

文章编号:1004-4213(2010)05-0789-3

液晶电控调谐滤波器的研究*

任广军^{1,2}, 姚建铨¹

(1 天津大学 a. 精密仪器与光电子工程学院 激光与光电子研究所; b. 光电信息科学技术教育部重点实验室, 天津 300072)

(2 天津理工大学 a. 电子信息工程学院; b. 薄膜电子与通信器件天津市重点实验室, 天津 300384)

摘要:理论分析了液晶调谐滤波器的调谐原理, 利用岛津 UV-23101 分光光度计, 通过对 BL-009 型向列相液晶透射比的测试, 分析了可见光波段液晶透射比随电场的变化情况, 作出了入射光波长从 400~800 nm 时液晶透射比随电压变化的关系曲线, 并就氩离子激光器两条谱线 488 nm 和 514.5 nm 进行了提取。

关键词:液晶; 电控; 滤波器

中图分类号: O753⁺.2

文献标识码: A

doi: 10.3788/gzxb20103905.0789

0 引言

光滤波器是一种重要的光无源器件, 在光学测量、光传感、光谱分析以及光通信等领域有着十分广泛的应用, 在连续的光谱中用于透过一定宽度的光谱带或提取某些辐射。目前较为流行的光滤波器主要有两种: 一是光纤型 Fabry-perot (F-P) 腔光滤波器, 它是通过压电陶瓷的伸缩来改变 F-P 腔的几何腔长达到调谐目的; 二是 SiO₂ 集成的 Mach-Zehnder (M-Z) 波导型光滤波器。另外, 还有光栅型光滤波器, 声光型光滤波器。全光纤型 F-P 腔光滤波器和 M-Z 波导型光滤波器制作难度较大, 液晶调谐 F-P 腔光滤波器以液晶作为腔内的调谐介质, 利用液晶的双折射性质来改变 F-P 腔的光学腔长, 达到调谐的目的。这种器件易于低电压调谐, 制作工艺相对简单, 并可获得较高的精细度和窄的带宽, 因此成为目前关注的方向, 同时也是当前研究的热点^[1-4]。本文针对可见光范围, 对液晶调谐滤波器进行了研究, 并对氩离子激光器输出的两条主要谱线通过电压调谐进行了控制输出。

1 F-P 腔液晶可调谐滤波器理论分析

F-P 腔光滤波器是一种干涉型光滤波器, 它由谐振腔和输入输出组成, 如图 1。谐振腔由两块镀上反射膜的镜面组成, 入射光在谐振腔内来回反射, 形成多光束干涉, 通过调节腔长、入射角或其它量, 使

某一波长的光波在谐振腔内来回反射一次后相位差为 2π 的整数倍时, 光波在谐振腔内形成驻波, 输出光强最大, 而对于其它在腔内的往返相差不为 2π 整数倍的光波长信号, 往返光信号的振幅互相叠加被抵消, 很难透过谐振腔反射膜输出, 从而达到选频滤波的目的^[5-6]。

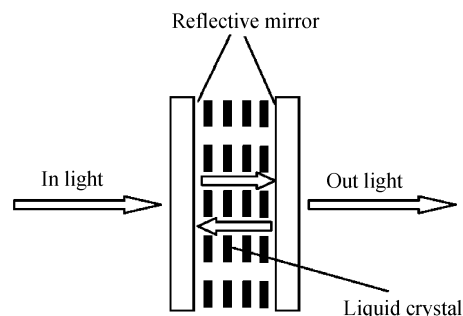


图 1 F-P 腔光滤波器的基本结构

Fig. 1 Assumption diagram of F-P filter

电压调谐液晶滤波器采用在 F-P 腔内注入液晶作为腔内介质, 通过对液晶施加电场使腔内介质折射率改变的方法实现对透过波长的调谐^[7,9]。

假设波长为 λ 的信号光与腔面法线成 θ 角的方向入射到 F-P 腔, 当信号光在谐振腔内的往返相位差为 2π 的整数倍时, 在谐振腔内产生相长干涉, 透过谐振腔反射膜形成强光输出, 可得

