

文章编号 1004-924X(2016)05-1009-06

## 用于视角偏转的光学膜表面微结构设计

冯奇斌,尹慧娟,程鑫,吕国强\*

(合肥工业大学特种显示技术教育部重点实验室 特种显示技术国家工程实验室  
现代显示技术省部共建国家重点实验室 光电技术研究院,安徽合肥 230009)

**摘要:**针对传统的液晶显示器应用于一些驾驶舱时存在的特殊观看视角问题,设计了一种新型的光学膜,以使液晶显示器的最大亮度可根据观看者的位置实现特定角度的偏转。首先,基于现有背光的配光曲线,提出光学膜表面微结构为直角三角形;考虑由于直角边的全反射,半光强视角范围较窄且存在截止角,对微结构进行了棱高和角度的优化设计,使半光强处视角范围得到提高。为消除截止角并进一步增大半亮度视角范围,对微结构再次进行优化设计,提出了双峰折线形非对称的光学膜表面微结构。仿真结果表明:水平视角不变时,偏转膜垂直方向最大亮度在 $20^\circ$ 处,透过率为87.3%,半亮度视角为 $(-12.5^\circ, 45^\circ)$ 。根据设计结果加工了实际样品并进行了实验测试,测试结果表明:与传统的背光视角相比,偏转膜垂直方向最大亮度由原来的 $0^\circ$ 偏转到 $18.9^\circ$ ,半亮度视角由 $(-24.1^\circ, 23.5^\circ)$ 变为 $(-9.2^\circ, 45.3^\circ)$ ,透过率为82.0%,满足了特定视角的观看要求。

**关键词:**液晶显示;光学膜;表面微结构;背光;视角偏转

**中图分类号:** TN141.9 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20162405.1009

## Design of optical film with microstructure for viewing angle deflection

FENG Qi-bin, YIN Hui-juan, CHENG Xin, LÜ Guo-qiang\*

(Key Laboratory of Special Display Technology of the Ministry of Education,  
National Engineering Laboratory of Special Display Technology,  
National Key Laboratory of Advanced Display Technology,

Academy of Photoelectric Technology, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

\* Corresponding author, E-mail: guoqiangle@hfut.edu.cn

**Abstract:** When a liquid crystal display is used in cockpits, its max luminance direction usually has a certain angle with the direction of viewers. Therefore, this paper designs an optical film with a microstructure surface to allow the max luminance to be changed with the direction of viewers. Based on the luminous distribution of common backlight, the microstructure surface of the optical film was designed as a right triangle. In consideration of the total reflection of the right-angle side, narrower half-luminance angle range and its cut-off angle, the height and the angle of the microstructure were optimized to improve the half-luminance angle ranges. To eliminate cut-off angle and to increase half-luminance angle ranges further, the microstructure was optimized once again, and the outline with two peaks for the microstructure was proposed. The simulation results show that when the horizontal viewing angle doesn't change, the vertical viewing angle is at about  $20^\circ$ , the transmittance is 87.3%

收稿日期:2016-01-06;修订日期:2016-02-26.

基金项目:安徽省科技攻关计划资助项目(No. 1501021043)

and the half-luminance angle ranges are  $(-12.5^\circ, 45^\circ)$ . On the basis of the design, a sample was produced and measured. The practical measurement results show that the angle of max luminance turns from  $0^\circ$  to  $18.9^\circ$ , the half-luminance viewing angle changes from  $(-24.1^\circ, 23.5^\circ)$  to  $(-9.2^\circ, 45.3^\circ)$ , and the transmittance is 82.0% as compared with the common backlight without the optical film. These results satisfy the requirements of special viewing angles.

