

文章编号: 1007-2780(2011)01-0034-06

OCB 模式液晶显示器件的膜补偿模拟优化

单艾娴, 李志勇, 孙玉宝*

(河北工业大学 应用物理系, 天津 300401)

摘 要: 研究了 OCB 模式液晶显示器件的膜补偿方式, 给出了 4 种膜补偿结构的优化参数以及 4 种膜补偿结构下的等对比度视角图和响应时间。4 种膜补偿结构通过模拟与研究都得到了很好的优化结果, 最大对比度都可以达到 2 200 以上, 响应时间在 2 ms 以下。

关 键 词: 光学自补偿弯曲模式; 膜补偿; 响应时间; 对比度; 视角

中图分类号: TN141.9 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3788/JYXS20112601.0034

Optimization of OCB Mode Liquid Crystal Device

SHAN Ai-xian, LI Zhi-yong, SUN Yu-bao*

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

Abstract: How to compensate OCB mode and get the optimal parameters of the compensation films for high contrast ratio are analyzed. The iso-contrast contour and response time were calculated for four compensating schemes with the optimization results. The maximal contrast ratio is greater than or equal to 2 200 and the response time is less than 2 ms in any compensating schemes.

Key words: optical compensated bend; film-compensated; response time; contrast ratio; viewing angle

1 引 言

光学自补偿弯曲模式^[1] (Optical Compensated Bend, OCB) 又叫 π 模式, 其最大特点就是响应速度快^[2], 在加电状态下液晶分子的偏转角度极小, 即转矩很短, 响应时间可以达到 5 ms 以下, 非常适合动态图像显示。在 OCB 模式中, 液晶分子在液晶层厚度方向上具有上下对称的取向, 在光倾斜穿过液晶层时, 上下两部分互相补偿, 因此在亮态时器件具有对称的宽视角; 但是 OCB 模式的暗态不够好, 原因是液晶层在高电压作用下仍然会有残存的相位延迟量, 器件的对比度不高。

OCB 模式的响应速度快, 适合用于制造液晶光阀等要求快速响应的产品; 但高档的液晶光阀要求器件的对比度在 1 000:1 以上, 所以若要达到实用要求还需要改善 OCB 器件的暗态。在液晶盒外加上消除剩余延迟量的光学补偿膜, 可以获得几乎与视角无关的黑态, 是一种提高对比度的有效方法。

本文针对如何对 OCB 模式液晶显示器件进行膜补偿以及获得补偿膜的最佳参数以得到高对比度进行了研究, 给出了 4 种膜补偿结构的优化参数以及 4 种膜补偿结构下的等对比度视角图和响应时间, 获得了满意的模拟结果。

收稿日期: 2010-04-24; 修订日期: 2010-05-27

基金项目: 国家自然科学基金 (No. 10974042, No. 10704022, No. 60736042)

作者简介: 单艾娴 (1985—), 女, 河北石家庄人, 硕士研究生, 主要从事液晶显示器件的研究。

* 通讯联系人, E-mail: hmtj450@vip.sina.com

2 理论分析

OCB 模式液晶盒在不加电压时, 两块基板上的液晶分子沿面取向, 但反平行排列; 低电压驱动时, 液晶盒中的液晶指向矢呈弯曲排列; 加高电压后, 液晶分子垂直于基板排列。OCB 模式液晶盒中的液晶分子分别在不加电、加低电压和加高电压情况下的排列方式如图 1 所示。

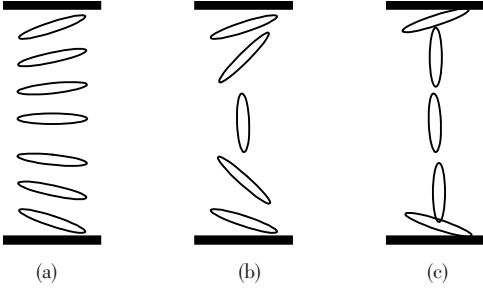


图 1 OCB 盒中液晶的排列. (a) 不加电压; (b) 加低电压; (c) 加高电压。

Fig. 1 LC configuration in OCB cell. (a) No voltage; (b) Low applied voltage; (c) High applied voltage.

