

引用格式: ZHANG Huade, GAO Xilun, SHEN Yonghang. 1 570 nm and 1 548 nm Dual-wavelength Single-frequency Er-doped Fiber Laser[J]. Acta Photonica Sinica, 2023, 52(2):0214002

张华得,高曦伦,沈永行. 1 570 nm 和 1 548 nm 双波长单频掺铒光纤激光器[J]. 光子学报, 2023, 52(2):0214002

1 570 nm 和 1 548 nm 双波长单频掺铒光纤激光器

张华得^{1,2}, 高曦伦^{1,2}, 沈永行^{1,2}

(1 浙江大学 光电科学与工程学院, 杭州 310027)

(2 现代光学仪器国家重点实验室, 杭州 310027)

摘要:针对高精度相干激光探测需求,提出了一种基于环形腔结构的双波长单频输出掺铒光纤激光器。该激光器使用未泵浦的掺铒光纤作为可饱和吸收体,结合标准具结构的光纤法布里-珀罗滤波器和光纤布拉格光栅,实现 1 570 nm 和 1 548 nm 附近的双波长单频激光输出,其中心波长分别为 1 569.97 nm 和 1 548.06 nm,光信噪比分别达到 58 dB 和 55 dB。通过在 100 min 内对输出激光光谱和功率的连续数据采集,得到输出功率波动分别为 0.01 dB 和 0.02 dB,且光谱仪上始终未见输出激光光谱中心波长变化,表明输出激光具有良好的工作稳定性。采用延时非零自外差法测量了输出激光的线宽,测得 1 570 nm 处激光线宽约为 230.2 Hz,1 548 nm 处线宽约为 223.6 Hz。

关键词:激光器;环形腔;双波长;单频;法布里-珀罗滤波器;可饱和吸收体

中图分类号: TN958.98

文献标识码: A

doi:10.3788/gzxb20235202.0214002

0 引言

单频光纤激光器和多波长光纤激光器是光纤激光器的两个重要研究方向,多波长的单频光纤激光器因能同时实现多个不同波长的单频激光输出,具有重要的应用前景。这类激光器输出的激光具有很好的单色性,从而拥有相干长度长、噪声系数低等优势,使其在光纤通信、光纤传感、激光雷达、高精度激光测量等领域应用潜力大^[1-3]。根据谐振腔结构的不同,实现单频激光输出的主要方法包括分布反馈(Distributed Feedback,DFB)腔^[4]、分布布拉格(Distributed Bragg Reflection,DBR)腔^[5]和环形腔^[6]。DFB腔和DBR腔都是线性腔,利用超短的腔长得到超宽的纵模间隔,从而实现单频激光输出。线性短腔存在空间烧孔效应,且不易通过插入其他光学器件来改善输出光的性能。采用行波腔结构的环形腔可以避免空间烧孔效应的产生,且较长的腔长使得可以采用较长的增益光纤,从而有效提高激光输出功率。目前环形腔常用的线宽压缩技术有特殊滤波器法^[7]、复合腔法^[8]和可饱和吸收体(Saturable Absorber,SA)法^[9]。其中特殊滤波器价格昂贵,而复合腔法则需要通过游标效应来精细设计主腔和各个子腔的长度,很容易受到温度和振动等干扰,使得输出的单频激光较不稳定。相对而言,采用饱和吸收体的环形腔结构工作较为灵活,但容易产生弛豫振荡。因为环形腔结构可输出不同波长的激光,结构紧凑且成本低,是多波长激光雷达和激光传感的理想选择,在太赫兹、微波光子学等领域也有广阔的前景^[10-12]。如以多波长单频光纤激光器作为探测光源,测距精度可达纳米级别,并能实现更宽范围的激光探测需求^[13]。近年来,基于环形腔的多波长单频光纤激光器引起了国内外学者的广泛研究。

2008年,PAN S等利用一个光纤法布里-珀罗(Fiber Fabry-Perot,FFP)滤波器结合环形腔实现了波长间隔为 0.3 nm 的双波长单频光纤激光输出^[14]。2014年,ZHU L等利用两个光纤布拉格光栅(Fiber Bragg Grating,FBG)串联滤波,并利用未泵浦的增益光纤作为可饱和吸收体和增益均衡效应实现了 1 540 nm 和

基金项目:国家自然科学基金(No. 62075190)