**Key words:** liquid crystal display; optical film; microstructure; backlight; viewing angle deflection

## 1 引言

随着平板显示技术的快速发展,液晶显示在众多领域取代了传统的阴极射线管,成为主流显示器件。液晶本身不发光,需要背光源提供光线照亮显示区域,因此背光模组的亮度、均匀性、视角等对显示器的最终光学性能有很大影响<sup>[1-5]</sup>。现有的背光产品都是在正视时亮度最高,而在汽车、火车、飞机驾驶舱等使用环境中,观看者的视线和显示器的最大亮度方向存在一定的夹角,因此造成光源能量的浪费。目前,显示器在这些场合使用时通常会倾斜安装,从而导致安装和设计成本的增加。一个有效的方法是直接对背光源进行特定视角设计,根据显示器与观看者视线所成的夹角,让光线偏转一定的角度,使得显示器的最大亮度方向与观看者的视线一致,以此提高光线利用率,并解决倾斜安装带来的安装和设计问题。

目前,背光模组设计的主要方向集中在减小模组厚度和提高轴向亮度上<sup>[6-8]</sup>,如用聚二甲硅氧烷制作导光板,设计表面微结构代替整个背光单元,减小背光厚度<sup>[9]</sup>;设计基于层叠微透镜阵列的增亮扩散片,提高轴向亮度<sup>[10]</sup>;设计光学膜,用以提供一个高度平行的面光源<sup>[11]</sup>;设计自由曲面透镜,在不改变视角的前提下提高背光模组的轴向亮度<sup>[12]</sup>;在导光板底部设计棱镜结构,得到小视角高准直光源,提高轴向亮度<sup>[13]</sup>。但上述设计中视角均没有发生偏转,最大亮度仍在正视方向,不能解决驾驶舱等特殊环境下显示器安装和能量利用率的问题。

本文设计了一种新型的视角偏转光学膜,利用多角度折线形表面微结构,使背光源的光线沿特定角度发生偏转,有效解决了显示器因空间、设计带来的安装问题。

## 2 视角偏转膜表面微结构理论设计

采用视角偏转膜的液晶显示器结构如图 1 所

示,视角偏转膜位于背光模组和液晶面板之间。LED 发出的光线经过导光板、下扩散膜、两层增量膜、上扩散膜后到达视角偏转膜。通过设计光学膜的表面微结构,能够在不改变半亮度处视角范围的前提下,使出射光线达到  $20^\circ$  的偏转,透过率高于 80%。

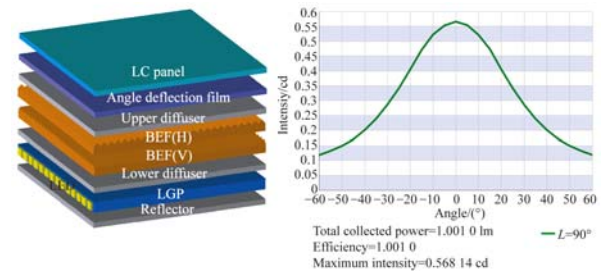


图 1 采用视角偏转膜的液晶显示器结构(左)和背光模组视角曲线图(右)

Fig. 1 Structure of LCD (left) with angle deflection film and viewing angle curve of BLU (right)

视角偏转膜的设计思路为:现有 LED 发射的光束经过导光板、光学膜系后,视角曲线如图 1 所示,垂直方向( $0^\circ$ 附近)的光能最高,故对垂直入射的光线进行分析。根据现有的实际加工情况,直线结构易于实现,令偏转膜由直线结构组成,如图 2 所示。

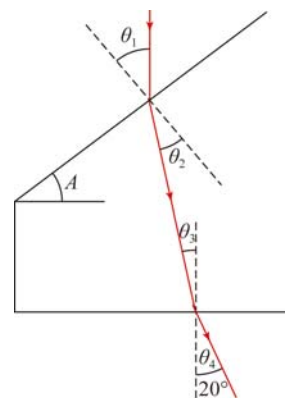


图 2 偏转膜作用原理图

Fig. 2 Principle of angle deflection film

根据折射定律,存在下列公式:

$$\begin{cases} n_1 \times \sin \theta_1 = n_2 \times \sin \theta_2 \\ n_2 \times \sin \theta_3 = n_1 \times \sin \theta_4, \\ \theta = \theta_4 - \theta_1 \end{cases} \quad (1)$$

