

文章编号:1007-2780(2013)04-0552-04

基于电控液晶透镜的自由立体显示技术研究 with 实现

刘晓林, 谢 佳, 张永栋, 李曙新

(天马微电子股份有限公司, 广东 深圳 518118, E-mail: xiaolin_liu@tianma. cn)

摘 要: 介绍了自由立体显示用电控液晶透镜的基本原理、设计方法和验证手段, 并通过软件模拟和实验验证来修正设计以达到最佳的性能。提出了一种新型的电极结构设计, 重点分析讨论了盒厚与折射率曲线分布的规律以及延迟量对 3D 模组交叉效应的影响。按照该电极结构和延迟量规律设计的电控液晶透镜 3D 模组的交叉效应降至 3% 以下, 表现出优异的 3D 性能。这些研究对液晶透镜的设计和 research 有很好的指导意义。

关 键 词: 电控液晶透镜; 立体显示; 交叉效应; 折射率

中图分类号: TN27

文献标识码: A

DOI: 10. 3788/YJYXS20132804. 0552

Study and Realization of Auto-Stereoscopic Display Based on Electric-Field-Driven LC Lens

LIU Xiao-lin, XIE Jia, ZHANG Yong-dong, LI Shu-xin

(Tianma Micro-Electronics Co., Ltd., Shenzhen 518118, China, E-mail: xiaolin_liu@tianma. cn)

Abstract: This paper introduces the principle, design solution and verification method of auto-stereoscopic display using an electric-field-driven LC lens. In order to realize the optimal 3D performance, professional software simulation and trail verification were used to adjust the design solution. It provides that a novel design about the electrode, specially discuss the distribution law of cell gap and refractive index, and the effect of retardation on 3D crosstalk. Using novel electrode structure and the rule of LC cell retardation to design electric-field-driven LC lens, 3D crosstalk can be reduced to below 3%, the 3D module show excellent 3D image quality. It has very important significance to design and study the electric-field-driven LC lens.

Key words: electric-field-driven LC lens; auto-stereoscopic display; crosstalk; refractive

1 引 言

近年来, 立体显示的应用领域从电影院迅速发展 to 家用和消费品领域。立体显示技术也呈现多元化的趋势, 如眼镜式、裸眼式、体显示, 全息显示等。其中裸眼式立体显示作为继眼镜式立体显示后最接近实用化的技术, 也越来越受到人们的关注^[1-12]。裸眼立体显示技术也先后出现了狭缝

光栅式^[2-4]、柱面透镜式^[5-7]、指向性背光^[8]和液晶透镜式^[9-10]等技术。其中, 狭缝光栅由于采用光线遮挡式造成了在 3D 模式下光亮度损失严重, 影响观赏效果和增加整机的功耗。柱面透镜式采用的是不可切换的物理透镜, 因其无法进行 2D/3D 模式的切换, 应用受到一定的限制。指向性背光技术需要采用倍频 TFT 面板和 3M 的 3D film, 价格相当的昂贵。而液晶透镜技术则克服

收稿日期: 2013-01-14; 修订日期: 2013-03-20

基金项目: 深圳市科技研发资金资助项目 (No. 20120615145044842)

作者简介: 刘晓林 (1979—), 男, 湖北麻城人, 硕士, 工程师, 主要从事新型显示技术的研究与开发。

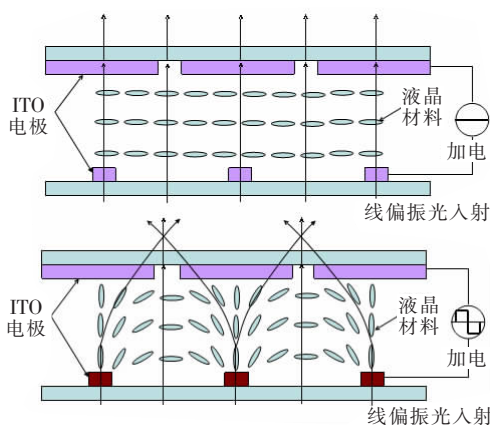


图 4 (a) 液晶透镜关闭 (2D 模式); (b) 液晶透镜打开 (3D 模式).

Fig. 4 (a) LC Lens off state (2D-mode); (b) LC Lens on state (3D-mode).

