第21卷 第6期 中国激光 Vol. A21, No. 6
1994年6月 CHINESE JOURNAL OF LASERS June, 1994

具有点阵金属镜的FLC光阀特性的研究*

弭晓英 薛 唯

(哈尔滨工业大学物理系,哈尔滨 150001)

提要 研究了具有点阵金属镜的铁电液晶光阀的工作特性。给出了详细的实验测试结果。指出了铁电液晶光阀所具有的时钟开关特性及这一特性对光阀的写入和读出的影响,同时讨论了铁电液晶光阀的读出效率、增益、空间均匀度等重要参量。

关键词 液晶光阀,空间光调制器,光学信息处理

1 引 言

近年来,铁电液晶(FLC)以其快速响应及双稳开关特性引起人们广泛兴趣[1~3],因此系统地研究铁电液晶光阀的特性,对于开发研制新一代光调制器及有效地使用这些调制器,具有普遍的意义。

铁电液晶光阀在结构上与其它光阀完全类似,但它的工作原理及读写特性与向列液晶光阀有着本质的区别。独特之处在于其内在的时钟开关特性不仅对读、写过程提出了新的要求,而且直接影响光学系统的设计。为了应用这种光阀作为光学神经网络系统中的阈值元件,本文将重点讨论铁电液晶光阀的特性。其特性依赖于驱动条件,因此,高读出效率、高增益是基本的要求。而以此来确定驱动条件,得到的其它参量可能偏离最佳值,因此,我们不仅给出全部实验测试结果,而且给出实验的过程。这些实验过程,可用于估价和测试所有的空间光调制器。

2 铁电液晶光阀的结构及特性测试

2.1 结 构

我们研究的铁电液晶光阀是由英国BNR Europe公司协助制造的,结构见图1。在两个透明电极之间为约2 μm厚的多晶硅光导层(a—Si:H),点阵化的铝金属镜和约2 μm厚准晶相C*(smectic C*)的液晶层。液晶为BDH公司生产的SCE13,双折射率$\Delta n = 0.18$,液晶层厚度按氩激光$\lambda = 515$ nm设计。采用金属镜能更有效地阻断读光束对光导层的影响。点阵镜周期为

