

基于双波长布里渊光纤激光器的微波信号产生

贾青松^{1,2} 王天枢^{1,2} 张 鹏^{1,2} 孙鸿伟^{1,2} 董科研^{1,2} 刘 鑫³ 孔 梅³ 姜会林^{1,2}

¹ 长春理工大学空间光电技术国家地方联合工程研究中心, 吉林 长春 130022
² 长春理工大学光电测控与光信息传输技术教育部重点实验室, 吉林 长春 130022
³ 长春理工大学理学院物理系, 吉林 长春 130022

摘要 提出一种新颖的基于双波长布里渊光纤激光器产生微波信号源的结构,通过调节偏振控制器(PC)产生稳定输出的双波长光信号,利用输出的双波长产生 10.75 GHz 的微波信号。一段 10 km 长的普通单模光纤(SMF)作为布里渊增益介质,一段 4 m 长未抽运的保偏掺铒光纤(PM-EDF)和一个由 2×2 的 3 dB 耦合器组成的微环结构用来抑制边模,一个超窄线宽的分布反馈(DFB)激光器作为布里渊抽运(BP)源。产生的 10.75 GHz 的微波信号通过 50 GHz 带宽的光电探测器(PD)拍频并通过电频谱分析仪(ESA)观测,产生的微波信号线宽约为 600 kHz。

关键词 光纤光学;微波信号产生;布里渊光纤激光器;微环;饱和吸收体

中图分类号 TN248 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201441.0705001

Microwave Signal Generation Based on Dual-Wavelength Brillouin Fiber Laser

Jia Qingsong^{1,2} Wang Tianshu^{1,2} Zhang Peng^{1,2} Sun hongwei^{1,2}
Dong Keyan^{1,2} Liu Xin³ Kong Mei³ Jiang Huilin^{1,2}

¹ National and Local Joint Engineering Research Center of Space Photoelectronics Technology,
Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jilin 130022, China

² Key Laboratory of Optoelectronic Measuring-Controlling and Optical Information Transmitting Technology,
Ministry of Education, Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jilin 130022, China

³ Department of Physics, School of Science, Changchun University of Science and Technology,
Changchun, Jilin 130022, China

Abstract A simple approach to generate stable microwave signals by heterodyning pump light and Stokes lasing light from a dual-wavelength Brillouin fiber laser (BFL) is proposed and demonstrated. Stable dual-wavelength output is obtained by adjusting two polarization controllers. A microwave signal is observed and the central frequency of the microwave signal is around 10.75 GHz. A segment of 10 km-long single-mode fiber (SMF) is used as Brillouin gain, and a 4 m long unpumped polarization maintaining erbium-doped fiber (PM-EDF) and micro-ring cavity, which is composed of 2×2 3 dB coupler, suppress unwanted side-modes. A distributed feedback (DFB) semiconductor laser is used as the Brillouin pump (BP). The output of dual-wavelength fiber laser is injected into a optoelectric detector (PD) with a bandwidth of 50 GHz. An electrical spectrum analyzer (ESA) is used to measure the microwave signal around 10.75 GHz. Linewidth of the microwave signal is around 600 kHz.

Key words fiber optics; microwave signal generation; Brillouin fiber laser; micro-ring cavity; saturable absorber

OCIS codes 060.4370; 290.5900; 190.4370

收稿日期: 2013-12-06; 收到修改稿日期: 2014-01-23

基金项目: 国家自然科学基金(60907020,61007046,61275080)

作者简介: 贾青松(1988—),男,硕士研究生,主要从事光纤激光器方面的研究。E-mail: jiaqingsongcclgdx@gmail.com

导师简介: 王天枢(1975—),男,教授,硕士生导师,主要从事光纤激光器技术、激光通信技术等方面的研究。

E-mail: wangts@cust.edu.cn(通信联系人)

