

doi: 10.3788/gzxb20164507.0705002

视点可控液晶光栅的研究

褚子航¹, 张永爱¹, 何林昌¹, 靳涛¹, 周雄图¹, 郭太良¹, 杨兰²

(1 福州大学 物理与信息工程学院, 福州 350002)

(2 集美大学 理学院, 福建 厦门 361021)

摘 要:提出一种双层交错结构的驱动电极控制液晶分子偏转的可控液晶光栅. 利用光刻和镀膜工艺在玻璃基板上制作掺铝氧化锌-二氧化硅-掺铝氧化锌双层交错结构的驱动电极, 采用液晶成盒工艺将制备好的驱动电极基板和公共电极基板组装成液晶盒. 与传统单层控制电极相比, 双层交错电极实现了基板的无缝覆盖, 避免了各电极存在的空白区, 使得器件的控制区域变得完整与灵活. 光学显微镜测试表明, 掺铝氧化锌第一电极和第二电极的宽度为 275.8, 两者之间通过 SiO₂ 介质层隔离并相互交错覆盖在玻璃基板上. 结合液晶光栅驱动电路, 可控液晶光栅能有效地控制遮光区与透光区的比值, 实现不同 3D 视差图片在同一套系统中的实时切换播放, 在多视点 3D 实时切换显示领域有一定的应用前景.

关键词:自由立体显示; 视点可控; 驱动电极; 液晶光栅; 狭缝光栅; 光学仿真

中图分类号: TN141.9; TN27

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2016)07-0705002-8

Study of a Viewpoint Controllable Liquid Crystal Grating

CHU Zi-hang¹, ZHANG Yong-ai¹, HE Lin-chang¹, JIN Tao¹, ZHOU Xiong-tu¹,
GUO Tai-liang¹, YANG Lan²

(1 School of Physics and Information Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China)

(2 School of Science, Jimei University, Xiamen, Fujian 361021, China)

Abstract: A viewpoint controllable liquid crystal grating was presented, which was driven by two-layer staggered electrodes to control the deflection of liquid crystal molecules. AZO-SiO₂-AZO driving electrodes with two-layer staggered structure were prepared on the glass substrate using lithography and vacuum coating technology. This grating avoids the blank area between the single-layer electrodes and expands the control area. Therefore the control area becomes complete and flexible. The optical images shows AZO electrodes and AZO electrodes with the width of 275.8 are parallel interdigitated and isolated by SiO₂ insulation layer on the glass substrate. Combining the drive circuit, the liquid crystal grating could control the ratio of the light shielding area and transmission area effectively. It has some application prospects in the field of three-dimensional display

Key words: Autostereoscopic display; Viewpoint controllable; Driving electrodes; Liquid crystal grating; Parallax barrier; Optical simulation

OCIS Codes: 050.2770; 050.6875; 080.2740; 350.277

0 引言

近年来,随着平板显示与投影显示技术的迅猛发展,立体显示技术也得到长足进步,逐渐走入人们的日常生活.与现有传统 2D 显示媒介不同,三维立体信息可通过立体显示技术充分、直观、接近真实地反映出

来,它不仅包含事物二维层面的上下左右位置信息,还包含所要反映三维事物深度等其它信息,是未来科技发展的必然趋势,在影视娱乐、游戏、传媒、医疗卫生、科教、制造、建筑以及军事等领域具有巨大的应用前景和商业市场^[1-2].

立体显示技术主要分为助视/光栅立体显示和全

基金项目:福建省科技厅重点项目(No. 2013H0033)和高等学校博士学科点专项科研基金(No. 20133514120011)资助

第一作者:褚子航(1992-),男,硕士研究生,主要研究方向为信息显示技术. Email:441341472@qq.com

导师(通讯作者):张永爱(1977-),男,副研究员,博士,主要研究方向为信息显示技术. Email:yongaizhang@fzu.edu.cn

收稿日期:2015-11-30;录用日期:2015-03-08

<http://www.photon.ac.cn>

息 3D 显示^[3-4]. 助视 3D 显示与光栅立体显示均是基于双目视差原理的立体显示技术^[5]. 前者由于需要佩戴相应的 3D 眼镜或头盔, 不可避免地带来一些不便, 后者无需佩戴任何辅助设备, 就能够在多方位直接观看到显示设备上的 3D 效果.

液晶光栅代替狭缝式 3D 显示中的狭缝挡板可实现 2D/3D 切换. 20 世纪 80 年代, 基于液晶光栅开关作为光栅或助视眼镜的立体显示得以发展. 20 世纪 90 年代至今, 平板显示器向更大尺寸、更大分辨率发展, 基于平板显示的裸眼立体显示也得到长足进步. 3D 显示技术以及 3D 内容一般只包含两幅视差图, 而双视点裸眼立体显示的观看自由度有限, 因此发展多视点自由显示技术是必然趋势, 因而多视点立体显示兼容不同视点数目的立体显示也是必要的^[6-7]. 本文利用 Tracepro 光学仿真软件模拟, 设计一种双层交错驱动电极的可控液晶光栅, 并利用光刻、镀膜和液晶盒制作等工艺, 结合驱动电路控制液晶盒内遮光区与透光区的比值, 实现视点数可控的液晶光栅.

