

负性液晶边缘场切换模式的亮线不良分析

李裕蓉, 杨磊, 陈明阳

引用本文:

李裕蓉, 杨磊, 陈明阳. 负性液晶边缘场切换模式的亮线不良分析[J]. 液晶与显示, 2020, 35(10): 1044–1050.

LI Yu-rong, YANG Lei, CHEN Ming-yang. Analysis of line Mura for fringe field switching mode with negative liquid crystal[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2020, 35(10): 1044–1050.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.37188/YJYXS20203510.1044>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

负性液晶边缘场切换模式的性能分析及优化

Performance analysis and optimization of fringe field switching with negative dielectric liquid crystal

液晶与显示. 2020, 35(9): 914–920 <https://doi.org/10.37188/YJYXS20203509.0914>

基于使用负性液晶的边沿场切换模式的局部残影分析

Analysis of FFS image sticking with negative liquid crystal

液晶与显示. 2015(3): 399–403 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20153003.0399>

基于FFS架构实现宽窄视角切换

New viewing angle controllable with FFS–LCD

液晶与显示. 2018, 33(3): 182–187 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20183303.0182>

负性液晶在FFS模式下的残像研究

Image sticking study of negative LC for FFS mode

液晶与显示. 2015(3): 393–398 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20153003.0393>

一种采用介电突起消除边缘场效应的LCoS

Eliminating fringe field effect using dielectric protrusions in LCoS

液晶与显示. 2020, 35(1): 12–18 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20203501.0012>

文章编号:1007-2780(2020)10-1044-07

负性液晶边缘场切换模式的亮线不良分析

李裕蓉¹, 杨磊^{2*}, 陈明阳²

(1. 人民解放军 63936 部队, 北京 100093;

2. 江苏大学机械工程学院, 江苏 镇江, 212013)

摘要:对于高分辨率小尺寸的边缘场切换模式(FFS)产品,负性液晶可以有效提升穿透率与对比度,从而改善画质。在使用负性液晶过程中出现了暗态显示区边缘发亮,即亮线不良(Line Mura)的现象。通过光学和电性仿真以及解析实验对亮线不良问题进行了分析。发现显示器周边的虚拟像素(Dummy pixel)是产生亮线不良最直接的原因,因为这种设计在蟹角(Crab)区域产生了异常高电场,导致暗态时液晶旋转从而产生亮线。本文通过软件模拟分析了亮线产生的因素,并进行了实验验证,最后提出了改善方案。为以后负性液晶 FFS 模式的显示屏设计提供了很好的指导。

关键词:亮线;负性液晶;虚拟像素;蟹角;边缘场切换

中图分类号:TN141.9 文献标识码:A doi:10.37188/YJYXS20203510.1044

Analysis of line Mura for fringe field switching mode with negative liquid crystal

LI Yu-rong¹, YANG Lei^{2*}, CHEN Ming-yang²

(1. Unit 63936, Popular Liberation Army, Beijing 100093, China;

2. School of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: Negative liquid crystals is an effective way to increase the transmittance and contrast ratio for the high-resolution small size fringe field switching (FFS) mode display. Bright line comes up on dark state at the edge of display monitor by using negative liquid crystals, which is called line Mura. The line Mura is analyzed by electric and optical simulation and experiments. Dummy pixel around the display monitor is found to be the direct cause, which leads to anomalous electric field in crab region to switch liquid crystal on dark state. The influence factors of line Mura are analyzed, and improvement method is proposed, which provides good guidance for the design of negative LCD in FFS mode in the future.

Key words: line Mura; negative liquid crystals; dummy pixel; crab; fringe field switching

收稿日期:2020-03-27;修订日期:2020-06-20.

