

文章编号: 0253-2239(2009)09-2516-04

导光板底面熔合微棱镜出射亮度规律研究

陈祥贤 徐 平 黄洁锋 张旭琳 王 冰 李贝贝

(深圳大学电子科学与技术学院, 广东 深圳 518060)

摘要 基于导光板底面直接熔合微棱镜取代目前背光系统平面反射膜和网点两层结构, 推导了棱镜底角和出射亮度方向角之间的关系, 提出导光板出射亮度方向角与棱镜远近光源底角的解析公式。用 LightTools 软件对导光板进行建模仿真, 通过改变棱镜两个底角, 得到出射亮度峰值方向和底角之间的变化规律。理论值与模拟仿真值基本符合, 为背光模组一体化的研究提供理论和实验依据。依据上述规律, 设计出一体化导光板结构, 其中, 微棱镜近光源角为 86° , 远光源角为 37° , 亮度达到现行 3M 背光系统指标。

关键词 光学设计; 背光系统; 导光板; 微棱镜反射结构; 出射亮度方向; 一体化

中图分类号 TN202; TN27 **文献标识码** A **doi:** 10.3788/AOS20092909.2516

Research on Law of Luminance in Light Guide Plate with Fused Micro-Prisms on Bottom Surface

Chen Xiangxian Xu Ping Huang Jiefeng Zhang Xulin Wang Bing Li Beibei

(College of Electronic Science and Technology, Shenzhen University, Shenzhen, Guangdong 518060, China)

Abstract Based on an integrated light guide plate (LGP) with fused micro-prisms replacing the common plane reflective film and the dot structures in the existing backlight system (BLS), the expressions of the bottom angles of the prisms and the direction of the emitting luminance are derived by using the geometric optics equations. The LGP with micro-prisms is modeled in Light Tools software. The relation between the bottom angles and the direction of peak emitting luminance is established. Simulation results are consistent with the analytical ones. Based on the analytical derivation and simulation, an integrated LGP is designed with the micro-prisms close angle of 86° and the far angle of 37° . The luminance of the integrated LGP meets the demand of the existing 3M BLS.

Key words optical design; backlight system; light guide plate(LGP); micro-prisms reflective structure; direction of emitting luminance; integration

1 引 言

背光系统是液晶显示的重要器件之一。现行背光系统由光源、导光板、反射膜、扩散膜和双层棱镜膜组成, 其中, 棱镜膜(BEFII -90/50)为美国 3M 公司专利, 占成本最高。为了简化复杂的背光模组, 拥有自主知识产权, 许多科研机构和厂家纷纷研究新型导光板来取代 3M 棱镜膜, 降低成本。集成化、轻薄化和低成本成为导光板的未来设计趋势。

许多科研机构相应提出新型集成导光板, 例如

清华 Foxconn 纳米研究中心 2004 年提出的双面微棱镜导光板^[1], 香港理工大学提出用于手机背光模组轮廓渐变 V-槽形导光板^[2], 中华台北 Chao Heng Chien 提出双面微结构导光板^[3]等, 这些导光板结构能够很好地提高亮度或者均匀性, 但对导光板内部光场出射规律分析尚未见报道。本课题组在对微光学二元光学深入研究的基础上^[4~9]于 2007 年研究指出导光板熔合微光学列阵结构会带来新的光场分布问题^[9], 并在 SPIE 会议上对新型高度集成微

收稿日期: 2008-08-03; 收到修改稿日期: 2008-12-31

基金项目: 国家自然科学基金(2005AA311020)、深圳市科技项目(2006086)和深圳市微纳光子重点实验室资助项目。

作者简介: 陈祥贤(1982-), 男, 硕士研究生, 主要从事微小光学与器件的研究。E-mail: chenxx6060@163.com

导师简介: 徐 平(1964-), 男, 教授, 主要从事微小光学与器件、信息光学、光互联网络等领域的研究。

E-mail: xuping@163.com (通信联系人)

