

文章编号 1004-924X(2001)03-0273-06

玻璃基板的表面特征对 STN-LCD 显示特性的影响

汤安东

(深圳莱宝真空技术有限公司, 广东 深圳 518034)

摘要: 基于 STN-LCD 显示的双折射干涉原理并结合人眼视觉系统因素, 从理论上说明了液晶盒间隙的不均匀性与 STN-LCD 显示出现彩虹的关系, 进而阐述了 ITO 玻璃基板的表面形貌特征对 STN-LCD 显示特性的影响。实践表明: 致使 STN-LCD 出现彩虹的主要因素取决于其制造工艺的控制。

关键词: 超扭曲向列液晶显示器; 双折射; 浮法玻璃; 表面特征

中图分类号: TN141.9 文献标识码: A

1 引言

在当前的新经济时代中, 知识(信息)的传播、交流将成为社会文明进步、生产力提高和经济发展的重要因素; 而与此相关的信息技术(IT)特别是信息显示技术已经成为一种非常重要的产业, 普遍地深入到了科研、生产及人们的日常生活之中, 已经受到了世界各国的高度重视。信息的处理、接受及发送等操作均依赖于信息处理系统的终端设备与人之间的界面—信息显示来完成^[1]。随着半导体集成电路技术的飞速发展和广泛应用, 使得信息处理系统(设备)向小型化、轻量化、节能化、高度集成化和便携化等方面发展。而液晶显示器件(LCD)由于具有重量轻、体积小、功耗低、驱动电压低及平板薄型等优点, 容易与集成电路相匹配, 恰好符合技术发展的趋势和信息时代的需求, 因而近十年来 LCD 产业以每年增长近 30% 的速度发展。其应用范围已从手表、计算器扩展到仪器仪表、办公自动化、家用电器、通讯、便携电脑及电视等方面^[2]。

LCD 器件发展至今已 30 多年了, Heilmeyer^[3]利用液晶的动态散射效应(DS)制成了第一个 LCD, 开始了 LCD 应用的里程。但由于 DS-LCD 应用电流电压效应, 耗电较多, 电化学破坏较大, 寿命较短, 因而没有批量生产。1971 年 Schadt^[4]等人发明了扭曲向列相液晶显示器(TN-LCD),

因为 TN-LCD 是场效应器件, 耗电少, 所以它们取得了非常成功的应用。自 80 年代开始, 由于 ITO 透明导电玻璃、电池、IC 驱动、偏光片及液晶材料合成等外围技术的发展和普及, LCD 才得以真正的产业发展, 与人们的现实生活息息相关。

随着信息社会的高速发展, 人们要求显示器能显示越来越多的信息量, 并对显示效果提出了更高的要求; 而 TN-LCD 由于电光特性曲线不够陡峭, 无法实现 64 线以上的大容量显示(由于交叉效应的增大而几乎看不到显示)。1984 年 Scheffer 等人^[5]发现如果将液晶分子的扭曲角增大到 $180^\circ \sim 270^\circ$, 则可以获得特别陡峭的电光响应曲线, 其陡度因子可接近 1, 从而极大地提高显示器件的显示容量和分辨率, 驱动线数可以达到 480 线以上, 此即超扭曲向列液晶显示器(STN-LCD)。最近 12 年以来, 随着移动电话、无线上网、车载电子地图以及个人数字助理(PDA)等的兴起和普及, STN-LCD 产业在中小尺寸显示器市场上得到了前所未有的发展机遇, 从而带动了其重要原料 ITO 镀膜玻璃产业的发展, 预计今年中国大陆 ITO 镀膜玻璃的销售总额可达 8000 万美元。

STN-LCD 利用超扭曲效应和双折射效应来完成信息显示, 液晶层厚度的偏差会敏感地反映为不同颜色的变化; 对液晶盒间隙的精度要求很高, 通常要控制在 $\pm 0.05 \mu\text{m}$ 以内^[6]。因此, 所使用

的玻璃基板必须经抛光、研磨预处理。本文以 STN-LCD 显示的双折射效应原理为依据, 结合人眼视觉系统因数和浮法玻璃成型工艺特点, 系统地阐述了浮法玻璃的表面形貌特征对 STN-LCD 器件显示特性的影响, 本文的结论和观点有助于 LCD 业了解玻璃基板的表面特征和提高器件品质。

