

文章编号:1007-2780(2019)10-0952-07

宽窄视角切换技术的制程改善应用于 液晶显示屏的节能架构

刘仕彬^{1,2}, 邹忠飞², 钟德镇^{2*}, 郭小军¹

(1. 上海交通大学 电子与通信工程学院 电子工程系, 上海 200240;

2. 昆山龙腾光电股份有限公司, 江苏 昆山 215301)

摘要:为了让液晶分子受电场转动的效率增加,并减少钝化层对电场的耗损,本文对具宽窄视角可切换功能的液晶显示屏提出几种低功耗新设计。首先采用新型低电压液晶,在彩膜的制程顺序上做改动,并对 TFT 侧玻璃基板上的绝缘钝化层进行图案化减薄。减薄的设计方案有两种,一种是直接在钝化层上做部分减薄留下一些剩余厚度,另一种是用 SiO_x 层取代钝化层的剩余厚度。设计变更后的透过率与电场特性使用了数值分析方法加以仿真。仿真结果表明:使用低电压液晶能使原有架构的饱和电压从 5.4 V 降低到 4.3 V,结合减薄新设计可以分别再降低 9.30% 与 13.95%。液晶饱和电压的降低表明节能新架构的液晶操作电压会比原有架构更低,进而面板上的整体功耗降低,达到了宽窄视角可切换低功耗液晶显示屏的需求。

关键词:低功耗;非晶硅;LCD;宽窄视角切换;架构设计

中图分类号: TN141.9; TN27 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20193410.0952

Process improvement of hybrid viewing-angle technology for energy-saving architecture on LCD

LIU Shih-bin^{1,2}, ZOU Zong-fei², CHUNG Te-chen^{2*}, GUO Xiao-jun¹(1. Department of Electronic Engineering, School of Electronic Information
and Electronic Engineering, Shanghai JiaoTong University, Shanghai 200240, China;

2. InfoVision Optoelectronics (Kunshan) Co., Ltd., Kunshan 215301, China)

Abstract: Some new designs with low power consumption of hybrid viewing-angle LCD are proposed in order to increase the rotating efficiency of liquid crystal molecules by tuning electric field and to reduce the loss of electric field from passivation layer. Firstly, a new type of liquid crystal with low voltage is used. Then the sequence of process on the color filter is changed, and the insulated passivation layer on the TFT side of glass substrate is patterned and thinned. There are two schemes for thinning. One is to make partial thinning on passivation layer directly, leaving some residual thickness. The other is to replace the residual thickness of passivation layer with SiO_x layer. The characteristics of transmittance and electric field after changing design are simulated by the method of numerical analysis. These results of simulation show that the saturation voltage of this original architecture can be

收稿日期:2019-06-08;修订日期:2019-08-22.

* 通信联系人, E-mail: smartchung@ivo.com.cn

reduced from 5.4 V to 4.3 V by using low-voltage liquid crystal and the new design for thinning can further reduce the saturation voltage by 9.30% and 13.95% respectively. The decrease of saturation voltage on liquid crystal indicates that the operating voltage of liquid crystal on new architecture with energy-saving will be lower than that on the prior one, and then the overall power consumption of display panel will be reduced to satisfy the demand of hybrid viewing-angle LCD with low power consumption.

Key words: low power consumption; a-Si; LCD; hybrid viewing angle; architecture design

1 引言

随着近几年来,智慧型手机和平版电脑等移动装置的急速发展,多媒体功能越来越全面,液晶显示屏(Liquid Crystal Display, LCD)被广泛地运用在现代社会中。然而这些强大功能的运作,需要计算机程序、微电子器件、触控屏以及通讯网络的同步支持才能实现,电源续航时间的长短是一个关键问题。在全球化节能热潮的推动下,我们从显示能耗着手,尝试在制程方式上改善显示屏的耗电问题,进而在行动装置有限的电池容量上,增加消费者的操作时间。

