

文章编号:1007-2780(2018)03-0182-06

基于 FFS 架构实现宽窄视角切换

朱梦青^{1,2}, 陆建钢^{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.昆山龙腾光电有限公司, 江苏 昆山 215301)

摘要:基于公共场合隐私保护的需求,宽窄视角可切换的液晶显示技术有着迫切的市场需求。现有宽窄视角切换技术不但增加了显示装置的厚度与成本,而且降低了原本宽视角模式下的显示效果。本文研究了一种基于负性液晶 FFS 模式的宽窄视角切换技术,它通过在彩色滤光片一侧形成高预倾角配向($40^\circ \sim 60^\circ$),在同侧第三电极施加强电场时,液晶分子离轴方向具有较大相位延迟,形成大视角观看时的暗态漏光与对比度下降,实现窄视角显示模式。而同侧第三电极施加垂直电场时,大的预倾角液晶分子因负介电各项异性使得倾角降低,可减少暗态漏光和提升对比度,实现宽视角显示模式。验证结果表明:宽视角模式时,其上下左右视角均可达到 85° 以上;而窄视角模式时,左右视角仅为 40° ,且具有较好的对称性。本技术结构简单,驱动灵活,在防窥显示领域具有很好的应用前景。

关键词:FFS 模式;对比度;视角可控

中图分类号:TN27 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20183303.0182

New viewing angle controllable with FFS-LCD

ZHU Meng-qing^{1,2}, LU Jian-gang^{1*}(1.School of Electronic Information and Electronic Engineering,
Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China;

2.InfoVision Optoelectronics Co., LTD., Kunshan 215301, China)

Abstract: Due to the privacy requirements of public places, viewing angle switchable liquid crystal display (LCD) technology has been an urgent market demand. The current viewing angle switchable technologies not only increase the thickness and cost of the display device, but also reduce the original wide viewing angle mode display. In this paper, a viewing angle controllable FFS mode with negative LC is proposed. By applying a high pre-tilt angle ($40^\circ \sim 60^\circ$) on the side of the color filter, the third electrode is ipsilateral as color filter. When a weak electric field is applied to the third electrode, LC molecules from the axis direction have a large phase delay. The formation of large viewing angle has the dark state of light leakage and contrast reduction, resulting in the narrow viewing angle display mode. When the strong electric field is applied to the third electrode, the LC molecules with large inclination angle decrease the inclination angle due to the negative dielectric anisotropy, which can

收稿日期:2017-11-08;修订日期:2018-01-05.

基金项目:国家自然科学基金(No.61775135)

Supported by National Natural Science Foundation of China (No.61775135)

* 通信联系人, E-mail: lujg@sjtu.edu.cn

reduce the dark light leakage and enhance the contrast, resulting in the wide viewing angle mode. The experiment results show that the viewing angle of all the direction can reach more than 85° in the wide viewing angle mode, and the left and right viewing angles are only 40° in narrow viewing angle mode with good symmetry. Due to the simple structure and flexible driving, the technology shows great potential application in anti-peep display.

Key words: Fringe Field Switching; contrast ratio; controllability of viewing angle

1 引言

液晶显示器(Liquid Crystal Display, LCD)具备轻薄、节能、无辐射等优点成为目前使用最为广泛的平板显示技术之一,边沿场切换技术(Fringe Field Switching)承接了面内场切换技术(In Plan Switching)的广视角特性,且搭配负性液晶时具有更高的穿透率,更好的暗态与更优的色彩显示而被应用于个人显示系统^[1-2],例如笔记本电脑、平板电脑、手机等便携电子产品上。普遍在使用的广视角技术,使得人们在不同的观察角度均能够看到清晰完整的画面显示,使用者能够与他人进行信息的分享;作为个人移动终端的产品,在一些公共场合使用时,当涉及到个人隐私与重要信息时,不希望被旁边的观察者窥见。因此对于显示装置,在家庭等场合使用,希望在与他人分享信息时具有宽视角的显示,而在车站等公共场合,个人使用时具有窄视角显示效果,来达到更好的防窥效果。

