

结构函数在大功率LED热阻测试中的应用

高玉琳, 吕毅军, 陈忠

(厦门大学物理系, 福建省半导体照明工程技术研究中心, 福建厦门361005)

摘要: 利用从瞬态热响应曲线中解析出的包含热阻、热容的结构函数, 对大功率发光二极管(LED)传热路径上的热结构特性进行了分析。结果表明, 用该方法不仅能得到器件结到环境的总热阻, 更为重要的是还可从结构函数曲线图上直观地对器件各结构层的热阻进行分析, 且测量重复性好, 从而为评价器件的封装质量、散热性能提供直接、可靠的依据。

关键词: 功率型LED; 结构函数; 热阻

中图分类号: TN312.8 文献标识码: A 文章编号: 1001-5868(2008)03-0329-03

Thermal Measurement of Power LED by Structure Function

GAO Yu-lin, LV Yi-jun, CHEN Zhong

(Dept. of Physics Fujian Engineering Research Center for Solid-State Lighting

Xiamen University, Xiamen 361005, CHN)

Abstract: As a novel evaluation method, structure function, extracted from the real time thermal transient measurement, was employed to analyze the thermal resistance of power light-emitting diode (LED). Both the thermal resistance of junction to the ambient and those of different layers in the heat-flow path can be obtained from the structure function curves. Based on this heat-flow path map, the package quality and defect location of the device can be evaluated directly and reliably.

Key words: power LED; structure function; thermal resistance

1 引言

随着发光二极管(LED)的发光效率、寿命、可靠性等性能的提高, 特别是大功率LED(又称功率型LED)的发展, LED已经开始作为光源而应用于照明领域中。但是, 功率型LED的散热问题是目前阻碍其迅速发展和普及的难题之一。相对于作为指示用的LED, 大功率LED由于耗散功率的增加, 其芯片pn结结温会显著升高, 而结温的升高会使LED器件的光、电性能等发生显著改变, 如发光效率下降、峰值波长漂移、色坐标发生变化、正向电压改变、寿命降低等^[1-3], 同时, LED多以环氧树脂封装, 如

果其结温过高, 封装材料变性, 也容易导致器件失效。因此, 对于大功率LED来说, 其散热性能的好坏决定其性能的优劣, 而热阻则是表征器件散热性能的重要热学参数, 但热阻测量标准不一、测量重复性差的问题长期困扰着业界, 特别是对LED这种特殊的发光器件, 其测量方法又与传统半导体器件有所区别。

近年来, 在半导体领域中研究封装器件热学特性的一个重要方法是利用从瞬态热响应获得的数据中, 建立动态热学模型来分析出器件的热学参数。大功率LED的热传导路径如图1所示, 在热传输的过程中, 由于不同材料之间的热阻、热容不同, 它们的温度响应也不相同, 对于LED内部结构, 最直接的等效热学模型为分布参数模型, 但这种基于器件结构的热学传输模型的参数不易获得, 因此通常采

收稿日期: 2008-06-05.

基金项目: 国家“863”计划重大专项项目(2006AA03A175); 福建省自然科学基金项目(T0650019); 福建省科技项目(2006H0092); 厦门大学创新项目(XDKJ CX 20063014).

用集中等效热学模型^[4],如:Foster 网络模型(如图2)和Cauer 网络模型(如图3)。其中,Foster 网络是抛开了器件内部传热结构的外部等效模型,其参数获取及相应数值计算比较容易,但它不能反映器件的物理本质。而Cauer 网络模型则在一定程度上反映了器件内部的传热结构本质,尽管其参数获取相对麻烦,但能较好反映器件传热的物理本质,因此,人们普遍采用Cauer 网络模型来模拟半导体的热传输特性。基于Cauer 网络模型,V. Székely 等^[5]最早提出了采用结构函数的方法来分析半导体器件的热学特性:通过测量出器件在加热或冷却过程中的瞬态热响应曲线,抽取与热阻、热容有关的器件结构函数,从而分析出器件的热阻、热容等重要热参数。由于芯片的热响应时间在100 μs 内,要求具有较快时间响应、较高温度分辨率的测试设备来获取器件的温度瞬态响应曲线,这在一定程度上增加了该方法在半导体器件的热学特性分析上的困难,因此结构函数方法只在近年来随着测试仪器的发展才越来越多地引起关注^[6~8]。