第一作者:张华得, zhd22030015@zju.edu.cn

通讯作者:沈永行, physyh@zju.edu.cn

收稿日期:2022-09-15;录用日期:2022-10-11

<http://www.photon.ac.cn>

1 545 nm 的双波长单频激光输出^[15]。2016年,ZHU T等利用FBG作为滤波器件,通过在腔中加入一段锥形光纤,得到1 530 nm和1 550 nm两个波长处的单频激光输出,线宽约为700 Hz^[16]。2018年,LIU J等采用FBG作为波长选择元件,多层黑磷薄片作为SA,得到了波长间距为0.8 nm的双波长单频激光输出^[17]。2021年,WEN Q等利用MXene QDs作为SA,相移光纤布拉格光栅(Phase-Shifted FBG, PS-FBG)结合FBG作为波长选择元件,最终得到了线宽分别为473.5 Hz和531 Hz的双频激光输出^[18]。此类研究大多采用特殊的昂贵光纤器件或材料,往往导致较高的实验成本;或是依赖于精细的偏振控制和增益均衡控制,其复杂的调节控制过程使得激光器的应用受到限制。

针对上述不足,本文报道了一种环形腔结构双波长单频掺铒光纤激光器,在不引入偏振控制和不使用特殊偏振器件的前提下,利用标准具结构的FFP滤波器结合FBG来实现激光腔的高稳定波长选择,并利用未泵浦掺铒光纤作为SA,通过SA中自组织光栅的窄带滤波特性实现单频激光输出。

1 实验装置及原理

图1为双波长单频光纤激光器原理结构。激光谐振腔中,两个半导体激光器(Laser Diode, LD)作为谐振腔的泵浦源,通过980/1550波分复用器(Wavelength Division Multiplexer, WDM)的980端口进入谐振腔内,通过反向泵浦的方式注入作为增益介质的两段掺铒光纤(Erbium-doped Fiber, EDF)中,其中EDF1的长度为10 m, EDF2的长度为8 m。两个子腔中产生的激光通过光纤环行器(Optical Circulator, OC)实现了互不干扰。由于环行器的反向隔离度(如3端口的光传输到2端口的损耗)大于40 dB,可以有效保证两个波长的激光在腔内的单向传输。两个耦合比为50/50的光纤耦合器(Optical Coupler)用于激光能量输出。

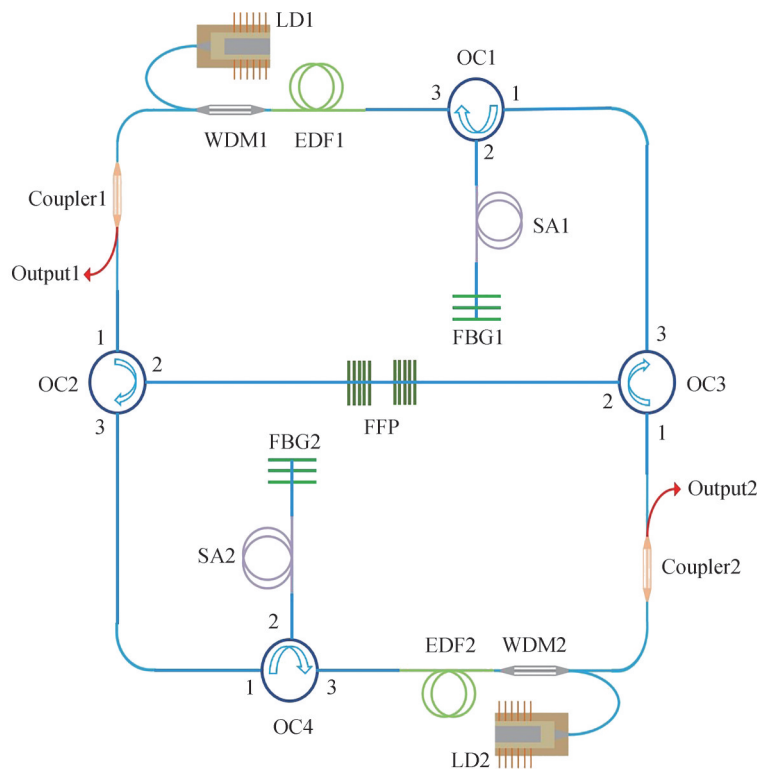


图1 双波长单频光纤激光器原理结构

Fig.1 Experimental setup of the dual-wavelength single-frequency fiber laser

实验采用FBG结合标准具结构FFP滤波器的方式进行波长选择和初步的波长稳定。其中FBG1的测试中心波长为1 570.23 nm,反射率为99.94%,3 dB带宽为0.46 nm,边模抑制比(Side-Mode Suppression Ratio, SMSR)为28 dB。FBG2的测试中心波长为1 548.53 nm,反射率为93.2%,3 dB带宽为0.25 nm, SMSR为19 dB。标准具结构FFP滤波器的梳状透射谱特性可以用自由光谱范围(Free Spectral Range, FSR)和半高全宽(Full-Width Half Maximum, FWHM)、精细度(Finesse, F)和插入损耗等参数来描述。

