

文章编号: 0258-7025(2010)09-2351-04

# 适用于高功率可调谐光纤激光器的法布里-珀罗滤波器研究

苏立钦 沈永行

(浙江大学光电系现代光学仪器国家重点实验室, 浙江 杭州 310027)

**摘要** 为满足高功率可调谐激光器的应用需求,研制了一种新型的法布里-珀罗(F-P)滤波器,由两个光纤准直器、一个腔长可调的短腔 F-P 腔和一个压电陶瓷(PZT)微位移器组成,F-P 腔和 PZT 配合形成了一个可调谐的光滤波器。通过改变 PZT 上所加电压来控制 F-P 腔的腔长,该滤波器得到了接近 50 nm 宽的调谐范围,精细度达到 134。利用所制作的 F-P 滤波器,使用  $\text{Yb}^{3+}$  掺杂光纤作为增益介质,构建了一台可调谐的环形光纤激光器,取得调谐范围为 32.5 nm 的可调谐激光输出,波长为 1032.82~1065.32 nm。激光器最大输出功率为 2.72 mW,线宽为 0.078 nm。

**关键词** 激光器;光纤激光器;可调谐法布里-珀罗滤波器;可调谐激光器;法布里-珀罗腔

**中图分类号** TN248.1; TN713 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL20103709.2351

## Investigation on a Novel Fabry-Perot Filter for High Power Tunable Fiber Laser

Su Liqin Shen Yonghang

(State Key Laboratory of Modern Optical Instrumentation, Department of Optical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310027, China)

**Abstract** A novel tunable Fabry-Perot (F-P) filter was developed to meet the requirement of high power tunable fiber lasers. It consisted of two fiber collimators, a cavity length tunable F-P cavity and a piezoelectric transducer (PZT). By changing the voltage applied to PZT, the length of F-P cavity could be tuned finely. A wide tunable wavelength range of 50 nm was achieved with a fineness of 134. The developed F-P tunable filter was used to construct a ring-shaped tunable Yb fiber laser, using  $\text{Yb}^{3+}$ -doped fiber as the gain media. A tunable range of 32.5 nm was realized for the laser output, covering the wavelength between 1032.82 and 1065.32 nm. The maximum output power of laser was 2.72 mW with a linewidth of 0.078 nm.

**Key words** lasers; fiber laser; tunable Fabry-Perot filter; tunable laser; Fabry-Perot cavity

## 1 引言

可调谐法布里-珀罗(F-P)滤波器是光纤通信、光纤传感及激光等领域中的关键器件之一,其实用化研究越来越受到人们的重视。在激光领域,可调谐 F-P 滤波器可以在激光腔内进行模式选择,使激

光器实现单频输出<sup>[1,2]</sup>;在光纤通信系统中,可调谐 F-P 滤波器可被用作波分复用(WDM)器件<sup>[3]</sup>;在传感领域,可调谐 F-P 滤波器作为解调器,是决定整个系统性能的核心器件<sup>[4,5]</sup>。

相比于平常使用的可调谐滤波器——声光滤波

收稿日期: 2010-05-10; 收到修改稿日期: 2010-06-10

基金项目: 浙江省重大科技专项(2008C01052-4)资助课题。

作者简介: 苏立钦(1986—),男,硕士研究生,主要从事光纤激光器及法布里-珀罗滤波器等方面的研究。

E-mail: shamgar@zju.edu.cn

导师简介: 沈永行(1965—),男,教授,博士生导师,主要从事激光技术、激光与光电子器件等方面的研究。

E-mail: physyh@zju.edu.cn



图 3 插图反映了透射光的半峰全宽(FWHM)为 0.368 nm。F-P 腔的实际精细度  $F_R$  可以表示为

$$F_R = f_{FSR} / \Delta\lambda. \quad (2)$$

式中  $\Delta\lambda$  为波长的变化量。

由此可计算得到该 F-P 腔的精细度为 134。理论上,该滤波器的精细度可达 1045,线宽为 0.05 nm。但是,腔本身的失调等因素所引起的额外腔内损耗<sup>[15,16]</sup>以及环境的影响会极大地降低 F-P 腔的精细度,导致线宽增大。使用可调谐 Yb 光纤激光器作为光源对该 F-P 滤波器进行波长扫描,测得其插入损耗为 5.2 dB。

