

文章编号:1007-2780(2016)09-0847-06

窄视角蓝相液晶显示器

刘建龙,马红梅,孙玉宝*

(河北工业大学 应用物理系,天津 300401)

摘要:基于克尔效应的聚合物稳定蓝相液晶显示器被设计出窄视角显示模式,用于公共场所下私人信息的保护。通过使用几个简单的单轴膜,聚合物稳定蓝相液晶显示器就可以呈现出极佳的窄视角效果,即,对比度大于 10°的可视区在 20°极角范围内。此外,该显示器的驱动电压为 14 V,最大透过率为 71%,不仅满足了当前主流非晶硅薄膜晶体管的驱动需求,还进一步提高了背光源的光利用率。本文提出的窄视角蓝相液晶显示器与传统的窄视角模式相比较而言,没有复杂的电极结构以及繁琐的补偿方案,较 3M 公司的保护膜而言,具有生产成本低的优势,这些优势使其具备了在工业上生产的条件。在信息时代,窄视角液晶显示器将在防止私人信息的泄露上扮演越来越重要的作用。

关键词:聚合物稳定蓝相液晶;窄视角;信息保护;低电压驱动

中图分类号:TN141.9 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20163109.0847

Blue phase liquid crystal display for narrow viewing angle

LIU Jian-long, MA Hong-mei, SUN Yu-bao*

(Department of Applied Physics, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China)

Abstract: Polymer-stabilized blue-phase liquid crystal display based on Kerr effect is designed to realize the narrow viewing angle mode for information protection in public. Through using several uniaxial films, the polymer-stabilized blue-phase liquid crystal display can exhibit a good narrow viewing angle, whose contrast ratio over 10 : 1 is only within 20 viewing cone as expected. Moreover, the operating voltage of the proposed device has been reduced to 14 V, which can be driven by the mainstream a-Si TFTs and achieved the peak transmittance 71%, which can make the LCD more efficient in availability ratio of the backlight. Compared with the conventional narrow viewing angle mode, the proposed device does not have complex electrode structure or a number of compensation films, which can satisfy the standard to produce in industry. The narrow viewing angle of the LCD will play more and more important part in avoiding the leakage of personal information in the information age.

Key words: polymer-stabilized blue phase liquid crystal; narrow viewing angle; information protection; low operating voltage

收稿日期:2016-04-29;修订日期:2016-06-15.

基金项目:国家自然科学基金 (No. 11304074, No.61475042, No. 11274088); 河北省自然科学基金 (No. A2015202320); 河北高校重点学科建设项目 (No.GCC2014048)

Supported by National Natural Science Foundation of China (No. 11304074, No. 61475042, No. 11274088); National Natural Science Foundation of Hebei Province (No. A2015202320); Key Subject Construction Project of Hebei Province University (No.GCC2014048)

* 通信联系人, E-mail: sun_yubao@163.com

1 引言

在信息化的今天,共面开关模式、边缘场开关模式、多畴垂直取向模式等液晶显示器已经完全能够实现宽视角。一方面,人们致力于研究如何实现液晶显示器宽视角和窄视角的切换^[1-6],即,当人们处于公共场所下,需要开启窄视角显示模式;当人们愿意与身边的人分享信息时,需要开启宽视角显示模式;另一方面,视觉黑客可能窃取你的隐私与信息,当你在公共场所下使用液晶显示器的宽视角模式。此外,一些特殊的私人信息,如,账号、密码,商务数据等需要在公共场所下实现严格的保密。更值得一提的是,特定公共场所下的液晶显示器只需要窄视角显示模式^[7-8],例如,银行自动取款机,售卖机,信息查询机以及经常在旅途中办公的人们使用的液晶显示器等等。所以,研发一款制作工艺简单、生产成本低,窄视角效果优良的液晶显示器显得尤为重要。

聚合物稳定蓝相液晶由于具有以下诸多革命性优点^[9-17],被誉为下一代液晶显示技术。(1)亚毫秒的响应速度,使其比当前主流的向列相液晶显示器的响应速度大约快了近 10 倍;(2)不需要取向层,可以大大简化制作工艺,降低生产成本;(3)关态时,是光学各向同性,所以能够形成宽且对称的视角;(4)当蓝相液晶盒的厚度超过一定值时,透过率对其变得不再敏感,适于制作大屏液晶显示器。此外,通过使用凸起电极以及优化电极参数,我们能够实现蓝相液晶显示器的低电压驱动和高透过率。

