

CdS-CdSe 液晶光阀光电特性分析

李海峰 顾培夫 刘旭 唐晋发

(浙江大学光学与科学仪器工程学系, 杭州 310027)

摘 要 对 CdS-CdSe 液晶光阀的结构及特性进行了分析, 对其性能参数进行了测试, 此光阀能较好地应用于大屏幕投影显示系统中。

关键词 液晶光阀。

1 引 言

作为一种实时空间光调制器的液晶光阀(LCLV), 已广泛地用于光信息处理、可见与红外图像转换以及大屏幕投影系统^[1, 2]。国外以美国休斯公司为主从70年代开始着手研制液晶光阀。目前普遍使用的有 CdS、场效应管单晶硅以及非晶硅液晶光阀等^[3~5]。CdS-液晶光阀制作工艺简单, 但速度较慢, 且对可见光响应波段窄。CMOS π -Si-液晶光阀光电响应大, 但制作工艺复杂。a-Si-液晶光阀采用非晶硅和铁电液晶, 有较高的响应速度, 一般用于速度要求高的光信息处理系统中。作者研制的 CdS/CdSe 液晶光阀制作工艺简单, 其光电导层为 CdS-CdSe, 响应速度 <20 ms, 白光对比度 $>100:1$, 灵敏度 $<10 \mu\text{m}/\text{cm}^2$, 极限分辨率 >50 lp/mm, 在大屏幕投影系统中应用获得了相当理想的效果。本文对此光阀的特性进行了分析和测试。

2 光阀结构

液晶光阀的结构如图1所示。光阀中光导层采用 CdS-CdSe 双层结构并掺以 Cu^+ , Cl^- 等杂质, 厚度为 $5 \mu\text{m}$, 其光谱响应范围和响应速度都比 CdS 有较大幅度的改善, 典型的响应时间小于 5ms ^[6]。CdTe 光阻隔层用来分隔强的读出光使之不影响弱的写入光。宽带高反射率介质镜用来反射输出读出光。光阀中的液晶采用 E44(BDH), 45° 扭曲定向, 光阀写入端基板为光纤面板, 以便把阴极射线管上的图像直接耦合到光阀的光导层上。

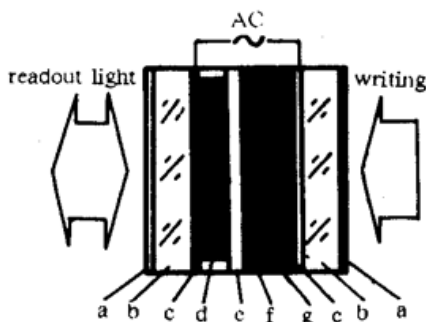


Fig. 1 The structure of the LCLV

a: AR coating, b: substrate, e: dielectric mirror,
c: ITO films, d: LC layer, f: light blocking
layer, g: photoconductive film

3 光阀特性分析

3.1 光阀开关比(SWR)

光阀的开关比是光阀在光照和无光照时液晶层上的电压比，它的大小决定了光阀的动态范围。本文可以把液晶光阀等效成如图 2 所示的电路。当外加的交变电压为 U_0 时，液晶层上的电压为

$$U_{lc} = \left| \frac{Z_{lc}}{Z_{lc} + Z_m + Z_{ph}} \right| U_0$$

其中 Z_{lc} 、 Z_m 、 Z_{ph} 分别为液晶、介质镜和光导层上的阻抗。在光照下 Z_{ph} 变为 Z'_{ph} ，则

$$SWR = \left| 1 + \frac{Z_{ph} - Z'_{ph}}{Z_{lc} + Z_m + Z'_{ph}} \right|$$

由此可见，减小 Z_{lc} 和 Z_m 以及增大 Z_{ph} 的变化量对增大 SWR 大有好处。为此作者在光阀中采用多层 ZnS、MgF₂ 作为介质反射镜，旨在获得较宽反射带的同时尽可能减小介质镜的厚度。并且对光导层的暗电导也进行了优化选择。一般暗电导率在 $10^{11} \sim 10^{12} \Omega\text{cm}$ 已能满足要求。实际上，由于光导层电容的存在，致使在一定频率下继续提高电阻率不再增加光阀的开关比（见表 1）。而减小液晶层的厚度、增加光导层的厚度和提高它的结效应则可明显提高光阀的开关比。