当给 PZT 加载电压的时候,F-P 腔的腔长会变短,其透射光波长也会跟着向短波方向移动,二者的关系可以表示为

$$\Delta L_c = \frac{2L_c}{\lambda} \Delta\lambda, \quad (3)$$

式中  $\Delta L_c$  为腔长的变化量。图 4 给出了 F-P 滤波器的透射荧光光谱与 PZT 电压的关系。电压从 0 增加到 40 V,透射光的波长向短波方向移动三个 FSR,即透射光波长随 PZT 的驱动电压变化为 3.6 nm/V。图 4 还说明,当电压增大的时候,腔长变短,FSR 也随着增大。在电压为 36 V 时,FSR 接近 60 nm。

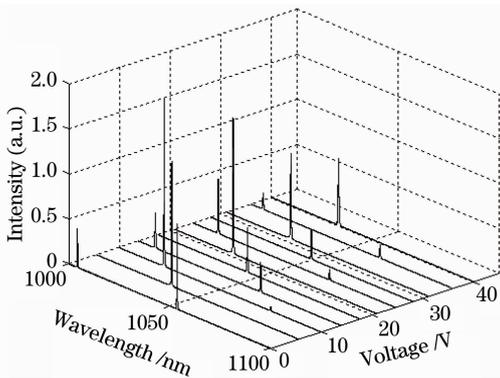


图 4 透射光波长和加载在 PZT 上电压的关系  
Fig. 4 Wavelength dependence of the transmission light on the voltage applied to PZT

为验证该 F-P 滤波器的激光适用性,使用该可调谐 F-P 滤波器装置搭建了一台环形光纤激光器<sup>[17]</sup>,增益介质为掺杂 Yb<sup>3+</sup> 的单模光纤,光纤长度 2 m,芯径与包层直径分别为 7  $\mu\text{m}$  和 125  $\mu\text{m}$ ,其结构如图 5 所示。考虑 F-P 滤波器的透射光谱特性,其在光纤激光器中起到限制激光振荡模式的作用。通过 PZT 来改变 F-P 滤波器的腔长,可以实现宽调谐范围的激光输出。此外,将滤波器接在耦合器和隔离器之间,还可以过滤掉滤波器通带外的荧光,抑制自发荧光噪声,提高信噪比。

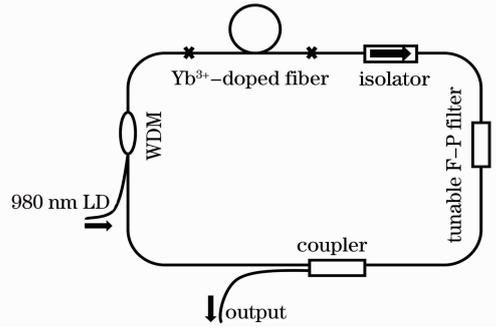


图 5 环形光纤激光器结构示意图  
Fig. 5 Structure of ring-shaped fiber laser

图 6 所示是在实验室现有条件下获得的可调谐激光输出。从图 6 可以看出,其调谐范围达到 32.5 nm,当 PZT 的电压从 25.7 V 上升到 31.9 V 时,激光输出的波长从 1065.32 nm 变化到 1032.82 nm。激光器最大的输出功率为 2.72 mW。图 7 是光纤激光器的输出光谱,激光的线宽为 0.078 nm。该环形光纤激光器的腔长约为 10 m,其纵模间隔为 20 MHz,远远小于可调谐滤波器透射光谱的线宽,因此激光器实际上尚无法实现稳定的单频输出。在实验中可以观测到跳模现象,这是由于环境对滤波器的干扰尚没有完全消除。

