



温度对大功率 LED 照明系统光电参数的影响

田传军^{1,2}, 张希艳^{1*}, 邹 军², 王妍彦^{1,2}

(1. 长春理工大学 材料科学与工程学院, 吉林 长春 130022; 2. 浙江聚光科技有限公司, 浙江 温州 325011)

摘要: 利用板上芯片封装 chip-on-board(COB)技术封装大功率 LED,比较分析其在不同散热器上的温度变化规律。研究了不同的热平衡温度对大功率 LED 光通量、电学参数的影响。在实验过程中,光通量、驱动电压、功率和发光效率都呈现出下降的趋势,并且最终稳定在其热平衡值。研究还发现:对于大功率 LED 照明系统,光通量、驱动电压、发光效率与散热器温度具有线性关系。在电源接通时,随着散热器温度的升高,LED 的反向饱和电流迅速升高。通过线性拟合,得到大功率 LED 照明系统的光通量温度系数、驱动电压温度系数和光效温度系数。

关键词: 温度; 大功率 LED; 光通量; 驱动电压; 发光效率

中图分类号: TN312.8

PACS: 78.60.Fi; 85.60.Jb

PACC: 9410D; 7850G

文献标识码: A

1 引 言

近年来,LED 技术得到迅猛发展,其在信号指示、照明、背光源、显示等方面得到广泛的应用。随着芯片技术的提高,LED 已经进入大功率的时代。现在 1 W 级的大功率 LED 正被照明行业使用,并显示出了光明的前景。LED 功率及光效的提高,使得 LED 灯具代替传统照明方式成为可能。发光二极管的核心部分是由 p 型半导体和 n 型半导体组成的芯片,在 p 型半导体和 n 型半导体之间有一个过渡层,称为 p-n 结。在某些半导体材料的 p-n 结中,注入的少数载流子与多数载流子复合时会把多余的能量以光的形式释放出来,从而把电能直接转换为光能,LED 就是利用注入式电致发光原理制作的。

由于目前 LED 量子效率低,在工作过程中会产生大量的热,大功率 LED 的热效应尤为明显。如果这些热量不能及时的散发出去,就会使 LED 中 p-n 结的温度(结温)迅速升高,导致芯片载流子有效复合几率下降,出射光子的数目减少,取光效率降低,还会使得 LED 芯片的发射光谱发生红移,这对利用蓝光激发 YAG 发光

粉来取得白光的 LED 照明系统是非常不利的,因此 LED 的散热成为 LED 照明技术发展的重大课题,解决 LED 照明系统的散热问题迫在眉睫^[1-3]。

COB 技术是裸芯片贴装技术之一,半导体芯片贴装在印刷线路板上,芯片与基板的电气连接用引线缝合方法实现。在大功率 LED 灯具制造过程中,通常的做法是利用 COB 的方法将 LED 芯片封装在铝质或者铜质基板上,利用自动焊线机将芯片与基板上的电路连接,再将基板与外部电路连接在一起。基板固定在铝质散热器上将热量散发出去。因此,散热器质量的好坏直接影响着 LED 灯具的寿命、效率和出光质量。

对于制造性能可靠,高亮度 LED 系统,热管理是一个关键技术^[4]。解决 LED 照明系统的散热问题,必须预先知道温度对大功率 LED 照明系统的光电参数的影响。国内外许多学者对 LED 芯片的热阻方面做了大量的研究,但对于商用照明的白光 LED 的散热方面的研究却很少。本文就照明用大功率白光 LED 灯具中,光源光通量、电学参数等光电参数受温度的影响做出分析。

收稿日期: 2009-04-21; 修订日期: 2009-05-18

基金项目: 吉林省科技发展计划(20080511,20090348); 温州经济技术开发区第一期科技计划(KK2007010); 温州经济技术开发区第二期科技计划(KK2007025); 温州市科技计划(G20080023); 2008 年度浙江省信息产业科研、新产品试制(浙信科 200858 号)资助项目

