

文章编号: 1001-2486(2003)01-0099-04

# 薄膜晶体管液晶显示器对空间光调制模式与偏振器方向的关系\*

陈前荣, 周金鹏

(国防科技大学理学院, 湖南长沙 410073)

**摘要:** 薄膜晶体管液晶显示器 TFT-LCD (Thin Film Transistor Liquid Crystal Device) 是信息光学研究中一种非常重要的电寻址空间光调制器 SLM (Spatial Light Modulator)。实验中通过调整 TFT-LCD 的起偏器或检偏器的方向, 可以分别得到正像、边缘暗突出像、负像等, 并结合具有双折射特性的线性扭曲液晶介质对线偏振光的调制理论, 对此给出解释。

**关键词:** LCD; 空间光调制器; 光学信息处理

**中图分类号:** O438; TB877 **文献标识码:** A

## The Relation between the SLM Mode by TFT-LCD and the Directions of Polarizer/ Analyzer

CHEN Qian-rong, ZHOU Jin-peng

(College of Science, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** TFT-LCD is a very important spatial light modulator in the optical information processing. The positive optical image, the edge weakened optical image and the negative optical image are obtained by changing the direction of the polarizer or analyzer when the spatial light is modulated by TFT-LCD with the digital images inputed. It is explained in accordance with the theory of the linear-twisted liquid crystal device as an spatial optical complex amplitude modulator.

**Key words:** LCD; spatial light modulator; optical information processing

TFT-LCD (信息光学中又称 LCTV) 作为空间光调制器, 具有光学调制特性好、空间分辨率高、功耗低、体积小等优点, 在信息光学研究中是非常重要的系统输入器件 (常称为 I-SLM)。由于采用电寻址, 只需要一个光源读出图像, 与光寻址的液晶光阀 (LCLV)<sup>[1-3]</sup> 相比, 应用时要少一个光源, 因此, 在一些集成的光信息处理系统中, 适当使用 TFT-LCD 可减少光学器件, 使结构更紧凑。

液晶光阀除了具有振幅调制模式、位相调制模式外, 还有微分工作模式。例如, 康辉等就通过改变液晶光阀的偏移电压来实现对输入图像的微分<sup>[3]</sup>。而所购的 TFT-LCD, 其集成度很高, 驱动电路部分无法改动, 要获得实验所需要的各种空间光调制模式, 只能依靠调整起偏器/检偏器的偏振方向来获得。实验证明, 这是可行的。

## 1 实验现象

将一副迷彩坦克数字图像通过计算机送入到 TFT-LCD 中, 调整起偏器起偏方向或检偏器检偏方向 (如图 1), 可以在检偏器后面分别得到该坦克的正像 (图 2 中 a)、边缘暗突出像 (图 2 中 b)、负像 (图 2 中 c)、边缘增强像 (信息光学中常称之为微分像<sup>[3]</sup>)、相位调制模式 (对比度消失, 只能观察到一副灰度均匀的白板图像)。通过透镜组及 CCD, 将 TFT-LCD 空间调制的图像采集下来, 如图 2 所示。