对 OCB 模式液晶盒加低电压 U_1 , 此时液晶盒为亮态, 对应的透过率是亮态透过率。然后, 将低电压 U_1 变为高电压 U_2 , 液晶分子逐渐垂直于基板方向排列, 此时液晶盒的透过率逐渐减小, 最终液晶盒呈暗态, 对应的透过率是暗态透过率。再将高电压 U_2 变为低电压 U_1 , 由于液晶层内的

弹性力的作用, 液晶分子又会逐渐变回到弯曲排列状态, 此时液晶盒的透过率逐渐增大, 最终液晶盒又表现为亮态。对比度可以用亮态透过率与暗态透过率的比值来表示。将从透过率最大值的 90% 下降到 10% 之间的时间定义为上升时间, 从透过率最大值的 10% 上升到 90% 之间的时间定义为下降时间, 上升时间和下降时间的总和定义为响应时间。

具体的模拟及优化过程如下:

(1) 找到透过率最大值对应的电压 U_1 , 以及在电压 U_1 和确定高电压 $U_2 = 14 \text{ V}$ 下的透过率。这里需要用到差分迭代方法^[3-4] 计算液晶指向矢分布, 用琼斯矩阵方法^[5-8] 求出两个电压下的透过率。

(2) 对某些参数进行优化。例如用一个 $1/4$ 波片补偿求透过率, 此时需要优化 3 个变量, 即两个偏光片和 $1/4$ 波片的光轴角度。编程找到想要的透过率下的两个偏光片和 $1/4$ 波片的光轴方位角度(若干组)。将上步找到的若干组优化后的结果带入 Mouse-LCD 2.6 软件进行辅助模拟, 做出 T-V 曲线, 将此时的透过率最大值和最小值所对应的电压分别记为 U_1 和 U_2 , 并做出等对比度视角图, 找到最优解。

(3) 用 OCB 模式液晶盒的动力学计算公式^[9] 模拟计算出响应时间。OCB 模式液晶盒的动力学计算公式如下:

$$\gamma^* \frac{d\theta}{dt} = (k_{11} \cos^2 \theta + k_{33} \sin^2 \theta) \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} + \left[(k_{33} - k_{11}) \left(\frac{d\theta}{dz} \right)^2 + \epsilon_0 \Delta \epsilon E^2 \right] \sin \theta \cos \theta \quad (1)$$

$$\text{其中: } \gamma^* = \gamma \left\{ 1 - \frac{\left[\frac{1}{2} \left(1 - \frac{\eta_1 - \eta_2}{\gamma} \right) \cos^2 \theta + \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\eta_1 - \eta_2}{\gamma} \right) \sin^2 \theta \right]^2}{\frac{\eta_{12}}{\gamma} \sin^2 \theta \cos^2 \theta + \frac{\eta_1 - \eta_2}{\gamma} \sin^2 \theta + \frac{\eta_2}{\gamma}} \right\} \quad (2)$$

3 模拟结果

模拟中用到的液晶材料参数为: $\epsilon_{//} = 18.6$; $\epsilon_{\perp} = 3.5$; $n_o = 1.5$; $\Delta n = 0.2$; $K_{11} = 12.9 \text{ pN}$; $K_{33} = 17.3 \text{ pN}$; $\gamma = 0.134 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 。

液晶盒边界强锚定, 上下两基板处液晶的预倾角度分别为 5° 和 175° 。液晶层厚度为 $4 \mu\text{m}$ 。采用高偏振度偏光片, 假设线偏振光在任意波长下的透过率均为 0.88, 最小透过率为 0.000 1。

