

文章编号:1007-2780(2014)04-0533-05

背光模组 LED 侧照明微棱镜膜的研究

季振强*,董连和,王 丽,吴博琦,尹 航
(长春理工大学 光电工程学院,吉林 长春 130021)

摘要:在液晶显示器背光模组 LED 侧照明中,为了减小近光源处明暗相间非混光区对导光板有效均匀照明面积的影响,对导光板入光面处微结构进行研究。设计了一种具有阵列棱镜结构的微棱镜膜,在不改变 LED 与入光面距离以及相邻 LED 间距的前提下,将其贴附于导光板的入光面处。试验结果表明:当棱镜顶角为 105°时,入射光线的出射角度最大,微棱镜膜的散光作用可以将非混光区的宽度由原来 4 mm 减缩至 2 mm。有效地增加了近光源处混光区域的面积,对于 LED 侧照明式背光模组入光面微结构的设计有一定的指导意义。

关 键 词:背光模组;LED 侧照明;非混光区;微棱镜膜

中图分类号:TN312+.8 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20142904.0533

Micro-prism film with LED side lighting in backlight module

JI Zhen-qiang*,DONG Lian-he,WANG Li,WU Bo-qi,YIN Hang

(School of Electro-optical Engineering,Changchun University of
Science and Technology,Changchun 130021,China)

Abstract: In the LED side lighting of LCD(Liquid Crystal display)backlight module,in order to reduce the influence from the non-mixed area near the light source for the effective uniform illuminating area of the light guide plate,the micro structure on the incident surface of light guide plate is studied. A micro-prism film with prisms array is designed without changing the distance between LED and incident surface,as well as the spacing between adjacent LEDs,it is pasted on the incident surface of the light guide plate. The results show when the apex angle of prism is 105°,the emission angle is the largest. The astigmatism of micro-prism film can reduce the non-light mixed area from original 4 mm to 2 mm. It increases the light mixing zone area near the light source effectively. This research is significant to the micro structure design on the incident surface of the side lighting backlight module.

Key words: backlight module; LED side lighting; non-mixing area; micro-prism film

1 引 言

在液晶显示器侧式照明背光模组中,通常使用多颗 LED 光源按照线性排列方式分布在导光

板的一侧或者多侧^[1-2]提供照明。由于 LED 点光源本身的发光角度^[3]及相邻 LED 之间距离的因素,在相邻光源混光区之外产生明显亮暗相间的非混光区^[4],减少导光板照明面上有效显示区域的面积。通常情况下,当手机显示屏尺寸为 1~2

收稿日期:2013-09-25;修订日期:2013-11-05.

* 通信联系人,E-mail:jzqshengyang@163.com

in(1 in=2.54 cm)时,非混光区的宽度约为 2.5 mm,显示屏尺寸为 4 in 时非混光区宽度可达 4 mm^[5]。

目前,减小侧照明非混光区的方法主要是采用增加 LED 排布密度或是增大 LED 与导光板入光面之间的间距^[6],或者是在 LED 光源一侧添加椭圆形或楔形等形状的光线反射结构^[7-9],以及直接在导光板入光面上加工阵列曲面结构^[10-11]等。另外,周羲君等提出在导光板入光面上贴附棱镜结构膜片的方法以实现匀光,降低了液晶显示器自身的功率损耗^[12]。本文应用相应光学原理,设计了一种微棱镜膜,在不改变相邻 LED 间距及 LED 与入光面之间空气层厚度的情况下,将微棱镜膜贴附在导光板入光面上,以达到减小导光板照明面近光源处的非混光区,最终实现增加导光板照明面有效显示区域面积。

2 棱镜膜设计

微棱镜膜是指表面具有微米或纳米量级尺寸的棱镜阵列结构的透明薄膜,可以使入射光线经过微棱镜膜后以预期的角度出射,不同的棱镜顶角会产生不同的光出射角度,同时,使用点光源照射微棱镜膜时,不同角度的入射光也会产生不同的光发散角,如图 1 所示。

