

# GaN 蓝色 LED 结温的最佳光谱带宽表征

饶 丰<sup>1,2,3</sup> 朱锡芳<sup>1\*</sup> 徐安成<sup>1</sup> 褚 静<sup>1</sup> 张 燕<sup>1</sup>

<sup>1</sup>常州工学院光电工程学院, 江苏 常州 213002

<sup>2</sup>常州现代光电技术研究院, 江苏 常州 213002

<sup>3</sup>常州光电子材料与器件重点实验室, 江苏 常州 213002

**摘要** 研究了光谱带宽表征 GaN 蓝色发光二极管(LED)结温的最优方式。测量了 10 只 GaN 蓝色 LED 在不同驱动电流和不同热沉温度下的归一化光谱功率分布和结温,采用最小二乘法分析得到不同  $n$  值的光谱带宽  $\Delta\lambda_n$  表征结温的公式,比较了该公式和电压法得到的结温之间的差别以及差别最小时的最优  $n$  值。研究表明采用不同  $n$  值的  $\Delta\lambda_n$  均能够表征结温。随着  $n$  值减小,  $\Delta\lambda_n$  表征结温的误差先减小后增大。最优  $n$  值与光谱仪的测量误差有关。采用 Hass2000 型光谱仪时最优  $n$  值为 0.2 或 0.3。该研究对提高 GaN 基 LED 结温的测量准确度具有重要意义。

**关键词** 光谱学;结温测试;光谱分析;发光二极管;光谱仪;光谱带宽

中图分类号 TN312+.8;O433.4

文献标识码 A

doi: 10.3788/AOS201535.0130002

## Characterization of Junction Temperature of GaN Blue LED with Optimum Spectral Bandwidth

Rao Feng<sup>1,2,3</sup> Zhu Xifang<sup>1</sup> Xu Ancheng<sup>1</sup> Chu Jing<sup>1</sup> Zhang Yan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Colleague of Optoelectronic Engineering, Changzhou Institute of Technology, Changzhou, Jiangsu 213002, China

<sup>2</sup>Changzhou Institute of Modern Optoelectronic Technology, Changzhou, Jiangsu 213002, China

<sup>3</sup>Changzhou Key Laboratory of Optoelectronic Materials and Devices, Changzhou, Jiangsu 213002, China

**Abstract** The optimum approach to determine junction temperature of GaN blue light emitting diode (LED) with spectral bandwidth is studied. The normalized spectral power distribution and junction temperature of ten GaN blue LEDs is measured at different drive current and heat sink temperature. The formulae for calculating junction temperature with  $\Delta\lambda_n$  are obtained from the least-square fitting. Difference between the values by the established method and the forward voltage method is analyzed. The optimum  $n$ , which yields the least error, is obtained. It is shown that the spectral bandwidth  $\Delta\lambda_n$  with different  $n$  can be used to determine junction temperature, and the error initially decreases with the decreasing  $n$ , and then increases. The optimum  $n$  depends on the accuracy of spectrometer, it is 0.2 or 0.3 when Hass2000 spectrometer is used. This research is very important to improve the measurement accuracy of GaN-type LED junction temperature.

**Key words** spectroscopy; junction temperature measurement; spectral analysis; light emitting diode; spectrometer; spectral bandwidth

**OCIS codes** 300.6470; 120.3940; 120.6810

## 1 引 言

结温是影响发光二极管(LED)光色电性能、寿命及可靠性的重要因素<sup>[1-2]</sup>,如何准确、方便、低成本地测量

收稿日期: 2014-07-01; 收到修改稿日期: 2014-09-09

基金项目: 江苏省高校自然科学基金项目(14KJB140001)、江苏省高校文化创意协同创新中心(XYN1 406)、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 光色热电及光生物安全特性等方面的研究。

E-mail: jxsdrf@aliyun.com

\*通信联系人。E-mail: zhuxf@czu.cn

本文电子版彩色效果请详见中国光学期刊网 www.opticsjournal.net

结温,是国内外学者的研究热点<sup>[3-5]</sup>。

LED结温测量的基准方法是正向电压法<sup>[6]</sup>,该方法被认为是最准确的方法,已经写入国际标准,但是测量时需要实时、快速( $10^{-5}$  s内)、准确地测量LED引脚两端的电压,对于成品LED灯具,由于其灯壳和封装等的限制,一般难以接触LED管脚,因此该方法的应用受到了限制<sup>[7]</sup>。为了解决这个问题,人们开发了非接触式LED结温的测试方法,例如,2008年,叶炎钟等<sup>[8]</sup>提出了适用于所有LED的辐射强度法,但测量条件较苛刻,一般误差为 $4\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。针对荧光粉转换型白色LED,目前已经有蓝白比法<sup>[9]</sup>、峰谷值法<sup>[10]</sup>等。针对单色LED,有归一化光谱差分法<sup>[11]</sup>、峰值波长法<sup>[5]</sup>和中心波长法<sup>[12]</sup>等。但是GaN蓝色LED的光谱并不随结温单调变化<sup>[9]</sup>,因此,以上三种结温测试方法均不适用。2012年, Lin等<sup>[13]</sup>提出用质心波长或半峰全宽(FWHM)联合驱动电流表征GaN基蓝色LED的结温,并发现半峰全宽的表征准确度优于质心波长。