在本文中,我们提出并设计了一种低电压驱动、高透过率的窄视角蓝相液晶显示器。该显示器相对于传统的窄视角显示器而言,没有设计复杂的电极结构和使用大量的补偿膜^[18-19],而且相对于当前 3M 公司生产的私人信息保护膜而言,在保持优良的窄视角显示效果的前提下,具有生产成本低的优势。

2 结构与原理图

2.1 窄视角液晶显示器的结构图

图 1 为聚合物稳定蓝相液晶显示器的结构原理图。蓝相液晶盒被夹在正交的偏光片中间。凸

起电极位于下玻璃基板的上表面,用于实现液晶显示器的低电压驱动和高透过率。 $+a$ 膜位于检偏器与上玻璃基板之间; $-c$ 膜与 $-a$ 膜分别位于起偏器与下玻璃基板之间,用于实现液晶显示器的窄视角显示。

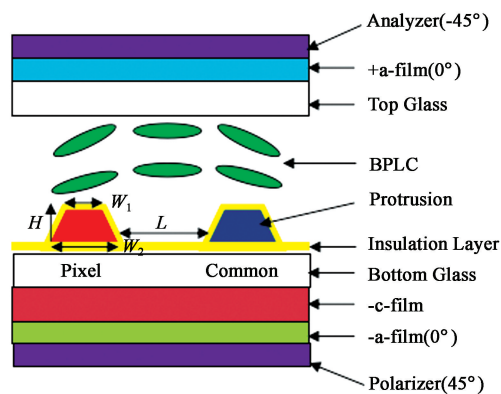


图 1 窄视角蓝相液晶显示器的结构原理图

Fig. 1 Schematic diagram of the proposed blue phase liquid crystal display for narrow viewing angle

2.2 蓝相液晶的工作原理

在暗态时,蓝相液晶处于光学各向同性,所以能够呈现一个非常好的暗态;当施加外电场时,蓝相液晶在外电场的作用下产生诱导双折射,随着外电场的增加,诱导双折射达到饱和,这种效应被称为拓展克尔效应^[20-22]。诱导双折射与外电场的关系可以用公式(1)表示:

$$\Delta n_{\text{ind}} = \Delta n_0 \left\{ 1 - \exp \left[-\frac{E}{E_s} \right]^2 \right\}, \quad (1)$$

其中: Δn_0 代表饱和双折射率, E_s 代表饱和电场强度。

为了模拟计算窄视角蓝相液晶显示器的电光特性与视角特性,我们使用三维模拟商业软件 TechWiz LCD 3D 进行模拟仿真。模拟计算中,我们将参数设置如下:蓝相液晶的饱和电场为 $E_s = 4.3 \text{ V}/\mu\text{m}$,饱和双折射率为 $\Delta n_0 = 0.14$,水平方向的介电常数为 $\epsilon_{\parallel} = 112$,垂直方向的介电常数为 $\epsilon_{\perp} = 18$,其相应的克尔常数为 $13.7 \text{ nm}/\text{V}^2$,蓝相液晶层的厚度 $d = 10 \mu\text{m}$ 。凸起电极的顶部宽度为 $W_1 = 1 \mu\text{m}$,底部宽度为 $W_2 = 2 \mu\text{m}$,电极间隙为 $L = 4 \mu\text{m}$,凸起高度 $H = 5 \mu\text{m}$,电极厚度为 $0.1 \mu\text{m}$ 。电极绝缘层的厚度为 $0.1 \mu\text{m}$,其介电常数为 $\epsilon = 3.8$ 。单轴膜 $+a$ 膜, $-c$ 膜, $-a$ 膜的厚度分别

为 $13.75\ \mu\text{m}$, $75\ \mu\text{m}$, $13.75\ \mu\text{m}$ 。我们使用单波长的绿光作为入射光($\lambda = 550\ \text{nm}$)。所用偏光片为 G1220DU: $n_e = n_o = 1.5$, $k_e = 1.929 \times 10^{-3}$, $k_o = 1.929 \times 10^{-5}$, 偏光片的厚度为 $230\ \mu\text{m}$ 。

图2为共面开关模式的蓝相液晶显示器与凸起电极共面开关模式的蓝相液晶显示器的电光曲线对比图。从图中可以得知:凸起电极的引入,可以将驱动电压从 $83\ \text{V}$ 降低到 $14\ \text{V}$,使其能够满足当前主流非晶硅薄膜晶体管的驱动需求;透过率从 61% 提高到 71% ,进一步提高了背光源的光利用率。所以,具有凸起电极结构的蓝相液晶显示器,可以克服共面开关模式蓝相液晶显示器驱动电压过高,透过率较低这两大技术难题。

