

文章编号:1007-2780(2019)10-0959-10

全微结构一体化背光模组设计

余鸿昊*, 贾丽丽, 李冬磊, 陈 英, 刘 硕, 杨 贤, 王伯长, 周 昊, 孙海威

(北京京东方显示技术有限公司, 北京 100176)

摘要:为了实现超薄化、高亮度、广视角和高对比度液晶显示,设计一种包含导光和控光微结构的一体化导光板背光模型。通过这些设计方法将全部光学膜材功能集成于一体,并且在侧入式背光模组中实现一维区域亮暗调制。首先,设计合适角度的下表面微棱镜阵列作为导光结构,并且在下表面镀上反射层,反射层功能类似于普通背光模组中的反射片,侧入式光源发出的光线进入导光板内经过微棱镜调制后,从导光板上表面出射。接着对下表面微结构的数量和分布进行优化,使画面亮度均匀。然后,设计优化上表面微透镜阵列,使发光角度收缩,进一步提高中心亮度。最后,将同样 14.5 cm(5.7 in)的一体化背光模组与常规架构背光模组对比,说明了这种背光模组具有超薄、高亮和区域调制等优势。仿真结果表明:本文中一体化导光板背光模组厚度仅为 0.5 mm,且与常规背光模组相比,其出光效率提高约 23.3%,水平发光角度扩大 16.6%,垂直发光角度扩大 31.5%,中心亮度提升约 20.7%,同时可以实现一维区域调制的高对比度显示,满足显示产品的超薄化、极简化、均匀性、高亮度和高对比度等要求。

关 键 词:光线控制;光学设计;一体化导光板;背光模组

中图分类号: TN141.9 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20193410.0959

Design of all-micro-structure integrated backlight module

YU Hong-hao*, JIA Li-li, LI Dong-lei, CHEN Ying, LIU Shuo, YANG Xian,

WANG Bo-chang, ZHOU Hao, SUN Hai-wei

(Beijing BOE Display Technology Co., Ltd., Beijing 100176, China)

Abstract: In order to achieve slim outline, high luminance, wide viewing angle and high contrast ratio liquid crystal display (LCD), a backlight model with integrated light guide plate (LGP) that contains light guide and light control micro-structures is designed. Through these design methods, the functions of all optical films are integrated into the LGP and one-dimensional local dimming modulation is able to be realized in edge-lit backlight module (BLM). First of all, a micro-prisms array coated reflective layer with appropriate size and angle are designed as light guide micro-structures on the bottom surface of the integrated LGP, the reflective layer is similar to the reflective film of normal BLM, when the light rays entering LGP, they are controlled by the micro-prisms array and exit from the top surface. Next, the number and distribution of micro-prisms are optimized to improve the uniformity. Then, the micro-lens array on the top surface of LGP is designed to shrink the beam angle and further enhance the central luminance. Finally, the same size 14.5 cm(5.7 in) of an integrated BLM and a normal BLM are compared, it conclude that the integrated BLM has many advantages, such as ultra-

收稿日期:2019-06-10;修订日期:2019-07-01.

* 通信联系人, E-mail: yuhonghao@boe.com.cn

thin, high luminance and local dimming ability. The simulation results show that the thickness of the integrated BLM described in this paper is only 0.5 mm. Compared with the conventional BLM, the output efficiency is improved by 23.3%, the horizontal angle is increased by 16.6%, the vertical angle is increased by 31.5%, and the central luminance is improved by 20.7%, meanwhile, high contrast display can be realized through one-dimensional BLM modulation. It meets the requirements of display product for slim outlet, extremely simplified, uniform, high luminance and high contrast ratio.

Key words: light control; optical design; integrated light guide plate; backlight module

1 引言

随着薄膜晶体管液晶显示(TFT-LCD)技术的不断成熟,亟待发展新方向去突破目前的瓶颈期,同时由于有机发光二极管(OLED)和微型发光二极管(Micro-LED)等新技术的冲击,减少膜材数量进行超薄化设计或在现有基础上增加新的应用功能是未来 TFT-LCD 显示产品应对市场冲击并突破自身技术壁垒的重要发展方向,因此集成多种膜材功能于一体的高亮度、轻薄化和低功耗背光模组(Backlight Module, BLM)越来越引起行业设计者和上下游企业的关注^[1-2]。

目前常见的一体化背光膜材产品是将多张光学膜材贴合而成的复合膜,相比于独立的多张膜材叠加,复合膜厚度更薄,例如 POP(Prism on Prism)、DPP(DBEF Prism and Prism)和 DOP(Diffuser on Prism)等,相关产品已有一定市场化应用^[3-4]。在侧入式背光系统中,导光板(Light Guide Plate, LGP)作为重要光学部品,其多功能集成的一体化设计也被广泛研究,早期一些研究者通过多层结构设计,使用低折射率胶水粘合形成一体化导光板^[5-8],主要有 Yamada 等人提出通过高低折射率微结构层的作用,使光线准直射出^[5];Ishida 和 Pan 等人也分别设计了不同的多层折射率一体化结构,进一步提升背光模组出光效率^[6-7],但此类方案有诸多不足:(1)粘合可靠性较低;(2)高低折射率差异越大,出光效率越高,但低折射率材料较少;(3)不同折射率材料对不同波段的吸收系数和色散系数不同,色差较大。由于上述缺陷,胶合型的一体化导光板难以满足实际使用要求。

