

嵌埋陶瓷基板散热的热阻问题分析

秦典成, 陈爱兵

(乐健科技(珠海)有限公司, 广东 珠海 519180)

摘要: 基于热电分离式设计理念, 首先将表面经金属化处理且具备高导热率的 AlN 陶瓷片局部嵌入导热率较低的 FR4 材料中, 利用压合工艺将二者复合制备成用于 LED 散热管理的嵌埋陶瓷基板; 然后借助 SMT 工艺将 LED 灯珠与上述散热基板组装成 LED 模组; 最后利用结温测试仪以及恒温控制系统对不同 AlN 尺寸及不同功率 LED 的上述模组进行了结温测试, 并依据结温测试结果对上述嵌埋陶瓷基板的散热能力进行了对比研究。结果表明, 当 LED 功率一定时, 随着 AlN 陶瓷片尺寸不断加大, 嵌埋陶瓷的扩散热阻及一维热阻均随之减小, 从而致使基板总热阻呈现出下降趋势, LED 的结温也因此而随之降低。而随着 LED 功率不断增加, 嵌埋同一尺寸 AlN 陶瓷片的散热基板因一维热阻保持不变, 扩散热阻不断增加, 从而导致基板的总热阻也不断增加。

关键词: 嵌埋陶瓷; LED; 结温; 热阻

中图分类号: TN312+.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-3962(2020)04-0332-05

Thermal Resistance Analysis of Ceramic Embedded FR4 Heat Dissipation Substrate

QIN Diancheng, CHEN Aibing

(Rayben Technologies (Zhuhai) Ltd. Co., Zhuhai 519180, China)

Abstract: Based on the thermoelectric separation concept, metalized AlN ceramic blocks of high thermal conductivity were embedded into FR4 materials of relatively low thermal conductivity for the preparation of ceramic-embedded substrates for LED heat dissipation management employing lamination technologies. Secondly, LED lamps were mounted on the aforementioned substrates to form LED modules, the junction temperature of which were tested using junction temperature tester and temperature control table in terms of different AlN sizes and different LED powers. Additionally, the heat dissipation performances of the aforementioned substrates were studied on the base of junction temperature test results. The result showed that when the LED powers were constant, both the spread thermal resistances and one-dimensional thermal resistances of the ceramic-embedded substrates decreased as the AlN block sizes increased, thus led to decreased overall thermal resistances.

Key words: ceramic embedded; LED; junction temperature; thermal resistance

1 前言

随着 LED 技术的迅速发展, LED 向大功率、轻量化与高光密发展的趋势已经日见明朗。与此同时, LED 的散热问题也日益突出^[1, 2]。合理的封装结构设计 with 散热连接材料是功率型 LED 获得理想散热效果的关键^[3, 4]。在散热连接材料中, 散热基板材料的导热性能对整个 LED 的使用寿命与性能稳定性有着不可忽视的影响^[5]。目前, LED 常用的散热基板材料以普通金属基板和陶瓷基板为主。普通金属基板为“三明治”结构, 即“铜箔-绝

缘层-金属基座”结构。其中, 绝缘层是由聚合物基体添加导热填料制成, 其导热系数虽较基体有较大的提升, 但仍不能满足大功率 LED 的散热需求^[6, 7]。陶瓷基板导热率较高, 但因其表面金属化较为困难、脆性大、加工不易、成本偏高等因素而应用受限^[8, 9]。

作者团队^[10]论述了一种嵌埋陶瓷基板的制备方法及其可靠性与散热性, 基本结构如图 1 所示。在其中陶瓷所在位置, 利用表面贴装技术(SMT)将 LED 灯珠(芯片)与陶瓷表面焊盘进行连接, 陶瓷仅起散热的作用。陶瓷与 FR4 基材通过层压技术, 借助 FR4 基材中半固化片在温度升高时的流动性与粘接性实现复合, 这样就实现了陶瓷的高导热率与 FR4 材料的易加工性(可在 FR4 材料上进行钻孔及成形加工)的有机结合, 使得嵌埋陶瓷基板在具备高效导热特性的同时, 机械加工成本也得到了大幅降低。