基金项目:江苏省自然科学基金(No.BK20170559);江苏省博士后科学基金(No.2020Z016)

Supported by Natural Science Foundation of Jiangsu Province (No.BK20170559); Postdoctoral Science Foundation of Jiangsu Province(No.2020Z016)

* 通信联系人, E-mail:leiyang@ujs.edu.cn

1 引言

共面偏转(In plane switching, IPS)显示器因其广视角和触控特性成为了市场主流。边缘场切换(Fringe Field Switching, FFS)模式作为 IPS 一种,具有广视角和高透过率的特性^[1]。然而伴随着高分辨率需求而缩小像素,FFS 模式的穿透率成了主要问题。增加透过率的方法有很多种,比如使用 APF(Advanced polarizing film)增亮膜,增加开口率,使用具有 DBEF(Dual brightness enhancement film)的背光,或者使用负性液晶代替正性液晶等。使用 APF 或 DBEF 会增加经济成本,最经济有效的方法就是使用负性液晶,负性液晶不仅能够提高透过率,而且能够提高对比度,改善色偏^[2-3]。事实上,现在越来越多的公司正在开发负性液晶 FFS 模式的面板,并取得了一定的亮度提升^[4-7]。但是由于响应速度比正性液晶慢,出现残像^[8-10]等问题,负性液晶尚未普遍应用于 FFS 模式。随着材料的研究与创新,默克公司开发了快速响应的负性液晶,使其获得和正性液晶相当的响应时间且透过率也有很大的提升。但是负性液晶本身材料易被污染,且极性分子极易与框胶和聚酰亚胺(PI)材料作用产生杂质离子,造成画面显示不良。

本文在 38.1 cm(15 in)全高清(Full high definition,分辨率 1 920×1 080, FHD) FFS 模式产品中引入负性液晶材料,低灰阶或零灰阶时发现显示区周边出现亮线现象。对此我们从材料、工艺、设计上对亮线不良产品进行了一系列的仿真模拟与实验验证,发现了产生亮线不良现象的直接原因和间接原因。直接原因在于虚拟像素(Dummy pixel,定义为不在显示区内的像素)的设计对蟹角(Crab)区域的直接影响,造成了蟹角区域的电场很高,在采用正正压(公共电极电压 4.8 V,像素电极电压为 0 V 和 9.6 V)的驱动下,液晶在电极产生的高电场作用下提前转动,在暗态时出现了亮线。间接原因是所用的负性液晶材料极易与周边框胶材料作用产生杂质分子。在异常电场作用下,杂质离子聚集造成亮线。研究发现取消虚拟像素或者采用平衡的电压驱动方式如正负压(公共电极电压 0 V,像素电极电压为-4.8 V 和 4.8 V)可以有效消除亮线。此外使用更加稳定

的液晶材料,也能降低亮线不良的出现概率。

2 亮线不良产生原因

在 38.1 cm(15 in) FHD 和 12.7 cm(5 in) FHD 的产品上导入 2 种不同特性的负性液晶,分别记为液晶 A 和液晶 B。在液晶材料导入信赖性实验初期,38.1 cm(15 in)面板的显示区域(AA 区)边缘出现一条亮线,称为亮线不良(Line Mura),见图 1,在暗态时尤为明显。为了找出亮线不良现象的原因,我们从工艺、材料、仿真和实验上进行了研究和分析。

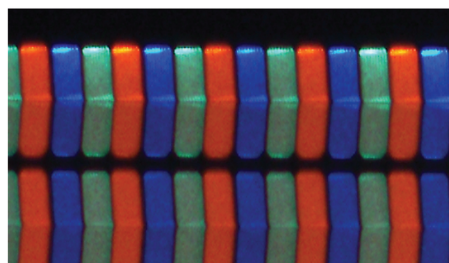


图 1 液晶 A 在 38.1 cm(15 in) FHD 产品零灰阶时显微镜下的亮线现象

Fig.1 Line Mura of liquid crystal A under the microscope at the zero gray scale of 38.1 cm(15 in) FHD product