双轴补偿膜的折射率参数为: $N_x = 1.582 7$,

$N_y = 1.581$, $N_z = 1.579 9$ 。单轴补偿膜的双折射率为 0.009 2 (589 nm, +a 膜) 或者 -0.009 2 (589 nm, -a 和 -c 膜)。

下面给出 4 种膜补偿结构以及它们的优化结果。

3.1 利用两个双轴膜进行膜补偿

图 2 为两个双轴膜补偿的示意图。

以两个双轴膜和两个偏光片的方位角作为变量进行优化, 两个双轴膜的厚度都是 $50 \mu\text{m}$, $U_1 = 1.2 \text{ V}$, $U_2 = 14 \text{ V}$ 。得到的优化结果如下:

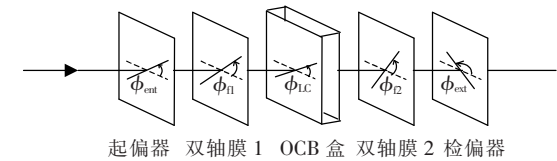


图 2 用两个双轴膜补偿示意图

Fig. 2 Device structure of OCB mode with two biaxial compensators

液晶层平面的方位角为 45° ，起偏器的方位角为 -2° ，检偏器的方位角为 88° ，双轴膜 1 的方位角为 -88° ，双轴膜 2 的方位角为 -88° 。

图 3 是利用两个双轴膜补偿并优化参数后的等对比度视角图。图中曲线从外向里依次表示对比度为 1, 5, 10, 100, 1 000 的区域。模拟软件的结果显示最大对比度可以达到 2 200，对比度为 1 000 以上的区域在水平和垂直方向上超过 20° ，对比度为 100 以上的区域在水平和垂直方向上接近 50° 。

图 4 是用两个双轴膜补偿的响应时间曲线。图中曲线 a 表示将低电压 $U_1 = 1.2\text{ V}$ 变为高电

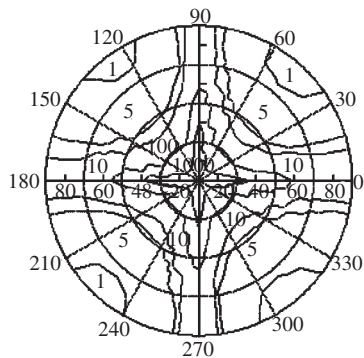


图 3 用两个双轴膜补偿后的等对比度视角图

Fig. 3 Iso-contrast contour of the OCB mode with two biaxial compensators

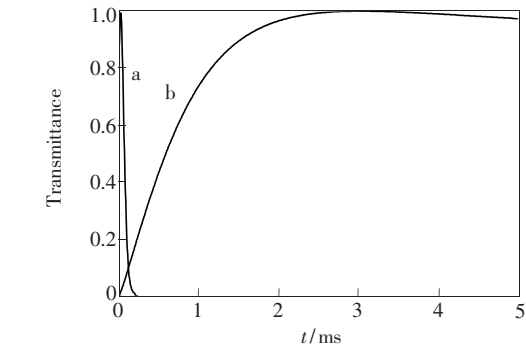


图 4 用两个双轴膜补偿的响应时间曲线

Fig. 4 Curves of response time of the OCB mode with two biaxial compensators

压 $U_2 = 14\text{ V}$ 后，液晶盒的透过率逐渐降低，从该曲线中可以得到上升时间约为 0.1 ms ；曲线 b 表示将高电压 $U_2 = 14\text{ V}$ 变为低电压 $U_1 = 1.2\text{ V}$ 后，液晶盒的透过率逐渐增大，从该曲线中可以得到下降时间约为 1.4 ms 。所以总响应时间约为 1.5 ms 。

