

用归一化光谱分布差异表征 AlGaInP 基 LED 阵列的平均结温

饶 丰^{1,2,3} 朱锡芳¹ 徐安成¹

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 提出了一种采用归一化光谱分布的总体差异表征 AlGaInP 基发光二极管(LED)阵列平均结温的新方法。采用光谱仪测量了不同衬底温度、不同注入功率时,3种LED阵列的归一化光谱分布,研究了归一化光谱分布差异与LED阵列平均结温的关系,并将归一化光谱分布差异表征平均结温的准确度与文献报道的中心波长法相比较。研究表明:无论是改变衬底温度还是注入功率,采用常用的1nm采样间隔的光谱仪,归一化光谱分布差异与LED阵列平均结温的变化成良好的线性关系,线性度优于中心波长法,因此归一化光谱分布差异可以用于平均结温的测算,且准确度高于中心波长法。

关键词 光谱学;结温测试;光谱分析;发光二极管阵列;光谱仪;归一化光谱分布差异

中图分类号 TN312+.8; O433.4 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS201434.0930004

Determining the Average Junction Temperature of AlGaInP-Based LED Array with the Difference of Normalized Spectral Distribution

Rao Feng^{1,2,3} Zhu Xifang¹ Xu Ancheng¹

¹ College of Photoelectric Engineering, Changzhou Institute of Technology, Changzhou, Jiangsu 213002, China

² Changzhou Institute of Modern Photoelectric Technology, Changzhou, Jiangsu 213002, China

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

Abstract A new method for determining the average junction temperature of AlGaInP-based light emitting diode (LED) array is developed based on the difference of normalized spectral distribution. The normalized spectra of three LED arrays with various injected powers and substrate temperatures are measured with a spectrometer, and the relationship between the differences of normalized spectral distributions and the average junction temperatures of LED arrays is analyzed. The accuracy of evaluating junction temperature with the difference of normalized spectral distributions is compared with the proposed method using center wavelength shift. The results show that the difference of normalized spectral distributions, measured with a spectrometer of 1 nm sample interval, changes linearly with the variation of average junction temperature whether it is induced by the change of the injected power or the substrate temperature, and the linearity is better than that of the method using center wavelength shift. Therefore, the difference of normalized spectral distributions can be used to estimate the average junction temperature, and the accuracy is better than the method using center wavelength shift.

Key words spectroscopy; junction temperature measurement; spectral analysis; light emitting diode array; spectrometer; normalized spectral distribution difference

OCIS codes 300.6470; 120.3940; 120.6810

收稿日期: 2014-04-01; 收到修改稿日期: 2014-05-18

基金项目: 常州工学院重点项目(YN1209)、常州现代光电技术研究院项目(CZGY003)

作者简介: 饶 丰(1983—),男,博士,讲师,主要从事 LED 光色电性能及生物安全方面的研究。

E-mail: 1270437521@qq.com

1 引言

半导体发光二极管(LED)被认为是最有潜力的新一代光源,已经广泛地应用于照明与显示领域^[1-2]。结温是影响 LED 光色电性能、寿命及可靠性的重要因素。随着结温的升高,LED 发光效率降低,寿命缩短,可靠性降低。因此,很有必要对 LED 结温进行准确测量^[3-6]。

测量 LED 结温的基准方法是正向电压法^[7],该法被认为是最准确的方法,已经写入国际标准,但是该法测量时需要实时、快速(10^{-5} s 内)、准确地测量 LED 引脚两端的电压,因而技术要求较高,同时,对于成品 LED 灯具,由于其灯具外壳和封装等的限制,一般难以接触 LED 管脚,这就限制了该方法的应用^[8]。基于此,很有必要研究非接触式 LED 结温的测试方法。