0.215 64 mm。本实验设计盒厚 $d = 18 \mu\text{m}$ 和 $35 \mu\text{m}$, 其中 $18 \mu\text{m}$ 盒厚采用 Δn 为 0.3 的液晶, $35 \mu\text{m}$ 盒厚采用了 Δn 为 0.13~0.17 的两瓶系统液晶来调整不同的 Δn 值来获得最小的交叉效应, 底玻璃细长电极宽 $10 \mu\text{m}$, 面玻璃电极缝宽 $10 \mu\text{m}$, 面底摩擦方向与电极延伸方向垂直。

2.3 交叉效应和平均折射率

裸眼 3D 显示器最关键的性能参数交叉效应 (Crosstalk, CT), 定义为双眼图像内容互相干扰的程度。参照图 5 测量的 3D 显示器在观察角度 $\theta = -30^\circ \sim +30^\circ$ 范围内的亮度变化曲线, 用下面的公式来表征其数值:

$$\text{右眼 CT}_R = \frac{L_{WB} - L_{BB}}{L_{BW} - L_{BB}} \times 100\%$$

$$\text{左眼 CT}_L = \frac{L_{BW} - L_{BB}}{L_{WB} - L_{BB}} \times 100\%$$

其中, L_{WB} 表示 WB 画面 (即左眼白画面右眼

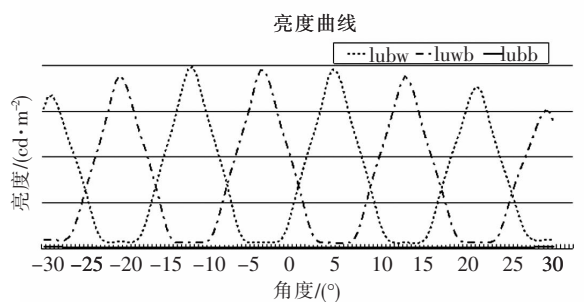


图 5 左右眼亮度与观察角度的关系曲线

Fig. 5 Curve of the left/right luminance values as observing angle

黑画面) 的亮度, L_{BW} 表示 BW 画面 (即左眼黑画面右眼白画面) 的亮度, L_{BB} 表示 BB 画面 (即左眼黑画面右眼黑画面) 的亮度, 用以上公式分别计算左右眼的 CT 值。

在本实验中, 采用平均折射率法来计算液晶透镜盒内液晶分子的有效折射率 n_{eff} 随透镜 Pitch 的变化。如图 6 所示, 盒内液晶分子在竖直电场的作用下倾斜一定的角度, 在软件模拟时, 将液晶层沿盒厚方向分成 i 层, 有效折射率 n_{eff} 值用公式

$$n_{\text{eff}} = \frac{1}{i} \sum_i \sqrt{\frac{n_e^2 n_o^2}{n_o^2 \cos^2 \theta(i) + n_e^2 \sin^2 \theta(i)}} \text{ 表示。}$$

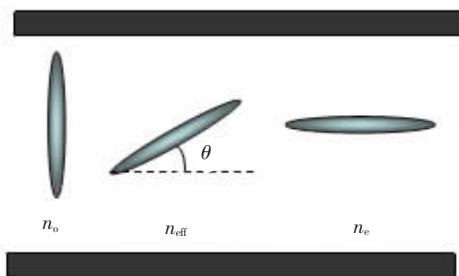


图 6 液晶分子的偏转

Fig. 6 Rotation of the LC molecular

3 结果与讨论

3.1 模拟结果

用 TechWiz 光电模拟软件模拟了两个不同盒厚条件的折射率分布曲线如图 7 中所示。在相同的驱动电压 (10 V) 下, $18 \mu\text{m}$ 的曲线在顶部非常的平坦且有较宽的区域, 仅有很少部分与理想曲线重合。 $35 \mu\text{m}$ 的曲线则更接近理想曲线。通过模拟结果的 n_{eff} -Distance 曲线与理想曲线的对比, 可以发现液晶透镜在驱动电极、驱动电压、盒厚、 Δn 等参数设计上的不足, 便于性能的优化。

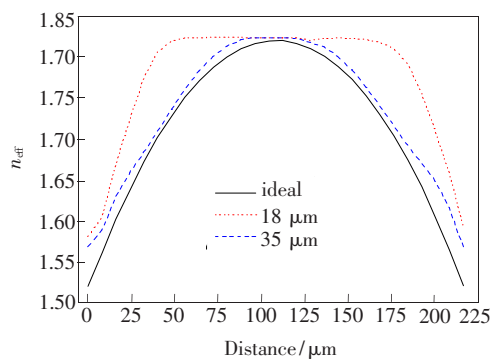


图 7 不同盒厚条件下的有效折射率的分布

Fig. 7 Effective of refractive-index values distribution with different cell gap

3.2 实验数据

公式(1)、(3)中的焦距 f 是理论情况下的最小焦距,所以我们考虑在实际设计的时候适当增大 n_e 来补偿接近取向面处的液晶分子未能全部竖立而造成的 Δn 偏差。根据公式(1)、(2)、(3)计算出液晶透镜的延迟量为 5 320 nm,同时也设计了 3 个不同的延迟量值 5 495 nm、5 670 nm 和 5 845 nm。测试了各个延迟量制作的液晶透镜 3D 模组的 CT 值,如图 8 中所示。可见实际的延迟量略大于理论值才能获得较好的性能参数,过大或者过小都会造成性能恶化。