光学导光板进行交流^[10]。本论文在导光板底面熔合微棱镜结构,对微棱镜底角和出射亮度峰值方向之间规律进行详细分析,首先在理论上推导出出射角与棱镜底角的解析公式,再通过 LightTools 建立导光板模型,仿真出射亮度峰值方向和底角之间的关系,对推导公式和仿真值进行比较,分析误差,为背光模组一体化、轻薄化和高亮度提供理论和实验依据。并依据上述规律,设计出一体化导光板结构,其中,导光板微棱镜近光源角为 86° ,远光源角为 37° ,亮度达到现行 3M 背光系统指标。

2 导光板底面熔合微棱镜理论分析

2.1 远光源角与出射亮度角的关系

从导光板光源入射的光线,在内部会发生折射、反射等现象。下面根据导光板底面熔合微棱镜光路图,对棱镜角度和出射亮度进行分析,图 1 为一典型导光板侧视图。

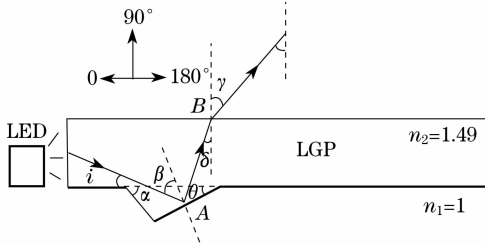


图 1 底面熔合微棱镜导光板光线传播图

Fig. 1 Ray propagation in the LGP with fused micro prisms on bottom surface

图中 i 为光线与导光板底面之间的夹角, α 、 θ 分别为底面微棱镜近、远光源端的底角, β 为入射到底面棱镜的光线与棱镜法线夹角, δ 为经棱镜反射后光线与导光板顶面法线的夹角, γ 为出射角, 空气折射率 $n_1 = 1$, 导光板材料 PMMA (polymethyl methacrylate) 的折射率 $n_2 = 1.49$ 。光线在导光板上下表面发生全反射时的临界角满足

$$\theta_c = \arcsin \frac{n_1}{n_2} = \arcsin \frac{1}{1.49} \approx 42.16^\circ. \quad (1)$$

由导光板内部光线所满足的三角形关系可以得到

$$\beta = \theta + \delta, i + \beta = 90^\circ - \theta. \quad (2)$$

棱镜远光源底角 θ 与 i 和 δ 的关系为

$$\theta = 45^\circ - \frac{i + \delta}{2}. \quad (3)$$

根据几何光学原理,在导光板上表面发生折射,满足关系

$$\sin \gamma / n_2 = \sin \delta / n_1. \quad (4)$$

为使坐标系一致,出射光角度 $\gamma=0$ 时实际上对应研究的坐标系的出射光角度是 90° ,因此,对于本导光板研究系统来说,根据(3)、(4)式,出射亮度方向 γ 与远光源角 θ 关系为

$$\gamma = 90^\circ + \arcsin \left[\frac{n_2}{n_1} \cos(i + 2\theta) \right], \quad (5)$$

其中 90° 是为了使出射角度与坐标系一致附加的常数,如图 1 所示。

在上述推导中作了以下假设:首先,近光源角 α 接近 90° ,这样可以使近光源棱镜边非常短,减小光线碰到该棱镜边的几率,更好地分析远光源角对出射光线的关系;其次,在导光板,入射到底面棱镜的光线在导光板表面会发生全反射,如图 2 所示,当 $\delta < \theta_c$ 时,光线透射出导光板表面,反射回来的光线已经非常弱(PMMA 的透过率约为 96.8%),因此,入射到底面的大多数光线满足