3.2 利用两个 $-c$ 波片和两个 $+a$ 波片进行膜补偿

图 5 为两个 $-c$ 波片和两个 $+a$ 波片补偿的示意图。

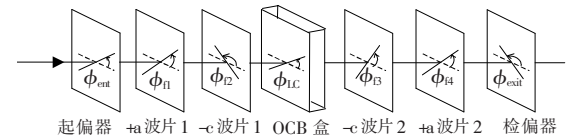


图 5 用两个 $-c$ 波片和两个 $+a$ 波片补偿示意图

Fig. 5 Device structure of OCB mode with two $-c$ and two $+a$ films

以两个 $+a$ 波片和两个偏光片的方位角作为变量进行优化。两个 $-c$ 波片的方位角都是 0° ，厚度都是 $30\text{ }\mu\text{m}$ ；两个 $+a$ 波片的厚度分别是 $15\text{ }\mu\text{m}$ 和 $10\text{ }\mu\text{m}$ 。 $U_1 = 1.4\text{ V}$ ， $U_2 = 13.5\text{ V}$ 。得到的优化结果如下：

液晶层平面的方位角为 0° ，起偏器的方位角为 43° ，检偏器的方位角为 -48° ， $+a$ 波片 1 的方位角为 45° ， $+a$ 波片 2 的方位角为 48° 。

图 6 是利用两个 $-c$ 波片和两个 a 波片补偿并优化参数后的等对比度视角图。图中曲线从里向外依次表示对比度为 2 000, 1 000, 500, 200, 100, 50, 10, 5, 1 的区域。模拟结果显示，最大对比度可以达到 2 900。从图中也可以看出该液晶

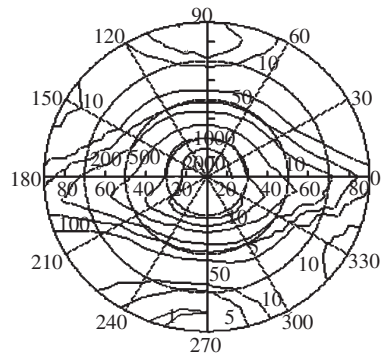


图 6 两个 $-c$ 波片和两个 $+a$ 波片补偿后的等对比度图

Fig. 6 Iso-contrast contour of the OCB mode with two $-c$ and two $+a$ film

盒的视角很宽,10°极角范围的各个方向上对比度可以达到 2 000,20°极角范围的各个方向上对比度可以达到 1 000,正负 60°极角范围水平方向对比度达到 200。

图 7 是用两个双轴膜补偿的响应时间曲线。图中曲线 a 表示将低电压 $U_1=1.4\text{ V}$ 变为高电压 $U_2=13.5\text{ V}$ 后,液晶盒的透过率逐渐降低,从该曲线中可以得到上升时间约为 0.1 ms;曲线 b 表示将高电压 $U_2=13.5\text{ V}$ 变为低电压 $U_1=1.4\text{ V}$ 后,液晶盒的透过率逐渐增大,从该曲线中可以得到下降时间约为 1.6 ms。所以总响应时间约为 1.7 ms。

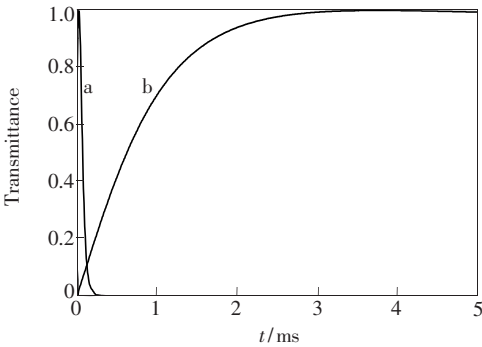


图 7 两个 -c 波片和两个 a 波片补偿后的响应时间曲线
Fig. 7 Curves of response time of the OCB mode with two -c and two +a film