本文在原有具视角可切换功能(Hybrid Viewing Angle, HVA)的边缘场开关(Fringe Field Switching, FFS)负性向列相液晶显示屏基础上^[1-2],提出一种新型的低电压液晶运用,并根据这个基础在薄膜晶体管(Thin-Film Transistor, TFT)制程架构上做出进一步的改良。藉由改动彩膜(Color Filter, CF)侧玻璃基板上的氧化铟锡(Indium Tin Oxide, ITO)层^[3]位置,和对 TFT 侧玻璃基板上的第二绝缘钝化(Passivation, PV)层进行部分减薄和置换。我们对所提出的新型节能设计进行数值仿真,分析其屏内各电场交互作用与强度,探讨部分减薄和置换处对液晶水平扭转角的影响;通过 V-T 特性曲线提取液晶饱和电压,并评估所能节省的逻辑功耗大小。

2 低功耗液晶显示屏设计

2.1 原有架构与低电压液晶

图 1 为目前在 LCD 像素设计上所广泛使用且技术成熟的 HVA 基础架构。此处 TFT 侧的堆迭分别由栅极(Gate)金属、栅极绝缘层(Gate Insulator, GI)、非晶硅(a-Si)、源极/漏极

(Source/Drain, S/D)金属、第一钝化层(PV1)、保护层(Overcoat, OC)、底层氧化铟锡(B-ITO)、第二钝化层(PV2)和顶层氧化铟锡(T-ITO)所组成。而 CF 侧则是由黑色矩阵(Black Matrix, BM)、色层(RGB)、ITO 层和 OC 层所构成。其中需要注意的是, PV2 层是在沉积后利用干刻法来进行图案化,而 CF 侧的 ITO 则是被置于 RGB 层与 OC 层中间。

为了达到降低功耗的需求,低电压液晶首先被运用在显示屏的新设计中,此处我们选用石家庄诚志永华显示材料有限公司的负性 FFS 液晶。由图 2 可知,在原有架构不改动的前提下,新旧两种液晶的透过率极大值分别为 5.94% 与 5.96%,

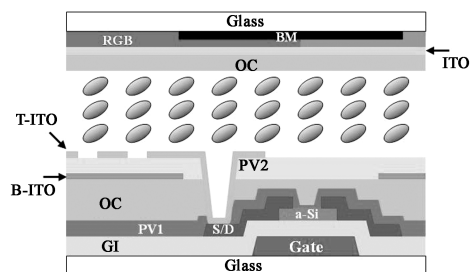


图 1 原有的 TFT-LCD 基础架构示意图

Fig.1 Drawing of conventional architecture for our TFT-LCD

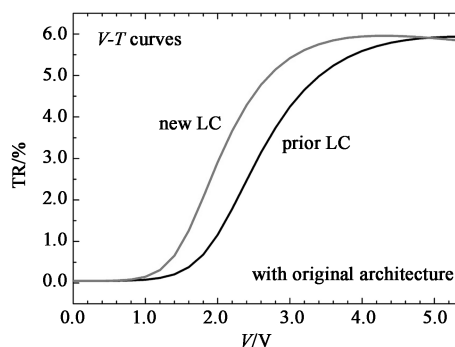


图 2 原有架构下不同液晶的 V-T 曲线比较

Fig.2 Comparison of V-T curves for different LC on conventional architecture

两者差异只有旧液晶的 0.34%，对显示屏整体透过率没有太大影响。但新液晶的 V - T 特性曲线整体都比旧液晶的 V - T 曲线偏左，表示我们可以提取到较低的液晶饱和电压 (V_{sat}) 和操作电压 (V_{op})。新旧液晶的 V_{sat} 、实测 V_{op} 与基本物理参数，如清亮点 (T_{ni})、双折射率 (Δn)、介电各向异

性 ($\Delta\epsilon$)、流动黏度 (γ_1)、展曲弹性常数 (K_{11})、弯曲弹性常数 (K_{33}) 等，被记录在表 1 中。如表 1 的测量结果所示，新型液晶的实测 V_{op} 为 3.4 V，较原有液晶的 5.0 V 降低了 1.6 V (约减少 32%)，此结果表明新型低电压液晶对节省显示屏的功耗有很大的帮助。

表 1 低电压液晶的特性参数

Tab.1 Properties of LC with low operating voltage

LC	V_{sat}/V	$V_{\text{op}}(\text{实测})/\text{V}$	$T_{\text{ni}}/^{\circ}\text{C}$	$\Delta n(25^{\circ}\text{C})$	$\Delta\epsilon(25^{\circ}\text{C})$	$\gamma_1(25^{\circ}\text{C})/(\text{mPa}\cdot\text{s})$	$K_{11}(25^{\circ}\text{C})/\text{pN}$	$K_{33}(25^{\circ}\text{C})/\text{pN}$
原有	5.4	5.0	70.1	0.108 1	-3.8	80	12.4	13.8
新型	4.3	3.4	69.8	0.107 9	-5.6	103	11.8	12.8

