

动态可见-红外图象转换器件及转换系统

梅 震 夏孟华 徐安喜 顾培夫

赵德康 李海峰 刘 旭 唐晋发

(浙江大学光电与科学仪器工程学系, 杭州 310027)

摘 要 本文介绍已建立的一套动态可见-红外图象转换系统, 采用 CdS-CdSe 光导薄膜型液晶光阀作为关键转换器件, 实现了由可见图象到红外(8~12 μm)图象的视频转换, 其对比度达 9:1, 响应时间为 40 ms, 极限分辨率为 10 lp/mm.

关键词 图象转换器件.

1 引 言

为了在实验室环境中进行导弹导引头的非破坏性测试, 需产生一幅模拟真实情况的动态红外图象投射到导弹导引头的探测系统中. 这就是红外仿真的任务. 为此需研制一套动态可见-红外图象转换系统, 将计算机生成的动态模拟目标的可见“热图”实时地转换为红外图象. 其关键器件为液晶光阀. 美国休斯公司从 80 年代初期开始研制动态可见-红外动态图象转换系统(VIDIC)^[1~4], 其核心部件采用 MOS 型二极管列阵单晶硅液晶光阀^[1,2], 近期报道研制成肖特基二极管列阵单晶硅液晶光阀^[3]. 其整机系统已满足实用要求^[4].

本文介绍自建的一套动态可见-红外图象转换系统. 采用 CO₂ 激光作为红外光源, 以 CdS-CdSe 光导薄膜型液晶光阀, 实现图象的实时转换.

2 红外液晶光阀

液晶光阀是一种接收空间图象并用另一光源的光将之转换为输出图象的图象传感器^[1]. 图 1 是 CdS-CdSe 光导薄膜型红外液晶光阀的结构图. 它由夹在锗基极和玻璃基板之间的一系列薄膜和液晶层组成. 在工作状态时, 需在两端电极上施加一定的交流电压. 当一幅可见图象照射在光导层上时, 光导层上各点的阻抗随该点的光强发生相应的变化, 因而改变了光导层和液晶之间的电压分配. 在液晶层上形成一幅电压“潜象”. 这个过程可用下式描述:

$$V_{LC} = V_0 Z_{LC} / [Z_{LC} + Z_{PC} I_{IN}(x, y)]. \quad (1)$$

式中 V_{LC} 为液晶层电压, V_0 为总电压, Z_{LC} 为液晶阻抗, Z_{PC} 为光导层阻抗, I_{IN} 为入射光强. 当 I_{IN} 增大时, 光导层上电压便转移到液晶层上, 使 V_{LC} 增大.

在红外液晶光阀中, 液晶层起着对红外读出光的调制作用. 图 2 描述的是平行排列的向

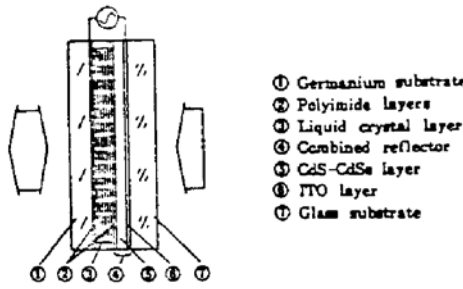


Fig. 1 The structure of infrared CdS-CdSe LCLV

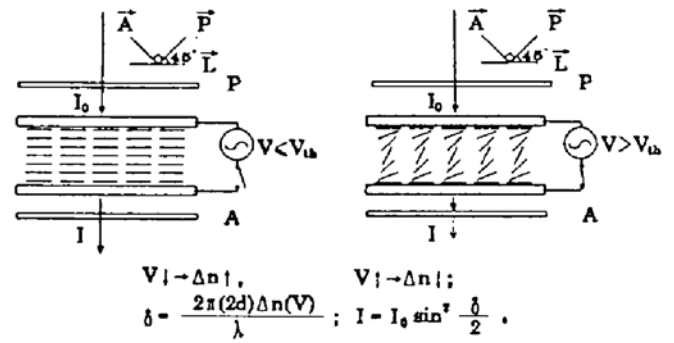


Fig. 2 Operation mode of liquid crystal: parallel alignment

列型液晶工作模式. 红外光以偏振面和液晶分子定向成 45° 角入射, 获得位相调制

$$\delta = 2\pi(2d)\Delta n(V)/\lambda \quad (2)$$

式中 Δn 为液晶的双折射; d 为液晶层厚度, 因红外光是采用反射方式对液晶光阀读出, 两次穿过液晶层, 故穿过液晶的厚度为 $2d$. 红外光出射后通过正交检偏器检偏后, 获得光强

