

# 交流液晶光阀中光导膜的 制备和特性测量

陈 垦 钟启明

(上海激光技术研究所) (复旦大学物理系)

## 提 要

本文根据交流液晶光阀对 CdS 光导膜的要求,采用真空热蒸发淀积以及淀积后的高温退火,掺铜敏化方法,制备了高暗电阻率、高光敏性,膜厚大于  $10\mu\text{m}$  的表面光洁、性能稳定的 CdS 光导膜。经测定,其直流暗电阻率大于  $10^9\Omega\text{-cm}$ ,交流亮/暗电流比在  $10^3$  数量级,交流光响应时间小于  $100\text{ms}$ 。已基本上符合与液晶层的匹配要求。

## 一、前 言

自从 1972 年美国休斯公司试制成具有实用价值的交流液晶光阀以来<sup>[1,2]</sup>,光阀中关键膜层——CdS 光导膜的研制引起了人们的极大兴趣。根据交流液晶光阀的工作原理,经过简单的推算,便能得知,用于光阀的 CdS 光导膜暗电阻率必须大于  $10^9\Omega\text{-cm}$  才能与高阻抗液晶层匹配,且其交流暗/亮阻抗比必须大于 10 才能有效地起着光控变阻器的作用。

为了获得高暗阻、高光敏性的 CdS 光导膜,人们采用了诸如真空热蒸发淀积、反应溅射淀积等多种制备方法,都取得了较好的结果。我们用真空热蒸发淀积及淀积后高温退火、掺铜敏化的方法,制备了满足上述要求的 CdS 光导膜。

用这种方法制备的 CdS 光导膜,膜面光洁,抗潮性能好,与基片附着性能也好,膜厚大于  $10\mu\text{m}$  而不龟裂壳落。经测定,其暗电阻率大于  $10^9\Omega\text{-cm}$ ,直流暗/亮阻抗比高达  $10^3\sim 10^4$  数量级,交流暗/亮阻抗比在  $10^3$  数量级左右,膜的光响应时间小于  $100\text{ms}$ ,基本上满足了与液晶层的匹配要求。我们用这样的 CdS 光导膜制成交流反射式液晶光阀,实现了非相干-相干二维图象的变换。现将 CdS 光导膜的制备和特性测量分述如下。

## 二、CdS 光导膜的制备

采用真空热蒸发法在常规的真空热蒸发系统中淀积而成 CdS 膜,并用光谱纯的 CdS 热压块料作蒸发材料,蒸发前先将蒸发材料预热,以去除其中吸附的气体。蒸发时必须是在不过份提高源温的前提下提高蒸发速率,一般控制在  $4\text{\AA}/\text{sec}$  左右<sup>[3]</sup>真空度一般为  $10^{-5}\text{ torr}$ 。此外,必须注意控制基片温度,一般以  $150\sim 200^\circ\text{C}$  为宜,此时,淀积 CdS 膜呈橙黄色,膜面光洁,抗潮性能和附着情况均良好;若基片温度太低,淀积膜颜色呈棕褐色,膜与基片附着不好,

收稿日期: 1982 年 2 月 15 日,收到修改稿日期: 1982 年 9 月 21 日

易龟裂壳落;而基片温度过高会造成膜淀积不均匀和大颗粒淀积,使表面粗糙膜层不透明。

直接蒸发淀积生成的 CdS 膜暗电阻率较低,光敏性也很差。这是由于蒸发过程中 Cd 和 S 有不同的蒸气压,使淀积膜中的 Cd 的含量超过 CdS 化学计量比引起的<sup>[3]</sup>,故必须再经过高温退火和掺杂处理,以去除多余的 Cd 或使多余的 Cd 复合,且掺入受主杂质。我们采用与通常<sup>[3,4]</sup>不同的处理方法,在图 1 所示的恒温炉中进行高温退火和掺铜敏化的方法。铜粉在高温(400°C, 加热时间 0.5~4 hr)下与 CdS 膜面密切贴合,由于热扩散进入 CdS 膜内。

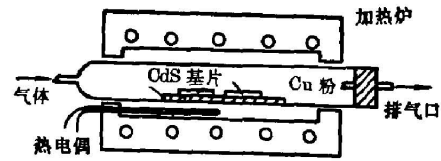


图 1 CdS 膜蒸发后处理装置

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus of CdS film after evaporation