1 引 言

伴随着移动通信的快速发展,现有的无线频谱资源已无法满足日益增加的业务需求,为解决无线频谱资源匮乏的问题,光载无线通信(RoF)已被人们提出^[1]。光载无线通信是一种光和微波/毫米波相结合的技术,微波信号因具有很低的相位噪声、超窄线宽、高的稳定性、抗电磁干扰等优点,被认为是影响 RoF 系统性能的关键技术之一。目前光生微波信号可达到百吉赫兹量级^[2],线宽达千赫兹量级^[3],振幅和相位可调谐,并能通过 Mach-Zehnder(M-Z)干涉仪等进行测量^[4-5],方法主要利用布拉格光纤光栅对^[6]、单通带微波光子滤波器^[7]、M-Z 干涉仪^[8]、啁啾光纤布拉格光栅^[9]等。由于多波长布里渊光纤激光器性能稳定、线宽窄^[10-11],因此利用双波长布里渊光纤激光器光生微波研究成为近期热点^[12]。

为了提高增益,很多布里渊双波长光纤激光器采用掺铒光纤放大器(EDFA),增加了相位噪声和扩展微波信号的线宽^[13],其边模也会影响输出信号的质量^[14]。本文提出一种间隔输出的双波长布里渊光纤激光器,利用超窄线宽分布反馈(DFB)激光器作为布里渊抽运(BP)源,未采用掺铒光纤放大器和波长选择滤波器,实现了 10.75 GHz 的微波信号输出,线宽约为 600 kHz。

2 实验结构与工作原理

双波长布里渊光纤激光器的实验结构如图 1 所示,为避免微波信号的展宽,未采用掺铒光纤放大器结构。腔中用一段 10 km 长的普通单模光纤(SMF)作为布里渊增益介质,一端与耦合器 1 的端口 2 相连,另一端做斜面处理防止菲涅耳反射。环形器 1 的端口 1 作为布里渊抽运光输入端,经过环形器 1 的端口 2 和 2×2 的 3 dB 耦合器 2 组成的微环结构进入耦合器 1,环形器的端口 3 作为多波长输出,通过耦合器 3 分光,一路由光谱分析仪(OSA)监测输出光谱,一路经光电探测器(PD)后由电频谱分析仪(ESA)监测拍频微波信号。

布里渊抽运光通过环形器 1 和由耦合器 2 组成的微环结构进入耦合器 1,布里渊抽运被分为相同的两部分分别从耦合器 1 的端口 2 和端口 3 出射,从端口 2 出射的光进入 10 km 长的单模光纤,在单模光纤中产生反向传输的第一阶斯托克斯光,从端口 3 出射的光通过环形器 2 和一段 4 m 长未抽运的保偏掺铒光纤反射,可以得到由信号光和第一阶斯

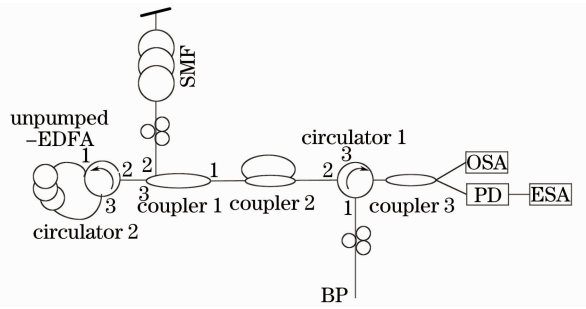


图 1 双波长布里渊光纤激光器结构
Fig. 1 Configuration of dual-wavelength Brillouin fiber laser

托克斯光组成的双波长布里渊光纤激光器。4 m 长未抽运的保偏掺铒光纤和一个由 2×2 的 3 dB 耦合器组成的微环结构用来抑制边模,可通过偏振控制器(PC)调节激光偏振态的方法调整激光功率,使布里渊抽运光和第一阶斯托克斯光的输出功率相差最小,便于双波长激光的拍频。

要实现单纵模激光输出,一般采用 10 m 左右的单模短光纤作为布里渊增益介质,但阈值功率较高。根据现有条件,实验采用 10 km 长单模光纤,虽然输出信号不是单纵模,但阈值功率远小于 10 m 长单模光纤,更容易获得可供拍频的较高功率的双波长输出。另外,采用的饱和吸收体产生驻波饱和效应,可形成自写入窄带滤波器,而微环结构具有一定的滤波整形和选频的作用。这些结构可抑制边模和压窄线宽,并且能够对信号进行整形,提高实验效果。

