

·光电器件与材料·

LED阵列模式的优化研究

宋宁亮¹, 王亚军^{1,2}, 罗秉东¹, 孙天锡¹

(1. 厦门大学电子科学系, 福建省半导体照明工程技术研究中心, 福建 厦门 361005;

2. 厦门爱的科技有限公司, 福建 厦门 361009)

摘要: 作为新一代照明光源LED照明技术已经有了长足的发展, 但单颗LED并不能满足正常的照明需求, 想达到所要的照明效果通常采用多个LED组合。LED组合有各种形式, 利用tracepro对4种LED平面阵列形式, 即: 3×3方形阵列、3-6同心圆阵列、阿基米德螺线阵列以及1-8圆形阵列进行了详细的光学分析。在满足照明要求的条件下, 通过对比找到一种最优化的设计, 发现1-8圆形阵列效果最好, 所占面积最小, 从而可以减少材料的浪费, 进一步提高LED照明的性价比, 为LED照明的普及提供设计上的借鉴。

关键词: LED阵列; tracepro; LED配光; 优化设计

中图分类号: TM923

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2012)03-0054-05

Optimization of LED Array Mode

SONG Ning-liang¹, WANG Ya-jun^{1,2}, LUO Bing-dong¹, SUN Tian-xi¹

(1. Fujian Engineering Research Center for Solid-State Lighting, Department of Electronic Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 2. Xiamen Edi Technologies Co., Ltd, Xiamen 361009, China)

Abstract: The lighting technique of LED has experienced substantial progress. However, a single LED cannot meet the demand for the normal lighting. LED combination is usually adopted to achieve the desired lighting effects. The forms of LED combination are varied. A detailed optical analysis on four forms of LED planar array is taken by using Tracepro, which are 3×3 square array, 3-6 concentric array, Archimedean spiral array and 1-8 circular array. By the comparison, which find that 1-8 circular array is the best optimal design to reduce the waste of material and further improve the cost performance of LED lighting under the conditions of meeting the lighting requirements. A reference can be provided for the popularity of LED lighting.

Key words: LED array; Tracepro; light distribution; optimization design

LED照明凭借其先天优势: 环保、节能、寿命长, 正逐步应用在各种照明场合且越来越广泛^[1]。目前, 功率型白光LED正在朝着单片大功率的方向发展^[2], 但是由于芯片散热瓶颈的制约, 采用多芯片组合封装的单片超大功率LED的散热相对困难, 光效相对较低, 几乎功率越大的单片LED相对的光效就越低。根据实际的应用, 通用照明中选择LED的主流趋势是: 单个LED的功率在1瓦至数瓦左右、显色性

好、色温一致、光效90~100 lm/W的优质产品为设计的最佳选择, 并通过多颗阵列混联的方式来得到所要求的总的发光功率^[3]。

在满足照明要求的情况下, 通过对不同阵列混联方式的光照对比, 找到一种最优化的阵列排列方式, 为LED灯具设计减少不必要的材料浪费, 降低生产成本, 为LED照明的广泛普及提供一种设计上的借鉴。

收稿日期: 2012-04-12

基金项目: 福建省重大科技项目(2006H0092)

作者简介: 宋宁亮(1987-), 男, 江西鄱阳人, 硕士研究生, 主要从事新能源、半导体照明方面的研究; 王亚军(1969-), 男, 浙江慈溪人, 副教授, 硕士生导师, 主要从事新能源、半导体照明方面的研究。

1 LED 的光强分布

由于单颗LED的功率很小,作为照明来使用,要求在照明区域内具有一定的均匀光通量和照度,所以需要采用LED的阵列形式,加大其发光亮度和发光面积。改善光照的均匀性^[4,5]。

实际的LED并非都是理想的朗伯光源,其光强分布也不是一个理想的余弦分布,该分布为^[6]

$$I(\theta) = I_0 \cos^m \theta$$

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

式中, $\theta_{1/2}$ 是发光强度值为轴向强度值的一半时发光方向与光轴之间的夹角,式(1)表明已知 $\theta_{1/2}$ 的值,便可求得 m 值。

LED是一种非相干光源,因此两个LED对平面上某一区域的光照度为其单个的叠加^[7,8]

$$E(x, y, z) = z^m I_0 \left\{ \left[\left(x - \frac{d}{2} \right)^2 + y^2 + z^2 \right]^{-\frac{m+2}{2}} + \left[\left(x + \frac{d}{2} \right)^2 + y^2 + z^2 \right]^{-\frac{m+2}{2}} \right\} \quad (2)$$

