

连续灰度铁电液晶器件制备*

乌日娜¹ 李 静² 张 然² 邹忠飞² 宣 丽²

(1 长春理工大学材料科学与工程学院, 长春 130022)

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

摘 要 采用 N^*-Sc^* 序列相铁电液晶, 通过控制在 N^*-Sc^* 相变时施加电压的频率和幅值, 制备了不同分子层排列结构的器件, 获得了“V”字形和半“V”字形的电光特性曲线, 从而可以实现连续灰度. 根据铁电液晶自发偶极矩与电场力矩的相互作用原理, 分析了器件形成不同分子层排列结构及呈现“V”字形和半“V”字形电光特性的原因.

关键词 铁电液晶; N^*-Sc^* 相变; 电压; “V”字形; 半“V”字形; 灰度

中图分类号 O753⁺.2

文献标识码 A

0 引言

向列相液晶的响应速度为 ms 量级, 而铁电液晶的响应速度为 μs 量级^[1~4]. 铁电液晶的表面稳定模式 (SSFLC, Surface Stabilized Ferroelectric Liquid Crystal) 由于其快速响应和宽视角的特点, 曾被誉为是 21 世纪最有发展力的液晶显示器, 但经历了二十年有余, 仍没有真正走入市场^[5,6]. 主要原因之一就是由于其双稳态的电光特性, 没有连续灰度, 很难实现高清晰度图像显示. 为了克服这一难题, 研究人员提出了聚合物网络稳定铁电液晶模式 (PSFLC, Polymer Stabilized Ferroelectric Liquid Crystal), 即在铁电液晶中掺入少量预聚物单体, 经过紫外光照射后形成网络结构, 并设法控制网络的疏密和取向来实现连续灰度. 但是聚合物网络的引入也带来了新的问题, 即驱动电压的增高和亮度的降低、动态响应速度变缓等^[7~10]. 由于 N^*-Sc^* 序列相铁电液晶能够在不需要形成聚合物网络结构的条件下实现连续的电光特性, 且具有响应速度快、视角宽、自发极化值较小适合于 TFT-LCD 等特点, 能够满足高精细、大容量、动态显示的要求, 例如场序全彩色液晶显示器 (FSC, Field Sequential Full Color Displays), 因此 N^*-Sc^* 序列相铁电液晶是极具研究魅力的材料^[11].

N^*-Sc^* 序列相铁电液晶在相变过程中不存在 S_A 相, 虽然不会出现 SSFLC 器件中的典型缺陷“之”字形排列缺陷^[12], 但其液晶分子的层排列很难控制. 而获得均匀一致的层排列是实现良好器件特性的基础. 根据文献报道在 N^*-Sc^* 相变时, 经过

电场的处理, 可以控制液晶层的排列^[13~17]. 本文研究了 N^*-Sc^* 相变时施加电压的频率、幅值对液晶分子排列的影响, 并基于铁电液晶分子层排列模型, 分析了半“V”字形和“V”字形电光特性产生的原因.

1 实验

1.1 器件制备

把 PI(彩晶公司提供)取向膜涂附在 ITO 基板上, 经过固化和摩擦处理后, 使两基板上的摩擦方向为反平行制作液晶盒, 盒厚为 $2.5 \mu m$. 把铁电液晶加热到 $90^\circ C$, 利用毛细作用注入盒内, 然后以 $1^\circ C/min$ 的降温速率缓慢冷却. 使用的液晶材料为 R2301(Clariant Japan). 其相变温度为: $I 86.8-84.8^\circ C$ $N^* 64.7^\circ C$ Sc^* , 自发极化值 $P_s = 3.5 nC/cm^2$ (at room temperature), 锥角 30° (at room temperature). 当降温至 N^*-Sc^* 相变时施加电场, 通过改变电压幅值和频率, 控制液晶分子层的排列. 使用的波形发生器为 33220A(Agilent).

1.2 排列结构的观察和电光特性测量

采用偏光显微镜(BX-P 型, 奥林巴斯)观察液晶分子的排列结构. 使用 LCT-5016C 液晶参量综合测试仪(北方液晶工程中心产)测量器件的电光特性.

