

文章编号: 0258-7025(2008)10-1455-04

单纵模、波长可开关的线性腔光纤激光器

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输出、波长可开关的光纤激光器。该激光器采用线性法布里-珀罗(F-P)腔结构, 利用980 nm抽运的掺铒光纤(EDF)作为增益介质, 并且通过腔内另一段未抽运的掺铒光纤的饱和吸收效应来实现光纤激光器的单纵模运转; 同时利用 $1 \times N$ 光开关和 N 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 N 个输出波长的可开关功能。在90 mW的抽运功率下, 获得了一0.5 dBm峰值功率, 3.6 kHz线宽的单纵模激光输出; 输出光的波长在控制电压的作用下可在1574.6 nm, 1579.7 nm, 1584.8 nm和1589.9 nm四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 TN 242; TN 248.1

文献标识码 A

doi: 10.3788/CJL20083510.1455

Single-Longitudinal-Mode and Wavelength-Switchable Fiber Laser with Linear 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, wavelength-switchable fiber laser is proposed and experimentally demonstrated in this paper. Such fiber laser has the Fabry-Perot (F-P) cavity and uses 980 nm pumped erbium-doped fiber (EDF) as gain media. And an unpumped EDF in the cavity is used as the saturable absorber to achieve single-longitudinal-mode operation, meanwhile a $1 \times N$ optical fiber switch and N parallel fiber Bragg gratings (FBGs) are used as the wavelength selection module to achieve wavelength-switchable operation. With 90 mW pumping power, the single-longitudinal-mode laser with -0.5 dBm peak power and 3.6 kHz linewidth is generated; And the wavelength can be randomly switched among the wavelengths of 1574.6 nm, 1579.7 nm, 1584.8 nm and 1589.9 nm by applying the suitable electrical signal to fiber switch.

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

1 引言

单纵模光纤激光器是一种优质光源, 在光通信、光谱分析以及光传感中都有着广泛的应用前景, 因此是目前国际上激光器研究的热点。实现光纤激光器的单纵模运转有多种方法, 可以采用复合腔结构选模^[1], 或添加腔内标准具^[2], 或是添加饱和吸收体^[3]。随着波分复用(WDM)通信系统的发展, 具有波长开关功能的单频光纤激光器的研究越来越受

到重视。波长的开关可以用多种方法来实现, 例如通过加入可调衰减器或类似器件调整激光器谐振腔的损耗^[4,5], 使得不同波长的谐振腔具有不同的损耗, 从而在不同抽运功率下获得相应不同的输出波长; 或是通过对偏振态的控制^[6~8], 使得激光器谐振腔对某一波长的光损耗最小, 从而实现该波长的光信号输出; 或者是加入多个可调滤波器^[9,10], 利用不同滤波器的滤波特性, 筛选出所需的波长。以上方

收稿日期: 2007-11-02; 收到修改稿日期: 2008-02-02

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, 江苏人, 博士研究生, 主要从事光纤激光器的研究。E-mail: smartyuli@yahoo.com.cn

导师简介: 张旭革(1962—), 女, 江苏人, 教授, 博士生导师, 目前研究方向为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。E-mail: xpzhang@nju.edu.cn

* 通信联系人。E-mail: yjsong@nju.edu.cn

法大多是基于对纵模特性或是波长开关某一个功能而考虑的,而本文则采用一种简单易行的方法,通过在激光腔内加入饱和吸收体和光开关来实现单纵模输出,得到输出光波长可开关的光纤激光器。

2 实验原理

图 1 为单纵模、波长可开关光纤激光器原理图。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。其中光放大模块采用双向抽运方式,980 nm抽运源经3 dB耦合器将抽运功率分成相等的两路,然后通过两个 980/1550 波分复用器与信号光一起进入掺铒光纤 1 (EDF1) 中,为激光器谐振腔提供增益。波长选择模块是由 $1 \times N$ 型光开关和 n 个具有不同中心波长的光纤光栅 (FBG) 组成, n 个光栅与光开关的 N 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 N 的导通,从而与该端口相连的光栅 FBG n 就被选取为激光腔的滤波元件。波长落在 FBG n 反射带宽内的光由于具有较小的损耗将被允许在激光器中振荡以实现激光输出。虽然掺铒光纤是增益均匀加宽介质,但由于空间烧孔效应的存在,掺铒光纤激光器通常是多纵模输出,且相邻纵模之间的频率差由谐振腔的腔长决定。另外,一段未抽运的掺铒光纤 2 (EDF2) 作为饱和吸收体,与一个由3 dB耦合器构成的具有宽带、高反射率特性的沙哥纳克(Sagnac)反射环境形成了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 EDF2,其末端加有 Sagnac 反射镜,因此入射光和反射光在 EDF2 中相干形成驻波。由于掺铒光纤的饱和吸收效应,驻波使得 EDF2 的折射率发生周期性微小改变,从而形成动态的窄带布拉格光栅。利用动态光栅的窄线宽特性可获得稳定的单纵模激光输出。

