

文章编号:1007-2780(2016)07-0649-06

低驱动电压和快速响应的共面转换液晶显示器

王 森,孙玉宝*

(河北工业大学 应用物理系,天津 300401)

摘要:共面转换液晶显示器(IPS-LCD)由于其优异的视角特性和色彩还原能力在 TFT-LCD 中得到了广泛应用,然而响应速度慢的缺点始终限制着其在高端液晶显示器中的发展。本文中提出一种凸起电极结构的共面转换液晶显示器,并采用 TechWiz 软件模拟了该结构的电光特性。与传统 IPS-LCD 相比,我们提出的新结构 IPS-LCD 的驱动电压降低了 2.3 V。在响应时间方面,尽管驱动电压降低了,但是由于凸起电极改变液晶层中的电场状况,因此上升响应速度得到了一定提高。此外,凸起结构减小了液晶层的等效盒厚,因为下降时间正比于液晶盒厚的平方,所以下降响应速度也得到了明显提高,该结构的整体响应速度相比传统结构提高了大约 38%。

关 键 词:共面转换液晶显示器;驱动电压;快速响应;凸起电极

中图分类号:TN141.9 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20163107.0649

Low driving voltage and fast-response in-plane switching liquid crystal display

WANG Sen, SUN Yu-bao*

(Department of Applied Physics, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China)

Abstract: In-plane switching liquid crystal displays (IPS-LCDs) are widely applied in TFT-LCD for its excellent viewing angle and outstanding ability of color reproduction. However, its development in high-end LCDs is limited by its slow response. A fast response IPS-LCD with protrusion electrode is proposed in this paper, and its optical characteristics is simulated by TechWiz software. With the protrusion electrode, the driving voltage of IPS-LCD is reduced by 2.3 V. Although the driving voltage is reduced, the electric field in the liquid crystal layer is changed due to the electrode on protrusion, so the rise response speed is improved. In addition, the protrusion structure reduces the effective cell gap of the LC layer, and the decay time is proportional to the square of the cell thickness, so the decay response speed is also obviously improved. The whole response speed is improved by approximately 38% in contrast with the conventional IPS-LCD.

收稿日期:2016-03-16;**修订日期:**2016-04-30.

基金项目:国家自然科学基金(No. 11274088; 61475042);河北省自然科学基金(No. 2015202320);河北省教育厅高层次人才项目(No. GCC2014048)

Supported by National Natural Science Foundation of China (No. 11274088, No. 61475042); National Natural Science Foundation of Hebei Province(No. 2015202320); High-Level Talent Project of Education Department of Hebei Province(No. GCC2014048)

* 通信联系人, E-mail: sun_yubao@163.com

Key words: in-plane-switching liquid crystal displays; driving voltage; fast response; protrusion electrode

1 引 言

共面转换液晶显示器的工作原理是液晶分子在电场的作用下在平面内转动,从而达到调光的目的。在撤销电场之后,液晶分子在边界取向的作用下,依靠弹性力弛豫至初始位置^[1]。因为液晶材料中的扭曲弹性常数最小,因此共面转换液晶显示器的响应时间在各种液晶显示器中最慢。为提高液晶显示器的响应速度,可以从 3 个方面考虑:(1)采用超低黏滞系数的液晶材料,因为响应时间与黏滞系数成线性比例^[2];(2)采用擦除电压加速液晶分子的弛豫恢复,例如有人提出的三电极结构^[3-4],但是类似这种采用双面电极的结构对工艺要求非常严格,误差对于透过率影响十分的明显,生产成本较高;(3)减小液晶盒厚度,响应时间与盒厚的平方成正比,因此减小液晶盒厚度是提高响应速度最简单有效的方法^[5-6]。蓝相液晶显示器的调光机制基于克尔效应,拥有亚毫秒量级响应速度,成为人们争相研究的热点。但是其驱动电压高、暗态漏光、开口率低、磁滞现象等缺点也制约了蓝相液晶显示技术在高端显示器中的应用^[7-10]。尽管有人提出了在采用凸起式 IPS 电极结构降低了其驱动电压,但是相较于采用向列相液晶的显示器,其驱动电压仍然很高^[11]。不过这种采用凸起电极降低驱动电压的方法却值得借鉴。

