

135° 扭曲连续灰度铁电液晶器件的制备*

李静^{1,2}, 乌日娜³, 邹忠飞¹, 张然¹, 鲁兴海¹, 宣丽¹

(1 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 应用光学国家重点实验室, 长春 130033)

(2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

(3 长春理工大学 材料科学与工程学院, 长春 130022)

摘 要: 采用指向矢连续旋转模式铁电液晶, 通过控制上下基板的摩擦方向夹角为 135°, 在 N*-SmC* 相变过程中不施加电场, 获得了均匀排列. 器件的对比度大于 70, 上升时间和下降时间分别达到 587 μs 和 486 μs. 解决了电场诱导层排列易击穿 TFT, 残留剩余电荷影响器件性能的难题. 由于能够实现良好灰度级, 可以满足现代快速彩色显示的需要.

关键词: 微秒; 响应速度; CDR FLC 模式; 135° 扭曲

中图分类号: O753; TN141.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-4213(2007)03-0412-4

0 引言

多媒体网络时代所需要的数据传送量将会是现在的 10³~10⁶ 倍, 向列相液晶的响应速度^[1]不能满足这种大容量信息传送的要求. 已经商品化的液晶显示器将面临一个严峻问题. 因此研发高速响应液晶显示器件已经成为液晶研究者的当务之急. 表面稳定铁电液晶模式 (SSFLC Surface Stabilized Ferroelectric Liquid Crystal)^[2-4] 器件的响应速度可以达到微秒量级, 但是很难实现连续灰度, 且对液晶盒的厚度和均匀度要求极高; 反铁电液晶^[5] 可以实现连续切换灰度, 响应时间高达 100 μs, 但是由于自发极化值太大存在电场反转问题. 指向矢连续旋转模式铁电液晶 (Continuous Director Rotation Ferroelectric Liquid Crystal, CDR FLC 模式^[6]) 具有响应速度快, 驱动电压低, 能够实现连续灰度, 自发极化值只有数个 nC/cm² 适合于 TFT-LCD 等特点, 是下一代液晶显示器中的有力竞争者.

CDR FLC 模式铁电液晶由于在相变过程中没有 SmA 相, 直接由 N* 相相变到 SmC* 相, 相变过程需要诱导因素, 以控制层排列方向一致. 目前文献中报道的通常是采用电场诱导层排列, 如 Yasufumi A^[7] 报道了在 N*-SmC* 相变过程中施加直流电场, 实现器件的均匀取向. Wang J M^[8] 提出在 N*-SmC* 相变过程中施加交流电场, 形成“APD-FLC”模式. Aira H^[9] 在 N*-SmC* 相变过程中施加脉冲电场, 得到了均匀取向. 以上的方法都是在器件制备过程中施加电场, 很容易造成 TFT 的击穿, 且器件内留有剩余

电荷影响器件性能. 通过控制上下基板的摩擦方向夹角为 135°, 在 N*-SmC* 相变过程中不施加电场, 获得了快速响应、均匀排列的 CDR FLC 模式器件. 从根本上解决了电场诱导排列带来的问题, 简化了制造工艺. 以器件的电光特性、响应时间和有效锥角, 对器件的性能作出了定量评价.

1 实验原理

1.1 CDR FLC 模式显示原理

CDR FLC 模式的显示原理如图 1. 均匀的、排列完好的 CDR FLC 模式没有电场驱动时, 液晶分子平行于上下基板排列位置为 P₀ (或 P₄), 两个初始态之间的夹角 (锥角) 为 2θ; 电场驱动下, 液晶分子随着驱动电场的增强沿着锥角连续转动 P₀ → P₁ → P₂ → P₃ → P₄, 实现连续灰度级. 当在两基板外侧加上互相垂直的起偏器与检偏器, 并使起偏器透光轴平行于液晶分子的某一初始位置 P₀ (或 P₄) 时, 就得到了光开关特性: 不施加电场时入射光经过起偏器偏振方向与液晶指向矢平行 (状态 P₀), 保持线偏振形式透过液晶层, 到达出射端检偏器时, 光偏振矢量与检偏器透光轴垂直, 光被截止 (暗态); 而当液晶被外加电场驱动转到 P₁ 态时, 经过起偏器的光偏振矢量与液晶指向矢间有一定夹

