

大功率白光 LED 的结温与发光光谱特性研究^{*}

陈海燕¹, 赵光华², 赵福利¹

(1. 中山大学光电材料与技术国家重点实验室, 广东 广州 510275;

2. 中国科学院广州电子技术有限公司, 广东 广州 510275)

摘 要: 以两种不同型号的大功率白光 LED 为研究对象, 通过热阻法和正向压降法综合测量 LED 的结温, 利用荧光光度计测量 LED 光谱, 研究大功率白光 LED 的结温与光谱之间的关系。结果发现对于不同类型的 LED 管, 光谱蓝白比 W/B (W 为整个白光发光光谱的积分, B 为蓝光部分的积分) 与 PN 结结温 T_j 均存在线性关系, 但线性关系式不同; 对于同一 LED 管, 小电流对应直线斜率的绝对值比大电流的大。对这些特点及其相关的物理机制做了分析。

关键词: 白光 LED; 结温; 光谱分析

中图分类号: O482.31; TN312.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2009) 03-0037-05

Studies on the Relationship between the Junction Temperature and Spectral Properties of High-power White LEDs

CHEN Haiyan¹, ZHAO Guanghua², ZHAO Fuli¹

(1. State Key Laboratory of Optoelectronics materials and Technologies,

Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China; 2. Guangzhou Institute of Electronic

Technology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510275, China)

Abstract: The spectrum and junction temperature of two types high-power white light-emitting-diodes (LEDs) have been measured. The results show that the junction temperature and the ratio of the white spectrum energy versus the blue spectrum energy of the LEDs, have linear relationship. It is also found that the relationship between the ratio and the junction temperature is different with different currents. The order of magnitude of the slope corresponding to the small current is larger than those of small currents. The physical mechanisms are also been discussed, which may be helpful for practical application.

Key words: high-power white LEDs; junction temperature; spectral analysis

发光二极管 (light emitting diodes, LED) 作为一种新型光源, 具有体积小、效率高、寿命长、环保、节能等特点, 从一问世起, 就引起了世界的广泛关注。尤其是近年来大功率白光 LED 的迅速发展, 将有望取代白炽灯和荧光灯, 成为下一代理想的固体照明光源^[1]。PN 结结温是大功率 LED 的重要参数之一, 它直接影响 LED 的出光效率, 器件可靠性和器件寿命。LED 的结温控制是制备大功率 LED 芯片、器件封装和器件应用等每个环节

都必须重点考虑的因素, 因此对 LED 结温的测量成为工程和应用理论研究的热点之一^[2-3]。蓝光芯片外涂荧光粉组合方式是目前生产大功率白光 LED 通用的方式之一, 对于这种大功率白光 LED 结温的测量, 除了通常可用的红外热像仪测量法和电学参数测量法以外^[4], Narendran 等人^[5-6]提出了一种新方法 - 光谱法, 利用 LED 光谱中白光与蓝光组分的比值 R 来确定结温。它是一种非接触

^{*} 收稿日期: 2008-09-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (10574165)

作者简介: 陈海燕 (1982 年生), 女, 硕士研究生; 通讯作者: 赵福利; E-mail: stszfl@mail.sysu.edu.cn

测量方法, 不损害 LED 的整体结构, 不破坏 LED 的工作状态, 是一种理想的测试结温方法。

本文以不同类型的 1W 大功率白光 LED 为研究对象, 改变电流大小和环境温度, 对白光 LED 的结温和光谱之间的关系进行研究, 发现不同类型的白光 LED, 其白光光谱积分与蓝光光谱积分比值 W/B 与结温都存在线性关系, 但其线性关系式不同。电流和环境温度对此线性关系式的影响并不完全相同。对于同一 LED, 不同的电流区域, 其线性关系式也不相同, 小电流区域对应的关系式斜率的绝对值较大。显然这些差别对于采用 LED 光谱蓝白比确定结温具有参考价值。

1 原理与方法

LED 伏安特性满足普通二极管方程, 可以写为

$$I_f = I_0 \left[\exp\left(\frac{qV_f}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