1 理论设计

1.1 狭缝式光栅立体显示原理

狭缝立体显示系统包含 2D 显示屏、狭缝光栅和立体视区, 系统组成如图 1. 其中, 狭缝光栅包含透光区和遮光区, 观众位于立体视区上, 其左眼位于左视区, 右眼位于右视区. 利用光在宏观上的直线传播特性, 左眼透过狭缝光栅的透光区时只能看到左图像, 而由于遮光区的遮挡, 使得右图像进入不了左眼. 反之, 右眼透过狭缝光栅的透光区时只能看到右图像, 双眼获得的左右视差图在大脑中合成立体效果.

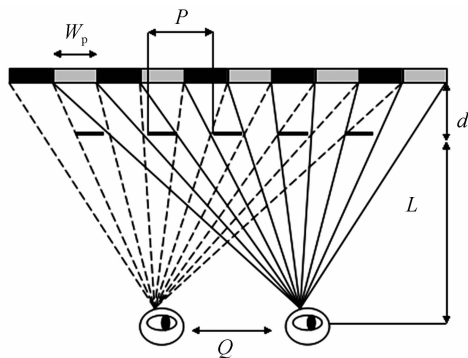


图 1 狭缝光栅立体显示原理

Fig. 1 Principle of the auto-stereoscopic display using parallax barrier

裸眼立体显示器参量包括 2D 显示屏子像素宽度 W_p 、光栅节距 P 、透光条宽度 P_t 、挡光条宽度 P_s 、2D 显示屏与狭缝光栅的距离 d 、视点数 k 、最佳观看距离 L 、相邻视差图像视点间距 Q . 根据图 1 的几何关系, 由三角形相似原理可得^[8-9]

$$P_t = \frac{QW_p}{Q+W_p} \quad (1)$$

$$P = \frac{kQW_p}{Q+W_p} \quad (2)$$

$$d = \frac{LW_p}{Q+W_p} \quad (3)$$

1.2 可控液晶光栅结构和视点可控原理

根据立体视觉原理, 只需两幅视差图就可以实现立体显示. 相比较两视点立体显示技术, 多视点立体显示技术具有更高的立体视觉自由度^[10], 观众双眼可以从多幅视差图中接收任意一组左右视差图来获得立体效果. 立体显示片源视点数 $k \geq 2$ (k 为正整数), 不同视点数目的片源能够在同一立体显示系统中兼容播放必然成为立体显示的趋势, 传统的单层电极结构光栅无法满足这一要求. 因此, 本设计提供一种视点数可控的液晶光栅, 其原理如图 2, 结构与传统光栅对比如图 3. 该液晶光栅结构与常规液晶光栅不同之处在于, 下基板的公共电极为整面导电电极, 上基板则包含两层相错开的导电电极, 两层相错开的透明电极层之间由厚

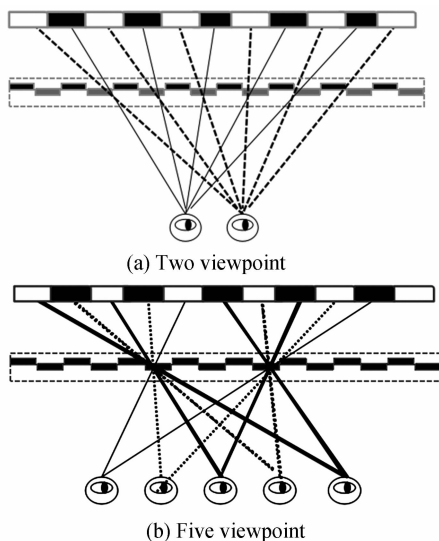
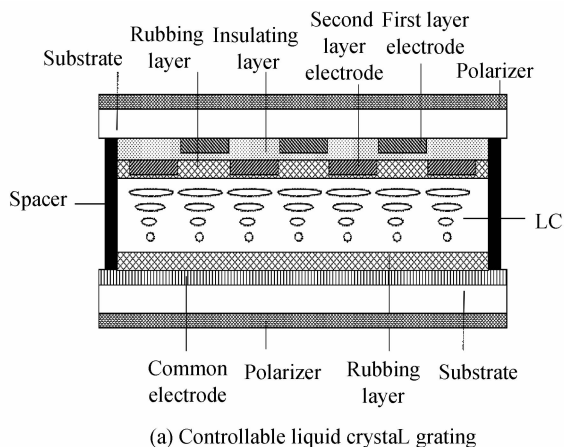


