

一种采用介电突起消除边缘场效应的LCoS

侯文义, 储繁, 田莉兰, 李睿, 顾小情, 周祥屿, 王琼华

引用本文:

侯文义, 储繁, 田莉兰, 等. 一种采用介电突起消除边缘场效应的LCoS[J]. 液晶与显示, 2020, 35(1): 12–18.

HOU Wen-yi, CHU Fan, TIAN Li-lan, et al. Eliminating fringe field effect using dielectric protrusions in LCoS[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2020, 35(1): 12–18.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.3788/YJYXS20203501.0012>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

硅上液晶显示器件结构的优化

Optimized device structure of liquid crystal on silicon

液晶与显示. 2019, 34(10): 945–951 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20193410.0945>

基于FFS架构实现宽窄视角切换

New viewing angle controllable with FFS–LCD

液晶与显示. 2018, 33(3): 182–187 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20183303.0182>

含氟三环NCS液晶材料的介电性能研究

Dielectric properties of fluorine–containing tricyclic NCS liquid crystal materials

液晶与显示. 2018, 33(7): 561–567 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20183307.0561>

不同初始分布向列相液晶电容特性的相场法研究

Phase field method in capacitance characteristics of nematic liquid crystals with different initial alignments

液晶与显示. 2019, 34(4): 327–334 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20193404.0327>

温度对液晶波前校正器响应速度及LUT的影响研究

Effect of temperature on LUT and response speed of liquid crystal wavefront corrector

液晶与显示. 2018, 33(11): 911–917 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20183311.0911>

文章编号:1007-2780(2020)01-0012-07

一种采用介电突起消除边缘场效应的 LCoS

侯文义¹, 储 繁¹, 田莉兰¹, 李 睿¹, 顾小情¹, 周祥屿¹, 王琼华^{2*}

(1. 四川大学 电子信息学院, 四川 成都 610065;

2. 北京航空航天大学 仪器科学与光电工程学院, 北京 100191)

摘要:提出了一种使用介电突起消除边缘场效应的硅基液晶显示器 (Liquid Crystal on Silicon, LCoS)。在像素电极之间设计介电突起结构来阻隔相邻像素电极之间的串扰电场, 通过对 LCoS 的液晶分子指向矢分布和边缘场串扰现象进行仿真, 分析了边缘场效应产生的机理及其影响因素, 并对相应反射率和相位进行了计算和对比。具有介电突起的 LCoS 相比传统 LCoS 在减少相邻像素边缘反射率和相位干扰上有明显的效果, 反射率始终维持在 96%, 相位差保持不变, 对比度大于 35 : 1 的区域接近 60°, 整体视角基本不受影响。所提出的介电突起能够很好地消除横向电场对相邻像素内液晶分子取向的影响, 进而提高了 LCoS 的对比度, 大大改善了显示效果。

关键词:硅基液晶; 边缘场; 介电突起; 像素电极

中图分类号: TB133 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20203501.0012

Eliminating fringe field effect using dielectric protrusions in LCoS

HOU Wen-yi¹, CHU Fan¹, TIAN Li-lan¹, LI Rui¹, GU Xiao-qing¹,ZHOU Xiang-yu¹, WANG Qiong-hua^{2*}

(1. School of Electronics and Information Engineering,

Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2. School of Instrumentation and Optoelectronic Engineering,

Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract: An LCoS (Liquid Crystal on Silicon) using dielectric protrusions to eliminate fringe field effect is proposed. The dielectric protrusion structure is designed between the pixel electrodes to block the crosstalk electric field between the adjacent pixel electrodes. The liquid crystal molecular director distribution and fringe field crosstalk of the LCoS are simulated, the mechanism of fringe field effect and its influencing factors are analyzed, and the corresponding reflectivity and phase are calculated and compared. The LCoS with dielectric protrusions has a significant effect on eliminating the edge reflectance and phase interference of adjacent pixels compared to the traditional LCoS. The reflectance is always maintained at 96%, the phase difference remains unchanged, areas with contrast greater than 35 : 1 are over to 60° and the overall viewing angle is largely unaffected. The proposed dielectric protrusion can eliminate the influence of the transverse electric field on the orientation of liquid crystal molecules in adjacent pixels, which improves the contrast of LCoS and greatly

收稿日期: 2019-09-12; 修订日期: 2019-10-16.

