

混合排列向列液晶盒的电光响应

肖 学 智*

(电子工业部桂林光通信研究所)

M. 格林 J. S. 门朗

(美国伦敦帝国理工学院电气工程系)

提 要

本文考察了一组混合排列向列液晶盒的电光响应特性,重点研究了透射光强随外电压的变化及响应时间与外电场的关系,计算了作为外电压及开启时间函数的双折射。应用液晶的线性响应理论分析了实验结果,理论与实验基本相符。结论指出:适当改变液晶器件的结构,有可能使响应时间加快。

关键词:混合排列向列液晶盒。

一、引 言

与常规液晶器件比较(如扭曲向列液晶显示器等),混合排列向列液晶器件具有许多优点,如,良好的色分离、高度的均匀性和强的色亮度等^[1,2]。然而,响应时间慢被认为是一般液晶器件的一个主要问题^[3],因此,人们很关心这种器件的电光响应特性。一些新近发表的文章曾研究过混合排列向列液晶器件的某些电光性质^[4,5],碇系能(anchoring energies)和临界厚度等^[6,7],但尚未见到有关时间响应特性的实验结果报道。

本文的主要目的是报道不同厚度混合型液晶盒的电光响应时间随外电压变化的实验结果,用液晶的线性响应理论作分析^[8],同时,还在一个宽的厚度范围内(2~23(微米)提供一套透射光强及其对应双折射随外电压变化的数据。希望本结果将有益于液晶器件结构改善和工作参数选择。

二、实验方法及定义

本工作所用的液晶盒结构相似于文献[1, 2]所报道过的。即,一种具有正介电各向异性的向列液晶商品 E₄₇(cyano biphenyl/cyano triphenyl 混合物)夹在被间隔膜分开的两片 ITO 导电玻璃间的薄层内。盒厚度通过聚脂薄膜间隔膜或真空蒸发的三氧化二铋膜来控制并根据相应空盒(未注入液晶)的电容实测值来计算。导电玻片之一用卵磷脂的酒精溶液来处理以产生使液晶分子排列垂直于该基片的界面,另一玻片则涂以聚亚胺薄膜并用一种擦透镜纸沿单一方向摩擦膜面使液晶分子排列平行于该基片的界面。

一束氦-氖激光(0.633 μm)正入射到液晶盒表面,盒置于两正交线偏振器之间,偏振器

收稿日期:1986年8月6日;收到修改稿日期:1986年9月22日

* 本文是笔者于1984年1月至1986年1月在英国伦敦帝国理工学院进修期间完成的。

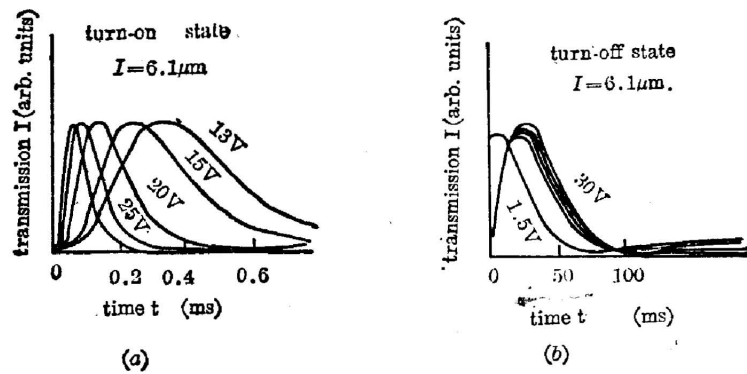


Fig. 1 Typical response waveforms for turn-on time and turn-off time

的偏振轴调到与膜面摩擦方向成 45 度角。透射光强用入射轴线上的一支光电二极管来检测，光电二极管的输出以及液晶盒的驱动信号一并输入 OS-4100 型数字存储示波器。存储于示波器的响应波形用一台 X-Y 记录仪来复制。开启和关闭时间的典型响应波形分别示于图 1(a) 和 (b)。全部测量均在室温下进行。矩形波驱动信号的频率为一千赫。不同外电压下的电光响应时间可根据响应波形按图 2 所示的定义来求得。开启状态下的响应时间 T_{on} 定义为从基准时间 ($T=0$) 到透射光强最后一个极大值下降到其 50% 时所经过的时间。对于关断状态，考虑到自然弛豫过程及线性响应理论，关断时间 T_{off} 应附加一项 τ_{relax} 。如， $T_{on} = \Delta t_i + \Delta t_{(FWHM)}$ ； $T_{off} = \Delta t_i + \Delta t_{(FWHM)} + \tau_{relax}$ ，这里， τ_{relax} 为自然弛豫时间^[8]，(FWHM) 代表波形的半极大全宽。

