

文章编号 1004-924X(2013)04-0904-07

板上芯片集成封装的发光二极管结构设计

马建设*, 贺丽云, 刘彤, 苏萍
(清华大学深圳研究生院, 广东深圳 518055)

摘要:根据板上芯片(COB)集成封装的结构特点,同时考虑反光杯结构和荧光粉涂敷方式,分析了影响 COB 封装的发光二极管(LED)发光性能的主要因素。针对反光杯结构的关键要素:反光杯形状、反光杯深度、反光杯角度,优化设计了 LED 光学结构。通过改变 TracePro 软件中反光杯的相关参数,模拟了不同 LED 的光强分布及发光效率,探讨了提高 COB 封装的白光 LED 发光效能的途径。最后,在 4 mA 和 12 mA 电流下进行了传统荧光粉涂敷方式及荧光粉远离芯片涂敷方式的对照实验。仿真及实验结果表明:采用圆锥形反光杯,反光杯深度在一定范围内略大,且反光杯角度设为 30° 时,LED 发光性能较为优异。与传统封装方法相比,采用荧光粉远离芯片的封装方法可使发光效率提高 5% 左右。得到的结果对 LED 封装制造过程有指导意义。

关键词:发光二极管(LED);板上芯片(COB);封装结构;发光效率

中图分类号: TN312.8 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20132104.0904

Design of optical structure for chip-on-board wafer level packaging LEDs

MA Jian-she*, HE Li-yun, LIU Tong, SU Ping

(Graduate School at Shenzhen, Tsinghua University, Shenzhen 518055, China)

* Corresponding author, E-mail: mjs888@126.com

Abstract: According to the characteristics of Chip-on-board (COB) packaging structure and considering the reflective cup structure and fluorescent powder coating methods, the main factors impacting the light emitting properties of a COB packaged Light Emitting Diode(LED) were analyzed. On the basis of the several key elements of reflective cup structure, including its shape, depth, and angle, this paper optimized the design of LED optical structure. By changing the relevant parameters of reflective cup in TracePro software, the light intensity distributions and output efficiencies of different LEDs were simulated, and the approach to improve the light luminescence properties of a COB packaged white LED was discussed. Finally, the contrast experiments on a traditional phosphor coating method and a coating method with phosphors away from the LED chip were performed under drive currents of 4 mA and 12 mA, respectively. The simulation and experimental results show that the luminous performance is more excellent in the reflective cup with a conical shape, a bigger depth in a certain range and an angle of 30°. As compared with traditional packaging method, the coating method

收稿日期:2012-11-09;修订日期:2013-01-10.

基金项目:粤港关键领域重点突破项目(高性能微型投影模组的研发及产业化:200920522800017)

with phosphors away from the LED chip can improve the luminous efficiency by more than 5%. It has certain guiding significance for the LED packaging manufacturing process.

Key words: Light Emitting Diode(LED); Chip-on-Board(COB); packaging-structure; luminescent efficiency

1 引言

照明应用领域对光源提出了高达数万流明(1 m)光通量的要求,功率型发光二极管(LED)被认为是最有可能进入普通照明领域的新一代绿色光源^[1-2]。随着LED亮度及发光效率的不断提高,对封装的要求也越来越高,一方面LED必须满足具有足够高的取光效率和光通量,兼顾发光角度、发光均匀性及光色等因素的同时使发光损失降到最低;另一方面,封装必须满足芯片的散热要求。随着大功率LED工作电流的增大,如果散热性能受限,不仅使LED亮度降低,还会直接影响LED的使用寿命^[3]。

提高LED的发光效率主要有以下两种途径:(1)通过扩大单颗LED晶元的发光面积或者将若干颗LED晶元组合在一起,提高LED芯片自身的发光能力;(2)优化LED光学结构,封装结构对LED的出光效率有很大影响,设计合理的封装结构,有利于LED光线的出射,可以提高LED发光的外量子效率。