基金项目: 国家自然科学基金 (No.61535007)

Supported by National Natural Science Foundation of China (No.61535007)

* 通信联系人, E-mail: qionghua@buaa.edu.cn

improves the display effect.

Key words: LCoS; fringe field; dielectric protrusion; pixel electrode

1 引言

随着虚拟现实技术和可穿戴显示器的快速发展,微显示器受到越来越多的关注。LCoS (Liquid Crystal on Silicon, 硅基液晶) 因其高亮度、高开口率、高分辨率、低功耗和紧凑性而在微显示器中得到广泛应用^[1-4]。为了获得更高的分辨率,LCoS 的像素大小($<10\ \mu\text{m}$)和相邻像素间隙($\sim 1\ \mu\text{m}$)设计得很小,当施加电场后,相邻两像素之间的边缘场效应变得不可忽略,相邻像素之间的边缘电场能够影响到彼此的液晶分子排列,从而扰乱本来液晶分子排列方式,显示亮度和对比度将会受到严重影响^[5-12]。

为了降低边缘场效应对液晶显示器显示效果的影响,刘绍锦等人提出了混合排列模式(HAN)的方法^[13]。在混合排列模式方法下,液晶盒一侧基板上的液晶分子垂直表面排列,施加电场后液晶分子转动较为平滑,在像素边界处不会产生明显的扰动,可以大大提高显示性能,但是这会使取向工艺变得复杂。而李朋等人提出了双边叉指电极结构的方法^[14],液晶盒的顶部和底部都使用叉指电极结构,偏置电压施加到同一平面内的相邻电极上和上下相对的电极上。这种特殊的电极结构在相邻电极之间产生一个水平电场,同时在上下相对电极之间

产生一个垂直电场。水平电场协助减少相邻电极之间的液晶分子指向矢的转动,而垂直电场驱使电极中间区域的液晶分子指向矢垂直于电极平面取向,从而消除边缘场,但是这种电极设计方式增加了驱动难度。

本文提出了一种使用介电突起消除边缘场效应的 LCoS。通过在相邻像素之间引入介电突起,施加电压时相邻像素之间的边缘场被介电突起阻隔,从而消除了边缘场对相邻像素之间的液晶分子指向矢分布的影响,LCoS 的显示效果 and 对比度得到了提高。由于介电突起位于 LCoS 的非像素区域,因此 LCoS 的亮度和图像质量不会受到影响。此外,对 LCoS 的液晶分子指向矢分布和边缘场串扰现象进行了仿真,分析了边缘场效应产生的机理及其影响因素,并对相应反射率和相位进行了计算和对比。

2 器件结构和原理

本文提出的 LCoS 结构如图 1 所示,包括偏振片、玻璃基板、透明平面公共电极、液晶层、介电突起、透明方形像素电极、绝缘层、铝反射镜和硅基板。玻璃基板和硅基板彼此平行设置,透明平面公共电极和透明方形像素电极彼此平行设置,液晶层采用平行取向,介电突起利用光刻工艺制作在相邻像素电极之间,整体驱动电路是利用

