

# 液晶奇异的光学性质讲座

## 第三讲 液晶的应用

王新久

(清华大学现代应用物理系)

### 一、多种多样的液晶显示

液晶虽然发现于 1888 年,但直到近十年来才家喻户晓。有人将液晶比喻为著名的格林童话中的“睡美人”,她沉睡了 80 年以后,直至 60 年代中,两个“王子”出现后才将她唤醒,一个是 J. L. 弗加森,他发现液晶可以用于温度指示器<sup>[1]</sup>,另一个王子是 G. H. 海尔米耶,他发现了液晶的动态散射效应<sup>[2]</sup>。这些重要发现开创了液晶显示(LCD)的新纪元,经过无数人的努力,迄今液晶显示的发展如火如荼,一发不可收拾,速度之快,前所未有。它已经广泛应用于电子手表、袖珍计算器、计时器、游戏机、仪表、汽车仪表盘、计算机监视器、电视和巨幅信息牌等,至 1986 年,年产量已经超过八亿五千万块,年增长率 30% 以上。如此发展,是因为有几个重要特点:驱动电压低,仅几伏即可;功耗极小,约几  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 。这些优点使它与在同一时间迅速发展的大规模集成电路、微型电池以及其它微型电子元件相匹配,从而如虎添翼。此外,它的平板型外观,不被阳光冲刷,易于实现彩色显示,无辐射外泄之虑等优点也颇受人们的青睐。目前,液晶手表、液晶计算机、液晶仪表几乎占了该类产品的绝大部分。特别值得一提的是液晶电视,它是 20 世纪 80 年代的人类杰出成就之一,它从根本上改变了传统电视的形象。小到 1.5 英寸的液晶手表电视,3—5 英寸的袖珍电视,大到 9—14 英寸的壁挂式液晶电视,以至 220 英寸( $3.2 \times 4.3\text{m}^2$ )甚至  $3 \times 12\text{m}^2$  的巨幅镶嵌型液晶电视已经纷纷问世,图象

清晰,色彩鲜艳,可与传统的 CRT 电视媲美,然而图象稳定、无闪烁感是后者望尘莫及的,人们站在液晶电视面前观看电视就象欣赏风景画一般,爽心悦目。

采用液晶显示监视器的计算机只有公文箱那么大小,使得等车、候机、甚至排队时都能够办公。

可供选择的液晶显示的方案很多,对于不同的用途可以采用不同的液晶电光效应,例如动态散射型、扭曲向列相型、宾-主型、相变型、存贮型、电控双折射型、超扭曲型、超双折射型、铁电型、有源矩阵型以及高分子液晶微滴型等。表 1 列出了部分液晶电光效应与相应的应用。

表 1 液晶显示应用

液晶电光效应	应用举例
扭曲向列相型	手表、计算器
彩色显示	游戏机
存贮型	车站、机场、商店信息板
超扭曲型	计算机监视器
铁电型	电视、光阀
有源矩阵型	电视
高分子液晶微滴型	窗帘

表 1 中前三类液晶电光效应在第一讲中已经介绍了,下面简略介绍后四种效应的工作原理。

液晶显示虽然具有很多优点,但是几个弱点却使它的进一步发展受到阻碍。它的响应速度较慢,上升时间约数十 ms,下降时间更慢一些;它用于矩阵显示时,多路寻址的行数受到液晶材料的限制,最多不过数十行,从而使显示信息容量不能进一步提高;要实现大幅显示,只能

采用镶嵌方式,但是成本太高。针对这三个弱点,在近几年分别发明了铁电型,超扭曲型和有源矩阵型,高分子液晶微滴型液晶显示。

### 1. 铁电型液晶显示

铁电性历来只在一些晶体中被发现。迈耶于1975年预言在某些近晶相中可能具有铁电性<sup>[3]</sup>,不久被实验所证实。手性(或称手征性)近晶C相就是其一。结构上,每一层皆与近晶C相一样,分子与层法线成一固定角度 $\theta$ ,但是其倾斜的方位角逐渐变化而形成螺旋结构。每一层的自发电偶极矩沿着其唯一的对称元—— $C_2$ 轴,见图1(a)和(b)。如果将它夹在厚度1—2 $\mu\text{m}$ 的玻璃盒内,上下表面皆作平行处理,则手性近晶C相的螺旋结构将被边界强迫解除,如图1(c)所示,这一排列为外加电压所

