

微结构用于视角可控的液晶显示技术

钟德镇, 刘瑞, 姜丽梅

引用本文:

钟德镇, 刘瑞, 姜丽梅. 微结构用于视角可控的液晶显示技术[J]. *液晶与显示*, 2021, 36(5): 687–693.

ZHONG De-zhen, LIU Rui, JIANG Li-mei. Viewing angle controllable liquid crystal display technology with micro structure[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2021, 36(5): 687–693.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.37188/CJLCD.2020-0296>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

四向宽窄视角可切换的液晶显示技术

Four-ways viewing angle switchable liquid crystal display technology

液晶与显示. 2020, 35(12): 1278–1283 <https://doi.org/10.37188/YJYXS20203512.1278>

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>

一种新的视角可控的液晶显示仿真研究

New viewing angle controllable LCD

液晶与显示. 2015(3): 538–542 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20153003.0538>

一种宽视角和快速响应的连续视角可控液晶显示

Continuous viewing angle controllable liquid crystal display with wide viewing angle and fast response

液晶与显示. 2016, 31(7): 661–666 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20163107.0661>

窄视角蓝相液晶显示器

Blue phase liquid crystal display for narrow viewing angle

液晶与显示. 2016, 31(9): 847–852 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20163109.0847>

文章编号:1007-2780(2021)05-0687-07

微结构用于视角可控的液晶显示技术

钟德镇*, 刘 瑞, 姜丽梅

(昆山龙腾光电股份有限公司 江苏省龙腾平板显示技术研究院, 江苏 昆山 215301)

摘要:为满足用户对分享性资料及机密性资料具有不同的视觉需求,本文主要围绕笔记本电脑显示领域的视角可显示技术展开探讨,提出一种新型的多视角可切换笔记本电脑显示技术。方法为采用背光模块结合百叶窗结构膜片设计,调光液晶盒与液晶显示盒双盒搭配,液晶显示面板中设置微结构棱镜图形,通过控制调光液晶盒的信号与背光侧电流调整,实现广视角模式与防窥模式一键自由切换。当使用者需要共享信息时,打开宽视角模式,此时背光源为高电平电流模式,调光液晶盒的垂直电场为弱电场状态;当使用者想要保护显示信息时,切换至窄视角模式,背光电流随之切换至低电平电流模式,调光液晶盒的垂直电场增强。实验结果表明本文提出的新型多视角可控笔电显示技术,在窄视角模式下,在视角大于 45° 后显示屏显示内容达到隐私防窥;宽视角模式具备与业界广视角显示器同等的广视角的全视角显示特性。本技术研究的视角可控技术,视角模式可灵活切换,在笔记本电脑防窥显示领域具有很好的应用前景。

关键词:视角可控;百叶窗结构膜片;调光液晶盒;双盒;微结构棱镜

中图分类号:TN27 **文献标识码:**A **doi:**10.37188/CJLCD.2020-0296

Viewing angle controllable liquid crystal display technology with micro structure

ZHONG De-zhen*, LIU Rui, JIANG Li-mei

(*Institute of Jiangsu (IVO) Flat-Panel-Display Technologies,
InfoVision Optoelectronics (Kunshan) Co., Ltd., Kunshan 215301, China*)

Abstract: In order to satisfy the visual requirement of information sharing and confidential information protection, the research work mainly focuses on controllable visual angle technology applied to notebook display area, and proposes a new multi view switchable notebook display technology. The method combines backlight module with window-shades louver film, uses two cell design meaning consist of a dimming liquid crystal display (DLCD) device and a LCD display with micro lens, wide viewing mode and privacy mode can be switched by one keyboard toggle by modulating the signal of DLCD and the current of backlight. When users want to share information, it performs a sharing wide view mode. On this situation, the current of the backlight is higher and weak vertical electric field is applied to the DLCD. When it switches to a privacy mode for users to protect the display information, the current of the backlight switches to a lower state, and the vertical electric field of DLCD becomes strong. When the view angle is larger than 45° in horizontal direction, the display image is blocked well in nar-

收稿日期:2020-11-05;修订日期:2020-12-28.

* 通信联系人, E-mail: smartchung@ivo.com.cn

row viewing angle mode. The wide view mode has the same wide view angle display characteristics as the industry wide view displays. The viewing controllable technology studied in this paper has a good application prospect in the field of anti-peep notebook display as the viewing angle can be switched freely with a high image quality and without sacrificed any aperture ratio.

