

文章编号:1007-2780(2010)03-0329-05

自然螺距对扭曲向列相液晶显示器的影响

李志勇,单艾娴,孙玉宝

(河北工业大学 应用物理系,天津 300401, E-mail: hmtj450@vip. sina. com)

摘 要: 从理论上分析了自然螺距对常白模式扭曲向列相型液晶显示器响应时间及电光特性的影响,数值模拟了不同手性剂情况下扭曲液晶显示器的响应时间及电光特性。模拟结果表明:盒厚一定时,自然螺距越小,液晶显示器的响应时间越短,但是电光曲线陡度越缓,开态电压增大;扭曲角增大,响应时间变长,但是电光曲线陡度变大。综合考虑扭曲角和液晶的自然螺距,可以提高液晶显示器的显示特性。

关 键 词: 扭曲向列相;自然螺距;阈值电压;响应时间

中图分类号: TN141. 9 **文献标识码:** A

Natural Pitch Effects on Twist Nematic Liquid Crystal Display

LI Zhi-yong, SHAN Ai-xian, SUN Yu-bao

(Department of Applied Physics, Hebei University of Technology,
Tianjin 300401, China, E-mail: hmtj450@vip. sina. com)

Abstract: The natural pitch effects on the response time and the electro-optic properties were theoretically researched in normal white general twist nematic liquid crystal display, including low-twist nematic liquid crystal display and high-twisted nematic liquid crystal display, and the electro-optic properties of the cell with various natural pitches were numerically simulated. The simulative results show that the response time is decreased as the natural pitch is decreased when cell gap is set as a constant, however, the on-state voltage is increased and the slope of electric-optic curve is gentle. Moreover, the response time is increased as the twist angle is increased, but the slope of electro-optic curve for the cell with higher twist angle is steeper than that of the cell with lower twist angle. The display properties of LCD were improved through considering the twist angle and the natural pitch together.

Key words: twist nematic; natural pitch; threshold voltage; response time

1 引 言

扭曲向列相(TN)模式是液晶显示中应用最为广泛的显示模式,具有电压低、功耗小、寿命长以及易显示多灰度、全彩色显示的特点,一直是液晶显示的主流模式。传统 TN 型液晶显示的响应速度较慢,响应时间为 20~100 ms,这个响应时

间显示静止的画面是足够的,但是显示动态的视频转换的画面就会有拖尾现象^[1]。尽管有新的显示模式和驱动技术来提高显示器的响应速度^[2-6],但是扭曲向列相液晶显示器仍然是制作最容易和成产率最高的。因此,提高 TN-LCD 的响应速度意味着能够在非常成熟的工艺基础上,获得最佳的生产效率和显示效果,是一项具有重要意义的

收稿日期:2009-12-08;修订日期:2010-02-24

基金项目:国家自然科学基金(No. 10974042, No. 10704022)

作者简介:李志勇(1982—),男,河北唐山人,硕士研究生,从事液晶显示器件研究。

技术课题。

在液晶显示器件的参数中,响应时间是一个很重要的参数。对液晶显示器来说,影响响应时间有 3 个因素:厚度 d 、转动黏滞系数 γ 和弹性常数 K 。因为增加 K 有利于提高响应速度但不利于降低阈值电压,所以人们一般考虑通过减小盒厚和降低液晶黏度来提高响应速度。从理论和实验上已经发现,响应时间还与螺距 P 有关系,并且对于不同扭曲角的 LCD,螺距 P 的影响也稍有不同。为了得到快速响应的扭曲显示器件,本文从理论上分析了自然螺距对常白模式 TN-LCD 响应时间及电光特性的影响,数值模拟了不同手性剂情况下 TN-LCD 的响应时间及电光特性。

