

# 光源近场测量在 LED 光学设计中的应用与研究

范红忠<sup>1</sup> 曹 民<sup>1</sup> 李抒智<sup>2</sup> 杨卫桥<sup>2</sup> 钱 晶<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 上海理工大学光电信息与计算机工程学院, 上海 200093)  
(<sup>2</sup> 上海半导体照明工程技术研究中心, 上海 201203)

**摘要** 在 LED 光学设计中,传统方法多以 LED 光源的远场测试数据为设计依据,而远场测试仅仅是对 LED 光源相对粗糙的测量,并不能精确地描述光源的空间光分布情况。对 LED 光源详细空间光分布信息的获取,即 LED 光线集的获取已经成为 LED 光学设计的瓶颈问题。获取并合理利用精确、详实的 LED 光源信息尤其是光源空间光分布信息是 LED 光学设计的关键点。分别利用单颗 LED 芯片和 LED 模块做了两组对照实验,并利用照明解析软件对获得的实验数据进行处理和分析,通过对比实验中光源远场测试和近场测试获得结果之间的差异,强调了通过 LED 光源近场测试获取光源光线集对 LED 光学设计的重要作用。实验结果表明,LED 光源近场测量获取的光源光线集可以为 LED 光学设计提供更为详细的光源的光空间分布信息。

**关键词** 光学设计;光源近场;光源远场;光线集;LED

**中图分类号** TN307 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS201232.1222001

## Application and Investigation of Near-Field Goniophotometer Measurements in LED Optical Design

Fan Hongzhong<sup>1</sup> Cao Min<sup>1</sup> Li Shuzhi<sup>2</sup> Yang Weiqiao<sup>2</sup> Qian Jing<sup>2</sup>

<sup>1</sup> School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China

<sup>2</sup> Shanghai Research Center of Engineering and Technology for Semiconductor Lighting, Shanghai 201203, China

**Abstract** It is a traditional method to take obtained far-field data as the basis of LED optical design. However, far-field measurement, which is just relatively rough measuring of LED source, cannot describe the source's space light distribution accurately. It has become a bottleneck problem of LED optical design to obtain detailed information of LED space light distribution, that is to obtain ray set. It is the key point to achieve and to use detailed and accurate information of LED source reasonably, especially information of light source's spatial light distribution. This paper conducts two groups of experiments on LED chip and module, and then processes and analyzes the data gained in the experiments by using the lighting analytic software. By contrasting the difference in results of two test methods, the paper stresses the importance of obtaining ray set of light source to optical design. Final result shows that ray set obtained from near-field goniophotometer measurement can offer more detailed spatial distribution information of light source for LED optical design.

**Key words** optical design; light source near-field; light source far-field; ray-set; LED

**OCIS codes** 220.2945; 230.6080; 120.1880

## 1 引 言

20 世纪 90 年代,白光 LED 的诞生促进了大功

率高亮度 LED 的发展。LED 具有能耗低、寿命长、响应时间快、高显色性和环保无污染等优点,为下一

**收稿日期**: 2012-06-12; **收到修改稿日期**: 2012-07-17

**基金项目**: 上海市科委“创新行动计划”研发公共服务平台建设项目(10DZ2291300)基金资助课题。

**作者简介**: 范红忠(1987—),男,硕士研究生,主要从事 LED 器件及半导体照明等方面的研究。

E-mail: taihang604@126.com

**导师简介**: 曹 民(1970—),男,高级工程师,主要从事灯光照明、检测仪器和安防设备等方面的研究。

E-mail: zwcao@163.com

代照明光源的主要成员之一,已广泛应用于人们生活、生产的各个领域<sup>[1~5]</sup>。

目前,在 LED 光学设计中,多将 LED 看做各向同性的点光源来看待,但是由于采用该方法获取的光源信息比较粗糙,容易导致 LED 产品的色度和亮度不均匀、光源整体效率低等问题<sup>[6~9]</sup>。在 LED 器件或灯具设计过程中,一般采用两种模型对光源进行模拟,即“光源远场模型”和“光源近场模型”<sup>[10]</sup>。光源远场模型即是光源看作是一个各向同性的点光源;而近场模型则将光源看作是一个复杂的面光源来研究其实际发光情况<sup>[11,12]</sup>。特别的,通过对 LED 光源进行近场测试,可以获得包含光线数量、光线的角度范围、总光通量和光线起点等详细光源信息的光线集文件。本文分别做了两组对照实验,找出了造成 LED 光源近场和远场差异的主要因素,分析说明了近场测试获得的 LED 光源光线集的应用可有效提高 LED 光学设计的质量和效率。

