

ADS超高清产品对比度提升

董霆, 李晓吉, 曲莹莹, 陈轶夫, 黄建华, 薄灵丹, 孙志华, 李承珉, 廖燕平, 邵喜斌

引用本文:

董霆, 李晓吉, 曲莹莹, 等. ADS超高清产品对比度提升[J]. 液晶与显示, 2020, 35(11): 1142–1149.

DONG Ting, LI Xiao-jì, QU Ying-ying, et al. Contrast ratio improvement of ADS UHD product[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2020, 35(11): 1142–1149.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.37188/YJYXS20203511.1142>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

配向膜对LCD对比度的影响

Effect of alignment film on LCD contrast ratio

液晶与显示. 2015, 30(1): 47–50 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20153001.0047>

一种宽视角和快速响应的连续视角可控液晶显示

Continuous viewing angle controllable liquid crystal display with wide viewing angle and fast response

液晶与显示. 2016, 31(7): 661–666 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20163107.0661>

高PPI产品下的取向膜画面品质改善研究

Research on improving picture quality of alignment film

液晶与显示. 2015, 30(4): 608–615 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20153004.0608>

光配向技术在液晶电视面板中的应用

UV2A technology for LCD-TV panel

液晶与显示. 2016, 31(1): 87–92 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20163101.0087>

ADS双栅线结构高透像素设计

High transmittance pixel design of ADS dual gate structure

液晶与显示. 2019, 34(6): 543–548 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20193406.0543>

文章编号:1007-2780(2020)11-1142-08

ADS 超高清产品对比度提升

董 霆*, 李晓吉, 曲莹莹, 陈轶夫, 黄建华,
薄灵丹, 孙志华, 李承珉, 廖燕平, 邵喜斌
(北京京东方显示技术有限公司, 北京 100176)

摘要: 众多广视角技术中, 高级超维场转换技术(Advanced Super Dimension Switch, ADS)具有高分辨率、高透过率、低功耗、宽视角、高开口率、低色差、无挤压水波纹(Push Mura)等优点。与垂直取向(Vertical Aligned, VA)模式相比, ADS 模式存在对比度(Contrast Ratio, CR)偏低的问题。本文主要从设计及材料两个方面对 ADS 显示模式超高清(Ultra High Definition, UHD)产品对比度提升进行研究。与传统的产品相比较, 在设计方面采用了高透像素设计, 在提升 L255 亮度的同时, 保证 L0 亮度不变; 同时开发了一种低散射液晶, 降低 L0 亮度, 明显改善对比度。将高透像素设计搭载 55UHD 和 49UHD ADS 产品进行了实验验证, 将低散射液晶搭载 49UHD ADS 产品进行了实验验证。结果表明, 采用高透像素设计的面板与传统设计面板相比, 对比度提升约 8.3%; 采用高对比度液晶的面板的与传统设计面板相比, 对比度约提升 22%。二者共同作用, UHD 产品对比度提升约 30%。

关键词: 高透过率像素设计; 低散射液晶; 高对比度

中图分类号: TN141.9 **文献标识码:** A **doi:** 10.37188/YJYXS20203511.1142

Contrast ratio improvement of ADS UHD product

DONG Ting*, LI Xiao-ji, QU Ying-ying, CHEN Yi-fu, HUANG Jian-hua,
BO Ling-dan, SUN Zhi-hua, LEE S M, LIAO Yan-ping, SHAO Xi-bin

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

Abstract: Advanced super dimension switch(ADS) technology have many advantages, such as high resolution, high transmittance, low power consumption, wide view angle, high aperture ratio, low color shift, no push Mura, etc. Compared to VA(Vertical Aligned) mode, low contrast ratio is the disadvantage of the ADS mode. New pixel design & new LC(Liquid Crystal) for CR(Contrast Ratio) improve ment, is proposed in this paper. By using high transmittance pixel design, L255 luminance is improved and L0 has no change, the CR is improved by 8.3%(Test on 55UHD & 49UHD Product). By developing low scattering LC, L0 luminance is decreased and L255 has no change, the CR is improved by 22%(Test on 49UHD Product). CR is totally improved by 30%.