另一方面,一些研究者直接在导光板表面设计微结构^[9-13],主要有 Xu Ping 等人提出使用二元光学理论在导光板上表面设计内凹微圆锥结

构^[9],其后又使用微集成化结构设计微光学一体化导光板,并加工 4.6 cm(1.8 in)样品^[10];Feng Di 等人在导光板上表面设计微棱镜控光结构^[11];Wang Yi-Jun 同时在导光板上表面和侧面设计微棱镜结构,增加设计自由度,但需要使用准直光源^[12],这些设计大多需要通过几何光学和迭代优化的计算严格设计结构参数,对结构精度和复杂度要求较高,但部分设计存在局限性和限制条件,受限于现有工艺水平,在实际加工中难度较大。

本文设计一种新型可控光的全微结构一体化导光板,背光模组中只有导光板一种光学部品,通过上下两种匹配化设计的导光和控光微结构,将匀化、增亮、导光、控光等功能集于一体,并且具体分析了每种微结构的作用和设计方法。然后对两种结构分别进行优化设计,并在背光仿真模型中测试亮度、亮度发光角和均一性等评价参数。最后将设计的 14.5 cm(5.7 in)全微结构一体化背光模组与同尺寸的常规参考背光对比,得出结论:相对于传统多膜材背光模组,全微结构一体化背光模组在满足 TCO(Swedish Federation of Professional Employees)认证测试标准的同时,还具有更薄厚度、更大视角、更高亮度和更高对比度等诸多优势。本文中全微结构背光模组是对 TFT-LCD 背光发展的积极探索,对未来液晶显示器的超薄化、极简化和节能化设计均具有重要意义。

2 全微结构一体化导光板的构成及光学原理

2.1 全微结构一体化导光板的构成

图 1 为全微结构一体化导光板结构示意图。它主要由渐变微棱镜下表面微结构、二次函数上表面微结构和反射镀层组成。

其中渐变微棱镜下表面微结构通过一定规律

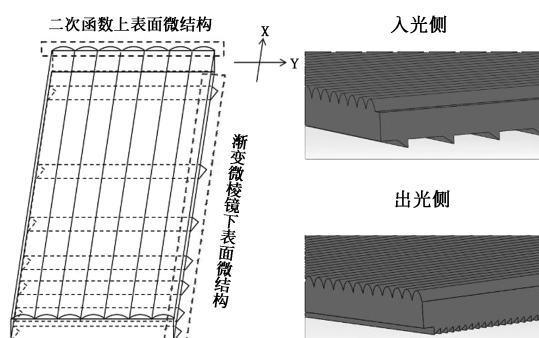


图 1 全微结构一体化导光板结构示意图

Fig.1 Structure diagram of all-micro-structure integrated LGP

的疏密排布沿 Y 方向优化设计,在实现画面均匀性的同时控制发光角度从导光板上表面正视角附近出射;与下表面微结构排布方向垂直的二次函数上表面微结构使用二次函数曲线拟合面型,Y 向拉伸为类柱状透镜,并沿 X 方向等间距设计,该结构可以收缩 X 方向的发光角度来提升中心亮度,作用类似于棱镜片,此外还可以通过分区光调制在侧入式背光模组中实现亮暗区域划分的背光照明,以提升显示模组的对比度,最后通过在下表面微结构上设计反射镀层,将从下表面微结构中折射出的光线回收利用,提升光效利用率。

2.2 全微结构一体化导光板工作原理

使用全微结构一体化导光板的液晶显示器基本工作原理如下所述:LED 灯条发出的光线射入导光板内部,下表面无微结构时,光线在导光板内部发生全反射无法射出,因此通过下表面微结构设计,可以破坏光线的全反射特性,且由于反射镀层的作用,射到下表面的光线大部分被反射,通过微结构的疏密分布优化,经过微结构表面的反射光线从不同区域出射,最终形成一个均匀发光的面光源。本文所述一体化导光板微棱镜替代一般油墨或圆形结构的网点,可以在实现画面均匀性要求的同时,控制出射光角度,使发光角度正出射。然后,从导光板上表面正出射的光线经过二次函数设计的上表面微结构控制,将光线收拢汇聚,提升正视角亮度,由于二次函数上表面微结构是等间隔周期性分布,并且与每个侧入式 LED 匹配设计,因此可通过不同位置 LED 的开启和关闭实现一维的局部区域控光,进而提升对比度。

