

文章编号: 1000-7032(2013)09-1203-05

结温对 GaN 基白光 LED 光学特性的影响

钟文姣, 魏爱香, 招 瑜*

(广东工业大学 材料与能源学院, 广东 广州 510006)

摘要: 制备了一个可测量 n 型 GaN 材料电阻的白光 LED 样品, 测量了从室温到 170 °C 下的 LED 芯片的 n-GaN 材料的电阻, 发现 n-GaN 材料的电阻随温度的升高而增大, 且两者呈一定的指数关系。利用这一特性, 通过测量 LED 工作状态下内部所用 GaN 材料的电阻, 可以实现对 LED 结温的测量。通过改变积分球底板温度使 LED 样品处于不同的结温下, 测量了白光 LED 的光谱及色度学参数, 结果表明: 白光 LED 的峰值波长、显色指数、色温、光通量均与结温成一定的线性关系。

关键词: 发光二极管; 结温; 电阻; 光谱; 色度学参数

中图分类号: TN312.8

文献标识码: A

DOI: 10.3788/fjxb20133409.1203

Dependence of GaN-based White LED Colorimetric Parameters on Junction Temperature

ZHONG Wen-jiao, WEI Ai-xiang, ZHAO Yu*

(School of Material and Energy, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

* Corresponding Author, E-mail: zhaoyu@gdut.edu.cn

Abstract: A white LED sample was fabricated which can be used to characterize the resistance of n-GaN at the range of 20 to 170 °C. The results reveal an exponential relation between resistance and temperature. This relation is utilized to detect junction temperature of LED chip by measuring the resistance of n-GaN in a working LED. The white LED working in different junction temperature was achieved by changing the temperature of its heat sink. Their colorimetric parameters are measured simultaneously. These results show that the peak wavelength, rendering index, color temperature and luminous flux of white LED have a linear relationship with junction temperature.

Key words: light emitting diodes; junction temperature; resistance; spectrum; colorimetric parameters

1 引 言

发光二极管(LED)具有耗电低、寿命长、响应时间快、绿色环保等优点,被称为继白炽灯、荧光灯和高压气体放电灯后的第四代光源^[1]。随着LED芯片材料、结构和封装技术的不断进步,LED

的应用将越来越广泛,在照明领域有着巨大的发展潜力^[2]。pn结的结温是大功率LED的重要参数之一,它对LED器件的出光效率、光色、器件可靠性和寿命均有很大影响,准确测量LED器件的结温对制备大功率LED芯片、器件封装和应用有很大的指导意义。

收稿日期: 2013-05-14; 修订日期: 2013-07-08

基金项目: 广东省高校优秀青年创新人才培养项目(2012LYM-0058)资助

作者简介: 钟文姣(1988-),女,湖北襄阳人,主要从事LED结温特性的研究。

E-mail: wjzhong2013@sina.cn

目前,测量 LED 结温的方法主要有正向电压法^[3]、管脚温度法^[4]、峰值波长定标法^[5]、蓝白比法^[6]以及红外摄像法^[7]等。温度的浮动对 LED 光源的特性有很大的影响,结温升高会出现光输出显著变化和峰值波长漂移等现象。因此,研究 LED 结温与光谱特性的相关性是很有意义的。本文采用一种新的结温测量方法,研究了结温与 LED 器件的峰值波长、显色指数、色温、光通量的关系。

2 实 验

首先在来自于台湾晶元公司的芯片(45 mil)上涂覆 YAG: Ce³⁺ 黄色荧光粉,制备了一个白光 LED 样品。该芯片具有两个独立的 N 电极,在两个 N 电极上分别引线与支架的两端相连,将电源的正极加在 P 电极端,负极接在任意一个 N 电极端均可点亮 LED 样品,这两个 N 极间的电阻可用伏安法进行测量。将封装好的 LED 置于鼓风干燥箱里,采用 Keithley 2400 测量这两个独立 N 电极之间的 n-GaN 材料在不同温度下的电阻。

