

文章编号: 1000-7032(2012)05-0535-05

## LED 的 COB 封装热仿真设计

兰 海<sup>1,2</sup>, 邓种华<sup>1</sup>, 刘著光<sup>1</sup>, 黄集权<sup>1</sup>, 曹永革<sup>1\*</sup>

(1. 中国科学院 福建物质结构研究所, 福建 福州 350002; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

**摘要:** 通过对 COB 封装中常用的陶瓷基板和金属基板这两类不同的基板材料进行有限元热仿真模拟, 获得各自芯片到基板的仿真热阻, 再使用红外热成像仪得到两种基板各自的表面温度分布情况并计算出实际热阻。仿真热阻与实际热阻的一致性表明了所采用的仿真计算方法的可用性。利用有限元仿真对 COB 封装的热管理方案进行了优化分析。研究表明: 相对于金属基板, 陶瓷基板由于无绝缘层这一散热瓶颈, 其芯片到基板的热阻值约为金属基板封装方案的 1/2; 而且陶瓷基板有着更大的热管理优化空间, 能更好地满足大功率 LED 封装的散热需要。

**关键词:** COB 封装; 有限元分析; 热仿真

中图分类号: TN312.8

文献标识码: A

DOI: 10.3788/fgxb20123305.0535

## Thermal Simulation for Design of LED COB Package

LAN Hai<sup>1,2</sup>, DENG Zhong-hua<sup>1</sup>, LIU Zhu-guang<sup>1</sup>, HUANG Ji-quan<sup>1</sup>, CAO Yong-ge<sup>1\*</sup>

(1. Fujian Institute of Research on the Structure of Matter, Chinese Academy of Sciences, Fuzhou 350002, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

\* Corresponding Author, E-mail: caoyongge@fjirsm.ac.cn

**Abstract:** Two typical types of substrate materials, *i. e.*, ceramic substrates without insulating layer and metal substrate with insulating layer were studied for the thermal management of COB package. Their chip-to-substrate thermal resistances were simulated and calculated by finite element method. Temperature distribution in two substrates was obtained by infrared thermography, which confirmed the adopted finite element method is feasible in our experiment. Based on these studies, the thermal management of COB package was optimized by finite element simulation. The results show that the ceramic substrate has a lower chip-to-substrate thermal resistance (only half of that of the metal substrate), which indicate that it is more suitable for the heat dissipation in high-power LED package.

**Key words:** COB package; finite element analysis; thermal simulation

## 1 引 言

最近几年, 发光二极管 (Light-Emitting Diode, LED) 的应用随着其功率和光效的提高迅速普

及。而随着芯片功率的不断提高, 大功率 LED 所面临的散热问题也越发严重。如果器件热管理方面的设计不当, LED 芯片结温过高, 则有可能使荧光粉效率降低, 从而降低光效并影响 LED 色

收稿日期: 2012-02-29; 修订日期: 2012-04-08

基金项目: 中国科学院院地合作项目 (DBSH-0211-024); 中国科学院重要方向性项目 (KJCX2-EW-H07); 福建省重大专项 (2010HZ0005-2) 资助项目

作者简介: 兰海 (1988 -), 男, 福建莆田人, 主要从事 LED 热管理的研究。  
E-mail: lanhai09@fjirsm.ac.cn

温<sup>[1]</sup>,甚至导致器件寿命缩短或永久性损坏。因此,LED 散热问题已经成为大功率 LED 照明发展的一大瓶颈,对于良好的 LED 热管理设计的需要已迫在眉睫。然而,依靠灯具外壳结构上的改进所提升的散热效果已趋近饱和,寻求拥有更好散热效果的封装方式就成为了目前解决 LED 散热问题的重要途径。常规的封装方式有直插式、表面贴装(Surface Mounted Devices, SMD)和板上芯片封装(Chips on Board, COB)等。与直插式和 SMD 封装技术相比,COB 封装不仅能够节约空间、简化封装作业,而且还能通过基板直接散热,从而具有更高效的热管理方式。此外,COB 封装不需要回流焊,从而可以避免高温对芯片造成伤害;同时,由于不需要购买贴片机和焊接等设备,也降低了成本<sup>[2]</sup>。

