

文章编号:1007-2780(2010)02-0210-05

大功率 LED 整个寿命中的颜色漂移

张楼英¹, 崔一平², 罗宗南², 周 丽²

(1. 淮安信息职业技术学院 电子工程系, 江苏 淮安 223003, E-mail: zhanglouying@163.com;
2. 东南大学 电子科学与工程学院 先进光电子中心, 江苏 南京 210096)

摘 要: 为了研究大功率白光、蓝光 LED 在整个寿命中的颜色漂移, 选用一系列的大功率白光、蓝光发光二极管分别进行了不同电流的恒流点亮。在点亮不同时间阶段测量了 LED 的发射光谱、色坐标和色温, 研究了在不同电流点亮时的光通量、色坐标和色温的变化, 分析了电流、时间等因素对颜色漂移的影响。结果表明, 在不同电流点亮及同一电流点亮的不同时间阶段, LED 的颜色不同。说明大功率 LED 的颜色漂移不仅是由荧光粉老化所引起, 更主要的因素是材料本身的变化。文章对此进行了初步的分析, 为白光 LED 的应用及进一步研究白光 LED 颜色漂移提供了参考。

关 键 词: 大功率 LED; 发射谱; 寿命; 颜色漂移

中图分类号: TN383.1 **文献标识码:** A

Color Offset in Process of High-Power LED Life Aging

ZHANG Lou-ying¹, CUI Yi-ping², LUO Zong-nan², ZHOU Li²

(1. *Department of Electronic and Engineering, Huaian College of Information Technology, Huaian 223003, China, E-mail: zhanglouying@163.com, China;*
2. *School of Electronic and Engineering, Advance Photonics Center, Southeast University, Nanjing 210096, China*)

Abstract: To study color offset in the process of high-power LED life aging, a series of power white and blue LEDs are lighted continuously under invariable current respectively. Emission spectra, color coordinates and color temperature are measured at different period. Their changes are researched. Based on the analysis of cause of color offset, the result is that the color of LEDs are different at different period with the same current and different current lighting. It indicated that the colour offset of high-power LEDs are caused not only by aging of phosphors, but also due to the changes in the material itself. The results will provide a reference to the application of white LED and for the further study.

Key words: high-power LED; emission spectrum; life; color offset

1 引 言

近年来, 白光 LED 在亮度和功率等方面都取得了很大进步。目前白光 LED 芯片的发光效率已达到 100 lm/W 以上, 可与荧光灯相媲美, 加上体积小、寿命长、绿色环保等优点, 成为日常生

活中的照明光源已是大势所趋。关于 LED 的性能测量和评价也已有了很多的研究^[1-3]。目前, 国内外对 LED 寿命的判断都是以光通量的衰减为依据; 但对于白光 LED 而言, 颜色的退化也是失效的一个重要模式, 如果在使用过程中 LED 光源的颜色明显发生了变化, 超过了人眼的辨色能力

范围,则也可定义为失效。对于白光,通常用色温来表征其色度的差异,人眼能分辨的色温差异为 50~100 K,而目前普通 LED 器件之间的色度均匀性不是很理想,甚至单颗 LED 器件的色温差异也较大(约 800 K),所以使用前必须进行挑选,尽量选用色温相近的 LED。事实上,色度对于大功率白光 LED 的可靠性而言更为重要。现在,某些场所对光源的色温、显色性指数等有着明确、严格的规定。随着使用时间的推移,虽然 LED 的光通量会逐渐地变化,但在一定范围内并不妨碍其继续使用;然而如果色度发生变化,其色温也会发生明显变化,将影响 LED 的灯光美观性,限制其在一些特种行业的使用。

本文就大功率 LED 在老化过程中的颜色漂移进行了研究,选用一系列的大功率白光、蓝光发光二极管分别进行了不同电流的恒流点亮,在点亮不同时间阶段测量了 LED 的发射光谱、色坐标和色温,研究了在不同电流点亮时的光通量、色坐标和色温的变化,分析了电流、时间等因素对颜色漂移的影响。

