

可调谐单纵模光纤激光器模式特性研究*

王天枢^{1,2}, 郭玉彬^{2*}, 王珂², 霍佳雨²

(1. 杭州电子科技大学通信工程学院, 浙江 杭州 310018; 2. 吉林大学通信工程学院, 吉林 长春 130012)

摘要:为了实现光纤激光的单纵模,提出了一种环形腔结构,采用可调谐光纤 Bragg 光栅(FBG)作为波长选择器件,与2 m 未抽运掺 Er 光纤(EDF)产生驻波饱和效应,在1.55 μm 波长处形成42 nm 激光输出,输出功率大于3.5 dBm,功率稳定性优于 ± 0.005 dB。扫描 Fabry-Perot (F-P) 干涉仪观测到2个正交的偏振模,在环形腔内加入偏振器后可抑制强度较低的偏振模式,测量到清晰的单纵模激光,纵模线宽为20 MHz。由于饱和吸收效应,导致了激光输出斜率曲线表现出光学双稳态现象。

关键词: 环形光纤激光器; 单纵模; 饱和吸收体; 扫描 Fabry-Perot (F-P) 干涉仪

中图分类号: TN247; TN248 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-0086(2008)01-0031-03

Investigation on the mode characteristics of single longitudinal-mode wavelength-tunable ring fiber laser

WANG Tian-shu^{1,2}, GUO Yu-bin^{2*}, WANG Ke², HUO Jia-yu²

(1. College of Communication Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou, Zhejiang 310018; 2. College of Communication Engineering, Jilin University, Changchun 130012, China)

Abstract: To realize single longitudinal-mode of the fiber laser, a ring configuration is devised. The single longitudinal-mode operation is realized by using a fiber Bragg grating (FBG) as wavelength-selective element and a unpumped 2 m long erbium-doped fiber (EDF) which can produce standing-wave saturation effects in the cavity. Its tunable wavelength range is 42 nm, the output power is more than 3.5 dBm and the stability is less than ± 0.005 dB. Two orthogonal polarization modes are found by using a scanning Fabry-Perot (F-P) interferometer. Then, the single longitudinal-mode is observed with a polarimeter in the cavity. The longitudinal-mode linewidth of 20 MHz is measured. The slope curve of the laser output represents optical bistability phenomena because of saturation absorption effects.

Key words: ring fiber laser; single longitudinal-mode; saturable absorber; scanning Fabry-Perot (F-P) interferometer

1 引言

工作在1.55 μm 波段的窄线宽单纵模光纤激光器在高速光通信、远距离光传感、相干通信及高精度光谱分析等领域有着重要的应用^[1~4]。随着紫外写入光纤光栅技术的日趋成熟,基于光纤光栅的单纵模光纤激光器已经成为研究的热点^[5~8]。对于单纵模光纤激光器的纵模测量主要采用激光扫描 Fabry-Perot (F-P) 干涉仪,文献[2]、[9]和[10]都采用了扫描 F-P 干涉仪确认了环形光纤激光器的单纵模。

本文在原有环形激光器的基础上^[11],采用可调谐光纤 Bragg 光栅(FBG)作为波长选择器件,利用未抽运掺 Er 光纤(EDF)的饱和吸收效应产生驻波干涉,形成单纵模激光,输出激光波长42 nm 连续可调。设计了工作于1.55 μm 波段具有光纤耦合的扫描 F-P 干涉仪对输出的单纵模激光进行测量。未加偏振器的结构测量到2个正交偏振模,为了得到严格线偏

振模,环形腔内加入偏振器,谐振强度稍低的偏振态模式完全被抑制,测量到清晰的单纵模激光,纵模线宽为20 MHz,其输出斜率表现出光学双稳态现象。相对于同类研究报道,本文实验更详尽地分析了光纤激光纵模的结构特性。

2 环形光纤激光器

单纵模环形 EDF 激光器结构如图1所示。980 nm 抽运光经980/1550 nm 波分复用器(WDM)耦合进2.2 m 高掺 Er 的 EDF 1 构成激光器增益结构;作为饱和吸收体的低浓度 EDF 2 位于光纤环行器端口2,后接可调谐 FBG 作为窄带反射式波长选择结构。随着抽运功率增加抑制了自发辐射,经过 FBG 选择特定波长而谐振产生激光。