光线传输过程如下所述,LED 灯条发出的光线经过导光板下表面镀有反射层的渐变微棱镜

阵列导光结构后,形成正视角出射的大发光角度均匀面光源,然后面光源被导光板上表面等间距二次函数微阵列控光结构进一步调制,将大角度光线收缩,提升中心发光亮度,形成高亮度且满足产品测试标准的均匀性要求,此外,可通过侧入式背光源的开启和关闭结合上表面控光结构控制每一条形区域分区的亮暗,配合上方面板(Panel)的显示控制,实现更高对比度的显示模式。因此,全微结构一体化导光板需要实现的功能包括:(1)常规导光板的导光功能;(2)扩散片的视角调制匀化功能;(3)棱镜片的视角收缩增亮功能;(4)反射片的下表面出射光线反射回收利用功能;(5)另增加提升背光模组对比度的区域控光功能。

3 全微结构一体化导光板设计方法

3.1 导光板原理

如图 2 所示,若导光板下方无导光网点,则 LED 光源发出的光线从空气射入导光板内,将会发生全反射无法射出。原因如下:假设光源对称发光,则入射角为 α ,界面折射角为 β ,射出入射角为 θ ,由折射定律易得出^[14]:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}, \quad (1)$$

$$\beta + \theta = 90^\circ. \quad (2)$$

以最大 α 角分析,取 $\alpha = 90^\circ$,此时 β 也应最大,由公式(1)计算得 $\beta = 42.15^\circ$,则根据公式(2),最小的 $\theta = 90^\circ - 42.15^\circ = 47.85^\circ$ 。根据全反射定律,由高折射率 n_2 介质射出到低折射率 n_1 介质时,则全反射临界角 C 如下所示:

$$C = \arcsin \frac{n_1}{n_2}. \quad (3)$$

根据实际 n_1 为空气, n_2 按照常规导光板材料设为聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA),分别带入 n_1 和 n_2 ,则 $C = 42.15^\circ$ 。

由于最小的 θ 仍大于全反射临界角 C ,所以

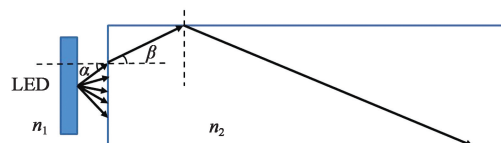


图 2 无导光结构导光板光路示意图

Fig.2 Framework of LGP without structure

无网点分布时,进入导光板的全部光线均会发生反射,内部无光线折射射出,因此为了让光线出射上表面,需要使用不同折射率的散射材料或不同形状的微结构令导光板内部的光线非全反射出射。

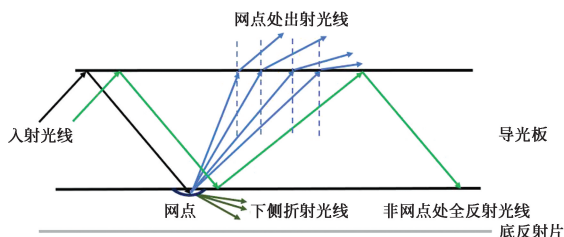


图 3 常规导光板光路示意图

Fig.3 Framework of normal LGP

如图 3 所示,当光线射到网点上时可射出导光板,而非网点处的光线发生全反射导向后端。按一定规律疏密分布的网点构成导光层,网点密集处出光量多,大部分光线从上表面出射,网点稀疏处出光量少,大部分光线被导向后端,通过网点稀疏分布设计,可控制出射光线的亮度分布,最终获得均匀亮度出射的面光源,此即为导光板的设计原理。

3.2 渐变微棱镜导光结构设计

分别设计不同尺寸 50,100,200,300,400 μm 的不同渐变微棱镜结构,并优化排布,比较当优化完成均匀性达到 80% 以上时的亮度,并做归一化处理,其结果如图 4 所示。

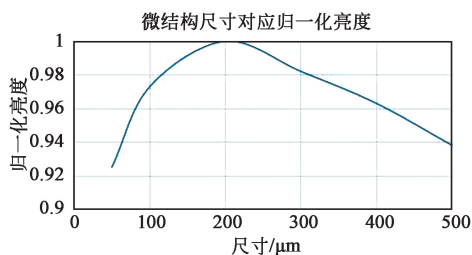


图 4 微结构尺寸与归一化亮度的关系

Fig.4 Relationship between micro-structuresize and normalized brightness

可以看出当渐变微棱镜结构底边长约 200 μm ,高度约 150 μm 时,按一定疏密分布规律在导光板下表面排布设计,此时亮度最高,渐变微棱镜下表面微结构子结构外形如图 5 所示。