2 实 验

实验中选用一系列的大功率白光、蓝光 LED,分别进行了不同电流的恒流点亮,采用图 1 所示的光电测试系统测量了 LED 的光通量。

图 1 中的积分球(直径 1.25 m)是测量 LED 相对光通量的主体。它是一个空心的球壳,球的内壁涂一层可见光区的漫反射比达 96% 以上的硫酸钡涂料,球壁上开有窗口,将待测光源置于球内,光源发出的光经内壁反射后经过窗口射出,由光纤收集。用于本测试系统的积分球满足以下要求:

(1) 积分球内壁是均匀的理想漫反射层,遵

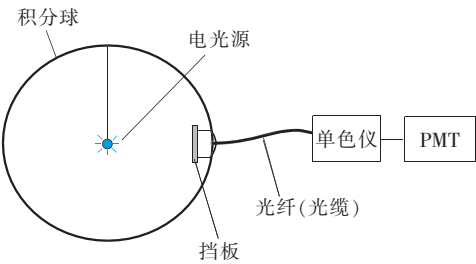


图 1 LED 光通量的积分球测量系统

Fig. 1 Integrating sphere measure system of LEDS luminous flux

从朗伯定律;

- (2) 积分球内各点的漫射系数相等;
- (3) 积分球内壁白色颜料对光源发出的各波长光线具有相同的漫射系数;
- (4) 球的直径各处相同,球内除灯泡之外无其他杂物存在。

设置档屏的目的是不让直射光照射到探测器。测量时,先用标准灯定标,再测量 LED 的光通量。每组由 5 个 LED 组成,取其平均值。

3 结果与分析

3.1 恒流点亮不同时间光谱测量分析

实验中进行了多组蓝光、白光 LED 的点亮(正常的恒流点亮),分别点亮了不同时间,所测量的发射光谱如图 2、图 3 所示。

图 2 中大图为蓝光 LED 初始点亮的光谱与正向电流为 340 mA 时点亮 700 h 的光谱重叠。右上角为局部放大图,1 为初始点亮的光谱与恒流 340 mA、点亮 100 h 的光谱中间部分放大图,可以看到,它已开始蓝移,测量中发现点亮 500 h 后光谱又开始红移;2 为蓝光 LED 初始点亮的光谱与点亮 700 h 的光谱顶部放大图。可见,随着点亮时间的延长,蓝光 LED 先是逐渐蓝移,而后红移^[4]。在一些实际应用中,蓝光芯片的色度偏移是必须考虑的问题。

图 3 中的大图为白光 LED 初始点亮的光谱与点亮 700 h 的光谱;右上角部分为顶部放大图,1 为初始点亮的光谱与点亮 700 h 的光谱顶部,2 为初始点亮的光谱与点亮 450 h 的光谱顶部。测量发现,随着点亮时间的延长,发光峰值发生漂移,在点亮 100 h 后开始蓝移,在点亮 150 h

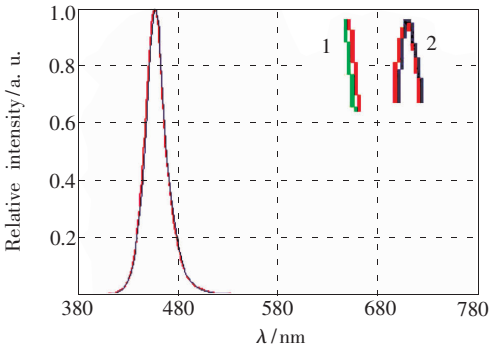


图 2 蓝光 LED 在 340 mA 电流下点亮的光谱

Fig. 2 Electroluminescence spectra of blue light LED lamps at 340 mA

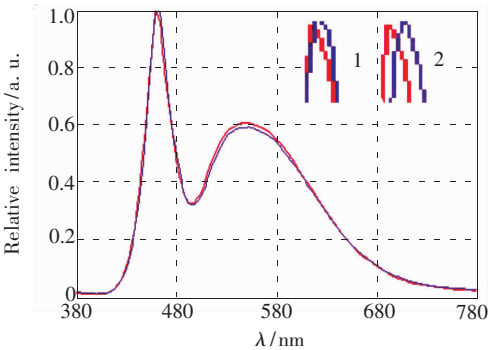


图 3 白光 LED 在 344 mA 电流下点亮的光谱
Fig. 3 Electroluminescence spectra of white light LED lamps at 344 mA