作者简介: 田传军(1984-),男,山东淄博人,主要从事半导体照明的研究。

E-mail: tianchuanjun@126.com

*: 通讯联系人; E-mail: xiyzhang@126.com

2 测试系统及实验

2.1 实验选材与仪器

本文采用的是 $1\text{ W} \times 3$ 串联封装的白光 LED 照明模块,其结构如图 1 所示。芯片选用台湾晶元光电制造的 45mil 蓝宝石衬底 InGaN 芯片。发光粉为弘大所生产,与道康宁硅胶以一定比例混合制成发光粉涂层。导热膏选用 TIG780-40 型导热膏,其热导率为 4.0 W/mK 。基板材质为铝质。选取 4 只不同规格的铝合金(6063)圆柱形鳍片散热器,编号为 1-4 号,其中 1 号散热器经过氧化处理,2-4 号散热器未经过氧化处理。规格分别为 $\Phi 30\text{ mm} \times H 47\text{ mm}$, $\Phi 53\text{ mm} \times H 30\text{ mm}$, $\Phi 45\text{ mm} \times H 54\text{ mm}$, $\Phi 44\text{ mm} \times H 64\text{ mm}$ 。利用杭州远方光电生产的 PMS-50plus 紫外-可见-近红外光谱分析系统记录光电参数。并用杭州威博科技制造的 TC-2008 多路温度测试仪记录温度。

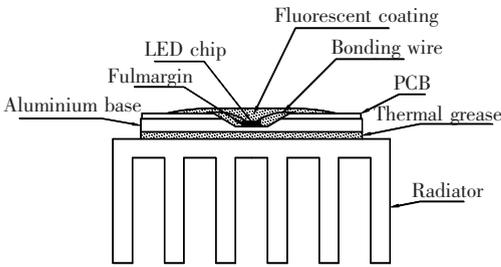


图 1 通用照明 LED 模块结构示意图

Fig. 1 General lighting LED module structure diagram

2.2 实验过程与数据采集

将 LED 光源安装在散热器上,把 TC-2008 多路温度测试仪的热电偶安装在散热器内部以测量散热器的温度,测试点为铝质散热器与基板相接处。将上述装置安装好后放入积分球,利用 350 mA 恒流电源驱动,以 10 s 为周期记录温度与光电参数。测试系统结构如图 2 所示。在稳恒电流

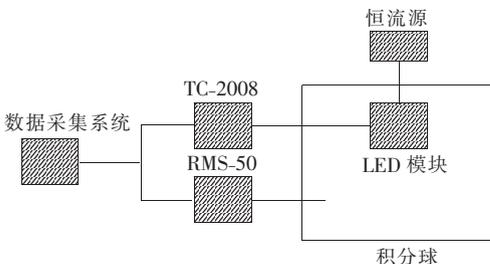


图 2 LED 光电参数测试系统结构示意图

Fig. 2 Structure diagram of LED photoelectric parameter testing system

驱动下的 LED 模块,热量由能够很好的满足散热要求的铝基板传输到鳍片散热器上,再依靠鳍片散热器散发出去^[5]。LED 模块工作时散热器温度会迅速升高,连接在一起的 TC-2008 多路温度测试仪会记录散热器温度的瞬时值,同时,PMS-50 光谱分析系统会记录下相应的光电参数。