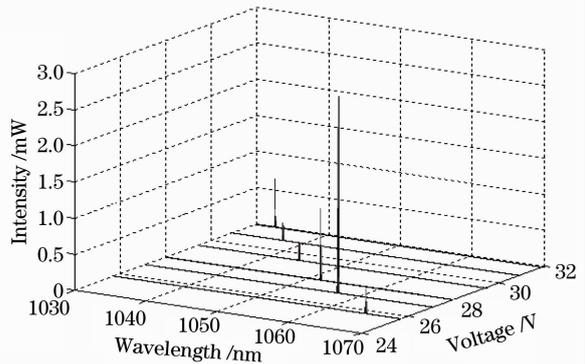


图 6 采用可调谐 F-P 滤波器的掺 Yb<sup>3+</sup> 光纤激光器输出  
Fig. 6 Yb<sup>3+</sup>-doped fiber laser output using the tunable F-P filter

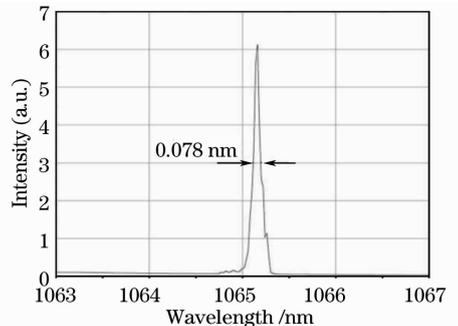


图 7 激光光谱的半峰全宽  
Fig. 7 FWHM of laser spectrum

可见,利用两个高反射率的镜片制作成的 F-P 滤波器,可以用光纤准直器接入光纤系统,实现全光纤化。采用此方案,滤波器可实现的调谐范围宽,在光纤激光器中易于实现宽带调谐激光输出。此外,考虑到高 Q 值的 F-P 腔中,腔内的光功率密度较腔外高出数百或上千倍(与 F-P 腔的精细度成正比),因此腔内的抗光功率密度损伤阈值是制约常规的 F-P 可调谐滤波器应用于高功率激光的主要因素。本文所述的实验系统中,镜片上镀的高反膜具有较高的损伤阈值,能够承受较高的激光功率密度,并且腔内光束口径约为 1 mm,其光斑面积相较于传统的光纤 F-P 滤波器数微米的光束口径大出数万倍。据此分析,该 F-P 滤波器能适用于连续功率达到瓦级的可调谐光纤激光器。相比较于 MicroOptics 的光纤 F-P 滤波器,该滤波器可以取得更大的激光输出功率。但是,需要注意的是,由于腔失准造成的腔内附加损耗和环境不稳定性等参数的影响,所得到的激光输出功率目前还不是很稳定,还有待进一步改进。在后续的研究中,如通过采用包层抽运技术,提高抽运功率,以获得更大的可调谐激光输出,并且通过优化系统结构和改善实验环境,提高激光输出的稳定性。

### 3 结 论

研制了一个可调谐的 F-P 滤波器,其自由光谱范围达到 49.46 nm(PZT 未加电压时),精细度为 134。利用压电陶瓷微位移器的逆压电效应,改变 F-P 腔的腔长,从而实现了一个 FSR 的透射波长调谐。使用所制作的 F-P 滤波器和掺 Yb<sup>3+</sup> 单模光纤搭建了一台可调谐光纤激光器,获得了调谐范围为 32.5 nm 的掺 Yb<sup>3+</sup> 光纤激光输出。结果表明,该可调谐 F-P 滤波器具有结构简单、调谐范围宽、成本低等特点,通过进一步优化,可望实际用于制作大功率可调谐光纤激光器。

### 参 考 文 献

- 1 Ma Jichi, Li Yan, Sun Wenke *et al.*. Fabry-Perot interferometer using tunable diode laser[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(7): 1296~1300  
马骥驰,李岩,孙文科等.可调波长半导体激光法布里-珀罗干涉仪[J]. *光学学报*, 2008, **28**(7): 1296~1300
- 2 He Li, Yang Bojun. Wavelength tunable fiber ring laser[J]. *Laser & Infrared*, 2006, **33**(4): 247~249

