

基于塑料散热器无基板板上芯片封装的 LED 热分析

陈颖聪¹ 文尚胜^{1,2} 吴玉香^{3*}

¹ 华南理工大学材料科学与工程学院, 广东 广州 510640
² 华南理工大学发光材料与器件国家重点实验室, 广东 广州 510640
³ 华南理工大学自动化科学与工程学院, 广东 广州 510640

摘要 提出了一种基于塑料散热器无基板板上芯片(COB)封装方式,采用 Ansys 有限元热分析软件,与传统的陶瓷基板 COB 封装方式进行热仿真模拟对比分析。研究表明:将 LED 芯片直接封装在导热系数为 20 W/(m·K)的塑料散热器上的 COB 封装方式,得到的 LED 结温明显低于金属基板的 COB 封装方式的结温,而与陶瓷基板的 COB 封装方式接近。进一步模拟分析可知,当塑料散热器的厚度为 3.9 mm 时,器件的总热阻最小,且随着塑料材料的导热系数和塑料散热器表面与空气间对流系数的增加,器件总热阻均有不同程度的减少。由于塑料材料具有容易加工及色泽丰富等优势,这种结构简单的新型封装方式具有广阔的应用前景。

关键词 光电子学;塑料散热器;板上芯片封装;有限元分析;热仿真

中图分类号 TN312⁺.8; TN383⁺.1 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS201333.0823005

Thermal Analysis for LED Chip on Board Package Based on Plastic Radiator without Substrate

Chen Yingcong¹ Wen Shangsheng^{1,2} Wu Yuxiang³

¹ School of Materials Science and Engineering, South China University of Technology,
Guangzhou, Guangdong 510640, China

² State Key Laboratory of Luminescent Materials and Devices, South China University of Technology,
Guangzhou, Guangdong 510640, China

³ College of Automation Science and Engineering, South China University of Technology,
Guangzhou, Guangdong 510640, China

Abstract A novel method of LED chip on board (COB) package based on plastic radiator without substrate is proposed. The thermal properties of tradition COB package and this new structure are simulated by using finite element analysis software Ansys. The simulation results show that, by mounting the LED chips on the plastic radiator with thermal conductivity of 20 W/(m·K), the method of LED COB package can provide a much lower temperature than the metal substrate COB package, and is similar to the ceramic substrate COB package. By further simulations, it is found that the thermal resistance is the minimum when the thickness of the plastic radiator is 3.9 mm. Moreover, with the thermal conductivity and the convection coefficient increasing, the thermal resistance reduces in different degrees. Because of the easy preparation process and colorful luster of the plastic, this new method of LED COB package has a broad application prospect.

Key words optoelectronics; plastic radiator; chip onboard package; finite element analysis; thermal analysis

OCIS codes 230.2090; 230.3670; 230.5170

收稿日期: 2013-03-25; 收到修改稿日期: 2013-04-16

基金项目: 广东省科技厅重大科技专项(2011A080801016)、广东省战略性新兴产业专项(2011A081301017, 2012A080304012, 2012A080304001)

作者简介: 陈颖聪(1991—),男,本科,主要从事 LED 封装及散热技术方面的研究。E-mail: cyc_scut@163.com

导师简介: 文尚胜(1964—),男,博士,教授,主要从事 LED 及 OLED 等方面的研究。E-mail: shshwen@scut.edu.cn

* 通信联系人。E-mail: xyuwu@scut.edu.cn

1 引言

LED 凭借其绿色环保、体积小、寿命长等优点,有广泛的应用前景。受限于目前的半导体制造技术,LED 的光电转换效率只有 20% 左右,另外 80% 的能量将转换为无法利用的热能。如果 LED 器件的热量不能及时散去,将会导致结温过高,使得 LED 出现寿命变短、光衰加剧、波长漂移等问题。因此,散热技术是保障 LED 灯具寿命及稳定性的关键,寻找更好的散热方式成为 LED 的研究重点。