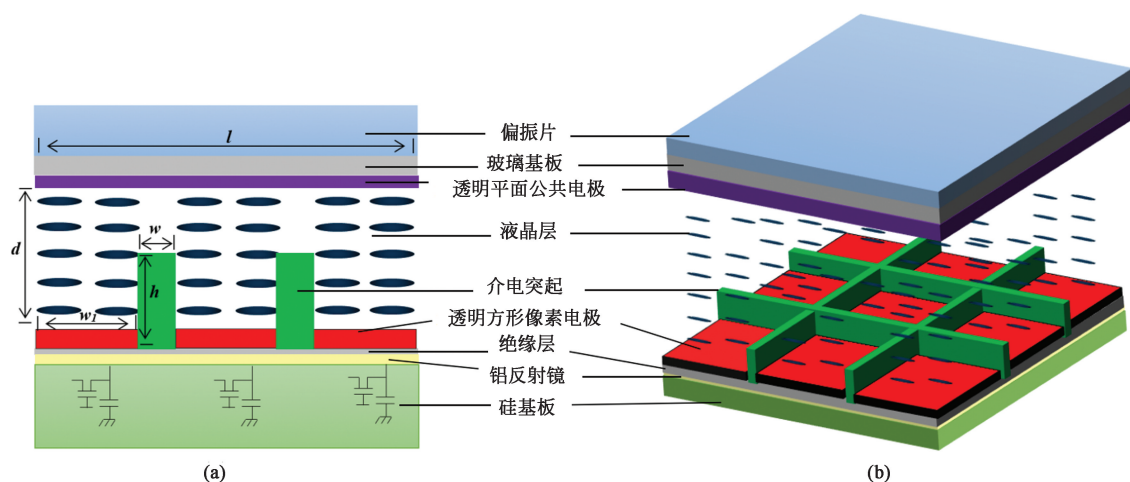


图 1 具有介电突起的 LCoS 结构。(a) 剖面图;(b) 3D 图。

Fig.1 LCoS structure with dielectric protrusions. (a) Sectional view; (b) 3D diagram.

CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) 工艺在硅基板上进行制作, 然后磨平硅片表面, 并依次镀上铝反射镜、绝缘层、透明方形像素电极和介电突起, 构成 CMOS 基板, 然后将 CMOS 基板与带有透明平面公共电极的玻璃基板贴合, 注入液晶材料, 最后封装成 LCoS。

LCoS 是利用外加电场控制液晶分子的排列状态, 从而改变液晶盒的光学性质。本文采用平行取向 (Parallel Alignment, PA) 型液晶盒来研究和消除边缘场效应。在 PA 型的液晶盒中, 主要利用透明平面公共电极和透明方形像素电极之间产生的纵向电场对光进行调制。如果对 LCoS 的某一个像素施加电压, 这一个像素的正上方会形成良好的纵向场, 但同时周围的像素也充当了公共电极, 施加电压的像素与周围的像素之间就会存在串扰电场, 产生了所谓的边缘场效应。高分辨率 LCoS 的边缘场效应与像素电极宽度和液晶盒厚度的比率相关, 比率越小, 相邻像素之间的边缘场效应越强^[15]。而对于满足超高分辨率和超快响应速度的 LCoS, 需要的像素单元更小, 同时液晶层也需要很薄, 故相邻像素电极边缘处的影响可以延伸至像素电极中心, 不可避免地增强了边缘场的串扰, 使得像素电极上方的液晶分子初始排列发生变化, 在表面锚定、体弹性和电场作用下达到一个新的平衡。这样在这个像素内液晶分子排列会发生畸变, 在显示效果上体现为亮度的不均匀^[13]。

本文设计的降低边缘场的介电突起位于相邻像素电极之间, 按照排列方式不同, 可分为纵向突起和横向突起。通过介电突起对边缘电场的分压作用隔绝边缘场效应使相邻像素之间的串扰大大减小, 从而提高显示效果。为了进一步研究边缘场效应, 模拟了 LCoS 的液晶分子指向矢分布和边缘场串扰现象, 并计算了相应的反射率和相位变化, 最后分析了 LCoS 的等对比度视角图。

