

# 表面稳定模式铁电液晶分子定向 和电光特性研究\*

肖胜安 周学武 吕瑞波 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)

**摘 要** 通过倾斜蒸镀 SiO<sub>2</sub>, 获得对铁电液晶分子的均匀定向。液晶单池的对比度达 150:1, 响应速度达 60 μs, 并具有良好的双稳性能。利用该定向方法制成的 64×64 电寻址铁电液晶空间光调制器, 对比度高于 80:1, 帧数高于 39 /s。

**关键词** 铁电液晶, SiO<sub>2</sub> 倾斜蒸镀, 电光特性。

## 1 引 言

铁电液晶由于其特有的性质受到了人们的广泛关注<sup>[1, 2]</sup>, 除了在显示方面的应用外, 利用它的双稳特性和快速响应可以制作光学开关阵列、空间光调制器, 并在光纤通讯中实现多路转换。利用它的双折射性及其电可调性, 可用来制作可调波长的光滤波器, 在光纤通讯中可以实现波分复用, 也可用来制作全光型的光纤起偏器。

要获得铁电液晶的这些应用, 首先是要实现对铁电液晶的均匀定向。实现铁电液晶的均匀定向的方法很多, 最常用的有摩擦法、倾斜蒸镀法和 LB 膜定向法。用倾斜蒸镀法实现铁电液晶分子的均匀定向有许多优点<sup>[3, 4]</sup>: 一是通过调节 SiO<sub>2</sub> 的入射角、SiO<sub>2</sub> 膜的厚度可以获得较大范围内的预倾角(0°~ 30°), 在较高的预倾角的条件下, 易于获得没有锯齿形(zig-zag)缺陷的均匀定向。此外, 该方法重复性好、易于控制。由于倾斜蒸镀定向法的这些特点, 使它在制作高性能的铁电液晶器件时, 具有特殊的意义。

## 2 倾斜蒸镀定向法的机理

倾斜蒸镀法通常在两个特殊的角度范围进行, 一个是入射角在 60°附近, 另一个是入射角在 85°~ 80°附近。Goodman 等人利用透射型电子显微镜观察在不同入射角下 SiO<sub>2</sub> 的表层形貌<sup>[5]</sup>发现, 倾斜蒸镀因自屏蔽效应不是各向同性的, 表面形状及各种物理性质都呈现出各向异性, 倾斜蒸镀得到的 SiO<sub>2</sub> 膜是由向蒸发源方向倾斜的无数的柱和与 SiO<sub>2</sub> 分子入射面正交的沟组成。当利用倾斜蒸镀 SiO<sub>2</sub> 实现液晶分子定向时, 液晶分子沿着 SiO<sub>2</sub> 表面所形成的柱排

\* 国家科委 863 高科技项目。

收稿日期: 1995 年 12 月 19 日; 收到修改稿日期: 1996 年 4 月 22 日

列, 或沿着与 SiO 分子入射面正交的沟排列。实验研究表明, 当入射角在  $85^\circ \sim 75^\circ$  范围内, 预倾角随入射角变化甚微, 预倾角较大; 而当入射角为  $60^\circ \pm 2^\circ$  时, 预倾角通常为  $0^{[3, 4]}$ 。

### 3 倾斜蒸镀 SiO 膜对铁电液晶的定向效果

利用两种铁电液晶材料进行实验研究。一种是 ZLI-4237-100, 其相变温度为

$$I \xrightarrow{83^\circ\text{C}} N^* \xleftarrow{73^\circ\text{C}} \text{SmA} \xleftarrow{61^\circ\text{C}} \text{SmC}^*$$

材料的偶极矩  $P_s = -20 \text{ nc/cm}^2$ , 双折射率  $\delta n = 0.14 (\lambda = 0.533 \text{ nm})$ , 另一种是 SCE13, 其相变温度为:

$$I \xrightarrow{100.8^\circ\text{C}} N^* \xleftarrow{86.3^\circ\text{C}} \text{SmA} \xleftarrow{60.8^\circ\text{C}} \text{SmC}^*$$

利用倾斜蒸镀 SiO 膜对它们实现定向时, 定向效果有一定的差异, 下面对它们作对比研究。

采用 DM-300B 型镀膜机进行蒸镀, 基片与 SiO 蒸发源相距大约 25 cm, 真空度为  $(9 \sim 13) \times 10^{-4} \text{ Pa}$ , 蒸发速率为  $(0.4 \sim 0.5) \text{ nm/s}$ 。蒸镀之前先对导电玻璃(ITO 导电膜)进行适当的处理。蒸镀后将上下基片的位置按 SiO 的入射方向的平行(或反平行)对好, 调节夹具的位置和力度使液晶盒中观察不到干涉条纹, 即保证整个液晶盒的厚度的均匀性。注入时先将液晶加热到各向同性, 再利用真空毛细作用将液晶注入盒中, 然后将其缓慢冷却到室温, 最后利用环氧树脂密封。注入及降温过程在 10000 级的净化室中完成。整个制作过程中, 环境温度为  $12 \sim 15^\circ\text{C}$ 。