$$I = I_0 \sin^2(\delta/2) \quad (3)$$

当液晶层电压小于阈值电压时, $\Delta n = \Delta n_{\max} = n_e - n_o$; 当液晶层电压进一步升高时, Δn 随电压升高而减小. 图 3 是 E7 型液晶的 Δn 与液晶层电压关系的计算曲线和微米液晶层对波长为 $10 \mu\text{m}$ 的入射光的调制效率与电压关系的计算曲线.

在红外液晶光阀中, 采用锗基板作为输出端红外窗, 由于锗具有良好的导电性 ($P < 40 \Omega\text{cm}$), 因此可同时用作红外透明端电极. 锗的折射率较大 ($n = 4.0$), 必须镀制 $\lambda/4$ -ZnS 单层减反膜以减小表面反射. 写入端采用玻璃基板, 在玻璃基板上用电子束蒸发镀制 ITO 膜作透明端电极, 可见光区平均透过率约 90%, 面电阻 $30 \sim 50 \Omega/\text{cm}^2$.

光导层是掺 Cu、Cl 的 CdS-CdSe 膜^[5]. 如 Cu、Cl 的比例适当, 光导层的暗电导率就非常低, 而光导特性相当好. 当掺杂浓度为 $5 \times 10^{-3} \text{gCu/g(CdS-CdSe)}$ 和 $\text{Cl/Cu} = 3/2$ 时, 效果尤佳. 此时亮暗电导比为 $500 \sim 5000$, 暗电阻率为 $10^{10} \sim 10^{12} \Omega\text{cm}$. 这种掺杂光导层一般能达到 $5 \sim 6 \text{ms}$ 的上升响应时间和 $7 \sim 8 \text{ms}$ 的下降响应时间, 空间分辨率优于 50lp/mm .

在光阀的输出端, 液晶层的厚度控制在 $4 \sim 5 \mu\text{m}$, 液晶的定向是通过定向层实现的. 定向层是化学镀制的聚酰亚胺膜, 在聚酰亚胺膜上作定向摩擦处理. 由于红外光是采用反射方式读出, 因此红外反射镜在红外液晶光阀中是不可缺少的. 通常采用铝反射镜列阵. 由于列阵密度限制了液晶光阀的空间分辨率, 故使用复合反射镜, 因 ITO 膜本射在红外具有复折射率, 反射率相当大; 而 CdS-CdSe 光导膜不是很厚, 红外吸收很弱. 对它们的参数进行适当选择, 就可在红外获得大于 80% 的反射率. 由于这种复合反射镜的特点, 液晶光阀的空间分辨率仅受到光导材料和液晶材料性质影响, 因而光阀的空间分辨率得以大大改善.

3 转换系统

红外液晶光阀的红外读出系统是一个正交偏振系统. 图 4 是可见-红外图象转换系统的

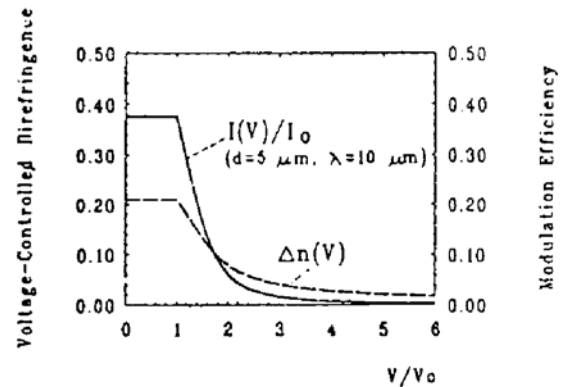


Fig. 3 Theoretical characteristic curves of E7 liquid crystal

简图. 红外源经照明系统后形成均匀的红外光场, 再经红外正交偏振分束器起偏形成线偏振光并进入液晶光阀, 获得液晶层的调制. 受调制的红外出射光经红外正交偏振分束器检偏就形成能量分布的红外图象.