3 实验结果与讨论

实验中,通过调节 PC 使信号光与第一阶斯托克斯光的信号强度接近,得到双波长布里渊光纤激光器的输出光谱如图 2 所示,采用光谱分析仪(AQ6370C)观测到信号光的输出波长为 1550.127 nm,第一阶斯托克斯光的输出波长为 1550.211 nm,波长间隔为

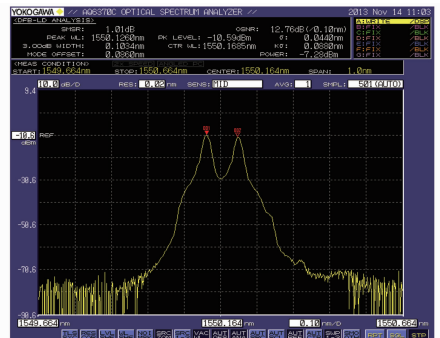


图 2 双波长光纤激光输出光谱图

Fig. 2 Output spectrum of the dual-wavelength fiber laser

0.084 nm,信噪比大于 60 dB。

图 3 为 60 min 之内测量的不同时刻的双波长布里渊光纤激光器的输出光谱图,每隔 10 min 记录一次输出光谱的变化,从图中可以看出,在 60 min 内的 6 次测量中,双波长布里渊光纤激光基本稳定,没有较大幅度的变化。整个系统由于结构简单,因此工作状态稳定,具有良好的应用性能。

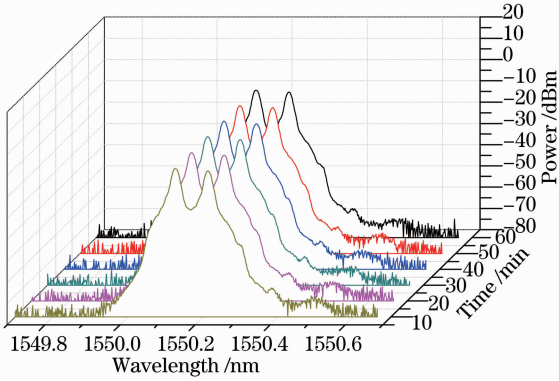


图 3 双波长光纤激光输出稳定性

Fig. 3 Stability of the dual-wavelength fiber laser (repeated scanning 6 times within 60 minutes)

图 4 更详细地记录了每个时间点双波长输出功率的变化以及它们之间功率的差值,进一步证明了双波长光纤激光器的功率稳定性。

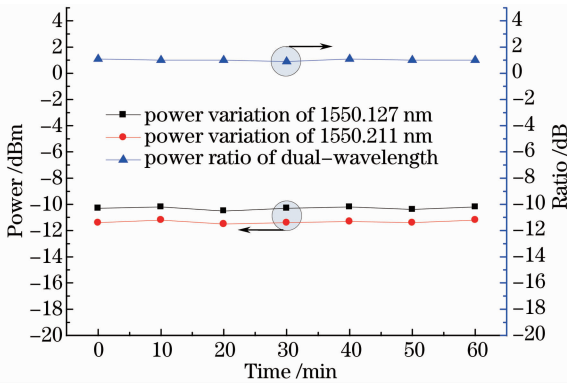


图 4 不同时刻输出双波长的功率变化情况

Fig. 4 Variation of power and time

将双波长光纤激光信号通过 50 GHz 的光电探测器进行光电转换,采用频谱分析仪(N9030A,带宽 44 GHz)观测到 10.75 GHz 的微波信号输出,分辨率为 3 MHz,信噪比大于 20 dB(如图 5 所示)。

将频谱分析仪的分辨率设为 36 kHz(如图 6 所示),对布里渊抽运光和第一阶斯托克斯光进行拍频,并拟合检测到的微波信号谱(如图 7 所示),计算出微波信号的线宽约为 600 kHz,从图 6 输出微波信号的质量和通过拟合得到的线宽来看,利用 10 km 单模光纤作为增益介质产生的微波信号并非