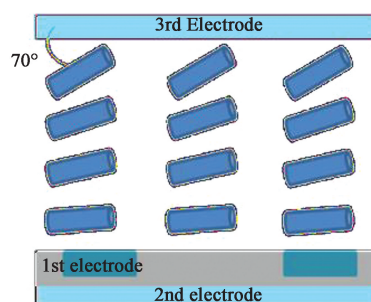
现有技术对于宽窄视角切换的实现有如下几个方面:(1)需要窄视角显示时贴附具有防窥功能的保护膜;(2)改变光源出射的方向来控制视角切换;(3)不同的像素单元实现宽窄视角显示。以上方法能够在现有显示基础上实现有效的宽窄视角切换功能。本文介绍宽窄视角切换技术是基于现有负性液晶的FFS显示模式,与上述方法不同的是单层液晶盒,通过控制CF侧预倾角与第三电极电压,改变液晶分子倾角来实现视角切换,具有轻薄化,操作简单,显示效果优,节约成本等优点^[3-8]。

2 工作原理

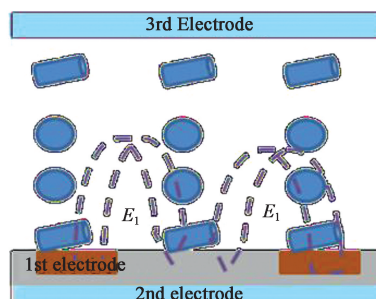
本文提出的视角切换原理架构如图1所示,阵列基板设置有第一电极与第二电极,彩膜(CF,

Color Filter)基板设置有第三电极,第一电极与第二电极分别为像素电极与公共电极,施加电压时形成面内边缘电场 E_1 ,第三电极施加控制宽窄视角的偏置电压,形成垂直电场 E_2 。上基板液晶分子具有高预倾角配向($40^\circ \sim 60^\circ$),下基板液晶分子配向为低预倾角(2°)。

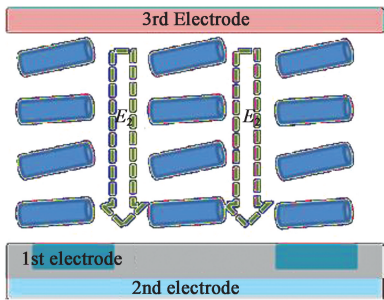
宽窄视角切换装置的工作原理如图1所示,窄视角显示模式时第三电极加弱电场。关态如图1(a)所示,像素电极不加电压,由于靠近上基板液晶具有的高初始预倾角,使得液晶分子离轴方向具有较大的相位延迟,造成暗态大视角方向漏光;开态如图1(b)所示,像素电极与公共电极施加对应的电压,使得液晶沿垂直电场 E_1 方向旋转,线偏振光经过液晶后以椭圆偏振光出射,具有正常的白态显示效果,窄视角下的暗态漏光使得对比度下降,造成视角减小的窄视角状态。宽视角显



(a)窄视角模式暗态
(a)OFF state of NVA mode

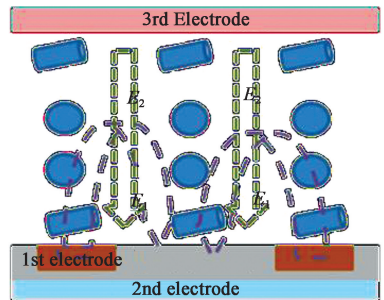


(b)窄视角模式亮态
(b)ON state of NVA mode



(c) 宽视角模式暗态

(c) OFF state of WVA mode



(d) 宽视角模式亮态

(d) ON state of WVA mode

图 1 宽窄视角切换原理图

Fig.1 Diagram of viewing angle switching

示模式时如图 1(c)(d), 第三电极施加交流电压, 形成垂直电场 E_2 , 负性液晶垂直电场排列, 倾角降低, 暗态漏光降低, 开态为 E_1 和 E_2 电场共同作用下, 具有与常规 FFS 显示相同的效果。

3 仿真分析与实验验证

FFS 显示与 IPS 显示一样为常黑显示模式, 液晶分子在横向电场 E_1 的作用下沿着指定的方向发生转动, 从而控制光的透过量, 液晶分子属于一轴性媒质, 两侧的偏光板垂直正交, 透过 TFT 侧偏光板的光沿着垂直上下基板的方向前进, 从 CF 侧偏光板的光透过率如式(1)所示:

$$T = \frac{1}{2} \sin^2(2\varphi) \sin^2\left(\frac{\Gamma}{2}\right), \tag{1}$$

