

高亮度 InGaN 基白光 LED 特性研究

李忠辉 丁晓民 杨志坚 于彤军 张国义

(北京大学物理学院介观物理国家重点实验室,北京,1000871;

北京大学宽禁带半导体研究中心,北京,100871)

摘要 利用自行研制的 InGaN/GaN SQW 蓝光 LED 芯片和 YAG:Ce³⁺ 荧光粉制作了高亮度白光 LED(3),并对其发光强度、色度坐标、I-V、色温及显色性等特性进行了研究.实验结果表明:室温下,正向电流为 20mA 时,白光 LED 的轴向发光强度为 1.1~2.3cd,正向电压小于 3.5V,色度坐标为(0.28,0.34),显色指数约为 70.

关键词 光源、InGaN、YAG、白光 LED.

CHARACTERISTICS OF HIGH BRIGHTNESS InGaN BASED WHITE LIGHT EMITTING DIODES

LI Zhong-Hui^{1,2)} DING Xiao-Min¹⁾ YANG Zhi-Jian¹⁾ YU Tong-Jun¹⁾ ZHANG Guo-Yi¹⁾

¹⁾ State Key Lab for Mesoscopic Physics, School of Physics of Peking University, Beijing 100871, China;

²⁾ Research Center for Wide Band gap Semiconductor of Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract High brightness white light emitting diodes(3) were fabricated by using the self-produced InGaN/GaN blue LED chip and YAG:Ce³⁺ fluorescence. The luminous intensity, chromaticity coordinate, I-V, color temperature and color rendering index were studied. The experiment result shows that in room temperature, at forward current 20mA, luminous intensity of the white LED is from 1.1cd to 2.3cd, when forward current is under 3.5V, the chromaticity coordinate is (0.28,0.34), and the color rendering index is about 70.

Key words light source, InGaN, YAG, whiteLEDs.

引言

随着超高亮度 InGaN/GaN SQW 蓝色 LED 的商业化^[1,2],新一代绿色固体光源—InGaN 基白光 LED 已经成为研究和开发的热点^[3].

InGaN 基白光 LED 利用低压直流电驱动,无频闪,节能明显;在可见光区发光,发热量低,无辐射,属于冷光源;无铅、汞污染;固体化抗冲击,安全性高;寿命长、响应快、逐步失效,加之结构紧凑、易于实现大面积阵列^[4]等诸多优点,广泛应用于室内外照明,显示屏和仪表的背光源,大屏幕及交通信号显示等领域,尤其是替代传统照明光源(如白炽灯和荧光灯)及 LCD 背光源的首选,它的应用将导致照明领域犹如从烛光到白炽灯的巨大变革^[5].

InGaN 基白光 LED 的制作是在 InGaN/GaN 蓝色 LED 芯片表面涂覆 YAG:Ce³⁺ 荧光粉层,从 LED

发出的蓝光被荧光粉层吸收后产生互补的黄光,利用透明树脂封装后形成的微透镜聚焦,使蓝光和黄光混合形成的白光出射到 LED 外面.

目前,日本 Nichia 公司的白光 LED 产品达到 7.5lm,色坐标(0.31,0.32),色温 6000K,显色指数为 85.3.美国 Lumileds Lighting 公司的单个白色 LED 已达到 17lm(3.2V/350mA).国内的白光 LED 研究者采用进口的蓝光 LED 芯片,荧光粉则少数是自制^[6],多数为进口.本文利用自行研制的 InGaN/GaN SQW 蓝光 LED 芯片和 YAG:Ce³⁺ 荧光粉,以及特殊的荧光粉涂敷技术研制了高亮度白光 LED,并对其特性进行了探讨,为拥有自主知识产权的白光 LED 制造技术进行了有益的尝试.

