

文章编号: 0258-7025(2009)05-1047-04

# 以环行器和光纤光栅为腔镜的可调谐 窄线宽激光器

李 坚<sup>1,2</sup> 刘 鹏<sup>1,2,3</sup> 王 静<sup>1,2</sup> 郑晶晶<sup>1,2</sup> 江微微<sup>1,2</sup> 宁提纲<sup>1,2</sup> 简水生<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>北京交通大学光波技术研究所, 北京 100044  
<sup>2</sup>北京交通大学全光网络与现代通信网教育部重点实验室, 北京 100044  
<sup>3</sup>邢台学院物理系, 河北 邢台 054001

**摘要** 实验报道了一种结构简单有效的波长可调谐掺铒光纤激光器。该激光器为线型腔结构,由环行器(DC)、掺铒光纤(EDF)、光纤布拉格光栅(FBG)和波分复用(WDM)组成。利用环行器作为全反射腔镜,光纤布拉格光栅作为波长选择性腔镜,通过对光纤光栅施加轴向应力改变其布拉格波长来实现光纤激光器的波长可调谐输出。利用此结构,室温下实验获得了中心波长在 1543.5~1549.5 nm 连续可调,边模抑制比(SMSR)大于 50 dB 的连续激光输出,激光输出线宽保持在 0.01 nm 以下。

**关键词** 激光技术; 可调谐激光器; 线型腔; 掺铒光纤; 光纤光栅; 环行器

中图分类号 TN248.1 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL20093605.1047

## Experiment Study on a Tunable Fiber Laser Using Optical Circulator and Tunable Fiber Bragg Gratings

Li Jian<sup>1,2</sup> Liu Peng<sup>1,2,3</sup> Wang Jing<sup>1,2</sup> Zheng Jingjing<sup>1,2</sup>  
Jiang Weiwei<sup>1,2</sup> Ning Tigang<sup>1,2</sup> Jian Shuisheng<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Lightwave Technology, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China

<sup>2</sup>Key Laboratory of All Optical Network & Advanced Telecommunication Network, Ministry of Education, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China

<sup>3</sup>Physics Department, Xingtai College, Xingtai, Hebei 054001, China

**Abstract** A simple and effective tunable fiber laser is presented. The linear-cavity laser consists of a three-port optical circulator (OC), a tunable fiber Bragg grating (TFBG), a segment of high-concentration erbium doped fiber (EDF), and a wavelength division multiplexing (WDM) coupler. By using an OC as the total-reflection mirror and a strain-induced uniform FBG as a partial-reflection mirror and a wavelength selector, a tunable wavelength is obtained. With single TFBG, a single wavelength lasing with a maximum wavelength tuning range of 6.00 nm, from 1543.50 to 1549.50 nm, is achieved experimentally. Within this tuning range, the full-width at half maximum (FWHM) of the laser output is smaller than 0.01 nm and the side mode suppression ratio (SMSR) is better than 50 dB.

**Key words** laser technique; wavelength tunable laser; linear cavity; erbium doped fiber; fiber Bragg grating; optical circulator

收稿日期: 2008-06-26; 收到修改稿日期: 2008-09-02

基金项目: 国家 863 计划(2007AA01Z258), 国家自然科学基金(60771008), 北京市自然科学基金(4052023), 新世纪优秀人才支持计划(NCET-06-0076)和北京交通大学校科技基金(2006XM003)资助课题。

作者简介: 李 坚(1982—), 男, 博士研究生, 主要从事阵列波导光栅的研制和特种光纤的制作及应用。

E-mail: lijianyangxiao@tom.com.

