

doi:10.3788/gzxb20124112.1460

自激发多波长可开关掺铒光纤激光器

匡芬, 叶志清

(江西师范大学 物理与通信电子学院; 江西省光电子与通信重点实验室, 南昌 330022)

摘 要: 波长可开关光纤激光器可以选择多波长光纤激光器中的一个或多个波长输出, 支持光网络中多个波长的动态分配, 适应现代光纤通信系统信道数越来越多的波分复用和密集波分复用的发展方向. 本文提出并实现了一种自激发多波长可开关掺铒光纤激光器. 该激光器通过一个 980 nm 泵浦进行抽运, 使用掺铒光纤作为增益介质, 产生 1 550 nm 光谱, 并通过一个环形结构返回, 从而实现自激发的过程, 降低了实验成本. 实验使用一个含有两段保偏光纤的 Sagnac 环作为滤波器. 通过调整 Sagnac 环形滤波器内偏振控制器的角度, 改变 Sagnac 环形滤波器的腔内增益, 可以让光纤光栅反射出来的波长选择性通过, 从而实现波长的开关功能. 实验证明, 通过调整 Sagnac 滤波器的腔内增益而让多波长选择性通过, 是一种有效的实现波长可开关功能的方法.

关键词: 波长可开关; 光纤光栅; Sagnac 滤波器; 掺铒光纤; 自激发

中图分类号: TN2

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2012)12-1460-4

0 引言

多波长激光器可以同时为多个信道提供所需光源, 使发射端的设计更为紧凑、经济, 因而在密集波分复用系统 (Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM)、激光测距、光谱分析和光纤传感等领域有极大的应用价值. 掺铒光纤在 1 550 nm 波段有着良好的增益特性, 同时 1 550 nm 波段也正是 DWDM 技术所使用的波长, 这就使得掺铒光纤激光器 (Erbium Doped Fiber Laser, EDFL) 成为研究光通信用多波长光纤激光器的良好选择^[1-6]. 波长可开关光纤激光器是适用于目前高速波分复用 (Wavelength Division Multiplexing, WDM) 网络波长路由的光源^[7], 具有全纤结构、耦合损耗小、体积小便于集成等众多优点, 是未来 WDM 和 DWDM 的关键技术. 它的性能直接决定了光通信系统的质量, 其重要性日益突出, 迫切需要对它的进一步研究, 提高其性能成为必然趋势. 在以往报道中, 绝大多数都是在腔内采用光纤光栅作为波长选择器件^[8-9]. 但是, 它们都只能实现 2 个波长的开关转换. 其原因主要是 EDF 是一种均匀加宽介质, 所以它会引起比较强烈的模式竞争, 从而导致了波长数目受限制, 无法对波长开关进行更为灵活的操作.

本实验提出了一种实现多波长可开关光纤激光

器的新方案. 在自激发光纤激光器的环形腔内串入一个 Sagnac 环形滤波器^[10]. 这种滤波器的透射率曲线是受偏振控制器 (Polarization Controller, PC) 控制的, PC 的位置设置不同, 透射率曲线也不同, 允许通过 Sagnac 滤波器的波长也就不同^[11]. 即腔内震荡形成激光输出的波长也可以通过调节 PC 的位置而决定^[12]. 通过本方案中 PC 的调节, 可以实现由多个光纤光栅确定的波长的任意组合波长的输出.

1 实验装置及原理

该自激发波长可开关掺铒光纤激光器由 980 nm 泵浦、掺铒光纤 (Erbium Doped Fiber, EDF)、偏振控制器、环形器 (Circulator)、保偏光纤 (Polarization Maintaining Fiber, PMF)、光纤光栅 (Fiber Bragg Grating, FBG)、隔离器 (Isolator)、波分复用器以及耦合器 (Coupler) 组成. 掺铒光纤长度为 2 m, 保偏光纤长度分别为 $PMF_1 = 57$ cm, $PMF_2 = 44$ cm; 光纤光栅的中心波长分别为 $FBG_1 = 1 564$ nm, $FBG_2 = 1 541$ nm, $FBG_3 = 1 551$ nm, 3 dB 带宽均小于 0.3 nm.

