

背光模组复合光学膜片的应用

罗运安, 叶芸, 郭太良, 肖慈斌

引用本文:

罗运安, 叶芸, 郭太良, 等. 背光模组复合光学膜片的应用[J]. 液晶与显示, 2020, 35(3): 227–233.

LUO Yun-an, YE Yun, GUO Tai-liang, et al. Application of composite optical films about backlight[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2020, 35(3): 227–233.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.3788/YJYXS20203503.0227>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

全微结构一体化背光模组设计

Design of all-micro-structure integrated backlight module

液晶与显示. 2019, 34(10): 959–968 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20193410.0959>

一种LED灯串故障自检测电路的设计与实现

Design and implementation of a fault self-detection circuit for LED string

液晶与显示. 2019, 34(4): 402–409 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20193404.0402>

苯并菲类盘状液晶的合成及应用

Synthesis and application of triphenylene discotic liquid crystals

液晶与显示. 2016, 31(1): 40–46 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20163101.0040>

液晶显示器模组黑态均匀性改善研究

Improvement research of TFT-LCD module black uniformity

液晶与显示. 2018, 33(4): 271–276 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20183304.0271>

基于图像局部亮度的液晶显示器动态调光算法

Dynamic dimming algorithm for liquid crystal display based on local brightness of image

液晶与显示. 2020, 35(3): 234–241 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20203503.0234>

文章编号:1007-2780(2020)03-0227-07

背光模组复合光学膜片的应用

罗运安, 叶芸*, 郭太良, 肖慈斌

(福州大学 物理与信息工程学院, 福建 福州 350016)

摘要: 为了实现液晶显示器的轻薄高亮化, 进一步减小背光模组的厚度和成本, 光学膜片的复合化已成为各大光学膜片厂商研究开发的重点。本文对背光模组的结构以及液晶显示用光学膜片的光学效能做了描述, 利用 light tools 软件对光学膜片复合化过程中的关键影响因子做出了研究, 探讨了棱镜顶角角度、棱镜周期(Pitch)与棱峰刺入深度(D)对复合结构光学膜片的影响机制; 并对 2 张膜片的复合结构以及 3 张膜片的复合结构进行了建模仿真, 模拟其光学效果, 分别从中心亮度、均匀度、可视角度做出评估分析, 得到不同组合架构的光学复合结构对于显示画面的改善特点, 并通过实验对仿真进行了验证。通过仿真与实验, 探究得到了棱镜的顶角角度 90° , 棱镜的周期为 $24 \sim 54 \mu\text{m}$, 刺入深度为 $1 \sim 3 \mu\text{m}$ 时, 复合光学膜片的辉度均匀度可达到 80% 以上, 该研究对于实际的复合光学膜片的应用开发具有一定的指导意义, 将有助于加快背光模组的开发进度, 减少背光模组的厚度和成本。

关键词: 液晶显示器; 背光模组; 光学膜片; 复合化

中图分类号: TN312 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20203503.0227

Application of composite optical films about backlight

LUO Yun-an, YE Yun*, GUO Tai-liang, XIAO Ci-bin

(College of Physics and Information Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350016, China)

Abstract: In order to realize the lightness of the LCD (liquid crystal display) and further reduce the thinness and the cost of backlight module, composite optical films have become the focus of research and development of most optical films manufacturers. In this paper, the structure of the backlight module and the optical performance of the optical film for liquid crystal display are described and optical efficiency of optical films for LCD are described. The pivotal factors in the process of optical films recombination are studied by using light tools software. The influenced mechanism of prism angle, prism pitch and prism peak penetration depth (D) are evaluated. Two types of composite optical films structure are separately discussed and simulated, one is two-in-one structure; another one is three-in-one structure include. Through using the light tools simulation, the optical effects are evaluated and

收稿日期: 2019-08-19; 修订日期: 2019-10-08.

