

高功率 LED 热特性测试方法研究与应用

马春雷 鲍超

(浙江大学现代光学仪器国家重点实验室, 杭州 310027)

摘要 叙述了利用动态电学测试方法测量高功率 LED 热阻和结温的原理、试验装置、测量步骤和影响测试结果的因素。研究结果表明,该方法具有测试结构简单、稳定性高等特点,可作为高功率 LED 热阻和结温的一种测试方法。

关键词 高功率 LED; 热阻; 结温

中图分类号 TM930.12 **文献标识码** A

0 引言

高功率 LED(Light Emitting Diode)作为半导体照明中的关键器件,相对于用作指示器件的 LED,由于耗散功率的增加会引起 LED 芯片 PN 结结温的显著变化,从而影响其光度、色度和电气参数。此外,LED 多以透明环氧树脂封装,若结温超过固相转变温度,封装材料会向橡胶状转变且热膨胀系数骤升,从而导致器件失效。因此,对高功率 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必要。目前对半导体器件工作温度和热阻的测量方法主要有^[1]:红外热像仪法、电学参数法、光谱法、光热阻扫描法及光功率法等。本文提出一种测量高功率 LED 热阻的动态电学测量方法,可以方便地测量其结温和热阻,从而可为 LED 的封装和热沉设计提供设计参数和失效检验,对高功率 LED 进行有效的热管理。

1 高功率 LED 热学特性的测量原理

1.1 高功率 LED 的热学特性参数

LED 作为一种半导体器件,主要以热阻($R_{\theta X}$)表征其本身的热学特性。依据文献[2]热阻的定义为

$$R_{\theta X} = \frac{T_J - T_X}{P_H} \quad (1)$$

式中 $R_{\theta X}$ 是待测器件 PN 结到指定环境之间的热阻 [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$]; T_J 是测试条件稳定时的待测器件的结温 [$^{\circ}\text{C}$]; T_X 是指定环境的参考温度 [$^{\circ}\text{C}$]; P_H 是待测器件的耗散功率 [W]。因此,为了测定 LED 的热阻须确定式(1)右边的三个参数,而其中参数之一的结温(T_J)则是测量中的重点,结温的测量可通过下式表示的方法进行

$$T_J = T_{J0} + \Delta T_J \quad (2)$$

$$\Delta T_J = K \times \Delta TSP \quad (3)$$

式中 T_{J0} 是待测器件未施加加热功率前的初始结温 [$^{\circ}\text{C}$]; ΔT_J 是因施加加热功率引起的结温变化量 [$^{\circ}\text{C}$]; K 是定义 ΔT_J 与 ΔTSP 之间关系的常量 [$^{\circ}\text{C}/\text{mV}$]; ΔTSP 是温度敏感参数值的变化量 [mV]。

1.2 PN 结结温的测量方法

结温的测量采用的是动态电学测量方法,该方法利用发光二极管 PN 结的正向压降 V_F 与 PN 结的温度成线性关系的特性,通过测量其在不同温度下的正向压降差来得到发光二极管的结温。在测量中 PN 结既是被测对象,同时也是温度传感器,PN 结温度的变化通过温度敏感参数即 PN 结正向压降的变化输出,这样就简化了测试线路和结构,同时消除了因附加温度传感器而引入的测量误差。该方法的测量电路原理如图 1,图 2 是施加到待测器件上的电流时序图和相应的 PN 结正向压降。测量可分为以下几个步骤:

- 1) 将测量电流 (I_M) 正偏置加到待测 LED 两端,测得正向结压降 (V_{FI});
- 2) 加热电流 (I_H) 取代 I_M 加到待测 LED 两端,加热一定时间 (t_H) 待 LED 趋于稳定状态时,测得正向结压降 (V_H),并得到耗散功率 (P_H);
- 3) I_M 迅速取代 I_H 加到待测 LED 两端,并测得正向结压降 (V_{FF})。

依据文献[1]将所测数据代入以式(4),(5),(6)