为了不断提高 LED 灯具的散热能力,研究人员提出了不同的封装方式。常规的封装方式有直插式、表面贴装 (SMD) 和板上芯片封装 (COB) 等^[1]。其中,COB 封装不仅简化了生产工序、节约成本,而且这种封装方式通过将芯片直接贴装在基板上,获得更短的散热路径,提高了散热效果。

采用金属基板的 COB 封装方式,为了防止漏电,通常会在芯片与基板之间加上绝缘层,由于绝缘层材料的导热系数很低,将严重地阻碍着热量的散出。为了更进一步地减少器件总热阻,研究人员用陶瓷材料代替金属材料作为基板,从而免去绝缘层。兰海等^[2]已经验证了去除绝缘层后,LED 芯片的结温会有明显地降低。但是,采用塑料材料作为基板则是更优的选择。研究人员已经证实在塑料中填充导热填料,塑料材料的导热系数可在 1 ~ 20 W/(m·K) 左右变化^[3],如帝斯曼公司已经开发出导热系数为 18 W/(m·K) 的塑料,完全可以满足 LED 灯具散热的需求。另外,塑料材料具有设计自由度高,加工方便的特点,可以免去传统封装中的基板结构,直接加工成塑料散热器,让 LED 芯片直接封装在散热器上。这种封装结构不仅减少了生产工序,而且大大缩短了散热通道。本文提出了基于塑料散热器无基板的 COB 封装方式,并与陶瓷基板 COB 封装方式进行热仿真模拟对比,得到塑料散热器厚度等参数对塑料散热器散热性能的影响规律。结果表明:免去基板的塑料散热器封装结构的散热效果与采用陶瓷基板 COB 封装结构相近,由于塑料材料具有容易加工及色泽丰富等优势,这种新的封装方式具有广阔的应用前景。

2 LED 热分析

2.1 理论分析

热阻是用来反映 LED 散热能力好坏的物理量。结构的热阻大表示热量不容易传递,导致工作器件

温度高;反之,表示器件的散热性能好,能将热量及时传递到散热外壳表面。因此,设法降低器件的总热阻,就能降低 LED 的温升、提高其使用可靠性。LED 的热阻 R 可由下式计算:

$$R = \frac{\Delta T_J}{P} = \frac{T_J - T_A}{P} \quad (1)$$

其中 T_J 为 PN 结的温度; T_A 为周围环境温度; P 为输入的发热功率。

田大垒等^[4]通过 Ansys 软件模拟不同的热沉材料对模型温度分布的影响,发现随着热沉材料导热系数的减小,芯片的温度逐渐升高,而透镜温度变化不大^[5]。因此,在散热分析时,可以忽略芯片通过透镜向上散发的热量。在 LED 器件中,芯片产生的热量绝大部分是通过热传导的方式传到散热器外壳,再通过热对流的方式散发。缩短芯片与散热器外壳之间的散热通道,能有利于降低 LED 的温升。

传统的金属铝基板散热结构,为了防止漏电,散热基板须镀上一层绝缘层,而这层绝缘层的导热系数一般不高于 1 W/(m·K),直接限制了整个金属基板的散热效果^[5]。为了提高器件散热性能,一般采用导热系数为 20 W/(m·K) 的氧化铝陶瓷基板代替金属基板进行封装。因为陶瓷基板是绝缘材料,因此不需要考虑导线与基板接触所引发的用电安全问题,可以直接地在基板上进行封装,省去芯片与基板间的绝缘层,大大减少了器件热阻。

图 1 为铝基板封装的 LED 灯具各部位散热比例,可以看出铝基板占 LED 散热的比例最大,对 LED 的散热性能影响最大,是该封装结构的散热瓶颈。尽管陶瓷基板 COB 封装方式省去基板上绝缘层的结构,散热性能已大大优于金属基板 COB 封装

