

小型 CRT-LCLV 组合器件

秦伟芳 朱振才 邵剑心 王汝笠

(中国科学院上海技术物理研究所, 青年光电工程研究中心, 上海, 200083)

摘要 选用1英寸阴极射线管(CRT)和液晶光阀(LCLV)研制成直径1英寸的CRT-LCLV组合器件, 介绍了组合器件的工作原理、制作工艺和性能指标, 并给出了在小型光学相关器上的应用实例。

关键词 阴极射线管, 液晶光阀。

引言

液晶光阀(LCLV)是光信息处理、自适应光学、光计算和神经网络等技术中的关键元件, 它可以实现光学图像波长的转换、图像的假彩色编码、文字与图像的相关识别、弱光强图像放大和非线性编码, 在光信息处理中具有广泛的应用前景。选择液晶光阀这一实时非相干光-相干光图像转换器件, 并将液晶光阀直接做在阴极射线管(CRT)的光窗上, 组成 CRT-LCLV 实时光电接口器件, 可提高转换效率, 减小系统的体积。我们用河南平原光学电子仪器厂生产的一英寸的 CRT, 研制成直径为 1 英寸的 CRT-LCLV 组合器件, 并在小型多路光学相关器件上使用, 得到了良好的结果。

1 系统结构和工作原理

图 1 为组合器件的结构简图。我们采用与 CRT 相同的光纤面板作为液晶光阀的基板, 硫化镉作为光敏层, 并选用扭曲向列相液晶和 1 英寸高亮度、高分辨率 CRT。此光阀是一种 90°扭曲向列型器件, 液晶分子在玻璃表面的取向互成 90°, 光轴平行于基板, 并且器件内液晶分子的指向矢量从前向后旋转 90°。在透明导电电极的两端施以交流电压, CRT 上显示的输入图像对 CdS 光导体的输入阻抗进行空间调制, 改变了液晶层两端的电压, 当光敏层上无光照时, 由于光敏层上的暗电抗远大于液晶电抗, 大部分驱动电压降在光敏层上, 加在液晶层上的电压低于液晶的阈值电压, 在层中央的液晶分子的指向由定向层决定, 呈扭曲状排列。当光导层上有光照时, 由于光导层的光电导效应, 光导层的亮电抗变小, 当液晶层上的电压降增加到大于阈值电压时, 除了束缚在玻璃表面附近的分子外, 液晶层分子的指向都趋于外电场排列。入射线偏振光束经过液晶反射后改变了偏振态, 通过检偏器, 就可获得激光照

明的读出图像. 如果去掉外电场, 分子间的作用力使液晶分子又回复到初始的扭曲排列状态, 这时则不透光. 因而通过改变液晶盒上的电压, 可以将图像显示在液晶盒上.

