

文章编号:1007-2780(2009)02-0294-05

大功率 LED 参考热阻测试系统研究与分析

王 伟¹, 王万良¹, 潘建根², 李 倩²

(1. 浙江工业大学 信息学院自动化研究所, 浙江 杭州 310014, E-mail: wangwei211x@163. com;
2. 杭州远方光电信息有限公司, 浙江 杭州 310053)

摘 要: 介绍了利用电学测试方法测量大功率 LED 参考热阻的原理和方法。提出了一种新的基于电学测试的参考热阻测试方法——脉冲测量法。该方法在自主研发的系统上得到应用并取得了满意的效果。研究表明,该方法在热阻测试方面具有可靠、稳定和精确等特点。

关 键 词: 大功率 LED; 参考热阻; 脉冲测量法
中图分类号: TP216.1 **文献标识码:** A

1 引 言

随着科学技术的发展以及能源的日益紧缺, 半导体照明的研究获得了很大的进步, 而半导体产品具有功耗低、使用寿命长和响应时间短等众多优势和发展潜力, 已呈现逐渐取代传统照明产品的趋势^[1]。大功率 LED 是半导体照明中的关键器件, 由于功率越来越大, 大功率 LED 的耗散功率会导致 LED 芯片 PN 结结温上升, 从而显著地影响 LED 的光度、色度和电气参数, 甚至可能导致器件失效^[2-4]。因此, 对大功率 LED 的结温、热阻等热特性参数进行准确、快速的测试就显得十分重要。

目前半导体器件工作温度和热阻的测试方法主要有^[5]: 红外热像仪法、电学参数法、光谱法、光功率法等。本文研究内容的原理基于电学测量方法, 并在此基础上提出了一种新的测试方法, 该方法可以更加直观可靠地表征 LED 的热阻特性。

2 大功率 LED 参考热阻测试原理

LED 作为一种半导体器件, 主要以热阻来表征其本身的热学特性。在热平衡条件下, 从 LED 芯片的 P-N 结(J 点)到外壳(或主要散热部分)指定的参考点(通常为与附加散热器接触的最佳点或部位)(C 点), 两者的温度差($T_J - T_C$)与该传热通道上耗散的功率 P_{JC} 之比值称为热阻^[6,7], 用

$R_{th(JC)}$ 表示, 它表征了 LED 的散热能力。热阻^[8]计算公式如下:

$$R_{th(JC)} = \frac{T_J - T_C}{P_{JC}} \quad (1)$$

式(1)中: $R_{th(JC)}$ 为待测器件 P-N 结(J 点)到指定参考点(C 点)之间的热阻; T_J 为测试稳定时的待测器件的结温; T_C 为稳定环境的参考点温度; P_{JC} 是待测器件在 J 点到 C 点之间的热传导通道上的耗散功率。

为简化评价方法, 本文中以输入到 LED 的总电功率 P_H 作为上式中的 P_{JC} , 且仅考察当 LED 外壳(或主要散热部分)与理想的“无限大”热沉良好接触时, 结点与外壳(或主要散热部分)之间的结壳热阻, 为便于与通常的热阻概念区别, 此时的热阻称为参考热阻, 用 R_{th} 表示。其计算公式如式(2)所示:

$$R_{th} = \frac{T_J - T_C}{P_H} = \frac{T_J - T_C}{V_H I_H} = \frac{\Delta T_J}{V_H I_H} \quad (2)$$

式(2)中, I_H 一般取 LED 的额定电流, V_H 为 LED 结正向电压, ΔT_J 为结温升。

当 LED 的 PN 结通以较小的正向电流 I_M 时, 结温升与相应的结正向电压的变化量存在线性关系。即有:

$$\Delta T_J = T_J - T_C = K \Delta V_F \quad (3)$$

式中, K 为比例系数。其单位为 $^{\circ}\text{C}/\text{V}$ 。

由上可知, 可以通过测量 LED 结电压相对于初始值的变化量 ΔV_F , 并利用 K 系数计算结温变

化,然后通过公式(2)可得到参考热阻值。

3 测量方法与步骤

3.1 ΔV_F 的传统测量方法

热阻测试装置图如图 1 所示^[6,7],图 2 给出了对应的测试波形时序图。

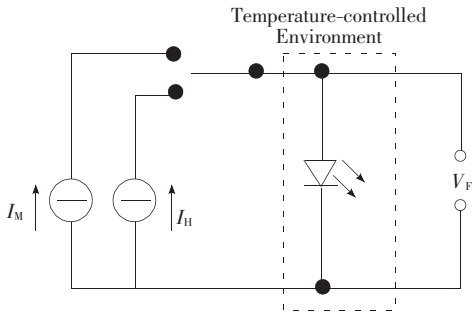


图 1 测量原理图

Fig. 1 Measuring schematic diagram

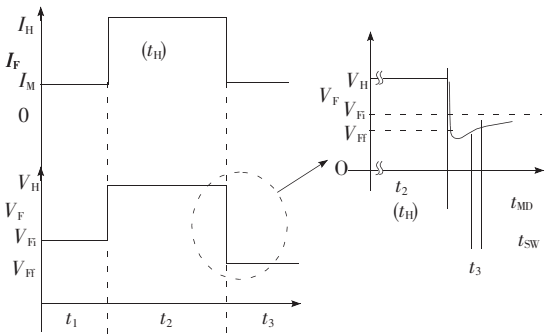


图 2 测量信号时序图

Fig. 2 Timing diagram of measuring signal

如图 2 所示, ΔV_F 测试过程如下:

首先对样品加以测试电流 I_M ,测得正向电压值 V_{Fi} ^[8,9];然后用加热电流 I_H (一般取 LED 的额定电流)取代 I_M ,并保持 t_H 时间, t_H 应足够长,以使得 LED 芯片温度与热沉之间达到热平衡;最后用 I_M 迅速取代 I_H ,在一定的时间 T_{MD} (或 $T_{MD} + T_{sw}$)^[7]内测得正向电压 V_{Fi} 。其中, T_{MD} 为测量延迟时间, T_{sw} 为 AD 采样窗口时间。

由上可知,在不同结温下,LED 在测量电流 I_M 下的正向电压变化量为:

$$\Delta V_F = V_{Fi} - V_{Fi} \tag{4}$$

测试电流 I_M 的选择依据是使 LED 工作在导通状态,但又不会导致明显自身结温升高。可根据 LED 样品的伏安特性曲线来选取,通常选择

LED 伏安特性曲线中正向电流开始明显增大的拐点处附近的值作为 I_M 。

3.2 K 系数的测量

K 系数的测量方法为:将被测 LED 放置于控温设备中,首先使测试环境温度稳定在一个低温值 T_{low} (一般取室温),测得工作电流 I_M 下 LED 的正向电压 V_{low} ;然后调节控温设备使 LED 结温稳定到一个高温值 T_{high} ;待温度稳定后,测得 I_M 下 LED 的正向电压 V_{high} 。K 值的计算如式(5)所示:

$$K = \left| \frac{T_{high} - T_{low}}{V_{high} - V_{low}} \right| = \left| \frac{\Delta T}{\Delta V_F(T)} \right| \tag{5}$$

本文中 K 系数的测量是在自主开发的恒温夹具上进行。夹具内置半导体加热制冷器件,利用 PID 来调节温度控制参数,保证了温度控制的稳定性。

3.3 脉冲测试方法的提出

如前所述,传统的热阻测试方法是通过一次测量完成的,需要事先估计 LED 在加热电流下达到热平衡的加热时间 t_H ,才能得到精确的参考热阻值。LED 在加热电流 I_H 下达到热平衡的判据是:加热时间为 $1.1 \times t_H$ 和加热时间为 t_H 时测得的 ΔV_F 一致。这通常需要经过多次试验才能最终确定 t_H 。由于每次测量前都需要将被测 LED 充分冷却,所以一次完整精确的测量往往十分耗时。