在本文中,我们提出了一种梯形凸起电极结构的共面转换液晶显示器,并详细讨论了梯形凸起角度、高度以及摩擦方向对电光特性的影响。此前 Park 等人曾提出了在像素电极间加凸起的快速响应 FFS 结构^[12],但是将这种凸起设计与传统结构对比,发现其在响应速度提高的同时,最大透过率有所降低,且驱动电压升高了 2 V。而本文提出的梯形凸起电极 IPS 模式的模拟结果表明:凸起电极结构改变了盒内电场分布情况,使得驱动电压降低了大约 2.3 V。此外,凸起结构还减小了液晶盒的等效厚度,使得响应速度得到明显提高。

2 结 构

传统 IPS-LCD 结构和本文提出的 IPS-LCD 的结构如图 1(a)和(b)所示。液晶盒放置于两片相互正交的偏振片中间,为了获得良好视角,在上偏光片和上基板中间加上一层 $\lambda/2$ 的双轴补偿膜(双轴参数 $N_z = (n_x - n_z)/(n_x - n_y) = 0.5$)^[13]。为了防止凸起边缘的液晶分子取向混乱导致暗态漏光,原则上应使摩擦方向沿着电极方向,事实上,我们采用与电极方向夹角 4° 近平行摩擦取向,液晶分子与电极间的微小夹角可以起到类似于 TN 盒中预倾角的作用,帮助液晶分子向同一方向转动,降低阈值电压和提高响应速度^[14]。采用的梯形凸起结构相比于垂直凸起结构的优点在于,凸起边缘相对缓和的梯形使得凸起边缘液晶分子在施加电场时可以充分转动,从而降低开态时凸起边缘液晶分子混乱排列对透过率的影响。

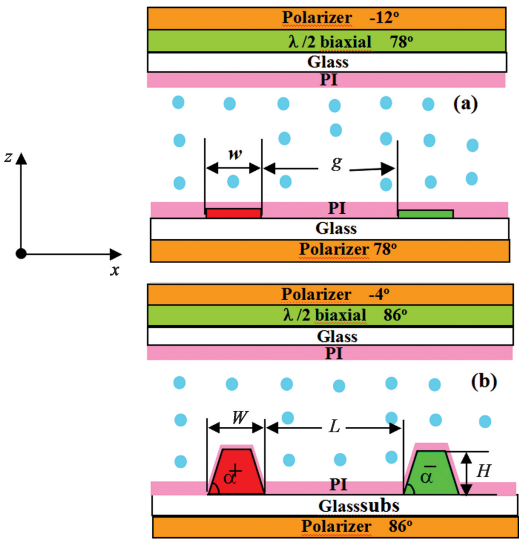


图 1 (a)传统 IPS 模式结构;(b)提出的凸起 IPS 结构图

Fig. 1 Structures of (a) the conventional IPS mode and(b)the proposed IPS mode

3 模拟计算与讨论分析

我们采用 TechWiz LCD 3D 软件对传统 IPS

结构和提出的 IPS 结构的电光特性进行了模拟计算。为了对比,我们在模拟计算两种结构时选用同一种液晶材料,模拟中使用的光波长 $\lambda=550$ nm,模拟液晶盒厚 $d=4\text{ }\mu\text{m}$ 。液晶材料参数为: $K_{11}=10.87\text{ pN}, K_{22}=9.5\text{ pN}, K_{33}=15.37\text{ pN}, \Delta n=0.969, \Delta\epsilon=5.3, v_1=122.7\text{ mPa}\cdot\text{s}$ 。传统 IPS 参数我们选取目前工业生产主流参数:电极宽度 $W=2\text{ }\mu\text{m}$,电极间距 $g=3\text{ }\mu\text{m}$,摩擦角 78° ^[15]。梯形凸起 IPS 电极参数为:下底宽度 $W=1\text{ }\mu\text{m}, L=3\text{ }\mu\text{m}$ 。我们分别对梯形凸起 IPS 结构采用不同参数时的显示特性进行了模拟,并对不同的电极高度 H 、梯形角 α 以及摩擦角度的模拟结果进行分析对比,以确定其最优值。