$$0 \leq i \leq 90^\circ - \theta_c = 47.4^\circ. \quad (6)$$

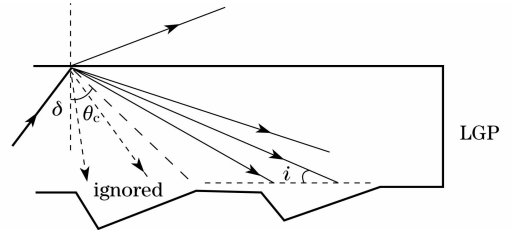


图 2 光线在导光板上表面的传播

Fig. 2 Propagation of rays in the top surface of LGP

第三,仅仅考虑导光板中从左向右传播的光线。从右向左的光线主要分为 l_1 , l_2 , l_3 , 三类,如图 3 所示。当光线 l_1 打到远光源棱镜边的 A 点,会在导光板表面发生全反射而不透出,我们可以忽略这部分光的影响;而 l_2 打到近光源棱镜边的 B 点,会向远光源棱镜边反射,从而归类为从左向右传播的光线;仅仅当入射角满足 $i < 90^\circ - \alpha$ 的光线 l_3 会打到近光源棱镜边的 C 点而透射出导光板。但由于近光源角接近 90° ,因此满足条件的光线 l_3 非常少,可以忽略不计。

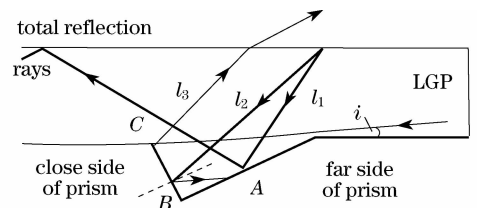


图 3 光线在导光板内部从右向左传播轨迹

Fig. 3 Propagation of rays from right to left in LGP

2.2 近光源角与出射亮度角的关系

分析近光源角时,情况和远光源角相似。不同

的是, 仅仅考虑导光板内部从右向左传播的光线, 得到近光源角和出射亮度角的关系为

$$\gamma' = 90^\circ + \arcsin\left[\frac{n_2}{n_1} \cos(i' + 2\alpha)\right], \quad (7)$$

其中, 由图 4 可知, $i' = 180^\circ + i$ 。

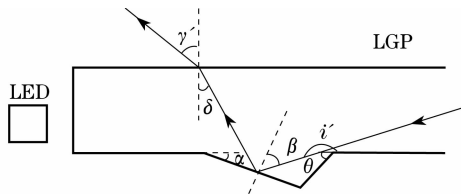


图 4 导光板内部光线从右向左碰到近光源棱镜边示意图
Fig. 4 Propagation of rays hitting the close side of prism from right to left

3 底面微棱镜反射结构对出射亮度调制作用的模拟仿真

我们使用相关光学软件建立了手机侧发光背光照系统, 包括三个贴片的白光 LED 光源, 一体化导光板底面熔合微棱镜反射结构, 没有其它光学膜。在这个模型中, LED 参数、导光板的尺寸都与现行常用手机背光系统相近, 具体建模参数在表 1 中列出, 导光板结构模型如图 5 所示。

表 1 底面微棱镜背光系统的建模参数

Table 1 Parameters of backlight system with fused micro prisms

fused micro prisms	
Size of LED /mm	2.3×1.4×0.7
Size of LGP /mm	43.84×33.54×0.9
material (refractive index) of LGP	PMMA (n=1.49)
prisms width/ mm	0.05~0.2
refractive index of reflective films	0.98
ray number	2000,000

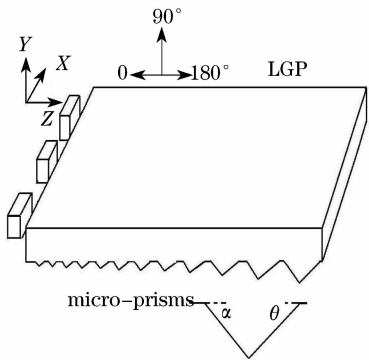


图 5 底面熔合微棱镜导光板结构图

Fig. 5 LGP with fused micro prisms in the bottom surface

在导光板底面设置接收面, 探测到下表面入射时候的亮度分布, 结果如图 6 所示。根据(5)和(7)

式, 只有得到入射角度 i , 才能够把理论推导值与模拟仿真值进行比较。经过计算, 当 i 为 12° 时亮度分布有最大值, 因此, $i = 12^\circ$, 这一点与(6)式也相符。

