

波长间隔为 20 GHz 的多波长布里渊光纤激光器

周雪芳, 胡孔文, 魏一振

(杭州电子科技大学通信工程学院, 浙江 杭州 310018)

摘要:设计了一种基于环形腔的双倍布里渊频移间隔的可调谐光纤激光器实验装置。该实验装置由一个 3 dB 耦合器、一台可调谐激光源(TLS)、一台 980 nm 泵浦和一个实现双倍布里渊频移环形腔构成。该结构耦合输出偶数阶 Stokes 光,从而实现间隔约为 20 GHz 或 0.16 nm 的多波长输出。并研究了 980 nm 泵浦光和 BP 光功率对输出偶数阶 Stokes 光波数的影响。当 980 nm 泵浦功率固定为 26 dBm(400 mW),BP 功率为 10 dBm 时,获得了间隔为 0.16 nm 的 11 个稳定激光输出以及 36 nm(1530 ~ 1566 nm)的可调谐范围。

关键词:光纤激光器;环形腔;双倍布里渊频移;可调谐

中图分类号:TN248 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2016.08.011

Multi-wavelength Brillouin fiber laser with wavelength spacing of 20 GHz

ZHOU Xue-fang, HU Kong-wen, WEI Yi-zhen

(College of Communication engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: A tunable multi-wavelength Brillouin fiber laser with double Brillouin frequency spacing based on ring cavity is demonstrated. The Brillouin fiber laser consists of a 3 dB-coupler, a tunable laser(TLS), a 980 nm pump laser diode, and a ring cavity to generate double-Brillouin frequency spacing. The multi-wavelength optical signal with about 20 GHz or 0.16 nm frequency spacing is achieved by removing the even-order Stokes lines. The effects of BP optical power and 980 nm pump power on the number of Stokes are studied. The power of 980 nm pump laser and BP are fixed at 26 dBm (400 mW) and 10 dBm, 11 stable output channels with 0.16 nm spacing and the tuning range from 1530 nm to 1566 nm are obtained.

Key words: fiber laser; ring cavity; double Brillouin frequency spacing; tuning range

1 引言

多波长光纤激光器由于成本低、插入损耗低、多波长输出、光束质量好等特点,被广泛应用于波分复用系统、光子微波生成^[1-3]等领域。其中,基于受激布里渊散射(SBS)效应的多波长掺布里渊光纤激光器(BEFL),结合了铷离子增益与非线性布里渊增

益,利用级联的SBS效应产生多波长输出。相比于其他光纤激光器,它具有阈值低、窄线宽、输出波长间隔稳定等优点^[4-6],然而它的主要缺点是由于掺铷光纤的均匀展宽效应带来的模式竞争限制了输出的稳定性以及可调谐范围。

近年来,已提出了各种不同的多波长布里渊光

基金项目:浙江省科技厅公益性项目(No. 2013C31094)资助。

作者简介:周雪芳(1976-),女,硕士,副教授,现主要从事光纤激光器和光纤传感技术的研究。E-mail:zhouxf@hdu.edu.cn

收稿日期:2015-11-24;**修订日期:**2015-12-09

纤激光器结构。例如线性腔结构^[7]、环形腔结构^[8]、双向反馈结构^[9]和“8字型”^[1,10]结构等都有报道,也有通过引入拉曼放大^[7,11]、Sagnac环^[12]来获得多波长输出的结构。

本文利用双倍频环形腔,由 2×2 的3dB耦合器实现BP信号源的输入,980 nm泵浦和6 m的掺铒光纤提供放大,获得了11个稳定输出、波长间隔为0.16 nm的BEFL。

2 实验结构和工作原理

双倍布里渊频移多波长光纤激光器结构如图1所示。该结构由掺铒光纤放大器(由980 nm泵浦、一段6 m的掺铒光纤、980/1550波分复用器构成)、双倍频环形腔(由两个三端口环形器、固定放大倍数的放大器和25 km的单模光纤构成)和一个 2×2 的3 dB耦合器(用于激光的输入和输出)组成。实验中所使用的可调谐激光源(TLS),其调谐范围为110 nm(1470 ~ 1580 nm);输出端光谱仪(OSA, AQ6370B)的最大分辨率为0.002 nm。

该激光器的工作原理如下:BP(TLS)信号源被3 dB耦合器被分成两部分,50%光功率直接输出到频谱分析仪(OSA),另50%光输入到大循环,再经过980 nm泵浦放大,由环形器Cir1的1、2端口顺时针进入双倍频环形腔,单模光纤(SMF)提供布里渊增益。当输入功率大于布里渊阈值时,双倍频环形腔内产生逆时针的一阶Stokes光,逆时针的Stokes光再经过两个环形器之间的放大器放大,并在双倍频腔内循环;随着逆时针的一阶Stokes光功率增大,逐渐激发二阶Stokes光,并经过环形器Cir2的2、3端口输出。最后经3 dB耦合器,一半光功率输出到光谱仪,另一半的光功率作为下一次循环的BP进入循环,产生更高阶次的Stokes光输出。