2.2 部分减薄的低功耗设计

在运用低电压液晶的基础上，我们尝试对 TFT-LCD 制程的架构设计再做一些改动，以进一步降低 HVA 显示屏的功耗。新型节能设计与原架构的差异主要体现在两个方面，具体细节如图 3 和图 4 所示。

(1)CF 侧；改动 ITO 层的位置，将原本置放

在 RGB 与 OC 两层中间的 ITO 层，更换到玻璃基板与 RGB 层；或 BM 与 RGB 层之间。这个制备工序的变化，虽然有别于传统 TFT-LCD 工艺的作法，有使 ITO 薄膜附着力降低的可能，但是对屏内垂直电场的改进有所帮助。

(2)TFT 侧；设计 A，如图 3 所示，在 T-ITO 层图案化蚀刻完成后，让 PV2 层膜厚根据电极图案进行部分减薄^[4]，减薄后所剩余的厚度，我们将其命名为 PV3 层；设计 B，如图 4 所示，先镀上 SiO_x 层取代 PV3 层，只改变 PV2 与 SiO_x 的膜厚关系，且 PV2 层不另做部分减薄，直接依电极图案蚀刻。

此处所利用的 SiO_x 为一种可透光材料，该材料能隙大小约在 1.9~3.0 eV 间^[5-6]。其他材料均为现在 TFT-LCD 制程所常用的材料，制备工艺都兼融量产制程。

2.3 新设计制程工艺验证

改动 CF 侧玻璃基板上 ITO 的工艺顺序，会使 OC 层与 RGB 层直接相连，这种工序与一般广视角的 IPS 和 FFS 模式 LCD 产品相同。因此我们没有对该薄膜层间的应力关系再加以测试，但是经过高压加速老化寿命试验 (Pressure Cooker Test, PCT) 后，发现各膜层间附着力的差别并不存在，故能合理推测此变化对制程不会造成过大的影响。而 TFT 侧新设计在制程上多了膜厚减薄与替换的工艺，所以需要对制程工艺进行再验证。如图 5 所示，在设计 A 的方案中，我们利用半色调掩膜与剥离法，在 T-ITO 层的湿蚀刻工序完成后，保留光阻 (Photo Resist, PR) 用来对

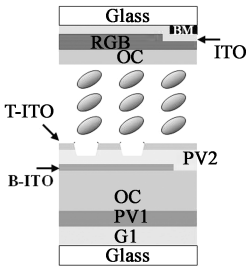


图 3 低功耗架构设计 A 截面图

Fig.3 Cross section of design A with low power consumption

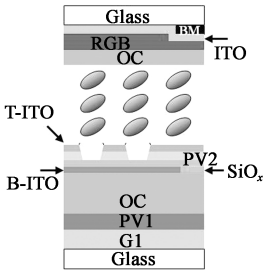


图 4 低功耗架构设计 B 截面图

Fig.4 Cross section of design B with low power consumption

PV2 层多加一道干蚀刻的工序,使 PV2 膜厚能够根据 ITO 电极图案进行部分减薄的蚀刻动作;此处所形成的凹槽,该深度需要大于 0 nm,小于等于 500 nm,若以 PV2 厚度 200 nm 为基准,优选深度为 120 nm。

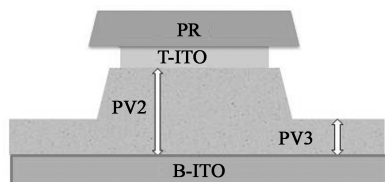


图 5 PV 层部分减薄的制备工艺简图

Fig.5 Process sketch of PV layer with partial thinning

图 6 为依照设计方案 A 进行 PV2 层二次蚀刻后的扫描式电子显微镜 (Scanning Electron Microscope, SEM) 实际形貌图,减薄后的 PV 层厚度可以在图中清楚地观察到,且各测量点的膜厚数值详细地列在表 2 中。由上述图表可知,利用半色调掩膜技术并透过 ECCP 模式的干蚀刻法,能确实地在原有 PV2 层上再蚀刻出 PV3 层。从图 6 还可以清楚地看出,PV3 层的蚀刻深度可以被很好地控制在 120 nm 左右,即残余厚度约在 80 nm。

