

doi:10.3788/gzxb20144309.0912003

# 基于相对光谱差异的非接触式 LED 结温测量方法

饶丰<sup>1,2,3</sup>, 徐安成<sup>1</sup>, 朱锡芳<sup>1</sup>

(1 常州工学院 光电工程学院, 江苏 常州 213002)

(2 常州现代光电技术研究院, 江苏 常州 213002)

(3 常州光电子材料与器件重点实验室, 江苏 常州 213002)

**摘 要:**提出一种运用相对光谱的整体差异表征 AlGaInP 基 LED 结温的方法. 首先使用光谱仪测量不同驱动电流、不同衬底温度下, 不同颜色 AlGaInP 基 LED 的相对光谱, 计算同一 LED 不同结温条件下相对光谱之间的差异, 然后分析相对光谱差异与结温变化量之间的线性度, 最后比较相对光谱差异法与峰值波长法测量的准确性. 研究表明: 相对光谱差异与 LED 结温变化成正比, 相对光谱差异法的准确度和测量误差随光谱仪带宽的增大而增大, 当光谱仪带宽为 2 nm 时, 其准确度优于采用带宽为 1 nm 的峰值波长法; 当带宽为 5 nm 时, 其准确度与带宽为 1 nm 的峰值波长法相当.

**关键词:**光谱学; 结温测试; 光谱分析; 发光二极管; 光谱仪; 带宽

中图分类号: TN312+.8

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2014)09-0912003-5

## A Non-contact Method for Determining Junction Temperature of LED Based on the Relative Spectral Difference

RAO Feng<sup>1,2,3</sup>, XU An-cheng<sup>1</sup>, ZHU Xi-fang<sup>1</sup>

(1 Colleague of Photoelectric Engineering, Changzhou Institute of Technology, Changzhou, Jiangsu 213002, China)

(2 Changzhou Institute of Modern Photoelectrical Technology, Changzhou, Jiangsu 213002, China)

(3 Key Laboratory of Optoelectronic Materials and Devices of Changzhou, Changzhou, Jiangsu 213002, China)

**Abstract:** A method for determining AlGaInP-based LED junction temperature was developed based on the relative spectral difference. The relative spectra of different LED with various drive currents and substrate temperatures were measured by spectrometer, and the differences of LED relative spectra were calculated. And then the linearity of the relative spectral differences and junction temperatures was analyzed. At last, the accuracy of the proposed method was compared with the peak wavelength method. The results show good positive correlation between relative spectral difference and junction temperature. The accuracy and the error of the proposed method become worse as the bandwidth of spectrometer increases. The accuracy of proposed method with the spectrometer of 2 nm bandwidth is much higher than the peak wavelength method of 1 nm bandwidth. While the proposed method of 5 nm bandwidth has the same accuracy with the peak wavelength method of 1 nm bandwidth.

**Key words:** Spectroscopy; Junction temperature measurement; Spectral analysis; Light emitting diode; Spectrometer; Bandwidth

**OCIS Codes:** 120.6780; 120.6810; 300.6470

## 0 引言

结温是影响发光二极管 (Light Emitting Diode, LED) 光电性能和可靠性的重要因素<sup>[1-2]</sup>. 随着结温

的升高, LED 发光效率降低、寿命缩短、可靠性降低<sup>[3-5]</sup>. 因此, 对 LED 结温进行准确测量, 是判断 LED 性能的基础<sup>[6]</sup>.

