

文章编号:1007-2780(2014)03-0322-06

正负液晶在 FFS 中的比较和研究

张少楠^{1,2}, 郭小军^{1*}, 崔宏青²

(1. 上海交通大学 电子信息与电气工程学院, 上海 200030;

2. 昆山市龙腾光电有限公司, 江苏 昆山 215301)

摘要:现在对于广视角技术,特别是 IPS 和 FFS 的显示模式,由于正性液晶和配套材料技术的成熟性和材料本身的稳定性能,使用正性液晶占绝大多数。但随着对显示器光学性能要求的提高,使用负性液晶的研究逐渐增多,这是由于负性相对正性液晶有较高的穿透率以及较好的画面画质,并能改善颜色偏差。但负性液晶同样也存在诸多缺陷,如需要有较高的驱动电压,存在功耗的问题。另外,实验证明负性液晶使得显示器的残留影像较为严重,材料的稳定性以及其他材料与之搭配性都有待提高。本文通过使用 Techwiz 软件的模拟和实际样品的测量数据,全面比较了正负液晶在 FFS 中的光学特性和画质表现,阐述了 2 种液晶的优缺点,提出了需要改进的建议。

关键词:正负性液晶;FFS;光学特性;倾角

中图分类号:TN27 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20142903.0322

Study and comparison of positive and negative LC in FFS applications

ZHANG Shao-nan^{1,2}, GUO Xiao-jun^{1*}, CUI Hong-qing²

(School of Electronic Information and Electrical Engineering, Shanghai Jiao Tong University,
Shanghai 200030, China;

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

Abstract: For the up-to-date wide viewing angle technology, especially the IPS and FFS display mode, the usage of Pos liquid crystal is in the majority, because of the maturity of Pos liquid crystal craft and the ancillary material technology. Nevertheless, in accordance with the requirement of the LCD products' optical capability enhancement, the study of the usage of Neg liquid crystal has been increasing, which is because of the relatively high transmittance, color shift improvement and display quality. In addition, Neg liquid crystal has many disadvantages, for example, relatively higher driving voltage and power consumption. Furthermore, the experiments have proven that the usage of Neg liquid crystal has serious image sticking problem. In consequence, Neg liquid crystal's stability and collocability with other materials remains have been improved. This paper compares the optical character and the display quality in FFS of Pos/Neg liquid crystal comprehensively by means of the Techwiz software simulation and samples' measurement data, elaborates the advantage and disadvantage of two kinds of liquid crystal and puts forward the suggestions where needs improvements.

Key words: positive & negative liquid crystal; FFS; optical property; tilt angle

收稿日期:2013-10-12;修订日期:2013-11-15.

* 通信联系人, E-mail: x. guo@sjtu. edu. cn

1 引言

FFS 技术用于显示有出色的广视角和触控^[1]体验,由于其液晶分子随电场水平转动,较VA, TN 不易受指压的影响^[2],因此广泛应用于 Tablet 和 Mobile phone。但由于 FFS 本身的电极架构以及搭配使用的正性液晶的电学特性,使得电极中心的穿透率较低,且与其他位置差异较大,从而拉低了整体的穿透率^[3],无法达到 TN 的水准。随着个人应用品质的提升,对显示器的各种规格和特性要求也相对提高。穿透率成为首要需解决的问题,为了改善这一状况,大多选择使用负性液晶代替原来的正性液晶。相对其他的提升穿透率的方法,如使用光配向^[4-5]、优化电极设计等,这一改变在成本和应用上更为低廉和简化。此外,负性液晶在色偏以及受垂直电场影响方面表现更为出色。当然,由于负性液晶的应用研究在很长时间内处于停滞的状态,其发展相对较慢,还存在很多未解决的难题,如响应时间和稳定性的问题。其中稳定性导致的残影问题可以通过配向膜的改进来减轻^[6]。本文通过光学模拟和试验样品测试比较了这 2 种液晶在光学和稳定性方面的优缺点。

