

荧光粉比例对白光 LED 特性的影响

郭伟玲, 崔德胜, 崔碧峰, 闫薇薇, 刘莹

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 用黄色和橙色硅酸盐荧光粉制备了白光 LED, 调整黄粉和橙粉的比例得到不同的色温。对样品进行光学测试, 发现黄粉与橙粉的比例小于 7 时, 黄光部分的峰值约 590 nm, 比例大于 7 时, 黄光部分的峰值约 570 nm; 显色指数和流明效率都是随色温的增大先上升后下降, 5 521 K 时达到最优值, 这是由于低色温时, 荧光粉的浓度大导致不能有效激发, 光谱中红色成分过多导致显色指数低, 高色温时, 荧光粉浓度小导致蓝光不能有效利用, 光谱中红色成分过少导致显色指数低。对样品进行 10~80 °C 的变温测试, 发现流明效率降低并且幅度不同, 除了芯片本身的俄歇复合外, 还说明黄色和橙色荧光粉随温度上升激发效率下降程度不同, 橙色荧光粉的温度特性要优于黄色荧光粉。

关键词 发光二极管; 荧光粉; 光谱; 色温; 显色指数; 流明效率

中图分类号: TN383 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2011)10-2680-04

引言

近年来, 氮化镓(GaN)基发光二极管(light-emitting diode, LED)在光通量、发光效率、寿命等方面都有了极大提高, 与传统光源相比, LED 具有长寿命、低功耗、无污染等优点, 而且在节能照明光源方面的应用也日趋成熟^[1]。目前白光 LED 制备方法主要是在蓝光 LED 芯片上涂覆 YAG($Y_3Al_5O_{12}$)荧光粉^[4], YAG 是一种性能非常好的荧光粉, 但存在合成温度高、显色指数低、色温高、用于功率型 LED 时光衰严重^[5, 6]等缺点, 若要提高显色指数, 就要在荧光粉中添加其他元素以增加光谱中的红光成分, 这会导致荧光粉的发光效率较低^[7], 会减小 LED 的发光效率。硅酸盐荧光粉具有良好的化学稳定性、热稳定性、激发效率^[8]、显色性^[9, 10]和宽的激发带^[11, 12], 使得其应用范围越来越广泛, 近年来硅酸盐发光材料成为研究热点并已经产业化。

为达到各种性能指标, 通常白光 LED 的荧光粉由几种混合而成, 但荧光粉种类的增加会影响发光效率并且有的荧光粉之间会发生化学反应。本文用硅酸盐黄色和橙色荧光粉配合 GaN 基蓝光 LED 制作了不同色温的白光 LED, 系统研究了白光 LED 的光谱特性、显色性和发光效率的变化, 并实现了色温、显色指数和发光效率的最优化, 为用硅酸盐荧光

粉制作白光 LED 提供了实验依据。

1 实验部分

1.1 主要原料

硅酸盐黄色荧光粉, 发射波长 570 nm, 色坐标(0.459, 0.519); 硅酸盐橙色荧光粉, 发射波长 600 nm, 色坐标(0.599, 0.396), 两种荧光粉的粒径均为 15 μ m; 透明硅胶, 折射率为 1.54; InGaN/GaN 蓝光 LED 芯片, 峰值波长 445~450 nm。

1.2 白光 LED 的制备及测试

将蓝光 LED 芯片固晶, 焊线, 将黄色荧光粉和橙色荧光粉按一定比例混合后加入硅胶中均匀搅拌, 然后放入 BW-ZK777 真空机中抽真空, 直至荧光粉与硅胶的混合物中无气泡为止, 再用 SHOTMASTER 300 自动点胶机将已抽真空的荧光粉硅胶混合物点到 LED 芯片上, 点胶量为 0.003 mL, 最后烘烤成型。

样品制成后, 用浙大三色的 LED 光电色热测试系统在 25 °C 环境下对样品进行光学特性测试, 测试电流 350 mA。用 LED-200T 热台进行温度控制, 对样品进行变温测试, 测试电流 350 mA, 温度范围 10~80 °C。表 1 是不同荧光粉的配比比例样品在 25 °C 下测试的色温。