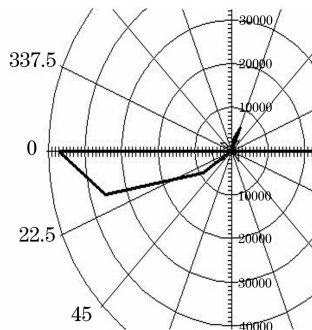


图 6 导光板下表面入射光场分布图

Fig. 6 Incident light field on the bottom surface of LGP

通过大量的模拟仿真, 我们发现当微棱镜其中一个角度固定在 86° 时, 可以很好地减小相应棱镜面对光的影响, 从而使导光板出射照度和亮度有较优结果, 更好地研究另一角度对光线的调制作用。因此, 分别固定近光源角度 α 为 86° , 改变底面棱镜的远光源角度 θ , 或固定远光源角度 θ 为 86° , 改变近光源角 α , 观察出射亮度方向分布, 并与前面理论推导公式进行比较, 得到棱镜底角和出射亮度峰值方向关系如图 7 所示。

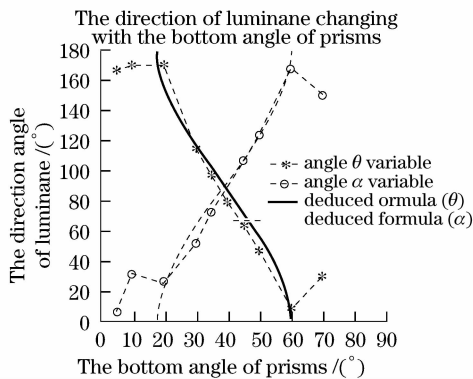


图 7 出射亮度方向随棱镜两底角模拟仿真曲线及理论推导解析曲线

Fig. 7 Simulated curve and deduced curve between the direction of peak luminance and the bottom angle of prisms

图 7 中实线表示理论推导的出射亮度与远光源角的变化曲线, 虚线是理论推导的出射亮度与近光源角的变化曲线, 而带星和带圈的虚线分别表示模拟仿真的出射亮度随远光源角和近光源角的变化曲线。在仿真值中, 当棱镜角度大于 70° , 导光板照度和亮度值已经比较弱而且很难确定亮度集中的角度, 因此, 我们只考虑棱镜底角在 $[0^\circ 70^\circ]$ 的亮度调节情况。理论推导的出射亮度方向与棱镜底角公式

与建模仿真的数据在棱镜底角为 $20^\circ \sim 60^\circ$ 基本符合,远光源角调制曲线的理论推导值与实测值的均方差约为 3.74° ,近光源角调制曲线的理论推导值与实测值的均方差约为 3.90° ,产生误差的原因有:1) 在理论推导忽略了图 2 中反射光的影响,虽然这部分光比较弱,但实际上会存在作用;2) 忽略图 3 中光线 l_3 的影响。

从图 7 我们还会看到,当棱镜底角在 $0 \sim 17.92^\circ, 60.08^\circ \sim 90^\circ$,理论推导值为 0,这是因为当棱镜底角处于这一范围时,将满足全反射规律,不再从导光板上表面透出,可由(5)和(7)式得到;但实测值中,尽管当棱镜底角在这一范围时照度和亮度已经很弱,但出射亮度方向并不为 0。究其原因,也适用上述解释。

为了方便人们对中小尺寸显示器的视觉要求,我们希望在设计中导光板的光线尽可能集中在 90° 的视场。根据上述理论推导和模拟仿真结果,设计的背光系统结构方案如图 8 所示,其中,微棱镜近光源角为 86° ,远光源角为 37° 。此背光系统包括光源和一体化导光板,没有扩散膜、双层棱镜膜和反射膜等复杂结构,可以简化背光系统结构,提高光能利用率。一体化导光板的亮度为 3896.93 cd/m^2 ,而在相同的发光条件和环境下,3M 背光系统的亮度为 3700.56 cd/m^2 。如果在一体化导光板出射面设置微光学聚光结构,亮度可以进一步提高^[10]。

