

文章编号:1673-9981(2010)04-0338-05

大功率 LED 芯片粘结材料和封装基板材料的研究

熊旺, 蚁泽纯, 王钢, 吴昊

(中山大学物理科学与工程技术学院半导体照明系统研究中心, 广东 广州 510006)

摘要:采用美国 Analysis Tech 公司生产的 Phase11 型热阻测试仪,以表征热问题的关键参数热阻为基础,分别对采用不同粘结材料和封装基板的 LED 进行了测试,并通过结构函数对 LED 传热路径上的热结构特性进行了分析。结果表明,GaN 陶瓷封装基板、MCPCB 板以及塑料 PCB 板的 LED 总体热阻分别为 8.95、10.66 和 22.48 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$;采用 Sn20Au80 和银胶芯片粘接的 LED,芯片到 Cu 热沉的热阻分别为 3.75 和 4.80 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 。因此对于大功率 LED 封装,可在结构函数的指导下选择材料,实现降低热阻,提高 LED 寿命和稳定性的目标。

关键词:大功率 LED; 热阻; 结构函数

中图分类号: O475

文献标识码: A

LED 作为第四代的照明光源,其未来的发展方向是普通照明领域,用固体光源 LED 取代白炽灯、荧光灯等传统照明光源已成为未来 10 年内的发展目标^[1]。大功率 LED 的散热问题是目前阻碍其迅速发展的难题之一。由于芯片散热不良会造成热量的积累,从而使得 LED 芯片结温升高,严重影响 LED 的光效、寿命和可靠性^[2-3],因此如何利用新型材料降低 LED 的热阻成为重要的研究课题。

热阻是评判 LED 散热能力的关键参数,对其进行测量具有重要的意义。现今的热阻测量方式包括红外热像仪^[4],W/B 定标法^[5],波峰偏移法^[6]等,上述方法都有稳定性和可重复性差,并且无法获得封装内部各部分热结构的缺陷。本文利用正向电压法的瞬态热学测量,可从降温曲线中解析出包含热阻、热容的结构函数,得到封装各部分的热阻值^[7]。对大功率 LED 传热路径上的热结构特性进行分析,阐明封装中各部分结构的优劣。另外测量了不同粘结材料和封装基板的 LED 热阻,得到不同粘结材料和封装基板对 LED 封装热阻及结温影响的规律。

1 实验及结果

采用美国 Analysis Tech 公司生产的 Phase11 型热阻测试仪,以表征热问题的关键参数热阻为基础,分别对采用不同粘结材料和封装基板的 LED 进行了测试。

粘连材料的实验所用芯片均为台湾晶圆公司生产的蓝宝石衬底大功率 LED。而基板材料的实验,则用的是中昊光电公司生产的同一个大功率 LED,通过导热胶将其封装在不同的基板上。

1.1 温度敏感系数 K 的测量

在相同小电流条件下,忽略其自加热效应,PN 结电压和结区温度有良好的线性关系^[8-9],这一特性被用于测量和分析半导体器件工作时的温升,LED 的温度系数就是这个线性关系的斜率。定标后的 LED 结区可当做一个温度探测器,用于测量热阻。

实验时将 LED 放在校准锅内,油浴加热和散热,LED 通以 1 mA 的测量电流。加热浴锅,使油温达到较高的温度(一般不超过 LED 芯片允许的最高

收稿日期:2010-10-11

作者简介:熊旺(1986—),女,重庆人,硕士研究生。

温度 120 ℃),通过热电偶测量油浴温度,作为LED的结温.然后使温度缓慢下降,每隔 5 ℃读取一次LED两端的电压值,即可得到芯片的K曲线.

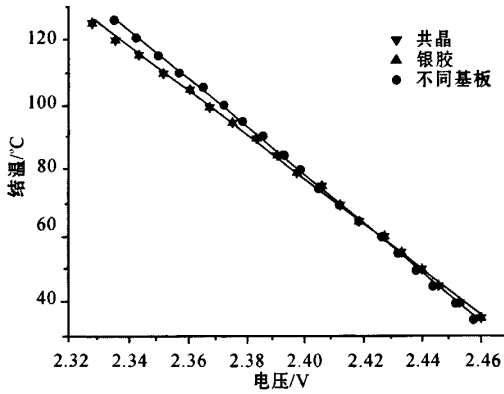


图1 K系数测量曲线

由图1可以看出,K曲线的线性良好,这是由于实验中的测试电流为1 mA,不足以使有源区产生显著的自加热效应,因此,电压与结温之间的线性关系明显.另外由于K值与材料的掺杂浓度、电子和空穴的扩散系数,少数载流子寿命,导带和价带的有效态密度等因素相关,因此对于同一批次生产的芯片无论是采取共晶还是银胶封装,K曲线基本一致,而对于不同厂家、批次的芯片,K曲线的斜率和截距则出现差异,但线性关系仍良好.