式中 I_f 是正向电流, V_f 是正向电压, I_0 是反向饱和电流, n 是理论因子, k 是玻尔兹曼常数, T 是温度。

一般情况下, $\exp\left(\frac{qV_f}{nkT}\right) \gg 1$, (1) 式中括号里的“-1”一项可以忽略不计, 又考虑到欧姆接触引起的压降, (1) 式可写为

$$V_f = \frac{nkT}{q} \ln\left(\frac{I_f}{I_0}\right) + R_s I_f \quad (2)$$

式中 R_s 是欧姆接触引起的 LED 内阻^[7]。由 (2) 式可看出, 在恒定电流下, LED 结温与正向压降成线性关系^[8], 此线性关系可以表达为

$$V_f = V_i + K(T_p - T_0) \quad (3)$$

式中 V_i 是初始温度为 T_0 时 LED 两端的电压, V_f 是温度为 T_p 时 LED 两端的电压, K 是电压温度系数。在电流较小时, LED 热效应很小, 通过恒温箱自动调节, 可保持环境温度不变, LED 结温近似等于通电瞬间的管脚温度^[9]。测量几个已知温度下的同一小电流的电压值通过 (3) 式线性拟合, 得到电压温度系数 K 。实际中, 一般将小电流选在 LED 伏安特性曲线的拐点处。这样既能保证 LED 刚好导通, 又没有明显的 LED 自身热效应。

对于某一成品 LED 来说, 其散热器件和结构均已固定, PN 结到环境的热阻系数是一定的。LED 结温和管脚温度满足下面的关系式^[10-11]:

$$T_j = T_p + R_{\theta-j-p} * P_{\text{热}} \quad (4)$$

其中, T_j, T_p 分别是结温和管脚温度, $R_{\theta-j-p}$ 是热阻系数, $P_{\text{热}}$ 是 LED 热功率, 若 LED 的发光效率为 η ,

则 $P_{\text{热}} = P(1 - \eta)$ 。功率 P 等于输入电流 I_H 和正向压降 V_H 的乘积。LED 热阻系数可结合正向压降法测得

$$R_{\theta-j-p} = \frac{V_f - V_i}{K * P_{\text{热}}} = \frac{V_f - V_i}{K * I_H * V_H * (1 - \eta)} \quad (5)$$

求得热阻系数后, 由公式 (4) 可求出 LED 的结温。

图 1 是以蓝光芯片外涂荧光粉组合方式生产的白光 LED 的典型光谱图。为了得到蓝光和白光的光谱积分比值, 必须把蓝光从白光中分离出来。如图 1 所示, 减去本底光谱后, 对竖线左边的光谱积分得到蓝光光谱积分 B , 整个光谱曲线积分得到白光光谱积分 W ^[6]。

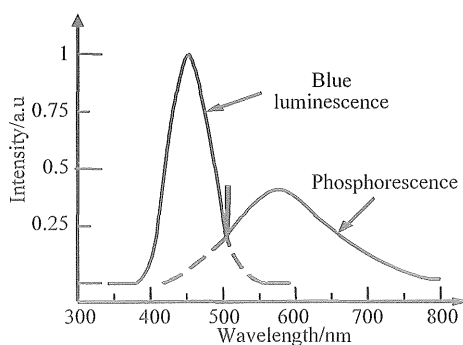


图 1 白光 LED 光谱曲线

Fig. 1 The spectral curve of white LED

2 实验与结果

实验光路如图 2 所示: 固定 LED 于恒温箱 (恒温波动度 $\leq 1^\circ\text{C}$) 内的支架上; 热电偶测量 LED 引脚温度, 另一只热电偶测量并反馈恒温箱的温度, 根据反馈情况调节恒温箱, 使恒温箱内温度保持在所需要的值。恒流电源给 LED 提供稳定的电流, 并显示电压和电流示数。光缆一端固定于三维架上, 通过调节三维架将 LED 发出的光耦合进导光光缆 (在可见光波段有较好的透过率), 另一端连接荧光光度计 (Hitachi F4500, 光谱分辨率为 0.2 nm)。电脑控制荧光光度计测试光谱并存储和处理数据。