Key words: viewing angle controllable; louver film; dimming liquid crystal display; dual cell; micro lens

1 引言

随着社会经济和科学技术的进步,用户对于分享性资料及机密性资料具有不同的视觉需求,单一视角模式的显示屏已经不能满足使用者的需求,液晶显示屏最好拥有自身在宽窄视角模式之间转换的能力。当使用者需要共享信息时,打开宽视角模式(Wide Viewing Angle, WVA);当使用者想要保护显示信息时,使用窄视角模式(Narrow Viewing Angle, NVA)。由此,视角可控显示屏成为现代平板显示领域内一个新兴的发展方向,它的应用领域非常广泛,大至自动取款机等银行设备,小至人们最常用的手机、笔记本电脑等消费性电子产品。针对这种市场的新兴需求,视角可控显示屏也应运而生,成为近年来各大显示公司的热点与新兴研究方向^[1-2]。

现有技术对于宽窄视角切换的实现有如下几个途径:(1)利用对多畴像素的驱动达到视角可变显示。但是这种方法涉及到后台驱动程序,技术与工艺比较复杂。(2)通过调整不同电压来控制暗态对比达到视角可变的显示目的。利用在大视角处形成严重的灰阶反转等光学性差异,使观察者在在大视角处观察到的影像变得非常模糊而无法辨别,从而得到窄视角的显示状态,提供的窄视角模式是一反转视角模式。(3)在背光侧与常白液晶显示面板之间设置调光器件液晶盒,在常白扭曲向列相液晶盒与上层偏光板之间设置光学补偿液晶盒,该架构搭配背光为准直光出射背光结构。当光学补偿液晶盒关闭时,对扭曲向列相显示盒进行补偿,同时,调光器件液晶盒不给电,由于调光器件液晶盒此时对光起到散射作用,表现出广视角显示模式;而当光学补偿液晶盒给电时,对扭曲向列相液晶盒的补偿作用消失,调光器件液晶盒打开,从背光侧准直出射光的光路未发生变化,切换至窄视角防窥模式。(4)利用在显示器表面

贴附防窥功能的保护膜来达到防窥效果^[3-8]。

以上方法能够在现有显示技术基础上有效地实现宽窄视角切换功效。本文介绍的宽窄视角切换技术是基于现有负性液晶的边缘场切换技术(Fringe Field Switching, FFS)的 LCD 提出的一种多视角可切换笔记本电脑显示技术,相比于上述方法不同的是,本文提出的架构为通过在 LCD 中设置微型棱镜结构,搭配额外的调光液晶盒,以及背光侧设置光栅百叶窗结构的调光膜片显示模式,通过结合光从背光侧出射经过光栅结构与微型棱镜结构,调整调光液晶盒的电压实现大视角亮度的调整,从而改变液晶显示视角大小,达到宽视角与窄视角切换的目的。

2 工作原理与仿真分析

2.1 宽窄视角显示模式的工作原理

图 1 为本文提出架构的液晶显示原理图示,主要由 DLCD、带有微结构的 LCD、背光源模块(含百叶窗结构层 Louver film)组成。其中 DLCD 上基板侧与 LCD 上基板与下基板侧均包含偏振器(图中未示出),液晶显示盒的上偏振器与下偏振器成正交关系。DLCD 的上偏振器的偏光轴方向与液晶显示盒的上偏振器的偏振轴方向平行。DLCD 的调光方向为左右视角。LCD 中的微结构棱镜图形的排列方向与背光侧百叶窗结构膜片的光栅排列方向平行。

本技术架构实现宽窄视角的工作原理为:从背光(Back Light, BL)出射的光,经过百叶窗结构层(Louver film),穿过光栅遮挡部分的光被遮挡,另一部分以光栅的预设角度出射,完成对光的第一次调整。当光经过 LCD 时,由于 LCD 中设置微型结构图形,光路在微结构中进行方向如图 2 所示。当背光侧出射光时,经过 LCD 下基板,再经过微结构棱镜重新分布,进行光的第二次调整,侧面出射光均匀化分散。当 DLCD 施加适当

