

doi: 10.3788/gzxb20154411.1105003

时分全分辨率可控液晶光栅设计

林婷, 张永爱, 褚子航, 周雄图, 郭太良

(福州大学 物理与信息工程学院, 福州 350002)

摘要:设计了一种可实现分光效果的可控液晶光栅. 该液晶光栅由双层交错结构的驱动电极来控制液晶偏转, 避免了单层控制电极之间的空白区, 增加了控制面积, 同时还实现了快速切换, 补给了因空间分割损失的图像信息, 从而使空分与时分结合实现时分全分辨率的自由立体显示. 利用光刻和镀膜工艺在玻璃基板上制作氧化铟锡-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. 光学显微镜测试表明, 氧化铟锡第一电极和掺铝氧化锌第二电极的宽度为 $275.8 \mu\text{m}$, 两者之间通过 SiO_2 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, 能有效地控制遮光区与透光区的切换, 从而实现时分全分辨率可控液晶光栅.

关键词:自由立体显示; 全分辨率; 驱动电极; 液晶光栅; 狭缝光栅; 光学仿真; 双视点

中图分类号: TN141.9; TN27

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2015)11-1105003-6

Study of a Controllable Full Resolution Liquid Crystal Grating Based on Time Division

LIN Ting, ZHANG Yong-ai, CHU Zi-hang, ZHOU Xiong-tu, GUO Tai-liang

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

Abstract: An electrically tunable liquid crystal grating with two-layer driving staggered electrodes was presented, which could replace the traditional slit liquid crystal grating to achieve a parallax barrier. This grating avoids the blank area between the single-layer electrodes and expands the control area. Besides, it has the advantage of fast switching time to supply the loss of informations caused by space division. A full resolution autostereoscopic display was realized by combining space division and time division. Indium-Tin Oxide (ITO) - SiO_2 -Al-doped ZnO (AZO) driving electrodes with two-layer staggered structure were prepared on the glass substrate using lithography and vacuum coating technology. Liquid crystal was sandwiched between the substrate with driving electrodes and a substrate with common electrodes to form a cell with a thickness of $5 \mu\text{m}$. The optical images show that ITO electrodes and AZO electrodes with the width of $275.8 \mu\text{m}$ are parallelly interdigitated and isolated by SiO_2 insulation layer on the glass substrate. A controllable full resolution liquid crystal was achieved by switching shading areas and transparent areas in the role of driving voltage.

Key words: Autostereoscopic display; Full resolution; Driving electrodes; Liquid crystal grating; Parallax barrier; Optical simulation; Two views

OCIS Codes: 050.2770; 050.6875; 350.2770; 080.2740

0 引言

现实世界是一个三维立体世界, 随着社会进步与科技的快速发展, 二维平板显示器所显示的信息已不能满足人们对观影的需求, 人们除了希望显示信息向

高分辨率、大尺寸等方向发展外, 更希望能逼真还原出现实世界的信息. 因此, 3D 立体显示技术^[1-4]被广泛关注与重视, 三维立体显示技术已风靡市场^[5].

自由立体三维显示(裸眼 3D 显示)无需配戴眼镜等辅助设备, 具有灵活运用、实用性强等优点, 主要有

基金项目: 国家高技术研究发展计划(No. 2013AA030601)和高等学校博士学科点专项科研基金(No. 20133514120011)资助

第一作者: 林婷(1991—), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为信息显示技术. Email: linting@126.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: yongai Zhang@fzu.edu.cn

收稿日期: 2015-06-17; 录用日期: 2015-09-30

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

光栅^[6-7]、集成成像^[8-9]、全息^[10]、体 3D 显示几种. 其中基于双目视差原理的光栅 3D 显示较为成熟, 包括狭缝光栅和柱透镜光栅, 主要是利用人眼间的瞳距, 观看物体时通过狭缝光栅或柱面光栅的分光作用使左右眼分别只看到对应的视图, 即空间分割的思想, 从而产生 3D 效果. 狭缝光栅结构相对简单, 制作加工工艺要求也容易满足, 但通过狭缝光栅所产生的三维立体图像与二维图像相比, 其分辨率较低, 使立体显示的效果受到严重影响^[11-12].