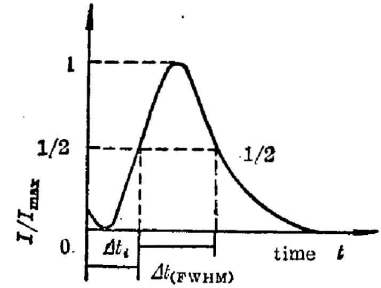


Fig. 2 Definition of the response time

三、实验结果及讨论

一组不同厚度 l 的混合排列向列液晶盒电光响应特性的实验结果示于图 3~6，及图 8, 9。

图 3 示出一千赫驱动频率下，透射光强 I 随外电压 V_s 之变化。可以看出，透射光强呈现一系列极小和极大值，它取决于不同的光程差。盒越薄，出现极小和极大值的数目越少。使透射光强只出现单一极大和极小值的盒厚度准是处于 $2 \sim 3 \mu\text{m}$ 之间，这就给出了单一的“开”和“关”状态。这种液晶盒 (如 $3.2 \mu\text{m}$ 、 $2 \mu\text{m}$ 等) 的行为相似于常规扭曲型向列液晶盒，但前者在满足光学对比度要求的情况下，盒厚可以作得更薄，又不存在阈值电压，因而有更低的工作电压和更快的响应时间 (当 $l=3.2 \mu\text{m}$ ， $V_s=4 \text{V}$ 时， $T_{on} \approx 1 \text{ms}$ ， $T_{off} \approx 10 \text{ms}$)。事实上，厚度为 $6.1 \mu\text{m}$ ，外电压为 4V 的混合型液晶盒的开启时间约为 6ms ，关断时间约为 60ms ，而根据资料 [9]，扭曲型液晶盒在满足快速响应和不降低光学对比度条件下的最佳厚度限在 $8 \mu\text{m}$ 左右，室温下，阈值电压为 1.62V ，工作电压为 5V 的典型上升时间约为 35ms ，衰减时间约为 70ms 。图 3 中的诸极大值幅度略有不同可理解为液晶分子取向的不

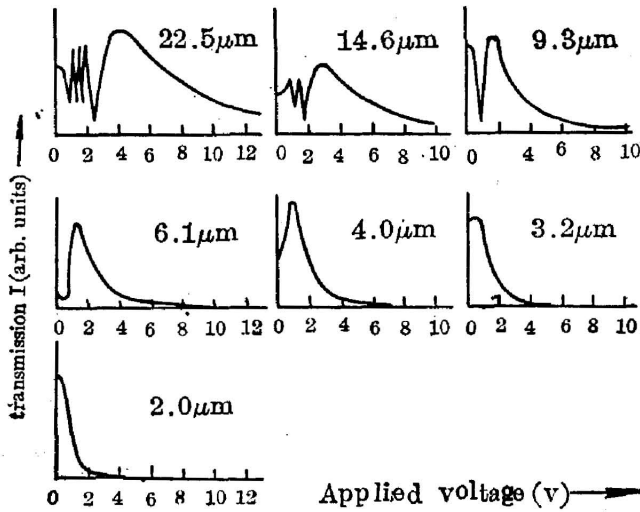


Fig. 3 Transmission (I) vs. applied voltage (V_s) for HAN* cells of various s thickness (l)

玻片膜面的摩擦方向成 45 度角, 则透射光强由下式给出:

$$I = I_0 \sin^2(\delta/2). \quad (2)$$

式中 I_0 为透射光强极大值。由 (2) 式可以看出, 透射光强极大值出现在

$$\delta = 2\left(m + \frac{1}{2}\right)\pi, \quad m = 0, 1, 2, 3, \dots$$

根据图 3 所示的实验数据和 (1), (2) 式, 可求出厚度 l 为参数的相应双折射 Δn 随外电压 V_s 的变化 (见图 4)。使透射光强只出现一个极大和极小值的盒厚度计算值约为 $2.6 \mu\text{m}$, 这里, 取 $\lambda = 0.633 \mu\text{m}$, $\Delta n_0(V_s = 0) \approx 0.12$ 。