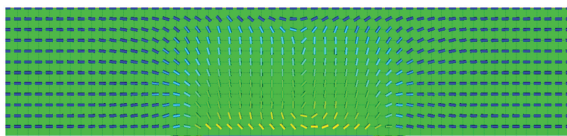
3 仿真结果和讨论

本文使用 Techwiz LCD 软件来仿真传统 LCoS 和具有介电突起结构的 LCoS。在仿真中,

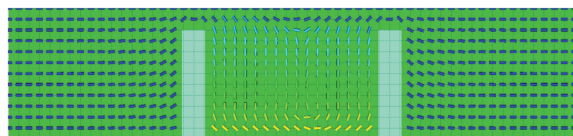
透明平面公共电极和透明方形像素电极为氧化铟锡 (ITO) 电极, 液晶层使用 E7 液晶材料, 介电突起使用 SU-8 光刻胶, 绝缘层使用 SiO_2 材料。采用的入射光波长 $\lambda = 550 \text{ nm}$, 偏振片透光轴方向为 0° , 偏振片的厚度为 $230 \mu\text{m}$, 玻璃基板的边长 $l = 24.5 \mu\text{m}$, 透明平面公共电极的厚度为 $0.04 \mu\text{m}$, 液晶盒厚 $d = 3 \mu\text{m}$, 介电突起的高度 h 和宽度 w 分别为 $2 \mu\text{m}$ 和 $1 \mu\text{m}$, 透明方形像素电极的边长 $w_1 = 7.5 \mu\text{m}$, 绝缘层和铝反射镜的厚度均为 $0.01 \mu\text{m}$; 透明方形像素电极的工作电压 V_m 为 $0 \sim 10 \text{ V}$, 介电突起的介电常数 $\epsilon = 3.5$ 。采用的 E7 液晶材料特性为: 在光波长为 550 nm 时, 非常光折射率 $n_e = 1.741$, 寻常光折射率 $n_o = 1.517$, 饱和双折射率 $\Delta n = 0.224$, 垂直介电常数 $\epsilon_\perp = 5.3$, 水平介电常数 $\epsilon_\parallel = 16.7$, 相对介电常数 $\Delta\epsilon = 11.4$, 黏度系数 $\eta = 29 \text{ mPa/s}$ 。

通过软件首先模拟了传统 LCoS 和具有介电突起的 LCoS 在对中心像素电极施加电压的情况下液晶分子的排布, 如图 2 所示, 其中传统 LCoS 在对中心像素电极施加电压的情况下边缘电场对相邻像素液晶分子排布的影响如图 2(a) 和 2(c) 所示。由图可知, 相邻像素边缘的液晶分子发生了转动, 边缘场效应严重影响了相邻像素的液晶分子初始指向分布, 显示效果也受到了严重影响。而具有介电突起结构的 LCoS, 如图 2(b) 和 2(d) 所示。在介电突起结构的电场阻隔作用下, 基本只有施加电压的中心像素内的液晶分子发生了转动, 在不加电压的相邻像素内的液晶分子基本不受施加电压的中心像素的电场影响, 液晶分子没有发生转动, 显示效果不会受到影响, 说明介电突起对消除 LCoS 中边缘场效应有着明显的效果。

图 3 为传统 LCoS 和具有介电突起的 LCoS 在对中心像素电极施加电压时相邻像素的反射光分布和反射率曲线。图 3(a) 为传统 LCoS 在中心像素加电时的反射光分布, 可以看出像素之间的边缘场效应使相邻像素的灰阶发生了改变, 亮度均匀性受到了影响, 进而影响显示效果。为了解决这一问题, 我们提出具有消除边缘场的介电突起的 LCoS, 其仿真效果如图 3(b) 所示, 像素区域显示亮度均匀, 非像素区域有轻微的灰度变化, 但



(a)



(b)

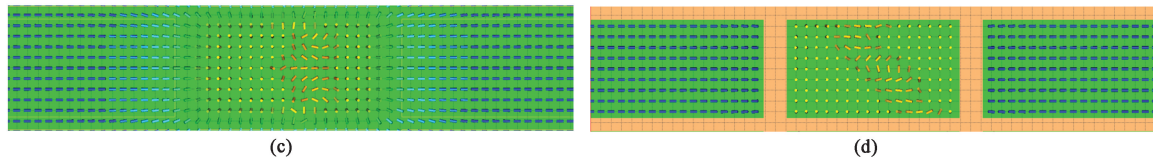


图 2 LCoS 在对中间像素加电场时相邻像素液晶分子排布对比。(a)传统 LCoS 液晶显示盒的分子排布(剖面图);(b)具有介电突起的 LCoS 液晶显示盒的分子排布(剖面图);(c)传统 LCoS 液晶显示盒的分子排布(俯视图);(d)具有介电突起的 LCoS 液晶显示盒的分子排布(俯视图)。

Fig.2 Comparison of liquid crystal molecules arrangement of adjacent pixels when LCoS applies electric field to intermediate pixels. (a) Molecular arrangement of a conventional LCoS liquid crystal display cell (cross-sectional view); (b) Molecular arrangement of an LCoS liquid crystal display cell with dielectric protrusions(cross-sectional view); (c) Molecular arrangement of a conventional LCoS liquid crystal display cell (top view); (d) Molecular arrangement of an LCoS liquid crystal display cell with dielectric protrusions (top view).

