

文章编号: 1007-2780(2011)03-0311-04

混合扭曲向列相模式的液晶盒参数 对硅基液晶显示器的影响

姜 丽¹, 范 伟¹, 代永平^{1,2}, 张志东³

(1. 深圳市力伟数码技术有限公司, 广东 深圳 518040, E-mail: jiangli@hebut.edu.cn;

2. 南开大学 光电子薄膜器件与技术研究所, 天津 300071; 3. 河北工业大学 理学院, 天津 300401)

摘 要: 90°混合扭曲向列相液晶(MTN)模式因其良好的关态色散特性、低驱动电压而被应用于小型或者微型硅基液晶显示器(LCOS)。针对 MTN 模式, 模拟研究了液晶弹性常数、介电各向异性、预倾角以及盒厚变化对显示效果的影响, 研究结果为硅基液晶显示器的开发提供了一定的理论依据。

关 键 词: 硅基液晶显示; 混合扭曲向列相; 模拟

中图分类号: TN141.9

文献标识码: A

DOI: 10.3788/YJYXS20112603.0311

Influence of MTN-LCD Parameters to Liquid Crystal on Silicon Display Device

JIANG Li¹, FAN Wei¹, DAI Yong-ping^{1,2}, ZHANG Zhi-dong³

(1. Shenzhen Live Digital Technology Co., Ltd., Shenzhen 518040, China, E-mail: jiangli@hebut.edu.cn;

2. Institute of Photo-Electronics Thin Film Devices and Technology, Nankai University, Tianjin 300071, China;

3. Department of Applied Physics, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China)

Abstract: Mixed mode twisted nematic(MTN) characterized by excellent color dispersion effect and low driving voltage is used in liquid crystal on silicon(LCOS). Based on MTN mode, the influence of LCD parameters on LCOS display were simulated in this paper, such as the elastic constants, dielectric constant, pretilt angle and cell gap, *et al.* The simulation results can provide scientific basis for the research of LCOS.

Key words: LCOS; MTN; simulation

1 引 言

在 20 世纪 80 年代初,有人提出了一种新的反射型光阀结构,即将液晶显示(LCD)直接制作在晶体硅片上,称之为小型或微型硅基液晶显示器(LCOS)^[1]。LCOS 结合了薄膜晶体管液晶显示(TFT-LCD)的优点和 CMOS 大规模集成电路成熟的设计和生产工艺,具有分辨率高、尺寸小、重量轻和功耗低等明显的优势。因其紧凑结构便

于携带的特点,LCOS 现已应用于前投影机 and 数码相机、摄像机取景框,并迅速进入近目和高清背投电视的应用。

反射型液晶显示模式具有节能省电的优点,是彩色液晶显示领域一个重要的研究课题^[2-5]。90° MTN 模式因其驱动电压低、色偏小和响应速度快的优点而得到广泛应用^[3-5]。

液晶材料的参数和液晶盒的取向以及盒厚等对液晶器件的性能有决定性的影响。本文针对

收稿日期: 2010-10-18; 修订日期: 2010-11-08

基金项目: 国家“863”计划资助项目(No. 2009AA01Z326)

作者简介: 姜丽(1979—),女,河北霸州人,硕士,主要从事液晶器件物理方面的研究。

LCOS 的 MTN 液晶盒构建了一个简单的模型,模拟研究了液晶材料参数、盒厚和预倾角对电压以及对对比度的影响。

2 理论基础

液晶盒中分子在关态下成 90° 扭曲排列,设基板法线方向为 z 轴,下基板为 0,上基板为 d ,基板平面 xy 微观无限大,指向矢 \mathbf{n} 与 xy 平面的夹角为 θ ,在 xy 平面上的投影与 x 轴的夹角为 ϕ 。 θ 和 ϕ 均为坐标 z 的函数。根据液晶的连续体理论,液晶层内指向矢动力学表达式为^[6]:

$$-\frac{1}{2} \frac{d}{dz} [k_{33} \sin^2 \theta + k_{11} \cos^2 \theta] \left(\frac{d\theta}{dz} \right)^2 + \frac{1}{2} \frac{d}{dz} [(k_{33} \sin^2 \theta + k_{22} \cos^2 \theta) \cos^2 \theta] \left(\frac{d\phi}{dz} \right)^2 +$$

$$\frac{4\pi}{p} k_{22} \sin \theta \cos \theta \frac{d\phi}{dz} - [k_{33} \sin^2 \theta + k_{11} \cos^2 \theta] \frac{d^2 \theta}{dz^2} - \left(\frac{dU}{dz} \right)^2 \epsilon_0 \Delta \epsilon \sin \theta \cos \theta = 0 \quad (1)$$

$$\frac{d}{dz} [(k_{33} \sin^2 \theta + k_{22} \cos^2 \theta) \cos^2 \theta \frac{d\phi}{dz} - \frac{2\pi}{p} k_{22} \cos^2 \theta] = 0 \quad (2)$$

$$\frac{d}{dz} [-\epsilon_0 (\epsilon_{\perp} + \Delta \epsilon \sin^2 \theta) \frac{dU}{dz}] = 0 \quad (3)$$