3.2 光阀对比度

光阀对比度决定着输出图像质量的好坏。而对比度的大小取决于液晶的光电调制曲线。

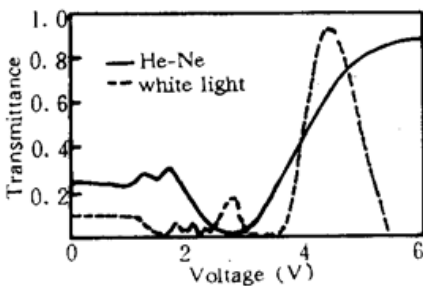


Fig. 3 The electric-optical curves of liquid crystal
The polaeization angle is (a) He-Ne 5 deg, (b) white light 18 deg

当激光作为光阀的读出光时，其光电调制曲线是比较理想的，具有较高的对比度。并且当作者仔细调节入射光的偏振方向后，可以进一步压低暗态光强，获得极高的对比度（见图 3）。但当光阀用白光读出时，由于不同波长通过相同厚度的液晶，其双折射效果不同，使某一波长输出最小时，其它波长并非最小，因而产生严重的色散，大大降低了它的对比度。为此作者通过调节液晶厚度和读出光偏振方向的方法，获得了较佳的光电调制曲线（图 3），其对比度可达 100:1 以上，且色散较小。光阀在暗态时呈蓝黑色，在亮态时呈黄白色。若在输出时加一滤色片，能够得到较好的黑白图像。

3.3 光阀响应时间

光阀的响应时间主要由光导层和液晶的响应时间决定。由于在 CdS-CdSe 薄膜中掺杂了 Cu⁺、Cl⁻ 等离子，使得光导层的响应速度控制在 5 ms 以内。对于 5~7 μm 的液晶层其响应时间一般为几十毫秒。如果增大液晶定向时的预倾角，并且利用液晶的顺态向列效应，则可缩短响应时间。本文选择的液晶工作点有较高的电压偏置，定向预倾角控制在 9°左右，使得液晶的响应速度提高到 10 ms 以内。实际制作的液晶光阀的响应时间一般均在 20 ms 以内，最快的在 10 ms 左右，已能比较好地满足显示及信息处理的需要。

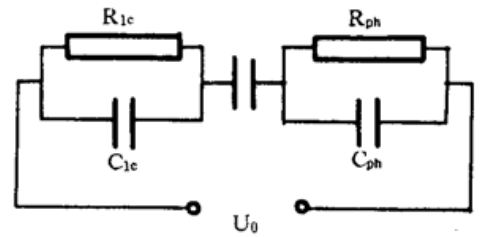


Fig. 2 The equivalent circuit of CdS-CdSe LCLV

4 特性测试

光阀开关比的测试原理如下：

在无光照时，调节驱动电压至 U_1 ，使光阀输出最小，此时液晶层上电压为

$$U_{lc} = \alpha_1 U_1$$

其中 α_1 为此时液晶层所占电压的比例系数。当光照时，液晶上电压变为

$$U'_{lc} = \alpha_2 U_1$$

调节驱动电压至 U_2 ，使光阀输出仍为最小，此时液晶上电压

$$U_{lc} = \alpha_2 U_2$$

由此得到光阀开关比为

$$SWR = U_1/U_2$$

表 1 为测得的在光导层具有不同暗电导时液晶光阀的开关比。

Table 1. Switching ratio of LCLV with different dark-conductivity of CdS-CdSe

ρ (Ωcm)	5×10^{12}	1×10^{12}	5×10^{11}	1×10^{11}
SWR	2.0	2.3	2.4	2.1

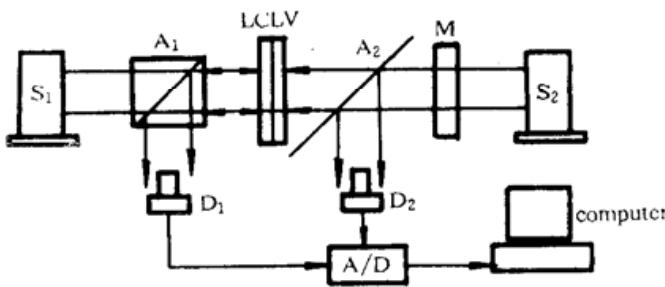


Fig. 4 The setup for testing the performance of the LCLV

S_1, S_2 : white light source; M : light modulator; A_1 : polarizing prism; A_2 : beam splitter; D_1, D_2 : light detector