我们对亮线现象的出现频率进行了整理,发现液晶 B 在任何产品上都无此不良,只有液晶 A 在 38.1 cm(15 in) FHD 的产品上出现不良,而在 12.7 cm(5 in) FHD 的产品上却没有此类不良存在。推测不同的液晶材料是亮线发生的原因之一。在保持配向膜和框胶的材料型号相同的情况下,我们调查了其他材料和工艺的差异性。工艺制程上的微小差异主要体现在框胶固化和曝光量上,但是当我们调整工艺参数验证时,发现亮线不良几乎没有发生变化。通过对比材料特性,我们发现液晶 A 的极性比液晶 B 的极性大,主要体现在液晶 A 的粘滞系数更小且介电常数更大。因此液晶材料特性是造成亮线的原因之一。

但是液晶 A 在 12.7 cm(5 in) FHD 的产品上却没有发生此类不良,说明液晶材料特性不是唯一原因。通过对比相同材料不同产品的设计差异,发现 38.1 cm(15 in)产品和 12.7 cm(5 in)产品在像素设计、驱动设计上有明显差异,主要体现

在:(1)38.1 cm(15 in)产品周边有虚拟像素的设计,而 12.7 cm(5 in)没有。(2)38.1 cm(15 in)产品的电压驱动为正压设计,而 12.7 cm(5 in)采用的是负压设计。针对这两点差异造成的影响,我们进行了一系列的分析、仿真和解析实验。

3 仿真分析

3.1 电性仿真

针对 38.1 cm(15 in)产品的驱动设计和虚拟像素的设计,对于同一不良面板产品,我们将虚拟像素区域和正常显示区域(AA)的像素电压进行了电学仿真。图 2 为像素电极电压随时间的变化曲线:绿色为正常显示区域(AA 区),红色为虚拟像素区域。从图中可以看出 AA 区的像素电极的电压为方波信号。最低电压为 0 V,最高电压为 9.6 V。而虚拟像素其像素电极的电压,为弧状信号,其最高电压只有 1.6 V,这是由于虚拟像素区的像素电极与公共电极相连导致。

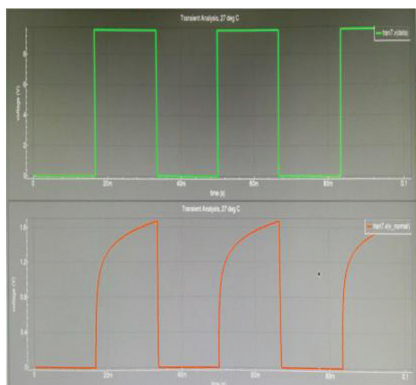


图 2 像素电极电压随时间的变化曲线,绿色为正常显示区域(AA 区),红色为虚拟像素区域。

Fig.2 Voltage of pixel electrode varied with time: green is the normal display area (AA area), red is dummy pixel area.

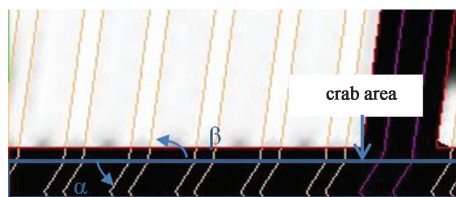
由此可以得到两个推论:(1)虚拟像素区域和非虚拟像素区域(即正常 AA 区)的像素电极之间存在 8 V($9.6\text{ V} - 1.6\text{ V} = 8\text{ V}$)压差。(2)由于公共电压固定为 4.8 V,而虚拟像素的像素电压在 0~1.6 V 之间,由于液晶驱动电压为像素电压和公共电压的差值,那么虚拟像素区域液晶驱动电压为 3.2~4.8 V(公共电压 4.8 V)。由此可推出暗态 0 灰阶(即当 AA 区像素电压和公共电压相

同时,AA 区的液晶驱动电压为 0)时,虚拟像素区的液晶会一直受到 3.2~4.8 V 的电压作用,因此虚拟像素应为常亮状态。但是由于虚拟像素区被黑色矩阵(BM)遮挡,所以肉眼无法看到,为了验证我们的推论,对此结构进行了光学仿真。