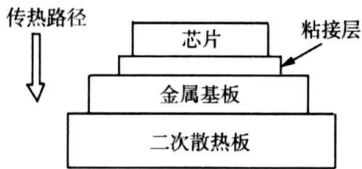


图1 LED的热传导示意图

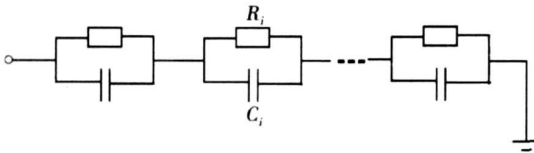


图2 Foster 网络模型

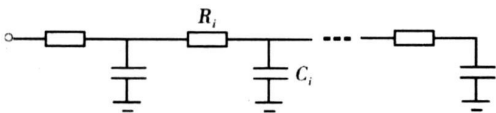


图3 Cauer 网络模型

2 实验

利用匈牙利 MicRed 公司生产的 T3ster 瞬态热测试仪(时间分辨率 1 μs, 温度测量精度 0.01 °C)获得器件的瞬态热响应曲线,其中加热电流为 300 mA,测试电流为 10 mA。根据 RC-Cauer 网络模型获得与热阻、热容有关的器件结构函数,从而得到器件的热阻、热容参数。器件的电压温度系数通过在小电流、不同温度下进行测试得到。在热阻计算

中,已经扣除了光功率的影响(光功率用 Teraled 光参数测试仪测出。其中,光学测量与热学测量同时控温进行)。下面我们将对同一白光 LED 在不同二次散热基板条件下的测试结果进行分析。

3 实验结果与讨论

图4为样品在控温热沉温度为 20 °C、加热电流为 300 mA 时的冷却曲线。横坐标为热响应时间,由于器件内不同部分热响应时间从 100 μs 到数十秒不等,因此采用对数坐标表示,纵坐标为冷却过程的升温。

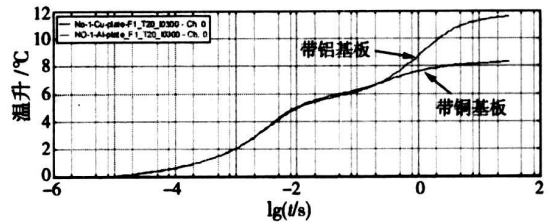


图4 样品的冷却曲线

对于具有 N 个单元的 RC-Cauer 网络,其温度瞬态热响应曲线可用下式近似:

$$a(t) = \sum_{i=1}^N a_i \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right) \right] \quad (1)$$

其中,τ_i为各个 RC 单元的时间常数,对于具有 N 个单元的 RC-Cauer 网络,就有 N 个分离的时间常数。而对于一个真实的热学系统则具有分布传输形式,因此其时间常数应为具有分布形式的连续谱,方程(1)改为一个普遍表达形式:

$$a(t) = \int_{-\infty}^{\infty} R(\zeta) \left[1 - \exp\left(\frac{-t}{\exp(\zeta)}\right) \right] d\zeta \quad (2)$$

其中,R(ζ)为连续的时间常数谱。由图4分析出白光 LED 器件的时间常数谱如图5。从时间常数谱对应的谱峰中,可以抽取 RC 网络的参数,从而得到器件的结构及结构函数。根据一维热传导方程有

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{c(x)} \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{1}{r(x)} \frac{\partial T}{\partial x} \right] \quad (3)$$

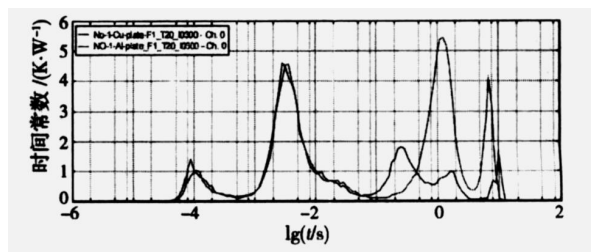


图5 样品的时间常数谱

其中, $c(x)$ 、 $r(x)$ 分别为单位长度上的热容和热阻, 如果以 x 处的热阻 $R(x)$ 为独立变量(其参考点为 $x=0$), 即

$$R(x) = \int_0^x r(\zeta) d\zeta \quad (4)$$

则式(3)可变为

$$\frac{\partial T}{\partial \alpha} = \frac{1}{K(R(x))} \frac{\partial T}{\partial R} \quad (5)$$