980 nm 泵浦通过 980/1 550 WDM 耦合进环形腔, 2 m 的掺铒光纤作为增益介质, 产生了 1 550 nm 激光. 通过 Sagnac 滤波器后, 产生 1 530~1 570 nm 的多波长激光. 多波长激光从环形器 1 端口到 2 端

基金项目: 国家自然科学基金 (No. 60967002)、江西省教育厅科研项目 (No. GJJ10401) 和江西省自然科学基金 (No. 20114BAB202003) 资助

第一作者: 匡芬 (1986-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为光纤激光器. Email: kuangfenkf@126.com

责任作者/导师: 叶志清 (1960-), 男, 教授, 主要研究方向为光纤激光器、光纤光栅传感器、光子通信. Email: yezhiqing2008@163.com

收稿日期: 2012-03-05; **修回日期:** 2012-05-29

口,进入光纤光栅,经三个中心波长不同的光纤光栅反射后,在 Sagnac 滤波器增益内的波长即通过,从环形器 3 端口输出,再通过 90/10 Coupler,部分返回环形腔内,部分输出到光谱分析仪 (Optical Spectrum Analyzers, OSA) 分析. 激光器腔内的隔离器和环形器可以确保环形腔内的激光在一个方向上运转,提高激光自身的信噪比,并保护 980 nm 泵浦不受返回去的激光的损害. 通过调节偏振控制器的角度,可以调节 Sagnac 滤波器的透射曲率,从而改变滤波器的增益波长,从而使光纤光栅反射出来的波长选择性通过.

2 实验结果与讨论

图 1 为自激发多波长可开关掺铒光纤激光器实验结构图. 通过多次调节两个偏振控制器的角度,可以得到了图 2 和图 3 中几种不同的波长输出组合. 图 2 为允许三个波长中任意一个波长的输出,其中 (a) 为中心波长为 1 541 nm 波的输出; (b) 为中心波长为 1 551 nm 波的输出; (c) 为中心波长为 1 564 nm 波的输出; 图 3 为允许三个波长中任意两个波长的输出,其中 (a) 为中心波长分别为 1 541 nm、1 551 nm

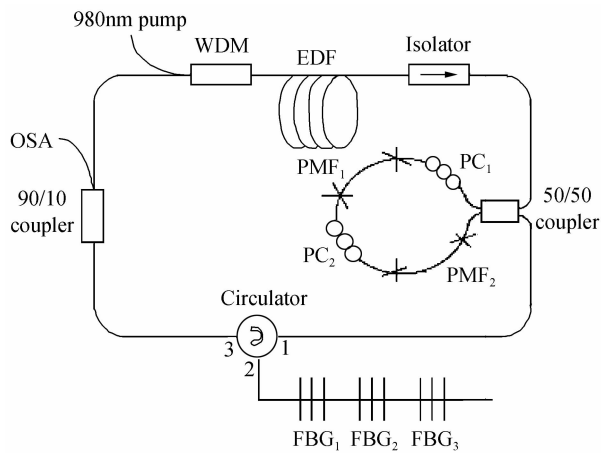


图 1 自激发多波长可开关掺铒光纤激光器实验结构图
Fig. 1 Construction drawing of the self-seeded multi-wavelength switchable Erbium-doped fiber laser

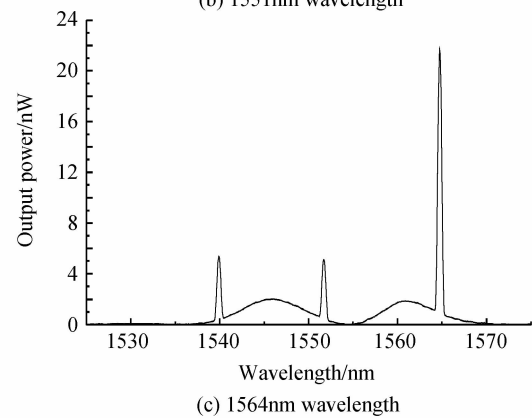
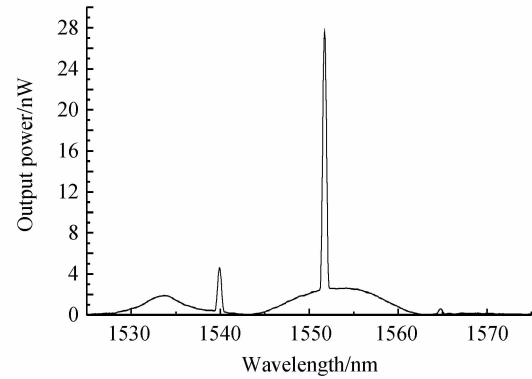
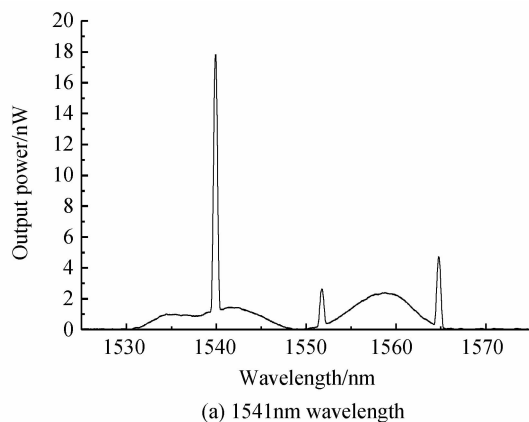
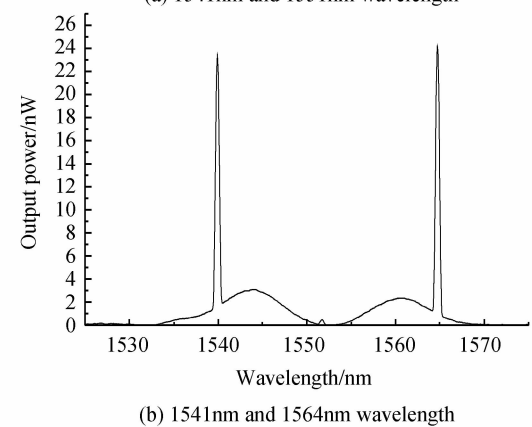
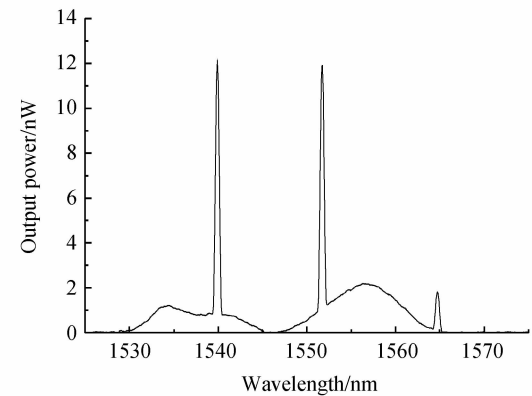


