



基于光谱法的发光二极管稳态热阻测量方法

蒋福春 刘瑞友 彭冬生 刘文 柴广跃 李百奎 武红磊

Steady-state thermal resistance measurement of light-emitting diodes based on spectroscopic method

Jiang Fu-Chun Liu Rui-You Peng Dong-Sheng Liu Wen Chai Guang-Yue Li Bai-Kui Wu Hong-Lei

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 70, 098501 (2021) DOI: 10.7498/aps.70.20201093

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7498/aps.70.20201093>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

高效绿光钙钛矿发光二极管研究进展

Research progress of efficient green perovskite light emitting diodes

物理学报. 2019, 68(15): 158504 <https://doi.org/10.7498/aps.68.20190647>

基于N型纳米晶硅氧电子注入层的钙钛矿发光二极管

Perovskite light-emitting diodes based on n-type nanocrystalline silicon oxide electron injection layer

物理学报. 2019, 68(12): 128103 <https://doi.org/10.7498/aps.68.20190258>

钙钛矿发光二极管光提取性能增强的研究进展

Research progress of enhancing perovskite light emitting diodes with light extraction

物理学报. 2020, 69(21): 218501 <https://doi.org/10.7498/aps.69.20200755>

利用Ag@SiO₂纳米粒子等离子体共振增强发光二极管辐射功率的数值研究

Numerical research of emission properties of localized surface plasmon resonance enhanced light-emitting diodes based on Ag@SiO₂ nanoparticles

物理学报. 2017, 66(23): 237801 <https://doi.org/10.7498/aps.66.237801>

蓝紫光发光二极管中的低频产生-复合噪声行为研究

Low-frequency generation-recombination noise behaviors of blue/violet-light-emitting diode

物理学报. 2019, 68(12): 128104 <https://doi.org/10.7498/aps.68.20190189>

基于缺陷态钝化的高效稳定蓝光钙钛矿发光二极管

Efficient and stable blue perovskite light emitting diodes based on defect passivation

物理学报. 2020, 69(13): 138502 <https://doi.org/10.7498/aps.69.20200566>

基于光谱法的发光二极管稳态热阻测量方法*

蒋福春 刘瑞友 彭冬生 刘文 柴广跃 李百奎 武红磊†

(深圳大学物理与光电工程学院, 光电子器件与系统教育部/广东省重点实验室, 深圳 518060)

(2020年7月9日收到; 2021年3月3日收到修改稿)

根据白光发光二极管(LED)发光光谱特点,通过分析蓝光光谱和由蓝光激发黄色荧光粉产生的黄光光谱的交点(即整个光谱的波谷点)特性,利用常规可见光光谱仪设计了一套基于光谱法的LED稳态热阻测量系统,采用正常的驱动电流通过一定的函数算法进行拟合,得到整体光谱波谷处归一化光谱强度与结温间敏感系数 K 和定标函数,再根据温升曲线可计算出任意工作状态下LED结温相对于基底的温升,并结合LED的热耗散功率从而得到LED的稳态热阻.本方法避免了类似正向压降法采用极小电流定标而需要高速数据采集模块和高速取样转换等模块导致的设备昂贵的缺点,从而降低了成本.最后采用本文设计的系统和美国Mentor Graphics公司的T3Ster仪器分别对多种LED进行测量并对结果进行了比较,发现稳态热阻最大偏离度仅为3.64%.表明本文设计的系统和方法在不需要昂贵设备的情况下便可以达到与Mentor Graphics公司的T3Ster仪器相仿的精度.本方法采用非传统式光谱法测量,具有可远程实时在线检测LED结温和低成本的特点,对LED封装结构没有任何限制,因此比Mentor Graphics公司T3Ster设备采用的电压法有更广的应用范围,具有一定的实用价值.

关键词: 发光二极管, 稳态热阻, 波谷, 热耗散功率**PACS:** 85.30.-z, 78.55.-m, 78.67.-n, 07.60.Dq**DOI:** 10.7498/aps.70.20201093

1 引言

近年来功率型发光二极管(LED)因具有高亮度、长寿命、发光效率高、节能环保等优势而被广泛应用于各种类型的照明场景中^[1,2],被认为最具应用价值的照明光源之一.虽然LED被认为是高效节能的光源^[3],但目前LED的光电转换效率并不高^[4],只有约30%的电子与空穴辐射复合产生光子,剩下的大多数电能最终以热能的形式耗散,如果这些热量不及时有效传播出去,会引起LED内部热积累,导致LED芯片结温度的升高^[5],进而显著地影响LED器件的光、电、色等性能,加速器件的老化进程从而影响其寿命^[6],使得LED器

件可靠性降低^[7],甚至无法有效工作^[8,9].随着功率型LED器件的迅速发展,其热性能的影响越来越显著^[10],散热问题就显得尤为突出^[11].而热阻是表征热传递能力的综合参数,能直接反映LED器件散热性能的好坏,是衡量LED器件性能优劣的关键参数.热阻过大会使结温过高,直接影响LED的发光波长、发光效率、正向压降以及使用寿命等,所以热阻成了评价LED封装性能的一个关键参数,因此对LED热阻进行准确快速测量就显得极为重要.