半峰全宽是光谱带宽的一种表示形式,是光谱辐射功率为最大值的1/2时对应的波长间隔,光谱带宽也可以用光谱辐射功率为最大值的其他倍数 $n$ 对应的波长间隔 $\Delta\lambda_n$ 来表示。如果用不同的 $n$ 对应的光谱带宽表征结温,必然导致准确性不同,基于此,本研究拟研究 $n$ 的变化对GaN基蓝色LED结温表征准确性的影响,进而得到最佳 $n$ 值。

## 2 实验原理

### 2.1 光谱带宽

光谱带宽 $\Delta\lambda_n$ 是光谱辐射功率 $F(\lambda)$ 等于最大值 $n$ 倍时对应的最大波长 $\lambda_{\max}$ 和最小波长 $\lambda_{\min}$ 之差,

$$\Delta\lambda_n = \lambda_{\max} - \lambda_{\min}, \quad (1)$$

很明显,式中 $F(\lambda_{\min})=F(\lambda_{\max})=n$  ( $0 < n < 1$ ),半峰全宽就是 $n=0.5$ 时的光谱带宽 $\Delta\lambda_{0.5}$ 。图1是350 mA驱动电流下,GaN蓝色LED的归一化光谱功率分布。从图1可以看出,随着 $n$ 的增大,光谱带宽 $\Delta\lambda_n$ 逐渐变小。

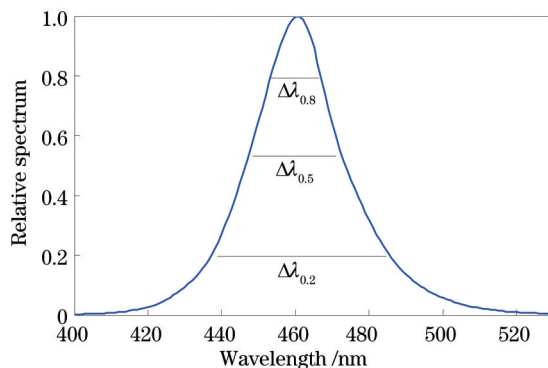


图1 GaN蓝色LED的光谱分布及光谱带宽

Fig.1 Spectral distribution and spectral bandwidth of GaN blue LED

### 2.2 光谱带宽表征结温

根据文献[13],GaN基蓝色LED结温 $T_j$ 可以采用如下公式计算:

$$T_j = [\Delta\lambda_n - \sigma_n^0 - \sigma_n^1 \exp(I_f/I_n^0)]/K_n + T_0, \quad (2)$$

式中 $I_f$ 为驱动电流, $\sigma_n^0$ , $\sigma_n^1$ 和 $I_n^0$  ( $0 < n < 1$ )均为待定常数,可以由实测结温 $T_j$ 、光谱带宽 $\Delta\lambda_n$ 和驱动电流 $I_f$ 通过最小二乘拟合得到<sup>[13]</sup>, $K_n$ 为结温-光谱带宽常数, $T_0$ 为环境温度。由(2)式变形可得

$$\Delta\lambda_n = K_n(T_j - T_0) + \sigma_n^0 + \sigma_n^1 \exp(I_f/I_n^0). \quad (3)$$

由于 $T_j = \Delta T_{jtc} + T_{tc}$ , $T_{tc}$ 为温度控制器的温度, $\Delta T_{jtc}$ 为PN结与温度控制器之间的温度差,随着 $I_f$ 的增加而增加。当 $I_f$ 恒定时, $\Delta T_{jtc}$ 恒定, $\sigma_n^0 + \sigma_n^1 \exp(I_f/I_n^0)$ 为常数,待热平衡后,温度控制器的温度变化等于热沉温度的变化,也等于LED结温的变化。因此,可以保持 $T_0$ 不变,通过改变温度控制器温度,再测量光谱带宽,就可以计算出 $K_n$ 为

$$K_n = \frac{\partial(\Delta\lambda_n)}{\partial(T_j + T_0)} = \frac{\partial(\Delta\lambda_n)}{\partial(T_{Tc} + \Delta T_{jTc} + T_0)} = \frac{\partial(\Delta\lambda_n)}{\partial T_{Tc}} \quad (4)$$

当  $T_{Tc} = T_0$  ,且电流很小时,  $\Delta T_{jTc} \approx 0$  ,  $T_j \approx T_0$  ,而  $I_n^0$  一般为负值,其大小可达 100,因此  $\exp(I_r/I_n^0)$  近似为 1,由(3)式可得

$$\Delta\lambda_n = \sigma_n^0 + \sigma_n^1 \quad (5)$$

当电流较大时,  $\exp(I_r/I_n^0)$  近似为 0,光谱带宽  $\Delta\lambda_n$  与结温成正比。

### 3 实 验

#### 3.1 实验样品

选择台湾葳天 PK2N-1LBE 型和 Philips 公司的 LXML-PB01-0010 型 1W GaN 蓝色 LED 各 10 只。为了剔除可能有质量问题的 LED,实验前测量环境温度 25 °C 下 350 mA 电流驱动时的光通量,各剔除实测值与平均值相差较大的 2 只。在未被剔除的 LED 中各选出 5 只作为实验样品,两公司的样品分别编号为 1~5 和 6~10。