为此,本文提出了一种可以实时监测 LED 是否达到热平衡的改进测量方法——脉冲测量法^[10],测试时序如图 3 所示。该方法的思想是变单次测量模式为连续测量,通过陷脉冲 I_M 可以得到在每一个加热序列后的 ΔV_F 变化值,并得到当前的瞬态参考热阻。一定时间后,LED 的结温与热沉之间将达到热平衡,结温不再增加,测得的参考热阻值趋于稳定。

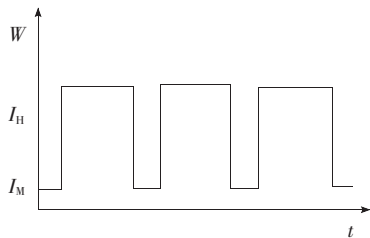


图 3 测量序列示意图

Fig. 3 Schematic of pulse sequence

此方法中 I_M 作为检测脉冲,要求脉冲宽度较窄,以不影响宏观加热效果。本系统中 I_M 脉冲宽度为 $100\ \mu\text{s}$, I_H 脉冲宽度为 $1\ \text{s}$ 。

4 测量系统的构成

4.1 系统介绍

所设计的测量系统组成框图如图 4 所示。系统主要由计算机、参考热阻测量装置以及恒温夹具几部分组成。系统设计要求为:电流测量范围 $0.1\sim 2\ \text{A}$,读数精度 $\pm 0.1\%$;电压测量范围 $0\sim 15\ \text{V}$,读数精度 $\pm (0.1\%+1\ \text{mV})$ 。

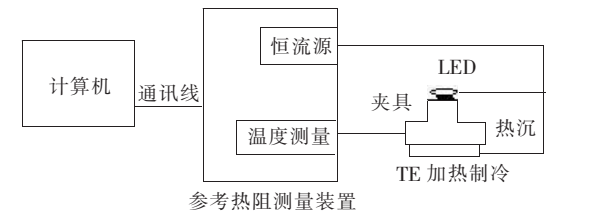


图 4 参考热阻测量系统框图

Fig. 4 Block diagram of measuring system

系统采用高精度高速 16 位 DA 控制源的输出,保证源的精度与切换速度。采用 16 位 100k 采样速率的高速 AD 作为数据采集器件,保证信号采集速度。在温度测量中采用 PT1000 作为温度传感器,读数分辨率为 $\pm 0.1\ ^\circ\text{C}$,保证 K 系数测量精度。

本系统中源的切换速率达到 $15\ \mu\text{s}$,远远高于《半导体二极管热阻抗测试方法》标准^[7]的要求。同时本系统具有独特的 LED 自动判向功能,避免了反复手工判向的麻烦。

4.2 试验过程

K 系数的测量软件界面如图 5 所示,首先设定所要稳定的温度和工作电流,在初始条件下(室温)测得当前 LED 结电压和热沉温度并保存。当恒温夹具达到所要求的温度并保持平衡后,此时 LED 结温与当前热沉温度达到一致,测得当前结电压和温度。按停止后系统根据两组数据算得 K 系数并在软件中给出。测量中温度的控制量采用 PID 自动调节。

试验中采用普通的 $1\ \text{W}$ 大功率 LED,所选择的 I_M 为 $10\ \text{mA}$, I_H 为 $350\ \text{mA}$, TMD 为 $100\ \mu\text{s}$ 。

根据所提出的脉冲测量方法测得的参考热阻



图 5 K 系数测量

Fig. 5 K coefficient measurement

曲线如图 6 所示。其中横坐标为时间,以秒为单位。纵坐标为参考热阻值,单位为 $^\circ\text{C}/\text{W}$ 。可以看出在一定的时间后参考热阻值趋于稳定。试验所得到的 LED 参考热阻值为 $(32\pm 1)^\circ\text{C}/\text{W}$,其中 K 为 $396.8\ ^\circ\text{C}/\text{V}$,且在 $10\ \text{mA}$ 工作电流下 LED 两端初始电压值为 $2.789\ \text{V}$,电压最终稳定值为 $2.696\ \text{V}$; $350\ \text{mA}$ 下 LED 两端电压值为 $3.297\ \text{V}$ 。

