

文章编号: 1007-2780(2012)02-0153-05

扩散板表面微结构对均匀度与透光率的影响

何晓祥¹, 吴大鸣^{2*}, 郑秀婷¹

(1. 北京化工大学 机电工程学院, 北京 100029, E-mail: hexiaox. iang@163. com;

2. 有机-无机复合材料国家重点实验室, 北京 100029)

摘 要: 基于 Light Tools 光学分析软件分析了光在球形微结构扩散板和圆锥及金字塔两种非球形微结构扩散板内的传输过程, 比较了球形微结构扩散板和非球形微结构扩散板的均匀度和透光率; 进一步分析了金字塔非球形微结构的顶角 γ 和切削量 H 对扩散板均匀度和透光率的影响。结果表明, 金字塔非球形微结构扩散板的均匀度高于圆锥非球形微结构和球形微结构两种扩散板的均匀度, 透光率介于圆锥非球形微结构扩散板和球形微结构扩散板之间。金字塔非球形微结构顶角 γ 越大, 透光率越高, 当 $\gamma=100^\circ$ 时, 扩散板的综合光学性能最好, 透光率达 82.1%, 均匀度达 82.4%; 切削量 H 越大, 透光率越大, 均匀度先增大后减小, 当 $H=0.04$ mm, 扩散板的综合光学性能最好, 透光率为 84.2%, 均匀度为 86.2%。

关 键 词: 球形微结构; 圆锥非球形微结构; 金字塔非球形微结构; 透光率; 均匀度

中图分类号: TM923.01; TN27 文献标识码: A DOI: 10.3788/YJYXS20122702.0153

Effect of Microstructure of Light Diffuser Plate on Uniformity and Transmittance

HE Xiao-xiang¹, WU Da-ming^{2*}, ZHENG Xiu-ting¹

(1. Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China, E-mail: hexiaox. iang@163. com;

2. State Key Laboratory of Organic-Inorganic Composites, Beijing 100029, China)

Abstract: The transmission process of light in micro-sphere structure, micro-structure and micro-pyramid structure were analyzed. The transmittance and uniformity of micro-sphere structure, micro-cone structure and micro-pyramid structure were compared based on Light Tools software. At last, the effect of vertex angle γ and cutting quantity H of micro-pyramid structure on uniformity and transmittance of diffuser were simulated. The result shows that the uniformity of micro-pyramid structure is the best while the transmittance is worse than micro-sphere structure. The transmittance becomes higher when the vertex angle γ becomes higher. The transmittance is 82.1% and the uniformity is 82.4% when $\gamma=100^\circ$. The transmittance becomes higher when the cutting quantity H becomes higher while the uniformity increases first and decreases latter. The transmittance is 84.2% and the uniformity is 86.2% when $H=0.04$ mm.

Key words: micro-sphere; micro-cone structure; micro-pyramid structure; transmittance; uniformity

收稿日期: 2011-12-23; 修订日期: 2012-01-09

基金项目: 国家自然科学基金(No. 51173015); 中央高校基本科研业务费专项资金(No. ZZ1221)

作者简介: 何晓祥(1986—), 女, 福建南平人, 硕士研究生, 主要从事 LED 的配光设计及微纳尺度制造技术的研究。

* 通讯联系人, E-mail: wudaming@vip. 163. com

1 引 言

扩散板广泛应用于液晶显示、LED 照明以及成像等系统中,它的主要功能是使入射光充分散射,实现更柔和、均匀的照射效果。微透镜阵列(MLA)扩散板是扩散板的类型之一,是通过其表面的微凹凸结构使光线经过时发生不同方向的折反射,实现对光的扩散,并且其表面微透镜阵列形状和排布方式可调,可以实现扩散板不同透光率和均匀度,具有极大的灵活性^[1]。随着微光学技术和微压印技术的发展,微透镜阵列结构的研究成果取得了可喜的成绩^[2-10],但研究的关注点偏向的是球形及 V 槽形的阵列结构的制造加工等方面,而对微结构的几何形状等结构参数对光学性能的影响研究报道较少,研究成果表现出极大的局限性。

