

文章编号:1007-2780(2017)09-0685-07

快速响应的共面转换型液晶显示器

付明珠¹, 郭玉强^{1,2}, 任亚璇¹, 马红梅^{1,2}, 孙玉宝^{1,2*}

(1. 河北工业大学 应用物理系, 天津 300401;

2. 河北工业大学 电子信息工程学院, 天津 300401)

摘要: 共面转换液晶显示器(IPS-LCD)由于其具有可视角度大、色彩真实、画质出色等优点,在平板显示器中得到了广泛应用,然而响应速度慢限制了其在高端显示器中的应用。本文中,首先通过采用正性液晶,对 IPS 类型中的边缘场转换型(FFS)和边缘场共面转换型(FIS)的液晶显示器,不同摩擦角度下的电光特性和响应时间进行了模拟计算。然后从预倾角度、电极尺寸以及弹性常数出发,对 FIS 液晶盒结构参数进行了优化,提出了一种快速响应的液晶显示器。我们通过计算机模拟发现,在 FFS 液晶盒中,摩擦角度对工作电压具有较大影响,小摩擦角度可实现高透过率、低工作电压;而在 FIS 液晶盒中,摩擦角度对响应时间具有较大影响,大于 10° 时与 2° 时相比,响应速度可提高 82.7% 以上。并且,不同摩擦角度下,弹性常数对 FIS 液晶显示器的响应速度影响不同,摩擦角度为 2° 时,响应速度与弹性常数 K_{11} 、 K_{22} 、 K_{33} 都有关,而摩擦角度为 12° 时,响应速度只与 K_{22} 有关,这个原因导致了 12° 与 2° 时相比,响应速度提高了 84.2%。

关键词: FIS 液晶显示器; 工作电压; 快速响应

中图分类号: TN104.3 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20173209.0685

Fast-response in-plane switching liquid crystal display

FU Ming-zhu¹, GUO Yu-qiang^{1,2}, REN Ya-xuan¹, MA Hong-mei^{1,2}, SUN Yu-bao^{1,2*}(1. *Department of Applied Physics, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China;*2. *School of Electronic and Information Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China*)

Abstract: Excellent viewing angle and outstanding ability of color reproduction in-plane switching liquid crystal displays (IPS-LCDs) are widely applied in TFT-LCD. However, its development in high-end LCD is limited by its slow response. In this paper, the electro-optic characteristics and response time of FFS and FIS modes in the IPS type are simulated with different rubbing angle by using the positive liquid crystal material. Furthermore, we report a simple method to reduce the response time in the fringe and in-plane switching (FIS) cell by optimizing tilt angle, electrodes size, and elastic constants. Through the simulations, we can obtain that the rubbing angle has a great influence on

收稿日期: 2017-02-27; **修订日期:** 2017-04-01.

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

* 通信联系人, E-mail: sun_yubao@163.com

operating voltage in FFS cell, and small rubbing angle can achieve high transmittance and low operating voltage. However, the rubbing angle has a great impact on the response time in FIS cell. When the angle is greater than 10° , the response speed is increased by more than 82.7% compared with 2° . In addition, the elastic constants have an effect on the response time under different rubbing angles in the FIS mode. When the rubbing angle is 2° , the response speed is related to K_{11} , K_{22} and K_{33} . When the rubbing angle is 12° , the response speed is only related to K_{22} , which results in an increase in switching speed of 84.2% compared to 2° .

Key words: fringe and in-plane-switching liquid crystal display; operating voltage; fast response

1 引言

液晶显示器作为一种重要的平板显示器件,由于其拥有低功耗、重量轻、易驱动和分辨率高等特点,被广泛应用于高端显示器件中。液晶显示器经过多年的发展,已经开发出多种显示模式的液晶显示器,例如 TN 型^[1]、IPS 型^[2-3]、FFS 型^[4-5]和 VA 型^[6],其中 IPS 型由于其具有可视角度大、色彩真实、画质出色等优点,应用最为广泛。目前,向列相液晶器件的响应时间是限制其性能发挥的弱点所在。由于液晶显示器需要依赖液晶材料的旋转来控制光的透过及反射,而液晶分子的旋转速度又依赖于液晶材料的性质以及液晶显示器件的结构。降低响应时间的方法有多种,近年来,为了提升液晶显示器的响应速度,各种各样的方法也已经被提出^[7-13]。尤其是在改变电极结构上,比如双面 FFS 盒结构^[14]、电极错位、添加凸起^[15]等。

