

doi: 10.3788/gzxb20164507.0723003

荧光粉封装方式对多芯片阵列 LED 封装效率的影响

曹艳亭, 陈超, 梁培, 黄杰

(中国计量学院 光学与电子科技学院, 杭州 310018)

摘 要: 针对荧光粉封装的多芯片 LED, 用 Monte Carlo 光线追迹的方法仿真光线在蓝光芯片和荧光粉中的传播, 并分析了荧光粉封装方式对多芯片阵列 LED 封装效率的影响. 结果表明: 随着荧光粉层和芯片之间的距离增大, 保型涂覆的 LED 封装效率先增加后减小, 最大封装效率为 59%; 平面涂覆的 LED 在芯片间距为 0.2 mm、荧光粉层和芯片之间的距离为 0.28 mm 时, 封装效率为 77.183%; 荧光粉层的曲率半径对封装效率的影响较小.

关键词: 发光二极管; 封装效率; 蒙特卡罗方法; 荧光粉封装; 多芯片阵列

中图分类号: TN312.8

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2016)07-0723003-5

Effect of Different Packaging of Phosphor on the Encapsulation Efficiency of Multi-chips LED

CAO Yan-ting, CHEN Chao, LIANG Pei, HUANG Jie

(Institute of Optics and Electronics, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: For the multi-chips LED packaged by phosphor layers, the light propagation in blue chip and phosphor layer was simulated based on the method of Monte Carlo. The influence of the encapsulation efficiency on different distances between chip and phosphor layer was analyzed. The result shows that, the encapsulation efficiency of conformal coating firstly rises, then drops with the increasing of the diameter. The flat remote coating has a higher efficiency compared with others. The maximum encapsulation efficiency reaches up to 77.183% for the flat remote coating while the gap of chips is set as 0.2 mm and the distance between chip and phosphor layer is 0.28 mm. The influence of the curvature radius of phosphor layer on encapsulation efficiency is small.

Key words: Light-emitting diode; Encapsulation efficiency; Monte Carlo raytrace; Package of phosphor coating; Multi-chip array

OCIS Codes: 230.3670; 260.6970; 220.2740

0 引言

LED (Light-Emitting Diode) 由于具有体积小、响应速度快、低能耗、环保、长寿命等优点^[1], 被广泛应用于通用照明、广告、应急照明等领域^[2-3]. 由于单芯片 LED 的总体尺寸限制了更大功率封装密度, 过多导热胶、基板、焊盘等的使用限制了 LED 器件的可靠性和稳定性^[4], 致使单芯片大功率 LED 不能满足汽车照

明、通用照明、背光源的功率要求. 与单芯片 LED 相比, 多芯片 LED 能产生更高的光通量^[5], 因此多芯片封装逐渐成为 LED 封装的新趋势. 在以往 LED 封装研究中, 通过晶圆级的方法, 如文理表面^[6]、图案化蓝宝石基板^[7]和光子晶体^[8], 或优化封装结构, 如圆顶形封装透镜^[9]、梯度折射率的密封剂^[10]和粗糙的衬底^[11], 提高了封装效率. 近年来, 为了提高多芯片 LED 的光学品质, 出现了较多的封装结构和形式. 美国

基金项目: 顺德区产学研合作项目 (No. 2014 CXY08) 和浙江省仪器科学与技术重中之重建设学科光电检测方向人才培育计划项目 (No. JL150541) 资助

第一作者: 曹艳亭 (1991-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为 LED 封装与光学设计. Email: cyt@cjlu.edu.cn

导师 (通讯作者): 梁培 (1982-), 男, 副教授, 博士, 主要研究方向为光电子材料与器件. Email: plianguhust@126.com

收稿日期: 2015-12-18; **录用日期:** 2016-04-08

<http://www.photon.ac.cn>

UOE 公司推出了六角形铝板作为衬底的 Norlux 系列 LED;科锐公司 (CREE) 推出了 4 个芯片封装的 XLamp MC-E 系列 LED;松下 (Panasonic) 推出了 64 只芯片合封装的大功率白光 LED^[6]. 这些封装结构和方式的共同点是对封装荧光粉层后的芯片组合封装成 LED. Yu-Hsuan Chen 等^[8]研究了在荧光粉层直接涂覆在多芯片上时,芯片间距对多芯片 LED 光学品质的影响. Yu 等^[12-13]研究了荧光粉层厚度和曲率半径对于其封装效率的影响.