在实验中发现,蒸发后处理的最佳工艺条件的选择与 CdS 蒸发膜的制备条件有关。这是因为不同蒸发条件下所获得的 CdS 膜,其超过化学计量比的 Cd 的含量不同,故加热的温度、时间及需要补偿的施主浓度也就不同。因此严格控制工艺参数,稳定实验条件是获得优质光导膜的关键。另外,也注意到对处理结果不太理想的 CdS 膜可以重复处理,逐步提高 CdS 膜的暗电阻率和光敏性。而掺杂浓度过高,处理温度过高,时间过长等也将会导致光导膜的暗电阻率和光敏性的下降。

### 三、CdS 光导膜的特性测量

#### 1. 直流伏安特性测量

直流电压通过玻璃基片上预先喷涂的 SnO<sub>2</sub> 透明电极以及与 CdS 膜紧密贴合的导电橡胶

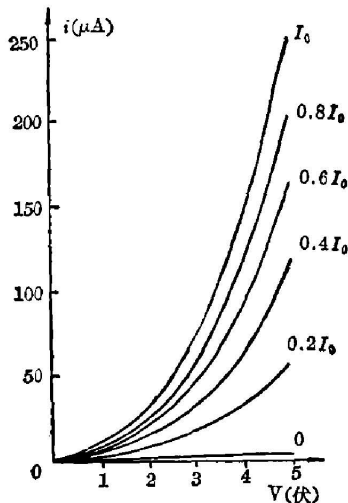


图 2 CdS 膜的直流伏安特性  
Fig. 2 DC V-A characteristic of CdS film

胶加到 CdS 膜上。暗态电流是样品置于暗箱中半小时后的测量值。用扩束、均匀面功率密度为 1.5 mW/cm<sup>2</sup> 的 He-Ne 激光及偏振片作可调光源。测得 CdS 膜直流伏安特性随光照强度的变化关系,如图 2 所示。经简单换算即可得 CdS 膜的暗电阻率和暗/亮电阻比。表 1 给出不同处理条件下,膜在 5 V 直流电压时的暗电阻率和暗/亮电阻比。

#### 2. 交流伏安特性测量

把 CdS 膜与 100 Ω 取样电阻串联,加上交流电压,测量取样电阻上交流分压来求得通过 CdS 膜的交流电流值。我们在频率为 1 kHz 交流电压下,测得 CdS 膜交流伏安特性随光照的变化关系,如图 3 所示,从图中可知,膜的亮/暗电流比已达 10<sup>3</sup> 数量级。实验中发现暗电流与电压关系基本上是直线,且暗电流大小与交流频率成正比,可见在交流操作中 CdS 膜呈电容性。

#### 3. 膜光谱响应测量

把钨丝白炽灯发出的白光经单色仪投射到 CdS 膜上,测量 CdS 膜在 5 V 直流电压下对

表 1 各种不同处理条件下 CdS 膜直流 (5 V) 暗电阻率和暗/亮电阻比  
Table 1 DC (5V) dark resistivity and dark resistivity/bright resistivity ratio  
of CdS films with different treatments

编 号	处 理 方 法	暗电阻率( )	暗/亮电阻比
28*	氮气中铜扩散 400°C 30 分钟	$1.6 \times 10^{11}$	$7.8 \times 10^3$
15*	空气中铜扩散 400°C 30 分钟	$6.5 \times 10^{10}$	$2.6 \times 10^4$
1*	空气中 500°C 2 小时退火再在空气中 铜扩散 400°C 30 分钟	$4.6 \times 10^{10}$	$1.6 \times 10^3$
22*	空气中 500°C 2 小时退火	$4.4 \times 10^7$	2.5

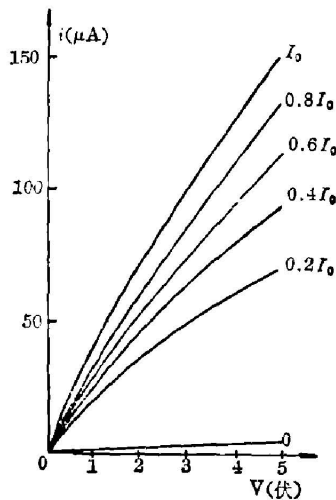


图 3 CdS 膜的交流伏安特性

Fig. 3 AC V-A characteristic of CdS film

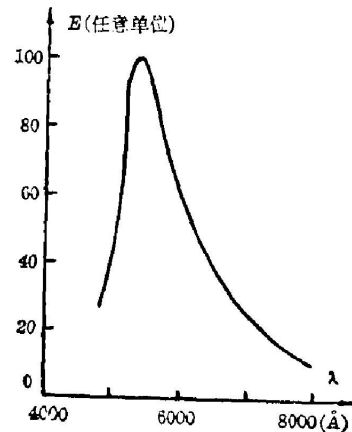


图 4 掺铜 CdS 膜光谱响应曲线

Fig. 4 Spectral response curve of CdS film  
having diffused Cu

不同波长的光电流响应,由白炽灯光谱能量分布,便得 CdS 膜等能量光谱响应曲线,如图 4 所示。由图 4 所知,掺铜杂质的 CdS 光导膜光谱响应峰值(约 5400 Å)与 CdS 单晶本征光谱响应峰值(5100 Å)<sup>[3]</sup>相比,峰值向波长方向有一移动,这是因为掺铜杂质能级在 CdS 能带图的禁带中,杂质能级的激发比本征激发需要较少的能量。