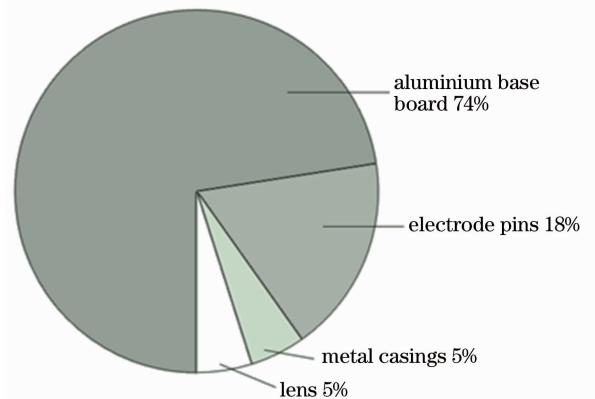


图 1 铝基板封装的 LED 灯具各部位散热比例
Fig. 1 Heat dissipation ratio of each part in LED lamps with aluminum substrate

结构,但是由于陶瓷基板的导热系数低于金属基板,使得陶瓷基板占的散热比例更大。而塑料散热器无基板的 COB 封装,不仅是去除了基板层上的绝缘层,更把基板结构去掉,大大地提高了 LED 灯具的散热性能。

图 2 为导热系数与温度差的关系^[6]。由图 2 可见当材料厚度小于等于 5 mm,导热系数大于 5 W/(m·K)的情况下,导热系数的变化对温度差的影响基本趋近于 0,即此时导热系数是 5 W/(m·K)或者 200 W/(m·K)对结温的影响已经相差不大了,此时限制散热的因素是空气的对流系数的大小。

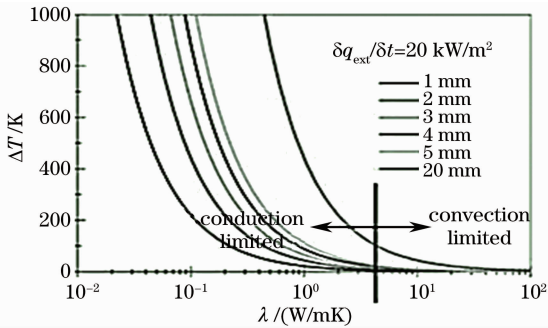


图 2 导热系数与温度差的关系

Fig. 2 Relationship between thermal conductivity and temperature difference

因此,只要用一种导热系数大于 5 W/(m·K)的塑料材料制作散热器,即可满足散热的需要。图 3 是塑料散热器 COB 封装方式结构图。该结构由高导热塑料材料做成的散热器组成,由于塑料的可塑性,塑料散热器可以根据实际情况需要做不同的外形。塑料散热器表面通过真空镀膜技术及黄光微影工艺制作线路层,LED 芯片直接封装在塑料散热器上,这样热量能直接从 LED 芯片传到散热器上,大大缩短了散热通道。

2.2 仿真模拟

Ansys 有限元分析软件在热分析问题方面具

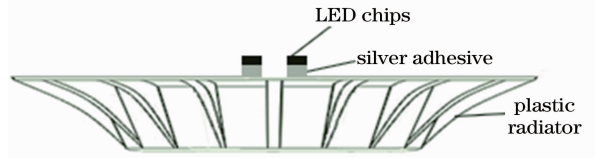


图 3 基于塑料散热器无基板 COB 封装结构

Fig. 3 COB package based on plastic radiator without substrate

有强大的功能,运用 Ansys 软件,可以进行热传导、热对流、热辐射、相变、热应力以及接触热阻等问题的求解分析。采用 Ansys 软件模拟出陶瓷基板 COB 封装模型和塑料散热器无基板 COB 封装模型的温度场分布,对其进行对比分析。研究人员^[7]通过实验验证了有限元热分析法中的 LED 有限元模型与其真实器件之间的差别,证明了有限元热分析方法在误差允许的范围之内准确可行。

