

文章编号: 0253-2239(2001)05-0621-05

表面稳定铁电液晶器件灰度特性的测量研究*

张舒雁 徐克琦 吕瑞波

(复旦大学物理系三束材料改性国家重点联合实验室, 上海 200433)

摘要: 观察到了多畴结构铁电液晶的灰度显示现象, 测量了表面稳定铁电液晶像素透射率与驱动电压的依赖关系, 研究了液晶盒导电玻璃 RC 常数以及驱动脉冲持续时间对器件电光响应波形的影响。对这几种情况所得到的光电倍增管的响应波形作了分析和解释, 同时对产生这种灰度现象的机理作了讨论。

关键词: 表面稳定铁电液晶; 灰度; 多畴结构

中图分类号: O734 文献标识码: A

1975年, Meyer等人首次提出了液晶存在着铁电性^[1]之后, Clark和Lagerwall又于1980年提出了“表面稳定铁电液晶(SSFLC)”结构^[2], 该结构具有转换速度快、双稳性和记忆性好等优点, 因而非常适合应用于高分辨率显示技术。灰度等级是其应用于显示技术时要考虑的一个重要问题, 因为灰度显示是实现彩色显示的基础, 有了灰度显示, 才可以配出丰富的色彩。虽然铁电液晶是黑/白双稳态的, 但是采用适当的驱动方式, 利用铁电液晶的多畴结构也可以产生近似的模拟灰度。加上它的高分辨显示特

性, 使之有了更为广阔的应用前景, 例如用作掌上电脑的显示屏等高分辨率、高信息容量的显示器等等。

我们在实验中也观察到了多畴结构铁电液晶的灰度显示现象, 图1是对不同的液晶灰度状态拍摄的一些照片, 图中沿箭头方向电压逐渐增加, 可以清楚地看出液晶像素内畴结构随电压的增加而逐渐开启。为了利用这种灰度现象, 对它的灰度与电压的依赖关系进行了研究, 并且对这种灰度的机制进行了讨论。



Fig. 1 Micrographs of the grey levels in SSFLC displays

1 原 理

1.1 表面稳定铁电液晶结构的黑白双稳性

作为铁电液晶的代表, 手性近晶C相(SmC*)的棒形分子成层状排列, 各层分子呈螺旋状在一顶

角为2θ的圆锥面上旋转取向, 螺距为P₀(如图2所示)。与棒形分子长轴垂直的永久偶极矩也沿着螺旋轴旋转, 因此宏观的自发极化为零。

当SmC*液晶盒的厚度远小于螺距P₀时, 盒

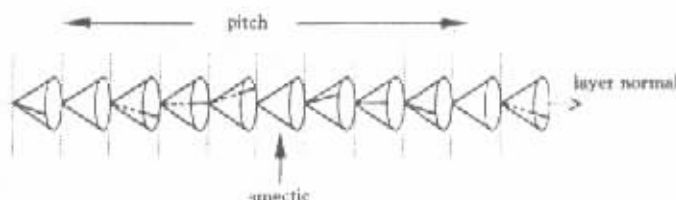


Fig. 2 Molecular alignment in chiral smectic C (SmC*) liquid crystal

的表面液晶分子有抑制螺旋结构使之解旋的锚定作用, 即分布在锥面上的各层分子将不再呈螺旋状排列, 而只能在焦锥骨架角的两个态之间转换, 相应

* 国家自然科学基金(69877004)资助项目。

收稿日期: 1999-11-30; 收到修改稿日期: 2000-03-20

于自发极化强度 P 、向上和向下的两种稳定状态,这就是表面稳定铁电液晶结构(如图 3 所示)。

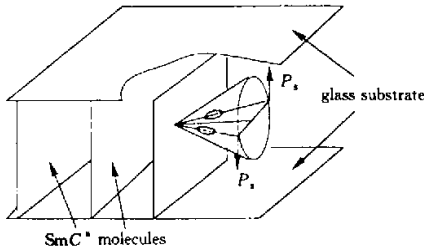


Fig. 3 The two directions of molecules in SSFLC structure

当改变外加电场的方向时,铁电液晶分子就在这两种排列取向之间切换,相当于晶体材料中的光轴方向(近似沿液晶分子长轴方向)在两种状态之间切换。当液晶盒的上述任何一种分子排列方向与入射线偏振光的偏振方向一致时,透射光无法通过偏振方向与起偏器垂直的检偏器,从而形成“关”态。改变电场方向,使分子排列方向切换至另一种状态时,透射光的强度

$$I = I_0 \sin^2(4\theta) \sin^2\left(\frac{\pi \Delta n d}{\lambda}\right), \quad (1)$$