常规圆形二维或三维网点的导光结构,光线

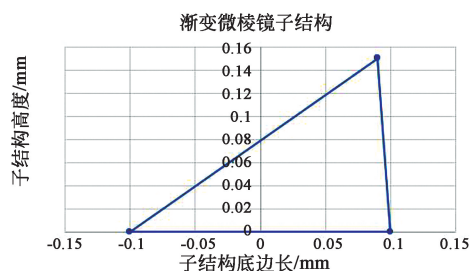


图 5 微棱镜子结构

Fig.5 Micro-prism structure

于大角度附近出射,会造成部分光效损失,而角度匹配设计的渐变微棱镜结构可控制光线沿上表面中心视角附近出射,大部分光线都能被利用,光效利用率明显提升。

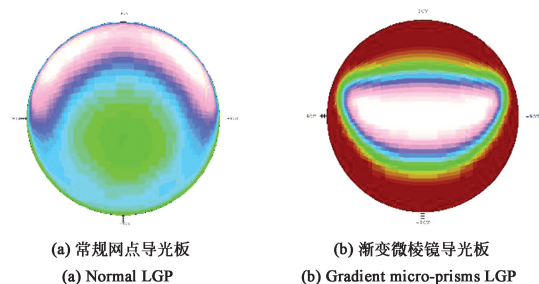


图 6 导光板出光角度

Fig.6 View angle of LGP

此外由于导光板为透明材质,射向下表面微结构非全反射光线部分反射回上表面出射,而另一部分会直接从下表面折射,因此需要在导光板下表面镀膜反射层,减小下表面的漏损失,所以背光模组也无需使用反射片,结构进一步简化并减小厚度。常规网点设计的导光板与渐变微棱镜设计的导光板出光角度差异如图 6 所示,可明显看出二者差异。

3.3 二次函数控光结构设计

二次函数上表面微结构作为控光结构,设计方法是首先使用二次曲线在 $x-z$ 平面拟合面型,面型沿 y 方向伸展,生成类柱状初始结构;然后使用光线优化,将发光角度进一步收缩,提升中心亮度;最后按一定规律设计周期阵列,将其在导光板上表面设计分布。 $x-z$ 平面二次函数表达式如公式(4)所示。

$$z(x) = \frac{cx^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2x^2}} + \alpha_1x + \alpha_2x^2, \quad (4)$$

其中: z 代表微结构在每点 x 处的坐标, c 代表曲率, k 表示圆锥系数, α_1 和 α_2 各阶项对应系数。

初始结构依照公式(4)设计,为方便加工及匹配,上表面微结构尺寸设计与下表面尺寸相当,上表面子结构底边长约为 $200\ \mu\text{m}$,高度约为 $38\ \mu\text{m}$,临近边缘处有明显的反曲率变化,得以在相邻子结构之间平滑过渡,子结构沿 x 方向等间距周期性排列构成类柱形阵列,其外形如图 7 所示。

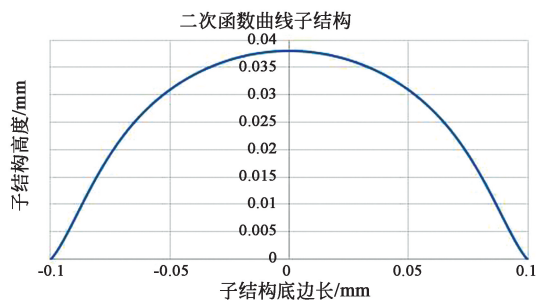


图 7 二次函数微子结构

Fig.7 Quadric function micro-structure

优化前后的微子结构如图 8 所示,二次函数微结构可使光线均匀出射,并且将光线出射角度收缩,此外该结构没有一般棱镜结构的大角度漏光问题,因此在中心增亮的同时,光效利用率进一步提升。

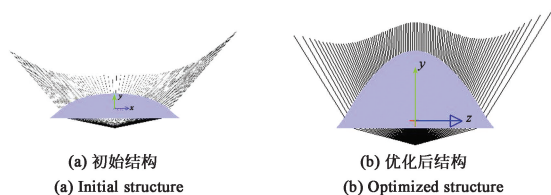


图 8 二次函数微结构模型

Fig.8 Quadric function micro-structure model

3.4 全微结构匹配设计

上下表面微结构尺寸相当,因此二者分布应匹配化设计,设计思路为首先固定上表面二次函数控光结构等间距分布,如图 9 所示。

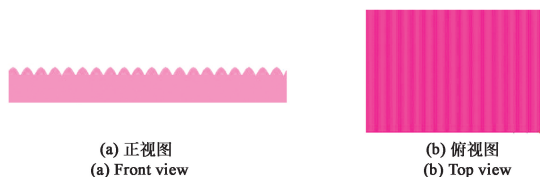


图 9 全微结构一体化导光板上表面

Fig.9 Top surface of all-micro-structure integrated LGP

然后对下表面微棱镜导光微结构进行 y 方向渐变优化,其分布规律类似于一般网点,入光侧密度低,出光侧密度高,使其优化后的分布结构与上表面微结构互相匹配,间距优化使用二阶贝塞尔函数,其表达式如公式(5)所示。

$$B(t) = (1-t)^2 P_0 + 2t(1-t)y + t^2 P_1, \quad (5)$$

其中: $t \in [0, 1]$, P_0 和 P_2 表示导光板在 y 方向上的上下边界, y 作为优化变量。优化后的全微结构一体化导光板下表面如图 10 所示。

