

液晶彩色显示

洪熙君 冯祖儒

(中国科学院上海有机化学研究所)

七十年代,液晶显示器(LCD)由于其独特的低电压、低功耗工作特性而得到迅速发展,其中扭曲场效应黑白显示已被广泛应用。近年来,日本、英国、瑞士、西德等国对液晶彩色显示的研究也相当活跃,并在应用于手表电视等方面获得成功。

液晶彩色显示与黑白显示一样,都是利用加电场后液晶分子排列状态发生变化,液晶盒的光学性质也随之变化的原理而构成液晶显示元件的。目前已经开发的液晶彩色显示技术按其工作方式可归为四大类:二色性方式、电控双折射方式、扭曲方式和胆甾方式。它们利用的主要液晶光学性质为:二色性、双折射、选择性反射、圆二色散和旋光色散等。其中又以二色性方式宾主(GH)型彩色显示的研究最为活跃。宾主型显示以它独特的色彩鲜艳、亮度高、视角宽等优点而可与扭曲(TN)型显示相媲美。当然,要完全达到实用化尚需解决实现正性显示、矩阵显示及提高器件寿命等问题。本文仅以二色性方式为重点叙述液晶彩色显示的工作原理及有关问题。

一、二色性方式工作原理

1. 宾主型显示

宾主型显示是将沿分子长轴和短轴方向具有可见吸收各向异性的二色性染料(宾体),溶解于一定取向的液晶(主体)中来实现彩色显示的。通常,染料分子的取向与液晶分子的取向平行。加电场后,染料分子随液晶分子改变取向,从而使染料的可见吸收也发生改变。

二色性染料分子的吸收光谱与其分子的跃迁矩(Transition moment)相对于入射光偏振方

向有关。当染料分子的跃迁矩与入射光偏振方向平行时为强吸收,垂直时为微弱吸收或不吸收。常见的二色性染料有两种:一种是在分子长轴方向具有光吸收的跃迁矩,称为正型(p型)染料或L(Longitudinal)染料,另一种是在分子短轴方向具有跃迁矩,称为复型(n型)或T(Transverse)染料。这两种染料对光的吸收特性见图1^[1]。 A_{\parallel} 和 A_{\perp} 分别表示偏振光的偏振方向平行和垂直于液晶指向矢时染料的光密度。

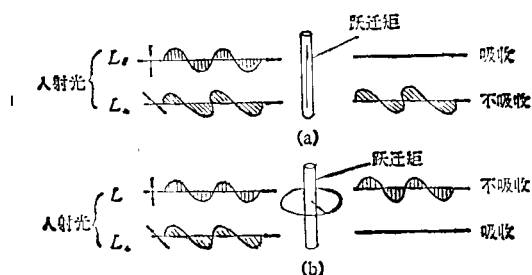


图1 正型和负型染料的吸收特性

(a) 正型染料; (b) 负型染料

对于正型染料:

