

文章编号 1004-924X(2010)06-1295-08

非对称锚定制备均匀单畴排列铁电液晶器件

唐先柱^{1,2}, 彭增辉¹, 刘永刚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, 吉林 长春 130033;
2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要: 为了消除 chiral nematic-chiral smectic C ($N^* - SmC^*$) 相序铁电液晶从 N^* 相降温到 SmC^* 相时形成的两畴结构缺陷, 提高液晶的响应速度, 选用铁电液晶 R-2301 以及两种取向剂 SE-410 和 RN-1199 制备了 5 种铁电液晶样品器件。实验后, 对 5 种器件的排列结构的正交偏光显微镜照片进行对比, 得出通过非对称边界锚定作用可以得到均匀单畴排列的铁电液晶器件的结论。实验结果表明: 经过非对称边界锚定作用可以得到电光曲线为半“V”字型且静态对比度为 300 : 1 的均匀单畴排列铁电液晶器件。这一结论和理论近似计算结果相吻合, 为 $N^* - SmC^*$ 相序铁电液晶器件实现单畴排列制备提供了新的方法和途径。

关键词: 铁电液晶; 非对称锚定; 单畴; 半“V”字型; 静态对比度

中图分类号: TN141.9; TN384 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20101806.1295

Fabrication of uniform mono-domain alignment ferroelectric liquid crystal devices by asymmetric boundary anchoring

TANG Xian-zhu^{1,2}, PENG Zeng-hui¹, LIU Yong-gang¹, LU Xing-hai¹, XUAN Li¹

(1. *State Key Laboratory of Applied Optics, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*
2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

Abstract: In order to eliminate the two-domain texture defects of Ferroelectric Liquid Crystal (FLC) samples(chiral nematic-chiral smectic C($N^* - SmC^*$)) in their phase sequences to be cooled down from the N^* phase to the SmC^* phase, five kinds of FLC devices were prepared by using a FLC R-2301 and two kinds of liquid crystal alignment films SE-410 and RN-1199. After experiments and tests, it is concluded that the uniform mono-domain alignment of ferroelectric liquid crystals can be obtained by asymmetric boundary anchoring. Furthermore, the alignment textures of five devices were tested by a polarizing optical microscope with the crossed polarizers, and experimental results show that the FLC devices can offer half-V-shaped electric-optical characters and a static contrast ratio in 300 : 1 after asymmetric boundary anchoring. The conclusion is in good agreement with the theoretical approximation and can provide a simple and novel method for fabricating ferroelectric liquid crystal

收稿日期: 2009-07-19; 修订日期: 2009-08-31.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 60578035, No. 50473040); 吉林省自然科学基金资助项目 (No. 20050520, No. 20050321-2)

devices.

Key words: ferroelectric liquid crystal; asymmetric anchoring; mono-domain; half-V-shape; static contrast ratio;

1 引言

向列相液晶以其自身的优势在显示界带来一场革命^[1],并得到了广泛的应用^[2-5]。近年来,随着对显示器影像品质需求的不断提升,向列相液晶由于在动态画面显示中响应速度较慢,高速移动图像时会出现“拖尾”、“重影”等现象,以及动态图像显示效果较差等缺陷已经不能满足高清晰、高分辨率和大容量动态显示的要求^[6-7],其在光学系统,尤其是自适应光学系统中的应用也受到限制。因此,提高液晶响应速度已成为近年来该领域的研究热点。

铁电液晶由于拥有微秒级快速反应等优点而备受青睐, $N^* - SmC^*$ 相序列相铁电液晶^[8]属于指向矢连续旋转模式铁电液晶(Continuous Director Rotation Ferroelectric Liquid Crystal, CDR FLC),具有响应速度快,驱动电压低,宽视角,能够实现连续灰度级^[9-10],自发极化值小,适合于 TFT-LCD 等特点,是一种很有应用前景的液晶材料。但铁电液晶技术距商用化还有一段距离,其技术瓶颈不在铁电液晶的材料制备上,而是在制备器件时难以实现均匀的排列结构。