2 结果和讨论

在 N^*-Sc^* 相变时施加幅值为 6 V, 频率分别为 1 Hz、100 Hz、1000 Hz 方波电压器件的偏光显微镜照片如图 1. 当交流方波电压的频率较小时, 可以看到比较明显的条纹结构, 且条纹宽度不等, 表明器件中存在两种不同液晶分子排列畴. 而随着频率的增大, 两种畴的尺寸逐渐减小, 即条纹逐渐变窄, 且条纹宽度差别逐渐变小. 读出图 1(a)、图 1(b)和图 1(c)的条纹宽度分别为 $50 \mu m$ 、 $20 \mu m$ 、 $4 \mu m$. 分析认

*国家自然科学基金(50473040)和吉林省科委基金(20020603)资助

Tel: 0431-5583016 Email: bdqwrn@163.com

收稿日期: 2005-12-15

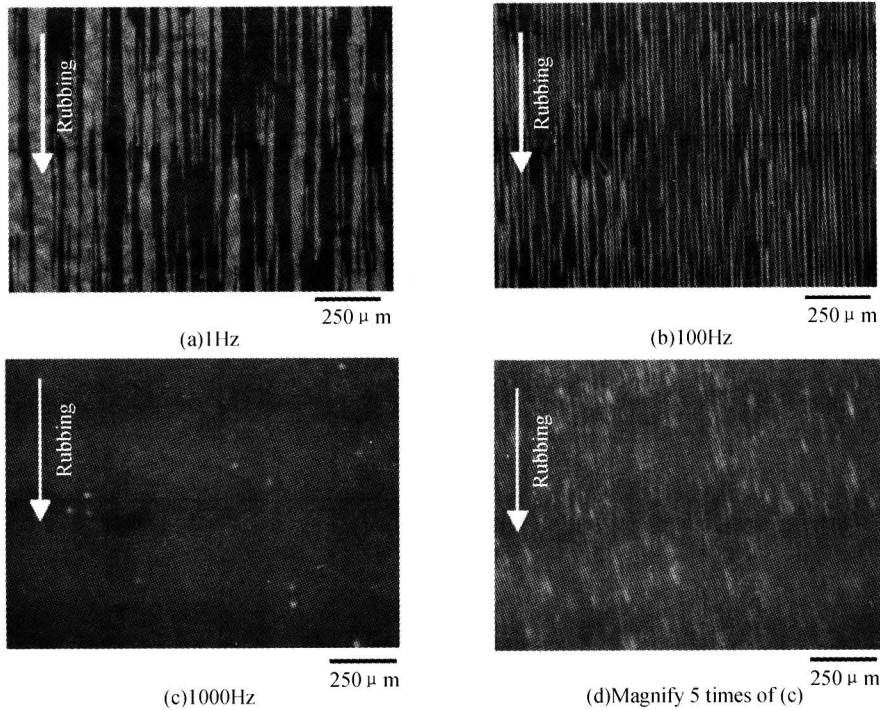


图 1 N^* - Sc^* 相变时施加不同频率的交流方波电压器件的偏光显微镜照片
 Fig. 1 Polarizing optical microscopic textures of the Sc^* phase after cooling process from the N^* phase to the Sc^* phase with the square-wave

为, 由于在相变时, 液晶分子受到方波电压中极性相反电场的作用, 从而形成了层排列不同的两种畴。

选择图 1(c), 在 60 Hz 双极脉冲电压下测量其电光特性, 得到了如图 2 的曲线。曲线形貌为对称的“V”字形, 当受到正向与反向驱动电压作用时, 器件的透过率都发生了较大的变化, 随着电压的增大而增大; 电压撤去后, 液晶分子重新回到原来排列状态, 从而可以实现连续灰度。“V”字形电光特性的获得证实了器件中两种畴的分子自发极化矢量方向相反, 即层倾斜方向不同。随着驱动电场极性的交替变化, 电场与自发极化矢量的相互作用, 使每种畴中的液晶分子交替转动。并且随着电压的增大, 分子的转动角度增大, 透过率增大。

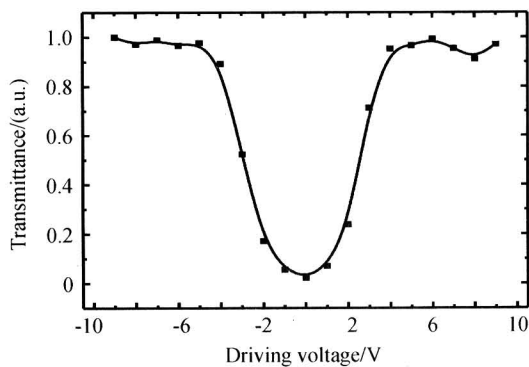


图 2 N^* - Sc^* 相变时施加频率为 1000 Hz 方波电压器件的电光特性曲线
 Fig. 2 Electro-optical characteristics under applying a square wave of 1000 Hz during N^* - Sc^* phase transition