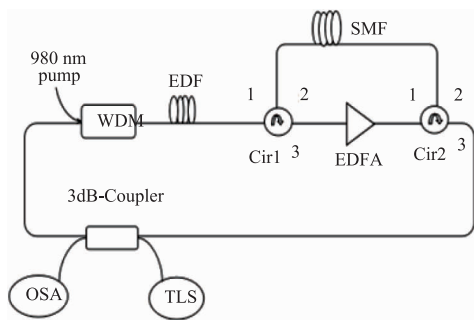


图1 双倍布里渊频移多波长光纤激光器结构

Fig. 1 Experimental setup of double Brillouin frequency shift multi-wavelength fiber laser

3 结果与讨论

图2是调节980 nm泵浦功率对输出偶数阶

Stokes个数的影响。当BP功率固定为1.0 dBm,波长固定为1550 nm的情况下,980 nm泵浦功率的不断增加使得EDFA的增益不断增加,激发的Stokes光个数也随之增加。

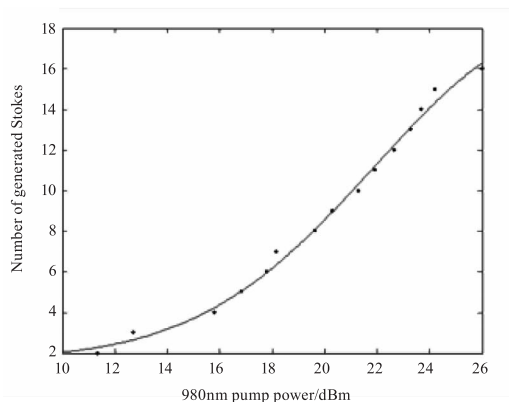


图2 BP功率为1.0 dBm时,980 nm泵浦光功率与偶数阶Stokes光子个数的关系

Fig. 2 the relation between the number of even-order Stokes and 980 nm pump power at BP power of 1.0 dBm

将980 nm泵浦功率固定为26 dBm(400 mW), BP(TLS)波长设为1550 nm,改变输入BP的光功率,观察输出偶数阶Stokes波个数,其变化趋势如图3所示。

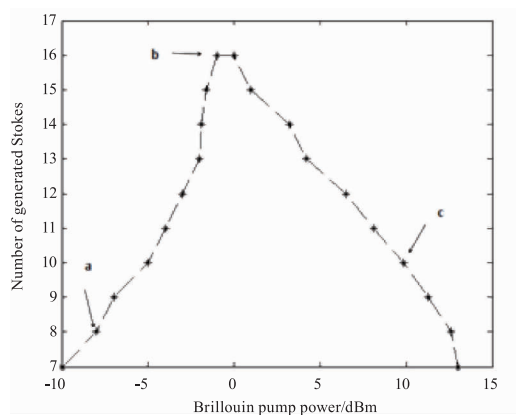


图3 980 nm泵浦功率为26 dBm时,偶数阶Stokes光子个数与BP功率的关系

Fig. 3 The relation between the number of even-order Stokes and BP power, at 980 pump power of 26 dBm

图4中的3个输出图谱对应于图3的a、b、c三点。图4(a)为BP功率等于-8 dBm时对应的输出图谱,输出8个波间隔为0.16 nm的波,自由纵模影响较大;图4(b)为BP功率为-1 dBm时对应的输出图谱,达到最大输出波个数为17个,增大的BP功率使得自由纵模受到有效的抑制;图4(c)继续增大BP功率到10 dBm,得到11个间隔为0.16 nm的稳定输出波,自由纵模完全受