式中: $\theta_1$  为光线从上扩散膜出射、由空气进入偏转膜时入射光线与法线方向的夹角,此时  $n_1=1$ ,为空气折射率; $\theta_2$  为光线通过偏转膜第一个面折射后的出射角(微结构由光刻方法加工,采用折射率为 1.49 的光刻胶,即  $n_2=1.49$ ); $\theta_3$  为光线经过偏转膜第二面的入射角; $\theta_4$  为光线经过偏转膜后的出射角; $\theta$  为经过偏转膜后光线的偏转角度。光线垂直入射时,式(1)可改为:

$$\begin{cases} \sin \theta_1 = 1.49 \times \sin \theta_2 \\ 1.49 \times \sin(\theta_1 - \theta_2) = \sin 20^\circ \end{cases} \quad (2)$$

根据式(2)可得:光线垂直入射时, $\theta_1 = \angle A = 37.2^\circ$ 。若光线为垂直入射的平行光,在这种情况下,即平行光垂直入射倾角为  $37.2^\circ$  的斜边时,所有光线都可以偏转  $20^\circ$ 。但是实际入射光线角度为  $-90^\circ \sim 90^\circ$ ,而光能在垂直方向及其附近最大,大角度光线所携带的光能过小,可以忽略不计,因此认为  $37.2^\circ$  是一个合适的设计角度。故在  $\angle A = 37.2^\circ$  时对不同入射角度的光线进行分析,如图 3 所示。

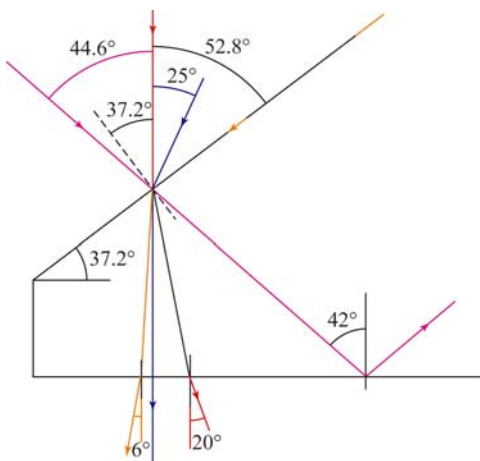


图 3  $A=37.2^\circ$  时光线分析  
Fig. 3 Ray analysis when  $A=37.2^\circ$

由图 3 可以看出,光线入射偏转膜时,主要有两种情况:(1)当入射光线与垂直方向夹角在  $-44.6^\circ \sim 52.8^\circ$  时,光线进入偏转膜且可以直接到达偏转膜底面折射出去;(2)入射光线与垂直光线夹角大于  $-44.6^\circ$  时,在偏转膜底面发生全反射现象。计算出不同光线经过此结构后的偏转角度  $\theta$ ,结果如图 4 所示。

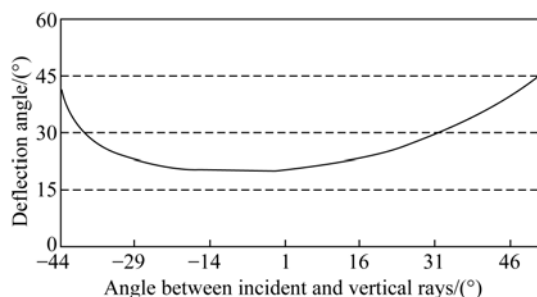


图 4  $A=37.2^\circ$  不同角度入射光线的视角偏转值  
Fig. 4 Angle deflection analysis for different incident rays at  $A$  of  $37.2^\circ$

