Improving light output power of the GaN-based vertical-injection light-emitting diodes by Mg<sup>+</sup> implanted current blocking layer [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2009, 21(11):688-690.
- [ 11 ] Kim H, Park S J, Hwang H. Effects of current spreading on the performance of GaN-based light-emitting diodes [J]. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 2001, 48(6):1065-1069.
- [ 12 ] Pan H P, Huang L W, Li R, *et al.* Finite element model of GaN based LED and the optimization of the mesa structure [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2007, 28(1):114-120 (in Chinese).
- [ 13 ] Ai W W, Guo X, Liu B, *et al.* Effect of current crowding on the reliability of GaN-based LEDs [J]. *Laser & Infrared* (激光与红外), 2006, 36(6):491-494 (in Chinese).
- [ 14 ] Schubert E F. *Light-emitting Diodes* [M]. 2nd ed. New York: Cambridge University Press, 2006:138.

文章编号: 1000-7032(2013)04-0484-04

# 利用微腔调节铕配合物实现多色电致发光

林 杰<sup>1,2</sup>, 刘晓新, 褚明辉<sup>1\*</sup>, 刘星元<sup>1</sup>

(1. 发光学及应用国家重点实验室 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 制备了以 TCTA 和 CBP 为空穴传输层、Eu(DBM)<sub>3</sub>Bath 为发光层、TPBI 为电子传输层的有机多层薄膜微腔电致发光器件。通过光学微腔来改变 Eu(DBM)<sub>3</sub>Bath 不同能级之间的跃迁速率, 从而实现了 Eu<sup>3+</sup> 的 <sup>5</sup>D<sub>0</sub>→<sup>7</sup>F<sub>0</sub> (580 nm)、<sup>5</sup>D<sub>0</sub>→<sup>7</sup>F<sub>2</sub> (612 nm) 以及 <sup>5</sup>D<sub>0</sub>→<sup>7</sup>F<sub>3</sub> (652 nm) 的多色电致发光。其中, 发光主峰在 <sup>5</sup>D<sub>0</sub>→<sup>7</sup>F<sub>2</sub> (612 nm) 的微腔 OLED 最大电流效率超过 20 cd/A, 最大亮度超过 1 300 cd/m<sup>2</sup>。

**关键词:** 有机; 微腔; Eu<sup>3+</sup> 配合物; 电致发光

中图分类号: TN383+.1

文献标识码: A

DOI: 10.3788/fgxb20133404.0484

## The Multicolor Electroluminescence Based on Europium-complex Microcavity

LIN Jie<sup>1,2</sup>, LIU Xiao-xin<sup>1</sup>, CHU Ming-hui<sup>1\*</sup>, LIU Xing-yuan<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Luminescence and Applications, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

\* Corresponding Author, E-mail: chumh@ciomp.ac.cn

**Abstract:** The multi-layer microcavity OLEDs have been fabricated with hole transport layers of CBP and TCTA, an emissive layer of Eu(DBM)<sub>3</sub>Bath, and an electron transport layer of TPBI. Multicolor electroluminescence from the transition of Eu<sup>3+</sup> ion with three peaks at 580 nm (<sup>5</sup>D<sub>0</sub>→<sup>7</sup>F<sub>0</sub>), 612 nm (<sup>5</sup>D<sub>0</sub>→<sup>7</sup>F<sub>2</sub>), and 652 nm (<sup>5</sup>D<sub>0</sub>→<sup>7</sup>F<sub>3</sub>) was achieved by changing the transition rate between the different energy levels of Eu(DBM)<sub>3</sub>Bath through optical microcavity. The microcavity OLED device with an EL peak of 612 nm shows the maximum current efficiency more than 20 cd/A, and maximum luminance over 1 300 cd/m<sup>2</sup>.

**Key words:** organic; microcavity; europium-complex; electroluminescence

## 1 引 言

稀土有机配合物作为一种发光材料, 在发光和激光领域得到了广泛应用, 其作为有机电致发

光器件 (OLED) 的发光层, 具有色纯度高的优点<sup>[1-9]</sup>。稀土发光材料中, 铕配合物的发光峰主要是来自于 Eu<sup>3+</sup> 离子的 <sup>5</sup>D<sub>0</sub>→<sup>7</sup>F<sub>2</sub> 特征发射, 波长 612 nm, 半高全宽约为 4 nm。由于铕配合物属于

收稿日期: 2011-02-06; 修订日期: 2011-03-22

基金项目: 国家自然科学基金(51102228)资助项目

作者简介: 林杰(1981-), 男, 河南南阳人, 主要从事有机半导体微腔激光的研究。

E-mail: linjie137@163.com