对冷却到了  $\text{SmC}^*$  相的样品, 先利用偏光显微镜(放大倍率为  $5 \times 10$ ) 对其进行观察, 如果样品中存在锯齿形的缺陷, 可利用适当频率、适当强度的交变电场对它进行一定时间的处理, 使这种缺陷大大减少, 有时这一缺陷能完全消失, 并在电场撤除后不再出现。

主要测试了三个参数: 对比度、响应时间和双稳效应。测量装置如图 1 所示。

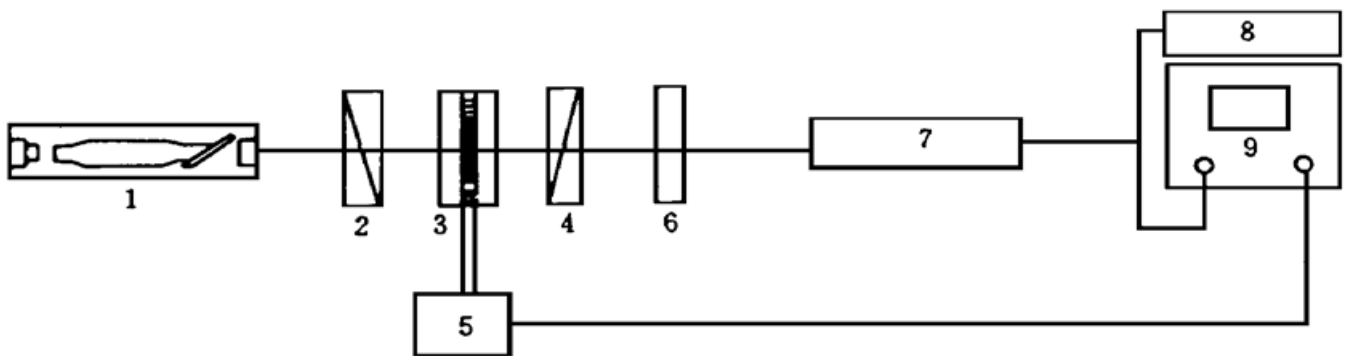


Fig. 1 Experimental set-up for E-O properties measurement of SSFLC cell

1. He-Ne laser, 2. polarizer, 3. SSFLC cell, 4. analyzer, 5. applied voltage driver, 6. attenuator, 7. photo-multiplier, 8. digital multimeter, 9. dual trace oscilloscope

测量对比度的方法是: 在施加某一极性的脉冲电压获得一稳态后, 旋转样品使数字电压表的读数最小, 记下此时的读数  $I_{\min}$ , 再加极性相反的脉冲电压, 获得另一稳态, 记下这时数字电压表的读数  $I_{\max}$ 。如果环境造成的本底光强为  $I_0$ 。那么对比度为

$$R = \frac{I_{\max} - I_0}{I_{\min} - I_0} \quad (1)$$

按如下定义测量响应时间: 上升时间定义为液晶盒在阶跃电压(方波)作用下, 透射率从

10% 上升到 90% 之间的时间; 下降时间定义为液晶盒在极性相反的阶跃电压作用下, 透射率从 90% 下降到 10% 之间的时间。液晶盒的响应时间与所加电压的大小有一定的关系, 一般地说, 所加电压越高, 响应时间越短<sup>[6]</sup>。在所研制的样品中, 当利用 60° 倾斜蒸镀 SiO 膜实现定向时, 间隔器的厚度为  $2.0 \pm 0.1 (\mu\text{m})$ , 测量时所加电压的峰值为  $\pm 20 \text{ V}$ ; 当利用 80° 角倾斜蒸镀 SiO 膜实现定向时, 间隔器的厚度为  $1.7 \pm 0.1 (\mu\text{m})$ , 测量时所加电压的峰值为  $\pm 17 \text{ V}$ 。即保证所加峰值电压为  $\pm 10 \text{ V}/\mu\text{m}$ , 使测量结果不失一般性(测量过程中, 环境温度约  $12^\circ\text{C}$ )。

