

液晶光阀工作特性的测量与分析*

苏 衡

(南开大学现代光学研究所, 光学信息处理实验室, 天津 300071)

杨方正 金成海 王慕冰 康 辉

(南开大学物理系, 天津, 300071)

摘 要 用简便易行的方法对液晶光阀(LCLV)的工作特性曲线作了测量, 包括光阀在正像、反转像和微分像状态读出光强与写入光强的响应曲线, 以及不同写入光照度下液晶层透过率与工作电压的关系曲线。对所得结果的分析揭示了这方面以前未曾深入研究的液晶光阀非线性转换的特性。由此为光阀的很多新用途提供了坚实的实验基础, 指出了进一步探索的方向。

关键词 液晶光阀, 非线性转换特性, 场致双折射效应。

关于液晶光阀工作特性的测量, 以前的工作集中在常用的正像线性转换特性的测量上^[1], 本文侧重于液晶光阀非线性工作状态响应曲线的测量。Grinberg 等测量过单一写入光强下不同波长的 $P-V$ (透过率-电压) 曲线^[2], 文中所测得的结果有很大不同, 关键差别即在于其非线性的转换特性, 他们的测量仅仅局限于光阀的线性响应特性。测量结果验证了基于简单模型对光阀非线性转换特性的理论分析, 为实现实时取阀的多种应用^[3~5]奠定了基础。

1 原 理

光寻址交流液晶光阀是光电混合的空间光调制器的一种, 其结构如图 1 所示, 一系列膜层由碲化镉光阻挡层将其分为液晶读出调制层和光电转换接收层两部分^[2], 液晶光阀的工作以扭曲向列液晶层的扭曲向列效应和场致双折射效应为基础, 在暗断态(Off-State), 即 LC 层(即图 1 中 nematic liquid crystal 层)上无电压的状态, 液晶表现为完全的扭曲向列效应, 而在亮通态(On-State), 即 LC 层上电压超过一定的阈值时, 由场致双折射效应起作用。两种场效应的共同作用就是液晶光阀的混和场效应的工作方式。可将在亮通态时的 LC 层等效

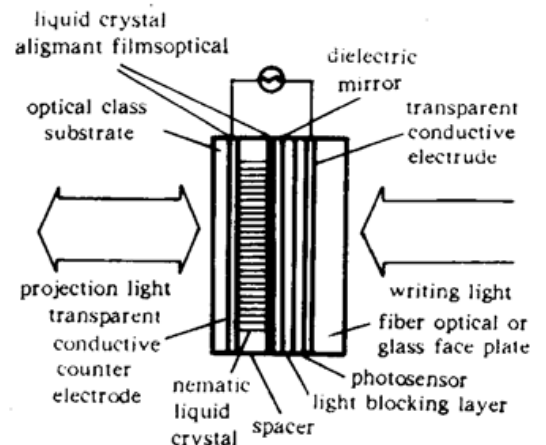


Fig. 1 Structure of nematic liquid crystal light valve

* 国家自然科学基金资助课题。

收稿日期: 1995 年 6 月 3 日; 收到修改稿日期: 1995 年 8 月 30 日

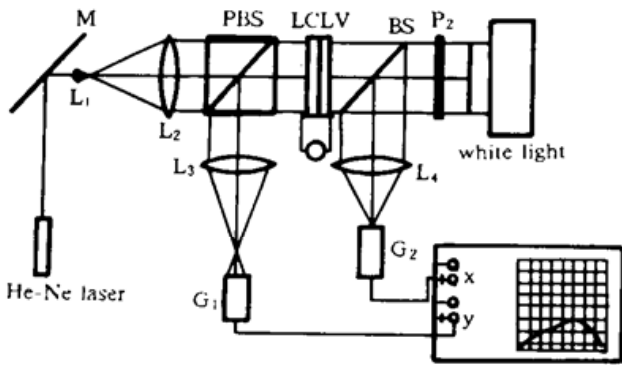
为一层 $n_0 - n_e$ 随加在其上的电压变化的双折射晶体层。设其厚度为 l ，光轴平行于液晶层的表面，入射光振动方向与光轴夹角为 θ ，则经过简单推导^[3]，可得到：

$$P = 2 \cos^2 \theta \sin^2 \theta (1 - \cos \chi),$$

其中， $\chi = 2\pi(n_0 - n_e)l/\lambda$ 。由此可见，在一定的工作状态下， P 和 V 将表现出一种正弦性质的周期变化关系，这已由作者所测得的一组 $P-V$ 曲线证实。在不必要作非常详尽的分析时，使用该简单模型方便实用，而且概念清晰，能解决问题。当入射面液晶分子长轴取向与入射光偏振方向不平行而要求全面仔细分析时，应该使用该混和场效应模型^[1]，一般问题都可得到较完满的解决。