Key words: high transmittance pixel design; low scattering LC; high contrast ratio

收稿日期:2020-03-02; 修订日期:2020-06-03.

基金项目:北京市科委首都科技领军人才培养工程应用技术研究与应用项目(No.201807)

Supported by Beijing Municipal Science & Technology Commission: Application Technology Research and Development Projects of Capital Science and Technology Leading Talents Training Project(No.201807)

* 通信联系人, E-mail: dongting@boe.com.cn

1 引 言

薄膜晶体管液晶显示在大尺寸(TV)领域仍占主要市场^[1]。众多广视角技术中,京东方公司的高级超维场转换技术^[2](Advanced Super Dimension Switch,ADS)具有高分辨率、高透过率、低功耗、宽视角、高开口率、低色差、无挤压水波纹^[3](Push Mura)等优点,但相对于其他显示模式(例如 VA),存在着对比度(Contrast Ratio, CR)偏低的问题。

对比度(CR)是指屏幕的纯白色亮度(L255)和纯黑色亮度(L0)的比值。对比度影响因素较多,其中影响纯黑色亮度(L0)主要包括配向膜预倾角的大小^[4]以及金属膜层的反射等因素。本文基于配向膜材料以及 TFT 基板工艺不变更的前提下,首先分析了 ADS 模式 CR 偏低的原因,然后根据分析从设计和材料两方面提出了 ADS 超高清(UHD)产品 CR 提升的方法。与传统的产品相比较,在设计方面采用了高透像素设计,在提升 L255 的亮度的同时,保证 L0 亮度不变;同时开发了一种低散射液晶,降低 L0 亮度,明显改善了对比度。将高透像素设计搭载 55UHD ADS 及 49UHD 产品进行了实验验证,将低散射液晶搭载 49UHD ADS 产品进行了实验验证。结果表明,采用高透像素设计面板的与传统设计面板相比,对比度约提升 8.3%;采用高透像素设计面板的与传统设计面板相比,对比度约提升 22%。

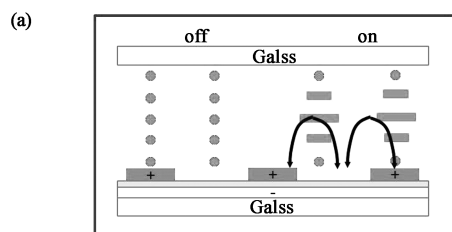
2 ADS UHD 产品 CR 偏低原因

2.1 显示模式差异

ADS 结构如图 1(a)所示。在此结构中,液晶的配向力弱,液晶的旋转为面内旋转。光通过液晶盒时,光的行进方向为液晶非光轴方向,其光路图如图 1(b)所示,散射比较大,CR 约为 1 200;VA 结构如图 2(a)所示,在此结构中,光通过液晶盒时,光的行进方向为液晶的光轴方向,其光路图如图 2(b),散射比较小,CR 约为 3 000。显示模式的差异导致了对比度差异的产生。