2 正负液晶在 FFS 中的光学特性

2.1 电压和穿透率

为了比较正负液晶的光学特性,我们使用 Techwiz 进行模拟。模拟架构采用一款 12.7 cm(5 in)FFS 的产品架构(电极宽度为 $3.7\ \mu\text{m}$,间距为 $3.9\ \mu\text{m}$, Cell gap 为 $3.3\ \mu\text{m}$),正性为 Merck 的一款液晶(基本参数: $K_{11}=11.5\ \text{PN}$, $K_{22}=5.75\ \text{PN}$, $K_{33}=13.8\ \text{PN}$, $\Delta\epsilon=9$, $\Delta n=0.102$),负性为 JNC 的液晶(基本参数: $K_{11}=18.2\ \text{PN}$, $K_{22}=9\ \text{PN}$, $K_{33}=17\ \text{PN}$, $\Delta\epsilon=-5$, $\Delta n=0.102$)如图 1, (a) 图为正性液晶穿透率对应电极位置的分布, (b) 图为负性液晶的穿透率对应电极位置的分布。从穿透率的曲线可以明显看出负性液晶较正性有较大的改善。(a) 显示电极中心位置 A 的穿透率最低, (b) 图显示电极中心位置 A 的穿透率比 (a) 图有明显提升, 和穿透率的峰值差异减小。这是因为相对其他的电极位置, A 位置使得液晶分子水平旋转的边缘电场

E_y 最弱^[7-8], 液晶分子水平旋转主要依靠 A、B 之间的弹性力矩作用, A 位置液晶分子的水平旋转角度主要由 B 位置周围的液晶分子的水平旋转角度决定。B 位置的液晶倾角 θ 决定了 A 位置液晶的水平旋转角度, 由于大的液晶倾角会引起周边液晶垂直方向的旋转, 因此倾角越小, 对水平旋转角度的影响越小。由图 1 可以看出负性液晶 B 位置的倾角 θ 远小于正性液晶, 因此对水平旋转角度的影响也远小于正性液晶, 穿透率就得到了改善。

$$T = \frac{1}{2} \sin^2 2\varphi \sin^2 \frac{\pi \Delta n_{\text{eff}} d}{\lambda}, \quad (1)$$

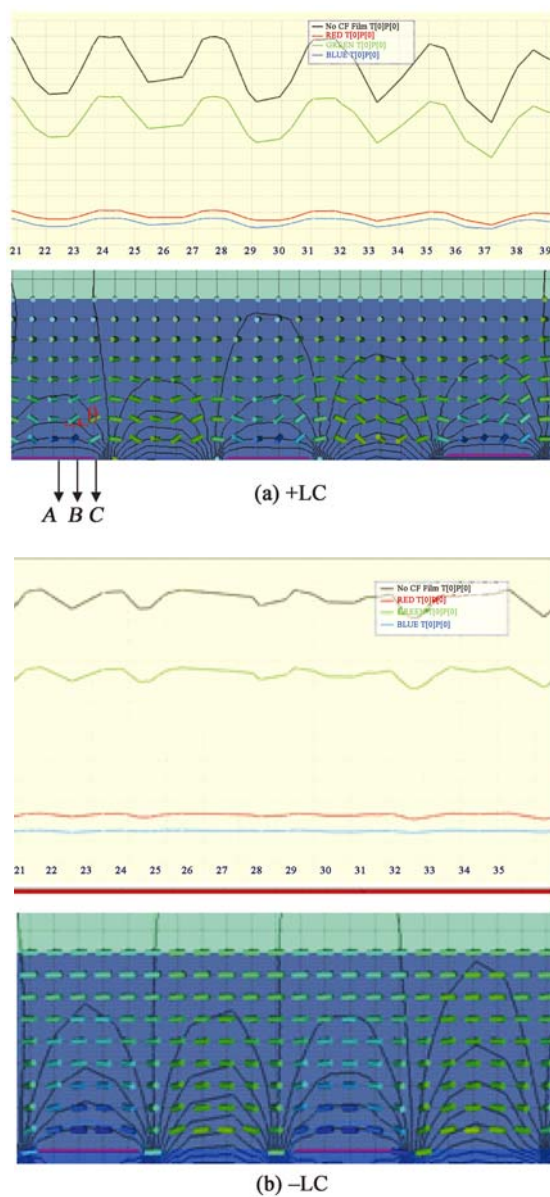


图1 亮态下 FFS 对应电极位置的穿透率分布
Fig. 1 Transmittance distribution on corresponding electrode under white state