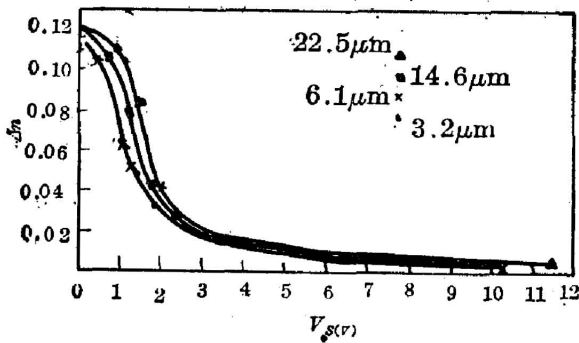


Fig. 4 Birefringence vs. applied voltage

图 5 和 6 分别表示开启时间 (T_{on}) 与外电压平方倒数 (V_s^{-2}) 和外电场强度平方倒数 $E^{-2} = (V_s/l)^{-2}$ 之关系。图 5 中每条曲线都有一线性范围并可外推到坐标原点。从图 6 可以看出, 开启时间与外电场平方倒数在一定范围内 ($E > 0.5 \text{V}/\mu\text{m}$) 有线性关系外, 而与厚度 l 无关。图 5、6 的结果可表示为:

* HAN cells 为混合排列向列液晶盒的英文缩写。

完善, 如果精心地处理两玻璃基片后将会得到改善。

向列液晶由棒状有机分子组成, 液晶中分子在任一点的平均轴方向用一单位矢量 $\mathbf{d}(x, y, z)$ 表示。 \mathbf{d} 称为单位方向矢量。对于厚度为 l 的液晶盒, 在正入射条件下的光程差 $\Gamma = \Delta n l$, 这里, $\Delta n = n_o - n_e = n_{\parallel} - n_{\perp}$ 为双折射, 光程中任一点经液晶盒透射的这两种偏振光的相差为

$$\delta = 2\pi\Gamma/\lambda_0. \quad (1)$$

式中, λ 是光的波长。

如果液晶盒是处于两正交线性偏振器之间, 并且, 偏振轴与

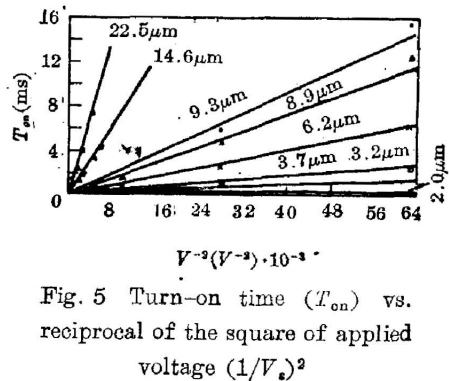


Fig. 5 Turn-on time (T_{on}) vs. reciprocal of the square of applied voltage ($1/V_s$)²

$$T_{on} = C_l V_s^{-2}, \tag{3}$$

$$T_{on} = C (V_s/l)^{-2} = CE^{-2}. \tag{4}$$

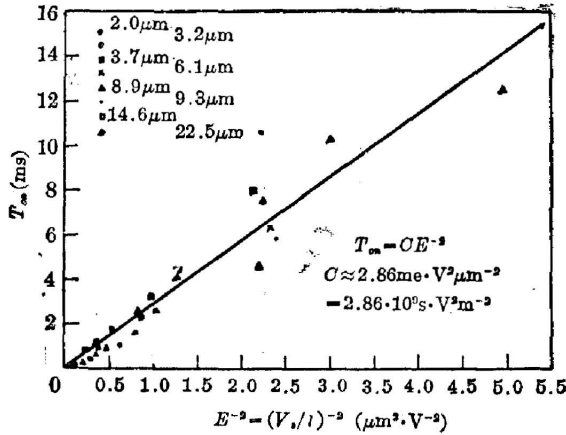


Fig. 6 Turn-on time (T_{on}) vs. reciprocal of the square of the electrical field $(V_s/l)^2$

式中, C 是与厚度无关的常量, 并有 $c_l = cl^2$, 两者均可由图中直线的斜率求得。

上述结果表明, 混合排列向列液晶盒的响应时间也遵从线性响应理论。

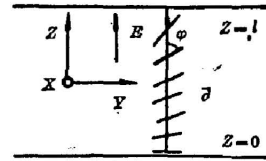


Fig. 7 Schematic representation of the HAN cell

在混合型液晶盒中, 单位方向矢量 \mathbf{d} 变化的略图示于图 7, 外电场 E 和光传播方向都平行于 z 轴。在强表面磁系能假设下^[4], 根据线性响应理论, 单位方向矢量 \mathbf{d} 处于平衡状态下的线性方程和边界条件为:

$$\left. \begin{aligned} K \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} \right) + \epsilon_0 E^2 \varphi - \gamma_1 \left(\frac{\partial \varphi}{\partial t} \right) &= 0, \\ \varphi(0, t) &= \frac{\pi}{2}, \quad \varphi(l, t) = 0. \end{aligned} \right\} \tag{5}$$