FFP的存在可以保证所产生的激光波长稳定在单个透射峰范围内,并且有效抑制跳模,实现波长的初步稳定。用较大FSR的FFP滤波器有利于结合FBG进行激光波长选择,较低的损耗则有利于降低激光器的阈值。因此,采用一个FSR为100 GHz的FFP,其最大插入损耗约为2.14 dB,单个透射峰的3 dB带宽约为0.056 nm。

用未泵浦的掺饵光纤作为可饱和吸收体来实现激光的单纵模输出。如图1所示,当产生的信号光通过环形器2端口进入未泵浦的掺饵光纤后,会被FBG反射,正反两个方向传播的光场会在这段光纤中产生驻波干涉,形成干涉光强的周期性分布,导致光纤中周期性的吸收系数变化,从而产生周期性的折射率分布,形成自追踪动态光栅。因为它表现为损耗(或增益)呈周期性变化的空间分布,通常又称为增益光栅。增益光栅不仅能实现纵模的有效选择,而且能有效抑制跳模,使光纤激光器获得稳定的单纵模输出^[19]。通过SA产生的自追踪动态光栅均具有窄带的滤波效应,有非常好的模式选择特性,能有效地消除多纵模振荡,是产生单纵模激光输出的一种有效方法。实验选用的SA1长度为8.9 m,在1570 nm处的吸收系数约为0.87 dB/m;SA2长度为5.5 m,在1550 nm处的吸收系数约为0.34 dB/m。

实验结构的单纵模选取过程为:在环形腔中先通过FBG和FFP进行波长的初步选择,FFP会有效抑制跳模,增加系统的稳定性。然后通过SA形成的自追踪动态光栅实现单纵模激光的输出。实验具体的单纵模选取过程原理如图2所示。以产生1548 nm处单频激光的谐振腔为例来说明。实验中此子腔的纵模间隔约为5 MHz,FBG的3 dB带宽约为31 GHz,FFP的3 dB带宽约为7 GHz。因为FFP的自由光谱范围100 GHz,大于FBG的3 dB带宽,从而可以有效保证只会在一个FFP透射峰中产生激光,防止跳模。最后通过SA的窄带滤波特性,只要SA形成的动态光栅的带宽小于腔纵模间隔,便可以选出单纵模,从而形成单频激光的输出。

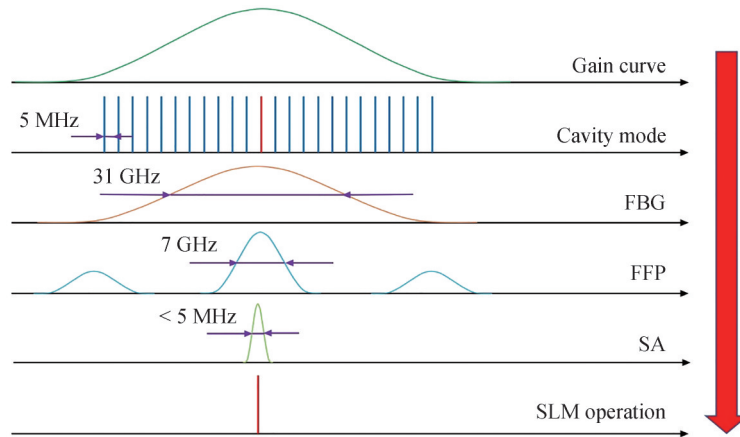


图2 单纵模选取原理示意图

Fig.1 Schematic of single longitudinal mode selection principle

最终能否形成单纵模运转,关键要看由未泵浦的掺饵光纤作为可饱和吸收体所形成的动态光栅的带宽能否小于谐振腔的纵模间隔。从定量角度分析,计算可饱和吸收体中所形成的动态光栅的带宽表达式为^[20]

$$\Delta f = \kappa_g \sqrt{\left(\frac{\Delta n}{2n_{\text{eff}}}\right)^2 + \left(\frac{\lambda}{2n_{\text{eff}}L_{\text{SA}}}\right)^2} \quad (1)$$

式中, Δn 为折射率的周期性空间变化; n_{eff} 为有效折射率; λ 为光栅中最大反射处中心波长; L_{SA} 为饱和吸收体长度; κ_g 为动态光栅的耦合系数,可表示为

$$\kappa_g = \frac{2\Delta n}{n_{\text{eff}}\lambda} \quad (2)$$

实验中 λ 约为1548 nm, n_{eff} 约为1.45, L_{SA} 约为5.5 m。经过估算得出实验中未泵浦的掺饵光纤作为可饱和吸收体形成的动态光栅带宽小于5 MHz,即小于谐振腔的纵模间隔,因此可以保证单纵模的选取。