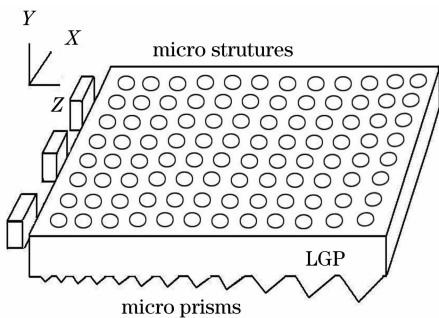


图 8 底面熔合微棱镜反射结构的一体化导光板方案示意图

Fig. 8 Integrated LGP with fused micro-prisms in the bottom surface

4 结 论

本文在导光板底面熔合微棱镜结构,首先从理

论上推导得到出射角 γ 与棱镜底角 θ, α 的解析公式,分别为 $\gamma = 90^\circ + \arcsin[n \cos(i + 2\theta)]$ 与 $\gamma' = 90^\circ + \arcsin[n \cos(i' + 2\alpha)]$;再通过光学软件对导光板建模,进行光线模拟,得到微棱镜两底角和出射亮度峰值的关系曲线。验证了出射亮度方向受棱镜底角调制,且理论推导公式与仿真数据基本符合,为导光板一体化,轻薄化和高亮度提供实验依据。并且依据推导和仿真值,设计出一体化导光板结构,其中,微棱镜近光源角为 86° ,远光源角为 37° ,亮度达到现行 3M 背光系统指标,取代了现行背光模组中双层棱镜膜、扩散膜和反射膜等复杂结构,简化背光系统,提高光能利用率。

参 考 文 献

- Di Feng, Yingbai Yan, Xingpeng Yang *et al.*. Novel integrated light-guide plates for liquid crystal display backlight[J]. *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.*, 2005, **7**: 111~117
- Jiang Jinbo, To Sandy, Lee WB *et al.*. Design of freeform V-cut optics in the cell phone backlight system[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2005, **20**(3): 178~184
蒋金波,杜雪,李荣彬等.用于手机背光模组的轮廓渐变V-槽形自由曲面结构的新颖设计[J].*液晶与显示*,2005,**20**(3): 178~184
- Chao Heng Chien and Zhi Peng Chen. Fabrication of integrated light guiding plate for backlight system[C]. *SPIE*, 2006, **6109**: 610909-1~610909-8
- Ping Xu, Haixuan Huang, Kai Wang *et al.*. Realization of optical perfect shuffle with microoptical array element[J]. *Optics Express*, 2006, **15**(3): 809~816
- Ping Xu, Zelin Yan, Lili Wan *et al.*. Designing New Integrated LGP of Backlight System Using Binary Optic Technique[C]. *SPIE*, 2004, **5636**: 66~72
- Xu Ping, Sun Yiling, Li Jingzhen. The even device fabricated by the deep etched binary optics technology for the exposure system of the quasi-molecule laser[J]. *Science in China*, 2002, **45**(1): 1~9
- Xu Ping, Tan Jiyue, Guo Lurong *et al.*. Deep etch binary optics element[J]. *Acta Optica Sinica*, 1996, **16**(12): 1796~1801
徐平,唐继跃,郭履容等.深蚀刻二元光学元件[J].*光学学报*, 1996,**16**(12): 1796~1801
- Xu Ping, Li Jingzhen, Bu Guixue *et al.*. Fabrication error analysis of 4-step binary optic elements[J]. *Chinese J. Lasers*, 1998, **A25**(5): 415~420
徐平,李景镇,卜桂学等.4阶二元光学元件制作误差的解析分析[J].*中国激光*,1998,**A25**(5): 415~420
- Wan Lili, Xu Ping, Chen Xiangxian *et al.*. Research on union of micro optical array and light guide plate in cell phone[J]. *Acta Photonica Sinica* (in press)
万丽丽,徐平,陈祥贤等.手机导光板熔合微光学阵列的研究[J].*光子学报*(已录用)
- Ping Xu, Xiangxian Chen, Jiefeng Huang *et al.*. A novel highly-integrated light guide plate using micro optical technique[C]. *SPIE*, 2007, **6834**: 683409-1~683409-5