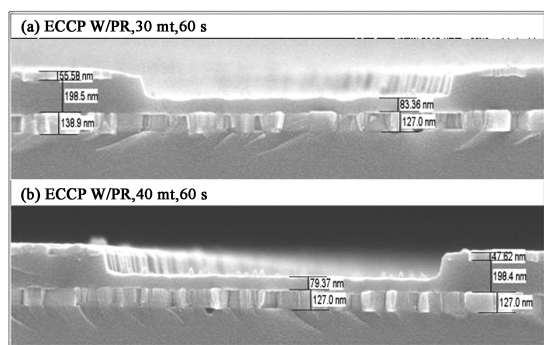


图 6 架构 A 上二次蚀刻后的实际结果

Fig.6 Photograph of design A after the second etching

表 2 架构 A 上二次蚀刻后的实际膜厚

Tab.2 Actual thickness of design A after the second etching

	Fig. 6(a)/nm		Fig. 6(b)/nm	
T-ITO	55.58		47.62	
PV	198.5	83.36	79.37	198.4
B-ITO	138.9	127.0	127.0	127.0

而在设计 B 的方案中,B-ITO 层的湿蚀刻工序完成后,会先镀上一层 SiO_x ,再依原有工序制备 PV2 层与 T-ITO 层;同样在 T-ITO 层完成图案化后,对 PV2 再次依电极图案进行干蚀刻,但蚀刻处不做厚度保留,具体细节参考图 7 所示。该 PV2 层与 SiO_x 层的蚀刻选择比大于 1,根据两层的刻蚀速率不同,每个 ITO 电极狭缝区域的 PV2 能完全刻蚀去除;在去除这些 PV2 时,由于 SiO_x 更加致密,不易被刻蚀,因此避免 SiO_x 层被刻蚀穿透,能更好地保护下面的 B-ITO 层,而无需担心因蚀刻速率控制不当所导致的膜厚不均或过刻问题。在产品上,因为不易发生短路,从而能提升产品良率。

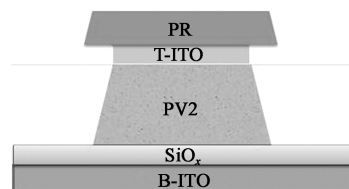


图 7 带有 SiO_x 层的制备工艺简图

Fig.7 Sketch of the process with SiO_x layer

此处 SiO_x 的膜厚为 30~50 nm,PV2 的膜厚为 100~250 nm。PV2 之所以采用较大的膜厚,是因为上下两层 ITO 间需要形成储存电容 (C_{st}),如果 PV2 做得太薄,则不利于电极的充电保持。而 SiO_x 的厚度可以维持相近的光学水准,大幅度降低操作电压,达到节省功耗的目的。图 8 为设计方案 B 的制程工艺实验,主要是为了决定 ITO 电极狭缝区域再次刻蚀的速率与时间,来达到对该区域 PV 的完全刻蚀。

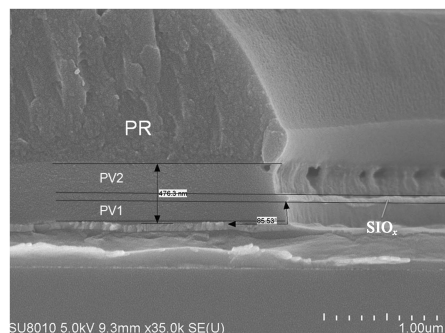


图 8 架构 B 蚀刻验证实验的 SEM 图

Fig.8 Photograph of etching experiment for design B

3 液晶电场分析与仿真结果

3.1 仿真架构与电场方向

HVA 技术的液晶工作原理^[2]如图 9(a) 所示,窄视角显示模式时会利用 CF 侧 ITO 施加电场,使液晶分子额外产生倾角,造成斜视角方向漏光以达到防窥功能。所以在运行架构仿真时,必需考虑 CF 侧的 ITO 电极对仿真结果的影响。此处使用 TechWiz 模拟软件进行液晶盒结构评估,建立 FFS 显示模式的像素电极模型,盒厚设置为 $3.1\ \mu\text{m}$,通过仿真确定合适的 CF 预倾角与 CF 侧 ITO 电极的电压大小。