3 结果与分析

3.1 温度对光通量的影响

对于正装大功率 LED,芯片侧表面和上表面散热能力差,热量绝大部分是依靠热传导将热量传到散热器,利用散热器的对流将热量散掉^[6]。因此,LED 散热器质量的好坏直接影响着 LED 中 p-n 结的温度,LED 的衰减主要取决于结温^[7]。所以,设计和合理的散热器对于降低大功率 LED 的光衰有着重要的意义。如图 3 所示,以 350 mA 电流驱动 LED 光源,其温度会在一段时间内迅速上升,并且维持在热平衡温度上。其原因主要是由于 LED 开始通电时会产生大量的热量,但芯片和散热基板间的热界面材料(TIM)的热导率很低(4.0 W/mK),这些热量传到散热器上需要一定的时间,所以会有一段温度急剧上升的曲线,当基板和散热器温度相同时,就达到了一种热平衡状态。此时,基板和散热器的温度不再变化,并将维持下去。这一热平衡温度取决于散热器的形状和大小,如图所示,四只散热器样品达到热平衡状态的时间和最后的温度是不同的,其热平衡温度分别为 $59.8, 49.0, 47.4, 44.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

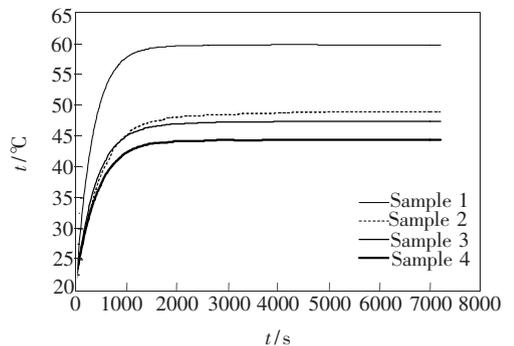


图 3 LED 模块温度随时间的变化图

Fig. 3 Temperature variation of LED module over time

实验还发现,在热平衡之前,光通量会有一急剧下降的趋势,如图 4 所示。四只散热器样品光通量在热平衡时其值分别为 $167.9, 174.9, 173.3, 172.4\text{ lm}$ 。在这个过程中,LED 模块在各个散热

器样品上达到热平衡所用的时间和光通量达到稳定的时间趋于一致。在这个过程中,散热器温度的高低对 LED 模块输出的光通量有直接的影响。1 号散热器热平衡温度最高,最后输出的光通量最低,2、3、4 号散热器热平衡温度较接近,热平衡时稳定输出的光通量值也相近。表明照明用大功率 LED 的光通量具有如下规律:在接通电源时的最初一段时间内,光通量呈下降趋势,随后光通量将稳定在一热平衡值附近,其大小随所选取的散热器不同而异。

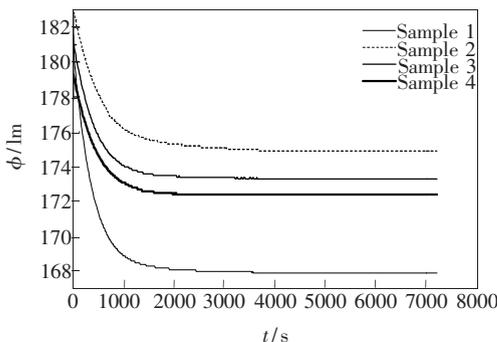


图 4 LED 模块光通量随时间的变化

Fig. 4 Luminous flux change of LED module with time

为了便于研究温度对光通量的影响,绘制出光通量对温度的曲线,如图 5 所示。在光通量随温度变化的曲线图中,光通量与温度呈现出线性关系,并且四只散热器样品的曲线斜率几乎相同,但是截距不同。

对图 5 四条曲线进行线性拟合,得到它们的光通量温度系数 K 分别为 $-0.352\ 27$, $-0.306\ 90$, $-0.314\ 57$, $-0.317\ 63\ \text{lm}/^\circ\text{C}$ 。拟合的结果表明,四只散热器样品的光通量随温度的变化趋势一致。由此我们推断,对于同种芯片和同种材料