其中: φ 为液晶分子的方位角, Γ 相位延迟表示如式(2)所示:

$$\Gamma = \frac{\pi \Delta n d}{\lambda}, \tag{2}$$

其中: Δn 表示液晶的双折射率, d 为液晶盒厚, λ 表示光波长。根据式(1), 当 $\varphi = \frac{\pi}{4}$ 且 $\Gamma = \pi$ 时,

透过率最大。反之, 有两种可以获得暗态的办法, $\varphi = 0$ 或 $\Gamma = 0$, 当像素电极与公共电极不加电压时, 上下液晶沿相同方向排列, 此时 $\varphi = 0$ 具有很好的暗态效果; $\Gamma = 0$ 可以通过增大液晶预倾角来使液晶垂直排列, 此时倾斜方向的光学各向异性导致大视角漏光存在^[9-10]。

本文使用 TechWiz 模拟软件进行评估, 建立基于 FFS 显示模式的像素电极模型, 使用负性液晶 ($\Delta n = 0.11$, $\Delta \epsilon = -3.9$, $\gamma_1 = 100.4 \text{ mPa} \cdot \text{s}$) 材料, 盒厚设置为 $3.3 \mu\text{m}$, 通过模拟确定合适的 CF 预倾角与第三电极电压大小。

窄视角显示模式下, 由于 CF 侧液晶受配向膜锚定能作用, 保持初始的高预倾角状态, 离轴方向相位延迟大, 暗态漏光。模拟比较不同的预倾角大小影响如表 1 所示, 随着液晶预倾角从 30° 增大到 70° , 倾斜方向的光学各向异性导致左右视角由 37° 变窄到 19° , 上下视角仍维持在 85° , 同时中心对比度在预倾角大于 60° 时明显下降。本文所讲的防窥主要针对左右视角方向, 为了兼顾对比度与左右窄视角效果我们选择 50° 为最佳初始预倾角大小。

表 1 窄视角随 CF 侧预倾角变化

Tab.1 NVA mode with CF pre-tilt angle

Top pre-tilt angle & Viewing angle					
Top Pre-tilt	30°	40°	50°	60°	70°
Up	85°	85°	85°	85°	85°
Down	85°	85°	85°	85°	85°
Left	37°	28°	23°	20°	19°
Right	37°	28°	23°	20°	19°
Center CR	1 287	1 288	1 292	1 295	1 278

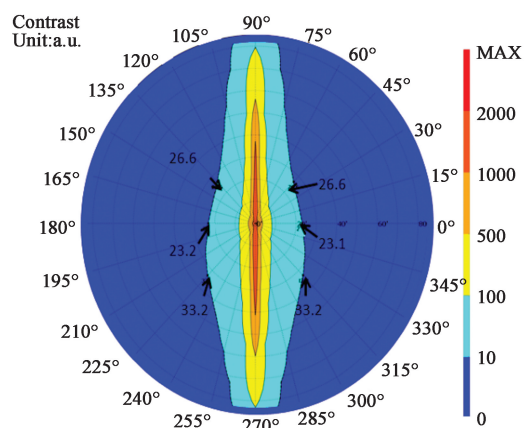
不同的 CF 侧第三电极电压对宽视角的影响如表 2 所示, 第三电极电压在 $0 \sim 4 \text{ V}$ 时, 因电极电压增强, 高预倾角的负性液晶倾角会越小, 在第三电极电压为 4 V 时, 左右视角可达到 78° , 但随着电压的进一步增强, 形成过饱和导致视角降低, 在保证具有全方位宽视角效果与更高透过率, 第三电极电压为 4 V 时最优。宽视角显示模式下, 暗态显示无漏光, 对比度较大, 视角表现良好。

表 2 第三电极电压效果

Tab.2 The third electrode Voltage effect

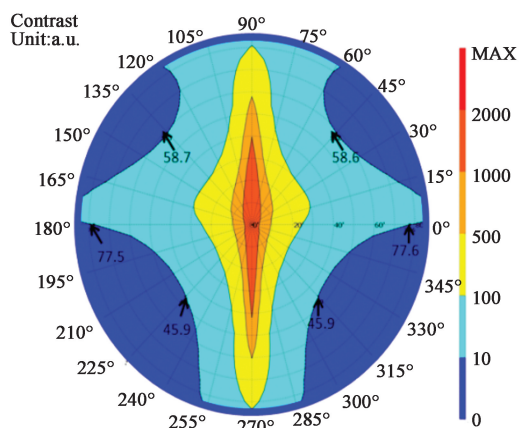
Top pretilt Angle 50°						
Bias Voltage	0V	3V	4V	5V	6V	7V
Up	85°	85°	85°	85°	85°	85°
Down	85°	85°	85°	85°	85°	85°
Left	23°	71°	78°	70°	66°	60°
Right	23°	71°	78°	70°	66°	60°
Center CR	1 292	1 362	1 307	1 207	1 039	831

