

# 铁电液晶单池的制备与电光开关特性研究\*

沈 浩 肖胜安 徐克琚

(三束材料改性国家重点实验室 复旦大学物理系, 上海 200433)

**提要** 采用改进的高分子膜摩擦法实现表面稳定模式铁电液晶的双稳电光开关特性, 并对 SSFLC 单池的特性进行了测试, 对比度大于 140, 响应时间达 100  $\mu\text{s}$ 。

**关键词** 铁电液晶, 双稳电光开关特性

## 1 引 言

众所周知, 铁电液晶空间光调制器的性能比向列相液晶光阀要优越得多。我们摸索表面稳定模式铁电液晶池的制作工艺和测试它的电光双稳特性, 其目的是制作铁电液晶空间光调制器。目前我们制作的 SSFLC 单池具有优良的双稳电光开关特性, 响应时间为几十微秒, 对比度高于 140 : 1。这为制作铁电液晶空间光调制器打下了良好的基础。

## 2 原 理

80 年代 N. A. Clark 小组<sup>[1]</sup>提出铁电液晶的表面稳定模式, 基本思想(如图 1 所示)系采用平行定向方法使液晶分子平行于基板面, 层平面垂直于基板, 则在圆锥面内取向的分子在边界被抑制成两种状态。由于液晶盒厚度为  $\mu\text{m}$  量级, 液晶盒体内排列状态由边界决定, 因此铁电液晶分子的螺旋结构被抑制成两种均匀排列的状态, 相对应的宏观自发极化矢  $P_s$  变成 Up 和 Down 两种状态。这两种状态可通过宏观自发极化矢和外电场的线性耦合作用来切换。不难看出, 外电场反转使宏观自发极化矢反转, 相应液晶分子转过两倍的倾斜角  $\theta$ 。若把 SSFLC 单池放入正交偏振的光路中, 使分子排列方向(即光轴方向)平行于起偏方向, 则检偏后光强趋于零(暗态), 当外电场反向时, 分子长轴(即光轴)转过  $2\theta$ , 因而输出光的偏振方向也改变了, 透射光强(亮态)等

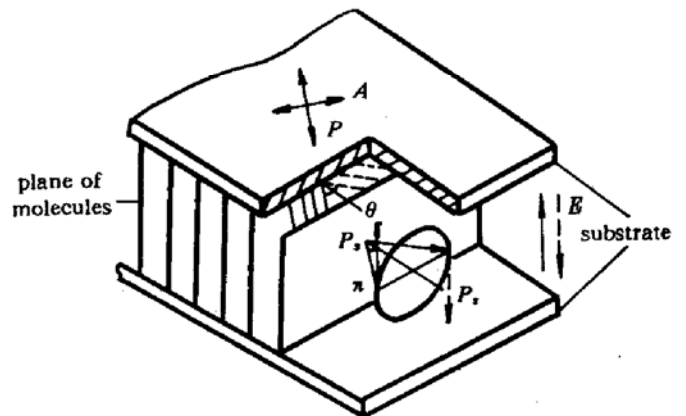


Fig. 1 Shows the principle of surface-stabilized ferroelectric liquid crystal

\* 本课题得到 863 计划 715 主题资助。

收稿日期: 1993 年 12 月 8 日; 收到修改稿日期: 1994 年 3 月 30 日

于  $I_0 \sin^2(4\theta) \sin^2[(\pi \Delta n d)/\lambda]$ , 其中  $I_0$  为入射光强,  $\theta$  为液晶倾斜角,  $\Delta n = n_e - n_o$  为液晶的双折射率常数,  $d$  为液晶层的厚度,  $\lambda$  为光波长。选择合适的 FLC 材料使  $\theta = 22.5^\circ$ , 并且令  $\Delta n \cdot d = \lambda/2$ , 制成  $1/2$  波片, 则原则上可获得最大的对比度。