其中 k_{11} 、 k_{22} 、 k_{33} 分别为向列相展曲、扭曲和弯曲弹性系数, p 为手性剂在向列相液晶中诱导的螺距, ϵ_{\perp} 为垂直方向介电常数, U 为基板间电压。由式(1)、(2)、(3)可得出倾斜角度和扭曲角度变化情况,在一定电压作用下,可以计算液晶层的 Jones 矩阵。在垂直入射条件下,第 n 个液晶子层的 Jones 矩阵为^[6]:

$$\mathbf{J}_n = \exp \left[i \frac{\pi}{\lambda} (n_{\text{eff}} + n_0)_n d_n \right] \begin{bmatrix} \cos \phi_n & -\sin \phi_n \\ \sin \phi_n & \cos \phi_n \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \exp \left[i \frac{\pi}{\lambda} (n_{\text{eff}} + n_0)_n d_n \right] & 0 \\ 0 & \exp \left[-i \frac{\pi}{\lambda} (n_{\text{eff}} - n_0)_n d_n \right] \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \phi_n & \sin \phi_n \\ -\sin \phi_n & \cos \phi_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中 d_n 为第 n 个子层的厚度; λ 为偏振光的波长。

$$n_{\text{eff}} = \frac{n_e n_o}{[n_o^2 + (n_e^2 - n_o^2) \sin^2 \theta]^{1/2}} \quad (5)$$

在理想偏振片的条件下,式(4)中的复数相位因子将不起作用,可以忽略。整个液晶层的 Jones 矩阵为:

$$M_{\text{LC}}(\phi) = J_N J_{N-1} \cdots J_2 J_1 \quad (6)$$

将偏振片与前摩擦方向之间的夹角记为 α ,反射率为:

$$\mathbf{R} = \begin{vmatrix} (\cos \alpha & \sin \alpha) R^{-1}(\phi) M_{\text{LC}}(-\phi) R(\phi) \cdot \\ M_{\text{LC}}(\phi) \begin{pmatrix} \cos \alpha \\ \sin \alpha \end{pmatrix} \end{vmatrix}^2 \quad (7)$$

其中 \mathbf{R} 为坐标旋转矩阵, $M_{\text{LC}}(-\phi)$ 中负号表示液晶反方向旋转。

3 模拟结果

针对 90° MTN 模式,液晶材料的参数选择如下:

$$n_{\parallel} = 1.582, n_{\perp} = 1.486, \Delta n = 0.096,$$

$$k_{11} = 1.01 \times 10^{-11} \text{ N}, k_{22} = 5.6 \times 10^{-12} \text{ N},$$

$$k_{33} = 1.97 \times 10^{-11} \text{ N},$$

$$\epsilon_{\parallel} = 11.1, \epsilon_{\perp} = 3.3, d = 2.6 \mu\text{m}.$$

因为多数厂家提供的 PI 为 TN-TFT 型,预倾角为 $4^\circ \sim 6^\circ$,所以本文设定预倾角的变化范围为 $4^\circ \sim 6^\circ$ 。电光曲线中的关键参数是 V_{90} 和 V_{10} , V_{90} 和 V_{10} 分别是从小态到开态透过率为 90% 的电压值和透过率为 10% 的电压值,本文重点研究了 V_{10} 、 V_{90} 和对比度随各参数的变化情况。

液晶的形变相当复杂,但是无论如何都只是展曲、扭曲、弯曲 3 种形变的组合。在外力作用下,液晶将发生小形变,力与形变关系的问题就是连续体弹性形变理论讨论的问题,而弹性常数则是描述外力对液晶分子取向改变难易程度的物理量,即液晶弹性常数决定了光阀开关的阈值。图 1 描述了弹性常数 k_{33}/k_{11} 比值变化过程中,对比度和 V_{10} 、 V_{90} 随之变化的情况。通常情况下, k_{33}/k_{11} 的变化范围为 $1 \sim 4$,我们以 $k_{33}/k_{11} = 1$ 为起点进行模拟。从图 1 可以看出,随着 k_{33}/k_{11} 数值的增大, V_{10} 、 V_{90} 都呈明显的上升趋势,而对比度则