图 2 多视点立体显示原理

Fig. 2 Principle of multi-view stereoscopic display



(a) Controllable liquid crystal grating

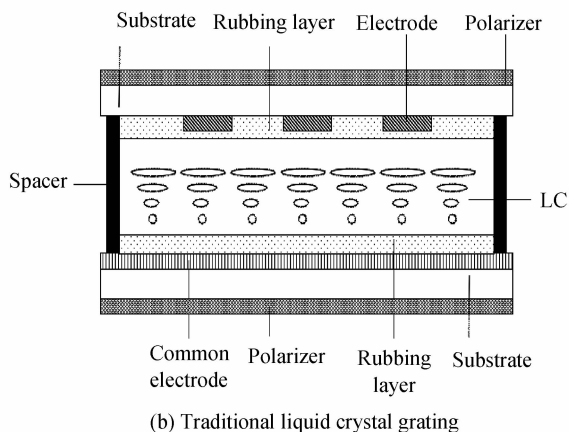


图3 可控液晶光栅与传统液晶光栅结构

Fig. 3 The structure of controllable liquid crystal grating and traditional liquid crystal grating

度较薄的绝缘层隔离。该结构对比隔层较厚结构所带来的视区串扰造成的影响较小,与3D显示的自身视区串扰比较,可以忽略不计^[11]。利用双面三电极结构,在横向上,各个区域都对应着电极,并且无缝衔接,避免了单层电极结构中各电极之间存在的空白区,使得器件的控制区域变得完整与灵活。结合液晶光栅驱动电路,有效地控制遮光区与透光区的不同比例切换,实现不同视点数3D视差图片在同一套系统中实时播放。图

2(a)为2视点下的立体显示系统,可控光栅的透光区与遮光区以1:1交替排列,观看者的双眼透过光栅可以获得立体效果;图2(b)为5视点下的立体显示系统,可控光栅的透光区和遮光区以1:4交错排列,在立体视区的观看者透过光栅可以获得立体效果。

2 视点可控立体显示的仿真与分析

利用 TracePro 软件对基于 2~5 视点立体显示系统进行仿真^[12-13]。

设定一个 4×30 像素阵列的 2D 显示屏^[14-15],发光像素在 z 轴正方向开口 120° 的锥角内均匀发光,每个视点数的每个视差图像素的仿真光线总数均为 100 万条。在 2D 显示屏前 1.1 mm 处设定一狭缝光栅,其中光栅的节距中透光宽度和遮光宽度均为 $275.8 \mu\text{m}$ 。

在视点数为 N 的仿真模型下,分别对 2D 显示屏上的 N 组像素光源进行点亮仿真。2D 显示屏上的像素光源点亮并透光分光光栅,最终照射到位于 0.6 m 处的接收屏,接收屏上获得的照度分布,切换发光像素最终形成 N 幅视差图在接收屏上的照度分布,形成立体显示视区分布。图 4(a)~(d)分别为 2 视点、3 视点、4 视点、5 视点自由立体显示仿真系统的接收屏上的视区分布。

