

平板显示专题系列介绍

液晶显示

黄锡珉

(中国科学院长春物理研究所, 长春 130021)

本文简述了液晶显示的工作原理, 显示器的性能以及液晶矩阵显示. 文中最后指出了液晶显示向挂壁式高清晰度彩色电视和投影式大屏幕电视方向发展的趋势.

我们身边的数字电子表的数字显示、计算机的数字显示、打字机的文字显示等都是液晶显示. 液晶显示器简称 LCD (liquid crystal display device), 是把不可见的信号(电、热、力、磁等)转换成可见信号的器件. 这种信号转换是通过液晶分子排列变化来调制外界光的强度或相速度或传播方向而实现的. LCD 是被动式显示, 即显示体不发光. 因此, 在明亮环境下显示效果更好是 LCD 的特点. LCD 具有如下优点: (1) 驱动电压低 (小于 5V), 易与 CMOS 集成电路匹配; (2) 功耗小 (仅为几 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$), 干电池即可作为电源, 因而可用于便携式显示和野外显示; (3) 彩色化, LCD 优越于其他平板显示, 因为其他平板显示方案难以实现全色化; (4) 平板化, 重量轻, 体积小; (5) 显示器件结构简单, 成本低等. 人们利用液晶显示的优点和特点, 开发一系列 LCD 的产品, 例如电子手表、计算器、便携式计算机、电脑打字机、文字处理机、数字化仪表、便携式电视机、投影电视机及正在开发的挂壁式电视机等. 自 70 年代初在市场上出现 LCD 产品以来, LCD 产品销售量年平均增长率约 30%. 据预测, 到 90 年代后期, LCD 产值将超过 CRT (阴极射线管) 的产值. 到 2000 年, 全世界 LCD 的商业交易额将达到 130 亿美元, 成为电子工业的新支柱. LCD 打破了 CRT 长期一统天下的格局, 显示器件向平板化方向发展, LCD 将改变未来显示技术的面貌, 对未来信息显示技术的发展将产生深

远的影响.

本文着重介绍 LCD 的工作原理, 器件性能以及矩阵显示等, 最后指出 LCD 的发展方向.

一、LCD 的工作原理

LCD 的形状和结构与平板电容器类同, 但 LCD 是由两块透明导电玻璃板 (通称 ITO 玻璃) 之间夹着液晶而组成的. LCD 的特性主要取决于液晶材料. 液晶顾名思义就是液态晶体. 在一定温度范围内或在某种溶剂中, 有些有机化合物和一些高分子聚合物具有液体的流动性和晶体的各向异性. 自 1888 年 Reinitzer 发现液晶以来, 至今已有 100 多年的历史. 70 年代, 液晶开始应用于显示技术, 从而加速了液晶材料的发展. 目前已经合成了一万多种液晶材料, 其中大部分棒状结构液晶材料已在显示技术中得到应用. 因而, 显示用液晶分子不仅在几何结构上具有各向异性, 而且在光学和电学性能上也具有各向异性. 根据不同液晶材料的各向异性物理性能和在 LCD 中液晶分子排列方式不同, 得到一系列电光效应, 例如扭曲向列、超扭曲向列、电控双折射、宾主、相变、动态散射、铁电液晶等电光效应. 本节主要介绍扭曲和超扭曲向列电光效应的工作原理.

1. 扭曲向列液晶电光效应的工作原理

扭曲向列 (twisted nematic 缩写为 TN)