本文利用 Tracepro 光学仿真软件模拟, 设计双层电极结构的液晶光栅, 此结构电极是彼此绝缘且错开平行排列, 可有效避免传统液晶光栅中单层电极存在的空白区, 增大控制面积, 并且可以灵活调整; 利用光刻、镀膜和液晶盒制作等工艺, 制备了可实现全分辨率的液晶光栅.

1 理论设计

1.1 狭缝式光栅 3D 显示原理

传统狭缝式光栅 3D 显示是在显示屏的前方或后方特定位置放置一块构造固定的光栅挡板, 利用挡板的分光作用, 使显示屏上的奇偶像素列分别进入观看者的左右眼, 即左(右)眼只能看到显示屏上的奇(偶)像素列, 右(左)眼只看到显示屏上的偶(奇)像素列, 通过人脑的融合作用, 从而产生立体视觉效果. 图 1 为前置狭缝光栅结构.

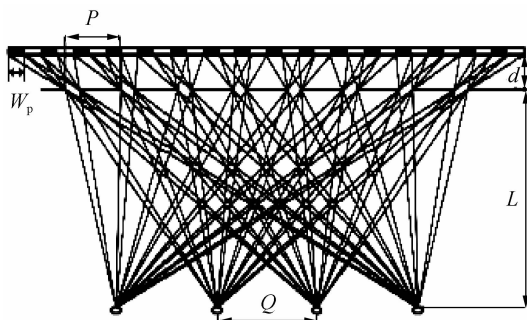


图 1 狭缝光栅立体显示原理

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

裸眼立体显示器包括 2D 显示屏子像素宽度、光栅节距、透光条宽度、挡光条宽度、2D 显示屏与狭缝光栅的距离、2D 显示屏子像素宽度、视点数、最佳观看距离、相邻视差图像视点间距等. 现有狭缝光栅立体显示器结构及参量计算比较成熟, 根据图 1 的几何关系, 由三角形相似原理可得^[13-14]

$$P = \frac{KW_p}{Q + W_p} \quad (1)$$

$$P_t = \frac{QW_p}{Q + W_p} \quad (2)$$

$$P = P_t + P_z \quad (3)$$

$$\frac{d}{L} = \frac{W_p}{Q} \quad (4)$$

式中, K 为片源视点数, Q 为视点间距, W_p 子像素间距, P 为狭缝光栅节距, P_t 为狭缝光栅透光区宽度, P_z 为狭缝光栅不透光区域宽度, d 为狭缝光栅与 2D 显示屏间距, L 为观看距离.

1.2 可控液晶光栅实现时分全分辨率显示原理

液晶在外加电场驱动时, 液晶分子的排列顺序由初始状态改变为另一状态, 从而使液晶盒的光学状态发生改变, 从而控制偏振光的能否透过, 实现一种分光光栅, 因此利用液晶的电光效应^[15-17]可以实现狭缝光栅立体显示. 采用传统结构的液晶光栅实现 3D 显示中左右眼只能看到对应的左右视差图像, 由于空间分割导致分辨率下降, 因此观看者得到的图像信息分辨率下降, 其结构如图 2. 本文设计的液晶光栅具有电压可控、响应速率快等特点, 利用电压控制条纹电极快速切换, 得到前半周期和后半周期的左右眼视差图像. 由于人眼的视觉暂留现象, 前半周期和后半周期看到的左右眼图像信息在人脑中进行合成, 补给因为空间分割损失的图像信息, 从而感受到一副分辨率不下降的图像, 实现时分全分辨率的自由立体显示. 图 3 为设计的液晶光栅结构图, 可以看出此控制电极是双层电极, 彼此间错开平行排列, 电极可以整面控制, 无控制盲区.