3.1 模拟计算

首先来看凸起电极结构与传统 IPS-LCD 的电光特性和响应过程的差别。本次模拟中,凸起电极结构的参数采用: $H=1\text{ }\mu\text{m}, \alpha=80^\circ$,摩擦角 86° ,模拟的电压透过率曲线和时间响应曲线如图 2 所示。由图 2(a)所示电压透过率曲线可见:梯形凸起 IPS 结构与传统 IPS 结构透过率相当,驱动电压明显下降,大约下降了 2.3 V。由图 2(b)

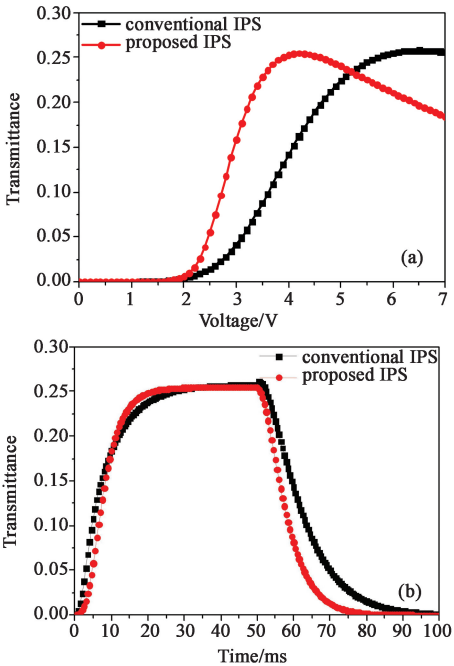


图 2 传统 IPS 与凸起 IPS 的(a)电压-透过率曲线与 (b)时间响应曲线

Fig. 2 (a) Voltage dependent transmittance and (b) Transmittance vs. time for the cell driven between the operating and zero voltages of the conventional and proposed IPS-LCD

所示时间响应曲线可见:梯形凸起 IPS 结构的上升时间和下降时间相比于传统 IPS 结构都有了明显缩短。其中,透过率由 0%到 10%的变化过程为开态等待过程,液晶显示器实际工作时应该把该过程考虑在开态响应的过程内。因此,本文中我们把开态响应时间定义为液晶显示器透过率由 0%到 90%所需时间。综合考虑开态和关态响应时间,由模拟数据计算对比得到:相比于传统 IPS 结构,梯形凸起 IPS 结构的响应速度提高了大约 38%。

3.2 讨论分析

3.2.1 不同凸起电极高度影响分析

图 3 展示了不同凸起高度时的电光特性曲线模拟结果。对比两图可以发现:梯形凸起 IPS 结构随着凸起电极高度的增加,透过率下降,驱动电压降低,响应速度加快。

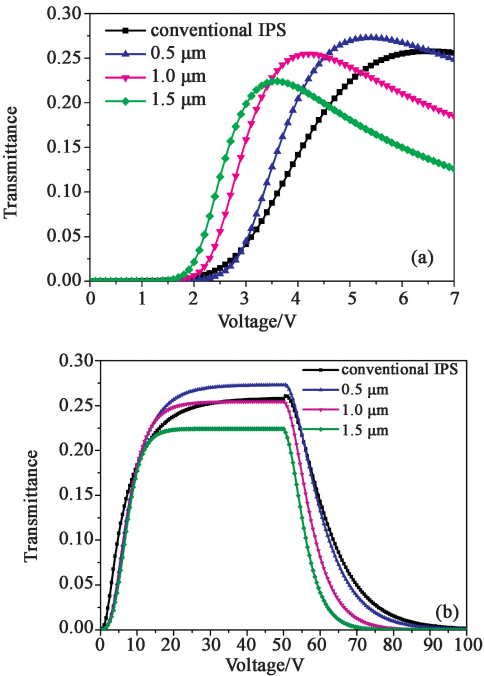


图 3 不同凸起高度 IPS 的(a)电压-透过率曲线与 (b)时间响应曲线

Fig. 3 (a) Voltage dependent transmittance and (b) Transmittance vs. time for the cell driven between the operating and zero voltages of the proposed IPS-LCD for different height of protrusion and conventional IPS-LCD