2 STN-LCD 显示原理

液晶态是一种介于液体与晶体之间的特殊物质形态。某些物质在熔点和清亮点之间的温度范围内, 既具有液体的可流动性, 又具有类似晶体结构的有序性; 因而其光学性质和某些电学性质又和晶体相似, 是各向异性的。如图 1 所示: 在两枚偏振片 P_1 和 P_2 之间夹着一个厚度为 d 的 STN-LCD 盒。入射的自然光通过起偏片 P_1 变成线偏振光; 取向层附近的液晶分子不是沿玻璃基板 S_1, S_2 表面排列, 而是按一定预倾角排列。当线偏振光入射进入液晶层时, 其偏振方向与液晶分子的取向矢不平行, 存在一夹角。由于液晶的光学各向异性特征, 存在典型的双折射效应, 所以入射的线偏振光被分解为具有与液晶分子取向平行和垂直偏振面的光即为: 异常光(e 光)和正常光(o 光), 入射光线经过液晶层后由线偏振光转化为椭圆偏振光。经 P_1 后的线偏振光的振动矢量为 E_1 , 振幅为 A ; 不失一般性, 可以选取合适的分子取向和坐标系, 使得液晶层的 e 轴沿 OX 轴取向, o 轴沿 OY 轴取向, 如图 2 所示为各电矢量的分解与合成。

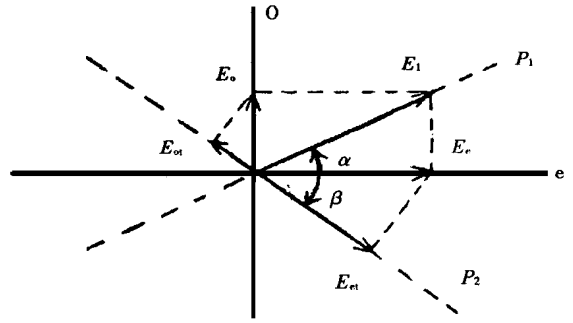


Fig. 2 Resolution and composition of the electric vector of the light beam

设 e 轴(X 轴)与 P_1 夹角为 α , 线偏光投射到液晶层上后可以分解为 e 振动 E_e 和 o 振动 E_o , 则 E_e 和 E_o 的振幅分别为:

$$A_e = A \cos \alpha \tag{1}$$

$$A_o = A \sin \alpha \tag{2}$$

光线由液晶层出射到偏光片 P_2 上时, e 分量与 o 分量中只有它们在 P_2 偏振取向上的分矢量 E_{et} 和 E_{ot} 才能通过。设 P_2 与 e 轴夹角为 β , 则 E_e 和 E_o 的振幅分别为:

$$A_{et} = A_e \cos \beta = A \cos \alpha \cos \beta \tag{3}$$

$$A_{ot} = A_o \sin \beta = A \sin \alpha \sin \beta \tag{4}$$

最后从偏振片 P_2 射出的光线, 其强度应是 E_{et} 和 E_{ot} 这两个同方向(即都沿 P_2 偏振方向)振动的相干迭加的矢量合, 设其合振动为 E_t

即:

$$E_t = E_{et} + E_{ot} \tag{5}$$

E_{et} 与 E_{ot} 两振动之间存在相位差 δ :

$$\delta = 2\pi(n_e - n_o)d/\lambda = 2\pi\Delta n d/\lambda \tag{6}$$

其中, $\Delta n = n_e - n_o$ 为液晶双折射率, λ 为入射光波长。

根据同方向简谐振动合成的原理, E_t 的振幅应为:

$$A_t = A_{et} + A_{ot} + 2A_{et}A_{ot}\cos \delta \tag{7}$$

所以出射光强度 I_t 为:

$$I_t = I_0(\cos^2 \alpha \cos^2 \beta + \sin^2 \alpha \sin^2 \beta + 2 \cos \alpha \cos \beta \sin \alpha \sin \beta \cos \delta) \tag{8}$$

因为 $\cos \delta = 1 - 2\sin^2(\delta/2)$, 所以(8)式可改写为:

$$I_t = I_0[\cos^2(\alpha - \beta) - \sin 2\alpha \sin 2\beta \sin^2(\delta/2)] \tag{9}$$