在以往 LED 封装方式的研究中,大部分工作是讨论单芯片封装中的封装结构和封装方式对于 LED 颗粒的光效影响,较少涉及到多芯片共同封装荧光粉层. 因此,本文探究了在多芯片同时涂覆荧光粉层时,荧光粉的涂覆方式、位置等对多芯片 LED 封装效率产生的影响. 利用基于 Monte Carlo 光线追迹方法的 Lighttools 软件进行仿真计算,并比较 4 种不同荧光粉涂覆工艺对多芯片 LED 封装效率的影响.

1 芯片 LED 封装效率的仿真计算

Monte Carlo 方法本质上是一种利用概率论来进行统计分析的数值计算方法,适用于模拟随机过程相联系的物理现象^[14]. 光子在 LED 中运动时,在材料界面会发生反射、折射、吸收和散射等现象,这些都可以看作是光子在 LED 结构体中传输时随机发生的事件. 采用蒙特卡罗方法来追踪每个随机产生的光子从 LED 芯片量子阱出发后与各封装材料界面的作用,最后可以统计出射的光子数^[15].

如图 1,对于多芯片白光 LED 在仿真过程中存在两种光:芯片发出的蓝光和荧光粉的发射光.

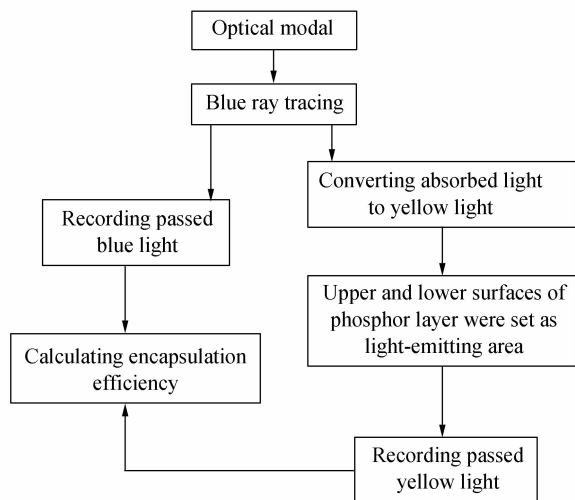


图 1 封装效率的计算方法流程图

Fig. 1 The flowchart of computational method of the packaging efficiency

真实封装效率 $\eta_{Pack-LEE}$ 可分为蓝光封装效率 $\eta_{Pack-B-LEE}$ 和荧光粉发射光封装效率 $\eta_{Pack-Y-LEE}$, 表示为

$$\eta_{Pack-LEE} = \eta_{Pack-B-LEE} + \eta_{Pack-Y-LEE} \quad (1)$$

$$\eta_{Pack-B-LEE} = 1 - \eta_{\alpha-chip-B} (1 - \eta_{\alpha-phos-B}) \cdot (1 - \eta_{\alpha-encap-B}) \eta_{reflection-B} \quad (2)$$

$$\eta_{Pack-Y-LEE} = \eta_{\alpha-phos-B} \eta_Q \eta_{Stokes} (1 - \eta_{\alpha-chip-Y}) \cdot (1 - \eta_{\alpha-Phos-Y}) (1 - \eta_{\alpha-encap-Y}) \eta_{reflection-Y} \quad (3)$$

式中, $\eta_{\alpha-chip-B}$ 、 $\eta_{\alpha-chip-Y}$ 分别表示芯片对蓝光的再吸收效率和再吸收效率; $\eta_{\alpha-phos-B}$ 、 $\eta_{\alpha-Phos-Y}$ 分别表示荧光粉对蓝光的吸收效率和再吸收效率; $\eta_{\alpha-encap-B}$ 、 $1 - \eta_{\alpha-encap-Y}$ 分别表示其余封装材料对蓝光的吸收效率和再吸收效率; $\eta_{reflection-B}$ 、 $\eta_{reflection-Y}$ 表示反射效率.

由于实际被荧光粉后向散射的蓝光是比较少的,因此芯片对蓝光的再吸收效率 $\eta_{\alpha-phos-B}$ 一般较低. 对于蓝光的封装效率 $\eta_{Pack-B-LEE}$, 关键影响因素是荧光粉的吸收效率 $\eta_{\alpha-chip-Y}$. 对于荧光粉发射光的封装效率 $\eta_{Pack-Y-LEE}$, 关键影响因素是荧光粉的内量子效率 η_Q 、斯托克斯效率 η_{Stokes} 、芯片的再吸收效率 $\eta_{\alpha-chip-Y}$ 和反射效率 $\eta_{reflection-Y}$ ^[14].

