

文章编号: 1000-7032(2009)01-0069-04

# 基于微透镜阵列的 LED 光学性能

田大垒, 关荣锋, 王 杏, 赵文卿

(河南理工大学 材料科学与工程学院, 河南 焦作 454003)

**摘要:** 功率型发光二极管(LED)的发展迫切需要提高取光效率,基于微透镜阵列的二次光学设计是改善其取光效率的有效途径。建立了一种大功率 LED 的封装结构,二次光学设计采用了微透镜阵列技术,运用光线追踪法研究了这种封装结构的光学性能。分析结果表明:利用微透镜阵列技术能显著改善 LED 的光学性能,提高取光效率,能将 LED 的亮度衰减降低 12% 以上,得到了较好的效果。

**关键词:** 发光二极管; 微透镜阵列; 光学性能; 封装

**中图分类号:** TN312.8

**PACC:** 7860

**文献标识码:** A

## 1 引 言

LED 因其全固态、环保等诸多优点,被认为是新一代的绿色照明光源。功率型 LED 要真正进入照明领域,实现家庭日常照明,要解决的问题还有很多,其中最重要的便是发光效率。目前功率型 LED 的流明效率还远达不到家庭日常照明的要求,大多用于特种照明使用,为了提高 LED 的发光效率,一方面需要芯片技术的进步;另一方面就是改进封装结构,特别是二次光学设计,进一步提高取光效率。

微透镜通常指直径 10 ~ 100  $\mu\text{m}$  的微小透镜,把一系列微透镜规则排列起来就是微透镜阵列(MLA)。近年来,人们将 MLA 技术用于改善 LED 的取光效率,做了大量的研究<sup>[1~4]</sup>。Dongwoo Kim 等<sup>[5]</sup>用等离子刻蚀技术制得了 10  $\mu\text{m}$  的 MLA,可将 LED 光强度提高 40%。本文研究了一种典型 LED 的封装结构,通过在光线出射面安装微透镜阵列,改善光线分布,探索微透镜阵列对 LED 光学性能的影响,取得了较好的效果。

## 2 LED 封装模型设计

LED 封装的模型设计如图 1 所示。LED 芯片用银胶粘贴在金属基板上,芯片电极通过金线引出,反射杯表面经过金属化处理增加反射效果,

内部用硅胶封装保护芯片和引线。各部分的结构尺寸为:基板 7 mm  $\times$  7 mm,芯片 1 mm  $\times$  1 mm  $\times$  0.25 mm,反射杯底部半径 0.8 mm,顶部半径 1.5 mm,倾角 55°。经过有限元软件 ANSYS 模拟,得到封装结构的最高温度出现在 LED 芯片,达到 76  $^{\circ}\text{C}$ ,最低温度出现在硅胶上表面,为 25  $^{\circ}\text{C}$ ,能够满足器件对散热性能的要求。

图 1 LED 模型设计

Fig. 1 Design of LED model

## 3 微透镜阵列设计

在微光学系统中,微透镜阵列有广泛的应用,然而传统光学元器件的尺寸一般都较大,通常都在毫米量级及以上。例如,采用玻璃冷加工技术制作的透镜、棱镜,由于工艺的限制,直径都在 1 mm 以上,制作直径更小的(如几十微米)透镜,采用这种工艺一般是不可能的。为了制作微型透镜,就不能采用传统的机械加工方法,而必须采用新发展起来的光学微加工方法。微透镜阵列的发展,主要是在 20 世纪 80 年代,在微电子技术基础

收稿日期: 2008-10-28; 修订日期: 2008-11-03

基金项目: 河南省重点科技攻关项目(072102240027); 河南理工大学博士基金(648602); 河南理工大学研究生学位论文创新基金(644005)资助项目

作者简介: 田大垒(1983-),男,河南南阳人,主要从事光电材料与器件,LED 封装技术的研究。

E-mail: tiandalei@gmail.com

上,光学微加工技术有了迅速发展,出现了一系列制作微透镜阵列的新工艺。目前据文献报道的微透镜加工方法包括热熔 (reflow) 法<sup>[6]</sup>、压印 (embossing) 法<sup>[7]</sup>、微液滴 (droplet) 法<sup>[8]</sup>、灰阶光罩 (gray scale) 法<sup>[9]</sup>、刻蚀 (etching) 法<sup>[10]</sup>等。