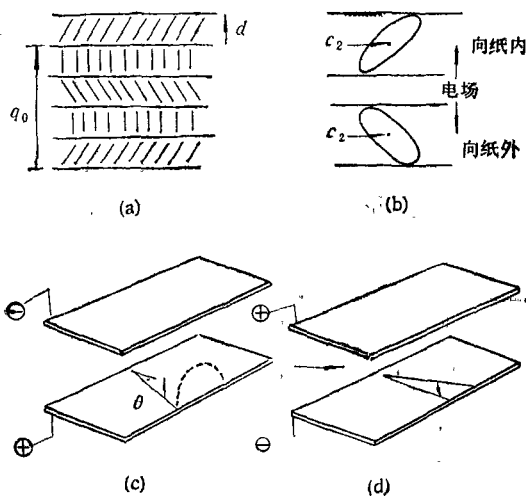


图1 手性近晶C相和铁电型液晶显示  
(a).结构; (b)自发偶极矩; (c)和(d)外加电压作用下的液晶分子的排列

稳定。如果改变外加电压的极性,手性近晶C相液晶分子将跳变到另一稳定状态,分子与原来方向成 $2\theta$ 角。如果上下液晶盒表面分别装上正交的线偏振片,则在外加电压的极性控制下可以改变液晶盒的透光状态。上述两种状态的开关时间可以表示为

$$\tau = \eta / P_s E,$$

这里 $\eta$ 是液晶的粘滞率, $P_s$ 是自发电极化强度,

$E$ 是外加电场。一般情况下, $\tau$ 可达到100 $\mu\text{s}$ 左右,甚至可能达到1 $\mu\text{s}$ ,因而大大提高了响应速度。作为比较,电视行频为64 $\mu\text{s}$ ,显然铁电性液晶显示可以满足这一要求。

### 2. 超扭曲型液晶显示

扭曲角度为 $90^\circ$ 的扭曲向列相型是迄今使用最广泛的液晶效应,其工作原理见第一讲,电光曲线如图2所示。扭曲向列相的缺点之一是多路寻址的行数较少。如果扭曲角度 $\varphi$ 增加,则实验发现,电光曲线在转折处陡峭起来了,当 $\varphi \approx 230^\circ$ 时,在转折处竖直起来; $\varphi$ 再增加,器件将具有双稳态特性。理论和实践皆表明,电光曲线在转折处越陡峭,或称阈值特性越高,则多路寻址的行数越多;如果竖直起来,则寻址行数无穷大。

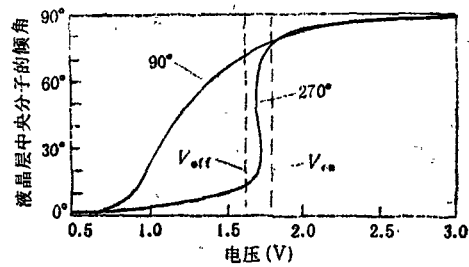


图2 扭曲角度与液晶盒电光曲线的关系

扭曲角度在 $180^\circ$ — $270^\circ$ 之间的扭曲向列相液晶器件称为超扭曲型<sup>[4]</sup>。根据扭曲角度的进一步差别、上下偏振片的偏振方向的不同以及表面处液晶分子的予倾角的差异,超扭曲型还可以细分为超扭曲(STN)、超双折射(SBE)、光学模干涉型(OMI)等效应,它们的光学性质略有不同。图3是这三种超扭曲型液晶器件与普通扭曲型(TN)器件的几何结构示意图。图中 $n_1$ 和 $n_2$ 是液晶分子在上下表面的取向, $P_1$ 和 $P_2$ 是上下偏振片的方向, $\varphi$ 是扭曲角, $\psi$ 是 $(P_1, P_2)$ 夹角, $\beta$ 是 $(n_1, P_1)$ 夹角, $\xi$ 是边界处的液晶分子预倾角, $\Delta nd$ 是无外场时液晶层的光程差。手提式计算机监视屏就采用的是这类超扭曲型液晶显示器,其行数在400以上,在A<sub>4</sub>号纸大小的面积上可以显示 $3 \times 10^5$ 以上像素。