收稿日期: 2018-03-21 修回日期: 2018-07-24

第一作者: 秦典成, 男, 1985 年生, 工程师,

Email: mike_qin@rayben.com

DOI: 10.7502/j.issn.1674-3962.201803021

就嵌埋陶瓷基板而言, 对于指定的陶瓷种类, 陶瓷片的尺寸对基板的散热性能有着至关重要的影响。本文将从改变 AlN 陶瓷片尺寸出发, 深入研究不同功率条件

下, 基板对 LED 结温变化的影响规律, 以及陶瓷片尺寸及 LED 功率对基板总热阻的影响规律, 以期在实际工程应用提供参考。

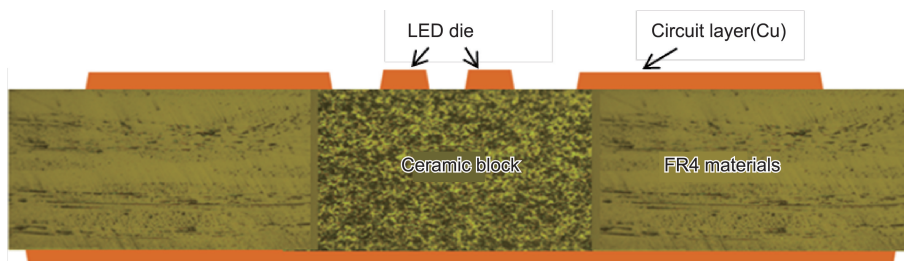


图1 嵌埋陶瓷基板结构示意图^[10]

Fig. 1 Structural representation of ceramic embedded FR4 heat dissipation substrates^[10]

2 实验

2.1 实验原材料与设备

实验原料: 嵌埋陶瓷基板 A (AlN 尺寸为 $10\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 1.0\text{ mm}$)、嵌埋陶瓷基板 B (AlN 尺寸为 $12\text{ mm} \times 12\text{ mm} \times 1.0\text{ mm}$)、嵌埋陶瓷基板 C (AlN 尺寸为 $15\text{ mm} \times 15\text{ mm} \times 1.0\text{ mm}$), 标记为 A, B, C, 各 3 片, LED 灯珠, 每种型号各 3 颗, 具体如表 1 所示 (AlN 导热率均为 $170\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$)。

实验设备: 结温测试仪、半导体制冷温控台、SMT 贴片机。

2.2 实验过程

如图 2 所示, 将表 1 中 3 种不同 AlN 尺寸的陶瓷嵌埋基板分别与 3 种不同的 LED 灯珠利用 SMT 工艺焊接组装成 LED 模组, 然后依据 EIA/JESD51-1 及 GBT 24824-2009 标准, 利用半导体制冷温控台将嵌埋陶瓷基板底部温度 (T_b) 恒定在 $(65 \pm 1)^\circ\text{C}$, 接着利用结温测试仪在恒流 1 A 时对 Ostar S2W 型灯珠进行结温测试、在恒流 2.5 A



图2 待测结温的 LED 模组照片

Fig. 2 Digital photos of LED modules ready for junction temperature test

时对 Ostar S2WN 型灯珠进行结温测试、在恒流 4.5 A 时对 Ostar S2WP 型灯珠进行结温 (T_j) 测试。上述实验经 3 次测试后取平均值,并用 LED 结温与基板底部温度差 T_j-T_b 对基板的散热性能进行表征。

表 1 LED 结温测试实验明细

Table 1 Experiment details for the junction temperature test of LED

No.	LED type	Power/W	AlN size	Note
1	Ostar S2W	13	10 mm×10 mm×1.0 mm	A
2	Ostar S2W	13	12 mm×12 mm×1.0 mm	B
3	Ostar S2W	13	15 mm×15 mm×1.0 mm	C
4	Ostar S2WN	32	10 mm×10 mm×1.0 mm	A
5	Ostar S2WN	32	12 mm×12 mm×1.0 mm	B
6	Ostar S2WN	32	15 mm×15 mm×1.0 mm	C
7	Ostar S2WP	60	10 mm×10 mm×1.0 mm	A
8	Ostar S2WP	60	12 mm×12 mm×1.0 mm	B
9	Ostar S2WP	60	15 mm×15 mm×1.0 mm	C

3 结果与讨论

图 3 是不同嵌埋 AlN 尺寸及灯珠的 LED 模组结温测试曲线。从图 3 中读取 LED 灯珠结温及嵌埋陶瓷基板底部温度,整理后如表 2 所示。从表 2 可知,当 LED 功率一定时,温度差值 T_j-T_b 随陶瓷片尺寸的增加而减小。如对于 13 W 的 Ostar S2W 灯珠,当陶瓷片尺寸分别为 10 mm×