IPS-LCD 透过率公式为:

$$T = \frac{1}{2} \sin^2(2\phi) \sin^2(\pi d \Delta n / \lambda) \quad (1)$$

其中: ϕ 为电压作用下液晶平均方位角的扭转角

度(下偏振片透光方向和初始 LC 光轴之间的夹角为零), d 是液晶层厚度, Δn 是双折射率, λ 是入射光波长^[16]。

电极高度的增加减小了电极上方液晶层厚度,由式(1)可知,电极上方区域液晶层厚度减小则透过率降低。驱动电压的下降是因为随着凸起高度的增加,在相同的工作电压下液晶层中水平方向电场的作用深度将会增加(如图 4 所示),这有利于液晶分子更高效的进行共面转换,这也是上升时间下降的原因之一。而下降时间的减少则是由于凸起高度的增加减小了液晶盒的等效盒厚,由于下降时间正比于盒厚的平方,因此减小等效盒厚可以有效缩短下降时间。通过图 3(b)所示时间响应曲线,与传统 IPS 结构的响应曲线相比,凸起高度为 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 时响应速度提高并不明显,而凸起高度为 $1.5\text{ }\mu\text{m}$ 响应速度明显提升,但同时最大透过率明显降低。当凸起高度为 $1\text{ }\mu\text{m}$ 时,响应速度有了明显提升且最大透过率与传统 IPS 结构相当。当同时考虑最大透过率和响应速度两个参数时,凸起高度选取 $1\text{ }\mu\text{m}$ 左右时效果较为理想。

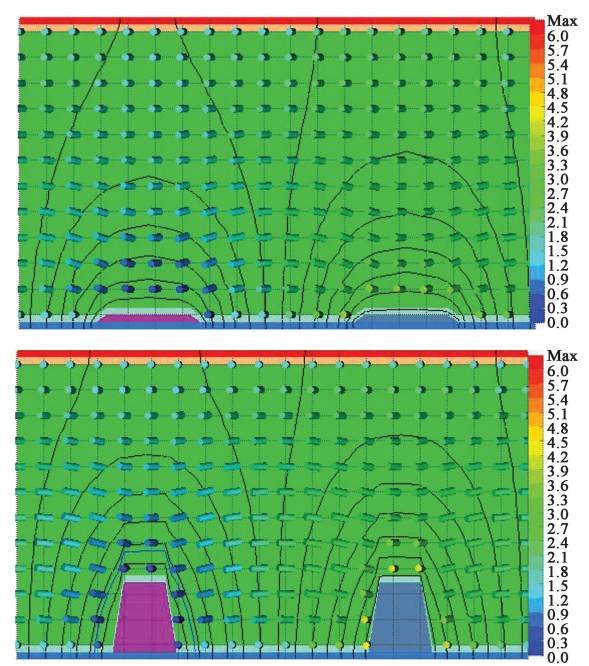


图 4 在 4 V 驱动电压下不同结构 IPS 的液晶分子与电场分布图。(a) 传统 IPS-LCD;(b)带凸起电极结构的 IPS-LCD

Fig. 4 Distribution of LC molecules and electric field for operating voltage equaling to 4 V. (a) conventional and (b) proposed IPS mode

3.2.2 不同梯形角度的影响分析

通过模拟结果我们发现随着梯形角增大,液晶盒的透过率逐渐降低,驱动电压逐渐降低,下降时间缩短。透过率的下降是因为当梯形电极底边长度固定时,梯角越大,电极的等效厚度越大,对应液晶层的等效厚度减小,所以透过率越低。驱动电压的降低是因为在相同的电压下,凸起电极提供的水平方向电场强度分量随着梯角的增大而增强。上升时间随梯形角改变的微小变化的原因也与不同梯形形状电极产生的电场的差别有关。下降时间的缩短是因为固定梯形电极底边宽度的前提下,梯形角越大则梯形电极的上表面宽度越大,在凸起高度平面内能提供的边界锚定能的有效面积就会变大,这相当于在该等效盒厚的液晶盒内加强了边界锚定强度,并且液晶层的等效厚度减小,所以液晶分子的关态弛豫恢复速度就会变快,下降时间变短。如图 5 所示,通过模拟结果可以得到:当同时追求较高透过率、较低的驱动电压和快速响应时,梯角取 80° 左右时效果最理想。