近年来,板上芯片集成封装(Chip-on-Board, COB)在半导体LED光源中得到广泛的应用。与传统功率型LED器件不同,采用COB封装,LED晶元可以直接封装在基板上,不需要额外的芯片散热和电极引线框架等结构。此外,COB封装不仅可以简化LED封装工艺,缩短LED封装流程,更重要的是能够节约封装成本。然而COB封装的LED想要获得良好的光效依然存在优化封装结构等急需解决的关键问题^[4]。本文分析了COB封装的白光LED的光学结构及相关工艺,运用Tracepro光学软件对LED封装结构与发光效率的关系进行了仿真计算,从反光杯形状、反光杯深度、反光杯角度以及封装胶形状等方面分析了LED封装结构,总结了影响COB封装的白光LED光学性能的主要因素,并深入探讨了提高COB封装白光LED发光效率的方法。

2 COB封装结构的仿真分析

2.1 LED模型的简化

COB封装的白光LED的封装结构如图1所示,由基板、绝缘胶、芯片、金线、反光杯、环氧树脂封装胶等组成^[4]。

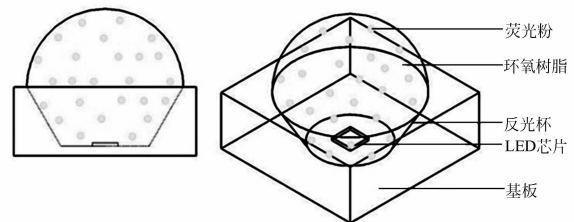


图1 COB封装的白光LED的结构

Fig. 1 Structure of COB packaging of LED

各部分的主要功能如下:

基板:固定芯片的位置;绝缘胶:将芯片粘接到基板上;芯片:在外加电场作用下产生电子-空穴对;金线:连接发光芯片和基板上的电极,提供芯片中电子-空穴对复合需要的电场;反光杯:将LED芯片发出的光反射出去;环氧树脂封装胶:保护LED内部结构,同时将反光杯反射的光汇聚后出射^[5-6]。

从光的出射角度分析,光子离开LED芯片表面时的出射点在芯片表面上随机分布,且在芯片的6个面均有不同程度出射,用一个简化的长方体表示LED芯片发光模型。该长方体的上表面为主要出光面,因为芯片的厚度相对于上表面出光面非常小,所以芯片侧面的发光可以忽略不计。另外,发光点在出光面上随机分布,所以将芯片的发光特性集中定义在其上表面出光面上,这样不仅能提高光线追迹效率,也能保证足够的准确度^[7]。常见的LED芯片尺寸为0.2~1 mm,与基板上反光板尺寸相比小很多,因此下面分析LED封装结构时统一将其视为点光源。

从理论上分析,单个LED光源是一个朗伯体,光强分布由发光角度的余弦方程决定。一个

较为近似的光照度分布方程为:

$$E(\nu, \theta) = E_0(r) \cos^m \theta, \quad (1)$$

式中: θ 为发光角度, $E_0(r)$ 为 LED 沿光轴 ($\theta=0^\circ$) 处距离光源 r 处的光照度 (W/m^2), m 值取决于 LED 发光区域与球面密封材料的曲率中心的相对位置, 如果曲线中心刚好在芯片上, 则 $m \approx 1$ 。对于普通的 LED, $m > 30$, 并且强度值随着发光角度的增大而下降明显, m 值由发光半角值 $\theta_{1/2}$ 决定, 如式(2)^[8-9]。

