Comparative Study on Heat Dissipation Performance of Two Thermal-Electric Separation Substrates *

QIN Diancheng^{*}, XIAO Yonglong

(Rayben Technologies(Zhuhai)Limited,Guangdong LED Package-Used Heat Dissipation Substrate Engineering Technology Research Center,Zhuhai Guangdong 519180,China)

Abstract: On the base of thermos-electric separation concept, FR4/Cu substrate and FR4/AlN substrate, which were expected to be high thermally conductive, were fabricated and then mounted with 13 W Osram S2W LEDs employing SMT technology to prepare LED modules. The LED's junction temperature was evaluated employing junction temperature tester with the temperature on the bottom side of the above mentioned substrates fixed constant by semiconductor refrigeration temperature control platform. The LED's thermal power was obtained by measuring their total power values and radiant power values using DC Power and integrating sphere respectively. After that, a comparative study on the heat dissipation performance, characterized by module's thermal resistance in relation with LED's junction temperature and thermal power, between FR4/Cu and FR4/AlN substrates was performed. It was found that FR4/Cu substrate presents a slightly better heat dissipation performance than FR4/AlN substrate respectively, the junction temperatures were 49.72 °C and 51.32 °C and the thermal resistances were 2.21 °C/W and 2.31 °C/W correspondingly.

Key words: thermoelectric separation; LED; module; FR4/Cu substrate; FR4/AlN substrate; junction temperature; thermal; heat dissipation

EEACC: 2570 doi: 10.3969/j.issn.1005-9490.2019.01.014

两种热电分离式基板导热性能的对比研究*

秦典成*,肖永龙

(乐健科技(珠海)有限公司,广东省 LED 封装散热基板工程技术研究中心,广东 珠海 519180)

摘 要:基于热电分离式设计理念,开发出 FR4/Cu 与 FR4/AIN 两种高导热散热基板,并利用 SMT 工艺将 13 W 的 Osram S2W 型 LED 灯珠分别与上述两种散热基板焊接后组装成 LED 模组;利用半导体制冷温控台恒定散热基板底部温度后,使用 结温测试仪对 LED 的结温进行了测试。同时借助直流电源和积分球分别对 LED 的总功率和光功率进行了测量后得到了模 组的热功率值。最后根据 LED 结温测试结果与热功率值计算得出了模组的热阻值,并在此基础上对两种基板的散热性能进 行了对比研究。结果表明,FR4/AIN 基板的散热性能较之 FR4/Cu 基板稍逊。当使用 FR4/Cu 基板散热时,LED 的结温和热 阻分别是 49.72 ℃、2.21 ℃/W。当使用 FR4/AIN 基板散热时,LED 的结温和热阻分别是 51.32 ℃、2.32 ℃/W。

关键词:热电分离;LED;模组;FR4/Cu基板;FR4/AlN基板;结温;热阻;散热性能

中图分类号:TN305.94 文献标识码:A 文章编号:1005-9490(2019)01-0066-04

随着电子元件及设备高功率、轻量化、小型化与 高集成度的发展趋势已日见明朗^[1-2],随之而来的 散热问题也愈来愈突出。热量集中容易导致电子元 件及设备芯片结温升高、整体性能恶化、寿命大幅度 降低。有研究指出,电子封装器件的结温每升高 10℃~15℃,其寿命就会减少一半以上^[3-4]。因此 可以看出,散热问题现已逐渐发展成为限制其进一 步发展的技术瓶颈。普通金属基板 MCPCB(Metal

项目来源:广东省 LED 封装散热基板工程技术研究中心协同创新与平台环境建设专项项目(509141674069) 收稿日期:2018-01-17 修改日期:2018-04-26

Core Printed Circuit Board)因绝缘层导热率过低而 无法满足大功率电子元件及设备的散热需求。因 此,如何进一步开发出同时具备高导热率及优良绝 缘耐压特性的散热基板材料便成为了研究者们竞相 研究的热点课题^[5-6]。

如图 1(a)及图 1(b)所示,为了给功率型电子 元件及设备提供高效的散热管理方案,本文基于热 电分离式设计理念,分别研制出 FR4/Cu 及 FR4/ AIN 两种散热基板材料。其中 FR4/Cu 基板通过在 铜基座上利用蚀刻的方法制作成散热凸台,然后利 用压合工艺将其与由铜箔、半固化片及增强材料所 构成的 FR4 材料完成复合,其中散热凸台可作为电 子元器件的安放点实现热量的快速传导;FR4/AIN 基板则是通过将表面金属化后的高导热 AIN 陶瓷 预先加工成小块单元,然后嵌入 FR4 材料的锣空 位,再利用压合工艺完成陶瓷与 FR4 材料的锣空 位,再利用压合工艺完成陶瓷与 FR4 材料的复合, 其中陶瓷块单元作为电子元器件的安放点实现热量