测试前,10 只 LED 均老化 12 h,老化过程中,保持环境温度为  $(25 \pm 1)$  °C,LED 的驱动电流为 350 mA,误差为 3%。

#### 3.2 实验仪器

采用杭州远方公司的 TRA-200 型 LED 热阻结构分析系统、Hass2000 型光谱仪和 TC-100 型温度控制系统,连接图如图 2 所示。

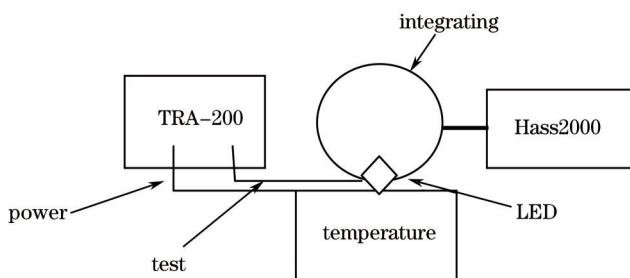


图 2 测试系统结构图

Fig.2 Schematic diagram of the test system

系统中 LED 热阻结构分析系统的作用是采用电压法测量结温。温度控制器为 LED 提供稳定的热沉温度,误差为  $\pm 0.3$  °C。积分球和光谱仪结合能够准确地测量 LED 的光谱功率分布。

由于铝基板引入的热阻并不影响实验,为了测试方便,将样品焊接在铝基板上,再放置在温度控制器上,如图 3 所示。热沉与铝基板,铝基板与温度控制器之间难以实现完美热接触,因此有些气隙。

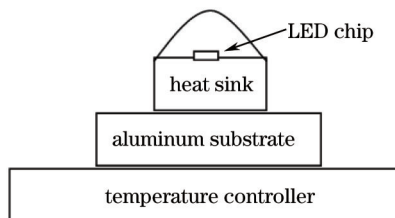


图 3 样品装配图

Fig.3 Sample assembly

#### 3.3 实验步骤

需要测量不同驱动电流、不同环境温度下的结温和光谱功率分布,计算不同  $n$  对应的  $\sigma_n^0$  ,  $\sigma_n^1$  ,  $I_n^0$  和  $K_n$ , 进而得到结温表达式,将公式计算的结温与电压法实测结温相比较,分析误差随  $n$  的变化,得到最优  $n$  值。实验步骤如下:

- 1) 设定温度控制器温度为 25 °C,测量小电流(1 mA)驱动时,LED 样品的光谱功率分布,计算  $n=0.1$ ,

0.2, ..., 0.9时的光谱带宽  $\Delta\lambda_n$ , 然后代入(5)式;

2) 在恒定电流 350 mA 驱动下, 利用温度控制器将 LED 热沉温度从 10 °C 升至 70 °C, 每隔 10 °C 测量热平衡后 LED 的光谱功率分布, 然后计算不同  $n$  值对应的光谱带宽  $\Delta\lambda_n$ , 代入(4)式, 计算对应的光谱带宽-结温系数  $K_n$ ;

3) 保持温度控制器温度为 25 °C, 驱动电流从 150 mA 增加至 650 mA 时, 每隔 100 mA 测量热平衡后 LED 的光谱功率分布, 计算光谱带宽  $\Delta\lambda_n$ , 同时测量其结温, 然后采用最小二乘拟合, 结合步骤 1) 的结果, 得到  $I_n^0$ 、 $\sigma_n^0$  和  $\sigma_n^1$ , 就得到了结温的表达式;

4) 用电压法测量 350 mA 驱动, 温度控制器从 10 °C 开始, 每上升 10 °C 达到热平衡时的结温, 至 70 °C 止, 测量温度控制器温度为 25 °C, 电流自 150 mA 起, 每隔 100 mA 达到热平衡时的结温, 至 650 mA 止。以电压法测量的结温为标准值, 分析不同  $n$  值对应的光谱带宽  $\Delta\lambda_n$  表征结温的误差。

## 4 结果与讨论

### 4.1 光谱带宽的测量

图 4(a)、(b) 为环境温度和温度控制器温度均为 25 °C、1 mA 电流驱动时, 10 只样品的不同  $n$  值对应的光谱带宽  $\Delta\lambda_n$ 。可以看出, 随着  $n$  值的增加, 10 只样品的光谱带宽  $\Delta\lambda_n$  均成指数形式减小, 当  $n=0.1$  时,  $\Delta\lambda_n$  为 50~60 nm, 当  $n=0.9$  时,  $\Delta\lambda_n$  仅为 7 nm 左右。