从图中可以看出:入射光线与垂直光线夹角在  $-26^\circ \sim 10^\circ$  时,光线经偏转膜后的偏转角度基本都在  $20^\circ$  附近,即  $\angle A = 37.2^\circ$  时,可以让大部分光线偏转  $20^\circ$ 。故将偏转膜初始结构设置为一个角为  $37.2^\circ$  的直角三角形。然后需要确定偏转膜的棱高( $H$ )和底边( $D$ )的长度。由于偏转膜的设计要求为重新分布光线视角,让光线在  $20^\circ$  方向集中,且为三角形棱柱状;而增量膜也是三角形的棱状结构,具有改善光线视角、提高轴向亮度的作用,因此这里参考增量膜中微型结构的三角形大小并考虑到现有的光刻加工能力来设计偏转膜,令其底边  $D=25 \mu\text{m}$ ,根据余弦定理可以计算出  $H=19.0 \mu\text{m}$ 。

### 3 软件仿真与优化

#### 3.1 软件仿真

根据上面设计的偏转膜表面微结构数据,在光学仿真设计软件 LightTools 中建立模型,分别对不加偏转膜和加偏转膜的两种情况进行仿真分析。偏转膜外形、仿真视角亮度图如图 5 所示(不加偏转膜时的视角曲线见图 1)。可以看出:加偏转膜后最大亮度在  $20^\circ$  处;半亮度处视角由  $(-30^\circ, 30^\circ)$  变为  $(-2^\circ, 42^\circ)$ ,半亮度视角范围缩小  $16^\circ$ ,在  $-25^\circ$  附近存在较大增益。产生这种现象的主要原因为:由于偏转膜表面微结构为直角三角形,与垂直方向夹角在  $-44.6 \sim 25^\circ$  的光线,经过偏转膜第一个面发生折射后,出射角在  $0^\circ$  正方向。当光线继续向前传播到达偏转膜  $90^\circ$  角所在的垂直面上时,发生全反射或折射,使原本应直接到达偏转膜底面折射出去的光线不能到达偏转膜底面,进而在  $20^\circ$  以外方向产生增益,故需要对偏转膜微结构进行优化设计。经计算,把偏转膜的角  $90^\circ$  变为  $64^\circ$ ,入射光线在垂直光线负方向的

光线可以直接到达偏转膜底面折射出去,从而减少光线在未达到底面便在其它面折射或全反射的现象。对改进后的视角偏转膜进行建模仿真,结果如图 6 所示。

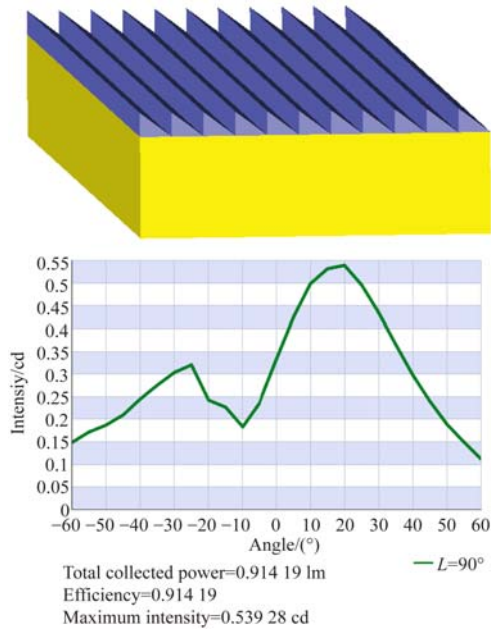


图 5 初始偏转膜的外形和加偏转膜后的视角图

Fig. 5 Outline of original angle deflection film and viewing angle simulation results