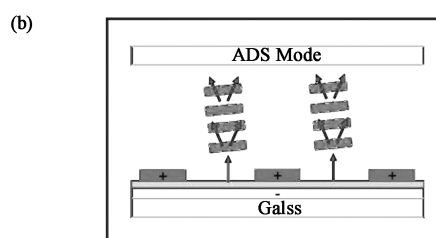
2.2 液晶配向差异

摩擦配向工艺^[5]是目前 ADS 模式中常用的液晶取向工艺,如图 3(a)所示,其特点是技术成



(a) ADS 模式结构截面图

(a) Section view of ADS mode structure

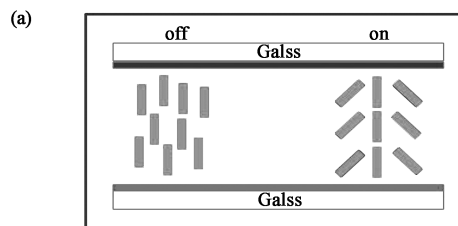


(b) 光通过 ADS 液晶盒示意图

(b) Diagram of light passing through ADS cell

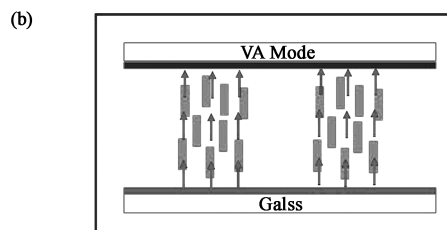
图 1 ADS 模式结构及光路图

Fig.1 Diagram of ADS mode structure and light path



(a) VA 模式结构截面图

(a) Section view of VA mode structure



(b) 光通过 VA 液晶盒示意图

(b) Diagram of light pass through VA cell

图 2 VA 模式结构及光路图

Fig.2 Diagram of VA mode structure and light path

熟,稳定性高,可靠性好。其缺点也十分明显,一是易产生异物,且易导致 PI 划伤;二是易产生静电;三是由于段差的存在,导致摩擦弱区的产生,如图 3(b)所示,在此区域内,液晶配向紊乱,暗态

时会出现漏光现象,导致暗态的亮度偏高,从而导致对比度偏低。在 VA 模式中,使用的配向工艺为光配向^[6],如图 4(a)所示。与摩擦工艺相比较,其具有两个明显优点:一是摩擦工艺相关不良均不会产生;二是无摩擦弱区存在,如图 4(b)所

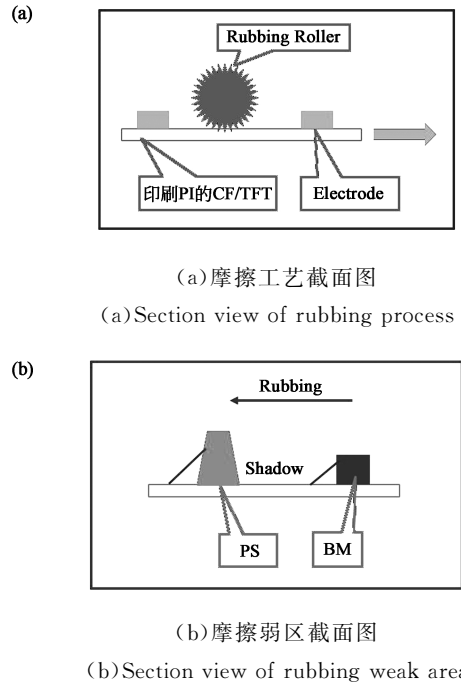


图 3 摩擦工艺和弱区截面图
Fig.3 Section view of rubbing process and weak area

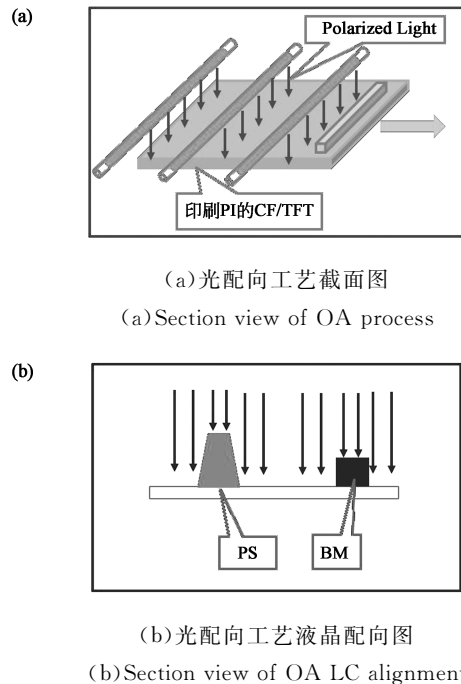


图 4 光配向工艺和液晶配向图
Fig.4 Section view of OA process and LC alignment

示,液晶的配向均一性大大优于摩擦工艺,因此暗态亮度明显低于 ADS 模式,这就导致了 VA 模式的 CR 高于 ADS 模式。

2.3 摩擦角度和偏光片光轴夹角的存在

对于 ADS 模式而言,最理想的状态是液晶分子与偏光片的透过轴完全平行^[7],这样的状态下,不会有漏光产生。实际生产过程中,摩擦角度无法实时管控,偏光片贴附存在贴附公差,则会导致摩擦角度与偏光片光轴夹角 θ 的存在(图 5)。以 1 905 cm(75 in)面板为例,对 VA 模式和 ADS 模式做比较,在相同的贴附精度下,总的工艺精度相差较大^[8],详见表 1。这就导致了暗态亮度偏高,从而导致对比度偏低。