2 理论分析

2.1 LCD 的响应时间

响应时间是指显示器各像素点在激励信号作用下,亮度由暗变亮和由亮变暗的全过程所需的时间,等于上升时间和下降时间之和^[7]。通常用透过率最大值的 10%~90% 的时间来定义上升时间 τ_r 和下降时间 τ_d , τ_r 为透光强度由 90% 降到 10% 所需的时间;下降时间 τ_d 为透光强度由 10% 升到 90% 所需的时间。下降和上升时间可以分别表示为^[2,7]:

$$\tau_d = \gamma d^2 / (\pi^2 K_{\text{eff}}) \quad (1)$$

$$\tau_r = \frac{\tau_d}{(U/U_c)^2 - 1} \quad (2)$$

对于传统的 90° TN 盒来说, $K_{\text{eff}} = K_{11} + \frac{1}{4}(K_{33} - 2K_{22})$, 该液晶盒中所用液晶的自然螺距被认为无穷大。由式(1)可以看出下降时间 τ_d 与转动黏滞系数 γ 、弹性常数和液晶层厚度 d 相关,上升时间 τ_r 与所加的驱动电压 U 、阈值电压 U_c 以及下降时间 τ_d 相关。当扭曲角超过 90° 扭曲的液晶显示器时,自然螺距往往不是无穷大,即便是在 90° 扭曲的液晶盒中,为了防止反扭曲畴的出现,液晶的自然螺距一般也不是无穷大的,通常为盒厚的 20 倍左右。下面从理论上推导自然螺距对阈值电压和响应时间的影响。

2.2 自然螺距对阈值电压的影响

在扭曲液晶盒中,单位面积基板之间液晶的自由能密度为^[8]:

$$F = \frac{1}{2} K_{11} \cos^2 \theta \left(\frac{\partial \theta}{\partial z} \right)^2 + \frac{1}{2} K_{22} \left(\cos^2 \theta \frac{\partial \varphi}{\partial z} - q_0 \right)^2 +$$

$$\frac{1}{2} K_{33} \sin^2 \theta \left[\left(\frac{\partial \theta}{\partial z} \right)^2 + \cos^2 \theta \left(\frac{\partial \varphi}{\partial z} \right)^2 \right] - \frac{1}{2} \epsilon_0 \Delta \epsilon^2 \sin^2 \theta \quad (3)$$

其中 $q_0 = 2\pi/P$, K_{11} 、 K_{22} 和 K_{33} 分别代表展曲、扭曲和弯曲弹性常数, E 是电场强度(可以近似为 U/d)^[9], $\Delta \epsilon$ 是液晶介电各向异性,倾角 θ 是液晶指向矢与基板平面的夹角, φ 为液晶指向矢的方位角。将式(3)代入欧拉-拉格朗日方程可以得到总扭曲角为 Φ 、自然螺距为 P 的液晶盒的阈值电压为^[10]:

$$U_c = \pi \sqrt{\frac{K_{11}}{\epsilon_0 \Delta \epsilon}} \left[1 + \frac{K_{33} - 2K_{22}}{K_{11}} \left(\frac{\Phi}{\pi} \right)^2 + 4 \frac{K_{22}}{K_{11}} \left(\frac{d}{P} \right) \frac{\Phi}{\pi} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

由式(4)可以看出:当总扭曲角 Φ 固定时,阈值电压会随 d/P 值的增大而增大,即在盒厚 d 一定的情况下,自然螺距 P 值越小,阈值电压越大。

2.3 自然螺距对响应时间的影响

在低电压驱动下,液晶层中的引流和流动效应可以忽略,则有扭曲液晶盒中液晶分子的动力学方程为^[10]:

$$\begin{aligned} \gamma \frac{\partial \theta}{\partial t} = & (K_{11} \cos^2 \theta + K_{33} \sin^2 \theta) \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} + \\ & (K_{33} - K_{11}) \sin \theta \cos \theta \left(\frac{\partial \theta}{\partial z} \right)^2 + \\ & [2K_{22} \cos^2 \theta - K_{33} \cos(2\theta)] \sin \theta \cos \theta \left(\frac{\partial \varphi}{\partial z} \right)^2 - \\ & 2K_{22} q_0 \sin \theta \cos \theta \frac{\partial \varphi}{\partial z} + \epsilon_0 \Delta \epsilon E^2 \sin \theta \cos \theta \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \gamma \frac{\partial \varphi}{\partial t} = & (K_{22} \cos^2 \theta + K_{33} \sin^2 \theta) \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} + \\ & 2 \left\{ [-2K_{22} \cos^2 \theta + K_{33} \cos(2\theta)] \frac{\partial \varphi}{\partial z} + K_{22} q_0 \right\} \tan \theta \frac{\partial \theta}{\partial z} \end{aligned} \quad (6)$$

其中 γ 是转动黏滞系数。当液晶形变较小时,可以做小角度近似: $\sin \theta \approx \theta$, $\sin^2 \theta = 0$, $\cos^2 \theta = 1$ 。对于撤电压过程,令 $E = 0$ 。式(5)和式(6)改写为:

$$\gamma \frac{\partial \theta}{\partial t} = K_{11} \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} + \left[(2K_{22} - K_{33}) \left(\frac{\partial \varphi}{\partial z} \right)^2 - 2K_{22} q_0 \right] \theta \quad (7)$$

$$\gamma \frac{\partial \varphi}{\partial t} = K_{22} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} + 2 \left[(K_{33} - 2K_{22}) \frac{\partial \varphi}{\partial z} + K_{22} q_0 \right] \frac{\partial \theta}{\partial z} \quad (8)$$

对于扭曲角度为 Φ 的液晶盒来说,液晶指向矢可以近似表示为^[11]:

$$\theta(z,t) = \theta_m \sin(z\pi/d) \exp(-t/\tau_\theta) \tag{9}$$

$$\varphi(z,t) = z\Phi/d - \varphi_m \sin(2\pi z/d) \exp(-t/\tau_\varphi) \tag{10}$$

其中, θ_m, φ_m 为液晶指向矢最大的倾角和方位角的变化,在小形变下,具有 $\theta_m \ll 1, \varphi_m \ll 1$, 倾角的最大变化在 $z=d/2$ 处,方位角的最大变化在 $z=d/4$ 和 $z=3d/4$ 处。 τ_θ 和 τ_φ 分别为倾角和方位角的下降时间。将式(9)、式(10)代入式(7)、式(8),忽略高阶无穷小量,可以得到:

$$\tau_d(\theta) = \frac{\gamma d^2}{\pi^2 \left[K_{11} + 4K_{22} \frac{\Phi}{\pi} \frac{d}{P} + (K_{33} - 2K_{22}) \left(\frac{\Phi}{\pi} \right)^2 \right]} \tag{11}$$

$$\tau_d(\varphi) = \frac{\gamma d^2}{4K_{22} \pi^2} \tag{12}$$

从式(11)和式(12)可以看出: $\tau_d(\theta)$ 与液晶黏滞系数 γ 、弹性常数 K 、盒厚 d 、扭曲角 Φ 和螺距 P 有关; τ_d 与 γ 、 d 和 K_{22} 相关,与总扭曲角 Φ 、螺距 P 无关。当盒厚和液晶材料一定时,响应时间与螺距 P 和总扭曲角 Φ 有关系。对于不超过 180° 扭曲的 LCD 来说,上述理论都能使用。

3 模拟计算结果和讨论

下面对自然螺距对不同扭曲角的 LCD 的影响进行了模拟计算。计算中所用的参数分别为: $K_{11}=12.2 \text{ pN}$, $K_{22}=3.4 \text{ pN}$, $K_{33}=14 \text{ pN}$, $\Delta\epsilon=6$, $\gamma_1=0.14 \text{ Pa} \cdot \text{s}$, 盒厚 $d=4 \text{ }\mu\text{m}$, 预倾角为 1° 。为了不发生反扭曲畴,扭曲液晶显示器中手性剂的添加量通常有个范围,在 $(\frac{\Phi}{2\pi}-0.25) \sim$