根据以上分析由于方波电压的相反极性电场, 即使频率无限增大也不能从本质上避免条纹结构。获得均匀单畴排列, 必须在 N^* - Sc^* 相变时施加只有一种极性的电场, 即直流电压。

在 N^* - Sc^* 相变时分别施加 4V、6V 直流电压器件的偏光显微镜照片如图 3。当相变时施加的直流电

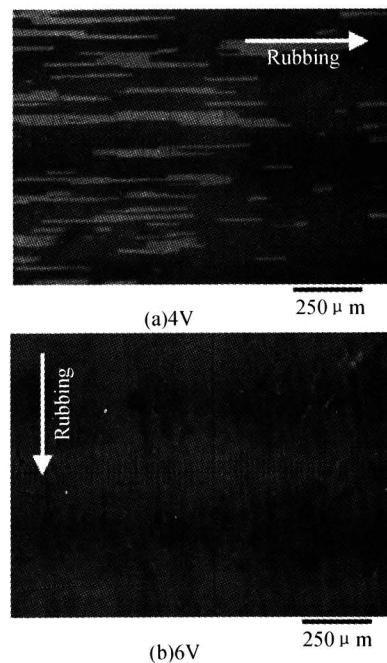


图 3 N^* - Sc^* 相变时施加不同幅值直流电压器件的偏光显微镜照片
 Fig. 3 Polarizing optical microscopic textures of the Sc^* phase after cooling process from the N^* phase to the Sc^* phase with the DC voltage

压不够充分时,液晶分子的自发极化矢量不能一致地指向一个方向,层排列不均匀,器件中仍然存在两种排列畴,见图 3(a). 而相变时施加的直流电压足够大,则电场足以使自发极化矢量的方向一致向上或向下(垂直于玻璃基板方向),因此只允许一种层倾斜方向,层排列均匀,最终获得单畴排列,如图 3(b).

在 60 Hz 方波电压下测量了图 3(b)器件的电光特性,电压的幅值在 0~10 V 间变化. 曲线的形貌为半“V”字形,即电压极性为负时透过率很小,且几乎是常量,而电压极性为正时,透过率随着电压幅值的增大而增大,如图 4. 电压撤去后液晶分子回到原来的排列状态. 产生半“V”字形电光特性是对应电压的不同极性分子的转动锥角不同,是液晶层在平行基板的平面内分子层法线偏离摩擦方向的必然结果^[18].

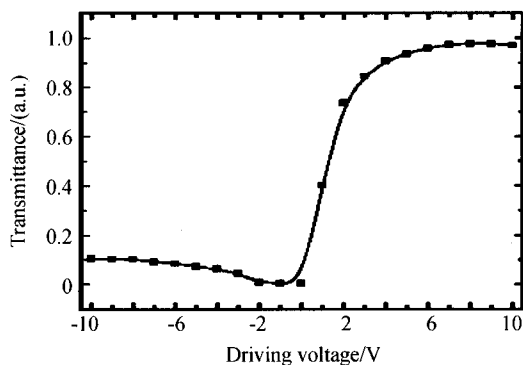


图 4 N^*-Sc^* 相变时施加 6V 直流电压器件的电光特性曲线
Fig. 4 Electro-optical characteristics under applying the DC voltage of 6V during N^*-Sc^* phase transition

3 结论

利用电场力矩与铁电液晶自发偶极矩的相互作用,控制了 N^*-Sc^* 序列相铁电液晶层的排列,得到了“V”字形和半“V”字形的电光特性,从而可以实现连续灰度. 形成不同分子层排列结构是器件呈现不同电光特性的直接原因. 在铁电液晶 N^*-Sc^* 相变时施加交流方波电压,形成了自发极化矢量相反的一种层排列,器件的电光特性曲线为“V”字形;而 N^*-Sc^* 相变时施加直流电压,形成了层倾斜方向一致的一种层排列,器件的电光特性曲线为半“V”字形.