式(1)是 FFS 的穿透率公式,其中: Δn_{eff} 称之为有效折射率,由图 1 可知,加电压时由于负性液晶的 θ 很小,在不同的电极位置 Δn_{eff} 变化很小,体现到穿透率曲线上就更为平缓(如图 1b)。

图 2 是通过 techwiz 模拟的结果,使用正性液晶的穿透率为 5.13%,使用负性液晶的穿透率为 4.16%,可以得出负性液晶的穿透率比正性高 23%左右,但同时负性所要求饱和电压更高(−LC 6 V, +LC 4.4 V),如式(2),这主要由于负性液晶较小的 $\Delta\epsilon$ 和较大的 K_{22} 引起的,在电极架构和液晶盒参数一致的前提下, $\Delta\epsilon$ 越小, K_{22} 越大,操作电压越高。

$$V_{\text{th}} = \frac{\pi L}{d} \sqrt{\frac{K_{22}}{\epsilon_0 |\Delta\epsilon|}}, \quad (2)$$

其中: V_{th} 为阈值电压, L 为电极间距, d 为盒厚,根号中为液晶的几项基本参数。

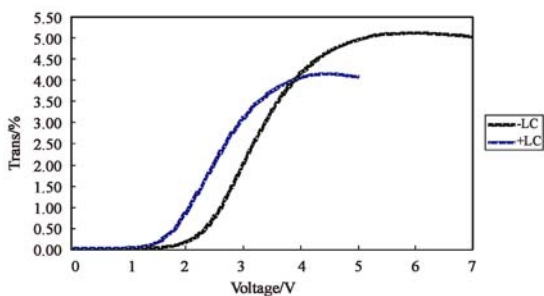


图 2 +LC 和 −LC 的 V-T(穿透率对应电压)曲线

Fig. 2 V-T curve of positive & negative LC

2.2 响应时间和“Optical bounce”^[9]

表 1 是 2 种液晶响应时间的模拟结果,正性液晶比负性液晶的响应时间快 20 ms 左右,这 2 种液晶黏度是影响响应时间的主要因素,负性液晶的黏度是正性的 2.5 倍左右,导致撤掉电压时负性液晶回复所需时间更长, T_{f} 是正性的 2 倍。 T_{r} 也较正性大 6 ms 左右,但相对影响较小。

表 1 正负性液晶对应的响应时间和液晶旋转黏度

Tab. 1 Response time & rotary viscosity of positive and negative LC

	+LC	−LC
T_{r} /ms	18.8	24.4
T_{f} /ms	14.6	28.3
T /ms	32.4	52.7
Rotational viscosity/(mPa·s)	59	150