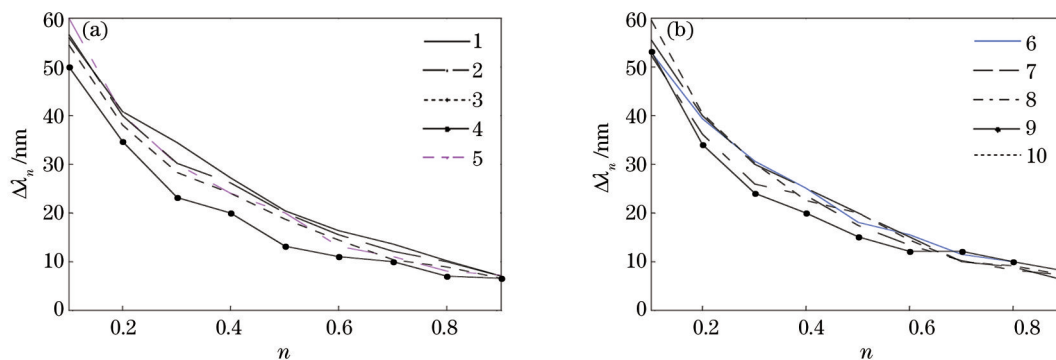


图 4 小电流下的光谱带宽。(a) 1~5号 LED; (b) 6~10号 LED

Fig.4 Spectral bandwidth under small drive current. (a) LED No.1~5; (b) LED No.6~10

随着电流的增大, 光谱带宽自然也会增大, 图 5 是温度控制器温度为 25 °C 时, 1 号 LED 的光谱带宽随电流的变化关系。图中, 纵坐标是不同电流时的  $\Delta\lambda_n$  与 1 mA 电流驱动时的  $\Delta\lambda_n$  之差, 横坐标为驱动电流, 自下而上, 分别为  $n=0.1, 0.2, \dots, 0.9$  时对应的曲线。当电流较小时, 无论  $n$  为何值,  $\Delta\lambda_n$  与电流成幂指数关系, 当电流较大时,  $\Delta\lambda_n$  与电流成近似线性关系。  $n$  值越大, 光谱带宽的变化量也越大。另外 9 只 LED 的变化规律类似, 不再赘述。

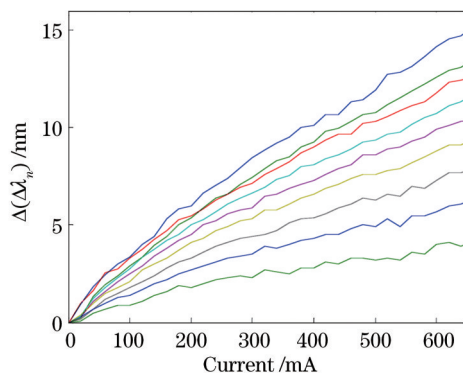


图 5 光谱带宽随驱动电流的变化

Fig.5 Change in spectral bandwidth with drive current

### 4.2 $K_n$ 的计算

图 6 是驱动电流为 350 mA 时, 1 号 LED 不同  $n$  值对应的光谱带宽与结温变化量(即温度控制器温度变化量)之间的关系, 从图中可以看出, 无论  $n$  为何值, 结温与光谱带宽  $\Delta\lambda_n$  的变化成线性关系。随着  $n$  值的增加, 曲线斜率变大, 光谱带宽随结温的变化率越来越小。同时, 不同  $n$  值对应的曲线接近直线的程度不同。

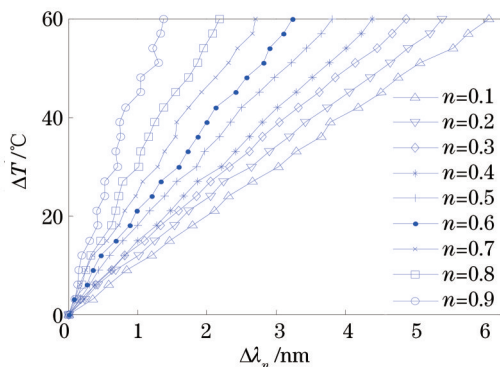


图 6 LED 光谱带宽与结温的变化之间的关系

Fig.6 Relationship between change in LED spectral bandwidth and junction temperature

根据(4)式, 采用直线拟合, 可以得到光谱带宽-结温常数  $K_n$ 。同理可以得到其他 9 只样品的  $K_n$ 。结果如表 1 所示, 当  $n=0.1$  时, 10 只 LED 的  $K_n$  为  $8.59\pm 0.96$ , 当  $n=0.9$  时,  $K_n$  仅为  $1.82\pm 0.45$ ,  $K_n$  随着  $n$  的增大而减小。

表 1 10 只样品的  $K_n$  值( $10^{-2}$  nm/°C)

Table 1  $K_n$  of ten samples ( $10^{-2}$  nm/°C)

