

文章编号: 0258-702X(2002)02-0135-03

液晶调谐滤光片对 Ar⁺ 激光器谱线的提取

云茂金, 李国华, 孔 勇, 范树海, 王 宁

(曲阜师范大学激光所, 山东曲阜 273165)

提要 从理论和实验上证明了液晶调谐滤光片可用于复色激光器中提取所需要的谱线, 从而避免多级双折射滤光片的使用。对 Ar⁺ 激光器中最强的两条谱线 488 nm 蓝光和 514.5 nm 绿光进行测试, 用较低的调谐电压即可提取所需要的谱线, 当两谱线经过以 E70 为材料的液晶调谐滤光片时, 液晶盒上所加电压为 1.19 V, 透过的基本是 488 nm 谱线; 电压为 1.30 V 透过的是 514.5 nm 谱线。

关键词 调谐滤光片, 液晶, 调谐电压, 复色激光器

中图分类号 TN 248.2+1 文献标识码 A

Tunable Liquid Crystal Filter Used for Line-selection of Ar⁺ Laser

YUN Mao-jin, LI Guo-hua, KONG Yong, FAN Shu-hai, WANG Ning

(Institute of Laser, Qufu Normal University, Qufu 273165)

Abstract It is proved from the theory and experiment that the liquid crystal tunable filter can be used to select some desired wavelength from a multiline laser. With the tunable liquid crystal filter outside the Ar⁺ laser, the beam of 488 nm under voltage of 1.19 V and 514.5 nm under voltage of 1.30 V can be achieved, respectively.

Key words tunable filter, liquid crystal, tunable voltage, multiline laser

1 引 言

光学滤光片的作用是从宽带光谱或复色激光器中提取所需要的谱线。自 1932 年法国物理学家 Lyot 发明了以双折射晶体为材料的 Lyot 型可调谐滤光片以来^[1] 经过近 70 年的发展, 滤光片的种类及性能都有很大的变化, 其应用范围也日益广泛。通常一个窄通带滤光片是针对某一波长设计的, 不能用电场来调谐, 因此若从复色激光器的谱线中提取所需要的谱线要多级双折射滤光片^[2]。如果用电光调谐滤光片, 仅靠调谐电压的改变, 即可提取所需要的谱线。且调谐电压比较低, 在 0~3 V 之间。

Ar⁺ 激光器为复色激光器, 输出最强的两条谱线是 488 nm 蓝光和 514.5 nm 绿光。为提取所需要的谱线, 可用液晶的电光效应制成的液晶调谐滤光片^[3] 取代双折射滤光片, 通过调节加在液晶上的电压达到提取所需要的谱线的目的。从而避免了多级双折射滤光片的使用。

2 原 理

根据液晶的电光效应制成的液晶调谐滤光片^[4] 如图 1 所示, 它由以下几部分组成: 玻璃基片, ITO 透明导电电极和液晶 LC 组成。利用偏光干涉原理来研究其透射比, 将液晶调谐滤光片放于两正交的偏光棱镜之间, 其测量系统如图 2 所示。其中 P_1, P_2 为偏光镜, 且 P_1, P_2 正交, LC filter 为液晶调谐滤光片, 在不加电压的情况下, 液晶的光轴与 P_1, P_2 的光轴成 45° 角。当光垂直射入图 1 所示的液晶调谐滤光片时, 由于 P_1, P_2 正交, 根据偏光干涉理论

$$I = I_0 \sin^2(\delta_j/2) \quad (1)$$

$$T = I/I_0 = \sin^2(\delta_j/2) \quad (2)$$

其中 $\delta_j = 2\pi\Delta_{nj}d/\lambda_j$, T 为透射比, δ_j 为透过液晶层后寻常光和非常光的位相差, d 为液晶层的厚度, λ_j 为入射光波的真空波长, Δ_{nj} 是液晶对波长为 λ_j 光的双折射率。 Δ_{nj} 依赖于波长、温度及液晶盒上所加的电压

$$\Delta n(\lambda_j, V) = \Delta n(\lambda_j) f(V) \quad (3)$$

$\Delta n(\lambda_j)$ 是液晶在温度 t 、波长 λ_j 、电压 $V = 0$ 时的双折射率, 根据双折射率理论^[5]

$$\Delta n(\lambda_j) = \alpha(t) \lambda_j^2 \lambda^{*2} (\lambda_j^2 - \lambda^{*2}) \quad (4)$$