导师简介: 简水生(1929—), 男, 中国科学院院士, 博士生导师, 主要从事光纤通信、光纤传感、光纤有源无源器件、光纤网络等方面的研究。E-mail: ssjian@center.njtu.edu.cn

## 1 引 言

随着信息社会对于信息量的需求,使采用密集波分复用(DWDM)技术的光传输网需要更多的信道。信道数目的增多,使 DWDM 光源的工作波长范围也要相应地增宽,作为 DWDM 技术光源的可调谐激光器的研究也就引起了人们的浓厚兴趣<sup>[1~3]</sup>。掺铒光纤(EDF)在 1550 nm 窗口有着良好的增益特性,同时 1550 nm 窗口也正是 DWDM 技术所使用的波长,这就使掺铒光纤激光器(EDFL)成为研究光通信可调谐激光器的良好选择。此外由于光纤布拉格光栅(FBG)具有制作容易、成本低、与标准通信光纤的兼容性好等特点,因此被广泛用于构成光纤激光器的谐振腔。光纤激光器一般分线型腔和环型腔两种:环型腔不需要反射腔镜,只需要一个波长选择性器件就可以完成波长可调谐功能,但是环型腔结构复杂,并且模式锁定易受环型腔长度的影响<sup>[4~6]</sup>;线型腔具有结构简单、性能稳定的特点,但是需要一个宽带宽全反射腔镜或者宽带宽分段全反射腔镜。

线型腔中一般以光纤环或取样光栅作为宽带宽全反射腔镜,但是由于取样光栅的制作工艺难度大,多峰反射难以实现,反射峰反射深度均匀性不好等制作难题导致了其应用上的困难。光纤环作为全反射腔镜具有对环境敏感的缺点,因此不利于实用化。近年来有报道用环形器(OC)构成线型腔中的全反射腔镜,具有提高抽运转换效率的优点,且性能稳定<sup>[7]</sup>。可调谐光纤光栅(TFBG)激光器的调谐方式多为光纤光栅的轴向拉伸调谐、轴向压缩调谐、悬臂梁(简支梁)调谐等<sup>[7~12]</sup>。其中轴向拉伸调谐是最简单也是最稳定的调谐方法。

本文报道了一种以环形器和可调谐光纤光栅为腔镜的可调谐窄线宽光纤激光器,采用线型腔结构,980 nm 激光二极管(LD)单向抽运,以自制的高浓度 EDF 为增益介质,轴向拉伸 FBG 作为调谐方法,产生可调谐窄线宽激光输出。并对其可调谐波长范围内激光输出线宽进行了测试。

## 2 实验装置及原理

实验所采用的光纤激光器结构如图 1 所示。增益介质为自制的高浓度 EDF,芯径为 6  $\mu\text{m}$ ,数值孔径为 0.18,截止波长为 945 nm,1530 nm 处的吸收系数为 53 dB/m,背景损耗在 1200 nm 处为 5.088 dB/km,长度为 0.8 m;抽运源采用最大输出功率为 100 mW 的 980 nm LD,经过一个 980 nm 隔离器(ISO),通过一个 980/1550 nm 波分复用器(WDM)进行抽运;商用

三端口环形器采用如图 1 所示的连接方式,就形成了 1550 nm 窗口的宽带宽全反射腔镜;通过对自制的均匀 FBG 施加轴向拉力构成波长可调谐反射腔镜,FBG 的作用是选择激光器的激射波长,同时其窄带滤波作用可以限制其他波长的振荡,起到稳定波长的作用,其透射谱如图 2 所示。其中心波长为 1543.4 nm,3 dB 带宽 0.05 nm。激光由 TFBG 和 WDM 输出到腔外,进入光谱分析仪(OSA) ANDO AQ6319(分辨率 0.010 nm)进行分析。激光器中各个部件的连接均采用标准 G652 光纤;TFBG 是在氢载后的标准 G652 光纤上进行刻写的;环形器的 1 和 3 端口进行直接焊接,1 到 2 端口插入损耗为 0.8 dB,2 到 3 端口插入损耗为 1.0 dB,3 到 1 端口之间光纤长度为 1 m;整个激光器的光纤熔接损耗控制在 0.02 dB 以内,整个线型腔长度为 3 m。在温度不变的情况下,FBG 布拉格波长的变化与 FBG 轴向单位应变呈线性关系<sup>[12]</sup>,因此利用这种方法调谐波长,具有波长调节准确、调谐速度快、成本低的优点。利用环形器作为全反射腔镜,除了具有宽带宽的优点外,还具有工艺成熟,价格低廉的优点。特别值得注意的是,这种可调谐激光器较其他线型腔的光纤光栅激光器来说,只需要一个光纤光栅便可实现激光谐振,不存在光栅布拉格波长对准的问题<sup>[9]</sup>,极其自然实现激光谐振输出。