EDF 的数值孔径为0.22,对1531 nm 峰值吸收为24 dB/m。作为饱和吸收体的低浓度 EDF 数值孔径为0.24,对1531 nm 峰值吸收为8.16 dB/m。选择耦合器的输出分光比为

收稿日期:2007-01-11 修订日期:2007-04-23

* 基金项目:吉林省科技发展计划资助项目(20050525);长春市科技攻关基金资助项目(05GC09)

** E-mail: gyb@jlu.edu.cn

90%,附加损耗为0.02 dB。经光隔离器(ISO)1输出以防止光纤端面反射,其隔离度>50 dB,插入损耗为0.38 dB。反向抽运可以防止抽运光进入吸收体,导致不能形成有效的驻波干涉。因为激光器的开环增益很大,反向传输的光会引起放大,甚至引起拍频振荡,对模式有很大影响。ISO 2用来抑制噪声并与环形器共同保证激光在环形腔中的单向运转,提高激光模式稳定性,其端口隔离度均大于52 dB,插入损耗小于1.5 dB。偏振器能保持一种偏振态光传输,使腔内其它偏振模得到有效抑制。FBG光滤波器调谐范围达42 nm(1528~1570 nm),3 dB带宽<0.35 nm,反射率为99%,插入损耗不平坦度<1.5 dB;极限分辨率<0.02 nm。FBG闲置的一端用匹配液匹配,以有效地消除端面反射的影响,使输入激光稳定。

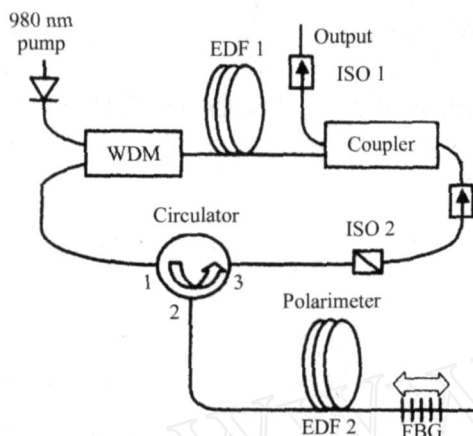


图1 单纵模环形 EDF 激光器结构

Fig. 1 Configurations of single longitudinal mode ring EDF laser

由于在 FBG 两端施力会导致其表面的微裂纹必然引起应力集中,使波长调谐范围不大。实验中,FBG 的自由态波长在 1570 nm,采取固定一端、另一端挤压的调谐方法,使波长向短波方向移动,并通过螺旋测微器控制挤压的位移量。FBG 的应变传递系数为 0.9,光纤弹性模量为 156 GPa,纤芯直径为 125 μm 。调谐过程中,中心波长的反射强度稳定,且保持不变,重复性好。

采用 Anritsu MS9710B 光谱分析仪(工作波长为 0.6~1.75 μm ,分辨率为 0.07 nm)测得输出波长范围为 1528~1570 nm,达 42 nm 连续可调,如图 2 所示。工作波长变化过程中谱宽保持稳定,且可工作于 ITU-T 规定的 C 波段各标准中心波长。其输出功率高于 3.5 dBm,稳定性优于 ± 0.005 dB,边模抑制比高于 55 dB。

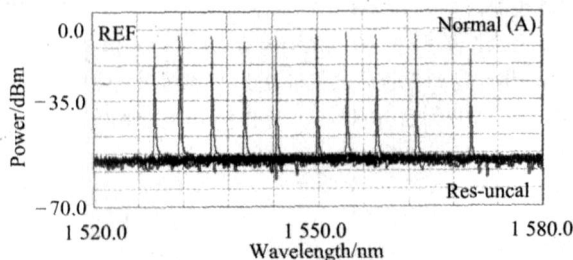


图2 可调谐光纤激光器的输出光谱

Fig. 2 Spectrum of shifted fiber laser output peaks

3 模式测量实验

实验中,光纤激光器的腔长都在 10 m 以上,其纵模间隔约为 20 MHz。为此设计了工作于 1.55 μm 波段光纤型扫描 F-P 干涉仪,精确分析输出激光的纵模特性。采用锯齿波扫描电压驱动 PZT 使无源腔腔长作线性周期性扫描,从而对通过的激光频率(纵模)作周期性扫描,精细度为 300。

