

非晶硅液晶光阀的研制*

海宇涵 李行实 臧宝翠

(中国科学院电子学研究所 北京 100080)

摘要 用惰性小而廉价的 a-Si:H 膜作液晶光阀的光导层是一种理想选择。采用阻抗匹配的方法,设计和制作了 a-Si:H 液晶光阀。在大屏幕投影系统上获得了清晰的投影图象,分辨率为 20lp/mm。光阀感光度测量表明,写入光在 $100\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 以下,读出光随写入光线性变化。在写入光为 $100\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 时,瞬态响应测量结果为:上升时间 60ms,下降时间 80ms。

关键词 液晶光阀,阻抗匹配,大屏幕投影

1 序 言

液晶光阀是一种固体象变换器,它能将弱光图象转变为另一光源发出的光学图象,或实现非相干光与相干光间的图象转换。在显示和信息处理等领域有重要应用。70年代美国休斯公司发明了 CdS 液晶光阀,在军事上极为有用^[1,2]。缺点是 CdS 作为光导层响应速度较慢。80年代发展了 c-Si 光阀^[3],改进了响应速度,但结构复杂而昂贵。光导层改用 a-Si:H,它兼有惰性小和价廉的优点,是理想的选择。

我们对 a-Si:H 液晶光阀的研究,起始于 1986 年,并在大屏幕投影系统中获得了清晰的图象,已有过报道^[4-6]。本文将详细叙述这种光阀的阻抗匹配设计方法和制作过程,以及它的象质、感光度和瞬态响应。

2 光 阀 设 计

我们设计的 a-Si:H 液晶光阀,由非晶硅、碲化镉、介质镜和液晶组成,示于图 1。介质镜 ($\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$) 作高反膜,是反射型设计的需要。液晶用扭曲向列型,当加了液晶的偏压 V_L 大于某定值(阈值电压 V_t) 后,液晶分子排列方向发生转变,而使通过的读出偏振光的偏振方向发生转变。偏压越高,这种转变越大。此光经反射通过检偏器时,如偏振方向相互垂直,则不透明;方向一致则透明。图 2 是测得的这种透明度 T 与偏压 V_L 的关系。 V_t 是阈值电压(约 2.7V), V_s 是饱和电压(约 4.1V)。比值 $r = V_s/V_t$ (约 1.5),

1992-09-08 收到,1993-02-03 定稿

* 国家自然科学基金资助项目

海宇涵 男,1939年生,副研究员,从事光电子学和非晶半导体的研究工作。
李行实 男,1937年生,工程师,研究光电子学。
臧宝翠 女,1940年生,实验师,从事薄膜技术工作。