用脉冲电源 Gwinstek PSW30-36 驱动 LED,高占空比的电流用来确保 LED 的工作状态与直流电源驱动的效果接近。在脉冲电源的输出电流为 0 时,用 Keithley 2400 测量两个独立 N 电极之间 GaN 材料的电阻。利用上面拟合得到的结温与电阻的关系,得到 LED 工作状态的结温。

将 LED 样品放入浙大三色的光谱辐射分析仪 SL-300 的积分球里,将脉冲电源 Gwinstek PSW30-36 设置为恒流输出,电流大小为 0.32 A,占空比为 97.5%,驱动 LED 的时间为 10 min。用 Keithley 2400 测量两个独立 N 电极之间 GaN 材料的电阻,10 min 后将脉冲输出改为直流输出,用浙大三色的光谱辐射分析仪 SL-300 对 LED 的光学特性进行测量。其测试电路如图 1 所示。改变

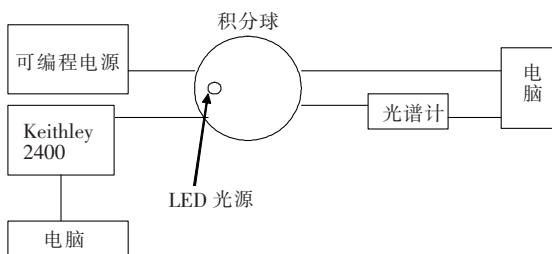


图 1 测试电路示意图

Fig. 1 Schematic of the measurement circuit

积分球底板的温度,使其从 25 °C 上升到 65 °C,每次上升 5 °C,达到改变 LED 结温的目的。测量不同的积分球底板温度下,LED 芯片内的 GaN 材料的电阻及其光学参数,得到结温与 LED 器件的峰值波长、显色指数、色温、光通量的关系。

3 实验结果与分析

3.1 结温的测量

在分析测量结果之前,我们建立了一套方程来描述半导体材料的电阻随温度变化的规律。在所测量的温度范围内,中等掺杂的 n 型 GaN 材料可以认为是完全电离的,即 $n = N_D$, N_D 为施主杂质浓度。

$$R(T) = \frac{l}{SqN_D\mu_n(T)}, \quad (1)$$

这里 l 和 S 分别为电阻的长度和横截面积, q 代表一个电子所带电荷量的绝对值,本文将这 3 个参数当成常数,受温度的影响忽略不计。因此,只考虑电阻与电子迁移率 μ_n 成反比。GaN 材料的电子迁移率 μ_n 可用如下公式^[8]来描述:

$$\mu_n(T) = \mu_{\max}(T_0) \frac{B(T/T_0)^{\alpha+\beta}}{1 + B(T/T_0)^\beta}, \quad (2)$$

其中 μ_{\max} 、 B 、 α 、 β 是模型参数, T_0 是当时测量的环境温度。将式(2)代入式(1),电阻的公式可以表示为:

$$R(T) = R(T_0) \frac{1 + B(T/T_0)^{\alpha+\beta}}{(1 + B)(T/T_0)^\beta}, \quad (3)$$

这里 $R(T_0)$ 为 n-GaN 在环境温度下的电阻。在我们的测试中, $R(T_0) = 4.7634 \Omega$, 当时的室温为 $T_0 = 297.8 \text{ K}$, 利用最小二乘法对实验数据按照公式(3)进行拟合,结果如图 2 所示。拟合结果和电阻测量值高度吻合,拟合结果如下: $B = 11.906$, $\alpha = 0.393$, $\beta = 4.05$ 。通过拟合,我

