

# 简单交流液晶光阀

陈 垦

(上海激光技术研究所)

## 提 要

本文描述由真空热蒸发制备的硫化镉光导层, 介质反射镜, 向列相液晶层等多层薄膜构成的简单交流反射式液晶光阀。并以此建立了用白光写入, He-Ne 激光读出的非相干-相干二维象变换系统, 获得了比较清晰且有灰阶层次的相干变换图象。

## 一、简单交流液晶光阀的实验结构

实验光阀的结构如图1所示。器件是由两块平整的光学玻璃基板之间的一系列薄膜层构成的。在两块玻璃基板内侧是一层薄的氧化锡透明导电电极。一低压(5~10 V)音频(1~10 kHz)交流电源与这两层透明电极相联。硫化镉光导层是采用真空热蒸发方法制备的, 光导膜的厚度在 $10\ \mu\text{m}$ 左右, 其暗电阻率 $>10^9\ \Omega\text{-cm}$ , 交流暗/亮阻抗比 $>10$ (其制备方法及性能测试见参考文献[1]), 硫化镉光导层的作用是用来感受非相干写入光的图象。介质反射镜系用真空热蒸发方法, 把 $\text{ZnS}/\text{MgF}_2$ 的 $\lambda/4$ 交替层直接镀制在CdS光导层上制备而成, 宽带介质反射镜可用来隔离写入光和读出光。为简便起见, 我们省略了CdTe光阻挡层, 使写入光和读出光的隔离效果受到一些影响, 降低了光阀阈值灵敏度。在介质反射镜与对电极之间, 定向蒸发SiO隔离层。SiO隔离层一方面提供一层与向列相液晶层不活泼的接触表面, 另一方面起液晶层表面分子取向的锚泊作用。两块玻璃片之间用环氧树脂

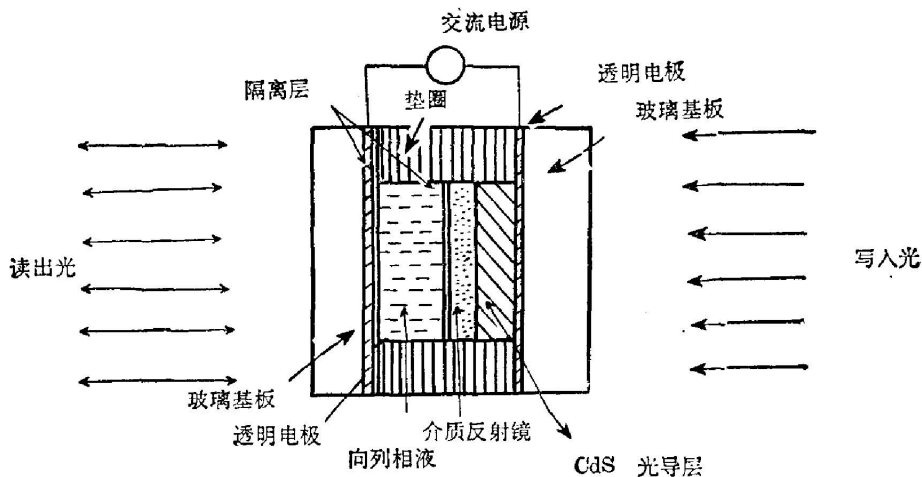


图1 实验光阀结构示意图

Fig. 1 Scheme of experimental structure of the LCVC (in cross section)

脂与玻璃粉封袋。用真空进样方法注入向列相液晶样品,形成一层  $6\mu\text{m}$  厚的液晶薄层。借助于扭曲向列相液晶层的混合场效应,调制通过液晶层的相干读出光。