表 2 LED 结温测试结果

Table 2 Test results for the junction temperature of LED

No.	LED Type	Power/W	$T_j/^{\circ}\text{C}$	$T_b/^{\circ}\text{C}$	$(T_j-T_b)/^{\circ}\text{C}$
1	Ostar S2W	13W	96.95	65.39	31.56
2	Ostar S2W	13W	92.94	65.54	27.4
3	Ostar S2W	13W	91.81	65.57	26.24
4	Ostar S2WN	32W	111.08	65.21	45.87
5	Ostar S2WN	32W	110.26	65.32	44.95
6	Ostar S2WN	32W	108.56	65.35	43.21
7	Ostar S2WP	60W	125.19	65.43	59.75
8	Ostar S2WP	60W	124.14	65.12	59.02
9	Ostar S2WP	60W	123.39	65.50	57.89

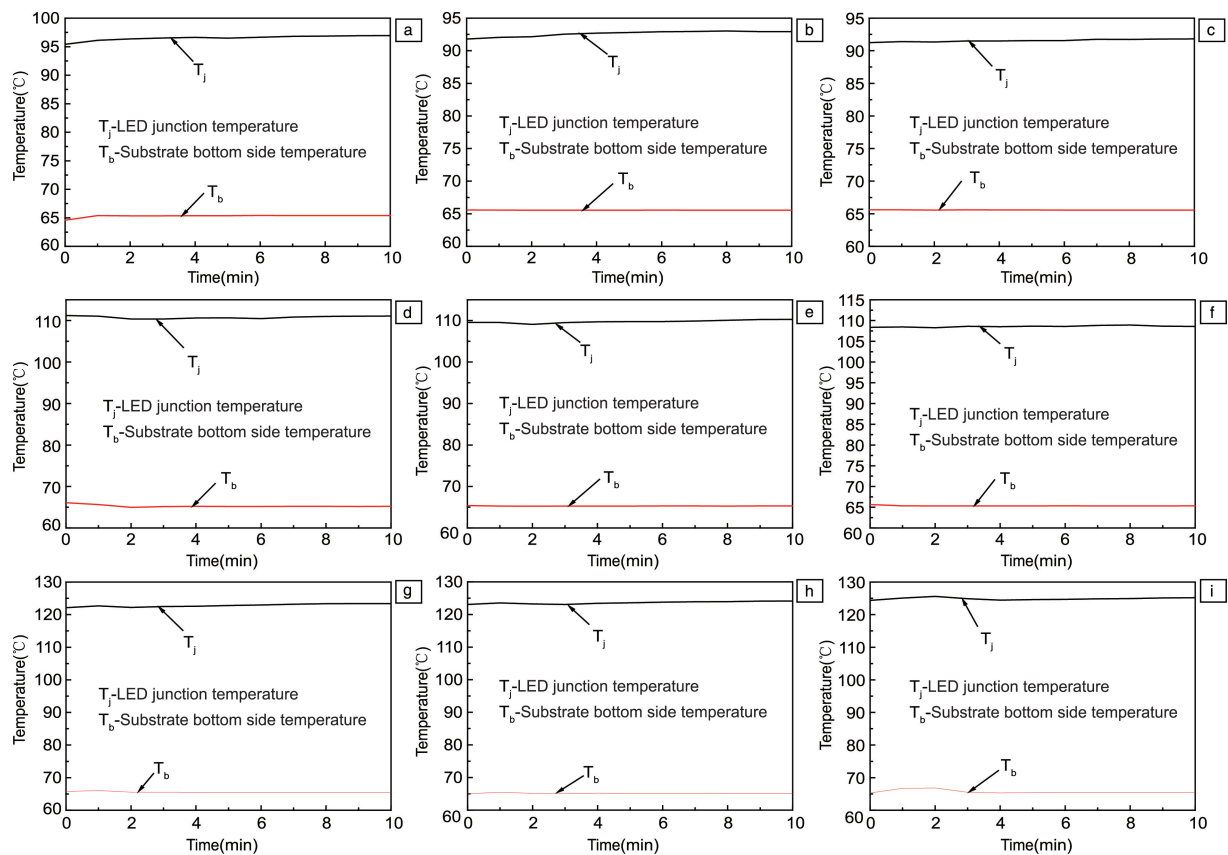


图 3 AlN 尺寸分别为 10 mm×10 mm×1.0 mm、12 mm×12 mm×1.0 mm、15 mm×15 mm×1.0 mm 时,LED 模组结温测试曲线:(a~c)13W LED 灯珠,(d~f)32 W LED 灯珠,(g~i)60 W LED 灯珠