* 此工作完成于瑞士纳沙特尔大学,瑞士国家科学基金项目20-27917.89

注:本文在今年第四期上刊登时,因印刷错误,未将篇名页印上,现再全文刊登一次,并向作者和读者致以深深的歉意。

收稿日期:1993年7月8日,收到修改稿日期:1993年9月20日

20 μm，以维持一定的分辨率。

铁电液晶光阀采用了表面稳定化结构，具有双稳特性，必须用双极波形来驱动，见图 2。驱动波形的正脉冲使光阀处于关状态；负脉冲为写脉冲，它使光阀处于开状态。

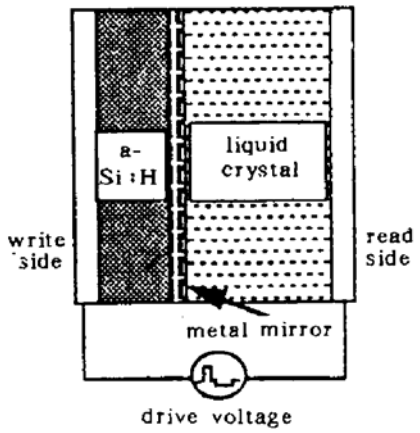

Fig. 1　The structure of the FLCLV

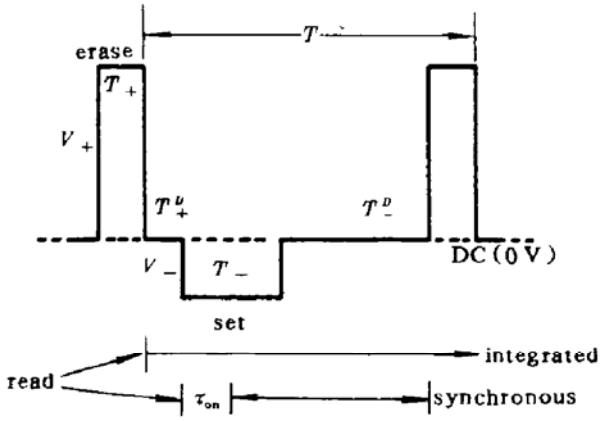

Fig. 2　The bipolar drive waveform for the FLCLV

2.2　读出效率曲线

定义读出光强 $I_{R-\text{out}}$ 与读入光强 $I_{R-\text{in}}$ 的比为读出效率

$$\eta = I_{R-\text{out}}/I_{R-\text{in}} \tag{1}$$

它表征由于在光学系统中使用了光阀而引起的系统能量的损耗。

影响读出效率的因素很多，大体分为两类：内部因素和外部因素。我们对 5 个不同液晶光阀的测试发现，由于诸如液晶厚度、有无反射镜、反射率大小等内部因素的不同，读出效率的差异非常之大，$\eta_{\max}$ 从 20% 到 80%。而为了得到最大的读出效率，还必须对驱动波形和读出方式等外部因素进行优化。

图 4 中纵坐标是读出效率。读出光强是在检偏器之后测量的，不同类型的检偏器其吸收系数可能是不同的，因此在读出效率曲线上作了修正，排除了检偏器的影响。铁电液晶的驱动波形中包含有一个时钟。在 $T_- + T^D_-$ 期间完成的读操作称为同步读出，如果读操作的延续时间大于 $T_- + T^D_-$，称为积分读出。

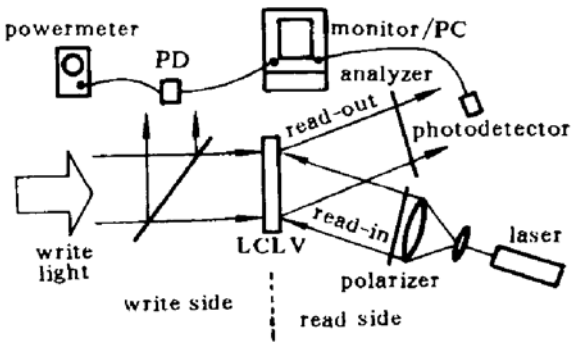

Fig. 3　The optical setup for measuring the spectral sensitivity andthe efficiency curves

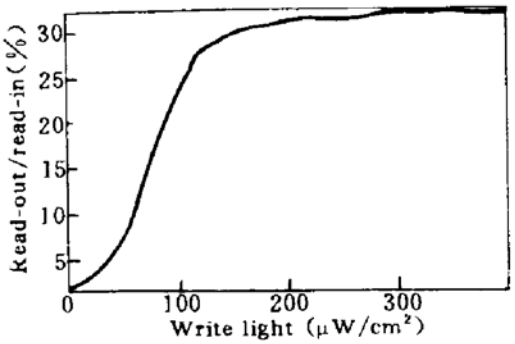

Fig. 4　Efficiency curve

当光阀的上升时间远小于写脉冲的宽度（$\tau_{\text{on}} \ll T_-$），且读出为同步时，读出效率可达最大值（$\eta_{\max}$），而积分读出只有当读操作持续至少一个周期 T 才是有效的。积分读出的效率 η_i 可表示为：

