

LED 光源 G4 灯的光电性能

袁焱晨¹, 郭春风¹, 邹军¹, 杨波波¹, 毛喜良²

¹上海应用技术大学理学院, 上海 201418;

²浙江亿米光电科技有限公司, 浙江 嘉兴 314100

摘要 为了对发光二极管(LED)光源 G4(LED G4)灯进行快速评价和筛选,研究了 LED G4 灯的光电性能。采用积分球测试和分析了 LED G4 灯在驱动输入电压从 10 V 增加至 34.5 V 过程中初态和稳态两种情况下的光通量、光效率、色温等性能参数的变化规律。结果发现初态和稳态下被测灯光通量、色温均随驱动输入电压的增加而上升,而光效率呈递减趋势。其中光通量在初态与稳态下分别上升了 91.40% 和 39.34%,光效率分别下降了 24.3% 和 28.1%。此外,利用热成像仪测试被测灯上方中心点的最高温度,发现温度随驱动输入电压的升高而升高,始末差值达到了 40 °C。实验结果表明,过高的电压并不适合 LED G4 灯发挥其高性能,温升对 LED G4 灯的性能造成负面影响,因此,在实际的工作过程中应选择合适的工作电压并提高散热性能。

关键词 光学器件; 发光二极管; 光电性能测试; 驱动输入电压; 初态; 稳态

中图分类号 O482.31; TN383+.1 **文献标识码** A

doi: 10.3788/LOP54.122303

Photoelectric Performance of G4 Lamp with LED Light Source

Yuan Gongchen¹, Guo Chunfeng¹, Zou Jun¹, Yang Bobo¹, Mao Xiliang²

¹College of Sciences, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China;

²Zhejiang Emitting Optoelectronic Technology Co., Ltd., Jiaxing, Zhejiang 314100, China

Abstract In order to rapidly evaluate and screen G4 lamp with light-emitting diodes (LED) light source (LED G4), the photoelectric performance of LED G4 lamp is studied. Using the integrating sphere, variations of the performance parameters such as luminous flux, luminous efficiency, color temperature with input voltages of drive circuit changing from 10 V to 34.5 V are tested and analyzed in both initial and steady states. The results show that luminous flux and color temperature of tested lamp increase with the raise of input voltage of drive circuit in both initial and steady states, but luminous efficiency tends to decrease. In initial state and steady state, the luminous flux increases as much as 91.40% and 39.34%, and luminous efficiency decreases by 24.3% and 28.1%, respectively. Furthermore, the highest temperature of the center over the tested lamp is tested by thermal imager. The temperature increases with the increase of input voltage of drive circuit. The difference between its start value and end value reaches 40 °C. Experimental results show that excessive input voltage of drive circuit is not suitable for high performance of LED G4 lamp and temperature rise has a negative impact on its performance. Therefore, we should choose appropriate operating voltage and improve the performance of heat dissipation in practice.

Key words optical devices; light-emitting diodes; photoelectric performance test; input voltages of drive circuit; initial state; steady state

OCIS codes 230.1150; 230.3670; 230.6080

1 引言

目前,国内的照明光源产品主要有白炽灯、荧光灯和发光二极管(LED)三类^[1]。白炽灯通过对钨丝通电

收稿日期: 2017-05-31; **收到修改稿日期:** 2017-07-08

基金项目: 上海市学科能力建设项目(14500503300)、上海应用技术大学重点毕业设计项目(1011XQ171091)

作者简介: 袁焱晨(1995—),男,本科生,主要从事光电材料以及 LED 封装方面的研究。E-mail: 1820196311@163.com

导师简介: 郭春风(1982—),女,博士,讲师,主要从事光学三维传感和 LED 方面的研究。

E-mail: cfguocn@163.com(通信联系人)