## 二、交流液晶光阀的工作原理

### 1. 工作概况

交流液晶光阀作为非相干-相干图象变换器的光学系统,如图 2 所示。

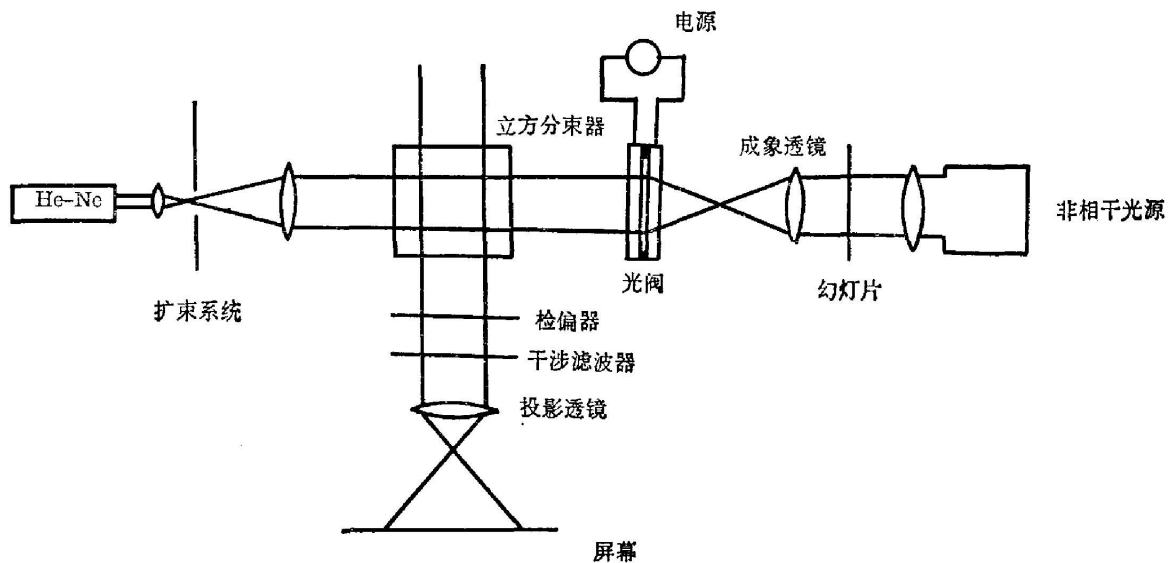


图 2 非相干-相干图象变换系统

Fig. 2 Incoherent to coherent image transforming system

在交流液晶光阀的两透明导电电极上加上交流电压,如无光入射写入边时,则加到光阀上的电压大部分落在光导层上,液晶层上的电压低于液晶阈值电压,液晶分子维持扭曲状态。在输出屏幕上呈现暗场。如以相干光投射到写入边时,由于光导层对写入光强度的电光响应,故光导层阻抗变小,并与液晶层重新分配电压。当液晶层上电压  $>$  液晶阈值电压时,输出屏幕上呈现亮场。以不同光强度图象入射写入边光导层时,由于光导层对不同光强的电光响应不同,使光导层和液晶上形成与写入光图象对应的电压象,在输出屏幕上得到由非相干图象变换而得的相干光图象。

### 2. 反射式 $45^\circ$ 扭曲向列相液晶层的电光性质

向列相液晶层的光学性质类似于光轴沿着液晶分子取向的单轴晶体。图 3 表示  $45^\circ$  扭曲向列相液晶层在不同外电压情况下液晶分子取向矢的扭曲角和倾角随液晶层厚度方向的分布。

根据液晶层分子取向矢的分布,便能进而推算扭曲向列相液晶层的透射特性。在外加电压低于阈值电压情况下,可以证明当入射线偏振光的振动面与液晶入射面分子取向矢平行时,在液晶层较厚的情况下,出射光仍为线偏振光,只是其振动面随液晶分子取向矢的扭曲转过一同样的角度<sup>[2]</sup>。在正交检偏器后获得暗场。