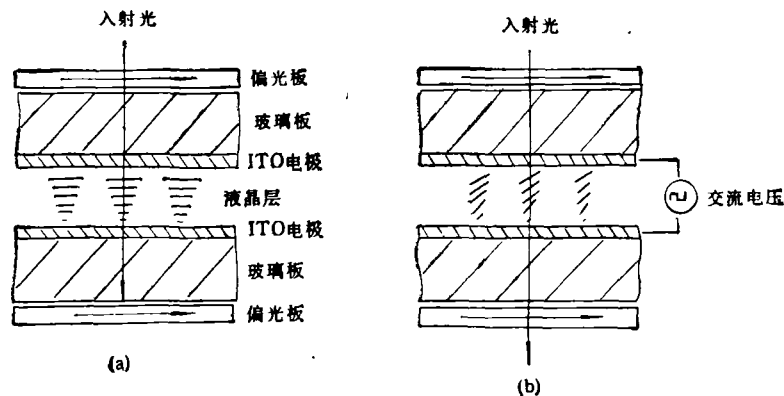


图1 TN屏结构和工作原理
(a) 未加电压 (b) 施加电压

屏是由带有 ITO 电极的两块玻璃基板之间夹着正介电各向异性的向列液晶组成的。图 1(a) 表示 TN 屏结构，液晶分子长轴平行于玻璃基板，在上下玻璃板间分子长轴连续扭曲排列成 90° ，在屏中液晶分子排列具有螺旋结构，其螺距为 P 。当 P 满足 Mauguin 极限条件时，

$$P \gg \lambda(n_e - n_o), \quad (1)$$

其中 λ 是光的波长， n_e 和 n_o 分别是非寻常光和寻常光的折射率。即 TN 屏的 P 满足(1)式时，通过 TN 屏的线偏振光不变。否则，线偏振光变成椭圆偏振光，降低显示对比度。

当施加电压时，如图 1(b) 所示，液晶分子的长轴取向于电场方向，液晶分子垂直于玻璃板。在上下玻璃板外侧均放置偏振膜，上下偏振膜分别称为起偏振膜和检偏振膜，并且它们的偏振轴相互平行。在图 1(a) 的情况下，当入射的自然光通过起偏振膜得到线偏振光，然后线偏振光经过液晶时，光偏振面随液晶分子的扭曲方向转动，到检偏振膜时，线偏振光的偏振面正好转动 90° ，光就不能通过检偏振膜，LCD 显示暗态。在图 1(b) 的情况下，因液晶分子沿电场方向排列，消去扭曲结构，线偏振光的偏振面没有转动，光可以通过检偏振膜，显示亮态。当起偏振膜和检偏振膜正交时，显示状态与上面反之。TN 屏利用上述原理，把外加电信号转化为可见的光信号。

2. 超扭曲向列液晶电光效应的工作原理

物理

超扭曲 (super-twisted nematic 缩写为 STN) 模式包括四种模式，它们是超扭曲双折射效应 (简称 SBE)，STN，光干涉效应 (简称 OMI) 和补偿膜超扭曲 (简称 RF-STN)。它们的屏结构和 TN 屏结构基本一致 (见图 2)，但扭曲角 ϕ 、光程差 $\Delta n \cdot d$ (其中 Δn 是液晶双折射率差， d 是液晶层厚度)、预倾斜角 θ_0 以及偏振膜的偏振轴的方位角 β, γ 等参数却与 TN 屏不同。表 1 列出不同模式的参数。由表 1 得知，SBE 和 STN 模式中液晶分子长轴取向与偏振膜的偏振轴之间成某角度。因此，入射偏振光分解成非常光和正常光，这两束光在液晶中传播速度不同，从而产生干涉，选取不同的 β 和 γ 值，可得到黄模式或蓝模式显示。这种干涉条件对液晶分子取向很敏感。因此，SBE 和 STN 的电光特性变化很陡，适合用于多路矩阵

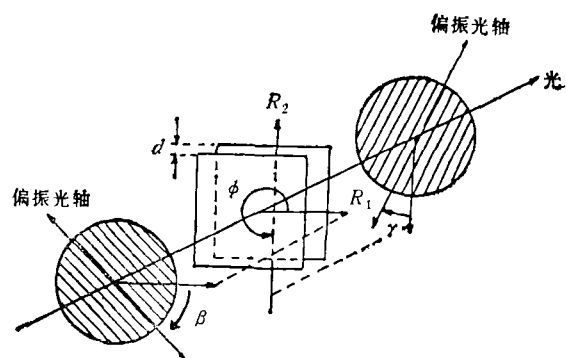


图2 STN屏的原理图
 R_1 和 R_2 分别代表取向层的摩擦方向

表1 各 STN 模式的主要参数

显示模式	ϕ	$\Delta n \cdot d$	θ_0	β, γ
SBE	270°	0.8 μm	~2.0°	黄模式 $\beta = 30^\circ, \gamma = 60^\circ$
				蓝模式 $\beta = 30^\circ, \gamma = -30^\circ$
STN	180°	0.9 μm	~1°	$\beta = 45^\circ, \gamma = 45^\circ$
OMI	180°	0.5 μm	~1°	$\beta = 0^\circ, \gamma = 90^\circ$