Light Tools 是由 Optical Research Associates 公司开发的一套光学三维实体建模软件,用户可以自行设计光源模型和各种光学部件,描绘出光源以及各种光学元件的光路,以及能够分析空间光强分布、透光率等光学性能参数。本文利用 Light Tools 软件分析了光在球形微结构和圆锥及金字塔两种非球形微结构内的传输过程,比较分析了球形微结构和非球形微结构的透光率和均匀度,并研究了金字塔非球形微结构的顶角 γ 及切削量 H 对扩散板均匀度和透光率的影响。

2 理论分析和数学建模

2.1 理论分析

假设一发光角为 120° 的 LED 灯,光从底部进入表面微结构分别为球形微结构和非球形微结构的扩散板时,光线将其分为 3 类:第一类光在非球形表面满足全反射条件而不能透射(如图 1 中的 A' 光线),这类光线与扩散板法线的夹角一般在 5° 以内,是增加扩散板亮度的有效光线。然而这类靠近光轴的光线通过球形微结构时却可以透射(如图 1 的 A 光线),光线利用率得到了提高。第二类是出射角在扩散板法向附近 70° 范围内的光线(如图 1 中的 B' 光线),这类光线能有效地增加扩散板的视觉亮度。而当光通过球形微结构时,由于球形微结构表面法向从球冠中央到球底部逐渐趋向水平方向,因此球形微结构不能将大部分的光线限制在 70° 的范围内(如图 1 中的 B 光

线),所以与非球形微结构相比,集光能力较差。第三类是出射角很大的光线,这部分的光线对扩散板亮度的增加没有贡献作用(如图 1 中的 C' 光线)。当这部分光线通过球形微结构时,通过光的全反射作用而被反射回到背光源模组重新利用(如图 1 中的 C 光线)^[1,9]。比较分析可知,光通过球形微结构和非球形微结构时,球形微结构对光的利用率要高于非球形微结构,但聚光能力却要逊于非球形微结构。

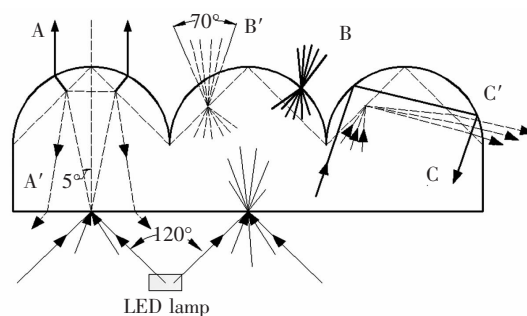


图 1 球形微结构和非球形微结构的光路分析图

Fig. 1 Transmitting process of light in micro-sphere structure and non-sphere microstructure

2.2 数学建模

基于蒙特卡洛法(Monte Carlo),为实现光线追迹,建立分析扩散板与 LED 灯源的数学物理模型,如图 2 所示。扩散板的基材选用聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA),折射率为 1.49;总体尺寸 $d \times h$ 为 $50 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$,其中 d 为扩散板的直径, h 为扩散板的厚度,忽略材料的吸收特性。扩散板位于 LED 灯正上方 0.5 mm 处,接收器位于扩散板正上方 70 mm 处,LED 灯呈圆形排布,共计 25 颗,每颗 18 lm ,发光角 120° ,共计 450 lm ,发光波

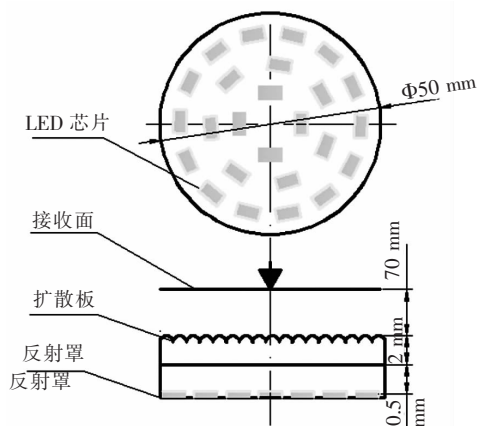


图 2 PMMA 扩散板的背光源模组结构示意图

Fig. 2 PMMA diffuser and the back light module

段为白光波段。

为分析扩散板上表面微结构的类型对扩散板均匀度和透光率的影响,扩散板表面微结构分别设计为球形微结构、圆锥非球形微结构、金字塔非球形微结构(如图 3 所示):