$$m = - \frac{\ln 2}{\ln(\cos \theta_{1/2})}. \quad (2)$$

下面通过一次光学设计, 分析反光杯形状、深度和角度对白光 LED 出光性能的影响。

2.2 反光杯形状

LED 芯片发光符合朗伯体出射规律, 出射角约为 120° , 如果不采用反光杯来汇聚光线, 减小出射光线的角度, 必然会造成很大的光能浪费, 导致效率下降。

常见的反光杯形状为抛物线形、圆锥形和圆柱形, 如图 2 所示, 在 Tracepro 软件中仿真分析 3 种反光杯形状出光效果, 仿真结果如图 3 所示,

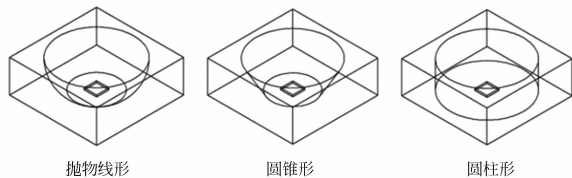


图 2 不同形状反光杯的 LED 结构图

Fig. 2 Structure of different shapes of reflective cup for LED

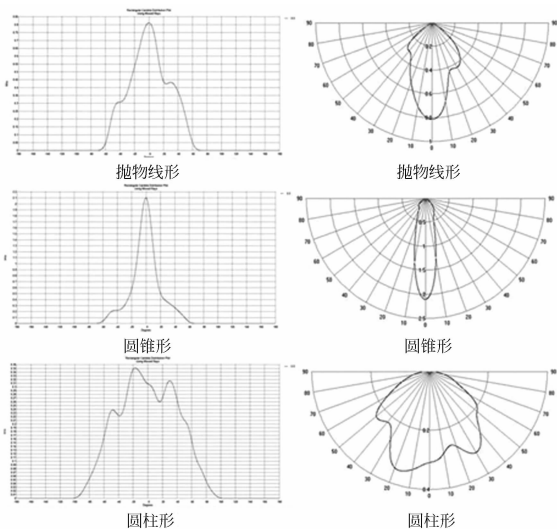


图 3 TracePro 中不同反光杯形状的仿真数据

Fig. 3 Simulation data of different shapes of reflective cup in TracePro

数据统计结果如表 1 所示。结果表明: 在其他条件不变时改变反光杯的形状, 圆锥形反光杯的中心光强最高, 约为 $2.1 \text{ W}/\text{sr}$, 且半角值最小, 约为 11.5° 。

表 1 不同形状反光杯的仿真数据

Tab. 1 Experimental data of different shapes of reflective cup

	抛物线形	圆锥形	圆柱形
中心光强 $I_{\max}/(\text{W} \cdot \text{sr}^{-1})$	0.81	2.1	0.35
半角值/ $^\circ$	24.5	11.5	58.5

2.3 反光杯深度

反光杯深度的不同意味着芯片发光表面距离基板高度位置不同, 这种情况会影响 LED 芯片的出光性质。以 2.47、2.57 和 2.67 mm 3 种不同深度的反光杯为例进行分析, 如图 4 所示。

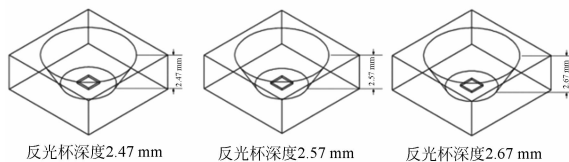


图 4 反光杯深度的 LED 结构图

Fig. 4 Structure of different depths of reflective cup for LED

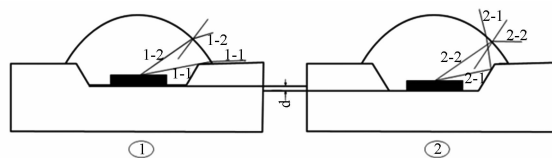


图 5 不同反光杯深度出光图

Fig. 5 Light paths of different depths of reflective cup

如图 5 所示, 从两个芯片出射的光线 1-1 和 2-1, 这两条光线的出射角度相同, 由于反光杯深度的不同, 光线 1-1 直接由环氧树脂射入空气, 光线 2-1 在环氧树脂中经反光杯反射后进入空气。从图中可以看出, 光线 2-1 比光线 1-1 的汇聚效果好, 因此可以推断结构 2 比结构 1 对光线的聚拢效果更为显著。此外, 光线 1-2 和光线 2-2 也以相同的出射角从 1 和 2 芯片出射, 光线 1-2 到达封装胶与空气的界面时的入射角为 θ_1 , 光线 2-2 到达封装胶与空气的界面时的入射角为 θ_2 , $\theta_2 > \theta_1$ 。根据折射定律, 光线从光密介质入射到光疏介质时, 入射角大于临界角时, 会发生全反射。

全反射角损失是由于 Snell 定律的关系:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2. \quad (3)$$

只有在临界角 θ_c 内的光可以完全被射出,其他的光则在内部反射或折射,临界角:

$$\theta_c = \sin^{-1} \left[\frac{n_2}{n_1} \right]. \quad (4)$$

通常所用的封装胶的折射率为 1.4~1.5,与空气的临界角为 41.81~45.58°,也就是结构 2 的出射光线有更大的可能会被反射回来,这种情况下将会导致有更多的光线损失在封装胶中,光效会更低。因此,应该综合发光效率和光线聚拢效果两方面考虑来选择最适合的反光杯深度^[10]。