LED热阻是各类照明领域中重要的研究方向,目前针对半导体器件热阻测量的主要方法有:红外热像仪法、电学参数法及光谱峰值漂移法^[12]和蓝白比法等^[9,10,13].这些方法根据热阻的定义,基于不

* 国家自然科学基金(批准号: 61974094)、广东省重点领域重大研发计划(批准号: 2020B010169003)和深圳市科技计划重点项目(批准号: JCYJ20200109105413475)资助的课题.

† 通信作者. E-mail: hlwu@szu.edu.cn

同的工作原理,均可测出半导体器件的稳态热阻,但是这些方法都需要专用设备或者昂贵的测试系统.其中电学参数法中的正向压降法是目前业界最常用的LED热阻测量方法,但采用正向电压法测LED热阻时很容易受到封装结构和灯具外壳的限制,难以精确测量LED PN结的结电压^[14],并且其定标过程是在极小电流下进行的,所以要得到精确的稳态热阻,需要高精度的数据采集系统,使得相应的测量设备昂贵.另外根据PN正向电压与工作电流和结温的函数关系可知:其结电压与结温的函数关系在高温端要明显优于低温端,引起各种测量误差,从而无法有效掌握稳态热阻情况.而采用光谱峰值漂移法,由于LED结温变化引起峰值漂移量并不大^[15],若采用高精度的光谱仪,必会大大增加成本;并且如GaN基蓝光LED峰值随结温先减小后增大,这样给稳态热阻的测试必会带来不少的误差.蓝白比法是利用蓝光芯片的激发效率和荧光粉的转化效率降低程度不一致来实现LED结温测量的^[6,10],随着荧光粉转化效率的提高,这种不一致越来越小,而荧光粉产生的转化效率受功率和温度等多重因素的影响,不能稳定地表征结温,从而影响热阻测量的精度.且蓝白比法仅适用于小电流情况下InGaN+YAG单一型荧光粉转化的白光LED热阻的测量^[16],所以需要高精度的光谱仪,造成测量成本的大幅提高,这些因素使得此类方法测LED稳态热阻的应用均受到了一定程度的限制^[17].

本文以功率型高低色温白光LED器件为研究对象,采用常规光谱仪采集正常驱动流下的LED发光光谱数据,分析LED光谱波谷处的相对光谱强度,通过一定的定标函数拟合得出其结温,从而提出一种测量LED稳态热阻的新方法.本方法采用非传统式光谱法的测量方式,避免了类似传统的正向电压法和蓝白比法采用极小电流定标而分别需要高精度数据采集系统和高灵敏度的光谱仪以及对LED封装结构有一定限制的劣势,具有成本低、比传统的非接触法更高的测量精度、更广的适用范围和可远程实时在线检测LED稳态热阻的优势.

2 理 论

热阻的概念类似于电阻,主要是用来衡量热源产生的发热功率在热传导途径上引起温升大小的

一个物理参量,热阻越大,表明传导途径对热传递的“阻力”越大,热量越不容易散出,在其他条件相同的前提下,包括热源和传导途径的温度也会越高.

按标准,LED整体稳态热阻(R_{th})定义是:在热平衡条件下沿LED器件热流通道上单位热耗散功率引起的PN结温与基底的温差^[18],数学表达式为

$$R_{th} = \frac{T_j - T_a}{P_t}, \quad (1)$$

式中 T_j 为LED的PN结区温度; T_a 为基底温度; P_t 为热耗散功率; R_{th} 为LED芯片PN结到基底的稳态热阻,单位为 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$.

目前测量LED稳态热阻的方法较多,其中以正向压降法为业界主流的测量方法,但此方法存在一定的局限性:1)无法实时在位检测LED热阻;2)对LED封装结构有一定的要求;3)为了减少自加热效应引起的误差,须在极小测试电流和高速电压采样速率下进行标定,对设备的精度要求较高而使得设备价值昂贵.这些因素造成此方法在业界的使用受到一定的限制.