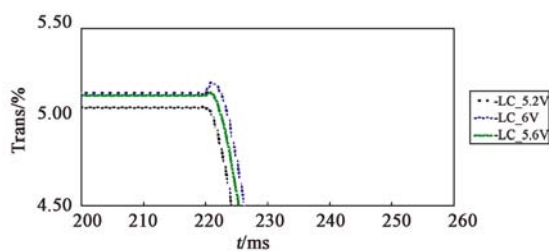


图 3 −LC 的响应时间 T_{f} 段曲线

Fig. 3 Turn off part on time v.s. transmittance curve of −LC

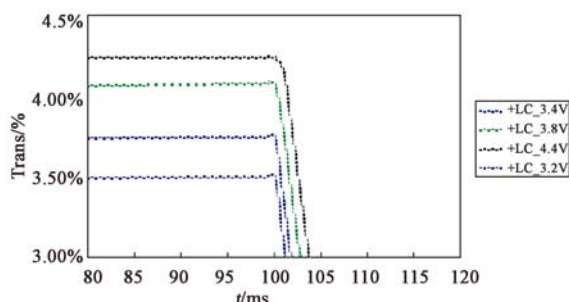


图 4 +LC 的响应时间 T_{f} 段曲线

Fig. 4 Turn off part on time v.s. transmittance curve of +LC

图 3 和 4 中框出的区域出现穿透率的突变,在穿透率达到最大值时撤掉电压,穿透率有一个 1~2 ms 的上升的过程,随后下降,此现象称之为“Optical bounce”。是在 T_{f} 段产生的现象, T_{f} 的计算公式:

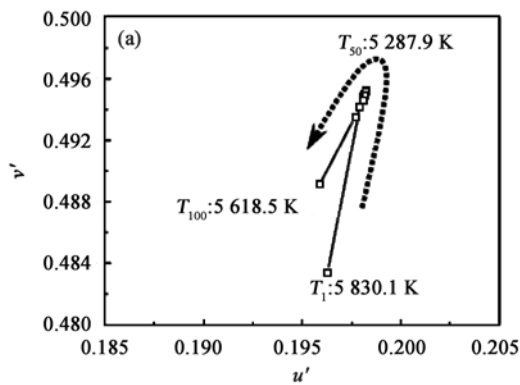
$$T_{\text{f}} = \frac{\gamma_1 d^2}{K\pi^2}, \quad (3)$$

其中: T_{f} 和 K 值成反比,由图 1(a)可以看到正性液晶 C 位置的液晶倾角 θ 最大,撤掉电压后液晶分子需要克服弯曲形变 (K_{33}) 垂直回复,正性液晶的 K_{33} 最大,因此垂直方向的回复最快,同时 T_{f} 的大部分时间是克服扭曲形变 (K_{22}) 水平回复。根据 2.1 的结论: θ 越小穿透率越高,由于 C 位置 θ 最先快速的减小,在这段时间穿透率会短暂的增加,当进入到大部分液晶分子水平回复的时间时,穿透率逐渐降低。因此“Optical bounce”主要是发生于图 1 中 C 位置,并且持续的时间就是克服 K_{33} 垂直回复的时间。由图 3 可知随着操作电压的降低,穿透率的增加幅度会逐渐减小,此现象就会减轻或消失。降低操作电压 (V_{op}),可以减轻“Over twist”的程度。图 4 显示正性液晶 V_{op} 为

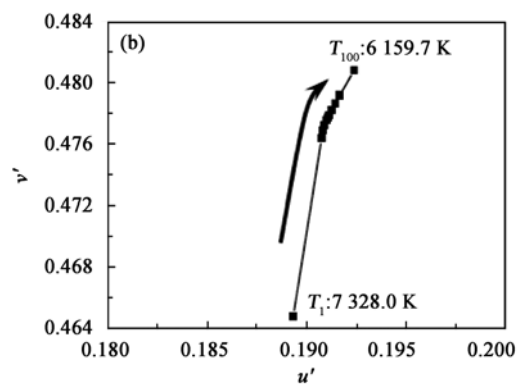
3.2 V 虽然程度减轻,仍然存在此现象,负性液晶 V_{op} 为 5.2 V 时,此现象得以消除。主要原因是负性液晶的 θ 较低,穿透率“突变”的持续时间很短,小幅度的减低电压就可以消除“Optical bounce”。而正性液晶的 θ 较大,“Optical bounce”的持续时间较长,需要大幅度的减小电压来消除此现象。

2.3 色偏

图 5 分别是正性液晶和负性液晶不同灰阶的色偏示意图, $T_1 \sim T_{100}$ 表示从暗态到亮态的 100 个灰阶。从色温来看,正性液晶从相对蓝(5 830.1 K)到绿(5 287.9 K)然后又返回到偏蓝(5 618.5 K),在中间灰阶(T_{50})发生反转,负性液晶从相对蓝(7 328.0 K)直接到偏绿(6 159.7 K)。只有正性液晶发生了色偏反转的现象^[10]。这和正性液晶在电场下不同电极位置较大的 θ 有关。