1 荧光粉及白光 LED 制备

将按比例混合的 Y₂O₃、Al₂O₃、Gd₂O₃、Ca₂O₃ 和

*国家“863”计划招标项目(批准号 2001AA313140)
稿件收到日期 2002-02-21,修改稿收到日期 2002-06-17

*The project Supported by National High Technology 863 Research & Development Program of China Under Contract (No. 2001AA313140)
Received 2002-02-21, revised 2002-06-17

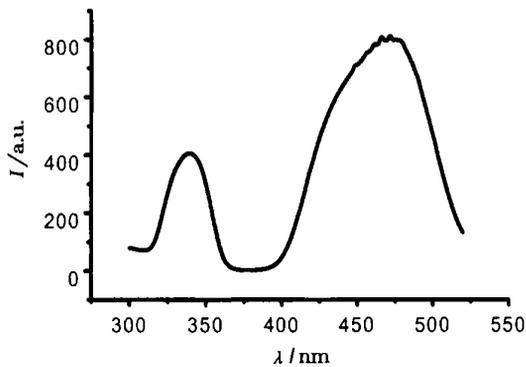


图 1 YAG:Ce³⁺ 荧光粉的激发光谱
Fig. 1 Excitation spectrum of YAG:Ce³⁺

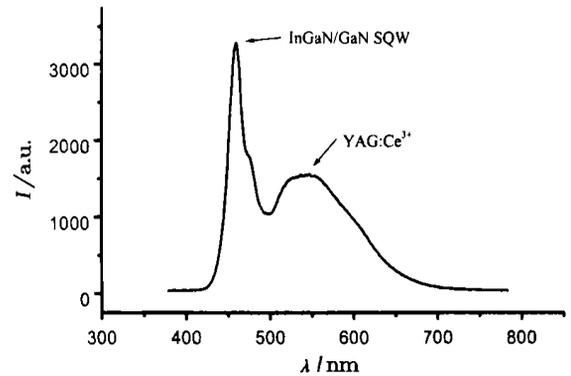


图 3 白光 LED 光谱
Fig. 3 Spectrum of white LED

Ce₂O₃ 粉末经高温固相反应后,进行冲洗、干燥脱水等处理,即可得到所需的 YAG:Ce³⁺ 荧光粉。

YAG:Ce³⁺ 荧光粉的激发光谱如图 1 所示。该激发光谱为双峰结构,主峰在 460nm 附近,与 InGaN/GaN SQW 蓝光 LED 的发射波长相匹配,有利于提高转换效率。

利用 LP-MOCVD 设备生长 InGaN/GaN SQW 蓝光 LED 芯片,并装架、焊接;将 YAG:Ce³⁺ 荧光粉与透明树脂均匀混合涂覆在蓝光芯片表面,固化后,封装成 3 规格的 LED。

YAG:Ce³⁺ 荧光粉的粒度、与树脂的混合比例以及混合均匀性,都将影响白光 LED 的色度、亮度、色彩还原性。

2 性能测试及分析

选取 10 支白光 LED,在正向电流 20mA 时,对

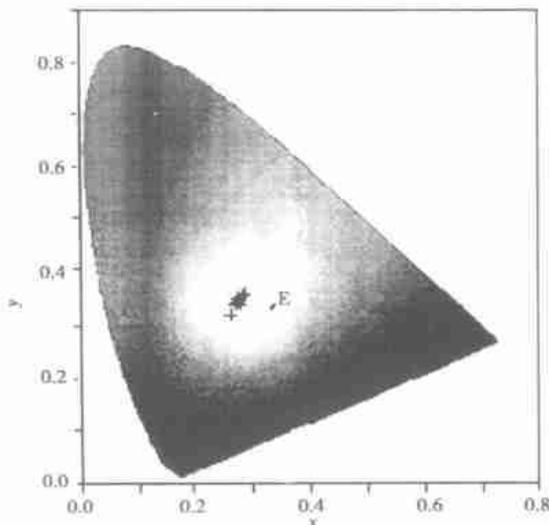


图 2 10 支白光 LED 的色坐标分布
Fig. 2 Distribution of chromaticity coordinate of the white LED

