

文章编号: 0258-7025(2009)04-0833-03

对内腔拉曼黄光激光器谱线提取的 石英晶体旋光滤波器

吴闻迪¹ 吴福全^{1*} 苏富芳¹ 张 姗¹ 张行愚²

(¹ 曲阜师范大学激光研究所, 山东 曲阜 273165
² 山东大学信息科学与工程学院, 山东 济南 250100)

摘要 针对内腔拉曼黄光激光器谱线中存在拉曼激光的实际情况,依据石英晶体的旋光色散特性,利用石英晶体和起偏棱镜的组合,设计了一种用于内腔拉曼黄光激光器 590 nm 谱线提取的石英晶体旋光滤波器。利用 Müller 矩阵和 Stokes 参量对旋光滤波器的滤波设计原理进行了分析;以内腔拉曼黄光激光器作为光源,利用 AQ-6315A 型光谱仪对旋光滤波器的滤波效果进行了测试。测试结果表明,滤波后出射光中已显示不出波长 1180 nm 激光的存在,从而保证了倍频激光 590 nm 的纯度。这种旋光滤波器体积较小,且不变光的原传播方向,是一种适用于倍频激光的滤波器。

关键词 物理光学;滤波器;旋光;倍频

中图分类号 O436.3 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL20093604.0833

Quartz Optical Filter Based on Rotatory Dispersion Effect Used for Intracavity Yellow Raman Laser

Wu Wendi¹ Wu Fuquan¹ Su Fufang¹ Zhang Shan¹ Zhang Xingyu²

(¹ Laser Research Institute, Qufu Normal University, Qufu, Shandong 273165, China
² College of Information Science Engineering, Shandong University, Jinan, Shandong 250100, China)

Abstract Based on the optical rotatory dispersion effect, an quartz optical filter is constructed with quartz crystal and polarizer for picking up the 590 nm spectral line in the intracavity frequency-doubled Nd:YAG/BaWO₄ Raman laser. The operating principle is analyzed by means of Müller matrix and Stokes parameters. The filtering performance is tested by AQ-6315A spectrometer with the intracavity Raman yellow laser as the light source. The experimental results show that the 1180 nm spectra line is extracted after filtering. The filter is compact, does not change the direction of optical beam, and can be applied to frequency-doubled laser.

Key words physical optics; filter; optical rotation; frequency-doubling

1 引 言

光学滤波器是在连续光谱中用于透过一定宽度的光谱带或在线状光谱中用于提取某些辐射的波长选择器件^[1,2]。近年来光学滤波器受到了人们的普遍关注,发展十分迅速。芬兰欧鲁大学的 Ye 首次报道了一种利用旋光色散特性研制而成的新型可调谐光学滤波器^[3,4],它是由 n 个厚度比分别为 $1:2:4:8:\dots:2^{n-1}$ 的旋光器依次放置在 $n+1$ 个方位角按一定比例排列的偏振器之间构成的,只需通过改

变滤波器中每级出射偏振器的方位角就可以对出射光进行调谐。

内腔拉曼黄光激光器^[5,6]利用受激拉曼散射效应,对 Nd:YAG 晶体产生 1180 nm 激光进行拉曼转换^[7~9],然后用倍频晶体对拉曼激光进行内腔倍频转换,以获得黄橙波段的激光。该激光光源在激光医疗、军事、气象、光谱学、信息存储、激光雷达等领域有广泛的应用。但受倍频晶体的转换效率^[10]等因素的制约,黄光中会掺杂一定的拉曼激光。为了

收稿日期:2008-06-19;收到修改稿日期:2008-07-02

作者简介:吴闻迪(1984—),男,硕士研究生,主要从事偏光技术与器件方面的研究。E-mail:wuwendi@mail.qfnu.edu.cn

*通信联系人。E-mail:fqwu@mail.qfnu.edu.cn

得到纯净的黄光,本文利用石英晶体制成的旋光器和偏振棱镜的组合设计出了一种用于内腔倍频拉曼激光器590 nm谱线提取的旋光滤波器,并对其滤波效果进行了实验验证。

2 滤波器设计原理

当单色线偏振光沿晶体光轴方向经过石英晶体时,其振动面旋转的角度与晶体厚度成正比^[11]

$$\theta = \alpha \cdot d, \quad (1)$$

式中 d 为晶体厚度, α 为晶体旋光系数。 α 的值与波长、物质的性质、温度^[12] 等因素有关。常温下,石英晶体的旋光系数与波长的关系为^[13]

$$\alpha = \frac{9.5639}{\lambda^2 - 0.0127493} - \frac{2.3113}{\lambda^2 - 0.000974} - 0.1905, \quad (2)$$

式中 λ 为真空中光波长。

由(1),(2)式可见,相同振动方向而不同波长的线偏振光通过同一石英晶体旋光器时,其振动面旋转的角度不同。利用石英晶体的这种旋光色散特性,设计对内腔拉曼黄光激光器590 nm谱线提取的石英晶体旋光滤波器的结构和建立的主轴坐标系如图1所示, P_1, P_2 是两只通光端面均与 xoy 平面平行的偏光棱镜, P_1 的透振方向与 x 轴平行, P_2 的透振方向与 x 轴的夹角为 β , 石英晶体 S 的厚度为 d , 晶体光轴垂直于表面且沿 z 轴方向。角度的正负约定为:迎着 z 轴方向观察,由 x 轴到偏振棱镜的透振方向逆时针形成的角为正,顺时针形成的角为负。

