

液晶光阀特性的研究

陈智勇 计荣才 赵焕卿 章志鸣
(复旦大学物理系)

提 要

本文报道了液晶光阀特性的研究结果。给出了 45° 扭曲和 90° 扭曲两种液晶光阀的特性测试曲线,比较了两种光阀的性能。分析讨论了工作电压、交流频率以及读出光的偏振方向对光阀性能的影响。
关键词: 液晶光阀、透光特性、光响应特性、偏振效应。

一、引 言

交流液晶光阀是一种空间光调制器^[1],它能实行非相干-相干光图像转换,在光信息处理中具有重要的应用价值^[2~6]。液晶光阀在结构上、性能上具有许多优点,它工作电压小、分辨率高、结构简单、体积小,是目前比较实用的一种器件。在过去几年里,我们进行了液晶光阀的研制工作^[7]。并取得了一定的结果。所研制的光阀分辨率可达30 pair/mm,对比度90:1,时间响应150 ms,可以满足某些实用需要。

本文将研究液晶光阀的特性,探讨其工作参数(电压,交流频率)以及读出光的入射偏振角对其性能的影响,并对 45° 和 90° 两种扭曲角的液晶光阀作了比较。

二、交流液晶光阀的结构和工作原理

液晶光阀实际上是一种多层膜结构,它由CdS光导膜和CdTe光阻膜组成的光敏层和由扭曲向列相液晶和反射膜组成的反射式光调制层组成。所有膜层都夹在两透明电极膜之间,整个光阀工作在低的交流电压下。正常工作方式中,非相干写入光照射在CdS膜上,线偏振相干光入射液晶层并被反射,最后经检偏器读出。在无写入光照射下,CdS膜呈高阻状态,液晶上电压很小,液晶显示扭曲效应,线偏振光经液晶往返一次,其偏振态不变,通过正交检偏器观察到暗态。在写入光照射下,CdS膜阻抗降低,大部分电压转移到液晶层上,液晶显示双折射效应,此时,线偏振光被液晶调制为椭圆偏振光,通过正交检偏器观察到亮态。

液晶在光阀中对线偏振读出光起位相调制作用。液晶光阀的性能主要决定于液晶的性质。

液晶光阀中液晶的有关效应有两种:无电压时的扭曲效应和电压大于阈值时的双折射效应。外加电压 $U < U_0$ (U_0 为阈值电压)时,液晶分子相互平行且均匀扭曲排列,两对表面液晶分子相对最大扭曲角。液晶对入射线偏振光产生偏振面扭曲作用,当外加电压 $U > U_0$ 时,液晶分子偏离平行均匀排列状态,有扭曲和倾角的再分布,液晶对入射光产生双折射作

用,入射线偏振光被调制为椭圆偏振光。当电压 $U \gg U_0$ 时,液晶分子基本趋向垂直表面排列,对光调制作用减少,透过光偏振态变化不大,因此,当液晶以反射方式工作时,用正交检偏器读出,液晶的电光曲线存在极大的透光峰。调节液晶光阀的工作电压,使液晶工作在透光峰范围内,则可使液晶光阀进行图像变换。当液晶光阀中液晶层工作点分别处在透过光强随电压增加而单调增加和单调减少两种区域时,光阀分别有对比度反转的输出图像。

三、液晶光阀特性的测试结果及讨论

液晶光阀中一般使用 45° 扭曲液晶,因为在反射方式下, 45° 扭曲液晶能产生最大双折射效果。我们在液晶光阀的研究中,使用了 45° 扭曲液晶。同时也应用了 90° 扭曲液晶。发现 90° 扭曲液晶亦能满足光阀要求。与使用 45° 扭曲液晶的光阀相比较, 90° 液晶光阀有其特点:具有较低的阈值电压,较高的灵敏度。用它比较容易实现图像对比度反转,图 1 是用它所得到的一个变换图像以及其反转图像。由此可见其交换效果是比较好的。但是,也必须注意到, 45° 液晶光阀具有较大的动态范围以及较高的输出光强,这是 90° 液晶光阀所不及的。