参考文献

- 1 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. 光子学报,2005,34(2):59~62
Zhu S Q, Pan W, Wang M Y. *Acta Photonica Sinica*, 2005,34(2):59~62
- 2 Wang Qionghua. Measurement Principle and Method for Liquid Crystal's Rotational Viscosity Coefficient. *Acta Photonica Sinica*, 2005,34(11):1728~1731
- 3 屠美,牟善松,黄海,等. 向列液晶预倾角与其弹性常量的相关性研究. 光子学报,2003,32(7):872~875
Tu M, Mou S S, Huang H, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2003,32(7):105~108
- 4 王琼华,成建波. 带有补偿膜的扭曲相列液晶宽带快速偏振器开关. 光子学报,2005,34(3):357~360
Wang Q H, Cheng J B. *Acta Photonica Sinica*, 2005,34(3):357~360
- 5 Clark N A, Lagerwall S T. Submicrosecond bistable electro-optic switching in liquid crystals. *Appl Phys Lett*, 1980,36(11):899~901
- 6 Wang C H, Bos P J. Bistable C1 ferroelectric liquid crystal device for e-paper application. *Display*, 2004, 1~8
- 7 Hikemit R A M, Boots H M J, Michielsen M. Anisotropic network stabil-ized ferroelectric gels for active matrix addressing. *J Appl Phys*, 1996,79(10):8098~8105
- 8 Li Jianjun, Zhao Weisong, Ma Kai, et al. Effect of polymer network with electric field to the ferroelectric liquid crystal molecular alignments. *Mol Cryst Liq Cryst*, 1998,321:395~402
- 9 Miayzaki Y, Furue H, Takahashi T, et al. Mesogenic polymer stabilized FLCs exhibiting asymmetric and symmetric (v-shape) electrooptic performance, 18th Int'l Liq. Cryst. Conf. Sendai, 2000, 27M-6-0-24
- 10 Kobayashi S. Polymer-stabilized FLCs exhibiting v- and half-v EO characteristics. *SID*, 2001, 16~19
- 11 Toshiaki N, Ji Lee, Ayako O, et al. Material characteristics of an active matrix LCD based upon chiral smectics. *Liq Cryst*, 1999,26(11):1599~1602
- 12 Hatano T, Yamamoto K, Takezoe H, et al. Alignment controls and switching characteristics in a ferroelectric liquid crystal with the phase sequence of N^*-Sc^* . *Jpn J Appl Phys*, 1986,25(12):1762~17675
- 13 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. *Jpn J Appl Phys*, 1999,38(10):5977~5983
- 14 Wang J M, Kim Y J, Kim C J, et al. V-shaped switching in a ferroelectric liquid crystal with the sequence of N^*-SmC^* . *Ferroelectrics*, 2002,277:185~195
- 15 Asao Y, Yoshinaga H, Mori H, et al. Dot inversion polarization structure in half-V-shaped switching ferroelectric liquid crystal. *Jpn J Appl Phys*, 2003,42(9B):554~558
- 16 乌日娜,彭增辉,鲁兴海,等. N^*-Sc^* 相变铁电液晶的排列. 液晶与显示,2004,19(6):427-430
Wu R N, Peng Z H, Lu X H, et al. *Chinese Journal of Liquid Crystal and Displays*, 2004,19(6):427~430
- 17 Murakami Y, Furuta H, Xu J, et al. Intrinsic half-v-shaped switching 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 electric-optic characteristics. *Jpn J Appl Phys*, 2003, **42**(7A):2759~2761

18 Aira H, Ray H, Kohki T. Effect of voltage applied during phase transition on alignment of half-V-shaped switching ferroelectric liquid crystal. *Jpn J Appl Phys*, 2004, **43**(9A):3243~3247

Preparation of Ferroelectric Liquid Crystal Device with Continuous Gray Scale

Wu Rina¹, Li Jing², Zhang Ran², Zou Zhongfei², Xuan Li²

¹ College of Materials and Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022

² State Key Laboratory of Applied Optics, Institute of Optics, Fine Mechanics & Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033

Received date: 2005-12-15

Abstract A Sc* ferroelectric liquid crystal with the N*-Sc* phase sequence was used. Through controlling the frequency and amplitude of the applying voltage during the N*-Sc* phase transition, the display of various molecular layer alignments was prepared and the V shaped or half V shaped electro-optical character with continuous gray scale was realized. Based upon the interacting theory between the spontaneous polarization and the torque of electric field, the reason for the alignment frame of different molecular layers of the display, the V shaped and half V shaped electro-optical character was analyzed.

Keywords Ferroelectric liquid crystal; N*-Sc* phase transition; Voltage; V-shaped Switching; Half V-shaped switching; Gray scale



Wu Rina was born in Neimeng Province in 1978, and achieved the Doctor's Degree of Philosophy in Changchun Institute Optics, Fine mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences in 2005. Now she is a prelector of Changchun University of Science and Technology, teaching and researching the liquid crystal physics and device.