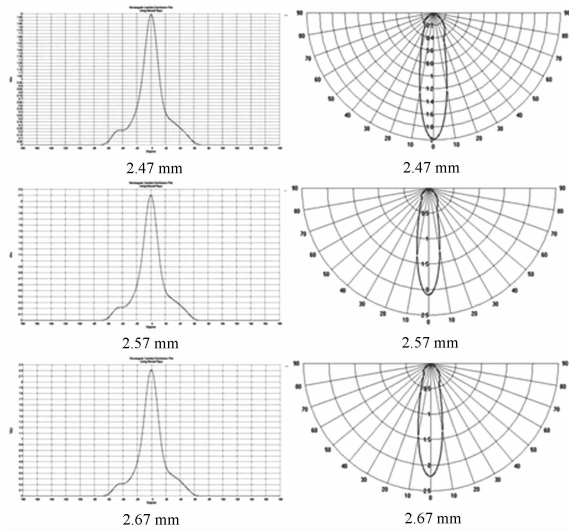


图 6 TracePro 中不同反光杯深度的仿真数据

Fig. 6 Simulation data of different depths of reflective cup in TracePro

在 Tracepro 光学软件中仿真上述 3 种不同的反光板深度的出光效果,如图 6 所示,统计结果如表 2 所示,仿真数据表明:在其他条件不变的情况下改变反光杯深度,反光杯深度为 2.67 mm 时的中心光强最大,半角值最小,反光杯深度为 2.47 mm 时的发光效率最大。

表 2 不同反光杯深度的仿真数据

Tab. 2 Experimental data of different depths of reflective cup

	中心光强 $I_{\max}/(W \cdot sr^{-1})$	发光效率/%	半角值/(°)
2.47 mm	2.0	92.32	12.5
2.57 mm	2.1	92.31	11.5
2.67 mm	2.2	91.29	11.0

2.4 反光杯角度

不同的反光杯角度对 LED 的出光性能有很大的影响,图 7 所示为不同反光杯角度的 LED 结构图。

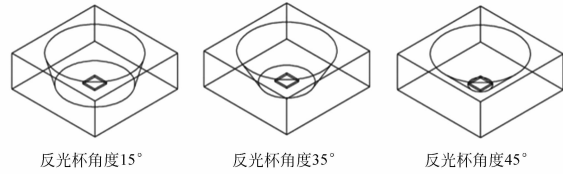


图 7 不同角度反光杯的 LED 结构图

Fig. 7 Structure of different angles of reflective cup for LED

在 Tracepro 软件中仿真不同的反光杯角度对 LED 的出光性能的影响,如图 8 所示。仿真数据表明:在其他条件不变时改变反光杯角度,当反光杯角度为 15°和 45°时的光强分布图很不理想,最大光强并未出现在其中心位置。分析其原因,为反光杯反光作用导致最大光强位置发生变化,30°为最理想的反光杯角度。

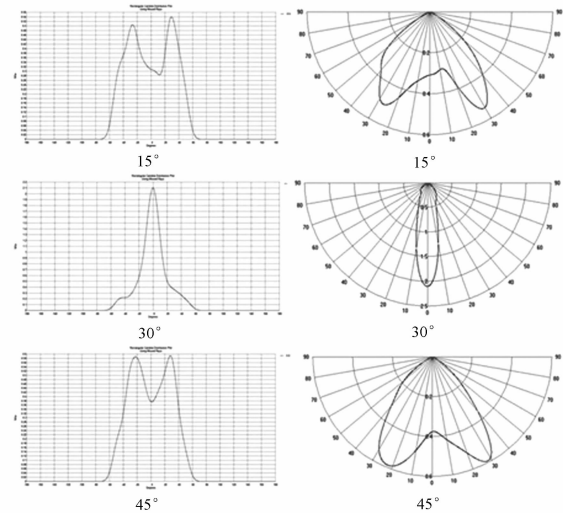


图 8 TracePro 中不同反光杯角度的仿真数据

Fig. 8 Simulation data of different angles of reflective cup in tracePro

表 3 不同反光杯角度的仿真数据

Tab. 3 Experimental data of different angles of reflective cup

	中心光强 $I_{\max}/(W \cdot sr^{-1})$	发光效率/%	半角值/(°)
15°	—	92.32	—
30°	2.1	92.31	11.5
45°	—	91.29	—