## 2 光源模型

### 2.1 光源远场测试

光源远场测试主要是将光源看作是一个理想的点光源,主要对光源的发光强度进行检测。点光源的发光强度检测一般遵循点光源距离平方反比定律,即将光源看作各向同性的发光强度为  $I$  的点光源向面积为  $dS$  的探测器敏感表面发出光辐射,辐射点与探测器受面之间的距离为  $r$ ,则其表面照度  $E=I/r^2$ 。该定律称作“平方反比法则”<sup>[13]</sup>。实际上,在工程中测量的物理量是探测器表面的照度,那么就可以利用“平方反比法则”计算出光照强度。在本文中,所有相关的远场实验均是利用该法则计算完成的。

### 2.2 光源近场测试

在对单颗 LED 的近场测试中,主要根据国际照明委员会(CIE)制定的 CIE127:2007《LED 的测量》文件中规定的光源近场测试方法。在该文件中,对近场的测量可以采用两种不同的测试条件,即条件 A 和条件 B(如图 1 所示)。在测试过程中两种条件均用到环形入口孔探测器,孔面积为  $100\text{ mm}^2$ (即直径为  $11.3\text{ mm}$ )。其中对于 CIE 标准条件 A,LED 与探测器之间的距离为  $316\text{ mm}$ ,对应的测量立体角为  $0.001\text{ sr}$ ;对于 CIE 标准条件 B,LED 与探测器之间的距离为  $100\text{ mm}$ ,对应的测量立体角为  $0.01\text{ sr}$ 。值得注意的是,上述 A、B 条件并不严格按照发光强度的定义进行测量。在本文中,所有近场

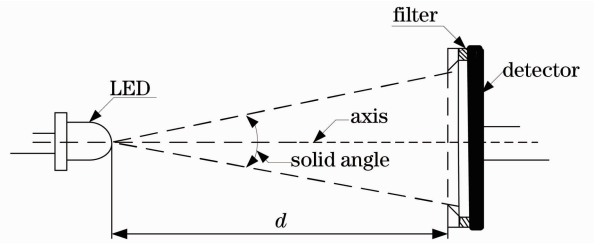


图 1 CIE127:2007 规定的平均发光强度测量条件  
Fig. 1 Measurement condition of mean luminous intensity for CIE127:2007

实验均是在标准条件 B 下进行的。

## 3 实验对比验证

### 3.1 单颗 LED 远、近场光线集模拟对比

通过利用美国 Radiant 公司的一款针对 LED 小光源的测试系统 SIG-400 获得单颗 LED 近场模型数据和远场模型数据,这些测量数据汇总成一个 RSM 格式的 Radiant 光源模型,然后将 RSM 文件导入 ProSource 软件中并生成包含任意光线数量的光线集<sup>[14,15]</sup>文件。最后,将获得的光线集文件导入 Light Tools 光学模拟分析软件,可得到如图 2 和图 3 所示的单颗 LED 芯片远场模型、近场模型的光线集模拟图。

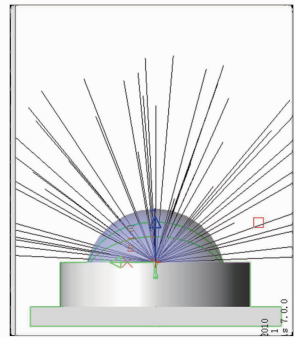


图 2 单颗 LED 远场光线集模拟图

Fig. 2 Far-field ray-set simulation diagram of single LED chip

对比图 2 和图 3 可知,光源的远场与近场分布差别很大。由图 2 可知远场光线由 LED 光源的几何学中心点发射,各向同性,发散均匀,且不受透镜与空气折射率不同的影响。由图 3 可知近场光线从 LED 光源的整个芯片的表面发射,且光线密度在发射面的过光源几何中心点的法线方向上最大,由法线方向向两侧递减;当光线出射方向与发光表面夹角达到  $0^\circ$  或  $180^\circ$  时,光线密度几乎为零。值得注意的是,如图 3 所示,由于光线在透镜与空气相交的界面发生折射或反射,所以有部分光线在射出透镜时