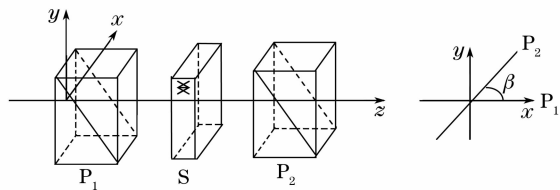


图1 用于内腔拉曼黄光激光器滤波的石英晶体旋光滤波器结构

Fig.1 Light path of quartz optical rotatory filter used for the intracavity frequency-doubled Nd:YGA/BaWO₄ Raman laser

设入射光为自然光,入射光的 Stokes 参量为

$$\mathbf{S}_{in} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

P_1, P_2 和 S 的 Müller 矩阵分别为

$$\mathbf{M}_{P_1} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$\mathbf{M}_{P_2} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & c_2 & s_2 & 0 \\ c_2 & c_2^2 & c_2 s_2 & 0 \\ s_2 & c_2 s_2 & s_2^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

式中 $c_2 = \cos 2\beta$, $s_2 = \sin 2\beta$

$$\mathbf{M}_S = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 2\theta & \sin 2\theta & 0 \\ 0 & -\sin 2\theta & \cos 2\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

则入射光经过旋光滤波器后出射光的 Stokes 参量为

$$\mathbf{S}_{out} = \mathbf{M}_{P_2} \mathbf{M}_S \mathbf{M}_{P_1} \mathbf{S}_{in} = \frac{\cos^2(\beta + \theta)}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ \cos 2\beta \\ \sin 2\beta \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

若令从 P_1 出射的光强为 $1/2$,并忽略光在各器件上的损失,则透射比为

$$T = \cos^2(\beta + \theta). \quad (8)$$

对于理想的用于内腔拉曼黄光激光器590 nm谱线提取的石英晶体旋光滤波器应使波长为 $\lambda_1 = 1180$ nm的激光完全被截止,而 $\lambda_2 = 590$ nm的激光完全透过。设石英晶体旋光滤波器对 $\lambda_1 = 1180$ nm的激光的透射比为 T_1 ,对 $\lambda_2 = 590$ nm的激光的透射比为 T_2 ,对于理想的滤波器应满足

$$T_1 = \cos^2(\beta + \theta_1) = 0, \quad (9)$$

$$T_2 = \cos^2(\beta + \theta_2) = 1, \quad (10)$$

式中 θ_1, θ_2 分别为石英晶体旋光器对1180 nm和590 nm激光的旋光角,且 $\theta_1 = \alpha_1 \cdot d, \theta_2 = \alpha_2 \cdot d, \alpha_1, \alpha_2$ 分别为1180 nm和590 nm激光的旋光系数。得到石英晶体旋光滤波器中石英晶体的厚度 d 和偏振棱镜 P_2 的透振方向与 x 轴的夹角 β 应满足

$$d = \frac{(2m+1)\pi/2}{\alpha_2 - \alpha_1}, \quad (11)$$

$$\beta = -\alpha_2 \cdot d. \quad (12)$$

3 实验测试与结果

取 $m = 0, \lambda_1 = 1180$ nm, $\lambda_2 = 590$ nm,由(2),(11),(12)式可以计算得到石英晶体旋光光学滤波器中石英晶体的厚度为5.43 mm,偏振棱镜 P_2 的透

振方向与 x 轴的夹角 β 为 -117.56° ，以此制作了用于腔拉曼黄光激光器 590 nm 谱线提取的石英晶体旋光光学滤波器，并对其滤波效果进行了测试。测试光路如图 2 所示。图中 1 是腔拉曼黄光激光器(激光晶体: Nd: YAG, 拉曼晶体: BaWO₄, 倍频晶体: KTP), 输出波长为 590 nm; 2 和 3 的组合为石英晶体旋光滤波器; 4 为探测器; 5 为 AQ-6315A 型光谱仪(分辨率: 1.0 nm)。

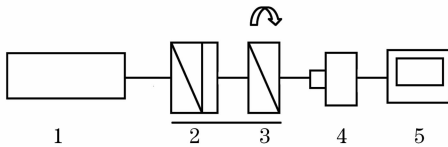


图 2 测试光路

Fig. 2 Testing light path

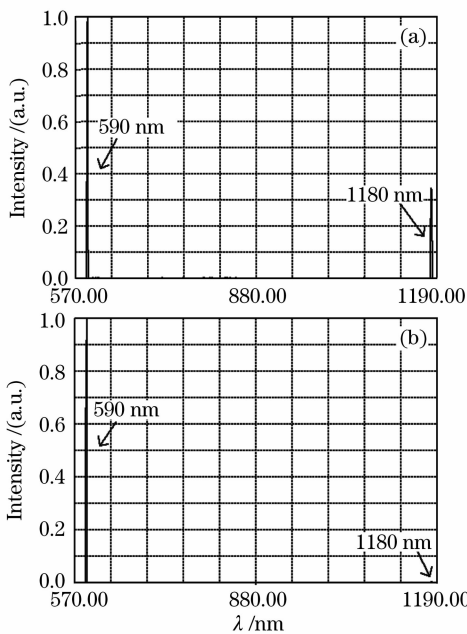


图 3 滤光前(a)和滤光后(b)出射光的光谱图

Fig. 3 Measured spectrum of the output laser without (a) and with (b) the quartz optical rotatory filter