式中, d 为2个LED之间的距离。对于两个及以上具有一定光输出角度的单管光强分布进行叠加模拟有两种情况:(1)夹角过小容易在小角度内形成很亮的光斑;(2)夹角过大则在小角度区域内形成暗点,因此需要选择适当的LED排列的最大距离以获得较为均匀的光混和效果。

如图1所示,若 d 增大,则这2个LED照射的范围也越大,但在照射区域的中间部分,即图1中平面的原点附近的区域照度往往低于其两边的照度,造成光照度的均匀性不好,故所要考虑的是 d 增加到多大时,原点附近的区域的光照度不至下降很多^[9]。

通过对 $E(x, y, z)$ 两次求导,使得在 $(x, y) = (0, 0)$ 的位置 $\frac{d^2 E}{dx^2} = 0$, 得到最大平坦条件^[10]

$$d_{\max} = \sqrt{\frac{4}{m+3}} \cdot z \quad (3)$$

式中, z 为LED光源距目标平面的垂直距离。

采用斯派罗法则^[11]主要对近场照明均匀度进行

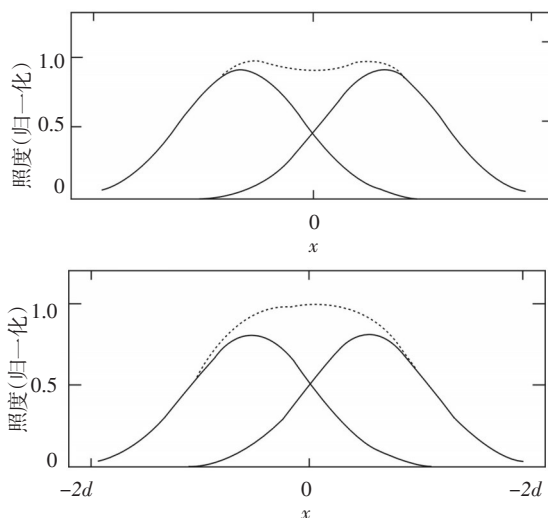


图1 LED光源之间发光图样重叠分布

分析,将被照明面坐标的位置看作是光斑的中心位置,即将LED的光斑作为计算考虑的对象来验证其分布,要使被照明中心实现平坦且最大的辐射照度分布,在总照明公式上可以表示为总辐射照度大小与位置坐标所形成二维曲线的斜率为零,即曲线方程二阶导为零。

2 LED平面阵列

2.1 LED平面阵列的特点

平面排列配光就是将多颗LED单元均匀布置。轴线方向的夹角为零,最小尺寸由LED的物理尺寸来决定,安装在平面的基板上,形成具有一定面积的面发光光源。其特点是:光照面积小、光输出集中、发光均匀、光照度高^[12]。

2.2 LED平面阵列的各种方式

文中对发散角为 20° , 芯片尺寸为 $1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ 的LED,在距离光源中心 50 mm 的接收面 ($100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$) 上对照度分布进行了较为详细的仿真分析,确定了其最佳间距。LED阵列可以采用多种形式排列,每一种排列方式都会有不同的效果,最终目的是在同样数量的LED单元条件下,在照明面上达到较高的光强度和照度均匀性。通过光线模拟软件 tracepro 进行光线分析,通过对比,找到一种最优化的排列方式。

2.2.1 3×3方形均匀分布形式

采用3×3排列形式把LED单元均匀分布在灯具内,在距离光源中心50 mm的目标面(100 mm×100 mm)上用tracepro进行光线追踪,对照度分布进行详

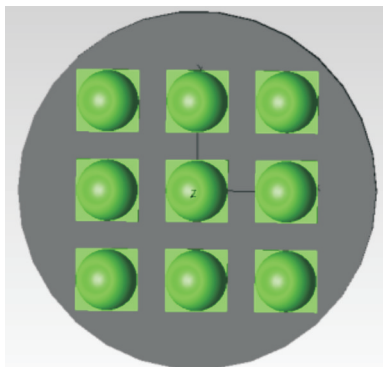


图2 3×3方形阵列

细的仿真分析,首先根据公式确定LED间距,考虑到误差和仿真结果,通过微调最终确定其最佳间距 $d=15.1\text{ mm}$,如图2所示,并得到其照度分布图,如图3所示。