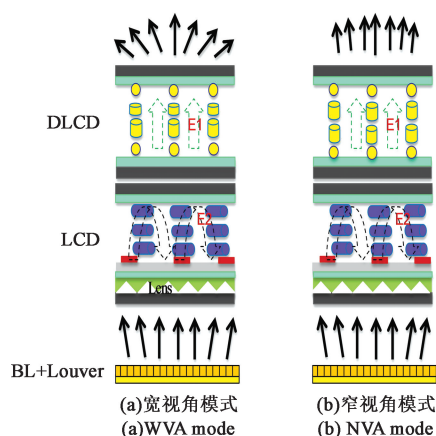


图1 本文提出的宽窄视角切换架构的原理图
Fig.1 Principle diagram of the proposed viewing angle switching structure

电压产生微弱垂直电场 E_1 时,液晶沿垂直玻璃基板方向的倾角较小,DLCD 中的液晶分子此时在正视与侧视产生的相位延迟较小,光经过 DLCD 后光路几乎未发生变化,此时背光源电流为高电平模式,光线经过液晶显示模组后表现为广视角显示,如图 1(a)所示。而当光源电流切换为低电平模式时,调光液晶盒中垂直电场 E_1 增强,DLCD 中的液晶分子沿垂直基板方向的倾角加大,液晶在 DLCD 中在正视与大视角侧视方向的相位延迟增大,光线在大视角下由于相位延迟的产生,部分光线被 DLCD 上方的偏振器吸收,光线经过第三次的调整,视角进行第二次的窄化处理,使大视角出射光进入人眼的亮度下降,液晶显示内容由于大视角亮度降低而影像模糊,达到防窥的目的,实现窄视角模式。

2.2 调光液晶盒的仿真分析

为证明本技术搭配 LCD 微结构可实现宽窄切换效果,在进行实验验证前,借助 TechWiz 仿真软件进行实验前的最优设计的评估。首先建立像素电极与公共电极均为面状电极的模型,通过仿真发现,当调光液晶盒的光程差(Δnd)的设计区间为 700~800 nm 时,调光液晶盒可兼顾全方位广视角特性与对左右方向上大视角的光线,具有良好收光效果的窄视角特性。图 3 为本技术架构搭配的调光液晶盒 Δnd 为 760 nm 时,亮度随水平方向极化角从正视 0° 到 45° 变化在宽视角模式(像素与公共电极之间电压差为 0.8 V)与窄视角模式(像素与公共电极之间电压差为 2.2 V)的

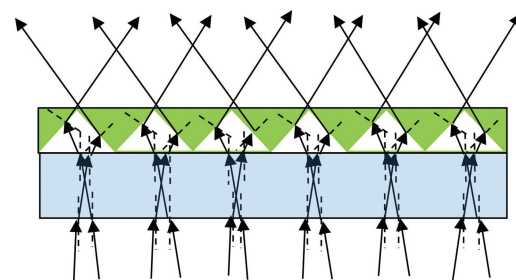
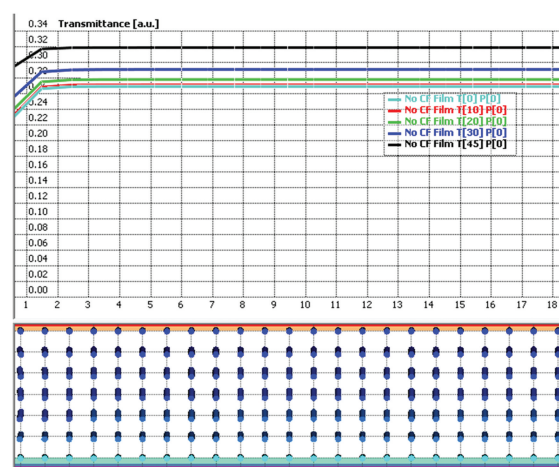
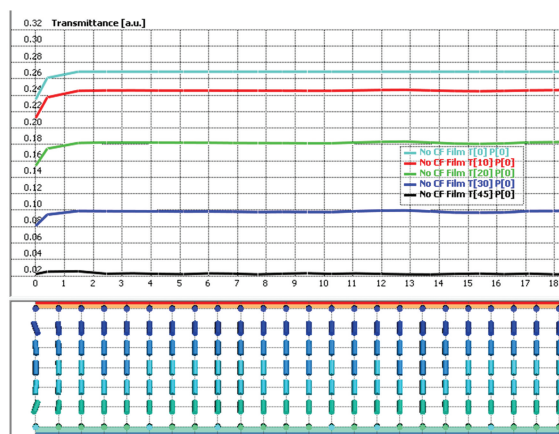