测量了腔内无偏振器情况下的纵模结构,使用自由光谱范围(FSR)为 7.5 GHz 的干涉仪及带宽 500 MHz 的 HP54503A 数字示波器,观测到间隔大约 220 MHz 的 2 个纵模,如图 3 所示,根据全光纤结构光纤激光器纵模特性可知,2 个模式应为相互正交的线性偏振模,其中一个偏振态的纵模谐振强度稍低。在比较理想情况下,这两个模式是相互简并的,很难分辨,光在这两种模式间任意转换,即跳模在这两个偏振态发生。由于光纤弯曲等原因造成模式色散,可以观测到 2 个偏振模。当在腔内加入偏振器后,能有效地抑制那个偏振态谐振强度较低的纵模。从测试结果看到清晰的单纵模结构如图 4 所示,由于 1 个偏振态模式的熄灭,可以观测到单纵模的功率有明显提高。

使用了研制的 FSR 为 1.5 GHz 的扫描 F-P 干涉仪测量激光线宽,其分辨率为 5 MHz,如图 5 所示。从展宽的纵模谱线

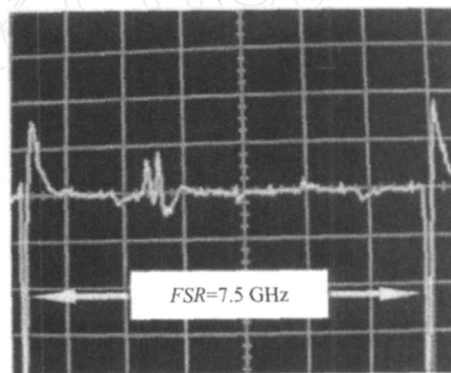


图3 扫描 F-P 干涉仪(FSR=7.5 GHz)测量到无偏振器结构的光纤激光纵模谱

Fig. 3 Longitudinal-mode spectrum of the fiber laser without polarizer measured by a scanning F-P interferometer for 7.5 GHz FSR

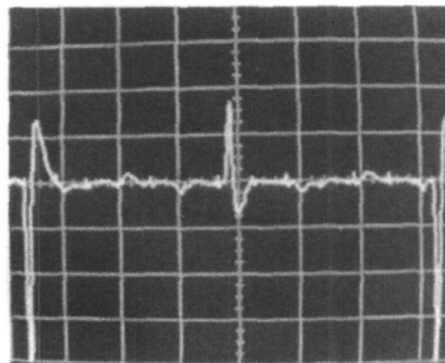


图4 腔内加入偏振器的光纤激光纵模谱

Fig. 4 Longitudinal-mode spectrum of the fiber laser with polarizer

看,其线宽大约为 20 MHz。从图 6 的激光输出斜率曲线可以看出,带有饱和吸收体的单偏振光纤激光器表现出光学双稳态现象,主要是 EDF 在驻波干涉的情况下表现出来的非线性效应所致。未泵浦 EDF 是信号光的高吸收(低透射)介质,但由于其对信号光的吸收饱和而产生驻波干涉,吸收较弱的驻波波峰处频率能形成激光振荡,因此达到上升阈值后 EDF 表现出了低吸收(高透射)的特性。而当泵浦功率降低时,由于已经维持了激光振荡,EDF 能够维持高透射曲线,泵浦功率下降到较低水平才不能够维持激光振荡。EDF 的长度越长、浓度越高,其双稳特征越明显。可以说,双稳态现象与单纵模激光输出都是饱和吸收体结构所特有的物理现象,对于研究光纤激光器的非线性效应具有一定意义。

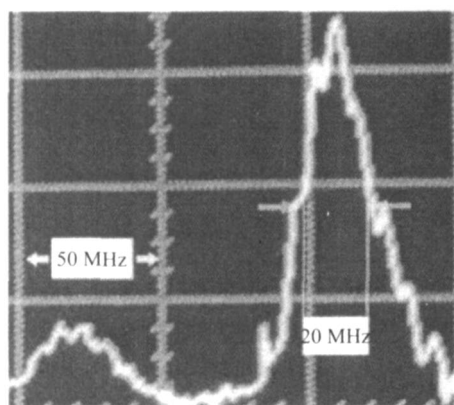


图5 采用 FSR 为 1.5 GHz 的扫描 F-P 干涉仪测量的光纤激光纵模谱

Fig.5 Longitudinal-mode spectrum of the fiber laser measured by a scanning F-P interferometer for 1.5 GHz FSR