在本文中,我们从摩擦角度、电极尺寸以及弹性常数出发,通过对结构参数进行优化,提出了一种快速响应的液晶显示器。通过模拟计算我们得出 FFS 液晶盒的摩擦角度对工作电压有较大影响,小摩擦角度可实现高透过率、低工作电压。FIS^[16]液晶盒的摩擦角度对响应时间有较大影响,角度选在 10° 到 15° 范围内,预倾角度选为 2° 时可实现快速响应。除此之外,我们还对比了不同电极尺寸以及不同摩擦角度下弹性常数对透过率以及响应时间的影响,摩擦角度为 2° 时,响应速度与弹性常数 K_{11} 、 K_{22} 、 K_{33} 都有关,而摩擦角度为 12° 时,只与弹性常数 K_{22} 有关,这导致了摩擦角度 12° 时响应速度更快,为了实现快速响应的 FIS 液晶显示器,大摩擦角度相对于小摩擦角度在液晶材料的选择空间上更

大,更具有优势。

2 结构与原理

传统 FFS-LCD 和 FIS-LCD 结构如图 1 所示,两种显示模式的电极结构相同,像素电极均为梳状电极,公共电极均为面状电极,并且公共电极位于像素电极下方,两者之间用绝缘层(二氧化硅或氮化硅)隔开。不同的是 FFS 液晶盒是在像素电极加极性相同的电压,利用像素电极与公共电极间产生边缘场驱动液晶分子,而 FIS 模式是在像素电极之间施加极性相反的电压,利用像素电极之间的共面场和与公共电极间的边缘场驱动液晶分子。

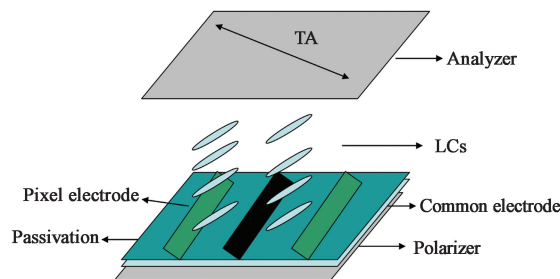


图 1 FFS、FIS 结构原理图

Fig.1 Structures of the FFS mode and the FIS mode

液晶显示器的响应时间一般表示如下:

$$\tau_d = \frac{\gamma d^2}{\pi^2 K_e}, \quad (1)$$

$$\tau_r = \frac{\tau_d}{(U_v/U_{th})^2 - 1}, \quad (2)$$

其中: τ_d 表示液晶盒去掉驱动电压后液晶分子恢复到初始状态所需的时间, τ_r 表示液晶盒施加电压后液晶分子发生形变到液晶分子稳定的时间, γ 为转动粘滞系数, d 为液晶盒厚, U_v 表示驱动电压, U_{th} 表示阈值电压, K_e 为等效弹性常数,不

同模式下, K_e 等于不同的弹性常数, 或者不同的弹性常数组组合。

3 模拟计算与讨论分析

我们采用三维液晶模拟软件 Techwiz LCD (Sanayi, Korea) 利用 2×2 琼斯矩阵^[17] 对 FIS 和 FFS 液晶盒进行了模拟计算, 模拟中采用相同的液晶材料, 材料参数设置如下: $K_{11} = 10.87$ pN, $K_{22} = 9.5$ pN, $K_{33} = 15.37$ pN, 介电常数差 $\Delta\epsilon = 5.3$, $\Delta n = 0.0969$, 转动粘滞系数 $\gamma_1 = 100$ mPa, 液晶盒 $d = 4$ μm , 绝缘层的介电常数 $\epsilon_r = 3.8$, 厚度为 0.1 μm 。初始状态液晶分子沿基板表面排列。我们分别对 FIS 和 FFS 液晶显示器, 不同摩擦角度下的电光特性以及响应时间进行了模拟计算, 并对不同的预倾角度、电极尺寸以及弹性常数下的 FIS 液晶盒结构参数进行优化, 以实现快速响应。