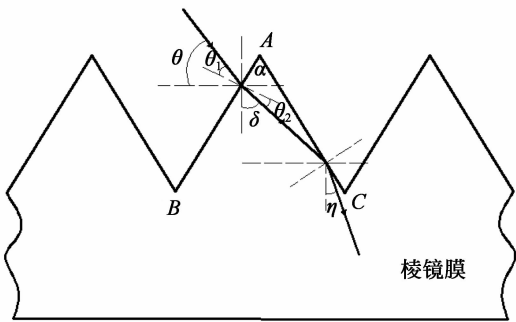


图 1 光线通过棱镜时光传播路线

Fig. 1 Path of incoming light through the prism

图 1 中,当光以任意角度入射到棱镜面上时,设 α 为棱镜顶角, θ_1 为棱镜斜面光入射角, θ_2 为光折射角, δ 为光线通过棱镜 AB 斜面后的发散角半角度, η 为 AC 面上反射光线的发散角半角度。

当入射光线与水平线的夹角为 θ 时,棱镜斜面光入射角度为 $\theta_1 = \theta - \alpha/2$,根据光线折射定律 $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$,光折射角度 θ_2 为:

$$\theta_2 = \arcsin\left(\frac{n_1 \sin \theta_1}{n_2}\right) = \arcsin\left(\frac{n_1 \sin(\theta - \alpha/2)}{n_2}\right). \tag{1}$$

由几何光学原理,棱镜 AB 面上光发散角半角度 δ 为:

$$\delta = \frac{\pi}{2} - \frac{\alpha}{2} - \theta_2. \tag{2}$$

棱镜 AC 面上的发散角半角度 η 值为:

$$\eta = \delta - 2\left(\frac{\pi}{2} - \alpha - \theta_2\right). \tag{3}$$

当入射光线不与 AC 面接触时光线的发散角度最大,此时可以视为 $\delta = \eta$,则 α 与 θ_2 满足:

$$\alpha + \theta_2 = \frac{\pi}{2}. \tag{4}$$

由(4)式和(1)式可得:

$$\alpha - \arcsin\left(\frac{n_1 \sin(\theta - \alpha/2)}{n_2}\right) = \frac{\pi}{2}. \tag{5}$$

即:

$$\theta = \alpha/2 + \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1} \cos \alpha\right). \tag{6}$$

同时,由(4)式和(2)式可得:

$$\delta = \alpha/2. \tag{7}$$

棱镜膜 PMMA 材料的折射率为 $n_2 = 1.49$,空气折射率 $n_1 \approx 1$,根由式(6)和式(7)分别可得棱镜顶角 α 与光发散角半角度 δ 以及入射光线与水平面夹角 θ 的关系曲线如图 2 所示。

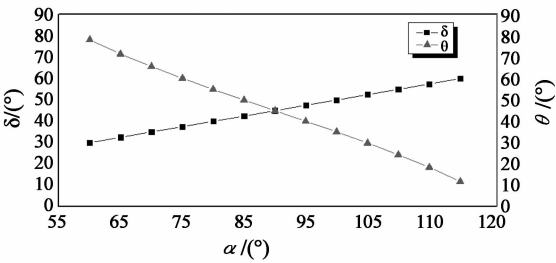


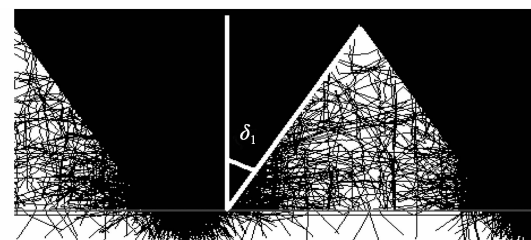
图 2 棱镜顶角 α 与光发散角半角度 δ 以及入射光线与水平面夹角 θ 的关系

Fig. 2 Relationship about the apex angle δ , the optical divergence half angle θ and the angle between the incident ray and the horizontal plane α