仿真模拟时,假设忽略通过荧光粉和透镜向上散发的热量,且不考虑封装过程之间的接触热阻。假设各种材料各向同性,且粘接良好。为了简化分析过程,将 LED 的 COB 封装结构简化为如图 4 所示的基本模型。简化模型中各层结构的尺寸大小和导热系数如表 1 所示^[8]。

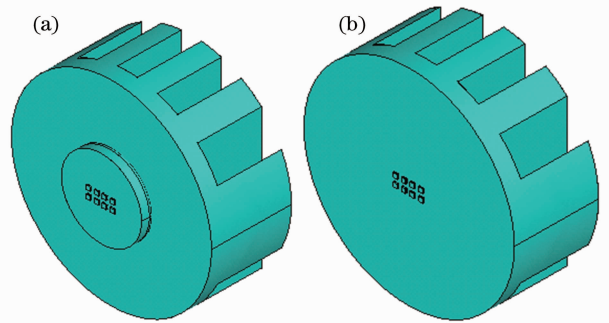


图 4 COB 封装简化模型。(a)陶瓷基板;
(b)无基板塑料散热器

Fig. 4 Simplified models of COB package. (a) Ceramic substrate; (b) plastic radiator without substrate

表 1 COB 封装模型结构中各层厚度及导热系数^[8]

Table 1 Thickness and thermal conductivity of each layer in the COB package models^[8]

Component	LED chips	Silver adhesive	Ceramic substrate	Stickup layer	Aluminum radiator	Plastic radiator
Size /mm	1.0×1.0×2.5×0.1	1.0×1.0×0.1	Φ20.0×2.0	Φ20.0×0.5	Φ50.0×20.0	Φ50.0×5.0
Thermal conductivity/(W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	30.0	41.0	20.0	6.0	237.0	20.0

3 结果与讨论

3.1 总输入功率为 0.864 W 时两种不同的 COB 封装方式的对比

定义仿真器件表面与空气之间的自然对流系数

为 10 W/(m²·K),环境温度为 20 ℃。设定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 1.08×10⁻¹ W,假设其中 60%转换为热能,即发热功率约为 6.48×10⁻² W,因为基板上共

有芯片 8 颗,所以总输入功率为 $8.64 \times 10^{-1} \text{ W}^{[1]}$ 。将各芯片视为整体发光,芯片的发光体积 V 为 $0.25 \times 10^{-10} \text{ m}^3$,故施加于芯片实体上的热生成率载荷 $H=P/V=2.6 \times 10^9 \text{ W/m}^3$ 。

通过 Ansys 有限元计算可以得到温度场分布,如图 5 所示。比较两图可以发现,在相同的热载荷条件下,两种不同的 COB 封装方式中的最高温度都出现在 LED 芯片处。