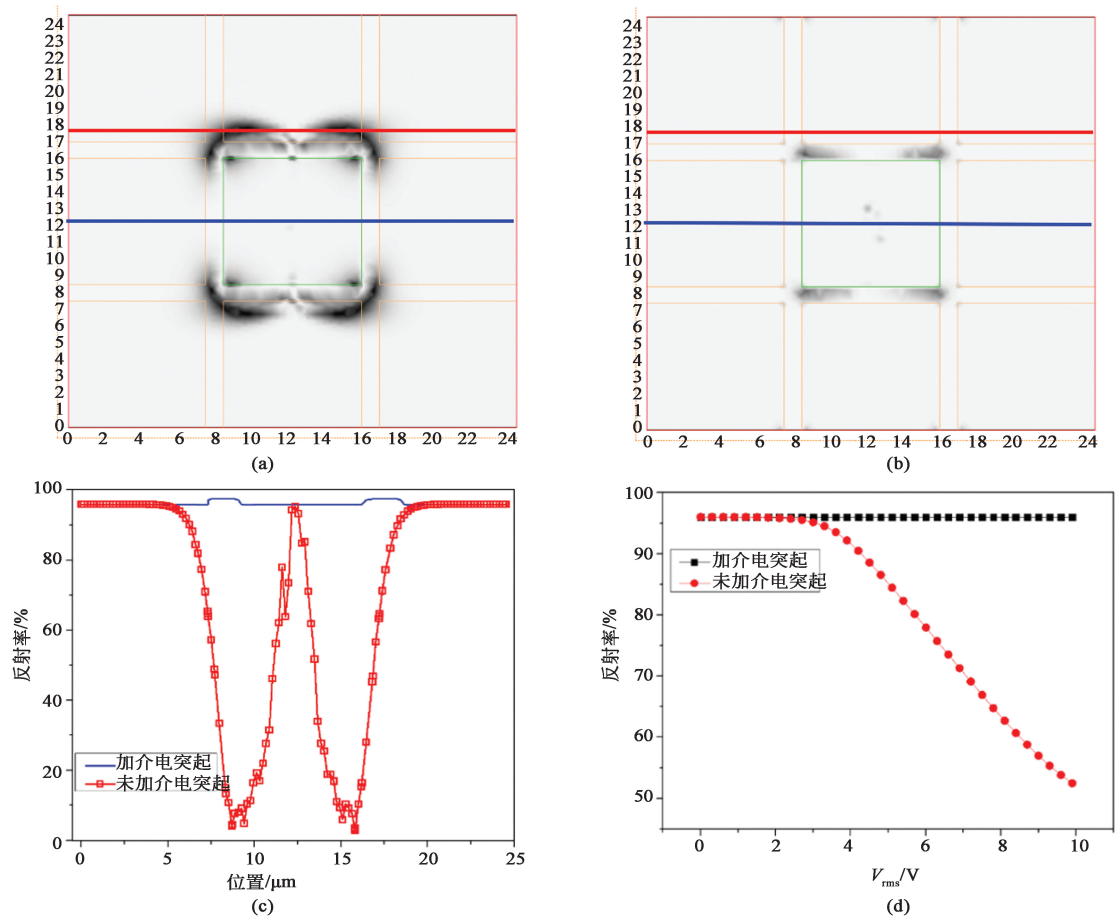


图 3 传统 LCoS 和具有介电突起的 LCoS 在对中心像素电极施加电压时相邻像素的反射光分布和反射率曲线。(a)传统 LCoS 在中心像素加电时的反射光分布;(b)具有介电突起的 LCoS 在中心像素加电时的反射光分布;(c)传统 LCoS 和具有介电突起的 LCoS 在中心像素施加 5 V 电压时相邻像素反射率随位置的变化曲线;(d)传统 LCoS 和具有介电突起的 LCoS 在中心像素加电时相邻像素反射率随电压的变化曲线。