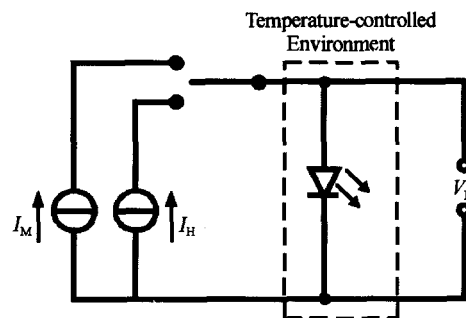


图 1 测量原理图

Fig. 1 Measuring schematic diagram

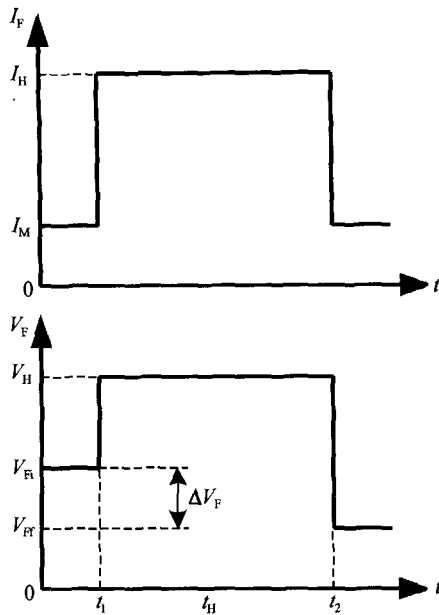


图2 测量信号时序图

Fig. 2 Timing diagram of measuring

$$\Delta V_F = |V_{FI} - V_{FF}| \quad (4)$$

$$T_J = T_{JI} + \Delta T_J \quad (5)$$

$$R_{thX} = \frac{\Delta T_J}{P_H} = \frac{K \times \Delta V_F}{I_H \times V_H} \quad (6)$$

可得到待测 LED 的结温和热阻。

2 测量中的关键点

2.1 测量电流(I_M)的选择

取决于 LED 芯片的尺寸和类型,通常工业中使用 I_F-V_F 曲线转折点处所对应的电流值作为 I_M,一般选取其正规值,如 1.0、5.0、10.0 mA 等。

2.2 温度系数 K 的校正

K 是温度传感器的灵敏度系数,很大程度上取决于所选的 I_M,必须在热测试过程中保持相同的 I_M. K 的校正式为

$$K = \left| \frac{T_{high} - T_{low}}{V_{high} - V_{low}} \right| \quad (7)$$

T_{high}、T_{low} 分别为高、低温度, V_{high}、V_{low} 为相应的 PN 结正向压降。

2.3 测量延迟时间因素与结冷却效应

由于测量延迟时间的存在,测量时的结冷却效应会影响最终测量结果的准确度,故需以冷却曲线校正测量数据。定义从加热电流 I_H 切换至测量电流 I_M 到实际测量 PN 结正向压降 ΔV 之间的时间间隔为测量延迟时间 t_{MD},基于结温随时间变化呈指数衰减的特性,以测量延迟时间 t_{MD} 为线性横坐标,正向压降 ΔV 为对数纵坐标,冷却曲线理论上应为一负斜率直线,与纵轴的截距为 a,选择合适的测量延迟时间,其相应的纵坐标为 b,以 a/b 作为校正系数,则对式(6)的校正公式为

$$R_{thX} = \frac{(a/b) \times K \times \Delta V_F}{I_H \times V_H} \quad (8)$$

2.4 非热切换效应

在 I_H 向 I_M 切换的过程中,由于非热切换效应(如测试系统本身的限制、待测 LED 本身的电流切换能力、系统到待测 LED 之间的电感)会导致冷却曲线在初始段成非指数形式变化,在数据处理时需考虑进去这一因素,故应选取消除了非热切换效应的数据拟合出冷却曲线。

由于 PN 结到外封装表面的热阻是半导体功率器件最常用的标准热阻参数之一,因此本文中主要针对高功率 LED 的结到封装表面的热阻 R_{thJC} (Junction-to-Case) 进行分析,对于以其它指定环境为温度参考点的热阻测量方法与此类同。