$$A_{\parallel} = K_M C d (1 + 2S) / 3, \quad (1)$$

$$A_{\perp} = K_M C d (1 - S) / 3; \quad (2)$$

对于负型染料,

$$A_{\parallel} = K_M C d (1 - S) / 3, \quad (3)$$

$$A_{\perp} = K_M C d (2 + S) / 6. \quad (4)$$

式中 K_M 是与跃迁矩有关的系数, S 是序参数, C 为染料浓度, d 为染料-液晶混合物的厚度。

根据染料的吸收类型、液晶的介电各向异性和排列状态,宾主效应可以有多种工作方式,归纳为表1。现选择其中几种作原理上的解释。

初期的宾主型显示是G. H. Heilmeyer和L. A. Zanoni^[2]提出的。它是一种负性显示,即在彩色背景上显示无色图案。其工作原理如图

表1 GH型电光效应的工作方式和特性*

工作方式	电场下分子排列变化		液晶	染料	偏振片	电光现象 $V=0$ $V>V_{th}$	显示类型	$V_{th}(V)$	亮度	对比度		
	$V=0$	$V>V_{th}$										
向 列 型	单 层 盒	(A) 初期的 GH 盒	平行	垂直	N_p	D_p	有	有色→无色	负	2-3	较小	CR_p
		(B) 采用负性染料的 GH 盒	垂直(倾斜)	平行	N_a	D_a	有	无色→有色	正	2-3	较小	CR_a
		(C) 采用负性液晶的 GH 盒	扭曲(90°)	垂直	N_p	D_p	有	无色→有色	正	3-6	较小	CR_p
		(D) 扭曲型 GH 盒	平行	垂直	N_p	D_p	有	有色→无色	负	2-3	较小	CR_p
		(E) 正负性染料混合型 GH 盒	平行	垂直	N_p	$D_a + D_p$	无	双色	$< \frac{(1 + CR_p)}{2}$	较大	$< \frac{(1 + CR_p)}{2}$	
近 晶 型	双 层 盒	(F) 负型双层 GH 盒	平行	垂直	N_p	D_p	无	有色→无色	负	2-3	较大	$< \frac{(1 + CR_p)}{2}$
		(G) 正型双层 GH 盒	垂直(倾斜)	平行	N_a	D_p	无	无色→有色	正	3-6	较大	$< \frac{(1 + CR_p)}{2}$
		(H) 1/4 波片型 GH 盒	垂直(倾斜)	平行	N_p	D_p	无	有色→无色	负	2-3	较大	$< \frac{(1 + CR_p)}{2}$
		(I) 近晶型 GH 盒	平行	垂直	S_p	D_p	无	有色→无色	负	5-10	较大	$< \frac{(1 + CR_p)}{2}$
胆 甾 型	胆 甾 盒	(J) 胆甾 GH 盒	焦锥	垂直	Ch_p	D_p	无	有色→无色	负	3-5	较大	$< \frac{(1 + CR_p)}{2}$
		(K) 相变宾主型负性显示	平面	垂直	Ch_p	D_p	无	有色→无色	负	3-5	较大	$< \frac{(1 + CR_p)}{2}$
		(L) 相变宾主型正性显示	焦锥	垂直	Ch_a	D_p	无	无色→有色	正	1-3	较大	$< \frac{(1 + CR_p)}{2}$
		(M) 混有各向同性染料的 GH 盒	垂直	焦锥	$N_p + Ch_p$	$D_p + D_a$	无	双色	较大	5-10	较大	

* 表中 N_p, N_a 分别为正、负介电各向异性向列液晶, Ch_p, Ch_a 分别为正、负介电各向异性胆甾液晶, S_p 为正介电各向异性近晶液晶, D_p, D_a 分别为正、负性染料, D_i 为各向同性染料, CR_p, CR_a 分别为正、负性染料二色性比。

2 所示。闭态时,染料分子与偏振方向平行,染料吸收入射光,有一最大吸收波长 λ_m , 其光密度为 A_{off} 。开态时,染料分子与偏振方向垂直,染料微弱吸收,其光密度为 A_{on} 。 $A_{off}/A_{on} = A_{\parallel}/A_{\perp} = CR_p$ 为二色性比或彩色对比度。

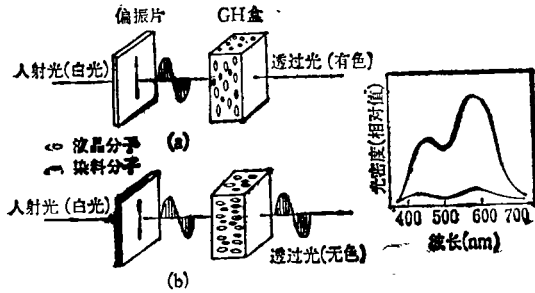


图 2 GH 型工作原理

(a) 不加电压 ($V = 0$); (b) 加电压 ($V > V_{th}$)

为提高显示对比度并使彩色显示更好地适应人们的视觉,宾主型开发的动向是正性显示、相变宾主型及双色显示等。

正性显示为无色背景上显示有色图案。它有两种基本形式,采用 $N_n + D_p$ 或采用 $N_p + D_n$ 。(5) 和 (6) 式分别表示 D_p 及 D_n 染料分子在液晶中的序参数及二色性比。

$$S_p = (A_{\parallel} - A_{\perp}) / (A_{\parallel} + 2A_{\perp}),$$

$$CR_p = A_{\parallel} / A_{\perp}; \quad (5)$$

$$S_n = 2(A_{\perp} - A_{\parallel}) / (A_{\parallel} + 2A_{\perp}),$$

$$CR_n = A_{\perp} / A_{\parallel}. \quad (6)$$

在两种染料 S 值相同的条件下,用 n 型染料时的对比度只有用 p 型染料时的一半。因而从实用角度出发,日本和田研究室^[3]提出以 N_n 液晶为主体的正性显示,其工作原理见图 3。这类显示有两个特点:一是要求负介电各向异性大的液晶,否则实用上有困难;二是在液晶盒制作工艺上要求在电极表面上进行定向处理,使液晶分子与基板法线方向成 2.5° 的预倾角,以获得均匀而良好的正性彩色显示。