基金项目: 国家重点研发计划 (No. 2017YFB0404604); 福建省自然科学基金 (No. 2018J01802)

Supported by National Key Research and Development Programme (No. 2017YFB0404604); Natural Science Foundation of Fujian Province (No. 2018J01802)

* 通信联系人, E-mail: yeyun07@fzu.edu.cn

analyzed from the point of view of center brightness, uniformity and visual angle. Via the phenomenon of stimulating, the improvement characteristics of optical composite structure with two different combination structures for display picture are obtained. Through simulation and experiment, it is found that when the top angle of prism is 90° , the pitch of prism is from $24\ \mu\text{m}$ to $54\ \mu\text{m}$, and the penetration depth (D) is $1\sim 3\ \mu\text{m}$, the brightness uniformity of composite optical diaphragm can reach more than 81%. This research has certain guiding significance for practical application and development about composite optical films, which will help to speed up the development progress of backlight module and reduce the thickness and cost of backlight module.

Key words: liquid crystal display; backlight module; optical films; composite

1 引言

液晶显示器件(LCD)作为目前平板显示市场的主流产品,具有工作电压低、功耗小、分辨率高、抗干扰性好、大规模生产技术成熟、成本较低等优点,并且由于价格不断降低,产品应用领域迅速扩大^[1]。由于液晶本身不会自发光,液晶显示器是一种非主动发光式显示器,必须由外界提供光源才能达到显示画面的目的^[2-3]。背光模组作为整个 LCD 显示器件的光源提供者,其光学性能的优劣会直接影响显示器的显示质量^[4-6]。随着液晶显示器件逐渐朝着高亮度化、薄型化、轻量化方向发展,背光模组也将迎来薄型化的变革^[7-11]。徐平等为实现侧入式背光模组的轻薄化,提出了一种集成化导光板下表面微棱镜二维分布的设计^[12];曹保柱等同样为满足背光模组亮度高、发光均匀、厚度小的要求,确定了一种基于自由曲面函数的导光板底部微型槽结构^[13];Joo 等为实现背光模组的高亮度照明,通过提高导光板的光凝效率来提高背光模组的亮度^[14]。但他们都是针对导光板的微结构提出新的设计思路来进行研究,没有进行过光学膜片对背光模组的亮度提升效果以及厚度减少方面的研究^[15-16]。而桂诗信等也仅仅通过实验研究了不同光学膜组合对 TFT 液晶显示性能的影响^[17]。光学膜片作为背光模组的关键组件,膜片厚度的减少,亮度的提升是未来发展趋势,将多层光学膜片复合化是目前解决方案之一。

综上所述,为了适应液晶显示器的轻薄、高亮的发展趋势和需求,将光学膜片两张以及两张以上复合化,可以进一步减少背光模组的成本和厚

度,简化组装的步骤。本文从背光模组的基本结构出发,利用 light tools 软件对背光模组和复合膜片结构进行了建模仿真,探究了棱镜顶角角度、棱镜周期(Pitch)和棱峰刺入深度(D)对复合光学膜片的光学效果影响,并建立了多种不同架构的光学膜片复合结构,分析其亮度、均匀度、可视角对光学显示画面改善的特点,为未来的光学膜片的进一步开发提供了借鉴。

2 背光模组结构及光学膜片的搭配

背光模组通常由背板、背光光源(发光二极管 LED 或者冷阴极荧光 CCFL 灯管)、反射膜片、导光板、扩散膜片和棱镜膜片以及外框等部件组成。如图 1 所示,其工作的基本原理是将背光光源 LED 或者 CCFL 提供的点光源或线光源通过导光板和各层的光学膜片转化成高亮度、高均匀性的面光源,从而使光源入射进入液晶面板,达到画面显示的效果。光学膜片中按功能分类,主要可分为反射膜片类、扩散膜片类和增亮膜片类。在液晶显示器中,一般根据背光模组的光学需求,选择搭配光学膜片的搭配方式,常见的有 4-films 架构,3-films 架构和 2-films 架构,如表 1 所示。

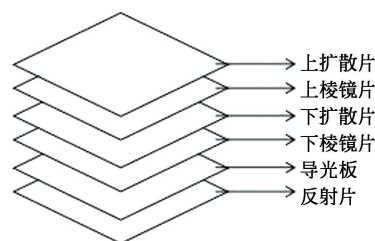


图 1 背光模组结构

Fig.1 Structure of backlight

表1 光学膜片搭配结构

Tab.1 Structure of optical films matching

4-films 架构		3-films 架构			2-films 架构			
Diffuser(up)	Diff	Diff	—	Diff	Diff	—	—	Diff
Up(0)	BEF	BEF	BEF	BEF	BEF	BEF	—	BEF
Bot(90)	BEF	—	BEF	BEF	—	BEF	—	—
Diffuser(dw)	Diff	Diff	Diff	—	—	—	Diff	Diff
Gain	1.3	0.95	1.27	1.22	0.76	1.22	0.67	0.87
Angle	High	High	Low	Middle	Middle	Low	Middle	Low