$N^* - SmC^*$ 相序相铁电液晶,在相变过程中不存在 SmA (smectic A)相,虽然在由 N^* 相冷却相变到 SmC^* 相过程中不会出现 SSFLC 器件中的典型“之”^[11]字形排列缺陷,但是会形成两种相反的倾斜方向的两畴结构^[12]的层排列缺陷,造成器件的对比度降低,影响了器件的性能。通过在铁电液晶 $N^* - SmC^*$ 相变过程中施加直流电场^[13-14],制备均匀单畴排列器件的方式已有报

导,但产生的电场只能在有电极的区域调整或影响排列^[15]。同时,该方式具有热稳定性差,制备复杂等缺点。本文论述的是通过边界非对称锚定作用来制备均匀单畴排列的铁电液晶器件。

2 实验

2.1 器件的制备

本研究项目,采用铁电液晶材料 R-2301(AZ Electronic Materials Germany GmbH FLC 提供)相序为: I (Isotropic phase)($86.8 \sim 84.8^\circ\text{C}$) $\leftrightarrow N^*$ (64.7°C) $\leftrightarrow SmC^*$ (-4°C) $\leftrightarrow Cr$ (crystal)。自发极化值室温下 $P_s = 3.5 \text{ nC/cm}^2$,锥角为 53° (25°C)。采用两种取向剂制备铁电液晶器件,一种旋涂质量分数为 3% 的 SE-410 (SE-410; Nissan Chemical Industries, Ltd)到 ITO 玻璃基板,另一种旋涂质量分数为 3% 的 RN-1199 (RN-1199; Nissan Chemical Industries, Ltd)到 ITO 玻璃基板上,形成两种具有不同取向层的玻璃基板。旋涂 SE-410 的基板在 80°C 时,预固化 10 min,在 250°C 时,固化 40 min。旋涂 RN-1199 的基板在 80°C 时,预固化 5 min,在 250°C 时,固化 60 min。上下两基板经过单向摩擦处理后,可制备出上下两基板摩擦方向反平行的 5 种液晶盒。具体制作条件如表 1,盒厚为 $2 \mu\text{m}$,把铁电液晶加热到 90°C (各向同性相),利用毛细作用^[16]注入液晶盒内,然后,从 90°C 以 $1^\circ\text{C}/\text{min}$ 的降温速率降到 88°C ,从 88°C 以 $0.1^\circ\text{C}/\text{min}$ 的降温速率降到 82°C ,从 82°C 以 $1^\circ\text{C}/\text{min}$ 的降温速率降到 66°C ,从 66°C 以 $0.1^\circ\text{C}/\text{min}$ 的降温速率降到 62°C ,从 62°C 以 $1^\circ\text{C}/\text{min}$ 的降温速率降到室温。

表 1 铁电液晶器件制备条件和横截面结构

Tab.I Fabrication conditions and cross-section structures of ferroelectric liquid crystal devices

样品序号	器件制备条件	器件结构	备 注
A	①两基板取向膜不相同 ②摩擦强度相同 ③反平行		玻璃基板 ITO RN-1199 SE-410 2 μm 隔垫物
B	①两基板取向膜不相同 ②摩擦强度不相同 RN-1199(强),SE-410(弱) ③反平行		
C	①两基板取向膜不相同 ②摩擦强度不相同 RN-1199(弱),SE-410(强) ③反平行		
D	①两基板取向膜、摩擦强度相同 (SE-410) ②反平行		
E	① 两基板取向膜、摩擦强度相同 (RN-1199) ②反平行		