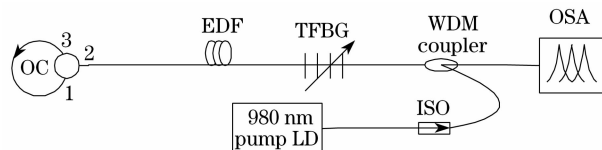


图 1 以环形器和光纤光栅为腔镜的可调谐窄线宽激光器  
Fig. 1 Configuration of the proposed linear-cavity tunable laser

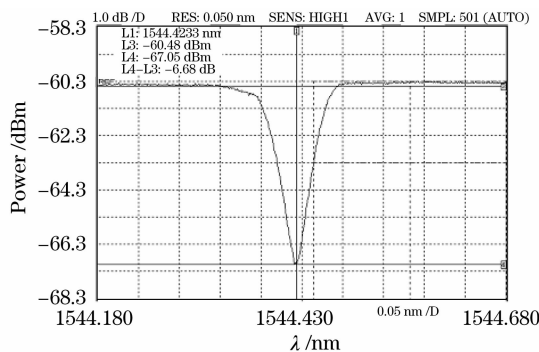


图 2 实验用光栅对透射谱测试图

Fig. 2 Transmission spectra of TFBG used in experiments

## 3 实验结果及分析

为了方便实验,首先对自制的 FBG 的波长可调谐范围进行测试。将刻写好的 FBG 经过简单的手

工涂覆后,两端水平夹于光纤轴向应力微调架(图3)两端的光纤夹上。通过微调光纤夹之间的水平距离对FBG实施轴向拉力,激光器输出结果如图4所示。激光器出现多峰激射是由于所采用的FBG的3 dB带宽为0.4 nm,不能很好地抑制模式竞争,因此出现了多模激射的现象,但这不影响对最大波长调谐范围的测量。由图4可知自制的FBG的波长调谐范围可达到6.76 nm。为了防止实验中FBG断裂,选取波长调节范围为6 nm。据报道利用这种调节方式可以达到20 nm的调节范围<sup>[7]</sup>,实验中FBG调节范围没有报道的那么大的原因是:受实验室条件的限制,自制FBG时所需剥离涂覆的长度在10 cm左右,并且采用的是手工涂覆,导致涂覆不均匀,制作出来的FBG不能得到很好的涂覆保护,因此不能承受更大的纵向应力。利用相同的工艺,制作了激光器用FBG,其性能参数如图2所示。