从表1可以看出,上扩散片的作用可以起到扩大可视角度,改善品质,遮蔽瑕疵的效果,而下扩散片则是可以遮蔽导光板上的网点,修正从导光板射出光线的出光角度,棱镜片则可以起到聚光、提高亮度的作用,当使用两张棱镜片的棱镜条纹为相互垂直时可以大幅提高背光模组的辉度。从棱镜z片的制成结构可以看出,棱镜片由下底面的PET基材与上表面的棱镜微结构组成,具体的聚光增亮结构原理如图2所示。

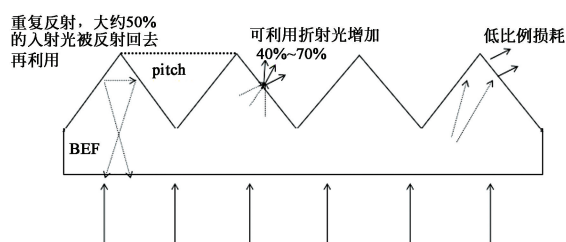


图2 棱镜结构增亮原理

Fig.2 Enhancing luminance principle of prism structure

3 复合膜片软件建模仿真因素分析

膜片的复合化是将两张及以上的扩散类膜片和增光类膜片贴合成一张,在减少厚度和操作工序的同时保证膜片的光学亮度及视角不会下降很多。由图2的棱镜结构可知,棱镜的聚光是利用光的折射和反射原理将全方位角度的光聚集成小角度的光束,从而提高轴向的辉度。其中棱镜的顶角角度以及棱镜周期是决定棱镜膜片增光聚亮的关键因素,在膜片的复合过程中由于贴合胶层的存在会造成棱峰的缺失,为探究关键因素对复合膜片的影响,利用 light tools 软件对棱峰的顶角角度、棱镜周期以及棱峰的刺入深度 D 做出模

拟分析。

3.1 棱镜顶角角度、棱镜周期和棱峰刺入深度对光学效果的影响

利用 light tools 仿真软件建立 $L \times W \times H$ 为 $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ 的背光模组,背光源颗数设置为 5 pcs,单个 LED 的光通量设置为 20 lm,分别将棱镜膜的棱镜顶角角度分别设置为 $70^\circ, 80^\circ, 90^\circ, 100^\circ, 110^\circ, 120^\circ$,模拟得到光学中心辉度和 1/2 中心辉度的水平全宽可视角度变化曲线,如图3所示。

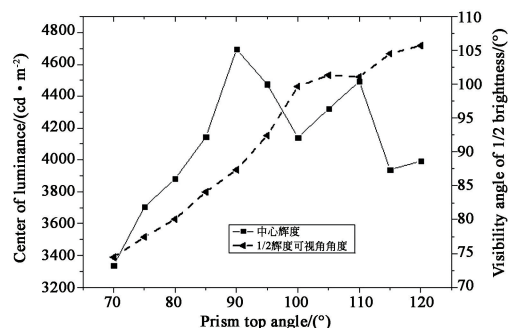


图3 不同棱镜顶角角度的中心辉度和可视角度变化曲线

Fig.3 Central luminance of variable prism angle and variation curve of viewing angle

从图3可以看出,不同的棱镜顶角角度对背光模组的中心辉度影响较大,随着棱镜顶角角度的增大,中心辉度先增大后降低,当棱镜顶角角度为 90° 时,光线在棱镜中的反射折射利用率最大,使得光线按照预期的方向射出,中心辉度达到最大值;随后顶角角度增大,棱峰四周角度的光线提拉作用不明显,中心辉度反而在降低,但可视角度得到提高。因此可得到棱镜的顶角角度是影响棱

镜片提高亮度的关键因素之一, 权衡可视角度与辉度的平衡关系, 以棱镜顶角角度 90° 为最佳值。

为进一步探究棱镜周期对背光模组的影响规律, 在以棱镜顶角角度为 90° 的基础上, 分别将棱镜周期设置为 12, 24, 36, 50, 60, 70 μm , 得到中心辉度与 1/2 辉度的可视角变化曲线, 如图 4 所示。

