

文章编号:1007-2780(2016)07-0661-06

一种宽视角和快速响应的连续视角可控液晶显示

侯柳强,王 森,马红梅,孙玉宝*

(河北工业大学 应用物理系,天津 300401)

摘要:在垂面排列液晶显示模式中,液晶分子垂直取向,具有暗态良好、高对比度的特点,但是其视角特性不佳。采用 MVA 和 PVA 技术等多畴结构可以使 VA 模式的视角情况得到改善,但 MVA 模式中凸起结构引起的液晶分子初始预倾状态会导致暗态漏光,从而降低显示的对比度。而 PVA 模式中的狭缝结构虽然不会影响对比度,但其响应速度比较慢。文中提出一种新型垂面排列液晶显示器结构,其像素电极四周刻蚀有弧形狭缝,公共电极中心刻蚀有孔洞。施加电压时液晶分子向中心倾倒,形成中心对称的多畴结构,实现了对比度均匀的宽视角,且这一结构在保证高透过率的同时还可以实现快速响应。另外,通过在公共电极上施加偏置电压,该结构还可实现视角的连续可控。

关 键 词:液晶显示器;高对比度;多畴;视角可控

中图分类号: TN141.9 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20163107.0661

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

HOU Liu-qiang, WANG Sen, MA Hong-mei, SUN Yu-bao*

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

Abstract: Vertical alignment liquid crystal display mode has good dark state, so that it has high contrast ratio. However, it's viewing angle is not good. The viewing angle can be improved by using multi-domain vertical alignment (MVA) and patterned electrode vertical alignment (PVA). However, the protrusion in MVA may lead to light leakage because of the small tilt angle in the initial state, which reduces the contrast ratio. While the light leakage is removed in PVA because the protrusion is replaced by the patterned electrode, the trade-off is slower response speed. In this paper, we proposed a new vertical alignment liquid crystal display device with four etched cambered hollows at the edges of the pixel electrode and a circular hole at the centre of the common electrode. The liquid crystal molecules fall down to the centre of the substrate when the operating voltage is applied, as a result, the centro-symmetric structure leads to the wide viewing angle and uniform contrast ratio. Moreover, this struc-

收稿日期: 2016-04-18; **修订日期:** 2016-05-08.

基金项目: 国家自然科学基金(No. 11274088, No. 61475042); 河北省自然科学基金(No. 2015202320); 河北省教育厅高层次人才项目(No. GCC2014048)

Supported by National Natural Science Foundation of China (No. 11274088, No. 61475042); National Natural Science Foundation of Hebei Province (No. 2015202320); High-level Talent Project of Education Department of Hebei province (No. GCC2014048)

* 通信联系人, E-mail: sun_yubao@163.com

ture can improve the response speed and has a high transmittance. In addition, the continuous change of viewing angle controlled by bias voltages on common electrode can be obtained.

Key words: liquid crystal display; high contrast ratio; multi-domain; viewing angle controllable

1 引言

垂直排列(Vertically aligned, VA)液晶显示模式在正视方向具有很高的对比度^[1],这是因为液晶分子初始垂面排列,在正交偏振片的作用下,理论上,在正视方向不会出现暗态漏光。但其对比度随视角分布的均匀性并不是很好,在大侧视角角度区域的斜向暗态漏光现象仍然比较明显,这一视角依存性便导致了视角问题的出现^[2]。对于普通单畴 VA 模式,一般采取多畴互补结构来改善视角问题^[3-4]。已有模拟实验表明,要在不同的视角下平衡包括亮度、对比度等特性,至少需在像素的上下左右 4 个方向形成多畴结构,并需要采用补偿膜进一步改善视角。多畴技术主要有多象限垂直配向技术(MVA)和图像垂直调整技术(PVA)^[5-8]。MVA 技术不足之处在于凸起结构附近液晶分子的预倾角度会引起暗态漏光^[9];PVA 技术和 MVA 技术相似,只是将 MVA 中凸起结构改为狭缝结构,此结构中液晶分子不存在初始预倾角,所以避免了暗态漏光现象,对比度较高,但是没有预倾角的作用会导致响应速度变慢^[10]。此外,夏普公司在 2001 年提出一种连续焰火状排列技术(Continuous Pinwheel Alignment, CPA)。它也属于 VA 技术的一种。其结构是通过分割 Pixel 电极并在 Common 电极制作碗状凸起,使得工作时产生对角电场驱动液晶分子向电极中心倾斜,呈放射火焰状连续排列,这种 360°范围内连续轴对称取向使得 CPA 结构拥有优秀的广视角特性^[1]。另外,在某些特定场合,我们希望显示能有一定私密性,因此拥有窄视角显示和视角可控显示功能的显示器便成了需要。视角可控显示器可以在不同场合按需要任意切换视角模式,既能实现一个可供多人观看的宽视角模式,也能实现只可以自己观看私密内容的窄视角模式,这一功能性使得视角可控液晶显示器得到了越来越多的关注。