本文通过对两种热电分离式散热基板的导热性 能进行对比研究,分析造成二者导热性能差异的原 因,以期为实际工程应用提供理论指导并为业界同 行提供技术参考。





- 1 实验部分
- **1.1 实验原料及仪器设备** 原材料 FR4/Cu 基板(厚度:1.64 mm,凸台尺

寸:3.2 mm×5.5 mm×0.135 mm)、FR4/AlN 基板(厚度:1.64 mm,陶瓷尺寸:7 mm×7 mm×1.64 mm)、13 W Osram S2W型 LED 灯珠。

仪器设备 伏达 T-5 恒温控制系统、力兹 LEDT-300B 结温测试仪、远方 0.3 m HAAS-2000 积 分球光谱辐射计系统(含直流电源和积分球)。

1.2 实验过程

如图 2 所示,首先利用 SMT 工艺将 LED 分别焊 接在 FR4/Cu 基板与 FR4/AIN 基板上组装成 LED 模组。为方便起见,分别将利用 FR4/AIN 基板和 FR4/Cu 基板进行散热的 LED 模组编号为 1#和 2#。





(a) 1#LED模组

(b) 2#LED模组

然后,如图 3(a)与图 3(b)所示,利用半导体制 冷温控台控制好基板的底部温度($T_{\rm b}$)为(25±1)℃, 同时设置环境温度为(25±1)℃、设置湿度为 35%~ 65%,并参照 EIA/JESD51-1 及 GBT 24824-2009 标

图 2 使用热电分离式散热基板的 LED 模组



(a) 结温测试



(b) 基板底部恒温控制



(c) 热功率测试 图 3 结温和热阻测试

准,通过电压法借助结温测试仪在恒流 1 A 的条件 下对 LED 的结温(T_j)进行测试。最后,如图 3(c) 所示,利用积分球系统分别测量出 LED 的正向电流 (I_F)、正向电压(V_F)与辐射功率(P_R)。

待以上数据测试测试完毕,利用式(1)^[8]计算 出 LED 模组的整体热阻 *R*,并结合 LED 结温的高低 来评估两种基板散热性能的优劣。

$$R = (T_j - T_b)/P \tag{1}$$

式中:R 代表 LED 模组的热阻, T_j 代表 LED 结温, T_b 代表基板底部的温度,P 代表 LED 的热功率。

2 分析与讨论

图 4(a) 及图 4(b) 分别是在环境温度为(25±1)℃时,LED 在分别使用 FR4/Cu 基板和 FR4/AlN 基板时的结温(T_j)及对应散热基板底部的温度(T_b)曲线。





从图 4 中读取 1# LED 模组和 2# LED 模组的 LED 结温及对应基板底部温度值,结合直流电源所 测得的模组总功率及积分球所测得的辐射功率汇总 如表 1 所示。

表1 LED 模组相关测试结果

LED 模组	$T_{\rm j}$ /°C	$T_{\rm b}$ /°C	$I_{\rm F}/{ m A}$	$V_{\rm F}/{ m V}$	$P_{\rm T}/{ m W}$	$P_{\rm R}/{ m W}$	P/W
1#模组	49.72	25.52	1.00	13.23	13.23	2.294	10.94
2#模组	51.32	25.30	1.00	13.55	13.55	2.316	11.24

表 1 中, 模组的总功率 P_{T} 为 I_{F} 与 V_{F} 之乘积; 热功率 P 为总功率为 P_{T} 与辐射功率 P_{R} 之差。 由表 1 可知,使用 FR4/Cu 基板散热的 1# LED 模组与使用 FR4/AIN 基板散热的 2# LED 模组,其 LED 结温所对应的结温分别是 49.72 ℃和 51.32 ℃。结合热阻计算公式(1)可知,1#模组与 2#模组 所对应的热阻分别是 2.21 ℃/W 和 2.32 ℃/W。因 此可以看出,FR4/Cu 基板的散热性能较之 FR4/ AIN 要略好。

对于大多数材料而言,其热阻的计算公式^[9] 如下:

$$R_{\rm th} = L/(K \cdot A) \tag{2}$$

式中:L 材料的厚度、K 材料的导热系数、A 为材料的 有效导热面积。

一般情况下,铜合金的导热系数在 380 W/(m·K) 以上,AlN 陶瓷的导热率则大于 170 W/(m·K)。在 FR4/Cu 基板中,散热凸台的热阻 R_{th-Cu} 为 0.02 ℃/W; 在 FR4/AlN 基板中,陶瓷的热阻 R_{th-AlN} 为 0.2 ℃/W, 为 FR4/Cu 中散热凸台的 10 倍。然而结合 LED 的 热阻计算结果可知,1#模组的热阻仅比 2#模组的热 阻低 0.11 ℃/W,前者对应的 LED 结温仅比后者低 1.6 ℃。