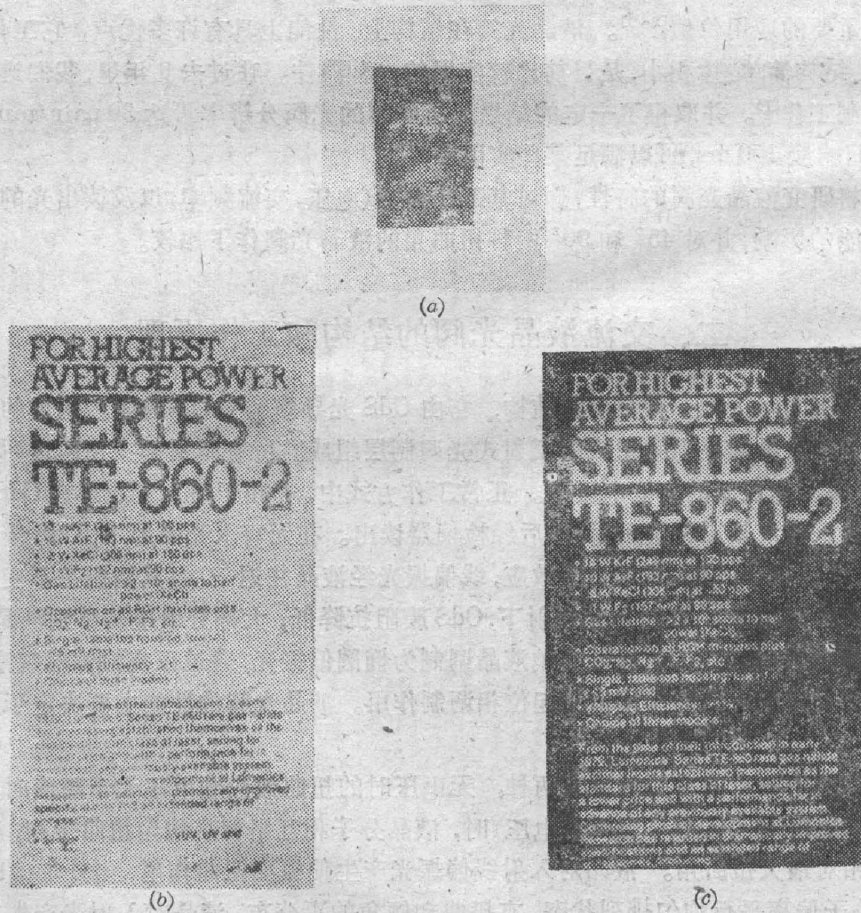


Fig. 1 Converted image.

(a) input image; (b) converted image; (c) contrast reversed image

下面我们将具体研究这两种液晶光阀的特性。在使用光阀中,选择适当的工作电压及交流频率是重要的一步,为此,测试了液晶光阀在不同电压及其频率下对光的调制特性。此外,还研究了在不同的读出光入射偏振角下液晶光阀的行为。

1. 液晶光阀的电光特性

首先,探讨不同交流频率下液晶光阀所加电压与其输出光强的关系,即液晶光阀的电光特性。这关系主要反映了液晶光阀中液晶层的透光特性。

我们分别测试了 45° 和 90° 液晶光阀的电光特性曲线,测试中以 He-Ne 激光作读出光,且在光阀输入面入射一束恒定的写入光,光强为 $100 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 。输出光强通过光纤导入光电倍增管测量,图 2 示出测试结果。

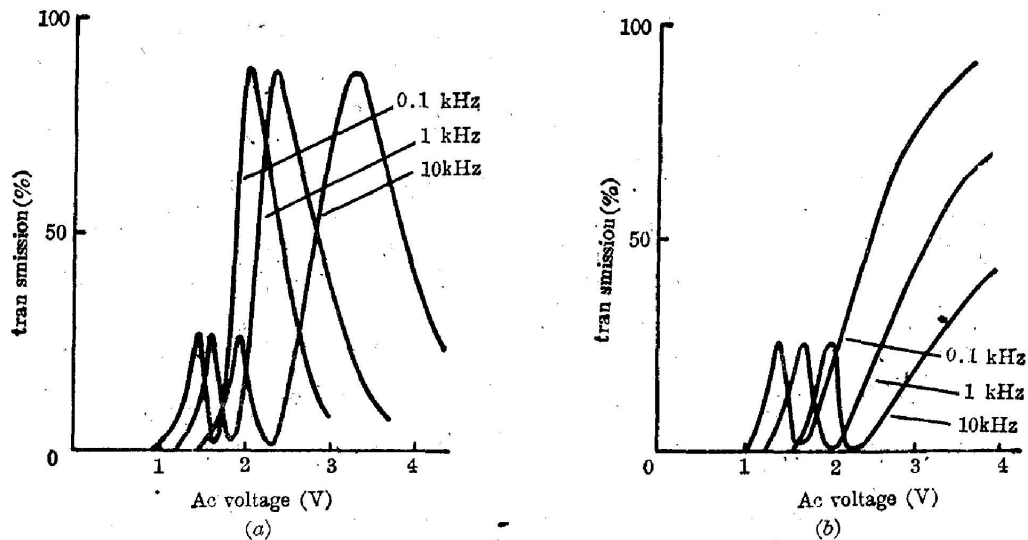


Fig. 2 Transmission curves for the LCLV at different ac frequencies
(a) 90° LCLV; (b) 45° LCLV