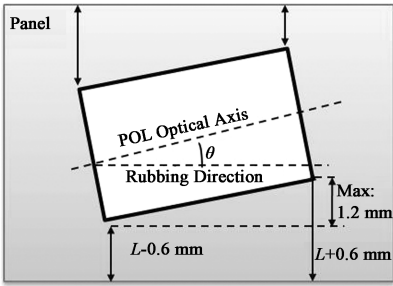


图 5 夹角 θ 产生示意图
Fig.5 Diagram of θ generation

表 1 总精度比较

	显示模式	
	VA	ADS
偏光片尺寸(长边)/mm	1 659.7	1 659.7
偏光片贴附角度偏差/(°)	0.041	0.041
摩擦角度偏差/(°)	0	0.2(Max)
θ /(°)	0.041	0.241

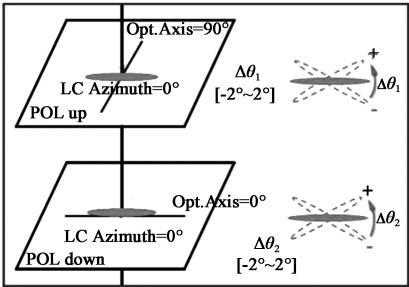


图 6 夹角 θ 对 CR 的影响(模拟结构)
Fig.6 Simulation structure of θ effect on CR

同时使用 TechWiz2D 软件模拟了摩擦方向偏差角度对 CR 的影响,其结构见图 6,结论也与上面的理论一致,夹角越大,暗态亮度越高,从而导致对比度越低,详情见表 2。

表 2 模拟结果
Tab.2 Simulation result

Item	Rubbing Angle		偏光片 Axis		L0 亮度 (Normal 100%)	
	上	下	上	下	$\Delta=1^\circ$	$\Delta=2^\circ$
Case1	$\Delta\theta_1$	0°	90°	0°	175%	405%
Case2	0°	$\Delta\theta_2$	90°	0°	180%	410%
Case3	$\Delta\theta_1$	$\Delta\theta_2$	90°	0°	260%	735%

3 ADS UHD 产品 CR 提升方案

液晶显示器的主要参数为分辨率、色域、透过率与对比度等。对比度对视觉效果的影响非常关键,一般来说对比度越大,图像越清晰醒目,色彩也越鲜明艳丽。对比度的定义为在暗室中,白色画面(最亮时)下的亮度除以黑色画面(最暗时)下的亮度,常用公式(1)进行表征计算:

$$CR = \frac{L_{255}}{L_0}, \quad (1)$$

其中: L_{255} 为屏幕的纯白色亮度, L_0 为屏幕的纯黑色亮度。根据公式,可以从以下方案着手考虑:(1)提升 L_{255} , L_0 不变;(2) L_{255} 不变,降低 L_0 亮度。其中,方案 1 可以从设计方面考虑。根据上面的分析,由于显示模式的差异,ADS 模式具有更多的散射,从而导致 CR 偏低;方案二可以从材料方面着手,通过降低散射达到降低 L_0 亮度的目的。

3.1 L_{255} 提升, L_0 不变方案

本文对我公司所使用的高透过率像素设计对 CR 的影响进行了研究,平面图如图 7 所示,主要通过 3 个方向将液晶面板的透过率提升,从而使 L_{255} 得以提升。

通过 TechWiz 3D 软件模拟,3 个优化点^[9]所带来的透过率的提升具体见表 3。

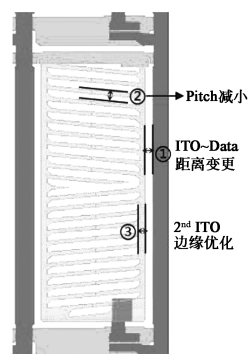


图 7 高透过率像素设计平面图

Fig.7 Top view of high transmittance pixel design

表 3 高透像素模拟结果

Tab.3 High transmittance pixel simulation result

优化点	普通像素设计	高透像素设计	透过率提升比例
Pitch/W	8/2.6	6.6/2.2	3.9%
公共电极 ~ 数据线/ μm	3.5	5.0	1.6%
像素电极 ~ 数据线/ μm	5.0	3.5	
2 nd ITO 边缘宽度/ μm	2.7	2.3	1.5%