是一个重要参量,在设计中很有用。a-Si:H 作为光导层,其光敏电阻由写入光控制,因而调制了液晶层上的偏压变化,使读出光变化与写入光相同。由于写入光与读出光是不

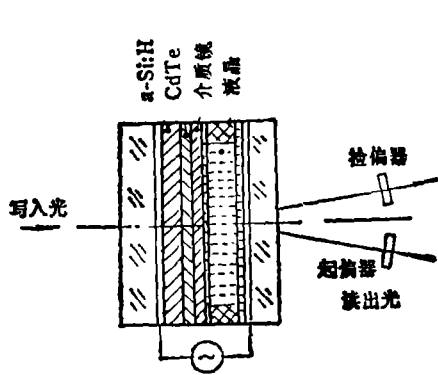


图1 非晶硅液晶光阀的结构示意图

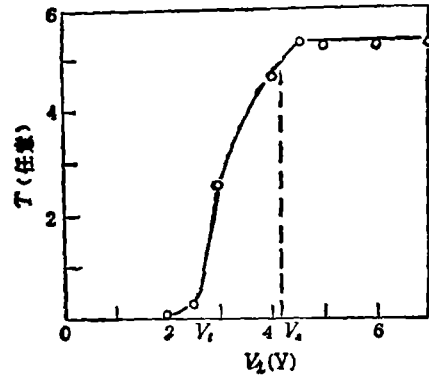


图2 液晶透明度 T 与偏压 V_L 的关系

同的两个光源,可实现弱光到强光,或者相干光与非相干光之间的转换。CdTe 作为吸光层,加上介质镜,可实现读出光对写入光的隔离。

光阀设计是围绕液晶的这种场效应来进行的。必须使光阀中液晶上的偏压 V_L ,在暗

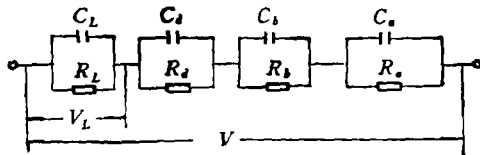


图3 液晶光阀的等效电路

态下接近阈值电压 V_t ,在亮态下接近饱和电压 V_s ,即工作在图2中 $V_t - V_s$ 的准线性区。这只需要光阀中亮态液晶偏压与暗态之比接近 r ,即可满足要求。图3是图1光阀结构的等效电路。 R_L 和 C_L , R_d 和 C_d , R_s 和 C_s , R_a 和 C_a 分别是液晶、介质镜、碲化镉和非晶硅层的电阻和电容。设在光阀上加一正弦电压 $V = V_m \sin \omega t$,则液晶层上电压

设在光阀上加一正弦电压 $V = V_m \sin \omega t$,则液晶层上电压

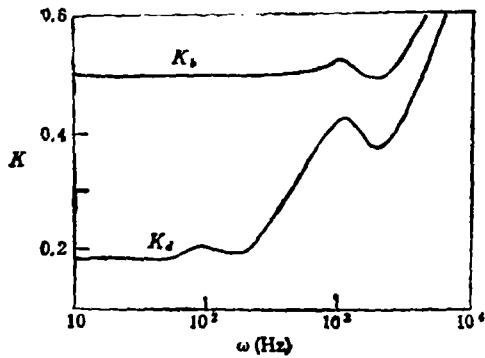


图4 计算的 K 值随 ω 的变化曲线

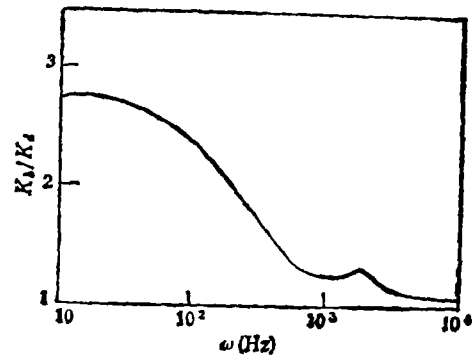


图5 K_s/K_d 与 ω 的关系

V_L 与总电压 V 的比值 K 为

$$K = \left(\frac{1}{R^2} + \omega^2 C_L^2 \right)^{-1/2} / \left\{ \frac{1}{R_L(1/R_L^2 + \omega^2 C_L^2)} + \frac{1}{R_d(1/R_d^2 + \omega^2 C_d^2)} \right\}$$

$$+ \frac{1}{R_b(1/R_b^2 + \omega^2 C_b^2)} + \frac{1}{R_d(1/R_d^2 + \omega^2 C_d^2)} \Big]^2 + \left[\frac{\omega C_L}{1/R_L^2 + \omega^2 C_L^2} + \frac{\omega C_d}{1/R_d^2 + \omega^2 C_d^2} + \frac{\omega C_b}{1/R_b^2 + \omega^2 C_b^2} + \frac{\omega C_s}{1/R_s^2 + \omega^2 C_s^2} \right]^2 \Big]^{1/2}$$

式中各个参量都是设计中可调项目,其中随写入光照度变化的参量主要是 R_s ,弱光下它大致与照度成反比。图 4 是根据材料参量,在可调范围内计算的一条 K 值随频率 ω 的变化曲线, K_b 是亮态曲线, K_d 是暗态曲线。图 5 是由图 4 得到的 K_b/K_d 与 ω 的关系曲线。在 $10-10^3\text{Hz}$ 范围,比值 K_b/K_d 约在 1.3—2.7 之间,可以满足接近 $r(1.5)$ 的要求。

