

文章编号:1007-2780(2018)12-1047-06

TFT-LCD 屏的 Flicker 和 DC 残留的研究及改善

叶 纯*, 王烨文, 林占强, 贺 强, 邢 程, 高晓莉
(南京中电熊猫平板显示科技有限公司, 江苏 南京, 210033)

摘要: 由于平面电场的非对称设计和挠曲电效应的存在, 导致正负帧作用下透过率不同, 目视有很明显的闪烁。本文在 396 mm(15.6 in) FHD(1 920×1 080) 竖双畴结构的基础上, 通过 LCD expert 软件模拟平面电场显示模式正负帧作用下电压-穿透率(Voltage-Transmittance, V-T) 曲线, 同时, 实测了像素电极(pixel-ITO) 不同线宽线距产品的残留 DC(Direct Current) 值/Flicker 数值等, 得出较好的实验条件, 对今后的像素设计有一定的指导意义。

关键词: 平面电场; Flicker; 残留 DC; 挠曲电效应; 不对称电场

中图分类号: TN141.9; O753⁺.2 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20183312.1047

Research and improvement of flicker& residual DC in TFT-LCD

YE Chun*, WANG Ye-wen, LIN Zhan-qiang, HE Qiang, XING Cheng, GAO Xiao-li

(Nanjing CEC Panda FPD Technology Co., Ltd., Nanjing 210033, China)

Abstract: Due to the non-symmetrical design of the plane electric field and the presence of the flexo-electric effect, the transmittance ratio different between the positive and negative frame, and the visible flicker is obvious. In this paper, the Voltage-Transmittance (V-T) curves of the plane electric field display mode were simulated by the LCD expert software, based on the 396 mm(15.6 in) FHD (1 920×1 080) vertical double-domain structure. At the same time, the residual Direct Current(DC) values and flicker values of different pixel-ITO widths were measured, and the optimal experimental condition was obtained, which was benefit for the pixel design in future.

Key words: plane electric field; flicker; residual DC; flexo-electric effect; asymmetric electric field

1 引言

液晶分子在外电场下的均匀形变由于具有较大的介电各向异性, 向列相液晶分子在外加电场作用下能产生集体形变, 同时液晶分子具有光学双折射, 形变后的液晶能诱导出强烈的光学非线性

性, 产生各种电光效应。如果液晶分子的形变分布、光学性质和电学性质是均匀的, 称为均匀形变。由均匀形变诱导的电光效应从光学性质上看是均匀分布的。均匀形变的产生完全是由于分子的取向分布改变而造成的, 而没有宏观的流体效应。其内部机理主要是由于液晶分子具有介电各向异性, 外加电场能对液晶分子施加介电转矩, 实

收稿日期: 2018-07-21; 修订日期: 2018-09-12.

* 通信联系人, E-mail: yeechun@126.com

际上是电场效应^[1]。

液晶分子在外电场下的非均匀形变在外加电场足够强的情况下,由于液晶分子不仅具有介电各向异性,还具有电导率各向异性,因此液晶内部出现了电流效应。电流效应能产生空间电荷,诱导出液晶内部的流体运动,此时液晶分子的分布、光学性质和电学性质都是非均匀的,称为非均匀形变,也称为电流体不稳定。如果外加电压在阈值附近,则会形成空间周期分布的畴结构;如果外加电压远远大于阈值,液晶内部会形成湍流,从光学上来看形成散射,称为动态散射。这些周期的畴结构都具有一定的方向性,并且具有像素周期重复结构相关的间距。从光学上来看,形成周期的条纹,因正负电场不对称,周期性条纹形成闪烁^[1]。

液晶分子本身具有固有的偶极矩,通常情况下,平面电场正性液晶平行分布于液晶盒内,从统计观点出发,偶极矩的正向分布与反向分布量值相同,液晶材料不表现出宏观的偶极矩。但是,如果液晶材料发生了畸变,就会诱导出一定的电偶极矩,在液晶中,展曲和弯曲形变有可能引起液晶的极化,反过来,电场也可能使液晶发生形变,这种效应称为挠曲电效应。Meyer 在 1969 年首次提出,液晶中的挠曲电效应宏观的展曲和宏观的弯曲形变会导致宏观的极化^[1]。由于 VA/TN/IPS 显示模式正负帧对称,液晶穿透率变化可忽略,挠曲电不严重;而有些平面电场显示模式,电场在横向和纵向不均匀,从像素电极到公共电极的正帧和从公共电极到像素电极的负帧电场不对称,因电场剧烈变化,液晶分子发生扭曲形变,正帧时,最小穿透率发生在像素 ITO 电极的上方,负帧时,最小穿透移动到像素 ITO 电极空隙的中间,正负电场作用下液晶盒穿透率不同,在人眼看来就是闪烁。