基于面内转换 (In-Plane Switching, IPS)^[7-8]和 FFS 技术的工作原理^[9-11],液晶分子受到屏内各处电场的交互作用后,其在水平方向的扭转程度会造成入射光透过率的变化^[8-9]。如图 9 所示,在液晶分子立体的旋转空间中,将电场的横穿方向定为 x 轴,其正交方向定为 y 轴,而从 TFT 侧到 CF 侧的盒厚方向定为 z 轴。液晶分子经过摩擦槽和锚定力的处理,会以预倾方位角 $\hat{c}$ 朝同一方向排列,在 x - y 平面上形成配向各向异性。此时 y 轴电压分量的大小,会影响 y 方向

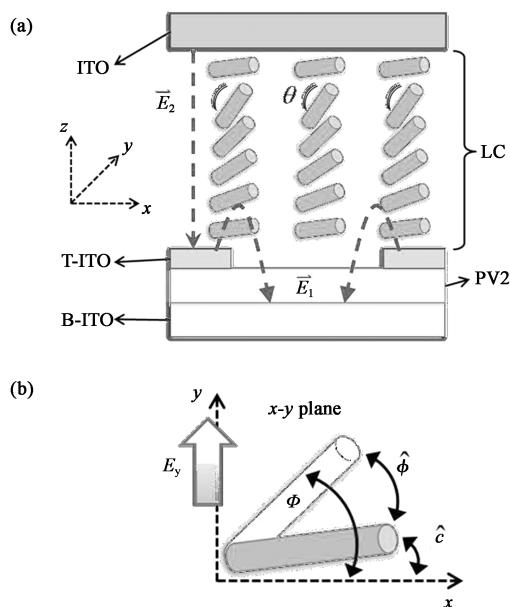


图 9 液晶盒电场分布示意图。(a)垂直截面;(b)水平截面。

Fig.9 Distribution of electric field in a LC cell. (a) vertical section;(b) horizontal section.

电场的强度,并改变液晶分子在水平方向的转动角度 $\hat{\phi}$,如图 9(b)所示。

3.2 液晶电场随盒厚变化

我们对饱和电压下的液晶电场加以分析,图 10 为垂直电场强度 E_z 和电场绝对值大小 $|E|$ 随盒厚变化的仿真结果。在电场的仿真过程中可以发现,同样处于饱和电压时,靠近 TFT 侧 PV2 层与 SiO_2 层的厚度变动,对架构 A 和架构 B 都会增加垂直向下电场的强度。若以原架构盒厚 $0.4\ \mu\text{m}$ 的位置为例,设计 A 在该处的垂直电场 E_z 会增强 2.93%,设计 B 则会增强 9.23%。而 CF 侧 ITO 置换所形成的垂直间距增加,主要反应在能使屏内垂直电场趋近完全同向,减少电场损耗。若只从垂直电场 E_z 的强度来看,设计 A 与设计 B 在盒厚 $2.8\ \mu\text{m}$ 的位置上,其大小分别为 $62,279\ \text{V/m}$ 和 $67,537\ \text{V/m}$,是原架构电压幅值的 36.35% 和 39.42%;但与各自的电场绝对值相比则分别为 98.88% 和 99.92%。因此,将 RGB 层置于 ITO 电极与 T-ITO 电极之间,除了会在 CF 侧从驱动液晶的电压幅值中分去一定压降外,并不会对电场随盒厚的变化趋势造成大幅度的改动。