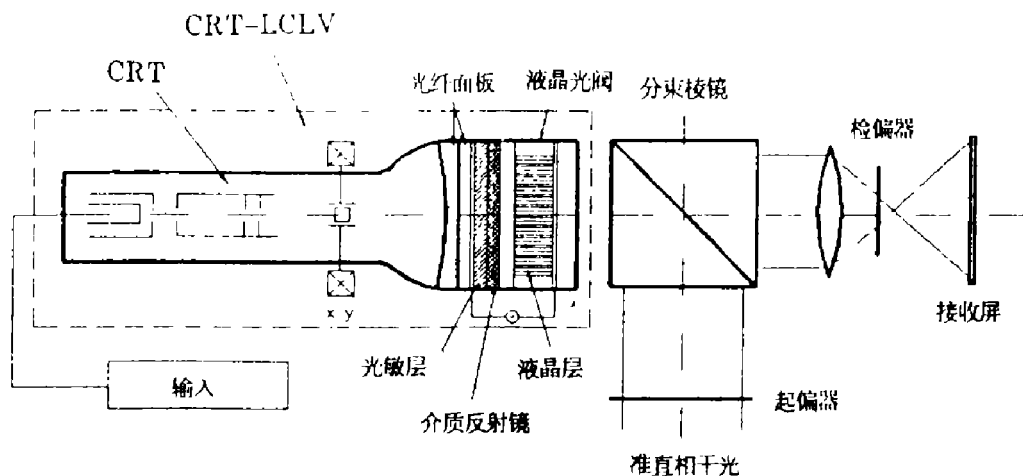


图 1 CRT-LCLV 组合器件结构简图
Fig. 1 Schematic of the CRT-LCLV composite device

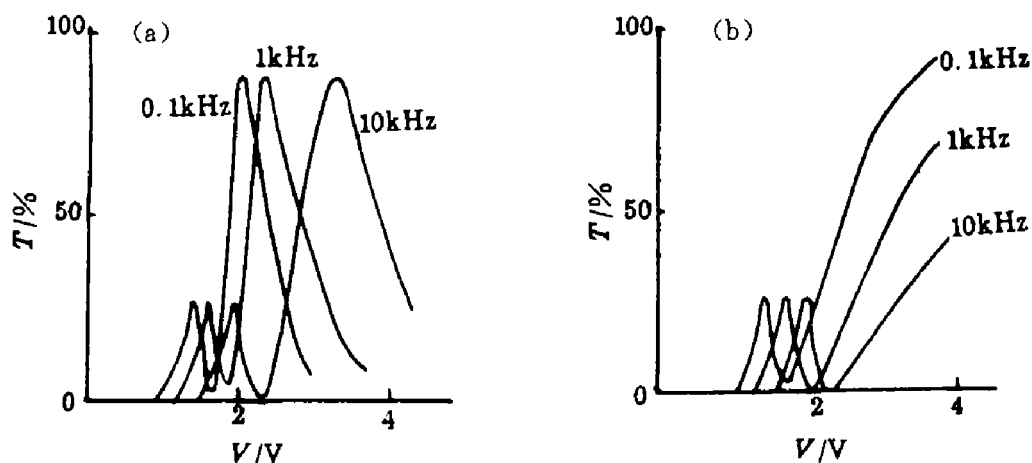


图 2 扭曲向列相液晶透过率曲线, (a)45°扭曲液晶, (b)90°扭曲液晶
Fig. 2 Transmission curves for the TN-LCLV, (a)90°TN-LCLV, (b)45° TN-LCLV

2 设计方案

2.1 光导层设计

图 2 为所选扭曲向列相液晶的电光特性曲线. 可见液晶由暗态转换到亮态, 需要一定的电压增加, 相反情况下则需要一定的电压降低. 这表明液晶上承受电压要有一定的动态变化范围, 透射光才有暗亮态转换. 若要实现暗亮态转换, 其透光峰值的电压与暗态电压比须达到 2 倍以上. 若以相应的亮态电流和暗态电流的峰值比来表示, 则该比值同样也应大于 2. 由于通过整个光阀的电流是相同的, 所以光阀的亮态电流峰值与暗态电流峰值之比应大于 2, 光阀才有满意的转换效果, 这就是光阀的工作条件.

液晶光阀由夹在 2 个透明电极间的光导层、阻光层、液晶层和介质反射镜组成,从电学特性看,可以把这些组成部分相应地看成为电阻和电容的组合.图 3 为液晶光阀的简化等效电路图,图中分离元件有两部分,其一为光敏层,它对应 CdS/CdTe 结, R_p 、 C_p 为其电阻和电容;其二为光调制层,由介质反射镜和液晶组成, R_{LC} 、 C_{LC} 为液晶层的电阻和电容, C_M 为介质反射镜的电容.

我们选用的液晶材料电阻率大于 $5 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$, 阈值电压在 1.5V 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,对 $6\mu\text{m}$ 厚的液晶层,当电压在 $V_c \sim 2V_c$ 变化时(V_c 为阈值电压),单位面积液晶的电容在 $1200 \sim 2000\text{pF}/\text{cm}^2$ 之间变化,即液晶层的阻抗在 $130 \sim 70\text{k}\Omega$ 之间变化. 从图 3 可知光阀各部分电压分配为 $V_p : V_M : V_{LC} = Z_p : Z_M : Z_{LC}$.

为使液晶层能承受 $V_c \sim 2V_c$ 的电压变化,要求光导层的暗阻抗大于 $500\text{K}\Omega/\text{cm}^2$,亮阻抗小于 $50\text{K}\Omega/\text{cm}^2$,即光导层暗亮阻抗之比大于 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. 经测试,光导层的直流阻抗比交流阻抗约大一个数量级,则可计算得到光导层的暗电阻率大于 $1 \times 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$.

2.2 液晶光阀工作模式

从图 2 所示的液晶电光特性可知, 45° 和 90° 液晶光阀都有一个最大透光峰存在, 90° 液晶光阀具有窄而陡的透光峰, 45° 液晶光阀的透光峰则很宽. 为了得到同样光强输出, 90° 光阀上电压增加量比 45° 光阀小, 因而 90° 光阀具有较大的灵敏度. 另外, 90° 扭曲液晶由于其电致双折射效应小于 45° 扭曲液晶, 对厚度敏感性不及 45° 扭曲液晶, 因而液晶层厚度均匀性要求相对较低, 图像也就比较均匀. 根据我们小型相关器的需要, 要求液晶光阀组合器件有较高的灵敏度、分辨率和对比度, 并能实现图像的反转, 因而我们选用 90° 扭曲液晶工作模式.