后又开始红移,在点亮 450 h 时已有非常明显的红移,之后红移减小。

从图 2、图 3 可以看出,同种 LED 色度值的差别很大,LED 的颜色随点亮时间的增加会发生不同的变化。出现这一现象的原因在于:在点亮过程中,P-N 结的内阻发生变化,使得结温随之发生变化,改变了发光材料的禁带宽度,从而导致发光波长产生偏移。Rossi 等^[5]对 Mg 化合物在 LED 老化中的作用进行了详细解释,认为是 Mg-H 为主的 Mg 不稳定化合物分解成浅层受主,构成了新的能级,使发光效率降低。F. Manyakhin 等^[6]分析了 GaN 基 LED 在电流加速寿命试验中光电参数的变化以及空间电荷层离化受主的分布,解释了发光强度在老化过程中的变化原因。刘行仁^[1]报告了在蓝光 LED 中的发光波长的移动(90 mA 以下),认为是电流变化导致了能级结构的变化。

同一 LED 光源在点亮的不同时间段会发生颜色变化,这提醒人们在设计 LED 灯具时应当考虑到使用过程中的颜色漂移问题。颜色漂移到何种程度能够为人们所接受,这取决于照明应用的具体场合^[7]。

3.2 点亮过程中色坐标及色温的变化情况

表 1 给出了在点亮电流为 365 mA 的条件下,白光 LED 的色坐标及色温随时间的变化。表 2 给出了在点亮电流为 365 mA 的条件下,白光 LED 的色坐标及色温随时间的变化。

由表 1 和表 2 可见,随着点亮时间的延长,蓝光和白光 LED 的色坐标及色温均发生变化。研究发现,新的白光 LED 的色温很高,色坐标偏离

表 1 白光 LED 的色坐标及色温(点亮电流为 365 mA)

Table 1 Color coordinate and chrominance property of white LEDs at 365 mA

时间 (h)	色坐标		色温 (K)
	<i>x</i>	<i>y</i>	
0	0.271 0	0.250 6	17 040
500	0.311 0	0.281 3	7 231
550	0.292 3	0.267 5	9 877
600	0.285 8	0.264 3	11 119
650	0.290 6	0.266 1	10 222
700	0.296 8	0.272 9	8 767
750	0.283 5	0.264 4	11 487
800	0.294 8	0.273 9	9 167

表 2 蓝光 LED 色坐标及色温(点亮电流为 318 mA)

Table 2 Color coordinate and chrominance property of blue LEDs at 318 mA

时间 (h)	色坐标	
	<i>x</i>	<i>y</i>
0	0.159 2	0.045 9
400	0.176 4	0.074 8
500	0.253 2	0.170 6
550	0.242 6	0.157 9
600	0.219 4	0.128 9
650	0.250 4	0.167 0
700	0.244 2	0.166 8
750	0.214 5	0.125 6
800	0.230 3	0.147 0

$x,y(0.33,0.33)$ 较大,而点亮一段时间以后反而更接近 $x,y(0.33,0.33)$,色温也更接近太阳的色温。随着点亮时间的延长,光谱中黄和橙红成分相对逐步增加,而蓝成分相对比例逐步减少。

