

文章编号:1007-2780(2018)03-0202-06

高透过率液晶显示拼接墙的设计与开发

李 洪*, 柴慧平, 徐松嵩, 杨 康

(天马微电子股份有限公司 先进技术研究院, 上海 201201)

摘要:为了实现高透过率液晶显示拼接墙,提高对外界光源的透过率,同时减少拼接缝隙,进行了透明液晶显示模组的设计和开发。为增加透过率,首先,在像素设计方面,优化走线设计提高开口率;其次,在彩膜特性方面,采用减薄色阻方法优化透过谱,搭配高透率偏光片;最后,在像素排布方面,选择了 RGBW 的像素设计,其中 W 像素数量占总像素数量的 50%,实验得到透过率为 19.4%,NTSC 为 30%的模组。为减少显示拼接墙的拼接缝隙,单个显示模组的栅极电路驱动,采用栅集成电路(GOA)设计,实现了 2.5 mm 窄边框。由于透过率和窄边框的要求,模组需要实现 RGBW 和 GOA 的显示驱动,在 FPGA 上编写控制程序,进行驱动时序控制和算法处理,最终制作了 16×2 排布的高透过率液晶显示拼接墙。

关 键 词:透明液晶显示;RGBW;彩膜;FPGA

中图分类号:TN141.9;TN47 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20183303.0202

Design and development of high transmittance liquid crystal splice display wall

LI Hong*, CHAI Hui-ping, XU Song-song, YANG Kang

(Advanced Technology Research Institute, TIANMA Micro-electronics Co.Ltd.,
Shanghai 201201, China)

Abstract: In order to reduce splice gap of display wall and make full use of environment light, high transmittance transparent liquid crystal splice display wall is designed and developed. To improve the display wall transmittance, some measures are taken. We optimize lines layout for a higher aperture ratio of pixel. RGBW pixel array which white pixels take 50% percent of total pixels, has been used in the plane design, then based on the improved color filter and high transmittance polaroid, 30% NTST and 19.4% transmittance LCD modules are produced. GOA design is used to achieve 5 mm narrow border. FPGA chip is adopted to drive the module. FPGA chippers form as a timing controller and an algorithm processor. Finally, a high transmittance liquid crystal display wall is spliced by 16×2 LCD modules.

Key words: transparent TFT-LCD; RGBW; color filter; FPGA

收稿日期:2017-09-22;修订日期:2017-10-15.

* 通信联系人, E-mail: s_lihong@126.com

1 引言

透明显示拼接墙是指由透明显示模块进行拼接搭建的墙体,墙体除了有显示特性外,还具有一定的穿透性,可以借助环境光源,观察到显示墙体背后的物体,提供多元的咨询信息,应用到建筑设计或橱窗广告中。早在2012年,美国调研机构Display bank发表的“透明显示器技术与市场展望”报告就曾大胆预测,到2025年透明显示的市场产值约 8.72×10^{10} 美元^[1-2]。

目前主流的透明显示技术主要为LCD、OLED、PDP这三类^[3]。2011年,韩国大田科学技术研究院研制出的PDP技术的透明显示屏,透明度为63%^[4],但PDP的显示模组能耗大,制作成本高。OLED具有全固态、高亮度、高对比度、低功耗等优点^[5-7],2015年,三星展出了一款55 in (1 in=2.54 cm)的透明OLED显示器,透过率达到40%。OLED器件结构上不需要彩膜,透明度高,在透明显示应用上更有优势,但现阶段OLED器件技术和良率都在提升中,大尺寸价格昂贵,限制了在实际中的应用。基于液晶显示技术的透明液晶显示器,具有工艺成熟、良率高、成本低、功耗小等特点,仍然是目前市场的主流技术。

2014年,中电熊猫液晶显示科技有限公司制作了色域为45%和10%NTSC的两种彩色透明液晶显示显示模组,其透过率分别为10%和15%^[1],为达到15%的透过率,牺牲了模组的NTSC,色彩饱和度不佳。本项目中,透明模组通过增加像素开口率,优化彩膜特性和搭配RGBW像素排布,使得透过率高达19.4%,NTSC为30%。在保证NTSC的前提下,达到了更优的透过率,利用该模组制作了高透过率液晶显示拼接墙。