LED 封装器件体积小、内部结构复杂,难以用一般的实验方法准确测量其内部温度分布以考察其热管理设计的好坏。采用计算机有限元分析则可以预测器件内部的温度、应力等物理量的变化,并可以快速方便的进行结构优化设计从而得到最优化的设计方案<sup>[3]</sup>。本文针对目前市面上较为常见的两种 COB 封装方式(金属基板封装和陶瓷基板封装)进行了计算机有限元分析和优化,指出了两种封装方式各自存在的不足,并对每种封装方式所能实施的改进提出了优化方案,同时通过实验验证了仿真结果的可靠性。

## 2 COB 封装结构

图 1 为 COB 封装方式的结构示意图。COB 封装是利用固晶设备将 LED 芯片直接封装于散热基板上,再利用焊线设备把基板上的电极和 LED 电极用金线或铝线连接好,之后再根据不同的结构设计进行点胶。目前 COB 封装方式有两种不同封装方案:金属基板封装和陶瓷基板封装。对于金属基板,出于用电安全的考虑,散热基板须采用绝缘材料或者镀上一层绝缘膜以防止由于导线与基板接触而引起的短路并导致漏电;而陶瓷基板由于本身是绝缘体,因此可以直接在基板上进行封装。

图 2 为 COB 封装的建模结构示意图。金属基板的 COB 封装结构从下到上分别是基板、绝缘层、固晶胶、LED 芯片(图 2(a));陶瓷基板的封装结构则是基板上少一层绝缘层(图 2(b))。两

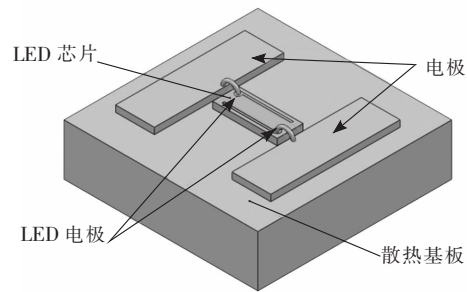


图 1 COB 封装方式的结构示意图

Fig. 1 Structure of COB package

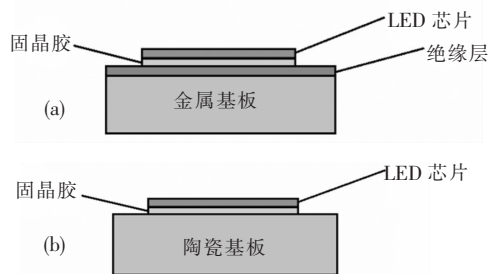


图 2 (a) 金属基板剖面示意图; (b) 陶瓷基板剖面视图。

Fig. 2 Cross section of metal substrate (a), and ceramic substrate (b).

种封装结构的各部分参数均为:基板直径 40 mm, 基板厚度 1.6 mm, 芯片大小为 0.584 mm × 0.432 mm × 0.1 mm, 固晶胶厚度取 0.005 mm, 金属基板上的绝缘层厚度为 0.16 mm。由于点胶封装所采用的环氧树脂或硅胶的热导率不高,因此芯片产生的热量绝大部分经固晶胶、铝基板这一散热途径传导到灯具外壳,然后通过灯具外壳上的散热鳍片向大气散出<sup>[4]</sup>。

## 3 模型仿真分析

LED 作为一种半导体器件,主要以热阻  $R$  表征其本身的热学特性:

$$R = \frac{T_j - T_x}{P_H}, \quad (1)$$

式中  $R$  是指待测器件 pn 结到指定环境之间的热阻,单位为  $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ;  $T_j$  是测试条件稳定时的待测期间的结温;  $T_x$  是指定环境温度的参考温度;  $P_H$  是待测器件的耗散功率。

为简化评价方法,规定式(1)另一个参数  $P_H$  为输入到 LED 的总电功率而不考虑光辐射功率及其他耗散功率,即上式  $P_H$  为输入到 LED 的总电功率,且仅考察芯片与外壳(或主要散热部分)之间的热阻。为了便于与完整概念下的热阻相区

别, 此时的热阻称为“参考热阻”, 用  $R'$  表示。“参考热阻”由于测量方便, 复现性好, 已越来越多地得到了应用<sup>[5]</sup>。本文中的参考热阻为多芯片的平均热阻<sup>[6]</sup>, 平均热阻通过根据器件的平均结温 ( $T_{j-avg}$ ) 和封装内的总功耗 ( $Q$ ) 来表示, 即:

$$R = \frac{R_{j-avg} - T_x}{P_H} \quad (2)$$

利用有限元计算软件 ANSYS 对简化后的 3D 模型进行计算, 得出  $T_j$  和  $T_x$ , 代入式(1)求得各种封装结构的“参考热阻”。各材料热导率如表 1 所示。