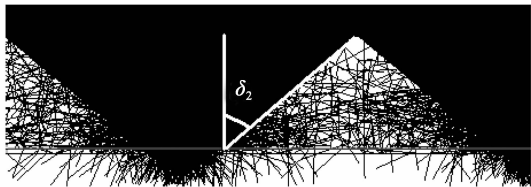
图 2 中,当入射光线与水平线夹角 θ 为 10° 时,棱镜顶角 α 为 120° ,此时光发散角半角度 δ 最

大为 60° ; 夹角 θ 为 78° 时, 顶角 α 为 60° , 光发散角半角度 δ 为 30° 。本文选择的 LED 光源的出射光线与水平线夹角 θ 最小为 30° , 由此关系曲线可得对应的棱镜顶角 α 约为 105° , 光发散角半角度 δ 为 52.5° 。

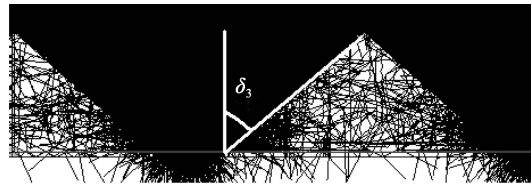
利用 Lighttools 对背光模组中导光板入光面上贴附微棱镜膜前后的光发散角度进行模拟, 微棱镜膜中棱镜间隔为 $50\text{ }\mu\text{m}$ 。选取 4.4 in 彩色液晶显示屏手机背光模组为实验对象, 该背光模组中相邻 LED 之间的间距为 8.25 mm , LED 与导光板距离为 0.5 mm , 导光板厚度为 2 mm , 导光板照明面上近光源处非混光区宽度约为 4 mm 。模拟结果如图 3 所示。



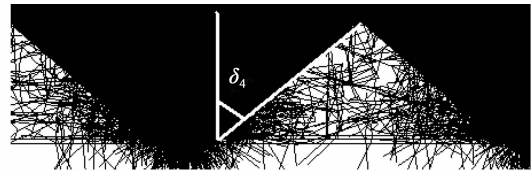
(a) 无微棱镜膜
(a) Without the micro-prism film



(b) 棱镜顶角 100°
(b) Apex angle is 100°



(c) 棱镜顶角 105°
(c) Apex angle is 105°



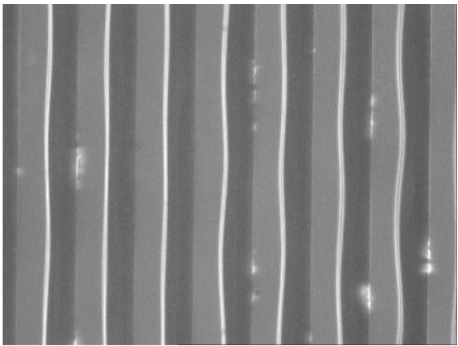
(d) 棱镜顶角 115°
(d) Apex angle is 115°

图 3 棱镜顶角对 LED 发光的光发散角的影响
Fig. 3 Impact of prism apexangle on the emission angle of LED

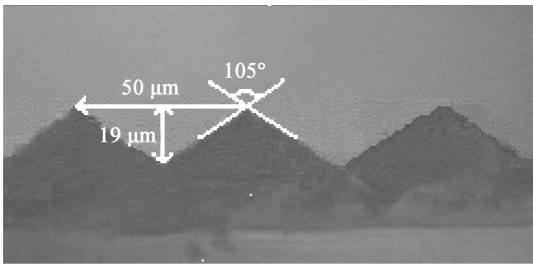
图 3 中黑色区域表示入射光线的分布区域, δ_1 、 δ_2 、 δ_3 为导光板入光面法线与入射光线最边缘光线的夹角, 分别代表导光板入光面无微棱镜膜以及棱镜顶角为 100° 、 105° 、和 110° 时, LED 出射光线进入导光板后的发散角半角度。经实际测量, 光发散角的半角度 δ_1 值为 35° , δ_2 值为 45° , δ_3 值为 51° , δ_4 值为 48° , 结果表明棱镜顶角为 105° 时, 光线的发散角度最大, 这与理论分析的结果相一致。