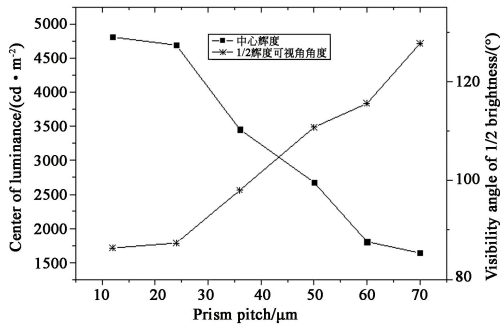


图 4 不同棱镜 pitch 中心辉度与可视角度变化曲线
Fig.4 Central luminance of different prism pitch and variation curve of viewing angle

从图 4 可知, 随着棱镜周期的不断增大, 棱镜对四周光线的折射反射利用率减少, 光线大部分损耗掉了, 使得棱镜片的聚光能力逐步下降, 中心辉度不断降低; 周期增大的同时棱镜的密度减少, 对光线的收集作用下降, 则其他可视角度的辉度得到提升。从以上研究可知, 棱镜周期与棱镜顶角角度是影响棱镜片光效的两个关键因素, 也是膜片在复合过程中必须解决的关键因素; 在两张或两张以上的膜片复合时, 由于粘胶剂在棱镜峰的上表面会形成一层胶合层, 棱镜峰在黏合的同时会进入胶合层, 造成棱镜峰的损失, 将其称为复合过程中的刺入深度 (D), 为了探究刺入深度对光学效果的影响, 利用 light tools 软件对 DOP 复合膜进行模拟仿真, 控制变量, 将棱镜顶角角度设置 90° , 棱镜周期为 50 μm , 得到刺入深度对中心辉度影响变化的数据如表 2 所示。

由表 2 的数据可以得到, 随着棱峰高度的逐渐减少即刺入深度的增大, 其中心辉度在刺入深度为 $1\sim 2\ \mu\text{m}$ 时变化不明显, 对光学效果的影响较小, 当棱峰损失较为严重时, 中心辉度下降得比较明显。由此可见, 当两张以及两张以上的光学膜片进行复合时, 棱峰刺入深度是直接影响复合光学膜片效果的关键因素。为了较好地减轻刺入深度对光学辉度的影响, 对膜片表面的棱镜结构采取了一高一低或者是一高两低的交替结构, 使得一部分低的

表 2 刺入深度与中心辉度变化比率

Tab.2 Pierced depth and the centered variation luminance ratio

刺入深度/ μm	中心辉度/ $(\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$	变化比率/%
0	4 752.1	—
1	4 752.1	0
2	4 752.1	0
3	4 645.6	-2.2
4	4 456.9	-6.2
5	3 974.7	-16.3
6	3 254.1	-31.5

棱峰不至于损耗太多, 可将辉度提升 $3\%\sim 4\%$ 。

3.2 不同结构的复合光学膜片仿真

以中小型液晶显示器为例, 液晶显示器整机的亮度约为 $200\sim 350\ \text{cd}/\text{m}^2$, 超过这个亮度范围会造成眼睛的损伤和不适。本文对 2 合 1 结构的 DOP (上扩散片复合上棱镜片)、POP (上棱镜片复合下棱镜片)、COP (DBEF 复合棱镜片) 和 3 合 1 结构的 COPP (COP 复合下棱镜片)、COPD (COP 复合上扩散片)、DPP (上扩散片复合上下棱镜片) 复合结构利用 light tools 建模展开研究, 分别对中心亮度、九点均匀度和可视角度方面分析。创建 4-films 架构的 $L\times W\times H$ 为 $100\ \text{mm}\times 100\ \text{mm}\times 2\ \text{mm}$, 背光源为 5 pcs, 单颗亮度为 20 lm 的背光模组为对比, 其中包含胶框、反射片、导光板、扩散片, 添加空间亮度计和角度亮度计, 分别对 COP、DOP 等复合光学膜片建模, 控制变量因素, 其中反射片材料设置为 PMMA, 类型为均匀, 反射表面光学属性设置为 Smooth_1, 其余表面光学属性设置为 Mirror。扩散片材质设置为 air_USER, 折射率性质设置为 Laurent 折射率, 折射率系数 $A_0=1.000$, $A_1\sim A_5$ 皆设置为 0.000, 扩散片上表面区域设置为 Scatter, 其余各表面为 Transmitting; 棱镜基层材料选用 3MsubLayerMat, 折射率设置为 1.667, 棱镜选用 3MPrismLayerMat, 折射率为 1.59, 基层与棱镜层的各个表面光学属性均设置为 Smooth Optical, 设置棱镜顶角角度为 90° , 棱镜周期为 24 μm , 棱峰的刺入深度为 3 μm , 模拟得到表 3 的结果和图 5 的空间亮度分布和可视角分布图。