表 1 LED 封装材料热导率

Table 1 Thermal conductivity of the packaging materials for LED modules

封装材料	热导率/(W · m <sup>-1</sup> · °C <sup>-1</sup> )
芯片	27
KER-3000-M2 固晶胶	0.2
金属基板上绝缘层	1
金属(铝)基板	237
陶瓷(氧化铝)基板	20

所使用芯片工作电压为 3 V, 工作电流为 36 mA, 芯片的输入功率为 0.108 W, 发热功率约为 0.064 8 W (60%), 环境温度取红外热成像实验测试时的室温 15 °C。因为基板上共有芯片 8 颗, 所以总输入功率为 0.864 W。

将图 3 的仿真温度分布结果代入式(2), 可得: 在热导率为 20 W/(m · °C) 的氧化铝陶瓷上进行 COB 封装, 其芯片到基板的参考热阻  $R'$  为 17.34 °C/W; 在热导率为 237 W/(m · °C) 的铝基板上设置一层热导率为 1 W/(m · °C)、厚度为 0.16 mm 的绝缘层上进行 COB 封装, 其芯片到基板的参考热阻  $R'$  为 39.66 °C/W。

利用红外热成像验证仿真结果(图 4), 可知陶瓷基板的实验参考热阻为 17.16 °C/W, 金属基板的实验参考热阻为 38.16 °C/W。由实验数据可知仿真分析与实验误差控制在 5% 之内, 故该仿真结果具有较好的准确度, 对结构优化的设计具有一定的指导意义。

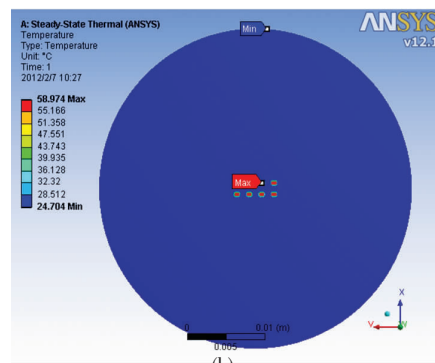
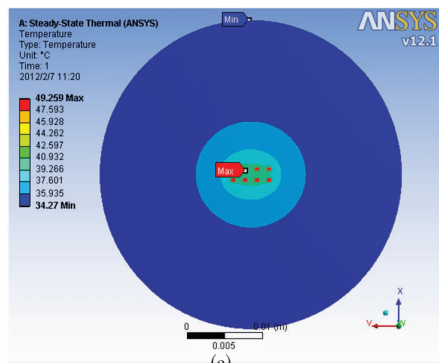


图 3 陶瓷基板(a)和金属基板(b)的仿真温度分布

Fig. 3 Simulated temperature distribution of ceramic substrate (a) and metal substrate (b)

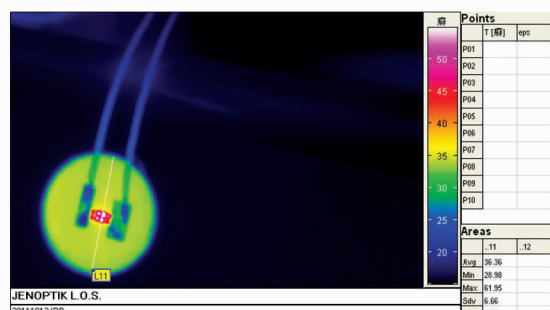
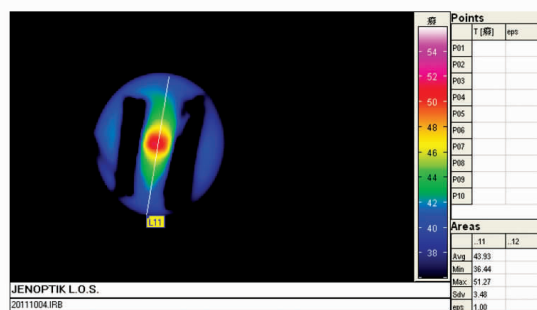


图 4 陶瓷基板(a)和金属基板(b)的红外热成像结果

Fig. 4 Thermal distribution images of ceramic substrate(a) and metal substrate(b)