迄今为止,已经报道了许多实用的非接触式测试方法。例如,针对荧光粉转换型 LED,Gu 等^[9]提出的蓝白比法,邱西振等^[10]提出的峰谷值法,叶炎钟等^[11]提出的适用所有 LED 的辐射强度法。AlGaInP 是制造红色到黄色波段 LED 的主要材料,对于该类型材料制造的 LED,归一化光谱分布随着结温的升高而单调红移,基于此,Hong 等^[12]提出了著名的峰值波长法。但是对于 LED 阵列,光谱分布的峰值处比较平坦,甚至峰值不止一个,导致峰值波长法误差较大。Chen 等^[13]提出采用归一化光谱分布的中心波长表征 AlGaInP 基 LED 阵列的平均结温,结果表明其精度高于峰值波长法。

实际上,LED 阵列平均结温的变化导致每一波长对应的相对辐射强度发生变化,因此将这些变化相加,得到的归一化光谱分布差异必然与平均结温高度相关。基于此本文研究开发出一种高精度测量 AlGaInP 基 LED 阵列平均结温的新方法——归一化光谱分布差异法。

2 理论分析

2.1 归一化光谱分布差异的定义

LED 的归一化光谱分布随着结温的变化而变化。以结温 T_0 的 LED 归一化光谱分布 $F_0(\lambda)$ 为基准,定义待测结温 T_x 下的归一化光谱分布 $F(\lambda)$ 与 $F_0(\lambda)$ 围成的面积为归一化光谱分布差异 ΔS ,可表示为

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

式中 λ_1, λ_2 是光谱波长范围的上、下限。实际上,光谱测量值一般是离散的,因此(1)式可改写为

$$\Delta S = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} |F(\lambda) - F_0(\lambda)| \Delta\lambda, \quad (2)$$

式中 $\Delta\lambda$ 是光谱仪的采样间隔,其他同(1)式。

图 1 是 350 mA 驱动电流下 AlGaInP 基红色 LED 的归一化光谱分布,实线代表结温 10°C ,虚线代表 70°C ,可见随着结温的升高,归一化光谱分布将红移。图中两光谱曲线之间的区域就是以 10°C 结温时的归一化光谱分布为基准,结温 70°C 时的归一化光谱分布差异。

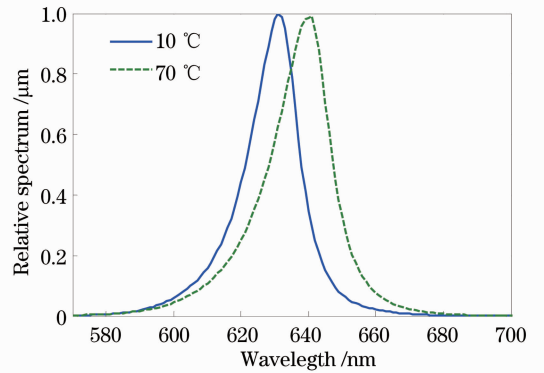


图 1 AlGaInP 基红色 LED 的归一化光谱分布
Fig. 1 Normalized spectral distributions of AlGaInP-based red LED

2.2 归一化光谱分布差异法的设计

如果归一化光谱分布差异 ΔS 与 LED 阵列平均结温的变化 ΔT 成良好的线性关系,即

$$\Delta S = K \times \Delta T, \quad (3)$$

式中 K 为归一化光谱分布差异-结温系数。 ΔS 就可以用来表征平均结温,公式如下:

$$T_x = \frac{\Delta S}{K} + T_0, \quad (4)$$

式中 T_x 为待测结温, T_0 为初始结温。本方法的表达式与其他基于光谱特性的结温测试方法类似,如峰值波长、蓝白比法和中心波长法^[5,9,12]。对于测量的流程,完全可以参照峰值波长法。具体如下:

1) 在环境温度 T_0 下测量小电流驱动时的归一化光谱分布,然后将衬底温度上升至 T_1 ,测量此时小电流驱动的归一化光谱分布,计算出归一化光谱分布差异 $\Delta S'$,最后求出 K ,其表达式为

$$K = \frac{\Delta S'}{T_1 - T_0}. \quad (5)$$

2) 测量待测结温 T_x 下的归一化光谱分布,以环境温度 T_0 下测量小电流驱动时的归一化光谱分布为基准,求出归一化光谱分布差异 ΔS ,代入(4)