总之铁电液晶有很多独特的优点: 1) 可在很低的激活能作用下实现双稳电光开关运转。因为抑制螺旋结构的 FLC 有很大的宏观自发极化矢, 因此在外电场作用下有足够大的转矩来克服液晶的粘滞性。从亮态切换到暗态完全是在正负电场的作用下分子排列从一种取向变到另一种取向, 是一个耗能极小的过程, 因而获得了高的响应速度; 2) 铁电液晶对光的调制是通过旋转偏振光的方向来实现的, 它不是光强吸收型, 因而不存在热耗散问题; 3) 铁电液晶除了可以实现开关作用外, 它还具有记忆功能, 即在外电场撤去后仍保持原来的分子取向状态, 这就大大简化了 LCD 的驱动电路, 可用简单矩阵寻址的方式实现具有巨大像素数的电寻址空间光调制器。

### 3 样品制备和测试结果

我们把某种特殊的聚酰亚胺膜均匀涂覆在导电玻璃 ITO 上, 适当处理后组装成单池,  $5 \mu\text{m}$  厚的聚酯薄膜作间隔器, 铁电液晶 CS-1024 (相变温度  $\text{ISO } 90^\circ\text{C}$ ,  $\text{N}^* 82^\circ\text{C}$   $\text{SmA } 62^\circ\text{C}$   $\text{SmC}^* < -12^\circ\text{C}$ ,  $P_s = -46.9 \text{ nc/cm}^2$ ,  $\theta = 25^\circ$ ,  $T = 25^\circ\text{C}$ ) 加热至各向同性经真空毛细作用注入盒内, 然后缓慢冷却至室温, 最后用环氧树脂封装。

把 SSFLC 单池放在  $6.3 \times 10$  倍的偏光显微镜下观察, 没有发现明显的缺陷, 说明我们的定向方法是有效的。把样品放入图 2 的正交偏振光路中, 加  $-30 \text{ V}$  直流电压, 旋转样品使数字电压表的读数最小, 此时样品的光轴平行起偏器。记下加  $\pm 30 \text{ V}$  电压所对应的数字电压表读数, 扣去环境造成的本底光强, 由光强极大值和极小值的比例计算对比度, 其结果为  $144:1$ 。

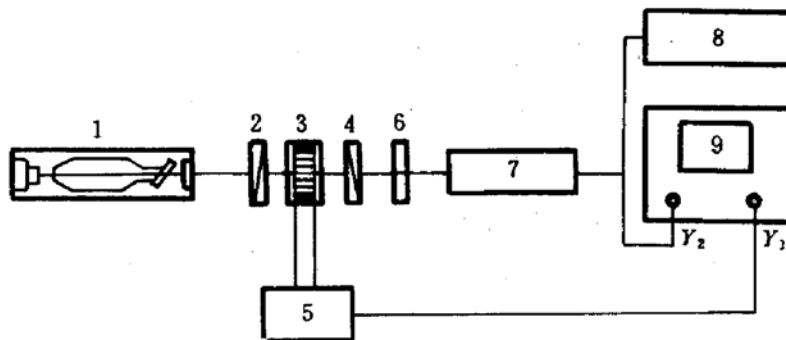


Fig. 2 Schematic diagram of the experimental set-up for  $E$ - $O$  characteristics measurement of a SSFLC cell

- 1: He-Ne laser; 2: polarizer; 3: FLC cell; 4: analyzer; 5: applied voltage driver;  
6: attenuator; 7: photomultiplier; 8: digital multimeter; 9: dual trace oscilloscope

我们又测试了样品的响应时间。定义上升时间为样品在阶跃电压作用下, 透射率从  $10\%$  变化至  $90\%$  之间的时间; 下降时间为样品在反阶跃电压作用下, 透射率从  $90\%$  变化至  $10\%$  之间的时间。图 3 测试结果表明: 响应时间随所加电压而变, 电压越高响应时间越短。图 4 为  $\pm 50 \text{ V}$ ,  $0.6 \text{ ms}$  脉宽的双极脉冲电压作用下所对应的响应时间测量值。LeCry 9400A 型数字存储示波器具有时间测量功能, 左下角为相应的测量值。上线为脉冲电压, 下线为透射光强。实验表明, 在我们的工艺条件下 FLC 单池响应时间的指标: 上升时间为  $100 \mu\text{s}$ , 下降时间为  $60 \mu\text{s}$ 。