$n$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
Sample 1	10.1	9.26	8.33	7.47	6.56	5.60	4.69	3.70	2.38
Sample 2	7.81	6.80	5.90	5.20	4.21	3.36	2.56	1.95	1.25
Sample 3	7.65	6.88	6.04	5.53	4.56	3.89	3.20	2.59	1.85
Sample 4	7.95	7.28	6.57	5.82	5.14	4.43	3.62	3.09	2.25
Sample 5	8.46	7.62	6.96	5.60	4.85	4.16	3.57	2.93	2.34
Sample 6	8.12	7.45	6.77	6.11	5.37	4.23	3.39	2.66	1.51
Sample 7	8.61	7.87	6.94	5.93	4.94	4.10	3.37	2.03	1.35
Sample 8	9.04	8.33	7.49	6.82	5.40	4.22	3.59	2.04	1.39
Sample 9	10.39	9.14	8.49	7.23	6.41	5.58	4.63	3.57	2.23
Sample 10	7.83	6.79	5.74	5.69	4.30	3.70	2.96	2.48	1.62

### 4.3 $\sigma_n^0, \sigma_n^1, I_n^0$ 的计算

图 7(a)、(b) 是温度控制器温度为 25 °C 时, 不同驱动电流下 10 只样品的结温, 从图中可以看出, 驱动电流从 150 mA 增至 650 mA 时, 结温变化了 100 °C~120 °C, 小电流驱动时的增长率略小于大电流时的值。

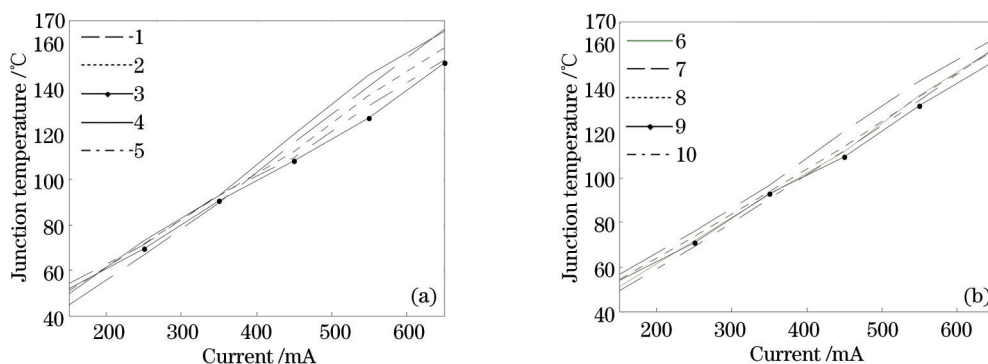


图 7 不同驱动电流下 LED 的结温。(a) 1~5 号 LED; (b) 6~10 号 LED

Fig.7 LED junction temperature at different drive current. (a) LED No.1~5; (b) LED No.6~10



将驱动电流、结温、环境温度和对应的光谱带宽代入(3)式中,结合3.1节的结果,得到一组关于 $\sigma_n^0, I_n^0$ 的方程,方程有6个,多于未知数的个数,根据文献[13],宜采用最小二乘拟合法,得到最佳的 $\sigma_n^0, I_n^0$ 。图8(a)~(c)分别是10只样品的系数,很明显, $\sigma_n^0$ 随着 $n$ 的增加而减小, $\sigma_n^1$ 的大小也是随着 $n$ 的增加而减小,但是一般为负值, $I_n^0$ 为负值,与 $n$ 值无明显的变化规律。