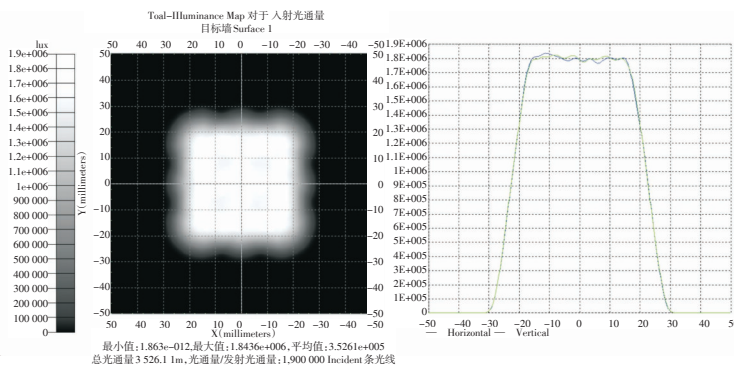


图3 3×3方形阵列照度分布

2.2.2 3-6圆形均匀分布形式

采用3-6式同心圆均匀分布形式,即9个LED芯片排列成两个同心圆,内圆为3个LED单元,外圆为6个LED单元,皆为均匀排列,如图4所示。用tra-

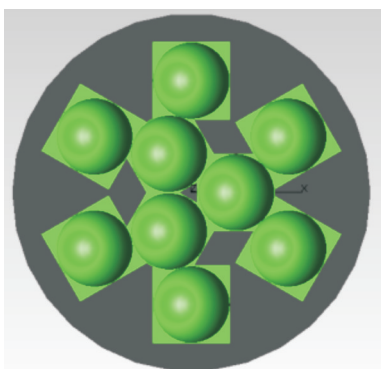


图4 3-6圆形分布阵列

cepro进行光线追踪,对照度分布进行了较为详细的仿真分析,采取同样的方法,即利用公式确定初始间距,通过仿真微调最终确定其最佳间距,内圆半径 $r=6\text{ mm}$,外圆半径 $R=11.8\text{ mm}$,得到其照度分布图,如图5所示。

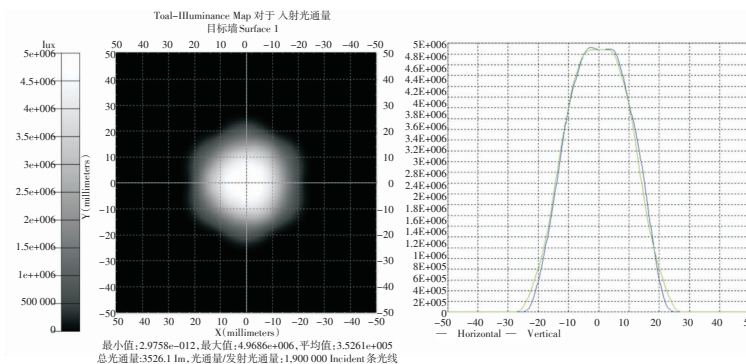


图5 3-6圆形阵列照度分布

2.2.3 阿基米德螺线排列形式

2.2.3.1 直角坐标系与极坐标系的互换理论

如图6所示,根据三角函数的定义, $\rho > 0$ 时有

$$\begin{cases} x = \rho \cos \theta \\ y = \rho \sin \theta \end{cases} \quad (\text{极坐标化直角坐标公式}) \quad (4)$$

根据式(4)可得

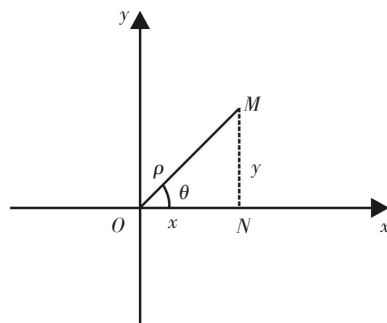


图6 直角坐标与极坐标互换示意图

$$\begin{cases} \rho^2 = x^2 + y^2 \\ \tan \theta = \frac{y}{x} (x \neq 0) \end{cases} \quad (\text{直角坐标化极坐标公式}) \quad (5)$$

2.2.3.2 阿基米德螺线型

阿基米德螺线 $\rho = \alpha\theta (\alpha \neq 0)$ 。通过 MATLAB 计算出阿基米德螺线^[13]并按照长度均等分找出其间隔点,然后利用 tracepro 建模出阿基米德螺线阵列,即从中心位置逆时针方向一次取 9 个点作为 LED 单元的位置,其间距的最终确定依然是采用公式法和微调法,如图 7 所示。用 tracepro 进行光线追踪,得到其照