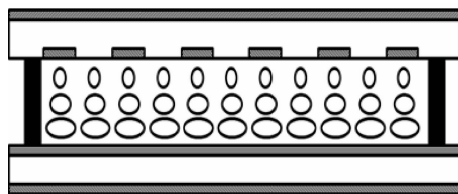
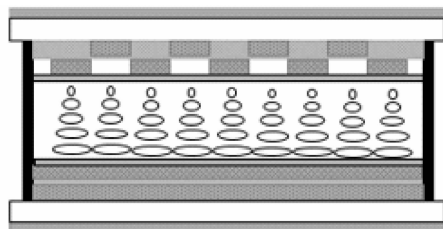


图 2 传统液晶光栅结构

Fig. 2 The structure of traditional liquid crystal grating



(a) Sectional view of liquid crystal grating



(b) Vertical view of the two-layer electrodes

图 3 液晶光栅结构图

Fig. 3 The structure of liquid crystal grating

1.3 控制电极尺寸的设计

HP-LE2001W 显示器分辨率为 1600×900 , 点距为 0.277 mm , 取 Q 视点间距为两眼平均距离 65 mm ; W_p 为 2D 像素点距 0.277 mm , 代入式(2)计算得实验要求的控制电极宽度 P_i 为 0.2758 mm .

2 双视点时分全分辨率立体显示的仿真与分析

利用 Tracepro 光学仿真软件模拟双视点时分全分辨率立体显示. 设定 8×8 阵列的像素光源, 其中 8 列像素光源以二为周期, 分别设定波长值为 600 nm (橙红光)、 500 nm (青绿光), 发光像素在 z 轴正方向开口 120° 的锥角内均匀发光, 总仿真光线 200 万条. 如图 4, 分光光栅需轮换选中的挡板两次, 并分别进行两次模拟仿真, 最后获得两次仿真在接收屏上基于国际照明委员会 (Commission Internationale de L'Eclairage, CIE) 的照度分布数据.

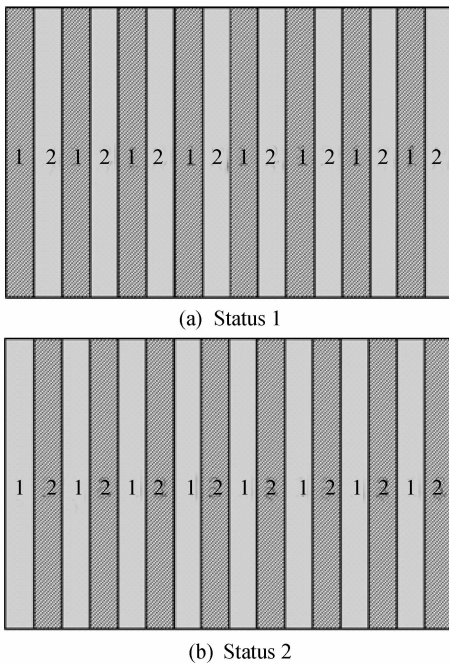


图 4 双视点时分全分辨率立体显示光栅状态

Fig. 4 The grating status of full-resolution stereoscopic display with two view

图 5 是双视点全分辨率立体显示接收屏上基于 CIE 的照度分布图. 图中, 接收屏空间位置上照度的颜色与投射到该位置的像素光源的波长相对应. 若该位置只包含一个波长的光, 则反应该波长的颜色, 若该位置包含两个或两个以上波长的光, 则反应二者复合形成的颜色. 图 5 中, 深色为 600 nm 波长的光, 浅色为 500 nm 的光. 由图可见, 双视点全分辨率立体显示的 CIE 照度是以 130 mm (两倍双眼瞳距) 为周期的, 符合双视点立体显示人眼观看的视区间距.

在双视点时分全分辨率立体显示仿真系统中, 左

右视差图的发光像素是同时点亮的, 在左右视差图的共同作用下, 接收屏上的照度呈现均匀分布, 但是基于 CIE 的照度图分布则呈现一定的规律. 双视点时分

全分辨率立体显示包含两个状态, 在这两个状态下分光光栅是发生切换的. 即分光光栅挡板发生一个 P_i (电极宽度) 单位的位移, 其位移结果是原先的 2D 显示屏上的代表左视图的像素变成为代表右视图的像素. 如图 5(a), 在时刻 1, 左眼接收到 500 nm 波长像素发出的光, 右眼接收到 600 nm 波长像素的光. 如图 5(b), 在时刻 2, 分光光栅发生切换, 左眼接收到 600 nm 波长像素发出的光, 右眼接收到 500 nm 波长像素发出的光, 观看者获得全分辨率立体效果.