加热到白炽状态,利用热辐射发出可见光,但是在能耗较高且长时间高温的情况下会导致其使用寿命缩短。荧光灯通过荧光粉发光,但启动响应时间较长,且电子辐射较大,污染严重,与环境保护的理念相悖。LED是由半导体材料制成,通过将电能激发转化为光能,拥有节能、环保、无辐射等众多优点^[2-4]。近年来,半导体灯已经基本取代了传统的白炽灯和荧光灯,成为市场主导的趋势^[5]。自1991年第一颗以蓝宝石为衬底的同质结蓝光LED问世,LED已经快速发展了几十年,同时凭借着半导体科学技术水平、材料器件工艺水平的不断提升,LED在使用时的便利度、安全、寿命、光色稳定性能方面都有了很大的保障^[6]。但是单个LED灯珠性能依然存在一定的局限性:1) 单个LED的功率较低,为了达到效果,需要多个灯珠并联;2) 显色指数较低;3) 存在光斑、容易出现黄圈现象^[7]。为了满足更高的用灯要求,解决方案从单单提升LED本身性能方面,延伸到了在结构上对LED灯珠排列的变化,主要表现在灯珠的排列从平面型到立体型的突破,从而解决了单个LED无法满足的一些市场要求,成为了球泡灯首选的灯片光源^[8]。其中以G4灯珠作为这一系列的代表,G4规格意思为:使用两个或者两个以上的插脚灯头,插脚的中心点距离为4 mm的复合型灯珠。相较于普通的集成面光源,立体发光LED光源拥有更高的光通量,同时因结构优势而具有更优质的散热能力以及相对更加稳定的光学性能^[9]。基于以上的立体发光LED光源拥有的众多优势,立体发光LED光源G4(LED G4)灯已经开始大批量产业化生产,并被广泛地运用于各种展馆和家庭。

在实际应用中需要对灯具进行快速的评价和筛选,本文以24颗3014芯片组成的LED G4灯作为研究对象,通过改变驱动输入电压,利用积分球测试和分析LED G4灯的光电性能,并且对点亮初态和10 min稳态后的光电性能进行对比。此外,在不同驱动输入电压下,使用热成像仪测试LED G4灯上方中心点的最高温度。

2 样品选择与测试

2.1 样品结构

本实验所采用LED G4灯的发光部件主要由两块基板和3014芯片组成。其中,两块基板是玻纤板,使用导热系数为1.0的导热胶将它们固定为有8个面的旋转体,使用金线将3014芯片焊接在8个面上,每个面上有3个芯片,共24个芯片。基板的底端与驱动电路板相连,利用硅胶作为封装胶对基板和电路板进行封装,采用的驱动电路板带有G4插脚,并伸出壳体外面,可以方便地和日常生活中所使用的灯座匹配,驱动电路输入端的额定电压为12 V。实验样品如图1所示。

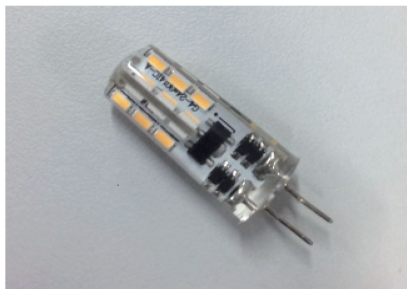


图1 LED G4灯

Fig. 1 LED G4 lamp

2.2 测试

采用型号为G119023CF1331186的积分球和精密数值直流稳压电源对样品LED G4灯的光通量、发光效率、色温等光学性能进行测试。将被测样品插入配套的G4灯座,固定于积分球夹持器上,并置于积分球中心,利用积分球内漫反射作用由外接光谱仪采集数据,获得的数据通过计算机显示出来。本研究通过改变驱动输入电压来测试样品的光学性能,驱动输入电压的变化范围为10~34 V,每4 V作为一个区间,为了分析光通量是否达到峰值,又另外添加了34.5 V的驱动输入电压。在实验中,为了实验数据的稳定和真实性,选取了4个样品进行测试,对4个样品的测试数值求平均,将其作为最终的测试结果。

3 分析与讨论

在测试过程中,分别将4个样品放入积分球内进行测试,测试结果如表1和表2所示,其中,电功率为驱动输入电压和驱动输入电流的乘积,光效率为光通量与电功率的比值。定义样品在积分球内被点亮的瞬间为初态,在点亮10 min之后为稳态。表1和表2中的驱动输入电流、光通量和色温为4个样品测试的平均值,电功率和光效率为4个样品计算的平均值(即计算每个样品的电功率或光效率,并对其求平均)。其中,表1为初态下样品的光电性能,表2为稳态下样品的光电性能。