3 实 验

利用热压印技术^[13-14]在 PMMA 薄膜上形成棱镜顶角为 105° , 周期为 $50\text{ }\mu\text{m}$, 深度为 $19\text{ }\mu\text{m}$ 的微棱镜膜, 在高倍光学显微镜下, 观察微棱镜膜中棱镜阵列的平面和剖面结构如图 4 所示, 从图中可以看出棱镜阵列规整, 具有较好的一致性, 棱镜表面光滑, 满足使用要求。



(a) 平面结构
(a) Structure of planar



(b) 剖面结构
(b) Structure of section

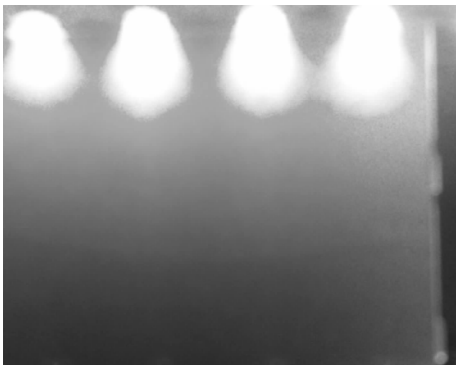
图 4 微棱镜膜中棱镜阵列结构
Fig. 4 Structure of the prism array on micro-prism film
micro-prism film

利用 JL-6180 粘结专用胶将 PMMA 微棱镜膜紧贴在背光模组中导光板的入光面上, 使棱镜

膜中的棱镜排列方向垂直于光源线性排列方向，分别对导光板入光面有无微棱镜膜时的发光情况进行实验。

4 结果与讨论

为了减小外部环境光线的影响，整个实验过程选择在黑暗环境中进行。实验得到导光板照明面的亮度如图 5 所示，由图 5(a)中可以看出，无棱镜膜时，在近光源处有明显的亮暗分布且非混光区宽度较大。图 5(b)显示贴附棱镜膜后，近光源处亮度分布均匀，非混光区明显减小。



(a) 无微棱镜膜
(a)Without the micro-prism film



(b) 贴附微棱镜膜
(b)Paste the prism film

图 5 导光板照明面近光源处光亮度

Fig. 5 Illumination brightness on the lighting surface of the light guide plate near the source

利用光照度计对导光板照明面上的光照度值进行多点测量，测量结果如图 6 所示，X 轴表示测量点与导光板中心处的距离，Y 轴表示测量得到的光照度值。曲线 1 与曲线 2 分别表示无棱镜膜和贴附微棱镜膜时的照明面光照度曲线。对比两条曲线可以看出，添加微棱镜膜后，有效照明面积宽度由原来 39 mm 处增加到 41 mm 处。同时，由照明面光照度分布可以看出，导光板入光面添加微棱镜膜前后，照明面上的光照度均匀性也提高了 2% 左右。

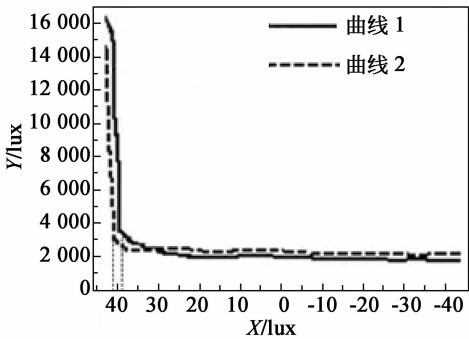


图 6 导光板照明面的光照度分布

Fig. 6 Illuminating distribution on the lighting surface of the light guide plate

5 结 论

具有阵列棱镜结构的微棱镜膜可以增加入射光线的出射角度，在不改变 LED 排布间距及 LED 与导光板入光面距离的情况下，背光模组导光板入光面上加入微棱镜膜后，可以使照明面上近光源处非混光区面积明显减少，并且提高照明面的光照度均匀性。研究表明，当 LED 间距为 8.25 mm，LED 与导光板入光面距离 0.5 mm 时，加入棱镜顶角为 105° 的微棱镜膜后，可以将非混光的宽度由 4 mm 减小至约 2 mm，并且导光板照明面光照度也相应提高 2% 左右，有效地增加了混光区域的面积。