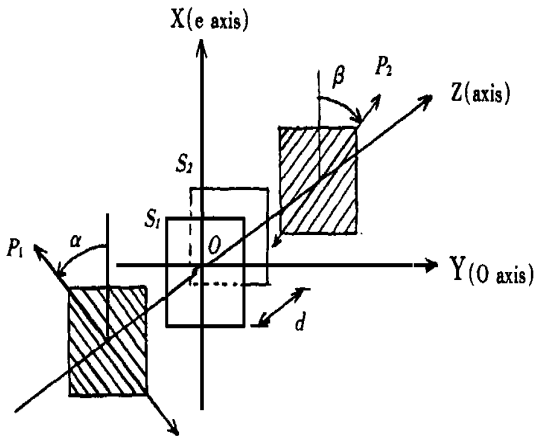


Fig. 1 Displaying principle of STN-LCD

为讨论简单起见,不妨取 $\alpha - \beta = \pi/2$, 即 $P_1 \perp P_2$ 情形,则可得:

$$I_t = I_0 \sin^2(2\alpha) \sin^2(\delta/2) \quad (10)$$

如果调整液晶光轴与起偏片 P_1 之间的夹角 α 使之 45° , 则

$$I_t = I_0 \sin^2(\delta/2) \quad (11)$$

即透过光强度 I_t 只取决于 δ 值。

如果在整个可见光范围都要求有较好的透过率,则应当选择 $\Delta n d / \lambda_0 = 1/2$, 其中 λ_0 应是对人眼比较灵敏的绿光波长。

当在两极板 S_1 与 S_2 之间加上足够大的电压时,电场会驱动液晶分子的指向矢平行于外场排列,液晶的光轴垂直于 P_1, P_2, S_1, S_2 , 即沿 Z 轴方向;这时液晶将不再会影响沿 Z 轴垂直于 S_1, S_2 入射的光的偏振特性,从而使 $I_t = 0$, 实现了明和暗不同的两个状态。

3 视觉系统因素对 STN-LCD 显示特性的影响

我们知道任何显示器都是建立在人类视觉功能基础上的人-机界面,显示器不能脱离人眼视觉系统因素的影响^[7]。视觉系统因素包括颜色视觉、空间视觉、亮度视觉、立体视觉和动态视觉等,在这里我们只讨论与本文有关的前两个因素。

3.1 颜色视觉

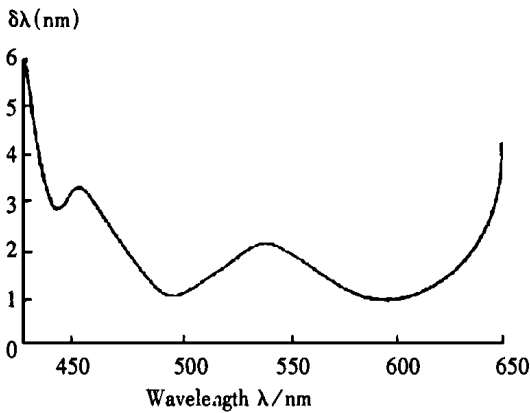


Fig. 3 Relationship between the shift sensitiveness to monochromatic light spectrum of human eyes and the light wavelength

人眼的成像功能是由晶状体和视网膜共同完成的,晶状体相当于可变焦镜头,它使观察物尽可能清晰地成像于视网膜上;视网膜则由锥状体组成,它们相当于光电转换器,将光信号转换成电信号由大脑处理,按光谱灵敏特性分类,锥状体有

R、G、B 三种。人眼对颜色偏差的鉴别力对显示器而言意义重大,图 3 是人眼对单色光的光谱偏移灵敏度与波长的关系曲线。

可以看出,在红、蓝光谱段(对应的光波长分别是 600nm 和 400nm),人眼对颜色偏差的鉴别力比较强;而在绿光谱段,人眼对颜色的变化不太敏感。根据这个结论,如果要用颜色变化来表征信息,就应选用红、兰色,如果不希望颜色的变化对显示器的使用者有明显的感觉,就应选用黄绿色。对于入射白光而言,某种波长的 $I_t = 0$ 时,则显示出对应光波长 λ 的互补色。由(11)式可知,STN-LCD 盒间隙只要改变 $0.05\mu\text{m}$,显示色彩就可能会有很大的改变。

3.2 空间视觉

评价空间视觉的主要指标是角鉴别力,实验研究表明:人眼的观察过程与傅里叶变换器的作用近似:即将被观察物分解为振幅和相位的空间频谱,然后再对单个频谱分量进行处理,图 4 是人眼可辨识的空间频率与调制度的关系。