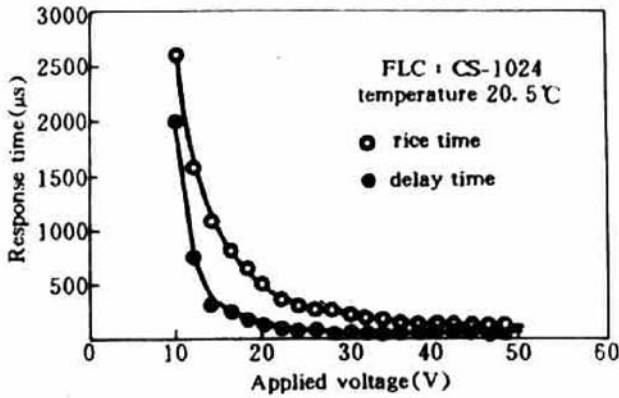


Fig. 3 Dependence of the electro-optic response time of the FLC compound on applied voltage

为了验证 SSFLC 单池是否有双稳电光开关性质,我们自制了可调参数的双极脉冲驱动装置,采用图 2 的装置,图 5 表明 SSFLC 单池具有优良的电光双稳特性和存贮性。图 5 (a) 中双极脉冲(上线)脉高 50 V,脉宽 0.5 ms,周期为 20 ms;下线为透射光强。图 5 (b) 横坐标为三角波电压(±20 V, 50 Hz),纵坐标为透射光强,任意单位,上、下开关电压工作点均在 ±10V。

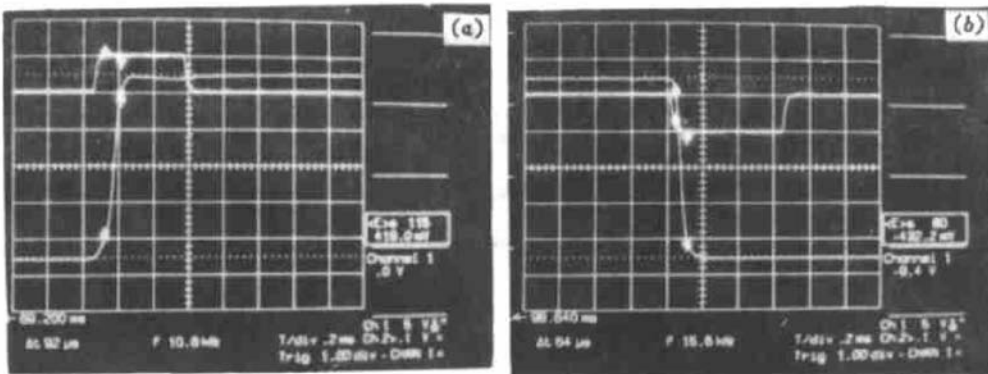


Fig. 4 Shows the response time when a bipolar external voltage with 50 V in pulse height and 0.6 ms in pulse width is applied  
(a) rise time, 92 μs; (b) decay time, 64 μs

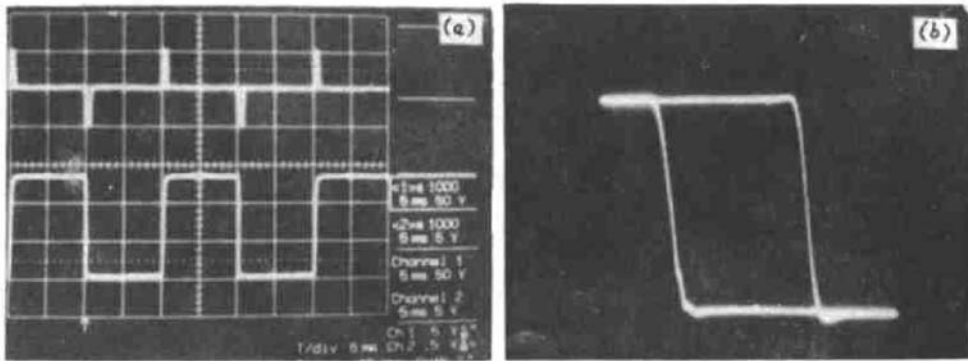


Fig. 5

(a) E-O performances of the SSFLC cell showing the bistable electro-optical feature.  
(b) Transmission-voltage hysteresis loop, the applied voltage is triangle shape with 20 V peak to peak and a frequency of 50 Hz