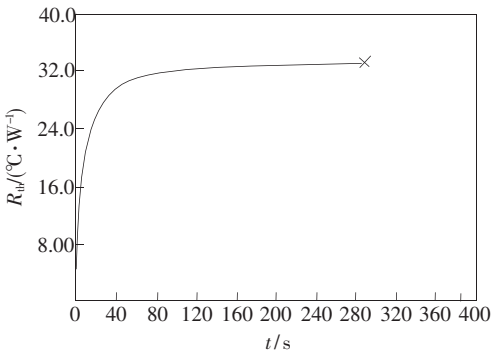


图 6 热阻测试界面

Fig. 6 Thermal resistance test diagram

4.3 试验数据分析

为了验证测试系统的不确定性^[11,12],通过试验对该系统的指标进行了考核。试验中以惠普 34401A 型电流电压表作为校准表,以其所测的值作为标准值。通过公式(6)给出了系统的不确定度。试验数据如表 1 和表 2 所示。

不确定度 = (测量值 - 标准值) / 标准值 (6)

由表 1 和表 2 可知,系统测量不确定度均在 0.1% 以下,精度满足设计要求。

表 1 电流计量不确定度表

Table1 Measurement uncertainty of current			
控制输出电流 (mA)	本系统读数 (mA)	标准值	不确定度
10	9.98	9.975	0.000 5
50	49.99	50.013	0.000 4
100	99.98	100.056	0.000 8
200	200.0	199.96	0.000 2
350	349.8	349.96	0.000 5
500	499.7	499.85	0.000 3

表 2 电压计量不确定度

Table 2 Measurement uncertainty of voltage			
控制输出电流 (mA)	本系统读数 (mA)	标准值	不确定度
10	2.780	2.780 5	0.000 2
50	2.953	2.953 6	0.000 2
100	3.063	3.063 7	0.000 2
200	3.209	3.210 2	0.000 4
350	3.376	3.377 1	0.000 3
500	3.525	3.526 2	0.000 3

5 参考热阻不确定度分析

参考热阻是通过计算得到的,因此其相对误差不能直接用测量的方法直接得出。根据误差传递公式,参考热阻的误差可以根据参考热阻计算公式用微分方法求得。将式(5)代入式(3)再代入

式(2)得:

$$R_{th} = \frac{K\Delta V_F}{(I_H V_H)} = \frac{\Delta T \cdot \Delta V_F}{\Delta V_{F(T)} \cdot V_H I_H}$$

(7)

根据不确定度计算方法,参考热阻的不确定度可由式(8)求得。

如前所述,本系统满足系统设计精度要求。不

$$uR_{th} = \sqrt{\left(\frac{\partial R_{th}}{\partial \Delta T}\right)^2 u^2(\Delta T) + \left(\frac{\partial R_{th}}{\partial \Delta V_F}\right)^2 u^2(\Delta V_F) + \left(\frac{\partial R_{th}}{\partial \Delta V_{F(T)}}\right)^2 u^2(\Delta V_{F(T)}) + \left(\frac{\partial R_{th}}{\partial V_H}\right)^2 u^2(V_H) + \left(\frac{\partial R_{th}}{\partial I_H}\right)^2 u^2(I_H)}$$

(8)

由式(8)可得:

$$\frac{u(R_{th})}{R_{th}} = \sqrt{\frac{u^2(\Delta T)}{\Delta T} + \frac{u^2(\Delta V_F)}{\Delta V_F} + \frac{u^2(\Delta V_{F(T)})}{\Delta V_{F(T)}} + \frac{u^2(V_H)}{V_H} + \frac{u^2(I_H)}{I_H}}$$

(9)

确定度分析中我们选取设计值计算。式中热敏参数 V_F 的不确定为 $\pm(0.1\%+1\text{ mV})$,其中 1 mV 分量为固定的测量不确定度。在求 ΔV_F 的两次测量中可以完全抵消,因此 ΔV_F 与 $\Delta V_{F(T)}$ 的不确定度均取 $\pm 0.1\%$ 。由于 LED 的 V_H 至少会超过

