

# 一种可调谐的多波长布里渊掺铒光纤激光器

缪雪峰<sup>1</sup> 王天枢<sup>1,2</sup> 周雪芳<sup>1</sup> 袁珊<sup>1</sup> 江璐彤<sup>1</sup> 孙玲玲<sup>2</sup>

<sup>1</sup>杭州电子科技大学通信工程学院, 浙江 杭州 310018  
<sup>2</sup>杭州电子科技大学教育部射频电路与系统重点实验室, 浙江 杭州 310018

**摘要** 提出了一种可调谐多波长布里渊掺铒光纤激光器结构。利用由光环行器构成的光纤环形镜和环形腔, 形成双向反馈结构, 可以有效降低布里渊阈值。该激光器实现了在 1513~1578 nm 之间超过 65 nm 范围可调谐的激光输出。当布里渊抽运功率为 15 dBm(32 mW), 980 nm 抽运功率为 23 dBm(200 mW) 时获得了波长间隔为 0.08 nm 的 11 个波长的激光输出。

**关键词** 激光器; 多波长; 受激布里渊散射; 掺铒光纤放大器

**中图分类号** TN253 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201239.0602010

## A Tunable Multiwavelength Brillouin-Erbium Fiber Laser

Miao Xuefeng<sup>1</sup> Wang Tianshu<sup>1,2</sup> Zhou Xuefang<sup>1</sup> Yuan Shan<sup>1</sup>  
Jiang Lutong<sup>1</sup> Sun Lingling<sup>2</sup>

<sup>1</sup>College of Communication Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou, Zhejiang 310018, China

<sup>2</sup>Key Laboratory of Radio Frequency Circuits and System of Ministry of Education, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou, Zhejiang 310018, China

**Abstract** A tunable multiwavelength Brillouin-erbium fiber laser is demonstrated. With the mirror constructed by the optical circulator and the ring-cavity, a bidirectional feedback structure is constituted to reduce the Brillouin threshold. This fiber laser provides a tuning range of 65 nm from 1513 nm to 1578 nm. At the Brillouin pump power of 15 dBm (32 mW) and the 980 nm pump power of 23 dBm (200 mW), 11 output channels with 0.08 nm channel spacing are achieved.

**Key words** lasers; multiwavelength; stimulated Brillouin scattering; erbium-doped fiber amplifier

**OCIS codes** 060.4370; 290.5900; 190.4370; 060.2410

## 1 引言

多波长光纤激光器因其自身的独特优点, 如多波长激光输出、结构紧凑、成本低、光束质量好、插入损耗低等, 在波分复用(WDM)光网络<sup>[1]</sup>、光纤传感<sup>[2,3]</sup>、光测试仪器以及光子微波技术<sup>[4,5]</sup>等领域具有巨大的潜力, 近几年备受研究者的关注。多波长光纤激光器的实现方案包括利用光纤光栅进行反馈和波长选择<sup>[6]</sup>, 利用滤波器机理(光栅波导路由器和梳状滤波器)<sup>[7,8]</sup>, 锁模原理<sup>[9]</sup>或非线性效应<sup>[10]</sup>实

现多波长输出。多波长布里渊掺铒光纤激光器利用受激布里渊散射(非线性效应)实现多波长输出, 相比于其他多波长激光器, 具有线宽窄、波长间隔稳定和结构简单等优点。

多波长布里渊光纤激光器的关键是实现斯托克斯光的级联, 这就要求低阶的斯托克斯信号能够重新回到非线性增益介质中, 作为布里渊抽运光(BP)来产生高阶的斯托克斯光。国外对布里渊光纤激光器的研究比较早, G. J. Cowle 等<sup>[11]</sup>早在 1996 年就

收稿日期: 2012-01-09; 收到修改稿日期: 2012-03-01

基金项目: 国家自然科学基金(60907020)资助课题。

作者简介: 缪雪峰(1987—), 男, 硕士研究生, 主要从事光纤激光器方面的研究。E-mail: miaoxuefan\_1@163.com

导师简介: 王天枢(1975—), 男, 副教授, 硕士生导师, 主要从事光纤激光器技术方面的研究。

E-mail: tianshuw@hdu.edu.cn(通信联系人)