其中, 函数 $K(R(x)) = \frac{c(x)}{r(x)}$, 它可反映 RC 网络中参数(即器件热流通道上参数)的变化, 因此被称为结构函数。

图6就是从时间常数谱中抽取得到的器件的结构函数, 横坐标为热阻 R_{th} , 纵坐标为热容 C_{th} 。从图中可以清楚地分析出器件从芯片到散热片的各层热阻、热容值。曲线上变化比较平坦的区域对应着器件中热阻较大、热容较小的结构层(如 R_2 对应的结构层), 而比较陡峭的区域对应着器件中热容较大、热阻较小的结构层(如 R_1 、 R_3 对应的结构层)。根据 LED 器件热传输路径, 不难判断 R_1 为芯片的热阻, 大小为 1.5 K/W ; R_3 为器件内部热沉的热阻, 大小为 2.4 K/W ; R_2 为粘接层(如银浆等)的热阻, 大小为 4.5 K/W 。对于图中的两条测量曲线, 分别对应的是二次散热基板为铜基板和铝基板(二次散热基板与器件之间涂有导热硅胶), 而之前的芯片、粘接层、内部热沉均相同。因此在两次测量的结果中, 结构函数曲线从 R_3 以后开始分开, 不再重合在一起, 因此结构函数曲线中 R_3 以后就反映了二次散热基板的热阻: 其中 R_4 为导热硅胶和铜基板的热阻, R_4' 为导热硅胶和铝基板的热阻。在两条曲线上 R_4 、 R_4' 以后就反映环境(实验中的控温装置)的情况。

综上所述, 该白光 LED 内部热阻(即结到内部热沉的热阻)为

$$R_{js} = R_1 + R_2 + R_3 = 8.4 \text{ K/W}$$

而器件总热阻(即从结到环境的热阻)根据其不同的二次散热基板则分别为

$$R_{ja} = R_{js} + R_4 = 9.0 \text{ K/W (铜基板)}$$

$$R'_{ja} = R_{js} + R'_4 = 13.5 \text{ K/W (铝基板)}$$

需要说明的是, 以上各热阻值的计算中, 均进行了该白光 LED 温度系数的校正(如图7, 在小电流 $I=10 \text{ mA}$ 下的测试结果才是器件的温度系数, 即 K 为 $-1.466 \text{ mV}/^\circ\text{C}$), 且扣除了光功率对热阻值计算的影响(如: 20°C 时, 该白光 LED 光功率为 192 mW , 而其总功率耗散在 300 mA 时约 0.97 W , 因

此, 计算时如果不扣除光功率的话, 最终的热阻值将偏高 20% 以上)。

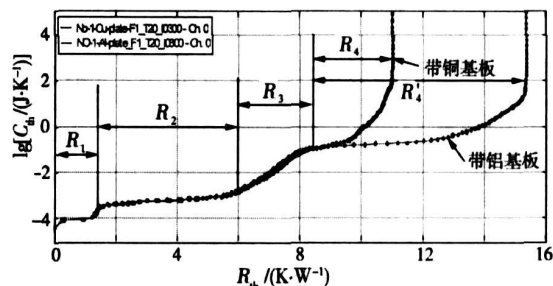


图6 样品的结构函数

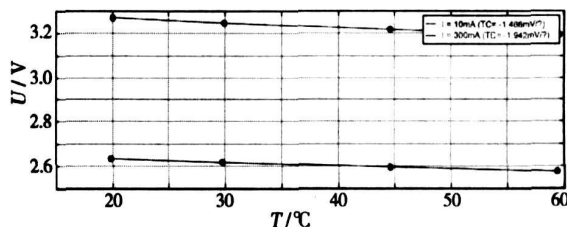


图7 样品的温度系数

4 结论

采用结构函数的方法, 分析了带不同二次散热板 LED 的热阻分布情况。相对于目前传统的半导体器件热阻测试中只能得到结到环境的总热阻来说, 结构函数作为一种新型的分析半导体器件的方法, 通过对器件的温度瞬态响应特性的分析, 可以方便、准确地得出热传导路径上不同材料层的热阻, 从而对评价器件的封装质量(如粘接层异常导致该层热阻增加等)提供直接、可靠的依据。

参考文献:

- [1] Chambers P, Austin Ed A D, Gunning M J, et al. Investigation of the peak power enhancement available from a surface emitting GaAlAs near-infrared light emitting diode by cooling and pulsing[J]. Measurement Science and Technol., 2003, 14: 2 006-2 014.
- [2] 李炳乾. 1 W 级大功率白光 LED 发光效率研究[J]. 半导体光电, 2005, 26(4): 314-316.
- [3] 余彬海, 王浩. 结温与热阻制约大功率 LED 发展[J]. 发光学报, 2005, 26(6): 761-766.
- [4] Bagnoli P E. Thermal resistance analysis by induced transient method for power electronic devices thermal characterization-part I: fundamentals and theory[J]. IEEE Trans. on Power Electronics, 1998, 13(6): 1 208-1 219.