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} 2nL \cos \theta = 2m\pi$$

即有

$$2nL \cos \theta = m\lambda \quad (1)$$

式中, n 为腔内折射率, L 为腔长, m 为整数。

由式(1)可知当 m 值确定之后, 确定满足相位条件的具有峰值透射波长的因素有三个, n (腔内介质折射率)、 L (腔长) 和 θ , 因此调节改变这三个量即

* 国家博士后基金(20090460691)、国家重点基础研究发展计划(2010CB327801)、国家自然科学基金(60806030)和天津市自然科学基金(08JCYBJC14600)资助

Tel: 022-27407676

Email: rgj1@163.com

收稿日期: 2009-09-13

修回日期: 2010-02-11

可达到波长调谐的目的.

对于填充材料向列相液晶,由长径比很大的丝状分子所组成,分子质心没有长程有序性,具有类似于液体的流动性,分子不排列成层,它能上下、左右、前后滑动,且分子长轴方向上保持相互平行或近于平行.

分子长轴彼此互相平行的自发取向过程使液晶产生高度的双折射特性.无外电场作用时,液晶分子沿 F-P 腔平面排列,其分子长轴与入射光的传播方向垂直,平行于分子长轴方向的折射率为 $n_{//}$,垂直方向的折射率为 n_{\perp} .当施加电场时,液晶分子在电场的作用下向电场方向偏转,偏转的角度 α 与外电场的有效电压成比例增长,根据折射率椭球得出入射光偏振方向上的折射率为

$$n(\alpha) = n_{//}n_{\perp} / (n_{\perp}^2 \cos^2 \alpha + n_{//}^2 \sin^2 \alpha)^{1/2} \quad (2)$$

根据 F-P 滤波器原理由式(1)可得

$$2n_{//}L \cos \theta = m\lambda_{//} \quad (3)$$

$$2n_{\perp}L \cos \theta = m\lambda_{\perp} \quad (4)$$

而两者($\lambda_{//}$ 、 λ_{\perp})的峰值相差很小,所以很难区分,可得滤波器的透射峰满足的条件为

$$2(n_{//} - n_{\perp})L \cos \theta = m\lambda \quad (5)$$

可见,通过改变加在液晶盒上的电压来改变液晶的双折射率,从而改变输出光的波长,达到调谐滤波的目的.

2 实验装置

在岛津 UV-3101PC 型分光光度计的基础上搭建如图 2 所示测量光路,测试系统有以下几个部分组成:1)光源及分光系统,2)信号检测系统,3)数据采集与处理系统.

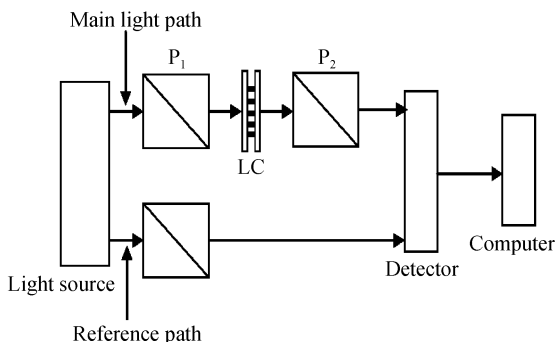


图 2 实验装置

Fig. 2 Experimental setup

光源及分光系统有光源、会聚透镜、单色仪组成,主要是为测量提供单色光.分光仪为美国 ARC 公司生产的 SP-300 型单色仪,配有三块不同的闪耀波长的光栅,光谱范围为 190~2 000 nm.信号检测系统采用 ARC 公司生产的光电倍增管,工作于光伏模式.数据采集系统通过计算机配以相应的软件

实现.

3 液晶电控双折射特性实验结果的分析与讨论

实验装置如图 2.液晶盒为 BL-009 型向列相液晶,在室温 20 °C 下,用信号发生器对液晶盒施加占空比为 50% 1 000 Hz 的方波交流信号,利用分光光度计测出波长从 400~800 nm 液晶的透射比,如图 3.

