

文章编号: 1001-3806(2007)03-0311-03

## 一种新型液晶退偏振器的研究

王建军, 林宏兔, 隋 展, 邓青华, 李明中

(中国工程物理研究院 激光聚变研究中心, 绵阳 621900)

**摘要:** 为了消除入射光的偏振态变化对相干系统的负面影响, 一种有效的方法就是对入射光进行退偏处理。利用液晶随着液晶分子取向的偏转, 光沿  $z$  轴传播的折射率  $n$  发生变化的特性, 可通过改变外加电压可以任意控制液晶各点的偏振态, 从而能够实现任意偏振输出。报道了一种由两片液晶片组合而成的新型单色退偏振器, 理论研究了利用液晶的偏振特性对单色光进行退偏原理。实验结果表明, 这种退偏振器对入射光偏振方向不敏感, 可对任意偏振态或偏振态随时间变化的连续或者脉冲入射单色光进行完全退偏。可用于惯性约束聚变激光驱动器光纤前端系统中以消除偏振变化对系统的影响。

**关键词:** 光学器件; 退偏器; 液晶; 偏振; 惯性约束聚变

中图分类号: TN241 文献标识码: A

### Research of a new kind of liquid crystal depolarizer

WANG Jian-jun, LIN Hong-tuan, SUI Zhan, DENG Qing-hua, LIM ing-zhong

(Laser Fusion Research Center Chinese Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

**Abstract** To cancel the negative influence of the polarization variety of the incident light on a coherent system because one of the effective methods is to depolarize the incident light. Making use of the characteristic of liquid crystal whose refractive index  $n$  along  $z$  is various with the deflection orientation of the liquid crystal element, the polarization of the liquid crystal can be arbitrarily controlled by changing the voltage of the liquid crystal and the light can propagate at arbitrary polarization. A new depolarizer composed of two liquid crystal was proposed in the paper. Experimental results show that the liquid crystal depolarizer is insensitive to the polarization state of the incident light and can totally depolarize CW or pulsed monochromatic light with arbitrary polarization states. The depolarizer has the potential to keep the polarization state of the fiber injection laser system of the ICF driver.

**Key words** optical devices; depolarizer; liquid crystal (LC); polarization; inertial confinement fusion (ICF)

### 引 言

组成惯性约束聚变 (inertial confinement fusion, ICF) 驱动器前端光纤系统的各元件中有偏振敏感器件, 如幅度调制器、位相调制器等, 也有偏振不敏感器件如光纤放大器、分束器等。偏振敏感器件会因入射光的偏振态变化而使输出强度发生较大变化, 从而使整个系统的输出强度出现很大的起伏, 这将严重影响后续放大系统的运行安全性和输出稳定性<sup>[1]</sup>。因此, 为消除光的偏振态对系统输出的影响, 需要新的光纤退偏器以对系统光源 (光谱线宽几个皮米的单纵模激

光或脉冲宽度仅几纳秒短脉冲激光) 进行完全退偏。

自从 1808 年马吕斯发现光的偏振现象以来, 人们对光的起偏及应用做了大量的研究, 起偏器在许多领域已得到广泛的应用。然而, 相对而言, 人们对退偏振的研究却进展不大, 目前采用的退偏方法主要有: 利用光的双折射效应的 Loy 退偏器、利用散射效应的散射型退偏器、利用位相延时做成的退偏器、液晶退偏器等, 此外, 在光通信中为了消除偏振态的影响还采用了光偏振干扰器。然而, 这些方法难以在 ICF 前端系统中得到应用, 这主要是有的退偏器只能对多色光进行退偏; 有的退偏器只有当入射光偏振方向为特定方向时才能获得很好的退偏效果<sup>[1-4]</sup>。此外, ICF 前端系统要求理想退偏器应该是时间无关的完全退偏器, 而这种退偏器目前还未见报道。针对 ICF 前端系统要求, 报道了一种新型单色光纤退偏振器, 它由两片液晶片组合而成, 这种退偏振器对入射光偏振方向不敏感, 可对偏振方向未知或经常变化的入射单色光进行完全

基金项目: 国家高技术 863-804 主题资助项目 (2004AA849070)