2 实验结果与分析

2.1 输出激光的功率和光谱特性

实验中通过改变泵浦功率来测量激光输出端口的功率以分析输出激光的功率特性。图3(a)和(b)分别为实验测得的两个输出激光的工作阈值、斜效率曲线以及单频工作区域。其中散点是实际测量的数据,斜效率特性由拟合后的直线来表征。实验过程中泵浦功率从0 mW开始逐渐增加,当LD1的泵浦功率增加至58 mW,LD2的泵浦功率增加至138 mW时,可以从光谱上看见输出激光已经达到阈值并起振,得到中心波长分别为1569.97 nm和1548.06 nm的激光输出。此时两个输出激光的功率分别为4.2 mW和10.1 mW。由于掺饵光纤的增益谱特性,尽管不同纵模间存在增益竞争,但是随着泵浦功率的提高,增益能达到阈值的纵模数量会随之增加,此时由于增益过高,可能会使得通过SA后,除主模外的其余边模也会产生振荡,最终产生多纵模运转。所以在激光起振后,通过改变泵浦功率并观察输出激光的单频性能,得到输出激光的单频工作区域。在可以维持单频性能的前提下,实验得到的1570 nm和1548 nm处激光的输出功率范围分别为2.6~26.8 mW和1.9~5.7 mW。从图3可以看出1548 nm处的阈值点高于其最大单频工作点,因此在激光起振后,通过缓慢降低泵浦功率并实时监测其单频性得到了单频工作区域。而1570 nm处的阈值点处于其单频工作区域中,这一方面是由于在1548 nm和1570 nm处掺饵光纤的增益系数和吸收系数不同,另一方面是针对两个子腔使用了不同种类的增益光纤和未泵浦的掺饵光纤,使得两激光波长处的输出功率、斜效率和单频工作区域有一定差别。

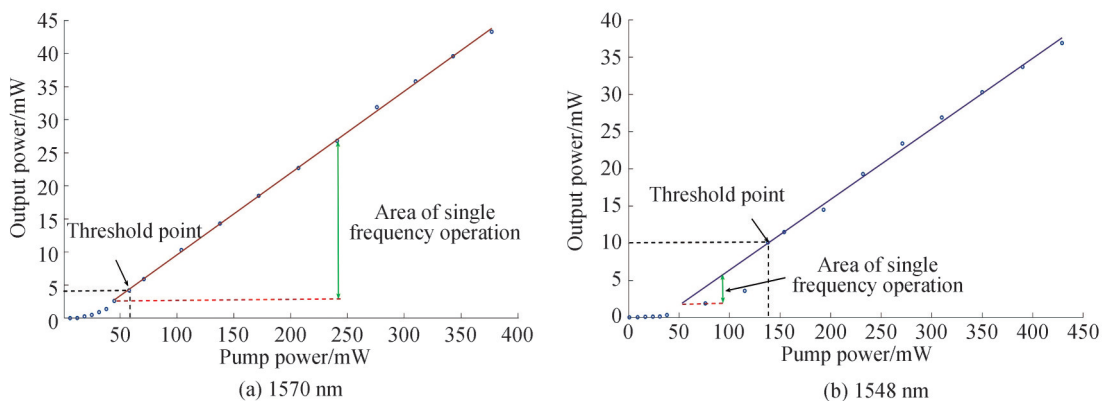


图3 输出激光的功率特性

Fig. 3 Power characteristic of output laser

实验中通过分辨率为0.01 nm的光谱分析仪(OSA, ANDO, AQ6317C)采集该激光器的输出光谱。图4(a)是LD1的泵浦功率为104 mW时1570 nm激光的输出光谱,图4(b)是LD2的泵浦功率为83 mW时