2 电极结构

综合考虑上述 PVA 和 MVA 显示模式的优缺点,在传统 CPA 基础上我们提出了一种新型显示模式,我们称它为 H-CPA(Hole type CPA)。其结构如图 1(a)所示,在下基板的像素电极板四周刻蚀 4 个等大的弧形缝隙,并将电极板四个顶角做圆滑处理,在上基板的公共电极上对应每个像素中心位置刻蚀一个圆孔。不加电压时液晶分

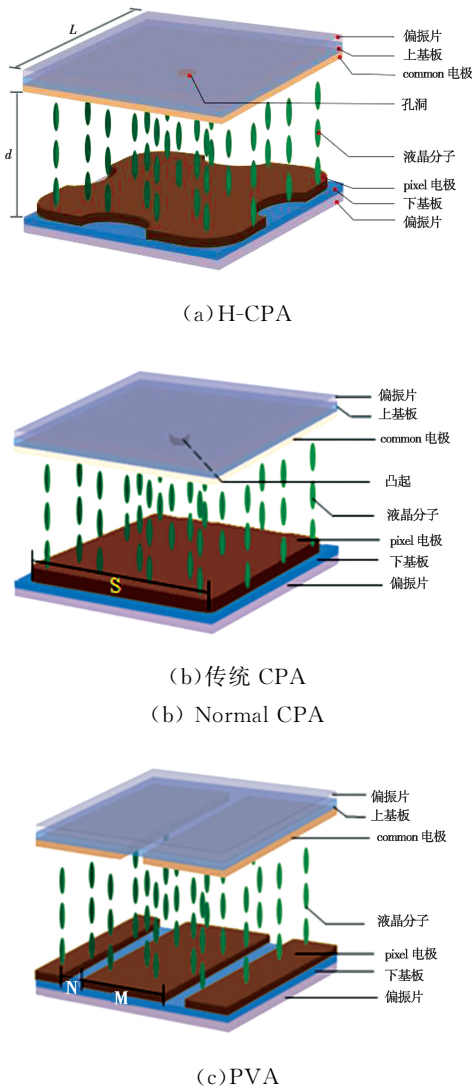


图 1 三种液晶显示器的结构示意图
Fig. 1 Schematic structure of liquid crystal display

子垂面排列,在上下正交的偏振片作用下,可以获得良好的暗态,因而可以实现高对比度。下基板像素电极板做刻蚀处理,在开态工作情况下,可以在刻蚀区域边缘产生倾斜电场使得负性液晶分子向电极板中心倾斜,形成 360° 范围内连续对称取向。此外,圆滑的边界有助于液晶分子均匀稳定的取向,从而提高液晶分子响应速度并得到较高的透过率^[11-12]。公共电极刻蚀孔洞可以促使液晶分子倒向更加稳定,有助于提高响应速度。为了获得优秀的视角,我们还采用补偿膜对其进行补偿。