用于照明的 LED 光源朝着大功率方向发展,然而目前存在着取光效率不高等问题,光学元件制作技术的巨大进步为解决这一问题开辟了新的道路。图 2(a) 为传统的方法,通过大尺寸的透镜达到聚光的目的,但这种方法不适用于多芯片 LED;图 2(b) 为采用微光学元件的方法,能够满足小型化、低成本、高性能的要求。Heptagon 公司采用独有的 REEMO 技术生产的折射型和衍射型七边形 MLA 具有成本低、耐久性好、易于大量生产等优点<sup>[11]</sup>。

图 2 用于 LED 的光学透镜元件

Fig. 2 Optical lens used for LED

图 3 为光线出射面安装微透镜阵列的三维图,该微透镜为折射型半球形透镜,其中微透镜直径为 0.1 mm,有效孔径比为 78.5%,整个光出射表面为 31 × 31 阵列。

图 3 微透镜阵列模型设计

Fig. 3 Design of MLA model

## 4 光学模拟与分析

TracePro 是广泛应用的光学设计与分析软件,本文借助 TracePro 对所设计的 LED 模型进行配光的仿真试验。分别将图 1 和图 3 设计的封装模型导入 TracePro,建立配光模型,定义各表面属性和芯片光通量等参数就可以进行模拟仿真。设置发光面出射光线 50 000 条,光通量为 100 lm,反射杯内表面为镜面,即反射率为 100%,微透镜是折射率为 1.493 的透明合成树脂。对 LED 封装结构模型做如下假设:从芯片发出的光线没有损失,且满足朗伯特分布;反射杯内表面为理想的全反射;不考虑光子的吸收以及电性能、温度的影响。

图 4 为经过模拟的光强度分布图。从图中可以看出,光线出射角度都较小,这主要取决于反射杯的杯深与倾角,Oliver Kuckmann<sup>[12]</sup>研究了大功率 LED 阵列的封装技术,发现要想增加 LED 的发光效率,反射元件的设计非常重要,一般采用的

图 4 光强分布图(a)原始模型光强分布图;(b)微透镜阵列模型光强分布图

Fig. 4 Candela distribution plot for original mode LED (a), and MLA mode LED (b)

方法是直接将透镜安装在 LED 之上,也有附加二次光学元件的设计,这取决于封装的光学要求。图 4(a)中光强度分布较窄,发光强度随角度均匀的变化,中心发光强度最大,这是反射杯聚光的结果;图 4(b)经过安装微透镜阵列,光强度分布成椭圆形,半强度角为  $40^\circ$ ,发光强度随角度变化较小,光线较(a)发散,这是由于经过微透镜的二次折射,光线重新分布所致。

图 5 为经过模拟的照度分布图。模拟中,在距离 LED 为 100 mm 处设置一接收屏幕,屏幕尺寸为  $1\ 000\ \text{mm} \times 1\ 000\ \text{mm} \times 1\ \text{mm}$ ,朝向 LED 光线出射一面设置为完全吸收,得到屏幕上显示的照度图。从图中可以看出,照度呈阶梯状均匀分布,图 5(a)光斑直径约为 800 mm,中心照度最高,为 10 000 lux,图 5(b)光斑直径约为 240 mm,中心照度达到 4 750 lux。如果同取直径为 200 mm 的范围,二者照度几乎相同,但前者的照度衰

减了 90%,安装微透镜阵列后照度衰减了 78.9%,照度衰减降低了 12% 以上,虽然也有衰减,但明显优于前者,全部的光线分布在更小的面积上,因此微透镜阵列对增加光照度是非常显著的。

表 1 给出了不同透镜尺寸对 LED 光学性能的影响,安装微透镜与无透镜相比,光强与光通量皆有减小,这是透明树脂对光线的吸收、折射等损耗了一部分光线以及杂散光的存在所致。改变透镜的尺寸,经过模拟发现,微透镜直径越小,光强度越大,而光通量越小。这是由于微透镜直径越小,发光面上的微透镜数量就越多,势必增加光通量的损失,但单位立体角内的光通量(即光强度)会增加。如果光线出射面加上直径为 3 mm 的透镜,光强度反而又增大,但出现中心光强度小,周围光强度大,容易出现光斑。对于出现这种情况的原因可能与反射杯的设计有关,还需要进一步深入研究。

表 1 透镜尺寸对 LED 光学性能的影响

Table 1 Effect of dimension of lens on the optical properties of LED

透镜直径 (mm)	半强度角 ( $^\circ$ )	光强 (cd)	光通量 (lm)
无透镜	20	97.055	100
0.1	40	95.998	86.97
0.2	45	94.007	88.024
0.5	47	76.816	89.468
3	52	176.52	89.377