作者简介: 王建军 (1974-), 男, 助理研究员, 长期从事 ICF 驱动器前端系统总体技术研究。

Email: wjjcaep@163.com

收稿日期: 2006-03-29; 收到修改稿日期: 2006-05-24

退偏,同时它是一种时间无关的退偏器,能满足 CF 前端系统的要求。

### 1 液晶退偏的机理

采用透射式液晶基片,液晶分子在基片两表面处都是沿面排列的,把基片中间的液晶层分成许多薄层,每一层内分子的取向基本一致,且平行与层面,相临薄层分子的取向逐渐转过一个角度,从而形成扭曲向列排列方式。当沿 z 轴加上电场时,所有的液晶分子朝电场方向旋转一个角度  $\theta$  由下式给出:

$$\theta = \frac{\pi}{2} - 2 \tan^{-1} \exp\left[-\frac{V - V_{th}}{V_0}\right], \quad (V > V_{th}) \quad (1)$$

随着液晶分子取向的偏转,光沿 z 轴传播的折射率 n 也发生了变化<sup>[5-12]</sup>,这时的折射率 n 由下式给出:

$$1/n^2(\theta) = [\cos^2\theta/n_e^2 + \sin^2\theta/n_o^2] \quad (2)$$

式中, V 表示外加电压;  $V_{th}$  表示阈值电压,当外加电压低于它时液晶分子无旋转发生,  $V_0$  表示盈电压,对应于液晶分子转过  $49.6^\circ$ ,  $n_e$ ,  $n_o$  分别表示 e 光折射率和 o 光折射率。

若在基片两侧加上有一定夹角的一对偏振片时,系统透过率与相移将随外加电压的变化而变化。根据 LU 和 SALEH 所用的距阵方法,可以得到透射光的复振幅,经过理论推导,可以得到液晶调制器的透射率 T 和产生的相位漂移  $\delta$

$$T = \left[ \frac{\alpha}{Y} \sin Y \cos(\Psi_1 - \Psi_2) + \cos Y \sin(\Psi_1 - \Psi_2) \right]^2 + \left[ \frac{\beta}{Y} \sin Y \cos(\Psi_1 + \Psi_2) \right]^2 \quad (3)$$

$$\delta = \beta -$$

$$\tan^{-1} \left[ \frac{\frac{\beta}{Y} \sin Y \cos(\Psi_1 + \Psi_2)}{\frac{\alpha}{\beta} \sin Y \cos(\Psi_1 - \Psi_2) + \cos Y \sin(\Psi_1 - \Psi_2)} \right] \quad (4)$$

式中,  $\Psi_1$ ,  $\Psi_2$  分别为入射光和出射光与入射表面液晶取向的夹角,  $\alpha$  为液晶分子的旋转角,  $\beta = \pi d [n(V) - n_o] / \lambda$  它是随外加电压改变的参量,  $Y = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2}$ 。图 1 中给出了根据 (3) 式和 (4) 式得到振幅 (见图 1a) 与位相 (见图 1b) 随  $\beta$  (亦即外加电压) 变化的特性曲线,其中 (0 0) 对应于  $\Psi_1 = \Psi_2 = 0^\circ$  或  $\Psi_1 = \Psi_2 = 90^\circ$ , (0 90) 对应于  $\Psi_1 = 0^\circ$ ,  $\Psi_2 = 90^\circ$ , (90 0) 对应于  $\Psi_1 = 90^\circ$ ,  $\Psi_2 = 0^\circ$ , 由图可知,选取合适的电压值,可以同时获得振幅 (0~100%) 和位相 (0~ $2\pi$ ) 的调制。

将液晶输出端的检偏器去掉,这时对应于  $\Psi_2$  是任意变化的情况,由 (4) 式可知,此时不同方向出射光的相移不同,因此,可通过改变外加电压可以任意控制液晶各点的偏振态,从而能够实现任意偏振输出,而达