表1 初态下样品的光电性能

Table 1 Photoelectric performance of the sample in initial state

Input voltage /V	Input current /A	Electric power /W	Luminous flux /lm	Luminous efficiency / (lm·W ⁻¹)	Color temperature /K
10	0.0800	0.800	70.678	88.2	2921
14	0.0887	1.24	102.24	82.5	2930
18	0.0748	1.35	110.20	81.9	2932
22	0.0662	1.46	116.70	80.2	2934
26	0.0606	1.57	122.83	78.0	2935
30	0.0578	1.73	128.83	74.3	2936
34	0.0595	2.02	135.02	66.7	2937
34.5	0.0587	2.03	135.28	66.8	2937

表2 稳态下样品的光电性能

Table 2 Photoelectric performance of the sample in steady state

Input voltage /V	Input current /A	Electric power /W	Luminous flux /lm	Luminous efficiency / (lm·W ⁻¹)	Color temperature /K
10	0.0983	0.983	81.701	83.3	2918
14	0.0839	1.17	93.488	79.2	2925
18	0.0711	1.28	99.223	77.3	2929
22	0.0631	1.39	103.61	74.4	2934
26	0.0579	1.51	107.42	71.4	2939
30	0.0549	1.65	111.01	67.4	2945
34	0.0546	1.86	114.38	61.7	2952
34.5	0.0551	1.90	113.84	59.9	2955

为了详细分析样品的光学性能随驱动输入电压的变化情况,依据表1和表2的测试数据分别绘出初态和稳态下驱动输入电流、电功率、光通量、光效率和色温等随驱动输入电压升高的变化曲线图。表中所列数据为测试数据的平均值,为了显示测试数据的可靠性,给出了测试数据的标准偏差,以误差线的形式绘制在各图中。图2给出了初态和稳态下驱动输入电流随驱动输入电压的变化规律,从图2可以看出,除了10 V时初态下的驱动输入电流小于稳态下的驱动输入电流,其他初态时驱动输入电流都高于稳态时驱动输入电流。整体趋势为:随着驱动输入电压的升高,初态时驱动输入电流逐渐下降,但驱动输入电压大于或等于34 V时,驱动输入电流会出现小幅度的上升。在10~34.5 V范围内,初态时驱动输入电流下降了26.6%,稳态时驱动输入电流下降了43.9%。

初态和稳态下电功率随驱动输入电压的变化曲线如图3所示,由图3可知不论在初态还是稳态,即使驱动输入电流随着驱动输入电压的升高而下降,但样品的电功率值都在随着驱动输入电压的升高而不断上升,两种状态下电功率的差值依次为:0.183,0.07,0.07,0.07,0.06,0.08,0.16,0.13 W。此外,除10 V时稳态电功率大于初态电功率之外,其他稳态时的电功率都小于初态时的电功率。

图4所示的两条曲线分别为初态和稳态下光通量随驱动输入电压的变化。从图中可以看出,初态和稳态时光通量都随着驱动输入电压的升高而上升,且增长量较大,效果显著。因此,驱动输入电压的增加是提升灯具光通量的一种方法。从整体数据来看,初态时除10 V外,各个驱动输入电压下的光通量值都大于稳态的光通量值。在10~34.5 V范围内,初态时光通量值提升了91.40%,稳态时光通量提升了39.34%。由

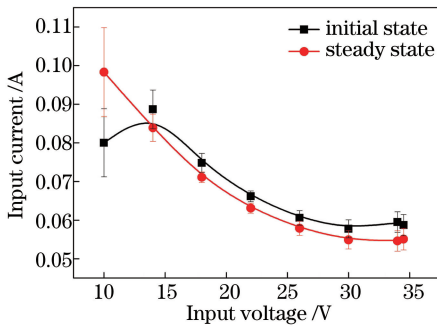


图2 初态与稳态驱动输入电流随驱动输入电压的变化

Fig. 2 Variations of input current of drive circuit with its input voltage in initial and steady states