图 2 为利用 80° 倾斜蒸镀的 SiO 膜定向的铁电液晶盒的响应时间的测量曲线, 成盒时令

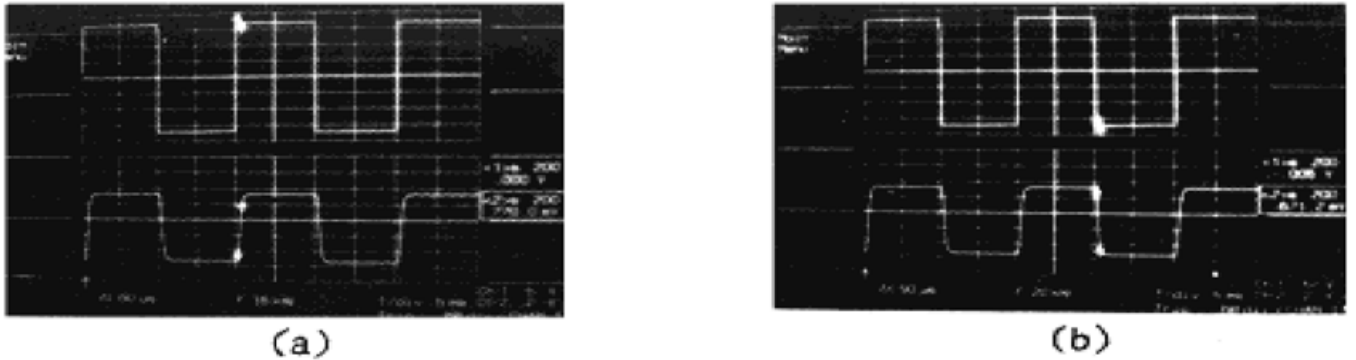
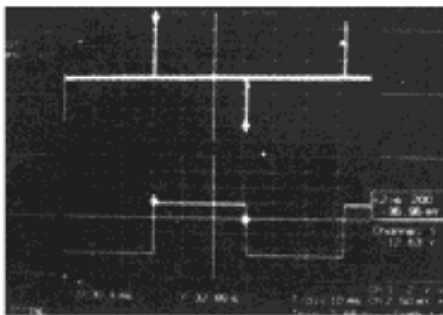


Fig. 2 Graph of the response time when a bipolar external voltage with  $\pm 17 \text{ V}$  in pulse height and 1ms in pulse width is applied (a) rise time:  $60 \mu\text{s}$ , decay time:  $20 \mu\text{s}$  (b) decrease time:  $50 \mu\text{s}$ , decay time:  $20 \mu\text{s}$



其上下基片的 SiO 分子的入射方向反平行。图中上线为脉冲电压, 下线为透射光强。从图中看到上升时间为  $60 \mu\text{s}$ , 上升延迟为  $20 \mu\text{s}$ ; 下降时间为  $50 \mu\text{s}$ , 延迟为  $20 \mu\text{s}$ 。

图 3 示出了同一样品的双稳特性: 上线为所加双极脉冲的波形, 峰值为  $\pm 15 \text{ V}$ , 脉宽为  $0.5 \text{ ms}$ , 周期为  $30 \text{ ms}$ 。下线为透射光强。

其余各种情况下所测的对比度、响应时间、双稳特性

Fig. 3 Graph of the bistability of SSFLC cell 及均匀面积见表 1。

Table 1.

material	alignment method	contrast ratio	switching time( $\mu\text{s}$ )				memory effect	uniform area( $\text{cm}^2$ )
			rise time	delay of the rise	decay time	delay of the decay		
ZLI-4237 -100	$60^\circ \uparrow \uparrow$	70 ·1	75	70	30	20	better	$> 1.2 \times 1.2$
	$60^\circ \uparrow \downarrow$	90 ·1	110	30	110	80	good	$> 1.2 \times 1.2$
	$80^\circ \uparrow \uparrow$	70 ·1	80	30	90	60	bad	$> 1 \times 1$
	$80^\circ \uparrow \downarrow$	90 ·1	80	20	100	40	middle level	$> 1 \times 1$
SCE13	$60^\circ \uparrow \uparrow$	70 ·1	80	70	60	80	bad	$> 1.2 \times 1.2$
	$60^\circ \uparrow \downarrow$	80 ·1	60	80	50	70	better	$> 1.2 \times 1.2$
	$80^\circ \uparrow \uparrow$	100 ·1	80	60	90	100	better	$> 1 \times 1$
	$80^\circ \uparrow \downarrow$	150 ·1	60	20	50	20	good	$> 1 \times 1$