## 4 仿真优化分析

从以上仿真及实验结果可以看出, 针对两种

不同的 COB 封装方式, 陶瓷基板的 COB 封装的散热效果比金属基板封装的要好。与陶瓷基板相比, 金属基板 COB 封装散热的瓶颈在于绝缘层的

低热导率,通过增大绝缘层的热导率和减小绝缘层的厚度可以解决这一问题。我们利用有限元分析,通过增大绝缘层材料的热导率及减小绝缘层厚度,对金属基板热管理方案进行优化。图 5 中黑线为基板热阻随金属基板的绝缘层热导率增大(取绝缘层厚度为 0.16 mm)和随绝缘层厚度减小所降低(取绝缘层热导为  $1 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ )的曲线,同时加入氧化铝陶瓷基板的热阻值(红线)以方便对比。

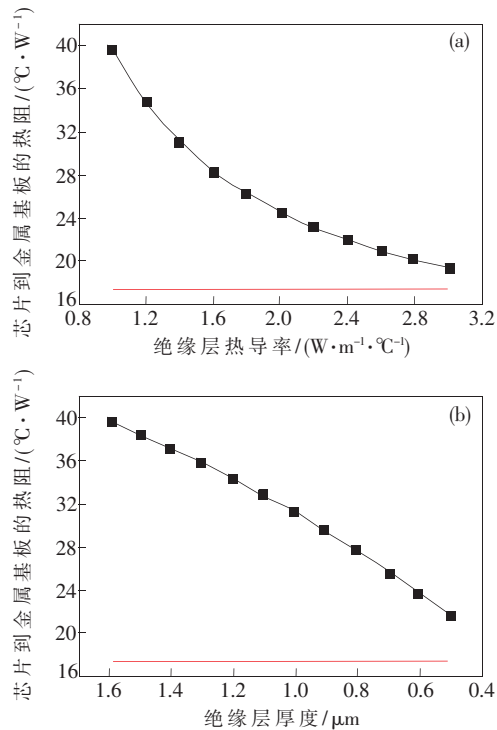


图 5 金属基板热阻随绝缘层热导率(a)和厚度(b)的变化曲线

Fig. 5 Dependence of the thermal resistance of metal substrate on the thermal conductivity (a) and thickness of insulating layer (b)

从图 5 可以看出,随着绝缘层热导率的增大或绝缘层厚度的减小,金属基板的参考热阻呈递减趋势。若要使芯片到金属基板的热阻与芯片到陶瓷基板的热阻相接近,则绝缘层的热导率须增大至  $3 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$  以上或绝缘层的厚度小于  $40 \mu\text{m}$ 。若利用涂覆绝缘漆来达到金属基板表面的绝缘效果,减小绝缘层厚度一方面会影响绝缘效果,另一方面对绝缘漆的涂覆工艺也有更高的要求,同时绝缘漆的低热导率(目前多数绝缘漆热导率不高于  $1 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ )将直接限制整个金属基板的散热效果。因此,涂覆绝缘漆的金属基板

的 COB 封装散热效果已趋于饱和,需通过其他表面绝缘工艺来降低总体热阻。

对于陶瓷基板来讲,目前市面上用于 LED 封装的主要有氧化铝陶瓷和氮化铝陶瓷。利用有限元分析,将陶瓷基板的热导率从  $20 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$  递增至  $180 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ (氧化铝到氮化铝),可绘制出其热阻随基板热导率变化的曲线,如图 6 所示。从中可见,陶瓷基板的热阻随陶瓷材料的热导率的增大呈指数式下降。氮化铝陶瓷基板的热阻约为氧化铝陶瓷基板的 50%。但考虑到氮化铝陶瓷的成本远高于氧化铝陶瓷,故目前封装基板主流为氧化铝陶瓷。

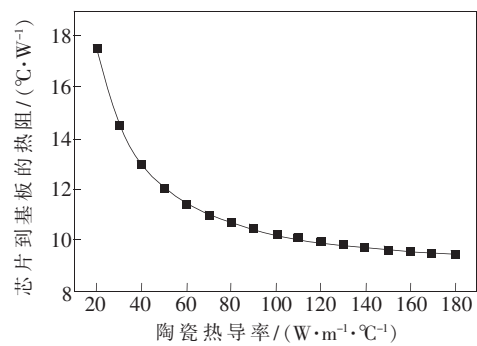


图 6 陶瓷热阻随陶瓷热导率的变化曲线

Fig. 6 Dependence of the thermal resistance of ceramic substrate on the thermal conductivity of ceramic substrate