(a) +LC



(b) -LC

图 5 不同灰阶时对应 $u'v'$ 值

Fig. 5 $u'v'$ value in corresponding gray level

如图 6, 正性液晶的旋转角度随灰阶升高, θ 在 A 位置随灰阶的升高几乎没有变化, 在 B 和 C 位置逐渐升高, 并且在 T_{50} 时, C 位置的升高幅度

进一步增加。对应到图 7, A 位置的色温逐渐降低, 没有反转现象。B 和 C 位置的色温在 T_{50} 的时候发生反转, 并表现到整体上。

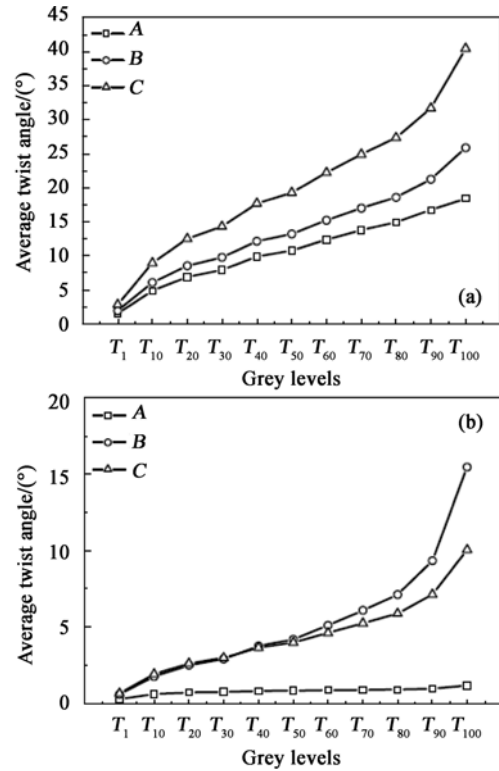


图 6 不同电极位置的平均旋转角度(a)以及 θ (b)

Fig. 6 Average twist angle (a) & tilt angle (b) at different electrode position

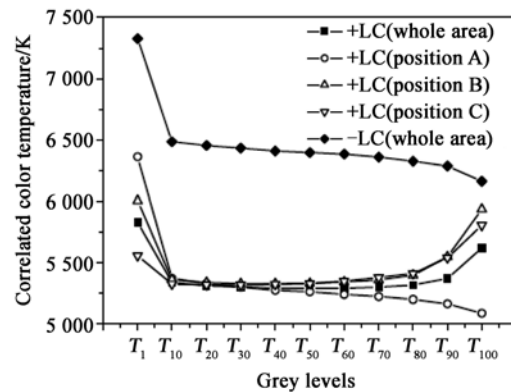


图 7 +LC-LC 在不同位置的灰阶对应色温曲线

Fig. 7 Grey level-color temperature curve in different electrode position

图 1 中已经显示正性液晶 A 位置受 E_z 影响最小, 倾角 θ 最小。综上所述, 降低倾角 θ 可以有效的改善色偏反转。我们知道液晶分子延长轴方向配向, 当减小液晶分子的 $\Delta\epsilon(\epsilon_{//} - \epsilon_{\perp})$ 时, 各项异性的特征减小, 液晶分子的倾角相对 E_z 的电

场影响也相对减小。当平均倾角减小到 3° 时,色偏反转的现象会消除。另一方面,从图 1 可以看到使用正性液晶时,位置 A 的倾角明显小于位置 B C,因此色偏反转出现在位置 B C,位置 A 没有此现象的发生,负性液晶由于平均倾角远远小于正性,整体没有色偏现象的发生(由图 5 可以看出)。因此,为了改善正性液晶的色偏反转现象,只有使得平均倾角小于 3° ,一般来说可以通过增大 $\epsilon_{\perp}$ 来减小 $\Delta\epsilon$ 实现,但副作用是操作电压变高(由式(3)可知)。