从图 2 可以看出, 45° 和 90° 液晶光阀都有一个最大透光峰存在,这与前面所讨论的反射式液晶的电光特性是一致的。并且发现,这两种光阀的电光曲线有所不同。 90° 的液晶光阀具有窄而陡的透光峰,而 45° 液晶光阀的透光峰则很宽。为了得到同一光强输出, 90° 光阀上电压增加量比 45° 光阀小。这表明, 90° 光阀具有较高的灵敏度。由于窄的透光峰,也较易实现图像对比度反转。 45° 光阀则具有较大的动态范围。由于液晶具有最大双折射效应,它有较大的输出光强。

由图 2 还可以看出,随着交流频率的增加,光阀透光峰向高电压处移动,并且曲线形状也发生改变,随频率增加而变宽。这表明在高频率的电压下,为产生与低频率时相同的输出光强,须增加光阀上的电压值。光阀灵敏度降低了,但其动态范围增大了。产生这种现象的原因是交流频率增加时,光阀中各膜系的相对交流阻抗改变了,液晶层上相应电压减小,从而减少了其透过光强。降低了光阀灵敏度,但相应增加了光阀的动态范围。

2. 液晶光阀的输入-输出特性

本文将由光阀的输入-输出特性来进一步研究不同的交流电压及其频率下光阀的特性。本文分别以两束 He-Ne 激光作液晶光阀的写入光和读出光,通过两束光纤将相应光束

输入光电倍增管测量, 测试数据送入 X-Y 扫描记录仪记录, 其中输入光强作了强度测量校正, 图 3 是测试曲线。

从图 3 可看到: 90° 液晶光阀输入-输出特性曲线很窄, 有较高的灵敏度, 并且反转图像在较低的输入光强即可出现。而 45° 液晶光阀的特性曲线则很宽, 有较大的动态范围。我们还可注意到, 在交流频率增加时, 光阀的输入-输出特性曲线形状发生变化, 高频下曲线变宽, 阈值输入光强增加。光阀在高频下灵敏度降低了, 但其动态范围增大了, 这些结果与我们前面得到的是一致的。由于光阀的特性曲线形状的改变, 不同频率下光阀的输出图像对比度也改变了。

图 4 中给出了在不同的工作电压下光阀输入-输出特性曲线。由图 4 可以看出, 工作电

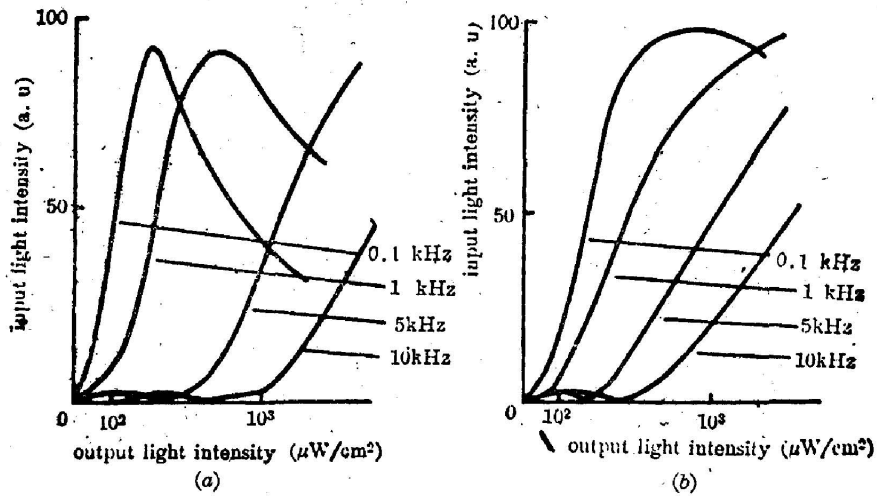


Fig. 3 Relative output intensity from the LCLV versus input light intensity at different ac frequencies