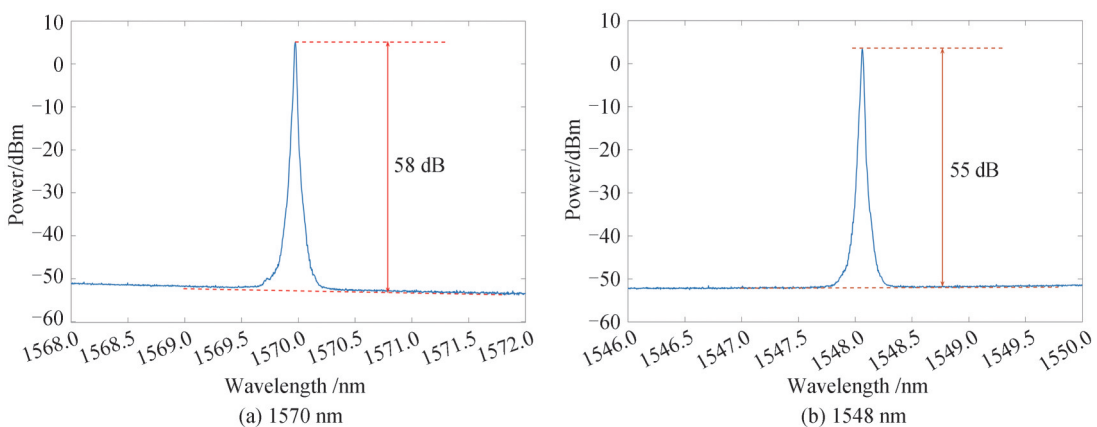


图4 激光器的输出光谱

Fig.4 Typical output spectrum of laser

1548 nm激光的输出光谱。从图4可以看出,输出激光的信噪比(Optical Signal to Noise Ratio, OSNR)分别为58 dBm和55 dBm,表明该激光器谐振腔具有较高的品质因数和良好的模式选择能力。

2.2 输出激光的稳定性

单频激光输出的稳定性包括波长稳定性和功率稳定性,是表征单频激光性能的重要指标。为了测量搭建的激光器输出单频激光的稳定性,实验中在打开激光器半小时后开始进行数据采集,每间隔10 min采集一次光谱并记录输出激光的功率。

图5(a)和(b)分别是1570 nm激光和1548 nm激光每间隔10 min采集的稳定光谱扫描图。连续10次扫描的光谱形状未见明显改变,中心波长未见明显飘移。因为光谱仪的分辨率为0.01 nm,而实验中连续采集10次光谱的中心波长都为1569.97 nm和1548.06 nm,可以表明输出的两个波长的单频激光都有良好的波长稳定性。图5(c)和(d)分别是104 mW泵浦功率下产生的1570 nm激光和83 mW泵浦功率下产生的1548 nm激光的输出激光功率波动图。可以看出,1570 nm激光的输出功率波动为0.01 dBm,1548 nm激光的输出功率波动为0.02 dBm,表明输出的两个波长的单频激光都有良好的功率稳定性,证明了所采用的双波长单频激光制作方法能很好地避免两个波长之间激光的互相干扰,输出激光有很好的工作稳定性。

