

一种新型波长可切换掺铒光纤环形腔激光器

王保三 曹志刚 陈博 姚国柱 黎珉 许海峰 艾飞 俞本立

(安徽大学光电信息获取与控制教育部重点实验室, 安徽 合肥 230039)

摘要 高双折射保偏光纤和萨尼亚克环构成的萨尼亚克(Sagnac)梳状滤波器的透射谱具有很好的可调特性。将这种滤波器和掺铒光纤环形腔结合设计了一种新颖的波长数可切换的光纤激光器。通过仔细调节梳状滤波器内的两个偏振控制器的偏振方位,实现了室温下单、双、三、四波长激光切换输出。由于实验中使得增益铒光纤达到了深度饱和和诱发非均匀加宽特性占主导使得多波长输出情况下也较为稳定,多波长输出间隔 1 nm,且波长间隔可以通过改变滤波器腔内保偏光纤的长度来调节。

关键词 激光技术;光纤激光器;萨尼亚克滤波器;波长可切换;偏振控制器

中图分类号 TN24 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS200929s1.0324

A Novel Wavelength Switchable Erbium-Doped Fiber Ring Laser

Wang Baosan Cao Zhigang Chen Bo Yao Guozhu Li Min Xu Haifeng
Ai Fei Yu Benli

(Key Laboratory of Opto-electronic Information Acquisition and Manipulation, Ministry of Education, Anhui University, Hefei, Anhui 230039, China)

Abstract The transmission spectrum of Sagnac comb-like filter based on high-birefringence polarization maintaining fiber (PMF) and Sagnac fiber loop mirror can be tuned easily. A novel switchable wavelength erbium-doped fiber ring laser by using this filter is proposed. By adjusting two polarization controllers (PCs) within filter properly, a single-, dual-, triple-, quadruple-wavelength laser beam can be obtained at room temperature in experiment. The principle of stable operation at room temperature is based on inhomogeneous broadening effect induced by a deeply saturated effect in the erbium-doped fiber. The wavelength interval is 1 nm, which can be optimized by using proper PMF length.

Key words laser technique; fiber laser; Sagnac filter; switchable wavelength; polarization controller (PC)

1 引 言

多波长掺铒光纤激光器在波分复用(WDM)、光纤传感、光学器件测量等领域有重要的应用前景。由于掺铒光纤在常温下的均匀展宽特性,其输出的多波长存在很强的模式竞争,因而不能得到稳定而均衡的增益。研究发现低温下掺铒光纤是非均匀展宽介质,将铒光纤冷却到 77 K^[1],可以获得稳定的多波长激光输出。至今,已有很多方案实现了室温下稳定的多波长输出^[2~5]。相对于传统的多波长激

光器,波长可切换掺铒光纤激光器可以在单、多波长之间自由切换,具有更加广阔的应用前景,近年来,室温下波长可切换多波长掺铒光纤激光器逐渐成为研究热点^[6~10]。

本文利用高双折射保偏光纤和 3 dB 耦合器构成萨尼亚克梳状滤波器,使用宽带光源注入进行实验,实验结果和理论分析能够很好的吻合。利用萨尼亚克滤波器结合掺铒环形腔光纤激光器结构,通过仔细调节滤波器内 PC 的偏振方位,得到了较为

基金项目: 安徽省优秀青年科技基金(08040106903)资助课题。

作者简介: 王保三(1982—),男,硕士研究生,现主要从事窄线宽和多波长光纤激光器等方面的研究。

E-mail: wangbaosan@sina.com

导师简介: 俞本立(1963—),男,教授,博士生导师,主要从事光电技术和光传感等方面的研究。

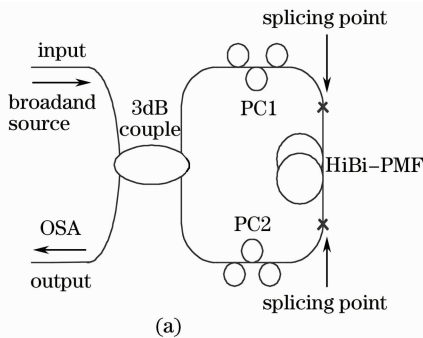
E-mail: benliyu@ahu.edu.cn

稳定的单、双、三和四波长的输出。超过 1 h 的稳定性测试结果表明,输出的激光在室温下具有很好的稳定性,功率抖动低于 2 dB。相对于以往文献,我们的实验方案具有结构简单、输出稳定、输出的多波长间隔可以根据需要灵活调整等优点。