Fig.3 Reflected light distribution and reflectance curves of adjacent pixels when conventional LCoS and LCoS with dielectric protrusions applies voltage to the intermediate pixel electrode. (a) Reflected light distribution of conventional LCoS when LCoS applies electric field to intermediate pixels; (b) Reflected light distribution of LCoS with dielectric protrusions when LCoS applies electric field to intermediate pixels; (c) Relationship between the reflectivity of adjacent pixels and the position of the conventional LCoS and the LCoS with dielectric protrusions when the intermediate pixel is applied with a voltage of 5 V; (d) Relationship between the reflectivity of adjacent pixels and the voltage of conventional LCoS and LCoS with dielectric protrusions when LCoS applies electric field to intermediate pixels.

并不会影响整体显示效果,说明介电突起很好地阻隔了边缘电场,消除了边缘场对相邻像素成像效果的影响。图 3(c)为 5 V 电压时传统 LCoS 和具有介电突起的 LCoS 在图 3(a)和图 3(b)所示红色实线区域反射率随位置的变化曲线,可以看出传统 LCoS 在对中心像素加电时相邻的上一个像素靠近中心加电像素的区域反射率骤降,与反射光分布图 3(a)一致,说明相邻像素的亮度受到了影响。而具有介电突起的 LCoS 在相同情况下反射率为 96%,基本保持不变,与反射光分布图 3(b)一致,显示效果未受到边缘场的影响。图 3(d)为传统 LCoS 和具有介电突起的 LCoS 在图 3(a)和图 3(b)所示红色实线区域中反射率随电压

的变化曲线,由图可知,传统 LCoS 的反射率在电压大于 3 V 时开始下降,随着电压的增加,反射率逐渐变小,受到边缘场的影响越来越严重,而具有介电突起的 LCoS 反射率基本保持不变,不随电压的增加而改变,说明介电突起可以消除传统 LCoS 中的边缘场效应。我们还仿真了传统 LCoS 和具有介电突起的 LCoS 在对中心像素电极施加电压时相邻像素的相位分布和整体视角对比,如图 4 所示。图 4(a)为传统 LCoS 和具有介电突起的 LCoS 在图 3(a)和图 3(b)所示蓝色实线区域中相位随位置的变化曲线,图 4(a)中的红色实线是不加突起的传统 LCoS 的相位调制,相位曲线在像素间隙处是一条斜线,说明两像素之