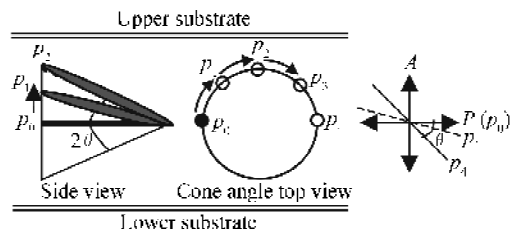


图 1 CDR FLC 模式显示原理
Fig. 1 Schematic representation of the switching process in CDR FLC mode

* 国家自然科学基金 (60277033, 50473040, 19974046, 59973020) 和吉林省科委基金 (20020603) 资助
Tel: 0431-6176016 Email: mzzqlijing@163.com
收稿日期: 2006-06-02

角,线偏振光在液晶层中发生双折射,产生 o 光和 e 光,到达检偏器后变为椭圆偏振光出射(灰态);液晶被外加电场驱动最大转过 2θ 角到达 P_4 态,这时经过起偏器的光偏振矢量与液晶指向矢间夹角也为 2θ ,经过检偏器出射的仍是椭圆偏振光一亮态.当消除电场时,液晶分子回到初始状态.

当忽略在所有表面的反射后,CDR FLC 模式下的透过率^[10]由 $I = I_0 \sin^2(2\pi\Delta nd\lambda^{-1}) \sin^2(4\theta)$ 给出,该式表明,当液晶的倾斜角 $\theta = 22.5^\circ$ 时,光的透过率为最大.另一方面,要得到最好的显示特性, o 光和 e 光在液晶层中的位相延迟 Δnd 应满足 $\Delta nd = m \cdot \lambda/2$ ($m = 1, 3, 5, \dots$).

1.2 135°扭曲液晶盒

上下基板摩擦方向夹角 135° ,液晶分子的锥角 2θ 和上下基板间的夹角 φ 接近,设想液晶分子可以从锥形区域的最边端 P_0 沿着锥角 $P_0 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3 \rightarrow P_4$ 旋转到锥形区域的另一端 P_4 ,如图 2.上下基板摩擦作用不同于 SSFLC,能够解开铁电液晶本身的螺旋,CDR FLC 模式中摩擦作用顺着铁电液晶分子本身的螺旋.

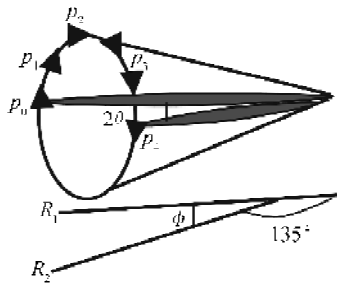


图 2 135°扭曲盒中液晶分子顺着锥形路径扭曲分布 R_1, R_2 摩擦方向

Fig. 2 Schematic illustration of the twist state and rubbing direction of 135° twist cell at R_1, R_2 rubbing direction

上下基板摩擦方向之间的夹角 $\varphi = 135^\circ$,有助于铁电液晶分子锥角转动 45° .上下基板摩擦方向夹角 45° ,也可以使液晶盒的摩擦方向的夹角 φ 与液晶分子旋转锥角 2θ 相同,但容易产生展曲变形,如图 3,从而阻碍铁电液晶分子形成同方向的层结构,容易形成“人字形”缺陷^[11].

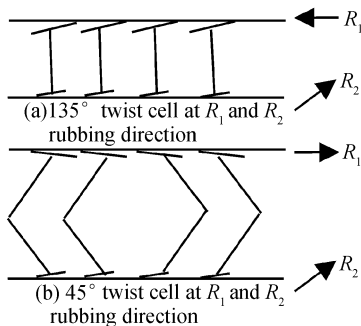


图 3 扭曲盒中预倾角方向和液晶层结构
Fig. 3 The orientation of the pretilt angle and layer structure

2 铁电液晶盒的制备

本研究采用铁电液晶材料 R2301 (AZ Electronic Materials Germany GmbH FLC提供),自发极化值 $P_s = 3.5 \text{ nC/cm}^2$,相序为: $I86.8-84.8^\circ \text{ C N}^* 64.7^\circ \text{ C SmC}^*$,锥角为 $55^\circ (25^\circ \text{ C})$.把聚酰亚胺 (PI) 膜 (SE-3744; Nissan Chemical Industries, Ltd) 涂附在 ITO 玻璃基板上,在 100° C 预固化 10 min, 230° C 固化 60 min.用 UVISEL SPME 型椭偏仪 (JY, France) 测量取向膜厚度为 80 nm.经过摩擦处理后,使上下两基板的摩擦方向夹角 135° 制作液晶盒,盒厚为 $2.0 \mu\text{m}$.把铁电液晶加热到 90° C ,利用毛细作用注入盒内,以 1° C/min 的降温速率缓慢冷却.