2 实验方法及结果

使用的光路和仪器如图2所示。测量白光写入、激光读出的响应曲线，白光光源为0



~150 W 高压短弧氙灯，激光光源为 2 mW 氦氖激光。 L_1, L_2 分别为扩束、准直透镜， L_3, L_4 为成像透镜， P_2 为可调衰减器， M 为反射镜。PBS 为偏振分束棱镜。 G_1, G_2 分别为接收读出光和写入光探测器，均为 GDB-235 型光电倍增管，写入端光电倍增管工作电压为 800 V，读出端光电倍增管工作电压为 950 V。电源为液晶光阀的专用电源(自制)，记录仪为 LZ3-204 型。

Fig. 2 Optical and electrical setup for the measurement

2.1 $I_i - I_r$ 曲线的测量

将写入光 I_i 和读出光 I_r 各用一个光电倍增管接受，将光强转变为电压信号，分别输入记录仪 X 轴、Y 轴。首先调整工作电压，使光阀处于待测的工作状态，然后通过改变可变衰减器变化写入光强的大小，读出光强随之变化，记录仪将直接绘出两者的关系曲线。考虑到液晶光阀的转换时间，为使写入和读出光强准确同步，测量时应该缓缓地调节可变衰减器，使记录仪记录的都是光阀稳定后的结果。光阀的起偏方向和检偏方向相互垂直，起偏方向与光阀读出面上液晶分子长轴的方向夹角为零度。

当电压为 3.2 V、4 kHz 时光阀读出正像，测得 I_i 与 I_r 的关系如图 3 中的曲线 a 所示。当电压为 6.2 V、4 kHz 时光阀读出反转像， I_i 与 I_r 曲线如图 3 中的曲线 b 所示。当电压为 4.2 V、4 kHz 时光阀读出微分像， I_i 与 I_r 的关系如图 3 中的曲线 c 所示。

2.2 $P-V$ 曲线的测量

将液晶光阀激活电源分接到记录仪的 X 轴，换下 G_2 。通过调节可调衰减器，将写入光照度分别固定在 0, 100, 200, 300, 400 lx 的情况下，改变工作电压 V 的值，得到一组 I_i-V 曲线，由于各条曲线的测量条件都是 I_r 固定，故通过归一化就可得到一组 $P-V$ 曲线。测量的结果如图 4 所示。这组曲线都有一个峰值，这与 Gringberg 所测得的曲线是不同的，而且，引人注意的是除 0 lx(光阀处于暗断态)的曲线外，另外四条曲线的峰值(光阀处于亮通态)对应的 V 值是不变的。

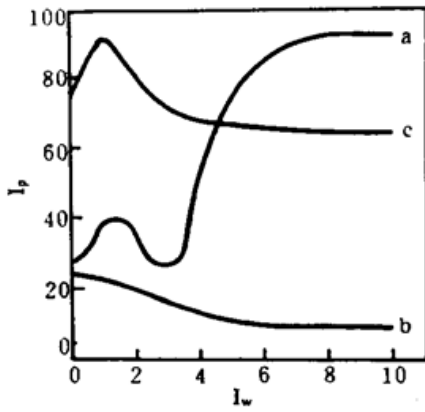


Fig. 3 Response curves between inputting and projection light intensity

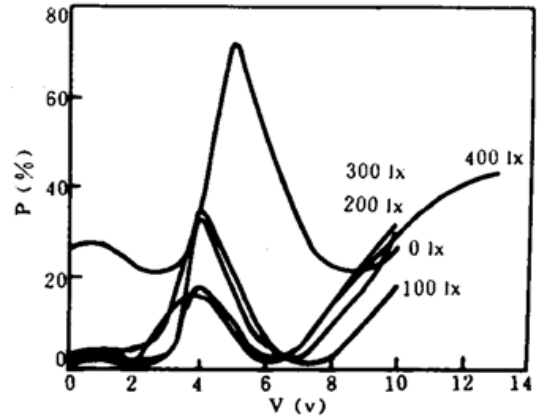


Fig. 4 The transmission of liquid crystal as a function of working voltage

3 对几个问题的分析和讨论

3.1 两组曲线之间的关系

通过简单的分析就可看出,由一组 $P-V$ 曲线出发,可以得到任何工作电压下光阀的 I_p-I_w 曲线。只需在该状态 V_i 下作 V 轴垂线,即可与这组曲线有一系列交点,对应不同的写入光强,在读出光强一定时 $p \propto I_p$,由这些交点就能读出一组 I_p-I_w 值,进而得到 V_i 时的 I_p-I_w 曲线,分析表明这种作图方法得到的 I_p-I_w 曲线与实验结果基本吻合,由这条曲线可以了解光阀任一工作状态的性质。