3 实验和结果讨论

3.1 Trace Mura

我们把这两款液晶使用于 5 寸的实际产品上验证,做出 5 寸分辨率 540×960 的样品。根据模拟结果正负液晶的饱和电压分别为 4.4 V 和 6 V,为了得到最好的穿透率,我们使用此饱和电压,但出现“Trace Mura”,即在亮态时用手指划面板表面,出现一条沿手指动作的灰色轨迹,并需 4 s 左右消失。当把操作电压分别降到 3.3 V 和 5.2 V 时此现象减轻和消失。这种现象的原理类似前文提到的“Optical bounce”产生原理,白画面时面板处于开状态,使用饱和电压或相对较大的电压则使得接近电极边缘位置的 E_z 效应增强,用手指划面板时 E_z 发生变化较大,而拿开手指后,液晶分子克服弯曲形变回复,需要一定的回复时间。而降低操作电压同时可以降低 E_z 效应,使得拿开手指后,液晶分子克服弯曲形变的回复时间减小。由“Optical bounce”的分析数据(图 3 图 4)可知,负性液晶的 Trace Mura 要轻于正性液晶,因为正性液晶分子在 turn on 的状态时倾角较大,受到 E_z (垂直电场)影响大。表 2 是实际测得的正负液晶的响应时间和穿透率,和前文的模拟结果保持一致性。

表 2 实验所测正负液晶的响应时间和穿透率

Tab. 2 Measured response time & transmittance of positive & negative LC

	+LC	-LC
$T_r/(ms)$	14.5	20.4
$T_i/(ms)$	11.45	24.8
$T/(ms)$	26	45.2
Transmittance/(%)	4	5.06

3.2 两种液晶的稳定性

画质重点看面板的残影状况。检测条件为 7×5 棋盘格画面持续点灯,判定时切换至 L127 (中间灰阶)使用 ND filter 遮(目视不可见时则不使用)。结果如表 3,正性液晶的残影程度要远远好于负性液晶,持续点 24 h 后在 L127 判定,结果 ND filter 10%可遮,而负性液晶超过 4 h 持续点灯后已经 ND filter 3%不可遮。

表 3 正负液晶的残影判定结果

Tab. 3 Image sticking of positive & negative LC

	数量/片	结果		
		1 h	4 h	24 h
+LC	5	目视不可见	目视不可见	10%可遮
-LC	5	10%可遮	10%可遮	3%不可遮

鉴于残影结果的巨大差异,针对正负性液晶做了电压保持率的比较。测试条件是给测试盒 5 V 的交流电(频率 60 Hz),在 100°C 的温度中烘烤 30 h,每隔 5 h 确认电压保持率,结果如图 8 中的蓝色和黑色线,正性液晶的电压保持率的减小为 0.5%,而负性液晶减小达 15%。因此负性液晶更容易产生 DC 残留从而加重残影的程度。针对这一结果 PI 做了分子结构的加强,使得对 LC 分子的锚定能增强;加入具有高稳定性的疏水结构的单体使得 PI 更不容易吸收不纯物质;使用低介电常数的二元胺,改善 VHR。使用这一改善的 PI 搭配负性液晶进行测试,条件相同,结果如图 8 中的红色线,VHR 随 Stress 条件的变化只有 0.1%。就负性液晶的稳定性来说,目前可以依靠搭配的 PI 得以解决。