式显示。例如，打字机和文字处理机液晶显示器就是采用 SBE 或 STN 模式。OMI 模式的光程差 ($\Delta n \cdot d$) 比 SBE 和 STN 的小，选择最佳的 β, γ 值，可得到黑白显示。但 OMI 模式的电光特性比前者差。RF-STN 模式是指光程差补偿膜 (RF) 加 STN。RF 补偿膜可以消除在 STN 中干涉引起的颜色，得到黑白显示。起初采用在 STN 屏上加一层 STN 屏的方法进行补偿，称为 D-STN 模式。后来为降低成本，开发了 RF，得到黑白显示，进而可实现彩色显示。铁电液晶是有前途的显示模式，它的响应时间可以跟上视频信号，又有存贮特性。但必须解决铁电液晶分子均匀稳定排列和控制液晶层厚度的问题，才能得到应用。此外，还有宾主模式，热扫描显示模式等都已得到应用。由于篇幅有限，不再赘述。

二、LCD 的性能

1. TN-LCD 的电光特性

图 3 表示当两片偏振膜的偏振轴平行时 TN 屏的电光特性曲线，即电压与光透过率的关系。横坐标表示交流有效电压。外加电压达到某一定值之前，光透过率几乎无变化；当光透过率突然增加时，电压为阈值电压 V_{th} 。假定液晶分子与取向剂结合力很强，应用连续体理论计算 V_{th} ，得到

$$V_{th} = \pi \left\{ \left[K_{11} + \frac{1}{4}(K_{33} - 2K_{22}) \right] / \epsilon_0 \Delta \epsilon \right\}^{1/2}, \quad (2)$$

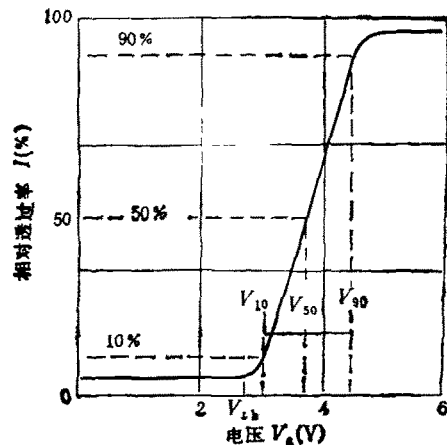


图3 TN-LCD 的电光特性

其中 K_{11}, K_{22}, K_{33} 分别表示张开、扭曲、弯曲弹性常数， $\Delta \epsilon = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp}$ (ϵ_{\parallel} 和 ϵ_{\perp} 分别表示与液晶分子长轴平行和垂直的介电常数)， ϵ_0 表示真空介电常数。 V_{th} 值为 2—3V。由(2)式可知，要降低 V_{th} 值，需要选用 $\Delta \epsilon$ 大的液晶材料。弹性常数和介电常数与温度有关，随着温度降低， V_{th} 增加，设计驱动电路时，应考虑温度因素。

2. 对比度

外加电压时通过屏的光透过率与未加电压时光透过率的比值为对比度。为提高对比度，需要尽量降低未加电压时光透过强度。用 4×4 矩阵法计算图 1(a) 屏的光透过强度 I 为

$$I = \sin^2[\pi(1 + u^2)^{1/2}/2] / (1 + u^2), \quad (3)$$

其中 $u = 2d \cdot \Delta n / \lambda$ ，当 $u = \sqrt{3}, \sqrt{15}, \sqrt{35}, \dots$ 时， $I = 0$ 。设计 TN 屏时，考虑视角和响应速度等因素的影响，按(3)式选取 $u = \sqrt{3}$ 。当 $\lambda = 0.55 \mu\text{m}$ ， $\Delta n = 0.068$ 时，通过计算得到 $d = 7 \mu\text{m}$ 。根据液晶材料 Δn 值，控制液晶屏厚度 d ，即可得到最佳对比度。