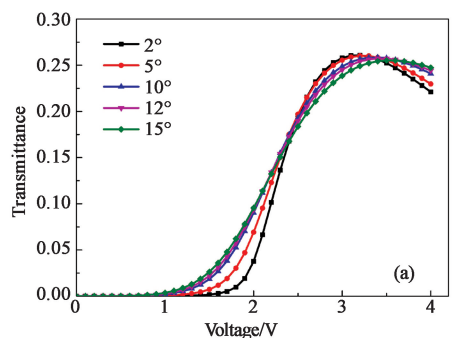
3.1 模拟计算

首先模拟计算了不同摩擦角度下 FIS 模式和 FFS 模式对电光特性以及响应时间的影响, 一般我们定义上升时间为施加驱动电压后, 透过率由 10% 变化到 90% 所需的时间, 下降时间为去掉电压后, 透过率由 90% 下降到 10% 所需的时间。模拟中上下基板的预倾角度设置为 2° , 电极宽度为 2.3 μm , 电极间隔为 4 μm , 使用单波长的绿光作为入射光 ($\lambda = 550$ nm), 所用偏光片为标准偏光片 G1220DU: $n_e = n_o = 1.5$, $k_e = 1.929 \times 10^{-3}$, $k_o = 4.535 \times 10^{-5}$, 偏光片厚度为 230 μm ($T_{(P \perp A)} = 0.2844$)。

3.1.1 摩擦角度对 FIS 液晶盒透过率及响应时间的影响

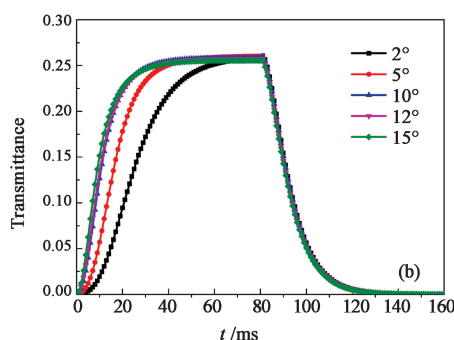
FIS 液晶盒不同摩擦角度下电光特性和响应时间曲线如图 2 所示。我们可以看出 2° 到 15° 范围内, 随着摩擦角度的增大, 透过率略有降低 (由 0.261 变为 0.254), 饱和工作电压增大, 并且其对应的阈值电压减小, 如图 2(a) 所示。除此之外, 随着摩擦角度的增加, 上升时间减小 (由 35.01 ms 减小到 18.87 ms), 下降时间几乎不变, 角度大于 10° 时与 2° 时相比, 响应速度至少提高了 82.7%。并且当角度大于 10° 时, 摩擦

角度对响应时间的影响变小, 如图 2(b) 所示。综合考虑摩擦角度对透过率、工作电压以及响应时间的影响, 结合表 1 可以看出角度选在 $10^\circ \sim 15^\circ$ 范围内最为合适。



(a) 电光特性曲线

(a) Voltage-transmittance curves



(b) 响应时间曲线

(b) Response time curve

图 2 FIS 不同摩擦角度下的电光特性与响应时间曲线

Fig. 2 Voltage-transmittance curve and response time of FIS cell with different orientation

表 1 FIS 模式不同摩擦角度下的透过率、工作电压以及响应时间

Tab.1 Transmittance, operating voltage and response time of the FIS cell

摩擦角度	透过率	饱和工作电压/V	上升时间/ms
2°	0.261	3.2	35.01
5°	0.260	3.2	23.34
10°	0.258	3.4	19.16
12°	0.257	3.4	19.01
15°	0.254	3.5	18.87

3.1.2 摩擦角度对 FFS 液晶盒透过率及响应时间的影响

FFS 液晶盒不同摩擦角度下电光特性和响应时间曲线如图 3 所示。我们可以看出,摩擦角度对 FFS 透过率及响应时间的影响与 FIS 是类似的。随着摩擦角度的增大,透过率稍有降低(由 0.265 降至 0.257),饱和工作电压增大(由 6.1 V 增大到 7.1 V),如图 3(a)所示。并且,随摩擦角度的增大,上升时间减小,响应速度加快,如图 3 (b)所示。但相对于 FIS 模式,摩擦角度对 FFS 液晶盒响应时间的影响较小,对工作电压的影响较大,而 FIS 液晶盒却恰好相反。因此,FFS 液晶盒中,小摩擦角度可实现高透过率、低工作电压,2°与 5°时相比,工作电压增大了 3.2%,但响应时间减小了 6.5%,结合图 3 和表 2,可以得出摩擦角度选为 5°较为合适。除此之外,对比表 1 和表 2 的数据可以发现,相同摩擦角度下,FIS 液晶盒的响应速度更快。