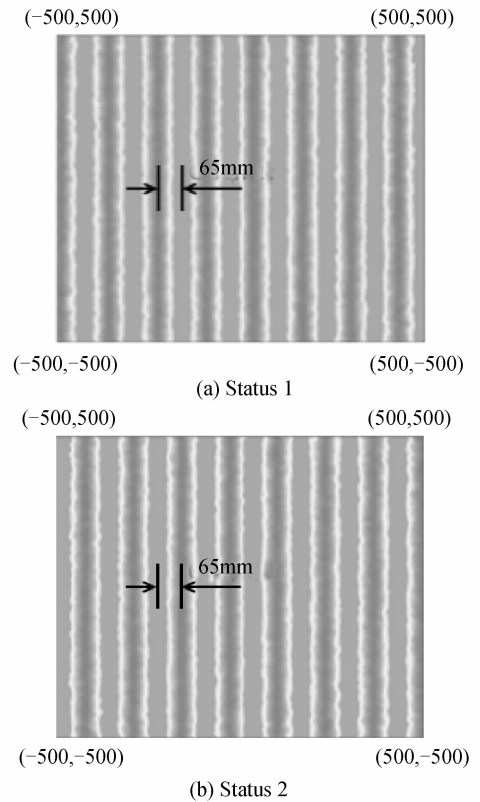


图 5 双视点时分全分辨率立体显示仿真系统在接收屏基于 CIE 的照度分布

Fig. 5 Illuminance distribution of two view full resolution stereoscopic display simulation system based on CIE on the receiving screen

由仿真结果可知, 仿真系统的接收屏上包含左右视差图像素的照度, 在时分全分辨率立体显示的两个状态里, 同一个视区所获得像素发生切换, 即实现了全分辨率显示.

3 实验

3.1 液晶光栅制作过程

利用光刻工艺在洁净的氧化锡 (Indium-Tin Oxide, ITO) 玻璃基板表面 ($100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$) 制备出 ITO 第一电极图案; 采用射频溅射 (WTCJ-600) 在第一

层电极上分别溅射厚度为 160 nm 的 SiO_2 介质层和厚度为 240 nm 的掺铝氧化锌 (Al-doped Zinc Oxide, 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 ITO- SiO_2 -AZO 双层叠状结构电极的上基板. 其次, 利用旋涂工艺将聚酰亚胺原液 (PI) 涂覆于上基板和下基板 (ITO 玻璃基板), 烘干后形成 PI 薄膜. 为了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, 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. 然后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 双层控制电极微结构表征

采用奥林巴斯显微镜对刻蚀完成的控制电极表面进行观测; 采用奥林巴斯 3D 测量激光显微镜 (OLS-4100 型号) 对控制电极三维形貌进行分析.

3.3 时分全分辨率液晶光栅驱动电路测试与观察

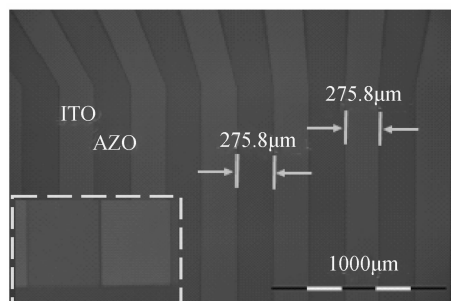
利用柔性电路板将可控液晶光栅与驱动电路连接起来, 开启电源, 在 ITO 第一电极、AZO 第二电极和公共电极间施加不同的电压, 即实现在前半周期 ITO 第一电极和公共电极之间施加频率 100 Hz, 幅值 5 V 的交流驱动信号, AZO 第二电极和公共电极之间不施加电压 (第二电极和公共电极之间等电位), 后半周期 AZO 第二电极和公共电极之间施加频率 100 Hz, 幅值 5 V 的交流驱动信号, ITO 第一电极和公共电极之间不施加电压 (第一电极和公共电极之间等电位), 此时液晶光栅为双视点时分全分辨率光栅. 将可控光栅放置于显微镜物镜下, 利用显微镜观察双视点全分辨率光栅的两个光栅状态并拍摄. 将可控光栅设置于 HP-LE2001w 显示器上, 配套时分的两帧可切换图片, 在固定视区下拍摄显示器显示的变换. 其中, 显示器显示的图案为预先有 AB 字母以像素相错形成的图案, 在可控液晶狭缝光栅工作之后不改变显示器播放图片.