3. 电光特性曲线的陡度因子 S

在图 3 中光透过率为 90% 和 50% 相对应的电压分别为 V_{90} 和 V_{50} ，其相对差值为陡度因子 S 。

$$S = (V_{90} - V_{50}) / V_{90}, \quad (4)$$

Schadt 等人^[1]得到的 S 的理论公式为

$$S = 0.1330 + 0.0266[(K_{33}/K_{11}) - 1]$$

$$+ 0.0443 [\ln(\Delta n \cdot d/2\lambda)]^2, \quad (5)$$

在(5)式中,当 $\Delta n \cdot d/2\lambda = 1$ 时, S 值最小,电光特性曲线最陡。在矩阵显示中, S 值愈小,多路扫描线数愈多,显示屏信息容量就越大。 K_{33}/K_{11} 值愈小愈好。 S 值在矩阵显示中是非常重要的参数。

4. 响应时间

在液晶屏上施加或断开脉冲电信号时,光透过率变化所需要时间为响应时间,其时间分为上升时间和下降时间。上升时间 τ_r 为从施加脉冲开始到光透过率达到 90% 所需的时间。下降时间 τ_d 为从断开电信号到光透过率降到 10% 所需的时间。按连续体理论, Jakeman 等人^[4]得到

$$\tau_r = \eta_1 d^2 / [\epsilon_0 \Delta \epsilon (V_e - V_{th})^2], \quad (6)$$

$$\tau_d = \eta_1 d^2 / K\pi^2, \quad (7)$$

其中 V_e 是有效电压, η_1 是粘度系数, $K = K_{11} + (K_{33} - 2K_{22})/4$ 。(6)和(7)式表明,上升时间与电场强度平方成反比,下降时间与厚度平方成比例。这与实验结果相符合。为提高响应速度, η_1 值要小, $\Delta \epsilon$ 值要大, d 值则要小。TN 响应时间为 10—200ms 范围。

5. STN-LCD 电光特性

在矩阵显示中,若要增加扫描线数,就要增加特性曲线的陡度。图 4 表示在屏中液晶分子不同扭曲时,液晶分子倾斜角与电压的关系,该曲线形状与电光特性曲线一致,因此可以看作是 STN-LCD 的电光特性曲线。由图 4 可以看出,当扭曲角在 90—270° 之间时,随扭曲角增加,曲线陡度增加。这说明 STN 的陡度比

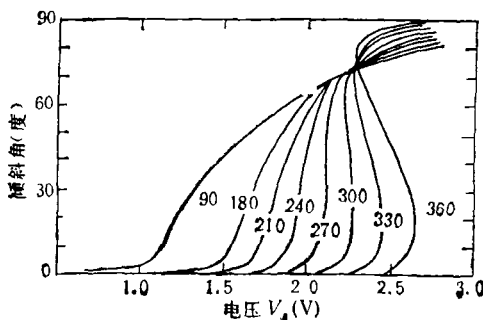


图 4 液晶分子倾斜角与电压关系

TN 的大。STN 的这个特性,已应用于文字处理机和小型计算机终端显示器中。当扭曲角大于 300° 时,特性曲线呈 S 字形。图 4 曲线不仅与扭曲角有关,还与弹性常数比 (K_{33}/K_{11} , K_{33}/K_{22}),介电常数各向异性比 ($\Delta \epsilon/\epsilon_{\perp}$),厚度与螺距比 (d/P) 以及倾斜角 θ_0 等有关。 K_{33}/K_{11} , K_{33}/K_{22} 值越大, $\Delta \epsilon/\epsilon_{\perp}$, d/P 值越小,曲线更陡,甚至扭曲角不到 300°, 曲线变成 S 字形。因此,设计 LCD 时,必须全面考虑上述各参数,才能得到最佳的显示效果。

三、液晶矩阵显示

多路大信息量的平板显示都采用点阵式矩阵显示方案。矩阵显示屏的 x 方向的条状 ITO 电极与 y 方向的条状电极相互交叉重叠得到点阵式显示象元。矩阵显示特点如下: (1) 当 x 和 y 电极数分别为 n 时,以 $2n$ 个电极控制 n^2 个象元; (2) 适合于多路写入信息; (3) 矩阵式寻址法比电子束扫描法寻址准确可靠; (4) 容易实现高分辨率显示等。但在矩阵屏中,由于象元之间通过条状电极连结一起,容易出现交叉效应,影响显示对比度,限制扫描线数。为了克服交叉效应,采用两类措施: 其一,用陡度因子小的电光效应,再加上改进驱动方式; 其二,采用每象元与非线性元件相连结的方法。前者称为无源矩阵显示 (又称简单矩阵显示), 后者称为有源矩阵显示。