LED 结温测量的基准方法是正向电压法<sup>[7-8]</sup>, 该方

**基金项目:**国家自然科学基金(No. 81170873)、常州工学院重点项目(No. YN1209)和常州光电技术研究院项目(No. CZGY003)资助

**第一作者:**饶丰(1983—), 男, 讲师, 博士, 主要研究方向为 LED 光电性能检测及生物安全. Email: 1270437521@qq.com

**通讯作者:**朱锡芳(1965—), 男, 教授, 主要研究方向为 LED 光学信息处理. Email: zhuxf@czu.cn

**收稿日期:**2014-01-06; **录用日期:**2014-03-20

<http://www.photon.ac.cn>

法被认为是最准确的测试方法,已经写入国际标准,但其需要实时、快速( $10^{-5}$  s内)、准确地测量LED引脚两端的电压,技术要求较高。同时,由于成品LED灯具受外壳和封装等限制,LED管脚难以接触,因此限制了应用。基于此,相关学者进行了非接触式LED结温测量方法的研究。2004年,Gu Y.等提出可以用蓝白比法来测定结温,其准确度约为 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>[9]</sup>。叶炎钟等提出辐射强度法测定结温<sup>[10]</sup>。考虑到白色LED 485 nm左右的谷值相对辐射强度随结温的变化比较明显,2009年邱西振、张方辉提出用波谷相对辐射强度估算结温,误差约为 $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>[11]</sup>。Hong E.等提出了峰值波长法来表征LED的结温<sup>[12]</sup>,优点是方便和非接触,但是大部分LED峰值波长随温度漂移比较小,造成测量困难,其误差与采用的光谱仪性能有关,一般为 $4\sim 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

结温升高会导致AlGaInP基LED相对光谱单调红移<sup>[12-14]</sup>,因此将每一波长对应的相对辐射强度的变化相加,得到的相对光谱差异必然与结温高度相关。本文以AlGaInP基LED为研究对象,提出一种比峰值波长法的仪器要求低、测量准确度高的结温测试方法——相对光谱差异法。

## 1 相对光谱差异法

### 1.1 相对光谱差异

LED光谱随着结温的变化而变化。图1是350 mA驱动电流下AlGaInP基黄色LED的相对光谱,可见随着结温的增加,光谱红移,峰值波长变大,半高全宽加宽。

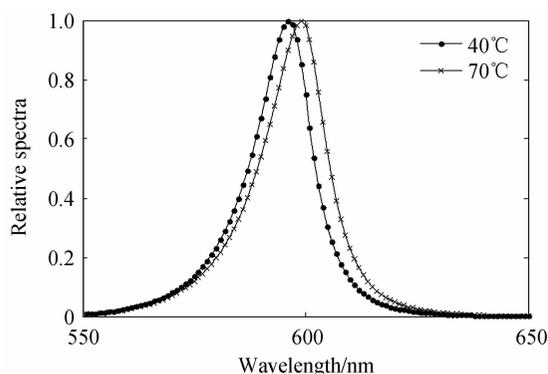


图1 AlGaInP基黄色LED的相对光谱

Fig. 1 Relative spectra of AlGaInP yellow LEDs

以结温 $T_0$ 的LED相对光谱为基准光谱 $F_0(\lambda)$ ,定义待测结温 $T_x$ 下的相对光谱 $F(\lambda)$ 与 $F_0(\lambda)$ 围成的面积为相对光谱差异 $\Delta S$ ,即

$$\Delta S = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} |F(\lambda) - F_0(\lambda)| d\lambda \quad (1)$$

式中, $\lambda_1, \lambda_2$ 是光谱上、下限。图1中两光谱曲线围成的区域就是以 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 结温为基准光谱,结温 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的相对光谱差异。实际上,光谱测量值一般是离散的,因此式(1)可改写为

$$\Delta S = \sum_{\lambda_i} |F(\lambda) - F_0(\lambda)| \Delta\lambda \quad (2)$$

式中, $\Delta\lambda$ 是光谱仪的采样间隔。

### 1.2 方法设计

提出用相对光谱差异表征结温,其技术依据与峰值波长法相同,均为AlGaInP基LED的相对光谱差异 $\Delta S$ 与结温变化 $T_j$ 线性相关,即

$$\Delta S = K \times \Delta T_j \quad (3)$$

式中, $K$ 为相对光谱差异—结温系数,则

$$T_{jx} = \Delta S / K + T_{j0} \quad (4)$$

式中, $T_{jx}$ 为待测结温, $T_{j0}$ 为初始结温,而 $\Delta T_j = T_{jx} - T_{j0}$ 。这样,相对光谱差异就可以用来表征LED结温。测试流程为

1) 在环境温度 $T_a$ 下测量小电流驱动时的相对光谱,然后将衬底温度上升至 $T_b$ ,测量此时的相对光谱并求出相对光谱差异 $\Delta S'$ ,求出相对光谱差异—结温系数 $K$

$$K = \Delta S' / (T_b - T_a) \quad (5)$$

2) 测量待测结温 $T_{jx}$ 下的相对光谱。结合步骤1),以环境温度 $T_a$ 下测量小电流驱动时的相对光谱为基准,求出相对光谱差异 $\Delta S$ ,并令 $T_{j0} = T_0$ ,代入式(4)即可求出结温 $T_{jx}$ 。