图2 本文提出的微结构棱镜的光路图示
Fig. 2 Light path diagram of the micro lens presented in this paper



(a) 宽视角模式
(a) WVA mode



(b) 窄视角模式
(b) NVA mode

图3 宽窄模式中亮度随视角变化的仿真结果
Fig. 3 Simulation results of brightness changing with view angle in WVA mode and NVA mode

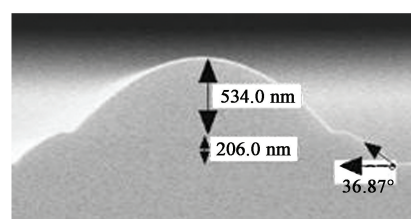
仿真结果比较。仿真数据表明,在广视角模式(图 3(a)),极化角从正视 0° 经历 $10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$, 变化至 45° , 亮度曲线无明显变化;而当切换至窄视角模式,观察视角随极化角 0° 变化至 45° , 亮度呈递减趋势,随侧视极化角角度增大,亮度下降程度增大。当极化角为 0° 时,穿透率为 27%;而当极化角增加至 45° 时,穿透率下降至 2%。仿真数据说明,通过调整调光液晶盒的像素电极与公共电极的压差,可以控制亮度在水平方向不同极化角的变化。

本文利用折射率定律^[9],当光从光密介质进入光疏介质,折射角度大于入射角的特性,在 LCD 侧设计微型结构图层,将氮化硅设置于透明平坦层与栅极绝缘层之间,平坦层位于氮化硅上面,栅极绝缘层位于微型结构层氮化硅下面。氮化硅(550 nm)折射率 n 为 1.91,光学透明平坦层(550 nm)折射率 n 为 1.56。光从氮化硅微型结构层出射进入平坦层,光线在微结构层与 OC 层界面处向两侧折射,达到调光目的。

3 实验验证与结果分析

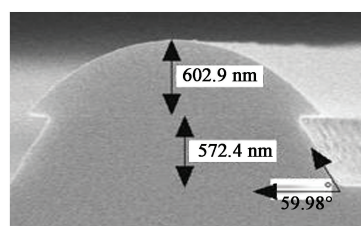
本文采用 33.78 cm (13.3 in) 笔记本电脑显示屏液晶盒进行相关验证。该产品 LCD 使用负性液晶材料,液晶盒厚设计值为 $3.2\ \mu\text{m}$,分辨率为 $1\ 920(\text{RGB}) \times 1\ 080$ 。DLCD 调光液晶盒 Δnd 设计为 782 nm,液晶的初始排列方向与百叶窗结构膜片的光栅排列方向平行。实验中栅极绝缘层厚度设计为 310 nm,与之相邻的用于微结构图形形成的氮化硅设计值为 500 nm,在氮化硅层之后进行 2 000 nm 的透明平坦层涂布。为获得最优的显示效果,在 LCD 侧进行了两组不同的微结构蚀刻条件的实验验证,以及微结构未进行蚀刻的对照组实验。实验组条件一的蚀刻条件为 SF_6 流量为 400 mL/min, Cl_2 流量为 2 000 mL/min,蚀刻时间为 120 s;条件二的蚀刻条件为在第一组蚀刻条件的基础上进行 O_2 流量与压力的增加, O_2 流量为 1 000 mL/min,压力为 13 332.24 Pa。两组实验样品的扫描电子显微镜 (Scanning Electron Microscope, SEM) 断面形态如图 4 所示。对比两组样品的 SEM 断面形貌,发现两组样品的微

型结构形态不同。在没有 O_2 流量与压力下,微型棱镜结构所表现的氮化硅层蚀刻深度为 206 nm,斜坡角度为 36.87° ,光阻剩余厚度 534 nm;而增加 O_2 流量与压力,氮化硅蚀刻深度随之增加。当 O_2 流量增加至 1 000 mL/min,同时压力设置为 13 332.24 Pa 时,氮化硅以及其下层的栅极绝缘层均呈现被蚀刻的痕迹,且栅极绝缘层被蚀刻深度为 70 nm,微结构总纵深为 572.4 nm,斜坡角为 59.98° ,光阻剩余厚度为 602.9 nm。通过实验发现,不同的蚀刻条件可以形成不同蚀刻深度及倾斜角度的微结构图形。