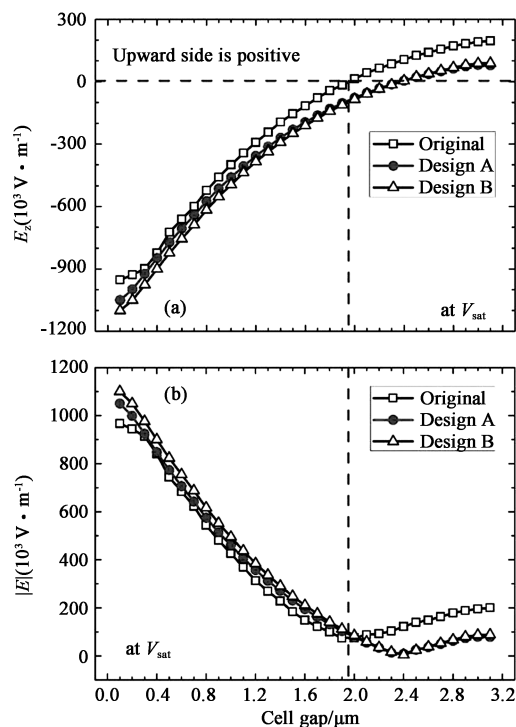


图 10 电场绝对值与 z 方向分量的仿真曲线

Fig.10 Simulations of average electric field and the component along z -axis

3.3 水平扭转角随盒厚变化

图 11 为新型低电压液晶在被部分减薄后的 ITO 电极狭缝区域上,于饱和电压时水平扭转角随盒厚变化的仿真示意图。当扭转角随电场变化且越接近 45° ,该处的透过率 T_r 会越向最大值靠近。透过率公式如式(1)所示^[12]。

$$T_r = \frac{1}{2} \sin^2(2\Phi) \cdot \sin^2\left(\frac{\pi \Delta n_{\text{eff}} \cdot d}{\lambda}\right), \quad (1)$$

式中: Φ 为液晶水平扭转角, Δn_{eff} 为有效双折射率, d 为盒厚, λ 为入射光波长。由图 11 可知,当施加电压为饱和电压时,除了靠近电极水平面的液晶水平扭转角有约 6.7% 的角度差异外,电极狭缝区域上整体的扭转角变化趋势并没有太大的不同。此外,考虑受电极边缘与刻蚀减薄所造成的边缘场效应^[10]影响,在盒厚约为 $1.2 \mu\text{m}$ 的位置时,水平扭转角会超过 45° 达到 50° 左右,且依架构不同而有所变化,该趋势与产品透过率的变化相似。

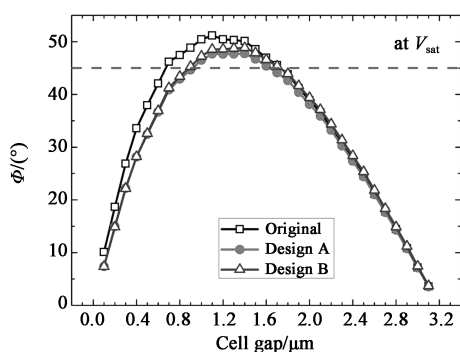


图 11 ITO 电极狭缝区域 Φ 角随盒厚变化示意图

Fig.11 Variation of angle Φ with cell gap at the area between ITO electrodes

3.4 透过率与电压的关系

由图 12 可知,原有架构、新架构 A 和新架构 B 三种设计所得到的透过率最大值分别为 5.96% 、 5.86% 和 5.77% ,数值上的差异约为原有架构的 3.19% 左右。而当仿真进行到透过率极大值附近时,可提取到饱和电压 V_{sat} ,因此得知在

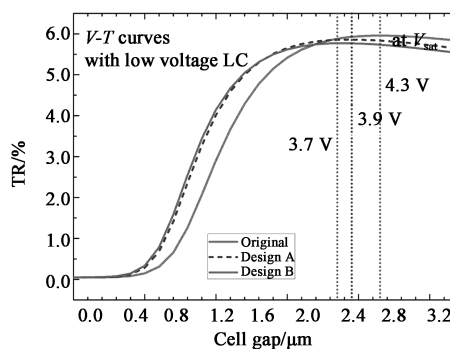


图 12 不同架构下液晶透过率随电压的变化

Fig.12 Variations of TR with various voltages in different architectures

使用低电压液晶的情况下,原有架构、新架构 A 和新架构 B 的 V_{sat} 值分别为 4.3 V 、 3.9 V 和 3.7 V 。此处两种新设计的 V_{sat} 值分别比原有架构减少 0.4 V 和 0.6 V ,约比原架构降低了 9.30% 和 13.95% ,这表明较低的 V_{op} 也可以在新架构与新液晶同时使用的情况下被实现。此种结果说明了在电压同样达到饱和值的情况下,两种新设计的水平扭转角虽然略小于原有架构,且透过率略为降低,但相对地具有较低的电压数值。图 12 为新旧 3 种不同架构在使用新型低电压液晶时 V - T 特性曲线的变化。