蓝光和黄光衰减同时影响着白光的光学特性,由于蓝、黄光的比例发生了变化,导致白光色度坐标、色温等特性发生变化,白光 LED 的色度特性在实际应用中起着非常重要的作用。试验中发现,色度坐标、色温的变化具有一定的共性,采用荧光粉封装的白光 LED 和蓝光 LED 都表现为色度坐标逐步红移(中间有波动),色温波动并有

减小的趋势。因此,在推广白光 LED 应用过程中,需要采取对策减小蓝光芯片本身的衰减、改善应用产品的散热结构,并降低荧光粉的温度猝灭效应^[3]。

3.3 施加不同电流的色坐标及色温

从表 3 和表 4 可以看出,随着电流的增大,蓝光、白光 LED 的色坐标总体上不断减小,出现蓝移;在减小过程中也有波动现象,在不同电流时,蓝光 LED 的光效、光通量与正向电流密切关联。1 W 以上大功率 LED 工作时,器件的温升较大,蓝光 LED 随正向电流增加,导致器件的光功率增大、光效下降,使得发射光谱和发射峰发生移动,造成颜色漂移。由上可知,需要根据不同使用目的,选用不同电流点亮。实验中发现,在同一温度

表 3 蓝光 LED 在不同电流时相关参数

Table 3 Related parameters of blue LEDs with different current

电流 (mA)	色坐标		光通量 (lm)	光效 (lm/W)
	<i>x</i>	<i>y</i>		
325	0.153 7	0.041 7	49	7.7
340	0.153 1	0.041 2	51	7.7
350	0.153 7	0.041 8	55	8.0
360	0.153 3	0.041 5	56	7.9
370	0.152 8	0.040 9	56	7.7
380	0.152 4	0.040 6	57	7.5
388	0.152 6	0.040 8	58	7.5

表 4 白光 LED 在不同电流时相关参数

Table 4 Related parameters of white LEDs with different current

电流 (mA)	色坐标		色温 (K)	光通量 (lm)	光效 (lm/W)
	<i>x</i>	<i>y</i>			
325	0.271 8	0.251 1	16 615	153	24.7
340	0.271 0	0.251 1	16 866	159	24.5
350	0.270 2	0.250 2	17 427	160	24.2
360	0.269 6	0.249 0	18 079	163	24.0
370	0.270 7	0.250 3	17 258	165	23.6
380	0.270 3	0.250 4	17 353	168	23.3
388	0.269 4	0.249 4	18 019	172	22.9

下,蓝光 LED 的发光效率随着工作电流的增大而下降,这是内量子效率降低造成的。随着电流的增加,注入势阱中电子数量增加,电子扩散出势阱的数量也将增加,扩散出势阱中的电子越多,内量子效率越小^[8,9],进而降低了发光效率。

实验揭示,随正向电流增加,白光 LED 的色温随点亮电流的增大而增大。这是由于电流增大,结温相应也会升高,导致色温上升^[10]。驱动电流变化对大功率 LED 的显色指数和红色比影响不显著,说明 LED 发光区的稳定性很好。

从表 4 可以看到,白光 LED 的光通量与驱动电流基本呈线性关系,说明在通常所用的 350 mA 工作电流下电流密度并未饱和,出光效率无显著降低现象。但这并不意味着可以在散热良好的情况下将驱动电流增大到 400 mA。众所周知,随着 LED 的正向电流的增加,LED 的功耗增大,P-N 结结温升高,PN 结高温会造成 LED 光谱波长的红移,而荧光粉在热效应下也会产生退化,从而导致荧光粉的受激发光光谱区与芯片的发光光谱区不匹配,荧光粉吸收光而不发光的部分增加,荧光粉激发的光减少,从而导致颜色变化。此外,荧光粉的不透明性还会造成光的散射,也会影响芯片光的出射,使得最终的 LED 的颜色产生变化。

从表 3 和表 4 可以清楚看到电流增大对色坐标的影响。测试中还发现,发射光谱会随驱动电流增大而有微小变化,主要表现为峰值波长向长波方向偏移,且光谱略有展宽。这是因为驱动电流变大时,会使半导体结发热,温度升高,导致禁带宽度下降,所以峰值波长向长波方向移动。