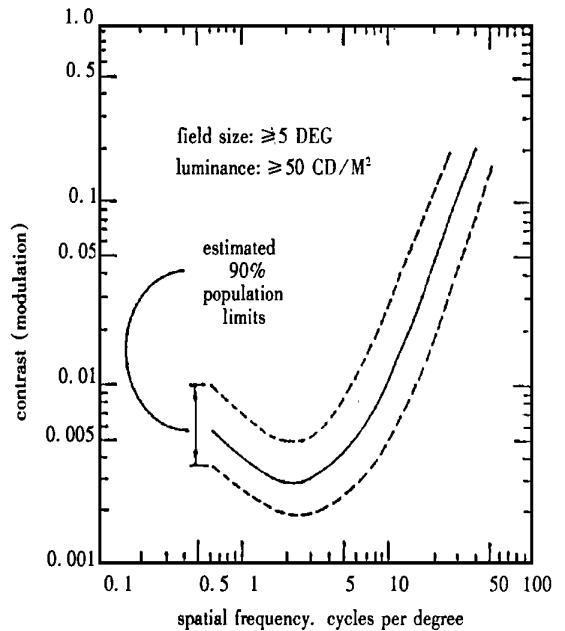


Fig. 4 Relationship between maximum spatial frequency identified by human eyes and the modulation

从图 4 可以看出:人眼的最高对比灵敏度 (contrast sensitivity) 即调制度的倒数,出现在空间频率 $3\text{Hz}/\text{度}$ 处。这一特性导致了人眼在观察黑白对比度很高的图案时,会觉得黑白边界区对比度特别强。人眼对空间频谱比较敏感的范围是: $0.5\text{Hz}/\text{度} \sim 5\text{Hz}/\text{度}$, 而人眼的明视距离为 25cm ,

在此距离处 1 度所张的距离是 $250 \times \pi / 180 = 4.36\text{mm}$ 。因此, 对应的人眼敏感的空间波长范围是: $4.36 / 0.5 \sim 4.36 / 5 \approx 0.8\text{mm} \sim 8\text{mm}$, 空间频率太低的长波分量和空间频率太高的短波分量对人眼都不灵敏。

4 玻璃基板的表面特征及其对 LCD 显示特性的影响

由于具有表面平整性好, 价格低及工艺、品质稳定等一系列优点, 在 LCD 制造业中几乎都采用浮法工艺生产的钠钙玻璃原片作为其基板。然而, 浮法玻璃基片表面并非理想的几何平面, 浮法的成型工艺导致基片玻璃表面存在着不平整性^[8,9], 这种凹凸的不平整性可以分成以下三种:

(1) 翘曲度(Warp): 是指基板内出现 1~2 次的凹凸(其周期很大, 超过 20mm), 或者仅有一个弯曲。由于翘曲度对应的曲率不大, 对液晶显示器质量无明显影响。但如果翘曲度过大, 则对 LCD 器件制造过程中, 真空吸附不紧, 对压盒工艺有影响; 另外在光刻时也会造成虚光, 使光刻图形模糊, 分辨下降, 通常要求 $\text{Warp} \leq 0.1\%$ 。

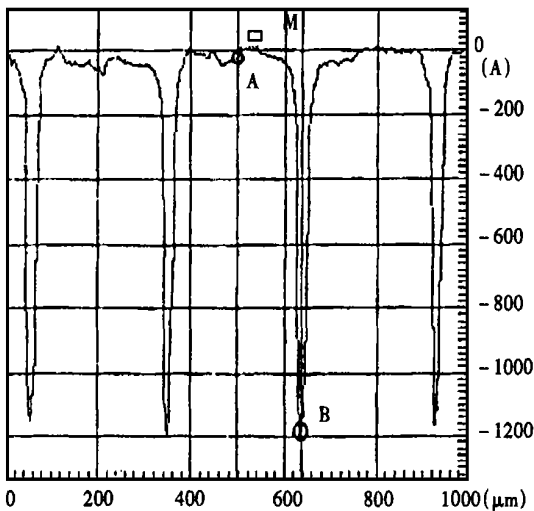


Fig. 5 Profile of the internal surface of a STN-LCD's substrate glass

(2) 表面粗糙度(Roughness): 根据美国 ANSI/ASME-B46.1-1985^[10] 标准规定, 通常表面粗糙度是指 1mm~2mm 范围内多次重复出现的凹凸, 其变化通常比人眼的分辨率还要小。将会影响涂覆膜的特性以及液晶分子的排列取向。如此小范围内凹凸不会影响人眼的视觉结果, 下图是 Philips 公司目前主流手机屏产品(COG)的显示屏