综上仿真分析可以看出,反光杯的形状、反光杯的深度和角度都不同程度的影响着 LED 的中心光强和发光效率,所以通过一次光学设计的理论分析,实验中反光杯采用圆锥形、深度为 2.67 mm,反光杯角度为 30°进行设计。

3 荧光粉涂敷对 LED 发光性能的影响

LED 实现白光主要有三种方法:一是采用红、绿、蓝三基色的 LED 芯片组合来实现白光;二是通过紫外光 LED 芯片+可被紫外光激发的红、绿、蓝荧光粉来实现白光;三是通过蓝光 LED 芯片+黄色荧光粉实现白光(如图 9)。相比之下,蓝光 LED 芯片+黄色荧光粉组合实现白光的制作工艺相对成熟,成本低、光效较高,成为主流的白光 LED 技术^[11]。但是大功率白光 LED 封装

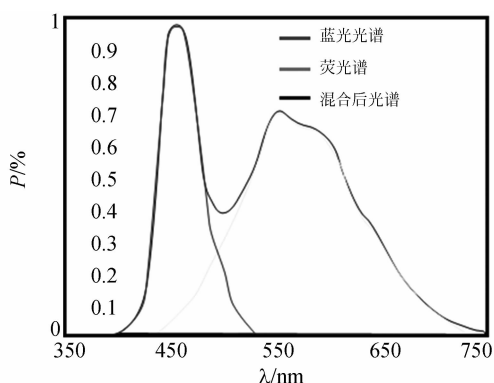


图 9 蓝光 LED 芯片+黄色荧光粉实现白光光谱图
Fig. 9 Spectrum of blue LED chip+yellow phosphor to achieve white light

表 4 两种实现白光的方法

Tab. 4 Two kinds of methods to achieve white light

样品编号	名称	实现方法
1	传统封装方法	把混合均匀的荧光粉和环氧树脂直接涂敷在固晶、焊线完成的芯片上固化
2	荧光粉远离芯片封装方法	在固晶、焊线完成的芯片上涂敷透明的环氧树脂(不含荧光粉)固化,固化后把混合均匀的荧光粉和环氧树脂涂在固化好的环氧树脂上进行二次固化 ^[12-13]

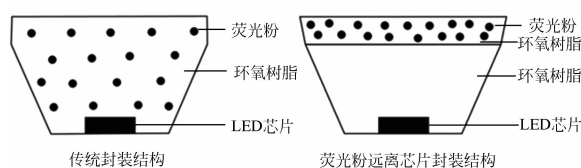


图 10 两种实现白光的荧光粉涂层结构

Fig. 10 Two kinds of phosphor coating structures to achieve white light

工艺还不成熟,散热和荧光粉涂层是亟待解决的两大问题,而荧光粉的涂敷方法又直接影响 LED 散热性能。下面论述了荧光粉涂覆方法,表 4 是传统荧光粉涂覆方法和荧光粉远离芯片荧光粉涂敷方法的实现过程对比,图 10 分别是两种涂敷方法的 LED 荧光粉涂层结构。