同峰值波长法一样,本方法在结温测试中,忽略了小电流的热效应,因此要合理控制小电流的大小,一般地,不应超过额定电流的5%。相对光谱差异的测量误差越小,与结温变化的线性度越好,该方法的测量准确度就越高。

## 2 实验

选择Philips公司同型号,伏安曲线相近的1W AlGaInP基黄色和红色LED各10只,标称光通量为55 lm和50 lm。测量 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境下,额定电流驱动时LED的实际光通量,剔除实测值与标称值差异较大的5只,得到光通量相近的黄、红色LED各5只,作为研究对象。

采用杭州远方公司的光色电综合测试系统测量LED的光谱,系统结构如图2。数控高准确度恒流电源

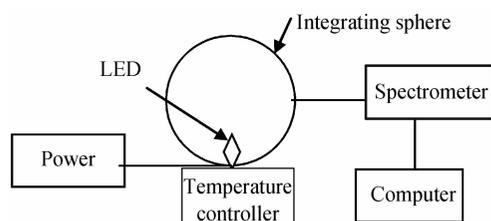


图2 光色电综合分析系统结构示意图

Fig. 2 The schematic diagram of the photoelectric and colorimetric analyzer

给待测LED供电,误差为 $\pm 1\text{ mA}$ ;恒温器给LED提供稳定的衬底温度,误差为 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。积分球和光谱仪结合

能够准确地测量待测 LED 的光谱。

测试前, LED 样品均老化 12 h, 老化过程中保持环境温度  $25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ , LED 的驱动电流 350 mA, 误差 3%。测试中, 保持环境温度为  $10 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ , 无对流风。

### 3 结果

#### 3.1 结温大范围变化时的结果

恒定电流驱动下, LED 衬底温度的变化等于结温的变化, 实验采用的衬底温度从  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  增加到  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ , 温度间隔  $3 \text{ }^\circ\text{C}$  到  $4 \text{ }^\circ\text{C}$ , 即衬底温度分别为  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $13 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $16 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $23 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $26 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ ……。此时, 黄色和红色 LED 光谱半高全宽约 15 nm, 计划得到 20 个以上有效测量值, 因此采用 2 nm 带宽光谱仪, 以  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  时的光谱为基准光谱, 其他温度下的光谱与之相比较, 得到  $\Delta S$ 。图 3(a)、(b) 分别是所得的黄色和红色 LED 各 5 只的相对光谱差异  $\Delta S$  与结温变化  $\Delta T$  (即衬底温度变化) 之间的关系。可见, 无论是何种颜色 LED,  $\Delta S$  与结温变化成良好的线性关系, 因此相对光谱差异可以用来表征 LED 结温在大范围内的变化。

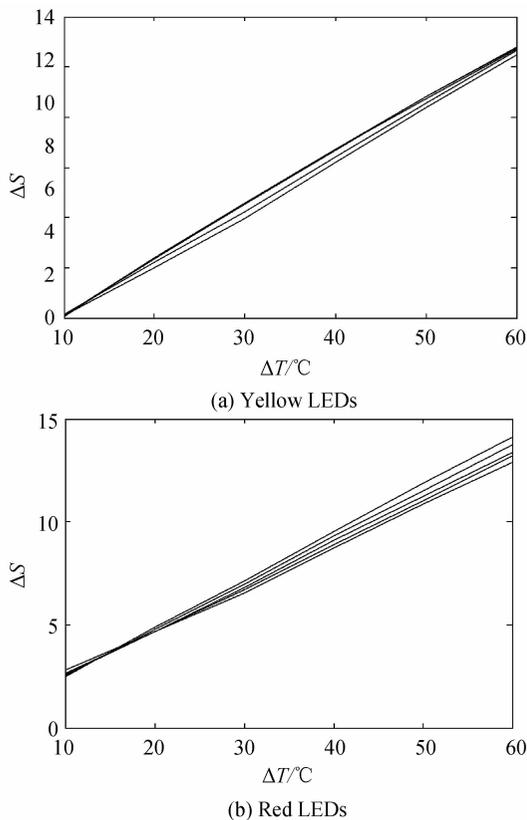


图 3  $\Delta S$  与衬底温变化的关系

Fig. 3 The relationship between relative spectral differences and the change of substrate temperatures