为使红外输出图象具有高对比度和好的象质, 红外偏振分束器要具备高起偏/检偏特性, 并尽可能少地引入象差. 在本系统使用了经过专门设计的基于布儒斯特原理的三片式正交红外偏振分束器(如图 5), 它的偏振消光性能如表 1 所列.

Table 1. Extinction ratio of three-plate crossed polarizer

| Aperture angle ($^{\circ}$) | Vertical plane | | Horizontal plane | |
|----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------|
| | Polarizing | Analyzing | Polarizing | Analyzing |
| -5 | 8.3×10^2 | 7×10^6 | 6.3×10^2 | 5.5×10^{10} |
| -4.5 | 1.3×10^3 | 1.2×10^7 | 7.1×10^2 | 1.3×10^{11} |
| -3 | 6.7×10^2 | 7.7×10^7 | 1.6×10^3 | 3.5×10^{12} |
| -1.5 | 10^5 | 2.5×10^9 | 5.6×10^3 | 9×10^{14} |
| 0 | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ |
| 1.5 | 10^5 | 1.2×10^9 | 5×10^3 | 9×10^{14} |
| 3 | 6.3×10^3 | 1.3×10^8 | 1.2×10^3 | 3.4×10^{12} |
| 4.5 | 1.1×10^3 | 3.7×10^7 | 4.8×10^2 | 1.3×10^{12} |
| 5 | 7.7×10^2 | 2.8×10^7 | 3.9×10^2 | 5.6×10^{10} |

可见图象是由一只 2 英寸高分辨阴极射线管(CRT)管产生, 由物镜耦合进液晶光阀的输入端.

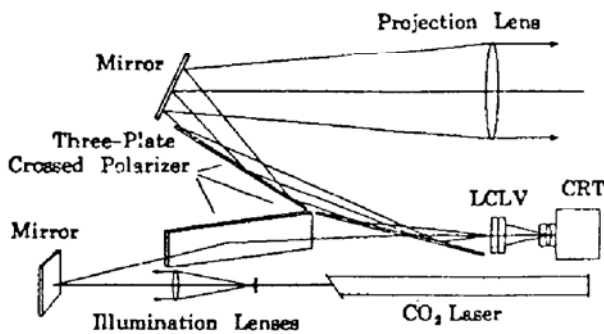


Fig. 4 Schematic diagram of visible-to-infrared dynamic image converting system

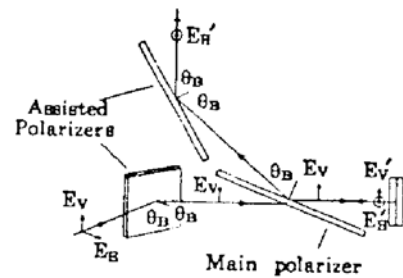


Fig. 5 Three-plate crossed polarizer

4 性能测试

1) 响应时间 响应时间是由液晶光阀的液晶层响应速度和光导层响应速度决定的. 图 6 是液晶光阀响应的实测曲线, 上升响应时间 40 ms, 下降响应时间为 20 ms.

2) 输入输出特性曲线 图 7 是液晶光阀的输入输出响应的实测曲线. 光阀的输出对比度达 9:1.

3) 传递函数和空间分辨率 在本系统中, 传递函数 MTF 受限于液晶光阀, 写入系统和读出系统. 由于读出系统的孔径限制及 CRT 生成图象本身的分辨率和对比度的限制为最突出, 测量结果主要取决于这两者. 图 8 是整体系统的传递函数实测结果. MTF=50%处分辨率