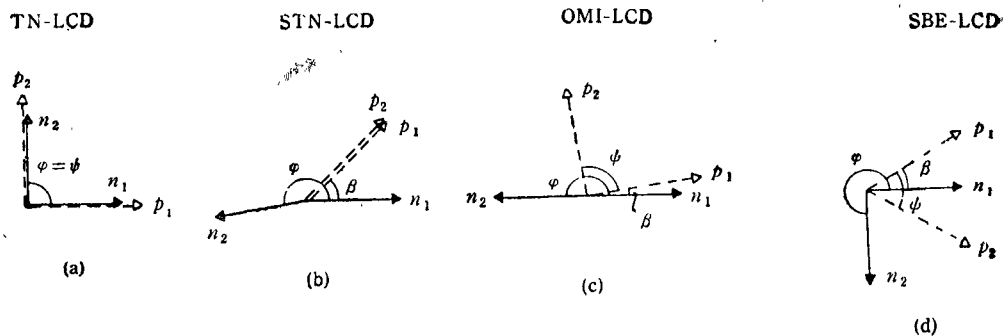


图3 三种超扭曲型液晶器件以及普通扭曲型器件的几何结构的比较

- (a)  $\varphi = \psi = 90^\circ, \beta = 0^\circ, \Delta nd = 0.5, 1.0, \xi = 0^\circ \dots 25^\circ$ ;
- (b)  $\varphi \sim 180^\circ, \psi \sim 0^\circ, \beta = 45^\circ, \Delta nd = 0.9, \xi \sim 0^\circ$ ;
- (c)  $\varphi \sim 180^\circ, \psi = 90^\circ, \beta \sim 0^\circ, \Delta nd \sim 0.5, \xi \sim 0^\circ$ ;
- (d)  $\varphi = 270^\circ, \psi = 60^\circ, \beta = 30^\circ, \Delta nd = 0.9, \xi = 25^\circ$ .

最近还发明了一种所谓“补偿型电控双折射效应”(CECB),其原理在于在一般的电控双折射液晶器件的基础上,再制备一层光学各向异性相反的透明层,它具有寻址行数高、视角广、对比度高、响应较快等特点,已经引起人们的很大兴趣。

### 3. 有源矩阵液晶显示

上面介绍的所有液晶显示都是直接驱动的,有源矩阵液晶显示是在众多的液晶像素上各串联一个非线性元件,从而大大提高了多路寻址的行数,可以显示复杂的高分辨率的图象,例如实时电视图象。这些非线性元件可以是非线性电阻(例如 ZnO)、二极管、金属-绝缘层-金属(例如钼-氧化钼-钼)夹层,或者是 MOS

器件、薄膜场效应晶体管阵列等。图4所示为非晶硅薄膜场效应晶体管驱动的有源矩阵液晶显示<sup>[5]</sup>。

采用有源矩阵液晶显示器的黑白和彩色电视已经进入商品市场,新的产品正在陆续问世。

如果在基片内部淀积彩色滤光薄膜,则可以显示彩色图象。目前,有源矩阵型是实现彩色液晶电视的主要方法。

### 4. 高分子液晶微滴型液晶显示

前面介绍的液晶显示都需要玻璃作衬底,要制成大面积的如此高平整度的玻璃基片绝非易事,所以只能采用镶嵌方式来实现大面积显示。高分子液晶微滴型则可以容易地实现大面积显示,甚至用作可调节窗帘。这种显示的最

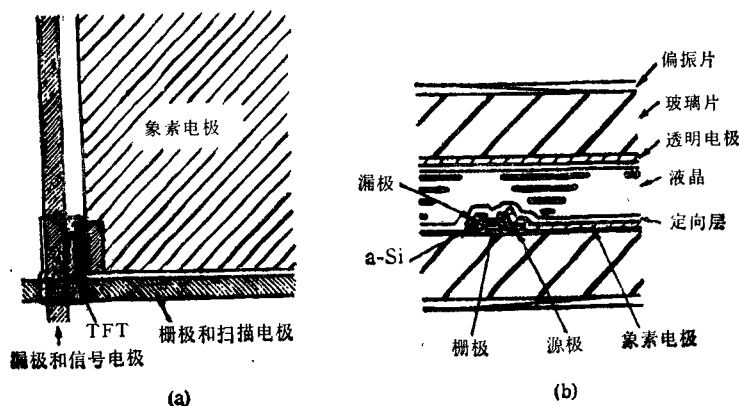


图4 a-Si 薄膜场效应晶体管有源矩阵液晶显示  
(a) 一个像素的俯视图; (b) 一个像素的剖视图

大优点是面积大，可以折叠。这种显示器的工作原理见图 5。它是在高分子薄膜内封装了大量直径在  $1-10 \mu\text{m}$  之间的向列相液晶微滴。不加电压时，呈无规的散射态，不透光；加电压后，该向列相微滴（介电各向异性  $\epsilon_e > 0$ ）将使其分子顺电场方向而透光<sup>[6]</sup>。