2 萨尼亚克滤波器的理论和实验分析

在 3 dB 耦合器中加入一段高双折射率的保偏光纤(PMF),即构成萨尼亚克梳状滤波器,如图 1 所示,滤波器相邻最大透射波长间隔由以下公式确定^[13]:

$$\Delta\lambda = \lambda \frac{L_B}{L} \quad (1)$$



其中, λ 是输入光的波长, L 为有效光纤长度, L_B 为保偏光纤的拍长。通过(1)式可以得到,合理的选择不同拍长 L_B 保偏光纤或改变保偏光纤的长度 L ,可以得到需要的滤波器滤波间隔。实验中保偏光纤的长度为 5.4 m(拍长 3.5 mm),通过理论计算得到滤波器在 1530 nm 附近的滤波间隔应为 1 nm 左右。图 1(a)是宽带光注入实验结构图,图 1(b)是波长的输出间隔为 1 nm 的实验光谱图。其中 HiBi-PMF (High-birefringence polarization maintaining fiber) 为高双折射保偏光纤;PC1,PC2 为偏振控制器(PC, Polarization controller)。可以看出实验结果和理论预期很好的吻合。

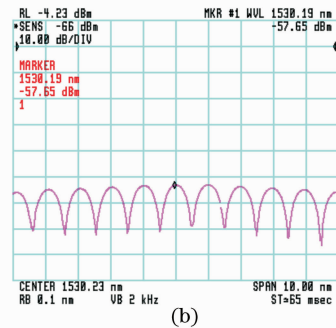


图 1 (a)测量萨尼亚克滤波器的透射谱的实验结构

(b)5.4 m 保偏光纤的输出透射光谱,波长间隔 1.0 nm(1530 nm 附近)

Fig. 1 (a) The configuration of measuring transmission spectra characters of HiBi-PMF Sagnac filter

(b) Experimental output with 5.4 m ($\Delta\lambda=1$ nm) PMF near 1530 nm

3 波段可切换掺铒光纤环形腔激光器

激光器由有源掺铒环形腔(环 C1)和基于高双折射保偏光纤萨尼亚克环滤波器(环 C2)两部分组成,结构如图 2 所示。环形腔掺铒光纤激光器由波分复用器(WDM)、环行器(Circulator)、掺铒光纤(EDF)组成,WDM 为 980 nm/1550 nm 波分复用器,增益铒光纤的长度为 3.2 m。滤波器内保偏光纤的长度和参数同上面的实验,腔内焊接损耗约 0.1 dB。通过隔离器将激光输出到最小分辨率为 0.1 nm 的光谱分析仪测量(HP70951B),采用 980 nm 抽运的抽运功率为 200 mW。根据上面的理论分析,通过调整两个 PC 的偏振方位可以改变通过滤波器的不同波长的透射率,实现对不同波长的损耗控制,当其中一些波长的增益大于损耗时就会在腔中振荡并达到稳定输出;反之,得不到足够的增

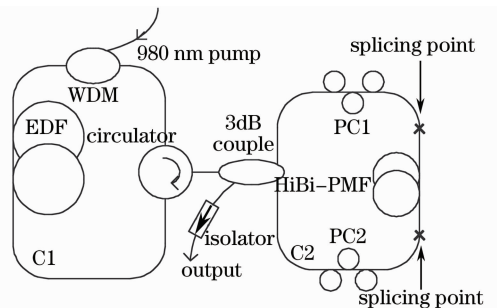


图 2 波长可切换光纤激光器的实验装置

Fig. 2 The experimental setup of the wavelength switchable erbium-doped fiber laser