3.3 利用一个 -c 波片、一个 +a 波片和一个 -a 波片进行膜补偿

图 8 为一个 -c 波片、一个 +a 波片和一个 -a 波片补偿的示意图。

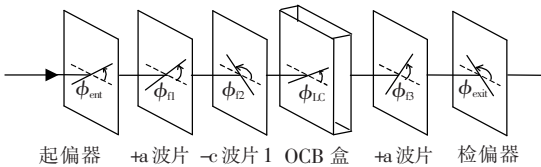


图 8 用一个 -c 波片、一个 +a 波片和一个 -a 波片补偿示意图

Fig. 8 Device structure of OCB mode with one -c, one -a and one +a uniaxial films

以 +a 波片、-a 波片和两个偏光片的方位角作为变量进行优化,-c 波片的方位角是 0°,厚度是 30 μm。-a 波片和 +a 波片的厚度都是 10 μm。 $U_1=1\text{ V}, U_2=13.5\text{ V}$ 。得到的优化结果如下:
液晶层的方位角为 45°,起偏器的方位角为

-2.4°,检偏器的方位角为 87.6°,-a 波片的方位角为 1.7°,+a 波片的方位角为 -88.2°。

图 9 是利用一个 -c 波片、一个 +a 波片和一个 -a 波片补偿并优化参数后的等对比度视角图。图中曲线从外向里依次表示对比度为 1,5,10,100,1 000 的区域。模拟软件的结果显示最大对比度可以达到 2 300,对比度为 1 000 以上的区域在水平和垂直方向上超过 20°,对比度为 100 以上的区域在水平和垂直方向上接近 40°。

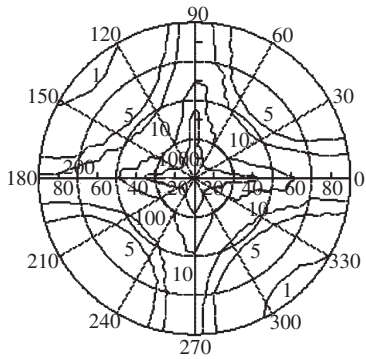


图 9 一个 -c 波片、一个 +a 波片和一个 -a 波片补偿后的等对比度视角图。

Fig. 9 Iso-contrast contour of the OCB mode with one -c, one +a and one -a films.

图 10 是用一个 -c 波片、一个 +a 波片和一个 -a 波片补偿的响应时间曲线。图中曲线 a 表示将低电压 $U_1=1\text{ V}$ 变为高电压 $U_2=13.5\text{ V}$ 后,液晶盒的透过率逐渐降低,从该曲线中可以得到上升时间约为 0.1 ms;曲线 b 表示将高电压 $U_2=13.5\text{ V}$ 变为低电压 $U_1=1\text{ V}$ 后,液晶盒的透过率逐渐增大,从该曲线中可以得到下降时间约为 1.7 ms。所以总响应时间约为 1.8 ms。

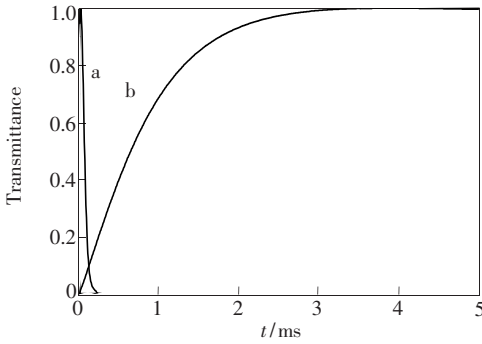


图 10 一个 -c 波片、一个 +a 波片和一个 -a 波片补偿后的响应时间曲线。

Fig. 10 Curves of response time of the OCB mode with one -c, one +a and one -a films.