式中, $\varphi(z, t)$ 是 \mathbf{d} 和 z 轴的夹角, K 是液晶的平均弹性常量, $\epsilon_0 = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp}$ 是介电各向异性 (ϵ_{\parallel} , ϵ_{\perp} 分别为平行和垂直 \mathbf{d} 方向的介电常数), γ_1 为液晶的粘滞系数, l 是盒厚度, t 是时间。室温下, γ_1 的典型值为 $10^{-1} \sim 10^{-2} \text{ kg/m} \cdot \text{s}^{-1}$ ^[8]。

无外电场时, $\varphi(z) = \frac{\pi}{2} \cos\left(\frac{\pi}{l} \cdot \frac{z}{2}\right)$ 。在外电场下方程 (5) 解的形式为

$$\varphi(z, t) = \varphi_0 e^{-t/\tau} \cos\left(\frac{\pi}{l} \cdot \frac{z}{2}\right),$$

τ 定义为响应时间。在强外电场下, 液晶中的弹性力矩相对于介电和粘性力矩来说, 可以忽略不计, 于是, 求得的响应时间为:

$$\left. \begin{aligned} \tau_{\text{response}}^{-1} &= \epsilon_0 E^2 / \gamma_1 = \epsilon_0 V^2 / \gamma_1 l^2, \\ \text{或} \quad \tau_{\text{response}} &= (\gamma_1 l^2 / \epsilon_0) V^{-2} = (\gamma_1 / \epsilon_0) E^{-2}. \end{aligned} \right\} \tag{6}$$

比较 (4) 和 (6) 式可以看出, $c = \frac{\gamma_1}{\epsilon_0}$ 。这样, γ_1 和 ϵ_0 的比值可以由 c 的实验值求得。例如, 图 6 中的 $c \approx 2.86 \times 10^9 \text{ s} \cdot \text{V}^2 \cdot \text{m}^{-2}$, 如果取 $\epsilon_0 = 10 \epsilon_0$, $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$, 则 γ_1 为 $2.60 \times 10^{-1} \text{ kg/m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。此值与给出的典型值一致, 说明应用该理论进行分析是适宜的。

图 8 示出盒厚 l 不变, 以外电压 V_s 为参数时, 双折射与开启时间的关系。显然, 盒厚相同时, 外电压越高, 盒中的电场强度越强, 所以响应速度越快。图 9 示出不同盒厚下的关断

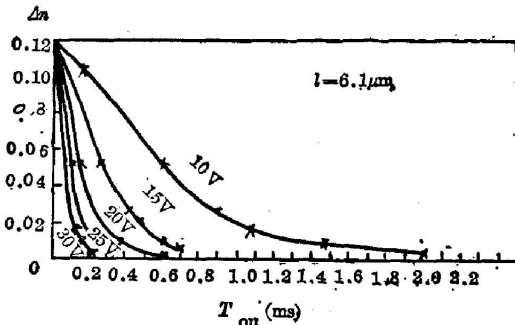


Fig. 8 Birefringence as a function of turn-on time and applied voltage for $l=6.1\mu\text{m}$

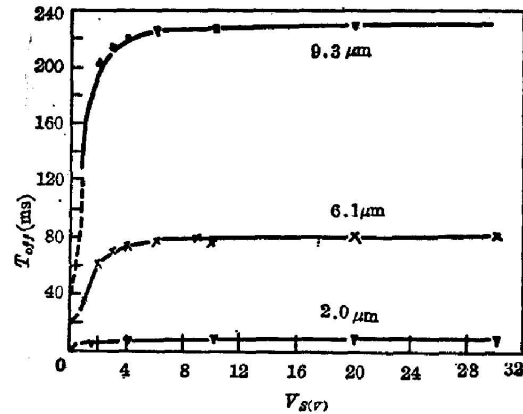


Fig. 9 Turn-off time variation with applied voltage for the HAN cells

时间 T_{off} 随外电压 V_s 的变化。实验数据表明,随着外电压的增加, T_{off} 开始增长很快,其后变慢,最后趋于饱和值。由此实验结果,可以得出另一经验表达式,即,

$$T_{\text{off}} \approx T_{\text{off}}(1 - e^{-\alpha_4 V_s}) + \tau_{\text{relax}0} \quad (7)$$