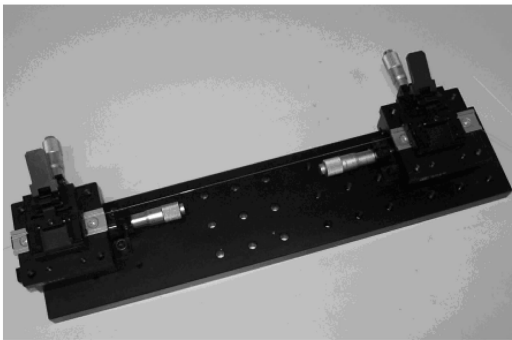


图3 光纤光栅轴向应力微调架

Fig. 3 Fine-tuning device of FBG's axial stress

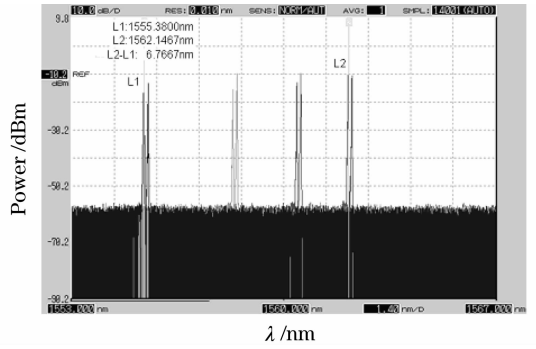


图4 光纤光栅轴向拉伸波长调谐范围测试结果

Fig. 4 Experiment results of wavelength tuning range by tuning FBG

按照图1方案搭建好激光器,调节抽运激光器输出功率至80 mW,激光器稳定输出在-10 dBm左右,通过光栅轴向应力调节的方式,得到波长在1543.5~1549.5 nm内连续可调的激光输出。由于所采用的光谱分析仪最多只能存储7次扫描数据,因此选择波长调节步长为0.4 nm,在整个波长调整范围实现15个波长的稳定输出并分3次显示,结果如图5所示。整个调谐过程中,在抽运功率不变的情况下,激光器功率输出波动保持在4 dB以内,结果如图6所示。如果进行一定的抽运调节,在整个波长调谐范围内即可获得比较平坦的功率输出。以10 min为间隔连续测量16次,分别对激光器15个输出波长进行线宽测试,测试结果如图7所示。表明在整个调节范围内,激光器输出线宽均保持在0.01 nm以下。

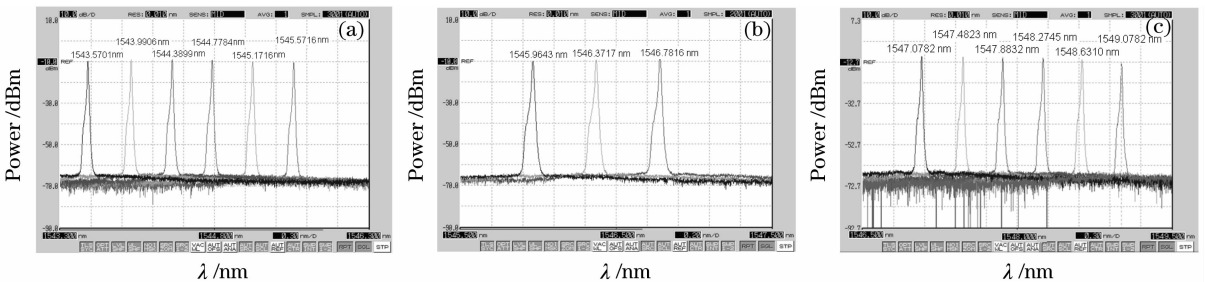


图5 波长可调谐激光输出图。(a): 1543.5~1545.8 nm;

(b): 1545.8~1547.0 nm; (c): 1547.0~1549.5 nm

Fig. 5 Wavelength-tunable outputs of the fiber laser

### 4 结 论

对一种采用环形器和TFBG为腔镜的可调谐激光器进行了实验研究,采用自制的高浓度EDF和TFBG,实现了1543.5~1549.5 nm连续可调的激光输出。FWHM保持在0.01 nm以下,SMSR大

于50 dB。采用轴向应力调谐光栅的方法具有简单、性能稳定的特点。这种方法单根光栅的调节范围受所用光栅所能承受的最大轴向应力的限制,可以采用高强度涂覆材料涂覆光栅或多根光栅分段调节等方法得到更宽波长范围的激光输出<sup>[7]</sup>。实验中

采用环形器作为全反射腔镜,具有性能稳定、结构简单、工艺成熟、价格低廉的优点。作为全反射镜的可调谐激光器较其他线型腔的光纤光栅激光器来说,只需要一个光纤光栅便可实现激光谐振,不存在光栅布拉格波长对准的问题,极其容易实现激光谐振输出。这对制作宽调节范围可调谐激光器提供了一个很好的选择和实验根据,具有很好的应用前景。