3.4 利用两个-c 波片和两个-a 波片进行膜补偿

两个-c 波片和两个-a 波片补偿示意图如图 11 所示。

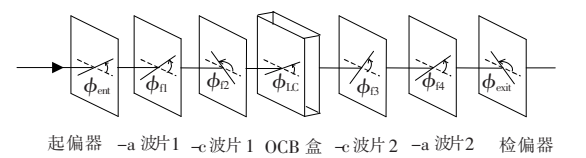


图 11 用两个-c 波片和两个-a 波片补偿示意图
Fig. 11 Device structure of OCB mode with two -c and two -a uniaxial films

以两个-a 波片和两个偏光片的方位角作为变量进行优化,两个-c 波片的方位角都是 0° ,厚度都是 $40\text{ }\mu\text{m}$ 。两个-a 波片的厚度都是 $15\text{ }\mu\text{m}$ 。 $U_1=1.2\text{ V}$, $U_2=14\text{ V}$,优化结果为:液晶层平面的方位角为 0° ,起偏器的方位角为 -41° ,检偏器的方位角为 49° , -a 波片 1 的方位角为 45.3° , -a 波片 2 的方位角为 45.3° 。

图 12 是利用两个-c 波片和两个-a 波片补偿并优化参数后的等对比度视角图。图中曲线从里向外依次表示对比度为 2 000,1 000,500,200,100,50,10,5,1 的区域。模拟软件的结果显示最大对比度可以达到 2 300。从图中也可以看出该液晶盒的视角很宽, 20° 极角范围的各个方向上对比度可以达到 1 000,正负 60° 极角范围水平方向对比度达到 200。

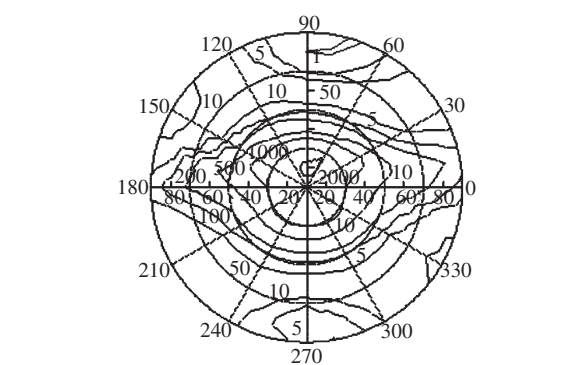


图 12 两个-c 波片和两个-a 波片补偿后的等对比度视角图
Fig. 12 Iso-contrast contour of the OCB mode with two -c and two -a uniaxial films

图 13 是用两个-c 波片和两个-a 波片补偿的响应时间曲线。图中曲线 a 表示将低电压 $U_1=$

1.2 V 变为高电压 $U_2=14\text{ V}$ 后,液晶盒的透过率逐渐降低,从该曲线中可以得到上升时间约为 0.1 ms ;曲线 b 表示将高电压 $U_2=14\text{ V}$ 变为低电压 $U_1=1.2\text{ V}$ 后,液晶盒的透过率逐渐增大,从该曲线中可以得到下降时间约为 1.8 ms 。所以总响应时间约为 1.9 ms 。

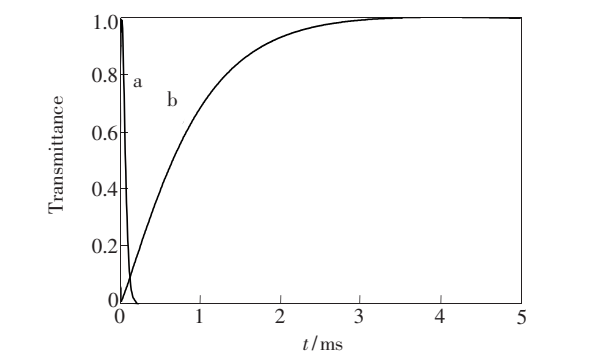


图 13 两个-c 波片和两个-a 波片补偿后的响应时间曲线
Fig. 13 Curves of response time of the OCB mode with two -c and two -a uniaxial films

以上就是 4 种膜补偿结构以及它们的优化结果,4 种膜补偿结构的最大对比度都在 2 200 以上。两个-c 波片和两个+a 波片的膜补偿结果最好,最大对比度为 2 900。利用两个-c 波片和两个-a 波片进行膜补偿和用两个-c 波片和两个+a 波片进行膜补偿的视角都很宽,其他两种膜补偿结构得到的视角范围相对较窄。4 种膜补偿结构的响应时间都在 2 ms 以下,其中用两个双轴膜补偿得到的响应时间最短,仅为 1.5 ms 。