(a) 条件一的微型结构的断面形貌

(a) Section morphology of microstructure in condition 1



(b) 条件二的微型结构的断面形貌

(b) Section morphology of microstructure in condition 2

图 4 两组实验条件样品微结构的断面形貌比较

Fig.4 Comparison of section morphology of the two groups of conditional experimental samples

本技术在 33.78 cm (13.3 in) 笔记本显示屏制作了实际成品,表 1 为其在宽视角模式下的光学实测结果,表 2 为其在窄视角模式下的光学实测结果。为有效凸显广视角与窄视角切换效果,液晶模组亮度对广视角模式与窄视角模式的模组亮度分别预设 400 cd/m^2 与 150 cd/m^2 。Sample A 为条件一产出的 LCD 搭配 DLCD 及百叶窗结构膜片样品,Sample B 为条件二产出的 LCD 搭配 DLCD 及百叶窗结构膜片样品,Sample C 为普通 FFS LCD 搭配 DLCD 及百叶窗结构膜片样品,Sample D 为普通 FFS LCD 样品。

表1 液晶显示面板的宽视角实测光学结果

Tab.1 WVA optical measurement results of LCD

Sample	A	B	C	D
L-45°@Center	2.75%	5.25%	2.14%	21.50%
R-45°@Center	2.62%	5.93%	1.97%	19.70%
Contrast Ratio	1 833	1 763	1 594	1 587
View Angle (CR>10)	U/D/L/R : 85°/85°/85°/85°			

表2 液晶显示面板的窄视角实测光学结果

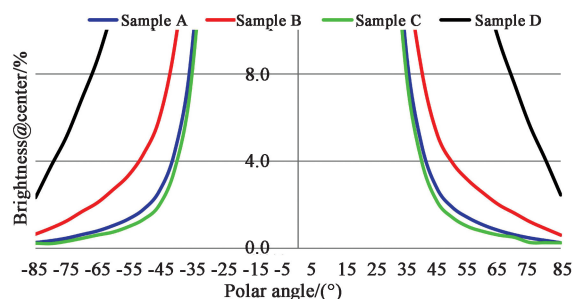
Tab.2 NVA Optical measurement results of LCD

Sample	A	B	C	D
L-45°@Center	0.48%	0.79%	0.42%	21.50%
R-45°@Center	0.47%	0.82%	0.39%	19.70%
Contrast Ratio	1 834	1 746	1 607	1 587
View Angle (CR>10)	U/D/L/R : 85°/85°/85°/85°			

本文以左右 45°亮度与中心亮度比值作为衡量宽视角模式与窄视角模式可视角度的标准。结合图 4 与表 1 可知,微结构棱镜纵深值越大,则在宽视角模式左右 45°与中心亮度比值越大。当微结构棱镜纵深为 572.4 nm 时,斜视角左右 45°与正视角中心亮度比值已达 5.2% 以上。而 LCD 中无微结构设置的 Sample C,其宽视角模式下左右 45°亮度与中心亮度的比值仅在 2.0% 左右。此时,单纯普通 FFS 产品宽视角模式下其左右 45°亮度与中心比值为 19% 以上,但仅局限于单一的显示模式,即只能实现宽视角,不能满足防窥显示的需求。在窄视角模式下,对比实验品 Sample A、Sample B 与对照组 Sample C,发现 LCD 微结构纵深值增加时,在窄视角模式下左右极化角 45°与中心亮度比值呈现小幅度的增加,当微结构纵深为 572.4 nm 时,其比值仍可控制在 0.8% 左右,同时其宽窄模式下中心对比度均在 1 500 : 1 以上。