式,计算出结温 T_x 。

3 实验研究

本研究采用改变衬底温度和改变注入功率两种方法改变结温,进而研究归一化光谱分布差异与结温变化的线性度,测试和分析可分成两个步骤:

1) 测量 350 mA 时,衬底温度从 10 °C 至 70 °C 时 LED 阵列的归一化光谱分布,间隔为 3 °C ~ 4 °C,然后以 10 °C 的归一化光谱分布为基准,其他温度下的归一化光谱分布与基准相比较,得到归一化光谱分布差异,最后分析归一化光谱分布差异 ΔS 与结温变化 ΔT 之间的关系;

测量衬底温度为 26 °C 时,驱动电流为 300 ~ 400 mA 时 LED 阵列的归一化光谱分布,间隔为 10 mA,然后以 300 mA 时的归一化光谱分布为基准,将其他驱动电流下归一化光谱分布与基准相比较,得到归一化光谱分布差异,同时测量不同电流下的注入功率,最后分析归一化光谱分布差异与注入功率的关系,间接得到与结温之间的关系。

选择 Philips 公司同型号 1 W AlGaInP 基黄色和红色 LED 各 100 余只,为了剔除可能有质量问题的 LED,首先剔除伏安曲线相差较大的红黄 LED 各 50 余只,然后,测量环境温度 25 °C 下,额定电流驱动时 LED 的实际光通量和峰值波长,分别剔除实测值与各自的平均值差异较大的 20 余只,得到两种颜色质量较好的 LED 各 20 余只。为了使研究对象更具有典型性,测量了 26 °C 时,额定电流下的光谱,选择最大光谱辐照度相近的红黄 LED 各 10 只,最后,按照文献 [13] 的方法,将 4 只 LED 焊接在同一铝基板上,构成一个串联型 LED 阵列,作

为研究对象。本研究共设计了 3 只 LED 阵列,组合方式分别为 A: 4 只红色,B: 3 只红色和 1 只黄色,C: 2 只红色和 2 只黄色。

采用光色电综合测试系统测量 LED 阵列的归一化光谱分布,仪器结构如图 2 所示,数控高精度恒流电源给待测 LED 阵列供电,电流误差为 ± 1 mA,恒温器给 LED 阵列提供稳定的衬底温度,精度为 ± 0.3 °C。积分球和光谱仪结合能够准确地测量待测 LED 阵列的归一化光谱分布。

测试前,3 只 LED 阵列均老化 12 h,老化过程中,保持环境温度 (25 ± 1) °C,LED 的驱动电流为 350 mA,误差为 3%。测试中,保持环境温度变化不超过 1 °C,无明显对流风。

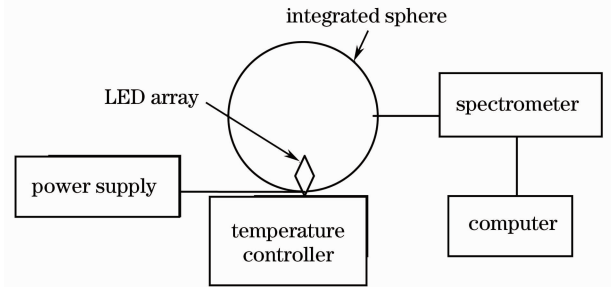


图 2 光色电综合分析系统结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the photoelectric and colorimetric analyzer

4 结果分析

4.1 LED 阵列的归一化光谱分布

图 3 为 3 只 LED 阵列的归一化光谱分布。可见对于由 4 只红色 LED (即 A) 组成的阵列,半峰全宽为 20 nm,明显大于单颗红色 LED (15 nm)。对于由 3 只红色 LED 和 1 只黄色 LED 组成的阵列