使用倒S形的环形腔结构实现了内部级联式多波长的布里渊光纤激光器,并使用法布里-珀罗(F-P)腔实现了外部级联式。Abd-Rahman等<sup>[12]</sup>使用双腔形成斯托克斯信号的级联,实现了多波长布里渊光纤激光器。Al-Mansoori等<sup>[13]</sup>使用两个光纤环形镜,在线形腔下实现了斯托克斯信号的级联,得到了多波长布里渊信号输出。国内也有一些多波长布里渊光纤激光器的研究报道。赵军发等<sup>[14]</sup>设计了一种宽带可调谐多波长布里渊光纤激光器,获得了40 nm可调谐的多波长激光输出。湛鸿伟等<sup>[15]</sup>制作了一种基于布里渊散射效应的双波长激光器,获得了4.5 W的窄线宽双波长激光输出。

本文利用3 dB耦合器的两端连接单模光纤,另外两端分别连接由光环行器构成的光纤环形镜和通过光环行器连接的环形腔,形成双向反馈结构,实现了一种结构简单的环形腔可调谐多波长布里渊掺铒光纤激光器,可调谐范围超过65 nm。研究了掺铒光纤放大器(EDFA)抽运光功率和BP功率对多波长激光输出个数的影响以及该结构激光器的可调谐范围。

## 2 实验结构与工作原理

多波长布里渊光纤激光器的结构如图1所示。该环形腔激光器结构简单,腔中除了用作线性放大的掺铒光纤放大器(由一段长约8 m的掺铒光纤,一个波长为980 nm的半导体抽运激光器和一个980 nm/1550 nm波分复用器构成)和一段10 km用作布里渊增益介质的普通单模光纤(SMF)外,仅用了以下几个光学器件:两个环形器(将一个环形器的端口1与端口3相连构成光纤反射镜,将BP和斯托克斯光反射回布里渊增益腔;另一个环形器用

于确定环形腔的传输方向);一个2×2的3 dB耦合器(用作输入和输出激光的耦合);1个波分复用器(用于将BP耦合进环形腔);另外通过一个90/10的耦合器分出10%的激光作为输出。

该光纤激光器的工作原理如下:BP通过WDM耦合进环形腔,经过环形器进入3 dB耦合器,被分为两部分,端口3出射的50%的BP顺时针进入SMF,端口2出射的50%的BP经过EDFA放大后,由光环行器与光纤构成的光纤反射镜反射再次经过EDFA放大,然后被3 dB耦合器分为等功率两部分分别从端口1和端口4出射,端口4出射的光逆时针进入SMF,端口1出射的光从环形器端口3输出,由90/10的耦合器将光分为10%作为输出,90%的光回到主环形腔,通过环路再次进入布里渊增益腔。布里渊增益腔中无论顺时针和逆时针都有BP,当它的强度大于布里渊阈值时,由于受激布里渊散射(SBS)效应,会产生与BP方向相反的1阶斯托克斯光(BS),无论是顺时针还是逆时针方向的1阶BS信号都会有一部分留在副环形腔中再次经过SMF,另一部分通过反射镜或主环形腔再次反馈回布里渊增益腔,由此,3 dB耦合器和单模光纤构成的布里渊增益腔两侧都有抽运光和斯托克斯光的反馈,形成双向反馈。当1阶BS信号强度满足布里渊阈值条件时,它将作为BP信号激发2阶BS信号。低阶的BS信号激发高阶的BS信号,这一过程直到新产生的BS信号不满足布里渊阈值条件时终止,这样就能得到等间隔的多波长信号。通过反射镜将光信号重新反射回副环形腔的结构形成了受激布里渊散射的双向抽运,可以降低激光器的布里渊阈值,用光谱分析仪(OSA)在输出端观测多波长激光输出。