益就不能输出该波长的激光。调整滤波器中的两个 PC 的不同偏振方位,得到了图 3 所示的室温下稳定的单、双、三、四波长输出,如图 3 所示。

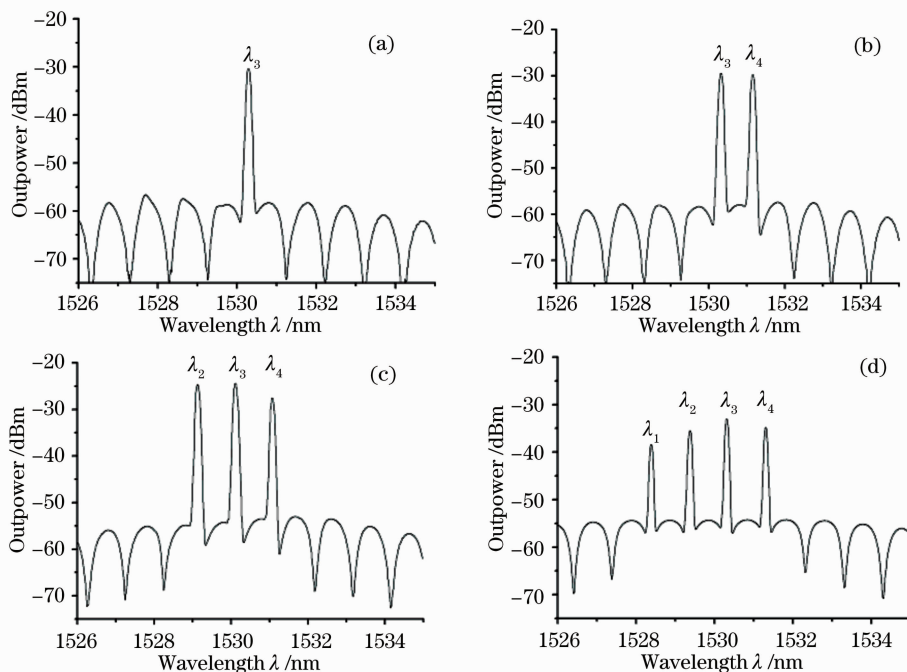


图3 波长可切换掺铒光纤激光器的输出。(a)单波长输出,(b)双波长输出,(c)三波长输出,(d)四波长输出

Fig. 3 The output spectra of the proposed wavelength switchable EDFL. (a) single-wavelength output,

(b) dual-wavelength output, (c) triple-wavelength output, (d) quadruple-wavelength output

输出的四个波长分别为 1528.3 nm(λ_1), 1529.3 nm(λ_2), 1530.3 nm(λ_3), 1531.3 nm(λ_4), 四种情况的激光输出都有一个主波长 λ_3 , 输出多波长间隔为 1 nm。实验输出的主波长波段和波长间隔分别取决于铒光纤的长度和环内保偏光纤的长度, 优化这两段光纤长度可以获得需要的波段和波长间隔输出。由于铒光纤室温下是均匀加宽介质, 随着输出波长数的增多, 各个波长输出功率会由于模式竞争的存在而变得不均衡, 图 3 显示单、双波长输出的功率比较均衡[如图 3 (a)、(b)], 三、四波长输出的光谱图上不同波长输出的功率差值变大[如图 3 (c)、(d)]。另外强烈模式竞争的存在也是影响输出多波长数目的重要因素。由于激光输出稳定的原理是基于铒光纤的深度饱和效应, 输出波长的稳定性和抽运功率的大小有一定的关系^[11,12], 实验进一步发现抽运功率越大, 输出激光的稳定性越好。在抽运功率为 200 mW 时, 我们对输出的单波长和四波长进行了室温下数小时的稳定性测试。结果表明, 输出激光的稳定性与环境(温度、振动)对滤波器的影响有很大关系, 我们将整个装置放在防震光学平台上, 输出光谱功率浮动在 2 dB 以内。在测试的时间内偶见波长的整体(输出波长的间隔保持不变)在 0.1 nm 以内的移动, 我们分析主要是由于环境温度的改变造成影响, 对整个实验平台进行温控处理, 输