内基板表面轮廓图, 测试仪器是美国 Veeco 公司的 Dektak3。该产品所用 ITO 膜层厚为 125.0nm 左右, 方块电阻 $< 15 \Omega / \square$ 。由图 5 可以看出: 该产品的线宽(像素尺寸)是 $268 \mu\text{m}$, 线间距是 $32 \mu\text{m}$; 像素表面与像素间隙表面的高度差(图 5 中的 A 点与 B 点垂直距离)为 120.0nm, 这与 ITO 膜层厚度相当, 由此说明: 在 ITO 膜表面涂覆的定向层 PI(通常的厚度是 80.0nm)是均匀覆盖在像素与像素间隙表面的, 并没有影响高度差; PI 粘度大, 并没有“填满”ITO 膜电极的沟道, 这种凹凸不平对视觉没有产生不良影响。

(3) 表面微观波纹度(Micro-corrugation): 反映了周期在 1mm~20mm 以内的表面凹凸。在灌液晶封盒后, 会使液晶层厚度产生较大的误差, 引起显示不均匀, 甚至出现干涉彩虹。对于浮法基片来说, 这一点至关重要。由上面的讨论可以看出 STN-LCD 要求液晶盒间隙的误差小于 $0.05 \mu\text{m}$, 因此一般而言 STN-LCD 使用的基板玻璃必须抛光。对于浮法玻璃而言, 当与玻璃基板表面成一定角度并且垂直于浮法拉伸方向观察时, 可以看见表面高低不平的玻筋。产生的玻筋原因是玻璃液本身的热不均匀性而引起厚薄变化, 造成表面凹凸。任何一段实际表面轮廓都可按傅里叶级数展开, 分解成各个不同空间频率的正弦波, 本文 3.2 节中已论述人眼对 $0.8\text{mm} \sim 8\text{mm}$ 波长范围的空间频谱较敏感, 因此在测量微观波纹度时要选取 $0.8\text{mm} \sim 8\text{mm}$ 截止波长, 把超出这一范围内的空间频谱全部过滤掉后再合成为粗糙度曲线。该曲线上任何 20mm 取样长度内的 R_t 值(波峰-波谷高度差)即用来评估微观波纹度, 不同厚度玻璃基板典型的 R_t 值要求如下表:

Table 1 Allowable micro corrugation R_t value of the substrate glass surface

thickness of the substrate glass (mm)	$R_t(20\text{mm})$ 0.8mm~8mm cut off
1.1	$\leq 0.05 \mu\text{m}$
0.7	$\leq 0.075 \mu\text{m}$
0.55	$\leq 0.10 \mu\text{m}$
0.4	$\leq 0.15 \mu\text{m}$
0.3	$\leq 0.20 \mu\text{m}$

5 结 论

在超扭曲液晶显示器中, 由于双折射光的干涉效应, 对液晶盒间隙的精度要求在 $\pm 0.05 \mu\text{m}$ 以

内。这一方面要求所用基片玻璃的微观波纹度必须符合一定的要求外,更主要的是对 STN-LCD 工艺提出了更高的要求。玻璃基片具有很好的弹性形变,在压盒和整平^[6,11,12]中能对其表面微观波纹度的偏差进行补偿和修正,由表 1 可以看出:同样的 STN-LCD 器件,玻璃基板越薄其容许的微观波纹度 R_i 越大,这一方面说明玻璃越薄抛光的难度越大;另一方面也说明玻璃越薄,在 LCD 工艺中就越容易进行盒间距的修正。笔者经常接到一些 STN-LCD 客户关于彩虹问题的投诉,经开盒测试,玻璃的微观波纹度均符合要求,配合客户分析后都能在其 LCD 工艺上发现问题。值得指出的是:前几年国内先后引进了十多条 STN 生产线,很多由于掌握不了工艺,只能生产低利润的 TN-LCD 产品,造成很大的资金浪费。希望有关厂家能仔细研究 STN-LCD 制造工艺,积极吸引

有经验的人才,利用当前难得的中小尺寸 STN-LCD 市场供不应求的良机,争取完成产业升级。有关盒厚均匀性控制的问题,可以参阅文献[13-14]。

目前,LCD 厂家在排版时,一般取 LCD 盒长边沿基片玻璃的浮法方向排列,上、下两片玻璃对准贴盒。为此我们建议在 STN-LCD 制造中,可以尝试下述排列方法:LCD 盒长边沿抛光基片玻璃垂直于浮法拉伸方向的方向排列,另一片玻璃用普通未抛光玻璃(或者更薄的普通玻璃),LCD 盒的长边沿其浮法拉伸方向排列;并注意加强垫隔料(spacer)的喷撒工艺,然后再对准贴合,经压盒、整平,这样会大大地减少生产成本(抛光基片的价格是普通基片的 4 倍以上)。