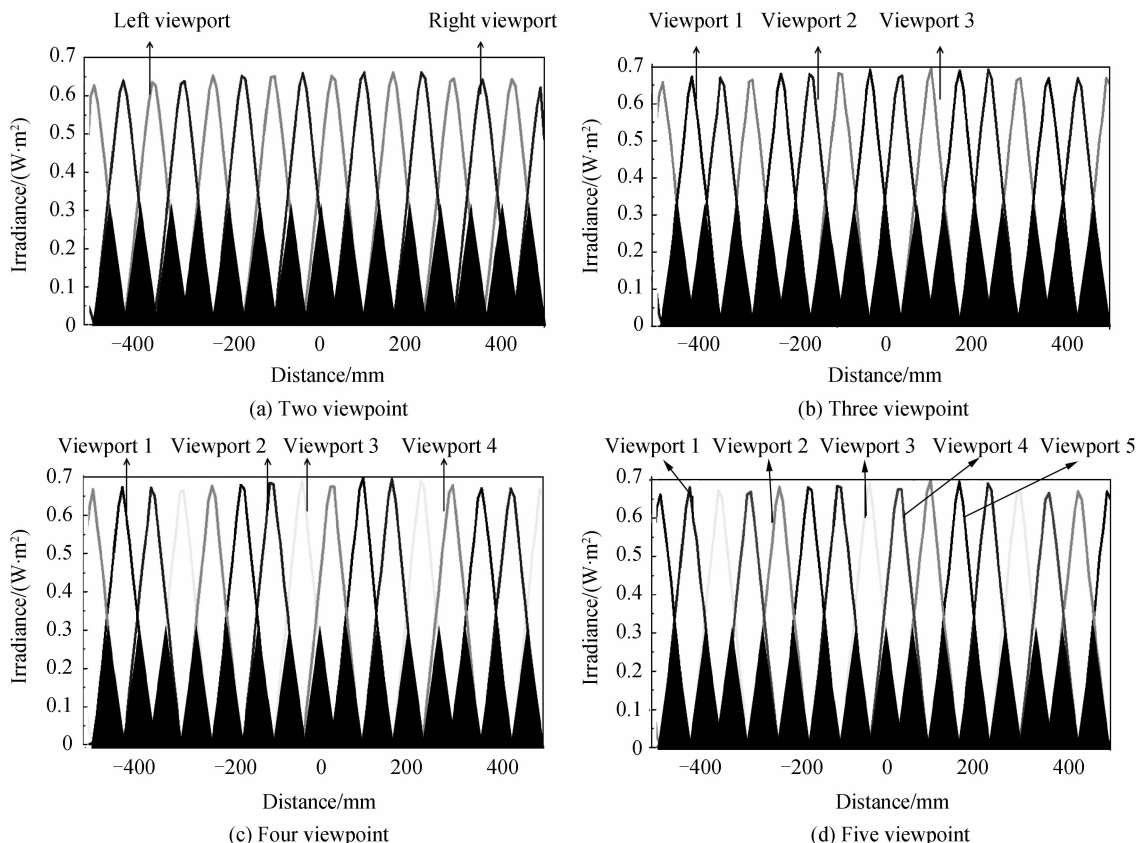


图4 视点可控立体显示仿真系统视区分布

Fig. 4 Viewing area of viewpoint controllable stereoscopic display simulation system

从图4可以看出,立体显示系统相邻视点之间的间距均约为 65mm,与仿真设定的人类双眼瞳距均值

一致.同时,不同视点数的立体显示的接收屏照度分布表明照度分布曲线的峰值相近,相邻视点之间的串扰也是相近,这是由于分光光栅是以同一单位宽度进行分配遮光区和透光区,不同视点数的立体显示在3D特性上保持一致.

3 实验

3.1 可控液晶光栅的制备

利用电极图案来实现液晶盒的区域控制.首先,在洁净的玻璃基板表面(100 mm×100 mm)利用射频溅射(WTCJ-600)与光刻工艺制备出AZO(Aluminum doped Zinc Oxid)下电极图案;第二电极层与中介质层,再次利用射频溅射制备厚度为160 nm的SiO₂和厚度为240 nm的AZO导电层薄膜.再次利用光刻工艺形成AZO第二电极图案,其中第一电极之间的间隙中心点与第二电极之间的中心点重合,使其互相交错平行排列,从而获得AZO-SiO₂-AZO双层叠状结构电极的上基板.利用旋涂工艺将聚酰亚胺原液(Polyimide,PI)涂覆于电极基板和下基板,烘干后形成PI薄膜.利用摩擦设备将上基板和下基板的PI膜取向方向相互垂直,摩擦是为了对液晶分子进行锚定,使盒内液晶分子都沿上下玻璃基板表面平行排列,而在玻璃基板中间的液晶分子呈90°扭曲排列实现偏振光旋光效果.借助丝网印刷技术在上基板边缘四周印刷边框胶,预烘并喷洒4隔离子,将上下基板热压贴合,得到一个空液晶盒.最后,利用灌晶机将液晶分子灌入空液晶盒内,完成后取出样片并封口,清洗外观,贴上偏振片,完成液晶盒制作.

3.2 可控液晶光栅的驱动测试与表征

利用FPC线将可控液晶光栅与驱动电路连接,通过STC89C51单片机来控制驱动电路在各个电极处施加不同电压,单片机后连接2个573芯片.控制573芯片输出“1”或“0”.其中,“1”状态下控制电压为5V,“0”状态下不加控制电压.根据3D播放器实时播放的3D视差图片,在控制电极和公共电极间施加不同电压,如对应的片源是两视点时,在AZO第一电极和公共电极之间施加频率100Hz,幅值5V的交流驱动信号,AZO第二电极和公共电极之间不施加电压(第二电极和公共电极之间等电位),最终实现遮光区与透光区的不同比例切换.

此外,利用光学显微镜以及奥林巴斯激光显微镜(OLS4000)表征双层控制电极的光学形貌和3D形貌.

4 测试结果与讨论

4.1 AZO-SiO₂-AZO 双层控制电极结构分析

图5(a)为AZO-SiO₂-AZO双层控制电极的光学

显微镜图.从图中可以看出,AZO上电极和下电极边缘整齐,相互交叉平行排列,电极宽度都为275.8,与设计的电极宽度一致.图5(b)为AZO-SiO₂-AZO双层控制电极的3D显微镜图.从图中可以看出,AZO上电极和下电极相互交错平行分开,之间通过SiO₂绝缘层隔离开.