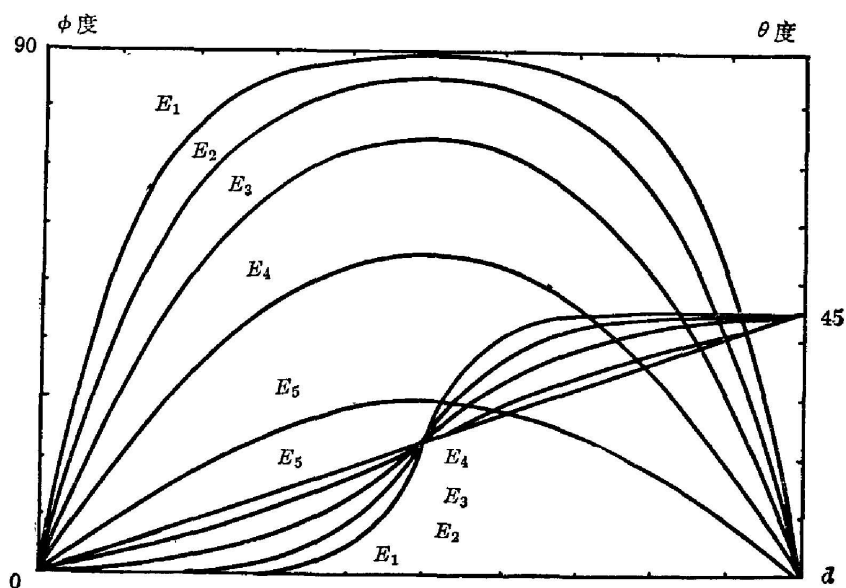


图 3 45° 扭曲向列相液晶层扭曲角  $\phi$ 、倾角  $\theta$  与外场及位置的关系  
 Fig. 3 Twist and tilt angles vs. distance through 45° degree twisted nematic cell

在外加电压超过液晶阈值电压情况下,扭曲向列相元件透射特性理论计算由 Berreman 给出<sup>[3]</sup>。图 4 表示反射式 45° 扭曲元件的输出特性。

选择液晶层总扭曲角为 45° 是因为能使液晶层的双折射作用最显著,从而获得较好的对比度。

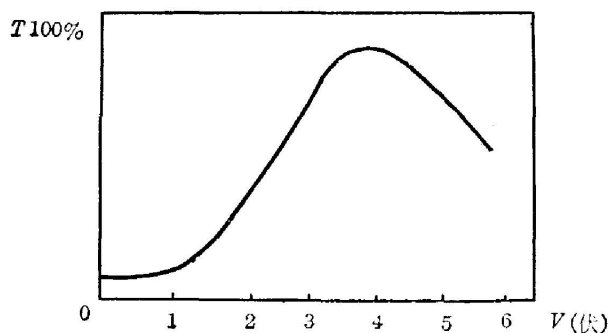


图 4 反射式 45° 扭曲元件输出特性 ( $T$  为透过率)  
 Fig. 4 Output characteristic curve of reflective type 45° degree twisted LC cell

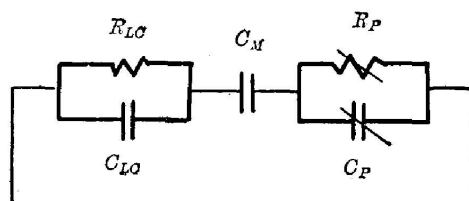


图 5 实验光阀的等效电路  
 Fig. 5 Equivalent circuit of the experimental LCVC

### 3. 交流液晶光阀对光导层的要求

根据实验光阀的结构,其等效电路应为图 5。

其中  $R_{LC}$ 、 $C_{LC}$  分别为液晶层的电阻和电容。 $R_P$ 、 $C_P$  为光导层的电阻和电容,它们将随写入光强而变化。 $C_M$  代表介质反射镜电容。

我们所用的液晶材料其电阻率大于  $5 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ , 阈值电压在 1.5 V 左右。由于液晶层的电容分量是材料介电常数的函数,而液晶的各向异性使它的有效介电常数为液晶分子取向的函数,故液晶层的电容  $C_{LC}$  随着电压的变化而变化。经实验测定,  $6 \mu\text{m}$  厚的液晶层,

当电压  $V_c \sim 2V_c$  变化时 ( $V_c$  为阈值电压), 单位面积液晶的电容在  $1200 \sim 2200 \text{ pF/cm}^2$  之间变化。即液晶层的阻抗在  $130 \sim 70 \text{ k}\Omega$  之间变化 (对交流频率  $1 \text{ kHz}$ )。从图 5 可知光阀各部分电压分配为  $V_P:V_M:V_{LO} = Z_P:Z_M:Z_{LC}$ 。