$$\eta_i = \eta_{\max}(T_- - \tau_{\text{on}} + T^D_-)/T \tag{2}$$

我们的实验装置如图3所示。测得的读出光强用读入光强来归一化，并作为写入光强的函数，则得到效率曲线。图4是积分读出的效率曲线。可看到最大值约为32%。

实验中的驱动波形的参数为 $V_+ = 22.2\ \mathrm{V}$，$V_- = 3.6\ \mathrm{V}$，$T_+ = 655\ \mu\mathrm{s}$，$T = 11\ \mathrm{ms}$。正负脉冲的宽和高以能得到最佳的反衬度和高读出效率来确定，同时维持直流分量的平衡以减小对液晶的电解损伤。使用的频率为100 Hz，由同步读出测得的响应时间为 $\tau_{on} = 1.4\ \mathrm{ms}$，$\tau_{off} = 0.6\ \mathrm{ms}$。实验测得同步读出的效率为 $\eta_{max} = 45\%$；积分读出的效率为 $\eta_i = 32\%$，即 $\eta_i = 71\%\eta_{max}$。这一结果与方程(2)式得到的结果 $\eta_i = 76\%\eta_{max}$ 基本相符。

由以上讨论可知，在确定写脉冲宽度时应能保证得到最高读出效率。这一结论虽是由光寻址的铁电液晶空间光调制器得到的，但同样适用于电寻址的同类装置。在设计包含有铁电液晶光调制器的光学系统时也要考虑这一效应。

由效率曲线（图4）可得到写入灵敏度和反衬度。写入灵敏度由使光阀处于开态的最小写入光强来表征。当波长为515 nm时，写入灵敏度为133 $\mu\mathrm{W/cm^2}$。反衬度 C 定义为开态与关态读出光强的比

$$C = I_{R-\mathrm{out}}(\mathrm{ON})/I_{R-\mathrm{out}}(\mathrm{OFF}) \tag{3}$$

测得的反衬度 $C = 16$。

2.3 有效增益

液晶光阀的增益表征它的放大能力。假如光阀具有理想化的阻光层，当写入光强大于写入灵敏度时，光阀应能调制任意光强的读入光，从而得到任意高的增益。但实际是不可能的。在我们的铁电液晶光阀中，采用了金属镜代替传统的电介质镜和阻光层，以期得到较高的增益。由于点阵化的金属镜中，每个点阵之间有缝隙，所以有一部分读入光通过这些缝隙到达光导层，使增益大大下降。在极端的情况下当这些泄漏光很强时，增益将降为零。在参考文献[4]中，我们引入了一个与光阀的读出效率有关的描述增益的参量即有效增益 G_v。定义为读出光强 $I_{R-\mathrm{out}}$ 与使光阀处于开态的最小写入光强 $I_w(\mathrm{ON})$ 的比，再考虑方程(1)，得到

$$G_v = I_{R-\mathrm{out}}/I_w(\mathrm{ON}) = \eta I_{R-\mathrm{in}}/I_w(\mathrm{ON}) \tag{4}$$

当读效率和读入光强同时达到最大值时，得到最大有效增益

$$G_v^{\max} = \eta_{\max} I_{R-\mathrm{in}}^{\max}/I_w(\mathrm{ON}) \tag{5}$$

它是光阀可利用的放大能力。$G_v^{\max} \leqslant 1$ 意味着无净增益。

由方程(5)很清楚的看到最大读入光强 $I_{R-\mathrm{in}}^{\max}$ 是得到高增益的关键。不同的读出方式对最大读出光强有不同的限制，对于在脉冲 T_- 期间的读操作称为动态读，限制最大读入光强的主要因素是读入光的泄漏。而对于在延迟期间 T_-^D 的读操作，称为静态读，由于此期间没有驱动电压作用于装置，因而读入光可以很强并仅受到铁电液晶材料的光损伤阈值的限制。

在不影响光阀变换特性的前提下，读出光强所能达到的最大值 $I_{R-\mathrm{in}}^{\max}$ 可由图5所示装置测得。图中用偏振片和旋转半波片来改变光强，但偏振片 P_1 是固定的，以保证读入光的偏振方向不变。通过两个探测器(D_1 和 D_2)来分别测量读入和读出光强。假如没有任何读入光泄漏到光导层，D_1 与 D_2 的光强之比应是一个常数。然而，如果有读入光泄漏到光导层，则两探测器的光强之比将随着读入光强的增加而改变，很可能 D_1 的光强增加得比 D_2 的光强要快。因为泄漏光可等效为一个写入光，使光阀由关态趋于开态。