从白光LED工艺流程上看,业界通常采用蓝光芯片涂覆黄色荧光粉的封装工艺,其产生白光的机理是:蓝光芯片在正常的电流驱动下复合辐射发出蓝光,一部分蓝光激发荧光粉产生黄光,一部分透过荧光粉的蓝光与被激发出的黄光混合而成白光^[19].在激发的过程中伴随着三类热量的产生:1)蓝光芯片工作时产生的热量;2)蓝光激发荧光粉产生一定的热量;3)蓝光透过荧光粉与黄光混合时产生相应的热量^[20].这些热量会引起LED结温的升高,而结温的升高又会导致蓝光和黄光光谱产生一定的漂移,从而蓝光和黄光光谱的漂移均带有一定的温度特性.如采用峰值波长和主波长随温度的漂移来表征结温,结温每变化 100°C ,峰值波长约变化 $\pm 3 - \pm 4 \text{ nm}$,且主波长随温度变化还要小于峰值波长随温度的变化,采用此方法来测量结温在理论上具有可操作性,在实际中采用常规的光谱仪会带来较大的误差.但在同样的驱动电流下,随着LED结温越高,蓝光与黄光光谱均不同程度地变宽,从而蓝光光谱与黄光光谱曲线的交点(即波谷点)在归一化光谱图上变高明显,从而白光LED波谷处的归一化相对光谱强度增大较显著.从图1光谱图可以看出,蓝光与黄光两光谱交

点 (A 点), 即整个光谱波谷点的归一化相对光谱强度能更全面地表征两光谱随温度的变化情况, 因此波谷处的归一化相对光谱强度能更全面、更精确地反映 LED 结温的变化, 从而通过归一化相对光谱强度的变化能更便捷地反映出 LED 热扩散通道上的稳态热阻情况. 采用此种方式, 既能反映蓝光度随温度的变化情况, 又能体现温度使黄光产生漂移的程度, 同时不影响测量的精度.

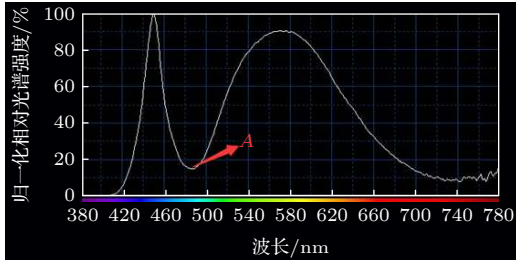


图 1 采用蓝光激发荧光粉产生白光的 LED 光谱图
Fig. 1. Spectrogram of white LED with phosphor excited by blue light.

通过理论和实验可得出, 将离散的光谱数据在波谷附近处拟合成连续函数, 得出白光 LED 发光光谱处波谷归一光谱强度 I_A 随白光 LED 结温 T_j 的变化近似呈现如下关系:

$$\frac{\partial I_A}{\partial T_j} = K, \quad (2)$$

当对 LED 器件施加正常的驱动电流 I_0 时, (2) 式可通过积分表示为

$$I_A = K \partial I_A + I_{A0}, \quad (3)$$

式中, I_A 为在驱动电流 $I = I_0$ 下的 LED 光谱波谷处的光谱归一化强度, I_{A0} 为基准状态下的波谷处的归一化光谱强度, T_j 为被测条件下的 LED 结温, K 为与温度相关的光谱敏感系数, 定义为波谷处归一化光谱强度-结温系数, 此系数跟 LED 驱动电流 I_0 有关. 因此 LED 结温可用波谷处的归一化光谱强度表示为

$$T_j = \frac{I_A - I_{A0}}{K(I)} + T_0, \quad (4)$$

式中, T_0 为基准状态下的 LED 结温.

在施加驱动电流前 LED 器件处于热平衡状态, 其基底温度 T_a 和器件的芯片温度保持一致, 则 $T_j = T_a$, 当在正常的驱动电流下工作时, 结温 T_j 升高, 达到热平衡状态后, 便可通过 LED 的热耗散功率 P_t 将 LED 整体稳态热阻的表达式等效为

$$R_{th} = \frac{T_j - T_a}{P_t} = \frac{\Delta T_j}{P_t} = \frac{\Delta T_j}{P - P_0}. \quad (5)$$

由于 LED 器件所处的环境温度和输入的电功率 P 及其发光光功率 P_0 均可直接测量, 因此 LED 稳态热阻测量就核心在于结温 T_j 的测量.

3 过程

为了测量 LED 器件的稳态热阻, 将常规光谱仪改装成带有温度可自动调节的恒温器的稳态热阻测量系统用于实验测量. 将基板上涂覆均匀导热硅脂的 LED 器件放置于恒温器中, 通过恒温器调节并读取达到热平衡时的 LED 器件的温度, 并通过与恒温器相连的光谱仪测量 LED 在不同条件下的发光光谱、光功率和电功率等参数. 整体过程分为定标、结温测量、热耗散功率测量和稳态热阻测量等部分.