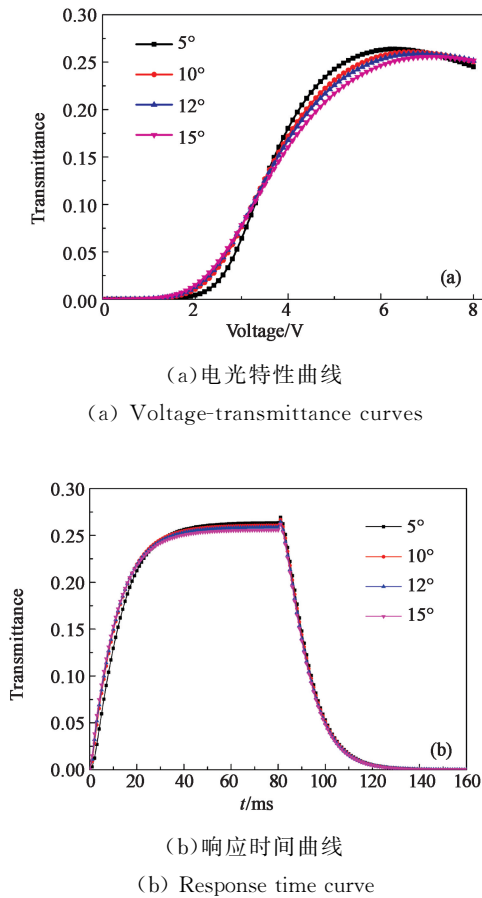


图 3 FFS 不同摩擦角度下电光特性曲线
Fig. 3 Voltage-transmittance curve and response time of FFS with different orientation

表 2 FFS 模式不同摩擦角度下的透过率、工作电压以及响应时间

Tab.2 Transmittance, operating voltage and response time of the FFS cell

摩擦角度	透过率	饱和工作电压/V	上升时间/ms
2°	0.265	6.1	27.57
5°	0.264	6.3	25.89
10°	0.261	6.7	25.03
12°	0.259	6.8	24.83
15°	0.257	7.1	24.88

3.2 讨论分析

3.2.1 预倾角度对透过率及响应时间的影响

图 4 对比了电极宽 2.3 μm,隔 4 μm,摩擦角

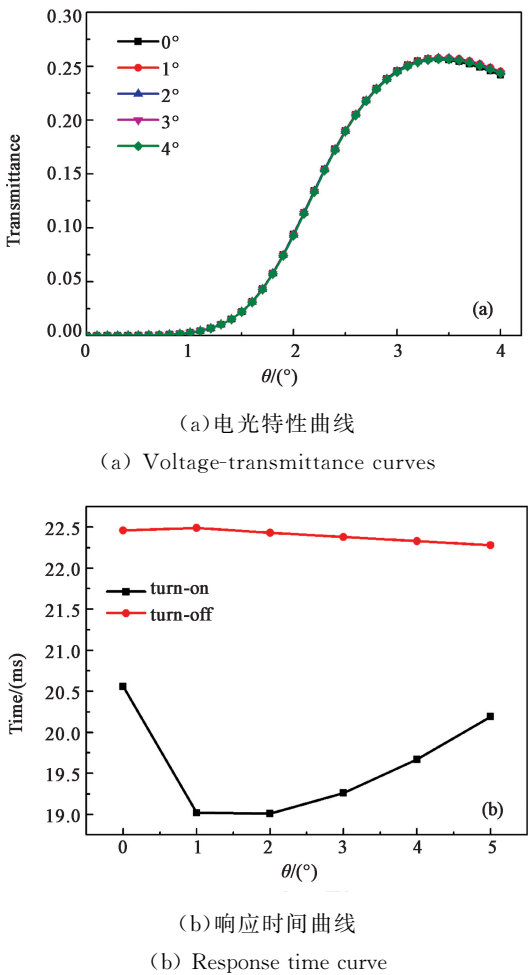


图 4 FIS 不同预倾角度下电光特性曲线与响应时间曲线
Fig. 4 Voltage-transmittance curve and response time under different tilt angle