本文所论述的两种热电分离式散热基板,其不同 材料之间是通过物理吸附和机械锁合作用完成复合。 就 FR4/Cu 散热基板而言,铜合金内部热量传递以自 由电子的运动为主,声子的扩散为辅。而在合金与绝 缘层的界面上,对热量传递起主要作用的电子则无法 通过^[10]。同时,由于界面两侧物质的属性不同,杂质 和缺陷聚集,会造成大部分声子发生散射而形成界面 热阻,从而只有少部分声子可以越过此界面扩散到绝 缘层中继续热量的传导[11-12]。因此,散热凸台的大 部分热量只能通过合金内部构成的散热网络进行传 播。而在 FR4/AlN 基板中情况则不同, 陶瓷与绝缘 层内部主要靠声子的扩散完成热传导[13],虽然声子 在界面处也会发生散射产生界面热阻,但陶瓷的热载 子中不含电子。因此较之 FR4/Cu 基板, FR4/AlN 基 板中的界面热阻会有所降低。同时,由于 FR4/Cu 基 板中金属与绝缘层的接触面积比 FR4/AlN 基板中陶 瓷与绝缘层的接触面积要大得多,使得 FR4/Cu 基板 的界面热阻远大于 FR4/AIN 基板。综上所述,虽然 Cu 的导热系数远远高于 AIN 陶瓷,但因界面热阻的 作用,最终导致FR4/Cu基板所表现出来的实际散热 性能仅仅略优于 FR4/AlN 散热基板。

3 结论

FR4/Cu 基板与 FR4/AlN 基板均为热电分离式设计,因前者界面热阻较之后者高出许多,使得后者在

AIN 导热率远低于 Cu 的情况下,其整体散热性能仅略 逊于前者。考虑到 FR4/Cu 基板选用铜基合金,其成本 远远高于 FR4/AIN 基板。所以,在同等条件下,FR4/ AIN 散热基板较之 FR4/Cu 散热基板更具应用优势。

参考文献:

- [1] Tang Yong, Lin Lang, Zhang Shiwei, et al. Thermal Management of High-Power LEDs Based on Integrated Heat Sink with Vapor Chamber[J]. Energy Conversion and Management, 2017(151):1-10.
- Liu Dongjing, Yang Haiying, Yang Ping. Experimental and Numerical Approach on Junction Temperature of High-Power LED [J]. Microelectronics Reliability, 2014(54):926-931.
- [3] Khaoula Ben Abdelmlek, Zouhour Araoud, Rabie Ghnay, et al. Effect of Thermal Conduction Path Deficiency on Thermal Properties of LEDs Package[J]. Applied Thermal Engineering, 2016(102):251–260.
- [4] Yoon Y G, Hyung J P, Jeong U H, et al. Life Time Comparison of LED Package and the Self-Ballasted LED Lamps by Simple Linear Regression Analysis[J]. Microelectronics Reliability, 2015 (55): 1779-1783.
- [5] 马振辉,黄金亮,殷镖,等. LED 散热铝基板用导热介质材料的 制备与性能研究[J]. 工程塑料应用,2011,39(12):50-53.

- [6] Anithambigai P, Shanmugan S, Mutharasu D, et al. Study on Thermal Performance of High Power LED Employing Aluminum Filled Epoxy Composite as Thermal Interface Material [J]. Microelectronics Journal, 2014(45):1726-1733.
- [7] 秦典成,李保忠,黄奕钊,等. 陶瓷复合 FR4 结构界面形貌与导热性能[J]. 半导体技术,2017,42(11):864-869.
- [8] 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.
- [9] 李志刚,张亚玲,曹博,等. IGBT 热阻测量方法的综述[J]. 电 子元件与材料,2015,34(9):25-30.
- [10] 石零,米铁,刘延湘. 固-固接触热传导的声子传递系数[J]. 低温与超导,2006,(3):176-178.
- [11] 张春伟,毕可东,王建立,等. 金属/非金属间界面热导的飞秒激
 光瞬态热反射法测量[J]. 中国科学(技术科学),2012,42(5):
 597-602.
- [12] Wasim Akhtar M, Yun Seon Lee, Dong Jin Yoo, et al. Alumina-Graphene Hybrid Filled Epoxy Composite: Quantitative Validation and Enhanced Thermal Conductivity [J]. Composites: Part B, 2017 (131):184-195.
- [13] Seran Choi, Jooheon Kim. Thermal Conductivity of Epoxy Composites with a Binary-Particle System of Aluminum Oxide and Aluminum Nitride Fillers [J]. Composites: Part B, 2013(51):140-147.



秦典成(1985-),男,汉族,湖北荆州人,硕士研究生,现任乐健科技(珠海)有限公司技术中心项目工程师,研究方向为 LED 散热管理,mike_qin@ rayben.com;



肖永龙(1988-),男,汉族,广东阳江 人,本科,现任乐健科技(珠海)有限公 司技术中心项目工程师,研究方向为 LED 散热管理,sean_xiao@rayben.com。