Fig. 3 LED junction temperature curves of LED modules when AlN block size are 10 mm×10 mm×1.0 mm, 12 mm×12 mm×1.0 mm and 15 mm×15 mm×1.0 mm, respectively: (a~c) 13 W LED, (d~f) 32 W LED, (g~i) 60 W LED

10 mm×1.0 mm、12 mm×12 mm×1.0 mm 及15 mm×15 mm×1.0 mm 时, 对应的 T_j-T_b 分别为 31.56、27.4 和 26.24 °C。显然, 对于 32 W 的 Ostar S2WN 灯珠及 60 W 的 Ostar S2WP 灯珠, T_j-T_b 也有相同的变化规律。

一般地^[11-13], 材料的热阻由两部分组成: 一个是在厚度方向的一维热阻, 此热阻为一固定值; 另一个是在水平面上的扩散热阻, 与温度分布均匀性有关, 温度分布越均匀或温度梯度越小, 扩散热阻值就越小。在无机非金属材料中, 热传导主要通过声子传播进行^[14-17]。在陶瓷与 FR4 的接触面上, 因二者的微观组织结构差异, 加之界面处杂质较多, 容易对声子的传播造成散射, 热流无法全部穿越界面, 从而会在界面处造成一个温度差, 界面热阻的值可由界面温度差与流经界面热量的大小算得^[18, 19]。当 LED 功率一定时, 随着陶瓷片尺寸增加, 陶瓷与 FR4 材料的接触面积也随之而变大, 声子穿越界面的几率也随之增加, 最终造成界面两侧的温度差减小, 形成一个较小的温度梯度, 温度分布较为均匀。较小的温度梯度会形成较小的扩散热阻, 而较大的温度梯度会形成较大的扩散热阻, 因此, 陶瓷片尺寸的增大减小了散热基板的扩散热阻。同时, 陶瓷片表面积增加也会减小一维热阻。因此, 在一维热阻与扩散热阻同时减小的情况下, 热量的传播更为有效, 从而降低了 LED 的结温。

同样, 随着 LED 功率的增大, 当陶瓷片尺寸一定时, 单位面积上所聚集的热量也随之而增加。由于陶瓷与 FR4 导热系数相差极大, 声子在 FR4 一侧容易达到饱和。因此, 即便陶瓷侧热量聚集造成声子密度增加, 但多余的声子从陶瓷一侧跨越界面进入 FR4 的几率仍然比较小, 加剧了水平方向上界面两侧温度分布的不均匀性, 从而造成散热基板的扩散热阻也随之而增加。因此, 当 LED 功率增加时, 对于嵌埋同一尺寸陶瓷片的散热基板而言, 其总热阻随之加大。当 LED 功率比较小时, 增加嵌埋陶瓷片尺寸可取得较好的散热效果。而在 LED 功率较大时, 即使增加嵌埋陶瓷片的尺寸, 对 LED 结温的降低效果也将减弱。从表 3 中可以发现, 随着 LED 功率增加, 不同 AlN 尺寸对 T_j-T_b 的影响情况也不同。对于 13 W 的 Ostar S2W 灯珠, 当陶瓷片尺寸为 10 mm×10 mm×1.0 mm 时, T_j-T_b 为 31.56 °C。而当陶瓷片尺寸为 15 mm×15 mm×1.0 mm 时, T_j-T_b 为 26.24 °C, 前者比后者高出 5.32 °C; 对于 32 W 的 Ostar S2WN 灯珠, 当陶瓷片尺寸为 10 mm×10 mm×1.0 mm 时, T_j-T_b 为 45.87 °C。而当陶瓷片尺寸为 15 mm×15 mm×1.0 mm 时, T_j-T_b 为 43.21 °C, 前者比后者高出 2.66 °C; 对于 60 W 的 Ostar