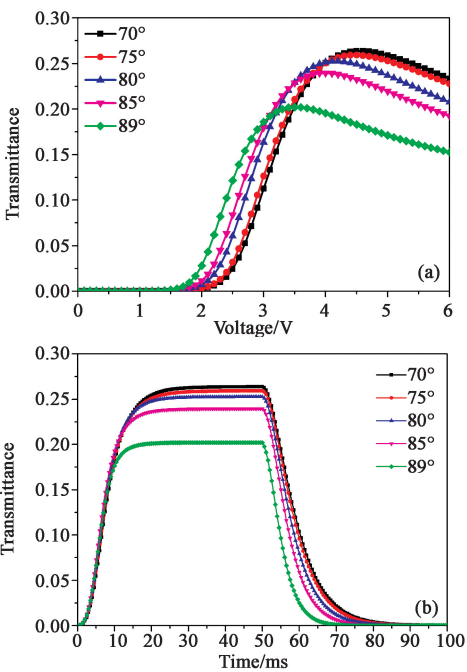


图 5 不同梯角的凸起电极 IPS 结构的(a)电压-透过率曲线和(b)时间响应曲线

Fig. 5 (a) Voltage dependent transmittance and (b) Transmittance vs. time for the cell driven between the operating and zero voltages of the proposed IPS-LCD for different trapezoid angle of protrusion.

3.2.3 不同摩擦角度的影响分析

最后,我们对传统 IPS 模式和 3 种不同摩擦角度的凸起 IPS 模式的等对比度视角图进行了模拟。图 6(a)为传统 IPS 模式的视角特性,电极的长方向方位角度为 90°,摩擦方向为 78°;图 6(b)、(c)、(d)分别对应摩擦角度为 83°、86°和 89°。上文提到过凸起电极边缘处液晶分子的混乱排列会造成暗态漏光,从而影响显示器的对比度,因此为了得到更好的视角特性,在保证响应速度的前提下,摩擦方向与电极方向之间夹角应尽量小。当摩擦角度为 83°时(如图 6(b)所示),凸起 IPS 模式的视角特性很不理想,CR>1 000 : 1 的视角范围不足 40°。如图 6 中(c)、(d)所示,当摩擦角达到 86°和 89°时,其视角特性与传统 IPS 模式相当甚至更好,CR>1 000 : 1 的视角范围达到 60°以上。同时也说明,该凸起电极结构设计不会降低 IPS-LCD 视角表现。为了从响应速度的角度优化摩擦角,表 1 给出了传统 IPS 和凸起 IPS 模式的响应时间对比,对于凸起 IPS 模式,摩擦角度越

表 1. 传统 IPS 与不同摩擦角度下凸起 IPS 的响应时间
Tab.1 Response time of conventional mode and proposed mode with different orientation

模式	摩擦角	上升时间 /ms	下降时间 /ms
传统 IPS	78°	16.74	21.81
	83°	12.41	13.98
凸起 IPS	86°	14.96	14.11
	89°	23.26	14.33

大,响应速度越快。尽管大的摩擦角度拥有更好的视角特性,但是响应速度对于大摩擦角度的需要是不能忽视的,因此,摩擦角度的选择应使视角与响应速度同时达到很好的结果。综合考虑图 6 与表 1 信息,对比传统 IPS 模式发现:采用 86°左右摩擦角的凸起 IPS 模式拥有更好的视角特性与更快的响应速度。

4 结 论

综上所述,我们提出了一种低驱动电压、快速响应的共面转换液晶显示器,并使用计算机软件模拟计算确定了其最优参数范围。相比于传统 IPS 模式,我们提出的梯形凸起电极结构 IPS-LCD 的响应速度提高了 38%,同时驱动电压降低了 2.3 V,与此同时其透过率和视角特性基本未受影响。由于生产设备与工艺的限制,目前这种小尺寸梯形凸起电极结构的实现可能还存在着一定的技术挑战。此外,若采用传统摩擦取向工艺,要在不破坏凸起结构的前提下保证均匀取向难度较大,可以考虑采用其他取向方法(如光取向),具体生产工艺还有待进一步探索。总之,这种梯形凸起电极结构的设计对于提高 IPS-LCD 的显示性能具有重要参考价值。