图 2 多波长光纤激光器三个波长分别单独输出时的光谱图

Fig. 2 The output spectrum of the multi-wavelength fiber laser with single center wavelength



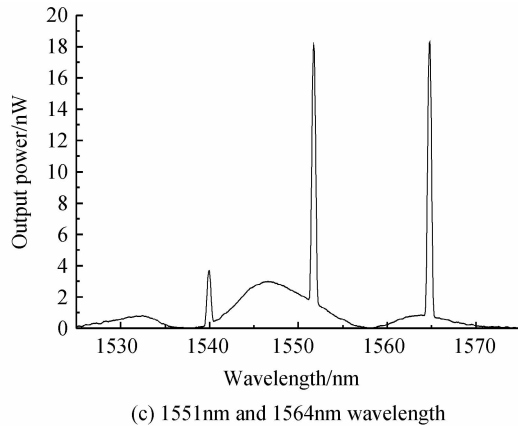


图3 多波长光纤激光器任意两波长组合输出时的光谱图
Fig. 3 The output spectrum of the multi-wavelength fiber laser with two center wavelength

波的输出;(b)为中心波长分别为1541 nm、1564 nm 波的输出;(c)为中心波长分别为1551 nm、1564 nm 波的输出。从实验结果中可以看出,输出图形底部的功率较小、带宽较宽的波形就是滤波器的波形,被选择输出的光纤光栅波长是对应在滤波器波峰处的;而被抑制的光纤光栅波长是对应在滤波器波谷处的。实验证明,通过调节偏振控制器的角度,可以调节 Sagnac 滤波器的透射曲线,从而改变滤波器的增益波长,选择性通过光纤光栅反射出来的波长,实现波长的可开关功能。理论上,该实验还应得到三个波长同时输出的波形图,但是由于实验操作中偏振控制器的人为调节控制未能调到最佳,或是由于滤波器的设计还不够理想等因素,未能得到比较满意的三个波长同时输出的波形,这也是在今后的研究中需要改进的方面。

实验还通过每 30 min 记录一次实验数据,共记录 10 次数据来验证了此实验结构的输出结果在一定时间内的稳定性,如图 4。从实验结果可以证明,

1.93nW/D RES:0.5nm SENS:NORM HLD AUG: 1 SMPL:AUTO

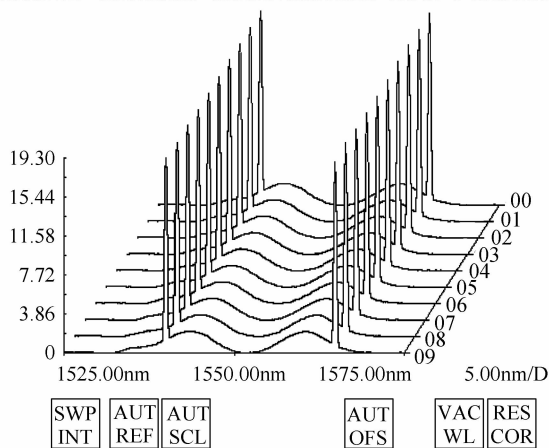


图4 自激发多波长可开关掺铒光纤激光器的输出光谱稳定性测试
Fig. 4 The output spectrum stability testing result of the self-seeded multi-wavelength switchable Erbium-doped fiber laser