本文用 LCD Expert 软件模拟这种平面电场显示模式挠曲电效应,以及在 396 mm(15.6 in)显示器上做实验找出最优实验条件,对以后 TFT 像素设计提供参考经验^[2]。

2 模拟计算

本文采用 LCD expert 软件模拟平面电场显

示模式正负电场作用下电压-穿透率(Voltage-transmittance, V-T)曲线。以 396 mm(15.6 in) FHD(1 080×1 920)显示器竖双畴结构为研究对象,像素 ITO 电极结构见图 1。

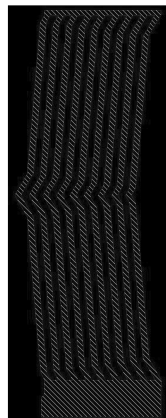


图 1 396 mm(15.6 in)显示器像素电极结构图(图中条纹区域是像素电极(像素 ITO))

Fig.1 396 mm(15.6 in)panel pixel ITO structure diagram(the stripe zone is the pixel ITO)

图 2 是在正负电场作用下 V-T 曲线,可以看到正负电压下 V-T 曲线不完全重合,在电压较低时重合度很高,从 2.8 V 开始,差异变大,在 3.8 V 时穿透率差异达到最大值,这与下文实验中实测液晶驱动电压相吻合。

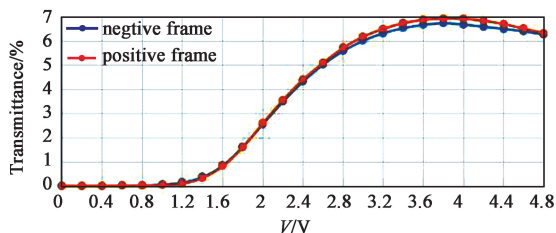


图 2 正负帧下的 V-T 模拟曲线

Fig.2 V-T curves simulated under positive and negative frame

3 实验

本平面电场显示模式使用正性液晶,因为挠曲电效应(Flexo-Electric Effect)导致液晶在正负电场驱动下的液晶分子展曲和弯曲形变不同,使正负帧穿透率出现变化,产生 Flicker 问题^[3]。如果此效应造成的 flicker 过大,会影响调整公共电

压(V_{com}),导致 DC 残留产生。本实验通过在现有机种的材料组配(Color filter/PI/LC)不变,而(1)改动像素 ITO 线宽(线距不变)和(2)改动绝缘层 SiN_x 膜厚的情况下,观察存在于正负帧下的 Flexo-electric 导致的液晶条纹变动,找到正负帧穿透率平衡的设计,来降低因 Flexo-electric 造成的 Flicker,为后续像素设计提供参考。

本实验采用默克正性液晶,材料参数 $K_{11}=14.1$, $K_{33}=18$,介电各向异性 $\Delta\epsilon=7.8$,光学各向异性 $\Delta n=0.0995$,液晶盒厚为 $3.4\ \mu m$,配向液为 Nissan RB 系列。每个条件制作 18 个样品,具体实验条件如表 1 所示。

表 1 DOE 实验条件

Tab.1 DOE experiment conditions

条件	绝缘层 厚度/nm	Pixel ITO 线宽/ μm	Pixel ITO 线距/ μm	线宽/ 线距	Pixel ITO pitch/ μm
1	150	2.9	2.6	1.12	5.5
2	150	2.4	3.1	0.77	5.5
3	200	2.9	2.6	1.12	5.5
4	200	2.4	3.1	0.77	5.5
5	250	2.9	2.6	1.12	5.5
6	250	2.4	3.1	0.77	5.5

4 结果与讨论

4.1 残留 DC

本实验所有样品残留 DC 为 0 或负值,图 3 中红色虚线上方 $-0.15\sim 0\ V$ 为 OK 区域。由图 3(a)结果可见,条件 6 良率最高,条件 3 次之,条件 4 最低。单独变动像素 ITO 线宽(图 3(b))或绝缘层 SiN_x 膜厚(图 3(c))无显著效果。