表3 不同复合结构膜片的显示效果

Fig.3 Display effect of different composite optical films

结构	中心辉度/($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)	辉度变化率/%	9点辉度均匀度/%	半辉度可视角度/($^{\circ}$)
4-films	3 092.7	—	68.3	88.5
DOP	2 707.2	-12.4	68.8	93.1
POP	3 727.0	+20.5	64.4	87.4
COP	3 500.3	+13.1	70.9	110.5
COPD	3 746.5	+21.1	84	94.1
COPP	4 045.0	+30.7	71.4	94.2
PDD	3 320.2	+7.3	82.3	95.9

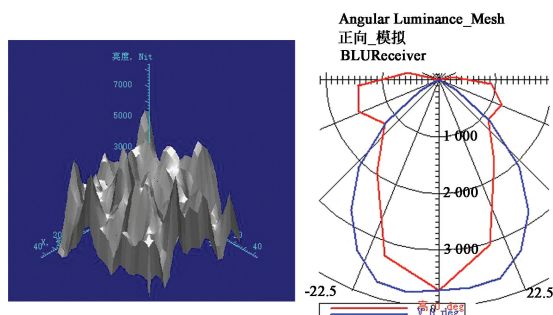


图5 (a)空间亮度分布图;(b)角度亮度分布图。

Fig.5 (a) Spatial brightness distribution; (b) Angular luminance distribution.

由表3的仿真结论结合各复合膜的图5展开分析,DOP复合结构由于棱峰的受损,相较于4-films结构,其中心辉度有所下降,均匀性没有较大变化,但可视角度由于扩散片的直接复合有所提高,于其他复合膜片结构相比,增亮的性能较差,可视角良好。POP复合结构是双棱镜膜的复合,具有优异的增光聚亮的效果,对于中心亮度的提升较为明显,但对可视角的限制较大,搭配上扩散片方能达到较好的视角。COP复合结构搭配上扩散片能较好地提高光学的均匀度,光效的利用率高,但由于上扩散片的扩散效果使得其中心亮度提升不明显。COPD较于COP结构其辉度均匀度有较大提高。COPP复合结构对辉度的提升效果最为明显,相较于其他的复合结构,中心亮度是最高的,但提升辉度的同时,均匀度明显不如COPD结构。DPP复合结构由于上扩散片的存在,其辉度提升不明显,在均匀度和可视角方面较为良好。

4 实验验证

为进一步验证复合光学膜片仿真的正确性,采用60 cm(23.6 in)的侧入式结构液晶显示器背光模组进行测试验证。以铁背板、LED灯条、反射片、导光板、下扩散片、下棱镜膜片、上棱镜片中框等组装成背光模组作为3-films架构的基础对比,点亮后利用光学分析仪器测试中心辉度,9点均匀度以及品味分析。以激智科技的复合膜结构COP、POP作为对比,通过显微镜观察POP、COP,其结构如图6所示,分别组装成模组点亮分析,验证。9点均匀测试方法如图7所示,测得其数据如图8所示。

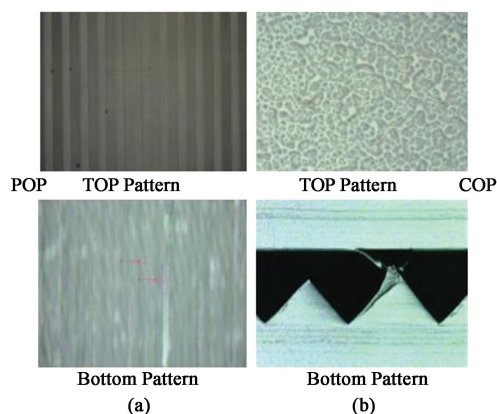


图6 POP(a)和COP(b)显微结构图

Fig.6 Microstructure of POP(a) and COP(b)