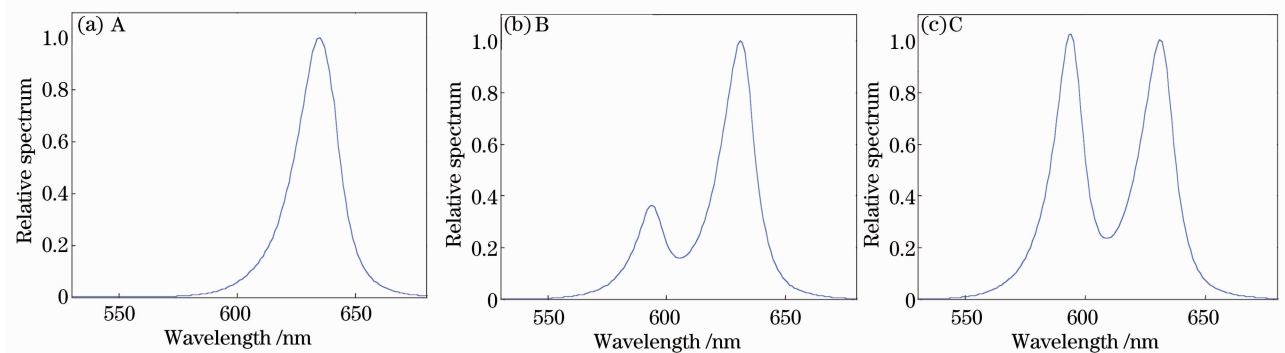


图 3 LED 阵列的归一化光谱分布

Fig. 3 Normalized spectral distributions of LED arrays

(即 B), 光谱分布中出现一强一弱两个峰, 半峰对应的波长为较强峰的值, 即红色 LED 的值。对于由 2 只红色和 2 只黄色 LED 组成了阵列(即 C), 光谱分布中有两个幅度相当的峰, 共有 4 个半峰对应的波长。

4.2 不同衬底温度下的归一化光谱分布差异

在同一驱动电流下, 衬底温度的变化等于结温的变化。图 4 为 3 种 LED 的阵列归一化光谱分布差异 ΔS 与衬底温度变化(即结温变化, ΔT)的关系。由图 4 可见, 无论哪种组合归一化光谱分布差异与结温变化均成良好的线性关系。统计学中常用误差平方和来描述实测值偏离线性的程度, 即线性拟合值与实测值之差的平方和, 本研究中, A、B、C 三只样品的线性误差平方和分别为 0.883、3.38 和 2.53, 最大误差分别为 1 °C、2 °C 和 1 °C。同时, 随着阵列中红色 LED 比例的减少, 曲线的斜率逐渐减小, 这是由于红色 LED 光谱随结温的变化率大于黄色 LED 的缘故。

文献[13]提出了一种用归一化光谱分布的半峰对应的最大波长和最小波长的平均值表征 AlGaInP 基 LED 阵列结温, 即中心波长法, 并用实验证明其准确性优于峰值波长法。本文研究了 3 种 LED 阵列中心波长与结温变化关系, 如图 5 所示, 由于光

谱仪的采样间隔有限, 中心波长呈阶梯状变化, 3 种 LED 阵列的误差平方和分别为 56.54、36.6 和 60.81, 最大误差分别为 7 °C、6 °C 和 7 °C。同时, 结温变化 60 °C 时, 3 只 LED 阵列的中心波长变化都是 7.5 nm, 不能反映出 LED 阵列中红、黄 LED 比例不同带来的热性能差异。因此, 与中心波长法相比, 归一化光谱分布差异表征 LED 阵列结温更准确, 具有明显的技术优势。

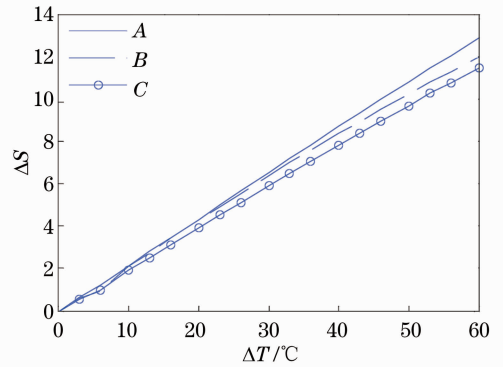


图 4 LED 阵列的归一化光谱分布差异与结温变化的关系

Fig. 4 Relationship between differences of normalized spectral distributions of LED arrays and change of junction temperature

