

文章编号: 0258-7025(2009)07-1890-04

单纵模波长可开关的环形腔光纤激光器

俞 力 宋跃江 张旭革

(南京大学光通信工程研究中心, 江苏 南京 210093)

摘要 提出并实现了一种单纵模窄线宽输出、波长可开关的光纤激光器。该激光器采用环形腔结构, 利用一段未抽运的掺铒光纤(EDF)的饱和吸收效应来实现光纤激光器的单纵模运转与窄线宽输出; 同时利用 1×2 光开关和 2 个并联的不同中心波长的光纤光栅(FBG)的选波作用, 通过控制光开关的电压信号, 实现 2 个输出波长的可开关功能。在 17.5 dBm 的掺铒光纤放大器(EDFA)输出功率下, 获得了 2.5 dBm 峰值功率, 3 kHz 线宽的单纵模激光输出; 并且输出光的波长在控制电压的作用下可在 1545.2 nm 和 1556.4 nm 两个波长之间任意选择。

关键词 激光器; 光纤激光器; 单纵模; 光开关; 饱和吸收体

中图分类号 TN248.1 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL20093607.1890

Single-Longitudinal-Mode and Wavelength-Switchable Fiber Laser with Ring Cavity

Yu Li Song Yuejiang Zhang Xuping

(Institute of Optical Communication Engineering, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093, China)

Abstract A new kind of single-longitudinal-mode and wavelength-switchable fiber laser is proposed and experimentally demonstrated. Such a fiber laser has a ring resonant cavity. An unpumped erbium-doped fiber (EDF) in the cavity is used as the saturable absorber to achieve single-longitudinal-mode operation. An 1×2 optical switch and 2 parallel fiber Bragg gratings (FBGs) are used as the wavelength selection module to achieve wavelength-switchable operation. At 17.5-dBm output power of EDF amplifier, the single-longitudinal-mode laser with 2.5-dBm power and 3-kHz linewidth is generated. The wavelength is randomly switched between 1545.2 nm and 1556.4 nm by applying the suitable electrical signal to optical switch.

Key words lasers; fiber laser; single-longitudinal-mode; optical switch; saturable absorber

1 引 言

掺铒光纤激光器(EDFL)可应用于波分复用(WDM)通信系统而成为目前国际上光纤激光器研究的热点。在 WDM 系统中, 首先要求光源输出信号具有单纵模特性。EDFL 中的掺铒光纤(EDF)属于增益均匀加宽介质, 由均匀加宽机制造成的激光器模式竞争有助于激光器的单纵模运转。但是在线形腔 EDFL 中, 驻波引起的空间烧孔效应会使得激光器产生多模振荡。将 EDFL 设计成环形腔结构, 可以有效地抑制 EDF 中的空间烧孔效应。不过由

于 EDF 并不是理想的增益均匀加宽介质, 再加上环形腔结构的光纤激光器的腔长通常较长, 纵模间隔较短, 在放大器增益谱范围内会存在大量纵模。因此如不采用特殊的选模手段, 环形腔 EDFL 也是多模输出的。有多种方法可以实现光纤激光器的单纵模运转, 如采用复合腔结构选模^[1,2]、添加腔内标准具^[3]、添加饱和吸收体^[4~6]等。为了实现信号在 WDM 系统不同信道之间的切换, 具有波长开关功能的光纤激光器研究越来越受到重视。利用可衰减器调整不同波长下激光器谐振腔的损耗^[7,8], 或

收稿日期: 2008-09-24; 收到修改稿日期: 2009-02-02

基金项目: 国家自然科学基金(60644001)资助项目。

作者简介: 俞 力(1978-), 男, 博士研究生, 主要从事光纤激光器等方面的研究。E-mail: smartyu@yaho.com.cn

导师简介: 张旭革(1962-), 女, 教授, 博士生导师, 主要从事光通信网络的监控与故障定位、光通信系统关键器件与组件、光纤传感技术及其应用等方面的研究。E-mail: xpzhang@nju.edu.cn (通信联系人)

通过对偏振态的控制^[9~11],使得激光器谐振腔对某一波长的光损耗最小,再或者在谐振腔中加入多个可调滤波器^[12,13],均可实现光纤激光器的波长开关功能。同时为了降低 WDM 系统信道之间的串扰,还要求激光器输出信号的线宽要足够窄。本文面向 WDM 系统,设计了一种单纵模、窄线宽、波长可开关的环形腔掺铒光纤激光器。