图 4(a)、(b) 分别是黄色和红色 LED 的峰值波长随衬底温度的变化关系, 图中五条曲线代表 5 只 LED 样品的测量值。测量时采用的是带宽 1 nm 的光谱仪。由于结温在  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  的变化范围内, 两种 LED 的峰值波

长增大约 8 nm, 采用带宽 1 nm 的光谱仪可以看出线性关系, 但是, 温度变化约  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  时峰值波长变化不超过 1 nm<sup>[14-15]</sup>, 当温度变化 3 或 4  $^\circ\text{C}$  时, 峰值波长变化不可测量, 因此曲线存在台阶状, 峰值波长法的测量准确度劣于相对光谱差异法。

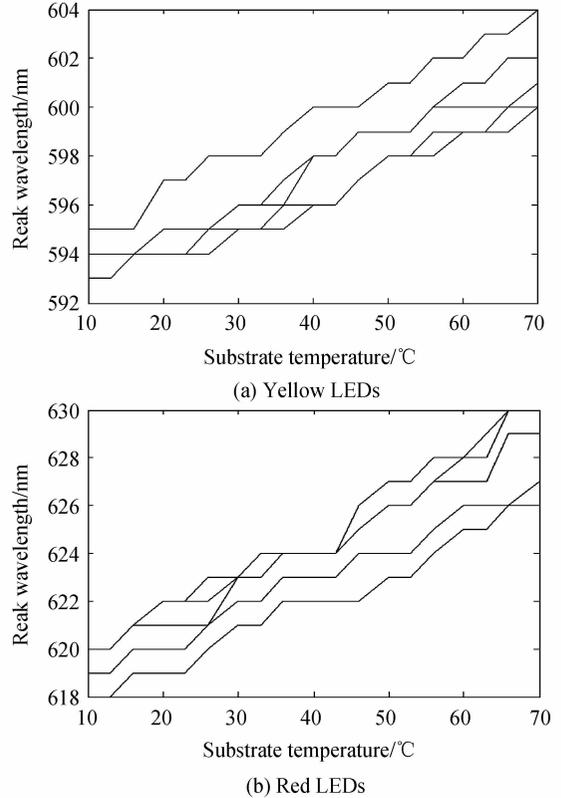


图 4 LED 峰值波长随衬底温度的变化

Fig. 4 The change of LED peak wavelength with substrate temperature

#### 3.2 结温精细变化时的结果

由于温控误差相对较大, 为了研究相对光谱差异能否精细测量结温, 可以采用衬底温度恒定, 驱动电流小间隔变化的方法。研究表明, 对于 1 W 的大功率 LED, 电流从 300 mA 增到 400 mA 时, 电流与结温成线性关系<sup>[4, 16]</sup>。黄色和红色大功率 LED, 电流从 300 mA 增到 400 mA 时, 结温分别增加了  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  和  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  左右。设定衬底温度  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , 驱动电流从 300 mA 变化至 400 mA, 每隔 10 mA 测量样品的相对光谱, 然后以 300 mA 时的光谱为基准光谱, 其他电流下的光谱与之相比较, 得到相对光谱差异, 如图 5。可见, 5 只黄色 LED 之  $\Delta S$  总体变化量约为 2, 最大线性误差约为 8%, 相当于  $0.8 \text{ }^\circ\text{C}$ , 5 只红色 LED 之  $\Delta S$  变化量达到 3.2, 最大线性误差约 3%, 相当于  $0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ , 两种 LED 的  $\Delta S$  均与电流成线性关系, 即与结温成正比。因此, 相对光谱差异法可以准确测量结温, 误差不大于  $1 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

由于电流增加仅 100 mA, 结温变化较小, 黄色和红色 LED 峰值波长总变化均只有 1 nm 左右, 用常用 1 nm 带宽的光谱仪, 峰值波长法难以准确测量电流间