图 6 波长调谐范围内激光器的输出功率变化图

Fig. 6 Output powers of the proposed laser in the wavelength tuning range

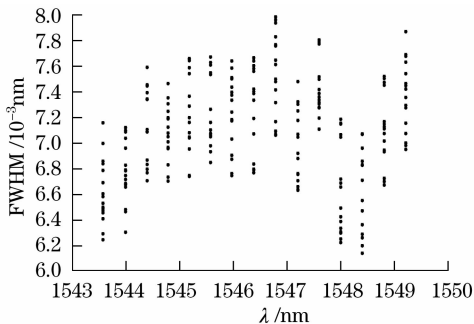


图 7 激光输出 FWHM 测试图

Fig. 7 Repeat testing results of the FWHM of the proposed laser

## 参 考 文 献

- 1 Thi Van Anh Tran, Kwanil Lee, Sang Bae Lee *et al.*. Switchable multi wavelength erbium doped fiber laser based on a nonlinear optical loop mirror incorporating multiple fiber Bragg gratings[J]. *Opt. Express*, 2008, **16**(3): 930~935
- 2 C.-H. Yeh, T.-T. Huang, H.-C. Chien. Tunable S-band erbium-doped triple-ring laser with single-longitudinal-mode operation[J]. *Opt. Express*, 2007, **15**(2): 382~387
- 3 Daru Chen, Shan Qin, Sailing He. Channel-spacing-tunable multi-wavelength fiber ring laser with hybrid Raman and Erbium doped fiber gains[J]. *Opt. Express*, 2007, **15**(3): 930~935
- 4 Guo Xiongying, Yang Lingzhen, He Hucheng *et al.*. Wavelength tunable mode locked pulse fiber laser based on figure-of-eight cavity[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(2): 212~215  
郭雄英,杨玲珍,贺虎成等. 8字形腔波长可调谐锁模脉冲光纤激光器[J]. *光子学报*, 2008, **37**(2): 212~215
- 5 Wang Pinghe, Liao Xian, Rao Yunjian. A novel self-exciting Brillouin erbium-doped fiber laser[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(12): 2200~2204  
汪平河,廖弦,饶云江. 一种新型 A 激发布里渊掺铒光纤激光器[J]. *光学学报*, 2007, **27**(12): 2200~2204
- 6 Zhang Shumin, Dong Fajie, Lü Fuyun *et al.*. Wavelength tunable ring Er<sup>3+</sup>/Yb<sup>3+</sup> co-doped fiber laser operating in L-band [J]. *Chinese J. Lasers*, 2005, **32**(4): 449~452  
张书敏,董法杰,吕福云等. L 波段可调谐 Er/Yb 共掺环形腔光纤激光器[J]. *中国激光*, 2005, **32**(4): 449~452
- 7 S.-K. Liaw, W. Y. Jang, C.-J. Wang *et al.*. Pump efficiency improvement of a C-band tunable fiber laser using optical circulator and tunable fiber gratings[J]. *Appl. Opt.*, 2007, **46**(12): 2280~2285
- 8 Wang Dong, Zhang Minming, Liu Xiaoming *et al.*. 100 nm widely tunable Er-doped fiber laser[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, **35**(9): 1289~1292  
王东,张敏明,刘晓明等. 100 nm 宽光谱可调谐掺铒光纤激光器[J]. *光子学报*, 2006, **35**(9): 1289~1292
- 9 Wang Xu, Yu Chongxiu, Yu Zhihui *et al.*. Tunable distributed back reflector all fiber laser based on vernier effect[J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(2): 145~148  
王旭,余重秀,于志辉等. 基于游标原理的可调谐分布反射全光纤激光器[J]. *中国激光*, 2006, **33**(2): 145~148
- 10 Jianliang Yang, Swee Chuan Tjin, Nam Quoc Ngo. Wideband tunable linear-cavity fiber laser source using strain-induced chirped fiber Bragg grating[J]. *Optics & Laser Technology*, 2004, **36**: 561~565
- 11 Wei Daoping, Li Tangjun, Zhao Yucheng *et al.*. A tunable actively mode-locked fiber ring laser with a cantilever beam [J]. *J. Optoelectronics · Laser*, 2001, **12**(2): 123~125  
魏道平,李唐军,赵玉成等. 主动锁模光纤环形激光器的悬臂梁调谐法[J]. *光电子·激光*, 2001, **12**(2): 123~125
- 12 Liu Lihua, Ren Jianhua, Pei Wenzhe *et al.*. Research on output characteristic of a new of ring and tunable doped-Er fiber laser [J]. *Optical Technique*, 2007, **33**(5): 731~733  
刘丽华,任建华,裴文哲等. 一种新型可调谐环型腔掺铒光纤激光器输出特性的研究[J]. *光学技术*, 2007, **33**(5): 731~733