呈明显的下降趋势。 $k_{33}/k_{11} = 3$ 时, V_{90} 比开始时增加了 0.4 V, V_{10} 增加了 0.72 V, 而对比度则下降到了原来的 1/4。可见随着弯曲与展曲弹性常数比值的增大, 驱动电压增加, V_{10} 增长速度要比 V_{90} 快, 所以电-光曲线趋于平缓, 对比度降低。

介电常数是液晶的最基本电性参数。图 2 给出了 $\Delta\epsilon/\epsilon_{\perp}$ 比值在 1~4 变化时, V_{10} 、 V_{90} 以及对比度的变化情况。从图 2 中的曲线可以看出, 随着 $\Delta\epsilon/\epsilon_{\perp}$ 的增加, V_{10} 下降幅度较大, 而对比度则增加明显。

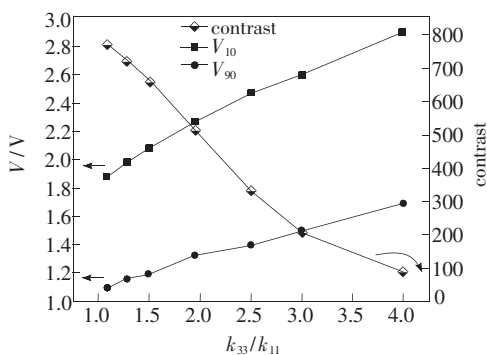


图 1 对比度、 V_{10} 、 V_{90} 随弹性常数比值的变化图。

Fig. 1 Relationship of contrast, V_{10} , V_{90} to k_{33}/k_{11} .

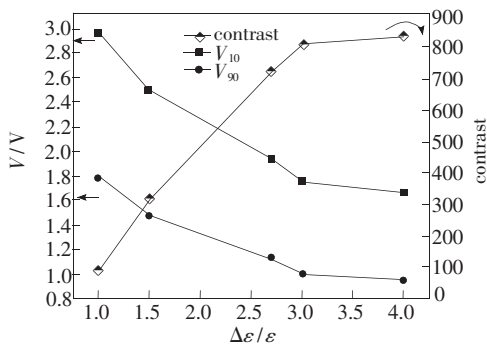


图 2 对比度、 V_{10} 、 V_{90} 随 $\Delta\epsilon/\epsilon_{\perp}$ 的变化关系。

Fig. 2 Relationship of contrast, V_{10} , V_{90} to $\Delta\epsilon/\epsilon_{\perp}$.

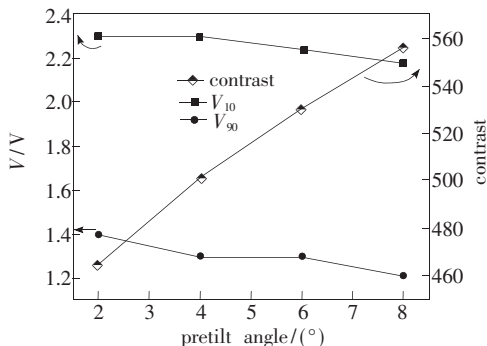


图 3 对比度、 V_{10} 、 V_{90} 随预倾角的变化关系。

Fig. 3 Relationship of contrast, V_{10} , V_{90} to pretilt angle.

图 3 描述了在预倾角增加过程中, V_{10} 、 V_{90} 和对比度的变化情况。随着预倾角的增加, V_{10} 和 V_{90} 同时变小, 对比度增大。预倾角从 2° 增加至 8° 时, V_{10} 降低了 5%, V_{90} 降低了 13.5%, 而同电压下的对比度则提高了 100。预倾角对液晶在电场作用下的指向矢变化很重要, 但对于关态来说, 预倾角增加, 会带来反射率减小, 所以不能一味追求开态对比度。图 4 所示为盒厚在 $2.1 \sim 3.1 \mu\text{m}$ 变化时, V_{10} 、 V_{90} 和对比度的变化情况。随着盒厚的增加, 对比度先增大后减小, 在 $2.6 \mu\text{m}$ 时对比度出现最大值。虽然盒厚在 $2.1 \sim 3.1 \mu\text{m}$ 变化时对比度都在 400 以上, 但是对于 LCOS 而言, 除考虑对比度外, 还要考虑不同波长的光相对液晶的折射率以及由此带来的相位延迟量不同。 $2.1 \mu\text{m}$ 盒红光的反射率会低, 蓝光则会高。随着盒厚增加红光反射率增加, 蓝光降低。为了得到合适的关态, 盒厚选择为 $2.6 \mu\text{m}$ 可以得到较好的显示颜色和对比度。