本实验在暗室进行, 具体测量过程如下:

(1) 设定恒温箱温度, 恒定 2 h, 待系统稳定后, 测量光谱本底数据。打开恒流电源, 输出小电流 I_M (本文选用 6 mA, 12 mA, 30 mA, 50 mA), 15~20 min 后, 待 LED 状态稳定后, 记录下 LED 两端电压 V_i 、LED 引脚温度 T_p 和光谱分布 SPD。

(2) 调节恒流电源, 输出大电流 I_H (本文选用了 150 mA, 250 mA, 350 mA), 持续通电 15 ~ 20 min, 待系统达到热平衡后, 分别记录下 LED 两端电压 V_H 、管脚温度 T_j 以及 LED 光谱分布 SPD。关掉恒流电源, 立刻测量本底光谱。因为关掉电源后, LED 结温下降很快, 若不立刻测量, 恒温箱内局部环境将会发生变化。

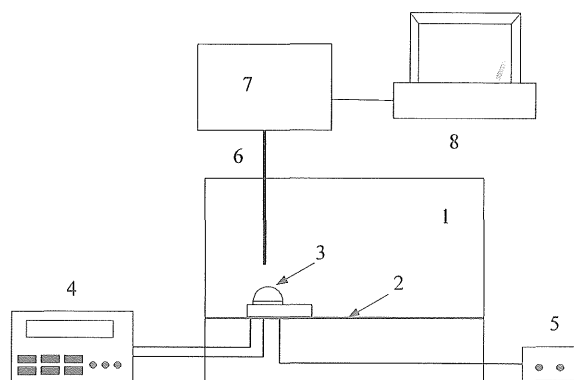


图2 实验装置简图

Fig. 2 The schematic of experiment apparatus

1. 恒温箱, 2. 支架, 3. 白光LED, 4. 恒流电源,
5. 热偶, 6. 光缆, 7. 荧光光度计, 8. 电脑

(3) 恢复大电流 I_H , 待其稳定后, 迅速由小电流 I_M 代替大电流 I_H , 快速记录此时电压值 V_f 。

(4) 调节恒温箱的温度 (本文选用 25 °C, 35 °C, 45 °C, 55 °C, 65 °C), 按照相同的步骤测量其它环境温度下的光谱和其它参数。

将各个温度下 LED 两端电压 V_i 代入公式 (3), 用最小二乘法进行线性拟合, 得到暖白 LED1 和冷白 LED2 的电压温度系数 K 分别为 2.06 mV/°C 和 1.87 mV/°C。

将计算出的电压温度系数 K 及测量电压、电流等值带入公式 (4) 拟合得到 LED1 和 LED2 的热阻系数 $R_{\theta j}$ 分别为 32.02 °C/W 和 30.29 °C/W。

图3是在相同电流和温度下, LED1 和 LED2 的归一化发光光谱, 从图3中可看出: 两种管子的蓝光峰吻合得很好, 但黄光峰的中心波长有所不同, 黄光强度也不一样, 这是由于荧光粉的含量不同。暖白管 (LED1) 黄光强, 蓝白比 R 也较大, 暖白管的色温为 3 000 K; 冷白管 (LED2) 的黄光较弱, 色温为 6 800 K。

把热阻系数代入公式 (4), 求得各个状态下的结温 T_j , 利用上面叙述的方法计算出白光光谱积分 W 和蓝光光谱积分 B , 并得到它们的比值 R 。以结温 T_j 为横坐标, 蓝白比 R 为纵坐标, 画出两