1.2 热阻的测量

正向电压法测量原理由 V. Székely^[7] 首先提出,它是利用正向电压法得到瞬态热响应曲线,并从解析出瞬态热学函数,对大功率LED传热路径上的热结构特性进行分析.因此测量首先是要得到瞬态温度变化曲线,本实验中测量的瞬态温度变化曲线是从大电流(加热电流)变化为小电流(测试电流)时的温度冷却曲线.

芯片结温的温度冷却曲线可以写为:

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

令 $z = \ln t$ 并对 $a(t)$ 求导得到:

$$\frac{d}{dz}a(t) = R(z) * W(z) \quad (2)$$

式(2)中, $R(z)$ 为时间常数谱, $W(z) = \exp[z - \exp(z)]$, * 代表卷积运算.

通过对时间常数谱的离散化,可抽取阻容(RC)

的 Foster 型热学网络^[10],如图2(a)所示.但由于物质的热容仅与其物体本身的温度相关,而不是由 Foster 型热学网络中的两节点温度差决定,因此 Foster 型热学网络中的热容无实际物理意义,于是通过数学关系转换可得到 Causer 型热学网络与实际对应(图2(b)).

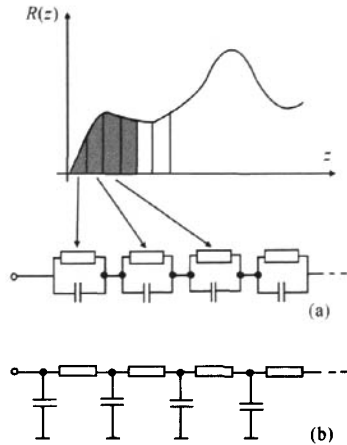


图2 热学网络

(a) Foster型; (b) Causer型

将 Causer 模型中的各个热阻热容进行叠加,得到积分结构函数:

$$C_{\Sigma} = f(R_{\Sigma}) \quad (3)$$

$$\text{式(3)中, } C_{\Sigma} = \int_0^x c(\zeta)A(\zeta) d\zeta, R_{\Sigma} = \int_0^x \frac{1}{\lambda(\zeta)A(\zeta)} d\zeta,$$

其中 c 为体积热容, λ 为热导率, A 为横截面积.积分的原点为热源点,即有源层,从原点开始 x 轴正向对应热流流动方向上各部分的热学特性,即对应热流方向的有源区、衬底、芯片粘连材料、内部热沉金属块 Cu、导热胶、基板,最后到达周围空气.

对积分结构函数求导可得微分结构函数:

$$K(R_{\Sigma}) = \frac{dC_{\Sigma}}{dR_{\Sigma}} = c(x)\lambda(x)A^2(x) \quad (4)$$

由此可见,积分结构函数的陡峭区域和微分结构函数的波峰对应于器件中热容大、热阻小的结构,而积分结构函数的平坦区域和微分结构函数的波谷就对应于器件中热容小、热阻大的组成结构.

在实验中,由于所选取的发光二极管都是 1 W 的大功率 LED,因此加热电流选择 350 mA,热量从

芯片有源层产生,通过有源区、衬底、芯片粘连材料、内部热沉金属 Cu 块、导热胶、基板,最后到达周围空气中.当加热达到稳定时,再通过开关快速切换到测量电流 1 mA.在冷却过程中,芯片层的热响应时间很短,通常为 μs 数量级,因此对于采集电压数据的记录仪要求很高,本实验中的数据采集最小值为 $3 \mu\text{s}$.

另外,由于所测量的是芯片到基板底部的热阻,

因此在基板底部放置一个热电偶,上方通过气压枪将 LED 与热电偶压紧,热电偶的读数即为 LED 基板的温度.基板底部通过固定功率和风向的风扇进行对流散热.