3 器件制作和性能研究

光阀制作过程如下:首先将涂有 SnO_2 透明导电层的玻片放在电容式射频辉光放电系统中淀积 a-Si:H 膜^[9],基底温度 $200\sim 250^\circ\text{C}$,呈 p^- 型(在 SiH_4 中掺入极少量 B_2H_6 ,约 10ppm),厚约 $2\sim 3\mu\text{m}$ 。再在其上真空蒸发 CdTe 膜,厚约 $1\sim 2\mu\text{m}$ 。然后用电子束蒸发 $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ 高反膜其上,共 25 层,在 $0.55\sim 0.70\mu\text{m}$ 波长,反射率大于 99%。最后在其上封装 45° 扭曲向列型液晶盒和真空装灌液晶,厚约 $8\mu\text{m}$ 。液晶为清华大学研制的 TEB-40 型。光阀直径为 25mm。

图 6 是在大屏幕光阀投影系统上获得的非相干光投影图象,面积 1m^2 。光阀电压 5—10V,频率 100Hz。用标准分辨率卡测得的分辨率为 20lp/mm。



图 6 非晶硅液晶光阀的大屏幕投影图象

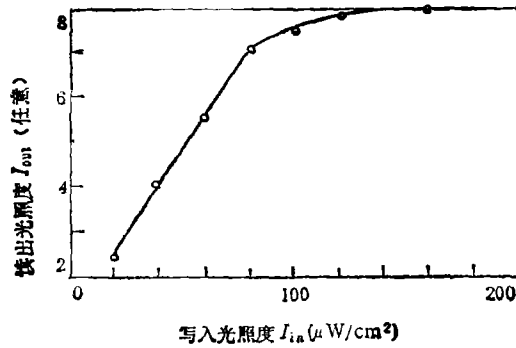


图 7 非晶硅液晶光阀的感光度曲线

图 7 是测得的这种光阀的感光度曲线,光阀电压 5V,频率 100Hz,写入光在 $100\mu\text{W}/\text{cm}^2$,读出光达到饱和;在 $100\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 以下,曲线近似线性。

图 8 是光阀瞬态响应测试装置。写入光由一机械光开关(响应时间约 1ms)提供方波脉冲光。读出光由硅光电三极管 3DU 接收,经放大输入 SJ-6 型记忆示波器显示。光阀电压为 5V,频率为 100Hz,写入光照度为 $100\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 。图 9 是测出的瞬态响应波形,上升时间约 60ms,下降时间约 80ms。这与所用液晶的响应时间差不多(实测的 a-Si:H 材料的响应时间短于 1ms)。这就表明惰性主要来自液晶,其性能尚待改进。