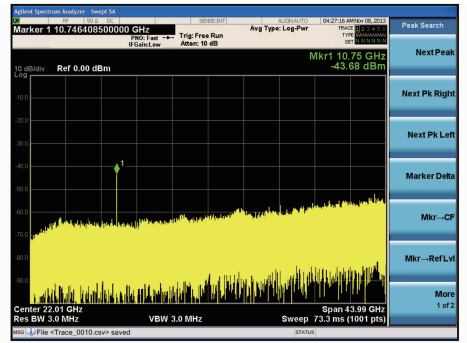


图 5 微波信号的输出频谱图

Fig. 5 Electrical spectrum of microwave signal with the frequency of 10.75 GHz

单纵模输出,而如文献[15]中的单纵模光子微波信号的线宽要优于多纵模实验结果。

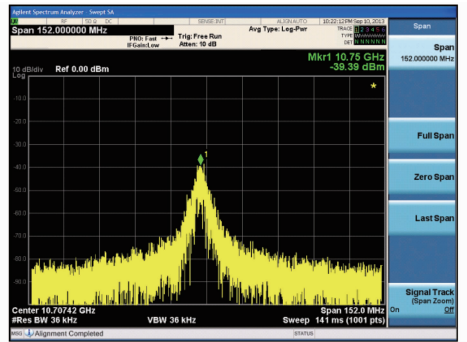


图 6 分辨率为 36 kHz 时微波信号的输出频谱图

Fig. 6 Electrical spectrum of microwave signal with the resolution ratio of 36 kHz

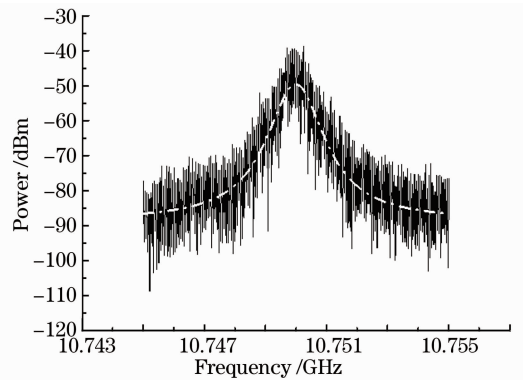


图 7 输出微波信号的频谱拟合

Fig. 7 Fitting spectrum of the microwave signal

在 60 min 时间内,每隔 10 min 测量一次输出微波信号的变化(如图 8 所示),微波信号的频率变化在 0.9 MHz 以内,功率变化在 2 dB 以内。

4 结 论

设计了一种基于窄线宽双波长布里渊光纤激光器结构产生微波信号源的装置,将 10 km 单模光纤

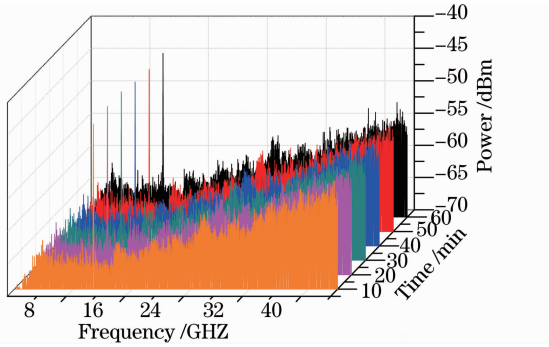


图 8 拍频信号的频谱输出稳定性

Fig. 8 Stability of the microwave signal output (repeated scanning 6 times within 60 minutes)

作为布里渊增益介质,超窄线宽 DFB 激光器作为布里渊抽运源,通过调节 PC 实现功率稳定的双波长激光输出。采用 50 GHz 带宽的光电探测器观测到 10.75 GHz 的拍频微波信号,在 RoF 系统中具有很好的应用前景。