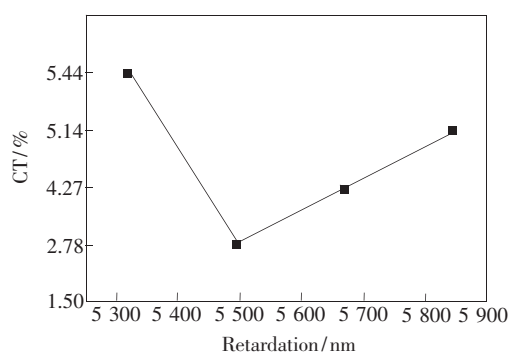


图 8 不同延迟量的 CT 值

Fig. 8 CT value of different retardation

3.3 样机展示

图 9 是该两视点 10.16 cm(4 in)液晶透镜 3D 样机的照片。液晶透镜的驱动电压在 10 V 以下,2D 和 3D 模式下的亮度均超过 300 cd/m²。样机表现出 2D/3D 可切换、不损失亮度、无莫尔条纹和低 3D crosstalk 等优点,已经接近实用化。



图 9 10.16 cm(4 in)液晶透镜 3D 样机照片

Fig. 9 Photo of 10.16 cm(4 in) 3D prototype with LC Lens

4 结 论

系统总结和分析了裸眼立体显示用液晶透镜的原理、设计和验证,给出了液晶透镜的模拟和验证方案。提出了一种新型的电极结构设计,分析总结了盒厚与折射率曲线分布的规律以及延迟量对 3D 模组 Crosstalk 的影响,对液晶透镜的设计和研究有很好的指导意义。

参 考 文 献:

- [1] 梁发云. 裸眼立体显示液晶屏的光学结构及设计 [J]. 液晶与显示, 2005, 20(6): 544-548.
- [2] 王元庆. 基于 LCD 的自由立体显示技术 [J]. 液晶与显示, 2003, 18(2): 116-120.
- [3] 朱燕林, 陈瑞改, 谢佳, 等. 光栅式自由立体显示器中莫尔条纹的形成规律 [J]. 液晶与显示, 2009, 24(6): 911-915.
- [4] 赵仁亮, 赵悟翔, 王琼华, 等. 狭缝光栅自由立体显示器立体可视区域的研究 [J]. 光子学报, 2008, 37(5): 960-963.
- [5] 谢宏斌, 杨勇, 赵星, 等. 狭缝光栅、柱面透镜光栅及其新构型在三维显示中的应用 [J]. 中国光学, 2011, 4(6): 562-570.
- [6] 周磊, 陶宇虹, 王琼华, 等. 立体显示用柱面透镜光栅的设计 [J]. 光子学报, 2009, 38(1): 30-33.
- [7] 郝敦博, 李大海, 王琼华, 等. 柱面透镜自由立体显示器的分辨率损失研究 [J]. 液晶与显示, 2008, 23(4): 494-498.
- [8] John C S, William J B, Alan G H L, et al. Autostereoscopic Liquid Crystal Display Arraratus, US patent: 0246837A1 [P]. 2008-10-09.
- [9] 欧阳世宏, 陆建钢, 崔宏青, 等. 基于单像素液晶透镜的自由立体显示技术 [J]. 液晶与显示, 2010, 25(4): 561-564.
- [10] Liu Sheng-Chi, Tu Jei-Feng, Gong Chao-Cyun, et al. Autostereoscopic 2-D/3-D display using a liquid crystal lens [J]. SID Digest, 2010, 30(2): 432-435.
- [11] 李晖, 张新宇, 张天序, 等. 一种新型液晶透镜的光学成像特性研究 [J]. 红外与毫米波学报, 2009, 28(6): 428-431.
- [12] Hong HyungKi, Jung SungMin, Lee ByungJu, et al. Electric-field-driven LC lens for 3-D/2-D autostereoscopic display [J]. Journal of the SID, 2009, 5(17): 399-406.