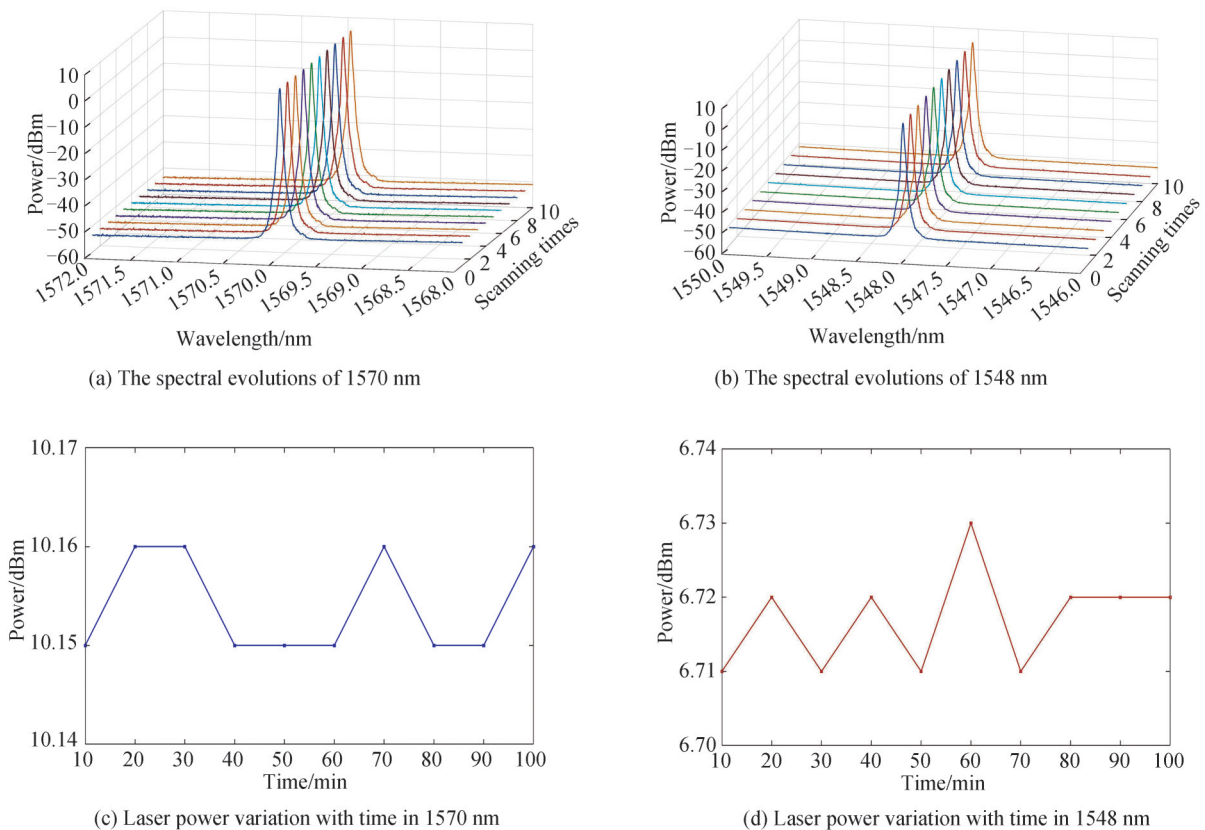


图5 光谱和输出功率随时间的变化

Fig.5 Spectral and output power variation with time

2.3 输出激光的线宽特性

输出激光的线宽是单频光纤激光器的一个重要性能表征参量。实验中采用基于马赫-曾德尔干涉仪的延时非零自外差法^[21]测量输出激光的线宽。实验中移频器件采用工作中心频率在100 MHz的光纤声光调制器(Acoustic Optical Modulator, AOM),延时光纤使用40 km的普通单模光纤,输出光通过该测量系统后通过频谱分析仪来观察拍频谱线。由于延时光纤长度有限,并且该测量系统对环境较敏感,所得的拍频谱线难以和洛伦兹线型完全拟合,但其对测量结果的影响不大,最终处理数据时仍然可以将拍频谱线近似成洛伦兹线型。

实验中当频谱仪设置的中心频率为100 MHz、扫描范围为200 MHz时,连续数十分钟内观察频谱图中除了中心频率外没有任何拍频信号存在,表明此时输出激光处于良好的单纵模运转状态,在此前提下采集

频谱仪显示的拍频谱线数据。图6(a)和(b)分别是104 mW泵浦功率产生的1570 nm激光和83 mW泵浦功率产生的1548 nm激光在通过延时非零自外差系统后测得的拍频谱线。通过各自的拍频谱线拟合成洛伦兹曲线来计算输出激光的线宽。输出激光的线宽大小可以由拟合的洛伦兹线型的-20 dB带宽得到。图6(a)和(b)的-20 dB带宽分别为4.58 kHz和4.45 kHz,因此可以得到输出的1570 nm激光的线宽约为230.2 Hz,1548 nm激光的线宽约为223.6 Hz。该线宽值表明输出的双波长激光有很好的激光单频特性。

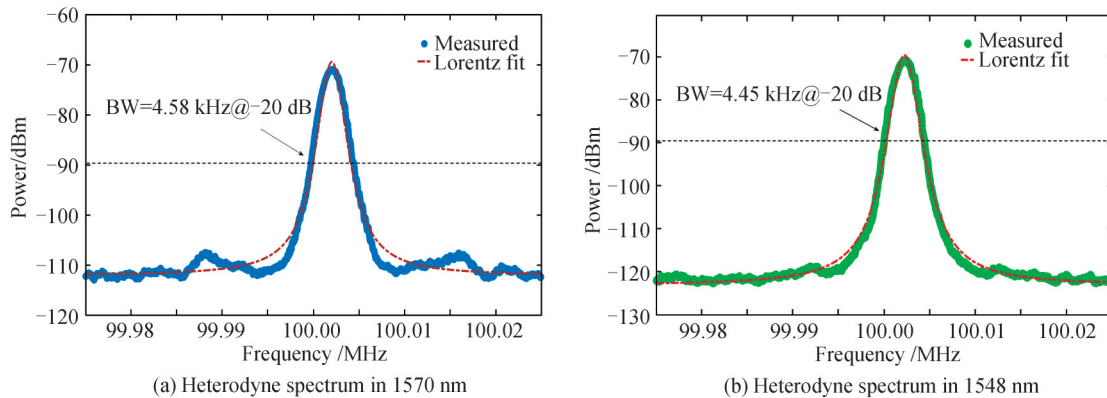


图6 输出激光的线宽特性
Fig.6 Linewidth characteristics of the output laser

3 结论

本文基于标准具结构的FFP滤波器结合FBG实现波长选择和初步稳定,进一步利用未泵浦掺铒光纤作为可饱和吸收体来实现两个波长处的稳定单纵模激光振荡。实验最终获得了1570 nm处和1548 nm处稳定的双波长单频激光输出。激光起振后,当泵浦功率分别调节至104 mW和83 mW时,在1570 nm和1548 nm处分别获得了输出功率为10.3 mW和4.7 mW、OSNR分别为58 dB和55 dB的单频激光输出。实验测得输出激光有良好的斜效率。由于在1570 nm和1548 nm处掺铒光纤的增益系数和吸收系数有显著差别,实验得到1570 nm和1548 nm激光输出的斜效率、阈值点和单频工作区域都有较为明显的差别。实验表明输出激光具有良好的波长稳定性和功率稳定性。采用延时非零自外差法测得1570 nm和1548 nm输出激光的线宽分别约为230.2 Hz和223.6 Hz,表明输出激光有良好的单频性能。该激光器采用偏振不敏感器件,不需要复杂的偏振控制,并且可以通过改变FBG灵活改变输出激光的波长,输出激光有较窄的线宽和良好的工作稳定性。