为使液晶层能承受  $V_c$  到  $2V_c$  的电压变化 (从图 4 可以看出, 此时液晶层输出光强随电压增加而增加), 要求光导层的暗阻抗  $> 500 \text{ k}\Omega/\text{cm}^2$ , 亮阻抗  $< 50 \text{ k}\Omega/\text{cm}^2$ , 即光导层暗亮阻抗比  $> 10$ 。由 CdS 光导材料的介电常数可以估计光导层厚度应在  $10 \mu\text{m}$  左右。若设光导层的直流阻抗比交流容抗大一个数量级, 则可计算得到光导层的暗电阻率  $> 1 \times 10^9 \Omega\text{-cm}$ 。

目前我们所制备的硫化镉光导层的电光性能已达上述要求, 并能与液晶层交流匹配。

### 三、交流液晶光阀性能测试

**1. 分辨率** 把每毫米各种线对的标准分辨率卡制成幻灯片, 用白光光源成像到光阀的写入边, 选择适当的电压和频率的电源加到光阀两透明电极上, 用 He-Ne 激光扩束后正入射到光阀的读出边, 经介质反射镜反射通过检偏器和干涉滤光片 (对  $6328 \text{ \AA}$ , 主要用来隔离写入光对读出边的影响), 以及成像透镜在输出屏幕上获得分辨率卡的相干象, 经放大后观察能分辨的每毫米线对数。结果为分辨率  $> 6 \text{ pl/mm}$ 。

**2. 灰阶分辨本领** 我们采用直接把 20 个灰度标准的灰阶板成像到光阀写入边, 经光阀变换后观察变换象能分辨的灰阶数。结果为光阀的灰阶分辨本领在四个灰度等级以上。

**3. 响应时间** 在图 2 光路写入边放置一快门, 在读出边检偏器后放置一干涉滤光片。让  $6328 \text{ \AA}$  通过, 以避免写入光对读出光响应的干扰。在读出边屏幕处放置一光电接收器, 接收器输出端接示波器  $y$  轴输入, 这样在示波器屏上便能获得光阀的响应时间曲线。定义光阀输出强度上升到饱和值的 90% 所需要的时间为光阀的上升时间, 下降到饱和值 10% 所需要的时间为光阀的下降时间。结果是响应的上升时间为  $140 \text{ ms}$ , 下降时间为  $40 \text{ ms}$ 。

**4. 对比度** 上述光路光电接收器输出端与一数字电压表联接, 便能获得相干输出光强在亮态和暗态时接收器输出电压值。若接收器的接收光强与输出电压成线性关系, 则相干输出象亮态和暗态的光强对比度为接收器输出电压之比。我们对光阀有效面积上各处取测量平均值, 获得输出象对比度  $> 100:1$ 。

由于目前我们采用简单交流液晶光阀结构光阀中没有用 CdTe 作光阻挡层, 使读出光尚有一小部分透过介质反射镜, 影响光阀的阈值灵敏度。故未作阈值灵敏度测量。目前实验光阀经断续一百多小时使用, 性能无明显下降, 可见交流液晶光阀的工作寿命要比直流的长得多, 性能较为稳定。

### 四、简单交流液晶光阀的应用及实验讨论

考察反射式  $45^\circ$  扭曲液晶层的输出特性 (图 4), 随着液晶层上承受电压的逐渐增加, 通过液晶层和正交检偏器后的输出光强有从暗场到亮场, 及从亮场到暗场的变化。因此当我们在液晶光阀上加上适当频率和幅值的交流电压时, 若写入光的增强把液晶层上电压的变化限制在输出相干光强从暗场到亮场的变化, 即图 4 曲线的前半段, 我们便能获得非相干图