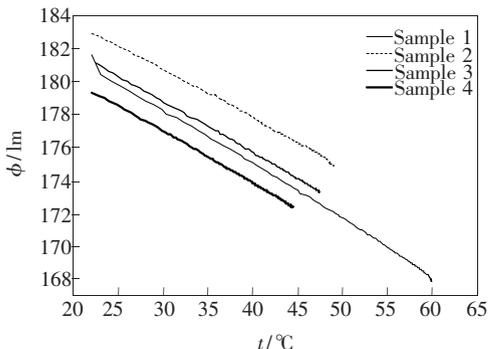


图 5 LED 光通量随温度的变化曲线

Fig. 5 Variation of the luminous flux of LED with the temperature

的散热器,LED 光通量的温度系数与散热器的大小和形状无关。利用散热器温度来计算照明用白光 LED 光通量的方程:

$$\Phi(t) = Kt_0 + \Phi_0, \quad (1)$$

式中, $\Phi(t)$ 表示在散热器温度为 t 时 LED 模块的光通量; K 表示光通量温度系数,根据本文所选用的芯片与散热器,其值为 $(-0.33 \pm 0.02)\ \text{lm}/^\circ\text{C}$; t_0 表示散热器的初始温度; Φ_0 表示 LED 模块的初始光通量。

由图 3、图 4、图 5 可知,对于 LED 模块:1) 散热器的温度经一段时间后会达到热平衡状态,其时间的长短取决于散热器的大小和形状。2) 散热器的热平衡温度决定 LED 输出的光通量,可以利用散热器热平衡温度根据上述公式计算 LED 模块光通量。3) 散热器的大小、形状是影响热平衡温度的重要因素。4) 在 LED 模块中,光通量与温度成线性关系,对同种材料的散热器,其大小、形状对光通量温度系数 K 影响不大。

3.2 温度对电学参数的影响

对于单色 LED 芯片,在输入电流恒定的条件下,很多半导体器件的结电压与温度具有良好的线性关系^[8]。发光材料、衬底材料、发光波长、芯片尺寸都会影响 LED 的电压温度系数,但是对于同类芯片,其电压温度系数基本一致^[9]。在本实验中采用商用大功率白光 LED,研究散热器温度对其电学参数的影响,根据 PMS-50 光谱分析系统记录的数据,将电压随温度的变化绘制成曲线图,如图 6 所示。利用 350 mA 恒流驱动的 LED,不考虑 LED 系统中欧姆接触引起的压降,此时的驱动电压计算方法为^[9]

$$V_F \approx \frac{nkT}{q} \ln\left(\frac{I_F}{I_0}\right), \quad (2)$$

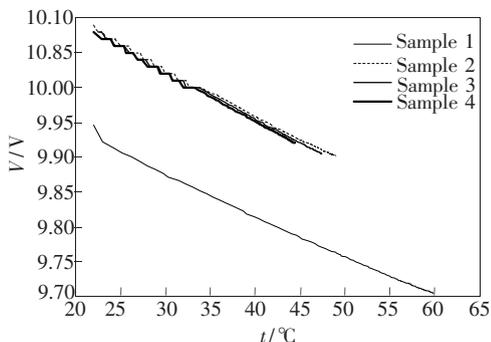


图 6 LED 正向电压随温度的变化

Fig. 6 Forward voltage variation of LED with the temperature

式中, n 为理论因子, 其值会随着正向电压变化情况有很大不同^[10]。 I_0 为反向饱和电流。 k 为玻耳兹曼常数。 如图 6 所示, 在本实验中, 驱动电流 $I_F = 350 \text{ mA}$ 保持不变, 随着温度升高, 驱动电压下降, 说明反向饱和电流在快速增大。

从图 6 可以发现, 在温度升高的过程中, 正向电压呈下降的趋势, 散热器温度与驱动电压表现出线性关系。 通过线性拟合, 电压温度系数分别为 $-0.005\ 653\ 9$, $-0.006\ 550\ 6$, $-0.006\ 792\ 5$, $-0.006\ 968\ 0 \text{ V}/^\circ\text{C}$ 。 正向电压的下降程度由于散热器的型号不同而不同。 2、3、4 号散热器由于体积相对较大, 而最后的热平衡温度较低(图 3), 所以在整个过程中, LED 的正向电压下降幅度小; 1 号散热器由于体积较小, 稳定时的热平衡温度较高, 所以在这个过程中, LED 两端的电压变化较大。 同时, 四样品的功率和光效也呈现出了降低的趋势, 在达到热平衡后, 其功率和光效呈现