2.2 排列结构的观察和电光特性的测量

在制备好的大量的器件里,从每种器件中都选出排列相对较好的一个。图 1 中(a)、(b)、(c)、

(d)、(e)为采用正交偏光显微镜(BX-P 型,奥林巴斯)观察对应器件样品 A、B、C、D、E 铁电液晶分子排列结构的偏光显微镜照片。

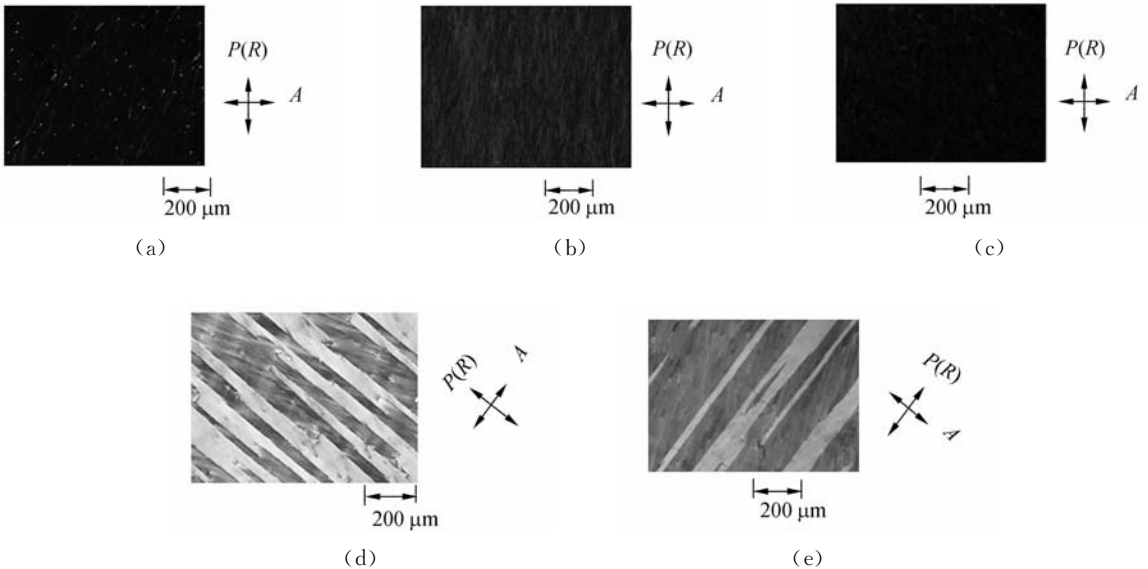


图 1 样品 A、B、C、D、E 的正交偏光显微镜照片

Fig. 1 Micrographs of samples A、B、C、D and E obtained under a polarizing optical microscope with crossed polarizers

图 1 中 P 代表起偏器的偏光轴,它是沿着摩擦方向 R , A 代表检偏器的偏光轴。对于器件排列比较好的 A、B、C 样品,实验采用 LCT-5016C 液晶参数综合测试仪(北方液晶工程中心)测量并记录了样品的电光特性曲线。图 2 为样品 A 的电光特性曲线,样品 B、C 电光特性曲线相似,图 3 为样品 B、C 的电光特性曲线。根据样品在正交偏振片下透过率随转动角度的变化,如图 4,显示出样品 A、B、C 的透过率随转动角度的变化的图形是相似的,只是最大和最小透过率不同。进而可求出样品静态对比度(最亮态、最暗态透过率的比值)。测得实验样品 A 的静态对比度为 200 : 1,样品 B、C 的静态对比度大致在 300 : 1 左右。

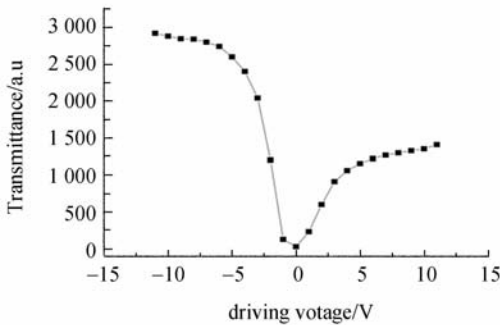


图 2 样品 A 的电光特性曲线

Fig. 2 Electric-optical characters of sample A

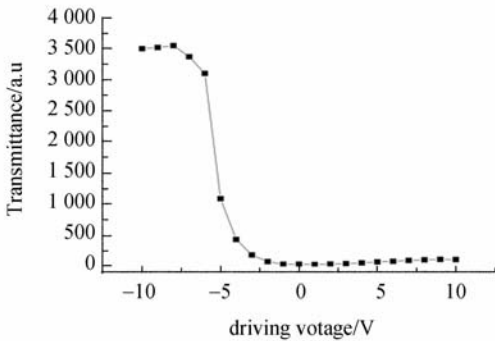


图 3 样品 B、C 的半“V”型电光特性曲线

Fig. 3 Half-V-shaped switching electrico-optical characteristics of samples B and C