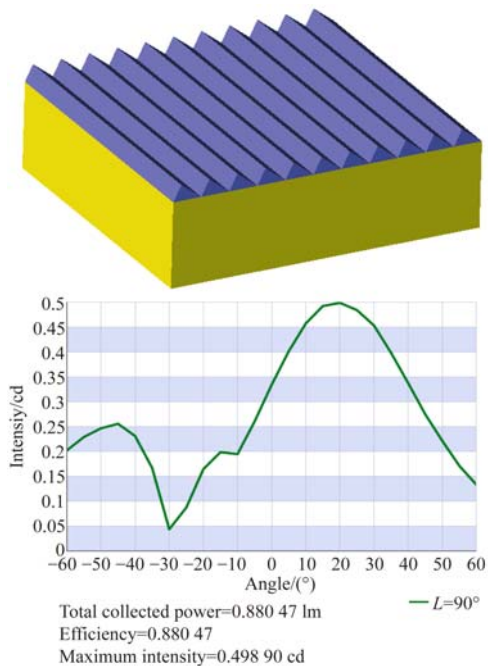


图 6 初始优化后的偏转膜外形及视角图

Fig. 6 Outline of optimized angle deflection film and viewing angle simulation results

从图 6 中可以看出:改进后偏转膜的最大亮度在  $20^\circ$  处;半亮度视角为  $(-6^\circ, 42^\circ)$ , 视角范围缩小  $12^\circ$ , 在  $-25^\circ$  附近存在较大增益, 仍然没有达到设计要求。经分析, 虽然  $90^\circ$  变为  $64^\circ$  后, 在  $64^\circ$  所在边发生全反射的偏转光线减少, 但是单一的直线型结构不能保证光线各个角度的折射, 每个角只能控制有限角度的光线, 故需对此结构再进行优化。

### 3.2 双峰折线形偏转膜优化仿真

上述仿真设计表明, 若要控制多角度的光线, 需将偏转膜单一的三角形变为多边形, 以此来控制更多角度的光线偏转。分析计算后得出: 角度减小时, 偏转角度降低, 透过率增加; 角度增大时, 偏转角度增加, 透过率下降。故将单一三角形变为双峰折线形, 右面三角形的三个角分别为  $28^\circ, 39^\circ, 32^\circ$ , 左面分别为  $79^\circ, 28^\circ, 32^\circ$ , 用来提升偏转膜透过率;  $39^\circ$  角增加偏转角度, 以此弥补  $28^\circ, 32^\circ$  角因小于  $37.2^\circ$  而降低的偏转角度。

对双峰折线形偏转膜进行建模仿真, 外形及视角图如图 7 所示。可以看出: 最大亮度视角偏转  $20^\circ$ , 半亮度处视角为  $(-12.5^\circ, 45^\circ)$ , 视角曲线无明显增益和截止。经计算, 偏转膜透过率为  $87.3\%$ 。

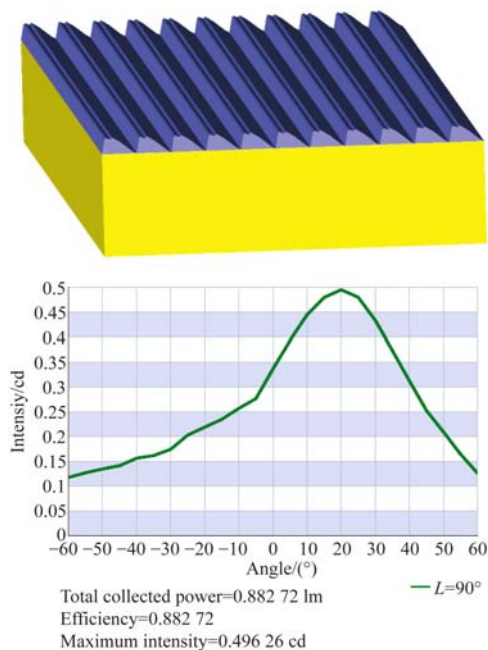


图 7 双峰折线形偏转膜外形及视角图

Fig. 7 Outline of angle deflection film with two peaks and viewing angle simulation results

### 4 实际测试结果

根据仿真设计结果,在 PET 衬底上涂覆光刻胶,采用灰度掩膜法加工了表面微结构为双峰折线形的视角偏转膜,并进行了测试。图 8 所示为视角偏转膜形貌的扫描电子显微镜 (Scanning Electron Microscopy, SEM) 检测图。