电压、轴向发光强度、色温、显色指数等参数进行测试,结果表明:工作电压分布为 3.29V ~ 3.48V,均小于 3.5V;轴向亮度为 1.1cd ~ 2.3cd;色温为 7215 K ~ 9831 K;显色指数为 65 ~ 72。

上述 10 支白光 LED 的色度坐标在 CIE 色度图中的位置如图 2 所示,图中的“E”点代表纯白光的色度坐标,“+”点代表被测试白光 LED 的色度坐标。由图可知,10 支白光 LED 的色坐标均处于白光区域内,分布比较紧凑,说明色度差别较小。

正向电流为 20mA 时,白光 LED 的光谱如图 3 所示。该光谱由峰值波长 460nm 的尖峰和峰值波长 550nm 的宽峰组成,由分析可知:尖峰为 InGaN/GaN SQW 蓝光芯片的发光峰,宽峰为 YAG:Ce³⁺ 荧光粉的发光峰。图 3 中白光 LED 的光谱在 430nm ~ 700nm 区域连续分布,包括了从蓝至红的整个可见光区。

白光 LED 的轴向发光强度与正向电流强度的关系如图 4 所示。随着正向电流的增加,白光 LED 的轴向发光强度逐渐增大;当正向电流为 90mA 时,

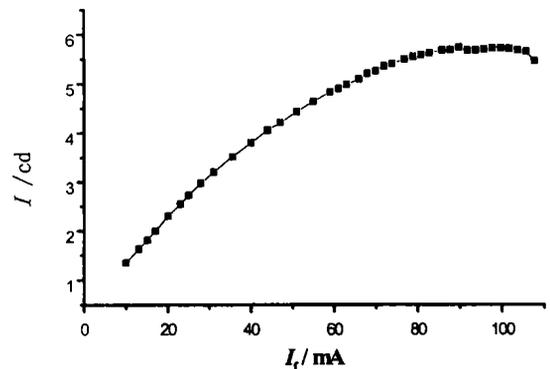


图 4 轴向发光强度与正向电流强度的关系
Fig. 4 Relationship between luminous intensity and forward current intensity

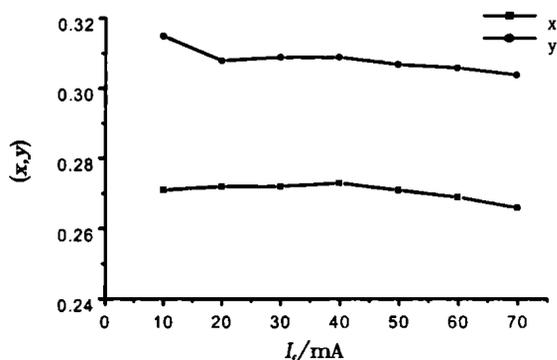


图5 白光LED色度坐标与正向电流强度的关系
Fig. 5 Relationship between chromaticity coordinate and forward current intensity in white-LED

发光强度达到最大值 5.74cd, 并且已经饱和不再随电流变化; 当电流超过 102mA 时, 发光强度呈快速下降趋势。

白光LED的色度坐标随正向电流强度变化的关系如图5所示。正向电流由20mA增加到30mA, 色坐标 x 无变化, y 降低了 0.01; 由20mA增加到40mA, 色坐标 x 、 y 分别降低了 0.01; 正向电流大于40mA 色坐标发生明显变化, 说明正向电流在20mA~40mA 区间内白光LED的色度比较稳定, 受电流变化的影响较小。

正向电流对 InGaN/GaN SQW 蓝光芯片和 YAG:Ce³⁺ 荧光粉发射波长的影响如图6所示。由图6可知, 正向电流从20mA增加到40mA时, 蓝光发射和黄光的发射波长基本不变, 所以对白光的色度坐标无影响; 当正向电流超过40mA后, 蓝光和黄光的发射波长均呈微弱增加趋势, 引起白光色度坐标 (x , y) 的改变。