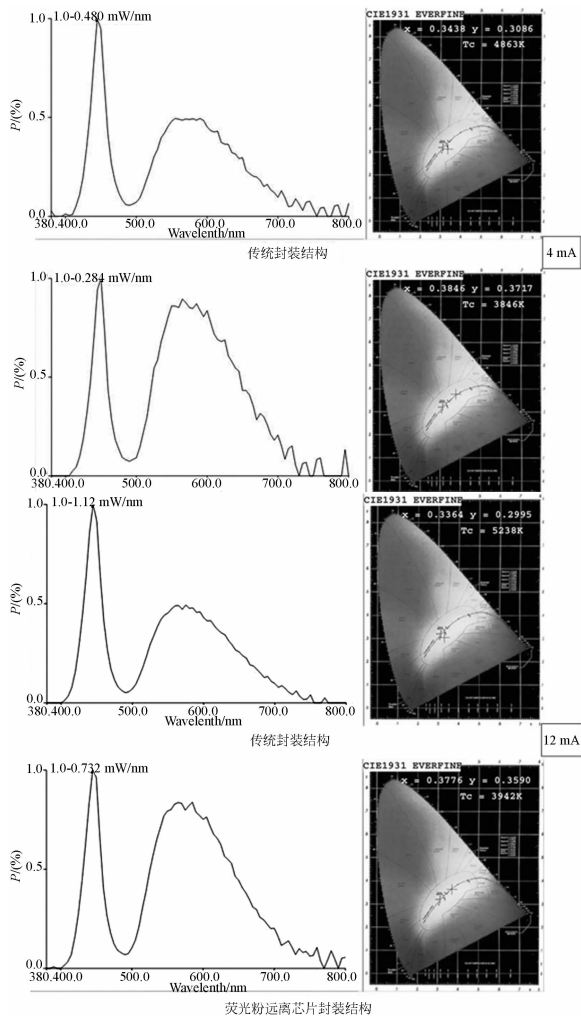


图 11 不同驱动电流下两种样品的积分球测试结果
Fig. 11 Integrating sphere test results of two samples under different drive currents

选用驱动电流为 20 mA,驱动电压为 55 V 的大功率 LED 芯片,按照上述两种实现方法分别封装完成样品 1、样品 2 两组待测白光 LED 光源。在环境温度为 25 °C,驱动电流为 4 和 12 mA 时,利用远方的积分球对两组样品白光 LED 的出光性能进行测定。

表 5 不同驱动电流下两种样品的测试结果

Tab. 5 Test results of two samples under different drive currents

	驱动电流 $I=4$ mA		驱动电流 $I=12$ mA	
	效率/(lm/W)	色温/K	效率/(lm/W)	色温/K
样品 1	68.4	4 863	51.4	5 238
样品 2	70.1	3 846	57.2	3 942

从表 5 中可以看出,样品 2 的光通量一直高于样品 1 的光通量,样品 2 的发光效率与样品 1 相比分别提高了 2.48% 和 11.28%,越接近芯片的驱动电流,提高越明显。这是因为:

(1)样品 2 的荧光粉和芯片之间有环氧树脂隔离层,LED 芯片发射的光和激发荧光粉发射的光经荧光粉颗粒散射返回到芯片被吸收较少,光通量较高;

(2)电流增加,结温升高,荧光粉层的温度也

随之升高,而荧光粉的辐射特性受温度影响很大。样品 2 的荧光粉远离芯片,因此结温升高对荧光粉的影响较小。所以样品 2 的光通量高于样品 1。

4 结 论

通过对 COB 封装的白光 LED 的影响因素的研究分析以及软件仿真及实验测试,验证了反光杯参数及荧光粉涂覆方式对白光 LED 光效的影响。从几何光学原理出发,建立了简化的 COB 封装 LED 光学结构模型,利用光学追迹软件 TracePro 进行计算分析,通过改变 LED 反光杯的参数情况,反光杯形状、反光杯深度、反光杯角度,找出这 3 种因素影响 LED 光强分布及出光效率的一般规律:圆锥形反光杯,反光杯深度在一定范围内大一点,且反光杯角度为 30°时,发光性能较为优异。此外,通过荧光粉涂层实验验证荧光粉涂层结构对 LED 出光性能的影响,将封装的传统封装方式和荧光粉远离芯片两组对照,在积分球中测试其发光效率及光谱分布,实验结果表明荧光粉远离芯片的封装方式的光学性能要远优于传统封装方式,对 LED 封装制造过程有一定的指导作用。

参考文献:

- [1] 宁磊,史永胜,史耀华,等. LED 封装结构对出光效率的影响[J]. 液晶与显示,2010,25(6):823-825.
NING L,SHI Y SH,SHI Y H, et al.. Influence of package structure on LED light extraction[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2010,25(6):823-825. (in Chinese)
- [2] 李艳菲,张方辉,张静. 大功率 LED 的电流老化特性[J]. 发光学报,2012,33(11):1236-1240.
LI Y F,ZHANG F H,ZHANAG J. The Accelerated Aging Characterization of High Power LED [J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2012, 33 (11):1236-1240. (in Chinese)
- [2] 陈凤,袁银麟,郑小兵,等. LED 的光谱分布可调光源的设计[J]. 光学精密工程,2008,16(11):2060-2064.
CHEN F,YUAN Y L,ZHENG X B, et al.. Design of spectral tunable LED light source [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(11):2060-2064. (in Chinese)
- [3] 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.
JIANG B,SONG G H,MIU J W, et al.. Thermal analysis of high power LED based on COB packaging technology[J]. *Electronic Components and Materials*, 2011, 30(6):48-52. (in Chinese)
- [4] 陆英艳,刘乃涛,侯君凯,等. COB 集成封装技术相关专利分析[J]. 信息化研究,2012,38(5):11-15.
LU Y Y,LIU N T,HOU J K, et al.. Patent Analysis about COB Integrated Packaging Technology [J]. *Information Research*, 2012, 38(5). 11-15. (in Chinese)
- [5] 屠大维,吴仍茂,杨恒亮,等. LED 封装光学结构对光强分布的影响[J]. 光学精密工程,2008,16(5):832-838.
TU D W,WU R M,YANG H L, et al.. Effect of optical structure on output light intensity distribution in LED package [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(5):832-838. (in Chinese)