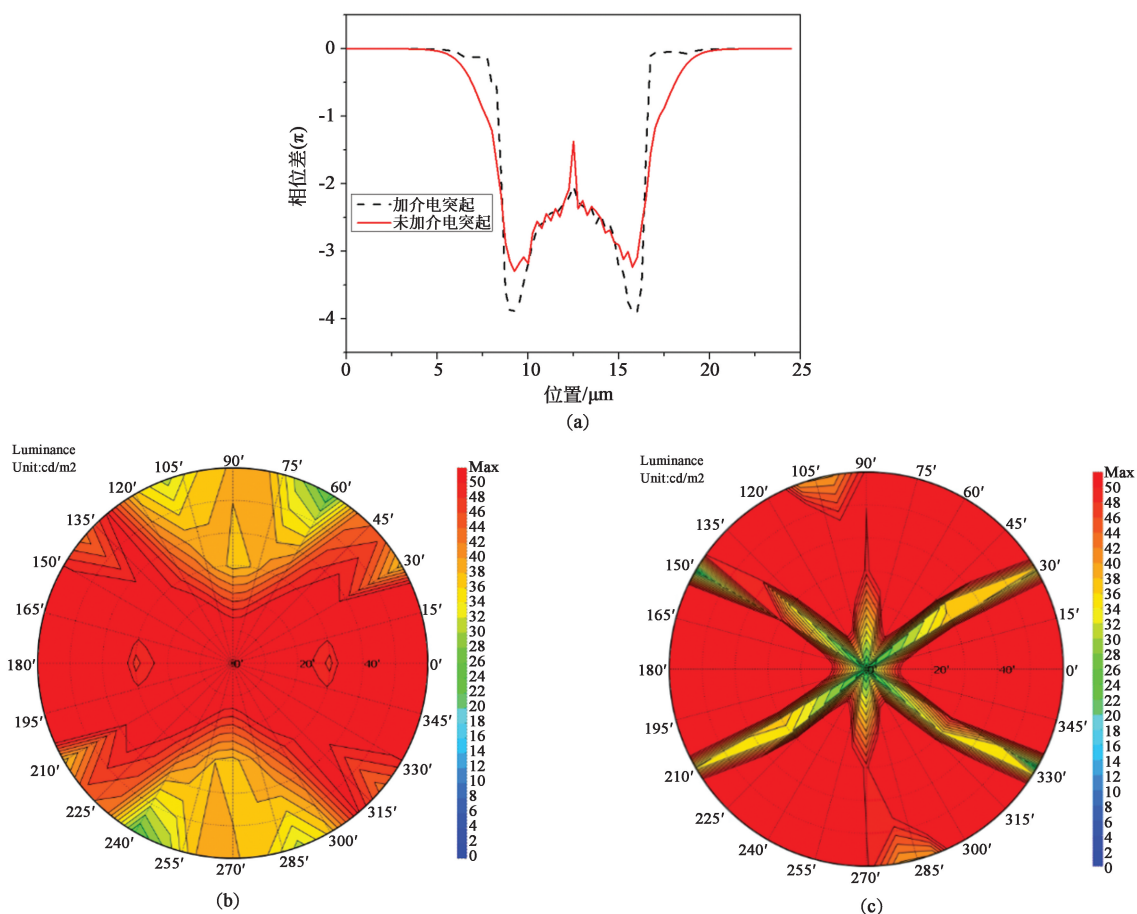


图 4 传统 LCoS 和具有介电突起的 LCoS 在对中心像素电极施加电压时相邻像素的相位曲线和视角对比。(a)传统 LCoS 和具有介电突起的 LCoS 在对中心像素加电时相邻像素间的相位对比;(b)传统 LCoS 的整体视角图;(c)具有介电突起的 LCoS 的整体视角图。

Fig.4 Phase curve and viewing angle of the adjacent pixels when the conventional LCoS and the LCoS with dielectric protrusions applies voltage to the intermediate pixel electrode. (a) Phase contrast of the adjacent pixels when the conventional LCoS and the LCoS with dielectric protrusions applies voltage to the intermediate pixel; (b) The overall viewing angle of conventional LCoS; (c) The overall viewing angle of LCoS with dielectric protrusions.

间的液晶分子受到了边缘场的影响存在扰动,而具有介电突起的 LCoS,如黑色虚线所示,相位曲线在两像素之间明显更为陡峭,相位差基本保持不变,相邻像素的液晶分子没有受到影响,说明介电突起大大降低了边缘场带来的串扰。图 4(b)和图 4(c)分别为传统 LCoS 和具有介电突起的 LCoS 的整体视角图。可以看出,传统 LCoS 的对比度大于 35 : 1 的区域接近 50°,而具有介电突起的 LCoS 对比度大于 35 : 1 的区域接近 60°,但中心部分区域对比度有所下降,这是因为 LCoS 暗态时像素边缘的液晶分子由于介电突起的作用而存在一定的初始倾斜角,特定偏振角度的光线入射,导致存在初始反射率,从而影响中心对比度。

整体来看,介电突起对 LCoS 的视角影响不大,两者的视角基本相同。

4 结 论

提出了一种使用介电突起消除边缘场效应的 LCoS。通过仿真得到了高分辨率 LCoS 液晶分子指向矢分布和边缘场串扰现象,计算出了相应的反射率和相位曲线,分析了边缘场效应的影响,并探讨了边缘场效应的产生机理,通过在像素电极之间制造介电突起结构,施加电压时相邻像素之间的边缘场被介电突起阻隔,从而消除了边缘场效应,提高了显示的对比度和亮度均匀性。