光从背光模组射出进入液晶LCD模组,到达LCD表面大约只剩背光模组的4%~5%,对背光模组的光学亮度以及亮度均匀度要求很高,评估

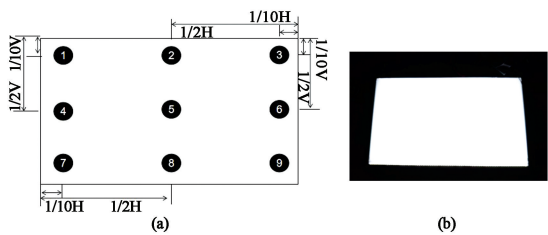


图 7 (a)9 点均匀度测试点位;(b)BM-7 光学分析仪。
Fig.7 (a)Measuring uniformity method of nine points;
(b)The BM-7optical analysis equipment.

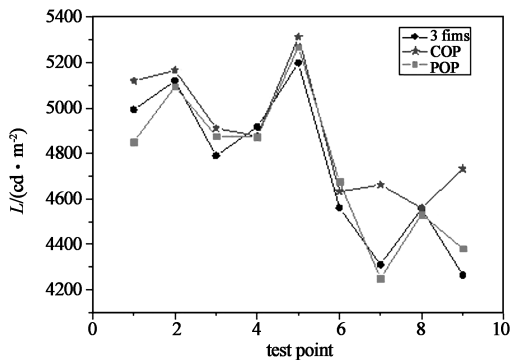


图 8 9 点测试亮度值
Fig.8 Brightness of nine point test

背光模组的 9 点均匀度的测试方法如公式(1)所示,得到 3 种背光模组中心亮度以及均匀度如表 4 所示。

$$K_{\text{uniformity}} = \frac{L_{\min(1-9)}}{L_{\max(1-9)}} \times 100\% . \quad (1)$$

参 考 文 献:

[1] 邱建雄,鹿义强.液晶显示材料的发展和应用[J].电子技术与软件工程,2018(17):81.
QIU J X, LU Y Q. Development and application of liquid crystal display materials [J]. *Electronic Technology & Software Engineering*, 2018(17): 81. (in Chinese)

[2] LIN S F, SU C Y, FENG Z Y, *et al.* Microstructure density generation for backlight display using probability analysis method [J]. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 2017, 50(43): 435601.

[3] 黄碧云,林志贤,陈恩果,等.侧入式 LED 背光模组中光耦合模块的设计与实现[J].光学学报,2016,36(2):0222003.
HUANG B Y, LIN Z X, CHEN E G, *et al.* Design and implementation of optical coupling module in side-LED backlight system [J]. *Acta Optica Sinica*, 2016, 36(2): 0222003. (in Chinese)

[4] 姚建芳,吴添德,陈仁军,等.一种液晶显示器高可靠性光学模组设计[J].光电子技术,2014,34(1):68-71.
YAO J F, WU T D, CHEN R J, *et al.* A design of high reliability optical module of liquid crystal display [J]. *Optoelectronic Technology*, 2014, 34(1): 68-71. (in Chinese)

[5] 季振强,董连和,王丽,等.背光模组 LED 侧照明微棱镜膜的研究[J].液晶与显示,2014,29(4):533-537.
JI Z Q, DONG L H, WANG L, *et al.* Micro-prism film with LED side lighting in backlight module [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(4): 533-537. (in Chinese)

表 4 中心亮度以及均匀度数据

Tab.4 Data of centered luminance and uniformity

	中心亮度/(cd · m ⁻²)	亮度均匀度/%
3-films	5 198.04	82.4
POP	5 270.59	80.62
COP	5 311.77	85.83

从表 4 的数据可知,3-films、POP 和 COP 的 3 种背光模组结构中,COP 复合结构的中心亮度最高,均匀度也高;POP 与 3-films 结构相比,其中心亮度有所提升,但均匀度由于棱镜的聚光作用而有所下降,与之前的仿真结论相一致。