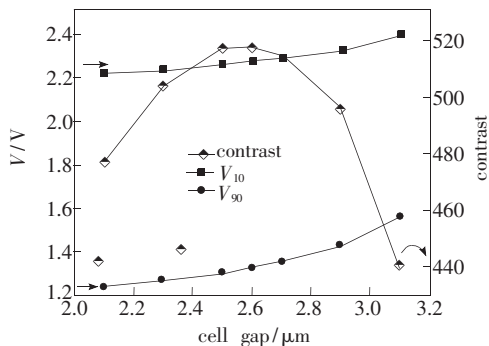


图 4 盒厚变化对液晶盒对比度、 V_{10} 和 V_{90} 的影响。

Fig. 4 Relationship of contrast, V_{10} , V_{90} to cell gap.

4 结 论

通过构造简单模型, 应用液晶动力学以及琼斯矩阵, 对 MTN 模式中液晶参数、盒厚及预倾角对显示性能的影响进行了模拟研究。在其他参数一定的情况下, $\Delta\epsilon/\epsilon_{\perp}$ 和倾斜角增加, 对比度会有所增加; 而 k_{33}/k_{11} 的增加则将导致对比度的减小; 盒厚变化在 $2.1 \sim 3.1 \mu\text{m}$ 时, 对比度先增加后减小。 V_{10} 、 V_{90} 随着 k_{33}/k_{11} 和盒厚的增加而变大, 随 $\Delta\epsilon/\epsilon_{\perp}$ 和预倾角的增加而变小。LCOS 在显示应用中, 其产品特性体现在对比度、光利用率、色彩和响应时间等诸多方面, 所以不能一味要求某一方面, 也需考虑参数互相制约的特点。

参 考 文 献:

- [1] 代永平. LCOS 微显示技术 [J]. 液晶与显示, 2009, 24(4): 471-477.
- [2] Sun Y B, Zhang Z D, Ma H M, *et al.* Reflective in-plane switching liquid crystal displays [J]. *J. Appl. Phys.*, 2003, 93(7): 3920-3925.
- [3] Yu Feihong, Wang Qian. Design and fabrication of reflective nematic displays with only one polarizer [J]. 光子学报, 2000, 29(8): 692-700.
- [4] Wu S T, Wu C S. Mixed-mode twisted nematic liquid crystal cells for reflective displays, [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1996, 68: 1455-1457.
- [5] Wu S T, Yang D K. *Reflective Liquid Crystal Displays* [M]. New York: John Wiley & Sons, 2001: 100-108.
- [6] 马红梅, 李志广, 张志东. 双膜补偿超扭曲向列相液晶显示设计软件 [J]. 液晶与显示, 2002, 17(5): 347-352.

—————
 (上接 P310)

例: [12] 西安电子科技大学. 光折变自适应光外差探测方法: 中国, 01128777. 2[P/OL]. 2002-03-06[2002-05-28]. <http://211.152.9.47/sipoasp/zljs/hyjs-yx-new.asp?recid=01128777.2&leixin=0>.

电子文献: [序号] 主要责任者. 题名: 其他题名信息 [文献类型标志]. 出版地: 出版者, 出版年 (更新或修改日期) [引用日期]. 获取和访问路径.

例: [13] PACS-L: the public-access computer systems forum [EB/OL]. Houston, Tex: University of Houston Libraries, 1989 [1995-05-17]. <http://info.lib.edu/pacsl.html>.

例: [14] Online Computer Library Center, Inc. History of OCLC [EB/OL]. [2000-01-08]. <http://www.oclc.org/about/history/default.htm>.

2. 文后参考文献应在正文中引用该文献处进行标注。

3. 关于作者姓名, 姓在前, 名在后 (拉丁文只用缩写); 作者 3 人以下应全部列出, 4 人以上仅列出前 3 人, 其后加“等” (外文加“*et al*”)。

4. 注意参考文献标注的标点符号、次序, 并不得缺项。

5. 参考文献著录不规范的有可能影响文章的录用。

注: 文献类型和电子文献载体标志代码:

文献类型和标志代码

文献类型	标志代码	文献类型	标志代码
普通图书	M	报告	R
会议录	C	标准	S
汇编	G	专利	P
报纸	N	数据库	DB
期刊	J	计算机程序	CP
学位论文	D	电子公告	EB

电子文献载体和标志代码

载体类型	标志代码
磁带 (magnetic tape)	MT
磁盘 (disk)	DK
光盘 (CD-ROM)	CD
联机网络 (online)	OL