#### 4. CdS 膜光响应时间测量

用声光调制器把 He-Ne 激光调制成光学方波,把与 CdS 膜串联的取样电阻、电压信号输入示波器,当用直流电压 5 V,取样电阻 2 kΩ 时得直流光响应时间曲线,如图 5 所示(时标 200 ms/div);当用交流电压 5 V,取样电阻 200 Ω 时得交流光响应曲线,如图 6 所示(时标 300 ms/div)。若按上升时间为从稳态暗电流上升到稳态光电流的 90% 所需时间,及下降时间为从稳态光电流下降到 10% 光电流所需时间,则可从图 5、图 6 得 CdS 膜直流光响应上升时间 160 ms,下降时间 80 ms,交流光响应上升时间 60 ms,下降时间 30 ms。

#### 5. CdS 膜暗电阻和亮电阻均匀性

为了得到不失真图象显示, CdS 膜在暗态和均匀光照时,膜面上各处暗电阻和亮电阻必须均匀一致。我们对 CdS 膜面上蒸发直径为 1.5 mm 的铂电极,逐点测量每平方厘米面积上 CdS 膜暗、亮电阻的均匀性。测量结果不很理想,膜边缘电阻率明显降低,中央区域暗

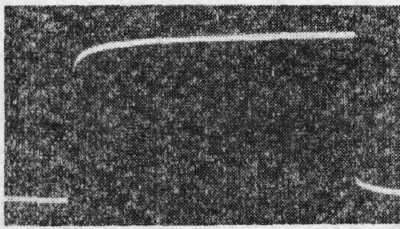


图5 直流光响应时间曲线

Fig. 5 DC photocurrent response curve

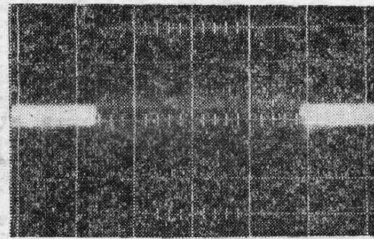


图6 交流光响应时间曲线

Fig. 6 AC photocurrent response curve

电阻率偏离平均值 30% 左右,亮电阻率偏离平均值 50% 左右。估计这是掺杂不均匀所致。这些偏差尚未达到数量级上差异,与光照效应相比要小得多,故虽会造成光阀背景噪声,仍能获得较清晰图象。

我们制备并测量了用于液晶光阀的 CdS 光导膜,还以此与液晶层匹配制成简单的交流反射式液晶光阀,获得了初步的图象显示。由于上述 CdS 膜制备方法还有许多不足之处,如 CdS 膜掺杂不均匀引起光响应的不一致,响应时间太长等,尚需继续改进实验方法,以获得优质 CdS 光导膜。

#### 参 考 文 献

- [1] W. P. Bleha *et al.*; *Opt. Engng.*, 1978, **17**, No. 4 (Jul/Aug), 371.
- [2] T. D. Beard, W. P. Bleha *et al.*; *Appl. Opt.*, 1973, **22**, No. 3 (Feb), 90.
- [3] R. H. Bube; *Photoconductivity of Solids*, (John Wiley & Sons, New York, London, 1960).
- [4] K. W. Boer, A. S. Esbitt *et al.*; *J. Appl. Phys.*, 1966, **37**, No. 7 (Jun), 2664.

### Preparation of CdS photoconductive film used in AC LCLV and the measurement of its properties

CHEN KEN

ZHONG QIMING

(Shanghai Laser Technology Institute)

(Physics Department, Fudan University)

(Received 15 February 1982, revised 21 September 1982)

#### Abstract

A method of preparing CdS photoconductive film used in AC Liquid Crystal Light Valve (LCLV) is developed. It employs general evaporating techniques in the vacuum system. After evaporating, the CdS film is annealed at high temperature and diffused with proper Cu impurity as acceptor. Thus a CdS film with smooth surface, high dark resistance and well photoconductivity is obtained.

It has been known by the measurement that the dark resistance is higher than  $10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ . The ratio of light to dark electrical current is of the order of  $10^3$ , the response time is shorter than 100 ms.