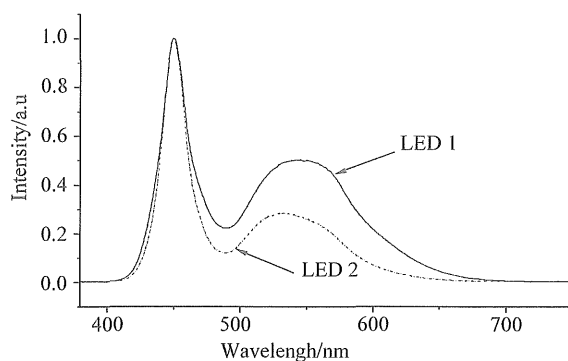


图3 两种LED管的归一化发光光谱

Fig. 3 The normalized spectra of two types of LED

个LED管 R 与结温 T_j 的关系。从图4可以看出, 环境温度升高, 引起LED结温升高, 不同电流的蓝白比 W/B 与结温 T_j 成线性关系, 但不同的LED其线性关系斜率有所不同。从图5可以看出, 电流增大引起LED结温升高, 蓝白比 W/B 与结温 T_j 成线性关系。从图5可以看出, 电流增大引起LED结温升高, 蓝白比 W/B 与结温 T_j 成线性关系。但是对于不同型号的LED, 其斜率亦并不相同, 这来源于不同LED管的荧光粉的量不同, 是白光LED的特征属性之一。电流的增大和环境温度的升高都将引起结温的升高, 但他们对蓝白比与结温的线性关系的贡献是不同的, 例如, 图4中LED2斜率为 6.77×10^{-4} , 图5中LED2斜率为 7.51×10^{-4} , 有微小差别。从图4和图5中还可以看出, 对应于小电流区域的蓝白比与结温的关系式, 具有绝对值比较大的斜率。

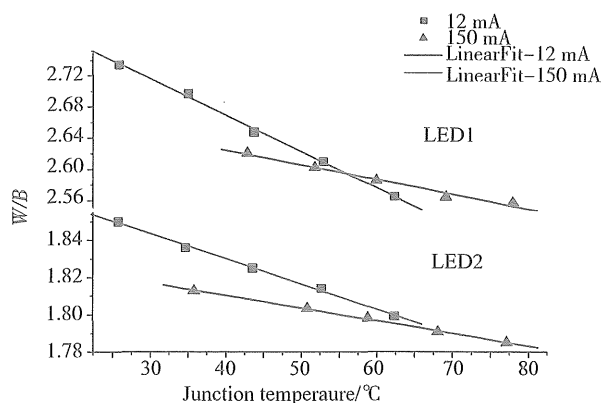


图4 两种LED管在环境温度不同电流恒定时 W/B 与结温的关系

Fig. 4 The relationship of W/B and junction temperature when the ambient temperature is changed with uniform current

图6是电流为 6 mA, 30 mA, 250 mA 在温度

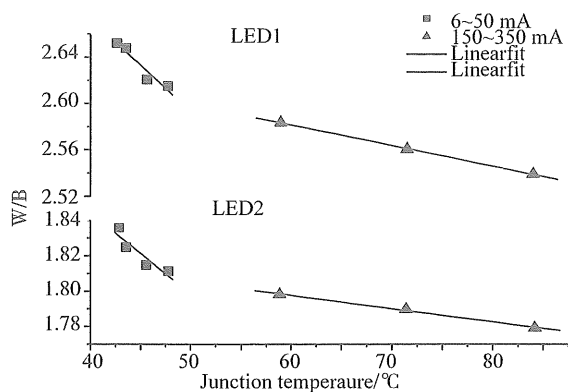


图 5 两种 LED 管在工作电流不同环境温度恒定

($T = 45^{\circ}\text{C}$) 时 W/B 与结温的关系

Fig. 5 The relationship of W/B and junction temperature when the current is changed with uniform ambient temperature ($T = 45^{\circ}\text{C}$)

$T = 65^{\circ}\text{C}$ 时经处理后的光谱图,把所有光谱黄光峰值设定为 1,观察蓝光峰,发现蓝光峰峰值随着电流的减小而减小,蓝光峰波长亦有所红移,峰值处波长分别为 449.6 nm, 451.8 nm, 454.4 nm。蓝光峰半高宽分别是 17.4 nm, 21.2 nm, 23 nm,随着电流的增大而增大。对于其它电流和温度也有类似的规律。在小电流处,蓝光部分峰值下降,半高宽减小,意味着蓝光强度变低,荧光粉的有效激发效率也变低。所以,随着结温的升高导致的光谱蓝白比下降对小电流影响更为严重,下降更快,其斜率绝对值也更大。另外,在 PN 结内存在小电流的过趋热效应,即测量电流越小,高温区与低温区的电流密度的比值越大,电流越集中在高温区,从而产生更多的焦耳热使高温区的温度更高^[12]。尤其是小电流情况下,这种效应更明显,结温不能