2 实验原理

图 1 是单纵模、波长可开关光纤激光器的原理图。光纤激光器主要由光放大、光波长选择和饱和吸收体三个模块组成。其中掺铒光纤放大器 (EDFA) 光放大模块为激光器谐振腔提供增益。波长选择模块是由 1×2 型光开关和 2 个具有不同中心波长的光纤光栅 (FBG) 组成,2 个光栅与光开关的 2 个端口并行连接着。使用外部控制电源可以控制光开关的任一端口的导通,从而与该端口相连的光栅 FBG_n ($n=1,2$) 就被选取为激光腔的滤波元件。波长落于该 FBG 反射带宽内的光由于具有较小的损耗,将被允许在谐振腔中振荡从而实现激光输出。利用一段未抽运的 EDF 作为饱和吸收体,与一个由 3 dB 耦合器构成的具有宽带、高反射率特性的 Sagnac 反射环境形成激光器的饱和吸收模块,用来实现激光器的单纵模运转。其基本原理是作为饱和吸收体的 EDF,其末端加有 Sagnac 反射镜,因此入射光和反射光在 EDF 中相干形成驻波。驻波使得 EDF 的折射率发生周期性的微小改变,从而形成动态的布拉格光栅。利用动态光栅的窄带滤波特性可以获得稳定的单纵模激光输出。同时饱和吸收体具有对高功率光信号吸收系数低,而对低功率信号吸收系数高的特性。具有一定线宽的激光信号在多次通过饱和吸收体后,偏离中心频率处的光信号将被更多地吸收,因此饱和吸收体还有助于激光器输出信号线宽的窄化。

实验选用 Oplink 公司 OFMS1550 型号的 1×2 光开关和 2 个具有不同中心波长的 FBG 形成波长选择模块。其中,光开关的开关速度在毫秒量级,2 个 FBG 的中心波长分别是 1545.2 nm 和 1556.4 nm,中心波长反射率均在 90% 以上,3 dB 带宽分别为 0.143 nm 和 0.142 nm,饱和吸收体 EDF 的长度为 4 m。最终产生的激光信号通过 90:10 耦合器的 10% 输出端输出,利用光谱分析仪或电频谱分析仪可分析输出信号。

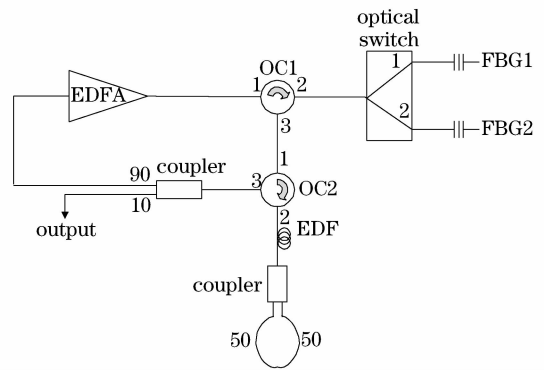


图 1 单纵模波长可开关光纤激光器原理图

Fig. 1 Schematic of single-longitudinal-mode wavelength-switchable fiber laser

3 实验结果与分析

3.1 纵模分析

首先对 1545.2 nm 波长的输出光进行分析。输出光信号经过光电探测器 (New Focus 1607) 被转换为电信号,并被示波器 (Agilent MSO 6104A) 采集,利用附带软件将采集到的信号做傅里叶变换可得到该信号的频谱信息,其功能相当于电频谱分析仪 (ESA)。当 EDFA 输出功率为 20 dBm 时,观测到如图 2(a) 所示的等间隔拍频信号,可见此时激光器输出多纵模激光。这是因为当 EDFA 输出功率较高时,饱和吸收模块不能有效地抑制激光器的多模振荡。从图 2(a) 可以得到激光器的纵模间隔为 2.7 MHz,对应 74 m 的光程。逐渐降低 EDFA 输出功率,拍频信号强度随之逐渐减弱并消失。当 EDFA 输出功率为 17.5 dBm 时,拍频信号完全消失,仅剩零频处一个信号,此时输出光由多纵模转变为单纵模,如图 2(b) 所示 (插图详细的单纵模频谱信息)。继续降低 EDFA 输出功率到 15.2 dBm,激光输出一直保持单纵模状态。当 EDFA 输出功率下降至阈值功率 15.2 dBm 以下时,EDFA 提供的增益将不能补偿腔的损耗,此时激光器无输出信号。对于 1556.4 nm 波长的输出也有类似结果。