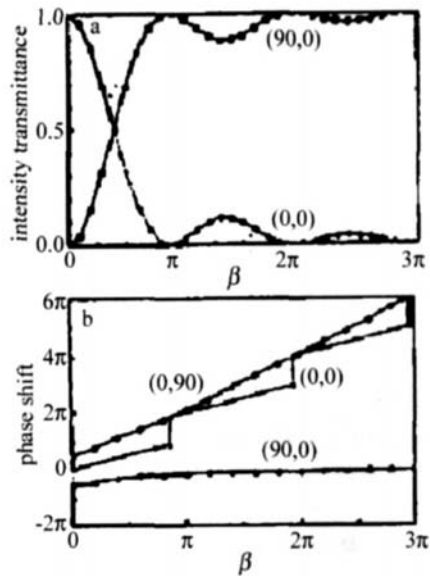


Fig 1 The characteristic curve of amplitude and phase various with  $\beta$  a- rektion of transmittance and  $\beta$  b- rektion of phase shift and  $\beta$  到退偏的目的。

### 2 实验研究

图 2 中给出了液晶退偏的实验装置图,实验中采

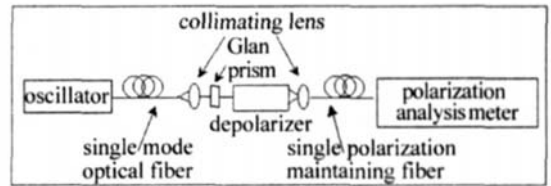


Fig 2 Schematic demonstration of LC depolarizer device

用经准直透镜准直过的光纤激光器的输出光作为待退偏光源,用格兰棱镜作为偏振元件将入射光变为线偏光,输出采用保偏光纤。偏振光经液晶退偏装置后进入偏振分析仪的光接收口,通过偏振分析仪对退偏器光的偏振状态分析以检验退偏装置的退偏效果。

首先对由不同液晶片数组合的退偏装置的退偏效果进行了比较,实验结果如图 3 所示。图示中的方形

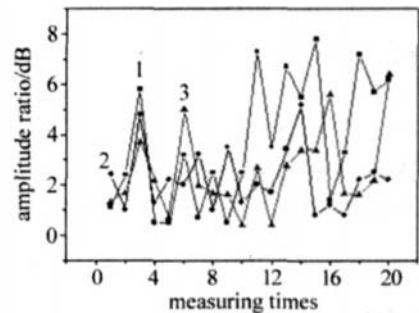


Fig 3 Depolarizing effect with different number of LC

线 1 表示采用一片液晶时的退偏效果,残余偏振度平均值为 3.73dB,均方差为 2.48; 圆点线 2 表示采用两片液晶时的退偏效果,残余偏振度平均值为 2.22dB,均方差为 1.25; 三角线 3 表示采用 3 片时的效果,残

余偏振度平均值为 2.41dB, 均方差为 1.5%。可以看出单片液晶退偏效果不佳, 双片与 3 片退偏效果相当, 因此, 采用了由两液晶片组合的退偏装置。下面对由两液晶片组合的退偏装置做了进一步的研究测试。

通过调整液晶的姿态, 也就是改变  $\psi$  的大小, 得到了不同姿态下的退偏结果, 如图 4 所示, 图中的圆点

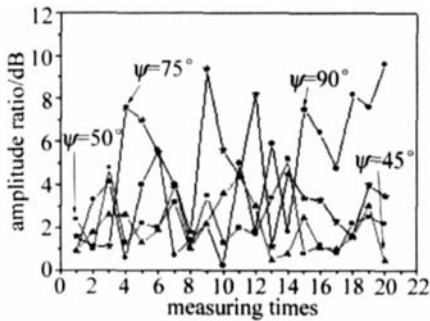


Fig 4 Depolarizing effect with different status of double LC

线表示  $\psi = 90^\circ$  时的退偏效果, 残余偏振度平均值为 4.09dB, 均方差为 2.84%。星号线表示  $\psi = 75^\circ$  时的退偏效果, 残余偏振度平均值为 4.02dB, 均方差为 2.46%。方形线表示  $\psi = 50^\circ$  时的退偏效果, 残余偏振度平均值为 2.17dB, 均方差为 1.26%。三角线表示  $\psi = 45^\circ$  时的效果, 残余偏振度平均值为 2.11dB, 均方差为 1.14%。可以看出对液晶在施加一定的电压情况下, 当入射的线偏振光与液晶入射表面取向的夹角成  $45^\circ$  时可以获得较好的退偏效果。