本文基于现有的负性液晶 FFS 显示模式下,通过设置 CF 侧初始预倾角为 50°与第三电极电压 4 V 控制实现宽窄视角切换的视角特性,仿真



(a) 窄视角模式

(a) NVA mode



(b) 宽视角模式

(b) WVA mode

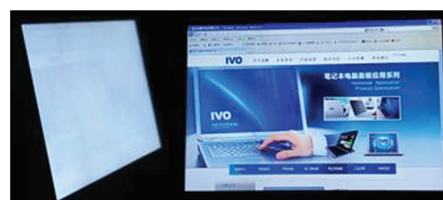
图 2 宽窄视角图

Fig.2 WVA and NVA mode viewing angle

结果如图 2 所示,从结果可以看出,当窄视角显示时,由于 CF 侧液晶的初始预倾角较高,因此存在暗态左右视角方向漏光,具有左右视角 23°的防窥效果,宽视角模式第三电极施加的电压降低了液晶倾角,具有与常规 FFS 显示相似效果上下左右大于 75°的全方位视角结果。

为对视角切换技术进行验证,我们在 12.5 in 产品上进行了相关实验,产品采用 1 366×768 分辨率,有效显示区域为 275.59 mm×154.94 mm,电极材料选用氧化锡,像素电极宽度和间距分别为 3 μm 和 4 μm ,液晶采用国产负性液晶,CF 初始预倾角为 50°,偏振器平行与垂直的透过率分别为 35%与<0.001%。

标准定义对比度 ≥ 10 的角度为可视角度,然而在观看文字与图片等时,当对比度 ≥ 3 时,均具有可视性,因此根据实际可视角的效果,我们定义对比度 ≥ 3 的角度为实际可视角度,图 3 为 12.5 in 产品宽窄视角显示效果图,窄视角在左右 40°时内容模糊,基本不可识别,宽视角模式下,左右视角 40°下文字清晰、图片颜色鲜艳,与常规宽视角显示相同。

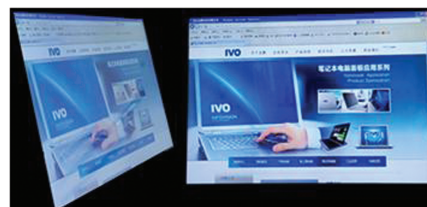


Angle view

Direct view

(a) 窄视角模式

(a) NVA Mode



Angle view

Direct view

(b) 宽视角模式

(b) WVA Mode

图 3 12.5 in 宽窄视角切换显示面板

Fig.3 Prototype 12.5 in diagonal VAC-FFS-TFT-LCD

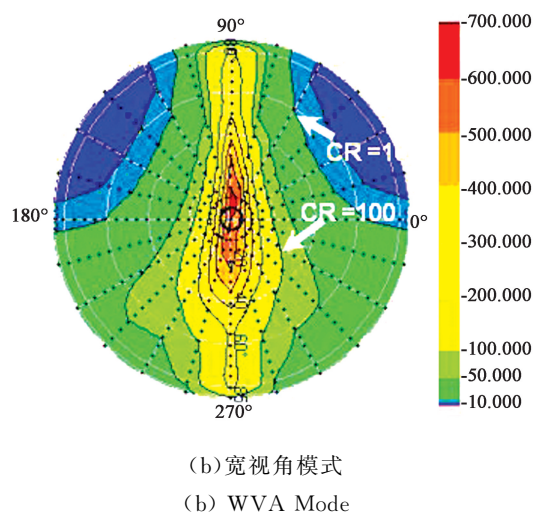
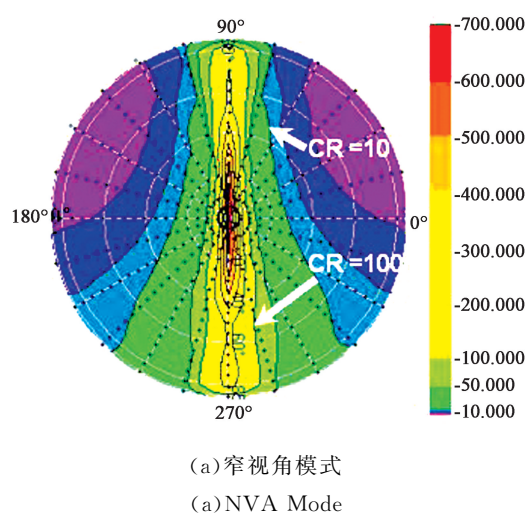