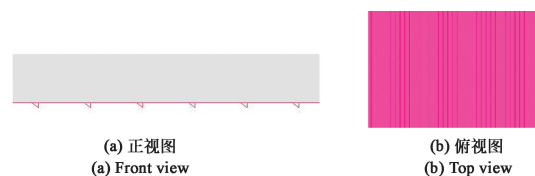


图 10 全微结构一体化导光板下表面

Fig.10 Bottom surface of all-micro-structure integrated LGP

其中,上表面控光结构排布方向与下表面导光微结构排布方向垂直,且需相互匹配,可在满足光学均匀性的同时,收缩两个方向的发光角度,进而提升中心亮度。

上下表面微结构具备可加工性,二者分布互相垂直,且尺寸相当,实际加工时均可采用注塑成型工艺,首先使用激光刻蚀方法加工高精度上下表面微结构模具,而后将两个模具对位组装,通过在模具中注塑原料一次成型,为保证上下表面微结构对齐匹配,需在实际加工时预先定标,通过定位标志使上下两个模具匹配后再进行注塑成型加工。

建立全微结构一体化背光模型,亮度及发光角度仿真结果如图 11 和图 12 所示,中心亮度 $14\ 481\ \text{cd}/\text{m}^2$,九点光学均匀性可达 80% 以上,发光角度在 X 和 Y 方向均有明显收缩。

一体化背光模组能在更大视角获得更高亮度,是因为一体化背光模组相比常规背光模组具有更高的光效,其原因有二:(1)常规背光模组中有多种光学膜材,光学膜材自身的透过率会导致部分光效的损失,而一体化背光模组中没有其他光学膜材,因此其材料层自身的出光效率要高于常规导光板;(2)常规背光模组中光线从常规导光板的偏离中心的大角度出射,后

续还经历了扩散片匀化和棱镜片收缩视角的作用,由于经过扩散片匀化后在水平和垂直两个方向视角都会变大,因此需要使用两张棱镜片将两个方向视角收缩,由于棱镜结构的作用,其中部分大角度光能量会损失,而一体化背光模组中光线在导光板内已由下表面微棱镜阵列将垂直发光角度收缩,并沿中心视角附近射出导光板,然后由上表面微结构阵列收缩水平视角,实现两个方向视角的收缩,因此其大角度损失的光能量要低于常规背光模组。

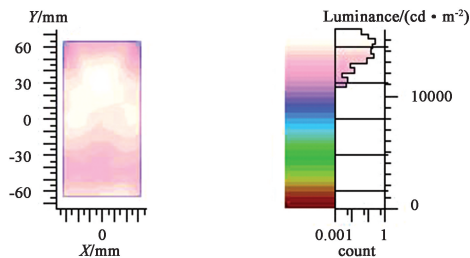


图 11 空间亮度分布

Fig.11 Distribution of spatial luminance

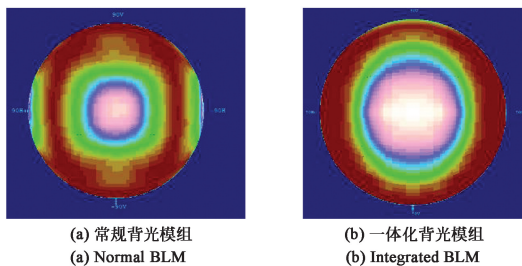


图 12 发光角亮度分布

Fig.12 Distribution of angular luminance

等间距周期排列的二次曲面控光结构除可收缩发光角度,以提升中心亮度外,还可以实现侧入式背光模组的一维分区域照明,即根据显示图像的差异控制不同区域背光的亮暗,使暗图像区域更暗,亮图像区域更亮,将背光的分区照明与面板的分区显示通过算法结合,可以将面板本身的对比度进一步提高,实现更高对比度的高动态范围显示。

如图 13 所示,每个子区域为一个矩形面积,通过不同位置 LED 的开启和关闭,控制每个区域的亮暗,LED 数量越多,区域划分越密,通过这种背光照明方式,用于 TFT-LCD 液晶面板,可以实现更高动态范围对比度的显示。