4 测试结果与讨论

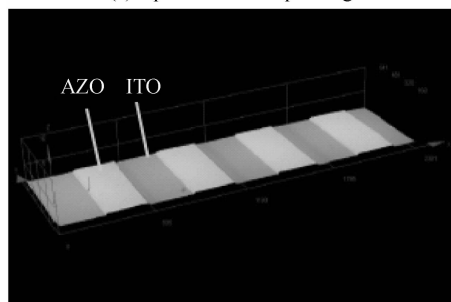
4.1 ITO- SiO_2 -AZO 双层控制电极结构分析

图 6(a) 为 ITO- SiO_2 -AZO 双层控制电极的光学显微镜图. 从图中可以看出, ITO 第一电极与 AZO 第二电极边缘整齐, 相互交错平行排列, 且电极宽度都为 $275.8 \mu\text{m}$, 与设计的电极尺寸一致. 图 6(b) 为 ITO- SiO_2 -AZO 双层控制电极的激光显微镜图. 从图中可以

看出, 控制电极为层状结构, ITO 第一电极在下层, AZO 第二电极在上层, 之间通过 SiO_2 绝缘层隔离开. 此结构可以整面控制, 无控制盲区, 灵活方便.



(a) Optical microscope image



(b) Laser microscope image

图 6 ITO- SiO_2 -AZO 双层控制电极的显微镜图
Fig. 6 Microscope images of ITO- SiO_2 -AZO two layer controllable electrodes

4.2 时分全分辨率液晶光栅效果表征

图 7 为可控液晶光栅实现时分全分辨率控制示意图. 在前半周期时对 ITO 第一电极所对上下玻璃基板位置处施加电压, AZO 第二电极位置处不施加电压, 则 1 处偏振光不通过, 实现遮挡效果, 呈遮光态, 2 处偏振光可通过, 实现透光效果, 呈透光态, 此时观看到前半周期显示的左右眼信息; 在后半周期时对 AZO 第二电极所对上下玻璃基板位置处施加电压, ITO 第一电极位置处不施加电压, 此时 2 处不透光, 实现遮挡效果, 呈遮光态, 1 处则呈透光态, 此时观看到后半周期显示的左右眼信息. 此时前、后半周期得到的左右眼图像信息经过大脑融合, 得到全分辨率的 3D 图像显示.

如图 8 为双视点时分全分辨率的两个状态下的液晶光栅显微镜拍摄图, (a) 为前半周期液晶光栅遮透状态, (b) 为后半周期液晶光栅遮透状态, 由此分别得到两组由不同像素发出的左右眼图像, 液晶光栅在驱动电路的控制下实现时分全分辨率两个状态的切换. 图 8(c)、(d) 为在一固定位置 (同一视区) 下, 拍摄到的液晶光栅后方显示器上的两帧 3D 图片, 根据人眼视觉暂留, 两帧图片经大脑融合, 由此得到时分全分辨率的立体显示.