1 V ,因此 V_H 的不确定度最大不会超过 0.2% ,取 0.2% ;测量温度 T 的不确定度取 $\pm 0.1\text{ }^\circ\text{C}$,设温度校准系数求取中 ΔT 最小为 $15\text{ }^\circ\text{C}$, $(d\Delta T/\Delta T)_{\max} \leq 0.2/15$ 。因此由公式(9)可得本系统参考热阻不确定度为:

$$\frac{u(R_{th})}{R_{th}} = \sqrt{(1.333\%)^2 + (0.1\%)^2 + (0.1\%)^2 + (0.2\%)^2 + (0.1\%)^2} = 1.36\%$$

(10)

5 结 论

探讨了利用电学测试方法测量大功率 LED 参考热阻的原理和方法,在此基础上提出了一种新的改进测量方法——脉冲测量法。给出了试验

过程与结果,并对结果进行了分析。研究表明,新的方法在大功率 LED 参考热阻测试方面能够实时检测 LED 的结温与瞬态参考热阻,具有稳定、可靠和测量精确的特点,可为准确测试及评价大功率 LED 热阻提供参考依据。

参 考 文 献:

- [1] Heliototis G, Stavrinous P N, Bradley D D C. Spectral conversion of InGaN ultraviolet microcavity light-emitting diodes using fluorine-based red, green-, blue- and white-light-emitting polymer overlayer films [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2005, 87: 503-505.
- [2] 王建, 黄先, 刘丽, 等. 温度和电流对白光 LED 发光效率的影响 [J]. *发光学报*, 2008, 29(2): 358-363.
- [3] 刘一兵, 丁洁. 功率型 LED 封装技术 [J]. *液晶与显示*, 2008, 23(4): 508-512.
- [4] 陈明祥, 马泽涛, 刘胜. LED 感应局部加热封装试验研究 [J]. *发光学报*, 2007, 28(2): 241-246.
- [5] 冯士维, 谢雪松, 吕长杰, 等. 半导体器件热特性的电学测量与分析 [J]. *半导体学报*, 1999, 20(5): 358-364.
- [6] International Organization for Standardization. MIL-STD-750D Notice 3 Method 3101. 3 Thermal Impedance (Response) Testing of Diodes [S]. 2006.
- [7] 中华人民共和国信息产业部. SJ 20788-2000 半导体二极管热阻抗测试方法 [S]. 北京: 电子工业出版社, 2000.
- [8] Electronic Industries Association Engineering Department. EIA/JESD 51-1. Integrated circuits thermal measurement method-electrical test method (single semiconductor device) [S]. U. S. JEDEC, 1995.
- [9] Xi Y, Schubert E F. Junction temperature measurement in GaN ultraviolet light emitting diodes using diode forward voltage method [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2004, 85(12): 2163-2165.
- [10] 张跃宗, 冯士维, 谢雪松, 等. 半导体功率发光二极管温升和热阻的测量研究 [J]. *半导体学报*, 2006, 27(2): 350-353.
- [11] 中华人民共和国国家计量技术规范. JJF1059-1999 测量不确定度评定和表示 [S]. 北京: 中国计量出版社, 2007.
- [12] 潘建根, 岳红轩, 沈海平, 等. 分光法测量 LED 颜色的不确定度分析 [J]. *光电子·激光*, 2008, 19(2): 149-151.

Study and Analysis of Test System for Thermal Characteristic of High Power LED

WANG Wei¹, WANG Wan-liang¹, PAN Jian-gen², LI qian²

(1. Automatic Research Institute, College of Information Engineering,
Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China, E-mail: wangwei211x@163.com;
2. Everfine Photo-E-Info Co., Ltd., Hangzhou 310053, China)

Abstract

The measurement principle and method based on the electrical measurement method for thermal resistance of high power LED are introduced. A new method of pulse measurement is presented for reference thermal resistance test based on the electrical measurement method. The method is applied to our system and delightful results are obtained. The experimental results show that the method has the advantages of good stability and exactitude.

Key words: high power LED; reference thermal resistance; pulse measurement

作者简介: 王伟 (1984—), 男, 湖北天门人, 硕士研究生, 研究方向: 大功率 LED 光色热电测试方法与装置研究。