$(\frac{\Phi}{2\pi}+0.25)^{[7]}$ 。图 1 为不同扭曲角度($70^\circ, 80^\circ,$

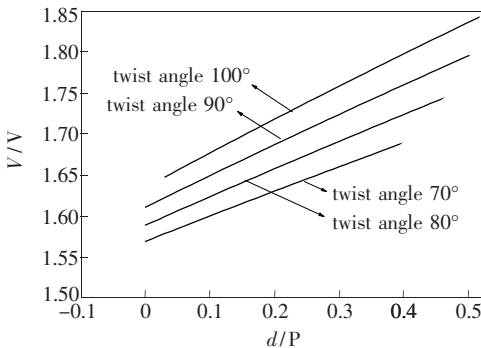


图 1 扭曲角为 $70^\circ, 80^\circ, 90^\circ$ 和 100° 时, 阈值电压随 d/P 的变化。

Fig. 1 Threshold voltage varied with twist angle $\Phi=70^\circ, 80^\circ, 90^\circ$ and 100° .

$90^\circ, 100^\circ$)液晶盒的阈值电压随 d/P 的变化曲线。

由图 1 可以看出:在扭曲角不同、 d/P 相同时,扭曲角越大则阈值电压越大;在扭曲角相同时,阈值电压随 d/P 增大而增大。

图 2 给出扭曲角一定时,不同 d/P 值对应的电光曲线。由图 2 可见:不同扭曲角的液晶显示器,在 d/P 值等于零时,电光曲线陡度最大;随着 d/P 值的增大,电光曲线陡度变缓。模拟结果表明:随着 d/P 值的增大,液晶显示器的阈值电压在增大,与理论结果给出的趋势相同。

图 3 为不同扭曲角时,开态电压为 5 V、关态

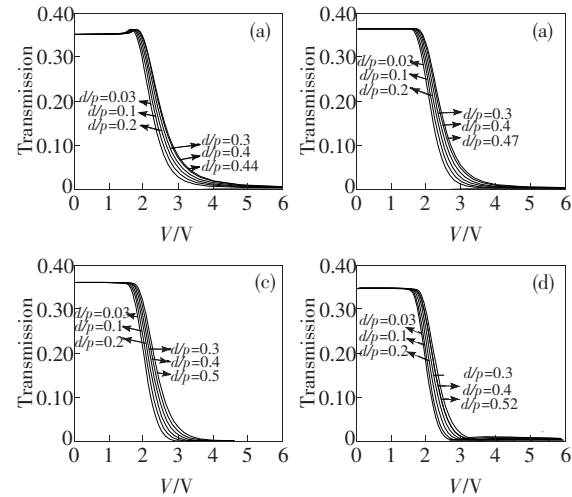


图 2 扭曲角为 70° (a)、 80° (b)、 90° (c) 和 100° (d), 不同的 d/P 值对应的电光曲线。

Fig. 2 Electro-optical curves for various d/P for $\Phi=70^\circ$ (a), 80° (b), 90° (c) and 100° (d).

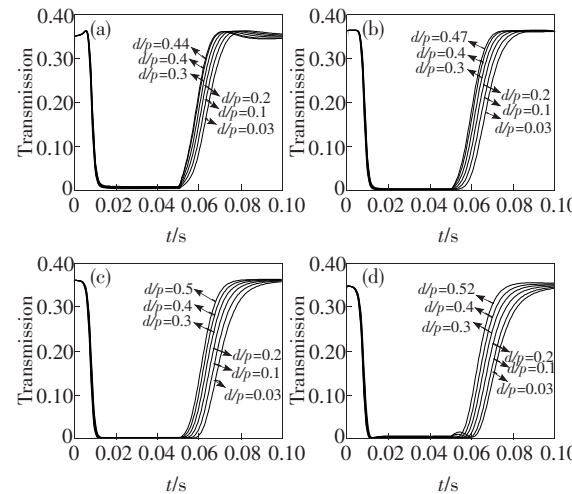


图 3 扭曲角为 70° (a)、 80° (b)、 90° (c) 和 100° (d) 时, 不同的 d/P 值对应的电光曲线(下降时间)。

Fig. 3 Electro-optical curves(fall time) for various d/P for $\Phi=70^\circ$ (a), 80° (b), 90° (c) and 100° (d).