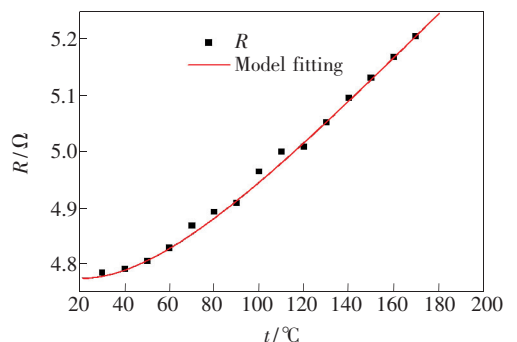


图 2 不同干燥箱温度下的 n-GaN 的电阻

Fig. 2 Resistance of n-GaN as a function of oven temperature

们得到了所用 LED 器件 GaN 材料的电阻与温度的关系。

得到 LED 样品两个独立 N 电极之间 GaN 材料的电阻与结温的关系之后, 要得到 LED 的结温, 只需测量两个独立 N 电极之间 GaN 材料的电阻即可。由于 LED 的工作电压的影响, 无法对 LED 两个独立 N 电极之间 GaN 材料的电阻进行测量。我们采用占空比为 97.5% 的脉冲电源 Gwinstek PSW30-36 来驱动 LED, 即脉冲电源的输出电流在 0.975 个周期内为 0.32 A, 剩余的 0.025 个周期内为 0。用 Keithley 2400 在脉冲电源输出电流为 0 时测量 LED 两个独立 N 电极之间 GaN 材料的电阻, 每次测量的时间长于 LED 的结温达到稳定的时间。

3.2 结温与峰值波长的关系

以蓝光 LED 芯片为激发源, 激发荧光粉发出峰值为 560 ~ 580 nm 的黄绿色光与芯片自身发出的蓝光组成白光是获得白光 LED 的方法之一。光谱仪所测得的峰值波长还是芯片发出的蓝光的峰值波长, 有源区的禁带宽度所决定。当芯片的温度升高时, 由有源区的禁带宽度变窄, 峰值波长红移^[9]。

图 3 为白光 LED 样品的光谱曲线。图中左边部分为芯片直接发射的蓝光, 其峰值波长约为 450 nm; 右边部分为激发出的荧光, 其峰值波长为 550 nm 左右。图 4 为不同结温下白光 LED 的峰值波长。在结温从室温上升到 125 °C 的过程中, 该样品的峰值波长由 445.5 nm 增加到 446.8 nm。通过线性拟合, 由图 4 知结温升高引起的波长漂移的平均温度系数为 0.015 6 nm/°C, 这一结果与文献 [10] 报道的热效应引起的峰值波长的平均温度系数为 0.028 57 nm/K 和 0.039 29 nm/K

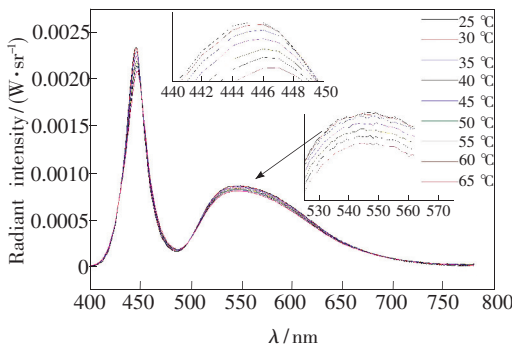


图 3 不同结温下白光 LED 的光谱

Fig. 3 PL spectra of white LED at different temperature

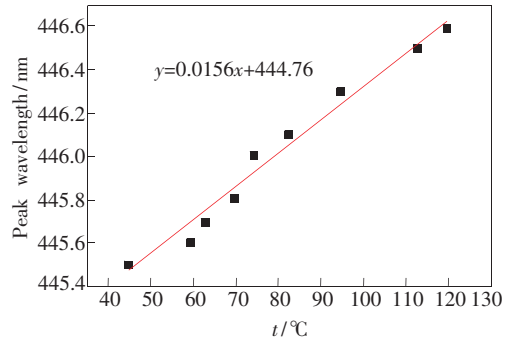


图 4 不同结温下白光 LED 的峰值波长

Fig. 4 Peak wavelength of white LED at different temperature

接近, 数值不同是由于所用的芯片来自于不同的厂家, 其有源区多量子阱结构不同。

3.3 结温与色温的关系

图 5 为 LED 样品结温与色温的关系。随着结温的升高, LED 的色温逐渐增大, 且与结温呈现出线性关系。当积分球底座的温度从 20 °C 调节到 70 °C 时, 结温从 38.11 °C 变到了 97.28 °C, 色温从 8 448 K 升高到 9 198 K。通过线性拟合, 得到 LED 色温随结温的变化系数约为 7.664 K/°C。LED 色温随着结温的升高而升高, 是因为结温升高了, 光源发出的光的颜色发生了变化, 蓝绿光的组分增多或者说黄光的组分减少。温度升高则峰值波长红移, 蓝光的辐射通量降低, 黄光的辐射通量也会降低; 同时温度升高会影响荧光粉的性能, 导致黄光的辐射通量进一步降低。