4 结 论

针对 IVO 所广泛使用的具有 HVA 功能负性 FFS 向列相液晶显示屏,本文提出几种新型节能的架构设计。基于实际量测的结果,在原有架构不变的前提下,使用新型低电压液晶的操作电压会比原有液晶低 32% 。若同时使用新型液晶,则新架构 A 与新架构 B 仿真后所提取到的液晶饱和电压会比原有架构的电压低 9.30% 和 13.95% ;而且可以直观地发现在透过率极大值的变化上与水平扭转角有相似关系。这些结果表明这几种节能新架构在 HVA 显示屏的灰阶操作上会具有较低的电压,进而能降低整体功耗且达到低功耗的特性需求。

参 考 文 献:

- [1] 许雅琴,苏子芳,钟德镇,等.基于使用负性液晶的边沿场切换模式的局部残影分析[J].液晶与显示,2015,30(3): 399-403.

- XU Y Q, SU Z F, ZHONG S, *et al.* Analysis of FFS image sticking with negative liquid crystal [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2015, 30(3): 399-403. (in Chinese)
- [2] 朱梦青, 陆建钢. 基于 FFS 架构实现宽窄视角切换[J]. *液晶与显示*, 2018, 33(3): 182-187.
ZHU M Q, LU J G. New viewing angle controllable with FFS-LCD [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2018, 33(3): 182-187. (in Chinese)
- [3] 李宏彦, 杨久霞, 吕艳英, 等. TFT-LCD 用彩色滤光片[J]. *现代显示*, 2005(6): 41-44.
LI H Y, YANG J X, LV Y Y, *et al.* Color filter for TFT-LCD [J]. *Advanced Display*, 2005(6): 41-44. (in Chinese)
- [4] YANG G Q, XIAO S L, SUN Y B. Insulation layer effect on electro-optic properties of fringe field switching liquid crystal display [J]. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 2013, 582(1): 15-20.
- [5] JANOTTA A, JANSSEN R, SCHMIDT M, *et al.* Doping and its efficiency in $a\text{-SiO}_x : \text{H}$ [J]. *Physical Review B*, 2004, 69(11): 115206.
- [6] BACIOĞLU A, KODOLBAŞ A O, ÖKTÜ Ö. Deposition of highly photoconductive wide band gap $a\text{-SiO}_x : \text{H}$ thin films at a high temperature without H_2 -dilution [J]. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2005, 89(1): 49-59.
- [7] 杨登科, 吴诗聪. 液晶器件基础(原书第二版)[M]. 郭太良, 周雄图, 译. 北京: 科学出版社, 2016.
YANG D K, WU S T. *Fundamentals of Liquid Crystal Devices (Second Edition)* [M]. GUO T L, ZHOU X T, trans. Beijing: Science Press, 2016. (in Chinese)
- [8] OH-E M, KONDO K. Electro-optical characteristics and switching behavior of the in-plane switching mode [J]. *Applied Physics Letters*, 1995, 67(26): 3895-3897.
- [9] LEE S H, LEE S L, KIM H Y. Electro-optic characteristics and switching principle of a nematic liquid crystal cell controlled by fringe-field switching [J]. *Applied Physics Letters*, 1998, 73(20): 2881-2883.
- [10] CHIANG K H F, WU S T, CHEN S H. Fringing field effect of the liquid-crystal-on-silicon devices [J]. *Japanese Journal of Applied Physics*, 2002, 41(7A): 4577-4585.
- [11] KIM D H, LIM Y J, KIM D E, *et al.* Past, present, and future of fringe-field switching-liquid crystal display [J]. *Journal of Information Display*, 2014, 15(2): 99-106.
- [12] KIM W C, JEONG Y H, LEE S H. Electrooptic characteristics of a fringe-field driven hybrid aligned nematic liquid crystal cell using a liquid crystal with positive dielectric anisotropy [J]. *Japanese Journal of Applied Physics*, 2004, 43(2): 637-641.

作者简介:



刘仕彬(1982—),男,台湾新北人,在站博士后,主要从事 TFT-LCD 新技术的研发工作。E-mail: ShihbinLiu@ivo.com.cn



钟德镇(1973—),男,台湾中坜人,硕士,主要从事 TFT-LCD 产品设计与技术研究工作。E-mail: smartchung@ivo.com.cn