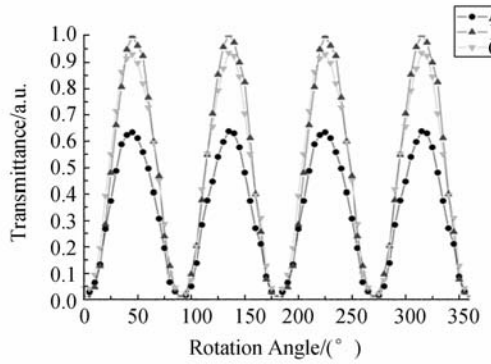


图 4 样品 A、B、C 光透过率随转动角度的变化
Fig. 4 Changes of light transmittance of samples A, B and C with the rotation angles of sample under crossed polarizers

3 实验结果与讨论

图 1 中 a、b、c、d、e 分别为对应 A、B、C、D、E5 个器件正交偏光显微镜下的照片,从图中可以看出,样品 A、B、C 形成比较均匀排列的暗态,样品 B、C 电光特性曲线为半“V”字型电光曲线,样品 A 的电光特性曲线为介于半“V”字型和“V”字型之间,样品 D、E 没形成均匀排列的暗态,而仍然是双畴状态。由实验结果对比可以看出,上下基板的锚定作用对铁电液晶的排列有重要的影响。两基板取向层锚定强度相差越大越有利于铁电液晶器件单畴排列的形成。

运用近晶 C 相弹性连续体理论结合表面锚定能公式对上下基板的锚定作用对铁电液晶的排列的影响进行如下理论分析:

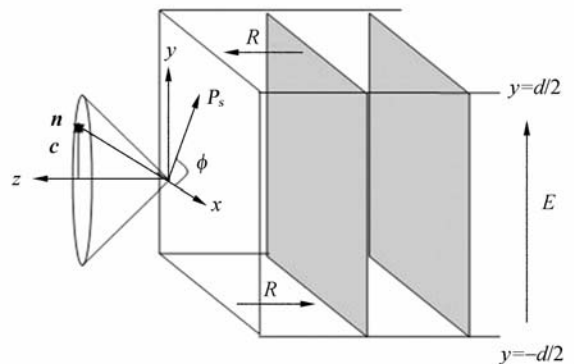


图 5 书架式结构铁电液晶坐标系结构示意图

Fig. 5 Schematic instructions of coordinate systems of ferroelectric liquid crystal with bookshelf structure

假定混合 $N^* - SmC^*$ 相序铁电液晶器件中液晶分子的排列为书架式层状结构,建立如图 5 的坐标系, \mathbf{n} 为液晶分子的指向矢, \mathbf{c} 代表指向矢 \mathbf{n} 在液晶层 xy 平面上的投影, θ 是 \mathbf{n} 与 z 轴之间的夹角(本文取 $\theta = 26.5^\circ$), ϕ 为 \mathbf{c} 与 x 轴间的夹角又称为方位角,它是描述指向矢 \mathbf{n} 绕 z 轴转动的量, z 是液晶层的法线方向, y 是液晶盒基板的法线方向, d 是液晶盒厚,上下基板分别位于 $y = d/2$ 和 $y = -d/2$ 处。

对于 $N^* - SmC^*$ 相序铁电液晶器件,无外加电场作用下总的自由能密度^[17-19] $f(\theta, \phi, V)$ 由以下两部分组成。

(1) 体弹性自由能密度

$$f_{elas} = \frac{1}{2} B_1 \{ \mathbf{k} \cdot (\nabla \times \mathbf{c}) \}^2 + \frac{1}{2} B_2 (\nabla \cdot \mathbf{c})^2 + \frac{1}{2} B_3 \{ \mathbf{c} \cdot (\nabla \times \mathbf{c}) \}^2 - B_{13} \{ \mathbf{k} \cdot (\nabla \times \mathbf{c}) \} \{ \mathbf{c} \cdot (\nabla \times \mathbf{c}) \} + D \{ \mathbf{k} \cdot (\nabla \times \mathbf{c}) \}$$

B_1 和 B_2 分别代表近晶层中 \mathbf{c} 指向矢的弯曲和展曲弹性常数, B_3 代表相邻两层间 \mathbf{c} 指向矢的扭曲弹性常数, B_{13} 、 D_1 和 D 代表其他不同形式畸变的弹性常数。