- 何理,杨伯君.波长可调谐光纤激光器[J]. *激光与红外*, 2006, **33**(4): 247~249
- 3 Ren Kai, Wang Tao. Reconfigurable optical add-drop multiplexer based on F-P filter[J]. *J. Huazhong Univ. of Sci. & Tech. (Nature Science Edition)*, 2006, **34**(8): 68~70  
任凯,王涛.基于 F-P 腔的波长可调谐光分插复用器[J]. *华中科技大学学报(自然科学版)*, 2006, **34**(8): 68~70
- 4 Rao Yunjiang, Li Hong, Zhu Tao *et al.*. High temperature strain sensor based on in-line Fabry-Perot interferometer formed by hollow-core photonic crystal fiber[J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(6): 1484~1488  
饶云江,黎宏,朱涛等.基于空芯光子晶体光纤的法-珀干涉式高温应变传感器[J]. *中国激光*, 2009, **36**(6): 1484~1488
- 5 Zhao Limin, Wang Xin, Diao Chunuan. FBG sensor demodulation system based on F-P fiber interferometer filter[J]. *Instrument Technique and Sensor*, 2008, **2**(2): 76~77,79  
赵立民,王鑫,刁春暖.基于光纤 F-P 滤波器的 FBG 传感解调系统[J]. *仪表技术与传感器*, 2008, **2**(2): 76~77,79
- 6 Shan Ning, Shi Yikai, Zhao Jianghai *et al.*. Design and application of optical fiber Fabry-Perot sensing for detecting ultrasonic waves[J]. *J. Optoelectronics · Laser*, 2008, **19**(7): 881~883  
单宁,史仪凯,赵江海等.光纤 Fabry-Perot 超声传感系统设计与应用[J]. *光电子·激光*, 2008, **19**(7): 881~883
- 7 Yi Jiang, Caijie Tang. High-finesse microlens optical fiber Fabry-Perot filters[J]. *Microw. Opt. Technol. Lett.*, 2008, **50**(9): 2386~2389
- 8 P. L. Chen, K. C. Lin, W. C. Chuang *et al.*. Analysis of a liquid crystal Fabry-Perot etalon filter: a novel model[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1997, **9**(4): 467~469
- 9 A. Sneh, K. M. Johnson. High-speed continuously tunable liquid crystal filter for WDM networks [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1996, **14**(6): 1067~1080
- 10 S. Tominaga, R. Okajima. Object recognition by multi-spectral imaging with a liquid crystal filter[C]. *Pattern Recognition, 2000 Proceedings. 15<sup>th</sup> International Conference, Barcelona, 2000*, **1**: 1708
- 11 R. S. Tucker, D. M. Baney, W. V. Sorin *et al.*. Thermal noise and radiation pressure in MEMS Fabry-Perot tunable filters and lasers[J]. *Opt. Commun.*, 2002, **210**: 149~154
- 12 M. Lodice, G. Cocorullo, F. G. Della Corte *et al.*. Silicon Fabry-Perot filter for WDM systems channels monitoring[J]. *Opt. Commun.*, 2000, **183**: 415~418
- 13 J. Floriot, F. Lemarchand, M. Lequime. Double coherent solid-spaced filters for very narrow-bandpass filtering applications[J]. *Opt. Commun.*, 2003, **222**: 101~106
- 14 Yao Qijun. *Optics Tutorial* [M]. Beijing: Higher Education Press, 1989. 64~71  
姚启钧. *光学教程* [M]. 北京:高等教育出版社, 1989. 64~71
- 15 Liao Qing, Peng Jiangde, Zhou Bingkun. High finesse and low insertion loss fiber Fabry-Perot filter[J]. *Acta Optica Sinica*, 1995, **15**(5): 631~635  
廖青,彭江得,周炳琨.高精细度、低损耗光纤滤波器的研制[J]. *光学学报*, 1995, **15**(5): 631~635
- 16 D. Marcuse, J. Stone. Coupling efficiency of front surface and multilayer mirrors as fiber-end reflectors [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1986, **4**(4): 377~381
- 17 Zhihui Fu, Wen Ye, Dingzhong Yang *et al.*. Tunable Yb-doped fiber laser with a Mach-Zehnder interferometer[J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(11): 2832~2835