参 考 文 献

- 1 Wei Ji, Jun Chang. The radio-on-fiber-wavelength-division-multiplexed-passive-optical network (WDM-RoF-PON) for wireless and wire layout with linearly-polarized dual-wavelength fiber laser and carrier reusing[J]. Optics & Laser Technology, 2013, 49(7): 301–306.
- 2 Liu Weilin, Wang Muguang. Tunable microwave and sub-terahertz generation based on frequency quadrupling using a single polarization modulator[J]. J Lightwave Technol, 2013, 31(10): 1636–1644.
- 3 Liu Jinmei, Zhan Li, Xiao Pingping, *et al.*. Generation of step-tunable microwave signal using a multiwavelength Brillouin fiber laser[J]. IEEE Photon Technol Lett, 2013, 25(3): 220–223.
- 4 Liu Shuang, Qian Zuping, Wang Rong, *et al.*. Photonic generation of amplitude- and phase-modulated microwave signals with frequency and modulation bit-rate tunability[J]. Chin Opt Lett, 2012, 10(12): 120401.

- 5 Wang Dapeng, Xu Kun, Dai Jian, *et al.*. Photonic-assisted approach for instantaneous microwave frequency measurement with tunable range by using Mach-Zehnder interferometers[J]. Chin Opt Lett, 2013, 11(2): 020604.
- 6 Wang Tianshu, Liang Gongquan, Miao Xyefeng, *et al.*. Stable dual wavelength, single longitudinal mode ring erbium doped fiber laser for optical generation of microwave frequency[J]. Laser Phys, 2012, 22(5): 948–952.
- 7 Zhu Hailing, Pan Wei, Chen Jixin, *et al.*. Frequency multiplied microwave single generation based on single passband microwave photonic filtering[J]. Chinese J Lasers, 2013, 40(1): 0105003. 朱海玲, 潘 炜, 陈吉欣, 等. 基于单通带微波光子滤波器的多倍频微波信号产生[J]. 中国激光, 2013, 40(1): 0105003.
- 8 Jia Haur Wong, Huy Quoc Lam. Photonic generation of tunable continuous-wave microwave signals using a temporally-stretched and chirped pulse-train[J]. J Lightwave Technol, 2012, 30(9): 1269–1276.
- 9 Hiva Shahoei, Jianping Yao. Continuously tunable microwave frequency multiplication by optically pumping linearly chirped fiber Bragg gratings in an unbalanced temporal pulse shaping system[J]. J Lightwave Technol, 2012, 30(15): 1954–1959.
- 10 Zhang Cheng, Luo Zhengqian, Wang Jinzhang, *et al.*. Dual-wavelength mode-locked Yb-doped fiber laser based on the interaction of graphene and fiber-taper evanescent field [J]. Chinese J Lasers, 2012, 39(6): 0602006. 张 成, 罗正钱, 王金章, 等. 熔锥光纤倏逝场作用石墨烯双波长锁模掺镱光纤激光器[J]. 中国激光, 39(6): 0602006.
- 11 Jiao Mingxing, Xing Junhong, Tong Congwei, *et al.*. Design and experimental study of two-wavelength signal-longitudinal-mode erbium-doped fiber ring laser [J]. Chinese J Lasers, 40(6): 0602013. 焦明星, 邢俊红, 同聪维, 等. 双波长单纵模掺铒光纤环形激光器设计及实验研究[J]. 中国激光, 2012, 40(6): 0602013.
- 12 Rugang Wang, Xuping Zhang, Junhui Hu, *et al.*. Photonic generation of tunable microwave signal using Brillouin fiber laser [J]. Appl Opt, 2012, 51(8): 1028–1032.
- 13 X Yang, L Zhan, Y Xia. High-power single-longitudinal-mode fiber laser employing two Sagnac loop filters[J]. Opt Eng, 2008, 47(6): 065001.
- 14 C Lee, Y Chen, S Lia w. Single-longitudinal-mode fiber laser with a passive multiple-ring cavity and its application for video transmission[J]. Opt Lett, 1998, 23(5): 358–360.
- 15 Gaomeng Wang, Li Zhan, Jinmei Liu, *et al.*. Watt-level ultrahigh-optical signal-to-noise ratio single-longitudinal-mode tunable Brillouin fiber laser[J]. Opt Lett, 2013, 38(1): 19–21.

栏目编辑:王晓琰