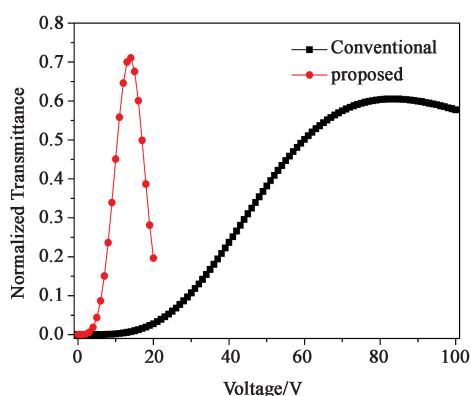
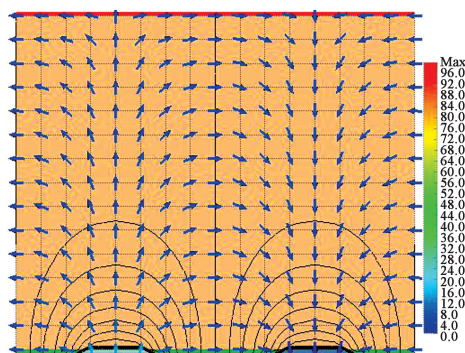


图2 两种模式的电光曲线图

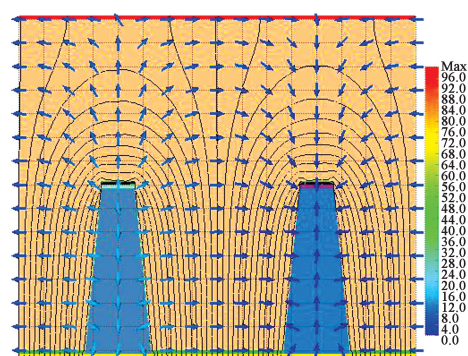
Fig.2 Voltage dependent transmittance curves of two modes

为了更加深入地理解为什么凸起电极的引入可以实现蓝相液晶显示器的低电压驱动和高透过率,我们给出了共面开关模式的蓝相液晶显示器与凸起电极共面开关模式的蓝相液晶显示器的等势线和电场分布图,如图3所示。通过对比可以



(a)传统共面开关模式蓝相液晶显示器

(a) Conventional IPS-BPLCD



(b)凸起电极共面开关模式蓝相液晶显示器

(b) Protrusion electrode IPS-BPLCD

图3 等势线和电场线分布图

Fig.3 Potential and electric field lines distribution at $V_{on} = 14\ \text{V}$

发现:凸起电极的引入不仅有利于增加水平方向的电场强度(水平方向的电场线密度变大)而且有利于加深电场作用于液晶层的深度(凸起电极上方的水平电场线密度变大)。前者有利于降低蓝相液晶显示器的驱动电压,后者有利于提高蓝相液晶显示器的光利用率。

3 模拟结果与讨论

3.1 窄视角液晶显示器的效果

图4为使用补偿膜前与使用补偿膜后的蓝相液晶显示器在暗态时的漏光图与等对比度视角图。通过对比可以看出:在未使用任何补偿膜的情况下,蓝相液晶显示器在全视角区域内的暗态漏光非常小,所以能够形成非常均匀的高对比度视角。然而,使用+ a 、- c 和- a 膜以后的蓝相液晶显示器能够出现较大的暗态漏光现象,而且随着极角的增大,漏光现象越来越严重,最终形成视角极佳的窄视角。例如,在该窄视角显示模式下,对比度大于10的可视区在 20° 极角范围内,对比度大于100的可视区在 13° 极角范围内,对比度大于1000的可视区在 8° 极角范围内,而且随着极角的减小,对比度进一步增加。此外,该模式的窄视角非常对称,可以消除由于观测方位角度的不同,给人带来的视觉影响。