参考文献

- [1] YANG C, CEN X, XU S, et al. Research progress of single-frequency fiber laser [J]. Acta Optica Sinica, 2021, 41(1): 0114002.
杨昌盛, 岑旭, 徐善辉, 等. 单频光纤激光器研究进展 [J]. 光学学报, 2021, 41(1): 0114002.
- [2] LUO Y, HE Y, GAO M, et al. Fiber laser-based scanning lidar for space rendezvous and docking [J]. Applied Optics, 2015, 54(9): 2470-2476.
- [3] DUAN L C, ZHANG H W, SHI W, et al. High-resolution temperature sensor based on single-frequency ring fiber laser via optical heterodyne spectroscopy technology [J]. Sensors, 2018, 18(10): 3245.
- [4] LORANGER S, KARPOV V, SCHINN G W, et al. Single-frequency low-threshold linearly polarized DFB Raman fiber lasers [J]. Optics Letters, 2017, 42(19): 3864-3867.
- [5] HUANG J, SUN B, JIA J, et al. 1064 nm ultrashort cavity single-frequency distributed bragg reflector Yb-doped silica fiber laser [J]. Acta Photonica Sinica, 2017, 46(8): 0814003.
黄金, 孙博, 贾静, 等. 1064nm超短腔DBR单频掺镱硅酸盐光纤激光器[J]. 光子学报, 2017, 46(8): 0814003.
- [6] YE H C H, HUANG T J, YANG Z Q, et al. Stable single-longitudinal-mode erbium fiber ring laser utilizing self-injection and saturable absorber [J]. IEEE Photonics Journal, 2017, 9(6): 1-6.
- [7] YIN B, FENG S C, LIU Z B, et al. Tunable and switchable dual-wavelength single polarization narrow linewidth SLM erbium-doped fiber laser based on a PM-CMFBG filter [J]. Optics Express, 2014, 22(19): 22528-22533.
- [8] WANG Z, SHANG J, MU K, et al. Single-longitudinal-mode fiber laser with an ultra-narrow linewidth and extremely

- high stability obtained by utilizing a triple-ring passive subring resonator [J]. *Optics & Laser Technology*, 2020, 130: 106329.
- [9] LEE S H, YUN H G, LEE M H, et al. Single-longitudinal-mode fiber ring lasers with a saturation-level-controlled saturable absorber [J]. *Optics Communications*, 2013, 308: 15-19.
- [10] BRIESE C, PFENNIGBAUER M, ULLRICH A, et al. Multi-wavelength airborne laser scanning for archaeological prospection[C]. *Proceedings of the 24th International CIPA Symposium*, Strasbourg, France, 2013.
- [11] JEON M Y, KIM N, SHIN J, et al. Widely tunable dual-wavelength Er³⁺-doped fiber laser for tunable continuous-wave terahertz radiation [J]. *Optics Express*, 2010, 18(12): 12291-12297.
- [12] SALVADE Y, SCHUHLER N, LEVEQUE S, et al. High-accuracy absolute distance measurement using frequency comb referenced multiwavelength source [J]. *Applied Optics*, 2008, 47(14): 2715-2720.
- [13] ZHOU S Y, XIONG S L, ZHU Z B, et al. Simplified phase-stable dual-comb interferometer for short dynamic range distance measurement [J]. *Optics Express*, 2019, 27(16): 22868-22876.
- [14] PAN S L, ZHAO X F, LOU C Y. Switchable single-longitudinal-mode dual-wavelength erbium-doped fiber ring laser incorporating a semiconductor optical amplifier [J]. *Optics Letters*, 2008, 33(8): 764-766.
- [15] ZHU L Q, HE W, ZHANG Y M, et al. Tunable dual-wavelength ring fiber laser with stable output based on saturable absorber and thin core passive fiber [J]. *Optical Fiber Technology*, 2014, 20(5): 487-490.
- [16] ZHU T, ZHANG B M, SHI L L, et al. Tunable dual-wavelength fiber laser with ultra-narrow linewidth based on Rayleigh backscattering [J]. *Optics Express*, 2016, 24(2): 1324-1330.
- [17] LIU J M, CHEN Y, LI Y, et al. Switchable dual-wavelength Q-switched fiber laser using multilayer black phosphorus as a saturable absorber [J]. *Photonics Research*, 2018, 6(3): 198-203.
- [18] QIAO W, FENG Z. 100MHz frequency-spacing switchable single-dual-frequency laser based on MXene QDs and a phase-shifted FBG [J]. *Optics Express*, 2021, 29(26): 43679-43686.
- [19] KANG M S, LEE M S, YONG J C, et al. Characterization of wavelength-tunable single-frequency fiber laser employing acoustooptic tunable filter [J]. *Journal of Lightwave Technology*, 2006, 24(4): 1812-1823.
- [20] ZHANG K, KANG J U. C-band wavelength-swept single-longitudinal-mode erbium-doped fiber ring laser [J]. *Optics Express*, 2008, 16(18): 14173-14179.
- [21] CUI M B, HUANG J G, YANG X L. Review on methods for laser linewidth measurement [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2021, 58(9): 0900005.
- 崔明斌, 黄俊刚, 杨修伦. 激光线宽测量方法的研究综述[J]. *激光与光电子学进展*, 2021, 58(9): 0900005.