3 实验结果与讨论

器件的的偏光显微镜照片如图 4,铁电液晶分子的排列较均匀,呈现了灰态.在正交偏振片下透过率随着器件旋转角度的变化很小,如图 5,说明铁电液晶分子的扭曲排列态,即在圆锥面上连续分布.不仅分子,自发极化矢量方向也连续.

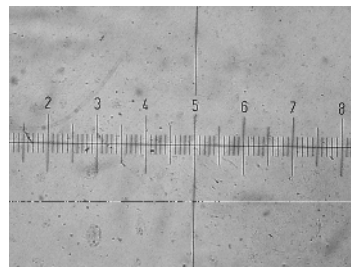


图 4 135°扭曲盒偏光显微镜照片 ($\times 50$)
Fig. 4 Photomicrographs of 135° twist cell under polarizing microscopy ($\times 50$)

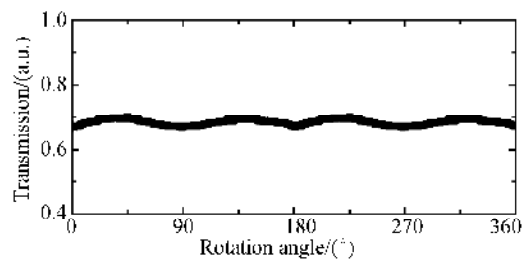


图 5 偏光显微镜下透过率随 135°扭曲盒旋转角度的变化
Fig. 5 Angular transmission intensity of 135° twist cell under polarizing microscopy

采用 LCT-5016C 液晶参量综合测试仪 (北方液晶工程中心),施加 60Hz 方波测试器件的电光特性如图 6,曲线形貌为半“V”字形,可以实现灰度切换.

分析认为当没有施加电场时,液晶分子沿锥角曲线顺序扭曲,样品中液晶分子和正交偏振片位置如图 7(a),与通常平行和反平行的 CDR FLC 模式不同,器件处于一灰态.施加负向 -1V 电压,液晶分子在弱电场驱动下,自发极化方向趋于电场方向,灰态

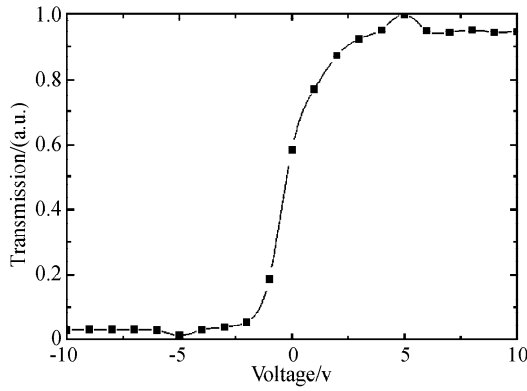


图6 135°扭曲盒电光特性曲线
Fig. 6 The electro-optical characteristics under applying voltage of the 135° twist

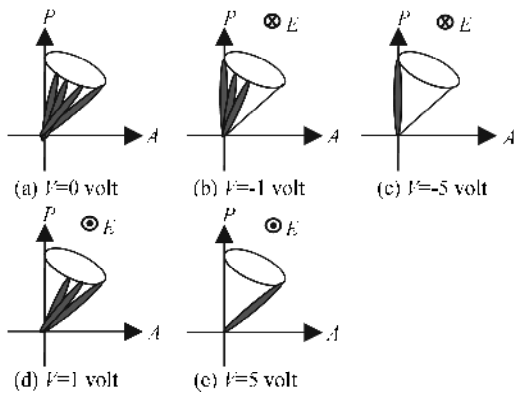


图7 在不同电压下,135°扭曲盒液晶分子位置
Fig. 7 The molecular situation under applying voltage of the 135° twist cell

变暗,图7(b);继续加大电压到-5V,液晶分子自发极化方向和电场方向完全一致,液晶分子长轴与起偏器平行,达到最暗态,如图7(c).施加1V电压,液晶分子在弱电场驱动下,同样自发极化方向趋于电场方向,灰态变亮,如图7(d);继续加大电压到正5V,液晶分子自发极化方向和电场方向完全一致,液晶分子长轴和起偏器夹角45°,达到最亮态,如图7(e).器件在-5V到正5V之间切换灰度级,对比度为71.