(1) 球形微结构,球径为 0.28 mm,呈边长为 0.28 mm 的正三角排布,如图 3(a)所示。

(2) 圆锥非球形微结构,圆锥底面圆的直径为 0.28 mm,呈边长为 0.28 mm 的正三角排布,如图 3(b)所示。

(3) 金字塔非球形微结构,底面为边长 0.28 mm 的正方形,呈边长为 0.28 mm 的正三角排布,如图 3(c)所示。

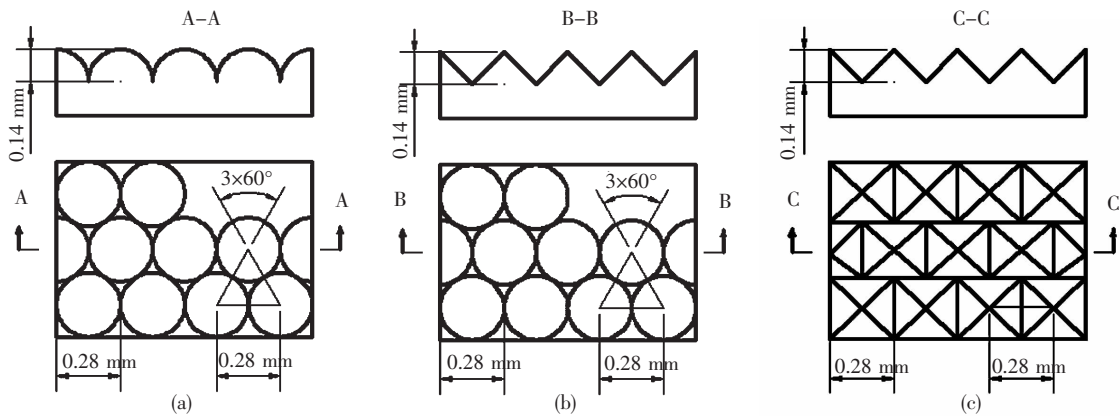


图 3 扩散板表面球形结构和非球形微结构示意图。(a)球形微结构;(b)圆锥非球形微结构;(c)金字塔非球形微结构。
Fig. 3 Diagram of the microstructures of the diffuser. (a) Micro-sphere structure; (b) Micro-cone structure; (c) Micro-pyramid structure.

3 球形和非球形微结构扩散板透光率和均匀度的比较

经 Light Tools 模拟得到球形微结构扩散板和非球形微结构扩散板均匀度和透光率的变化,结果如表 1 所示。

由表 1 可知,圆锥形微结构扩散板的均匀度与透光率均低于球形微结构扩散板的均匀度与透光率。因为圆锥形微结构与球形微结构的分布密度相同情况下,圆锥形微结构具有一定的锥度,产生了较多的第三类光线(如图 1 中的 C,光线),降低了光的利用率,最终造成圆锥形微结构的透光率低于球形微结构。因为圆锥微结构锥度的存在,提高了扩散板的聚光能力,导致均匀度弱于球形微结构扩散板。

当微结构的间距均为 0.28 mm 相同情况下,金字塔非球形微结构扩散板均匀度高于球形微结构扩散板和圆锥非球形微结构的扩散板,透光率介于球形微结构扩散板和圆锥非球形微结构扩散板之间。由于金字塔形微结构底部为正方形,三种微结构间距都相同的条件之下,金字塔微结构分布密度最大,光线散射最明显,发生散射与折射

现象的频率最高,故采用金字塔非球形微结构得出的均匀度最高,比球形微结构扩散板均匀度高 3%,比圆锥非球形微结构扩散板均匀度高 5.1%。

表 1 三种微结构对扩散板均匀度与透光率的影响
Table 1 Effect of microstructure on the uniformity and transmittance of the diffuser

微结构类型	球形微结构	圆锥非球形微结构	金字塔非球形微结构
均匀度/%	74.1	72.1	77.1
透光率/%	82.4	73.8	78.7

4 金字塔非球形微结构顶角和切削量对扩散板透光率和均匀度影响

分析金字塔非球形微结构顶角和切削量对扩散板透光率和均匀度的影响,主要从全反射角度出发。全反射现象的发生具有两个条件,首先光线必须从光密介质射入光疏介质,其次入射角必须大于临界角。在扩散板内,光线经过金字塔微结构扩散板折射入空气,由于扩散板的折射率是