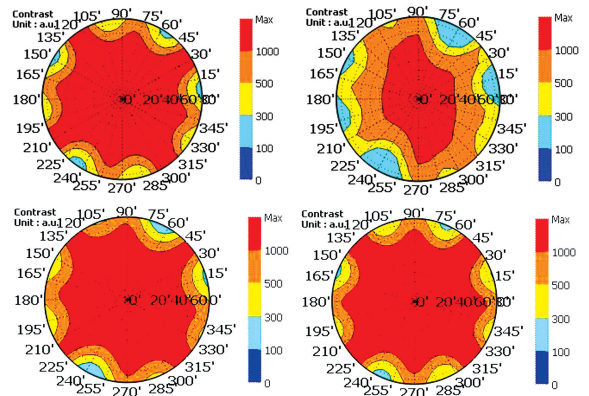


图 6 (a) 传统 IPS 结构与不同摩擦角度下凸起 IPS 结构的等对比度视角图(b) 83°, (c) 86°, (d) 89°。
Fig. 6 Simulated iso-contrast contour plots for the (a) conventional IPS and proposed IPS mode with different orientation (b) 83°, (c) 86°, (d) 89°.

参 考 文 献:

[1] YANG D K, WU S T. *Fundamentals of Liquid Crystal Devices* [M]. Chichester, UK: John Wiley and Sons, 2015:241-246.
[2] CHEN H W, PENG F L, LUO Z Y, *et al.* High performance liquid crystal displays with a low dielectric constant material [J]. *Optical Materials Express*, 2014, 4(11): 2262-2273.
[3] YANG G Q, SUN Y B. Fast-response vertical alignment liquid crystal display drivenby in-plane switching [J]. *Liquid Crystals*, 2011, 38(4):507-510.

- [4] CHANNIN D J. Triode optical gate: a new liquid crystal electro-optic device [J]. *Applied Physics Letters*, 1975, 26(11): 603.
- [5] GE Z B, WU S T, KIM S S, *et al.* Thin cell fringe-field-switching liquid crystal display with achiral dopant [J]. *Applied Physics Letters*, 2008, 92(18): 181109.
- [6] CHEN H W, LUO Z Y, XU D M, *et al.* A fast-response a-film-enhanced fringe field switching liquid crystal display [J]. *Liquid Crystals*, 2015, 42(4): 537-542.
- [7] MEIBOOM S, SETHNA J P, ANDERSON W P, *et al.* Theory of the blue phase of cholesteric liquid crystals [J]. *Physical Review Letters*, 1981, 46(18): 1216-1219.
- [8] KIKUCHI H, YOKOTA M, HISAKADO Y, *et al.* Polymer-stabilized liquid crystal blue phases [J]. *Nature Materials*, 2002, 1: 64-68.
- [9] YANG Y C, BAO R, LIK X, *et al.* Sub-millisecond liquid crystal mode utilizing electro-optic Kerr effect comprising polymer-stabilized isotropic liquid crystals [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2009, 40(1): 586-589.
- [10] RAO L H, YAN J, WU S T, *et al.* Critical field for a hysteresis-free BPLC device [J]. *Journal of Display Technology*, 2011, 7(12): 627-629.
- [11] ZHAO Y L, SUN Y B, LI Y F, *et al.* Optimisation of blue-phase liquid crystal with protrusion [J]. *Liquid Crystals*, 2014, 41(11): 1583-1594.
- [12] PARK S I, CHOI S W, KIM K H, *et al.* Fast fringe-field-switching liquid crystal cell with a protrusion structure [J]. *Journal of the Optical Society of Korea*, 2013, 17(2): 200-204.
- [13] ANDERSON J E, BOS P J. Methods and concerns of compensating in-plane Switching liquidcrystal displays[J]. *Japanese Journal of Applied Physics*, 2000, 39(11): 6388-6392.
- [14] LI Y F, SUN Y B, ZHAO Y L. A fast-response in-plane switching liquid crystal display with a protrusion structure [J]. *Chinese Optics Letters*, 2014, 12(1): 012303.
- [15] SUN Y B, ZHANG Z D, MA H M, *et al.* Optimal rubbing angle for reflective in-plane-switching liquid crystal displays [J]. *Applied Physics Letters*, 2002, 81(26): 4907-4909.
- [16] 马群刚. TFT-LCD 原理与设计[M]. 北京:电子工业出版社, 2011: 256-274.
MA Q G. *Principle and Design of TFT-LCD* [M]. Beijing: Electronic Industry Publishing House, 2011: 256-274. (in Chinese)

作者简介:王森(1990—),男,河北正定人,硕士研究生,从事液晶器件方面研究。E-mail:ws105050@163.com