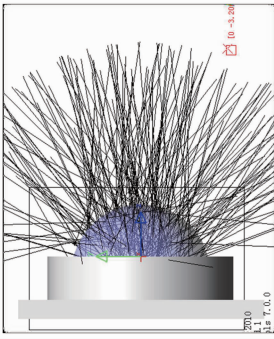


图 3 单颗 LED 近场光线集模拟图

Fig. 3 Near-field ray-set simulation diagram of single LED chip

射向 LED 芯片背面。对比图 2 和图 3 可知,单颗 LED 光源近场测试获得光线集的模拟结果较远场测试模拟结果更加接近光源发光的实际情况。

### 3.2 单颗 LED 远、近场发光强度模拟对比

图 4 为本实验所用的单颗 LED 芯片放大后的实物图,其中 1、2 引脚为芯片正极,3、4 引脚为芯片负极,且金线分布均匀对称。电流由 1、2 引脚注入芯片,经过芯片上与正极相连的金线扩散到整个芯片。在金线上有许多树枝状分支,这有效地增大了电流的均匀分布程度,进而增大了电子与空穴复合发光的均匀性。图 5 为单颗 LED 点亮后法线方向的亮度影像图。由图 5 可知,LED 芯片发光分布并不均匀,在距电源正、负极较近的金线附近的电流扩散密度较大,亮度高;且电极与金线不透明,遮挡了部分由 pn 结射出的光线,所以在电极和金线遮挡的部分亮度低,有明显的线路痕迹。因此,LED 芯片发光分布与芯片电极位置,及金线分布情况有关。在本文中,以此图作为该实验的参考对比标准。

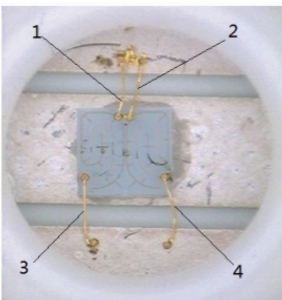


图 4 测试 LED 实物图

Fig. 4 Photo of measured LED chip

对于单颗 LED 芯片,近场测试时,采取中速测试,垂直角度范围为  $90^{\circ} \sim 180^{\circ}$ ,步径为  $15^{\circ}$ ,水平角度范围为  $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ ,步径为  $1^{\circ}$ ,摄取不同角度的与图 5 所示类似的亮度影像,并将这些光源的原始图像合成一个光源的近场模型。将测得的远、近场数

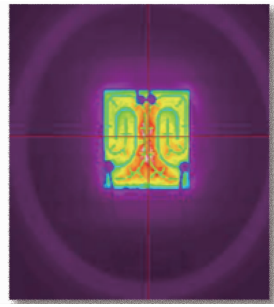


图 5 单颗 LED 亮度影像(法线方向)

Fig. 5 Image of single LED chip's luminance (normal direction)