式中, I_0 为入射到液晶盒上的线偏振光的强度, λ 为其波长, Δn 为液晶盒光学各向异性引起的 o 光与 e 光的折射率差, d 为盒厚, θ 就是焦锥角。适当选择盒厚 d , 使 $\Delta n \cdot d = \lambda/2$, 并选择 θ 约为 22.5° 的液晶材料, 可获得最大的透光率, 形成“开”态。

1.2 灰度显示的实现方案

尽管表面稳定铁电液晶是双稳性的, 但是采用适当的驱动方式, 是可以实现灰度等级的。产生模拟灰度等级可以采用空间分割和时间分割两种方法。利用空间分割法, 即采用子像素的方法, 每个像素被分割成若干个独立切换亮/暗态的子像素, 通过控制子像素开启的数目来产生像素的灰度。时间分割方法, 就是在每一帧刷新的时间范围内, 多次对各个像素进行寻址, 通过调整一个像素的开/关持续时间(由开/关脉冲的宽度决定)来产生时间平均结果的灰度等级。在这种情况下, 所需要的灰度等级决定了有效帧速, 这是这种方法的一个缺点, 另外闪烁效应也是该方法的一个不利因素。

在单个像素内产生灰度还可以采用诸如“织构方法”^[3]、“软模铁电液晶(SMFLC)”效应^[4]或“变形螺旋铁电液晶(DHF)”^[5]等方案。近来有人发现向铁电液晶(FLC)样品中加入一些纳米级的超细微粒

能够产生一些微畴, 这些畴具有不同的开启电压, 从而可以通过调整外加电场来产生模拟灰度^[6]。

2 实验装置

实验采用的表面稳定铁电液晶样品材料为 SCE-13, 取向剂采用聚酰亚胺, 利用摩擦法进行取向处理。铁电液晶材料夹于两片镀有氧化铟锡(ITO)电极的玻璃片当中。利用喷涂聚合物微珠的方法来控制盒厚, 用喷雾器将一定直径的聚合物微珠喷涂在液晶盒两表面之间, 通过控制单位面积上的喷涂密度来控制盒厚。不同厚度的液晶盒对驱动脉冲的大小要求不同, 液晶盒越厚, 所需的驱动脉冲幅度就越大, 但我们在选择液晶器件的盒厚时, 为了获得黑白平板显示(对实现彩色显示来说是必要的), 通过计算得到液晶盒的最佳厚度应取为 $1.7\mu\text{m}$ 左右。计算方法如下:

根据(1)式, 当入射光是自然光时, 必须对 λ 在可见光范围内($400\text{ nm} \sim 700\text{ nm}$)进行积分:

$$I = \int I_\lambda \sin^2\left(\frac{\pi \Delta n \cdot d}{\lambda}\right) d\lambda \sin^2(4\theta). \quad (2)$$

其中, I_λ 是波长为 λ 的入射光的强度。为使光强 I 达到最大值, 最优的光程 $\Delta n \cdot d$ 约为 $0.259\mu\text{m}$, 我们采用的液晶材料(SCE-13)的 Δn 为 0.15 , 因而最佳盒厚应取为 $d = \frac{0.259}{\Delta n} = 1.7\mu\text{m}$ 左右; 否则, 盒厚偏大或偏小, 都会使液晶器件的透射光带有一定的色彩而影响其应用。故我们所研究的液晶器件盒厚为 $1.7\mu\text{m}$ 。

整个实验装置如图 4 所示。在这套装置中, 液晶样品与入射光源、起偏器、检偏器、光电倍增管一起被安置在一台显微镜上组成测量光路, 并在显微镜的一次倒立像平面上增加一个光阑。这样做的目的是利用显微镜对液晶像素进行放大, 从而可以利用显微镜的目镜进行监控, 使视场的十字准丝位于被测像素的中心, 此时光阑可以使通过像素中心的透射光大部分进入探测器, 而周围像素和像素间隔的透射光则无法进入探测器。这样就可以避免透射光对像素的对比度、透射光强等测量的影响。