2 主要原理

LCD基本结构包括下偏光片、下玻璃基板、液晶层、上玻璃基板以及上偏光片,下玻璃基板包含TFT、电极等,上玻璃基板包含彩膜等^[8-9](如图1)。由于偏光片只允许单方向的极化光波通过,实际偏光片的透过率为42%,液晶模组的开口率为50%,液晶本身透过率为95%,彩色滤光

片通过R、G、B单色的透过率为27%。因此,常规液晶模组的透过率小于5.4%^[10-11],透明度差。对上述各部分透过率的改善,都可提高模组的透过率。本项目中主要是通过,增加玻璃基板上像素的开口率和提高彩膜基板透过率,来实现高透显示模组。透明显示模组利用环境光作为光源,搭配了通过率高达44%的偏光片。

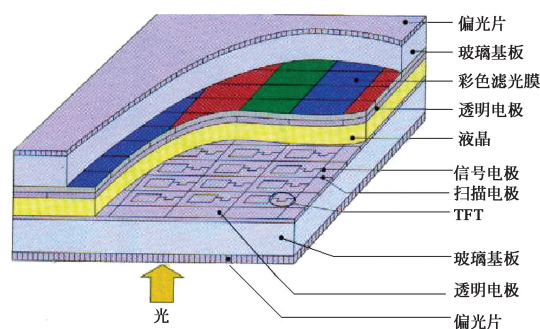


图1 LCD结构示意图

Fig.1 Structure diagram of LCD

在液晶模组的下基板上,集成了模组的驱动单元,包括薄膜晶体管、薄膜晶体管的扫描电极、信号电极、存储电容等,其中不透光的地方,利用彩膜的黑色矩阵进行隐藏,透光的面积大小,决定了模组的开口率。在固定尺寸和PPI的前提下,开口率增加有限,设计时结合项目特点,优化走线宽度,减少子像素中数据线的比例,目标将像素开口率由常规50%提高到70%以上。

由于光线通过彩膜基板后,约有70%的光损耗,因此,提高彩膜透过率是最有效的手段之一。本项目中,除了彩膜厚度、材料特性优化外,另一方面像素采用RGBW排布(如图2)增加透过率^[12-14]。RGBW排布在红绿蓝三原色上,增加白色子像素,成为四色型像素设计,是sub pixel

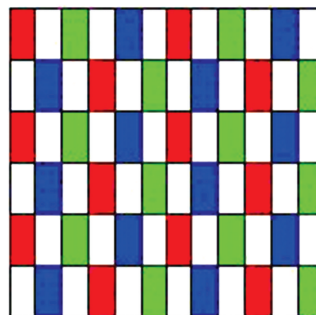


图2 RGBW模组像素排布

Fig.2 Pixel arrangement of RGBW panel

rendering 技术方式。白色像素对应的位置没有彩膜,白色像素量占总像素量的 50%,理论上增加透过率 200%,能大幅度提高透过率。RGBW 排布通过数据算法处理^[15-16],利用低的物理分辨率,实现较高的显示分辨率。

3 实 验

在本项目中采用了 27 in 基板,像素尺寸为 $312\text{ }\mu\text{m}\times 312\text{ }\mu\text{m}$,PPI 为 81,开口率达 76%。图 3(a)和(b)对比了在 C 光源下测试的,NTSC 73%和 NTSC 30%的彩膜透过谱。优化了色阻,