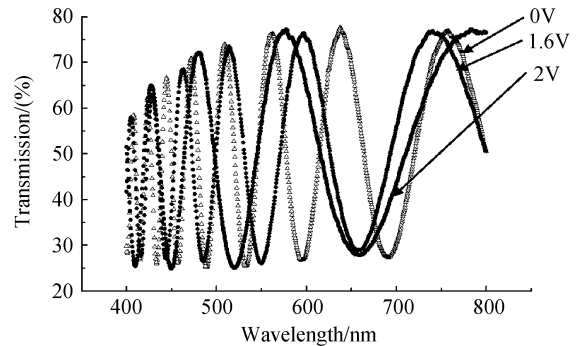
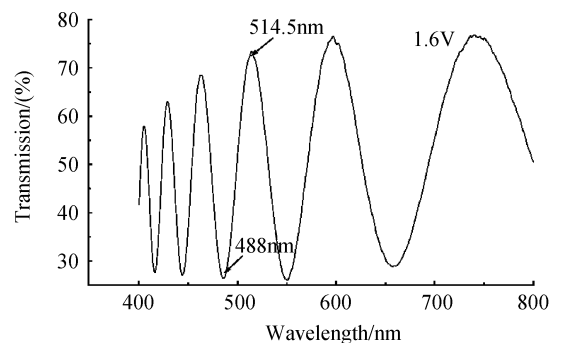


图 3 液晶透射比随电压变化曲线

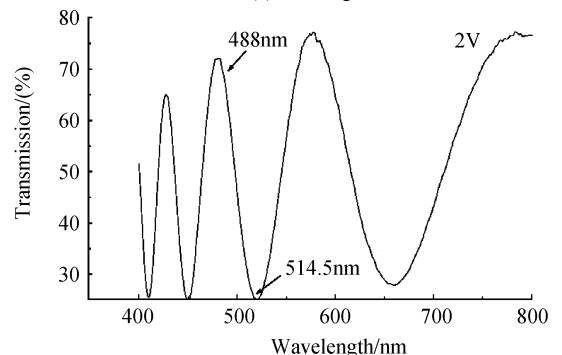
Fig. 3 Transmission curve of LC with voltage

从图 3 可知,液晶透射比曲线随加在液晶盒上电压的增高逐渐向短波方向移动,对应不同的电压值,液晶的透射峰值波长也不一样.这样就可以通过改变加在液晶盒上的电压值来调整液晶盒对某一波长的通过率,达到调谐滤波的目的.

图 4(a)是液晶盒两端所加电压为 1.6 V 时液



(a) Filtering 488nm



(b) Filtering 514.5nm

图 4 氩离子激光器谱线提取

Fig. 4 Abstraction of spectral in Ar³⁺ laser

晶的透射比曲线,由此曲线可以看出,在 488 nm 附近的透射比很低,在 514.5 nm 附近有很高的透射比,这样就能把氩离子激光器发出的两条谱线分开,滤掉 488 nm 的谱线,使 514.5 nm 的谱线输出.图 4 (b)是液晶盒两端所加电压为 2 V 时液晶的透射比曲线,由此曲线可以看出,在 488 nm 附近的透射比很高,在 514.5 nm 附近的透射比很低,使 488 nm 的谱线输出,滤掉 514.5 nm 的谱线.这为氩离子激光器的应用以及科研工作提供了很大的方便.

4 结论

理论上分析了液晶调谐滤波器的调谐原理,通过对电场作用下液晶透射比的测试,就液晶调谐滤波器进行了实验研究.通过电压调谐,对氩离子激光器两条谱线 488 nm 和 514.5 nm 进行了控制输出,这为液晶的更广泛应用以及光通信液晶器件的设计提供了新的科学依据.