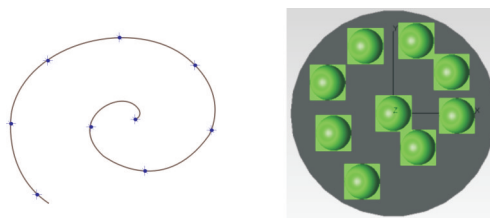


图7 阿基米德螺线阵列

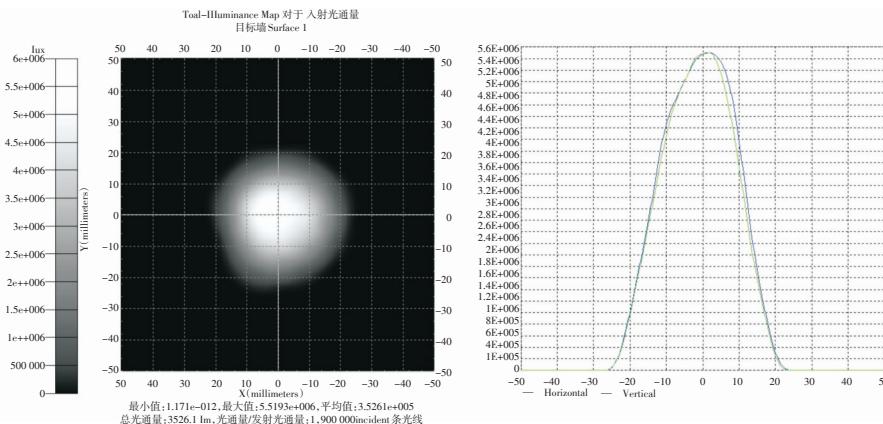


图8 阿基米德螺线阵列照度分布

度分布图,如图 8 所示。

2.2.4 1-8 圆形均匀分布形式

采用 1-8 形式,即一个 LED 单元在中心位置,其余 8 个 LED 单元均匀分布在四周,如图 9 所示。利用

公式确定初始间距,通过 tracepro 进行光线追踪,对照度分布进行了较为详细的仿真分析,微调之后确定其最佳间距,半径 $R=11.1 \text{ mm}$,并得到其照度分布图,如图 10 所示。

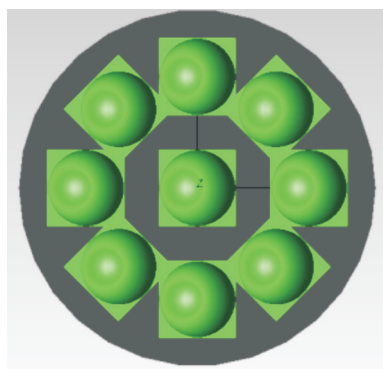


图9 1-8 圆形分布阵列

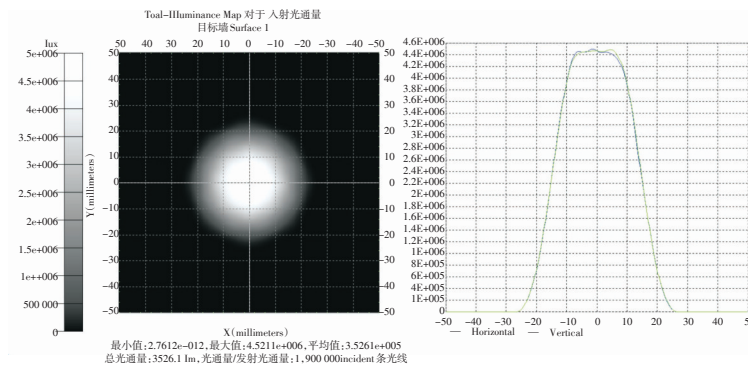


图10 1-8 圆形阵列照度分布

3 结论

在已知光源特性的前提下,首先用公式计算出

LED 的初始间距,然后利用 tracepro 软件进行仿真,根据照度分布情况不断微调,最终得到 LED 单元之间的最佳间距,通过四种排列方式的对比发现,采用 1-8 式排列 LED 单元间距最小,其分布面积也最小,

照度均匀,效果也最好,因此在生产过程中采用此种阵列方式可以减少不必要的材料浪费,降低产品的生产成本,提高LED灯具的性价比,为LED照明的普及提供一个方面的借鉴。