据分别导入 Light Tools 光学设计软件,解析得到如图 6 和图 7 所示的单颗 LED 远场、近场发光强度分布图。

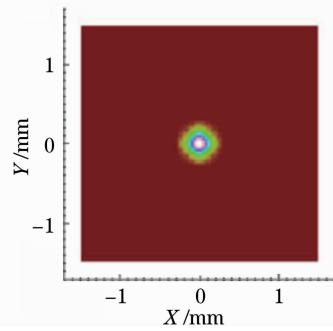


图 6 单颗 LED 远场发光强度分布图

Fig. 6 Far-field luminous intensity distribution of the single LED chip

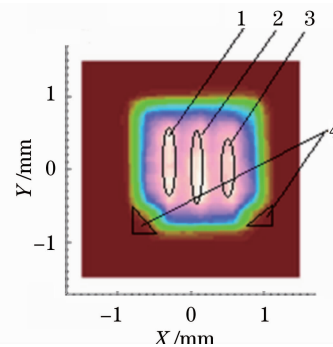


图 7 单颗 LED 近场发光强度分布图

Fig. 7 Near-field luminous intensity distribution of the single LED chip

由图 6 可知,单颗 LED 远场发光强度分布是一个点光源式的发光强度分布,其整体分布在以  $(0,0)$  点为中心,半径为  $0.3 \text{ mm}$  的圆内,但显现不出光源的空间分布。由图 7 可知,LED 光源不再是一个发光点,而是一个发光面,并且随着发光点在光源表面上位置的不同发光强度发生变化。图 7 中,区域 1、2 和 3 发光强度大于芯片上其它区域,这主要是受

芯片电极与金线分布影响,该区域分布电流密度较大;区域 4 的出现是因芯片负电极遮挡了本身就已经很微弱的光线造成的,该现象是与董雅娟等<sup>[16-18]</sup>的相关实验结果相符。对比被测试的单颗 LED 的实物亮度影像图,可知近场发光强度分布图的大小和形状与实际的物理发光区域基本相符。

### 3.3 LED 模块远、近场发光强度模拟对比

利用与测量单颗 LED 光源相同的测量方法对 LED 模块远场和近场的数据进行采集,并做相关分析,并主要对 LED 模块的发光强度进行描述。被测实验用 LED 模块上共有 144 个 LED 芯片,其实物如图 8 所示。

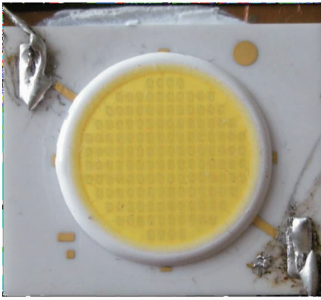


图 8 LED 模块实物图

Fig. 8 Photo of measured LED module

图 9 为 LED 模块法线方向的亮度影像图。由图 9 可知,受 LED 阵列的排列方式影响,LED 模块中间部分的 LED 亮度较高,边缘部分的 LED 亮度较低。在本文中,以此图作为该实验的对比参考标准。

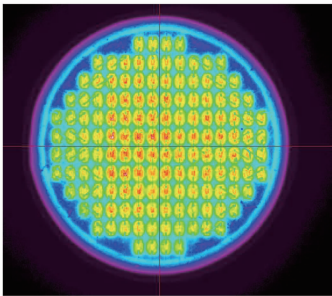


图 9 LED 模块亮度影像图(法线方向)

Fig. 9 Image of LED module's luminance (normal direction)

对 LED 模块进行测量,垂直角度范围为  $90^\circ \sim 180^\circ$ ,步径为  $15^\circ$ ,水平角度范围为  $0^\circ \sim 360^\circ$ ,步径为  $1^\circ$ ,共摄取几百张 LED 不同角度的亮度影像,并将这些光源的原始图像合成为光源近场模型。利用测得的数据及相关软件可以等到如图 10 和图 11 所示的 LED 模块的远场、近场发光强度分布图。