3 制作工艺

基板的平整度对光阀的均匀性将产生很大的影响, 因此, 我们要求玻璃基板和光纤面板的平面度小于 $\lambda/4$. 为消除两个基板表面产生的干涉, 将它设计成呈一定角度的楔板. 我们用电子束蒸发制备液晶光阀透明电极的 SnIn 氧化物 (ITO) 薄膜, 用真空热蒸发法制备 CdS 膜. 为提高 CdS 的暗态电阻率和光敏性, 我们对 CdS 进行了掺 Cu 本征敏化. 阻光层采用 CdTe, 要求它的透光率小于 1%, 高反介质层在 632.8nm 波长下要求反射率达到 95%. 工艺中采用薄膜厚度控制仪, 控制波长为 632.8nm , 膜系为 9 层 ZnS/MgF_2 . 选用正各向异性的扭曲向列相 BDH-E200 液晶, 用聚酰亚胺摩擦定向、玻璃纤维直接掺入液晶的新工艺制备液晶盒, 其厚度由玻璃纤维衬垫决定, 为 $6\mu\text{m}$.

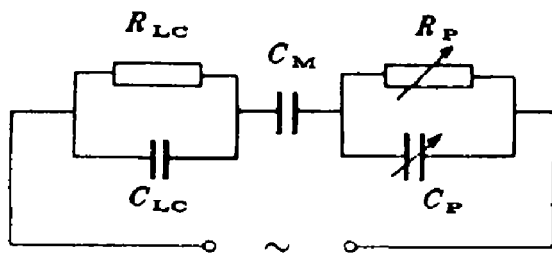


图 3 液晶光阀等效电路

Fig. 3 Equivalent circuit of LCLV

选用的 1 英寸 CRT 具有高亮度、高分辨率、高定位精度的特点. CRT 正常工作时,亮度(光点峰值)可达 $13800\text{cd}/\text{m}^2$,分辨率(光点半功率点直径)不大于 0.025mm ,荧光屏有效工作直径 19mm ,光谱响应的峰值约 540nm ,偏转信号 X 方向对 Y 方向正交性为 $90\pm 1^\circ$,外形尺寸为 $\phi 27.5\text{mm}\times 130\text{mm}$,带有分散的氟塑料导线和对磁场屏蔽的外壳,光纤面板有利于与光学元件的耦合.为使经 CRT 输入在 LCLV 上的图像不弥散,将 CRT 和 LCLV 通过硅油耦合,并用机械装置将 LCLV 固定在 CRT 上.

4 性能指标测试

在图 4 所示的测试装置中,采用 He-Ne 激光及白光作为读出光, Ar^+ 激光作为写入光(强度可调).在写入端用照度计标定光阀写入面上的写入光能量,读出光的光斑直径为 15mm ,用探测器 D 探测读出光强度.

在写入光为零(暗态)时,调整光阀的工作电压和频率,测出光阀暗态读数,然后逐渐增加写入光强.当探测器出现响应时,得到照度计的读数,即为写入灵敏度阈值,实测为 $1.1\mu\text{W}/\text{cm}^2$.继续增加写入光强,得到探测器 D 的最大信号,其与暗态时信号之比即为对比度. CRT-LCLV 组合器件用 CCD 摄像机输入图像,用图 4 的读出系统探测,测得 CRT-LCLV 组合器件的对比高于 $78:1$.

在图 4 的写入光路中加入一个斩波器对写入光进行调制,将调制信号和参考信号同时送入示波器,观察响应信号波型上升沿及下降沿的时间,可得其上升时间(从上升沿的 10% 至 90% 的时间)为 30ms ,下降时间(从下降沿的 90% 至 10% 的时间)为 40ms .

采用分辨率卡直接成像转换,测得光阀的直接分辨率.分辨率卡的成像系统如图 5 所示.写入光为白光, 3° 分辨率板 $1:1$ 成像在光阀的光敏面上,用白光读出,输出图像用内调焦望远镜观察,以人眼极限分辨率为判据,能观察到输出的条纹组数即为液晶光阀的极限分辨率.实测能观察到输出的条纹组数大于 21,即光阀的极限分辨率高于 $40\text{lp}/\text{mm}$. CRT 的行扫描为 575TV 线,所以组合器件分辨率受 CRT 行频的限制,小于 575TV 线.