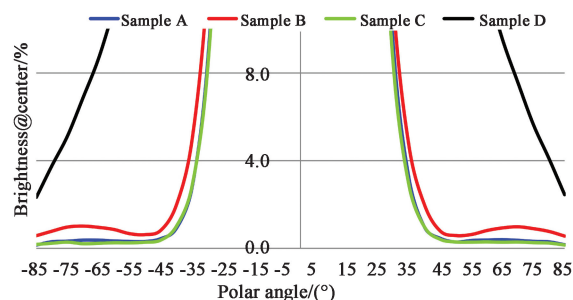
为能更直观比较实验组样品与对照组及普通 FFS 产品除左右 45°视角外的其他视角的差异,图 5 绘出不同实验组样品在水平方向左右极化角 35°~85°下亮度与中心亮度的比值曲线。图 5(a)与图 5(b)数据表明,本技术通过 LCD 设计微结

构以及控制微结构的蚀刻纵向深度与斜坡角,搭配调光液晶盒,可对光进行有效调整,实现宽视角与窄视角两种模式的切换。



(a) 宽视角模式左右视角与中心亮度比值曲线图

(a) Curves of brightness ratio between left and right viewing angle and center in WVA mode



(b) 窄视角模式左右视角与中心亮度比值曲线图

(b) Curves of brightness ratio between left and right viewing angle and center in NVA mode

图5 宽窄视角模式下亮度在水平方向变化曲线

Fig.5 Curves of brightness changes in horizontal direction in WVA mode and NVA mode

根据模组样品实际点亮显示效果可知, Sample B 可以更好地兼顾宽窄视角显示效果。图 6 为本技术架构在 33.78 cm (13.3 in) Sample B 成功点亮的窄视角显示效果图展示。在窄视角模式下,如图 6(b)所示,斜视角 45°已经达到显示内容模糊化的防窥效果,图 6(a)中的正视角图片颜色鲜艳且清晰可见;图 7 为本技术架构宽视角模式,图 7(a)正视角及图 7(b)斜视角 45°方向的效果与常规 FFS 正视效果无明显差别,正视与斜视均清晰可见,其宽窄模式正视显示效果的画质细腻程度水准相当。图 8 为 Sample B 在可见光下其宽窄视角模式下的等对比度全视角特性曲线实际测量结果。对比图 8(a)与图 8(b),宽视角模式与窄视角模式在中心对比度均大于 1 500 : 1,

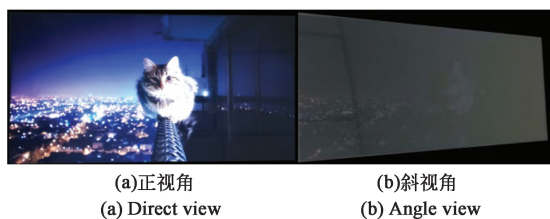


图 6 Sample B 的窄视角模式显示效果图

Fig.6 Picture performance in NVA mode of Sample B

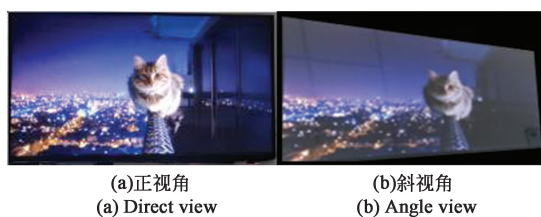
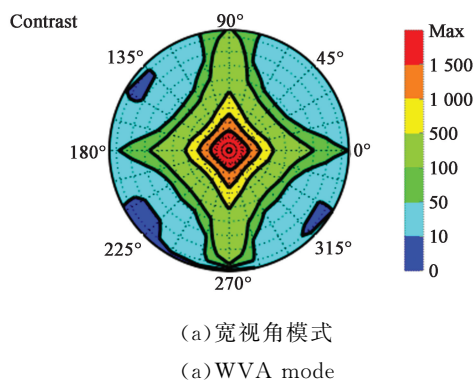


图 7 Sample B 的宽视角模式显示效果图

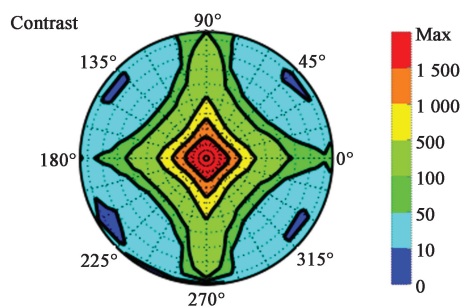
Fig.7 Picture performance in WVA mode of Sample B