如图 8 所示,对于 ADS 模式,电场可以分为 E_y 及 E_z 。 E_y 有利于液晶旋转,产生旋光, E_z 不利于液晶分子发生旋转。由于电极结构的原因,在电极宽度中间位置和电极间隔中间的位置,是有效电场 E_y 的极弱区,在该区域内,液晶分子旋转较少,导致透过率偏低^[10]。

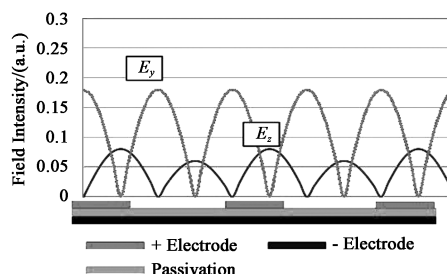


图 8 ADS 电场分布

Fig.8 ADS electric field distribution

高透像素设计首先通过像素间距及电极宽度 W 的减小有效改善了电极中间位置的暗场区及

电极间隔中间的暗场区,从而提升了液晶面板的透过率;其次通过优化像素电极到数据线的距离及优化像素电极边缘宽度,进一步改善整个像素边缘的暗场区与,从而进一步导致透过率提升;最后优化隔垫物(PS)大小及黑矩阵(BM)宽度,提升开口率实现透过率的提升。根据表 3 模拟结果。3 个方案透过率共计提升 7%,同时优化 PS 大小及 BM 宽度,透过率合计提升 8.5%。其光效图如图 9 所示,图中蓝色框线所标示的区域即为相对普通像素通过设计改善的区域。

将本设计投入 55UHD 及 49UHD 产品进行了验证。

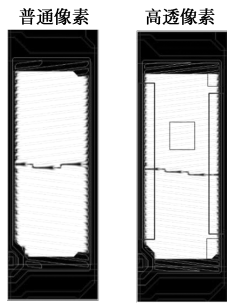


图 9 像素液晶光效对比

Fig.9 LC efficiency compare

3.2 L255 不变,L0 降低方案

ADS 模式相比 VA 模式,具有更多的散射,导致了暗态亮度偏高。降低材料的散射系数可以有效减少暗态时的亮度,提升对比度。RGB 光刻胶及液晶均可以降低散射。目前 RGB 光刻胶所使用的显色剂大多为颜料系。相比于颜料系,染料系具有更高的对比度,但染料系存在寿命短、信赖性差等问题,暂时不能量产。而颜料系本身的对比度已经到达瓶颈阶段,故只能寻求通过降低液晶散射来实现液晶面板整体的散射降低。液晶的物性参数与散射的关系如下:

$$\frac{1}{CR} \propto S_{cell} = \frac{d \cdot [\Delta n(n_e + n_o)]^2}{K}, \quad (2)$$

其中: S_{cell} 为液晶盒的散射系数,从公式(2)中可以看出,液晶材料的折射率及弹性常数(K)^[11]是主要影响因素,可以通过调整液晶的这两项参数,即 K_{ii} 变大, Δn 变小,有效降低液晶盒的散射系数,从而达到降低暗态亮度,提升对比度的目的。

我公司联合液晶供应商,进行新液晶材料的开发,通过 TechWiz 2D 软件模拟,确认可以有效

降低散射系数,液晶参数见表 4,具体的模拟结果见表 5。

表 4 高对比度液晶参数

Tab.4 High CR LC parameters

项目	参照	高 CR-A	高 CR-B
$\epsilon_{//}/\epsilon_{\perp}$	5.2/2.6	5.6/2.6	6.6/3.9
$\Delta\epsilon$	2.6	3.0	2.7
K_{11}/K_{33}	13.7/15.5	17.3/18.7	14.5/17.3
γ_1	47	59	74
Δn	0.097 3	0.097 3	0.098 1
n_e/n_o	1.584 3/1.486 1	1.581 7/1.484 4	1.581 8/1.483 7