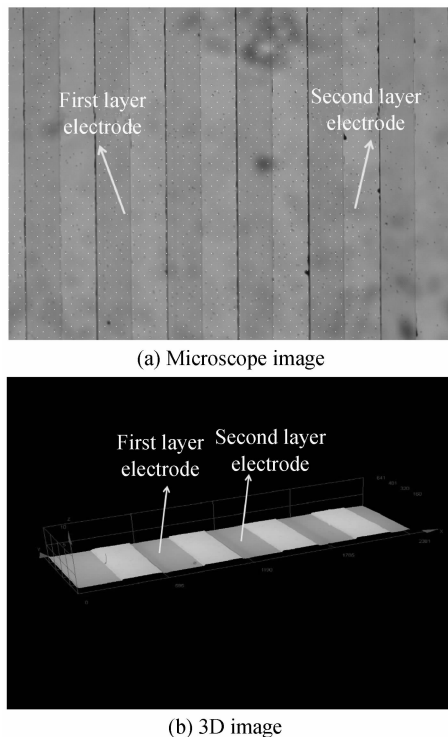


图5 可控光栅液晶盒双层驱动电极形貌
Fig.5 Morphology of two-layer driving electrodes of controllable grating liquid crystal cell

4.2 视点可控液晶光栅效果表征

将连接好的驱动电路接上电源,按所需视点情况在电极上施加不同电压,如对应的片源是两视点时,在AZO第一电极和公共电极之间施加频率100 Hz,幅值5V的交流驱动信号,AZO第二电极和公共电极之间不施加电压(第二电极和公共电极之间等电位),最终得到的遮光区与透光区的比例为1:1;当对应片源是五视点时,在AZO第一电极和AZO第二电极,每隔两根施加频率100 Hz,幅值5V的交流驱动信号,剩下的电极不施加电压,即最终得到的遮光区与透光区的比例为4:1.

图6是视频显微镜记录的可控液晶光栅的透光态与遮光态分布与对应的液晶光阀状态示意图.从图6中可以看到,可控液晶光栅对比度明显且很好地实现了遮光和透光两种状态,透光区和遮光区分别以1:1、1:2、1:3和1:4的比例交错排列,所对应的3D播放器实时播放的3D视差图片分别是2视点、3视点、4视点和5视点.

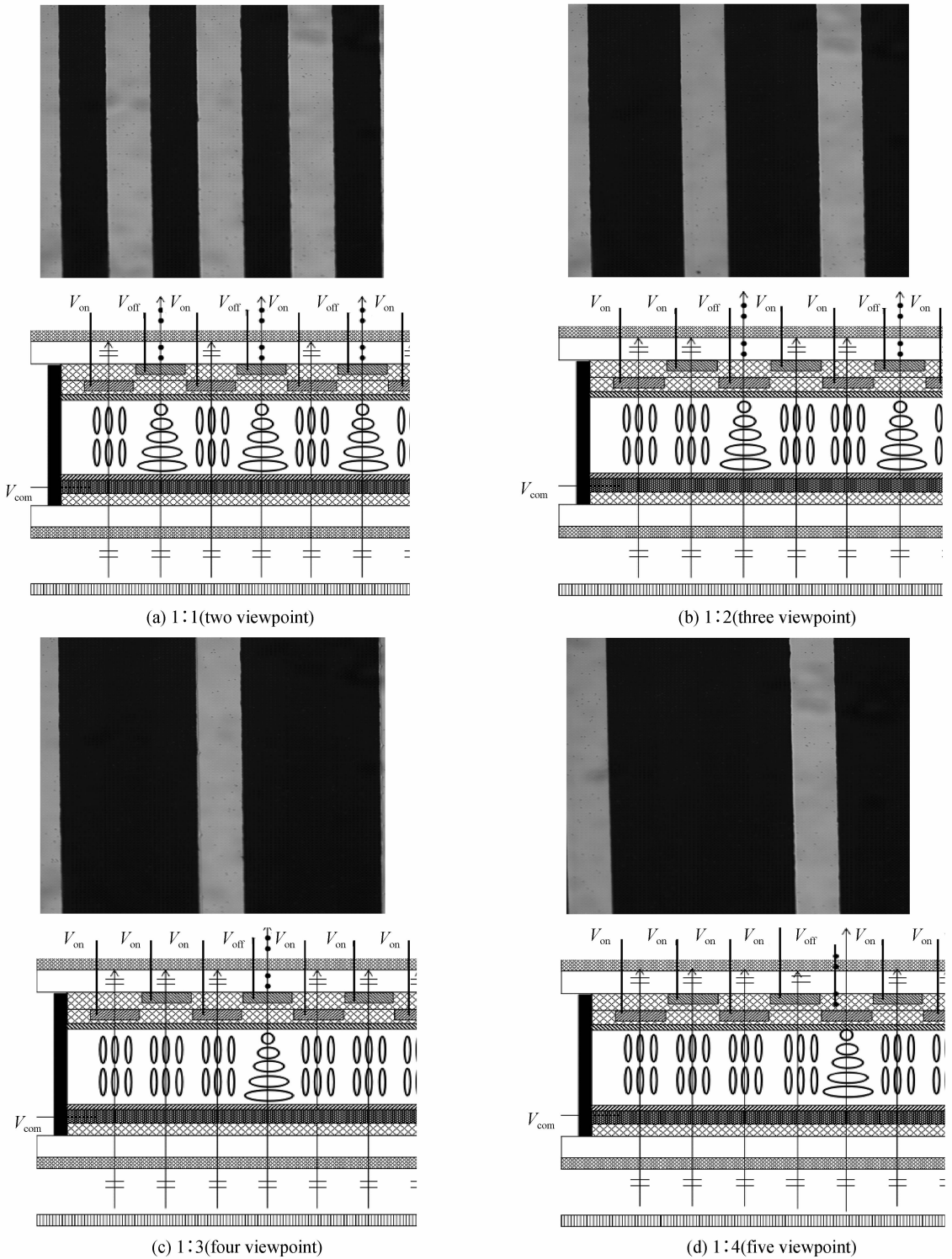


图6 可控液晶光栅的透光区与遮光区比例分布显微镜拍图

Fig. 6 Micrograph of Photic zone and Blackout area of controllable liquid crystal grating