抑制,并产生反 Stokes 光,而输出 Stokes 波个数的减少是由于产生的反 Stokes 光消耗了部分 BP 光功率和 EDFA 增益。

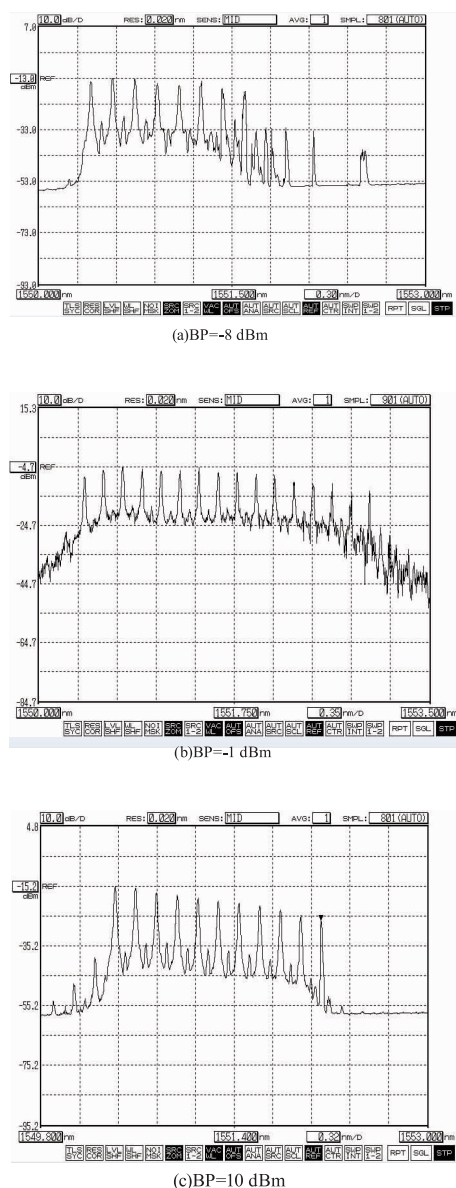


图4 980 nm 泵浦功率为 26 dBm,不同 BP 功率的输出图谱

Fig. 4 Output Spectrum of some selected BP power at 980 nm pump power of 26 dBm

图 5 为固定 980 nm 泵浦功率为 26 dBm,可调谐光源(TLS)波长为 1550 nm、功率为 10 dBm 情况下得到的可调谐范围。从图中可以得到 36 nm 的可调谐范围(1530 ~ 1566 nm)。在多波长布里渊光纤激光器的结构中,EDFA 的增益范围限制了输出光的可调谐范围,当 BP 信号的波长不在 EDFA 放大区域内时,对应的 Stokes 光功率就得不到充分的放大,从而达不到布里渊阈值,就生成不了更高阶的 Stokes 光。

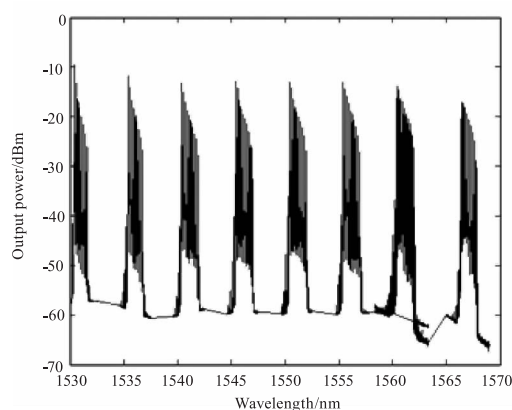


图5 980 nm 泵浦功率固定为 26 dBm, BP 功率为 10 dBm 情况下的可调谐范围

Fig. 5 Tunable range of the proposed BEFL at BP power of 10 dBm and 980 nm pump power of 26 dBm

激光输出的稳定性也是激光器的一个重要特征。实验中,将可调光源(TLS)波长固定为 1550 nm、功率设定为 10 dBm,980 nm 泵浦功率调节为 26 dBm,在总时间跨度为 30 min 内,每 3 min 扫描一次,测量激光器的 11 个输出波的稳定性。实验结果如图 6 所示。除最后一阶 Stokes 光波动较大外(4.5 dBm),其他输出光束表现出不错的稳定性,最大波动范围为 1.6 dBm。这种输出特性的原因是:低阶的 Stokes 达到了增益饱和,从而表现出较小的波动;而高阶的 Stokes 容易受到不稳定的 BP 功率影响,从而表现出较大的波动。

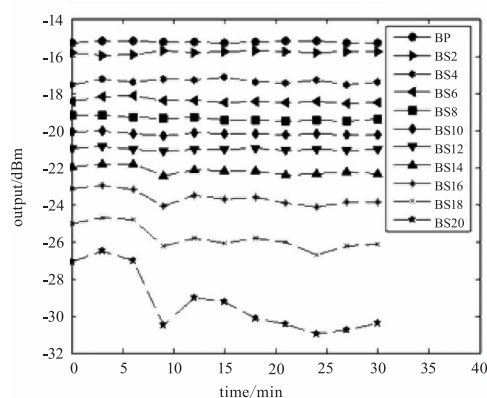


图6 BP 波长为 1550 nm、功率为 10 dBm, 980 nm 泵浦功率为 26 dBm 情况下输出的稳定性
Fig. 6 Stability of the output channels at BP wavelength of 1550 nm and BP power of 10 dBm and 980 nm power of 26 dBm

4 结论

利用由两个三端口环形器、固定放大倍数的放大器 and 25 km 的单模光纤构成的双倍频环形腔,使得产生的奇数阶 Stokes 光得到充分放大。然后通过增大 BP 功率的情况下,抑制了腔内的自由纵模,获