1.49, 大于空气的折射率, 且在光线经过微结构时, 有一部分光线的入射角大于临界角 42.2° , 因此, 光通过金字塔微结构扩散板时, 必然有全反射发生。由图 1 可知, 全反射的发生, 扩散板的透光率和均匀度必然受到影响。因此本文进一步研究了金字塔微结构顶角和切削量对扩散板透光率和均匀度的影响。

4.1 金字塔微结构顶角对扩散板透光率和均匀度的影响

假设金字塔微结构的横截面为等腰三角形, 即 $\alpha = \beta$, 如图 4 所示。光发生全反射时, 入射角 θ 与金字塔的顶角具有一定的几何关系, 即 $\theta = 90^\circ - \gamma/2$ 。为降低全反射, 在入射角一定的情况下, 必须要减小金字塔的顶角 γ 。图 4 给出了扩散板透光率和均匀度随金字塔的顶角 γ 变化情况。

由图 4 可知, 当顶角 γ 从 40° 增大到 110° , 扩散板的透光率从 65.4% 增大到 83.6%, 主要是因为顶角 γ 的增大, 光的入射角 θ 减小, 发生全反射的光所占比例减小, 故扩散板透光率增大。当顶角 γ 从 40° 增大到 110° , 扩散板的均匀度变化没有呈现出简单的线性关系, 当 $\gamma = 100^\circ$ 时, 扩散板的综合光学性能最好, 均匀度达到最大值 82.4%, 透光率为 82.1%。

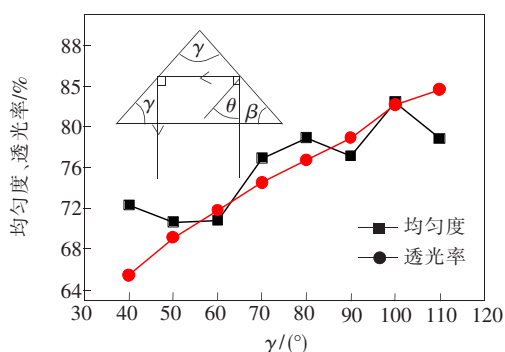


图 4 顶角对扩散板均匀度与透光率的影响

Fig. 4 Effect of the apex γ on the transmittance and uniformity of the diffuser

4.2 金字塔微结构切削量对扩散板均匀度和透光率的影响

如图 5 给出了金字塔微结构切削量 H 的示意图。由图可知当金字塔顶角 $\gamma = 100^\circ$ 固定时, 光的入射角不变, 可以通过控制金字塔的切削量 H 来控制光的全反射程度。图 5 给出了扩散板均

匀度和透光率随金字塔微结构切削量 H 的变化情况。

由图 5 可以看出, 金字塔微结构的切削量值 H 从 0 mm 增大到 0.1 mm 时, 扩散板的透光率从 82.1% 增大到 86.5%, 主要是因为金字塔微结构切削量 H 增大时, 全反射的光减少, 即 A' 类和 C' 类光线减少, 因此扩散板的透光率得到提高。当切削量值 H 从 0 mm 增大到 0.1 mm 时, 扩散板的均匀度则先从 82.4% 增大到 86.4%, 再降低至 83.1%, 当 $H = 0.04$ mm 时, 扩散板的均匀度达到最大值 86.4%。主要是由于在微结构间距一定时, $H = 0.04$ mm 时, A' 类、 B' 和 C' 类综合效果达到最好, 光线散射效果最好, 散射角度最广, 均匀度最高。

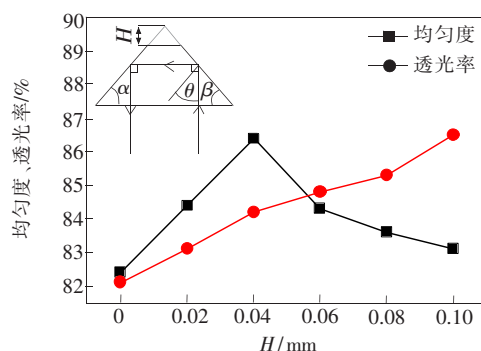


图 5 切削量 H 对扩散板均匀度与透光率的影响

Fig. 5 Effect of the height H on the transmittance and uniformity of the diffuser