5 结 论

通过 light tools 模拟仿真和实验测试分析,说明了棱镜的顶角角度,棱镜周期和棱峰的刺入深度对光学复合膜片的影响,得到棱镜顶角角度以 90°为光学效果最佳,总结了棱镜周期的最佳合适值范围为 24~60 μm,对刺入深度对复合结构光学膜片光学效果的影响做出了分析。通过对各复合结构的模拟仿真,从中心辉度、均匀度和可视角等因素,分析总结了各复合结构的光学改善特点,经过实际测试,均匀度均大于 80%,高于背光模组开发的最低均匀度并为实际的背光模组开发提供了参考。

- [6] 李忠良,张启,高慧芳,等.控制光线角度的光学膜表面微结构设计[J].光电子技术,2017,37(1):35-39,47.
LI Z L, ZHANG Q, GAO H F, *et al.* Design of optical film with microstructure for light angle control [J]. *Optoelectronic Technology*, 2017, 37(1): 35-39, 47. (in Chinese)
- [7] 高雁飞,喻志农.一体化导光板中微结构的设计与仿真[J].光学技术,2008,34(5):690-692.
GAO Y F, YU Z N. Design and simulation of micro-structure in the integrated light guide plate [J]. *Optical Technique*, 2008, 34(5): 690-692. (in Chinese)
- [8] CHIEN C H, CHEN Z P. The study of integrated LED-backlight plate fabricated by micromachining technique [J]. *Microsystem Technologies*, 2009, 15(3): 383-389.
- [9] 汪江胜,叶芸,徐胜,等.量子点网点导光板的制备及性能研究[J].发光学报,2017,38(1):91-96.
WANG J S, YE Y, XU S, *et al.* Fabrication and properties of quantum-dots backlight light guide plate [J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2017, 38(1): 91-96. (in Chinese)
- [10] 谢洪波,李韬,李富琳,等.LED背光源中侧发光导光管长度与出光性能的关系[J].发光学报,2011,32(9):934-938.
XIE H B, LI T, LI F L, *et al.* The length and emitted light property of side-emitting light pipe in LED back light source [J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2011, 32(9): 934-938. (in Chinese)
- [11] 常军,杨东升,孙智慧,等.应用在大尺寸LCD背照明的LED元件设计[J].发光学报,2008,29(1):195-199.
CHANG J, YANG D S, SUN Z H, *et al.* LED design using for large dimension LCD backlight [J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2008, 29(1): 195-199. (in Chinese)
- [12] 徐平,杨伟,张旭琳,等.集成化导光板下表面微棱镜二维分布设计[J].物理学报,2019,68(3):038502.
XU P, YANG W, ZHANG X L, *et al.* Two-dimensional distribution design of micro-prism for partial integrated light guide plate [J]. *Acta Physica Sinica*, 2019, 68(3): 038502. (in Chinese)
- [13] 曹保柱,王晓蕊.LCD导光板自由曲面微型槽结构设计与优化[J].液晶与显示,2010,25(6):817-821.
CAO B Z, WANG X R. Optimization and design of micro-groove structure of LCD light guide plate based on free-form surface [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2010, 25(6): 817-821. (in Chinese)
- [14] JOO B Y, SHIN D H. Design guidance of backlight optic for improvement of the brightness in the conventional edge-lit LCD backlight [J]. *Displays*, 2010, 31(2): 87-92.
- [15] HSU J S, CHAO L P, JHONG J L, *et al.* Determining the mechanical properties of optical films in liquid crystal displays (LCDs) [J]. *Optics and Lasers in Engineering*, 2010, 48(3): 354-360.
- [16] LEE J, MEISSNER S C, SUDOL R J. Optical film to enhance cosmetic appearance and brightness in liquid crystal displays [J]. *Optics Express*, 2007, 15(14): 8609-8618.
- [17] 桂诗信,袁烨,李正荣,等.不同光学膜组合对 TFT-LCD 显示性能影响的研究[J].光电子技术,2018,38(4):271-273.
GUI S X, YUAN Y, LI Z R, *et al.* Study on the performance of TFT-LCD with different optical film combinations [J]. *Optoelectronic Technology*, 2018, 38(4): 271-273. (in Chinese)

作者简介:



罗运安(1993—),男,江西吉安人,硕士研究生,2017年于南昌工程学院获得学士学位,主要从事光电系统集成方面的研究。E-mail:1615943407@qq.com



叶芸(1977—),女,福建省建阳人,博士,研究员,2007年于电子科技大学获得博士学位,主要研究方向为光电显示器件与系统集成方面的研究。E-mail:yeyun07@fzu.edu.cn