图5为本论文提出的窄视角蓝相液晶显示器与贴附3M公司私人信息保护膜窄视角效果对比图。图5(a)为显示屏上贴附3M公司私人信息

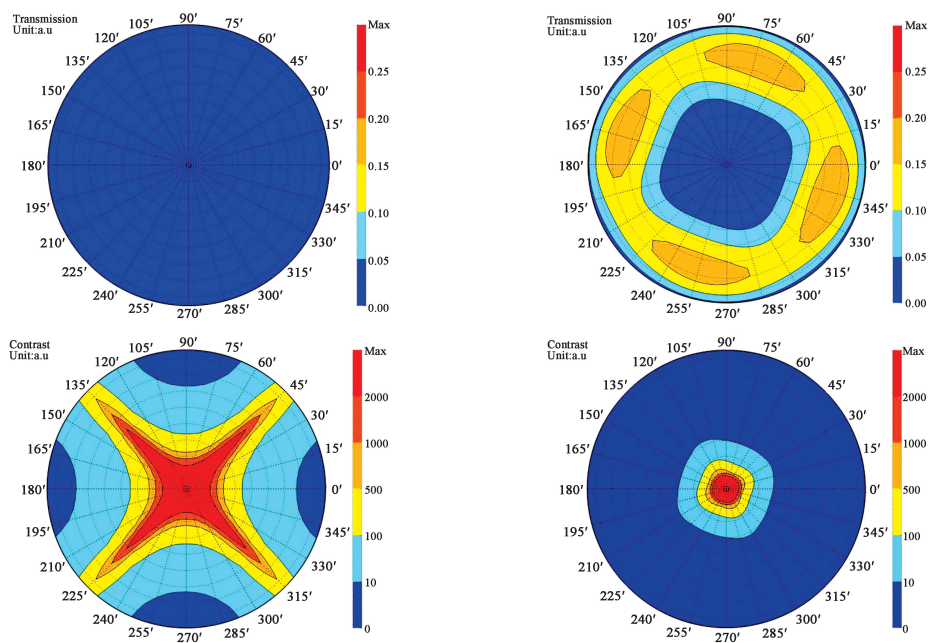


图 4 窄视角蓝相液晶显示器加补偿膜前与加补偿膜后的暗态漏光图(a),(b)和等对比度视图(c),(d)

Fig.4 Leakage light at off-state and contrast ratio curves of blue phase liquid crystal for narrow viewing angle before compensation(a), (b) and after compensation(c), (d)

保护膜在 0、30、60 极角上的窄视角效果图^[23]。我们可以发现:当极角超过 30°时,开始呈现优良窄视角的效果。图 5(b)为本文提出的窄视角蓝相液晶显示器在 0、20、30、40 极角上的窄视角效果图。从图中我们可以发现:当极角为 40°时,图片完全变得模糊不清,呈现极佳的窄视角效果。所以,本论文提出的窄视角蓝相液晶显示器完全可以在公共场所下实现私人信息的保护,满足消费者的使用需求。

3.2 窄视角液晶显示器的可行性分析

本文提出了一种低电压驱动、高透过率的窄视角蓝相液晶显示器来防止公共场所下私人信息的泄露,保护消费者的隐私与信息安全。相对于传统窄视角模式而言,该结构没有利用偏置电压、复杂的电极结构以及繁琐的补偿方案来实现窄视角显示。更为重要的是,该窄视角显示模式不仅能够形成可视区窄、对比度高、对称的视角,而且较 3M 公司生产的信息保护膜具有生产成本低的优势。



图 5 贴附 3M 公司保护膜的窄视角显示的图片(顶部三张图片);本文提出的窄视角液晶显示器显示的图片(底部四张图片从左到右依次为 0、20、30、40° 度极角的观看图)

Fig.5 Displayed images of the LCD attached with 3M privacy film, top three images; and the proposed LCD for narrow viewing angle, the bottom four images are for polar viewing angle 0, 20, 30 and 40° from left to right.

4 结 论

本文提出了一种窄视角蓝相液晶显示器。通过优化凸起电极的参数,我们将蓝相液晶显示器的驱动电压降低到了 14 V,透过率提高到 71%,不仅满足了当前主流非晶硅薄膜晶体管的驱动需求,还可以进一步提高背光源的光利用率。更为

重要的是,该结构相对于传统窄视角显示器而言,不仅没有使用复杂的电极结构和大量的补偿膜,而且能够在 20°极角范围内形成非常均匀、高对比度的视角图,达到极佳的窄视角效果。在信息爆炸的时代,本论文提出的低电压驱动、高透过率的窄视角蓝相液晶显示器将在私人信息的保护上扮演越来越重要的作用。

参 考 文 献:

- [1] LIM Y J, KIM J H, HER J H, *et al.* Viewing angle controllable liquid crystal display with high transmittance [J]. *Opt. Express*, 2010, 18(7): 6824-6830.
- [2] RAO L H, GE Z B, WU S T. Viewing angle controllable displays with a blue-phase liquid crystal cell [J]. *Opt. Express*, 2010, 18(3): 3143-3148.
- [3] LI P, SUN Y B, WANG Q H. A transreflective and viewing angle controllable blue-phase liquid crystal display [J]. *Liq. Cryst.*, 2013, 40(8): 1024-1027.
- [4] BAEK J I, KIM K H, LEE S R, *et al.* Viewing angle control of a fringe-field switching cell by electrical tilting of liquid crystal [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2008, 47(3R): 1615-1617.
- [5] YU Y N, DOU H, MA H M, *et al.* Viewing angle controllable fringe and in-plane switching vertical alignment LCD [J]. *Liq. Cryst.*, 2015, 42(3): 316-321.
- [6] 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]. *Chin. J. Liq. Cryst. Disp.*, 2015, 30(3): 538-542. (in Chinese)
- [7] SUN Y B, ZHANG Z D, MA H M. Novel mode of liquid crystal display with narrow viewing angle [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2002, 41(6A): 3878.
- [8] RYU J W, LIM Y J, JEONG Y H, *et al.* A fringe-field driven hybrid aligned nematic liquid crystal display for narrow viewing angle display [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2007, 46(9A): 5951.
- [9] RAO L H, YAN J, WU S T, *et al.* A large Kerr constant polymer-stabilized blue phase liquid crystal [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2011, 98(8): 081109.
- [10] JIAO M Z, LI Y, WU S T. Low voltage and high transmittance blue-phase liquid crystal displays with corrugated electrodes[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2010, 96(1): 011102.
- [11] XU D M, CHEN Y, LIU Y F, *et al.* Refraction effect in an in-plane-switching blue phase liquid crystal cell [J]. *Opt. Express*, 2013, 21(21): 24721-24735.
- [12] BAE K S, LEE Y J, YU C J, *et al.* Low voltage and high transmittance polymer-stabilized blue-phase liquid crystal device by combined in-plane and oblique electric field along the horizontal direction [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2012, 51(7R): 072201.
- [13] CHEN Y, XU D M, WU S T, *et al.* A low voltage and submillisecond-response polymer-stabilized blue phase liquid crystal [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2013, 102(14): 141116.
- [14] CHEN Y Q, SUN Y B, YANG G Q. Low voltage and high transmittance blue-phase LCDs with double-side in-plane switching electrodes [J]. *Liq. Cryst.*, 2011, 38(5): 555-559.
- [15] SUN Y B, ZHAO Y L, LI Y F, *et al.* Optimisation of in-plane-switching blue-phase liquid crystal display [J]. *Liq. Cryst.*, 2014, 41(5): 717-720.
- [16] GE Z B, GAUZA S, JIAO M Z, *et al.* Electro-optics of polymer-stabilized blue phase liquid crystal displays [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2009, 94(10): 101104.
- [17] RAO L H, GE Z B, WU S T, *et al.* Low voltage blue-phase liquid crystal displays [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2009, 95(23): 231101.

- [18] LI Y F, SUN Y B, ZHAO Y L, *et al.* A continuous viewing angle controllable blue phase liquid crystal display [J]. *J. Disp. Technol.*, 2014, 10(10): 827-831.
- [19] SUN Y B, LI Y F, ZHAO Y L, *et al.* A low voltage and continuous viewing angle controllable blue phase liquid crystal display [J]. *J. Disp. Technol.*, 2014, 10(6): 484-487.
- [20] YAN J, CHENG H C, GAUZA S, *et al.* Extended Kerr effect of polymer-stabilized blue-phase liquid crystals [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2010, 96(7): 071105.
- [21] YOON S, KIM M, SU KIM M, *et al.* Optimisation of electrode structure to improve the electro-optic characteristics of liquid crystal display based on the Kerr effect [J]. *Liq. Cryst.*, 2010, 37(2): 201-208.
- [22] KANG S G, KIM J H. Optically-isotropic nanoencapsulated liquid crystal displays based on Kerr effect [J]. *Opt. Express*, 2013, 21(13): 15719-15727.
- [23] http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_EU/Protectors/Home/.

作者简介:刘建龙(1989—),男,河北廊坊人,硕士研究生,从事液晶器件方面的研究。E-mail: 1085282209@qq.com