(a) 90° LCLV; (b) 45° LCLV

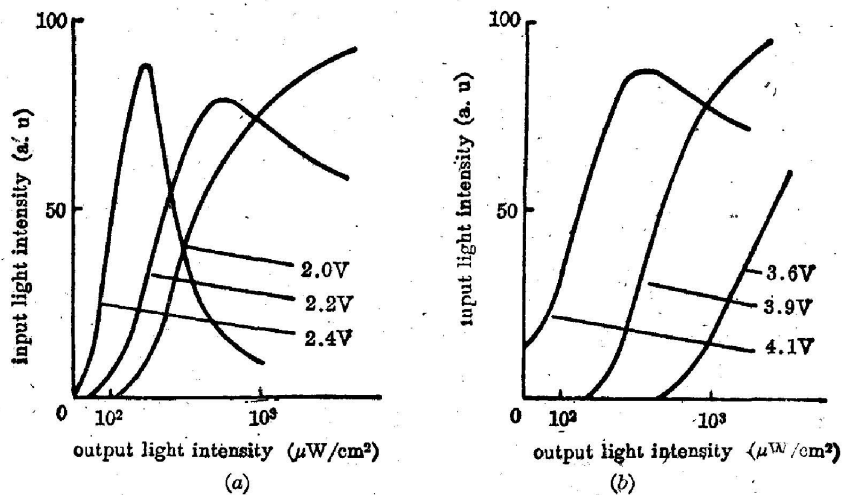


Fig. 4 Relative output intensity from the LCLV versus input light intensity at different operating voltages

(a) 90° LCLV; (b) 45° LCLV

压不同时,光阀的响应特性曲线也发生改变,电压增加时,阈值输入光强增加,灵敏度提高,但曲线形状变窄。可见,在适当范围内改变光阀的工作电压,可控制它的灵敏度、动态范围、对比度等。

3. 液晶光阀的偏振效应

液晶光阀在一般使用中读出光的入射偏振面总是选择平行或垂直于液晶光轴的方向。当旋转液晶光阀,以改变读出光的入射偏振面与液晶光轴的夹角。则液晶光阀的变换特性会相应而变。

扭曲液晶能对线偏振光产生偏振面旋转的作用。这效应仅当线偏振光偏振方向平行或垂直入射面液晶光轴时才存在。当光的偏振方向不平行或垂直液晶长轴时,观察到的透过光不再是偏振面旋转的线偏振光,而是椭圆偏振光,这表明在无电压下,液晶的透光率不再是最小。

我们测试了液晶光阀在读出光取不同的偏振方向时,它的电光特性。(通过旋转液晶光阀改变读出光的偏振方向)。图 5 给出了旋转角分别为 20° 和 45° 时 90° 液晶光阀的电光特性曲线。可以看到随着旋转角的增加,光阀的透光峰增多,且变得极其狭窄。由于尖锐的透光峰出现,光阀响应的均匀性受到影响。液晶光阀中液晶层厚度不是均匀一致,其上电压分布也存在非均匀性。尖锐的透光峰将导致光阀输出光强的不均匀。可以看到,光阀响应在其旋转角为零时,均匀性最好。