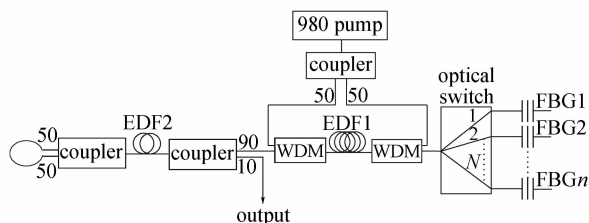


图 1 单纵模、波长可开关光纤激光器原理图
Fig. 1 Schematic of single-longitudinal-mode wavelength-switchable fiber laser

单纵模、波长可开关光纤激光器谐振腔是一线性法布里-珀罗(F-P)腔,Sagnac 反射环境与光纤光栅 FBG n 一起构成 F-P 腔的两个反射镜。该光纤激

光器的基本工作原理是:由于光纤光栅的滤波作用,只有波长落在被选定 FBG n 反射带宽内的光波才能在腔内获得足够的增益形成振荡;同时由于腔内饱和吸收体 EDF2 的窄化作用,只有单个振荡模式存在,从而产生单纵模信号的输出。另外,通过光开关选择不同的 FBG n ,从而实现波长可开关功能。

3 实验结果与分析

实验中,选用 Oplink 公司 1×4 的光开关和 4 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,4 个光纤光栅的中心波长分别为 1574.6 nm,1579.7 nm,1584.8 nm 和 1589.9 nm,中心波长反射率均在 90% 以上,3 dB 带宽均在 0.2 nm 以下。L 波段掺铒光纤 EDF1 的长度为 8 m,饱和吸收体 EDF2 的长度为 2 m。最终产生的激光通过 90:10 耦合器的 10% 输出端输出,并利用光谱分析仪或示波器分析输出信号。

3.1 纵模分析

首先,输出光信号经过光电探测器 (PD) (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信号作傅里叶变换得到该信号的频谱信息,其功能相当于电频谱分析仪 (ESA)。实验中对 1579.7 nm 波长的输出光进行分析,当 980 nm 抽运功率为 120 mW 时,观测到等间隔的拍频信号,如图 2(a) 所示。说明此时激光器输出多纵模激光,这是因为当抽运功率较高时,掺铒光纤 EDF1 中的空间烧孔效应较为明显所致。根据图 2(a),得到激光的纵模间隔为 7.69 MHz,对应 26 m 的腔长,这与实验设计的参数吻合。然后逐渐降低抽运功率,拍频信号强度随之逐渐减弱并消失,当抽运功率为 90 mW 时,拍频信号消失,此时输出光由多纵模转变为单纵模,如图 2

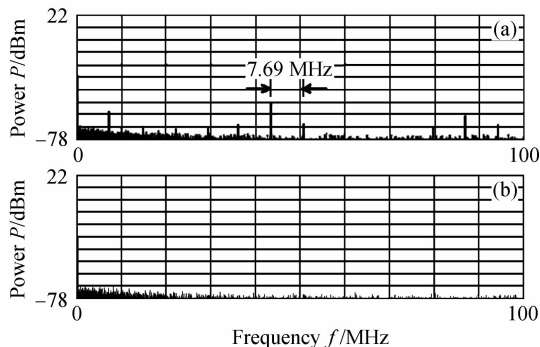


图 2 激光器不同抽运功率下的拍频信号
Fig. 2 Spectra of output signal under different pump powers. (a) 120 mW; (b) 90 mW

(b)所示。继续降低抽运功率到60 mW,激光输出一直能保持单纵模。当抽运功率下降至阈值功率60 mW以下时,光放大模块提供的增益将不能补偿腔的损耗,此时激光器无输出信号。对于其他波长的输出也有类似结果。实验中之所以选取增益介质EDF1的长度为8 m,饱和吸收体EDF2的长度为2 m,是为了在实验室980 nm抽运条件下获得最佳的输出信号,使得该信号既是单纵模的,同时又具有较大的输出光功率。

3.2 线宽测量

为了测量单纵模激光的线宽,采用了延时自零差法^[11],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(标准单模光纤,SMF)后,与10%的另一路输入到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1579.7 nm输出波长进行测量,当抽运功率在90 mW时,测量频谱如图4所示,此时输出光的线宽为3.6 kHz。实验还发现,不同抽运功率下单纵模激光器的线宽变化不大,基本保持在3.6 kHz。

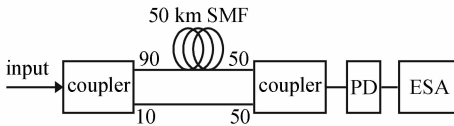


图3 利用延时自零差测量激光线宽的实验装置图

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

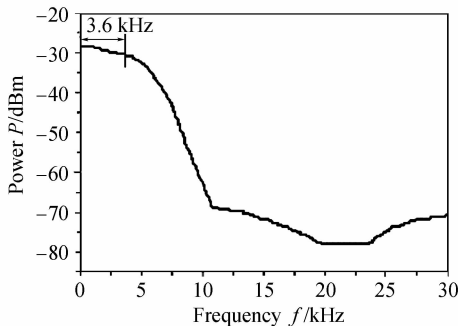


图4 单纵模激光器输出线宽的测量频谱图

Fig. 4 Linewidth measurement spectrum of output signal

3.3 波长开关分析

利用外部控制电源控制1×4光开关,实现波长开关的功能。实验中通过改变光开关控制端口的电压,使得不同的端口被打开,与此端口相连的光纤光栅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则是由光谱分析仪(Agilent 86140B,分辨率0.1 nm)测得的在90 mW抽运功率