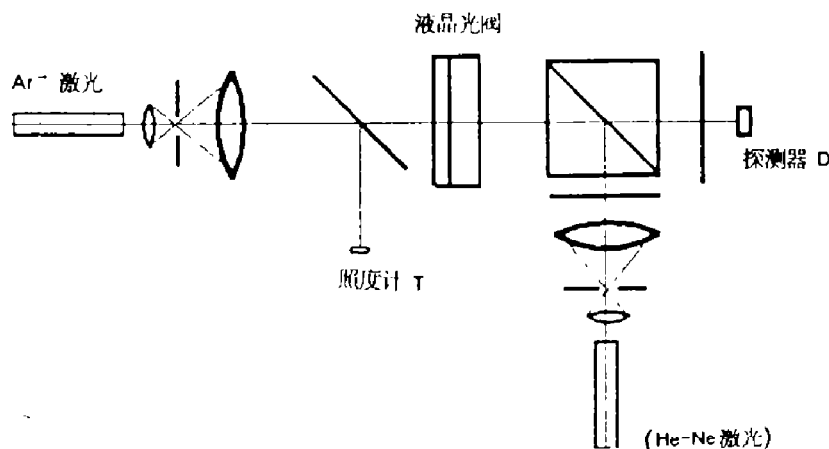


图 4 液晶光阀特性测试装置

Fig. 4 Schematic of a general optical test bench for LCLV

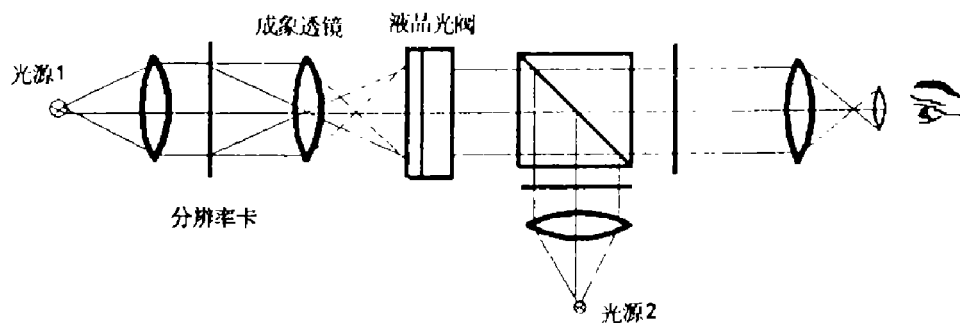


图 5 分辨率卡成像系统

Fig. 5 Imaging system of the resolution chart

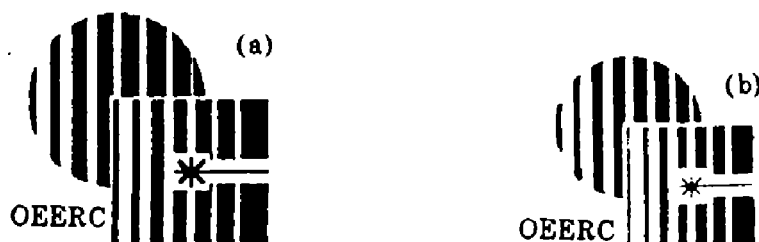


图 6 实验结果 (a) 输入图像, (b) 输出图像

Fig. 6 Experimental results (a) input image, (b) output image

5 应用实验

液晶光阀的光计算、光学模式识别中具有广泛的应用前景,多路小型是相关器实用化的需要. 在我们研制的小型相关器中应用 1 英寸的 CRT-LCLV 组合器件作为图像的输入和转换器件,得到了良好的实验结果. 图 6 是部分实验结果,图 6(a)是输入的图像,它是用白光照明,用 CCD 摄像在 CRT 上的二值化图像,图 6(b)是从 CRT-LCLV 组合器件上得到的输出图像. 实验中用 632.8nm 的 He-Ne 激光作为读出光.

6 结论

相关器中应用小型 CRT-LCLV 组合器件,可减小系统的体积,提高效率. 液晶光阀因其结构简单、驱动方便等优点而在光信息处理中、特别是在图像处理和显示领域中有着重要作用,但目前响应时间、分辨率和灵敏度等方面都不能完全满足光信息处理的要求,近年来出现的铁电液晶空间光调制器以其响应速度快、开关功耗低、且可以与集成电路相兼容等特点,显示出良好的应用前景. 当然,要使其主要性能都满足实用要求,仍需作大量的研究工作以解决其关键的技术问题.

致谢 感谢河南平原光学电子仪器厂提供 1 英寸 CRT.

参考文献

- 1 Hamanaka Kenjiro, *et al.* *Appl. Opt.*, 1990, **29**(28):4064~4070
- 2 Grinberg J, *et al.* *Opt. Eng.*, 1975, **14**(3):217~225
- 3 Efton Uzi. *SPIE*, 1986, 700 IO CC:132~145
- 4 陈智勇, 等. *光学学报*, 1987, **7**(3):247~252

MINIATURE CRT-LCLV COMPOSITE DEVICE

Qin Weifang Zhu Zhencai Shao Jianxin Wang Ruli

(*Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China*)

Abstract An 1-inch CRT-LCLV composite device was developed by using an 1-inch CRT and a LCLV. The principle, fabrication and performance of the device are described. Its application example in miniature optical correlators is given.

Key words CRT, LCLV.