电压为 0 条件下,不同 d/P 下透过率随时间的变化曲线。由图中可以看出:下降时间随 d/P 的增加而减小,这与理论计算的变化趋势是一致的,而上升时间变化不大,几乎为常数。这意味着:扭曲角一定,响应时间会随 d/P 的增加而减小。再考虑从最暗到 10%最大亮度所需要的时间,可以看到, d/P 值小时这个时间长,而随着 d/P 的增大,这个时间迅速减小。因此若用最暗到 90%最

大亮度所需要的时间来定义下降时间,则液晶显示器的下降时间随着 d/P 增大而减小得更多。图 4 为 d/P 的变化对扭曲角分别为 100° 、 90° 、 80° 、 70° 时的下降时间的影响,可以看到: d/P 的变化对下降时间有显著的影响,随着 d/P 的增大下降时间减小很快。取 d/P 较大的值与取较小的值相比,扭曲角度为 100° 时,下降时间减少 31%;扭曲角为 90° 时,下降时间减少 26%;扭曲角为 80° 时,下降时间减少 20%;扭曲角为 70° 时,下降时间可减少 17%。

4 结 论

对于液晶显示器件,手性材料和扭曲角度是影响响应速度的重要参数,结合液晶材料的转动黏滞系数和弹性常数以及液晶层厚度的优化,可以大幅提高液晶显示器的响应速度。仅从自然螺距和扭曲角参数来说,选择扭曲角度小一些、自然螺距小一些的参数,可以得到最快的响应速度,这个结果将对扭曲向列相液晶显示器实现视频显示起到重要的指导意义。

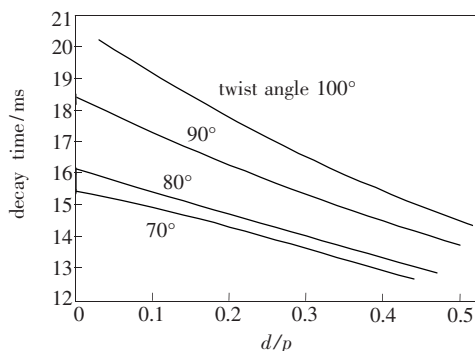


图 4 d/P 的变化对不同扭曲角下降时间的影响
Fig. 4 Decay time vs. d/P for various twist angles

参 考 文 献:

- [1] 毛学军. 液晶显示技术 [M]. 北京:电子工业出版社,2008:20-535.
- [2] 马红梅,王娜红,孙玉宝. 弱锚定垂直排列液晶显示器的响应时间 [J]. 液晶与显示,2008,23(1):26-29.
- [3] 冯亚云,任娇燕,凌志华. 具有半"V"字型特性的铁电液晶显示器制备 [J]. 液晶与显示,2008,23(2):191-194.
- [4] 吴双红,冯亚云,凌志华. 圆形电极液晶垂直取向模式 TFT-LCD 视角特性的模拟计算 [J]. 液晶与显示,2008,23(3):317-321.
- [5] 周旋,张志东,孙玉宝. 有效粘滞系数对混合排列向列相液晶动力学的影响 [J]. 液晶与显示,2009,24(2):168-173.
- [6] 唐先柱,季新建,邹忠飞,等. 小预倾角无缺陷铁电液晶器件的制备 [J]. 液晶与显示,2009,24(4):507-511.
- [7] 刘永智,杨开愚. 液晶显示技术 [M]. 成都:电子科技大学出版社,2000:17-33.
- [8] 谢毓章. 液晶物理学 [M]. 北京:科学出版社,1984.
- [9] 任芝,李志广,张志东. 垂直排列液晶盒中不同电场表述的比较 [J]. 液晶与显示,2005,20(3):287-291.
- [10] Chandrasekhar S. *Liquid Crystals* [M]. UK:Cambridge Univ. Press, 1992.
- [11] Sun Y, Ma H, Zhang Z, et al. Twist angle effects on the dynamic response of in-plane-switching liquid crystal displays [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2006,89(4):041110(1-3).