## 2 理论分析

TFT-LCD 中所用的液晶分子通常为刚性长棒状<sup>[4]</sup>, 如向列相液晶、近晶相液晶等, 无外场作用

\* 收稿日期: 2002-08-28

基金项目: 国家 863 高技术项目资助

作者简介: 陈前荣 (1972-), 男, 博士生。

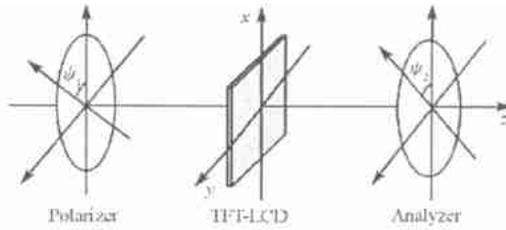


图 1 起偏器和检偏器的方向

Fig. 1 The directions of the polarizer and the analyzer

时, 其分子取向一致, 分子长轴相互平行, 因此, 液晶具有双折射性, 分子长轴即为其光轴。液晶的弹性常数很小, 液晶分子具有流动性, 其分子排列容易受电场、磁场、应力、热能等外部影响而发生改变。在玻璃基片上生长电极时是经过定向处理的, 通常使两玻璃基片定向方向正交, 如图 3; 由于应力的作用, 夹在两玻璃基片间的液晶分子长轴逐渐旋转, 如图 4, 其总的扭曲角也刚好等于  $\pi/2$ , 液晶扭曲将导致输入的偏振光的偏振方向发生旋转。没加电场时, 分子长轴保持与玻璃基片 ( $XOY$  平面) 平行; 当在  $Z$  方向上加上电场时, 且调制电压超过门槛电压  $V_c$  时, 液晶分子在电场的作用下发生倾斜, 液晶分子的指向矢即光轴与两定向玻璃表面夹一  $\theta$  角, 此时, 光垂直于定向玻璃表面入射, 非常光轴即  $e$  轴及寻常光轴即  $o$  轴与两定向玻璃表面平行, 但  $n_e(\theta)$  小于  $n_e$ , 大于  $n_o$  (正双折射液晶), 且有<sup>[5,6]</sup>

$$\frac{1}{n_e^2(\theta)} = \frac{\cos^2 \theta}{n_e^2} + \frac{\sin^2 \theta}{n_o^2} \quad (1)$$

TFT-LCD 正是通过调制电压, 使各像元液晶得到相应的  $\theta$  角, 从而使输入的线偏振光发生对应的双折射, 经过检偏, 实现对空间光的振幅或相位调制。

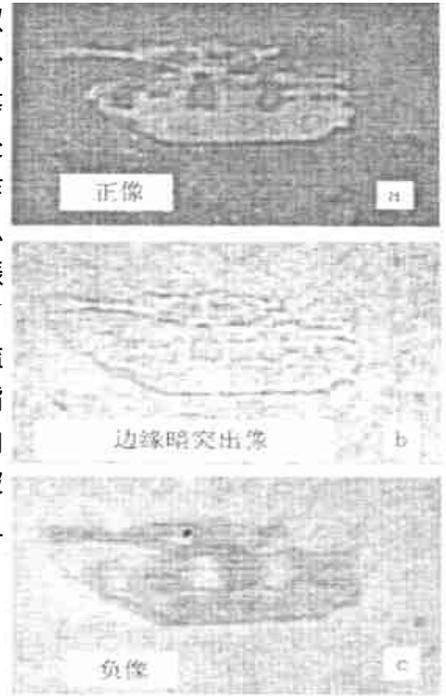


图 2 被 TFT-LCD 空间调制的图像

Fig. 2 Images modulated by TFT-LCD

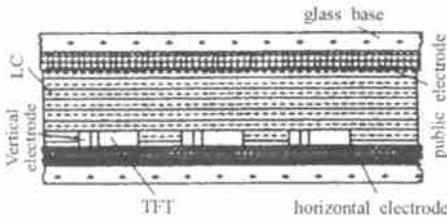


图 3 TFT-LCD 结构

Fig. 3 Structure of TFT-LCD

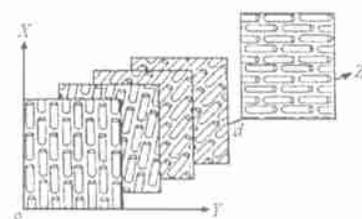


图 4 液晶分子扭曲

Fig. 4 Twist of the LC molecules

对于数字图像某一像素来说, 其灰度值与 TFT-LCD 对应的像元的调制电压成线性关系, 而调制电压与  $\theta$  角关系为<sup>[6]</sup>:

$$\theta = \begin{cases} 0 & , V_{rms} \leq V_c \\ \frac{\pi}{2} - 2 \arctan \left\{ \exp \left[ - \left( \frac{V_{rms} - V_c}{V_o} \right) \right] \right\} & , V_{rms} > V_c \end{cases} \quad (2)$$

其中  $V_c$  为调制电压  $V_{rms}$  的门槛电压,  $V_o$  为调制电压的额定电压。记

$$\beta = \pi(n_e(\theta) - n_o) d / \lambda \quad (3)$$

由(1)~(3)式可得  $\beta$  近似地随调制电压  $V_{rms}$  线性变化, 如图 5, 实际应用中也只常用曲线比较直的

那段,因此在以  $\beta$  为自变量的振幅调制及相位调制公式中,可用表征数字图像不同像素的灰度变化(由于图 5 中是下降曲线,故较大的灰度值对应较小的  $\beta$  值)。