3.1 定标

1) 将待测白光 LED 器件基底均匀涂覆一薄层导热硅脂, 并安装在恒温器中;

2) 将恒温器温度设定为 T_1 , 稳定一定时间, 使 LED 基底与发光芯片以及恒温器之间处于稳定的热平衡状态;

3) 给白光 LED 器件正常的驱动电流 (如 350 mA), 并快速启动光谱仪测量其发光光谱, 得到光谱最低点 A 的相对光谱强度;

4) 设定恒温腔的温度为 T_i ($i = 2, 3, \dots$), 经历一定的时间后, 重复步骤 3), 得到在不同温度条件下发光光谱最低点 (即波谷) 的相对光谱强度 I_A .

从 LED 器件开始工作到光谱仪采集到其发光光谱数据虽然时间较短, 由于定标过程中均采用高达数百毫安的正常电流, 对待测 LED 自身的自加热效应不可忽略. 由于所采用的常规光谱仪的积分时间固定在微秒量级, 在同样的工作电流下和固定较短的积分时间内其结温的增量近乎是一致的, 为了减少自加热效应和温控器精度的影响, 选定某一状态 (如 25 °C) 为基准状态, 对应的温度为 T_b , 光谱最低点 A 的相对光谱强度为 I_b , 将步骤 4) 得出的 T_j 和 I_A 分别与基准值作差得到 $\Delta T_j = T_j - T_b$ 和 $I_A = \Delta I_A - I_b$, 通过拟合, 得到线性定标函数 $\Delta T_j = K(\Delta I_A)$, 其中 K 为波谷处归一化相对光谱强度-结温系数.

3.2 结温测量

获取实际 LED 正常工作时任一状态下的结温 T_j 的步骤如下:

- 1) 通过光谱仪测量待测条件下 LED 光谱分布, 得到光谱最低点 A 的相对光谱强度值 I_A ;
- 2) 将测得的 I_A 值与基准 I_b 作差得到 ΔI_A ;
- 3) 将计算出的 ΔI_A 代入到定标函数 $\Delta T_j = f(\Delta I_A)$, 得到此时的真实结温 $T_j = T_b + \Delta T_j = T_b + f(\Delta I_A)$.

3.3 热耗散功率测量

在正常驱动电流下, 注入 LED 的电功率 P 主要分成发光光功率 P_0 和使 LED 器件温度升高的热耗散功率 P_t 两部分, 大多数光谱仪在测量发光光谱的同时能直接得出相应状态下的电功率 P 和发光光功率 P_0 , 得到热耗散功率 $P_t = P - P_0$.

3.4 稳态热阻测量

通过光谱法得到达到热平衡时的结温 T_j 与未施加驱动电流时 LED 芯片的温度 T_a 之差便得结温的温升 ΔT_j , 其与热耗散功率 P 之比便是 LED 稳态热阻.

4 实验

4.1 样品选择

实验采用改变一定功率的恒温器的温度进而改变 LED 基底温度的方式来改变结温进行定标, 从而研究白光 LED 光谱波谷处的相对强度与结温间的关系. 为了说明本方法的普适性, 实验随机选取不同厂家的多种大功率高低色温白光 LED 作为研究对象. 为了减小基底与恒温器间接触给稳态热阻测量造成的影响, 实验前在基底上均匀填涂导热硅脂.

4.2 实验装置

本实验测量系统由 ATA-500 型光谱, CL-200 恒控器、积分球以及 WY305 型恒流电源等组成. WY305 型恒电源负责给 LED 样品提供稳定的驱动电流, 其误差范围为 ± 0.1 mA. CL-200 恒温器 (功率可调) 为器件提供稳定的测试温度, 其误差

范围为 ± 1 °C. ATA-500 型光谱可快速采集可见范围内的光谱, 其精度为 0.3 nm, 积分时间为 9 ms, 测试系统结构图如图 2 所示.

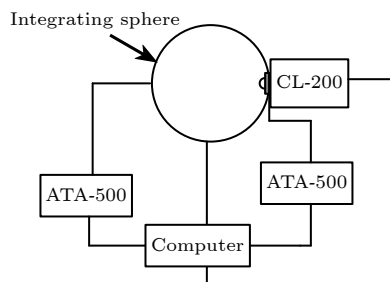


图 2 基于光谱法的 LED 稳态热阻测量系统示意图
Fig. 2. Schematic diagram of LED steady-state thermal resistance measurement system based on spectrum method.