对于不同基板材料的实验,利用同一个中昊光电生产的大功率 LED,通过导热胶封装在不同的基板上,包括 GaN 陶瓷基板,MCPCB 板以及塑料 PCB 板,得到如图 3 所示的微分结构函数.

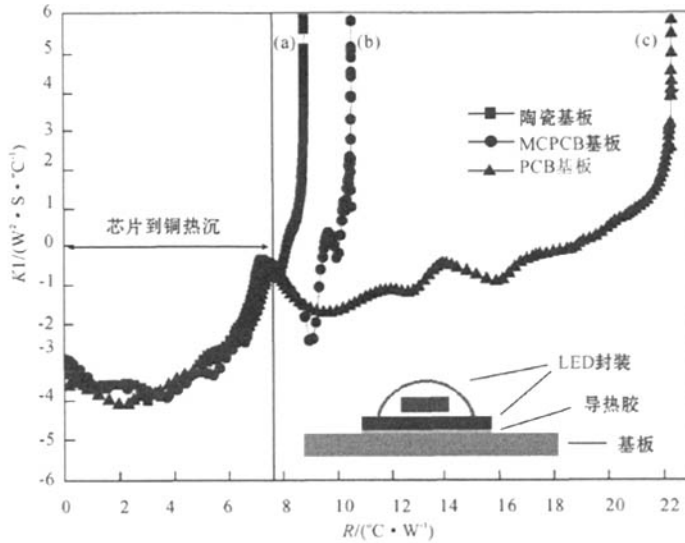


图 3 不同基板下的微分结构函数

(a) GaN 陶瓷; (b) MCPCB; (c) PCB

从图 3 可看出,微分结构函数最后部分均趋于无穷大,这是由于基板底部相当于连接到整个周围环境,其热容为无穷,因此结构函数直线上升.另外,由于均用同一个 LED 测量,因此微分结构函数前面部分(即从芯片到内部 Cu 热沉)的微分函数基本一致,仅在峰值之后出现差别,即差别仅出现在封装基板的部分,由此通过后面的差异部分即可判断基板材料的散热性能的好坏.由图 3 可知,GaN 陶瓷基板,MCPCB 板以及塑料 PCB 板的总体热阻分别为 $8.95 \text{ }^\circ\text{C}/\text{W}$, $10.66 \text{ }^\circ\text{C}/\text{W}$ 和 $22.48 \text{ }^\circ\text{C}/\text{W}$,由此可见,GaN 陶瓷基板的热阻最小,其散热情况最好,并且由于 GaN 陶瓷的热膨胀系数与芯片最接近^[11],因此相对于 MCPCB 以及塑料 PCB 板,陶瓷基板是较好的封装材料.

由于芯片粘连层对于 LED 的散热和稳定性有着极其重要的影响,因此,对相同芯片的不同粘连材料进行了热阻的测量.芯片均选取台湾晶圆公司生产的同批次蓝宝石衬底大功率 LED,分别用 Sn20Au80 共晶和银胶芯片粘接固化在相同的支架上,再通过导热胶封装在 MCPCB 板上.测试结果如图 4 所示.

由于芯片都来自晶圆公司的同一批产品,因此芯片部分的热阻一致,为 $1.0 \text{ }^\circ\text{C}/\text{W}$.由于粘接层与内部 Cu 热沉的分界点不够明显,因此选用 Cu 热沉的峰值点作为参照点,得到共晶及银胶的芯片到 Cu 热沉的热阻分别为 $3.75 \text{ }^\circ\text{C}/\text{W}$ 和 $4.80 \text{ }^\circ\text{C}/\text{W}$,由此可见,共晶的热阻小于银胶,更有利于 LED 芯片的散热.