将制备好的可控液晶光栅放置在 LE2001W 显示器上,其中可控光栅距离显示器的距离为 1.1mm,结合 3D 播放软件和计算机分别合成不同视差图的 3D 图片源,通过调节控制电路,获得播放相对应视点数 3D 片源所需的可控液晶光栅,如图 7~10. 其中,图 7

为不同视点的 3D 视差合成图片,这些 3D 视差图片是由多幅字母合成,如 2 视点 3D 图片是由 A、B 两字母合成,3 视点 3D 图片是由 A、B、C 三个字母合成. 图 7 中的其它图片为不同位置(视区)下拍摄获得的视差图.

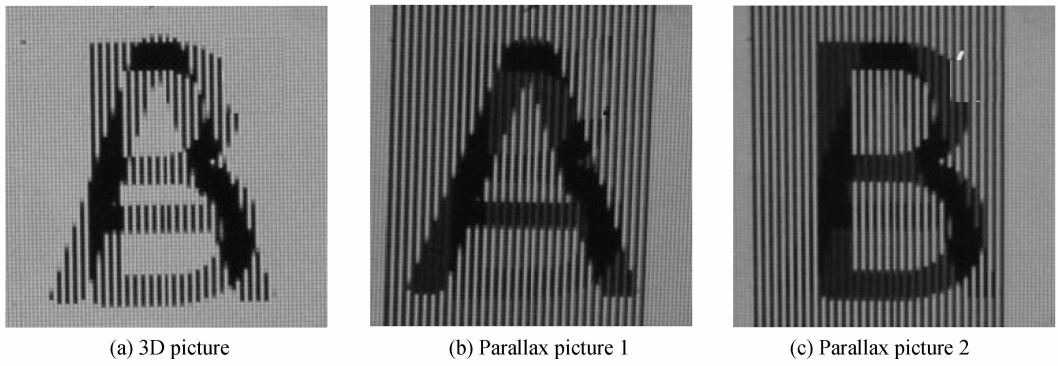


图 7 两视点 3D 图片及其不同视区获得的视差图

Fig. 7 Two viewpoints 3D pictures and parallax pictures under different viewing zone

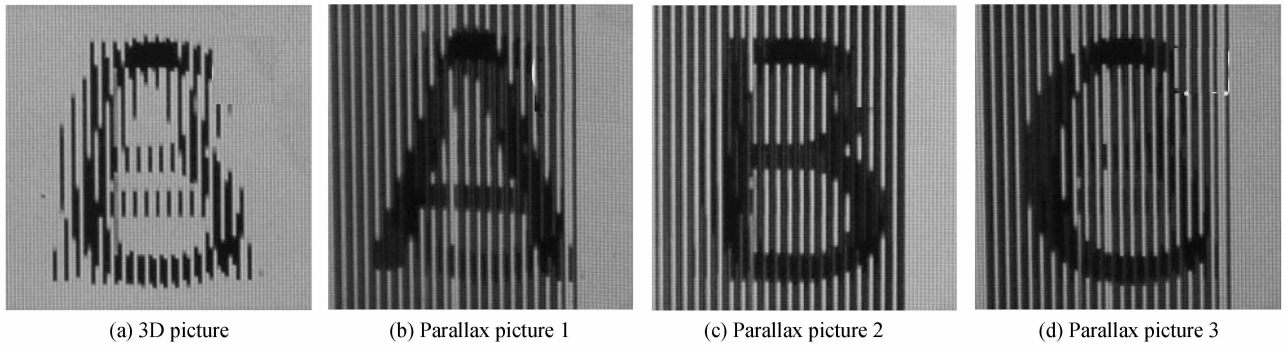


图 8 三视点 3D 图片及其不同视区获得的视差图

Fig. 8 Three viewpoints 3D pictures and parallax pictures under different viewing zone