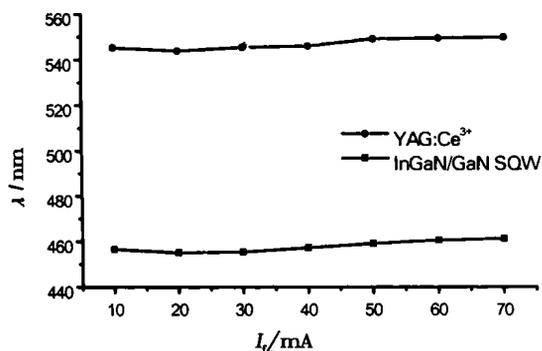


图6 正向电流对 InGaN/GaN 和 YAG:Ce³⁺ 发射波长的影响
Fig. 6 Relationship between forward current and emission wavelength in InGaN/GaN and YAG:Ce³⁺

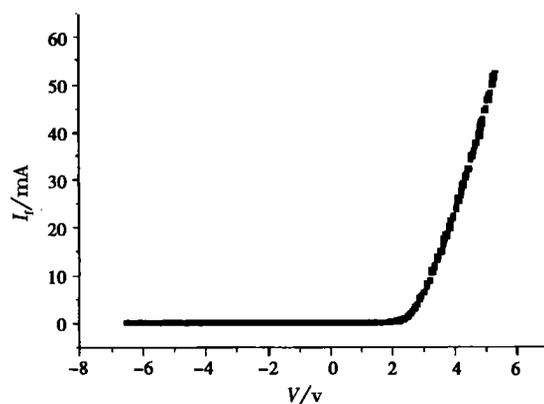


图7 白光LED的 F-V 特性
Fig. 7 Relationship between forward current and forward voltage in white LED

白色LED的 F-V 特性曲线如图7所示。正向开启电压约为 2.3V, 正向工作电流为 20mA 时, 正向工作电压约为 3.4V。

3 结语

利用自行研制 InGaN/GaN SQW 蓝光LED芯片和 YAG:Ce³⁺ 荧光粉制作了高亮度白光LED。室温、正向电流20mA时白光LEDs的轴向发光强度为 1.1~2.3cd, 正向电压小于 3.5V, 色度坐标为 (0.28, 0.34), 显色指数为 70 左右。

REFERENCES

- [1] Kamura S, Seroh M, Iwasa N, et al. Superbright green InGaN single quantum well structure light-emitting diodes. Jpn. J. Appl. Phys., 1995, 34:L1332—1335
- [2] Mukai T, Naimatsu H, Nakamura S, et al. Amber InGaN-based light-emitting diodes operable at high ambient temperatures. Jpn. J. Appl. Phys., 1998, 37:L479—481
- [3] Fumitomo Hida, Peter Kozodoy, Steven P, et al. White light from InGaN/conjugated polymer hybrid light emitting diodes. Appl. Phys. Lett., 1997, 70(20):2664—2666
- [4] Tetsushi Tamura, Tetsumi Setomoto, Tsunemasa Taguchi. Illumination characteristics of lighting array using 10 candela-class white LEDs under AC 100V operation. Journal of Luminescence, 2000, 87—89:1180—1182
- [5] LIANG Chuan Guang. Blue Semiconductor Devices. Chinese Journal of semiconductor information (梁春广. 半导体蓝光. 半导体情报), 1999, 36(2):1—7
- [6] YIN Chan Gan, ZHAO Cheng Jiu LIU Xue Yan, et al. Development of White Light Emitting Diode. Chinese Journal of Luminescence (尹长安, 赵成久, 刘学彦, 等. 白光LED的最新进展. 发光学报), 2000, 21(4):380—382