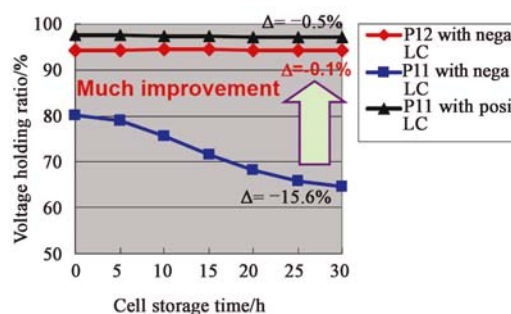


图 8 正负液晶电压保持率随时间的变化

Fig. 8 Voltage holding ratio variation by time

4 结 论

综上所述,由于正负液晶本身的参数上的差异以及FFS本身电极结构的特点,即电极不同位置的垂直电场强弱的差异造成负性液晶在光学穿透率、色偏、optical bounce/trace mura方面要优于正性液晶,负性液晶的穿透率较正性有23%的提升,且几乎没有发生Trace Mura的问题,而正

性液晶的Trace Mura需要4 s左右才会消失。在操作电压/功耗上目前正性液晶更具优势,响应时间较负性高出70%左右。至于负性液晶稳定性的问题,根据试验结果,可以通过调整搭配材料的性能来进行弥补。因此正负液晶在FFS的架构下表现不尽相同,目前各自有其优缺点,如果能够改善负性液晶的电压和响应时间的问题,就能够在更广的领域替代目前的正性液晶。

参 考 文 献:

- [1] 白石,王延峰,黄敏,等. LCD触控感应技术发展趋势[J]. 液晶与显示, 2010, 25(4): 572-575.
Bai S, Wang Y F, Huang M, et al. Trend of LCD touch sensor technology [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystal and Display*, 2010, 25(4): 572-575. (in Chinese)
- [2] Masahito O, Makoto Y, Katsumi K. Switching of negative and positive dielectro-anisotropic liquid crystals by in-plane electric fields [J]. *Journal of Applied Physics*, 1997, 82 (2): 528-535.
- [3] Ge Z, Wu S T, Lee S H. Wide-view and sunlight readable transfective liquid-crystal display for mobile applications [J]. *Optics Letters*, 2008, 33(22): 2623-2625.
- [4] Koichi M, Kazuki K. The world's first photo alignment LCD technology applied to generation ten factory [C] // SID2010, Washington, USA: Society for Information Display, 2010: 579-582.
- [5] 梁兆颜,宣丽,杨柏梁,等. 光控取向弱锚定表面的液晶分子排列[J]. 液晶与显示, 2000, 15(1): 53-60.
Liang Z Y, Xuan L, Yang B L, et al. Liquid crystal molecules alignment on the weak anchoring surface by LPP method [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystal and Display*, 2000, 15(1): 53-60. (in Chinese)
- [6] 李永忠,纪伟丰,周炎宏. STN-LCD残影显示的原理分析及实验研究[J]. 液晶与显示, 2011, 26(6): 733-740.
Li Y Z, Ji W F, Zhou Y H. Research of image-retention phenomenon in STN-LCD [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystal and Display*, 2011, 26(6): 733-740. (in Chinese)
- [7] Ryu J W, Lee J Y, Lim Y J, et al. Analysis of light modulation in the fringe-field switching liquid crystal mode [J]. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 2007, 476: 239-248.
- [8] Jung S H, Kim H Y, Lee M-H, et al. Cell gap-dependent transmission characteristics of a fringe-electric field-driven homogeneously aligned liquid crystal cell, for a liquid crystal with negative dielectric anisotropy [J]. *Liquid Crystals*, 2005, 32(2): 267-275.
- [9] Kyung S H, Pankaj K, Chang W W, et al. Study of Optical bounce according to electrode structure in the fringe-field switching mode using the negative liquid crystal [J]. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 2011, 544: 69-76.
- [10] Jun H J, Kyung S H, Mina C, et al. Abnormal behaviour in colour tracking characteristics of the fringe-field switching liquid crystal display [J]. *Liquid Crystals*, 2010, 37(3): 303-309.

作者简介:张少楠(1983—),女,江苏金湖人,硕士研究生,主要方向为平板显示。E-mail: zhangshaonan_001@163.com

郭小军(1981—),男,江苏如皋人,教授,博士生导师,从事有机光电子集成信息显示与传感技术的研究。E-mail: x. guo@sjtu. edu. cn