3.2 光学仿真

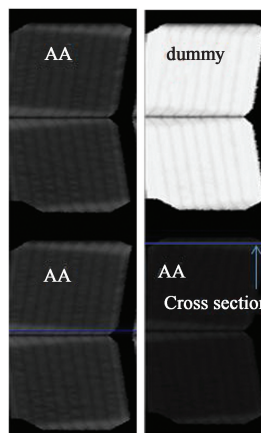
用 Expert LCD 软件对亮线不良产品进行光学仿真。按照前面电性仿真结果,光学仿真时将虚拟像素区的像素电压设置为 1.6 V,公共电压设置为 4.8 V,AA 区的液晶驱动电压分别设置为 0.2 V 和 2.2 V。图 3 低灰阶和中灰阶时的光学仿真。图 3(a)为蟹角区域的俯视图, α 、 β 分别代表蟹角区和非蟹角的电极与水平线的夹角,其中蟹角区域的电极夹角 α 比非蟹角区域电极夹角 β 的小。图 3(b)为 AA 区液晶驱动电压 0.2 V 时的光学表现。从图中可以得出两点结论:

(1)液晶电压为 0.2 V 时,蟹角区域比其他区域的透光更明显。这是由于蟹角区域的电极角度 α 较小,其水平电场分量比其他区域的大,多余的电场分量导致该区域的液晶分子产生旋转透光。



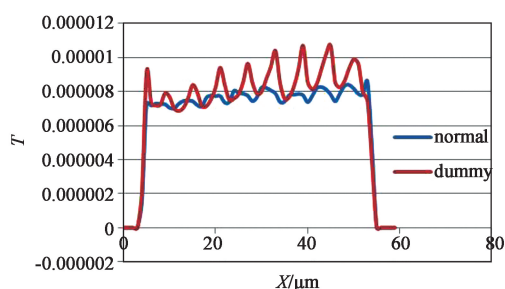
(a) 光学仿真结构图

(a) Optical simulation structure



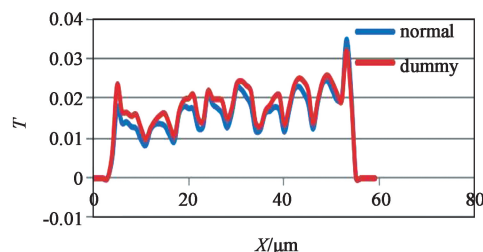
(b) 液晶驱动电压 0.2 V 时的光学表现

(b) Optical performance with the liquid crystal drive voltage of 0.2 V



(c) 液晶驱动电压为 0.2 V 时,横截面(图 3(b)中所标)位置的透过率;红色曲线为有虚拟像素;蓝色曲线为无虚拟像素。

(c) When the liquid crystal driving voltage is 0.2 V, the transmittance of cross section(as marked in Fig. 3(b)): red curve is with dummy pixel; blue curve is without dummy pixel.



(d) 液晶驱动电压为 2.2 V 时,横截面(图 3(b)中所标)位置的透过率;红色曲线为有虚拟像素;蓝色曲线为无虚拟像素。

(d) When the liquid crystal driving voltage is 2.2 V, the transmittance of cross section(as marked in Fig. 3(b)): red curve is with dummy pixel; blue curve is without dummy pixel.