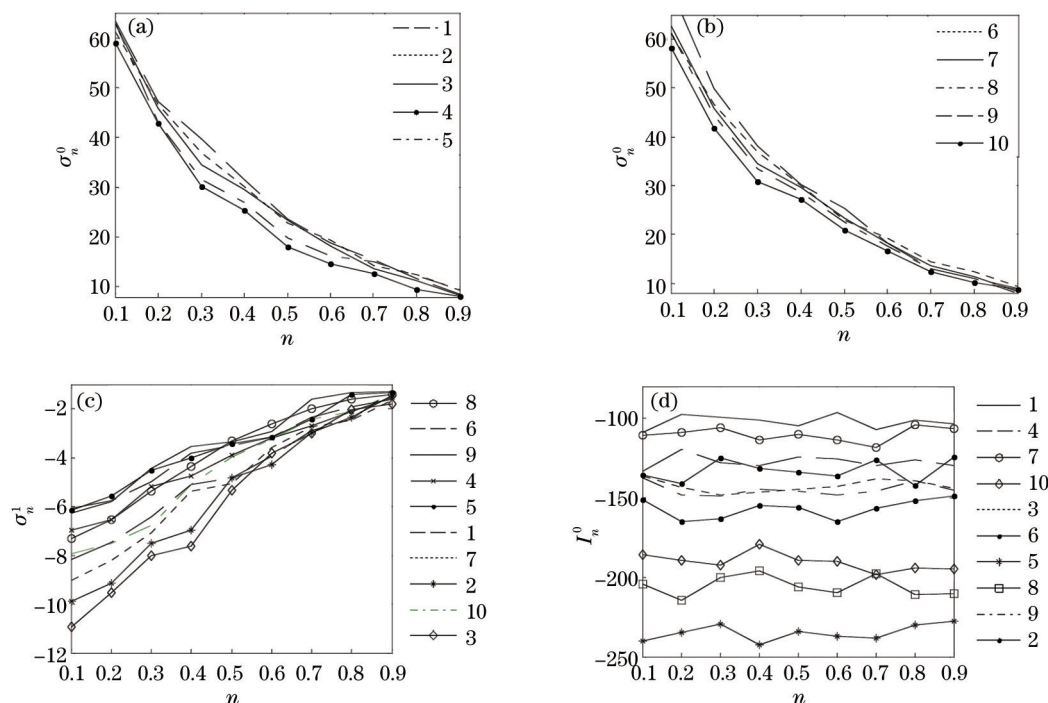


图8 10只样品的系数。(a)  $\sigma_n^0$ ; (b)  $\sigma_n^0$ ; (c)  $\sigma_n^1$ ; (d)  $I_n^0$

Fig.8 Coefficients of the 10 samples. (a)  $\sigma_n^0$ ; (b)  $\sigma_n^0$ ; (c)  $\sigma_n^1$ ; (d)  $I_n^0$

#### 4.4 与电压法比较

电压法是测量结温的基准方法,为了研究光谱带宽表征结温的准确性,本研究以电压法的测量值为基准,将 $\Delta\lambda_n$ 表征的结温与之相比较。表2为1号LED采用电压法实测的结温 $T_j$ 和 $\Delta\lambda_n$ 表征的结温 $T_j^n$ 。实验按测试条件分成两组,一组驱动电流恒定为350mA,温度控制器温度 $T_{rc}$ 从10℃变化至70℃,间隔10℃,测试条件编号 $m$ 为1~7;另一组 $T_{rc}$ 为25℃,电流由150mA增至650mA,间隔100mA,测试条件编号 $m$ 为8~13。 $\Delta\lambda_n$ 表征的结温与电压法测量的结温之间的差别用标准差 $V_{SD}$ 表示,计算公式为

$$V_{SD} = \sqrt{\sum_{m=1}^{13} (T_{jm}^n - T_{jm})^2 / 13}, \quad (6)$$

式中 $T_{jm}^n$ 是测试条件编号 $m$ 下,光谱带宽 $\Delta\lambda_n$ 表征的结温, $T_{jm}$ 是测试条件编号 $m$ 下电压法实测的结温。从表2的结果可以看出, $V_{SD}$ 随 $n$ 的增加先减小后增大,最小值在 $n=0.3$ 处。

表2 电压法与光谱带宽法得到的结温及其标准差(℃)

Table 2 Junction temperature determined by forward voltage and spectral bandwidth methods and standard deviation (℃)

$m$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	$V_{SD}$
$T_j$	74.7	84.5	95.1	104.3	115.0	125.3	135.9	47.1	68.4	90.3	112.6	135.9	159.8	
$T_{0.1j}$	74.0	8.0	95.8	104.6	113.7	123.9	135.8	48.7	68.6	88.4	110.8	137.1	159.6	1.2
$T_{0.2j}$	75.8	84.6	96.2	103.4	114.0	124.9	136.1	47.2	69.3	90.4	112.4	136.0	160.3	0.7
$T_{0.3j}$	74.2	85.0	96.1	103.7	115.6	124.7	136.9	47.7	68.2	90.8	112.6	136.5	159.5	0.6
$T_{0.4j}$	75.9	85.4	96.3	104.7	114.8	126.4	135.8	46.4	68.1	90.8	112.7	136.5	161.0	0.8
$T_{0.5j}$	75.0	84.4	96.5	102.4	116.5	124.9	134.0	8.1	67.0	88.9	113.0	134.9	159.1	1.2
$T_{0.6j}$	72.3	86.0	93.3	104.2	113.8	124.6	136.7	45.4	67.3	88.8	111.1	135.0	161.7	1.4
$T_{0.7j}$	72.8	85.3	95.8	103.3	116.8	128.3	138.8	44.9	66.8	87.4	113.2	133.6	159.2	2.0
$T_{0.8j}$	77.8	84.9	94.1	102.0	114.5	128.9	132.9	46.9	71.3	86.6	114.1	139.7	158.1	2.8
$T_{0.9j}$	77.4	80.6	99.2	104.3	117.3	127.5	138.9	44.0	68.0	91.4	116.5	138.9	163.4	2.9

另外9只LED采用 $\Delta\lambda_n$ 表征结温的标准差如表3所示。对于不同LED,标准差均随 $n$ 值增加先减小后增大,最小值均出现在 $n=0.2$ 或 $0.3$ 处,其中,出现在 $0.3$ 处的样品较多,有9只,出现在 $n=0.2$ 处的样品有4只,其中3只在 $0.2$ 和 $0.3$ 处的标准差相同。因此,文献[13]中采用半峰全宽表征结温虽然有较好的准确度,但如果合理选择 $n$ 值,应该还可以取得更高的准确度。

表3 9只样品的标准差(°C)