## 3 实验结果与讨论

按图1所示搭建实验装置。实验中使用可调谐激光器作为BP光源,该激光器具有110 nm(1470~1580 nm)的可调谐范围。当BP功率固定为15 dBm(32 mW),波长为1550.42 nm,980 nm抽运功率为23 dBm(200 mW)时,输出端观测到的光谱图如图2所示。图中第1阶斯托克斯光波长为1550.5 nm,可知布里渊频移为0.08 nm,随后的高阶斯托克斯光产生的频移也皆为0.08 nm。图中只观测到了第11阶斯托克斯光,而没有更高阶的斯托克斯光产生,这是由于第11阶斯托克斯光功率没有达到布里渊阈值,所以不能得到更高阶的斯托克斯光。

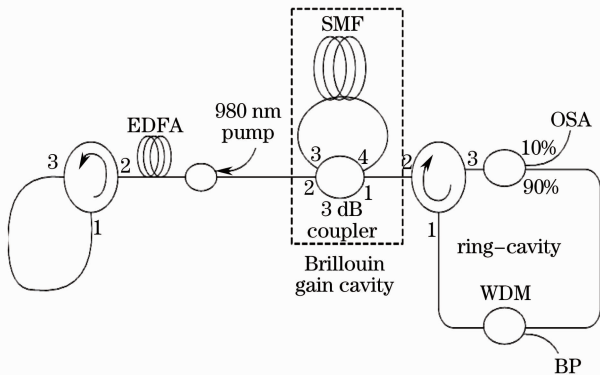


图1 多波长布里渊掺铒光纤激光器原理图  
Fig. 1 Configuration of multiwavelength Brillouin-erbium fiber laser

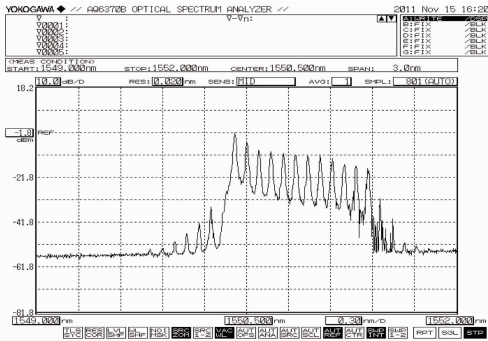


图 2 BP 功率为 15 dBm, 980 nm 抽运功率为 23 dBm 时的输出光谱

Fig. 2 Output spectrum at BP power of 15 dBm and 980 nm pump power of 23 dBm

实验中,通过改变 980 nm 抽运功率,观测多波长激光器的输出波长数与 980 nm 抽运光功率的关系。如图 3 所示,固定 BP 功率为 15 dBm(32 mW),波长为 1550.42 nm 的情况下,980 nm 抽运关闭,仍有 6 阶斯托克斯光输出,这是由于采用的双向反馈结构,使得生成的斯托克斯光对环路中光放大的需求很小,甚至在没有光放大的情况下也能实现多阶斯托克斯光的输出。输出的斯托克斯光波长数随着 980 nm 抽运光功率的增加而不断增加,这是由于抽运光功率的增加能提高环路中对新生成的斯托克斯光的增益,使其更容易达到布里渊阈值生成更高阶斯托克斯光。

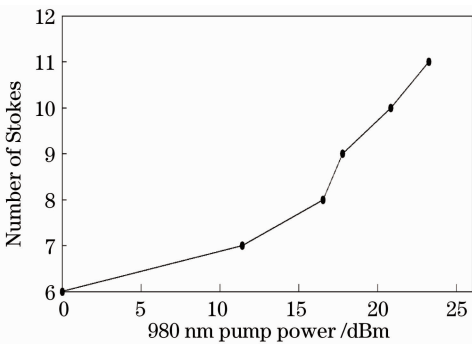


图 3 斯托克斯波个数与 980 nm 抽运光功率的关系  
Fig. 3 Relationship between the number of Stokes and 980 nm pump powers