3 模拟计算

我们使用韩国 Sanayi 公司的 TechWiz LCD 3D 模拟软件分别对 H-CPA、CPA 以及 PVA 结构进行模拟仿真。为了对比,模拟中使用相同的计算参数:液晶层厚度 d 设置为 $4\text{ }\mu\text{m}$,液晶分子初始垂直基板排列,液晶参数为 $K_{11}=16.7\text{ pN}$, $K_{22}=7.3\text{ pN}$, $K_{33}=18.1\text{ pN}$, $\Delta n=0.15$, $\Delta\epsilon=-4.20$, $\gamma_1=186\text{ mPa}\cdot\text{s}$, 电极宽度 $L=90\text{ }\mu\text{m}$ 。H-CPA 结构中公共电极中心孔洞半径 $R=3\text{ }\mu\text{m}$,像素电极板四周弧形缝隙长 $30\text{ }\mu\text{m}$,弧线曲率半径 $30\text{ }\mu\text{m}$ 。传统 CPA 结构如图 1(b)所示:Common 电极中心制作圆形凸起,其结构材料采用介电各向异性 $\Delta\epsilon=3.8$ 的绝缘材料,凸起半径 $3\text{ }\mu\text{m}$,中心厚度 $1\text{ }\mu\text{m}$ 。Pixel 电极制作成宽度为 $S=82\text{ }\mu\text{m}$ 的正方形切割电极,并对四角做圆滑处理。PVA 结构如图 1(c)所示:上下电极板刻蚀缝隙,缝隙宽度 $M=10\text{ }\mu\text{m}$,缝隙间隔 $N=50\text{ }\mu\text{m}$ 。H-CPA 结构的补偿方式如图 2 所示,其中 -c 膜参数: $n_e=1.483$, $n_o=1.493$, $\Delta n=-0.01$,介电常数为 3.8 ;双轴膜参数: $n_x=1.511$, $n_y=1.5095$, $n_z=1.51025$,介电常数为 3.8 。 $\lambda/4$ 相位延迟膜厚度 $92\text{ }\mu\text{m}$, $\lambda/2$ 相位延迟膜厚度 $184\text{ }\mu\text{m}$ 。

4 模拟计算结果

我们分别模拟计算了普通 PVA 模式与 H-CPA 模式的液晶分子排布情况与电光特性。液晶分子的取向分布如图 3 所示,通过对比两图可以看出:相比较于普通 PVA 结构,H-CPA 结构的液晶分子分布更加均匀。这是因为 H-CPA 结

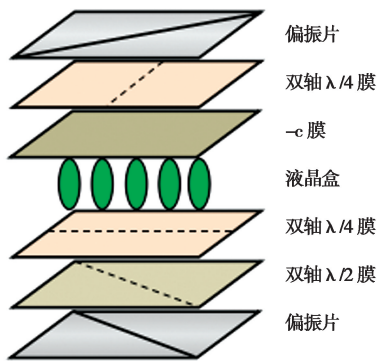
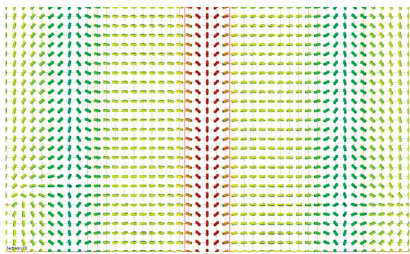


图 2 垂面液晶显示器的光学结构示意图

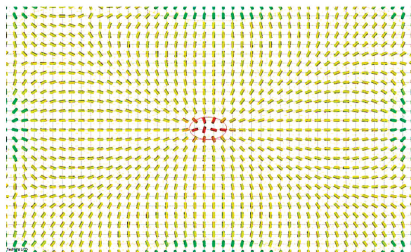
Fig. 2 Optical structure schematic diagram of the vertical alignment liquid crystal display

构像素电极边缘的缝隙结构可以产生倾斜电场,使得液晶分子倒向电极中心呈放射状排列,这有助于实现均匀的等对比度视角特性。



(a)在普通 PVA 模式中

(a)in normal PVA



(b)在 H-CPA 模式中

(b)in H-CPA mode

图 3 施加电压时像素中液晶分子的取向分布

Fig. 3 LC's distribution in pixel when applied voltage

另外,我们还模拟了 H-CPA、传统 CPA 以及 PVA 结构的电光特性,结果如图 4 所示:相比于传统 PVA 电极结构,H-CPA 模式具有更高透过率与更快的响应速度。由图 3(a)所示的液晶分子排布情况可见:在传统 PVA 结构中,缝隙处液