表 1 中所列 (A)~(D) 四种形式的显示均需一片偏振片,使亮度受损。为此,White 和 Taylor^[4]提出了相变宾主型显示 [表 1 中 (K), (L)], Uchida 和 Wada^[5]提出了双层宾主型结构 [表 1 中 (F)、(G)] 等。

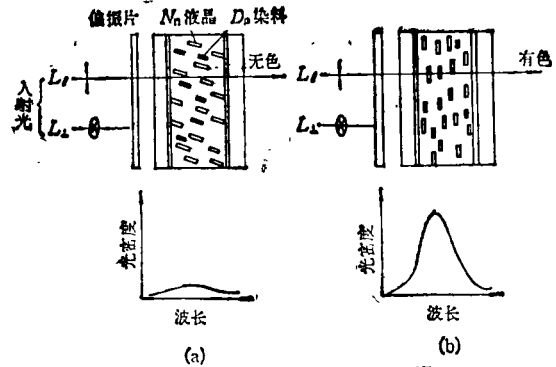


图 3 正型显示 GH 盒
(a) 闭态; (b) 开态

WT 相变宾主型显示是利用 D_p 型染料和 Ch_p 型液晶混合物的电场诱导胆甾一向列相变效应,见图 4。在这种方式中,初态分子排列呈

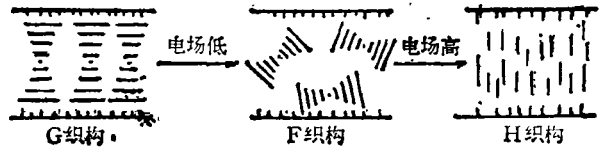


图 4 相变宾主型显示

G(Grandjean) 织构,染料分子平行于电极表面,螺旋轴垂直于电极表面。白色入射光在沿分子长轴方向总有些分量,从而表现出染料吸收所决定的彩色。加低电场时,呈现具有彩色的焦锥织构(F)。电场增大至某值,螺旋解体,形成垂面向列织构(H),染料分子垂直于电极表面,这时液晶盒呈现无色或微弱的残色,形成负型彩色显示。如果电场快速断开,就恢复到原先的 G 织构。因此,相变显示可以从 G 织构或 F 织构开始,其有关参数可用下式表示:

$$E_c P = \pi^2 (K_{22} / \epsilon_0 \epsilon_a)^{1/2}, \quad (7)$$

式中 E_c 是阈电场, P 是螺距, ϵ_a 是介电各向异性, ϵ_0 是真空电容率, K_{22} 是扭曲弹性常数。

上述方式如采用 Ch_n 型液晶为主体材料,也可得到相变宾主型正性显示。这种显示的工作电压较高,但亮度增大,视角更宽,适宜于反射式显示,具有一定的实用性。

双层宾主显示和 1/4 波片型显示^[6] 等都不需偏振片,它们丰富了液晶彩色显示的形式,促进了彩色显示的发展。这里不作详述。

在对 L 染料和 T 染料研究的基础上,瑞士的 M. Schadt^[7,8]提出了用 L 染料和 T 染料与液晶的混合系统来实现双色显示(表 1 中(E)),可以改善显示器的视觉特性。当偏振方向平行于液晶指向矢时,L 染料吸收,T 染料只是由于非理想排列而引起微弱吸收。当偏振方向垂直于指向矢时,T 染料吸收,L 染料只是微弱吸收。利用闭态和开态时两种染料吸收光谱的不同来实现彩色转换。这类宾主型显示具有对比度好,亮度与视角较 TN 型有改进,可用一片或不用偏振片,染料序参数对亮度和对比度影响较小,特别是可在电场下实现彩色转换等优点。