4 结 论

蓝光 LED 恒流 340 mA 点亮 100 h 开始蓝移,直到点亮 500 h 光谱开始红移;白光 LED 恒流 344 mA 点亮 100 h 开始蓝移,但在点亮 150 h 就已开始红移,在点亮 450 h 有非常明显的红移,之后减小了红移,相比之下,白光芯片的颜色漂移比蓝光芯片更为严重;在整个寿命试验过程中,蓝光、白光 LED 的色坐标、色温、光通量、光效都有明显变化。实验中看到不同的点亮电流下 LED 色度参数有差异,所以要根据要求选择合适的恒流点亮。

参 考 文 献:

[1] 刘行仁,郭光华,林秀华. InGaN 蓝光 LED 的发射光谱、色品质与正向电流的关系 [J]. 照明工程学报,2004,(3): 14-18.

[2] Shuji Nakamura. InGaN-based blue light-emitting diodes and laser diodes [J]. *J. Crystal Growth*,1999, 201/202: 290-295.

[3] 方福波,王垚浩,宋代辉,等. 白光 LED 衰减的光谱分析 [J]. 发光学报,2008, 29(2):353-357.

[4] 刘洁,孙家跃. 与 LED 匹配的白光发射荧光体的研究进展 [J]. 化学通报,2005,(6):417-421.

[5] Rossia F,Armania N,Salviatia G,*et al.* The role of Mg complexes in the degradation of InGN-based LEDs [J]. *Superlattices and Microstructures*,2004,36:859-868.

[6] Manyakhin F, Kovalev A,Yunovich A E. Aging mechanisms of InGaN/AlGaN/GaN light-emitting diodes operating at high currents [J]. *MRS Internet Journal of Nitride Semiconductor Research*, 1998,(3):53.

[7] 刘熙娟,温岩,朱绍龙. 白光 LED 的使用寿命的定义和测试方法 [J]. 光源与照明,2001,(4):16-22.

[8] Grzanka S, Franssen G, Targowski G, *et al.* Role of the electron blocking layer in the low-temperature collapse of electro-luminescence in nitride light-emitting diodes [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2007, 90(10):103507(1-3).

[9] Lee Sung-Nam, Cho S Y, Ryu H Y, *et al.* High-power GaN-based blue-viote diodes with AlGaN /GaN multiquantum barriers [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2006, 88(11):111101(1-3).

[10] Badgutdinov M L, Korobov E V, Luk'yanov F A, *et al.* Luminescence spectra, efficiency, and color characteristics of white-light-emitting diodes based on p-n InGaN/GaN heterostructures with phosphor coatings [J]. *Semiconductors*, 2006,40(6):739-744.



规范关键词选择的决定(试行)

- 一、发表在中国科协系统学术期刊中所有学术论文,必须在摘要后列出不少于 4 个关键词。从技术角度考虑,没有关键词的论文应列入非学术论分类。
- 二、这些关键词按以下顺序选择:
- 第一个关键词列出该文主要工作或内容所属二级学科名称。学科体系采用国家技术监督局发布的《学科分类与代码》(国际 GB/T 13745-92)。
- 第二关键词列出该文研究得到的成果名称或文内若干个成果的总类别名称。
- 第三个关键词列出该文在得到上述成果或结论时采用的科学研究方法的具体名称。对于综述和评论性学术论文等,此位置分别写“综述”或“评论”等。对科学研究方法的研究论文,此处不写被研究的方法名称,而写所应用的方法名称。前者出现于第二个关键词的位置。
- 第四个关键词列出在前三个关键词中没有出现的,但被该文作为主要研究对象的事或物质的名称,或者在题目中出现的作者认为重要的名词。
- 如有需要,第五、第六个关键词等列出作者认为有利于检索和文献利用的其他关键词。

摘自:中国科协学会学术部 2002.9 通知