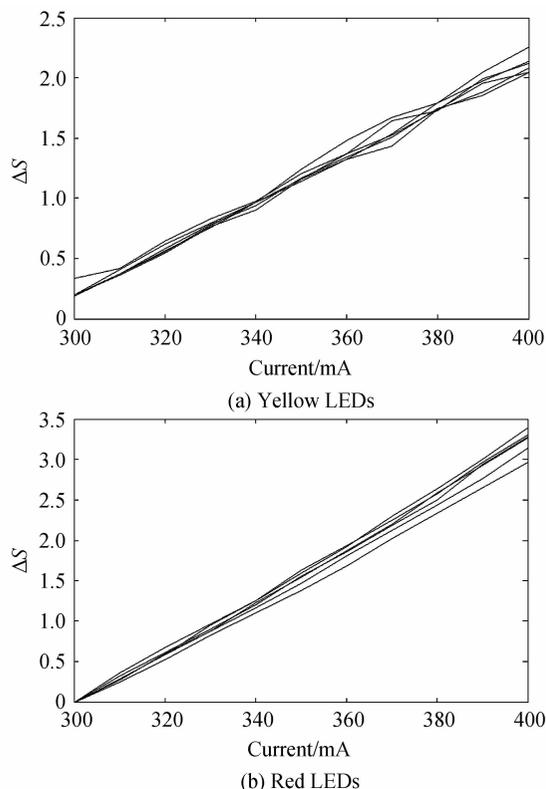


图5 LED光谱差异随驱动电流的变化

Fig. 5 The change of the relative spectral differences of LEDs with drive currents

隔 10 mA 时的结温, 相对光谱差异法能够精细测量结温, 具有明显的技术优势.

### 3.3 带宽对测量结果的影响

一般地, AlGaInP 基红色和黄色 LED 的光谱半高全宽约为 15 nm, 随着光谱仪带宽的增加, 采样点数减少, 结果的误差必然增大. 选择红色和黄色 LED 各一只, 测量 10 次  $\Delta S$  与衬底温度变化曲线, 计算最大线性误差作为本方法的线性度; 采用 10 次测量 350 mA 驱动电流下、衬底温度分别 50 °C 和 70 °C 时红黄 LED 各一只的  $\Delta S$ , 计算其标准差, 用来衡量本方法的准确度. 表 1 给出了带宽为 1~5 nm 时, 对应的线性度和标准差. 可以看出, 当带宽为 1 nm 时, 线性度 2% 左右, 对应温度约 1 °C, 随着带宽不断增大, 红色和黄色 LED 的线性度不断增大, 当带宽为 5 nm 时, 线性度分别为 8.9% 和 12.4%, 对应误差约 4.5 °C 和 6.2 °C. 同一驱动状态下, 红黄 LED 相对光谱差异  $\Delta S$  的标准差均随带宽的增加而增大, 当带宽为 5 nm 时,  $\Delta S$  的标准差大于 1, 对应温度大于 5 °C, 此时, 与峰值波长法相比, 技术优势不明显.

表 1 测量误差与带宽的关系

Table 1 The relationship between measurement errors and bandwidths

Bandwidth/nm		1	2	3	4	5
Linearity/%	Yellow	2.4	2.6	7.7	9.8	12.4
	Red	2.1	2.4	2.7	5.4	8.9
Standard error of $\Delta S$	50 °C, Yellow	0.26	0.41	0.89	0.97	1.04
	350 mA Red	0.36	0.55	1.05	1.13	1.28
	70 °C, Yellow	0.37	0.52	0.95	0.98	1.17
	350 mA Red	0.4	0.58	0.59	1.06	1.32

## 4 结论

实验测量了 AlGaInP 基 LED 在不同结温下的光谱, 分析了相对光谱差异与 LED 结温变化的关系, 提出了一种用相对光谱差异测算结温的方法. 研究表明: 相对光谱差异法只需选择合适的带宽, 得到较多采样值, 就可获得较高的准确度, 且对仪器要求较低. 与峰值波长法相比, 该方法具有明显的技术优势, 有重要的应用价值.