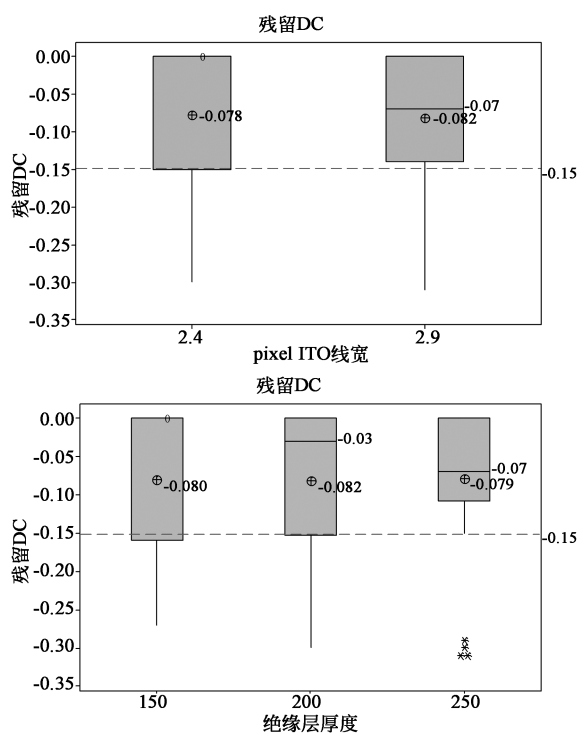
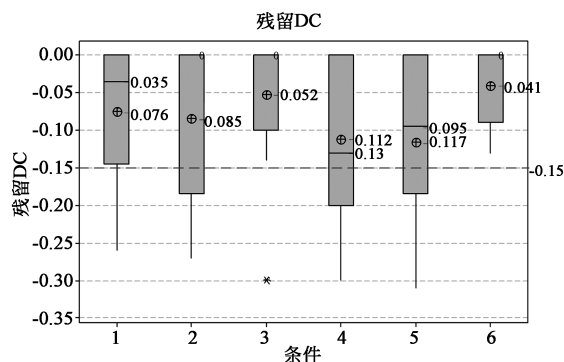


图 3 6 个实验条件的残留 DC 分布图。(a) 6 个条件的 DC 残留;(b) 不同像素 ITO 线宽的残留 DC;(c) 不同绝缘层膜厚的残留 DC。

Fig.3 Residual DC profiles of 6 conditions in experiment. (a) Residual DC profiles of 6 conditions. (b) Residual DC profiles of different pixel ITO widths. (c) Residual DC profiles of different passivation thickness.

4.2 Flicker 量测

图 4 是用 CA310(柯尼卡美能达)量测 flicker 随时间变化曲线。盒内存在一部分离子,通电后离子会随时间积累。正帧时,正离子从像素 ITO 电极区向公共电极(像素 ITO space)区域移动聚集,负离子从公共电极区向像素 ITO 区域移动聚集。

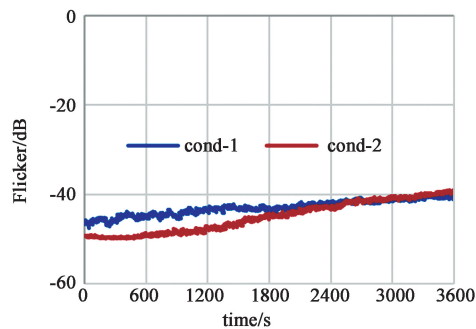


图 4 Cond-1&Cond-2 的 flicker 测试曲线

Fig.4 Cond-1&Cond-2 flicker profile

集;负帧时相反。像素 ITO 线宽/线距为 2.4/3.1(cond-1)或 2.9/2.6(cond-2)的比值相差不大,但 cond-2 flicker 值略低。将 Cond-1 和 Cond-2 两个条件的屏,用 CA310 量测 1 h, Flicker 从 -50 dB 变化到 -40 dB, Flicker 程度有增加,但在人眼可接受范围内(规格 ≤ -30 dB)且 Flicker 较轻微^[3]。