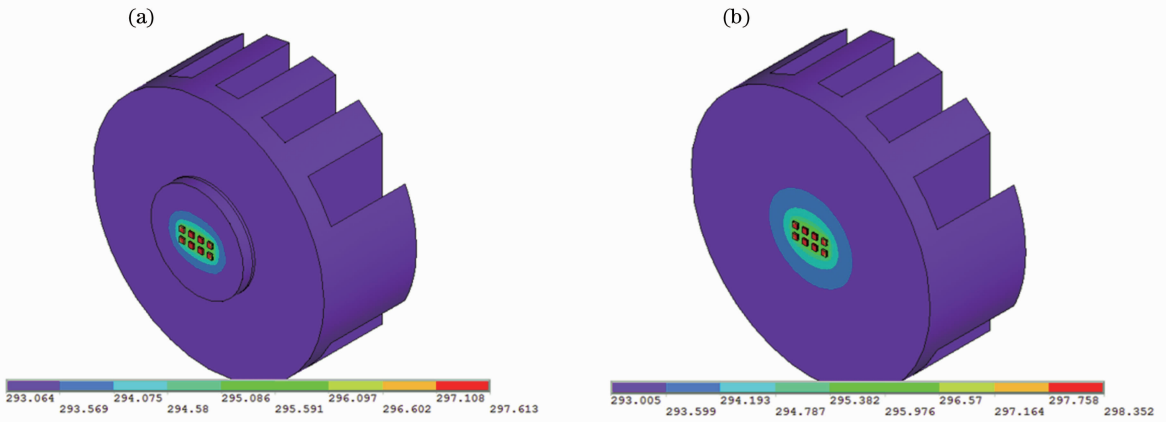


图 5 输入功率为 0.864 W 时的温度场分布。(a)陶瓷基板;(b)无基板塑料散热器

Fig. 5 Temperature field distributions when the input power is 0.864 W. (a) Ceramic substrate; (b) plastic radiator without substrate

陶瓷基板的 COB 封装结构仿真得到的最高温度为 297.23 K,热阻为 4.83 K/W;塑料散热器无基板 COB 封装得到的最高温度为 297.98 K,热阻为 5.75 K/W。当散热材料的厚度为 5 mm 的时候,由于散热器的厚度小,此时限制散热效果的主要因素是自然对流系数的大小,虽然铝散热器的导热系数为 $237 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,塑料散热器的导热系数为 $20 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,但对结温的影响也相差不大。采用塑料散热器的封装方式比陶瓷基板 COB 封装方式有着更简单的结构和成本更低的生产加工工艺等优点,表现出绝对的优势。通过更进一步的仿真表明,当塑料散热器的导热系数继续增加的时候,结温将继续下降,达到更优于陶瓷基板 COB 封装方式的散热效果。

式中 h 为换热系数 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; $t_w - t_f$ 为温度差,单位为 K; A 为换热面积,单位为 m^2 。随着散热面积的增大,热对流就越强,达到一个更好的散热效果。

进一步对影响塑料散热器因素的物理量进行模拟仿真。为了简化仿真过程,忽略散热翅片带来的散热效果,并且从原来的 8 个芯片简化为 1 个芯片,简化后的模型如图 6 所示,模型各层结构的尺寸与导热系数如表 1 所示。

但是,一般情况下,材料的导电性能会随着导热系数的增加而增加,因此,塑料散热器的导热系数受限于塑料散热器的绝缘能力,不能通过填充石墨等导热材料而无限地增加,一般导热系数在 $10 \sim 20 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 左右的导热塑料,即可满足散热需要。

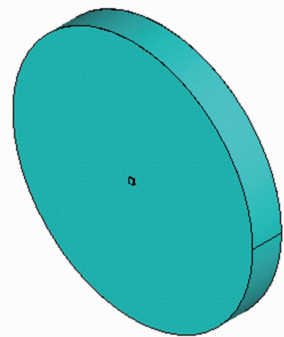


图 6 去除翅片的塑料散热器简化模型

Fig. 6 Simplified model of plastic radiator without fin

3.2 影响塑料散热器散热效果因素的讨论

影响塑料散热器散热效果的因素主要有塑料散热器的导热系数的、散热器表面与空气之间的对流系数、塑料散热器的厚度以及塑料散热器表面与空气接触的散热面积。对于散热面积对塑料散热器散热效果的影响,对流传热方程为

$$Q = hA(t_w - t_f), \quad (2)$$

3.2.1 塑料散热器厚度对散热效果的影响

通过改变塑料散热器的厚度,得到各个厚度的塑料散热器的温度分布图。在直角坐标轴上表示不同发热功率下热阻值与厚度的关系,如图 7 所示。可以看到在塑料散热器的厚度大于 3 mm 时,热阻随着散热器厚度增大,先缓慢下降,再缓慢上升,而当厚度为 3.9 mm 时,热阻最小,散热能力最佳;而

当厚度小于 3 mm 时,继续减少塑料散热器的厚度,热阻迅速增大。这是因为当厚度很小的时候,由于空气的对流系数小,芯片所产生的热量即使能很快扩散到散热器表面,但不能及时地散去,致使散热器的效果不佳,LED 芯片的结温不降反升。