在图 4 的液晶器件上, 加上了如图 5(a)所示的驱动波形, 用来研究铁电液晶器件的灰度特性, 即像素透射率随外加电场的强度或持续时间的变化关系。该驱动波形由复位脉冲 V_r 和驱动脉冲 V_d 组成, 其中 V_r 的脉冲幅度是不变的, 这是为了使被测像素在被驱动时处于相同的初始状态, 紧随其后

的驱动脉冲 V_s 幅度是可变的,用以研究铁电液晶器件透射率随外加电场强度变化的情况。

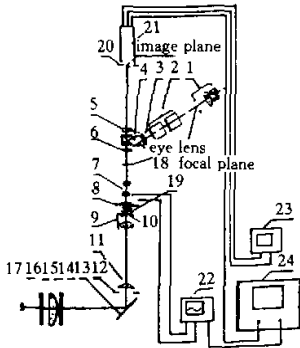


Fig. 4 Experimental setup for measurement of electro-optic response in a SSFLC pixel. 1: eye lens; 2, 4: PBS; 3, 5, 6, 11: auxiliary lens; 7: object lens; 8: liquid crystal device; 9: focal lens; 10: variable pinhole; 12: observation field pinhole; 13: reflector; 14: insulator glass; 15: aspherical focal lens; 16: glass; 17: light source; 18: polarizer; 19: analyzer; 20: $6 \times 6 \text{ mm}^2$ pinhole; 21: optoelectron amplifier; 22: liquid crystal driving waveform; 23: digital voltmeter; 24: storage oscilloscope

我们采用了图 5(b)所示的对称驱动波形。其原理与图 5(a)的波形相同,只增加了 V_r (抵消复位脉冲 V_r 所造成的电荷积累而加上的正脉冲)和 V_r' (抵消驱动脉冲 V_s 所造成的电荷积累而加上的负脉冲),用来抵消 V_r 和 V_s 幅度不对称造成的电荷积累(这样会形成一个直流偏压而损坏器件)。

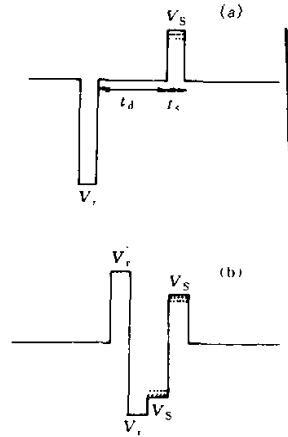


Fig. 5 The driving waveform that was applied to the SSFLC pixels

3 测量结果与讨论

利用图 4 所示的实验装置,我们观察到样品有较好的双稳性和记忆性,这些都是表面稳定铁电液晶的特征,因而可知液晶样品已达到表面稳定铁电液晶状态。我们对该表面稳定铁电液晶器件的灰度特性进行测量,得到了样品像素的电光响应曲线如图 6 所示。其中,图 6(a)和图 6(b)采用图 5(a)所示的非对称驱动脉冲,驱动脉冲持续时间为 $2480 \mu\text{s}$,但液晶盒导电玻璃电极的电阻分别为 $8 \Omega/\square$ 和

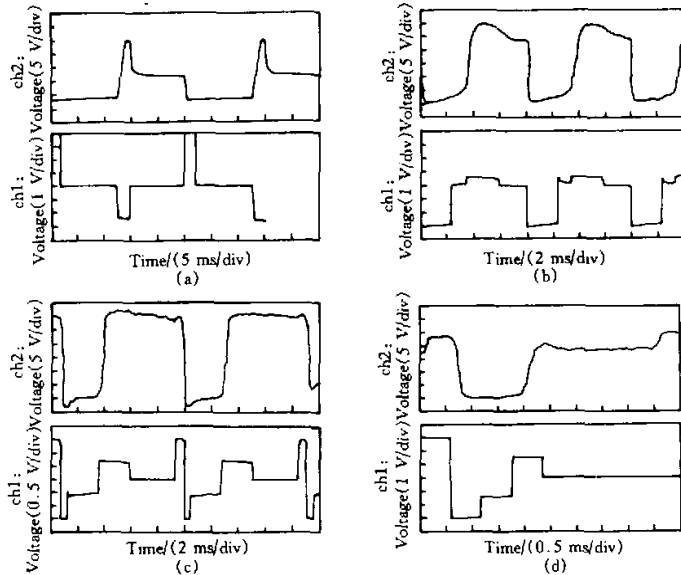


Fig. 6 The response waveforms of the liquid crystal pixel to the driving pulse under four different kinds of situations respectively