3.2 线宽测量

利用延时自零差法^[14]测量单纵模激光的线宽,测量装置如图 3 所示。激光器输出信号经 90:10 耦合器被分为两路,90% 的一路光信号经过 50 km 光纤延迟线后,与 10% 的另一路同时输入到 50:50 耦合器中。对耦合器输出的信号进行频谱分析,可得到输入信号的线宽。实验对 1545.2 nm 输出波长进行测量,当 EDFA 输出功率在 17.5 dBm 时,测量频谱如图 4 所示,此时输出光的线宽为 3 kHz。

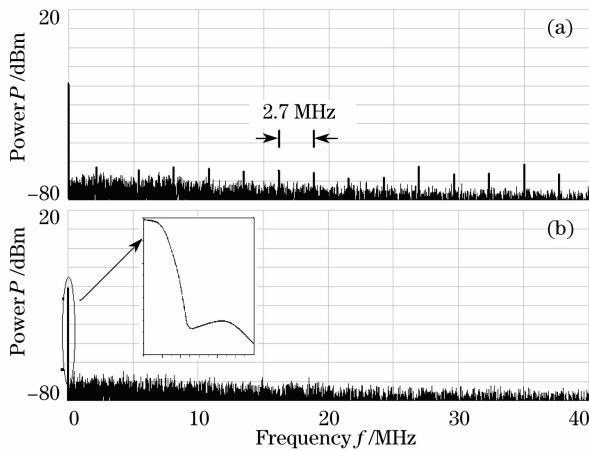


图2 激光器不同抽运功率下的拍频信号
(a) 20 dBm ; (b) 17.5 dBm

Fig. 2 Spectra of output signal under different pump power: 20 dBm (a); 17.5 dBm (b)

实验还发现,不同 EDFA 输出功率下单纵模激光器的线宽变化不大,基本保持在 3 kHz。

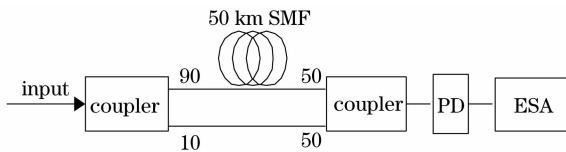


图3 延时自零差测量激光线宽的实验装置图

Fig. 3 Optical delayed self-homodyne measurement setup for laser linewidth measurement

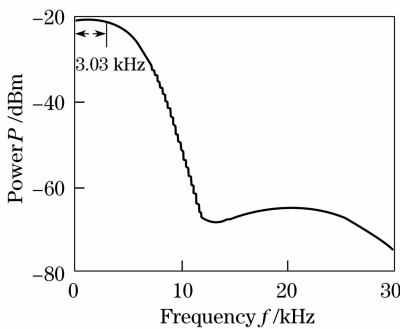


图4 激光器输出信号的线宽

Fig. 4 Linewidth of the signal from fiber laser

3.3 波长开关分析

实验中改变光开关控制端口的电压极性,使得不同的端口被打开,与此端口相连的 FBG 就被选中为激光腔的滤波器,这样就产生不同波长的输出信号。图 5 是由光谱分析仪 (Agilent 86140B, 0.06 nm分辨率)测得的在 17.5 dBm EDFA 输出功率下两个输出波长的光谱叠加图。出射激光的波长分别对应于实验中所选用的两个 FBG 的中心波长,即 1545.2 nm 和 1556.4 nm,它们的输出功率约为

2.5 dBm,并且涨落不超过 0.5 dB。

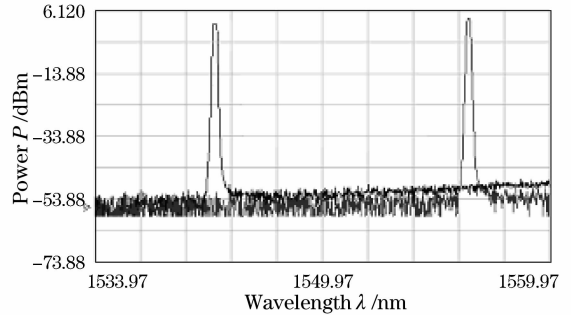


图5 激光器输出信号光谱图

Fig. 5 Spectra of output signals

另外,激光器的波长开关速度应由所用光开关的开关速度和激光器模式弛豫时间两者之和决定。一般说来,对于 EDF 增益介质其模式弛豫时间在毫秒到微秒量级。因为实验中所用光开关的开关速度是毫秒量级的,因此本实验中激光器波长开关速度也是毫秒量级的。要提高激光器的波长开关速度,可以在选用更高速的光开关前提下,采用具有更短模式弛豫时间的光放大器,比如半导体光放大器(SOA)^[5]。