出的光谱的稳定性有望进一步提高。

4 结 论

本文设计了一种基于萨尼亚克梳状滤波器的新型波长可切换的多波长掺铒光纤激光器。通过调整滤波器内的两个 PC 的不同偏振方位, 得到了室温下稳定的单、双、三、四波长激光输出。利用室温下铒光纤的深度饱和效应达到稳定输出, 一个小时的功率抖动小于 2 dB。输出波长的间隔可以通过滤波器内保偏光纤的长度调节。良好的稳定性、易调性以及简洁的实验装置使其在光传感和光通讯中具有较好的潜在应用前景。

参 考 文 献

- 1 N. Park, P. F. Wysocki. 24-line multiwavelength operation of erbium doped fiber ring laser [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1996, **8**: 1459~1461
- 2 Y. Gao, D. Chen, S. Gao. Stable multi-wavelength erbium-doped fiber laser based on dispersion-shifted fiber and Sagnac loop filter [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2007, **5**(9): 519~521
- 3 Hu Song, Wei Shikang, Zhan Li *et al.*. 15-wavelength Brillouin erbium-doped fiber laser [J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(2): 212~215
胡松, 尉仕康, 詹黎等. 15 波长输出的布里渊掺铒光纤激光器 [J]. *光学学报*, 2005, **25**(2): 212~215
- 4 Sun Guoyong, Qu Ronghui, Yang Jing *et al.*. Study on stable multi-wavelength erbium-doped fiber laser at room temperature [J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(6): 821~824
孙国勇, 瞿荣辉, 杨敬等. 室温下稳定的多波长掺铒光纤激光

- 器的研究[J]. 光学学报, 2005, **25**(6): 821~824
- 5 Zhang Zuxing, Sang Minghuang, Ye Zhiqing *et al.*. Multiwavelength fiber laser based on nonlinear polarization rotation [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(4): 648~652
张祖兴, 桑明煌, 叶志清等. 基于非线性偏振旋转效应的多波长光纤激光器[J]. 光学学报, 2008, **28**(4): 648~652
- 6 Y. G. Han, C. S. Kim, J. U. Kang *et al.*. Multiwavelength Raman fiber ring laser based on tunable cascaded long-period fiber gratings[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2003, **15**: 383~385
- 7 Y. G. Han, T. V. A. Tran, S. H. Kim *et al.*. Multiwavelength Raman-fiber-laser-based long-distance remote sensor for simultaneous measurement of strain and temperature sensor[J]. *Opt. Lett.*, 2005, **30**: 1282~1284
- 8 X. Feng, Y. Liu, S. Yuan *et al.*. Switchable multiwavelength erbium-doped fiber laser with cascaded fiber grating cavities[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2002, **14**: 612~614
- 9 C. L. Zhao, X. Yang, L. Chao, J. H. Ng *et al.*. Switchable multi-wavelength erbium-doped fiber lasers by using cascaded fiber Bragg gratings written in high birefringence fiber[J]. *Opt. Commun.*, 2004, **230**: 313~317
- 10 D. H. Zhao, K. T. Chan, Y. Liu *et al.*. Wavelength switched optical pulse generation in a fiber ring laser with a Fabry-Pérot semiconductor modulator and sampled fiber Bragg grating[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2001, **13**: 191~193
- 11 Y. Liu, X. Dong, P. Shum, *et al.*. Stable room-temperature multi-wavelength lasing realization in ordinary erbium-doped fiber loop lasers [J]. *Opt. Expr.*, 2006, **14**(20): 9293~9298
- 12 Z. Liu, Y. Liu, J. Du, *et al.*. Switchable triple-wavelength erbium-doped fiber laser using a single fiber Bragg grating in polarization-maintaining fiber [J]. *Opt. Commun.*, 2007, **279**: 168~172
- 13 X. P. Dong, S. P. Li, K. S. Chiang *et al.*. Multiwavelength erbium-doped fiber laser based on a high-birefringence fiber loop [J]. *Electron. Lett.*, 2000, **36**(19): 1609~1610