## 5 结 论

微透镜阵列作为微光学领域的主要器件,在聚光、光束变换、光学成像等方面具有重要的用途。将半导体制程技术与各种微光学组件结合可形成完整的微光机电系统(MOEMS),此系统可具有分光、光束偏折、聚焦、切换等功能,被广泛应用于如 LCD 之背光模块、投影机、光纤通讯系统等光电及通讯产品。

本文根据 LED 的发光特点设计了一种应用微透镜阵列的 LED 光学系统,研究了微透镜阵列对 LED 光强、照度等光学性能的影响,模拟结果表明,基于微透镜阵列的 LED 光学系统能改善照明系统的取光效率,光强度分布以及照度分布,能将 LED 的照度衰减降低 12% 以上,从而得到更加均匀的照明系统。

图 5 照度图(a)原始模型照度图;(b)微透镜阵列模型照度图

Fig. 5 Illuminance map for original mode LED (a), and ML/a mode LED(b)

## 参 考 文 献:

- [ 1 ] Bart Dhoedt, Peter De Dobbelaere, Johan Blondelle, *et al.* Monolithic integration of diffractive lenses with led-arrays for board-to-board free space optical interconnect [J]. *J. Lightwave Technology*, 1995, **13**(6):1065-1073.
- [ 2 ] Lima Chang-Hyun, Jeungb Won-Kyu, Choib Seog-Moon. LED packaging using high sag rectangular microlens array [A]. *Micro-Optics, VCSELs, and Photonic Interconnects II: Fabrication, Packaging, and Integration* [C]. France: Strasbourg, 2006, 618516.
- [ 3 ] Pan Jui-Wen, Wang Chih-Ming, Lan Hsiao-Chin, *et al.* Homogenized LED-illumination using microlens arrays for a pocket-sized projector [J]. *Opt. Express*, 2007, **15**(17):10483-10491.
- [ 4 ] Harder I, Lano M, Lindlein N. Homogenization and beam shaping with microlens arrays [J]. *SPIE*, 2004, **5456**:99-107.
- [ 5 ] Kim D W, Lee H Y, Cho N G, *et al.* Effect of GaN microlens array on efficiency of GaN-based blue-light-emitting diodes [J]. *Jpn. J. Appl. Phys. Part 2*, 2005, **44**(1):18-20.
- [ 6 ] Hutley M C. Optical techniques for the generation of microlens arrays [J]. *J. Modern Opt.*, 1990, **37**(2):253-265.
- [ 7 ] Gale M T. Replication technology for holograms and diffractive optical elements [J]. *J. Imaging Sci. Technol.*, 1997, **41**(3):211-220.
- [ 8 ] Cox W R. Micro-optics fabrication by ink-jet printing [J]. *Opt. & Photonics News*, 2001, **12**(6):32-35.
- [ 9 ] Suleski T J, O'Shea D C. Gray-scale masks for diffractive optics fabrication: I. Commercial slide imagers [J]. *Appl. Opt.*, 1995, **34**(32):7507-7517.
- [ 10 ] Voelkel R, Eisner M, Weible K J. Fabrication of aspherical microlenses in fused silica and silicon [J]. *SPIE*, 2001, **4440**:40-43.
- [ 11 ] Dr Markus Rossi, Michael T Gale. Micro-optics promote use of LEDs in consumer goods [J]. *LEDs Magazine*, 2005, (7):27-29.
- [ 12 ] Kuckmann O. High power LED arrays special requirements on packaging technology [J]. *SPIE*, 2006, **6134**:32-39.

## Studies on the Optical Properties of LED Based on Microlens Array

TIAN Da-lei, GUAN Rong-feng, WANG Xing, ZHAO Wen-qing

(*Institute of Materials Science and Engineering of Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China*)

**Abstract:** The development of power-LED needs to improve its light extraction efficiency, secondary optical design based on microlens array is a effective way for improving light extraction efficiency. A packaging structure of high-power LED was presented, microlens array was employed in the secondary optical design, optical properties of the package was studied using Trace Pro. The results showed that microlens array technology can significantly improve the optical performance of the LED and increase light extraction efficiency, illumination attenuation of LED can be reduced by more than 12%, the results are satisfactory.

**Key words:** LED; microlens array; optical properties; packaging