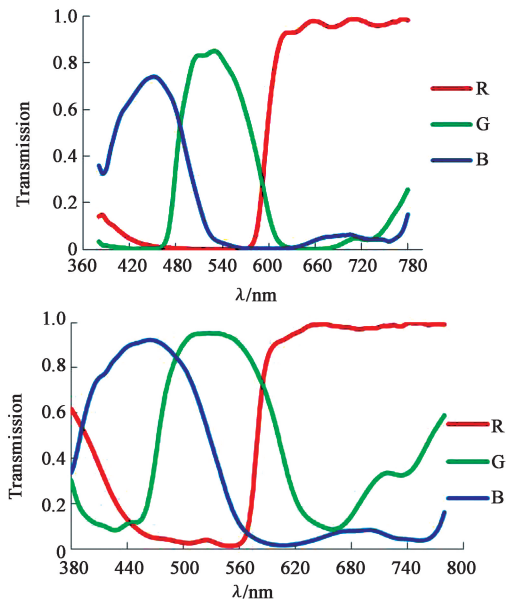


图 3 (a)NTSC 73%彩膜透过谱;(b)NTSC 30%彩膜透过谱
Fig.3 (a) Transmission spectrum of 73% NTSC color filter;(b) transmission spectrum of 30% NTSC color filter

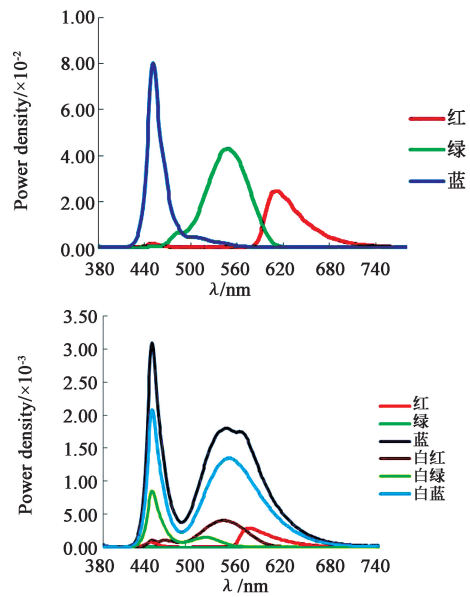


图 4 (a)常规模组频谱;(b)RGBW 模组频谱
Fig.4 (a) Spectra of normal display;(b) spectra of RGBW display

NTSC 30%的彩膜,红色色阻和蓝色色阻在短波长的透过率增加,绿色色阻整个波长的透过率都有增加。另一方面,由于 W 像素对应处无彩膜,为获得它对提高透过率的贡献,搭配常规背光对不同设计的模组进行了光谱测试,图 4(a)为常规模组的三色频谱,图 4(b)为 RGBW 排布结合优化色阻的模组,在三色及白红、白绿和白蓝画面下的频谱。表 1 为两种模组的亮度数据,在同一背光源下,对比常规模组和 RGBW 模组,透过率由 4.45% 增加到 19.4%,透过率约提高至 3.4 倍。图 5 分别为两种模组的 NTSC 测试图,常规模组 NTSC 为 73%,RGBW 模组的 NTSC 为 30%,对比常规模组 NTSC 有所牺牲,但从国际信息显示

表 1 不同模组透过率对应表

Tab.1 Corresponding table between different displays and transmittance

测试设备： SR-3		亮度/(cd·m ⁻²)							透过率/%
模组\颜色	白色	红色	绿色	蓝色	白红混色	白绿混色	白蓝混色	白色背光	
常规模组	219	33.1	166.00	17.9	无	无	无	5025	4.45
RGBW 模组	975.36	62.19	182.02	53.38	751.57	873.43	742.71	5025	19.41

学会(SDI)上,参展 DEMO(如图 6)可以看到,该模组具有显示效果优良、高透明度的特点。

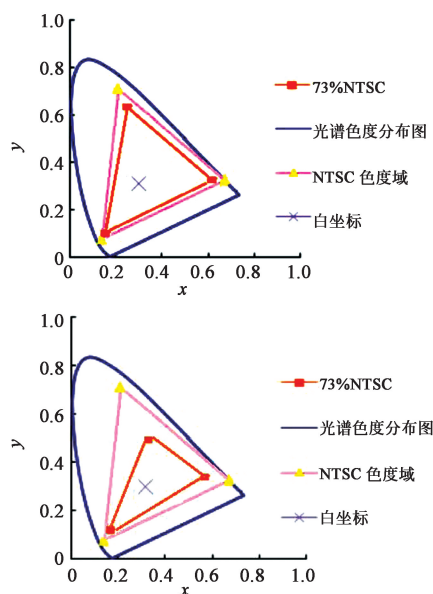


图5 (a)常规模组的 NTSC;(b)RGBW 模组的 NT-SC

Fig.5 (a) Chromaticity diagram of normal display;
(b) chromaticity diagram of RGBW display