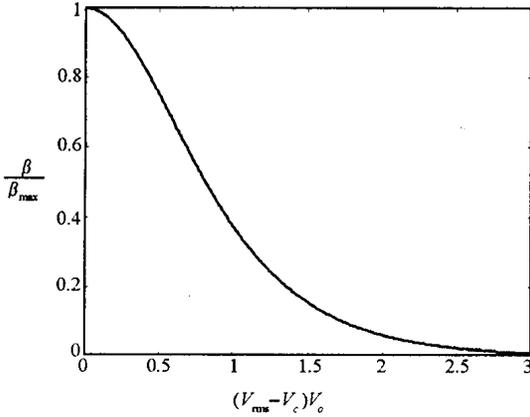


图 5 当  $n_e = 1.7$ ,  $n_o = 1.5$  时,归一化参数  $\beta/\beta_{\max}$  与归一化电压  $(V_{rms} - V_c)/V_0$  的关系曲线

Fig. 5 Dependence of normalized parameter  $\beta/\beta_{\max}$  on normalized applied voltage  $(V_{rms} - V_c)/V_0$  where  $n_e = 1.7$ ,  $n_o = 1.5$

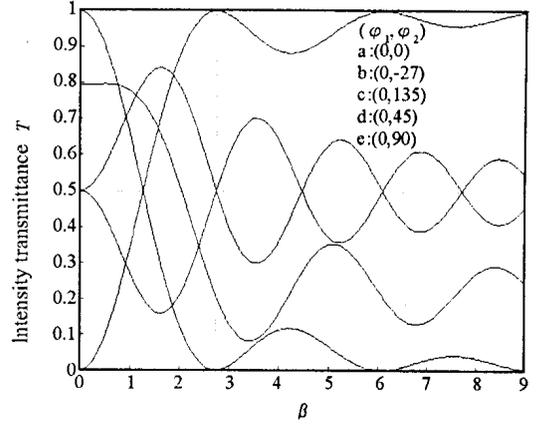


图 6 当  $\phi_1, \phi_2$  变化时,光强度透过率随参数  $\beta$  的变化有不同的曲线形式

Fig. 6 Different dependences of intensity transmittance  $T$  on  $\beta$  when  $\phi_1$  or  $\phi_2$  is changed

建立如图 4 所示坐标系,平行线偏振光垂直于 TFT-LCD 平面沿  $Z$  方向传播,经 TFT-LCD 空间调制及检偏器检偏后,各个像素的光强透过率  $T$  与  $\beta$  值的关系<sup>[6,7]</sup>为:

$$T = \left\{ \cos X \cos[\alpha + (\phi_1 - \phi_2)] + \frac{\alpha}{X} \sin X \sin[\alpha + (\phi_1 - \phi_2)] \right\}^2 + \left\{ \frac{\beta}{X} \sin X \cos[\alpha + 2\phi_d - (\phi_1 + \phi_2)] \right\}^2 \quad (4)$$

相移  $\delta$  与  $\beta$  值的关系为:

$$\delta = 2\pi n_o d / \lambda + \beta + \arctan \left[ \frac{\frac{\beta}{X} \sin X \cos[\alpha + 2\phi_d - (\phi_1 + \phi_2)]}{\cos X \cos[\alpha + (\phi_1 - \phi_2)] + \frac{\alpha}{X} \sin X \sin[\alpha + (\phi_1 - \phi_2)]} \right] \quad (5)$$

这里:

$$X = [\alpha^2 + \beta^2]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

$\alpha$  为液晶总的扭曲角,  $\alpha = \pi/2$ ;

$\phi_d$  为前液晶层非常光轴( $e$  轴,未加调制电压时为该层液晶分子长轴方向)与  $X$  轴夹角,  $\phi_d = 0$ ;

$\phi_1$  为起偏器偏振方向与  $X$  轴夹角;

$\phi_2$  为检偏器偏振方向与  $X$  轴夹角。

调整起偏器的偏振方向,使  $\phi_1 = 0$ ;再调整检偏器的偏振方向。

①当  $\phi_2 = 0$  时,系统处于对空间光正的振幅调制模式,其光强透过率  $T$  与  $\beta$  值的关系曲线如图 6 中 a,  $\beta$  取值范围小于  $0 \sim 2.72$ , 对应曲线图 6 中 a 比较直的那段下降曲线,因此可以在检偏器后面得到所送入数字图像的正像(如图 2 中 a),实验中所用 TFT-LCD 正是为该工作模式而设计的,由相位调制公式(5)可以算出,此时不同  $\beta$  值对应的相移差别近似为零,因此,该段下降曲线对应 TFT-LCD 最为理想的振幅调制工作模式,得到的调制图像也最为理想。