Table 3 Standard deviation of the nine samples (°C)

$n$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
Sample 2	1.5	0.9	0.7	0.8	1.3	1.4	2.0	2.9	3.8
Sample 3	1.7	1.2	1.0	1.1	1.2	1.4	1.8	2.7	3.1
Sample 4	1.4	1.0	1.0	1.2	1.3	1.6	1.7	2.1	2.8
Sample 5	1.8	1.1	0.9	1.0	1.3	1.3	1.5	2.3	2.7
Sample 6	1.3	0.9	0.9	1.2	1.4	1.5	1.7	2.2	2.6
Sample 7	1.5	0.7	0.8	1.0	1.0	1.2	1.4	3.4	2.7
Sample 8	2.1	1.2	0.9	1.1	1.3	1.6	2.1	2.5	3.0
Sample 9	1.7	1.1	1.0	1.1	1.4	1.7	2.0	2.7	3.1
Sample 10	1.5	1.0	1.0	1.2	1.5	1.7	2.1	2.8	3.7

### 4.5 讨论

采用光谱带宽,结合驱动电流表征结温的误差主要取决于光谱带宽的测量误差。光谱仪波长分辨率为 $0.1\text{ nm}$ ,短波长部分归一化谱辐射的测量误差为 $0.003$ ,长波长光部分为 $0.002$ (通过标准灯光谱与实测光谱比较得到)。GaN蓝色LED的半峰全宽一般为 $24\sim 34\text{ nm}$ <sup>[14]</sup>。图9(a)~(c)分别给出半峰全宽为 $24.6, 26$ 和 $34\text{ nm}$ 时的光谱分布 $F(\lambda)$ 及其斜率 $\partial F(\lambda)/\partial\lambda$ 的大小。其中,实线为光谱分布,对应右纵轴,虚线为斜率,对应左纵轴。显然,对于这三只LED,在A-B区,光谱分布的斜率大于 $0.03\text{ nm}^{-1}$ ,C-D区的光谱分布斜率大于 $0.02\text{ nm}^{-1}$ ,这两个区域 $0.1\text{ nm}$ 波长间隔的相对辐射强度变化大于误差,因此,波长分辨率不足是光谱带宽测量误差的主要原因,此时结温测试的最大误差可以用 $0.1/K_n$ 估算,而 $K_n$ 随着 $n$ 值增加而减小,因此,结温测量误差随着 $n$ 值的减小而减小。当光谱在A和D以下部分时,归一化光谱分别相差 $0.003$ 和 $0.002$ 的两个测量点波长间隔 $e_n$ 大于 $0.1\text{ nm}$ ,此时测量误差主要是归一化辐射强度误差引起的,结温最大误差用 $e_n/K_n$ 估算。很明显,随着 $n$ 值的减小, $e_n$ 增长比 $K_n$ 快得多,因此,结温测量误差随着 $n$ 值的减小又增大。在短波长区,误差最小时的 $n$ 应

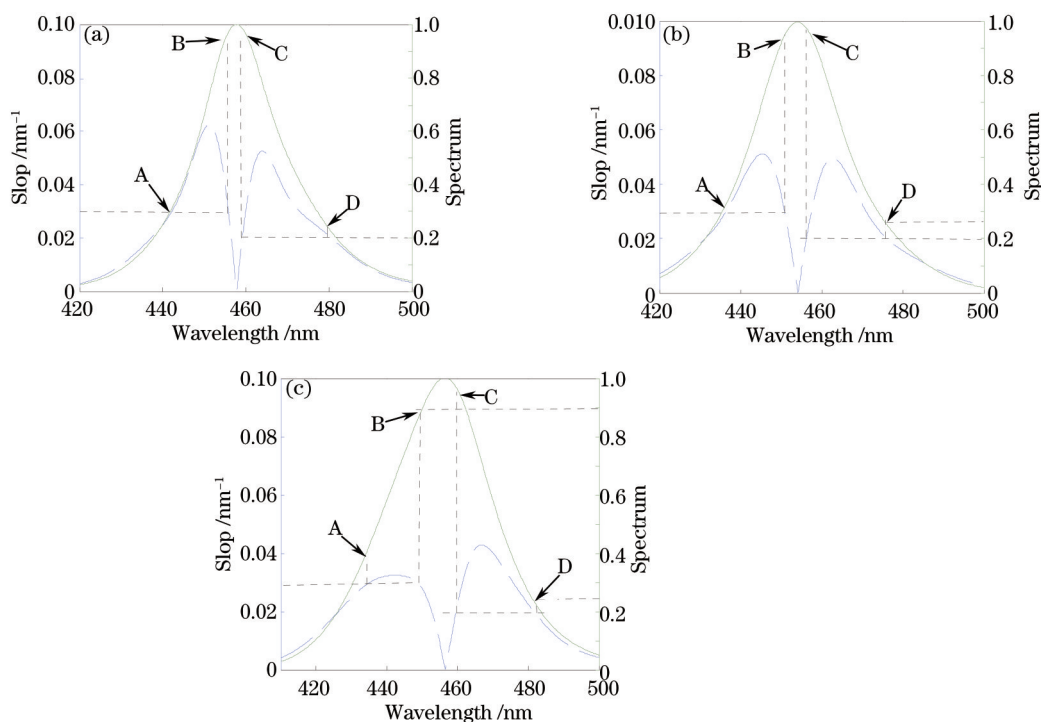


图9 GaN蓝色LED的光谱分布及其斜率。光谱分布的半峰全宽分别为(a) 24.6 nm; (b) 26 nm; (c) 34 nm

Fig.9 Spectrum distribution and slop of GaN blue LED. FWHM is (a) 24.6 nm; (b) 26 nm; (c) 34 nm