图6 SID Demo 展示
Fig.6 Demo for SID

白色像素设计到模组上,除了提高穿透率外,还可以提高模组的显示分辨率。项目中 LCD 物理像素为 $1\,920\text{ pixel} \times 2\text{ pixel} \times 1\,080\text{ pixel}$ 的设计,实现了分辨率为 $1\,920\text{ pixel} \times 3\text{ pixel} \times 1\,080\text{ pixel}$ 的显示效果。项目最终拼接出 $16\text{ pixel} \times 2\text{ pixel}$ 的电视墙,为减少拼接缝隙,模组采用了栅集成电路(GOA)设计^[17-18],电路为双边 4phase 驱动,实现了 2.5 mm 的窄边框,节省了栅极驱动 IC。模组电路驱动架构如图 7,硬件 PCB 驱动板,包括输入接口,输出接口,电源系统,GOA 电路的数模转换部分,FPGA 控制及数据处理部分。模组的输入接口为常规 LVDS 设计,通过 FPGA

将 LVDS 协议转化为 RGB 协议,数据部分输入到算法处理模块,进行数据缓存处理,时序部分产生时钟控制信号,分别控制 GOA 电路的时序及驱动芯片的时序,数据通过时序控制后转化为 Min-LVDS 信号,传送到模组的驱动芯片上。FPGA 除了实现模组的 TCON 的功能外,还包含了云英谷公司提供的算法模块,将 $1\,920\text{ pixel} \times 3\text{ pixel} \times 1\,080\text{ pixel}$ (FHD)图片数据,转化为实际需要的 $1\,920\text{ pixel} \times 2\text{ pixel} \times 1\,080\text{ pixel}$ 图片数据,呈现出 FHD 的显示效果。最后,利用带上位机控制的拼接驱动板,在 PC 机上进行数据源传送和拼接控制,实现了一个可随意进行 1~32 子块显示内容拼接的透明显示拼接墙。

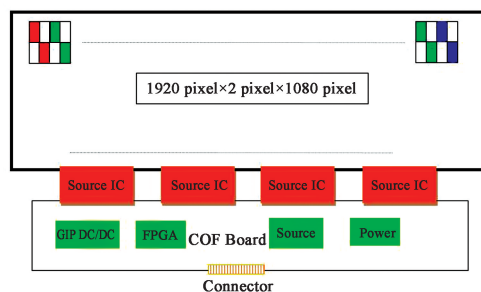


图7 模组驱动架构

Fig.7 LCM driver architecture

4 讨论与分析

项目中 TFT 像素的信号数据线线宽 $2.5\text{ }\mu\text{m}$,使得遮挡数据线的黑色矩阵的宽度减小,遮挡数据线的黑矩阵宽度 $6\text{ }\mu\text{m}$,结合像素本身面积 $156\text{ }\mu\text{m} \times 312\text{ }\mu\text{m}$,使得开口率高达 76%。常规模组即使黑矩阵的线宽和本项目中一致,由于像素本身面积小,开口率也较小约为 50%,而一般情况下,常规模组的黑矩阵线宽都较宽,在 $7\sim 7.5\text{ }\mu\text{m}$ 左右。因此,开口率优化后,透过率增加约 0.5 倍。试制中,NTSC 30%的彩膜特性优化包括,彩膜色阻材料的优化和彩膜厚度的减薄,选用透过率高的色阻材料,同时将彩膜色阻的厚度由 $2.2\text{ }\mu\text{m}$ 减到 $1.3\text{ }\mu\text{m}$,从图 3 透过谱对比图中可以看出,优化后的通过率增加约 0.8 倍。由以上分析可知,经过上述两种方案改善后,理论上模组的透过率可以增加至 2.7 倍。