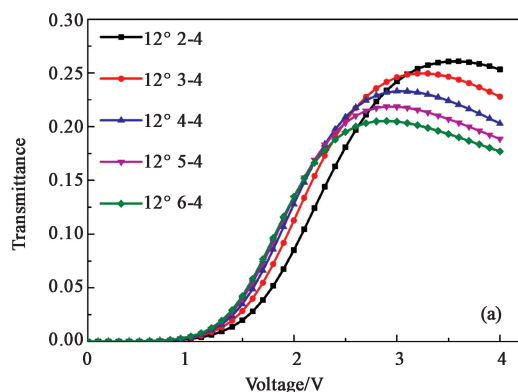
度为 12° 时, FIS 模式不同预倾角度对透过率以及响应时间的影响。通过对比可以看出, 不同的预倾角度对透过率及驱动电压几乎没有影响, 如图 4(a) 所示, 而对上升时间有一定的影响, $0^\circ \sim 2^\circ$ 范围内随着预倾角的增大, 上升时间减少, 预倾角度为 0° 时, 上升时间为 20.6 ms, 预倾角度增大到 2° 时, 上升时间降为 19.0 ms。而当预倾角度大于 2° , 随着预倾角的增大, 上升时间反而增加, 5° 时上升时间增加到 20.2 ms, 如图 4(b), 因此, 预倾角度选为 2° 最为合适, 但总体影响大。

3.2.2 电极尺寸对透过率及响应时间的影响

图 5、图 6 模拟了不同电极尺寸对透过率, 以及不同电极尺寸下, 不同摩擦角度对响应时间的影响, 图 5(a) 显示了电极间隔为 $4 \mu\text{m}$ 时, 不同电

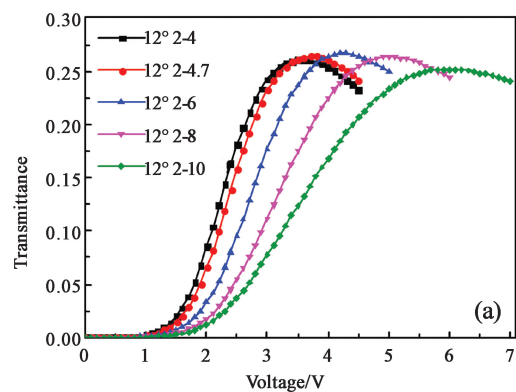
极宽度的电光特性曲线的模拟结果。通过对比可以发现: 摩擦角度为 12° 时, 随着电极宽度的增大, 透过率降低, 饱和工作电压也降低, 电极宽度为 $2 \mu\text{m}$ 时, 最高透过率为 0.26, 工作电压为 3.6 V, 电极宽度为 $6 \mu\text{m}$ 时, 最高透过率为 0.20, 工作电压为 2.9 V。除此之外, 不同摩擦角度下, 电极宽度对下降时间几乎没有影响, 而对上升时间有较大影响, 随着电极宽度的增大, 上升时间增加, 响应速度变慢, 如图 5(b) 所示。

图 6(a) 为电极宽度为 $2 \mu\text{m}$, 摩擦角度为 12° 时, 不同的电极间隔的电光特性曲线, 可以看出, 随着电极间隔的增大, 饱和工作电压增加, 但是透过率并不是一直增加的, 由此可见较小的电极宽度, 合适的间隔才能得到较好的电光特性, 除此之