4.3 波形分析 @L64/ L96/ L128Flicker 画面

图 5 为高速摄像机(厂商 Olympus, 型号 MX61L, CCD 型号 DP21)拍摄的微观动态画面截图,在高速摄像机下,可以观测到像素 ITO 电极对应的亮线和暗线交替移动,周期性变化。图 6 为示波器(Tektronix, MDO3054)测试 Flicker 画面下的 3 个灰阶(L64/L96/L128)的电压随时间变化图,驱动频率为 60 Hz,光电传感器取样时间间隔为 0.002 ms。横坐标为时间,纵坐标是电压(等价于亮度),0 V 是电压平均值(等价于亮度平均值)。图中相邻的波峰/波谷是正负帧周期性变化造成,与图 5 的亮暗条纹周期性波动相对应(像素中的一个畴结构的中间和两端边缘发亮不同,这亮暗不均是因为同一个畴内 ITO 走向角度分 3 段,其导致中间与两端的液晶的扭转角度差异,即是由 PI 配向方向与像素 ITO 狭缝夹角不同决定的)。

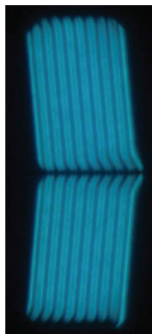


图 5 高速摄像机观察的亮/暗线周期性移动
Fig.5 Bright & dark stripes shift periodically observed by high speed camera

图 6 为示波器测试的条件 1 的样品,在 L64/ L96/ L128Flicker 画面下的 Flicker 波形随源信号正负帧变化的情况,从图中可以观测到 Flicker 值随着相邻的正负帧有高低不同的波峰/波谷的周期性变化,这正是目视所看到的 Flicker。随着画面的灰阶从 L64 到 L128 增加, Flicker 波形波动的幅值也随着正负帧变化的趋势也增加,同时

目视的 Flicker 程度也随之增加。

其余 5 个条件的样品也都有类似现象。下面我们将对比 6 个条件的样品,分别在 L64/ L96/ L128Flicker 画面下的 Flicker 变化规律并解释。

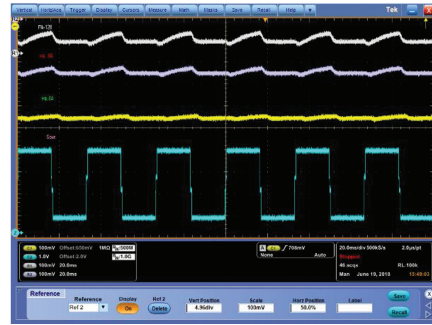


图 6 条件 1 在 Flicker 画面下(L64/L96/L128)的 Flicker 波形随源信号正负帧变化的情况

Fig.6 Flicker profiles of Condition 1 under positive and negative frame in L64/L96/L128 flicker pattern

图 7 是条件 1~6 的 flicker 波形,分别在 L64/L96/L128 Flicker 画面下的变化趋势的横向对比,其纵坐标是依次叠加上移。取 3 个 Flicker 画面下 L64/L96/L128 为研究对象,将纵坐标拉到相同的数值作对比。由图 7 可见,从 Flicker L64 到 L128,随灰阶增加,波动幅度变大, Flicker 加重,纵坐标由不足 ± 0.01 V 到超出 ± 0.02 V。单独比较条件 1/3/5,条件 1 波动幅度最大,条件 5 波动幅度较小,这与绝缘层 SiN_x 膜厚有关,绝缘层变厚,公共电极和像素电极之间电场强度变弱;单独比较 2/4/6 是相同的趋势。单独比较条件 1 和 2、3 和 4、5 和 6,像素 ITO 线宽变大(间隔不变),液晶的展曲参数 K_{11} 和弯曲参数 K_{33} 分别对应的 e_{11} 和 e_{33} 电场变弱,液晶短距离展曲和弯曲形变量较小,示波器信号探测到的正负帧亮度波动较小^[4]。条件 5 波动幅度最小,是 6 个条件中最优。

4.4 波形分析@L64/L96/L128 灰阶画面

图 8 为示波器测试的条件 1 的样品,在 L64/ L96/ L128 灰阶画面下的 Flicker 波形随源信号正负帧变化的情况,从图中可以观测到与 Flicker 画面下相似规律的 Flicker 波形变化规律,同时目视也可以看到明显的 Flicker 现象。波动的幅值也随着灰阶画面从 L64 到 L128 增加而增加,且