该是光谱分布斜率为  $0.03 \text{ nm}^{-1}$  处, 对应 A 点, 在长波长区, 误差最小时的  $n$  应该是光谱分布斜率为  $0.02 \text{ nm}^{-1}$  处, 对应 D 点, 而 A 对应的光谱在 0.3 左右, D 对应的光谱为 0.2~0.3, 光谱较窄的偏向 0.2, 如图 9(a) 所示, 因此, 采用本实验设备时 LED 的最佳  $n$  值一般为 0.2 或 0.3。

温度控制器的误差为  $0.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , 电流误差为  $1 \text{ mA}$ , 相当于  $0.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , 因此, 结温的误差有  $0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , 而  $n=0.2$  或  $0.3$  时, 光谱带宽表征结温的标准差已经接近该值, 因此, 如果不采用更精密的测试系统, 仅对  $n$  值进行细分, 难以进一步提高准确度。

## 5 结 论

通过测量不同驱动电流、不同热沉温度下 10 只 GaN 蓝色 LED 的光谱分布和结温, 分析不同  $n$  值对应的光谱带宽表征结温的准确度, 发现文献报道的半峰全宽表征结温的准确度并非最优, 根据仪器的精度, 合理选择  $n$  值能够得到更高的准确度。采用 Hass2000 型可见光光谱仪, 最优  $n$  值一般为 0.2 或 0.3。

## 参 考 文 献

- 1 Chen Yingcong, Wen Shangsheng, Wu Yuxiang. Thermal analysis for LED chip on board package based on plastic radiator without substrate [J]. *Acta Optica Sinica*, 2013, 33(8): 0823005.  
陈颖聪, 文尚胜, 吴玉香. 基于塑料散热器无基板板上芯片封装的 LED 热分析[J]. *光学学报*, 2013, 33(8): 0823005.
- 2 J Senawiratne, A Chatterjee, T Detchprohm. Junction temperature, spectral shift, and efficiency in GaInN-based blue and green light emitting diodes [J]. *Thin Solid Films*, 2010, 518(6): 1732–1736
- 3 Deng Hui, Lü Yijun, Gao Yulin, *et al.*. Thermal simulation of alternating current light emitting diodes [J]. *Acta Optica Sinica*, 2012, 32(6): 0623001.  
邓 辉, 吕毅军, 高玉琳, 等. 交流发光二极管热特性的模拟分析[J]. *光学学报*, 2012, 32(6): 0623001.
- 4 Chen Huanting, Lü Yijun, Chen Zhong, *et al.*. Analysis of thermal spreading boards for high-power AlGaInP red LED [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.
- 5 E Hong, N Narendran. A method for projecting useful life of LED lighting systems [C]. SPIE, 2010, 5187: 93–99.
- 6 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 普通照明用 LED 模块的测量方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- 7 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.
- 8 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]. *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.
- 9 Y Gu, N Narendran. A non-contact method for determining junction temperature of phosphor-converted white LEDs [C]. SPIE, 2010, 5187: 107–114.
- 10 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.
- 11 Rao Feng, Zhu Xifang, Xu Ancheng. Determining the average junction temperature of AlGaInP-based LED array with the difference of normalized spectral distribution [J]. *Acta Optica Sinica*, 2014, 34(9): 0930004.  
饶 丰, 朱锡芳, 徐安成. 用归一化光谱分布差异表征 AlGaInP 基 LED 阵列的平均结温[J]. *光学学报*, 2014, 34(9): 0930004.
- 12 K Chen, N Nadarajah. Estimating the average junction temperature of AlGaInP LED arrays by spectral analysis [J]. *Microelectronics Reliability*, 2013, 53(5): 701–705.
- 13 Y Lin, Y L Gao, Y J Lu. Study of temperature sensitive optical parameters and junction temperature determination of light-emitting diodes [J]. *Applied Physics Letters*, 2012, 100: 202108.
- 14 Lin Jieben, Guo Zhenning, Chen Libai, *et al.*. Watt-level high power InGaIn-based blue LED photometric chromatic and electric characteristics [J]. *Chinese Journal of Luminance*, 2009, 30(3): 379–382.  
林介本, 郭震宁, 陈丽白, 等. 瓦级大功率 InGaIn 蓝光 LED 的光色电特性[J]. *发光学报*, 2009, 30(3): 379–382.

栏目编辑: 吴秀娟