在无源矩阵显示中为克服交叉效应,采用

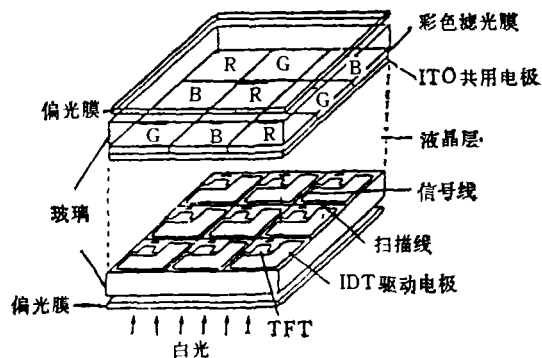


图 5 有源矩阵彩色液晶显示器的结构

稀土永磁开发的最新进展

——第 11 届国际稀土永磁及其应用会议评述

罗 阳

(中国科学院三环公司,北京 100080)

本文介绍了第 11 届国际稀土永磁及其应用会议上有关稀土永磁开发方面的最新进展,其中包括磁体制作工艺、涂层与腐蚀、稀土资源、磁体的应用开发、新一代磁体——Sm-Fe-N 等方面的进展。

第 11 届国际稀土永磁及其应用会议于 1990 年 10 月 21—25 日在美国匹兹堡市举行 (Pittsburgh), 来自世界 18 个国家和地区的 210 余名与会者, 其中美国人占 55%。中国人占总数的 11% (多数为留美学者), 居第三位。论文总数共 109 篇, 中国提供的论文 18 篇, 来自台湾的有 4 篇。中国留学人员为主要作者而署名的有 20 篇。换言之, 中国人的论文占总数的 21%, 若算上中国人参与的, 则占论文总数的 40%。总之, 与会中国人的数目和提供论文的篇数均在某种程度上反映出中国在稀土领域的特殊地位。

论文分口头报告和张贴两类。口头报告以特邀报告为主, 报告人都是某方面的知名学者

1/2 偏压法、1/3 偏压法、最佳偏压法及六级电压法等驱动方式; 为增加信息量, 采用了分割矩阵法、多重矩阵法、线反转驱动法和双频率驱动法。从而改善了无源矩阵显示性能, 已应用到文字处理机, 电子打字机, 翻译机等显示。由于液晶响应时间为毫秒量级, 无源矩阵显示不能满足更大信息量显示的需要。有源矩阵显示方案不仅克服了交叉效应, 而且大大缩短了信息写入时间。因此可应用到计算机终端显示、液晶彩色电视中。图 5 表示有源矩阵彩色液晶显示器的结构。图中下侧玻璃板上把扫描电极线和信号电极线布置成矩阵式阵列, 在每点阵上安排 TFT(薄膜晶体管)和象元 ITO 电极; 在上侧玻璃板上安排红、绿、蓝滤色膜和 ITO 共

或权威, 因此高潮叠起, 内容丰富精采。与会者都是同一领域工作多年的同行, 共同的兴趣与话题使会上、会下的交流频繁而热烈, 气氛极为活跃、亲切。

一、磁体生产工艺的进展

通用汽车公司磁体分部开发的快淬 NdFeB 材料, 其商品生产发展迅速。各向同性粘结磁体 MQ1 (5—10MGOe) 近一年来销售量增加 200%。而热压的 MQ2 (13—15MGOe) 和各向异性热形变磁体 MQ3 (>24MGOe) 均已

有商品供应。MQ3 主要用于音圈电机 (VCM) 和高级音响设备。MQ2 主要用作微电机和传

用电极。在 ITO 电极上有取向膜, 在上下玻璃板之间夹着液晶, 最外层有偏振膜。在 LCD 背面有白色光源。

目前, LCD 正在向大面积和高分辨率方向发展。在不久的将来, 市场上将会出现屏幕对角线大于 1m 的挂壁式高清晰度彩色液晶电视和屏幕对角线大于 2.5m 的投影高清晰度彩色电视。液晶显示已走进人们生活, 它将改变未来信息社会的生活面貌, 对未来社会将产生深远的影响。

- [1] M. Schadt and P. R. Gerber, *Proc. SID Inf. Display*, 23(1982), 29.
- [2] E. Jakeman and E. P. Raynes, *Phys. Lett. A*, 39(1972), 69.