影响封装效率的因素都是无法通过实验直接得到的,必须利用光学仿真的方法进行反推计算. 为了简化光学仿真中的参量设定,可以假定封装的电功率为 1W,复合效率、注入效率均为 100%,而内量子效率设定为 70%. 这样,就可以得到

$$P_{opt-P-B} = \frac{7}{10} \eta_{chip-LEE} \eta_{Pack-B-LEE} \quad (4)$$

$$P_{opt-P-Y} = \frac{7}{10} \eta_{chip-LEE} \eta_{Pack-Y-LEE} \quad (5)$$

在仿真过程中只需要计算得到蓝光和荧光粉发射光的光功率以及芯片的取光效率,就可以分别得到蓝光的封装效率和荧光粉发射光的封装效率,进而得到 LED 的封装效率^[14].

2 多芯片封装 LED 模型

本文采用了 4 种涂覆方式,如图 2,利用 Monte Carlo 光线追迹方法对不同的荧光粉涂敷方式进行了光学仿真. 在 4 种涂覆方式中,如图 2(a) 为保型涂覆,

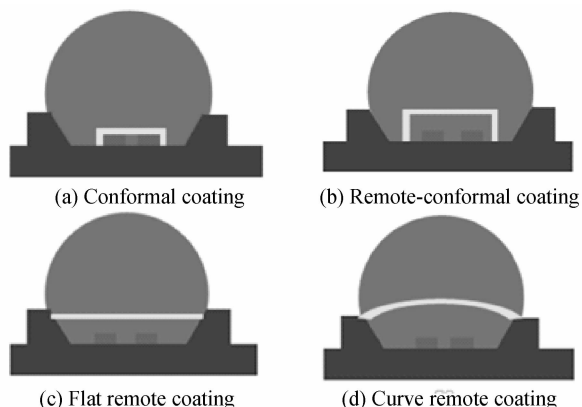


图 2 4 种涂覆方法

Fig. 2 Four phosphor coating methods

通常将荧光粉胶体直接涂覆在 LED 芯片表面;(b)是平面远离式涂覆将荧光粉胶体层置于距 LED 芯片一定距离的位置,将芯片与荧光粉层间相隔一定距离,间隙填充硅胶,能够有效地减少芯片对后向散射光线的吸收;(c)是远离式保形涂覆,是保形涂覆和平面远离式涂覆的结合;(d)为曲面远离式涂覆,在平面远离式涂覆的基础上,修改荧光粉层的曲率半径。

仿真过程中,设定芯片尺寸为 $0.5 \times 0.5 \times 0.2 \text{ mm}^3$ 的倒装结构芯片,为了减少计算机数据处理量,将 GaN 相关的半导体层视为同一个层,命名为 GaN 层^[16]。图 3(a),两个 GaN 层的中间为有源层,上方为蓝宝石,下方为 Ag 反光层。芯片为朗伯型发光,光谱区如图 3(b)。

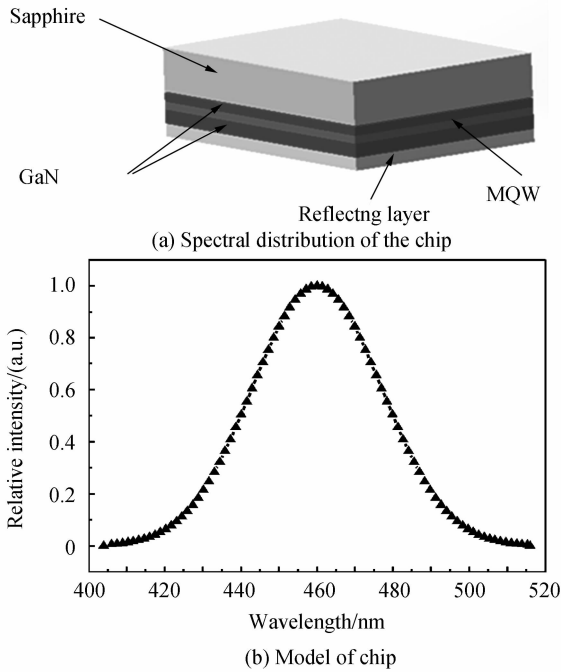
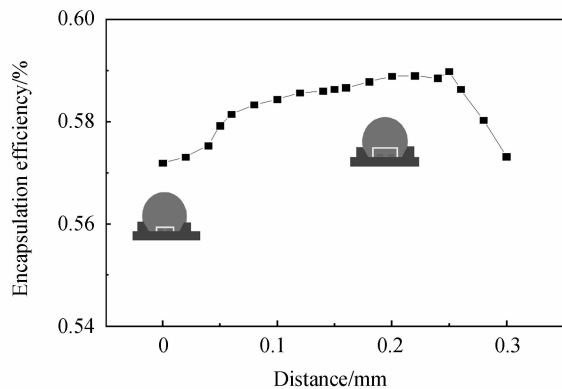