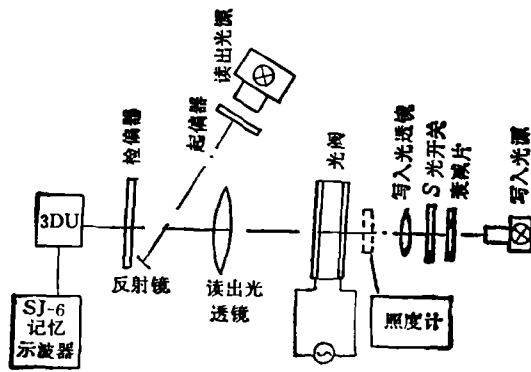


图8 光阀瞬态响应测试装置

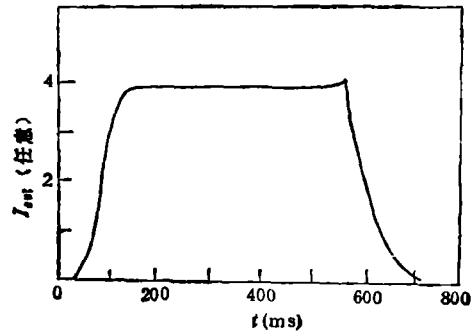


图9 非晶硅液晶光阀的瞬态响应波形

4 结 束 语

我们用阻抗匹配的方法,设计并制作了非晶硅液晶光阀,在光阀大屏幕投影系统中,获得了清晰的非相干光投影图象,分辨率为 $20lp/mm$ 。感光度曲线在写入光为 $100\mu W/cm^2$ 以下呈线性变化。瞬态响应的上升时间为 $60ms$,下降时间为 $80ms$,主要受液晶限制。可见分辨率和时间响应性能还不够理想;除应改进液晶性能外,非晶硅性能也有改进的必要。

非晶硅作为液晶光阀的光导层的优点是惰性小和价廉;而缺点是介电常数较大和不易制成较厚的膜,这将减小光阀的开关比。AC模式工作的液晶光阀的性能受到容性暗电流的限制,其重要标志就是开关比。开关比的减小将损坏图象均匀性、分辨率和象质。增加开关比的有效方法就是增加 $a-Si:H$ 的膜厚和减小介电常数。后者属材料性能,改进余地不大。增加厚度十分有效,例如从 $3\mu m$ 增加到 $20\mu m$,将使开关比从 1.1 增加到 1.8 ,这将大大改进光阀的性能。好在快速淀积方法有很大进展^[10],制备较厚的 $a-Si:H$ 膜已不是十分困难的事。

致谢 部分工作由陈刚完成,液晶盒制备得到清华大学阮亮等的帮助,在此致谢。

参 考 文 献

- [1] Beard T, *et al.* Appl. Phys. Lett. 1973, 22(3): 90—92.
- [2] Bleha W. Laser Focus, 1983, 19(10): 111—120.
- [3] Efrom U, *et al.* J. Appl. Phys., 1985, 57(4): 1356—1368.
- [4] 陈刚,海宇涵等,反射式非晶硅液晶光阀。液晶发现百周年纪念会议论文集,北京: 1988, 16—17.
- [5] 陈刚。实时快速非晶硅液晶光阀及快速混合相变液晶研究: [硕士论文]。北京: 中国科学院电子学研究所, 1988年。
- [6] 海宇涵,陈刚。红外, 1989, (11): 封底。
- [7] 海宇涵,等。非晶硅液晶光阀的结构设计和初步研究: 第六届全国非晶态材料和物理学术讨论会文集, 桂林: 1991, 113—114。
- [8] 海宇涵,等。非晶硅液晶光阀的阻抗匹配。第六届全国液晶会议论文集,深圳: 1991, 7。
- [9] 海宇涵,等。电子科学学刊, 1988, 10(6): 528—535。
- [10] 林藜美,等。用常规 PECVD 方法高速沉积 $a-Si:H$ 膜。第六届全国非晶态材料和物理学术讨论会文集, 桂

林: 1991, 16-17.

RESEARCH ON LIQUID CRYSTAL LIGHT VALVE WITH AMORPHOUS SILICON

Hai Yuhan Li Xingshi Zang Baocui

(*Institute of Electronics, Academia Sinica, Beijing 100080*)

Abstract It is an ideal selection to use a-Si:H film, which is cheap and with small lag, as the photoconductive layer of liquid crystal light valve. By using the method of impedance matching, an a-Si:H liquid crystal light valve is designed and fabricated, and the clear image on a large screen projective system is obtained. The resolution of the valve is 20lp/mm. The sensitometry measurement shows that the projection light level varies linearly with the writing light level when the latter is below $100\mu\text{W}/\text{cm}^2$. The measurement of transient response at the writing light level of $100\mu\text{W}/\text{cm}^2$ indicates that the rise time is 60ms and the decay time is 80ms.

Key words Liquid crystal light valve, Impedance matching, Large screen projection