由图 10 可知,LED 模块的远场测试认为光源发出的光全部来自于 LED 模块的几何光学中心,光

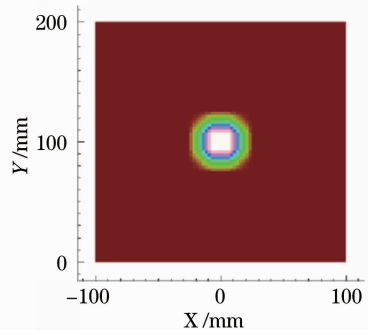


图 10 LED 模块的远场发光强度分布图

Fig. 10 Far-field luminous intensity distribution of the LED module

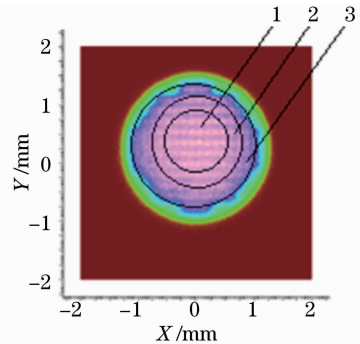


图 11 LED 模块的近场发光强度分布图

Fig. 11 Near-field luminous intensity distribution of the LED module

源的空间分布为点状。由图 11 可知,LED 模块的近场光强分布图具有较高的分辨率,可以清晰地分辨出光源模块的几何形状和单颗 LED 在模块中几何分布的情况。LED 模块是一个比单颗 LED 更为复杂的面光源,主要由以下三点决定:1)模块中有多颗芯片,相当于存在多个光源,在工作时会发生光交互的现象;2) LED 芯片间由并联和串联的电路连接而成;3) LED 芯片本身存在制造的差异性。特别是受多芯片间光交互的影响,LED 模块圆形区域 1 中的 LED 发光强度大于其它区域的 LED,并且越靠近边缘部分(环形区域 3)的 LED 其发光强度越小。所以,从整体上讲,LED 模块发光强度分布不仅与单颗 LED 发光有关,还与模块中 LED 阵列的排列方式,单颗 LED 间距以及模块电极引入位置等多种因素有关。另外,受 LED 阵列的排列方式,LED 分布的疏密程度,芯片间热交换及其电路的连接方式和电极引入位置不同以及模块与周围空气间热交换不均衡的影响,模块中心部分 LED 散热困难,热量积聚;边缘部分 LED 较易散热。散热的不均匀性也间接影响着模块中各芯片的出光情况。这与张楼英等<sup>[19]</sup>做的研究结果相吻合。同时,将

图10,图11分别与图9对比可知,利用LED光源的近场光线集文件获得的光源发光强度分布更为精确,更有利于提高LED产品光学设计的质量。同时由于利用ProSource软件可以实现光线集的可剪裁性,这将有效的提高LED光学设计的灵活性和效率。

## 4 结 论

LED光源近场测量获取的光源光线集可以为LED光学设计提供更为详细的光源的光空间分布信息;无论是单颗LED芯片还是LED模块,都是发光不规则的复杂的面光源,其不均匀性可通过光源近场测量得到的光线集表征;通过利用近场光线集可以有效的提高LED光学设计的质量、效率和灵活性;单颗LED是发光不规则的面光源,其不规则性来源于芯片制作工艺中电极、金线等的影响;LED模块是较单颗LED复杂度、不规则性更高的面光源,其发光分布不仅受单颗LED芯片性能影响,还与模块内部芯片的排列组合方式、疏密程度、芯片间的电器连接方式和光交互的影响以及散热情况有关。

## 参 考 文 献

- 1 Y. Narukawa. White light LEDs[J]. *Opt. Photon. News*, 2004, **15**: 24~29
- 2 Luo Yi, Zhang Xianpeng, Wang Lin *et al.*. Non-imaging optics and its application in solid state lighting[J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(7): 963~971  
罗毅,张贤鹏,王霖等. 半导体照明中的非成像光学及其应用[J]. *中国激光*, 2008, **35**(7): 963~971
- 3 Li Lin, Li Guangzhen, Wang Lili *et al.*. Lens design for uniform illumination with LED[J]. *Acta Optica Sinica*, 2012, **32**(2): 0222002  
李林,李光珍,王丽莉等. 实现均匀照明的LED系统设计方法[J]. *光学学报*, 2012, **32**(2): 0222002
- 4 Huang Qilu, Wu Fengtie. Investigation of uniform illumination of near-field targets using a conic light-emitting diode array[J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, **30**(10): 3039~3043  
黄启禄,吴逢铁. 基于近场均匀照明的LED二次曲线阵列的研究[J]. *光学学报*, 2010, **30**(10): 3039~3043
- 5 Lai Wei, Chen Weimin, Liu Xianming *et al.*. Nonlinear optimization of light intensity spatial distribution for LED road luminaires[J]. *Acta Optica Sinica*, 2012, **32**(1): 0122003  
赖伟,陈伟民,刘显明等. 发光二极管路灯光强空间分布的非线性优化设计[J]. *光学学报*, 2012, **32**(1): 0122003