### 3 结论

利用液晶在外驱动电压的作用下产生分子扭曲和折射率变化, 从而改变液晶的偏振特性的特点, 提出了一种新型单色退偏振器, 它由两片液晶片组合而成, 这种退偏振器对入射光偏振方向不敏感, 可对偏振方向未知或经常变化的入射单色光进行完全退偏, 同时它

是一种时间无关的退偏器, 能满足 ICF 前端系统的要求。通过实验研究证明, 液晶退偏器有一定的退偏效果, 但是退偏还不够彻底, 须进一步对液晶退偏器进行改进完善。

### 参 考 文 献

- [1] WANG Ch Ch, YUAN X D, QING X W *et al*. Recent advances of XG II high power solid state laser facility [J]. *Laser Technology* 2004, 28(5): 469~472 (in Chinese).
- [2] LOEBER A D. Depolarization of white light by birefringence crystal II: the Lyot depolarizer [J]. *JOSA*, 1982, 72(5): 650~656.
- [3] XU F Y. A new type of depolarizer of magnesium fluoride [J]. *Society of Optical Engineering* 1992, 1752(3): 315~316.
- [4] WETZEL R. A depolarizer for polychromatic and monochromatic light of any desired wavelength [J]. *Optics* 1987, 76(4): 189~191.
- [5] CHEN H X, SU I Zh, CHEN Zh P *et al*. Optical modulation characteristics of liquid crystal television (LCTV) and its application in optics information processing [J]. *Journal of Chinese Lasers* 2000, A27(8): 741~745 (in Chinese).
- [6] LU K, SALEH B E A. Theory and design of the liquid crystal TV as an optical spatial phase modulator [J]. *Opt Engng* 1990, 29(10): 240~246.
- [7] ZHAO D Zh, ZHANG H Y. *Spatial light modulator* [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1992, 55~60 (in Chinese).
- [8] COY JA, ZALDARRIAGA M, GROSZ D F *et al*. Characterization of a liquid crystal television as a programmable spatial light modulator [J]. *Opt Engng* 1996, 35(6): 15~19.
- [9] KIRSCH J C, GREGORY D A, THEM M W *et al*. Modulation characteristics of the Epson liquid crystal television [J]. *Opt Engng* 1992, 31(5): 963~970.
- [10] LAUDE V, MAZE S, CHAVEL P *et al*. Amplitude and phase coding measurement of a liquid crystal television [J]. *Opt Commun*, 1993, 103: 33~38.
- [11] NETO L G, ROBERGE D, SHENG Y. Full range continuous complex modulation by the use of two coupled mode liquid-crystal televisions [J]. *Appl Opt* 1996, 35(8): 4567~4576.
- [12] LU H K, CHAO T H. Liquid crystal television spatial light modulators [J]. *Appl Opt* 1989, 28(7): 4772~4780.
- [13] CU IW D, ZHU Sh Ch, SH IH M *et al*. Effects of optical fiber on laser firing and initiating system [J]. *Initiator & Pyrotechnics* 2000(4): 34~37 (in Chinese).
- [14] WANG Zh H. Brief analysis of technical difficulties for military fiber optic cable connectors [J]. *Optical Fiber & Electric Cable*, 1996(4): 10~11 (in Chinese).
- [15] WAN K M, FU L H, YANG Zh Q *et al*. Design of laser ignition system [J]. *Initiator & Pyrotechnics* 1996(2): 31~37 (in Chinese).
- [16] ZHANG H Q, YAN N, HUA G *et al*. Effect of the mass percentage of composition to semiconductor laser diode ignition threshold and delay time [J]. *Initiators & Pyrotechnics* 2002(1): 23~25 (in Chinese).
- [17] TRINH H P, EARLY J, OSBORNE R *et al*. Technology development of a fiber optic coupled laser ignition system for multi-combustor rocket engines [R]. Huntsville: Marshall Space Flight Center, 2003, 1~10.
- [18] WEIA Y, GUO X B, ZHANG J T. Experimental study on laser initiation of common explosive initiator composition [J]. *Energetic Materials* 2004, 12(4): 243~245 (in Chinese).

(上接第 310 页)