表 5 高对比度液晶模拟结果

Tab.5 High CR LC simulation results

项目	参照	高 CR-A	高 CR-B
V_{op}/V	7.8	8.2	7.9
Tr(L255)	29.0%	28.95%	29.76%
RT/ms	23.94	22.92	33.96
S_{cell}	0.046 88	0.030 74	0.044 91
Tr(L255)/ S_{cell}	6.18	9.42	6.63
Δ	100%	152.42%	107.28%

根据表 5 的光学模拟数据,其中,亮态考虑液晶参数的影响,暗态考虑散射因子,通过 $Tr(L255)/S_{cell}$ (散射因子)表征 CR 的变化,相对于参照液晶,高 CR-A 及高 CR-B 液晶在不同程度上可以提升对比度,其中高 CR-A 提升了 52.42%,高 CR-B 提升 7.28%。根据模拟结果,我们以 49 UHD ADS 产品为测试平台,对高 CR-A 液晶进行了测试验证。

4 实验与结果讨论

4.1 实验样品及光学结果(L255 提升,L0 不变方案)

为验证高透像素设计对面板对比度的实际影响,我们采用 a-Si, 4mask 工艺流程,将高透像素设计搭载在 55UHD 及 49UHD 单栅驱动 ADS 产品上进行了实验验证。两款产品均为常规的 RGB 产品。主要对液晶面板的光学性能进行测

试对比,确认了对高透像素设计的影响。

表 6 光学参数对比

Tab.6 Optical data contrast

测试项目	55UHD		49UHD	
	普通像素	高透像素	普通像素	高透像素
L255/ ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)	181.4	191.9	155.9	169.7
L0/ ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)	0.16	0.157	0.127	0.128
CR	1134	1222	1230	1326

由表 6 结果可以看出,采用高透像素设计的面板光学参数与采用常规像素设计的面板相比,液晶面板的黑画面亮度(L0)并无明显变化,由于白画面亮度(L255)提升明显,这就导致了 CR 提升约 100,对比度提升比例约为 8.3%。这个结果与上文中提到的模拟值相吻合。

4.2 实验样品及光学结果(L255 不变,L0 降低方案)

为验证高对比度液晶对对比度的实际影响,我们采用 a-Si, 4mask 工艺流程,在 49UHD 单栅驱动 ADS 产品上进行了实验验证。该产品均为常规的 RGB 产品,分辨率为 $3\,840 \times 2\,160$,帧频为 60 Hz,像素大小为 $279.6 \times 279.6 \mu\text{m}$,量产品主要使用普通正性液晶,除液晶以外,两种面板的其他设计完全相同。通过对两种面板的光学、信赖性、残像等性能参数的测试,对比分析出高 CR-A 液晶的优劣以及对对比度提升的比例。其中光学部分包括色域、色温、透过率、对比度、响应时间、Gamma 等,详见表 7,其数据为 5 片面板的平均值。

根据表 7 的光学测试数据,使用两种液晶的面板,白画面亮度差异非常小,由于液晶的 Δn 及弹性常数 K 的调整,液晶盒散射系数(S_{cell})大幅降低,其直观的光学结果表现在暗态亮度降低明显。由对比度计算公式可知,对比度有大幅提升,提升比例为 22%,其他光学结果基本一致,与上文中提到的模拟值趋势一致。

残像水平是评价液晶面板的重要指标^[12],我们的评价方式采用 7×5 Chess 画面和 127 灰阶画面,图 9 即为测试画面。

表 7 高对比液晶测试光学结果

Tab.5 High CR LC test optical result

项目	参照	高 CR-A	差异
色域(NTSC)	72%	72%	0
色温/K	14 650	14 885	235
白态亮度/($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)	155	158	3
黑态亮度/($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)	0.134	0.112	0.022
CR	1 157	1 413	256
Gamma	2.18	2.24	0.06
响应时间/ms	7	6.74	-0.26
透过率/%	4.3	4.3	0