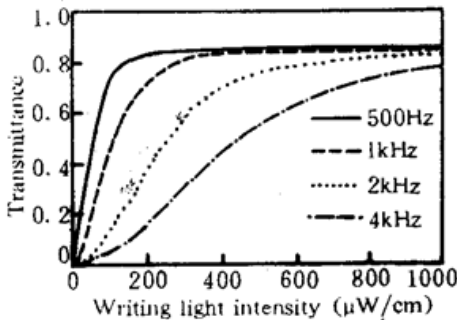


Fig. 5 The input-output curves of the CdS-CdSe LCLV

光阀对比度的测试装置如图 4。其中的写入及读出光均为白光。通过调节二个正交薄膜偏振片夹角，调节写入光的强弱。读出和写入光分别通过光电探测器输入计算机。得到的光阀输入-输出曲线如图 5。由其中亮态和暗态的输出光强比可得它的对比度在 100:1 以上。在图 4 中光阀的写入光用斩波器进行调制，把相应的输出光信号送入计算机，可得它的响应时间，如图 6。

如果把鉴别率板 1:1 成像到光阀，在输出端用读数显微镜观察，可以测得光阀的极限分辨率在 50 lp/mm。

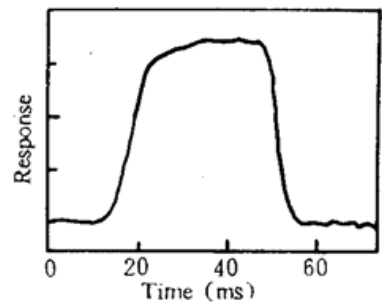


Fig. 6 The response time of the LCLV

5 大屏幕投影应用

液晶光阀大屏幕投影系统的结构如图 7 所示。系统中光源为 3 kW 的氙灯。由于液晶的视角效应，氙灯光源必需经过准直镜成为准平行光。系统的起偏、检偏镜为多层介质偏振镜，它的偏振度较高，消光比可达几百比一^[7]。光阀的写入图像由小型高亮度阴极射线管提供，通过光纤面板直接耦合。目前系统的对比度为 30:1，最高分辨率 600×800，输出光强 1500

1m, 画面尺寸 3 m×4 m。图 8 为光阀输出的黑白图像。

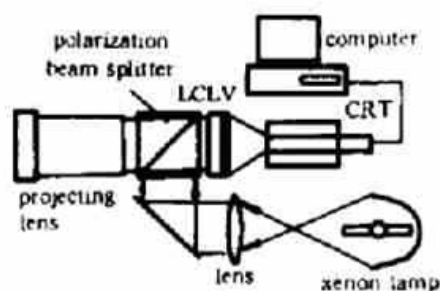


Fig. 7 The system of LCLV large screen display



Fig. 8 The output image of the LCLV

结 论 CdS-CdSe 液晶光阀是一种制作简单、性能良好的图像转换器件,能较好地满足大屏幕投影及其它各方面应用的需要。

参 考 文 献

- [1] Haifeng Li, Peifu Gu, Xu Liu, et al., A study of Cd/CdSe-LCLV for large screen displays. *Proc. SPIE*, 1993, 2000: 101
- [2] 梅 鑫, 夏孟华, 徐安喜等. 动态可见-红外图像转换器件及转换系统. *光学学报*, 1994, 14(3): 323~326
- [3] J. Gringberg, A. Jacobson, W. P. Bleha et al., A new real-time non-coherent to coherent light image converter, The hybrid field liquid crystal light valve. *Opt. Eng.*, 1975, 14(3): 217~225
- [4] U. Efron, J. Grinberg, P. O. Braatz et al., The silicon liquid crystal light valve. *J. Appl. Phys.*, 1985, 57(4): 1356~1368
- [5] T. D. Hudson, R. Kevin Worcester, Don A. Gregory, Performance characteristics of fan optically addressed ferroelectric liquid crystal spatial light modulator. *Appl. Opt.*, 1991, 30(20): 2867~2872
- [6] Peifu Gu, Haifeng Li, Zhenchai Zhu, The properties of vacuum-evaporated CdS and CdSe double layered films doping with copper and chlorine. *Proc. SPIE*, 1993, 2017: 26
- [7] Gu peifu, Liu Xu, Li Haifeng et al., Polarization selective beamsplitter. *Proc. Optical Interference Coatings*, 1995, OSA Technical Digest Series, 17: 361~363

Analysis of Optical-Electronic Properties of Liquid Crystal Light Valve with CdS-CdSe Photosensor

Li Haifeng Gu Peifu Liu Xu Tang Jinfa

(Department of Optical-Electric & Scientific Instrumentation Engineering,
Zhejiang University, Hangzhou 310027)

(Received 9 June 1994; revised 7 August 1995).

Abstract The CdS-CdSe Liquid-crystal Light Valve(LCLV) has been investigated, and its optical-electronic properties have been measured. Such devices have been successfully used in the large-screen display.

Key words liquid crystal light valve