收稿日期: 2011-01-06, 修订日期: 2011-04-06

基金项目: 国家(863 计划)项目(2009AA03A1A3)和国家科技支撑计划项目(2011BAE01B14)资助

作者简介: 崔德胜, 1986 年生, 北京工业大学电子信息与控制工程学院硕士研究生

e-mail: cds1210@163.com

©1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Table 1 Proportion of yellow and orange phosphor						
编号	黄色荧光粉/g	橙色荧光粉/g	硅胶/g	黄粉与橙粉比例	色温/K	流明效率/(lm·W ⁻¹)
1 [#]	0.12	0.07	1	1.7	2 814	78.852 62
2 [#]	0.09	0.04	1	2.25	3 237	81.079 41
3 [#]	0.14	0.02	1	7	4 508	84.775 12
4 [#]	0.1	0.05	1	20	5 521	87.034 8
5 [#]	0.08	0.003	1	27	5 819	82.649 21
6 [#]	0.006	0.002	1	30	6 246	83.261 28

2 结果与讨论

2.1 光学特性

色温是指当光源所发射的光的颜色与黑体在某一温度下辐射的颜色相同时，黑体的这个温度就称为光源的颜色温度，简称色温。色温可以分为三组：暖色(< 3 300 K)，中间色(3 300~ 5 300 K)，冷色(> 5 300 K)。一般色温高表示蓝绿光的组分多，色温低表示橙黄光的组分多^[13]。图 1 是 CIE 1931 色度图，图中曲线是黑体辐射曲线，A、B、C 点是黄色荧光粉、橙色荧光粉和蓝光芯片的色坐标，荧光粉与芯片匹配合适即可得到三角形 ABC 中的所有颜色。控制两种荧光粉的比例可以配出直线 AB 上的任一点 D，控制荧光粉用量使样品的色坐标在直线 CD 与黑体辐射曲线的交点附近，即可得较纯的白光。

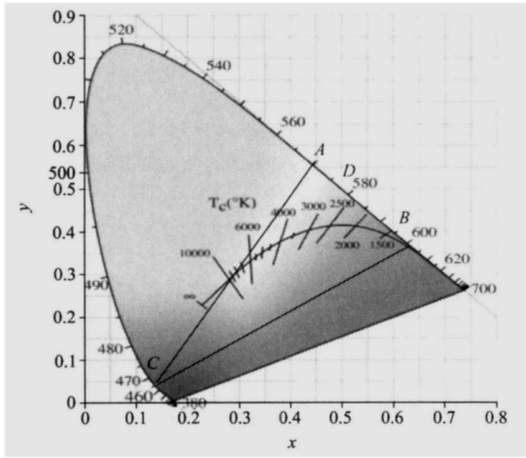


Fig 1 CIE 1931 chromaticity diagram

图 2 是不同色温(即荧光粉配比比例不同)白光 LED 样品的电致发光光谱(EL)，从图中可以看出，不同色温的光谱中黄光部分的峰值波长不同。2 814, 3 237 和 4 508 K 的样品的黄光峰值波长在 590 nm 左右，位于两种荧光粉的激发波长之间，而 5 521, 5 819 和 6 246 K 的样品的黄光峰值波长大约为 570 nm，与黄色荧光粉的发射波长相同。这说明当黄粉与橙粉的比例小于 7 时，黄光部分的峰值是由黄粉和橙粉激发的光谱叠加而成；而比例大于 7 时，黄粉的激发光谱在整个黄光部分占主要，此时橙粉的激发光谱只是起到补充红光成分的作用。光谱图中蓝光的峰值没有大的变化，均为 445~ 450 nm。