4.3 实验过程

将白光 LED 器件安装在恒温器上, 并用导热硅脂均匀填充在器件基底与恒温器基底间, 系统装置如图 2, 测量步骤如下:

- 1) 通过恒温器将 LED 分别在 5—85 °C, 温度步径为 5 °C 的状态下稳定一定时间, 使 LED 器件基底、芯片和恒温器达到稳定的热平衡, 再以正常的工作电流 350 mA 驱动 LED, 测量其发光光谱, 将光谱数据进行一定的拟合得到对应波谷处的相对发光强度, 并与基准状态下波谷处的发光强度作差, 从而得到白光 LED 的波谷处相对光谱强度-结温系数 K ;

- 2) 通过恒温器将 LED 基底保持稳定室温 T_c 条件下, 以正常工作电流点亮 LED 一段时间后, 测量其发光光谱, 得到光谱波谷处的相对光谱强度, 根据光谱强度-结温系数 K , 从而得出此条件下 LED 的结温, 并记录其工作时的输入电功率 P 和光功率 P_0 ;

- 3) 采用如下公式计算出白光 LED 稳态热阻:

$$R_{js} = \frac{T_j - T_c}{P - P_0}. \quad (6)$$

5 结果与讨论

应用上述基于光谱法的稳态热阻测试系统和实验方案, 本文随机选取市面上的大功率高低色温两类白光 LED 的稳态热阻进行了测试, 并对结果进行了讨论.

表 1 不同温度下高色温白光 LED 光谱波谷相对强度

Table 1. Relative strength of spectral trough of white LED with high color temperature at different temperatures.

波谷相对强度 $\Delta I/\%$	温度 $\Delta T/^\circ\text{C}$																
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
	9.98	10.24	10.63	10.99	11.32	11.64	12.03	12.44	12.74	13.10	13.51	13.87	14.27	14.66	14.97	15.44	15.82

表 2 相对于基准状态下, 不同温度下高色温白光 LED 光谱波谷相对强度

Table 2. Relative strength of spectral trough of white LED with high color temperature at different temperatures to reference state.

波谷归一化强度差 $I/\%$	温度差 $T/^\circ\text{C}$																
	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
	-1.34	-1.08	-0.69	-0.33	0	0.32	0.71	1.12	1.42	1.78	2.19	2.55	2.95	3.34	3.65	4.12	4.50

5.1 大功率高色温白光 LED

采用图 2 所示的稳态热阻测量系统对一大功率高色温 (相关色温 $T_c = 8356 \text{ K}$) 白光 LED 进行了热阻测试, 首先测出其在不同结温环境下发光光谱波谷处相对光谱强度数据, 如表 1 所列.

为了减小由正常的驱动电流引起的自加热效应和温控器对温度控制的不确定度而带来的误差, 将结温处于 $T_c = 25^\circ\text{C}$ 时的状态选定为基准状态, 测得数据如表 2 所列.

将与基准状态下对比后的相对光谱强度与结温间的关系进行拟合, 得到如图 3 所示的定标曲线, 并得到定标函数 $y = 13.624x - 0.2033$, 其中线性相关系数 $R^2 = 0.9992$, 拟合出的线性度相当高, 此定标函数的系数 13.624 即为谷处归一化光谱强度-结温敏感系数 K .

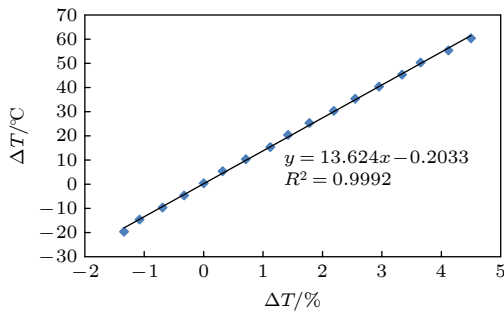


图 3 高色温 LED 定标函数曲线图

Fig. 3. Calibration function curve of high color temperature LED.

再通过恒温器将 LED 基底保持在 25°C 环境中, 以 350 mA 的驱动电流点亮 LED, 每隔 20 s 测量其发光光谱, 得到光谱波谷处的相对光强, 将其与基准状态下的波谷处的相对光强对比后, 代入定标函数 $y = 13.624x - 0.2033$, 便可得出采用光谱

法所测得的 LED 结温随工作时间的变化曲线, 如图 4 所示. 发现当 LED 达到热平衡时, 结温 T_j 约为 43.12°C . 同时测得 LED 正常工作时其输入电功率 P 为 1235 mW , 发光光功率 P_0 为 326 mW , 得到 LED 工作时的热耗散功率 P_t 为 909 mW , 根据公式 $R_{js} = \frac{T_j - T_c}{P - P_0}$ 得到此高色温大功率 LED 的稳态热阻为 19.93°C/W .

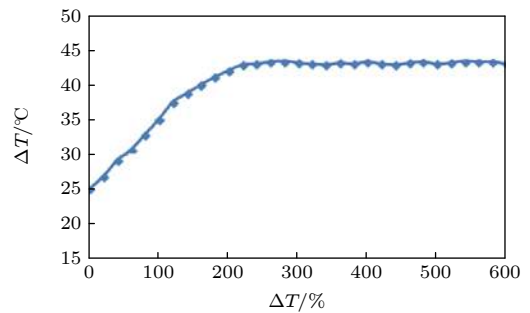


图 4 采用光谱法测得 LED 结温随时间变化曲线

Fig. 4. Curve of LED junction temperature with time measured by spectrum method.