- 6 Zhuo Youwang, Ge Ziping. Simulation design of freeform lens for realizing uniform illumination of LED table lamp [J]. *China Illuminating Engineering Journal*, 2011, **22**(6): 4~7  
卓友望,葛子平. 实现LED台灯均匀照明的自由曲面透镜仿真设计[J]. *照明工程学报*, 2011, **22**(6): 4~7
- 7 Zhang He, Zhu Jun, Zhao Yan *et al.*. A design of light guide plate for direct illumination of large-sided liquid crystal panel[J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, **30**(9): 2668~2673  
张鹤,朱钧,赵燕等. 一种用于大尺寸液晶照明的直下式导光板模块设计[J]. *光学学报*, 2010, **30**(9): 2668~2673
- 8 Chen Haiyan, Xie Mingyuan, Wang Shuaipeng *et al.*. Optimum adjustment to color uniformity of LED display panel [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2009, **48**: 206~210  
陈海燕,谢明远,王帅鹏等. 全彩色LED显示屏色度均匀性优化校正[J]. *中山大学学报(自然科学版)*, 2009, **48**: 206~210
- 9 Liu Qianfei, Zhang Xiaoning, Liu Chunliang *et al.*. Improvement for lightness uniformity of LED backlight [J]. *Vacuum Electronics*, 2009, **6**: 17~20  
刘钱飞,张小宇,刘纯亮等. LED背光源亮度均匀性改善方法[J]. *真空电子技术*, 2009, **6**: 17~20
- 10 R. F. Rykowski, C. B. Wooley. Source modeling for illumination design [C]. *SPIE*, 1997, **3130**: 313027
- 11 P. Y. Ngai. On near-field photometry [J]. *J. Illuminating Engineering Society*, 1987, **16**(2): 129~136
- 12 I. Ashdown. Near-field photometry: a new approach [J]. *J. Illuminating Engineering Society*, 1993, **22**(1): 163~180
- 13 Measurement of LEDs. Second Edition. CIE127-2007-13 [S]. Austria Vienna: International Commission on Illumination
- 14 D. R. Jenkins, H. Monch. Source imaging goniometer method of light source characterization for accurate projection system design [C]. *SID Symposium Digest*, 2000, **31**: 862~865
- 15 W. J. Cassarly, D. R. Jenkins, H. Monch. Accurate illumination system predictions using measured spatial luminance distributions [C]. *SPIE*, 2002, **4775**: 78~263
- 16 Dong Yajuan, Zhang Junbing, Lin Yueming *et al.*. Performances comparison of GaN-based LEDs with different electrode shapes [J]. *Semiconductor Technology*, 2011, **36**(3): 177~181  
董雅娟,张俊兵,林岳明等. GaN基不同电极形状的LED性能比较[J]. *半导体技术*, 2011, **36**(3): 177~181
- 17 Zhang Junbing, Lin Yueming, Bo Lin *et al.*. Optimization of the electrode shape of AlGaInP LED[J]. *Acta Physica Sinica*, 2008, **57**(9): 5881~5886  
张俊兵,林岳明,柏林等. AlGaInP LED电极形状的优化[J]. *物理学报*, 2008, **57**(9): 5881~5886
- 18 Zhang Jianming, Zou Deshu, Xu Chen *et al.*. Effects of optimized contact scheme on the performance of high-power GaN-based light-emitting diodes [J]. *Acta Physica Sinica*, 2007, **56**(10): 6003~6007  
张剑铭,邹德恕,徐晨等. 电极结构优化对大功率GaN基发光二极管性能的影响[J]. *物理学报*, 2007, **56**(10): 6003~6007
- 19 Zhang Louying, Li Chaolin. Research on heat-release package of LED[J]. *Electronics & Packaging*, 2009, **9**(5): 1~4  
张楼英,李朝林. LED封装中的散热研究[J]. *电子与封装*, 2009, **9**(5): 1~4

栏目编辑: 韩峰