## 4 讨论

4.1 铁电液晶的分子定向不同于向列相液晶分子的定向,它的分子排列情况对液晶盒表面情况十分敏感。在摸索液晶定向的工艺中,如何保证获得近晶相 SmC\* 分子的均匀排列,并且分子的取向能快速地服从外电场的指挥是一个关键的问题。基板表面对分子拉力太大,在外电场反向时分子不能自由转动,因而影响铁电体的开关速度;基板表面对分子拉力太小,分子将是杂乱的排列。在定向工艺研究中,我们发觉 FLC 定向比 NLC 定向要困难得多。实验表明

定向膜的选择和处理要适当,取向层表面任何微小缺陷都可能使该处的 FLC 分子排列恶化。

4.2 FLC 记忆功能很容易丧失,原因有以下几种<sup>[2]</sup>: 1) 基板表面对分子拉力太大, FLC 开关的两种状态简并成一种状态; 2) 因定向不佳等原因, FLC 分子的螺旋结构没有完全被抑制, 处于扭曲态。加上电场则展曲成开、关两种状态, 撤去电场则弛豫回中间态——扭曲态; 3) 如图 6 所示, 由于普通聚合物取向膜为绝缘膜, 在外加电场  $E$  作用下, 杂质离子或感应电荷会在电极表面积累而产生消极化场  $E'$ 。不难想象当外电场撤去后, 消极化场  $E'$  会减弱宏观自发极化矢, 从而破坏存贮状态。通过工艺试验, 我们发现使 SSFLC 有存贮性能比有开关性能要困难得多。

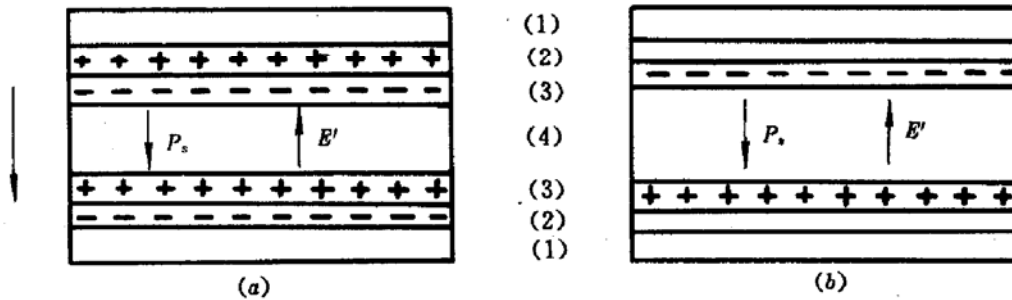


Fig. 6 Illustrations of the electrical states in the FLC medium and aligning layers just after the applied external pulse voltage is switched. (a) on (b) off

1: glass substrate; 2: ITO conductive layer; 3: polymer aligning layer; 4: FLC medium

4.3 国外文献报道<sup>[3~6]</sup>用常规高分子膜摩擦法实现 SSFLC 电光双稳态要求间隔极薄 ( $1 \sim 2 \mu\text{m}$ ), 开关电压为  $20 \sim 30 \text{ V}/\mu\text{m}$ , 并且要求  $P_s < 20 \text{ nc}/\text{cm}^2$ 。我们的实验条件为: 间隔厚度  $5 \mu\text{m}$ , 开关存贮电压  $10 \text{ V}/\mu\text{m}$ ,  $P_s = -46.9 \text{ mc}/\text{cm}^2$ 。由此可见选择合适的定向工艺可大大降低产生电光双稳态的电压, 对材料的自发极化也没有小于一定数值的要求。

4.4 若把 SSFLC 制成  $1/2$  波片, 即  $\Delta n \cdot d = \lambda/2$ 。CS-1024 铁电液晶  $\Delta n = 0.15$ , 则对  $632.8 \text{ nm}$  波长而言,  $d \approx 2.1 \mu\text{m}$ 。在实验中我们采用的厚度为  $5 \mu\text{m}$ , 驱动电压为  $50 \text{ V}$ 。只有减小液晶盒的厚度才可以降低总的驱动电压。我们正在继续研制更薄的、厚度控制更准的铁电液晶池, 预计驱动电压会进一步降低, 对比度会进一步提高。