图 3 低灰阶和中灰阶时的光学仿真

Fig.3 Optical simulation of low gray scale and middle gray scale

(2) 液晶电压为 0.2 V 时,AA 区是暗态模式,而虚拟像素为常亮透光模式。这是因为虚拟像素区液晶在驱动电压为 3.2~4.8 V 的持续作用下,发生不可逆转动,从而保持常亮状态。光学仿真现象与前文推论相同。

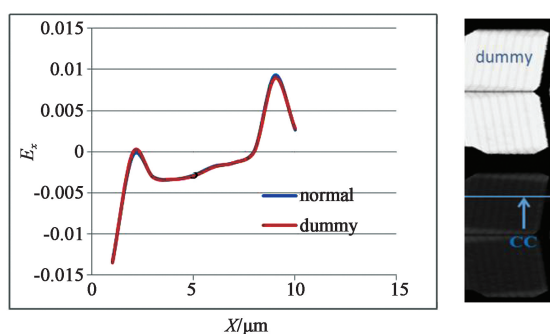
图 3(c)为低灰阶时(液晶驱动电压为 0.2 V 时)横截面位置的透过率。其中,横截面为图 3(b)中所标距离虚拟像素最近蟹角区横截面位置,也是亮线不良出现的位置。蓝色曲线和红色曲线分别为无虚拟像素和有虚拟像素时透过率随水平方向 X 的变化图。从图 3(c)中可以看出虚

拟像素相邻蟹角位置液晶透过率比无虚拟像素的 AA 区蟹角位置的透过率高约为 1.25 倍(峰值)。为了便于图标对比和观察,仿真时将 AA 区液晶驱动电压设置为 0.2 V。若将 AA 区液晶驱动电压设置为 0 V 时,虚拟像素相邻蟹角位置液晶透过率将比无虚拟像素的 AA 区蟹角位置的透过率高更多,远大于 1.25 倍。

图 3(d)为中灰阶(液晶驱动电压为 2.2 V)时横截面位置的透过率。水平轴为 X 的位置,纵坐标为透过率。其中,横截面为图 3(b)中所标距离虚拟像素最近蟹角区横截面位置,也是亮线不良出现的位置。蓝色曲线和红色曲线分别为无虚拟像素和有虚拟像素时横截面位置透过率随水平方向 X 的变化图。从图 3(d)可以看出当液晶的驱动电压由低灰阶 0.2 V 增大到中灰阶 2.2 V 时,虚拟像素区域相邻处蟹角位置液晶透过率与正常 AA 区(无虚拟像素设计)蟹角位置的透过率差异逐渐减小。这意味着随着电压的增加,这种透过率的差异减小。说明随着液晶驱动电压的增加,虚拟像素区的电极产生的电压,对相邻蟹角区域液晶的影响逐渐减小。

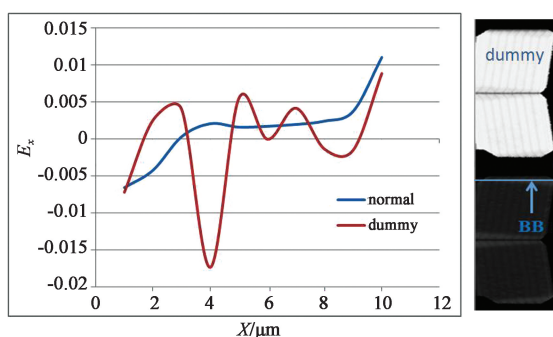
图 4 为液晶驱动电压 0.2 V 时,同一截面 CC(非蟹角区)和 BB(蟹角区)位置的电场强度 E_x 随 X 轴的变化。正常区蓝色曲线和虚拟像素区红色曲线分别为无虚拟像素和有虚拟像素时的透过率。我们用水平电场 E_x 作为参考,是因为负性液晶时,主要对液晶作用的是 E_x 。图 4(a)为液晶驱动电压 0.2 V 时,CC(非蟹角区)位置的电场强度 E_x 随 X 轴的变化,可以看出当液晶驱动电压为 0.2 V 时,虚拟像素区 CC 处的 E_x 和无虚拟像素区的 CC 处的 E_x 曲线几乎完全重合,说明非蟹角区的电场几乎不受虚拟像素的影响。