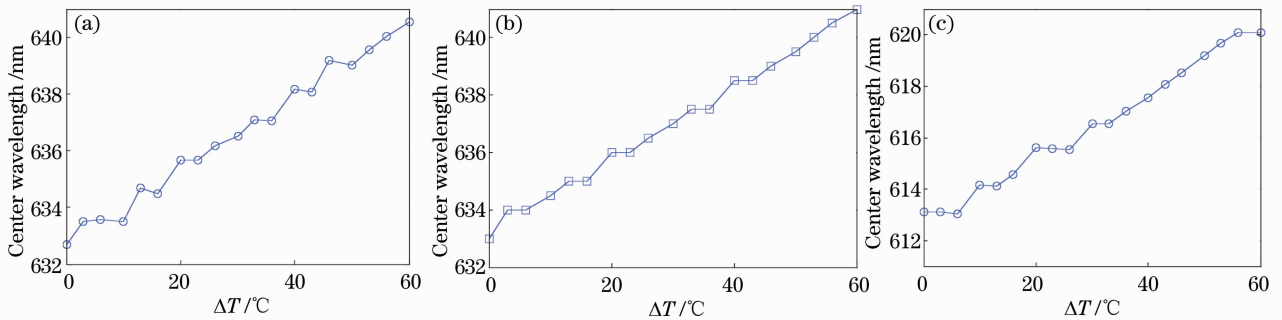


图 5 中心波长与结温变化的关系

Fig. 5 Relationship between center wavelengths and change of junction temperature

4.3 不同注入功率下的归一化光谱分布差异

研究表明, 驱动电流较大时, LED 热阻近似为恒量, LED 结温与注入功率成正比^[14-15]。为了避免直接测量结温带来误差, 通过分析驱动电流 300 ~ 400 mA 时, 归一化光谱分布差异与注入功率之间的关系, 来研究归一化光谱分布差异表征结温的可行性。

图 6 是 3 种 LED 阵列的归一化光谱分布差异随注入功率的变化关系。由图 6 可见无论是哪种 LED 阵列, 归一化光谱分布差异与注入功率均成良好的线性关系, 线性相关度大于 0.98。同时归一

化光谱分布差异对注入功率的变化率随着阵列中红色 LED 比例的增加而增大, 这是由于 AlGaInP 基红色 LED 的热阻比黄色 LED 大的缘故^[13]。

由于电流从 300 mA 变化到 400 mA, 红、黄色 LED 的中心波长变化仅 1 nm 左右, 采用间隔 1 nm 的光谱仪只能测出三个值, 中心波长法不适用, 此时归一化光谱分布差异具有明显的技术优势。

5 结 论

测量了不同衬底温度、不同注入功率下, 3 种 LED 阵列的归一化光谱分布, 研究了归一化光谱分

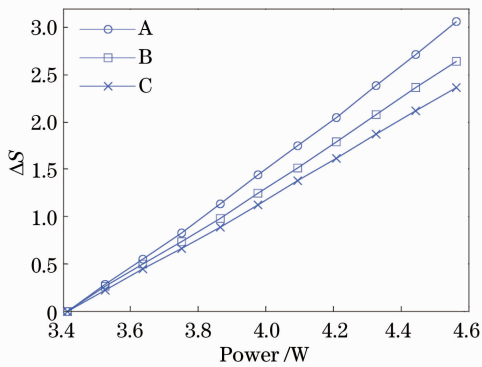


图 6 不同 LED 阵列的归一化光谱分布差异随注入功率的变化

Fig. 6 Differences of normalized spectral distributions versus injected power of different LED arrays