(2) 表面锚定能密度

$$f_{surf} = \sum_i [\gamma_1^{(i)} (\mathbf{n} \cdot \mathbf{s})^2 + \gamma_2^{(i)} (\mathbf{k} \cdot \mathbf{s}) + \gamma_3^{(i)} (\sin \delta - \sin \delta_0)^2]$$

这里求和是指上下基板表面 ($i = t, b$), \mathbf{s} 和 \mathbf{k} 分别表示基板表面法线和自发极化的单位矢量,上基板 $\mathbf{s}_t = (0, -1, 0)$,下基板 $\mathbf{s}_b = (0, 1, 0)$, $\mathbf{k} = (-\sin \phi, \cos \phi, 0)$ 。 $\gamma_1^{(i)}$ 、 $\gamma_2^{(i)}$ 和 $\gamma_3^{(i)}$ 分别表示为非极性、极性和方位表面锚定强度, δ_0 为 z 轴和上下基板易取向方向之间的夹角,本文中取 $\delta_0 = 0$, δ 为 z 轴和指向矢 \mathbf{n} 在基板平面内投影之间的夹角, $\sin^2 \delta = \frac{(\sin \theta \cos \phi)^2}{\cos^2 \theta + \sin^2 \theta \cos^2 \phi}$

作单一弹性常数近似, $B_1 = B_2 = B_3 = K$, $B_{13} = D_1 = D = 0$,无外加电场作用下单位面积体系总自由能密度:

$$f(\theta, \phi, V) = f_{elasa} + f_{surf} = \frac{1}{2} K \left(\frac{d\phi}{dy} \right)^2 + \gamma_1^{(t)} \sin^2 \theta \sin^2 \phi_t - \gamma_2^{(t)} \cos \phi_t + \gamma_3^{(t)} (\sin \delta - \sin \delta_0)^2 + \gamma_1^{(b)} \sin^2 \theta \sin^2 \phi_b + \gamma_2^{(b)} \cos \phi_b + \gamma_3^{(b)} (\sin \delta - \sin \delta_0)^2, \quad (3)$$

无外加电场作用下单位面积系统的吉布斯自由能 G 表示为:

$$G(\theta, \phi, V) = \int_{-\frac{d}{2}}^{\frac{d}{2}} f_{elas} dy + f_{surf}^{-\frac{d}{2}} + f_{surf}^{\frac{d}{2}}, \quad (4)$$

无外加电场情况下,由 $f(\theta, \phi, V)$ 取极小值条件,可得到体系平衡态方程 $K \frac{\partial \phi}{\partial y^2} = 0$,显然存在简单解 $\frac{\partial \phi}{\partial y} = \text{const}$ 或 $\phi = \text{const}$,此时单位面积系统的吉布斯自由能 G 为:

$$G(\theta, \phi, V) = \frac{K\lambda^2}{2} + f_{surf}^0 + f_{surf}^d = \frac{K\lambda^2}{2} + \gamma_1^{(t)} \sin^2 \theta \sin^2 \phi_t - \gamma_2^{(t)} \cos \phi_t + \gamma_3^{(t)} (\sin \delta - \sin \delta_0)^2 + \gamma_1^{(b)} \sin^2 \theta \sin^2 \phi_b + \gamma_2^{(b)} \cos \phi_b + \gamma_3^{(b)} (\sin \delta - \sin \delta_0)^2, \quad (5)$$

其中 λ 为常数。

对于 $\phi = \text{const}$,令 $\phi_t = \phi_b = \phi_0$

$$G(\theta, \phi, V) = \frac{1}{2} K\lambda^2 + (\gamma_1^{(t)} + \gamma_1^{(b)}) \sin^2 \theta \sin^2 \phi_0 + (\gamma_2^{(b)} - \gamma_2^{(t)}) \cos \phi_0 + (\gamma_3^{(t)} + \gamma_3^{(b)}) \frac{(\sin \theta \cos \phi_0)^2}{\cos^2 \theta + \sin^2 \theta \cos^2 \phi_0}. \quad (6)$$