图 3 仿真中所用芯片的模型和光谱

Fig. 3 Model of the chip and spectral distribution

荧光粉颗粒为均匀分布,粒子半径 $2\ 000 \text{ nm}$ 。荧光粉层的厚度为 $1 \text{ }\mu\text{m}$,折射率 1.83,计算时输入荧光粉的激发光谱、发射光谱和吸收光谱。反光杯的角度为

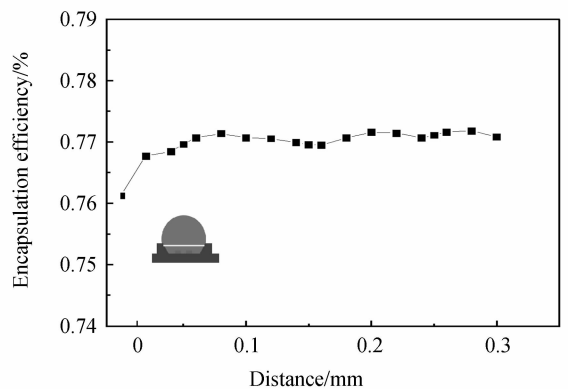


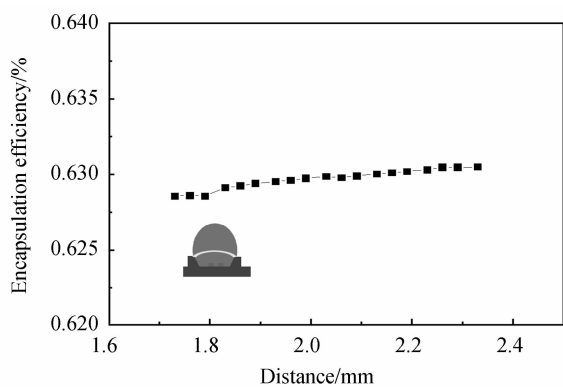
135° ,高度为 2 mm 。最外层硅胶曲率半径 4 mm ,折射率 1.41。各个材料界面完全按照菲涅尔公式来追迹光线的透射和反射情况。

3 仿真和分析

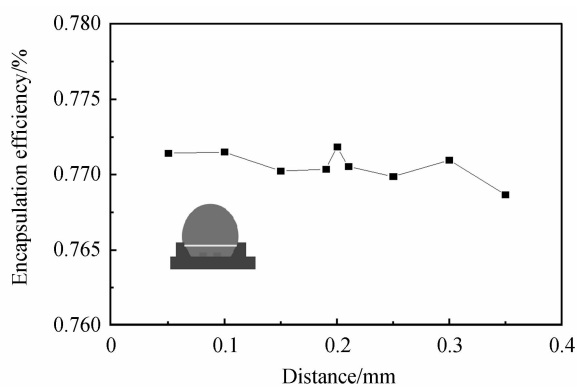
为了系统地研究不同的涂覆方式对于 LED 的封装效率的影响,图 4(a)中分别给出了改变远离式保形涂覆模型和平面远离式模型中荧光粉层的位置,荧光粉层的位置变化范围为 $0.1 \sim 0.3 \text{ mm}$ 。在远离式保形涂覆模型中,当荧光粉层和芯片之间的距离为 0 mm 时,即为传统的保形涂覆模型。