参 考 文 献:

- [1] HUANG Y G, LIAO E L, CHEN R, *et al.* Liquid-crystal-on-silicon for augmented reality displays [J]. *Applied Sciences*, 2018, 8(12): 2366.
- [2] VEWEIRE B, DEFEVER R. Limitation of resolution of LCOS-based projection displays by diffraction effect [C]// *Proceedings of the 19th International Display Research Conference*. Berlin: SID, 1999: 489-492.
- [3] CUYPERS D, DE SMET H, VAN CALSTER A. Fringe field effects in microdisplays [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2005, 36(1): 1298-1301.
- [4] 王伟,石家伟.微显示[J].液晶与显示,2005,20(5):430-433.
WANG W, SHI J W. Microdisplays [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2005, 20(5): 430-433. (in Chinese)
- [5] CUI J P, FAN H X, WANG Q H. A polarisation-independent blue-phase liquid crystal microlens using an optically hidden dielectric structure [J]. *Liquid Crystals*, 2017, 44(4): 643-647.
- [6] DOU H, CHU F, GUO Y Q, *et al.* Large aperture liquid crystal lens array using a composited alignment layer [J]. *Optics Express*, 2018, 26(7): 9254-9262.
- [7] 吕文明,张红霞,宋晓敏,等.梯形凸起电极液晶变焦透镜[J].液晶与显示,2018,33(1):30-37.
LV W M, ZHANG H X, SONG X M, *et al.* Tunable liquid crystal lens with raised trapezoidal electrodes [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2018, 33(1): 30-37. (in Chinese)
- [8] ASATRYAN K, PRESNYAKOV V, TORK A, *et al.* Optical lens with electrically variable focus using an optically hidden dielectric structure [J]. *Optics Express*, 2010, 18(13): 13981-13992.
- [9] SOVA O, RESHETNYAK V, GALSTIAN T, *et al.* Electrically variable liquid crystal lens based on the dielectric dividing principle [J]. *Journal of the Optical Society of America A*, 2015, 32(5): 803-808.
- [10] SOVA O, RESHETNYAK V, GALSTIAN T. Theoretical analyses of a liquid crystal adaptive lens with optically hidden dielectric double layer [J]. *Journal of the Optical Society of America A*, 2017, 34(3): 424-431.
- [11] SOVA O, RESHETNYAK V, GALSTIAN T. Modulation transfer function of liquid crystal microlenses and micropisms using double dielectric layer [J]. *Applied Optics*, 2018, 57(1): 18-24.
- [12] 窦虎.大焦距范围调制的液晶透镜[D].成都:四川大学,2019.
DOU H, Liquid crystal lens with a large tunable focal length range [D]. Chengdu: Sichuan University, 2019. (in Chinese)
- [13] 刘绍锦,凌志华.微显示器件中的边缘场效应及其改善方法[J].液晶与显示,2006,21(6):625-629.
LIU S J, LING Z H. Fringe field effect in microdisplay and elimination method [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2006, 21(6): 625-629. (in Chinese)

- [14] 李朋.面向全息显示的 LCOS 盒边缘场效应研究[D].合肥:安徽大学,2013.
LI P. On the fringing-field effect of LCOS panels for holographic display [D]. Hefei: Anhui University, 2013. (in Chinese)
- [15] 郭正波.高分辨率时序 LCoS 显示器及边缘场效应研究[D].南京:东南大学,2017.
GUO Z B. Research on high resolution field sequential color LCoS display and fringing field effect [D]. Nanjing: Southeast University, 2017. (in Chinese)

作者简介:



侯文义(1993—),男,河南安阳人,硕士,2017年于河南师范大学获得学士学位,主要从事液晶显示方向的研究。
E-mail:1242978129@qq.com



王琼华(1969—),女,四川巴中人,教授,博士生导师,博士,2001年于电子科技大学获得博士学位,主要从事信息显示方面的研究工作。E-mail: qionghua@buaa.edu.cn