由于 $\frac{1}{2} K\lambda^2$ 为常数,不影响自由能与方位角关系的曲线形貌,极小值点和表面锚定能有关,寻找极小值点可以暂时不考虑。通过理论近似计算可以发现,无论是强对称锚定,还是弱对称锚定,无外加电场作用下体系吉布斯自由能存在 $\phi_t = \phi_b = 0$ 和 $\phi_t = \phi_b = \pi$ 两个极小值点且自由能相等,如图 6 和图 7,这与对称锚定制备的 $N^* - SmC^*$ 相序铁电液晶器件中出现的两畴结构是一致的。对于非

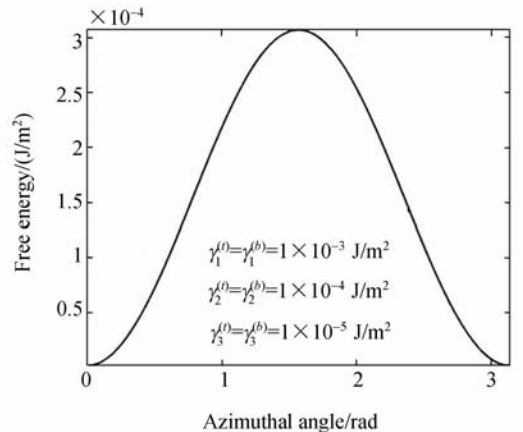


图 6 强对称锚定下自由能与方位角的关系

Fig. 6 Relationship between free energy and azimuthal angle in strong symmetric anchoring

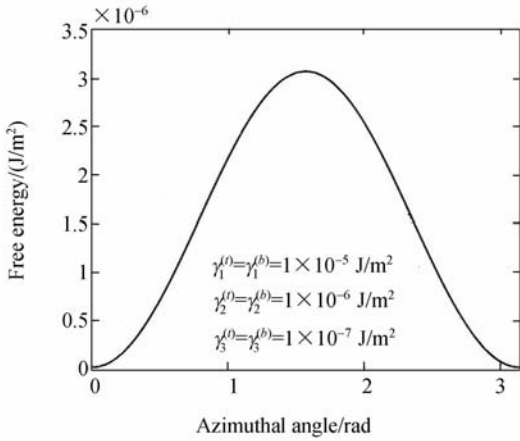


图 7 弱对称锚定下自由能与方位角的关系

Fig. 7 Relationship between free energy and azimuthal angle in weak symmetric anchoring

对称锚定,假定上基板为强锚定且不改变,仅改变下基板的锚定强度,图 8 中细线、中等线、粗线分别代表锚定强度减弱,与上基板的锚定强度差依次增大,可以发现锚定强度相差越大,越容易形成吉布斯自由能单一最小值状态。同理,对于 $\frac{\partial \phi}{\partial y} = \text{const}$,通过理论计算模拟也可以得到相同的结论。

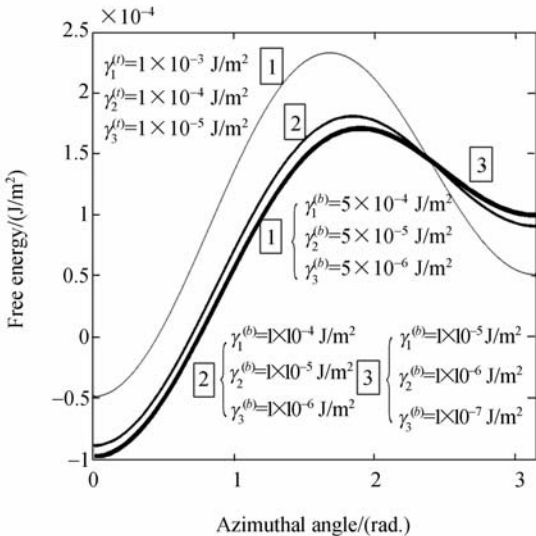


图 8 非对称锚定下自由能与方位角的关系

Fig. 8 Relationship between free energy and azimuthal angle in asymmetric anchoring