(下转第 443 页)

$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 需要先关中断再访问临界区的代码,并且在访问完后重新允许中断。 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 定义了两个宏来禁止和允许中断: $\text{OS_ENTER_CRITICAL}()$ 和 $\text{OS_EXIT_CRITICAL}()$,移植实现这两个宏的汇编代码。

实际需要修改的只有 $\text{OSTaskStkInit}()$ 函数,其他五个函数需要声明,但不一定有实际内容。这五个函数都是用户定义的,所以 OS_PU_C.C 中没有给出代码。如果需要使用这些函数,可以将文件 OS_CFG.H 中的 $\#define$ constant OS_CPU_HOOKS_EN 设为1,设为0表示不使用这些函数。

$\text{OSTaskStkInit}()$ 函数由 $\text{OSTaskCreate}()$ 或 $\text{OsFaskCreateExt}()$ 调用,需要传递的参数是任务代码的起始地址、参数指针、任务的优先级,用来初始化任务的堆栈模拟发生一次中断后的堆栈结构。堆栈初始化工作结束后, $\text{OSTaskStkInit}()$ 返回新的堆栈栈顶指针。

$\text{OSTaskCreate}()$ 或 $\text{OSTaskCreateExt}()$ 将指针保存在任务的 OS_TCB 中。调用 $\text{OSTaskStkInit}()$ 给任务做一个初始的任务上下文堆栈。

整个 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 移植实现中^[4],需要提供几个必须由汇编实现的函数。它们分别是 $\text{OSStartHighRdy}()$ 、 $\text{OSCxSw}()$ 、 $\text{OSIntExit}()$ 、 $\text{OSTickISR}()$ 。

$\text{OSStarHighRdy}()$ 函数在 $\text{OSStart}()$ 多任务启动之后,负责从最高优先级任务的 TCB 控制块中获得该任务的堆栈指针 sp ,通过 sp 依次将 CPU 现场恢复。 $\text{OSCxSw}()$ 该函数是任务级的上下文切换函数, $\text{OSIntExit}()$ 函数是中断级的任务切换函数,以保证系统的实时性能。 $\text{OSTickISR}()$ 该函数是时钟中断处理函数,主要任务是负责处理时钟中断,调用系统实现的 OSTimeTick 函数。

6 结论

本文运用了嵌入式系统的设计思想和方法,构造了一套基于 S3C2410 、 OV7620 传感器芯片和 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的嵌入式视觉系统。系统调试好后,可以得到预期效果的图像。实际结果表明该方案结构简单,实时性强,体积小,运行稳定,整个系统达到了预期的目标,可广泛用于各种工业场合。在机器视觉系统的设计和实现过程中,采用了模块化的思想,具有良好的开放性,有利于功能扩展和系统升级。实验结果表明,机器视觉系统能够稳定可靠地工作,得到的图像清晰,基本达到了预期的目的。此外,研究成果也可推广到视觉监控、智能交通和智能玩具等领域,具有广阔的发展空间和应用前景。

参考文献:

- [1] 吴明辉. 基于 ARM 的嵌入式系统开发与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [2] OmniVision Uimited. OV511 Advanced Camera to USB Bridge[J]. Omni Vision Technology, 2000, 43(5): 632-638.
- [3] 李岩, 荣盘祥. 基于 S3C44B0X 嵌入式 UCLinux 系统原理及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [4] 田泽. 嵌入式系统开发与应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005.
- [5] 任哲. 嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 原理及应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2006.

作者简介:

向毅(1973—),男,四川岳池人,讲师,博士生,主要从事嵌入式系统,信号智能处理,无线传感器网络方向的研究。

E-mail: cqxiangyi@163.com

(上接第331页)

- [5] Székely V, Bien T V. Fine structure of heat flow path in semiconductor devices: A measurement and identification method[J]. Solid State Electron., 1988, 21: 1363-1368.
- [6] Lianqiao Y, Sunho J, Woongjoon H, et al. Thermal analysis of high power GaN-based LEDs with ceramic package[J]. Thermochimica Acta, 2007, 455(1-2): 95-99.
- [7] Rencz M, Poppe A, Kollár E et al. Increasing the accuracy of structure function based thermal material

parameter measurements [J]. IEEE Trans. on Components and Packaging Technol., 2005, 28: 51-57.

- [8] Székely V. THERMODEL: a tool for compact dynamic thermal model generation [J]. Microelectronics Journal, 1998, 29(4): 257-267.

作者简介:

高玉琳(1969—),女,重庆人,博士,副教授,主要从事半导体发光材料光学性质和半导体照明器件性能检测研究。

E-mail: ylgao@xmu.edu.cn