图 4(b)为液晶驱动电压 0.2 V 时,BB(蟹角区)位置的电场强度 E_x 随 X 轴的变化。从图中可看出在低灰阶(驱动电压 0.2 V)时,虚拟像素的附近蟹角区域的 E_x 波动很大,且数值比无虚拟像素的蟹角区域要大很多,在 X 为 4 μm 的位置,虚拟像素的 BB 位置处的 E_x 是无虚拟像素下的 BB 截面处 E_x 的 7 倍。虚拟像素的 BB 截面处 E_x 最大达到 0.017,均值在 0.005 1 左右。平均 E_x 电场强度比无虚拟像素的 BB 截面处 E_x 增大 1.34 倍。



(a) CC(非蟹角区)位置的电场强度 E_x 随 X 轴的变化

(a) Electric field intensity E_x varied with the X -axis at CC (Non-crab area) position



(b) BB(crab 区)位置的电场强度 E_x 随 X 轴的变化

(b) Electric field intensity E_x varies with the X -axis at BB (Crab area) position

图 4 液晶驱动电压 0.2 V 时,同一截面 CC(非蟹角区)和 BB(蟹角区)位置电场强度 E_x 随 X 轴的变化:红色曲线为有虚拟像素;蓝色曲线为无虚拟像素。

Fig.4 When the liquid crystal driving voltage is 0.2 V, the electric field intensity E_x varied with the X -axis at the positions of CC (Non-crab region) and BB (Crab region) of the same section; red curve is with dummy pixel; blue curve is without dummy pixel.

由此可以得出虚拟像素持续驱动电压作用下,蟹角区域的电极夹角 α 比其他区域的电极夹角 β 小,其水平电场分量比其他区域的大,多余的水平电场分量导致相邻蟹角区域的液晶分子产生旋转,产生了漏光,即本文的亮线现象。

4 实验验证

实验分析了虚拟像素对蟹角区域液晶的影响。

通过在正常没有亮线的 AA 区中心制造一个虚拟像素设计,从而直接观察虚拟像素是否会导致亮线不良。具体方法为:将 AA 区的其中一排子像素的栅极电极与公共电极相连,则此排像素的电压就与虚拟像素的电压一样。将此面板调成零灰阶时,可以观察到正常 AA 区再造的虚拟像素的位置为常亮,见图 5。且该再造虚拟像素附近蟹角区域由原来的不漏光发生了明显漏光发亮,出现亮线不良。通过此实验,我们再现了亮线不良,证实了虚拟像素是造成亮线不良的最直接的原因。

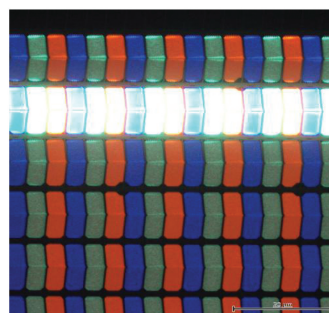


图 5 零灰阶时亮线不良再现图

Fig.5 Reappearance of line Mura at zero gray scale

总结上述的分析验证,我们提出以下几个改善方案:

(1)取消虚拟像素的设计,消除类似不平衡的电场对液晶的影响,仿真和实验说明虚拟像素的持续电压是蟹角区域的电场异常最直接的原因。因此取消该设计是最直接有效消除亮线不良的方法。

(2)改善蟹角的设计,保证整个 AA 区的液晶在均匀电场下作用。Ling 等人曾研究了蟹角对面板光学的影响并建议为了增加透过率而取消蟹角设计^[7]。但是他们只是针对小尺寸 12.7 cm (5 in) 和高分辨率的产品,这样会限制负性液晶在中尺寸产品上的使用。且蟹角角度一定程度上可以改善 Trace Mura(手指滑动面板表面时出现的一条沿着手指动作的灰色轨迹,正性液晶 4 s 左右会消失)。这也是很多产品保留蟹角的原因。因此在中大尺寸我们建议改善蟹角的设计,调整蟹角区电极角度来改善亮线不良。