为了模拟实际工作条件，降低光导层的电阻，从而得到高灵敏度的测量结果，我们在光阀的写入端偏置了一个强度为30 $\mu\mathrm{W/cm^2}$ 的写入光。图6是对于动态读出的测量结果。图中的

纵坐标为读出效率，以便于与效率曲线相比较。由曲线看到，当读入光强达到 1 mW/cm² 时光阀已完全处于开态。我们以使光阀处于 10%开态的读入光强作为最大可接受读入光强。由图 6 得到此值为 32%。由方程(5)计算得到 G_v^{max} 为 0.34。这一结果说明读入光对光导层的影响是严重的，光阀已丧失了放大能力。为了克服读入光的泄漏，可利用二元光学元件产生结构性读入光，使读入光集中在每个点阵镜上，避开镜之间的缝隙。也可采用静态读出的方式。在静态的条件下，有效增益可以大于 1。

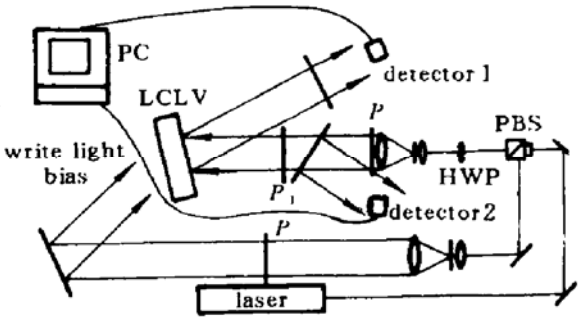

Fig. 5 Setup for measuring the effect of the read-in light intensity on the output

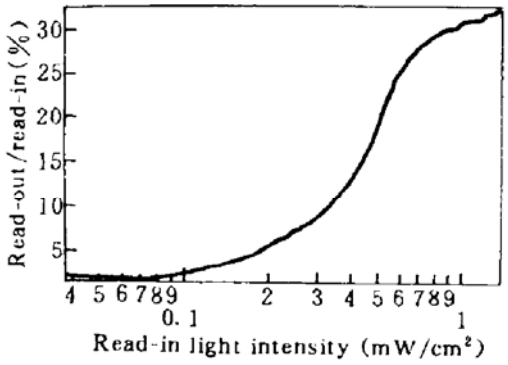

Fig. 6 The effect of read-in light intensity on read-out

2.4 响应时间

响应时间的测量应采用同步读写的方式。我们直接使用光阀驱动波形中写入脉冲来带动一个高亮度 LED 作为同步写入光。LED 的波长范围是 640～680 nm，位于光阀光谱灵敏区之内，其光强为 480 μW/cm² 足以使光阀达到全开态。

读出光由探测器接收，通过示波器可以测量响应时间，见图 7。上升时间 τ_{on} 是由 10% 的开态升至 90% 的开态所需的时间，下降时间是由 90% 的开态降到 10% 的开态所需的时间。由图可见上升时间 $\tau_{on} = 1.4$ ms，下降时间 $\tau_{off} = 0.6$ ms。这一结果与我们使用一恒定写入光所测得的结果完全一样。这是因为当写入光强足以使光阀达到开态时，光导层的响应速度大大快于液晶的响应速度[4]。因此我们测量的响应时间实际上就是液晶对驱动波形的响应。铁电液晶光阀的快速响应并不直接意味着可以用它来快速处理信息。实际上真正影响信息处理速度，从而影响系统运转的是驱动铁电液晶光阀的周期时间 T。为了保证积分读出的效率，周期时间必须选择远远大于上升和下降时间的和。