从实用角度考虑,液晶应具备下列性能:(1)液晶相温度范围宽;(2)介电各向异性的绝对值 $|\epsilon_a|$ 大;(3)粘度低;(4)光、电、热及化学稳定性好;(5)液晶本身不带色。

选择染料的准则是:(1)应为高纯度的非离子型分散染料;(2)克分子消光系数大;(3)二色性比大;(4)在液晶中的溶解度大;(5)要有良好的光化学和电化学稳定性。

2. 二色性液晶(PN 效应)显示^[9,10]

这是利用二色性液晶代替二色性染料的彩色显示。如采用 P 型二色性向列液晶,闭态时液晶分子呈沿面排列,分子长轴与偏振方向平行,这时光吸收最强。加电场后,液晶分子呈垂面排列,分子长轴与偏振方向垂直,这时光吸收最弱。液晶盒从有色变为无色。用 n 型液晶时,情况则相反。本方式也可用 Sm 或 Ch 的二色性液晶。这种方式具有不受染料溶解度和稳定性等制约的特点。但目前这类液晶只有黄色和红色,随着蓝、绿等色液晶的出现,这种方式将会更具有实用意义。

二、其它各类彩色显示

1. 电控双折射方式(ECB)^[11-14]

由于折射率的各向异性,液晶中 e 光和 o

光的传播速度不同,从而可以产生相位差。当入射光通过夹在两片正交偏振片之间的液晶盒后,o 光和 e 光发生干涉而得到彩色透射光。由于液晶分子的排列随电压而变化,故 Δn 也变化,因而透射光色彩也随之变化。根据液晶分子初始排列的不同可以分成垂面分子排列(DAP)、沿面分子排列和混合排列(HAN)三种形式。其中 HAN 型的工作电压很低,色分离容易,色鲜明度也高,但它的色彩却与温度及盒厚有关。

2. 扭曲向列方式^[15]

本方式是利用 90° 扭曲排列向列液晶盒旋转线偏振光的振动方向而起光开关作用,再利用彩色偏振薄膜、双折射性薄膜、彩色薄膜和胆甾薄膜等形式来得到彩色显示。

3. 胆甾方式^[16]

本方式是利用加电场于胆甾液晶使其螺距发生变化,随之选择性反射、圆二色散、旋光色散等光学性质也发生变化,从而引起色彩变化而构成彩色显示。可以分成旋光色散型、选择反射型和圆二色散型等多种形式的彩色显示。

三、彩色显示实用情况及展望

对于宾主效应,目前所用的 D_p 型二色性染料其二色性比已能做到 8 以上。但由于 N_a 型液晶性能欠佳,倾斜垂面排列工艺困难,目前主要还是负性显示。日本电器制造(株)研究开发部已制成了能显示多种彩色的液晶显示元件。并已有批量生产。日本松下电子部品(株)应用 GH 型组成的大型彩色显示器画面尺寸已达 320 × 430cm²,可用作运动场显示板、广告牌等。另外还有双层彩色显示液晶钟及各种电子游戏机等。至于汽车用仪表因要求宽视角更需采用 GH 方式。相变宾主效应因可制成反射式故更具有实用性。日本电气株式会社上野敏彦等应用该效应制成了正性显示的大型液晶钟,尺寸达 420 × 310 × 8cm³,具有蓝、绿等多种彩色,最大对比度达 5:1 到 10:1。最近日本日立公司报道制成多路驱动的多路驱动的相变宾主彩色显

示器。此外,在电控双折射方式中已将 HAN 形式用于天气情报、人口密度、工业形态等分色显示图。在扭曲方式中也利用彩色偏振片制成了 $290 \times 460\text{cm}^2$ 的大型彩色显示器。

为使彩色 LCD 性能完善,扩大应用范围,今后重点开发方向看来是:

1. 从宾主型负性显示到正性显示

由于具有大 $|\epsilon_a|$ 的 N_n 型液晶目前还不多,并且它的驱动电压高,粘度大,响应不快而且阈值陡度差,不适宜于时分割驱动,因此材料开发余地很大。日本 Chisso 公司 Inukai 等合成了一批负 ϵ_a 大的液晶,但室温性能不好而且光稳定性差。苏联 Titov 等从合成新型 D_n 染料着手来实现正性显示,但彩色对比度不理想,色彩不够鲜艳。因此为达到实用化对液晶和染料均有许多工作要做。