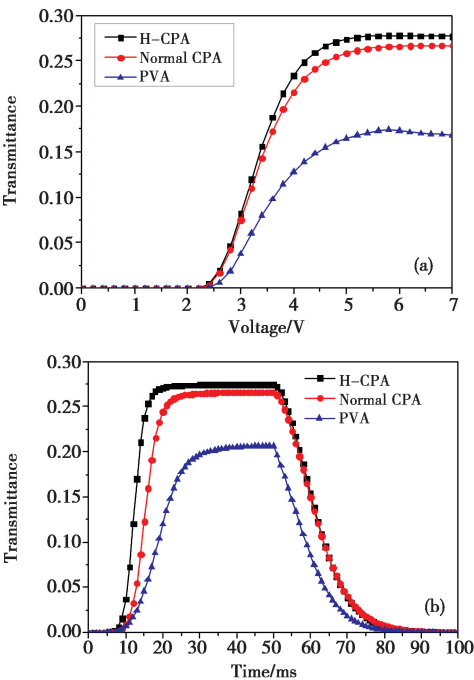


图 4 H-CPA 结构、传统 CPA 结构以及 PVA 结构的(a)电压透过率曲线和(b)时间响应曲线

Fig. 4 Electro-optical characteristics curves of H-CPA and normal CPA and PVA construction. (a) voltage-transmittance curves, (b) time-transmittance curves

晶分子分布混乱,缝隙中心区域的液晶分子不能完全倒下,且缝隙边缘处区域产生了旋转位移现象,这会降低显示器的透过率,而由图 3(b)可见 H-CPA 结构则不会出现该现象,因此 H-CPA 的透过率要比传统 PVA 提高了约 57.5%。响应速度方面,如图 4(b)所示:与传统 PVA 结构相比, H-CPA 结构无论在上升时间和下降时间方面的优势均比较明显,分别提高了 62.3%和 16.8%。倾斜电场有助于实现液晶分子的快速响应,而 Common 电极中心孔洞处理可以增强这一倾斜场的效果,这有助于液晶分子稳定取向,从而提高响应速度。视角可控的功能也是通过这个倾斜电场实现。另一方面,由于该结构中液晶分子取向稳定一致,在关态过程中可以避免出现传统 PVA 结构中的旋转位移导致的液晶分子自由弛豫时间增长的问题,所以其关态响应速度也得到了提升。将 H-CPA 结构与传统 CPA 结构电光特性曲线作对比可以发现: H-CPA 结构在上升时间方面具有一定的优势。传统 CPA 的 Common 电极凸起结构并未改变像素中电场情况,而 H-CPA 结构

中,Common 电极中心的孔洞设计可以在像素中心区域引入倾斜电场,该倾斜电场可以帮助该区域液晶分子迅速转动,从而实现快速响应。经计算,其上升时间相比于传统 CPA 结构缩短了 25%。此外, Common 电极中心的凸起结构会存在类似前文提到过的 MVA 结构的暗态漏光现象,从而影响中心对比度,而孔洞设计则没有该弊端,因此 H-CPA 结构在对比度方面也有一定优势。

因为 H-CPA 结构使得液晶分子在工作状态下表现出 360°范围内均匀对称取向,因此形成了很好的多畴效果,进而表现出了优秀的视角特性。我们采用圆偏振片和补偿膜对其显示特性进行进一步优化,具体方案为:1、采用两组正交圆偏振片(一个线偏振片与一个 $\lambda/4$ 相位延迟膜组合)增强其亮态透过率;2、采用一片 $-c$ 膜与一片 $\lambda/2$ 相位延迟膜补偿其暗态漏光^[13-14]。H-CPA 结构的对比度分布情况如图 5 所示,该结构在 40°视角范围内可以达到 1 000 : 1 以上的对比度,且在不同方位角度分布均匀。对比度在 60°视角范围内均可以达到 100 : 1,且全视野对比度在 10 : 1 以上。综上所述。相比于传统 PVA 结构, H-CPA 结构具有更优良的暗态和更高的透过率,因此, H-CPA 结构在对比度方面的优势明显,且在补偿后能更有效的优化显示器的对比度及其视角特性。

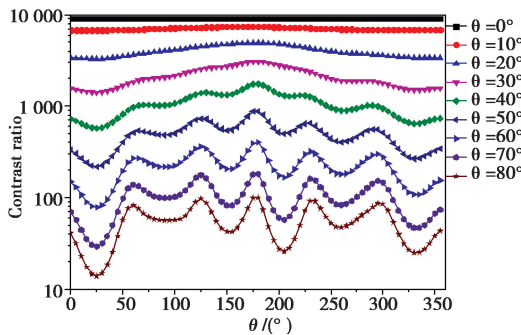


图 5 H-CPA 电极结构视角对比度分布曲线

Fig. 5 Theta-dependent contrast curves of H-CPA

液晶显示器相比其它类型平板显示器,还具有一个特殊的特点,即视角可控性^[15-16]。在文中提出的 H-CPA 结构中,关态时,当在 Common 电极施加一个偏置电压时,在像素电极四周的狭缝与 Common 电极中心的孔洞结构的作用下,像素的外围区域会产生倾斜电场,因此该区域液晶分