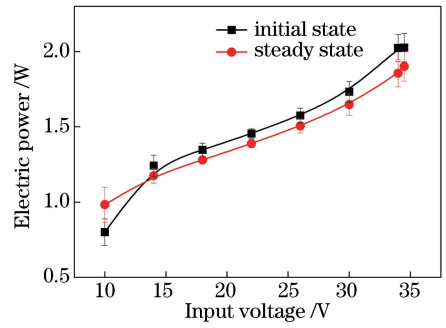


图3 初态与稳态电功率随驱动输入电压的变化

Fig. 3 Variations of electric power with input voltage of drive circuit in initial and steady states

此可见,初态时光通量的提升明显高于稳态时光通量的提升。当驱动输入电压超过 34 V 时,初态时光通量继续升高,但升高幅度在下降;而稳态时光通量出现下降趋势。这说明初态时驱动输入电压升高导致光通量的上升占优势,上升的结温还不足以使光通量下降;稳态时,由于驱动输入电压升高和长时间的点亮导致结温急剧上升,灯珠没有及时散热,进而导致光通量下降,产生光衰^[10-11]。

随着驱动输入电压的升高,初态和稳态下样品的光效率如图 5 所示。由图 5 可知,随着驱动输入电压的上升,初态和稳态下的光效率都逐渐下降。其中初态下在 10~15 V 之间降低幅度较大;当驱动输入电压超过 15 V 时,光效率呈逐渐加速下降的态势,34 V 时数值降至初始数值的 75.6%,34.5 V 时光效几乎没有改变。稳态下的光效率整体低于初态下光效率,其曲线整体下降速度小于初态下降速度,34 V 时光效率为 10 V 时初始光效率值的 74.1%,34.5 V 时光效率继续加速下降。这是因为在相同的热阻下,电功率的提升导致温度升高,增加载流子非辐射复合几率,导致辐射复合几率下降,故而造成发光效率随着电功率增加而下降^[12]。结合图 3 可以看出,初态下,34 V 和 34.5 V 时电功率接近待测灯的额定功率,因此光效几乎相等;稳态下,34.5 V 时电功率高于 34 V 电功率,并且还没有达到待测灯的额定功率,光效率继续加速下降。

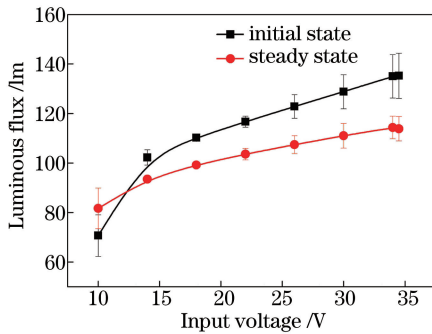


图4 初态与稳态光通量随驱动输入电压的变化

Fig. 4 Variations of luminous flux with input voltage of drive circuit in initial and steady states

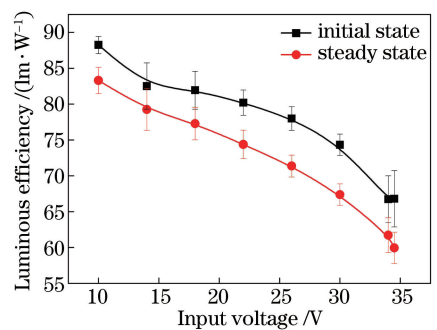


图5 初态与稳态光效率随驱动输入电压的变化

Fig. 5 Variations of luminous efficiency with input voltage of drive circuit in initial and steady states

图 6 给出了初态和稳态下的色温随驱动输入电压的变化规律。由图 6 可知,随着驱动输入电压的上升,稳态下色温上升的幅度远大于初态的增幅。初态下,在驱动输入电压从 10 V 增加到 15 V 的过程中色温上升较快,在 15 V 之后色温缓慢增长,始末数值增加 16 K,34.5 V 和 34 V 的色温值相同。稳态下,色温随驱动输入电压的升高保持稳定上升的态势,始末数值增加 37 K。样品所测得的色温改变的原因主要是随着驱动输入电压的升高,会伴随着温度的上升,黄光辐射通量产生改变,进而使得蓝光辐射通量占整个光谱辐射通量的比例发生改变,最终导致色温的升高^[13]。