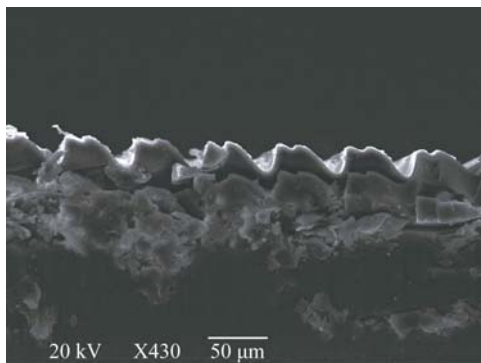


图 8 双峰折线形偏转膜 SEM 测试图

Fig. 8 SEM photo of angle deflection film with two peaks

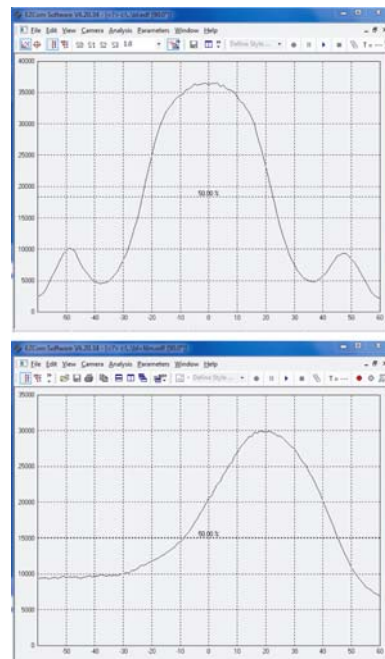


图 10 不加偏转膜和加偏转膜后 90°方向的视角曲线图  
Fig. 10 Vertical viewing angle curves of BLU without (upper) and with (lower) angle deflection film

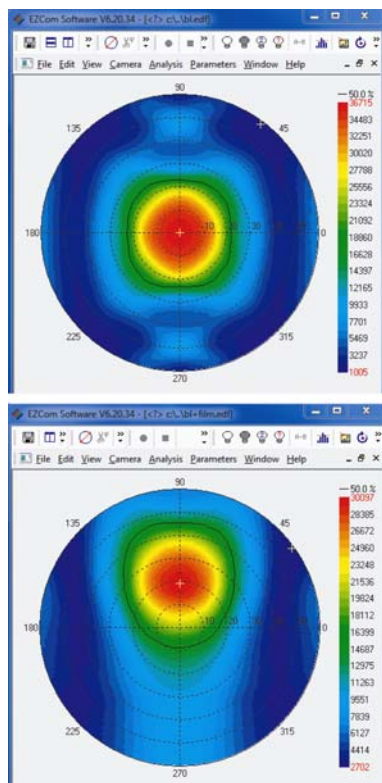


图 9 不加偏转膜和加偏转膜的视角方位曲线图

Fig. 9 Testing azimuth of BLU without (upper) and with (lower) angle deflection film

利用法国 ELDIM 公司的视角测试仪 EZ-LITE 测试了不加偏转膜和加偏转膜两种情况下背光模组的视角方位曲线,如图 9 所示,图中黑色曲线是最高亮度为 50% 的等高线。沿方位角 90° 方向截取视角曲线,如图 10 所示。可以看出:最大亮度视角由 0° 方向偏转到 18.9°;半亮度视角由 (-24.1°, 23.5°) 变为 (-9.2°, 45.3°);最大亮度由 36 715 nit 降低到 30 097 nit, 故透过率为  $30\ 097/36\ 715=82.0\%$ 。虽然最高亮度有所下降,但 20° 视角处的亮度由 23 220 nit 提高到 29 783 nit, 增加了 28.3%; 0° 视角处的亮度由 36 715 nit 减小到 20 781 nit, 下降了 43.40%。0° 视角不再为最亮方向,最大亮度的视角为 18.9°。