样品对比度不高,一方面,由于本实验所选用的CDR FLC材料R2301的锥角为55°(25°C),当驱动电压足够大时,铁电液晶分子沿着锥角顺序转动,达到27.5°,而不是22.5°.采用LCT-5016C液晶参量综合测试仪(北方液晶工程中心)施加60Hz方波,测量了不同电压幅值下,液晶分子的转动锥角,如图8.从图中可以看出,当电压为5(或-5)V时,转过的锥角为23.5°±0.5°,对应图6中的最亮(暗)态;当电压继续增加大于等于6(-6)V时,转过的锥角逐渐增大到27°±0.5°,趋于饱和值,透过率较5V时,亮态变暗(暗态变亮).另一方面,要得到好的对比度,o光和e光在液晶层中的位相延迟 Δnd 应满足 $\Delta nd = m \cdot \lambda/2$ ($m=1, 3, 5,$

...).本实验中选用的材料R2301的 $\Delta n=0.178$,测试系统所采用的光波波长为632.8nm,液晶盒厚 $d=1.8\mu\text{m}$ 最佳.而盒厚为 $2.0\mu\text{m}$.因此选择锥角接近45°的CDR FLC材料,严格控制盒厚度,可以达到更高的对比度.

采用60Hz单极脉冲驱动,测得器件的响应时间如图9,从图中可以看出,上升时间 τ_{rise} 和下降时

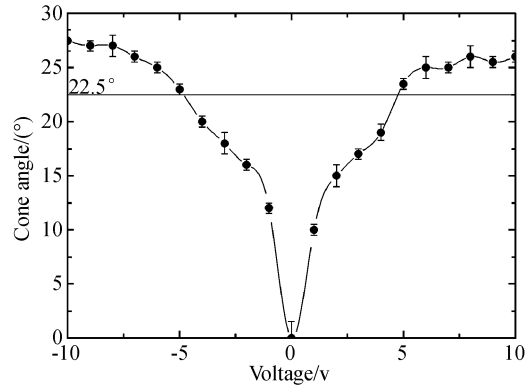


图8 135°扭曲盒锥角随电压的变化
Fig. 8 Cone angle under applying voltage of the 135° twist cell

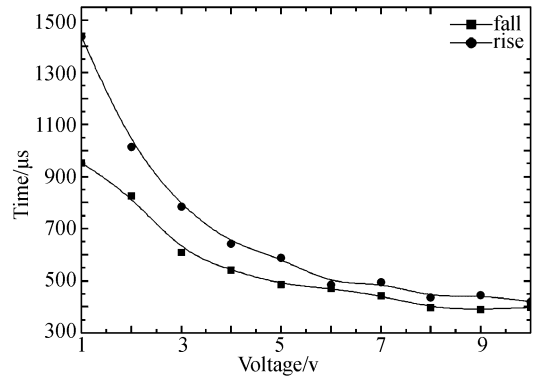


图9 135°扭曲盒电场下响应时间
Fig. 9 Switching time under applying voltage of the 135° twist cell

间 τ_{fall} 均为电压的函数.电压在0~5V范围内,随着电压的增大响应时间减小较快,从5V开始逐渐趋于饱和,电压为5V时上升时间为587 μs ,下降时间为486 μs .

4 结论

$N^* \text{-SmC}^*$ 相变过程中不施加电场,制备了135°扭曲的CDR FLC模式铁电液晶器件,获得了铁电液晶分子扭曲排列的均匀取向,且自发极化矢量方向也连续变化.对其电光特性进行了测试,得到了半“V”字形的电光曲线,器件在-5V到+5V之间实现灰度切换,对比度为71,驱动电压为5V时,器件的上升时间为587 μs ,下降时间为486 μs ,这样的响应速度是向列相液晶难以达到的.这种制备工艺简单,驱动电压低、响应速度快的135°扭曲CDR FLC模式器件,能够满足高精度、大容量、动态显示的需要,有很好的应用前景.