$\alpha(t), \lambda^*$ 都由液晶本身的性质所决定, 其中 λ^* 为电子共振波长。 $f(V)$ 为液晶双折射率随电压变化的函数, 在电压不太高于临界电压时有^[6]

$$f(V) = a - bV \quad (5)$$

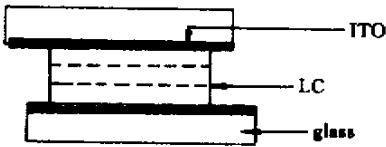


图 1 液晶滤光片的结构

Fig. 1 Structure of liquid crystal filter

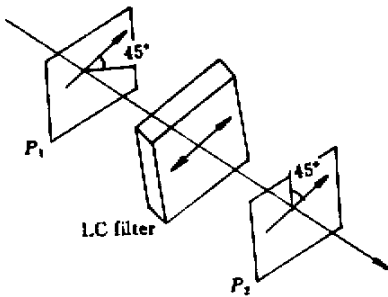


图 2 干涉测量系统

Fig. 2 System of interferometer measurement

对于复线的 Ar^+ 激光器, 一理想的液晶调谐滤光片应使 λ_1 完全透过而 λ_2 完全被阻止或使 λ_2 完全透过而 λ_1 完全被阻止。假设液晶调谐滤光片对 $\lambda_1 = 514.5 \text{ nm}$ 的光的透射比为 T_1 , 对 $\lambda_2 = 488 \text{ nm}$ 的透射比为 T_2 , 并在某一电压 V_1 下 $T_1 = 0$, 由(1)(2)式及 $\delta_j = 2\pi\Delta n_j d / \lambda_j$ 可得

$$d\Delta n_1(\lambda_1, V_1) = N\lambda_1 \quad (6)$$

N 为整数。将(4)式代入(3)式可得

$$\Delta n(\lambda_j, V) = \alpha(t) f(V) \lambda_j^2 \lambda^{*2} (\lambda_j^2 - \lambda^{*2}) \quad (7)$$

由(6)(7)式可得

$$\alpha(t) f(V) = N(\lambda_1^2 - \lambda^{*2}) / d\lambda_1 \lambda^{*2} \quad (8)$$

根据(7)(8)式及 $\delta_j = 2\pi\Delta n_j d / \lambda_j$ 可得

$$\delta_2 = 2N\pi\alpha(\lambda_1^2 - \lambda^{*2}) / \lambda_1 (\lambda_2^2 - \lambda^{*2}) \quad (9)$$

将(9)式代入(2)式可得

$$T_2 = \sin^2 [N\pi(\lambda_2 / \lambda_1) (\lambda_1^2 - \lambda^{*2}) (\lambda_2^2 - \lambda^{*2})] \quad (10)$$

对所用的液晶材料(E70), 当温度为 24°C 时, $\lambda^* = 250 \text{ nm}$ ^[4] 将 $\lambda^*, \lambda_1, \lambda_2$ 代入(10)式可得: 当 $N = 5$ 时, $T_2 \approx 100\%$; 同理在某一电压 V_2 下可使 $T_2 = 0, T_1 \approx 100\%$, 由此从理论上得出一理想的液晶调谐滤光片可达到完全提取某一谱线的目的。

3 实 验

所用的液晶材料为 E70, 液晶层的厚度 $d = 11 \mu\text{m}$ 实验仪器为日本岛津产的分光光度计。把图 1 所示的液晶调谐滤光片放入分光光度计的样品室, 在 $f = 1 \text{ kHz}, t = 24^\circ\text{C}$ 的情况下分别测得液晶调谐滤光片对 $\lambda_1 = 514.5 \text{ nm}$ 及 $\lambda_2 = 488 \text{ nm}$ 的光的透射比 T_1, T_2 随液晶盒上所加电压变化的情况如图 3 所示, 图中实线为 T_1 , 虚线为 T_2 。

由图 3 可以看出在 $V = 1.19 \text{ V}$ 时, T_2 最大而 T_1 接近于零, 即在此电压下 488 nm 的谱线透过液晶调谐滤光片而 514.5 nm 的谱线被滤掉; 当 $V = 1.30 \text{ V}$ 时, T_1 最大而 T_2 接近于零, 即在此电压下 514.5 nm 的谱线透过液晶调谐滤光片而 488 nm 的谱线被滤掉。当然由图可看到在 $0 \sim 3 \text{ V}$ 内还有其他电压满足条件, 但不是最佳选择。因此, 通过调节加在液晶盒上的电压可达到完全提取某一谱线的目的。