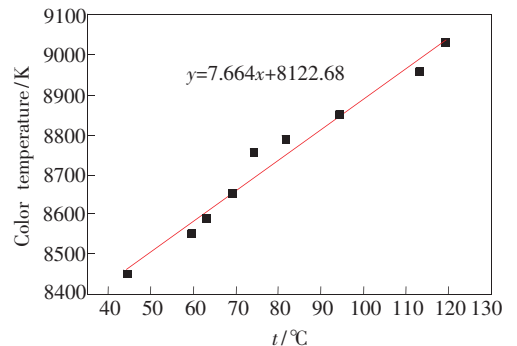


图 5 不同结温下白光 LED 的色温

Fig. 5 Color temperature of white LED at different temperature

3.4 结温与显色指数的关系

显色性是光源的重要指标。太阳光的显色指数 (R_a) 定义为 100。显色指数大于 80 的光源就可以认为是较好质量的白光, 适用于对显色性要求较高的室内照明; 而大于 95 则可应用于视觉要求高的场合。

图 6 为 LED 结温与显色指数的关系。随着结温的上升,LED 的显色指数逐渐增大,且与结温呈现出线性关系。通过线性拟合,得到 LED 显色指数随结温的变化系数约为 $0.022/^\circ\text{C}$ 。显色指数随结温的上升而增大的原因与色温相同,均由于光的颜色中蓝光所占的比例增大,黄光所占的比例减小。

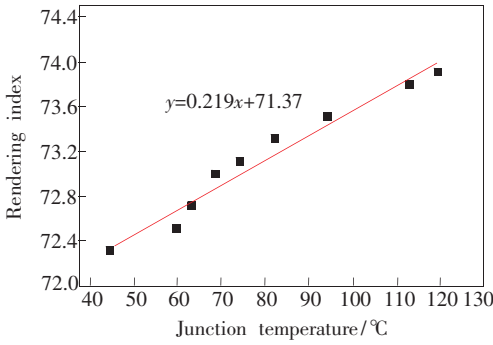


图 6 不同结温下白光 LED 的显色指数

Fig. 6 Rendering index of white LED at different temperature

3.5 结温与光通量的关系

光通量是表征电光源质量高低的一个重要指标。假设某辐射体发出的光线是波长为 λ_i 的单色光,该辐射体单位时间内所辐射的能量就是辐射通量 F_i ,该能量中能为人眼所感觉的那部分称为光通量 ϕ_i ,它表示单位时间流出光能的大小,单位是 lm。光通量是人的眼睛对辐射通量的反应程度的物理量。国际照明委员会(CIE)根据对许多人的大量观察结果,用平均值法确定了人眼对各种波长的平均相对灵敏度,称为人眼的视见函数。我们把单色辐射通量 ΔF_i 与视见函数 $\nu(\lambda_i)$ 之积称为波长 λ_i 的单色光通量 $\Delta\phi_i$, $\Delta\phi_i = \Delta F_i \nu(\lambda_i)$,把所有的单色光通量加起来就是光通量 ϕ :

$$\phi = \int_{\lambda} e(\lambda) \nu(\lambda) d\lambda,$$

其中, $e(\lambda)$ 为光谱辐射能通量,也称为辐射功率; $\nu(\lambda)$ 为人眼的视见函数。

图 7 为 LED 结温与光通量的关系。随着结温的上升,LED 的光通量由 47.861 lm 减少到 45.842 lm ,且与结温呈现出线性关系。通过线性拟合,得到 LED 光通量随结温的变化系数约为