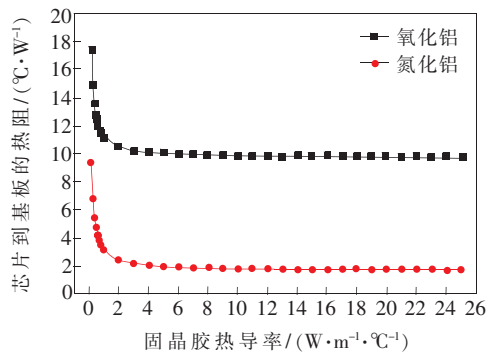


图 7 热阻随固晶胶热导率的变化曲线

Fig. 7 Thermal resistance varying with the thermal conductivity of die attach adhesive

除了绝缘层/绝缘基板外,固晶胶也是影响散热的一个重要因素。在这里,我们也通过有限元仿真,分析了 LED 芯片到基板的热阻随固晶胶热导率的变化关系。如图 7 所示,芯片到基板的热阻随封装胶热导率的增大先是急剧减小,然后趋于平缓。可见 COB 封装散热的瓶颈在于芯片和散热基板间的固晶胶的低热导率。传统固晶胶的

热导率较低(本文实验所采用的固晶胶热导率为 $0.2\text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ),使用银胶固晶(热导率为 $2\sim 25\text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ )之后,整体热阻能够得到大幅降低。从图7还可以看出,当固晶胶热导率达到 $2\text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ 之后,继续增大固晶胶热导率对降低热阻的意义并不大,但使用不同基板材料的散热效果却相差5倍。因此,若要满足大功率LED的散热需要,氮化铝陶瓷基板是首选,而固晶胶使用普通银胶即可,不必使用高质量、高热导的银胶,从而节约成本。但是从出光考虑,由于银胶不透明,使用银胶固晶时芯片的反射出光率会大大降低。因此,固晶胶的研发对大功率LED的发展也具有很重要的意义。另外,对于中小功率的LED,由于市场上银胶尚未普及,目前使用的固晶胶热导率基本只有 $0.2\text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ 。若使用这种固晶胶,则两种陶瓷基板的热阻相差大概仅1倍,而氧化铝陶瓷的成本

只有氮化铝陶瓷的10%~15%。出于成本的考虑,可以不必过分追求高质量的氮化铝陶瓷材料。结合图6和图7,我们认为使用传统固晶胶所应采用的陶瓷基板材料的热导率在 $50\sim 60\text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ 左右,即可满足一般LED的散热需求<sup>[7]</sup>。

## 5 结 论

COB散热模组的热分析主要分为两个方面:一方面为陶瓷材料与金属材料的对比分析;另一方面为对陶瓷材料和固晶材料的选择。研究结果表明:陶瓷基板的COB封装在散热性能上以及散热优化空间上均要优于金属基板;当采用氮化铝基板并利用银胶固晶封装时,其热阻低于 $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 即可满足大功率LED的散热需求。因此,发展陶瓷基板COB封装技术将是解决当前LED散热问题的重要途径之一。

## 参 考 文 献:

- [1] Chen Ting, Chen Zhizhong, Lin Liang, *et al.* Methods for determining junction temperature of GaN-based white LEDs [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2006, 27(3):407-412 (in Chinese).
- [2] Jiang Bin, Song Guohua, Miao Jianwen, *et al.* Thermal analysis of high-power LED based on COB packaging technology [J]. *Electronic Components and Materials* (电子元件与材料), 2011, 30(6):48-52 (in Chinese).
- [3] Dai Weifeng, Wang Jun, Li Yuesheng. Transient thermal analysis of high-power LED package [J]. *Semiconductor Optoelectronics* (光电器件), 2008, 29(3):324-328 (in Chinese).
- [4] Ma Hongxia, Qian Keyuan, Han Yanjun, *et al.* Thermal design of GaN-based high-power LED module [J]. *Semiconductor Optoelectronics* (光电器件), 2007, 28(5):627-630 (in Chinese).
- [5] Wang Wei, Wang Wanliang, Pan Jianguan, *et al.* Study and analysis of test system for thermal characteristic of high power LED [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays* (液晶与显示), 2009, 24(2):294-298 (in Chinese).
- [6] Kim L, Choi J H, Jang S H, *et al.* Thermal analysis of LED array system with heat pipe [J]. *Thermochim. Acta*, 2007, 455(1-2):21-25.
- [7] Ma Xiangzhu, Huo Jin, Qu Yi, *et al.* Thermal-resistor analysis of the laser chips with different size in C-mount package [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2011, 32(2):184-187 (in Chinese).