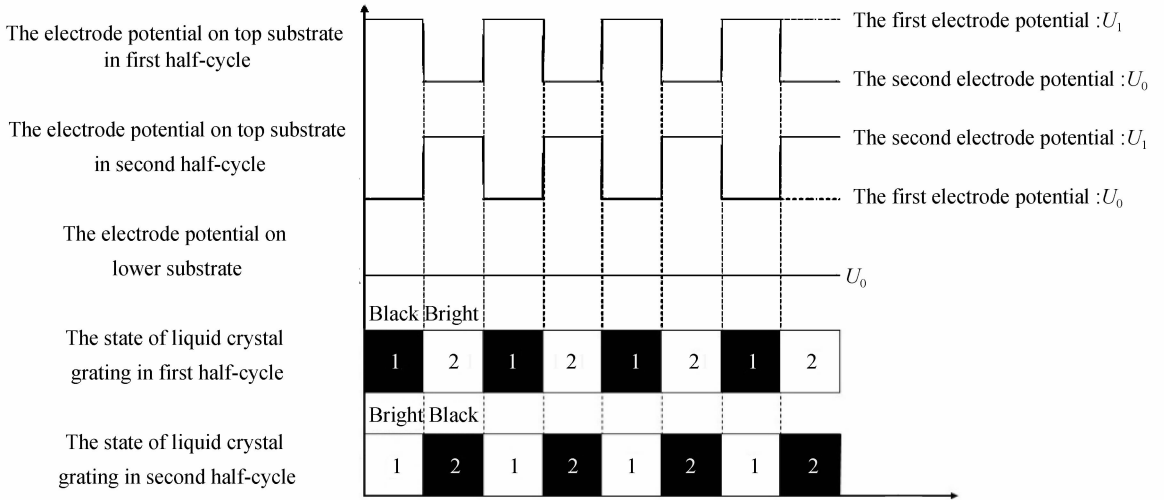


图7 可控液晶光栅实现全分辨率控制示意图

Fig. 7 Schematic diagram of controllable liquid crystal grating realizing full resolution display

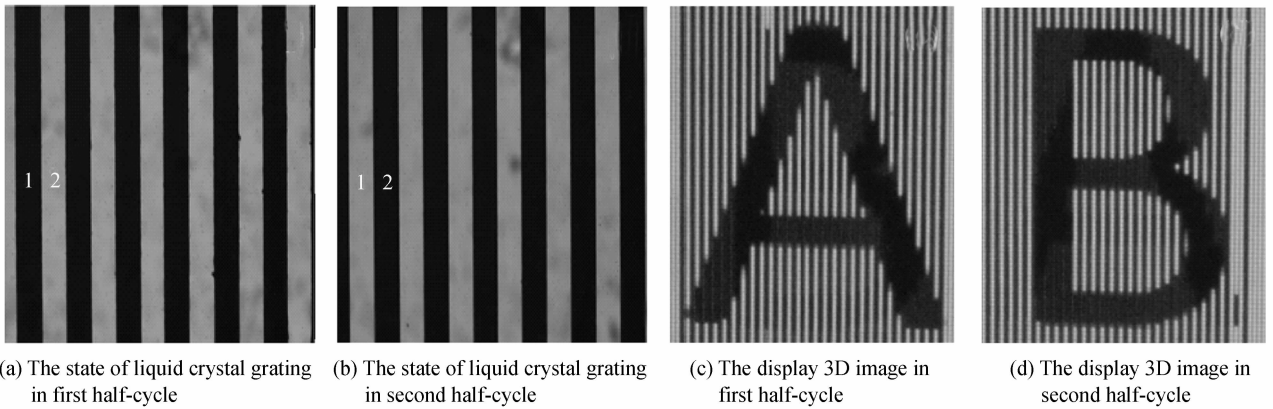


图8 基于可控液晶狭缝光栅的双视点时分全分辨率立体显示器立体效果表征

Fig. 8 Characterization of stereoscopic effect of two view full resolution stereoscopic display based on controllable liquid crystal grating

5 结论

本文根据液晶光栅的工作原理,利用光刻工艺、液晶盒制造工艺,成功制作出可控液晶光栅,并在 HP-LE2001W 显示器上测试光栅.实验结果表明,对此光栅施加驱动电路,在同一可视视区下,不改变图片以及可控液晶狭缝光栅与显示器的相对位置,电压控制条纹电极快速切换,实现液晶光栅透光区和遮光区两个状态快速切换,在一个周期内,观看者可分时获得两组由不同像素发出的左右眼图像信息.由于视觉暂留现象,大脑合成两组信息,与传统的视差屏障式 3D 显示相比,人眼将获得全分辨率的图像.