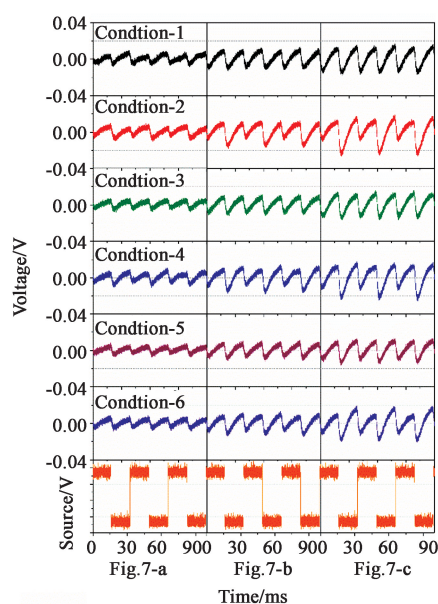


图 7 Flicker 波形量测图。(a) L64 Flicker 画面下的 Flicker 波形量测图;(b) L96 Flicker 画面下的 Flicker 波形量测图;(c) L128 Flicker 画面下的 Flicker 波形量测图。

Fig.7 Flicker profiles corresponding to different grayscale level flicker patterns. (a) L64 flicker pattern; (b) L96 flicker pattern; (c) L128 flicker pattern.

有正负帧变化的些微不同。同样,我们对比 6 个条件的样品,讨论它们在 L64/ L96/ L128 灰阶画面下的 Flicker 变化规律。

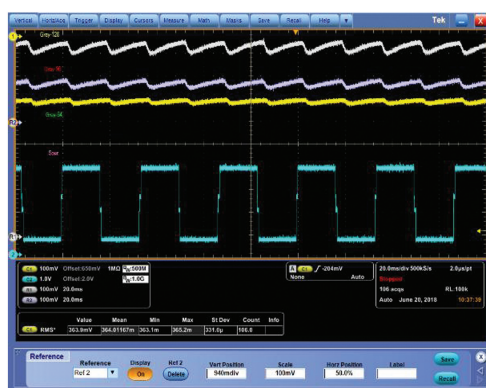


图 8 条件 1 在灰阶画面下 (L64/L96/L128) 的 Flicker 波形随源信号正负帧变化的情况

Fig.8 Flicker profiles of Condition 1 under positive and negative frame in L64/L96/L128 grayscale pattern

图 9 为示波器测试 3 个灰阶画面下 L64/ L96/ L128 的电压随时间变化图, 设置与 Flicker 画面下一致。由图 9 可以看出, 从灰阶画面 L64~L128, 随着灰阶亮度增加, Flicker 波动幅度加剧, 纵坐标由不足 ± 0.02 V $\rightarrow$ 超出 ± 0.03 V。

究其原因, 正负帧液晶所受的 Flexo-electric 效应有不同, 导致同一位置液晶分子排列随正负帧变化而改变, 最终的现象是同一位置的亮度发生变化。从灰阶画面的 L64 到 L128, 驱动电压增大, 正负帧电场不对称程度加剧, 目视 Flicker 加重, 对应图中示波器侦测的 Flicker 波形的电压值呈周期性波动。从波形中, 可以看出条件 5 是 Flicker 最轻微的。这是因为像素 ITO 线宽较宽 ($2.9 \mu\text{m}$), 像素 ITO space 为 $2.6 \mu\text{m}$, 同时绝缘层厚度较厚 (250 nm), 像素 ITO space 电极和像素 ITO 电极之间的电场强度较弱, 正负帧不对称程度较低, Flexo-electric 现象较弱, Flicker 相对轻微^[5]。

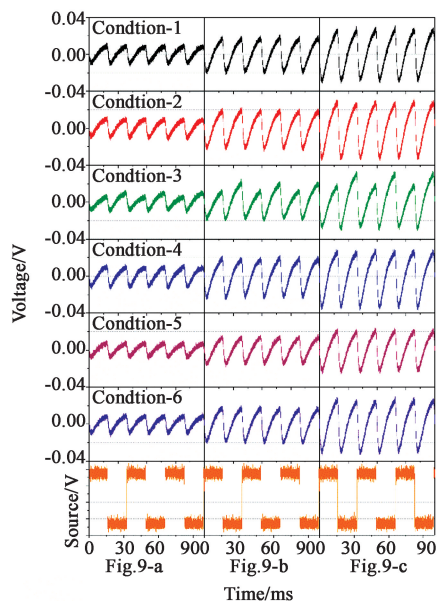


图 9 3 个灰阶画面下的 Flicker 波形量测图。(a) L64 灰阶画面下的 Flicker 波形量测图;(b) L96 灰阶画面下的 Flicker 波形量测图;(c) L128 灰阶画面下的 Flicker 波形量测图。

Fig.9 Flicker profiles corresponding to 3 grayscale level flicker patterns. (a) L64 grayscale pattern; (b) L96 grayscale pattern; (c) L128 grayscale pattern.