1 570 nm and 1 548 nm Dual-wavelength Single-frequency Er-doped Fiber Laser

ZHANG Huade^{1,2}, GAO Xilun^{1,2}, SHEN Yonghang^{1,2}

(1 College of Optical Science and Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

(2 State Key Laboratory of Modern Optical Instrumentation, Hangzhou 310027, China)

Abstract: This paper studies a dual-wavelength single-frequency Er-doped fiber laser based on ring cavity, the output wavelengths are 1 570 nm and 1 548 nm. The laser combines Fabry-Perot (FP) filter and Fiber Bragg Grating (FBG) to achieve wavelength selection and preliminary stabilization. And two unpumped Er-doped fibers act as saturable absorbers to realize linewidth narrowing effect. The Laser Diode (LD) used has a maximum drive current of 700 mA, which corresponds to a maximum pumping power of 450 mW and 500 mW. When the pump power of LD1 is up to 58 mW and the diver current of LD2 is up to 138 mW, the fiber laser gets dual-wavelength output. The output power of the 1 570 nm and 1 548 nm laser generated at this time are 4.2 mW and 10.1 mW respectively. Then the pump power of LD1 and LD2 are adjusted to 104 mW and 83 mW respectively, and the output laser characteristics were studied under this condition. The output power in 1 570 nm is 10.3 mW, and the Optical Signal to Noise Ratio (OSNR) is 58 dB. The output power in 1 548 nm is 4.7 mW, and the OSNR is 55 dB. It shows that the output laser has a relatively high-quality factor and high slope efficiency. Then the stability of the output laser is studied. In order to measure the stability of the output laser of the dual-wavelength single-frequency laser, data collection is started half an hour after the laser is turned on in the experiment. Every 10 min, the spectrum is collected and the output power is recorded. The power fluctuations of the laser output in

1 570 nm and 1 548 nm are 0.01 dBm and 0.02 dBm, respectively, and the wavelength drifts of the output laser are both less than 0.01 nm. The result shows that the fiber laser can avoid the mutual interference between the two wavelengths. The output laser has good power stability and wavelength stability. The laser linewidth is the parameter of most concern for a single-frequency fiber laser. In this experiment, the linewidths of the output laser are measured by the delay non-zero self-heterodyne method based on the Mach-Zehnder interferometer and fitted with the Lorentz curve. And it can be calculated from the -20 dB bandwidth of the Lorentz curve. The linewidths of output laser in 1 570 nm and 1 548 nm measured are about 230.2 Hz and 223.6 Hz. The narrow linewidth indicates that the output laser has good single-frequency performance, and it is also an important basis for the wide application of this laser. In this study, the idea of multiplexing Fiber Fabry-Perot (FFP) filter is proposed, and the two sub-cavities do not interfere with each other by introducing circulator at both ends of FFP. It also does not introduce any expensive polarization devices, and does not need to use a polarization controller to control the polarization state of the light in the cavity. So it greatly reduces the difficulty of experimental operation and cost of the experiment. The fiber laser has a simple structure, good stability and the output laser has a narrow linewidth. It provides a technical method for realizing dual-wavelength single-frequency laser output, and it can also be used as a seed light source in high precision measurement field.

Key words: Laser; Ring cavity; Dual-wavelength; Single-frequency; Fabry-Perot filter; Saturable absorber

OCIS Codes: 140.3510; 140.3500; 140.3570; 140.3560; 120.2230