- [6] 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.
DENG H, DENG ZH H, LIU ZH G, *et al.*. Thermal Simulation for Design of LED COB Package[J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2012, 33(5): 535-539. (in Chinese)
- [7] 张鉴, 方帅, 胡智文, 等. LED 封装的一次光学系统优化设计[J]. 光电器件, 2008, 29(5): 658-661.
ZHANG J, FANG SH, HU ZH W, *et al.*. Optimized design of the primary optical system for LED packages [J]. *Semiconductor optoelectronics*, 2008, 29(5): 658-661. (in Chinese)
- [8] 史光国. 发光二极管及固体照明[M]. 北京: 科技出版社, 2007, 195
SHI G G. *Light Emitting Diode and Solid State Lighting* [M]. Bei Jing: Science and Technology Press. 2007, 195
- [9] 黄启祿. 基于均匀照明的 LED 阵列的仿真研究与设计[D]. 福建: 华侨大学, 2011.
HUANG Q L. *Simulation Research and Design of LED array Based on the Uniform Illumination* [D]. Fu Jian: Hua Qiao University. 2011. (in Chinese)
- [10] 张路飞, 吕银环, 张涛, 等. 大功率 LED 半球形透镜参数对一次光效效率的影响[J]. 半导体光电, 2012, 33(4): 507-510.
ZHANG L F, LV Y H, ZHANG T, *et al.*. Effect of Hemispherical Lens of High Power LED on Primary Optical Efficiency[J]. *Semiconductor Optoelectronics*, 2012, 33(4): 507-510. (in Chinese)
- [11] 张功国, 张春仙, 等. 近紫外激发白光 LED 用荧光粉研究进展[J]. 济宁学院学报, 2012, 33(6): 35-38.
ZHANG G G, ZHANG CH X, *et al.*. Research Progress on Phosphor Excited by Near Ultraviolet for White Light-emitting Diodes[J]. *Journal of Jining University*, 2012, 33(6): 35-38. (in Chinese)
- [12] 刘丽, 吴庆, 黄先, 等. 白光 LED 荧光粉涂敷工艺及光学性质[J]. 发光学报, 2007, 28(6): 890-894.
LIU L, WU Q, HUANG X, *et al.*. Promoting of phosphor-based white-LED and optical properties [J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2007, 28(6): 890-894. (in Chinese)
- [13] 丘永元, 张佰君. 白光 LED 荧光粉远场涂覆光学性质[J]. 半导体光电, 2012, 33(2): 168-170.
QIU Y Y, ZHANG B J. Optical Properties of Remote Phosphor-converted White LEDs[J]. *Semiconductor Optoelectronics*, 2012, 33(2): 168-170.

作者简介:



马建设(1969—),男,河南永城人,博士后,副研究员,2000年9月于哈尔滨工业大学获博士学位,2003年于清华大学博士流动站完成博士后,主要从事交互投影及成像技术方面的研究。E-mail: mjs888@126.com



刘彤,男,河北深泽人,博士后,讲师,1997年、2001年于哈尔滨工业大学分别获学士、硕士学位,2005年于香港中文大学获博士学位,LED封装技术、LED应用、制造自动化等方面的研究。E-mail: liutong@sz.tsinghua.edu.cn



贺丽云(1988—),女,山西代县人,硕士研究生,2010年于北京邮电大学获学士学位,主要从事LED作为微型投影机光源方面的研究。E-mail: sxdxhly@163.com



苏萍(1984—),女,河南鹤壁人,博士后,讲师,2005年、2010年于清华大学分别获学士、博士学位,主要从事先进显示技术、三维显示系统、全息三维显示方面的研究。E-mail: su.ping@mail.sz.tsinghua.edu.cn