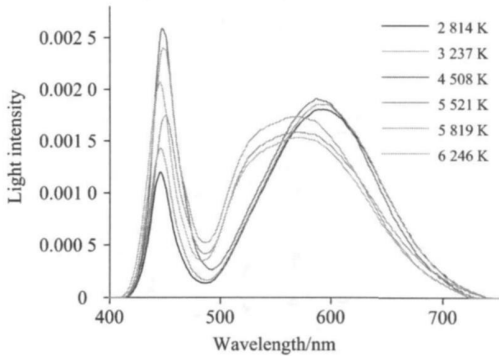


Fig 2 EL spectra of the samples with different color temperature

图 3 是样品的显色指数和流明效率随色温的变化曲线。显色指数和流明效率随色温的增加先增大，然后减小，在 5 521 K 时两者都达到最大值。当色温小于 5 521 K 时，由于光谱中的红色成分较多，黄色成分相对少些，导致显色指数不高。黄粉与橙粉的比例增加后，光谱中黄色成分增加，显色指数升高，在 5 521 K 时达到最大，而比例继续增加后，红色成分过少，又会导致显色指数的下降。流明效率和显色指数表现了相同的变化趋势，当色温小于 5 521 K 时，荧光粉在硅胶中的浓度大，不能有效的激发，随着浓度的减小，激发效率升高，而色温大于 5 521 K 时，荧光粉的浓度变小，有部分蓝光没有被利用，从图 2 中的光谱图也可以看到，高色温时蓝光的能量比较大。

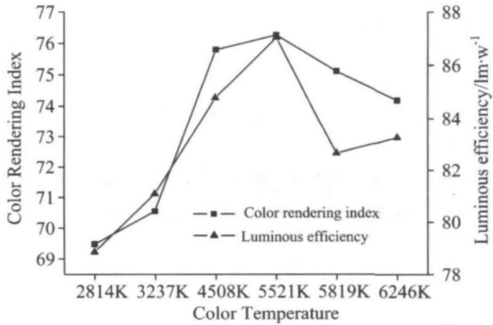


Fig 3 Color rendering index and luminous efficiency as a function of color temperature

2.2 变温特性

图 4 是白光 LED 样品的流明效率随温度的变化曲线。随温度的升高，所有样品的流明效率均下降，其中一个原因

是由 LED 芯片引起的, InGaN/ GaN LED 的内量子效率(η_i)可表示为^[13]

$$\eta_i = \frac{Bn^2}{An + Bn^2 + Cn^3}$$

其中, n 为载流子浓度, A , B , C 分别表示 SRH(间接复合)非辐射复合系数、辐射复合系数和俄歇复合系数。InGaN 的能带是直接跃迁型, 所以不必考虑 SRH 非辐射复合, 而温度升高时, 俄歇复合要加强, 系数 C 会增大, 导致内量子效率降低。从外部特性看就是流明效率的降低。

对图 4 中的数据线性拟合, 发现 2 814, 3 237 和 4 508 K

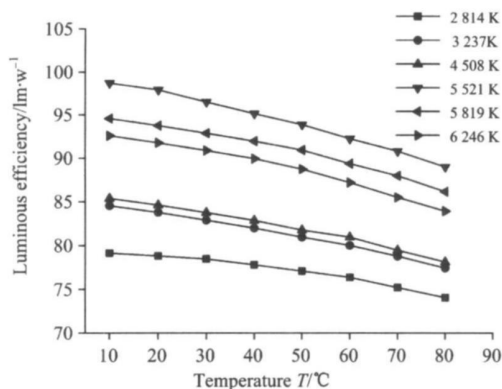


Fig 4 Luminous efficiency as a function of temperature

的直线斜率在 -0.0721 和 -0.10211 之间, 而 5 521, 5 819 和 6 246 K 的斜率在 -0.11816 和 -0.1396 之间, 这说明除了 LED 芯片随温度变化外, 不同的荧光粉随温度的升高, 变化也不一样。低色温样品中橙色荧光粉较多, 流明效率随温度的变化程度小于高色温的样品, 说明橙色荧光粉的温度特性要优于黄色荧光粉。