为了对比光通量和光效率随驱动输入电压变化的异同,将两者随驱动输入电压的变化绘制在同一幅图中,如图 7 和图 8 所示。其中,图 7 为初态时的情况,图 8 为稳态时的情况。从图 7 和图 8 可以看出,初态和稳态下,光通量都随驱动输入电压的升高而逐步上升,而光效率随着驱动输入电压的上升逐步下降。在初态

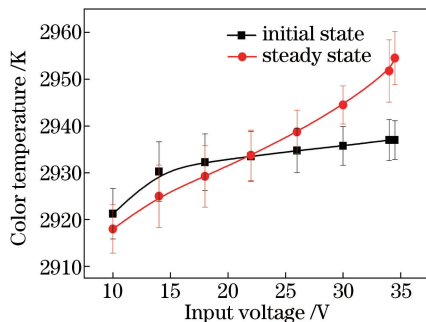


图6 初态与稳态色温随驱动输入电压的变化

Fig. 6 Variations of color temperature with input voltage of drive circuit in initial and steady states

情况下,光通量在 10~18 V 之间光通量增长速度相对更快,在 18~34.5 V 之间光通量增长速度相对减缓;光效率在 10~15 V 之间下降速度相对较快,而在 16~34 V 之间下降速度逐渐加快,34.5 V 时光效率基本保持不变。从 10~34.5 V 光通量增加了 91.40%,光效率降低了 24.3%。

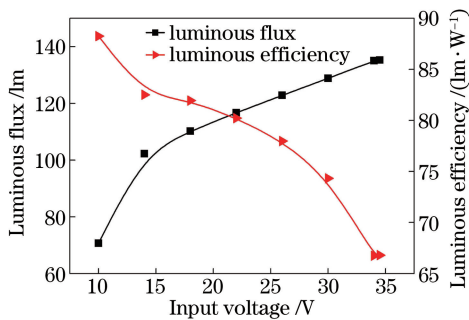


图7 初态光通量与光效率随驱动输入电压的变化

Fig. 7 Variations of luminous flux and luminous efficiency with input voltage of drive circuit in initial state

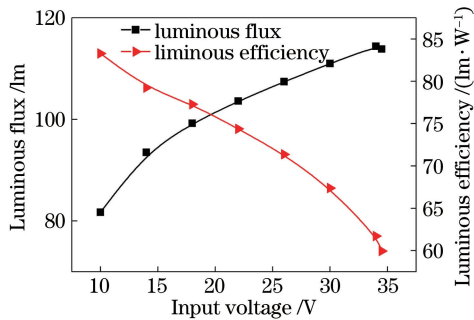


图8 稳态光通量与光效率随驱动输入电压的变化

Fig. 8 Variations of luminous flux and luminous efficiency with input voltage of drive circuit in steady state

稳态下,光通量上升变化趋势相比初态时更加平稳。光通量在 10~20 V 之间增长速度最快;在 20 V 之后,随着 LED G4 灯在点亮后达到稳态,驱动输入电压、驱动输入电流值比较平稳,光通量的增长变得相对平稳;在 34 V 之后光通量达到峰值 114.38 lm。当驱动输入电压从 10 V 增加到 34.5 V,光通量增加了 39.34%,光效率降低了 28.1%。可见在初态和稳态间,光通量变化相差比较大,整体数值前者皆大于后者,而光效率在稳态时下降相对较多。当 LED G4 灯工作达到稳态后,因为点亮时间较长,芯片温度过高(可用手明显感受出前后温度差异)致使热量难以及时散失,进而导致了蓝光芯片的辐射复合效率降低,芯片的发射波长和荧光粉的激发波长越来越不匹配,导致相应的发光效率下降^[14-15]。