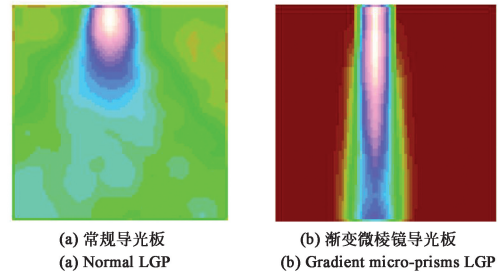


图 13 单灯区域空间亮度分布

Fig.13 Single LED distribution of spatial luminance

4 实际模型仿真及对比

4.1 样品测试实验

选用 14.5 cm(5.7 in)(65.4 mm×130.15 mm)手机背光模组作为实验样品,其主要用于评判仿真模型的准确性。背光厚度为 0.9 mm(其中导光板厚度 0.5 mm),单灯光通量为 8.5 lm,侧入式灯条共 14 颗灯,膜材架构由上至下分别为底反射片、导光板、下棱镜片、上棱镜片和上扩散片的常规架构,样品测试实验外观及点亮画面如图 14 所示。

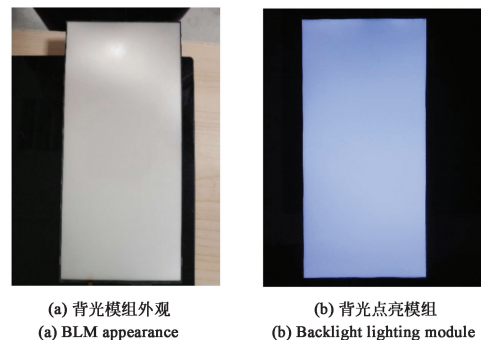


图 14 14.5 cm(5.7 in)常规架构背光模组

Fig.14 14.5 cm(5.7 in)normal BLM

测试内容主要包括九点空间亮度均匀性和发光角亮度。九点空间亮度均匀性使用亮度计测试,测试方法如图 15 所示,将发光表面分割为 9 个测试区域,其中编号 1, 3, 7, 9 四个边角位置的测试点分别与上下边界成 1° 夹角,编号 2, 4, 6, 8 四个中间测试点边缘与边界夹角也为 1° ,最后测试点 5 在正中心位置测试。测试九点亮度值,即可根据公式(6)计算均匀性:

$$L_{SLU} = \frac{L_{\min}}{L_{\max}}, \quad (6)$$

其中: L_{SLU} 表示空间亮度均匀性, $L_{\min}$ 和 $L_{\max}$ 分别

表示测试九点中亮度的最小值和最大值。实测九点空间亮度均匀性为 88.17%,测试中心亮度为 $12\,290\text{ cd/m}^2$ 。

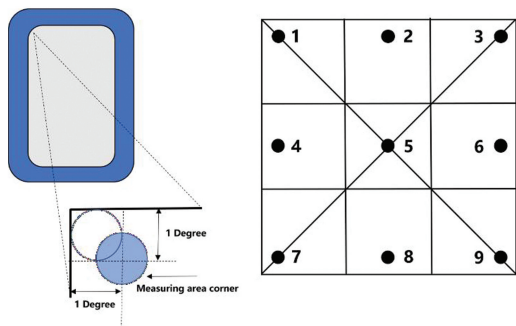


图 15 空间亮度均匀性测试

Fig.15 Measurement for the spatial luminance uniformity

发光角亮度同样使用亮度计,测试方法如图 16 所示,选取同一测试点位置(中心点),在水平和垂直方向分别测试,水平方向测试角度记为 θ_L 和 θ_R ,垂直方向测试角度记为 Φ_L 和 Φ_R ,水平和垂直方向测试范围均为 $[0^\circ, 90^\circ]$,参考显示产品测试标准,中心 0° 视角亮度最高,以亮度下降至 0° 视角亮度的 30% 作为发光视角。实测水平视角 55.43° ,垂直视角 53.41° ,大视角下观察背光亮度下降明显。

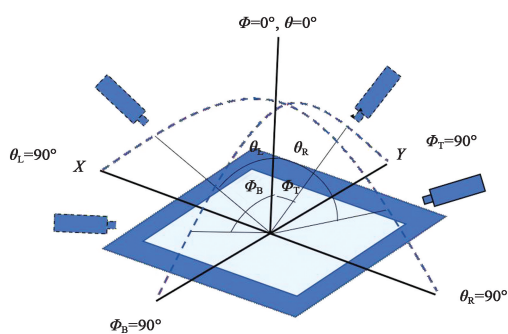


图 16 发光角亮度测试

Fig.16 Measurement for the angular luminance

4.2 实际模型仿真

根据 4.1 中实际样品参数设计背光仿真模型,其中导光板网点三维结构及排布规律通过实测数据表格文件导入,棱镜片、棱镜层和基底层通过实测微结构的尺寸和折射率导入,扩散片及反射片通过实测样品的双向散射分布函数(BSDF)导入,将所有膜材部品参数单独建模后,设计与实验样品参数一致的参考背光模型。机械光学仿真