利用  $80^\circ \uparrow \downarrow$  倾斜蒸镀 SiO 膜实现铁电液晶的定向, 制成了  $64 \times 64$  电寻址的铁电液晶空间光调制器, 经上海测试技术研究所的有关专家测试, 其性能参数如下: 对比度高于 80:1, 帧速达 39 frame/s, 工作温度范围:  $12 \sim 35^\circ\text{C}$ 。该器件具有很好的双稳效应(在偏光显微镜下观察, 两稳态在 12 小时内都无明显退化)。

在实验过程中, 注意到了如下问题:

1) 在  $80^\circ$  入射角下, 倾斜蒸镀的 SiO 膜对铁电液晶定向时易于获得好的定向效果、高对比度、高速响应和良好的双稳效应。但利用这种定向方法, 难以获得大面积的均匀定向, 而且该方法对真空度有较高的要求, 这就在一定程度上限制了该方法在制作大面积铁电液晶显示器等方面的应用。

2) 在  $60^\circ$  入射角下, 倾斜蒸镀的 SiO 膜对铁电液晶定向时, 由于其预倾角很小, 容易出现锯齿形的缺陷, 通过施加交变电场处理, 大部分锯齿形的缺陷能被消除。但处理过程对交变电场的波形、频率、强度及所加时间都有一定的要求, 不适当的交变电场的处理, 容易带来别的缺陷。

3) 同样条件下获得的 SiO 膜, 对不同的铁电液晶的定向效果有一定的差异。因此对不同的铁电液晶材料, 应该探索使它获得均匀定向的最优化条件, 即找寻最适当的 SiO 的入射角, 最佳的 SiO 膜的厚度和最佳的蒸发速度。

4) 无论对哪一种定向方法或哪一种材料, 降温过程中或降温结束后施加适当的交变电场处理都能改善它的双稳效应, 并且部分消除锯齿形的缺陷。但对于不同的铁电液晶材料、不同的定向方法以及不同厚度的液晶盒, 所加电压的大小、频率、波形以及所处理的时间, 都将明显地影响处理效果。在某些情况下, 不适当的交变电场的处理, 将严重破坏定向效果, 而且无法恢复。

5) 利用倾斜蒸镀 SiO 膜来实现铁电液晶的定向时, 改善定向效果、增大均匀面积的最有效的方法是在蒸镀过程中增大基片与蒸发源的距离。

**结 论** 本文对两种入射角下倾斜蒸镀的 SiO 膜对铁电液晶的定向效果进行了较详尽的研究。研究表明, 利用该方法能获得一定面积的均匀定向。利用  $80^\circ \uparrow \downarrow$  实现定向的铁电液晶盒, 具有对比度高、响应速度快、双稳性能好等特点。

### 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] K. Noguchi, T. Sakano, T. Matsuomoto, A rearrangeable multichannel free-space optical switch based on multistage network configuration. *IEEE J. Lightwave Technology*, 1991, **9**(12): 1726~ 1732
- [3] M. Johnson, P. A. Penz, Low-tilt-angle nematic alignment compatible with first sealing. *IEEE Trans. Electron Devices*, 1977, **24**(7): 805~ 807
- [4] T. Uemura, N. Ohba, N. Wakita *et al.*, Alignment of chiral smectic liquid crystals by oblique evaporation method. *Proc. of the SID*, 1987, **28**(2): 175~ 181
- [5] L. Goodman, J. T. McGinn, C. H. Anderson *et al.*, Topography of oblique evaporated silicon oxide films and its effect on liquid-crystal orientation. *IEEE Trans. Electron Devices*, 1977, **14**(7): 795~ 804
- [6] 沈浩, 肖胜安, 徐克琇, 铁电液晶单池的制备与电光特性研究. *中国激光*, 1994, **A21**(11): 904~ 908

## Molecular Orientation and Electro-Optical Characteristics of the Surface Stabilized Ferroelectric Liquid Crystal

Xiao Shengan    Zhou Xuewu    Lu Ruibo    Xu Keshu

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

(Received 19 December 1996; revised 22 April 1996)

**Abstract** By using oblique evaporation of SiO<sub>2</sub>, uniform alignment of ferroelectric liquid crystal (FLC) is realized. For a FLC monodomain aligned by this method, the contrast is 150 ·1, the response time is 60 μs and the bistability is excellent. A 64 × 64 electric addressed FLCSLM is also obtained by the same method, its contrast is higher than 80 ·1 and frame rate is higher than 39 /s.

**Key words** ferroelectric liquid crystal, oblique evaporation of SiO<sub>2</sub>, electro-optical characteristics.