象的正变换,若写入光强的增强把液晶层上电压的变化限制在输出光强从亮场到暗场的变化,即工作在曲线的后半段,我们便能获得非相干象经过对比度逆转的象。我们就液晶光阀作非相干-相干象变换器和对比度逆转器这种比较简单的应用作了实验,实验光阀除对字迹显示有作用外,对有灰阶层次的照相底片的显示也有较好效果,所获得的相干变换正象和对比逆转象如图 6 所示。

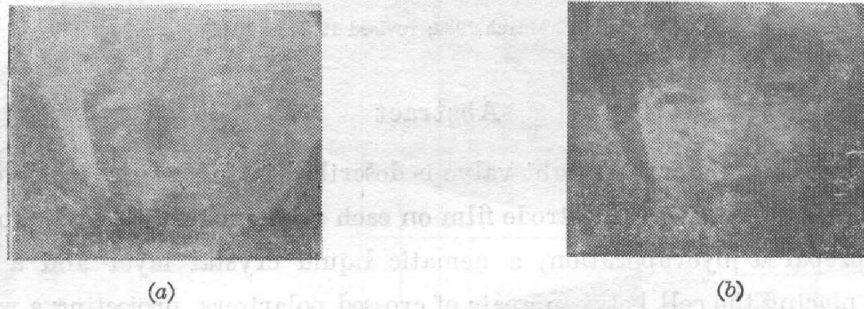


图 6 非相干-相干变换

Fig. 6 Incoherent-coherent transforming image

(a) positive image (b) its reversed image

从以上实验结果来看,目前光阀的性能离开实用阶段还有很大距离,图象的背景噪声还很大,分辨率不够高,整个光阀面积上电光响应一致性还有待提高,象面上的干涉条纹还很明显,光阀的响应速度还不能适应实时变换,这些缺陷与硫化镉光导层的制备及液晶层厚度的均匀性等有关。

#### 参 考 文 献

- [1] 陈垦,钟启明;《光学学报》,1983, **3**, No. 5 (Aug), 462.
- [2] J. Grinberg and A. D. Jacobson; *J. Opt. Soc. Amer.*, 1976, **66**, No. 10 (Oct), 1003,
- [3] D. W. Berreman; *J. Opt. Soc. Amer.*, 1973, **63**, No. 10 (Oct), 1374.

## A simple AC liquid crystal light valve

CHEN KEN

(Shanghai Laser Technology Institute)

(Received 12 March 1984; revised 19 June 1984)

### Abstract

A simple AC liquid crystal light valve is described in this paper, which consists of two parallel glass plates with electrode film on each side, enclosing a CdS photoconductive film prepared by evaporation, a nematic liquid crystal layer and a dielectric mirror. By placing the cell between a pair of crossed polarizers, projecting a white light image on the write-in side of the valve and using He-Ne laser as read-out beam, a incoherent to coherent image converter system is established and a coherent image with several gray scale can be obtained.

### 《玻璃与搪瓷》(双月刊)简介

本刊是玻璃、搪瓷工业的综合性科技刊物。宗旨是反映我国玻璃搪瓷工业科学技术成就与水平,介绍和报道与玻璃、搪瓷生产有关的问题。主要刊登日用玻璃、技术玻璃、搪瓷制品、有关的新材料 and 涂层等方面的研究报告、生产经验、综述、专论、市场产品、造型装饰、史话、标准、讲座、信箱等,供有关科技人员、技术工人、管理和美工人员、大专院校师生及其他有关玻璃、搪瓷行业的读者参考。

本刊自 1984 年起在国内外公开发刊。

本刊希望国内外从事玻璃、搪瓷生产研究工作的同行踊跃投稿,共同探讨本行业问题。

本刊设广告专栏,愿为国内外各行各业厂家宣传其产品、扩大其影响、开拓其市场。

国外订阅: 中国国际图书贸易总公司(北京市车公庄西路 21 号)

国内发行: 上海市报刊发行处

国内订阅: 全国各邮电局 订价: 0.50 元

报刊代号: 4-333

国内广告可直接与本编辑部联系

国外广告请与上海广告公司联系

广告经营许可证: 沪工商广 098 号