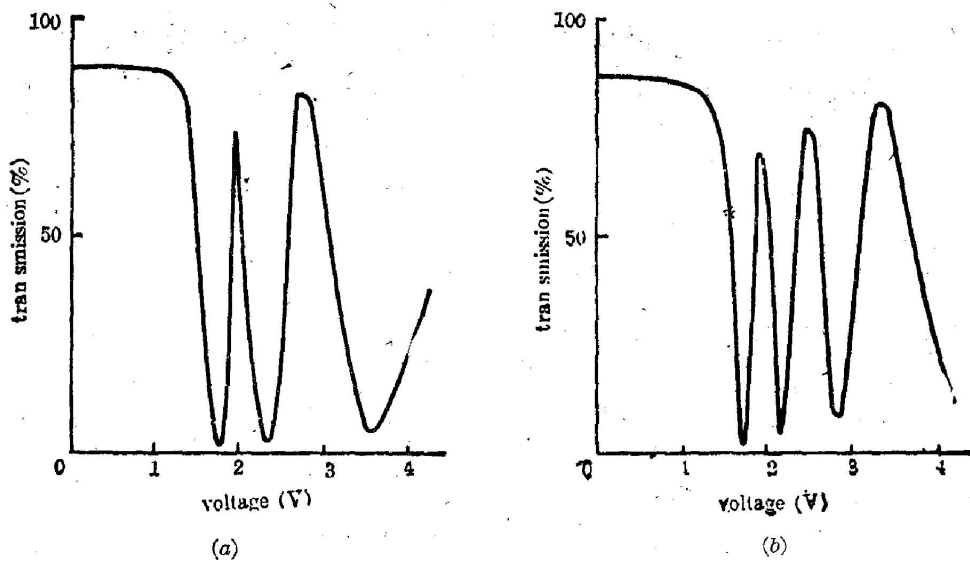


Fig. 5 Transmission curves for the LCLV at different LCLV rotation angles

(a) 20° rotation angle; (b) 45° rotation angle

由图 5 可以看出外加电压为零时,光阀的输出光强不再是最小。但通过适当调节外加电压,仍能得到最小输出光强。光阀的透光峰很狭窄,用它可以得到高对比度的输出图像,并且也很容易得到反转图像。图 6 示出上述旋转角下光阀的输入-输出特性曲线。可以看出,光阀的响应曲线变窄了。用 45° 液晶光阀较难得到对比度反转的输出图像,但改变光的入射偏振方向时,能很容易得到反转图像。我们必须注意到,改变光的偏振方向将导致光阀的

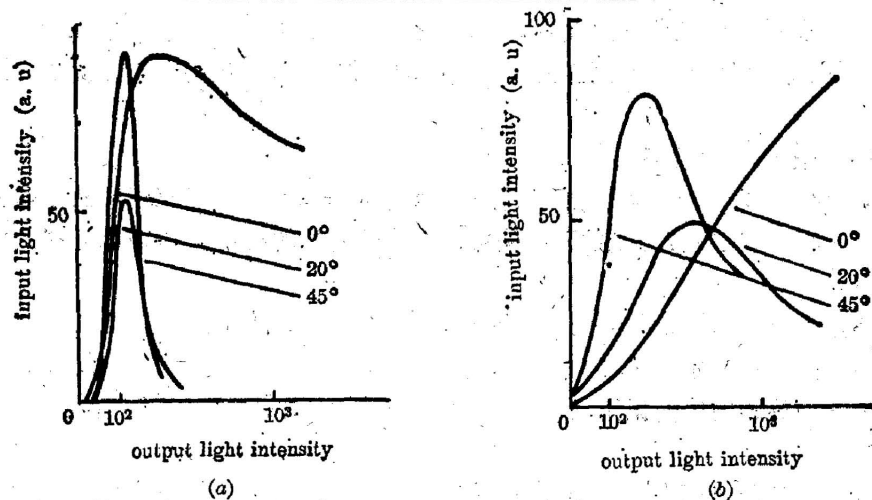


Fig. 6 Relative output intensity from the LCLV at different LCLV rotation angles
(a) 90° LCLV; (b) 45° LCLV

动态范围变小, 这是在应用此效应时须考虑的。

四、结 论

本文从实验上测试了液晶光阀特性。结果表明, 通过适当地选择光阀工作电压和频率以及改变光阀读出光的入射偏振方向, 可控制光阀的灵敏度、动态范围、输出图像对比度等, 以满足不同的应用目的。

参 考 文 献

- [1] J. Griberg *et al.*; *IEEE Trans. on Electron Device*, 1975, **ED-22**, 775.
- [2] R. W. Lawis; *Appl. Opt.*, 1978, **17**, No. 1 (Jan), 161~169.
- [3] A. D. Gara; *Appl. Opt.*, 1979, **18**, No. 2 (Jan), 172~174.
- [4] S. A. Collins; *Appl. Opt.*, 1981, **20**, No. 13 (Jul), 2250~2256.
- [5] S. H. Lee; *Appl. Opt.*, 1981, **20**, No. 8 (Apr), 1424~1432.
- [6] S. A. Collins *et al.*; *Appl. Opt.*, 1984, **23**, No. 13 (Jul), 2163~2171.
- [7] 钟启明等; 《物理学报》, 1983, **32**, No. 10 (Oct), 1311~1318.

Study on the performance of liquid crystal light valve

CHEN ZHIYONG, JI RONGGAI, ZHAO HANQING AND ZHANG ZHIMING

(Department of Physics, Fudan University, Shanghai)

(Received 5 February 1986; revised 24 July 1986)

Abstract

Study on the performance of liquid crystal light valve (LCLV) is presented. The experimental investigations are given, the effect of the applied voltage, ac frequency and input polarization of reading light on the behavior of LCLV have been considered for both 45° and 90° twist LCLV.

Key Words: Liquid crystal light valve; Transmission characteristics; Sensitometry; Polarization effect.