参 考 文 献：

[1] 郝冬晶,钱可元,罗毅.大尺寸 LED 背光源网点的设计及优化[J]. 液晶与显示,2011,26(5):598-603.
Hao D J, Qian K Y, Lou Y. Design and optimization of dot pattern for large scale LED backlight unit [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2011, 26(5): 598-603. (in Chinese)

- [2] Cheng Y. Progress in display technologies and the irapplications [J]. *Chinese Journal of Optics and Applied Optics*, 2010, 3(1): 27-32.
- [3] 赵亚辉, 范长江. 组合式发光二极管路灯反射器的设计[J]. 中国光学, 2012, 5(5): 520-524.
Zhao Y H, Fan C J. Design of combined reflectors used in LED street lamps [J]. *Chinese Optics*, 2012, 5(5): 520-524. (in Chinese)
- [4] Teng T C, Kuo M F. Highly precise optical model for simulating light guide plate using LED light source [J]. *Optics Express*, 2010, 18(21): 22208-22214.
- [5] 罗增昌. 彩屏背光源设计规范[R]. 深圳: 伟志电子有限公司, 2006.
Luo Z C. Code for design of screen back light source [R]. Shen Zhen: Electronics Co., Ltd, 2006. (in Chinese)
- [6] 华广胜, 布占场, 郑效盼, 等. 低功耗液晶电视 LED 背光源设计[J]. 液晶与显示, 2011, 26(4): 455-459.
Hua G S, Bu Z C, Zheng X P, et al. Design of LED backlight module for low power LCD TV [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2011, 26(4): 455-459. (in Chinese)
- [7] Choi K M, Lee Y S, Lee S H, et al. Design and analysis of the lens converting the spot light into the line light [C]// *The 23rd International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC)*, 2008: 1145-1148.
- [8] Kim Y C, Oh T S, Lee Y M. Optimized pattern design of light-guide plate (LGP)[J]. *Optica Applicata*, 2011, 41(4): 863-872.
- [9] Wang Y J, Lu J G, Shieh H P D. A novel highly collimating backlight module using a double wedge-shaped light guide plate [C]// *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2012, 43(1): 1305-1308.
- [10] 黄显川, 叶志庭. 用于 LCD 背光模块的 LED 光源转成线光源设计研究[J]. 光学与光电技术, 2007, 5(2): 8-11.
Huang X C, Ye Z T. Design of LED light source transfer to line light source for LCD backlight module [J]. *Optics & Optoelectronic Technology*, 2007, 5(2): 8-11. (in Chinese)
- [11] Chang L K. Light guide plate and backlight module: U. S. Patent 8,118,464[P], 2012-2-21.
- [12] 周羲君, 冯仕猛. 均匀照明 LED 背光板设计[J]. 液晶与显示, 2012, 27(6): 774-779.
Zhou X J, Feng S M. Design of high uniformity LED backlight [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2012, 27(6): 774-779. (in Chinese)
- [13] 魏正英, 熊孝东, 杜军, 等. 常温微压印中抗蚀剂流动的研究及工艺优化[J]. 光学精密工程, 2010, 18(8): 1822-1832.
Wei Z Y, Xiong X D, Du J, et al. Flow behavior of resist in room-temperature micro-imprinting and its process optimization [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(8): 1822-1832. (in Chinese)
- [14] 赵亚辉, 范长江. 组合式发光二极管路灯反射器的设计[J]. 中国光学, 2012, 5(5): 520-524.
Zhao Y H, Fan C J. Design of combined reflectors used in LED street lamps [J]. *Chinese Optics*, 2012, 5(5): 520-524. (in Chinese)

作者简介: 季振强(1987—), 男, 山东德州人, 硕士研究生, 主要从事现代光学技术及工程应用的研究。E-mail: jzqshenyang@163.com