图 4 入射光 380~780 nm 下等对比度曲线

Fig.4 Isocontrast curves at an incident wavelength of 380~780 nm

实际量测入射光 380~780 nm 下等对比度曲线如图 4 所示,其中绿色区域对比度 ≥ 10 ,青色为对比度 ≥ 3 的边界区域,由图中可以看出,窄视角显示模式下,对比度 ≥ 10 的区域仅为左右 25°的范围,与模拟结果相同,但实际以人眼可见时对比度 ≥ 3 的在左右 40°,本实验验证对应的电场方向为上下方向,下基板液晶初始配向为上下配向,其可视区域面积呈现扇形,与其配向方向相一致。宽视角显示模式下,图中基本均为对比度 ≥ 10 ,具有很好的宽视角显示效果。

4 结 论

本文提出了一种基于负性液晶 FFS 模式的宽窄视角切换技术,介绍了其结构和工作原理,基于最优的模拟结果,在彩色滤光片侧形成高预倾角配向($40^\circ \sim 60^\circ$),通过在同侧第三电极施加电场强弱来实现宽窄视角的切换功能。实验验证表明:基于 FFS 的负性液晶显示器,通过在 CF 形成初始高倾角实现左右为 40° 的窄视角显示模式;增加第三电极电压 4V 实现全方位的宽视角显示模式。本文研究的宽窄视角切换技术实现简易,不会带来额外的制作及材料成本,对防窥技术发展具有重要影响。

致谢: 感谢国家自然科学基金项目 (No. 61775135) 对本项目的大力支持。

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 D Z, 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] 马群刚. TFT-LCD 原理与设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011: 50-53.
MA Q G. *Principles and Design of TFT-LCD* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2011: 50-53. (in Chinese)
- [3] YING Y B, WANG J P, JIANG H Y. Inspecting diameter and defect area of fruit with machine vision [J]. *Transactions of the CSAE*, 2002, 18(5): 216-220.
- [4] CHIENK W, HSU Y J, CHEN H M. Dual light source for backlight systems for smart viewing-adjustable LCDs [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2006, 37(1): 1425-1427.
- [5] EUN J, YOUNG J L, JOHN M R, et al. Viewing angle switching of vertical alignment liquid crystal displays by controlling birefringence of homogenously aligned liquid crystal layer [J]. *Applied Physics Letters*, 2007, 90

- (5): 051116.
- [6] YOUNG J L, JIN H K, JUNG H H, *et al.* Viewing angle switching of liquid crystal display using fringe-field switching to control off-axis phase retardation [J]. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 2010, 43(8): 085501.
- [7] ZHU M Q, ZHANG S N, HUANG X, *et al.* The optical properties of viewing angle controllable LCD [C]//International Display Workshops. Sendai, Japan, 2017: 219-221.
- [8] 冷金苹.可控视角 LCD 的原理研究及验证[D].成都:电子科技大学,2010.
LENG J B. The principle research and verification of viewing angle controlled LCD [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology, 2010. (in Chinese)
- [9] 吴婷婷,苏子芳,钟德镇,等.一种新的视角可控的液晶显示仿真研究[J].液晶与显示,2015,30(3):538-542.
WU T T, SU Z F, ZHONG D Z, *et al.* New viewing angle controllable LCD [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2015, 30(3): 538-542. (in Chinese)
- [10] BAEK J I, KWON Y H, KIM J C, *et al.* Dual-mode switching of a liquid crystal panel for viewing angle control [J]. *Applied Physics Letters*, 2007, 90(10): 101104.

作者简介:朱梦青(1991—),女,陕西武功人,硕士研究生,主要从事 LCD 的研发工作。E-mail: mengqingzhu@ivo.com.cn