(3)调整电压驱动方式。出现亮线不良产品的驱动设计用的是正正压,即公共电压为4.8 V。如果将公共电压改为0 V,虚拟像素的驱动电压理论上则为0 V。虚拟像素区域不存在持续的高电压,这样蟹角附近的液晶就不会受到影响。之后我们将液晶A在此电压驱动设计的产品中使用并没有发生亮线不良。

(4)改善材料特性。液晶B在出现亮线不良的面板上导入时没有发现此类的不良现象。对比液晶A和液晶B,发现液晶B的光学特性较差,透过率提升幅度小且低响应速度不如液晶A快,但是液晶B残像优于液晶A。对比发现液晶B的极性较低,稳定性比A好,不易产生杂质离子。因此改善液晶材料特性也是解决亮线不良的有效方法。

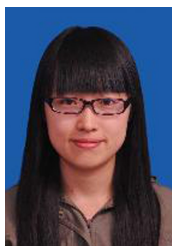
5 结 论

本文针对负性液晶导入过程中出现的亮线不良,进行了仿真分析和实验解析。发现由于虚拟像素的持续驱动电压产生异常电场对附近蟹角区域的液晶作用,造成了漏光,出现了亮线不良。本文分析了亮线不良产生原因并给出了改善方案。负性液晶在中大尺寸产品上导入使用时,像素设计要注意以下几点:首先设计产品时取消周边不平衡电场,尽量采用平衡的驱动(公共电极为0 V)设计;其次,如果必须采用正正压的驱动(公共电压大于0),则需取消虚拟像素的设计或者调整蟹角的区域设计;最后,极性低稳定的液晶材料有利于改善残像以及降低亮线不良问题的发生率。本文为以后负性液晶FFS模式的显示屏设计提供了很好的指导。

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 Crystals and Displays*, 2010, 25(4): 572-575. (in Chinese)
- [2] 张少楠,郭小军,崔宏青.正负液晶在FFS中的比较和研究[J].液晶与显示,2014,29(3):322-327.
ZHANG S N, GUO X J, CUI H Q. Study and comparison of positive and negative LC in FFS applications [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(3): 322-327. (in Chinese)
- [3] JUN H J, HA K S, CHAE M, *et al.* Abnormal behaviour in colour tracking characteristics of the fringe-field switching liquid crystal display [J]. *Liquid Crystals*, 2010, 37(3): 303-309.
- [4] 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.
- [5] ENGEL M, BERNATZ G, GÖTZ A, *et al.* UB-FFS: new materials for advanced mobile applications [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2015, 46(1): 645-647.
- [6] 牟强.液晶电视的广视角技术[J].液晶与显示,2005,20(1):67-71.
MOU Q. Wide visual angle technology of TFT-LCDTV [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2005, 20(1): 67-71. (in Chinese)
- [7] 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.
- [8] SEEN S M, KIM M S, LEE S H. Image sticking resistant liquid crystal display driven by fringe electric field for mobile applications [J]. *Japanese Journal of Applied Physics*, 2010, 49(5): 050208.
- [9] NANNO Y, MINO Y, TAKEDA M E, *et al.* Characterization of sticking effects of TFT-LCD [C]//*SID 90 Digest*. California: SID, 1990: 404-407.
- [10] 马群刚.TFT-LCD原理与设计[M].北京:电子工业出版社,2011:238-246.
MA Q G. *Principle and Design of TFT-LCD* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2011: 238-246. (in Chinese)

作者简介:



李裕蓉 (1987—), 女, 江苏南京人, 硕士, 工程师, 2013 年于江苏大学获得硕士学位, 主要从事液晶显示方面的研究。E-mail: li_yurong@163.com



杨磊 (1986—), 男, 河南洛阳人, 博士, 讲师, 2015 年于东南大学获博士学位, 主要从事液晶光学与显示、全息显示技术、微纳光学及光子学方面的研究。E-mail: leiyang@ujs.edu.cn