4.5 V-T 曲线测试分析

图 10 为实测的条件 1~6 的样品的 V-T 曲线。由图中可以看到,条件 1~6 的样品的 V-T 曲线趋势基本一致,在 4 V 时达到 95% 左右亮度,在 4.2 V 基本达到饱和,4.2~5.0 V 为平稳区。同时,可知像素 ITO 线宽 $2.9\ \mu\text{m}$ 和 $2.4\ \mu\text{m}$ 对穿透率影响不大,在相同电压下,穿透率略有差异。绝缘层 SiN_x 越薄,电场越强,相同电压下穿透

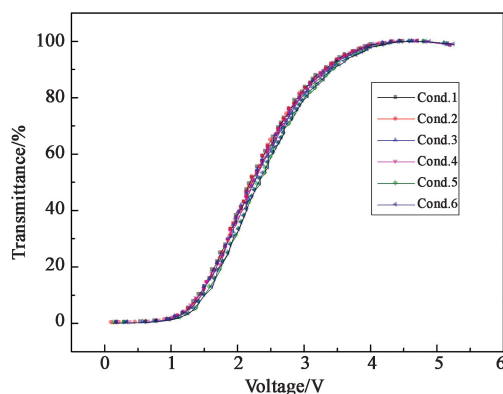


图 10 实测条件 1~6 样品的 V-T 曲线

Fig.10 V-T curve measured through Condition 1~6 samples

率较高,但相应的 Flexo-electric 效应带来的 Flicker 也更明显,这与模拟结果可以相互佐证。

综合考量功耗、亮度、trace Mura 和画质均一性的要求,故实际产品采用 4 V 作为白态电压。

5 结 论

由于平面电场显示模式的非均匀不对称电场,正负帧造成液晶分子在短距离剧烈形变,本文首先用 LCD expert 模拟分析了平面电场显示模式的挠曲电效应,在 396 mm (15.6 in) 显示器上用实验探讨绝缘层 SiN_x 不同厚度和像素 ITO 电极不同线宽/线距在正负电场作用下 V-T 曲线的差异,同时用此实验测试绝缘层厚度及像素 ITO 线宽/线距对 Flicker 的影响,得出较好的实验条件,对今后 TFT 像素的设计有一定指导作用。此外,Flicker 还受驱动频率、色偏和人眼敏感度等一些因素影响^[6]。同时,随着近年来平面电场显示模式负性液晶的开发成功,在中小尺寸机种上相继量产,挠曲电效应对 Flicker 的贡献比例已大大降低,Flicker 已可以控制在目视可接受范围内。

参 考 文 献:

- [1] 关荣华,李向永.液晶表面物理-挠曲电效应研究及进展[J]. 物理,2008,37(3): 517-521.
GUAN R H, LI X Y. Research and development of physical-flexoelectric effect on liquid crystal surface [J]. Physics, 2008, 37(3): 517-521. (in Chinese)
- [2] HUANG K T, HUNG Y W, FANG R X, *et al.* Study on minimize the flicker shift phenomenon in positive LC FFS mode LCD panel by optimized pixel design [J]. *SiD Symposium Digest of Technical Papers*, 2017:142.
- [3] 余晓飞,周井雄,孔祥建.FFS 模式中闪烁漂移的研究 [C]//2014 中国平板显示学术会议,江苏 南京,2014.
SHE X F, ZHOU J X, KONG X J. Scintillation drift in FFS mode [C]//2014 China Flat Panel Display Academic Conference, Nanjing, Jiangsu, 2014. (in Chinese)
- [4] KIM M S, BOS P J, KIM D W, *et al.* Field-symmetrization to solve luminance deviation between frames in a low-frequency-driven fringe-field switching liquid crystal cell [J]. *Optics Express*, 2016, 24(26): 29568.
- [5] KIM M S, BOS P J, KIM D W, *et al.* Flexo-electric effect in an in-plane switching(IPS) liquid crystal cell for low-power consumption display devices [J]. *Scientific Reports*, 2016:35254.
- [6] CHEN H W, F L PENG, HU M G, *et al.* Flexoelectric effect and human eye perception on the image flickering of a LC display [J]. *Liquid Crystal*, 2015, 42(12): 1730-1737.

作者简介:叶纯(1983—),男,江苏徐州人,硕士,工程师,主要从事液晶显示器件的研究。E-mail: yeechun@126.com