$-0.0325 \text{ lm}/^\circ\text{C}$ 。由图 8 可以看出,随着点亮时间的增加,结温上升,但光通量在结温上升的过程中增大,表明 LED 的峰值波长红移,使得蓝光部分的辐射通量与视见函数的积分变大,而黄光部分的辐射通量与视见函数的积分变小,蓝光部分的辐射通量与视见函数的积分变大的量小于黄光部分的辐射通量与视见函数的积分变小的量,所以白光的光通量随温度的升高而变小。

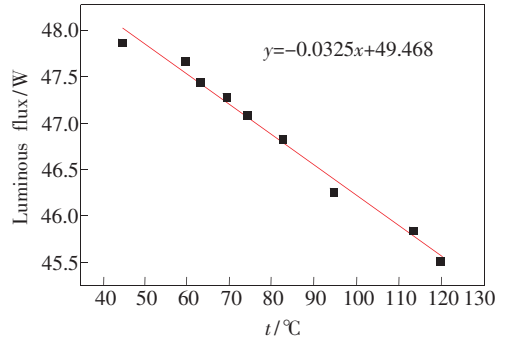


图 7 不同结温下白光 LED 的光通量

Fig. 7 Luminous flux of white LED at different temperature

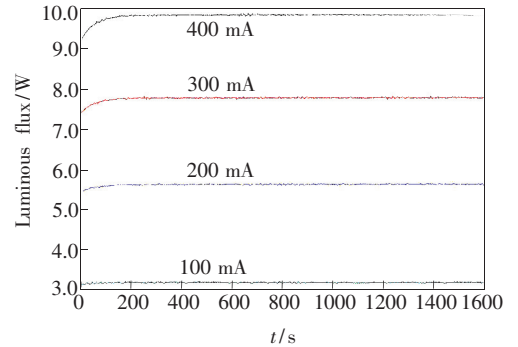


图 8 蓝光 LED 的光通量的瞬态特性

Fig. 8 Transient behaviour of luminous flux of blue LED

4 结 论

通过对自制的 LED 样品两个独立 N 电极之间的 GaN 材料的电阻进行测量,发现其电阻随着温度的升高而增大,并且呈一定的指数关系,利用这一关系可较为准确地测得 LED 的结温。对 LED 的光学特性与结温的关系进行测量,发现结温升高,白光 LED 的色温、峰值波长、显色指数均增大,且呈一定的线性关系。结温升高,白光 LED 的光通量降低,同样呈现出一定的线性关系。

参 考 文 献:

- [1] Steranka F M, Bhat J, Collins D, *et al.* High power LEDs—Technology status and market applications [J]. *Phys. Status Solidi (a)*, 2002, 194(2):380-388.
- [2] Zhang J P, Liu Y, Cheng G L, *et al.* Constant stress accelerated life test of white OLED based on MAM [J]. *Chin. J. Liq. Cryst. Disp.* (液晶与显示), 2012, 27(1):61-65 (in Chinese).
- [3] Klassen D B M. A unified mobility model for device simulation I. Model equations and concentration dependence [J]. *Solit-State Electronics*, 1992, 35:953-959.
- [4] Hong E, Narendran N. A method for projecting useful life of LED lighting systems [J]. *SPIE*, 5187:93-99.
- [5] Gu Y, Narendran N. A non-contact method for determining junction temperature of phosphor-converted white LEDs [J]. *SPIE*, 5187:107-114.
- [6] Chen T, Chen Z Z, Lin L, *et al.* Methods for determining junction temperature of GaN-based white LEDs [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2006, 27(3):408-411 (in Chinese).
- [7] Vaitonis Z, Vitta P, Zukauskas A. Measurement of the junction temperature in high-power light-emitting diodes from the high-energy wing of the electroluminescence band [J]. *Appl. Phys.*, 2008, 103(1):93-110.
- [8] Mnatsakanov T T, Levinshtein M E, Pomortseva L I, *et al.* Carrier mobility model for GaN [J]. *Solid State Electron.*, 2003, 47(1):111-115.
- [9] 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.
- [10] Ding T P, Guo W L, Cui B F, *et al.* The effect of temperature on the PL spectra of high power LED [J]. *Spectrosc. Spect. Anal.*, 2011, 31(6):1450-1453.