2. 从单色或双色到全色显示

为获得更为鲜艳清晰的图象,开展多色和全色显示的研究十分必要。T. Uchida 等^[17]提出了电极上涂有红、绿、蓝三基色条状层的全色矩阵显示,把液晶只作为一个光阀。对 TN 型采用平行偏振片,对 GH 型采用黑色混合液晶。在闭态时入射光被切断,加电压时光通过该片段表现出层的彩色。如红、绿、蓝三基色的透射光谱分别为 $T_R(\lambda)$, $T_G(\lambda)$ 和 $T_B(\lambda)$,则对扭曲盒的透射光谱为

$$T(\lambda) = \frac{1}{3} [T_R(\lambda) \cdot T(V_R) + T_G(\lambda) \cdot T(V_G) + T_B(\lambda) \cdot T(V_B)], \quad (8)$$

这里 V_R, V_G 和 V_B 分别指加在红、绿、蓝三显示元上的电压。将这一系统应用于矩阵液晶显示器 LCD 中可得全色图象显示。这种方法具有一系列优点,例如结构简单,斜方向观察无视差,可将高多路驱动水平的 TN 型应用于通常的矩阵显示以及可将 GH 型用于有源矩阵显示等。另外也有用金属氧化物薄膜^[18]经加工印刷后组成液晶多色条状显示。有关多色显示的工作目前也在大力开发之中。

3. 从彩色静态驱动到多路驱动矩阵显示的发展

GH 型的缺点是有限的多路驱动水平。现

借助硅薄膜晶体管已克服了这一缺点。Suwa Seikoshi^[19]已应用 GH 及双金属(Al-Si)层作介质制成手表电视及袖珍电视,具有足够的亮度及宽的视角。电视图象在日光下不消失。屏幕大小为 1.6 英寸,象素为 110×160 个。通过改进液晶材料和实现更亮的反射表面可进一步改善反差比及响应特性。最新的 GH-LCD 手表电视既具有时间、日历、闹时及停表等功能又能接收所有电视频道及调频立体声广播。屏幕大小仅 1.2 英寸,象素为 152×210 个。

预计在 1985 年后随着性能更好的液晶和染料的开发及新工艺的采用,彩色 LCD 应用于自动化仪表、汽车、工业设备以及个人消费品等方面还会更加迅速发展。在液晶电视方面将会有更多的性能/价格比高的产品投入市场。随着多路驱动及用 Si-TFT 有源矩阵驱动法的发展,不仅可进一步改善 TV 功能,而且可以在袖珍信息系统中得到应用。

参 考 文 献

- [1] T. Uchida, M. Wada, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **63**(1981), 19.
- [2] G. H. Heilmier, L. A. Zanoni, *Appl. Phys. Lett.*, **13**(1968), 91.
- [3] T. Uchida, M. Wada, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **54**(1979), 161.
- [4] D. L. White, G. N. Taylor, *J. Appl. Phys.*, **45**(1974), 4718.
- [5] T. Uchida, H. Seki, C. Shishido, M. Wada, *SID Symposium Digest*, (1980), 192.
- [6] H. S. Cole, R. A. Kashnow, *SID Symposium Digest*, (1977), 96.
- [7] M. Schadt, *J. Chem. Phys.*, **71**(1979), 2336.
- [8] M. Schadt, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **65**(1981), 241.
- [9] 松本, 河本, 河元, 和田, 第 22 回应用物理学连合讲演会, 4a-A-9(1975).
- [10] 松本, 河本, 河元, 和田, *電子材料*, **14-9** (1975), 6.
- [11] 内田龙男, 和田正信, *应用物理*, **49**(1980), 530.
- [12] S. Matsumoto, M. Kawamoto, K. Mizunoya, *J. Appl. Phys.*, **47**(1976), 3842.
- [13] 松本, 河元, 水野谷, *应用物理*, **45**(1976), 853.
- [14] 松本, 河元, 水野谷, *電子材料*, **16-11**(1977), 78.
- [15] 松本, *液晶エレクトロニクスの基礎と応用* (佐佐木編オーム社), (1979), 第 8 章.
- [16] T. Uchida, C. Shishido, M. Wada, *Mol. Cryst.*

(下转第 19 页)