参考文献

- [1] QI L, WANG Q H, LUO J Y, *et al.* An autostereoscopic 3D projection display based on a lenticular sheet and a parallax barrier[J]. *Journal of Display Technology*, 2012, **8**(7): 397-400.
- [2] FENG Mao-yan, SHEN Chun-lin. Stereoscopic display technique and its research status[J]. *Video Engineering*, 2008, **32**(11): 42-43.

冯茂岩, 沈春林. 立体显示技术及其研究现状[J]. *电视技术*, 2008, **32**(11): 42-43.

- [3] HONG H K, JUNG S M, LEE B J, *et al.* Electric-field-driven LC lens for 3-D/2-D autostereoscopic display[J]. *Journal of the Society for Information Display*, 2009, **17**(5): 399-406.
- [4] SAKAMOTO K, KIMURA R, TAKAKI M. Parallax polarizer barrier stereoscopic 3D display systems[C]. *Active Media Technology*, 2005. (AMT 2005). Proceedings of the 2005 International Conference on. IEEE, 2005: 469-474.
- [5] JIANG Tai-ping, SHEN Chun-lin, TAN Hao. Overview of the true three-dimension volumetric display technologies[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2003 (4): 361-366.
姜太平, 沈春林, 谭皓. 真三维立体显示技术[J]. *中国图象图形学报: A 辑*, 2003 (4): 361-366.
- [6] WANG Qiong-hua, WANG Ai-hong. Survey on stereoscopic three-dimensional display [J]. *Journal of Computer Applications*, 2010, **30**(3): 579-581.
王琼华, 王爱红. 三维立体显示综述[J]. *计算机应用*, 2010, **30**(3): 579-581.
- [7] ZHAO Ren-liang, ZHAO Wu-xiang, WANG Qiong-hua, *et al.* Research on stereo viewing zone in autostereoscopic display based on parallax barrier[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(5): 960-963.
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.
- [8] JUNG S, HONG J, PARK J H, *et al.* Depth-enhanced integral-imaging 3D display using different optical path lengths by polarization devices or mirror barrier array[J]. *Journal of the Society for Information Display*, 2004, **12**(4): 461-467.
- [9] LEI Li-xia, ZHANG Yue-jin, HUANG De-chang. Integrated three-dimensional digital image reconstruction technique[J]. *Video Engineering*, 2014, **38**(23): 5-8.
雷莉霞, 张跃进, 黄德昌. 集成成像三维数字重构技术研究[J]. 电视技术, 2014, **38**(23): 5-8.
- [10] 王琼华. 3D显示技术与器件[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [11] 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.
王琼华, 陶宇虹, 赵悟翔, 等. 基于偏光视差条栅的全分辨率三维自由立体显示器[J]. 中国光学快报, 2010, **8**(1): 22.
- [12] WANG Ai-hong, WANG Qiong-hua. Overview on autostereoscopic display device based on parallax barrier or lenticular lens[J]. *Advance 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.
- [13] LIU Ze-sheng, LI Da-hai, HAO Dun-bo, *et al.* Optimum design of the auto-stereoscopic display using parallax barrier [J]. *Journal of Sichuan University (Natural Science Edition)*, 2010 (2): 317-321.
刘泽晟, 李大海, 郝敦博, 等. 狭缝光栅式自动立体显示器的优化设计[J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2010 (2): 317-321.
- [14] WANG Tao, ZHANG Tao, ZHANG Chun-guang, *et al.* Optical properties of parallax barrier and It's 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.
- [15] WANG Ji-min, CHEN Xiao-xi, XU Zhong-sheng, *et al.* Design and fabrication of BSO liquid crystal light valve[J]. *Experiment Science & Technology*, 2011, **9**(6): 16-18.
王继岷, 陈晓西, 徐钟声, 等. BSO液晶光阀的设计与制作[J]. 实验科学与技术, 2011, **9**(6): 16-18.
- [16] 孙士祥. 液晶显示技术[M]. 1版. 北京: 化学工业出版社, 2013.
- [17] SAID S M, ZULKIFLI A Z S, KAMARUDIN M A, *et al.* Polymer electrolyte liquid crystal system for improved optical and electrical properties [J]. *European Polymer Journal*, 2015, **66**: 266-272.