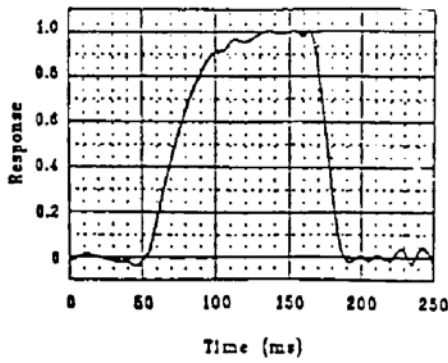


Fig. 6 The measured curve of time response

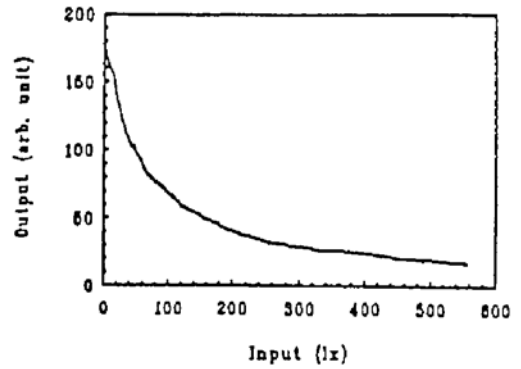


Fig. 7 The measured input/output curves

为 2 lp/mm. 极限分辨率达 5 lp/mm. 对同一系统非相干照明时和相干照明时的分辨率为 2 倍关系^[6]. 上面的结果是采用相干照明测得的. 因此如用非相干光照明, 极限分辨率应为 10 lp/mm.

小结 在本文研制的动态可见-红外图象转换系统中, 采用液晶光阀作为转换器件. 视场为 3°, 系统极限分辨率为 10 lp/mm, 对比度 9 : 1, 响应时间为 40 ms. 实现了每秒 25 frame 动态图象的实时转换, 图象清晰, 效果较好.

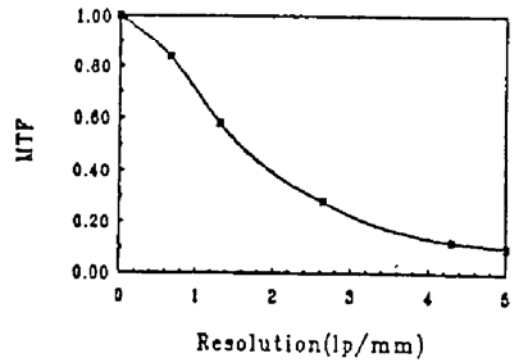


Fig. 8 The measured systematic MTF

参 考 文 献

- [1] S. T. Wu, U. Efron, J. Grinberg *et al.*, Infrared liquid crystal light valve. *Proc. SPIE*, 1985, 572 : 94~101
- [2] M. S. Welkowsky, R. A. Forber, C. S. Wu *et al.*, Visible-to-infrared image converter using the Huges liquid crystal light valve. *Proc. SPIE*, 1987, 825 : 193~197
- [3] K. Sayyah, U. Efron, R. A. Forber *et al.*, Schottky diode silicon liquid crystal light valve. *Proc. SPIE*, 1991, 1455 : 249~254
- [4] R. A. Forber, A. Au, U. Efron *et al.*, Dynamic IR scene projection using the Huges liquid crystal light valve. *Proc. SPIE*, 1991, 1665 : 259~273
- [5] Peifu Gu, Haifeng Li, Zhenchai Zhu *et al.*, The properties of vacuum-evaporated CdS and CdSe double layered films doping with copper and chlorine. to be published in *Proc. SPIE*, 1993, 2017 : 26
- [6] Max Born, Emil Wolf, *Principle of Optics*, Sixth Edition, Great Britain, Pergamon Press, 1980 : 481~490

Dynamic Visible-to-Infrared Image Converting Device and System

Mei Ting Xia Monghua Xu Anxi Gu Peifu

Zhao Dekang Li Haifeng Liu Xu Tang Jinfa

(Department of Optical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

(Received 3 May 1993)

Abstract A Visible-to-infrared dynamic image converting system built for infrared simulation is described in this paper. It adopts CdS-CdSe photoconductive thin-film type liquid crystal light valve (LCLV) as the key converting device. The video-rate conversion of visible image to infrared (8~12 μm) is realized. The contrast ratio of 9 : 1, response time of 40 ms and limiting resolution of 10 lp/mm have been reached.

Key words infrared, image conversion, liquid crystal light valve.