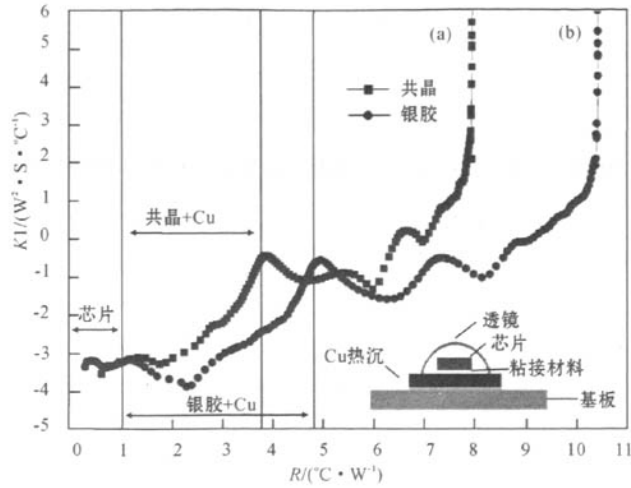


图4 不同粘接材料下的微分结构函数
(a)共晶; (b)银胶

2 结论

采用 Phase11 型热阻测试仪,利用正向电压法,分别对不同粘接材料和封装基板的 LED 进行了测试.分析了正向电压法的测量原理,并对由降温曲线导出的微分结构函数进行分析,得到了芯片内部各部分所对应的热阻值,为后续的测量打下了基础.最后对 GaN 陶瓷基板,MCPCB 板以及塑料 PCB 板的热阻进行测量,发现以 GaN 陶瓷为基板的封装方式热阻最小;另外对共晶和银胶封装的芯片进行对比,发现共晶更有利于 LED 的散热.因此在进行 LED 封装时,通过结构函数可以分析封装的内部结构,预测分析封装形式的优劣,对于选择合适的材料以降低热阻具有一定的指导意义.

参考文献:

[1] 武毅.绿色光源——LED[J].灯与照明,2005,30(2):45-48.
 [2] FARKAS G, POPPE A J S. Complex characterization of power LEDs, simultaneous measurement of photometric/radiometric and thermal properties[C]. In CIE LED Conference, Tokyo;2004.
 [3] HU Jian-zheng, YANG Lian-qiao, SHIN M W. Electrical, optical and thermal degradation of high power GaN/InGaN light-emitting diodes[J]. Journal of Physics D-Applied Physics, 2008, 41(3):035107.

[4] BINGFENG F, HAO W, YU Z, et al. Thermal study of high-power nitride-based flip-chip light-emitting diodes [J]. Electron Devices, IEEE Transactions on, 2008, 55(12): 3375-3382.
 [5] GU Y, NARENDRAN N. A non-contact method for determining junction temperature of phosphor converted white LEDs [C]//Proceedings of SPIE. Washington Bolinham;[s. n.],2004: 107-114.
 [6] CHHAJED S, XI Y, GESSMANN T, et al. Junction temperature in light-emitting diodes assessed by different methods[C]//Proceedings of SPIE. Washington Bolinham;[s. n.],2005: 16-24.
 [7] SZÉKELY V. A new evaluation method of thermal transient measurement results[J]. Microelectronics Journal, 1997,28:277-292.
 [8] XI Y, SCHUBERT E F. Junction-temperature measurement in GaN ultraviolet light-emitting diodes using diode forward voltage method[J]. Applied Physics Letters, 2004,85(12):2163-2165.
 [9] KEPPENS A, RYCKAERT W R, DECONINCK G, et al. High power light-emitting diode junction temperature determination from current-voltage characteristics [J]. Journal Of Applied Physics,2008,104:093104.
 [10] V. Szekeley. Fine structure of heat flow path in semiconductor devices: a measurement and identification method [J]. Solid-state Electronics, 1988, 31 (9): 1363-1368.
 [11] HU Jian-zheng, YANG Lian-qiao, SHIN M W. Ther-

mal and mechanical analysis of high-power LEDs with ceramic packages[J]. IEEE Transactions on Device and

Materials Reliability, 2008,8(2):297-303.

Study on die attach and heat sink materials for high power LED

XIONG Wang, YI Ze-chun, WANG Gang, WU Hao

(Sun Yat Sen University, School of physics and engineering, Center for solid-state light system, Guangzhou 510006, China)

Abstract: In this paper, based on the key parameter thermal resistance, we use Analysis Tech company's Phase11 thermal analyzer to study different dies attach and heat sink materials for high power LED. By using the evaluation of structure function, we analyze the thermal structure characteristic. The thermal resistance from chip to board for GaN ceramic, MCPCB and PCB heat sink is 8.95, 10.66, and 22.48 °C/W, respectively. And the thermal resistance from chip to Cu heat slug for eutectic and Ag grease is 3.75 and 4.80 °C/W, respectively. The results show that under the instruction of structure function, it is possible to fabricate high power LED with small thermal resistance, long durability and stability by applying appropriate new materials.

Key words: high power LED; thermal resistance; structure function