如图 4(a),传统的保形涂覆模型的封装效率较低,直接把荧光粉涂覆在芯片上,可以增加进入荧光粉层的光线,但是芯片对荧光粉层发射光线中后向散射光线的吸收增强,降低了荧光粉层发射光线的光功率。此外,也有研究表明,在传统的涂覆方式中,荧光粉的热量会直接影响到芯片发光,这也会影响到 LED 的外量子效率。图 4(a)和(b)中当荧光粉层和芯片之间的距离增加时,间隙填充硅胶,荧光粉的折射率大于硅胶的折射率。虽然进入荧光粉层的蓝光光线减少,但是相对于蓝光光线的减少量,芯片对荧光粉层发射光的后向散射光的吸收降低得更多,所以封装效率不断增加。当荧光粉位置为 0.25 mm 时,封装效率最高。图 4(a)中当荧光粉层的位置继续增加时,由于荧光粉层下面反光杯的面积增大,在反光杯中循环反射的光线增加,封装效率降低。因此,单芯片 LED 封装中荧光粉层在反光杯开口附近位置的结论相似。(b)中当荧光粉位置超过 0.1 mm 后,荧光粉层的侧壁靠近反光杯远离芯片,芯片对荧光粉层侧壁散射光的吸收降低,困在反光杯中的光线增加,封装效率基本保持不变。从图 4(c)中可以看出,当球形荧光粉层的曲率半径逐渐增加,封装效率的变化趋势平缓。这说明当荧光粉层为曲面远离式涂覆时,曲率半径不是影响封装效率的主要因素。图 4(d)为芯片间距平面远离式 LED 封装效率时的影响,





(c) Curvature of curve remote coating



(d) The space between each chip

图4 不同的涂覆方式对LED出光效率的影响

Fig. 4 Effect of different coating methods on the packing efficiency of LED

在仿真过程中,荧光粉层厚度为 0.1 mm,荧光粉层和芯片之间的距离为 0.28 mm. 参考之前研究^[12],当平面荧光粉层位置为 0 时,芯片边缘距离(0.1~0.6 mm)越大,LED 的光学品质越好. 以下模型中芯片边缘间距的范围选为 0.05~0.35 mm. 如(d)芯片间距在 0.05~0.35 mm 范围内变化时,0.2 mm 处封装效率最佳,整体变化量较小. 由于芯片为朗伯式发光,芯片间距的改变直接改变反光杯面上入射光线的方向,进而影响蓝光封装效率和荧光粉层的发射光效率,导致封装效率微小变化.

单芯片封装时,远离式涂覆方式有效改善了 LED 的光效^[17-18],且曲面远离式荧光粉层的 LED 具有最高的封装效率^[19-20]. 由图 4 可知,在多芯片封装中,平面远离式的多芯片 LED 具有最高的封装效率,不同荧光粉层的封装方式对单芯片 LED 和多芯片 LED 影响的差别较大.

4 结论

本文利用光线追迹方法模拟仿真了荧光粉层的 4 种涂覆方式对多芯片 LED 的封装效率的影响. 对于远离式保形涂覆和平面远离式涂覆计算了荧光粉层和芯片之间距离的变化对封装效率的影响,通过对比最优值发现平面远离式涂覆的封装效率优于远离式保形涂覆. 对于曲面远离式涂覆模拟仿真了荧光粉层曲率半径对封装效率的影响,曲率半径对封装效率影响较小. 对平面远离式涂覆,在取最优荧光粉位置的情况下,仿真了芯片间距变化对封装效率的影响,找到最佳芯片间距. 综合仿真模拟效果发现,平面远离式涂覆能够有效增加封装效率,在芯片间距为 0.2 mm、荧光粉层和芯片之间的距离为 0.28 mm 时封装效率最高,可达 77.183%. 同种涂覆方式下影响封装效率的其他相关因素如荧光粉层的厚度、浓度等,还需进一步综合探究.