下四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四个光纤光栅的中心波长,即1574.6 nm,1579.7 nm,1584.8 nm和1589.9 nm,它们的输出功率大约为-0.5 dBm,而且涨落不超过0.5 dB。

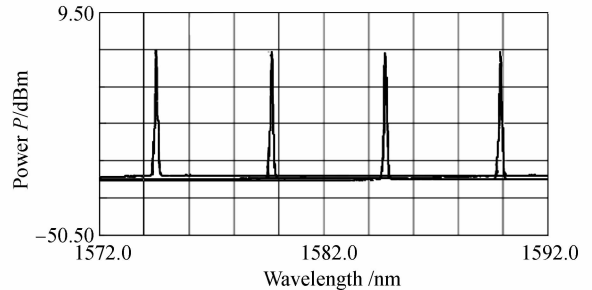


图5 激光器输出信号光谱图

Fig. 5 Spectra of output signals

另外,波长开关速度应由光开关的开关速度和激光器模式弛豫时间两者之间的较长者决定。一般说来,对于掺铒光纤增益介质其模式弛豫时间在毫秒到微秒量级,而实验中所用到的光开关的开关速度是毫秒量级的,因此在本实验中的波长开关速度是毫秒量级的。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)^[12]。

4 结论

提出并实现了一种简单有效的单纵模、波长可开关光纤激光器,通过控制由光开关和FBGs组成的波长选择模块来实现波长的开关,同时通过一段未抽运掺铒光纤作为饱和吸收体来实现激光器的单纵模运转。在90 mW抽运功率下,获得了峰值功率为-0.5 dBm,线宽为3.6 kHz的单纵模激光输出;而且通过对光开关的控制,实现了在1574.6 nm,1579.7 nm,1584.8 nm和1589.9 nm四个不同波长之间的相互开关。利用这种方法可以很容易地实现多个波长可开关、单纵模输出的光纤激光器。

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
- Y. Takushima, S. Yamashita, K. Kikuchi *et al.*. Polarization-stable and single-frequency fiber lasers [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1998, **16**(4):661~669
- Jian Liu, Jianping Yao, Jian Yao *et al.*. Single-longitudinal-

- mode multiwavelength fiber ring laser [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2004, **16**(4):1020~1022
- 4 Qinghe 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
 - 5 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
 - 6 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波段线性腔波长可调谐掺铒光纤激光器[J]. *光学学报*, 2002, **22**(6):706~708
 - 7 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
 - 8 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
 - 9 Donghui Zhao, Shenping Li, Kam Tai Chan. Precise and rapid wavelength-switching of fibre laser using semiconductor optical amplifier [J]. *Electron. Lett.*, 2001, **37**(15):945~946
 - 10 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
 - 11 D. Derickson. *Fiber Optic Test and Measurement* [M]. New Jersey: Prentice Hall PTR, 1998. 185~189
 - 12 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

《中国激光》“光纤通信及器件”专题征稿启事

光纤技术和网络技术的迅猛发展,对现代光通信技术的发展产生了巨大的推动作用,尤其在光纤通信系统及器件的设计与实现方面,已取得了诸多令人兴奋的成就。《中国激光》计划于2008年12月正刊上推出“光纤通信及器件”专题栏目,现特向国内外广大读者以及作者征集“光纤通信及器件”方面原创性的研究论文和综述,旨在集中反映该方面最新的研究成果及研究进展。

征稿范围包括:

- 光纤通信系统的设计及实现
- 光纤激光器的设计与实现(如掺杂光纤激光器、新型可调谐光纤激光器、微结构光纤激光器等)
- 光纤放大器的设计与实现(如宽波段掺铒光纤放大器、拉曼光纤放大器、微结构光纤放大器等)
- 全光纤无源器件的设计与实现(如宽带光纤耦合器、宽带光纤滤波器、新型光纤色散补偿器、阵列光开关等)
- 新型光纤光栅的设计与实现(如微结构光纤光栅、超长周期光纤光栅及特种光纤光栅等)
- 其他

截稿日期:2008年10月15日

投稿方式以及格式:可直接将稿件电子版发至“光纤通信及器件”专题组稿专家、《中国激光》常务编委张伟刚教授,邮箱:zhangwg@nankai.edu.cn(主题标明“光纤通信及器件专题”投稿),或通过中国光学期刊网网上投稿系统直接上传稿件(主题标明“光纤通信及器件专题”投稿),详情请参见中国光学期刊网:www.opticsjournal.net。本专题投稿文体不限,中英文皆可,其电子版请使用MS-word格式,有任何问题请发邮件至 mayi@siom.ac.cn 询问。

《中国激光》编辑部