80 Ω/□(Ω/□是度量薄膜电阻时习惯采用的单位);图 6(c)和图 6(d)采用图 5(b)所示的对称脉冲,且液晶盒导电玻璃电极的电阻均为 80 Ω/□,只是前者采用持续时间为 2480 μs 的驱动脉冲,而后者驱动脉冲的持续时间为 575 μs。

由图 6(a)可以看出,当驱动脉冲加在被测量像素上时,透射率首先有一个很大的变化,然后逐渐衰减至一稳定的灰度状态。这种现象可以这样来解释:

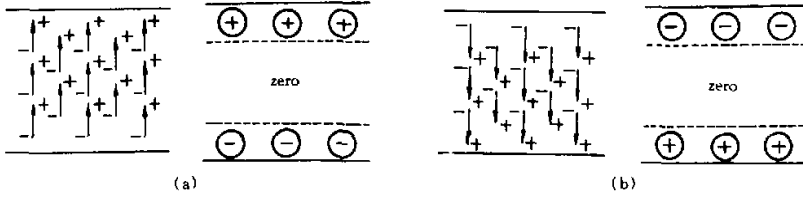


Fig. 7 Spontaneous polarization in SSFLC pixels, up and down respectively

如果液晶像素中有一部分面积转换了开关状态,那么就相当于这部分铁电液晶分子在两种排列取向之间切换,亦即这部分电偶极子改变方向。这也就相当于液晶器件的两个表面上,分别有一部分表面极化电荷被传递至液晶器件的另一面。例如对于图 7(a)中的情形,倘若加上方向向下的外加驱动电压,当外加驱动电压的幅度足够大,达到了液晶像素中一些畴结构的反转电压时,这部分畴结构的电偶极矩将改变方向,即转换了开/关状态。图 7(a)所示的情况下,将有一部分电偶极子的方向由向上变为向下,即相当于上表面的一部分正电荷被传递至下表面,而下表面则会有等量的负电荷被转移至上表面。这样,当电荷被传递至另一表面后,将会削弱外加的驱动电压,使加在液晶器件两表面之间的电压的幅度降低,低于一些已经转换了开/关状态的畴结构的转换电压,因而这些畴结构又变回原来的状态,这样我们就观察到透射率的衰减。图 6(a)是采用导电玻璃电极为 8 Ω/□的液晶盒测得的透射率响应波形,而图 6(b)采用的液晶盒的导电玻璃电极为

如 1.1 节所述,液晶像素的开态与关态分别对应着铁电液晶分子的两种取向。相应于自发极化强度 P_s 向上和向下两种状态,如图 7 所示,很明显,在铁电液晶器件的内部,每个电偶极子的头部紧挨着另一个电偶极子的尾部,正负电荷的效应相互抵消,但在器件的表面有净电荷存在,我们称之为表面极化电荷,图 7(a)、图 7(b)分别表示 P_s 向上和向下两种状态。

80 Ω/□。对比两种情况下测得的透射率响应波形可以看出,前者波形上的峰要比后者尖锐,这是由于前者的 RC 常数较后者小,因此透射率衰减得比后者快。

对于图 6(a)所示的情况,改变驱动脉冲的幅度,比较不同驱动脉冲幅度下液晶像素的电光响应曲线,均发现有透射率衰减现象,通过比较各种驱动脉冲幅度下透射率衰减至稳定状态时[图 6(a)中 A 点]的大小,我们得到了液晶像素的透射率-电压依赖关系曲线,如图 8(a)所示。这是比较典型的铁电液晶器件的透射率-电压依赖关系曲线,可以看出电压很低时,由于被开启的畴的数目很少,因而透射率很低,基本上没有什么变化,电压进一步增大时,透射率迅速变大;但当电压幅度提高至一定程度时,透射率将达到饱和。这是很容易理解的,因为电压不太高时,随着驱动脉冲幅度的提高,被开启的畴的数目也随之逐渐增大,但当脉冲幅度提高到一定程度时,能够开启的畴已经完全打开,因此透射率将不再随驱动脉冲幅度的提高而增大。