5 结 论

(1) 金字塔非球形微结构扩散板的均匀度高于圆锥非球形微结构和球形微结构两种扩散板的均匀度, 而透光率介于圆锥非球形微结构扩散板和球形微结构扩散板之间。

(2) 金字塔非球形微结构顶角 γ 从 40° 增大到 110° , 扩散板的透光率从 65.4% 增大到 83.6%; 当顶角 $\gamma = 100^\circ$ 时, 扩散板的综合光学性能最好, 透光率为 82.1%, 均匀度为 82.4%。

(3) 金字塔微结构切削量 H 从 0 mm 增大到 0.1 mm 时, 扩散板的透光率从 82.1% 增大到 86.5%; 均匀度则先从 82.4% 增大到 86.4%, 再降低至 83.1%, 当 $H = 0.04$ mm 时, 扩散板的均匀度达到最大值 86.4%。

参 考 文 献:

- [1] 庄孝磊,周芳,陈林森.微透镜阵列光扩散片特性研究及制备[J].苏州大学学报,2009,25(4):48-52.
- [2] Kim J S, Kim D S, Kang J J, *et al.* Replication and comparison of concave and convex micro lens arrays of light guide plate for liquid crystal display in injection molding [J]. *Polymer Engineering and Science*, 2010, 50(8): 1696-1704.
- [3] Huang T C, Ciou J R, Huang P H, *et al.* Fast fabrication of integrated surface-relief and particle-diffusing plastic diffuser by use of a hybrid extrusion roller embossing process [J]. *Optical Society of America*, 2008, 16(1): 440-448.
- [4] Liu S J, Huang Y C. Manufacture of dual-side surface-relief diffusers with various cross angles using ultrasonic embossing technique [J]. *Optics Express*, 2009, 17(20):18083-18093.
- [5] Hung S Y, Chen S N, Lin C P, *et al.* The robust design for gapless micro lens array fabrication using the incomplete developing and thermal reflow process [J]. *Microwave and Optical Technology letters*, 2007, 49(1):23-29.
- [6] Yaegashi M, Kinoshita M, Shishido A, *et al.* Direct fabrication of micro lens array with polarization selectively [J]. *Advanced Materials*, 2007, 19(6):801-804.
- [7] Ho J R, Shin T K, Cheng J-W J, *et al.* A novel method for fabrication of self-aligned double micro lens arrays [J]. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2007, 135(2):465-471.
- [8] 曹保柱,王晓蕊. LCD 导光板自由曲面微型槽结构设计及优化 [J]. 液晶与显示, 2010, 25(6): 817-821.
- [9] 谢洪波,马若玉,罗青青. 导光板中一种 V-Cut 槽结构的设计方法 [J]. 液晶与显示, 2009, 24(5): 681-684.
- [10] 李世保,吴大鸣,庄俭,等. 一种具有波形槽微结构的导光板设计 [J]. 液晶与显示, 2011, 26(4): 469-473.

欢迎订阅 2012 年《液晶与显示》

《液晶与显示》是中国最早创办的液晶学科专业期刊,也是中国液晶学科和显示技术领域内唯一的综合性专业学术期刊。它由中国科学院长春光学精密机械与物理研究所、中国物理学会液晶分会和中国光学光电子行业协会液晶分会主办,科学出版社出版。

《液晶与显示》以创新性、综合性、实用性为办刊特色,内容丰富,涵盖面广,信息量大,可读性强,既是启迪科技人员开拓思路的参考期刊,又是从事液晶和显示技术与开发的广大科技人员、大专院校师生及相关领域的科技工作者进行学术交流的论坛,也是图书、情报等部门必不可少的信息来源。

《液晶与显示》为双月刊,国内定价 40.00 元,全年 240.00 元,国内外公开发售。国内邮发代号:12-203,国内读者可在当地邮局订阅;也可通过“全国非邮发报刊联合发行部”订阅(地址:天津市大寺泉集北里别墅 17 号,邮编 300385),本刊的代号为:5074。国外读者可通过中国国际图书贸易总公司订阅(地址:北京 399 信箱,邮编:100044),国外发行代号:4868BM。同时,《液晶与显示》编辑部将竭诚为广大读者服务,随时办理订阅。

地 址:长春市东南湖大路 3888 号 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

《液晶与显示》编辑部

邮 编:130033

电 话:0431-86176059 0431-84613406

传 真:0431-84627061

E-mail: yjxs@ciomp. ac. cn; yjyxs@126. com

http://www. yjyxs. com