在没有 2, 3 的情况下光谱仪测出的出射光光谱图如图 3(a) 所示; 将石英晶体旋光滤波器放入光路中(调整光线基本垂直入射), 此时光谱仪测出的出射光光谱图如图 3(b) 所示。

由图 3 可以看出, 滤波前, 出射的倍频激光 590 nm 中仍含有 1180 nm 的基频光; 滤波后, 出射光中已显示不出波长 1180 nm 激光的存在, 从而保证了倍频激光 590 nm 的纯度。

4 结 论

基于石英晶体的旋光色散特性, 利用石英晶体

和偏光棱镜的组合设计了一种用于腔拉曼黄光激光器 590 nm 谱线提取的旋光滤波器; 给出了滤波设计原理分析; 实验测试结果表明滤波效果良好, 出射光中已测不出波长 1180 nm 激光的存在, 只有波长 590 nm 的倍频激光。这种旋光滤波器体积较小, 且不改变光的原传播方向, 是一种用于倍频激光理想的滤波器。

参 考 文 献

- 1 M. Francon. Optical Filters for Radiations Separation [M]. Beijing: Science Press, 1984. 6
M. 弗朗松. 用于辐射分离的光学滤波片[M]. 北京: 科学出版社, 1984. 6
- 2 Zhao Dongfeng, Gu Zhen, Shao Ping *et al.*. Prism based third harmonic splitter [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(5): 637~640
赵东峰, 顾震, 邵平等. 基于棱镜实现三倍频谱波分离[J]. *中国激光*, 2007, **34**(5): 637~640
- 3 Chun Ye. Wavelength-tunable spectral filters based on the optical rotatory dispersion effect [J]. *Appl. Opt.*, 2003, **42**(22): 4505~4513
- 4 Chun Ye. Liquid-crystal bandpass filter based on the optical rotatory dispersion effect [J]. *Appl. Opt.*, 2004, **43**(20): 4007~4010
- 5 Jia Peng, Zhang Xingyu, Wang Qingpu *et al.*. Laser diode-pumped Nd: YVO₄ self-stimulated raman laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(10): 1309~1313
贾鹏, 张行愚, 王青圃等. 激光二极管抽运的自拉曼 Nd: YVO₄ 激光器[J]. *中国激光*, 2006, **33**(10): 1309~1313
- 6 Shutao Li, Xingyu Zhang, Qingpu Wang *et al.*. Diode-side-pumped intracavity frequency-doubled Nd: YAG/BaWO₄ Raman laser generating average output power of 3.14 W at 590 nm [J]. *Opt. Lett.*, 2007, **32**(20): 2951~2953
- 7 Yao Jianquan. Nonlinear Optics Frequency Conversion and Laser Tuning Technology [M]. Beijing: Science Press, 1995
姚建铨. 非线性光学频率变换及激光调频技术[M]. 北京: 科学出版社, 1995
- 8 Chen Huiting, Lou Qihong, Ye Zhenhuan *et al.*. Solid state Raman lasers [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2005, **42**(7): 55~60, 47
陈慧廷, 楼祺洪, 叶震寰等. 固体拉曼激光器[J]. *激光与光电子学进展*, 2005, **42**(7): 55~60, 47
- 9 Ye Zhenhuan, Lou Qihong, Dong Jingxing *et al.*. Harmonic solid laser pumped multi-wavelength Raman lasers [J]. *Chinese J. Lasers*, 2004, **31**(8): 904~906
叶震寰, 楼祺洪, 董景星等. 固体谐波多波长拉曼激光器[J]. *中国激光*, 2004, **31**(8): 904~906
- 10 Xiong Jianfang. Increasing the efficiency of SHG out of the laser resonant cavity [J]. *Laser Journal*, 1999, **20**(2): 39~41
熊见芳. 增强腔外倍频效率的研究[J]. *激光杂志*, 1999, **20**(2): 39~41
- 11 Liao Yanbiao. Polarized Optics [M]. Beijing: Science Press, 2003. 133~135
廖延彪. 偏振光学[M]. 北京: 科学出版社, 2003. 133~135
- 12 Su Fufang, Wu Fuquan. The research of thermal effect on the rotatory power of quartz [J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(5): 670~672
苏富芳, 吴福全. 石英晶体旋光性的温度效应测试研究[J]. *光学学报*, 2005, **25**(5): 670~672
- 13 Chun Ye. Low-loss tunable filter based on optical rotatory dispersion [J]. *Appl. Opt.*, 2006, **45**(6): 1162~1168