4 结 论

研究了 OCB 器件的膜补偿方式,通过模拟和计算得到了 4 种膜补偿结构的最佳参数。4 种膜补偿结构的最大对比度都达到了 2 200 以上,其中用两个-c 波片和两个+a 波片进行的膜补偿的优化结果最好,对比度达到了 2 900。利用两个-c 波片和两个-a 波片进行膜补偿和用两个-c 波片和两个+a 波片进行的膜补偿可以得到很宽的视角。4 种膜补偿结构的 OCB 盒的响应时间都在 2 ms 以下。这些结果可以为 OCB 模式液晶器件的设计提供理论依据。

致谢:本文作者感谢香港科技大学郭海成教授和 V. G. Chigrinov 教授提供了 Mouse LCD 模拟软件,使我们的模拟计算节省了大量的时间。

参 考 文 献:

[1] Bos P J, Koehler-Beran K R. The pi-cell: a fast liquid-crystal optical-switching device [J]. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 1984, 113:329-339.

[2] 小林俊介(日). 下一代液晶显示 [M]. 北京:科学出版社,2003.

[3] 任芝. 液晶显示模式视角特性的数值模拟 [D]. 天津:河北工业大学,2005.

[4] 谭浩强,田淑清. Fortran 语言-Fortran77 结构化程序设计 [M]. 北京:清华大学出版社,1990.

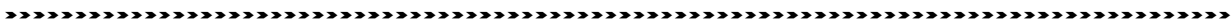
[5] Jones R C. A new calculus for the treatment of optical systems [J]. *J. Opt. Soc. Am.*, 1941, 31(7):488-493.

[6] Lien A. A detailed derivation of extended Jones matrix representation for twisted nematic liquid crystal displays [J]. *Liquid Crystals*, 1997, 22(2):171-175.

[7] Raynes E P. The optical properties of super-twisted nematic liquid crystal layers [J]. *Mol. Cryst. Liq. Cryst. Lett.*, 1987, (4):69-75.

[8] Kwok H S. Parameter space representation of liquid crystal display operating modes [J]. *J. Appl. Phys.*, 1996, 80(7):3687-3693.

[9] Sun Y B, Ma H M, Zhang Z D, *et al.* Rapid response mechanism of pi cell [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2008, 92 (11):111117(1-3).



《中国光学》征稿启事

《中国光学》,双月刊,A4 开本;国内刊号 CN22-1400/O4;国内外公开发行;邮发代号:国内 12-140,国外 BM6782。

- ★中国科技核心期刊
- ★中国光学学会光电技术专业委员会会刊
- ★中国学术期刊(光盘版)源期刊

报道内容:基础光学、发光理论与发光技术、光谱学与光谱技术、激光与激光技术、集成光学与器件、纤维光学与器件、光通信、薄膜光学与技术、光电子技术与器件、信息光学、新型光学材料、光学工艺、现代光学仪器与光学测试、光学在其他领域的应用等。

发稿类型:学术价值显著、实验数据完整的原创性论文;研究前景广阔,具有实用、推广价值的技术报告;有创新意识,能够反映当前先进水平的阶段性研究简报;对当前学科领域的研究热点和前沿问题的专题报告;以及综合评述国内外光学技术研究现状、发展动态和未来发展趋势的综述性论文。

欢迎投稿、荐稿,洽谈合作。

主管单位:中国科学院
主办单位:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
编辑出版:《中国光学》编辑部

投稿网址:http://chineseoptics.net.cn
邮件地址:chineseoptics@ciomp.ac.cn,gxyygx2007@126.com
联系电话:(0431)86176852;(0431)84627061 **传 真:**(0431)84613409
编辑部地址:长春市东南湖大路 3888 号(130033)