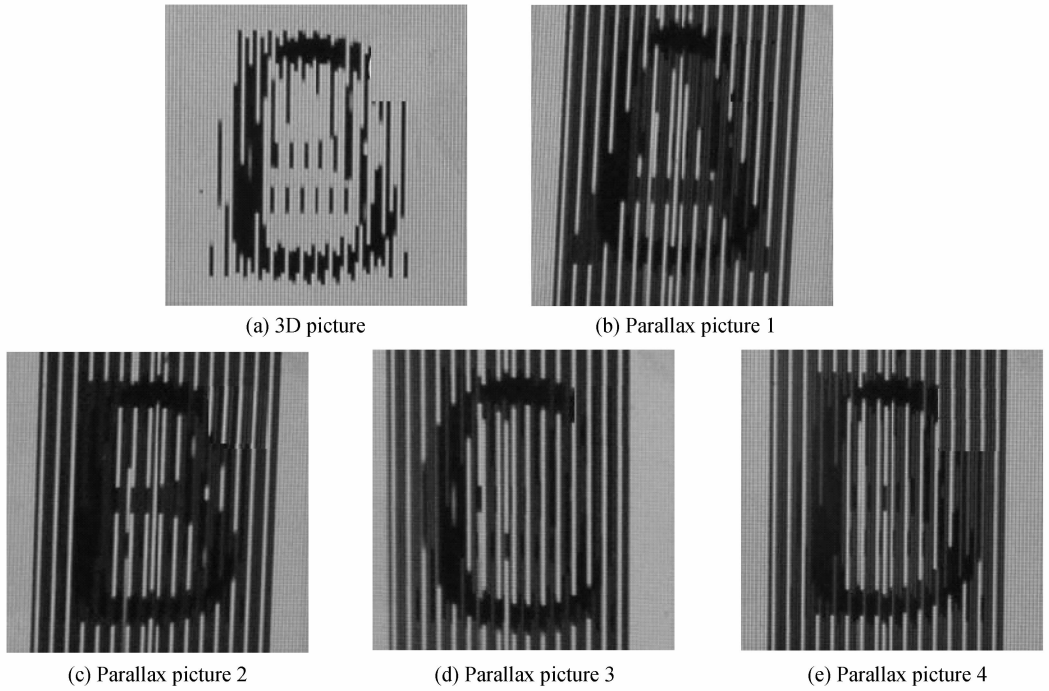


图 9 四视点 3D 图片及其不同视区获得的视差图

Fig. 9 Four viewpoints 3D pictures and parallax pictures under different viewing zone

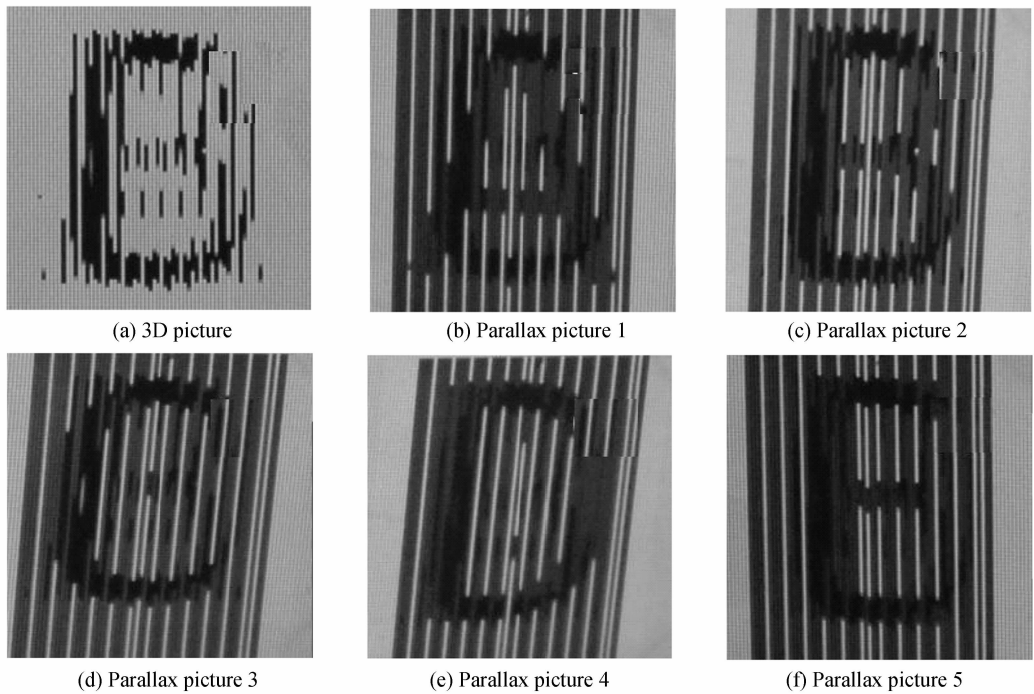


图 10 五视点 3D 图片及其不同视区获得的视差图

Fig. 10 Five viewpoints 3D pictures and parallax pictures under different viewing zone

实验结果表明,可控液晶狭缝光栅可以很好地对显示器上的多幅视差图进行调制.同时,可控光栅可以很好地调控为不同视点数的立体显示分光光栅.在 2 视点立体显示中,分别在两个不同角度(视区)拍得“A”图案以及“B”图案,如图 7.在 5 视点立体显示中,分别在五个不同角度拍得“A”、“B”、“C”、“D”、“E”图案,如图 10.其中相邻视差图的获得的横向距离约 65 mm.若向两侧稍偏移处拍摄,会使图像的串扰现象变严重.换言之,65 mm 是获得视差图的最佳横向距离,与设计的 65 mm 相符合.少量的偏差来自器件与显示器的不匹配或器件制作工艺中产生的偏差.