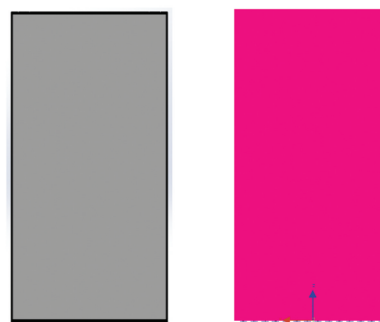


图 17 机械光学背光参考模型

Fig.17 Mechanical and optical BLM reference model

模型如图 17 所示。

参考模型的测试评价方式与实际测试仪器参数匹配,其中空间亮度均匀性测试的模拟依照实际样品测试标准,选取与实验背光样品相同位置的 9 个测试区域,仿真设置的亮度计测试面积与每个测试点面积相等,选择 1×1 测试网格。发光角亮度测试的模拟同样与实际样品测试标准匹配,选择中心点测试区域面积作为角亮度测试面积设置探测器,将中心 0° 峰值亮度的 30% 作为截止视角。按照实验样品参数进行参考模型仿真,使用上述测试方法对参考模型进行光学评价,其各项光学指标均匀实验样品一致,误差均在 5% 以内,可说明参考模型与实验样品匹配,因此参考模型各项光学指标可作为评价一体化背光模型光学性能的参照依据。

4.3 全微结构一体化背光模型仿真及对比

根据前述导光板设计方法仿真与实际参考产品尺寸相同的 14.5 cm (5.7 in) 全微结构一体化背光模型,整个背光模组中只有导光板一种光学部品,去除了扩散片、棱镜片和反射片等膜材,在降低材料成本的同时大大简化了组装工序,同时相比于常规背光模组厚度也有明显减小,常规背光与一体化背光在 X 和 Y 方向的光学部品组成如图 18 所示。

二者设计规格对比如表 1 所示,其中尺寸、灯数、灯条的输入光通量和导光板材料等参数都相同,不同之处在于参考模型除使用一般导光板外,还包括增亮膜、扩散片和反射片的膜材架构,而一体化背光模型中仅有一张全微结构一体化导光板。

按设计规格分别设计参考背光模型和一体化背光模型,然后参照实际测试仪器设置亮度计参数,探测器工作距离 1 m ,入瞳直径为 30 mm ,测试半锥角为 0.5° 。

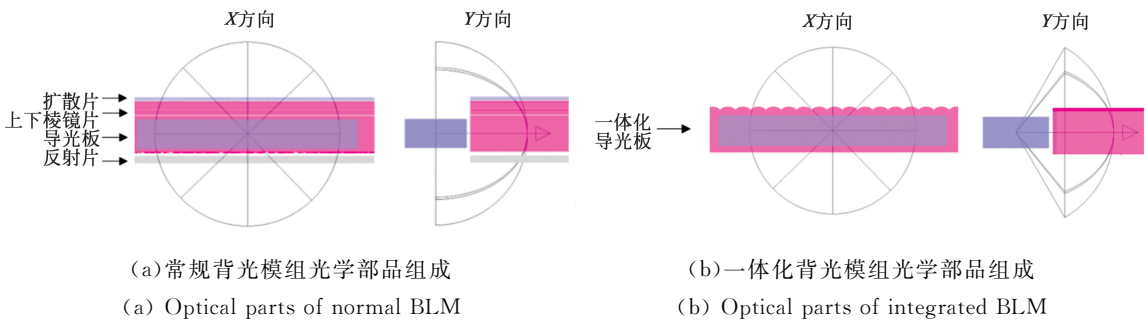


图 18 X 和 Y 方向光学部品组成
Fig.18 Optical component for X and Y direction

表 1 两种模型设计规格对比
Tab.1 Comparison of design specificaions of two models

序号	设计参数	参考模型	一体化模型
1	尺寸/mm	65.4×130.15×0.9	65.4×130.15×0.5
2	灯数/EA	14	14
3	光通量/lm	8.75×14	8.75×14
4	导光板材料	PMMA	PMMA
5	导光板上表面	无	二次函数微结构阵列 (底边 200 μm,高度 38 μm)
6	导光板下表面	三维圆形网点 (直径 40 μm,高度 3 μm)	渐变微棱镜阵列 (底边 200 μm,高度 150 μm)
7	增亮膜	两张正交棱镜片	无
8	扩散片	上扩散	无
9	反射片	银反射片	下表面镀银

最后使用 4.1 节所述测试方法进行亮度、均匀性和发光角度等模型性能的光学评价,相关评价对比如表 2 所示。

表 2 两种模型光学评价对比
Tab.2 Comparison of optical evaluation of two models

序号	评价指标	参考模型	一体化模型
1	光效利用率	62%	76.5%
2	中心亮度(cd·m ⁻²)	12 290	14 481
3	九点均匀性	88.17%	80.7%
4	水平发光视角 (峰值亮度 30%)	55.43°	64.63°
5	垂直发光视角 (峰值亮度 30%)	53.41°	70.25°