温度对灯的寿命影响很大,因此在 LED G4 灯点亮达到稳态后,利用热成像仪对灯上方中心点的最高温度进行测试,如图 9 所示。图 10 给出了测试温度随驱动输入电压上升的变化情况。从图 10 可以看出,随着驱动输入电压的升高,稳态下的 LED G4 灯上方中心点温度快速上升,始末温差达到了 40 °C,且温度基本与驱动输入电压成线性关系。因为 LED G4 灯由 24 枚 3014 芯片组成,芯片内部产生大量热量的同时又将各芯片间的温度叠加,导致整灯的温度处于一个高温的状态,这对 LED 的寿命有着极大的影响。可见解决散热问题是 LED 领域的一个大难题,是今后研究改进的方向之一。若能将芯片和荧光粉层的散热问题相互独立出来,这样既避免了二者的相互加热使得热量叠加,又增加了灯珠光学设计的自由度,是一个很好的设计研究方向^[16-18]。

4 结 论

利用积分球测试了 LED G4 灯的光通量、发光效率和色温等光学性能,分析结果发现光通量和色温随驱动输入电压的升高而上升,但发光效率逐渐下降。对比光通量和光效率随驱动输入电压的变化可以发现,过

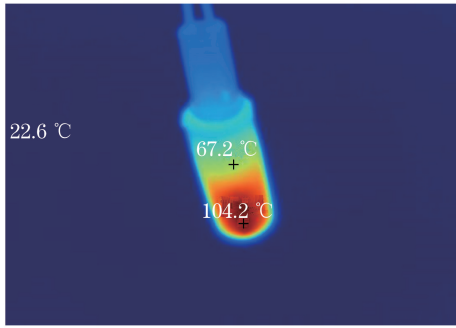


图9 热成像仪测试图

Fig. 9 Test picture of thermal imager

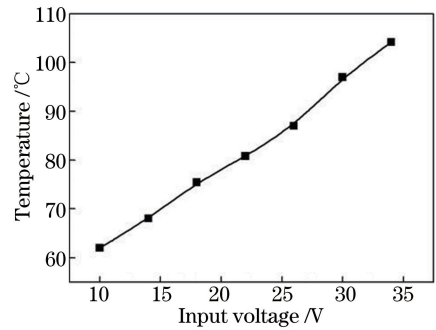


图10 稳态温度随驱动输入电压的变化

Fig. 10 Variations of temperature with input voltage of drive circuit in steady state

高的驱动输入电压并不适合待测灯发挥其高性能。此外,驱动输入电压从 10 V 增加到 34 V,待测灯中心上方的最高温差达到 40 °C,虽然在整灯点亮后没有达到一个极度的高温,但依然存在着 LED 点亮后的通病,即无法将发光产生的大量热量散去。因此,长时间高压下的点亮必然对灯的各项性能与寿命造成负面影响,提高这种类型灯具的散热性能是非常必要的。