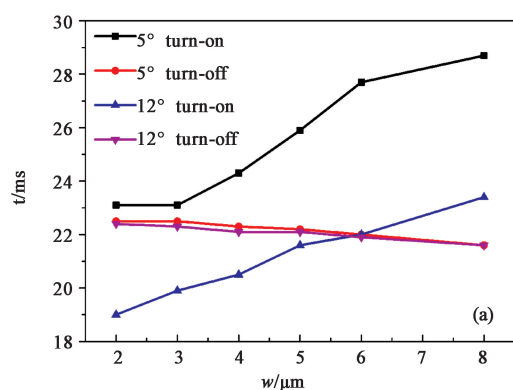
(a) 电光特性曲线

(a) Voltage-transmittance curves



(a) 电光特性曲线

(a) Voltage-transmittance curves

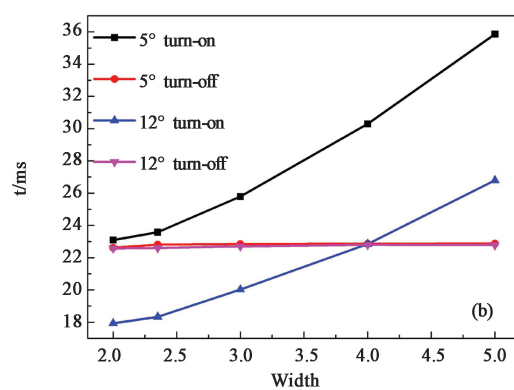


(b) 响应时间曲线

(b) Response time curve

图 5 不同电极宽度下电光特性曲线与不同摩擦角度响应时间曲线

Fig.5 Voltage-transmittance curve on the width of interdigitated electrodes and response time with different orientation



(b) 响应时间曲线

(b) Response time

图 6 不同电极宽度下电光特性曲线与不同摩擦角度响应时间四线

Fig.6 Voltage-transmittance curve on the gap of interdigitated electrodes and response time with different orientation

外,不同的摩擦角度下,不同的电极间隔对下降时间没有影响,而对上升时间有较大的影响,随着电极宽度的增大,上升时间增加,响应速度变慢,如图 6(b)所示,所以电极宽度越窄,间隔越小,响应速度越快。

3.2.3 弹性常数对响应时间的影响分析

为了表明弹性常数对响应时间的影响,我们模拟计算了相同条件、不同摩擦角度下,响应时间随弹性常数的变化,如图 7 所示。通过模拟可以发现,摩擦角度为 2° 时,上升时间不仅取决于弹性常数 K_{22} ,也取决于 K_{11} 和 K_{33} ,也就是说此时的液晶分子在共面场和边缘场的作用下,不仅发生了扭曲形变,也发生了展曲和弯曲形变,并且随着弹性常数的增大,响应时间减小,响应速度加

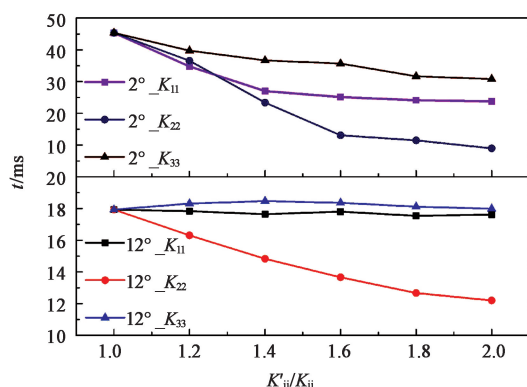


图 7 不同摩擦角度下,弹性常数对上升时间的影响

Fig. 7 Dependence of the turn-on time on three elastic constants with different orientation

快。而摩擦角度为 12° 时,上升时间几乎不随弹性常数 K_{11} 和 K_{33} 变化,只随 K_{22} 的增大而减小,也就是说该摩擦角度下的液晶分子只发生了扭曲形变。场致效应引起的展曲和弯曲形变导致了摩擦角度为 2° 时响应时间的增加, 12° 时与 2° 时相比响应速度提高了 84.2%。因此,FIS 液晶显示器为了实现快速响应,我们可以选择较大的摩擦角度,具有较大 K_{22} 值的液晶材料,并且大摩擦角度相对于小摩擦角度在液晶材料的选择空间上更大,更具有优势。

4 结 论

通过计算机模拟,从摩擦角度、预倾角度、电极尺寸以及弹性常数出发,对 FIS 液晶盒结构参数进行了优化,提出了一种快速响应的液晶显示器。摩擦角度选为 $10^\circ \sim 15^\circ$ 范围内时,响应速度相较于 2° 时可提高至少 82.7%。另外,摩擦角度为 2° 时,响应速度与弹性常数 K_{11} 、 K_{22} 、 K_{33} 都有关,而摩擦角度为 12° 时只与 K_{22} 有关,这个原因导致了 12° 比 2° 时响应速度提高了 84.2%。所以,FIS 液晶显示器为了实现快速响应,我们可以选择较大的摩擦角度,具有较大 K_{22} 值的液晶材料,并且大摩擦角度相对于小摩擦角度在液晶材料的选择空间上更大,更具有优势。这在以后 FIS 液晶显示器实现快速响应,在摩擦角度、电极尺寸以及液晶材料的选择上具有很强的指导意义。