参考文献

- [1] WANG Qiong-hua, CHENG Jian-bo. An achromatic twisted nematic liquid crystal polarization switch with a compensated film[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(3):357-360.
王琼华, 成建波. 带有补偿膜的扭曲相列液晶宽带快速偏振光开关[J]. *光子学报*, 2005, **34**(3):357-360.
- [2] ZHU Si-qi, PAN Wei, WANG Meng-yao. Effect of typical control parameters on ferroelectric liquid crystal opto-electronic velocity[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(2):218-221.
朱思奇, 潘炜, 王梦遥. 典型控制参量对铁电液晶光电响应速度的影响[J]. *光子学报*, 2005, **34**(2):218-221.
- [3] WU Ri-na, LI Jing, ZHANG Ran, *et al.* Preparation of ferroelectric liquid crystal device with lontinuous gray scale[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, **35**(11):1689-1692.
乌日娜, 李静, 张然, 等. 连续灰度铁电液晶器件制备[J]. *光子学报*, 2006, **35**(11):1689-1692.
- [4] CLARK N A, LAGERWALL S T. *Elastic and flexoelectric properties of chiral smectic-C phase and symmetry consideration on ferroelectric liquid crystal* [J]. *Ferroelectrics*, 1984, **58**(1-4):215-243.
- [5] JOSÉ M, SÁNCHEZ P, JOSÉ ISIDRO S, *et al.* An analogue-digital instrumentation system for characterizing electrical behavior of antiferroelectric liquid crystal display pixel[J]. *Jpn J Appl Phys*, 2004, **43**(7A):4376-4378.
- [6] KIM Y J, KIM K S, KIM Y B. Effect of the surface anchoring energy on the electro-optical properties in monostable ferroelectric liquid crystal display[J]. *Ferroelectrics*, 2002, **278**:191-202.
- [7] YASUFUMI A, TAKESHI T, MASAHIRO T, *et al.* Novel ferroelectric liquid crystal mode for active matrix liquid crystal display using cholesteric-chiral smectic phase transition material [J]. *Jpn J Appl Phys*, 1999, **38**(10):5977-5983.
- [8] WANG J M, KIM Y J, KIM C J, *et al.* V-shaped switching in a ferroelectric liquid crystal with the phase sequence of N* - SmC* [J]. *Ferroelectrics*, 2002, **277**:185-195.
- [9] AIRA H, RAY H, KOHKI T. Effect of Non-DC voltage applied during N* -SmC* phase transition on alignment of half-V-shaped switching ferroelectric liquid crystal[J]. *Jpn J Appl Phys*, 2004, **43**(9A):6243-6247.
- [10] ISHITANI T, MURAKAMI Y, KOBAYASHI S. Influence of surface anchoring energy and mesogenic polymer-stabilization on the electro-optic characteristics of FLC D exhibiting half-V-switching[J]. *Ferroelectrics*, 2002, **277**:59-66.
- [11] RIEKER T P, CLARK N A. Smectic-C "chevron" a planar liquid crystal defect: implication for the surface-stabilized ferroelectric liquid crystal geometry[J]. *Phys Rev A*, 1988, **37**(3):1053-1056.

The Preparation of 135° Twist Continuous Director Rotation Ferroelectric Liquid Crystal Display

LI Jing^{1,2}, WU Ri-na³, ZOU Zhong-fei¹, ZHANG Ran¹, LU Xing-hai¹, XUAN Li¹

(1 State Key Laboratory of Applied Optics, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

(2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

(3 College of Materials and Chemical Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China)

Received date:2006-06-02

Abstract: When the continuous director rotation ferroelectric liquid crystal was cooled from N* phase to SmC* phase without an applied electric field, a 135° twist cell with uniform alignment and good gray scale was prepared. The contrast ratio was larger than 70, rise time reached 587 microsecond and fall time was 486 microsecond. The preparation succeed in avoiding the electric field destroy the TFT and the remainder electric charge degrade the character of the display. The cell can meet the need of high speed color display due to realizing gray scale.

Key words: Microsecond; Respond time; CDR FLC mode; 135° twist



LI Jing received her Master's degree in theoretical physics from Hebei University of Technology in 2004. Currently, she is working for the Ph. D. degree in State Key Laboratory of Applied Optics in CIOMP, Chinese Academy of Sciences. Her research interests include FLC device and its application.