参考文献

- [1] YUN Mao-jin, LI Guo-hua, Wu Fu-quan, *et al.* Characteristics of lyot tunable liquid crystal filters[J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, **23**(5):627-631.
云茂金,李国华,吴福全,等.利奥型可调谐液晶电光滤波器的特性分析[J]. *光学学报*, 2003, **23**(5):627-631.
- [2] REN Guang-jun, YAO Jian-quan, LI Guo-hua, *et al.* A study of magnetism controlled polarization of liquid crystal[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(1):152-155.
任广军,姚建铨,李国华,等.液晶磁控偏光特性的研究[J]. *光子学报*, 2007, **36**(1):152-155.
- [3] SHEN Su, HE Sai-ling. Analysis of liquid crystal tunable febry-perot etalon filters[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(5):713-717.
申溯,何赛灵.液晶法布里-珀罗滤波器可调谐特性分析[J]. *光子学报*, 2005, **34**(5):713-717.
- [4] HUANG Teng-chao, CHEN Hai-xing, LI Hai-feng, *et al.* A research on tunable liquid crystal fabry - perot filter[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(12):1438-1441.
黄腾超,陈海星,李海峰,等.可调谐液晶法-珀滤光片的研究[J]. *光子学报*, 2003, **32**(12):1438-1441.
- [5] DORJGOTOV E A, BHOWMIK A K, BOS P J. Switchable polarization-independent liquid-crystal Fabry [J] Perot filter [J]. *Applied Optics*, 2009, **48**(1):74-79.
- [6] REN Guang-jun, LI Guo-hua. Jones matrix of liquid crystal with magnetic field[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2003, **18**(5):357-361.
任广军,李国华.液晶磁控效应的 Jones 矩阵研究[J]. *液晶与显示*, 2003, **18**(5):357-361.
- [7] WANG Ning, LI Guo-hua, YUN Mao-jin. Voltage-dependent birefringence measurements of liquid crystals [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2002, **29**(12):1064-1066.
王宁,李国华,云茂金.液晶电控双折射特性的研究[J]. *中国激光*, 2002, **29**(12):1064-1066.
- [8] REN Guang-jun, LI Guo-hua, PENG Han-dong. Further research on electro-optical characteristics of liquid crystals[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2004, **19**(4):270-273.
任广军,李国华,彭捍东.液晶双折射效应的再研究[J]. *液晶与显示*, 2004, **19**(4):270-273.
- [9] REN Guang-jun, YAO Jian-quan, WANG Peng, *et al.* Research of magneto-optical rotation of liquid crystal[J]. *Acta Physica Sinica*, 2007, **56**(2):377-381.
任广军,姚建铨,王鹏,等.液晶磁致旋光的研究[J]. *物理学报*, 2007, **56**(2):377-381.

Voltage-tunable Liquid Crystal Filter

REN Guang-jun^{1,2}, YAO Jian-quan¹

(1 a. Institute of Laser and Opto-electronics, College of Precision Instrument and Opto-electronics Engineering ;
b. Key Laboratory of Optoelectric Information Science and Technology, Ministry of Education, Tianjin University,
Tianjin 300072, China)

(2 a. School of Electronics Information Engineering ; b. Tianjin Key Lab. of Film Electronic & Communic. Devices,
Tianjin University of Technology, Tianjin 300384, China)

Abstract: The theory of voltage-tunable liquid crystal filter is elaborated, and the change of transmission of BL-009 nematic liquid crystal in visible light band is detailedly analyzed by testing the transmission of liquid crystal using Shimadzu UV-23101 spectrophotometer. Relation curve of transmission with voltage is gained in the wavelength range from 400 nm to 800 nm. The spectral lines at 488 nm wavelength and at 514.5 nm wavelength of argon ion laser are separated.

Key words: Liquid crystal; Voltage controlled; Filter



REN Guang-jun was born in 1962. He received the Ph. D. degree in physical electronics in 2007. Now he is a professor and his research interests focus on solid state laser, fiber laser, nonlinear transformation of frequency and laser polarization light technology.