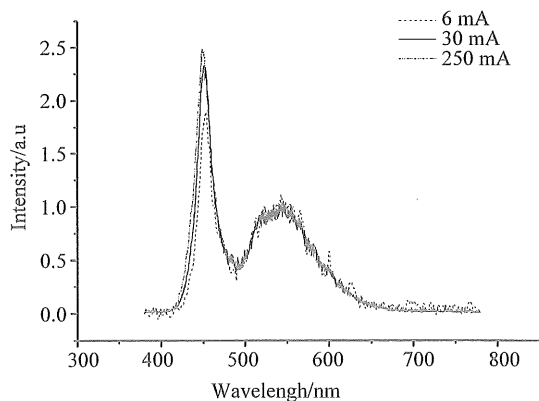


图 6 同一温度下不同电流的归一化光谱图

Fig. 6 The normalized spectrum of different current in the same temperature

均匀分布,易造成测量误差。小电流一般选在伏安特性曲线的拐点处,比一般工作电流和额定电流小得多,这种效应造成的误差不可忽略,小电流与大电流的斜率也就会不一致。

通常 LED 管的工作电流和额定电流都远离 LED 管瞬间导通电流,即一般工作在文中所述的大电流区域,通过测量这个电流区域白光 LED 的光谱得到结温与光谱的关系式,就能快速得到 LED 的结温。

3 总 结

本文以两种不同型号的大功率白光 LED 为研究对象,测量了 LED 的结温与光谱,得到了白光光谱积分 W 与蓝光光谱积分 B 的比值与结温的线性关系式。不同类型的白光 LED 其关系式不同;电流引起的结温升高和环境温度引起的升高,对此线性关系的贡献存在一定差别。对于同一 LED,在不同的电流区域内,此线性关系的斜率并不相同。在实际中应用蓝白法测量白光 LED 结温时需要注意这些特点。进一步的理论与实验研究将揭示 LED 在不同工作电流下光谱-结温关系的规律和机制,为 LED 的正确使用提供依据。

参考文献:

- [1] 彭万华. 我国超高亮度及白光 LED 产业的现状与发展[J]. 激光与红外, 2005, 35(4): 223-227.
PENG Wanhua. Situation and development of ultra bright and white LED industry in China[J]. Laser and Infrared, 2005, 35(4): 223-227.
- [2] GELCORE J P. Thermal challenges facing new generation light emitting diodes for lighting applications[J]. SPIE, 2002, 4776: 215-222.
- [3] XI Y, XI J Q, GESSMANN, et al. Junction and carrier temperature measurements in deep-ultraviolet light-emitting diodes using three different methods[J]. Appl. Phys. Lett., 2005, 86(3): 1907-1909.
- [4] SIEGAL B. Practical considerations in high power LED junction temperature measurements[C]. IEMT, 2006: 62-66.
- [5] 陈挺, 陈志忠, 林亮, 等. GaN 基白光 LED 的结温测量[J]. 发光学报, 2006, 27(3): 407-412.
CHEN Ting, CHEN Zhizhong, LIN Liang, et al., Methods for determining junction temperature of GaN-based white LED[J]. China J. Lumin, 2006, 27(3): 407-412.

(下转第 46 页)

shop 的水印指纹技术应用方式和数字水印指纹在 Peer-to-Peer 网络中应用的方式。为了数字水印指纹在多用户环境下合理应用, 需要进一步研究算法来设置查找表 Look-Up 的实现策略。未来的这一领域将会是重要的和有趣的。

参考文献:

- [1] MICHAEL Miller. Discovering P2P, sybex-verlag [M]. USA: John Wiley & Sons, Inc., 2001.
- [2] KUNDUR D, KARTHIK K. Video fingerprinting and encryption principles for digital rights management [J]. proceedings of the IEEE, 2004, 92(6): 918 - 932.
- [3] BLOOM Cox, Miller. Digital Watermarking [M]. San Diego: Academic Press, 2002.
- [4] TRAPPE W, WU M, WANG Z J, et al. Anti-collusion fingerprinting for multimedia [J]. IEEE Trans. Signal Processing, 2003, 51: 1069 - 1087.
- [5] MACQ M B, QUISQUATER J. Cryptology for Digital TV broadcasting [J]. Proc. IEEE, 1995, 83: 944 - 957
- [6] BLOOM J. Security rights management in digital cinema [J]. Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech and Signal Processing, 2003, 4: 712 - 715.
- [7] ANDERSON R, MANIFAVAS C. Chameleon-a new kind of stream cipher [M] // Lecture Notes in Computer Science, Fast Software Encryption. E. Biham, Ed. Heidelberg, Germany: Springer-Verlag, 1997: 107 - 113.
- [8] CHANG Y, HAN R, LI C, et al. Secure transcoding of internet content [C] // Proc. Int. Workshop Intelligent Multimedia Computing and Networking (IMMCN), 2004: 940 - 943.
- [9] DITTMANN J, BEHR A, STABENAU M, et al. Combining digital watermarks and collusion secure fingerprints for digital image [C] // In proc. SPIE. Conf. Electronic Imaging 99. Security and Watermarking of Multimedia Contents, 1999, 41: 171 - 182.
- [10] WANG Z J, WU Min, ZHAO Hong, et al. Resistance of orthogonal gaussian fingerprints to collusion attacks [C]. IEEE International Conference on Acoustics, speech & Signal Processing, 2003: 6 - 10.
- [11] COX I, KILLIAN J, LEIGHTON F, et al. Secure spread spectrum watermarking for multimedia [J]. IEEE Trans. On Image Processing, 1997, 6(12): 1673 - 687.
- [12] WANG Z J, WU M, TRAPPE W, et al. Group-oriented fingerprinting for multimedia forensics [J]. EURASIP Journal on Applied Signal Processing, 2004, 14: 2153 - 2173.
- [13] HARTUNG F, GIROD B. Digital watermarking of MPEG-2 coded video in the bitstream domain [J]. Proc. Int. Conf. Acoustics, Speech and Signal Processing, 1997, 4: 2621 - 2624.

(上接第 40 页)

- [6] GU Y, NARENDRAN N. A non-contact method for determining Junction temperature of phosphor converted white LEDs [C] // Third international conference on solid state lighting. Proceedings of SPIE, 2004, 5187: 107 - 114.
 - [7] EDILSON M, FERNANDO L, ANTUNES M. Junction temperature estimation for high power light-emitting diodes [C]. IEEE 2007: 3030 - 3035.
 - [8] XI Y S. Junction-temperature measurement in GaN ultraviolet light-emitting diodes using diodes forward voltage method [J]. Appl Phys Lett, 2004, 85 (12): 2163 - 2165.
 - [9] JAYASINGHE L, GU Y, NARENDRAN N. Characterization of thermal resistance coefficient of high-power LEDs [C] // Sixth international conference on solid state lighting. Proceedings of SPIE, 2006, 6337: 10 - 20.
 - [10] HONG E, NARENDRAN N. A method for projecting useful life of LED lighting systems [C] // Third international conference on solid state lighting. Proceedings of SPIE, 2004, 5187: 93 - 99.
 - [11] NARENDRAN N, GU Y, HOSSEINZADEH R. Estimating junction temperature of high-flux white LEDs [C] // Light-Emitting Diodes: research, manufacturing, and application VIII. Proceedings of SPIE, 2004, 5366: 158 - 161.
 - [12] 苗庆海, 朱阳君, 张兴华, 等. pn 结中的小电流过趋热效应及理论模拟计算 [J]. 半导体学报, 2006, 27(9): 1595 - 1599.
- MIAO Qinghai, ZHU Yingjun, ZHANG Xinghua, et al. Excessive thermotaxis effect of low current in pn junction and theoretical analog calculation [J]. China J. Semicond, 2006, 27(9): 1595 - 1599.