### 参考文献

- [1] LIU Yi-bing, DAI Yu-xing, HUANG Zhi-gang. Optimization design on packaging materials of high power LED for lighting [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2011, **40**(5): 663-666.  
刘一兵, 戴瑜兴, 黄志刚. 照明用大功率发光二极管封装材料的优化设计[J]. *光子学报*, 2011, **40**(5): 663-666.
- [2] HU Yuan, XIA Hai-ping, ZHANG Li. Emission properties of Eu-doped Nano- $\text{u3Al5O12}$  powders by ultrasonic atomization and coprecipitation method[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2011, **40**(11): 1646-1651.  
胡元, 夏海平, 张丽. 超声喷雾共沉淀法制备的  $\text{Lu3Al5O12} : \text{Eu}^{3+}$  纳米粉体发光特性[J]. *光子学报*, 2011, **40**(11): 1646-1651.
- [3] NADARAJAH N, GU Y. Life of LED-based white light sources[J]. *Journal of Display Technology*, 2005, **1**(1): 167-174.
- [4] SENAWIRATNE J, CHATTERJEE A, DETCHPROHM T. Junction temperature, spectral shift, and efficiency in GaInN-based blue and green light emitting diodes[J]. *Thin Solid Films*, 2010, **518**(6): 1732-1736.
- [5] LIU Li-ming, ZHENG Xiao-dong. Measurements of LEDs spectral characteristics and junction temperature[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2009, **38**(5): 1069-1073.  
刘立明, 郑晓东. LED 结温与光谱特性关系的测量[J]. *光子学报*, 2009, **38**(5): 1069-1073.
- [6] LIN Y, LU Y, GAO Y, *et al.* Measuring the thermal resistance of LED packages in practical circumstances[J]. *Thermochimica Acta*, 2011, **520** (1): 105-109.
- [7] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化委员会. GB/T 24824-2009/CIE 127-2007 普通照明用 LED 模块的基本性能测量方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [8] LEE Y, LEE C, CHEN C. Estimating the junction temperature of InGaN and AlGaInP light-emitting diodes[J]. *Japanese Journal of Applied Physics*, 2011, **50**(4): 1-5.

- [9] 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, 2010, **5187**: 107-114.
- [10] YE Yan-zhong, ZHENG Xiao-dong, LIU Xu, *et al.* A new non-contact method based on relative radiation intensity for determining junction temperature of LEDs [J]. *Journal of Optoelectronics • Laser*, 2009, **20**(8): 1053-1057.  
叶炎钟, 郑晓东, 刘旭, 等. 非接触式 LED 结温测试方法研究及测试系统设计 [J]. 光电子 • 激光, 2009, **20**(8): 1053-1057.
- [11] QIU Xi-zhen, ZHANG Fang-hui. A new non-contact method based on relative spectral intensity for determining junction temperature of LED [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2013, **33**(1): 36-39.  
邱西振, 张方辉. 基于相对辐射强度的非接触式 LED 结温测量法 [J]. 光谱学与光谱分析, 2013, **33**(1): 36-39.
- [12] 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, 2010, **5187**: 93-99.
- [13] ZHONG Wen-jiao, WEI Ai-xiang, ZHAO Yu. Dependence of GaN-based white LED colorimetric parameters on junction temperature [J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2013, **34**(9): 1203-1207.  
钟文姣, 魏爱香, 招瑜. 结温对 GaN 基白光 LED 光学特性的影响 [J]. 发光学报, 2013, **34**(9): 1203-1207.
- [14] CHEN K, NADARAJAH N. Estimating the average junction temperature of AlGaInP LED arrays by spectral analysis [J]. *Microelectronics Reliability*, V2013, **53**(5): 701-705.
- [15] JIANG Yi-cheng, ZHU Teng-fei, SHEN Yue-qing, *et al.* Precision measurement of LED junction temperature and the analysis of relevant factors [J]. *Optical Instruments*, 2013, **35**(3): 7-10, 31.  
蒋一成, 朱腾飞, 慎月强. LED 结温精密测量及相关因素分析 [J]. 光学仪器, 2013, **35**(3): 7-10, 31.
- [16] MAO De-feng, GUO Wei-ling, GAO Guo, *et al.* Research on the thermal resistance and junction temperature of high power LEDs [J]. *Research & Progress of Solid State Electronics*, 2010, **30**(2): 308-302.  
毛德丰, 郭伟玲, 高国, 等. 功率 LED 结温和热阻在不同电流下性质研究 [J]. 固体电子学研究进展, 2010, **30**(2): 308-302.