3 测量装置的硬件实现

测量在一密闭的温度可调恒温箱内进行,以减小环境温度对测量的影响。在待测 LED 上安装热沉,以使封装表面在测量过程中近似保持为没有温度变化的等热表面,热沉须与封装面紧密接触,以减小二者之间的热阻,同时在热沉上安放高准确度的温度传感芯片,用以监测热沉保持热平衡状态,测量电路框图如图 3。测量电流 I_M 和加热电流 I_H 由两个可调恒流源提供, I_M 和 I_H 通过高速模拟开关控制施加到被测 LED 上,考虑到 I_H 通常比较大,超出模拟开关的输入电流上限,故 I_H 通过功率场效应管加到被测 LED,由模拟开关控制功率场效应管的开闭。此外 I_M 和 I_H 分别通过两个精密电阻作为电流传感器用以测量二者的电流大小, I_H 用以计算耗散功率 P_H。电流传感器、被测器件和温度传感芯片的电压信号送往高速数据采集卡进行采样输出,同时模拟开关由数据采集卡上的数字输出口控制。

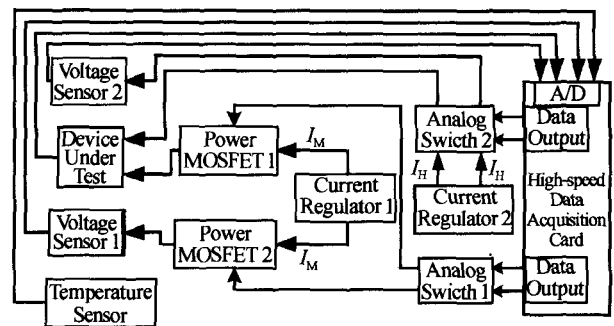


图3 测量电路框图

Fig. 3 Block diagram of measuring circuit

4 测试过程及结果

上述试验装置对 1×1 mm 的超高亮度 LED 进行了测试。

1) 首先测定温度系数 K , 测量电流 I_M 设为 5 mA, 为减小测试环境温度变化和数据采集带来的误差, 调节恒温箱在 25~100℃ 选取了 8 个温度点对被测 LED 的正向压降进行采样, 并用最小二乘法对采样数据进行线性拟合, 拟合结果 $K=0.49\text{℃}/\text{mV}$, 相关系数为 0.99851, 标准误差 0.01℃/mV, 测试数据与拟合直线如图 4.

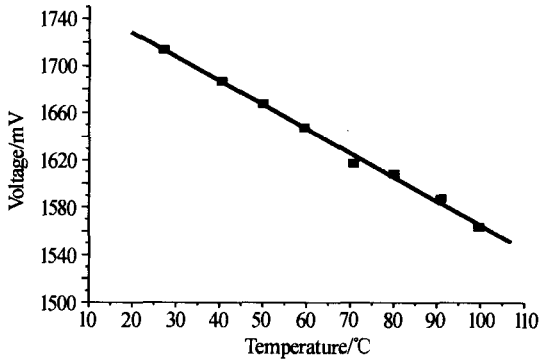


图 4 线性拟合结果
Fig. 4 Result of linear fitting

2) 然后将恒温箱温度设定为 30℃, 加热电流 I_H 设为 100 mA, 加热 15 min 待 LED 达到热平衡后将 I_H 切换至 I_M , 并以 15 μs 为间隔对 LED 正向压降采样, 测试数据如图 5. 横轴为测量延迟时间 t_{MD} , 纵轴为不同 t_{MD} 与加热前 LED 的正向压降差取对数的结果. 对排除了非热切换效应的数据进行线性回归分析, 将回归直线反向延长与纵轴截距 $a=17.9\text{ mV}$, 选取 $t_{MD}=60\text{ μs}$, 该点对应的纵坐标 $b=16.8\text{ mV}$, $a/b=1.065$ 作为 PN 结冷却效应校正系数.