因铁电液晶置于两块相距约为 $2 \mu\text{m}$ 的玻璃基板之间,所以螺旋排列结构被基板表面锚定作用所抑制,上下基板与液晶接触的界面会产生界

面应力,当上下基板取向层的锚定作用相同或者相差不太大时,螺旋结构不易按一个方向解旋,不易形成单畴结构;当上下基板排列层的锚定作用相差较大时,螺旋结构按锚定强的一侧作用解旋,进而扩展到另一侧,形成上下液晶分子平行于基板的状况,且具有周期性分子层状的单畴排列 ($\phi_i = \phi_b \approx 0$ 或 $\phi_i = \phi_b \approx \pi$),对于样品 D, E 铁电液晶,其两侧边界条件相同,液晶盒的上下基板的排列层对铁电液晶的排列各自具有影响,产生相互对抗的效果,不利于单畴排列的出现。对于样品 A,虽然摩擦强度相同,但是上下基板排列层不同,对液晶的锚定强度也不同,只是由上下基板排列层的不同引起锚定作用相差不太大,所以,形成的器件的静态对比度和电光特性曲线不太理想。而样品 B, C 上下基板排列层的作用相差比较大,强锚定一侧的作用蔓延到另一侧,形成比较均匀的暗态排列,制成的器件的对比度和电光曲线较理想。

假如对铁电液晶器件施加正向电压时,其沿锥面翻转,而在施加反向电压时,其几乎不翻转;反之,对液晶器件施加正向电压时,其几乎不翻转,而施加反向电压时,其沿锥面翻转。施加电压的大小不同,透过率的大小也就不同,因而,会呈现半“V”字型电光特性曲线。对于样品 A,它是介于半“V”字型和“V”字型电光曲线,说明其没有形成较理想的单畴均匀排列。从电光特性曲线可以看出:饱和电压都在 10 V 以下,可以与大规模集成电路相匹配。因此,该样品材料被认为是很有应用潜力的材料。

4 结 论

本文选用铁电液晶 R-2301 和两种取向剂制备了 5 种铁电液晶器件,对制备器件的排列结构的对比和理论近似计算表明,当铁电液晶器件上下两基板排列层的锚定强度不对称时,液晶分子按照强锚定基板的锚定排列,有利于避免双畴的出现。另外器件取向层锚定强度不对称性差别越大,越有利于单畴器件的形成。实验中通过非对称边界锚定作用,得到了电光曲线为半“V”字型且静态对比度 300 : 1 的均匀单畴排列铁电液晶器件。本文为制备具有单畴排列的 $N * -Sc *$ 相

序的铁电液晶器件,提供了一种简易的新方法和途径。

参考文献:

- [1] SONG J K, SUFIN M J, VIJ J K. Solitary wave propagation in surface stabilized ferroelectric liquid crystal cells [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2008, 92, 083510, 1-3.
- [2] 王梦遥,潘炜,罗斌,等.铁电液晶基空间光调制器的灰度响应特性[J].*光学精密工程*,2007,15(4):460-466.
WANG M Y, PAN W, LUO B, *et al.*. Gray-scale response of spatial light modulator incorporating ferroelectric liquid crystals [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007,15(4):460-466. (in Chinese)
- [3] 姜宝光,曹召良,穆全全,等.激光为光源的液晶自适应眼底成像系统[J].*光学精密工程*,2008,16(10):1805-1809.
JIANG B G, CAO Z L, MU Q Q, *et al.*. Liquid crystal based retina adaptive optical imaging system with laser source [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(10):1805-1809. (in Chinese)
- [4] 沈奕,王勇竞,王琳静,等.延迟膜光谱分析测试系统及应用[J].*光学精密工程*,2009,17(5):964-968.
SHEN Y, WANG Y J, WANG L J, *et al.*. Measuring and analyzing system for retardation film at different wavelengths [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009,17(5):964-968. (in Chinese)
- [5] 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.
- [6] 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.
WANG Q H, CHENG J B. An achromatic twisted nematic liquid crystal polarization switch with a compensated film [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005,34(3):357-360. (in Chinese)
- [7] MATSUMOTO S, MURAYAMA A, HATOH H, *et al.*. Large-area video-rate multicolour ferroelectric liquid crystal display [C]. *SID 1988 DIGEST*, 1988:41-44.
- [8] HOTTA A, HASEGWA R, TAKAOH K. 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(9):6243-6247.
- [9] 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.
- [10] ASAO Y, TOGANO T, TERADA M, *et al.*. Novel ferroelectric liquid crystal mode for active matrix liquid crystal display using cholesteric-chiral smectic C phase transition material [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1999,38(10):5977-5983.
- [11] RICKER T P, CLARK N A, SMITH G S, *et al.*. "Chevron" local layer structure in surface stabilized ferroelectric smectic-C cells [J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1987,59(7):2658-2661.
- [12] SAWATARI N, OKABE M, ISHIKAWA M, *et al.*. Late-news paper: field sequential FLCs fabricated by inkjet printing technology [C]. *SID 07 DIGEST*, 2007:1397-1400.
- [13] 乌日娜,彭增辉,鲁兴海,等. $N^* - SmC^*$ 相变铁电液晶的排列[J].*液晶与显示*,2004,19(6):427-430.
WU R N, PENG Z H, LU X H, *et al.*. Alignment control of a ferroelectric liquid crystal with the Phase Sequence of $N^* - Sc^*$ [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2004, 19(6): 427-430.
- [14] MURAKAMI Y, FURUTA H, XU J, *et al.*. Intrinsic half-v-mode ferroelectric liquid crystal displays fabricated using hybrid alignment exhibiting high contrast ratio and high reliability without DC voltage application to remove layer degeneracy and their electro-optic characteristics [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2003,42:2759-2761.
- [15] OKABE M, SAWATARI N, ISHIKAWA M, *et al.*. A novel mono-domain alignment method for ferroelectric liquid crystal applying to half-v-shape mode field sequential color displays [C]. *SID 05 DIGEST*, 2005:1084-1087.
- [16] AKAHANE T, NAKAGAWA M. A consideration on expression of the elastic free energy of chiral smectic C liquid crystals [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1986,25:L661-L663.
- [17] LI J J, ZHAO W S, MA K, *et al.*. Effect of polymer network with electric field to the ferroelectric liquid crystal molecular alignments [J]. *Mol.*

Cryst. Liq. Cryst., 1998, 321:395-402.

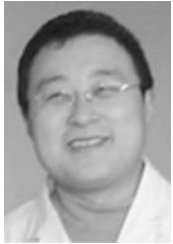
- [18] CHIEU T C, YANG K H, LIEN A. Characterization of layer-tilted state in ferroelectric liquid-crystal cells by electro-optical switchings [J]. *J. Appl. Phys.*, 1988, 64(12):6654-6661.

- [19] XU J, KURIHARA R, KOBAYASHI S. Phenomenological Analysis in Fabricating Defect-Free Ferroelectric Liquid Crystal Displays with C-1 or C-2 Uniform States [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2001, 40(7):4626-4630.

作者简介:



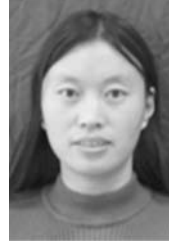
唐先柱(1979—),男,山东济宁人,博士研究生,主要从事铁电液晶器件的研究。E-mail: txzciomp@163.com



彭增辉(1976—),男,河北人,副研究员,主要从事高速液晶材料、液晶光控取向膜、自组装膜体系等方向的研究。E-mail: peng@ciomp.ac.cn



刘永刚(1973—),男,吉林通化人,助理研究员,1997年于长春科技大学获学士学位,2002年于吉林大学获硕士学位,主要从事液晶/聚合物光栅激光器、液晶材料合成等方面的研究。E-mail: ygliujilin@yahoo.com.cn



鲁兴海(1978—),女,吉林长春人,工程师,2002年于吉林大学获学士学位。主要从事液晶器件的制作、液晶各种性能的测试等工作。E-mail: luxh@ciomp.ac.cn

导师简介:



宣 丽(1957—),女,江苏常州人,博士,研究员,博士生导师,1983年于吉林大学获学士学位,1986年于中科院长春物理所获硕士学位,1998年于日本东北大学获得博士学位,1999年入选中国科学院“百人计划”,主要从事液晶自适应光学、液晶器件物理,液晶材料等方面的研究。E-mail: xuanli@ciomp.ac.cn