作者曾与格拉威宝电子玻璃(深圳)有限公司的詹保国先生进行过有益的讨论,在此表示感谢。

参考文献:

- [1] 刘榴娣,常本康,党长民.显示技术[M].北京:北京理工大学出版社,1993.
- [2] 黄锡珉,显示技术新进展[J].液晶与显示,2000,15(3):1-5.
- [3] Heilmeyer G H, Zaroni L A, Barton L A. Generating multiple images for integrated circuits by fourier-transform holograms [C]. Proc. IEEE. 1968: 116.
- [4] Schadt M, Helfrich W. Voltage dependent optical activity of a twisted nematic liquid crystal[J]. Appl. Phys. Lett, 1971, 18(1): 127-128.
- [5] Scheffer T J, Nehring J. A new highly multiplexable liquid crystal display[J]. Appl. Phys. Lett, 1984, 45(10): 1021-1023.
- [6] 黄锡珉,黄辉光,李之榕.液晶器件手册[M].北京:航空工业出版社,1992.
- [7] 邹邗.显示器的使用因素和 ISO-9241[J].现代显示,1994,(1):52-61.
- [8] Glaverbel Bu Vertec. Glass specification for thin float glass for LCD application, quality control and assurance[R]. Belgium: 2000.
- [9] Pilkington Micronics Limited. Specification for ultra thin glass substrates[R]. 1996.
- [10] Surface texture (Surface roughness, waviness and lay), ANSI/ASME B46.1-1985, The American Society of Mechanical Engineers[S].
- [11] 深圳天马微电子公司编写组.液晶显示器制造工艺[M].成都:电子科技大学出版社,1993.
- [12] 施善定,黄嘉华,李季娥.液晶与显示应用[M].上海:华东工学院出版社,1993.
- [13] 童纪雄,沈奕.0.7mm 基材 STN-LCD 盒厚的均匀性控制[J].现代显示,1997,(3):37-43.
- [14] 段江,王国龙,郑康.320×240 黑白 STN-LCD 的研制[J].光电子技术,2000,20(1):59-64.

Influence of the surface texture of the substrate glass on the display characteristics of STN-LCD

TANG Airdong

(Shenzhen Leybold Vactech Co., Ltd., Shenzhen 518034, China)

Abstract: The paper begins with an analysis of the relationship between the nonuniformity of the gap of the LC cell and the display rainbow of super twisted nematic liquid crystal (STN-LCD) based on the principle of birefringent

interference and the human vision factor. And then it explains the influence of the surface texture of the ITO coating substrate glass on the display characteristics of STN-LCD. Practice has made known that the display rainbow of STN-LCD is mainly resulted from its manufacturing process.

Key words: STN-LCD; birefringence; float substrate glass; surface texture

作者简介:汤安东(1968-),男,陕西汉中,深圳莱宝真空技术有限公司工程师,硕士,主要从事ITO磁控溅射镀膜工艺及ITO镀膜玻璃性能测试分析的研究工作。

中国光学与应用光学文摘

《中国光学与应用光学文摘》(双月刊)是由中科院文献情报中心、中科院光学情报网和中科院长春光学精密机械与物理研究所联合主办,经国家科委批准的国家一级检索期刊。该刊主要收集我国科研人员在国内外期刊中发表的有关光学、光电子学以及光学在各领域的应用等方面的论文,国内召开的有关会议论文和国内有关单位的学位论文。该刊1985年创刊,现全部以文摘形式报道国内光学领域的最新研究成果与进展。每期报道文献750篇。

2001年《中国光学与应用光学文摘》仍通过邮局发行,邮发代号:12-140,定价9.00元/期,订阅本刊的新老订户可去邮局订阅该刊,在邮局漏订或想补订该刊的订户,可随时与《中国光学与应用光学文摘》编辑部联系,银行汇款与邮局汇款皆可。

单 位:中科院长春光学精密机械与物理研究所《中国光学与应用光学文摘》编辑部

邮 编:130021

银 行:中行吉林省分行营业部

账 户:04单位438部

账 号:018211000889

地 址:吉林省长春市工农大路61号

联系人:杨妹清

电 话:(0431)5684692转2438

E-mail:xxfw@ciomp.ac.cn