### 参 考 文 献

- 1 N. A. Clark, S. T. Lagerwall. Submicrosecond bistable electro-optic switching in liquid crystal. *Appl. Phys. Lett.*, 1980, 36(11): 899~901
- 2 A. Mochizuki, K. Motoyoshi, Y. Yoneda *et al.*. A high-contrast multiplexed dot-matrix FELCD using naphthalene-based FELC and conductive polymer films for orientation. *Journal of the SID*, 1993, 1(1): 51~56
- 3 J. Dijon, C. Ebel, C. Vauchier *et al.*. High-speed SmC\* mixture; An evaluation of their performances. *SID '88 Digest of Technical*, 1988. 246~249
- 4 Y. Inada, K. Katagiri, H. Inoue *et al.*. Essential factors in high-duty FLC matrix display. *Ferroelectrics*, 1988, 85: 255~264
- 5 H. Ikeno, H. Maeda, M. Yoshida *et al.*. A ferroelectric LCD with gray-scale capability using conventional CTC-doped polyimide and/or undoped LB polyimide alignment layers. *Proc. of the SID*, 1989, 30(4): 329~332
- 6 T. C. Chieu, K. H. Yang. Transport properties of ions in ferroelectric liquid crystal cells. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1989, 28: 2240~2246

## Preparation and Study of Electrooptic Bistability of a Ferroelectric Liquid Crystal Cell

Shen Hao Xiao Shenan Xu Keshu

(State Key Joint Laboratory for Materials Modification by Laser, Ion and Electron Beams,  
Department of Physics, Fudan University, Shanghai 200433)

**Abstract** We realized a SSFLC cell with excellent bistability using an improved conventional rubbing method. We also measured the electrooptic characteristic of the SSFLC cell. The contrast was large than 140 and a response time of 100 microseconds was reached.

**Key words** ferroelectric liquid crystal, electrooptic bistability

## 室温 NaCl : OH<sup>-</sup> 色心激光和色心调 Q 取得成功\*

NaCl : OH<sup>-</sup> 晶体中的 (F<sub>2</sub><sup>+</sup>)<sub>H</sub> 色心激光是输出功率最高、工作最稳定的色心可调谐固体激光。调谐范围复盖了 1.45~1.75 μm。激光峰值波长在 1.55 μm, 处在光纤低损耗区。在产生孤子激光、光纤通讯及超快过程研究等方面有重要的应用价值。

我们用坩埚下降法生长出大块高质量 NaCl : OH<sup>-</sup> 色心晶体。利用天津大学附加着色装置着色。放入平凹谐振腔中(凹面镜曲率半径  $r = 42$  cm, 1.55 μm 全反, 平面镜在 1.55 μm 处反射率为 80%, 腔长 25 cm)。用 YAG : Nd 激光 1.06 μm 波长横向泵浦(YAG : Nd 激光能量 30 mJ, 脉宽 20 ns, 重复率 1 次/秒, 泵光经柱透镜聚焦), 在室温下获得色心激光输出。工作过程中用汞灯光做辅助光源。连续光泵 1 h(即 3600 个脉冲), 色心激光没有明显下降。

NaCl : OH<sup>-</sup> 晶体中的 (F<sub>2</sub><sup>+</sup>)<sub>H</sub> 心, 吸收截面  $8.5 \times 10^{-17}$  cm<sup>2</sup>, 上能级寿命 150 ns, 吸收峰(室温)在 1.0 μm 处, 很适合于 YAG : Nd 激光调 Q。我们用 2.7 mm 厚的色心晶体放入 YAG : Nd 激光腔内, 观察到调 Q 激光输出。单脉冲输出能量 2 mJ, 脉宽 80 ns。

(中国科学院上海光机所 张贵芬 王人淑 收稿日期:1994 年 9 月 21 日)

\* 本工作得到 93 年度中国科学院上海光机所所长基金支持。