2.5 空间均匀度

空间光调制器的均匀度是非常重要的参量。实际上铁电液晶光阀的每个参量都随着在光阀上写入或读出的位置而变。为了定量描述光阀光学行为的空间均匀度，我们引入均匀面积，并测量了光阀开关状态的均匀面积，见图 8。其测量装置与图 3 中的类似。光阀固定在一个以恒定速度移动的平移台上。当平移台移动时，使用一束直径约 2 mm 的读光束扫描光阀的工作口径，分别探测开、关态的读出光强。由测得的结果可知，尽管光阀具有 3×3 cm² 的工作面积，可均匀面积仅有其工作面积的 1/3。

3 结　论

铁电液晶光阀其最本质的特征是它的时钟开关特性，因而读写操作都应与驱动波形同步。

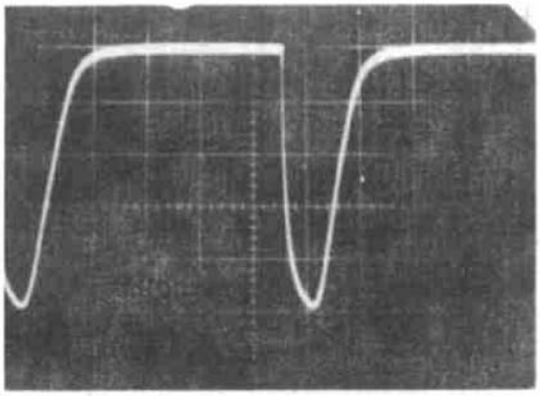

Fig. 7 Oscilloscope trace showing the response time of the FLCLV. Horizontal 2 ms per division, vertical scale 2 V per division

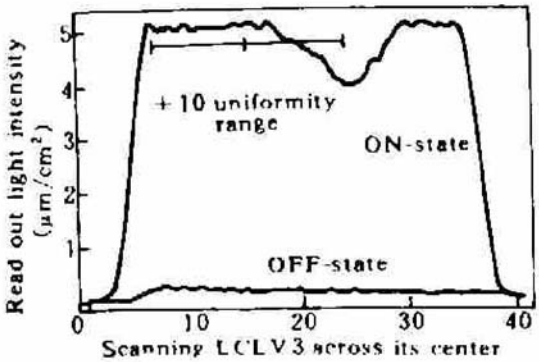

Fig. 8 ON-state and OFF-state reflectivities as a function of surface place of LCLV

读出效率是描述铁电液晶光阀的核心参量。从工作特性方面考虑，铁电液晶光阀应与微通道空间光调制器属于一类，它们都是通过周期的开关实现实时调制。而向列液晶光阀则无此开关特性。

虽然铁电液晶光阀尚有许多不尽人意之处，但主要的问题是技术上的，而不是原理上的。如空间不均匀性等问题可以通过改进液晶定向技术来解决。在点阵金属镜之间添加不透明填塞物将大大提高光阀的增益，而新的更加稳定的铁电液晶材料也将大大提高铁电液晶光阀的实用性。

参 考 文 献

1 K. M. Johnson, G. Moddel. *Appl. Opt.*, 1989, **28**: 4888～4898
2 G. Moddel, K. M. Johnson *et al.*. *Appl. Phys. Lett.*, 1989, **55**: 537
3 T. D. Hudson, R. K. Worcester, D. A. Gregory. *Appl. Opt.*, 1991, **30**: 2867
4. N. Collings, Xue Wei. *Int. J. Opt. Comp.*, 1991, **2**: 97
5 U. Efron, J. Grinbrg *et al.*. *Appl. Phys.*, 1985, **57**: 1356

The Characterization of a FLC Light Valve with Pixellated Metal Reflector

Mi Xiaoying Xue Wei

(*Dept of Physics, Harbin Institute of Technology, Harbin* 150001)

Abstract The characterization of a ferroelectric liquid crystal light valve has been performed. To evaluale the FLCLV, a new set of parameters such as read-out efficiency, effective gain and spatial uniformity was introduced. The experimental results are given in detail. The clock effect of the FLCLV on the reading and writing operation are discussed.

Key words liquid crystal light valve, spatial light modulator, optical information processing