②当  $\phi_2 = 90^\circ$  时,其光强透过率  $T$  与  $\beta$  值的关系曲线如图 6 中 e, 对应  $\beta$  值在  $0 \sim 2.72$  间比较直的那段,其斜率为正,因此可以在检偏器后面分别得到所送入数字图像的正像(如图 2 中 c)。

③当  $\phi_2 = 45^\circ$  时,其光强透过率  $T$  与  $\beta$  值的关系曲线如图 6 中 d, 对应  $\beta$  值在  $0 \sim 2.72$  间那段下凹曲线,中间灰阶值对应的透过率很低,由于这一钟型曲线的非线性变化,在检偏器后面可以得到所送入数字图像的边缘暗突出像(如图 2 中 b)。另外,造成边缘暗突出像还有一个因素,即由于作用于一个像素的调制电场会对相邻像素的液晶有一定调制作用(像素间调制电场不可能相互绝对隔离),因此,即使

送入的图像是二值图像,也可以观察到非常明显的边缘暗突出像,这一特点可用于观察 TFT-LCD 像素间调制电场相互隔离的效果,隔离效果越好,则边缘暗突出现象越不明显。

④当  $\phi_2 = 135^\circ$  时,其光强透过率  $T$  与  $\beta$  值的关系曲线如图 6 中 c,情况刚好与  $\phi_2 = 45^\circ$  时相反,得到边缘增强像。

⑤当  $\phi_2 = -27^\circ$  时,其光强透过率  $T$  与  $\beta$  值的关系曲线如图 6 中 b,对应  $\beta$  值在 0~ 1.5 间那段比较平,此时送入灰阶比较高的图像,在检偏器后看到的是几乎没有对比度的图像,即白板,此时可以认为系统处于近似的位相调制状态。但是,由于实验中所用的 TFT-LCD 是为振幅调制模式设计的,其液晶层厚度  $d$  一般比较小,由公式(3)及(5)可知,相移是比较小的。通常,设计用于位相调制的 TFT-LCD 或 LCLV,其液晶层厚度  $d$  一般比较大,对应的  $\beta$  值也比较大,光强透过率  $T$  与  $\beta$  值的关系曲线为图 6 中 e,并只利用  $T$  值接近于 1 并起伏很小的那一段,此时  $\beta$  值一般大于  $\pi$  或  $2\pi$ ,如图 6 中 e 所示,这时,相移  $\delta$  随  $\beta$  成线性变化。

### 3 结论

调整起偏器或检偏器的方向,可以使 TFT-LCD 空间光调制系统工作在不同的调制模式,并可分别得到正像、边缘暗突出像、负像等。

### 参考文献:

- [1] Grinberg J, et al. A New Real-time Noncoherent to Coherent Light Image Converter, the Hybrid Field Effect Liquid Crystal Valve[J]. Opt. Eng., 14(1975), 217- 225.
- [2] Bleha W P, et al. Application of the Liquid Crystal Light Valve to Real-time Optical Data Processing[J]. Opt. Eng., 17(1978), 371- 384.
- [3] 康辉, 苏衡, 扬方正, 战元龄. 利用液晶光阀实现实时图像微分[J]. 中国激光, 1994, A21(8).
- [4] 李维诤, 郭强. 液晶显示器件应用技术[M]. 北京: 北京邮电学院出版社, 1993.
- [5] 申铨国, 张铁强. 光电子学[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1993.
- [6] Lu K H, Bahaa E A Saleh. Theory and Design of the Liquid Crystal TV as an Optical Spatial Phase Modulator[J]. Optical Engineering, 1990, 29(3).
- [7] Roberge D, Neto L G, Sheng Y L. Full Complex Modulation Spatial Light Modulator Using Two Coupled-mode Modulation Liquid Crystal Televisions[R]. SPIE Vol. 2490, (0- 8194- 1843- 9/95): 407- 415.