式中, T_{off} , α_4 对厚度一定的液晶盒是常量。 $\tau_{\text{relax}} = \gamma_1 l^2 / \pi^2 K$ 是线性响应理论中,在弱电场取消后,液晶单位矢量小角度偏转的自然弛豫时间。由此结果可以看出,对于一定的液晶材料(一定温度下, γ_1 , K 为常量), τ_{relax} 与初始加的电场无关,仅与盒厚度有关, l 越厚, τ_{relax} 值越大。但本工作的测量结果表明,在强电场动态驱动下,液晶盒的关断时间不能单由自然弛豫时间 τ_{relax} 来描述,因为强电场下,单位矢量是大角度偏转,电场越强,转角越大,特别是当电场的增加超过一定范围时,转角 φ 趋于 $\frac{\pi}{2}$ (饱和状态)。在不同电场下关闭液晶盒(非饱和时),就意味着单位矢量恢复到原平衡位置前是处于不同的偏转状态,对大角度(直到 $\frac{\pi}{2}$)偏转恢复时间的分析,应考虑到相应状态下的弹性力学和流体力学问题,这要比线性响应理论的假设条件复杂得多,因此,(7)式是根据实验数据并考虑到线性响应理论的相应结果后归纳出的经验表达式。事实上,在弱电场下 ($V_s \rightarrow 0$), (7)式的第一项小到可以忽略, $T_{\text{off}} \rightarrow \tau_{\text{relax}}$, 此时的结果与线性响应理论相符。由图9同样可以看出,外电压相同时,盒越薄,关闭时间越短,但与图5中的结果比较,关闭时间长于开启时间。

四、结 论

实验结果指出,混合排列向列液晶盒的电光响应时间取决于加到盒上的电场强度。在较强的外电场下(约大于 $0.5\text{V}/\mu\text{m}$),开启时间随外电场强度平方倒数线性变化并与厚度无关,此结果与液晶线性响应理论预期一致,这就提供了对该理论的实验证明。相同实验条件下,关闭时间长于开启时间。外电压相同时,盒越薄、响应速度越快。与常规扭曲型向列液晶盒比较,混合型向列液晶盒具有更低的工作电压和更快的响应时间,这样,实验结果指出了获得一种响应时间得以改善的液晶器件结构的可能性。

参 考 文 献

- [1] S. Matsumoto, M. Kawamoto *et al.*; *J. Appl. Phys.*, 1976, **47**, No. 9 (Sup), 3842
- [2] R. W. Filas; *SID, 84 D; Digest*, 1984, 206.
- [3] M. Green, J. S. Menown; «*Proc. 4th International Display Research Conference*», (Paris, France, Sept. 18~20, 1984,)199.
- [4] G. Barbero, F. Simoni; *Appl. Phys. Lett.*, 1982, **41**, No. 6 (Jun), 504.
- [5] E. Antolini Calcagno, B. Valenti *et al.*; *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 1985, **127**, No. 3 (Mar), 215.
- [6] G. Barbero, R. Barberi; *J. De Phys (Paris)*, 1983, **44**, 609.
- [7] G. Barbero, R. Bartolino; *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 1983, **99**, No. 1 (Jun), 89.
- [8] D. J. Channin, A. Suaaman; «*Topics in Applied Physics Vol. 40 Display Devices*», (Edited by J. I. Pankove, Springer-Verlag), 153.
- [9] «*Lucid Liquid Crystal Display—LCD Design Guide*», (Published by EEV, manufacturers of LUCID liquid crystal displays, Chelmsford, Essex, England), 6~30.

Electro-optic response of hybrid-aligned nematic (HAN) liquid crystal cells

XIAO XUEZHI

(Gui Lin Research Institute of Optical Communications, Gui Lin China)

M. GREEN, J. S. MENOWN

(Imperial College of Science and Technology, London, U. K.)

(Received 6 August 1986; revised 22 September 1986)

Abstract

Electro-optic response properties of a set of HAN cells have been investigated. In particular the transmission variation with applied voltage and the relationship between response time and electrical field have been studied. The birefringence as a function of applied voltage and turn-on time is worked out. The experimental results are analyzed in terms of the linear-response theory. The results of the response time of the HAN cells are in agreement with the theoretical predictions derived from theory. The results reported point to the possibility of liquid crystal devices with improved response time

Key Words: hybrid-aligned nematic (HAN) liquid crystal cell.