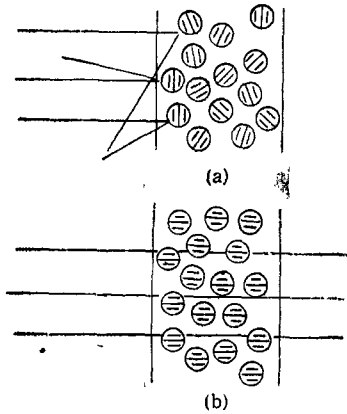


图 5 高分子液晶微滴型显示  
(a) 关态；(b) 开态

没有介绍的液晶显示方式还有不少，例如热-光寻址的近晶 A 相液晶显示等等，为了节省篇幅，这里不再一一枚举了。

## 二、液晶热象技术

唤醒“睡美人”的另一个王子弗加森发现的，就是液晶热象技术。胆甾相液晶（见第二讲）对温度、辐射场（红外、微波等）、声波、压力、化学气氛等都很敏感，这就是其热象技术的物理基础。

它的外观与上一节的高分子液晶微滴型显示有些类似，一般先将胆甾相液晶封在胶内（阿拉伯胶或明胶等），形成微胶囊，然后溶在一些高分子（例如 PVA）水溶液中形成“墨汁”，再把这“墨汁”印刷在一层透明衬底和一层黑色吸收层之间。胆甾相液晶实际上形成一个蜂巢状的小区。迄今，胆甾相材料已经发展到能够显示  $-30^{\circ}$ — $+110^{\circ}\text{C}$  的温度范围，色彩分离率可以从零点几度一直到  $5^{\circ}\text{C}$  以上，新的封装方式（所谓“压纹方法”）使光反射率从 0.1 提高到

0.3 左右<sup>[7]</sup>。

胆甾相液晶微胶囊薄膜的用途很广泛，主要包括（1）温度探测器（温度计、体温计温度警戒显示）；（2）医疗热谱图（乳腺癌探测、血管疾病诊断、生理分析、皮肤状态显示）；（3）无损探伤[裂缝如焊缝的探测、电子电路热点检测、散热状况分析（包括集成电路和功率管等的管芯分析）、空气动力学的热传输]；（4）辐射场测量（红外、微波）；（5）装饰品；（6）玩具。

以上热象直观、清晰、视场大，是其它技术所不及的。

## 三、光学信息处理

在光学信息处理中，为了使其具有实时处理的能力，通常采用一些可以实时输入的空间光调制器来代替输入透明片，其中液晶器件正好扮演这个角色。空间调制器将全息摄影、图象识别的信息转换成二维光透过率或反射率的空间分布，这是实现全息摄影系统实用化的关键部分。

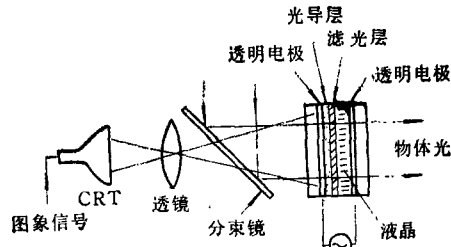


图 6 用作空间调制器的液晶光阀工作示意图

液晶空间调制器既可以制成组页器处理二进制信息<sup>[8]</sup>，其工作原理与矩阵液晶显示器完全一样；也可以实现非相干-相干光转换以处理图象信号。后者可以采用液晶光阀<sup>[9]</sup>，用图象光（来自 CRT，或某一照明图象）来寻址，从而调制了液晶光阀中的光导层的电阻，也改变了液晶层两端的电压，进而在液晶层上显示出同样的图象，见图 6。然后再用激光作为投影光入射到另一屏上，或者进行处理。还可以采用高分辨率的液晶矩阵来作为模拟型的空间调制  
(下转第 724 页)