5.2 大功率低色温白光 LED

随机选取某款荧光粉含量较多的大功率低色温白光 LED (相关色温 $T_c = 3240 \text{ K}$) 作为研究对象, 采用图 2 所示的系统测量其稳态热阻, 得到其发光光谱如图 5 所示, 以 25°C 为基准状态得到相对光谱强度数据如表 3 所列.

将表 3 中波谷处的归一化强度差 ΔI 与结温差 ΔT_j 通过二维坐标的形式呈现, 结果如图 6 所示, 并通过线性拟合得到归一化强度差 ΔI 与结温差 ΔT_j 得到其定标函数 $y = 15.538x - 1.2111$, 其中线性相关系数 R^2 为 0.9977 , 线性程度大于 0.99 , 表明低色温大功率白光 LED 波谷处的归一化强度

表 3 不同温度下低色温白光 LED 光谱波谷相对强度

Table 3. Relative strength of spectral trough of white LED with high color temperature at different temperatures.

	温度差 $\Delta T_j / ^\circ\text{C}$													
	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	
波谷处归一化强度差 $\Delta I / \%$	-1.20	-0.83	-0.54	-0.15	0	0.33	0.70	0.97	1.36	1.68	1.94	2.41	2.71	

表 4 四种大功率白光 LED 稳态热阻测试结果

Table 4. Steady state thermal resistance test results of four kinds of high power white LED.

LED 种类	高色温 LED(A)	高色温 LED(B)	低色温 LED(C)	低色温 LED(D)
热耗散功率/W	0.909	0.891	0.862	0.875
稳定时结温/ $^\circ\text{C}$	43.1	38.6	40.3	44.6
基板温度/ $^\circ\text{C}$	25.0	25.1	25.0	25.0
本文方法所得稳态热阻/ $(^\circ\text{C}\cdot\text{W}^{-1})$	19.9	15.2	17.7	22.3
采用 T3Ster 电压法测得稳态热阻/ $(^\circ\text{C}\cdot\text{W}^{-1})$	19.2	14.9	18.1	21.9
偏离度/ $\%$	3.64	2.01	-2.21	1.83

差 ΔI 和结温差 ΔT_j 仍具有较好的线性相关性, 此定标函数系数 15.538 即为波谷处归一化光谱强度-结温敏感系数 K .

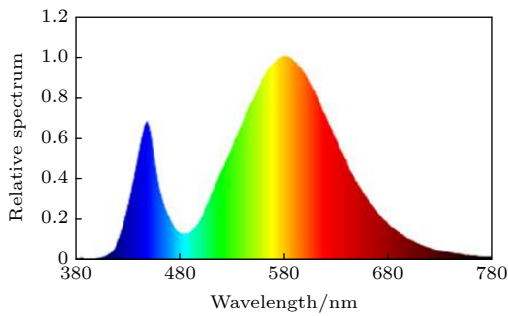


图 5 低色温归一化光谱相对强度分布

Fig. 5. Relative intensity distribution of low color temperature normalized spectrum.

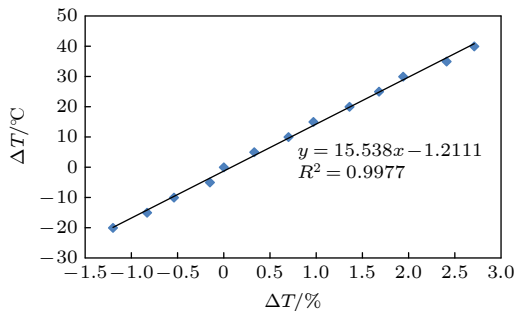


图 6 低色温 LED 定标函数曲线

Fig. 6. Calibration function curve of low color temperature LED.

采用图 2 所示的基于光谱法的 LED 稳态热阻测量系统, 每隔一定时间采样光谱波谷处的归一化光谱强度, 待达到热平衡后便可通过敏感系数 K 和定标函数可以得出任意状态下的 LED 结温度,

同时测出正常工作时的输入电功率和发光光功率, 根据 (6) 式便可得到此大功率低色温 LED 的稳态热阻.

为了验证采用本文的光谱法测定发光二极管稳态热阻的可行性, 还选取多种不同厂家的高低色温白光 LED 进行测试, 并与采用美国 Mentor Graphics 公司的 T3Ster 仪器运用正向压降法测出的热阻结果进行比较, 如表 4 所列.