4 结 论

提出并实现了一种单纵模、窄线宽、波长可开关的环形腔掺铒光纤激光器:通过控制由光开关和 FBG 组成的波长选择模块来实现波长的开关;同时利用一段未抽运的 EDF 作为饱和吸收体来实现激光器的单纵模运转与窄线宽输出。在 17.5 dBm EDFA 输出功率下,获得了峰值功率为 2.5 dBm,线宽为 3 kHz 的单纵模激光信号输出;输出信号波长可在 1545.2 nm 和 1556.4 nm 之间相互开关。利用该方法,通过合适地选取光开关类型可以很容易地实现多波长(波长数大于 2)可开关的单纵模光纤激光器。

参 考 文 献

- Zhang Xin, Chen Wei, Liu Yu *et al.*. Single longitudinal mode fiber laser with multiple ring cavities and its frequency stabilization[J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(1): 50~54
张欣,陈伟,刘宇等. 单纵模多环形腔掺铒光纤激光器及其稳定性[J]. *中国激光*, 2007, **34**(1): 50~54
- Zhang Yan, Chen Wei, Ren Min *et al.*. Stable, tunable single-longitudinal-mode erbium-doped fiber laser with multiple ring cavities[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(3): 507~511
张艳,陈伟,任民等. 稳定可调谐的单纵模多环形腔掺铒光纤激光器[J]. *光学学报*, 2008, **28**(3): 507~511
- Y. Takushima, S. Yamashita, K. Kikuchi *et al.*. Polarization-stable and single-frequency fiber lasers [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1998, **16**(4): 661~669

- 4 J. Liu, J. P. Yao, J. Yao *et al.*. Single-longitudinal-mode multiwavelength fiber ring laser [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2004, **16**(4): 1020~1022
- 5 Jing Yang, Ronghui Qu, Guoyong Sun *et al.*. Suppression of mode competition in fiber lasers by using a saturable absorber and a fiber ring[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2006, **4**(7): 410~412
- 6 Yu Li, Song Yuejiang, Zhang Xuping. Single-longitudinal-mode and wavelength-switchable fiber laser with linear cavity [J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(10): 1455~1458
俞力, 宋跃江, 张旭苹. 单纵模、波长可开关的线性腔光纤激光器[J]. *中国激光*, 2008, **35**(10): 1455~1458
- 7 Q. H. Mao, J. W. Y. Lit. Switchable multiwavelength erbium-doped fiber laser with cascaded fiber grating cavities [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2002, **14**(5): 612~614
- 8 Y. Z. Xu, H. Y. Tam, W. C. Du *et al.*. Tunable dual-wavelength-switching fiber grating laser [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1998, **10**(3): 334~336
- 9 Yang Shiquan, Zhao Chunliu, Yuan Shuzhong *et al.*. Wavelength tunable linear cavity erbium-doped fiber laser operating in L-band[J]. *Acta Optica Sinica*, 2002, **22**(6): 706~708
杨石泉, 赵春柳, 袁树忠 等. L 波段线型腔波长可调谐掺铒光纤激光器[J]. *光学学报*, 2002, **22**(6): 706~708
- 10 Zhang Shumin, Dong Fajie, Lü Fuyun *et al.*. Wavelength tunable ring Er³⁺/Yb³⁺ 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
- 11 S. Hu, L. Zhan, Y. J. Song *et al.*. Switchable multiwavelength erbium-doped fiber ring laser with a multisection high-birefringence fiber loop mirror [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2005, **17**(7): 1387~1389
- 12 D. H. Zhao, S. P. Li, K. T. Chan. Precise and rapid wavelength-switching of fibre laser using semiconductor optical amplifier [J]. *Electron. Lett.*, 2001, **37**(15): 945~946
- 13 Y. G. Han, G. Kim, J. H. Lee *et al.*. Lasing wavelength and spacing switchable multiwavelength fiber laser from 1510 to 1620 nm [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2005, **17**(5): 989~991
- 14 D. Derickson, *Fiber Optic Test and Measurement*[M]. Prentice Hall, 1998. 185~189