参 考 文 献:

- [1] SCHADT M, HELFRICH W. Voltage-dependent optical activity of a twisted nematic liquid crystal [J]. *Applied Physics Letters*, 1971, 18(4): 127-128.
- [2] ANDERSON J E, BOS P J. Methods and concerns of compensating in-plane switching liquid crystal displays [J]. *Japanese Journal of Applied Physics*, 2000, 39(11R): 6388-6392.
- [3] SUN Y B, ZHANG Z D, MA H M, et al. Optimal rubbing angle for reflective in-plane-switching liquid crystal displays [J]. *Applied Physics Letters*, 2002, 81(16): 4907-4909.
- [4] KIM H Y, NAM S H, LEE S H. Dynamic stability of the fringe-field switching liquid crystal cell depending on dielectric anisotropy of a liquid crystal [J]. *Japanese Journal of Applied Physics*, 2003, 42(5A): 2752-2755.
- [5] KIM D H, LIM Y J, KIM D E, et al. Past, present, and future of fringe-field switching-liquid crystal display [J]. *Journal of Information Display*, 2014, 15(2): 99-106.
- [6] 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.
- [7] LI Y, GE Z B, LU R B, et al. Fast-response liquid-crystal displays using crossed fringe fields [J]. *Journal of the SID*, 2008, 16(10): 1069-1074.

- [8] HEO J, CHOI T H, HUH J W, *et al.* Negative liquid crystal cell with parallel patterned electrodes for high transmittance and fast switching [J]. *Journal of the Optical Society of Korea*, 2015, 19(3): 260-264.
- [9] KIM H, LEE J H. Fast falling time of fringe-field-switching negative dielectric anisotropy liquid crystal achieved by inserting vertical walls [J]. *Applied Optics*, 2015, 54(5): 1046-1050.
- [10] CHEN H W, LUO Z Y, XU D M, *et al.* A fast-response A-film-enhanced fringe field switching liquid crystal display [J]. *Liquid Crystals*, 2015, 42(4): 537-542.
- [11] YANG G Q, SUN Y B. Fast-response vertical alignment liquid crystal display driven by in-plane switching [J]. *Liquid Crystals*, 2011, 38(4): 507-510.
- [12] 胡立发,彭增辉,王启辉,等.纯位相液晶调制器的响应特性计算[J].液晶与显示,2017,32(3):182-189.
HU L F, PENG Z H, WANG Q H, *et al.* Calculation of electro-optical characteristics of phase-only liquid crystal modulator [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2017, 32(3): 182-189. (in Chinese)
- [13] 唐先柱,彭增辉,刘永刚,等.非对称锚定制备均匀单畴排列铁电液晶器件[J].光学精密工程,2010,18(6): 1295-1302.
TANG X Z, PENG Z H, LIU Y G, *et al.* Fabrication of uniform mono-domain alignment ferroelectric liquid crystal devices by asymmetric boundary anchoring [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2010, 18(6): 1295-1302. (in Chinese)
- [14] XING C Y, SUN X W, YIN X J. Fast response wide viewing angle liquid crystal cell with double-side fringe-field switching [J]. *Applied Physics Letters*, 2003, 83(25): 5154-5156.
- [15] LI Y F, SUN Y B, ZHAO Y L. A fast-response in-plane switching liquid crystal display with a protrusion structure [J]. *Chinese Optics Letters*, 2013, 12(1): 012303.
- [16] PARK J W, AHN Y J, JUNG J H, *et al.* Liquid crystal display using combined fringe and in-plane electric fields [J]. *Applied Physics Letters*, 2008, 93(8): 081103.
- [17] LIEN A. A detailed derivation of extended Jones matrix representation for twisted nematic liquid crystal displays [J]. *Liquid Crystals*, 1997, 22(2): 171-175.

作者简介:付明珠(1992—),女,河北邢台人,硕士研究生,从事液晶器件方面研究。E-mail: 13682005283@163.com