在斜向对角线方位角为 135° , 225° , 315° , 窄视角模式在 $CR < 10$ 的蓝色覆盖面积均相对偏小。图 8 所呈现的等对比度实测曲线特性, 进一步证明本技术实现广视角与窄视角模式的切换为通过调整侧视大视角亮度实现, 两种模式下对比度可基本维持不变, 在正视浏览下, 宽窄模式可进行无感切换。



(a) 宽视角模式

(a) WVA mode



(b) 窄视角模式

(b) NVA mode

图 8 宽窄视角模式下的等对比度全视角特性曲线

Fig. 8 Iso-contrast curves of WVA mode and NVA mode

4 结 论

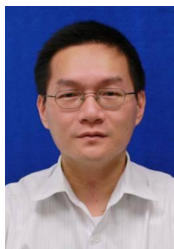
本文提出一种基于 LCD 阵列基板制作微型结构实现宽窄视角切换的液晶显示技术, 介绍了其结构、工作原理及样品制备。基于最优的模拟结果, 通过结合光从背光侧出射经过光栅结构与微型棱镜结构, 调整调光液晶盒的电压, 可改变液晶显示视角大小, 达到宽视角与窄视角切换的较佳效果。实验结果表明: 通过控制 LCD 微型结构蚀刻深度及角度可对光进行有效调整。当微结构纵向深度为 572.4 nm , 角度为 59.98° 时, 在窄视角模式下, 视角大于 45° 后显示屏显示内容基本可以达到个人隐私防窥; 宽视角模式具备与业界 FFS 模式同等的全视角的全视角显示特性, 同时中心对比度水准可达 1500 以上, 上下左右视角均可达 85° 。本文研究的视角可控技术, 不牺牲开口率与显示品质, 视角模式可灵活切换, 在笔记本电脑防窥显示技术的发展方面具有重要意义。

参 考 文 献:

- [1] 孙玉宝, 马红梅. 视角可控液晶显示器[C]//2008 中国平板显示学术会议论文集. 上海: 中国物理学会, 中国光学光电子行业协会, 2008: 3-4.
SUN Y B, MA H M. View angle controllable liquid crystal display [C]//China FPD Conference. Shanghai: Chinese Physical Society, China Optical and Optoelectronic Industry Association, 2008: 3-4(in Chinese)
- [2] 马群刚. TFT-LCD 原理与设计[M]. 北京: 电子与工业出版社, 2011: 50-53.
MA Q G. Principle and Design of TFT-LCD [M]. Beijing: Electronic industry Press, 2011: 50-53. (in Chinese)
- [3] YING Y B, WANG J P, JIANG H Y. Inspecting diameter and defect area of fruit with machine vision [J]. Trans-

- actions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2002, 18(5): 216-220.
- [4] 朱梦青,陆建钢.基于 FFS 架构实现宽窄视角切换[J].液晶与显示,2018,33(3):182-187.
ZHU M Q, LU J G. New viewing angle controllable with FFS-LCD [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2015, 33(3): 182-187. (in Chinese)
- [5] BAEK J I, KWON Y H, KIM J C, *et al.* Dual-mode switching of a liquid crystal panel for viewing angle control [J]. *Applied Physics Letters*, 2007, 90(10): 101104.
- [6] LIM Y J, KIM J H, HER J H, *et al.* Viewing angle switching of liquid crystal display using fringe-field switching to control off-axis phase retardation [J]. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 2010, 43(8): 085501.
- [7] 冷金苹.可控视角 LCD 的原理研究及验证[D].成都:电子科技大学,2010.
LENG J B. The principle research and verification of viewing angle controllable LCD [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology, 2010. (in Chinese)
- [8] 吴婷婷,苏子芳,钟德镇,等.一种新的视角可控的液晶显示仿真研究[J].液晶与显示,2015,30(3):538-542.
WU T T, SU Z F, ZHONG D Z, *et al.* New viewing angle controllable LCD [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2015, 30(3): 538-542. (in Chinese)
- [9] 郝道银,谈恒英.工程光学[M].北京:机械工业出版社,2011:3-4.
YU D Y, TAN H Y. *Engineering Optics* [M]. Beijing: China Machine Press, 2011: 3-4. (in Chinese)

作者简介:



钟德镇(1973—),男,中国台湾桃园人,硕士,1998年于中国台湾中央大学获得硕士学位,主要从事液晶面板显示技术研究与开发。E-mail: smartchung@ivo.com.cn