5 结论

通过 TracePro 仿真设计,利用光刻工艺、液晶盒封装工艺,成功制作出可控液晶光栅.实验结果证明,液晶光栅电极宽度为 275.8.将驱动电路连接于可控光栅,测试不同视点数下的光栅在显微镜、普通相机下的遮光区与透光区的分布情况,并在显示器(HP-LE2001W)上测试光栅,测试结果表明,相邻视差图横向距离为 65 mm,并且可控光栅可以很好地实现立体显示 2 视点至 5 视点的切换.

参考文献

- [1] SARMA K, LU K, LARSON B, *et al.* On-demand stereoscopic 3D displays for avionic and military applications [C]. SPIE Defense, Security, and Sensing, International Society for Optics and Photonics, 2010; 76901E.
- [2] HAAN H, MUNZHERG M, SCHWARZKOPF U, *et al.* Stereoscopic uncooled thermal imaging with autostereoscopic 3D flat-screen display in military driving enhancement systems

- [C]. SPIE Defense, Security, and Sensing, International Society for Optics and Photonics, 2012; 83530M.
- [3] SUN Chao. A probe into several stereoscopic display technologies[J]. *Computer Simulation*, 2008, **25**(4): 213-217.
- 孙超. 几种立体显示技术的研究[J]. *计算机仿真*, 2008, **25**(4): 213-217.
- [4] WANG Q H, LIANG D, SONG C Q. Overview on glasses-based 3D Display technologies [J]. *Vacuum Electronics*, 2011 (5): 7-10.
- 王琼华, 梁栋, 宋呈群. 助视 3D 显示技术概述[J]. *真空电子技术*, 2011 (5): 7-10.
- [5] HIAOKA K. Three-dimensional image display system using binocular parallax; U. S. Patent 4,870,600[P]. 1989-9-26.
- [6] WANG Qiong-hua, TAO Yu-hong, ZHAO Wu-xiang, *et al.* A full resolution autostereoscopic 3D display based on polarizer parallax barrier [J]. *Chinese Optics Letters*, 2010, **8**(1): 22-23
- [7] WANG Ai-hong WANG Qiong-hua. Overview on autostereoscopic display device based on parallax barrier or lenticular lens [J]. *Advanced Display*, 2009(10): 12-17.
- 王爱红, 王琼华. 光栅式自由立体显示器概述[J]. *现代显示*, 2009(10): 12-17.
- [8] YU Yin-jie, CAI Ming-yi, ZHANG Zhi-jiang. Analysis for geometric parameter relation of lenticular sheet based autostereoscopic [J]. *Optoelectronic Technology*, 2010, **30**(1): 11-15
- 于瀛洁, 蔡明义, 张之江. 柱透镜光栅自由立体显示中的几何参数间关系分析[J]. *光电子技术*, 2010, **30**(1): 11-15.
- [9] WANG Tao, ZHANG Tao, ZHANG Chun-guang, *et al.* Optical properties of parallax barrier and its influence on view zone [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, **28**(1): 59-63
- 王涛, 张涛, 张春光等. 狭缝光栅分光特性及其对视区的影响[J]. *液晶与显示*, 2013, **28**(1): 59-63.
- [10] WANG Q H, ZHAO W X, TAO Y H, *et al.* Stereo viewing

- zone in parallax-barrier-based display [J]. *Optic-International Journal for Light and Electron Optics*, 2010, **121**(22): 2008-2011.
- [11] YAMAMOTO H, NISHIMURA H, ABE T, *et al.* Large stereoscopic LED display by use of parallax barrier of aperture grille type[J]. *Chinese Optics Letters*, 2014, **12**(6): 060006.
- [12] WANG Qiong-hua, WANG Ai-hong. Surey on stereoscopic three-dimensional display [J]. *Journal of Computer Applications*, 2010, **30**(3): 579-588.
王琼华,王爱红. 三维立体显示综述.[J]. 计算机应用, 2010, **30**(3): 579-588.
- [13] HOU Chun-pin, XU Guo, SHEN Li-li. Analysis of viewing zone and simulation of the crosstalk based on multi-view autostereoscopic display [J] *Acta Photonica Sinica* 2014, **43**(5): 138-143.
侯春萍,许国,沈丽丽. 多视点自由立体显示串扰分析与视区仿真[J]. 光子学报, 2014, **43**(5): 138-143.
- [14] TIAN Hua, ZHENG Xiao-ing. Problems about number of views and crosstalk tolerance in projective auto-stereoscopic display based on lenticular grating [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, **28**(3): 330-337.
- [15] WU Wei-hua JING Hong-en. Autostereoscopic display technology and measurement [J] *Video Engineering*, 2013, **37**(18): 91-94.
吴蔚华,景洪恩. 自动立体显示技术及测量[J]. 电视技术, 2013, **37**(18): 91-94.