通过表 4 的稳定热阻数据可以看出, 采用本文的光谱法测得的白光 LED 稳态热阻结果与通过美国 Mentor Graphics 公司的 T3Ster 仪器采用正向压降法测得的结果的最大偏离度为 3.64%, 偏差较小, 完全在可接受的范围内, 表明此方法的可行性.

6 结 论

通过分析白光 LED 的发光机理, 本文提出了采用自行设计的系统测量以正常工作电流驱动的白光 LED 发光光谱曲线波谷处光谱强度, 通过拟合得到光谱波谷处归一化强度与结温间的敏感系数 K 和定标函数, 根据计算可获得白光 LED 达到稳定的热平衡状态时的结温, 从而可获得结温相对于基底温度的增量, 并结合白光 LED 的热耗散功率可得到稳态热阻值, 避免了类似正向压降法采用极小电流进行定标而引入的各种误差, 使得测量稳态热阻更加准确、方便. 并将实验数据与采用美国 Mentor Graphics 公司的 T3Ster 测出结果进行了比较, 最大偏离度仅为 3.64%, 表明本文所提出的方法完全可行. 本方法采用光谱法测量稳态热阻,

在不需要昂贵的仪器设备情况下可达到 Mentor Graphics 公司的 T3Ster 仪器的精度, 对 LED 的封装结构没有任何的限制, 是一种高效快捷低成本且应用范围更广的白光 LED 稳态热阻测量方法, 具有一定的实用价值.

参考文献

- [1] Chen Y X, Shen G D, Gao Z Y, Guo W L, Zhang G C, Han J, Zhu Y X 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 087206 (in Chinese) [陈依新, 沈光地, 高志远, 郭伟玲, 张光沉, 韩军, 朱彦旭 2011 *物理学报* **60** 087206]
- [2] Guo C S, Zhang Y F, Wan N, Li R, Zhu H, Feng S W 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 218503 (in Chinese) [郭春生, 张燕峰, 万宁, 李睿, 朱慧, 冯士维 2013 *物理学报* **62** 218503]
- [3] Zhao H L, Liang Z Y, Shi X C, Yang X J 2007 *Acta Photon. Sin.* **36** 244 (in Chinese) [赵华龙, 梁志毅, 石兴春, 杨小君 2007 *光子学报* **36** 244]
- [4] Yang X, Guo W L, Wang J L, Deng J, Tai J P, Sun J 2020 *Spectroscopy and Spectral Analysis* **40** 368 (in Chinese) [杨新, 郭伟玲, 王嘉露, 邓杰, 邵建鹏, 孙捷 2020 *光谱学与光谱分析* **40** 368]
- [5] Wang J, Huang X, Liu L, Wu Q, Chu M H, Zhang L G, Hou F Q, Liu X Y, Zhao C J, Fang Y, Luo J S, Jiang D P 2008 *Chin. J. Lumin.* **29** 358 (in Chinese) [王健, 黄先, 刘丽, 吴庆, 褚明辉, 张立功, 侯凤勤, 刘学彦, 赵成久, 范翊, 罗劲松, 蒋大鹏 2008 *发光学报* **29** 358]
- [6] Yu B H, Wang Y H 2005 *Chin. J. Lumin.* **26** 761 (in Chinese) [余彬海, 王焱浩 2005 *发光学报* **26** 761]
- [7] Zhao Y, Wei A X, Liu J 2015 *Acta Phys. Sin.* **64** 118501 (in Chinese) [招瑜, 魏爱香, 刘俊 2015 *物理学报* **64** 118501]
- [8] Chen K, Narendran N 2013 *Microelectron. Reliability* **53** 701
- [9] Cheng X F, Liu X M, Chen W M, Lai W 2014 *J. Optoelectron. Laser* **25** 1949 (in Chinese) [程星福, 刘显明, 陈伟民, 赖伟 2014 *光电子·激光* **25** 1949]
- [10] Gu Y M, Narendran N 2004 *Third International Conference on Solid State Lighting, Proceedings of SPIE 5187* San Diego, California, United States, January 26, 2004 p93
- [11] Liu K, Sun H R 2020 *Acta Phys. Sin.* **69** 028501 (in Chinese) [刘康, 孙华锐 2020 *物理学报* **69** 028501]
- [12] Jiang F C, He S Y, Liu Y H, Liu W, Chai G Y, Zhao Z G, Li B K 2020 *Acta Photon. Sin.* **49** 0330003 (in Chinese) [蒋福春, 何思宇, 刘远海, 刘文, 柴广跃, 赵志刚, 李百奎 2020 *光子学报* **49** 0330003]
- [13] Hong E, Narendran N 2004 *Third International Conference on Solid State Lighting, Proceedings of SPIE 5187* San Diego, California, United States, January 26, 2004 p93
- [14] Qiu X Z, Zhang F H 2013 *Spectroscopy and Spectral Analysis* **33** 36 (in Chinese) [邱西振, 张方辉 2013 *光谱学与光谱分析* **33** 36]
- [15] Chen G F, Tian X D, Wan W T, Shen J, Hao Q Y, Tang C C, Zhu J J, Liu X S, Zhao D G, Zhang S M 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 076104 (in Chinese) [陈贵锋, 谭小动, 万尾甜, 沈俊, 郝秋艳, 唐成春, 朱建军, 刘宗顺, 赵德刚, 张书明 2011 *物理学报* **60** 076104]
- [16] Rao F, Fang T, Wang Z L, Chen C 2020 *Acta Photon. Sin.* **49** 0912002 (in Chinese) [饶丰, 方涛, 王紫凌, 陈晨 2020 *光子学报* **49** 0912002]
- [17] Jiang F C, He S Y, Liu Y H, Liu W, Chai G Y, Li B K, Peng D S 2020 *Spectroscopy and Spectral Analysis* **40** 2087 (in Chinese) [蒋福春, 何思宇, 刘远海, 刘文, 柴广跃, 李百奎, 彭冬生 2020 *光谱学与光谱分析* **40** 2087]
- [18] Qin X M 1996 *Semiconductor Technology* **3** 32 (in Chinese) [秦贤满 1996 *半导体技术* **3** 32]
- [19] Zhao X X, Wang X J, Chen B J, Meng Q Y, Yan B, Di W H 2007 *Spectroscopy and Spectral Analysis* **27** 629 (in Chinese) [赵晓霞, 王晓君, 陈宝玖, 孟庆, 裕颜斌, 狄卫华 2007 *光谱学与光谱分析* **27** 629]
- [20] Yin L Q, Weng F, Song P, Zhang J L, Yang W Q, Zhang J H 2014 *Acta Opt. Sin.* **34** 0323002 (in Chinese) [殷录桥, 翁菲, 宋朋, 张金龙, 杨卫桥, 张建华 2014 *光学学报* **34** 0323002]