3.2 关于一组 $P-V$ 曲线峰值位置不变的问题

在亮态时,为液晶的场致双折射效应起作用,曲线达到极值时,由(1)式有:

$$\begin{aligned} \frac{dP}{dV} &= \frac{d}{dV} [2 \cos^2 \theta \sin^2 \theta (1 - \cos \chi)] = 2 \cos^2 \theta \sin^2 \theta \sin \chi \frac{d}{dV} (n_0 - n_e) \\ &= \frac{4\pi}{\lambda} l \frac{d}{dV} (n_0 - n_e) \sin^2 \theta \cos^2 \theta \sin^2 \chi = 0. \end{aligned}$$

则有, $\sin \chi = 0$, 或 $\frac{d}{dV} (n_0 - n_e) = 0$,

随液晶层上的电压的增加,使扭曲向列液晶分子产生在电场方向的倾斜, V 越大,其分子的倾角也将越大, $\Delta n = n_0 - n_e$ 也越大。因为 Δn 和 V 是一种单调递增的关系, $d\Delta n/dV \neq 0$,只有 $\sin \chi = 0$,即

$$\Delta n = n_0 - n_e = m\lambda/2i.$$

可以看出峰值位置将对应唯一的 Δn 值,即唯一的 V 值,而与写入光强是没有关系的。

3.3 曲线的各种应用

用图 3 中的正像曲线 a 对两幅叠加输入的二元光学图像分别进行上下取阈,将得到“与”和“或”的逻辑运算结果;用图 3 中的反转像曲线 b 对两幅叠加图像进行上下取阈,可以得到“与非”和“或非”的结果;用图 3 中的曲线 c 峰、谷部分对叠加图像取阈,可得到“异或”和“异或非”的结果。图 3 中的曲线 b 的反转输出像即图像“非”的结果^[5]。用图 3 中所示的曲线 c 对二元图像合适取阈可得到图像的微分结果^[3]。这种非线性的转换功能对于白光即多波长光的响应同样存在,当用白光读出时,每一波长的光都按照(1)式的分析结果响应,然后进行叠加,各种波长光的响应曲线不同,将出现按输入光光强编码的彩色图像,用本文模型分析得到的结果与文献[1]在入射面液晶分子长轴取向与入射光偏振方向平行时的结果基本一致。

参 考 文 献

- [1] 陈智勇等, 液晶光阀特性的研究. 光学学报, 1987, 7(3): 247~253
- [2] W. P. Bleha, L. T. Lipton, E. Wiener-Avnear *et al.*, Application of liquid crystal light valve to real-time optical data processing, *Opt. Eng.*, 1978, 17(4): 371~384
- [3] 康辉, 苏衡, 杨方正等, 利用液晶光阀实现实时图像微分. 中国激光, 1994, A21(8): 657~660
- [4] Tien-Hsin Chao, Real time optical edge enhancement using a hughes liquid crystal light valve. *Appl. Opt.*, 1989, 28(22): 4727~4731
- [5] 袁石夫等, 利用单个液晶光阀实现的光学逻辑门. 中国激光, 1994, 21(2): 145~151

Measurement and Analysis on Working Properties of Liquid Crystal Light Valve

Su Heng

(*Laboratory of Optical Information Processing,
Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 300071*)

Yang Fangzheng Jin Chenghai Wang Mubing Kang Hui

(*Department of Physics, Nankai University, Tianjin 300071*)

(Received 3 June 1995; revised 30 August 1995)

Abstract The properties of liquid crystal light valve (LCLV), including the response curves between input and projection beam in real, inversed, and differential state, also the relationship between the transmission of the liquid crystal and the working voltage when different input beam lumination provided, are measured by facile method. The analysis to the experimental results revealed the nonlinear transforming properties of LCLV, which have not been thoroughly researched before. A solid base for a great deal of its applications is provided and the direction of further development is presented.

Key words liquid crystal light valve (LCLV), nonlinear transforming property, optical birefringence effect.