参考文献

- [1] SCHUBERT E F. Light-emitting diodes[M]. Cambridge UK: Cambridge University Press, 2006.
- [2] HARTMANN P, WENZL F P, SOMMER C, *et al.* White LEDs and modules in chip-on-board technology for general lighting[C]. SPIE, 2006: 63370I.
- [3] AN Tao, LI Peng, DU Mu-han, *et al.* Performance of fluorescent white organic light-emitting device by introducing ultrathin emitting layer[J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2015, **36**(6): 645-650.
安涛,李鹏,杜牧涵,等. 超薄发光层结构的荧光型白光有机发光器件[J]. *发光学报*, 2015, **36**(6): 645-650.
- [4] LIU Hao. Research on reliability of high power LED package [D]. Wuhan, Huazhong University of Science and Technology, 2007.
刘浩. 高功率 LED 封装的可靠性研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2007.
- [5] WANG Chun-qing, HANG Cun-jin, ZHANG Wei. The structure and manufacturing technology of high power multi chip LED package [C]. China International Semiconductor Lighting Forum, 2011.
王春青,杭春进,张威. 大功率多芯片 LED 封装的结构及制造关键技术研究[C]. 中国国际半导体照明论坛, 2011.
- [6] LIU Yi-bing, DING Jie. Summarization on packaging technique of power-LED [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals*, 2008, **23**(4): 508-513.
刘一兵,丁洁. 功率型 LED 封装技术[J]. *液晶与显示*, 2008, **23**(4): 508-513.
- [7] FUJII T, GAO Y, SHARMA R, *et al.* Increase in the extraction efficiency of GaN-based light-emitting diodes via surface roughening [J]. *Applied Physics Letters*, 2004, **84**(6): 855-857.
- [8] KISSINGER S, JEONG S M, YUN S H, *et al.* Enhancement in emission angle of the blue LED chip fabricated on lens patterned sapphire[J]. *Solid-State Electronics*, 2010, **54**(5): 509515.
- [9] CHO H K, JANG J, CHOI J H, *et al.* Light extraction enhancement from nano-imprinted photonic crystal GaN-based blue light-emitting diodes[J]. *Optics Express*, 2006, **14**(19): 8654-8660.
- [10] SHUAI Yun, HE Yong-zhi, TRAN N T, *et al.* Angular CCT uniformity of phosphor converted white LEDs: Effects of phosphor materials and packaging structures [J]. *Technology Letters IEEE*, 2011, **23**(3): 137-139.

- [11] MA Ming, MONT FW, YAN X, *et al.* Effects of the refractive index of the encapsulant on the light-extraction efficiency of light-emitting diodes[J]. *Optics Express*, 2011, **5**(19): A1135-A1140.
- [12] LUO Hong, KIM K S, XI Y A, *et al.* Trapped whispering-gallery optical modes in white light-emitting diode lamps with remote phosphor[J]. *Applied Physics Letters*, 2006, **89**(4): 041125.
- [13] ROBERT C, CASELLA G. Monte Carlo statistical methods [M]. World Publishing Corp, 2009.
- [14] LIN J H, MA S H. Analyzing of light pattern uniformity in multi-chips LED lighting[M]. 2014.
- [15] YU Ren-yong, JIN Shang-zhong, LIANG Pei, *et al.* Monte Carlo simulation on LEDs graded-refractive-index-encapsulation[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2010, **39**(12): 2200-2223.
余仁勇, 金尚忠, 梁培, 等. LED 梯度折射率封装结构的蒙特卡罗模拟[J]. *光子学报*, 2010, **39**(12): 2200-2223.
- [16] YU R Y, JIN S, CEN S, *et al.* Effect of the phosphor geometry on the luminous flux of phosphor-converted light-emitting diodes[J]. *Photonics Technology Letters, IEEE*, 2010, **22**(23): 1765-1767.
- [17] LIU Zong-yun. Research on design and manufacture of high power LED package[D]. Wuhan, Huazhong University of Science and Technology, 2010.
刘宗源. 大功率 LED 封装设计与制造的关键问题研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2010.
- [18] ZHOU Qing-chao, BAI Ze-long, LU Lu, *et al.* Remote phosphor technology for white LED applications: advances and prospects[J]. *Chinese Optics*, 2015, **8**(3): 313-328.
周青超, 柏泽, 鲁路, 等. 白光 LED 远程荧光粉技术研究进展与展望[J]. *中国光学*, 2015, **8**(3): 313-328.
- [19] HU Fei, QIAN Ke-yuan, LUO Yi. Far-field pattern simulation of flip-chip bonded power light-emitting diodes by a Monte Carlo photon-tracing method[J]. *Applied Optics*, 2005, **44**(14): 2768-2771.
- [20] LIU Z, LIU S, WANG K, *et al.* Effects of phosphor's location on LED packaging performance[C]. International Conference on Electronic Packaging Technology & High Density Packaging, 2008: 1-7.