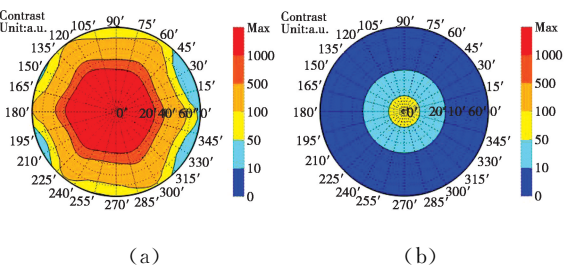


图 6 H-CPA 电极结构的等对比度图视角图。(a)宽视角;(b)窄视角

Fig. 6 Iso-contrast contour plots of H-CPA in. (a) wide and (b) narrow viewing angle mode

子会先于中心区域发生倾斜形成暗态漏光,对比度降低,从而得到目标窄视角^[17]。我们分别模拟出了 H-CPA 结构在不同工作模式下的视角情况。图 6(a)展示了其宽视角状态,由图可见:宽视角模式对比度在 60°极角范围内可以达到 100 : 1,且全视野对比度大于 10 : 1;当在 Common 电极上施加 -2.6 V 偏压时,得到的窄视角状态如图 6 (b)所示,30°极角外区域的对比度低于 10 : 1,不具有可视性;说明实现了正视角度高对比度、侧视角角度低对比度的窄视角要求。

图 7 展示了该结构在不同视角模式下的电压透过率特性曲线,由图可见:宽视角模式与窄视角模式下的最大透过率相当,这说明通过施加偏压的方法实现宽窄视角并没有对显示的透过率带来影响。

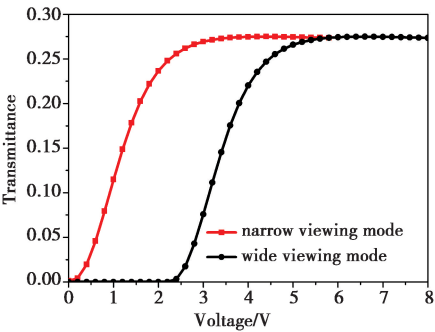


图 7 H-CPA 结构在宽窄不同视角下的电压透过率特性曲线

Fig. 7 Voltage-dependent transmission curves of H-CPA in wide and narrow viewing angle mode

此外,我们分别模拟了偏置电压为 -2.6 V、-2.65 V 和 -2.7 V 情况下的等对比度视角图,

模拟结果如图 8 所示。从图中可以看到:通过调整施加在 Common 电极上的偏置电压大小,可以得到不同程度的窄视角,且模拟计算的三种情况在正视角度对比度都在 10 : 1 以上,甚至如图 8 (c)所示:在 -2.7 偏压作用下可以将可视角度限制在 10°极角范围,极大的增加了阅读隐私内容的安全性。总而言之,我们可以通过连续调整 Common 电极上施加的偏压值来控制视角的连续变化。

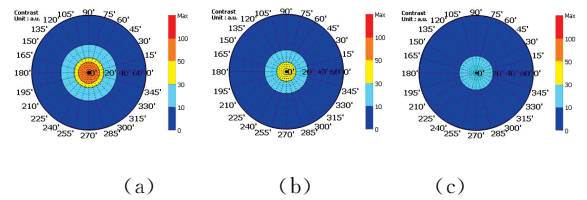


图 8 不同偏压情况下的视角对比度图,(a) -2.6 V,(b) -2.65 V,(c) -2.7 V

Fig. 8 Iso-contrast ratio plots for various bias voltages (a) -2.6 V, (b) -2.65 V and (c) -2.7 V.