从表 2 可以看出,本文所设计的一体化背光模组在满足实际背光产品的均匀性要求前提下,其相比于常规背光模组,不仅架构简单、外观超薄,而且光效利用率、中心亮度、水平垂直发光视角等光学表现均有明显提升。

5 结 论

本文根据未来液晶显示模组超薄化、极简化的要求,提出了一种基于全微结构的新型一体化导光板设计方法,并介绍了导光和控光微结构组成和工作原理,说明这种全微结构一体化导光板集成了多种光学膜材功能,并简化了背光模组架构。然后研究了一体化导光板上下表面微结构优化设计方法,并设计对应的全微

结构一体化背光模组。最后,将一款 14.5 cm(5.7 in)实际产品背光模组的常规架构光学模型作为参考模型,首先验证了参考模型与实测样品的一致性,然后将相同尺寸的一体化背光模型与参考模型对比,通过与实测样品相同的光学评价方法,进一步证明了一体化背光模组的优势,其厚度为

0.5 mm,中心亮度 14 481 cd/m²,出光效率 76.5%,水平发光角度 64.63°,垂直发光角度 70.25°,相比于常规背光模组,其外观结构与光学性能均有明显提升,同时可以利用其一维区域控光调制功能实现高对比度显示,满足未来显示产品超薄化、极简化、大视角、高亮度、高对比度等要求。

参 考 文 献:

- [1] LIU C T. Revolution of the TFT LCD technology [J]. *Journal of Display Technology*, 2007, 3(4): 342-350.
- [2] 李继军,聂晓梦,甄威,等.显示技术比较及新进展[J].液晶与显示,2018,33(1):74-84.
LI J J, NIE X M, ZHEN W, *et al.* New developments and comparisons in display technology [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2018, 33(1): 74-84. (in Chinese)
- [3] 孙学武,杨慎东,陈飞,等.光学增亮膜技术综述及其发展趋势[J].信息记录材料,2015,16(6):49-53.
SUN X W, YANG S D, CHEN F, *et al.* The technical review of bright enhancement film and its development trend [J]. *Information Recording Materials*, 2015, 16(6): 49-53. (in Chinese)
- [4] 李子轩.平板显示用复合光学膜的研究[D].北京:北京交通大学,2018.
LI Z X. Research on composite optical film for flat panel display [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2018. (in Chinese)
- [5] YAMADA F, NUMATA H, TAIRA Y. Multi-layered flat-surface micro-optical components directly molded on an LCD panel [J]. *Journal of the Society for Information Display*, 2003, 11(3): 525-531.
- [6] ISHIDA T, KAIDA K, KADOWAKI S, *et al.* A novel ultra thin backlight system without optical sheets using a newly developed multi-layered light-guide [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2010, 41(1): 1104-1107.
- [7] PAN J W, FAN C W. High luminance hybrid light guide plate for backlight module application [J]. *Optics Express*, 2011, 19(21): 20079-20087.
- [8] PAN J W, HU Y W. Design of a hybrid light guiding plate with high luminance for backlight system application [J]. *Journal of Display Technology*, 2013, 9(12): 965-971.
- [9] XU P, YAN Z L, WAN L L, *et al.* Designing new integrated LGP of backlight system using binary optical technique [C]//*Proceedings of SPIE 5636, Holography, Diffractive Optics, and Applications II*. Beijing, China: SPIE, 2005: 66-72.
- [10] XU P, HUANG Y Y, ZHANG X L, *et al.* Integrated micro-optical light guide plate [J]. *Optics Express*, 2013, 21(17): 20159-20170.
- [11] FENG D, JIN G F, YAN Y B, *et al.* High quality light guide plates that can control the illumination angle based on microprism structures [J]. *Applied Physics Letters*, 2004, 85(24): 6016-6018.
- [12] WANG Y J, OUYANG S H, CHAO W C, *et al.* High directional backlight using an integrated light guide plate [J]. *Optics Express*, 2015, 23(2): 1567-1575.
- [13] 尹慧娟,王培娜,吴波,等.侧入式局域动态调光背光聚光特性研究[J].液晶与显示,2018,33(11):905-910.
YIN H J, WANG P N, WU B, *et al.* Spotlight characteristics of local dynamic dimming for side-lit backlight [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2018, 33(11): 905-910. (in Chinese)
- [14] 马科斯·玻恩,埃米尔·沃耳夫.光学原理:光的传播、干涉和衍射的电磁理论[M].杨葭荪,译.7版.北京:电子工业出版社,2016.
MA X B, EMIL W. *Principles of Optics: Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light* [M]. YANG J S, trans. 7th ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2016. (in Chinese)

作者简介:



余鸿昊(1993—),男,江西南昌人,硕士,2018 年于北京理工大学获得硕士学位,主要从事液晶显示技术、光学设计等方面的研究。E-mail: yuhonghao@boe.com.cn