由理论可知,BP 功率对多波长激光输出个数的影响也很大。实验中,固定 BP 波长 980 nm 抽运光功率,改变 BP 光功率,研究其对输出特性的影响。固定 BP 波长为 1550.42 nm,980 nm 抽运光功率为 15 mW 的情况下,测得的 BP 功率与输出斯托克斯波个数的关系如图 4 所示。从图中可以看出,在 EDFA 抽运光功率较小的情况下,输出的斯托克斯波个数随着 BP 功率的增大而增加。

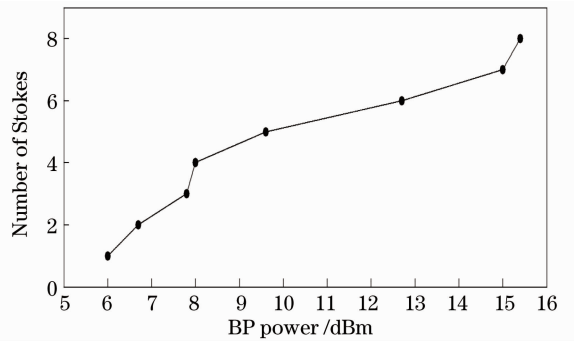


图 4 BP 光功率与输出斯托克斯波个数的关系  
Fig. 4 Relationship between the number of Stokes and Brillouin pump powers

实验中,通过调节可调谐光源的输出波长,即改变 BP 波长,研究双反馈结构的多波长布里渊激光器的可调谐范围。多波长布里渊激光器的可调谐范围主要限制因素为 EDFA 增益范围,当 BP 波长不在 EDFA 放大区域内的时候,BP 和斯托克斯光就不能获得足够的光功率放大,以致于达不到布里渊阈值,不能产生斯托克斯光,最终就不能实现多波长激光输出。如图 5 所示,当 980 nm 抽运光功率固定为 12 mW 的情况下,BP 波长在 1513~1578 nm 的范围内都能实现多波长激光输出,即该结构的可调谐范围达 65 nm,当 BP 波长在 1530~1570 nm 范围内时,输出的波长数最多,这也是由于 EDFA 在这个范围内的增益比较大。

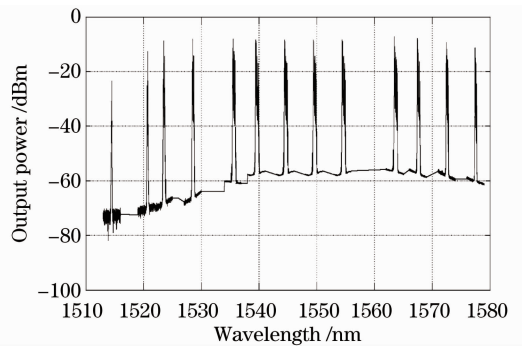


图 5 980 nm 抽运光功率固定为 12 mW 情况下的可调谐范围谱  
Fig. 5 Tuning range spectrum at 980 nm pump power of 12 mW

## 4 结 论

提出了一种新颖的基于布里渊散射的多波长光纤激光器的结构,该多波长激光器在副环形腔两侧分别用光纤环形镜和主环形腔实现了双向反馈,大大降低了斯托克斯光对 980 nm 抽运光的需求,即对环路中光放大的需求,甚至在环路中没有光放大

的情况下也能输出 6 阶的斯托克斯光。研究了 EDFA 抽运光功率与输出波长数的关系以及可调谐范围等输出特性,可调谐范围达 65 nm。实验最终得到,当 BP 功率为 15 dBm(32 mW),980 nm 抽运功率为 23 dBm(200 mW)时,双向反馈结构的多波长布里渊激光器输出 11 个波长的斯托克斯光,峰值功率为 -1.8 dBm。