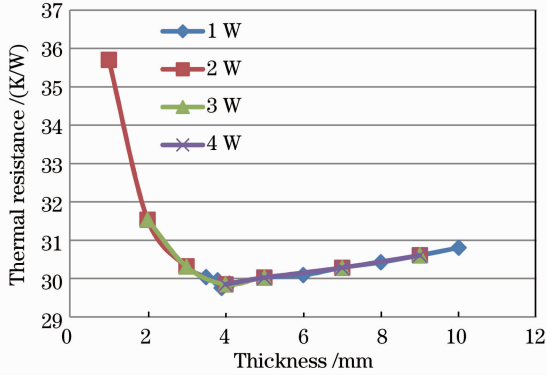


图 7 塑料散热器热阻随厚度的变化曲线

Fig. 7 Dependence of the thermal resistance of plastic radiator on the thickness

另外,通过仿真模拟实验可以证实,结构的热阻与 LED 的输入功率没有相关性,热阻不会随着 LED 的功率增加而增加,这符合热学基本理论推导,证明了仿真结果准确可靠。因此,当塑料散热器的厚度为 3.9 mm 时,LED 器件散热效果最佳。

3.2.2 塑料散热器的导热系数对散热效果的影响

设塑料散热器表面与空气之间的对流系数为 $10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,对不同的导热系数进行仿真模拟,如图 8 所示。随着散热器的导热系数增加,热阻有下降的趋势,在导热系数小于 $20 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 时,导热系数的改变对热阻的影响很大,当导热系数大于 $20 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 时,热阻的改变逐渐趋向于 0,即结温的温度差变化趋于 0。

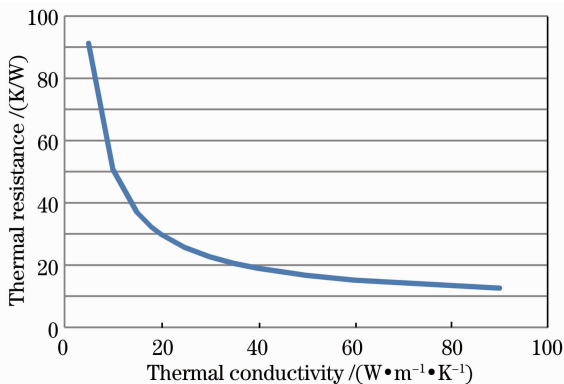


图 8 塑料散热器热阻随导热系数的变化曲线

Fig. 8 Dependence of the thermal resistance of plastic radiator on thermal conductivity

3.2.3 散热器表面与空气之间的对流系数对散热效果的影响

通过设定塑料散热器的导热系数为 $20 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,改变塑料散热器表面与空气之间的对流系数,得到对流系数与热阻的关系,如图 9 所示。可见,在对流系数大于 $10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 时,热阻随着对流系数的增加而接近线性减小。

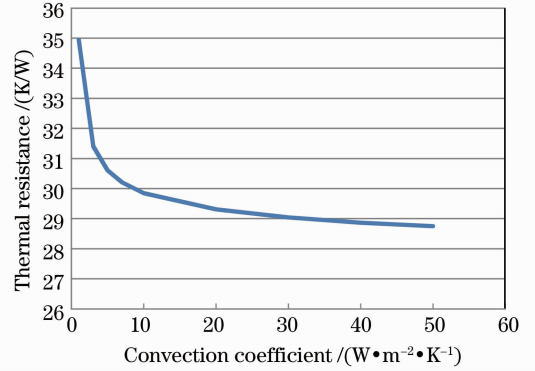


图 9 塑料散热器热阻随对流系数的变化曲线

Fig. 9 Dependence of the thermal resistance of plastic radiator on convection coefficient

虽然塑料散热器的散热效果都会随着材料的导热系数的增加和表面与空气间的对流系数的增加而变好,但在实际生产中,塑料散热器的导热系数不能无限制地增加,要达到更好的散热效果,可以通过加强塑料散热器表面与空气间的对流系数或增大对流换热的面积来实现。