布差异与平均结温变化之间的关系,发现两者高度线性相关,因此提出了一种利用归一化光谱分布差异表征 LED 阵列平均结温的方法。研究表明:归一化光谱分布差异法测量结温准确度较高,测试过程简单,与中心波长法相比,具有明显的技术优势。

参 考 文 献

- Mao Xingwu, Zhang Yanwen, Zhou Jianjun, *et al.*. New Generation Yellow Light Source LED and Its Application [M]. Beijing: People's Post & Telecom Press, 2008. 115-117.
毛兴武, 张艳雯, 周建军, 等. 新一代绿色光源 LED 及其应用技术[M]. 北京:人民邮电出版社, 2008. 115-117.
- Zhou Taiming, Zhou Xiang, Cai Weixin. Principle and Design of Light Source (2nd edition) [M]. Shanghai: Fudan University Press, 2006. 408.
周天明, 周 详, 蔡伟新. 光源原理与设计(第二版) [M]. 上海: 复旦大学出版社, 2006. 408.
- Qian Minhua, Lin Yandan, Sun Yaojie. Life prediction model for LEDs based on photo-electro-thermal-life theory [J]. Acta Optica Sinica, 2012, 32(8): 0823001.
钱敏华, 林燕丹, 孙耀杰. 基于光-电-热-寿命理论的 LED 寿命预测模型[J]. 光学学报, 2012, 32(8): 0823001.
- Chen Huanting, Lü Yijun, Chen Zhong, *et al.*. Analysis of thermal spreading boards for high power AlGaInP red LEDs [J]. Acta Optica Sinica, 2009, 29(3): 805-810.
陈焕庭, 吕毅军, 陈 忠, 等. 大功率 AlGaInP 红光 LED 散热基板热分析[J]. 光学学报, 2009, 29(3): 805-810.

- Narendran, Y Gu. Life of LED-based white light sources [J]. Journal of Display Technology, 2005, 1(1): 167-171.
- J Senawiratne, A Chatterjee, T Detchprohm, *et al.*. Junction temperature, spectral shift, and efficiency in GaInN-based blue and green light emitting diodes [J]. Thin Solid Films, 2010, 518(6): 1732-1736.
- National Standardization Committee. GB/T 24824-2009/ CIE 127-2007 NEQ Measurement methods of LED modules for general lighting [S]. Beijing: China Standard Press, 2009.
国家标准化委员会. GB/T 24824-2009/CIE 127-2007 NEQ 普通照明用 LED 模块的测量方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- Xu Yuzhen, Lin Weiming. A novel LED photo-electro-thermal model with simplified variables [J]. Acta Optica Sinica, 2013, 33(5): 0523001.
徐玉珍, 林维明. 一种简化变量的新型 LED 光电热模型[J]. 光学学报, 2013, 33(5): 0523001.
- Y Gu, N Narendran. A non-contact method for determining junction temperature of phosphor-converted white LEDs [C]. SPIE, 2004, 5187: 107-114.
- Qiu Xizhen, Zhang Fanghui. 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.
- Ye Yanzhong, Zheng Xiaodong, Liu Xu, *et al.*. A new non-contact method based on relative radiation intensity for determining junction temperature of LEDs [J]. J 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.
- E Hong, N Narendran. A method for projecting useful life of LED lighting systems [C]. SPIE, 2010, 5187: 93-99.
- K Chen, N Narendran. Estimating the average junction temperature of AlGaInP LED arrays by spectral analysis [J]. Microelectronics Reliability, 2013, 53(7): 701-705.
- Liu Liming, Zheng Xiaodong. 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.
- Jiang Yicheng, Zhu Tengfei, Shen Yueqing, *et al.*. Precision measurement of LED junction temperature and the analysis of relevant factors [J]. Optical Instruments, 2013, 35(3): 7-10.
蒋一成, 朱腾飞, 慎月强, 等. LED 结温精密测量及相关因素分析 [J]. 光学仪器, 2013, 35(3): 7-10.

栏目编辑: 史 敏