出稳定状态, 如图 7(a) 所示。

由于 p-n 结产生的热量不能及时散发出去, 导致电子与空穴的复合几率降低, 发光效率降低, 图 7(b) 为四样品的发光效率变化趋势。 由图 5 与图 6, LED 照明系统光通量、电压与温度都具有线性关系, 在 350 mA 恒流驱动条件下, 其发光效率与温度同样具有线性关系, 如图 8。 经线性拟合, 光效温度系数分别为 $-0.073\ 556$, $-0.053\ 42$, $-0.054\ 793$, $-0.055\ 203 \text{ lm} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{W}^{-1}$ 。

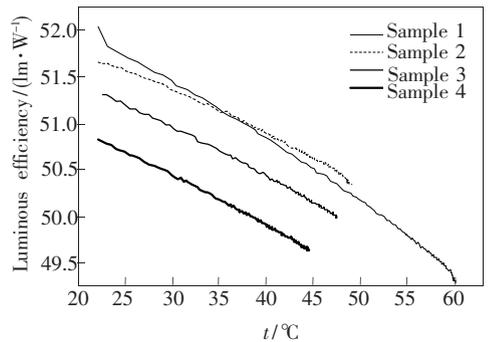


图 8 LED 发光效率与温度的关系

Fig. 8 Luminous efficiency variation of LED with the temperature

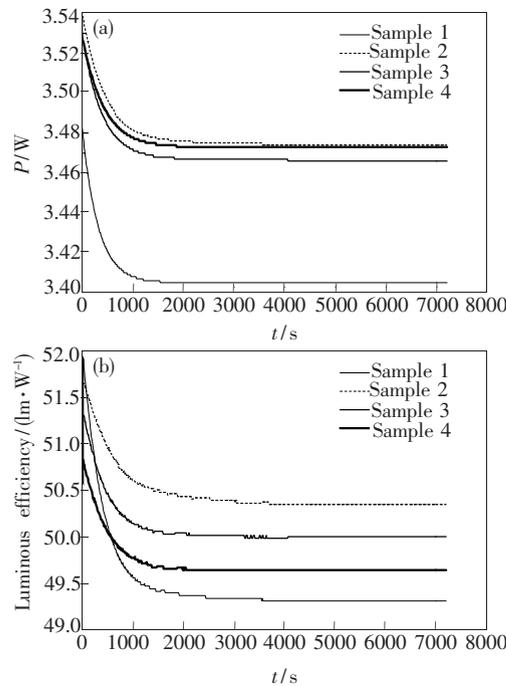


图 7 LED 模块的功率(a)和光效(b)变化趋势

Fig. 7 Variation of LED module power (a) and luminous efficiency (b)

4 结 论

照明用大功率白光 LED 温度对光电参数的影响进行研究。 利用不同型号的散热器来控制 LED 模块的热平衡温度, 分析了温度对其光电参数的影响。 研究发现散热器的大小、 形状决定了 LED 模块热平衡温度; 在 LED 模块电源接通时, LED 光通量、 电压、 功率、 光效均有急剧下降的一段时间, 最终稳定在热平衡值附近, 其值大小与 LED 模块热平衡温度有关。 研究还发现: 对于照明用大功率白光 LED 系统, 光通量、 驱动电压和发光效率均与温度呈现出线性关系, 通过线性拟合, 总结出了铝合金(6063)散热器下的光通量温度系数、 电压温度系数和光效温度系数。 为研究 LED 的热平衡温度对光电参数的影响积累了重要数据, 对 LED 照明器件的制造具有重要的指导意义。

参 考 文 献:

- [1] Ma Zetao, Zhu Daqing, Wang Xiaojun. Thermal analysis of high-power light-emitting diode packages [J]. *Semiconductor Optoelectronics* (半导体光电), 2006, 27(1):61-91 (in Chinese).
- [2] Fang Fubo, Wang Yaohao, Song Daihui, et al. Spectroscopic analysis of white LED attenuation [J]. *Chin. J. Lumin.*



- (发光学报), 2008, **29**(2):353-357 (in Chinese).
- [3] Wang Jian, Huang Xian, Liu Li, *et al.* Effect of temperature and current on LED luminous efficiency [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2008, **29**(2):358-362 (in Chinese).
- [4] Mehmet Arika, Charles Beckerb, Stanton Weaverb, *et al.* Thermal management of LEDs: package to system [J]. *SPIE*, 2004, **5187**:64-75.
- [5] Li Huaping, Chai Guangyue, Peng Wenda, *et al.* Package and MCPCB for high-power LEDs [J]. *Semiconductor Optoelectronics* (半导体光电), 2007, **28**(1):47-50 (in Chinese).
- [6] Qian Keyuan, Zheng Daishun, Luo Yi. Thermal dispersion of gain-based power LEDs [J]. *Semiconductor Optoelectronics* (半导体光电), 2006, **27**(3):236-239 (in Chinese).
- [7] Eugene Hong, Nadarajah Narendran. A method for projecting useful life of LED lighting systems[J]. *SPIE*, 2004, **5187**: 93-99.
- [8] Damjanovic D D. Remodeling the p-n junction [J]. *IEEE Circuit & Devices*, 1993, **9**(6):35-37.
- [9] Li Bingqian, Bu Liangji, Gan Xiongwen, *et al.* Junction temperature and thermalresistance restrict the developing of high-power LED [J]. *Acta Photonica Sinica* (光子学报), 2003, **32**(11):1529-1531 (in Chinese).
- [10] Yang Defu, Yang Nengxun. On the diode current equation in the value of research [J]. *Journal of Yan'an University* (Natural Science Edition) (延安大学学报,自然科学版), 2008, **27**(3):49-51 (in Chinese).

Temperature Effect on the Photoelectric Parameter of High-power LED Illumination System

TIAN Chuan-jun^{1,2}, ZHANG Xi-yan¹, ZOU Jun², WANG Yan-yan^{1,2}

(1. Institute of Materials Science and Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China;

2. Zhejiang Gemcore Technology Co., Ltd., Wenzhou 325011, China)

Abstract: Using the high power light-emitting diode(LED) made by the method of chip-on-board (COB) packaging, this article compared and analyzed the temperature variation discipline on the different thermal radiators. We investigated the relationship between the different thermal equilibrium temperature and photoelectric parameter, such as luminous flux, electrical parameters, and so on. The results shown that when the LED illumination system is turned on, the temperature of the radiator rises rapidly, and keeps in a certain value after a period of time. In this process, the luminous flux, the forward voltage, power and luminous efficiency presents the downward trend. These parameters fluctuate around the equilibrium value. For high-power white light LED illumination systems, luminous flux, forward voltage and luminous efficiency keeps good linear relationship with radiator temperature, respectively. The results also showed that, with the rising of reverse saturation current, the radiator temperature rapidly rises. By linear fitting, luminous flux temperature coefficient, voltage temperature coefficient and luminous efficiency temperature coefficient were calculated. Finally, the relation formula of temperature and luminous flux was proposed. By measuring the radiator temperature, the luminous flux can be calculated. It can be used as a kind of calculation methods of luminous flux. High-power white LED lighting system should be reasonable design to improve its thermal dissipation capacity. Reducing equilibrium temperature of high-power LED-lighting system is an effective method to improve performance of the system.

Key words: temperature; high-power light-emitting diode; luminous flux; forward voltage; luminous efficiency

CLC number: TN312.8

PACS: 78.60.Fi; 85.60.Jb

PACC: 9410D; 7850G

Document code: A