图 10 残像测试图片

Fig.10 Image sticking test pattern

检测时间分别为 1 h, 3 h+5 min, 10 h+5 s, 24 h, 之后每 24 h 检查一次,直至 168 h,终检时间点为 168 h+1 h。其检查方法为将 7×5 chess 画面切换至 127 灰阶画面,观察残像严重程度,对严重程度求多片液晶面板平均值。如果有残像,就继续向上调整灰阶,直至无法观察到残像,这个灰阶会定义为消失灰阶。我公司的残像评价基准是从严重程度和消失灰阶两方面进行评价,详情参见表 8,其数据为 4 片液晶面板结果的平均值。

表 8 高对比液晶测试残像结果

Tab.8 High CR LC image sticking result

项目	1 h	3~24 h	48~96 h	120~168 h	168+1 h
Level	0.75	1	1	1	0.8
消失灰阶	140	163	168	170	147

如表 8 所示,与量产相比,残像短期出现较早,1 h 即出现残像,消失灰阶略高,为 L140;随着时间增加,由于直流(DC)积累,残像严重程度未有大幅变化,但消失灰阶逐渐增加,消失灰阶仍处在客户可接受范围之内;168+1 h 终检,消失灰阶最终变为 L147,属于和量产相当的残像水平。

信赖性测试^[13]是液晶面板的必须测试项目之一。针对产品制定一系列方法、试验和检查流程,目的在于确认生产的半成品、完成品在入库、在库、出厂过程中是否符合产品环境相关规定要求。测试项目主要包括低温运行(LTO)、高温高湿存储(THS)、低温存储(LTS)、高温高湿运行(THO)、冷热冲击试验 1(TST-1),以及低温结晶测试等。具体的测试条件及结果详见表 9。

表 9 高对比度液晶信赖性结果
Tab.8 High CR LC reliability test result

项目	条件	结果
LTO	-5 °C, 240 h	通过
LTS	-20 °C, 240 h	通过
THS	60 °C, 90%RH, 240 h	通过
THO	50 °C, 80%RH, 240 h	通过
TST-1	-20~60 °C, per 30 min, 100 cycle	通过
结晶测试	-40 °C, 72 h, -30 °C, 300 h	通过

如表 9 所示,搭载高 CR-A 液晶的面板,信赖性测试全部通过,与普通液晶相比,满足产品的需求。

高 CR-A 液晶在提升对比度的同时,面板的透过率并未降低,响应时间等关键参数甚至优于当前的量产液晶;残像水平略差于普通的量产液晶,但仍满足客户要求,后续可以通过灰阶透过率曲线精细化调整进行改善;信赖性方面也全面通

过测试,综合光学、残像、信赖性等全部测试的结果可以判定,该液晶可提升对比度约 22%,且满足量产需求。

5 结 论

本文分析了 ADS 模式对比度偏低的原因,并根据原因介绍了一种高透像素设计及一种高对比度液晶。通过高透像素设计的使用,实现了液晶面板白画面亮度提升,而且黑画面亮度未受影响。搭载 55UHD 和 49UHD 两款产品对这种设计进行了验证,并与常规设计进行了比较。实验结果显示,使用这种高透像素设计的产品,对比度提升了约 8.3%,该设计具备通用性;同时从 ADS 模式液晶盒散射较高作为出发点,开发了一种低散射液晶,该液晶通过调整液晶的折射率(Δn)和弹性常数(K),实现了液晶盒散射的降低,达到降低黑画面亮度的目的,同时其白画面亮度并未降低。搭载 55UHD 产品对这种低散射液晶进行了验证,并与使用普通液晶的量产品进行了对比。实验结果表明,使用这种低散射液晶的面板的光学参数测试结果与普通液晶的 TFT 面板除黑画面亮度及对比度以外的数据基本一致,其对比度获得大幅提升;同时,其残像及信赖性测试均满足量产需求,在不变更工艺条件的前提下,可以直接使用,对比度提升约 22%。高透像素设计方案配合高对比液晶共同使用,可使 ADS UHD 产品的面板对比度提升约 30%。

参 考 文 献:

- [1] 刘同海,高章飞,孙国防,等.ADS 模式 TFT-LCD 的显示原理研究[J]. 电子世界,2017(20):33-34.
LIU T H, GAO Z F, SUN G F, *et al.* Research on display principle of ADS mode TFT-LCD [J]. *Electronics World*, 2017(20): 33-34. (in Chinese)
- [2] JEON Y M, SONG I S, LEE S H, *et al.* Optimized electrode design to improve transmittance in the fringe-field switching (FFS) liquid crystal cell [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2005, 36(1): 328-331.
- [3] 李晓吉,赵彦礼,栗鹏,等.ADS 液晶面板划痕 Mura 研究[J]. 液晶与显示,2020,35(1):31-40.
LI X J, ZHAO Y L, LI P, *et al.* Strace Mura of ADS LCD [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2020, 35(1): 31-40. (in Chinese)
- [4] 王丹,马国靖,任锦宇,等.配向膜对 LCD 对比度的影响[J]. 液晶与显示,2015,30(1):47-50.
WANG D, MA G J, REN J Y, *et al.* Effect of alignment film on LCD contrast ratio [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2015, 30(1): 47-50. (in Chinese)
- [5] 廖燕平.薄膜晶体管液晶显示器显示原理与设计[M].北京:电子工业出版社,2016:358-361.
LIAO Y P. *Thin Film Transistor Liquid Crystal Display* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry,

- 2016; 358-361. (in Chinese)
- [6] NISHIKAWA M, TAHERI B, WEST J L. Mechanism of unidirectional liquid-crystal alignment on polyimides with linearly polarized ultraviolet light exposure [J]. *Applied Physics Letters*, 1998, 72(19): 2403-2405.
- [7] 马群刚. TFT-LCD 原理与设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011: 238-240.
MA Q G. *Principle and Design of TFT-LCD* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2011: 238-240. (in Chinese)
- [8] KIM J H, LEE J H, LIM J C, 等. 共面转换液晶显示器中获得对比度高于 1 : 600 的新技术[J]. 李路海, 译. 现代显示, 2004(5): 31-33.
KIM J H, LEE J H, LIM J C, *et al.* The novel technologies for achieving contrast ratio over 1 : 600 in IPS mode [J]. LI L H, trans. *Advanced Display*, 2004(5): 31-33. (in Chinese)
- [9] 王小元, 方琰, 王武, 等. ADS 双栅线结构高透像素设计[J]. 液晶与显示, 2019, 34(6): 543-548.
WANG X Y, FANG Y, WANG W, *et al.* High transmittance pixel design of ADS dual gate structure [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2019, 34(6): 543-548. (in Chinese)
- [10] 李晓锦, 陈强, 郑伟, 等. 一种新型 TFT-LCD 用配向膜材料研究[J]. 液晶与显示, 2018, 33(10): 864-869.
LI X J, CHEN Q, ZHENG W, *et al.* New alignment material for TFT-LCD [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2018, 33(10): 864-869. (in Chinese)
- [11] 王奎, 员国良, 崔青, 等. 一类低粘度高弹性常数液晶的合成和性能的应用研究[J]. 河北师范大学学报: 自然科学版, 2017, 41(5): 392-397.
WANG K, YUAN G L, CUI Q, *et al.* Synthesis and properties of low viscosity and high elastic constant liquid crystal molecules [J]. *Journal of Hebei Normal University: Natural Science Edition*, 2017, 41(5): 392-397. (in Chinese)
- [12] 王丹, 梁晓, 唐洪. TFT-LCD 液晶材料对显示残像的影响[J]. 液晶与显示, 2008, 23(4): 412-415.
WANG D, LIANG X, TANG H. Influence of TFT-LCD Liquid crystal mixture on image sticking [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2008, 23(4): 412-415. (in Chinese)
- [13] 龚钰, 邢颖. 温度和湿度对 LCD 背光模组光学性能的影响[J]. 数字通信世界, 2019(6): 132.
GONG Y, XING Y. Effects of temperature and humidity on optical performance of LCD backlight modules [J]. *Digital Communication World*, 2019(6): 132. (in Chinese)

作者简介:



董 霆(1984—),男,江苏徐州人,硕士,高级研究员,副高级工程师,2010 年于长春理工大学获得硕士学位,主要从事 TFT-LCD 产品开发工作。E-mail: dongting@boe.com.cn