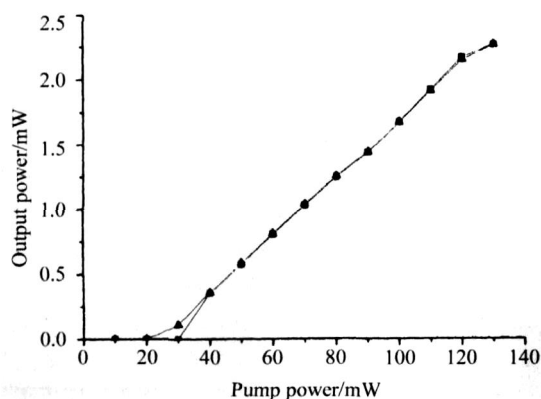


图6 单纵模光纤激光器功率输出特性

Fig.6 Output power of the single Longitudinal-mode fiber grating laser as a function of absorbed pump power

4 结 论

利用饱和吸收效应,设计了环形单纵模光纤激光器,输出

激光在 42 nm 范围内连续可调。采用激光扫描 F-P 干涉的方法测量了纵模谱线结构,未加偏振器的结构测量到 2 个正交偏振模。为了得到严格线偏振模,环形腔内加入偏振器,谐振强度稍低的偏振态模式完全被抑制,测量到清晰的单纵模激光,纵模线宽为 20 MHz。由于饱和吸收效应导致激光输入输出关系表现出一定的光学双稳态现象,且随着吸收体长度和浓度的升高而越明显。对于窄线宽 1.55 μm 波段光纤激光器的纵模光谱研究和单纵模光纤激光的判定及测量的研究具有相当的参考价值。

参考文献:

- [1] Cheng Y, Kringelbotn J T, Loh W H, et al. Stable single-frequency traveling-wave fiber loop laser with integral saturable-absorber-based tracking narrow-band filter[J]. Optics Lett, 1995, 20(8): 875-877.
- [2] Song Y W, Havstad S A, Starodubov D, et al. 40 nm wide tunable fiber ring laser with single-mode operation using a highly stretchable FBG[J]. IEEE Photonics Technology Lett, 2001, 13(11): 1167-1169.
- [3] LI An-min, YUN Bin-feng, WANG Yi-ping, et al. Experimental research for an interrogating system of fiber Bragg grating sensor[J]. Journal of Optoelectronics · Laser (光电子 · 激光), 2006, 17(4): 424-426. (in Chinese)
- [4] CAI Zhi-ping, ZENG Li-zhu, GE Chun-feng, et al. Study of the tunable fiber laser based on angle-tuning fabry-perot filter for G-band[J]. Journal of Optoelectronics · Laser (光电子 · 激光), 2005, 16(4): 429-432. (in Chinese)
- [5] Loh W H, Samson B N, Dong L, et al. High performance single frequency fiber grating-based erbium: ytterbium-codoped fiber lasers[J]. Journal of Lightwave Technology, 1998, 16(1): 114-118.
- [6] WANG Tian-shu, GUO Yi-bin, LI Jun, et al. All-fiber type short cavity Er/Yb co-doped fiber laser[J]. Chinese Journal of Lasers (中国激光), 2004, 31(10): 1161-1164. (in Chinese)
- [7] YU Ben-li, ZHEN Sheng-lai, ZHU Jun, et al. Experimental study on low-noise fiber laser[J]. Acta Optica Sinica (光学学报), 2006, 26(2): 217-220. (in Chinese)
- [8] WU Bo, LIU Yong-zhi, DAI Zhi-yong. Experimental study of high Er^{3+} doped narrow line-width fiber ring laser[J]. Journal of Optoelectronics · Laser (光电子 · 激光), 2006, 17(11): 1311-1314. (in Chinese)
- [9] Nathaniel J C Libatique, Li Wang, Ravi K Jain. Single-longitudinal-mode tunable WDM-channel-selectable fiber laser[J]. Optics Express, 2002, 10(25): 1503-1507.
- [10] XUE Yi-yuan, AN Hong-lin, FU Li-bin, et al. Narrow-linewidth single-mode DBR fiber lasers[J]. Acta Optica Sinica (光学学报), 2000, 20(9): 1251-1254. (in Chinese)
- [11] WANG Tian-shu, GUO Yi-bin, LI Jun, et al. Investigation of high SNR tunable ring Er^{3+} -doped fiber laser[J]. Laser Journal (激光杂志), 2003, 24(6): 25-26. (in Chinese)

作者简介:

王天枢 (1976 -) 男, 长春市人, 博士研究生, 主要从事光纤激光器的研究。