Article ID: 1007-2780(2010)03-0333-06

Defined-Grain Polycrystalline Thin Film Transistors Using Solution-Based Metal Induced Crystallization

ZHAO Shu-yun¹, MENG Zhi-guo^{1,2}, WONG¹ Man, KWOK Hoi-sing^{1*}

(1. Department of Electronic and Computer Engineering,

Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong, China;

2. Institute of Opto-Electronics, Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract: A new technique has been proposed to define and control the grain boundaries and domains of low temperature polycrystalline silicon (LTPS) films. It can be realized by combination of the solution process and the provision of nucleation sites (NS) and supplemental sites (SS). As a result, the crystallized poly-Si film has a much lower nickel concentration as compared to traditional metal induced lateral crystallization (MILC) poly-Si. High performance TFTs are obtained regardless of the position of the grain boundaries. Different shapes of domains can be obtained corresponding to different distributions of the NS and SS. Among the optimal designs, a honeycomb-like structure and a unidirectional structure are the most typical and practical. With the repeatedly regular distribution of the NS and the SS, domains of the same shape and size can be achieved. This process is precisely controllable and the crystallization time can be reduced to about 2 h at the annealing temperature of 590 °C. The fabricated P-channel defined-grain (DG) poly-Si TFTs exhibited a maximum field effect mobility (μ_{FE}) of $\sim 55 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$, a subthreshold swing (S) of $\sim 0.6 \text{ V/dec}$ and a threshold voltage (V_{th}) of -3 V . The ratio of on-state to off-state drain currents is $\sim 1 \times 10^7$.

Key words: metal induced crystallization; defined-grain polycrystalline; thin film transistor; LTPS

基于溶液法的规则排列连续晶畴的金属诱导多晶硅薄膜及薄膜晶体管

赵淑云¹, 孟志国^{1,2}, 王 文¹, 郭海成^{1*}

(1. 香港科技大学 电子及计算机工程系, 香港 九龙; 2. 南开大学 光电子所, 天津 300071)

摘 要:介绍了一种新的金属诱导多晶硅技术。该技术的核心是预设规则化晶核定位孔和镍源补充孔与溶液浸蘸技术的结合。以定位孔为晶化的起始点, 晶化过程中消耗的镍可通过分布在周边的镍源补充孔中的镍给予补充。这样可以大大降低晶核定位孔中的初始镍量, 使整个多晶硅薄膜中不存在明显的高镍含量区。即包括晶核定位孔、镍源补充孔在内的整个多晶硅薄膜区域内, 能形成连续晶畴的多晶硅薄膜, 都可作为高质量 TFT 的有源层。根据晶核定位孔分布形式的不同, 可以设计成规则、重复的分布形式, 获得正六边形的蜂巢晶体薄膜和准平行晶带晶体薄膜。这些规则形成的晶畴形状与尺寸相同, 可准确地控制晶化的过程, 具

收稿日期: 2009-07-30; 修订日期: 2009-09-28

基金项目: 香港 SAR 研究基金会资助项目 (No. 614807)

作者简单: 赵淑云 (1981—), 女, 河北平山人, 硕士, 主要研究方向为低温多晶硅薄膜晶体管技术及其应用。

* 通讯联系人, E-mail: eekwok@ust.hk