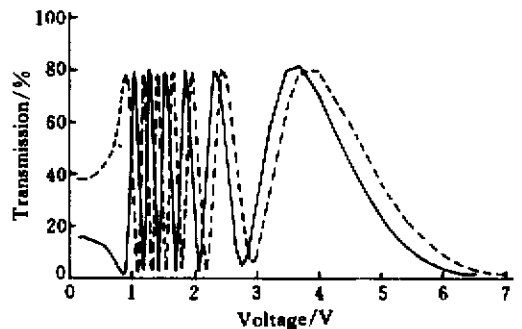


图 3 透射与电压的关系

Fig. 3 Relation between transmission and voltage

为了由图直观得到符合条件的电压, 可作 $T_2 - T_1$ 与电压的关系如图 4 所示, 对应 $T_2 - T_1$ 有极值的电压就是所需要的调谐电压。由图 4 可观察到当 $V = 1.19 \text{ V}$ 时 $T_2 - T_1$ 有极大值, 且 $T_2 - T_1 > 0$, 结合图 3 可知在此电压下 T_2 最大 ($T_2 \approx 80\%$), 而 T_1 接近于零; 当 $V = 1.30 \text{ V}$ 时 $T_1 - T_2$ 有极大值, 且 $T_1 - T_2 > 0$, 同样可知在此条件下 T_1 最大 ($T_1 \approx 80\%$), 而 T_2 接近于零。由图 4 知 $V = 1.19 \text{ V}$ 及 $V = 1.30 \text{ V}$

是两个最佳调谐电压。当 $V = 1.19 \text{ V}$ 时提取的是 488 nm 的谱线,而当 $V = 1.30 \text{ V}$ 时提取的是 514.5 nm 的谱线。

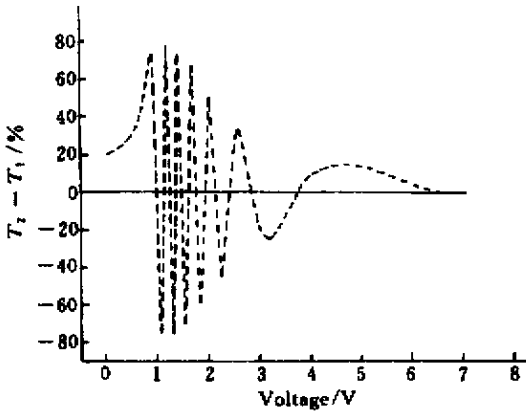


图 4 $T_2 - T_1$ 与电压的关系

Fig.4 Relation between $T_2 - T_1$ and voltage

进一步的研究证明,以上所用的液晶调谐滤光片在 $0 \sim 8 \text{ V}$ 的调谐电压内,其带宽为 $0.3 \sim 0.5 \text{ nm}$,精度为 $100 \sim 200$,连续可调谐范围可达 70 nm 。使用液晶调谐滤光片时,应进行温度控制,J. S. Patel 等测得的波长随温度的漂移量为 $0.1 \sim 1 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ ^[7],漂移量与工作温度和调谐电压有关,因此应用液晶调谐滤光片时其工作温度的变化应小于 0.05°C 。

4 结 论

由以上理论推导及实验结果可得以下结论:

1) 用液晶调谐滤光片从复色激光器中提取所需要的谱线时,仅靠电压的调谐即可达到目的,从而避免了多级双折射滤光片的使用。

2) 从实验结果还可看到液晶调谐滤光片的调谐电压比较低 ($0 \sim 3 \text{ V}$),电压的微小变化即可导致较大的双折射率变化,因此在实验中对调谐电压的精度要求较高。

3) 液晶调谐滤光片不仅可用于提取 Ar^+ 激光器的谱线,对其他复色光源同样适用。

实验中由于所用的液晶盒未经镀膜处理,所以透射比偏低。

参 考 文 献

1 Pang Yantao, Li Guohua, Liang Zhixia. Analysis to character of tunable Lyot filter [J]. *J. Optoelectronics · Laser* (光电子 ·

激光), 2000, **11**(2): 167 ~ 169 (in Chinese)

- 2 Liang Zhixia, Li Guohua, Shao Weidong *et al.*. Study of the optimal thickness ratio of the birefringent filter [J]. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 2000, **A27**(7): 601 ~ 605 (in Chinese)
- 3 Pang Yantao, Li Guohua, Kong Yong. Design of tunable liquid crystal filter [J]. *Liquid Crystal and Display* (液晶与显示), 2000, **15**(3): 192 ~ 195 (in Chinese)
- 4 Shen Ruilin, Song Kai, Zhang Yangan *et al.*. Experimental investigation of a tunable liquid-crystal-etalon filter [J]. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1997, **24**(1): 41 ~ 45 (in Chinese)
- 5 S. T. Wu. Birefringence dispersions of liquid crystals [J]. *Phys. Rev. A*, 1986, **33**(2): 1270 ~ 1274
- 6 S. T. Wu, U. Efron, L. D. Hess. Birefringence measurements of liquid crystals [J]. *Appl. Opt.*, 1984, **23**(21): 3911 ~ 3915
- 7 J. S. Patel, S. D. Lee. Electrically tunable and polarization insensitive Fabry-Perot etalon with a liquid crystal film [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1991, **58**(22): 2491 ~ 2493