## 参 考 文 献

- 1 Su Hwan Oh, Yoon-Jung Park, Sung-Bock Kim *et al.*. Multiwavelength lasers for WDM-PON optical line terminal source by silica planar lightwave circuit hybrid integration[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2007, **19**(20): 1622~1624
- 2 Young-Geun Han, T. V. A. Tran, Sang-Hyuck Kim *et al.*. Multiwavelength Raman-fiber-laser-based long-distance remote sensor for simultaneous measurement of strain and temperature [J]. *Opt. Lett.*, 2005, **30**(11): 1282~1284
- 3 Song Muping, Bao Chong, Qiu Chao *et al.*. A distributed optical-fiber sensor combined Brillouin optical time-domain analyzer with Brillouin optical time-domain reflectometer [J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, **30**(3): 650~654  
宋牟平, 鲍 翀, 裘 超等. 结合布里渊光时域分析和光时域反射计的分布式光纤传感器 [J]. *光学学报*, 2010, **30**(3): 650~654
- 4 Xinhuan Feng, C. Lu, H. Y. Tam *et al.*. Reconfigurable microwave photonic filter using multiwavelength erbium-doped fiber laser[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2007, **19**(17): 1334~1336
- 5 Shen Ying, Wang Rong, Pu Tao. A novel technique to generate high-frequency microwave signal based on high-order stimulated Brillouin scattering [J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, **30**(6): 1571~1575  
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
- 6 J. M. Battiato, T. F. Morse, R. K. Kostuke *et al.*. Dual-

- wavelength common-cavity codoped fiber laser[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1997, **9**(7): 913~915
- 7 T. Miyazaki, N. Edagawa, S. Yamamoto *et al.*. A multiwavelength fiber ring-laser employing a pair of silica-based arrayed-waveguide-gratings[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1997, **9**(7): 910~912
- 8 Xuewen Shu, Shan Jiang, Dexiu Huang. Fiber grating Sagnac loop and its multiwavelength-laser application[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2000, **12**(8): 980~982
- 9 Seung Kwan Kim, Moo Jung Chu, Jong Hyun Lee. Wideband multiwavelength erbium-doped fiber ring laser with frequency shifted feedback[J]. *Opt. Commun.*, 2001, **190**(1): 291~302
- 10 Yamashita, S. Cowle, G. J. Bidirectional. 10-GHz optical comb generation with an intracavity fiber DFB pumped Brillouin/erbium fiber laser [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1998, **10**(6): 796~798
- 11 G. J. Cowle, D. Y. Stepanov. Multiple wavelength generation with Brillouin/erbium fiber lasers[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1996, **8**(11): 1465~1467
- 12 M. K. Abd-Rahman, M. K. Abdullah, H. Ahmad. Multiwavelength bidirectional operation of twin-cavity Brillouin/erbium fiber laser [J]. *Opt. Commun.*, 2000, **181**(1-3): 135~139
- 13 M. H. Al-Mansoori, M. K. Abd-Rahman, F. R. Mahamd Adikan *et al.*. Widely tunable linear cavity multiwavelength Brillouin-erbium fiber lasers[J]. *Opt. Express*, 2005, **13**(9): 3471~3476
- 14 Zhao Junfa, Yang Xiufeng, Liu Zhuolin *et al.*. Multiwavelength Brillouin/erbium fiber source with 40 nm tuning range [J]. *Chinese J. Lasers*, 2010, **37**(10): 2482~2486  
赵军发, 杨秀峰, 刘卓琳等. 调谐范围 40 nm 的多波长布里渊/铒光纤光源[J]. *中国激光*, 2010, **37**(10): 2482~2486
- 15 Chen Hongwei, Wang Xiaolin, Yang Chunbo *et al.*. 4.5 W all-fiber narrow-linewidth two-tone fiber laser based on stimulated Brillouin scattering [J]. *Chinese J. Lasers*, 2010, **37**(10): 2477~2481  
湛鸿伟, 王小林, 杨春波等. 基于受激布里渊散射效应的 4.5 W 全光纤窄线宽双波长激光器[J]. *中国激光*, 2010, **37**(10): 2477~2481

栏目编辑:宋梅梅