参考文献

- [1] 公文礼.大功率LED在照明灯具设计中需要解决的问题[J].灯与照明,2008,12:21-24.
- [2] 郑代顺,钱可元.功率型白光LED研究进展[J].中国照明电器,2006(3):1-7.
- [3] 杨光.大功率发光二极管(LED)路灯配光方案[J].光源与照明,2009,12:17-21.
- [4] 张哲娟,杨介信,张燕萍,等.白光发光二极管及其集成光源模块的研究[J].半导体光电,2007,28(4):482-486.
- [5] 吴海彬,何素梅,王昌铃.多LED组合照明设计的关键技术[J].液晶与显示,2009(3):453-457.
- [6] 夏勋力,余彬海,脉镇强.近朗伯光型LED透镜的光学设计[J].光电技术应用,2010,25(1):22-25.
- [7] D Wood. Optoelectronic semiconductor devices [M]. UK: Prentice Hall International, 1994.
- [8] Bahaa E A Saleh, Malvin Carl Teich. Fundamentals of Photonics [M]. US: John Wiley & Sons, Inc., 1991.
- [9] 胡海蕾,赖爱光,谢树森.基于道路照明的LED阵列光照度分布研究[J].照明工程学报,2009,20(1):78-80.
- [10] Reynolds George O, Develis John B, Thompson Brian J, et al. The new physical optics notebook [M]. San Francisco: SPIE Press, 1989.
- [11] M A Gennert, N Wittels, G L Leatherman. Uniform frontal illumination of planar surfaces: where to place the lamps [J]. Opt. Engng, 1993, 32: 1261-1271.
- [12] 杨光.照明灯具中白光LED阵列的排列及配光[J].灯与照明,2008,32(1):1-4.
- [13] 同济大学应用数学系.高等数学[M].5版.北京:高等教育出版社,2004.

(上接第32页)

4 结 论

以SPM探测器作为光子探测器件,对其光电探测特性进行分析,并搭建了光子探测实验系统,对SPM探测器的光子探测性能进行实验研究。从实验得出的数据可以看出,SPM探测器是一种性能优良的光子探测器件,与目前光电探测设备中所采用的探测器件(如PIN、APD等)相比较,在探测灵敏度方面具有极大的优势。随着光电探测领域研究的不断深入,可以预见这种器件将会在弱光探测领域发挥更大的作用。

参考文献

- [1] 刘伟.近红外单光子探测[J].物理,2010,39(12):825-831.
- [2] Amnon Yariv. Optical Electronics in Modern Communications[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004.
- [3] 赵勋杰.光子计数成像原理及其应用[J].红外与激光工程,2003,32(1):42-45.
- [4] Dolgoshein B, Balagura, Buzhan P, et al. Status report on silicon photomultiplier development and its applications [J]. Nucl. Instr. and Meth. A., 2006, 563: 368-376.
- [5] SPM datasheet. <http://www.ams-technologies.com/>.
- [6] 赵帅.多像素光子计数器在单光子探测中的应用[J].光学精密工程,2011,19(5):972-976.
- [7] Cova S, Ghioni M, Lacaita M, et al. Avalanche photodiodes quenching circuits for single-photon detection[J]. Applied Optics, 1996, 35(12):1956-1976.
- [8] Gulinatti P, Maccagnani P, Rech I, et al. 35ps time resolution at room temperature with large area single photon avalanche diodes[J]. Electron. Lett., 2005, 41: 272-273.

(上接第36页)

- [6] Itti L, Gold C, Koch C. Visual attention and target detection in cluttered natural scenes[J]. Optical Engineering, 2001, 40(9): 1784-1793.
- [7] Sun Y, Fisher R. Object-based visual attention for computer vision[J]. Artificial Intelligence, 2003, 146(1): 77-123.
- [8] Itti L, Koch C. A comparison of feature combination strategies for saliency-based visual attention[C]//in SPIE Human Vision and Electronic Imaging IV, San Jose, CA, 1999 (in press).
- [9] Tsotsos J K, Culhane S M. Modeling visual-attention via selective tuning[C]//Artif Intel, 1995, 78: 507-551.
- [10] Barun J, Julesz B. Withdrawing attention at little or no cost: detection and discrimination tasks[C]//Percept Psycho, 1998, 60: 1-23.
- [11] Koch C, Ullman S. Shifts in selective visual attention: towards the underlying neural circuit[C]// Hum Neurobiol, 1985, 4: 219-235.
- [12] Treisman A. Features and objects: the fourteenth Barlett memorial lecture[C]//Q J Exp Psychos, 1998, 40: 201-237.