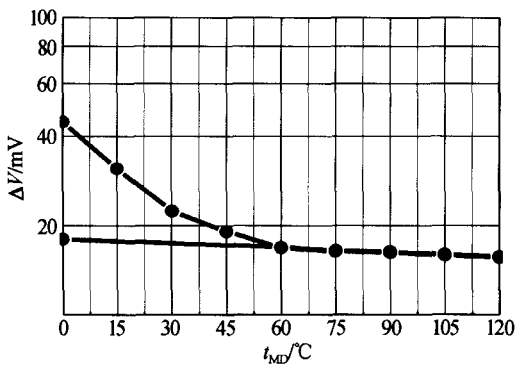


图 5 冷却曲线
Fig. 5 Cooling curve

3) 分别设定加热电流 I_H 为 100、150、200、250、300 mA, 达到热平衡后将 I_H 切换至 I_M , 记录 V_{FI} 、

V_H 和 V_{FF} , 以 $P_H=V_H \times I_H$ 为横坐标, $T=K \times (a/b) \times (V_{FF}-V_{FI})$ 为纵坐标, 绘出测试数据并用最小二乘法进行线性拟合, 其斜率即为热阻. 拟合结果如图 6, $R_{\theta JC}=37.6\text{℃}/\text{W}$, 相关系数 0.99887, 标准误差 1.0℃/W.

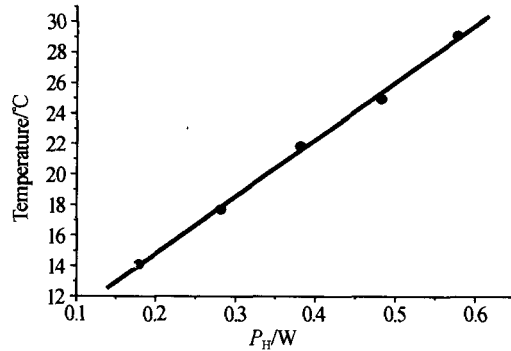


图 6 线性拟合结果
Fig. 6 Result of linear fitting

5 结论

试验中由于数据采集卡数字量输出、模拟开关和功率场效应管切换时间的存在会影响 I_H 到 I_M 的快速切换, 这些器件的开关时间应尽可能的小; A/D 转换器分辨率和采样率的限制会影响冷却效应曲线测试的准确度, 可考虑使用更高性能的 A/D 转换器减小测量的误差; 热沉的大小和安装会影响被测 LED 封装表面的热分布, 须与封装面紧密接触, 并尽可能满足“无限大”热沉的测试条件.

参考文献

- 冯士维, 谢雪松, 吕长治, 等. 半导体器件热特性的电学法测量与分析. 半导体学报, 1999, 20(5): 358~364
Feng S W, Xie X S, Lü C Z, et al. Acta of Semiconductor, 1999, 20(5): 358~364
- EIA/JEDEC Standard JESD51-1. Integrated Circuits Thermal Measurement Method - Electrical Test Method (Single Semiconductor Device). USA: ELECTRONIC INDUSTRIES ALLIANCE, 1995. 3~7
- 李秉乾, 布良基, 甘雄文, 等. LED 正向压降随温度的变化关系研究. 光子学报, 2003, 32(11): 1349~1351
Li B Q, Bu L J, Gan X W, et al. Acta Photonica Sinica, 2003, 32(11): 1349~1351

Study on Measurement Method of Thermal Performances for High Power LED and its Applications

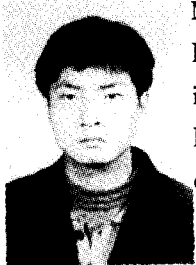
Ma Chunlei, Bao Chao

State Key Laboratory of Modern Optical Instrumentation, Zhejiang University, Hangzhou 310027

Received date: 2005-09-06

Abstract The measurement principle and procedure based on the dynamic electrical measurement method for thermal resistance and junction temperature of high power LED and the factors which influenced measuring results were investigated. At the same time, the setup of the test system for the measuring of thermal resistance was designed. The experimental results show that the method has the advantages of simple structure and good stability, and it can be performed to measure thermal resistance and junction temperature of high power LED as an effective measurement method.

Keywords High power LED; Thermal resistance; Junction temperature



Ma Chunlei was born in 1975, in Qinghai Province, China. He received B. S. degree in Department of Precision Instrumentation, Xi'an University of Technology in 1999. Now he is pursuing his M. S. degree at State Key Laboratory of Modern Optical Instrument, Department of Optical Engineering, Zhejiang University. His current interest is in testing optoelectronic devices.