3 结 论

用 InGaN/ GaN 蓝光 LED 芯片、黄色和橙色荧光粉制备了白光 LED, 调整黄粉和橙粉的比例得到不同的色温。对样品进行光学测试, 发现黄粉与橙粉的比例小于 7 时, 黄光部分的峰值是由黄粉和橙粉激发的光谱叠加而成, 比例大于 7 时, 黄粉的激发光谱在整个黄光部分占主要; 显色指数和流明效率都是随色温的增大先上升后下降, 5 521 K 时达到最优值, 这是由于低于 5 521 K 时, 荧光粉的浓度大导致不能有效激发, 光谱中红色成分过多导致显色指数低, 高于 5 521 K 时, 荧光粉浓度小导致蓝光不能有效利用, 光谱中红色成分过少导致显色指数低。对样品进行变温测试, 发现流明效率降低并且幅度不同, 除了芯片本身的俄歇复合导致内量子效率降低, 黄色和橙色荧光粉随温度变化特性不同, 橙色荧光粉的温度特性优于黄色荧光粉。

References

- [1] Daniel A Steigerwald, Jerome C Bhat, Dave Collins, et al. IEEE Journal on Selected Topics in Quantum Electronics, 2002, 8(2): 310.
- [2] Naichia Yeh, Jen-Ping Chung. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2009, 13(8): 2175.
- [3] Pal N, Sadhu P K, Gupta R P, et al. International Conference on Computer and Automation Engineering, 2010, 5: 675.
- [4] Isamu Niki, Yukio Narukawa, Daisuke Morita, et al. Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering, 2004, 5187: 1.
- [5] Guo C, Luan L, Ding X, et al. Applied Physics B: Lasers and Optics, 2009, 95(4): 779.
- [6] WANG Hong-zhi(王宏志). Materials Review(材料导报), 2010, 24(7): 1.
- [7] CHEN Du, CHEN Chao(陈都, 陈朝). Journal of Xiamen University • Natural Science(厦门大学学报 • 自然科学版), 2007, 46(5): 669.
- [8] Joung Kyu Park, Chang Hae Kim, Seung Hyok Park, et al. Appl. Phys. Lett., 2004, 84(10): 1647.
- [9] Pardha Saradhi M, Varadaraju U V. Chem. Mater., 2006, 18: 5267.
- [10] LI Pan-lai, YANG Zhi-ping, WANG Zhi-jun, et al(李盼来, 杨志平, 王志军, 等). Chemical Journal of Chinese Universities(高等学校化学学报), 2008, 29(3): 457.
- [11] SUN Xiao-yuan, ZHANG Jia-hua, ZHANG Xia, et al(孙晓园, 张家骅, 张霞, 等). Chinese Journal of Luminescence(发光学报), 2005, 26(3): 404.
- [12] Schubert E F. Light-Emitting Diodes. Cambridge University Press, 2006.
- [13] Harumasa Yoshida, Masakazu Kuwabara, Yoji Yamashita, et al. Appl. Phys. Lett., 2010, 96(21): 211122.

The Property of White Powder LED with Different Ratio of Phosphor

GUO Wei ling, CUI De-sheng, CUI Bi-feng, YAN Wei wei, LIU Ying

Key Laboratory of Optoelectronics Technology (Beijing University of Technology), Ministry of Education, Beijing 100124, China

Abstract White powder light emitting diodes (LED) with different color temperature were made by using different ratio of yellow to orange silicate phosphor. When the ratio of yellow to orange phosphor was less than 7, the peak wavelength of yellow light in spectra was about 570 nm and the wavelength was about 590 nm as the ratio was greater than 7. With the color temperature increasing, the color rendering index and the luminous efficiency increased at the beginning and then decreased. And color temperature of 5 521 K is the optimal value. The reason was the ineffective excitation of blue light due to higher concentration of phosphor and excess red light in spectra. In contrast, blue light was not excited effectively and red light in spectra was little when the color temperature was higher than 5 521 K. The luminous efficiency was decreased, and the decreased magnitude was inconsistency with the testing temperature from 10 to 80 °C. This suggests that, besides Auger recombination, the decrease in excitation efficiency of yellow and orange phosphors is different as the temperature rises and orange phosphor's temperature characteristic is superior to that of yellow phosphor.

Keywords Light emitting diode; Phosphor; Spectrum; Color temperature; Color rendering index; Luminous efficiency

(Received Jan. 6, 2011; accepted Apr. 6, 2011)