S2WP 灯珠, 当陶瓷片尺寸为 10 mm×10 mm×1.0 mm 时, T_j-T_b 为 59.75 °C。而当陶瓷片尺寸为 15 mm×15 mm×1.0 mm 时, T_j-T_b 为 57.89 °C, 前者比后者高出 1.86 °C。这说明在一定条件下, LED 功率越小, 陶瓷片尺寸增加对促进结温降低的效果就越显著。

4 结 论

陶瓷片尺寸与 LED 功率对嵌埋陶瓷基板的散热性能有着较大的影响。在一定条件下, 陶瓷片尺寸越大, 基板总热阻就越小, 对 LED 的散热效果提升就越显著; 而 LED 功率越大, 基板总热阻也越大。相较于小功率条件, 在 LED 功率较大时, 增加陶瓷片尺寸对 LED 散热的强化作用减弱。

参考文献 References

- [1] HASHIM N H, ANITHAMBIGAI P, MUTHARASU D. Microelectronics Reliability[J], 2015, 55(5): 383-388.
- [2] TANG Y, DING X R, YU B H, *et al.* Applied Thermal Engineering[J], 2014, 66(1/2): 632-639.
- [3] 秦典成, 陈爱兵, 肖永龙, 等. 半导体光电子学[J], 2018, 39(3): 385-388.
- [4] QIN D C, CHEN A B, XIAO Y L, *et al.* Semiconductor Optoelectronics[J], 2018, 39(3): 385-388.
- [5] KIM D H, LEE J H, KIM J H, *et al.* Energy Conversion and Management[J], 2015, 106(12): 958-963.
- [6] LI Q M, GUI Y G, QI W, *et al.* Materials and Design[J], 2016, 89(1): 597-603.
- [7] WUA H H, LIN K H, LIN S T. Microelectronics Journal[J], 2012, 43(4): 280-287.
- [8] 马振辉, 黄金亮, 殷鏖, 等. 工程塑料应用[J], 2011, 39(12): 50-53.
- [9] MA Z H, HUANG J L, YIN B, *et al.* Engineering Plastics Application[J], 2011, 39(12): 50-53.
- [10] VYSIKAYLO P I, VALERIY S, MITIN V S, *et al.* IEEE Transactions on Plasma Science[J], 2015, 43(6): 1901-1905.
- [11] ZHANG P F, FUN R L. Ceramics International[J], 2015, 41(10): 13381-13388.
- [12] 秦典成, 李保忠, 黄奕钊, 等. 半导体技术[J], 2017, 42(11): 864-869.
- [13] QIN D C, LI B Z, HUANG Y Z, *et al.* Semiconductor Technology[J], 2017, 42(11): 864-869.
- [14] 丁杰, 唐玉兔, 忻力, 等. 机车电传动[J], 2013(2): 9-12+34.
- [15] DING J, TANG Y T, XIN L, *et al.* Electric Drive for Locomotives[J], 2013(2): 9-12+34.
- [16] YANG K S, CHUNG C H, CHENG W T, *et al.* Applied Thermal Engineering[J], 2014, 70: 361-368.

- [13] SHIN H W, HYU SOO LEE H S, JUNG S B. *Advanced Materials Research*[J], 2011, 1334(287): 376-383.
- [14] 吴宇明, 虞锦洪, 曹勇, 等. *复合材料学报*[J], 2018, 35(4): 760-766.
Wu Y M, Yu J H, Cao Y, *et al.* *Acta Materiae Compositae Sinica*[J], 2018, 35(4): 760-766.
- [15] DANG T M L, KIM C Y, ZHANG Y M, *et al.* *Composites Part B*[J], 2017, 114(4): 237-246.
- [16] AGRAWAL A, SATAPATHY A. *Composites; Part A*[J], 2014, 63: 51-58.
- [17] OHKI Y. *IEEE Electrical Insulation Magazine*[J], 2010, 26(1): 48-49.
- [18] 石零, 米铁, 刘延湘. *低温与超导*[J], 2006(3): 176-178.
SHI L, MI Y, LIU Y X. *Cryogenics and Superconductivity*[J], 2006(3): 176-178.
- [19] 张春伟, 毕可东, 王建立, 等. *中国科学: 技术科学*[J], 2012, 42(05): 597-602.
ZHANG C W, BI K D, WANG J L, *et al.* *SCIENTIA SINICA Technologica*[J], 2012, 42(05): 597-602.

(编辑 张雨明)