4 结 论

通过理论分析和仿真模拟,将基于塑料散热器无基板 COB 封装方式与典型的 COB 封装进行有限元热仿真模拟对比分析。利用 Ansys 有限元分析软件分别获得两种封装方式在相同条件下的温度场分布,通过分析比较温度场分布,得出两种结构散热性能的差异。结果表明,当器件正常工作时,最高温度均出现在芯片上,而基于导热系数为 $20 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 的塑料散热器无基板 COB 的封装方式,其散热能力媲美陶瓷基板的 COB 封装,而且更优于传统的金属基板的 COB 封装。进一步模拟仿真得出,随着塑料散热器的厚度增加,LED 器件的热阻先是迅速下降,然后缓慢上升,当塑料散热器的厚度为 3.9 mm 时,LED 器件散热效果最佳,另外,通过调节塑料散热器的导热系数和对流系数,可以达到一个更好的散热效果。由于塑料材料具有容易加工生产及色泽丰富等优势,基于塑料散热器无基板 COB 封装的结构十分有

优势,为解决 LED 灯具散热问题提供了一条新的途径。

参 考 文 献

- 1 Jiang Bin, Song Guohua, Miao Jianwen, *et al.*. Thermal analysis of high-power LED based on COB packaging technology [J]. *Electronic Components and Materials*, 2011, 30(6): 48–52.
姜 斌, 宋国华, 缪建文, 等. 基于板上封装技术的大功率 LED 热分析[J]. *电子元件与材料*, 2011, 30(6): 48–52.
- 2 Lan Hai, Deng Zhonghua, Liu Zhuguang, *et al.*. Thermal simulation for design of LED COB package [J]. *Chin J Lumin.* 2012, 33(5): 535–539.
兰 海, 邓种华, 刘著光, 等. LED 的 COB 封装热仿真设计[J]. *发光学报*, 2012, 33(5): 535–539.
- 3 Jin Rongfu, Cai Qiongying, Xia Yujie. Thermally conductive plastics used in LED [J]. *Engineering Plastics Application*, 2011, 39(10): 100–102.
金荣福, 蔡琼英, 夏玉洁, 等. LED 用导热塑料 [J]. *工程塑料引用*, 2011, 39(10): 100–102.
- 4 Tian Dalei, Guan Rongfeng, Wang Xing. Thermal analysis of finite element for high-power LED packaging [J]. *Semiconductor Technology*, 2008, 33(3): 248–251.
田大垒, 关荣峰, 王 杏. 大功率 LED 封装有限元分析[J]. *半导体技术*, 2008, 33(3): 248–251.
- 5 Wang Jing, Wu Fugen. Key issues of improving cooling of high-brightness LED [J]. *Electronic Design Engineering*, 2009, 17(4): 123–125.
王 静, 吴福根. 改善大功率 LED 散热的关键问题[J]. *电子设计工程*, 2009, 17(4): 123–125.
- 6 Mao Yuhai. LED ceiling-mounted light and power supply [J]. *China Illumination*, 2012, (1): 86–98.
茅于海. LED 吸顶灯及其电源[J]. *中国照明*, 2012, (1): 86–98.
- 7 Dai Weifeng, Wang Jun, Li Yuesheng. Transient thermal analysis of high-power LED package [J]. *Semiconductor Optoelectronics*, 2008, 29(3): 324–328.
戴炜锋, 王 珺, 李越生. 大功率 LED 封装的温度场和热应力分布的分析[J]. *半导体光电*, 2008, 29(3): 324–328.
- 8 Chen Jianlong, Wen Shangsheng, Yao Rihui, *et al.*. Thermal analysis of high-power LED without aluminum substrate [J]. *Chin J Lumin.* 2012, 33(12): 1362–1367.
陈建龙, 文尚胜, 姚日晖, 等. 去除铝基板的大功率 LED 热分析 [J]. *发光学报*, 2012, 33(12): 1362–1367.

栏目编辑: 韩 峰