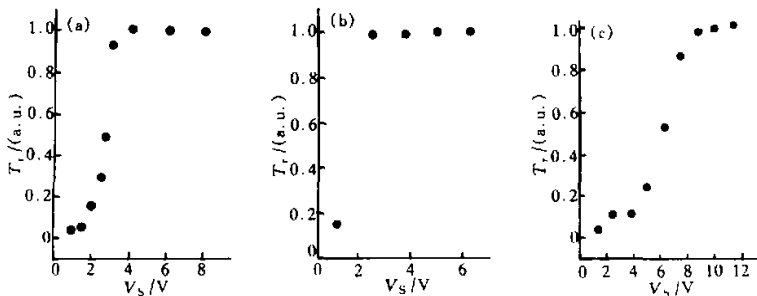


Fig. 8 Transmission-Voltage dependence curve of liquid crystal pixel, obtained by varying the amplitude of the driving pulse

图 8(b)和图 8(c)是对于图 6(c)和图 6(d)所示的两种情况下,改变驱动脉冲幅度所得到的透射率-电压依赖关系曲线。可以看出,由于两种情况下采用的驱动脉冲的持续时间不同,造成了透射率-电压曲线的差异,前者是采用持续时间为 2480 μs 的驱动脉冲得到的透射率-电压曲线,当驱动电压达到 2.5 V 左右时,透射率达到饱和。后者则是采用持续时间为 575 μs 的驱动脉冲得到的透射率-电压曲线,由图可以看出,透射率开始饱和时所对应的驱动脉冲幅度为 10 V,大约是前者饱和电压的 4 倍。联系到此时驱动脉冲持续时间大约是前者的 1/4,可以看出,驱动脉冲对液晶像素的开启作用是一个面积效应,即驱动脉冲的幅度与持续时间的乘积(可以看作是驱动脉冲的面积)决定了液晶像素中畴开启的面积,亦即像素的灰度。

结论 对于表面稳定铁电液晶器件,可以采用适当的驱动方式来产生灰度等级。由以上讨论可以看出,采用的驱动脉冲越窄,液晶像素有灰度响应的电

压范围就越宽,因而更加有利于实际应用中产生层次丰富的灰度等级。

参 考 文 献

- [1] Meyer R. Ferroelectric liquid crystals: A review. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 1977, **40**(1):33~48
- [2] Clark N, Lagerwall S. Submicrosecond bistable electro-optic switching in liquid crystals. *Appl. Phys. Lett.*, 1980, **36**(11):899~901
- [3] Hartmann W, Verhulst A, Luyckx-Snolders A *et al.*. A passive-matrix-addressed ferroelectric liquid crystal video displa. *Proc. SID*, 1991, **32**(2):115~120
- [4] Yasuda A, Takanashi H, Nito K *et al.*. A novel grey-scale method for ferroelectric liquid crystal displays utilizing ultra-fine particles. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1997, **36**(1A):228~231
- [5] Andersson G, Dahl I, Komitov L *et al.*. Device physics of the soft-mode ferroelectric liquid crystal display. *J. Appl. Phys.*, 1989, **66**(10):4983~4995
- [6] Beresnev L, Chigrinov V, Dergachev D *et al.*. Deformed helix ferroelectric liquid crystal display: a new electrooptic mode in ferroelectric chiral smectic C liquid crystal. *Liq. Cryst.*, 1989, **5**(4):1171~1177

Grey Scale in Surface Stabilized Ferroelectric Liquid Crystal Display

Zhang Shuyan Xu Keshu Lü Ruibo

(State Key Joint Lab for Materials Modification by Laser, Ion and Electron Beams,
Fudan University, Shanghai 200433)

(Received 30 November 1999; revised 20 March 2000)

Abstract: The grey scale display in multidomain surface stabilized ferroelectric liquid crystal (SSFLC) structure is observed and the transmittance-voltage dependence in SSFLC pixel is measured. The influences of the RC constant of conductive glass and the duration of the selective pulse on the response waveforms are discussed. By analyzing the various waveforms, the mechanism underlying this kind of grey scale is presented.

Key words: surface stabilized ferroelectric liquid crystal; grey scale; multidomain structure