参 考 文 献

- [1] Park S J, Jang D, Lee K S. Thermal performance and orientation effect of an inclined cross-cut cylindrical heat sink for LED light bulbs[J]. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2016, 103: 1371-1377.
- [2] Yang Chu, Jin Shangzhong, Shao Maofeng, *et al.* Research on LED performance of glass substrate with COB packaging[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2015, 52(1): 012304.
杨初, 金尚忠, 邵茂丰, 等. 玻璃基板 COB 封装的 LED 性能研究[J]. *激光与光电子学进展*, 2015, 52(1): 012304.
- [3] Mei Jianjian, Liu Lilan. Research on white light color temperature deviation based on tricolor LEDs[J]. *Acta Optica Sinica*, 2016, 36(8): 0833001.
梅健健, 刘丽兰. 基于三基色 LED 的白光色温偏差研究[J]. *光学学报*, 2016, 36(8): 0833001.
- [4] Zeng Dan, Peng Dongsheng, Jiang Yue. LED freeform lens design for roundabout crossing illumination[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2016, 53(7): 072202.
曾丹, 彭冬生, 蒋月. 用于环形交叉路口照明的 LED 自由曲面透镜设计[J]. *激光与光电子学进展*, 2016, 53(7): 072202.
- [5] Zhang Hang, Wu Mengying, Ma Yufei, *et al.* Symmetrical analysis of uniform illumination design for rectangular arrayed light emitting diode sources[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2015, 52(10): 102205.
张航, 吴梦莹, 马宇飞, 等. 矩形阵列 LED 均匀配光的对称性分析[J]. *激光与光电子学进展*, 2015, 52(10): 102205.
- [6] Jin Shangzhong, Zhang Zaixuan, Hou Minxian, *et al.* Research on temperature property of illumination white LED[J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2002, 23(4): 399-402.
金尚忠, 张在宣, 侯民贤, 等. 白光照明 LED 灯温度特性的研究[J]. *发光学报*, 2002, 23(4): 399-402.
- [7] 马振, 刘志军. 关于 LED 发展趋势的探讨[J]. *科技资讯*, 2010(11): 132-132.
- [8] Wen Feng, Liu Deming, Huang Lirong, *et al.* A new type of light emitting diode emitting white light directly[J]. *Optics & Optoelectronic Technology*, 2006, 4(3): 21-24.
文锋, 刘德明, 黄黎蓉, 等. 直接出射白光的新型发光二极管[J]. *光学与光电技术*, 2006, 4(3): 21-24.
- [9] Chen Zhenyi, Li Yang, Wang Yiran, *et al.* The optical properties of a new type of three-dimensional light-emitting COB LED[J]. *China Light & Lighting*, 2015(11): 45-48.
陈贞屹, 李杨, 王艺燃, 等. 一种新型交流立体发光 LED 灯片的光学特性[J]. *中国照明电器*, 2015(11): 45-48.
- [10] Yang Lei, Qian Xinglu, Qu Shiwei, *et al.* Flip chip LED filament optical performance analysis under different electric current[J]. *China Light & Lighting*, 2015(12): 29-32.
杨磊, 钱幸璐, 曲士巍, 等. 倒装 LED 灯丝在不同电流驱动下的光学性能分析[J]. *中国照明电器*, 2015(12): 29-32.
- [11] Liu W, Li N, Lei P, *et al.* Reliability test and failure analysis of high-brightness LEDs from Cree under the various

- injection currents[C]. 2013 14th International Conference on Electronic Packaging Technology, 2013: 1184-1188.
- [12] Li Bingqian. Lumen efficiency of 1 W-level high power white LED[J]. Semiconductor Optoelectronics, 2005, 26(4): 314-316.
李炳乾. 1 W 级大功率白光 LED 发光效率研究[J]. 半导体光电, 2005, 26(4): 314-316.
- [13] Ding Tianping, Guo Weiling, Cui Bifeng, *et al.* The effect of temperature on the PL spectral of high power LED[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2011, 31(6): 1450-1453.
丁天平, 郭伟玲, 崔碧峰, 等. 温度对功率 LED 光谱特性的影响[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(6): 1450-1453.
- [14] Wang Jian, Huang Xian, Liu Li, *et al.* Effect of temperature and current on LED luminous efficiency [J]. Chinese Journal of Luminescence, 2008, 29(2): 358-362.
王健, 黄先, 刘丽, 等. 温度和电流对白光 LED 发光效率的影响[J]. 发光学报, 2008, 29(2): 358-362.
- [15] Dal L M, Meneghini M, Trivellin N, *et al.* Phosphors for LED-based light sources: thermal properties and reliability issues[J]. Microelectronics Reliability, 2012, 52(9): 2164-2167.
- [16] Chen Hua, Zhou Xinglin, Tang Wen, *et al.* Thermal design of high power remote phosphor white LED package[J]. Chinese Journal of Luminescence, 2017, 38(1): 97-102.
陈华, 周兴林, 汤文, 等. 大功率远程荧光粉型白光 LED 散热封装设计[J]. 发光学报, 2017, 38(1): 97-102.
- [17] Ye H, Koh S, Yuan C A, *et al.* Thermal analysis of phosphor in high brightness LED[C]. 2012 13th International Conference on Electronic Packaging Technology and High Density Packaging, 2012: 1535-1539.
- [18] Sun L, Zhu J, Wong H. Simulation and evaluation of the peak temperature in LED light bulb heatsink [J]. Microelectronics Reliability, 2016, 61: 140-144.