4 结 论

综上所述,我们提出了一种新型 CPA 模式,该结构可以实现液晶分子连续稳定取向,液晶层的取向稳定程度对于显示器透过率、响应速度以及视角特性都有明显的影响。与传统 PVA 结构相比,提出的 H-CPA 模式的对比度和视角特性有明显的提高,其中 $CR>1\ 000 : 1$ 的区域可以达到 40°视野角范围。同时,该结构的透过率相比于传统 PVA 结构提高了 57%。在响应速度方面,上升时间和下降时间分别相较于传统 PVA 结构提高了 62.3%和 16.8%。与传统 CPA 结构相比,H-CPA 拥有更快的上升响应速度,同时,H-CPA 的孔洞设计可以消除传统 CPA 结构中的凸起导致暗态漏光的弊端。此外,该结构通过施加偏置电压的方法可以实现宽窄视角模式切换并可以实现窄视角的连续可控,这对于提升液晶显示器的显示性能和丰富其功能性起到了一定的指导作用。

参 考 文 献:

- [1] 马群刚. TFT-LCD 原理与设计[M]. 北京:电子工业出版社,2011:256-274.
MAQ G. *Principle and Design of TFT-LCD* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2011: 256-274. (in Chinese)
- [2] GWAG J S. Advanced patterned vertical aligned nematic mode to elevate transmittance [J]. *Journal of the Optical Society of Korea*, 2014, 18(1): 78-81.
- [3] JHUN C G, GWAG J S. Improved vertically-aligned nematic mode for high performance displays[J]. *Journal of the Optical Society of Korea*, 2014, 18(6): 783-787.
- [4] 陈伯伦. 广视角补偿原理及广视角技术的最新产品应用[J]. 国际光电与显示, 2003(12): 93-98.
CHEN B L. Wide viewing angle compensation principle and wide viewing angle technology newest product application [J]. *International Photoelectric and Display*, 2003(12): 93-98. (in Chinese)
- [5] GONG S Q, KANICKI J, XU G, *et al.* A novel structure to improve the viewing angle characteristics of twisted-nematic liquid crystal displays[J]. *Japanese Journal of Applied Physics*, 1999, 38(7A): 4110-4116.
- [6] KOIKE Y, OKAMOTO K. Super high quality MVA-TFT liquid crystal displays [J]. *FUJITSU Scientific & Technical Journal*, 1999, 35(2): 221-228.
- [7] KIM H, SONG J, PARK S, *et al.* PVA technology for high performance LCD monitors [J]. *Journal of Information Displays*, 2000, 1: 3-8.
- [8] KIM S S. Super PVA sets new state-of-the-art for LCD-TV [J]. *SID Symposium Digest Technical Papers*, 2004, 35(1): 760-763.
- [9] TAKEDA A, KATAOKA S, SASAKI T, *et al.* A super-high image quality multi-domain vertical alignment LCD by new rubbing-less technology [J]. *SID Symposium Digest Technical Papers*, 1998, 29(1): 1077-1080.
- [10] KIM K H, KIM S S. Advance of PVA technology for multi-media applications[J]. *SID Symposium Digest Technical Papers*, 2003, 34(1): 1208-1211.
- [11] CHOY S, YANG S S, WON T. Numerical study on electro-optical characteristics of the LCD modes: VA, CPA, and OCB[J]. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 2009, 511(1): 360/[1830]-368/[1838].
- [12] CHOY S, WON T Y, LEE C S. Optimization of LCD pixel structure for continuous pinwheel alignment (CPA) mode[J]. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 2007, 476(1): 197/[443]-212/[458].
- [13] GE Z B, LU R B, WU T X, *et al.* Extraordinarily wide-view circular polarizers for liquid crystal displays [J]. *Optics Express*, 2008, 16(5): 3120-3129.
- [14] ZHU X Y, GE Z B, WU S T. Analytical solutions for uniaxial-film-compensated wide-view liquid crystal displays [J]. *Journal of Display Technology*, 2006, 2(1): 2-20.
- [15] JEONG E, LIMY J, RHEE J M, *et al.* Viewing angle switching of vertical alignment liquid crystal displays by controlling birefringence of homogeneously aligned liquid crystal layer[J]. *Applied Physics Letters*, 2007, 90(5): 051116.
- [16] 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]. *Journal of Display Technology*, 2014, 10(6): 484-487.
- [17] YU Y N, DOU H, MA H M, *et al.* Continuous viewing angle controllable patterned vertical alignment liquid crystal display [J]. *Liquid Crystals*, 2014, 41(11): 1595-1599.

作者简介:侯柳强(1990—),男,河北宁晋人,硕士研究生,从事液晶器件方面的研究。E-mail:822821971@qq.com