Steady-state thermal resistance measurement of light-emitting diodes based on spectroscopic method*

Jiang Fu-Chun Liu Rui-You Peng Dong-Sheng Liu Wen
Chai Guang-Yue Li Bai-Kui Wu Hong-Lei[†]

(Key Laboratory of Optoelectronic Devices and System of Ministry of Education and Guangdong Province, College of Physics and Optoelectronics Engineering, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China)

(Received 9 July 2020; revised manuscript received 3 March 2021)

Abstract

According to the luminous spectrum characteristics of white light emission diode (WLED) light emission spectrum, through the analysis of the intersection (the trough point of the whole spectrum) of blue light spectrum and yellow light spectrum generated by blue light excited yellow phosphor, in this paper we design an LED steady-state thermal resistance measurement system based on the spectroscopic method by using the conventional spectrometer, and we also use the normal driving current to fit the whole spectrum trough through a certain function algorithm. According to the temperature rise curve, we can calculate the temperature rise of the LED junction temperature relative to the substrate under any working condition, and combine the heat dissipation power of the LED to get the steady-state thermal resistance of the LED. This method avoids the limitation of a similar forward voltage drop method which uses the minimum current calibration and requires the modules of high-speed data acquisition and high-speed sampling conversion, thus making the equipment expensive. Therefore it is necessary to reduce its cost. Finally, the system designed in this paper and the T3Ster instrument of Mentor Graphics Corporation in the United States are both used to measure various LEDs and their results are compared with each other. The results show that the maximum deviation of steady-state thermal resistance is only 3.64%. It indicates that the system and method designed in this paper can achieve the same precision as T3Ster instrument of Mentor Graphics Corporation, demonstrating that the system and method designed in this paper can achieve the same precision as the T3Ster instrument of Mentor Graphics, under the condition without needing expensive equipment. Moreover, this method uses non-traditional spectral method to measure the junction temperature of LED, which has the characteristics of remote real-time online detection of LED junction temperature, low cost, and no restrictions on the LED packaging structure. Therefore, this method has a wider application range than the voltage method adopted by Mentor Graphics T3Ster equipment, and has a certain practical value.

Keywords: light emission diode, steady-state thermal resistance, trough, heat dissipation power

PACS: 85.30.-z, 78.55.-m, 78.67.-n, 07.60.Dq

DOI: [10.7498/aps.70.20201093](https://doi.org/10.7498/aps.70.20201093)

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 61974094), the Key R & D Program of Guangdong Province, China (Grant No. 2020B010169003), and the Science and Technology Innovation Commission of Shenzhen, China (Grant No. JCYJ20200109105413475).

[†] Corresponding author. E-mail: hlwu@szu.edu.cn