### 5 结 论

本文设计了采用双峰多折线微结构组成的光学膜,与传统的最大亮度在正视方向的背光结构相比,背光的最大亮度视角偏转 18.9°,半亮度处视角由 (-24.1°, 23.5°) 变为 (-9.2°, 45.3°),透过率为 82.0%。本文提出的新型视角偏转光学膜可直接集成在显示器中,而且不会增加显示器厚度,满足在汽车、火车、飞机驾驶舱等特殊环境对显示器视角的要求。

## 参考文献:

- [1] MUNISAMY A. Progress of LED backlights for LCDs [J]. *Journal of the Society for Information Display*, 2008, 16(2):287-310.
- [2] FENG Q B, HE H J, ZHANG W W, *et al.*. Global dimming algorithm for side-lit LED backlight [J]. *Journal of Optics and Precision Engineering*, 2012, 20(7):1455-1462.
- [3] GOURLAY, JAMES. Energy efficient LED backlight technology [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2013, 44(1):222-225.
- [4] FENG D, YAN Y B, YANG X P, *et al.*. Novel integrated light-guide plates for liquid crystal display backlight [J]. *Pure and Applied Optics*, 2005, 7(3):111-117.
- [5] SHER C W, YAO P H, CHEN C H, *et al.*. Compact pixelized LED backlight for LCD [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2013, 44(1):824-827.
- [6] YOUNG J J, MYONGJO C, YOUNGSIK O, *et al.*. Collimation sheet design for the one-side edge-lit backlight [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2011, 42(1):1427-1429.
- [7] KÄLIL K. An intensively lit collimating unit for the realization of a mosaic-structured large-scale RGB backlight [J]. *Journal of the Society for Information Display*, 2006, 14(8):687-694.
- [8] TSOU C, CHANG C, LAI T, *et al.*. Novel direct-view LED backlight unit with an aspheric microlens array and a rough-texture sheet [J]. *J. Soc. Inf. Display*, 2010, 18(5):336-345.
- [9] LEE J H, LEE H S, LEE B K, *et al.*. Design and fabrication of a micropatterned polydimethylsiloxane (PDMS) light-guide plate for sheet-less LCD backlight unit [J]. *Journal of the Society for Information Display*, 2008, 16(2):329-335.
- [10] 庄孝磊, 周芳, 申溯, 等. 层叠微透镜阵列光扩散片特性研究 [J]. *光学学报*, 2010, 30(11):3306-3309.
- ZHANG X L, ZHOU F, SHEN S, *et al.*. Characteristics of diffusers with cascaded-microlens arrays [J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, 30(11):3306-3309. (in Chinese)
- [11] TENG T C, KE J C. A novel optical film to provide a highly collimated planar light source [J]. *Optical Express*, 2013, 21(18):21444-21455.
- [12] 秦宗. 大尺寸高性能 LED 背光模组关键技术研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2013.
- QING Z. *Research on Key Techniques of Large-size LED Backlight Module with High Performance* [D]. Wuhan: Graduate University of the Huazhong University of Science and Technology, 2013. (in Chinese)
- [13] FAN C W, PAN J W, TU S H. A novel backlight system with high on-axis luminance and small viewing angle [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2011, 42(1):886-889.

## 作者简介:



冯奇斌(1970—),女,天津人,副教授,1992年于上海机械学院获得学士学位,1995年于华东工业大学获得硕士学位,2006年于维也纳工业大学获得博士学位,主要从事立体显示、LED背光等方面的研究。E-mail: fengqibin@hfut.edu.cn



吕国强(1962—),男,浙江新昌人,教授,博士生导师,1982年、1986年于浙江大学分别获得学士、硕士学位,主要从事立体显示、液晶显示等方面的研究。E-mail: guoqianglv@hfut.edu.cn

(版权所有 未经许可 不得转载)