对比图 4 两种模组的红、绿、蓝三种单色的频谱,单色频谱趋势基本相同。根据图 3 得到,红、

蓝在短波长有增加,绿色整体都有增加,但是透过率并不是常规模组的 2.7 倍,这是由于引入白色像素后,在相同面积的显示区域内,RGB 单色子像素数量,为常规模组 RGB 单色子像素数量的一半,优化开口率和彩膜的透过率增加至 2.7 倍,综合分析后,RGBW 模组和常规模组在相同背光下,相同面积的波长功率密度为 1.35 倍,在频谱图中变化不显著。同时结合表一的数据,常规模组的三色亮度和为 219 cd/m^2 ,RGBW 模组的三色亮度和为 297 cd/m^2 ,可知在相同数量相同面积的子像素条件下,RGBW 模组透过率为常规模组的 2.7 倍,其中增加开口率贡献了 50%,彩膜优化贡献了 80%,与之前分析结果一致。

从图 4(b)中可以得到,引入白色子像素后,波长功率密度极大提高。如在绿色区域,波长为 549 nm 的白绿功率密度,为单绿色功率密度的 4 倍。从表一的实际测试数据来看,RGBW 模组中,W 子像素的亮度为 690 cd/m^2 ,RGB 三色混色亮度为 297 cd/m^2 ,W 像素透过率为 RGB 三色像素通过率的 2.3 倍。除透过率测试外,分别对常规模组和 RGBW 模组的 NTSC 进行了测试,图 5 分别对应 73%和 30%的 NTSC 模组,两种模组的白色坐标一致,RGBW 模组除彩膜优化牺牲了 NTSC 外,引入的白色子像素并未影响 NTSC。

由以上分析可知,为实现高分辨率的透明电视墙,其中最重要组件就是高通过率的显示模组,因此,结合产品的特性和应用场合,提高开口率、优化彩膜和引入 W 像素,可以有效的提高透过率,由 4.45%增加到 19.4%,常规仅改善彩膜的产品,在透过率为 19.4%时,一般 NTSC 只有 10%,色彩饱和度极低,而本案的 NTSC 可到达 30%,显示效果突出,透明度高、颜色饱满。后续透明产品的设计,可以参考本案设计,通过采用高迁移率 TFT 提高开口率、优化偏光片透过率及改善色阻特性等方法,进一步提高模组透过率。

5 结 论

本文根据透明液晶显示拼接墙的要求,介绍了透明液晶显示结构和工作原理。然后设计了高透过率、高 NSTC 的模组方案,最后通过提高 LCD 像素开口率、优化彩膜色阻特性和采用 RGBW 像素设计,得到透过率为 19.4%,NTSC 为 30%的模组。为减少显示拼接墙的拼接缝隙,单个显示模组采用栅集成电路(GOA)设计,实现了 2.5 mm 窄边框。在 FPGA 上编写控制程序,进行驱动时序控制和算法处理,最终制作了 $16 \text{ pixel} \times 2 \text{ pixel}$ 排布的高透过率液晶显示拼接墙,具有广大的市场应用前景。

参 考 文 献:

- [1] 王海宏,焦峰,马群刚.高透过率透明液晶显示器研究与开发[J].液晶与显示,2014,29(6):901-905.
WANG HH, JIAO F, MA Q G. Research and development of high transmittance transparent liquid crystal display [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystal and Displays*, 2014, 29(6): 901-905. (in Chinese)
- [2] 王海宏,焦峰,马群刚.透明液晶显示器色度特性研究[J].现代显示,2013(4):13-16.
WANG HH, JIAO F, MA Q G. Research on chromaticity characteristic of transparent liquid crystal display [J]. *Advanced Display*, 2013(4): 13-16. (in Chinese)
- [3] 胡凯,陈禹翔,李青.透明显示技术的进展[J].电子器件,2012,35(6):639-646.
HU K, CHEN Y X, LI Q. Development of transparent display technology [J]. *Chinese Journal of Electron Devices*, 2012, 35(6): 639-646. (in Chinese)
- [4] JANG C, KIM K, CHOI K C. Toward flexible transparent plasma display: optical characteristics of low-temperature fabricated organic-based display structure [J]. *IEEE Electron Device Letters*, 2012, 33(1): 74-76.
- [5] 应根裕,胡文波,邱勇,等.平板显示技术[M].北京:人民邮电出版社,2002:340-340.
YING G Y, HU W B, QIU Y, et al. *Flat Panel Display Technology* [M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2002: 340-340. (in Chinese)
- [6] PARK S K, RYU M, YANG S, et al. Oxide TFT driving transparent AMOLED [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2010, 41(1): 245-248.

- [7] SASABE H, KIDO J. Development of high performance OLEDs for general lighting [J]. *Journal of Materials Chemistry C*, 2013, 1(9): 1966-1707.
- [8] 戴亚翔.TFT-LCD 面板的驱动与设计[M].台北:五南图书出版股份有限公司,2006:16-39.
DAI Y X. *Design and Operation of TFT-LCD Panels* [M]. Taipei: Wu-NanBookInc, 2006: 16-39. (in Chinese)
- [9] 田民波,叶锋.TFT LCD 面板设计与构装技术[M].北京:科学出版社,2010:1-16.
TIAN M B, YE F. *Design and Assembly Technology of TFT-LCD Panels* [M]. Beijing: Science Press, 2010: 1-16. (in Chinese)
- [10] HONG Q, WU T X, WU S T. Optical wave propagation in a cholesteric liquid crystal using the finite element method [J]. *Liquid Crystals*, 2003, 30(3): 367-375.
- [11] CHRISTOU M A, POLYCARPOU A C, PAPANICOLAOU N C. Modal analysis and solution of electromagnetic wave propagation in cholesteric liquid crystal cells[C]//*Proceedings of 2012 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*. Chicago, IL, USA: IEEE, 2012: 1-2.
- [12] LEE B W, PARK C, KIM S, *et al.* Late-news paper: TFT-LCD with RGBW color system [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2003, 34(1): 1212-1215.
- [13] LEE B W, SONG K, YANG Y, *et al.* Implementation of RGBW color system in TFT-LCDs [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2004, 35(1): 111-113.
- [14] ELLIOTT C. Active matrix display layout optimization for sub-pixel image rendering [C]. *Proceedings of the 1st International Display Manufacturing Conference*, 2000: 185-189.
- [15] 冯俊,严利民,陈静.一种 RGB 到 RGBW 的色域转换优化算法[J].光电子技术,2015,35(2):135-139,143.
FENGJ, YAN L M, CHEN J. A color gamut optimization algorithm for RGB to RGBW conversation [J]. *Optoelectronic Technology*, 2015, 35(2): 135-139, 143. (in Chinese)
- [16] HIGGINS M F, CREDELLE T L. Systems and methods for implementing improved gamut mapping algorithms: U.S., 8013867 [P]. 2011-09-06.
- [17] LI Y M, LEE K F, LO I H, *et al.* Dynamic characteristic optimization of 14 a-Si:H TFTs gate driver circuit using evolutionary methodology for display panel manufacturing [J]. *Journal of Display Technology*, 2011, 7(5): 274-280.
- [18] 张军,苏子芳,关星,等.一种窄边框的液晶显示面板设计[J].液晶与显示,2015,30(3):467-471.
ZHANG J, SU Z F, GUAN X, *et al.* New design of narrow border LCD panel [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2015, 30(3): 467-471. (in Chinese)

作者简介:李洪(1983—),女,安徽芜湖人,硕士研究生,天马微电子集团电子设计专家,从事新型显示产品的技术开发
E-mail:s_lihong @126.com