得了稳定的双倍布里渊频移的多波长输出。实验中,分别研究了BP功率和980 nm泵浦功率对输出偶数阶Stokes波个数的影响。当BP功率调节为10 dBm,980 nm泵浦功率调为26 dBm时,得到了11个间隔为0.16 nm的稳定多波长激光输出,对应的可调谐范围为36 nm(1530~1566 nm)。另外提出这样的假想:若是将本文中25 km的单模光纤(SMF)用高非线性光纤(HNLF)替换掉,引入四波混频效应,则输出光的稳定性以及波的个数会得到较高的提升。

参考文献:

- [1] ZHANG Peng, WANG Tianshu, JIA Qingsong, et al. The generation of tunable high-frequency microwave based on a double-Brillouin-frequency multi-wavelength fiber laser of 8-shaped structure [J]. Chinese J. lasers, 2014, 41(12):1202006-1-1202006-5. (in Chinese)
张鹏,王天枢,贾青松,等.基于8字型结构布里渊多波长光纤激光器的可调谐高频微波产生[J].中国激光,2014,41(12):1202006-1-1202006-5.
- [2] J Liu, L Zhan, P Xiao, et al. Generation of step-tunable microwave signal using a multiwavelength Brillouin fiber laser [J]. IEEE Photon. Technol. Lett., 2013, 25: 220-223.
- [3] SHEN Ying, WANG Rong, PU Tao. The generation of high-frequency microwave based on high-order stimulated Brillouin scattering[J]. Acta Optica Sinica, 2010, 30(6): 1571-1575. (in Chinese)
沈颖,王荣,蒲涛.基于高阶受激布里渊散射的高频微波信号产生技术[J].光学学报,2010,30(6): 1571-1575.
- [4] Zhao J F, Liao T Q, Zhang C, et al. Double Brillouin frequency spaced multiwavelength Brillouin-erbium fiber laser with 50nm tuning range [J]. Laser Phys, 2012, 22(9):1415-1418.
- [5] ZHAN Hongwei, WANG Xiaoling, YANG Chunbo, et al. 4.5W all-fiber dual-wavelength narrow linewidth laser based stimulated Brillouin scattering [J]. Chinese J. lasers, 2010, 37(10):2477-2481. (in Chinese)
湛鸿伟,王小林,杨春波,等.基于受激布里渊散射效应的4.5W全光纤窄线宽双波长激光器[J].中国激光,2010,37(10):2477-2481.
- [6] TANG Jianguan, SUN Junqiang, ZHAO Liang. Tunable multiwavelength generation based on billouin-erbium comb fiber laser assisted by multiple four-wave mixing process [J]. Optics Express, 2011, 19(15): 14682-14689.
- [7] G Mamdoohi, A R Sarmani, A F Abas, et al. 20GHz spacing multi-wavelength generation of Brillouin-Raman fiber laser in a hybrid linear cavity [J]. Optics Express, 2013, 21(16):18724-18732.
- [8] Mohammed Hayder Al-Mansoori, Mohd Adzir Mahdi. Multiwavelength L-Band Brillouin-Erbium Comb fiber laser utilizing nonlinear amplifying loop mirror [J]. IEEE, 2009, 27(22):5038-5043.
- [9] MIAO Xuefeng, WANG Tianshu, ZHOU Xuefang, et al. A tunable multi-wavelength Brillouin-erbium fiber laser [J]. Chinese J. Lasers, 2012, 39(6):0602010-1-0602010-4. (in Chinese)
缪雪峰,王天枢,周雪芳,等.一种可调谐的多波长布里渊掺铒光纤激光器[J].中国激光,2012,39(6):0602010-1-0602010-4.
- [10] CHAO Hua, JI Zhihua, ZHAO Junfa, et al. Widely tunable multi-wavelength brillouin fiber laser with double Brillouin frequency spacings [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2013, 24(10):1868-1872. (in Chinese)
曹晔,冀志华,赵军发,等.宽带可调谐双频移多波长布里渊光纤激光器[J].光电子·激光,2013,24(10):1868-1872.
- [11] A K Abass, M H Al-Mansoori, et al. Enhancing performance of multiwavelength Brillouin-Raman fiber laser by capturing residual pump power [J]. Opt., 2014, 53(23): 5187-5192.
- [12] YUAN Shan, WANG Tianshu, MIAO Xuefeng, et al. A multi-wavelength Brillouin erbium-doped fiber laser based on tunable fiber loop mirror filter [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2013, 24(5):874-877. (in Chinese)
袁珊,王天枢,缪雪峰,等.基于可调谐光纤环形镜滤波器的多波长布里渊掺铒光纤激光器[J].光电子·激光,2013,24(5):874-877.