此实验结构在较长一段时间内具有较好的稳定性。

3 结论

提出并通过实验证明了一种自激发波长可开关掺铒光纤激光器的实现方法。在掺铒光纤激光器的环形腔内串入一个 Sagnac 环形滤波器,通过调整 Sagnac 环内 PC 的角度,改变这种滤波器的透射率曲线,改变允许通过 Sagnac 滤波器的波长。本实验中通过用 3 个 FBG 反射出来的波长的选择性输出,证明了该理论的可行性。利用该方法,可以用更多的 FBG,通过 Sagnac 环形滤波器得到更多、更灵活的输出组合。

参考文献

- [1] FENG Xin-huan, TAM H Y, WAI P K A. Stable and uniform multiwavelength erbium-doped fiber laser using nonlinear polarization rotation [J]. *Optics Express*, 2006, **14**(18): 8205-8210.
- [2] LUO Ai-ping, LUO Zhi-chao, XU Wen-cheng. Tunable and switchable multi-wavelength erbium-doped fiber ring laser based on a modified dual-pass Mach-Zehnder interferometer [J]. *Optics Letters*, 2009, **34**(14): 2135-2137.
- [3] SUN Guo-yong, QU Rong-hui, 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.
- [4] HU S, ZHAN L. Switchable multiwavelength erbium-doped fiber ring laser with a multisection high-birefringence fiber loop mirror [J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2005, **17**(7): 1387-1389.
- [5] ZHANG Zu-xing, SANG Ming-huang, YE Zhi-ing, *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] HUANG De-xiu, SHU Xue-wen, WEN Tao, *et al.* Novel multi-wavelength erbium doped fiber ring laser [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2001, **A28**(4): 313-316. 黄德修, 舒学文, 文韬, 等. 一种新颖的多波长环形腔掺铒光纤激光器 [J]. *中国激光*, 2001, **A28**(4): 313-316.
- [7] LIBATIQUE N J C, JAIN R K. A broadly tunable wavelength-selectable WDM source using a fiber Sagnac loop filter [J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2001, **13**(12): 1283-1285.
- [8] LIU Xue-ming, YANG Xiu-feng, LU Fu-yun, *et al.* Stable and uniform dual wavelength erbium-doped fiber laser based on fiber Bragg gratings and photonic crystal fiber [J]. *Optics Express*, 2005, **13**(1): 142-147.
- [9] MOON Dae-seung, SUN Guo-yong, LIN Ao-xiang, *et al.* Tunable dual-wavelength fiber laser based on a single fiber Bragg grating in a Sagnac loop interferometer [J]. *Optics Communications*, 2008, **281**(9): 2513-2516.
- [10] LI Shen-ping, CHIANG K S, GAMBLING W A. Gain flattening of an erbium-doped fiber amplifier using a high-birefringence fiber loop mirror [J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2001, **13**(9): 942-944.
- [11] SONG Y J, ZHAN L, HU S, *et al.* Tunable multi-wavelength Brillouin-erbium fiber laser with a polarization-

maintaining fiber Sagnac loop filter[J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2004, **16**(9): 2015-2017.
[12] LIU Z, LIU Y, DU J, *et al.* Switchable triple-wavelength

erbium-doped fiber laser using a single fiber Bragg grating in polarization-maintaining fiber[J]. *Optics Communications*, 2007, **279**(1): 168-172.

Self-seeded Multi-wavelength Switchable Erbium-doped Fiber Laser

KUANG Fen, YE Zhi-qing

(*Key Laboratory of Photoelectronics & Telecommunication of Jiangxi Province; College of Physics & Communication Electronics, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China*)

Abstract: Multi-wavelength switchable optic fiber laser can select one or several wavelengths of the multi-wavelength. It supports the dynamic allocation of the wavelengths in the optic network, which adapts the development of the wavelength division multiplexing(WDM) and dense wavelength division multiplexing (DWDM) systems with more channel numbers in modern optical fiber communication system. A self-seeded multi-wavelength switchable Erbium-doped fiber laser is proposed and experimentally demonstrated in this paper. The Erbium-doped fiber is pumped by a 980 nm pump to produce 1 550 nm spectra, and it returns back through a ring structure so as to realize the self-excitation and to reduce the cost of the experiment. A Sagnac ring with two segments of polarization maintaining optical fibre is used as a filter. By adjusting the rotation angles of the polarization controller in the circle of Sagnac filter, the cavity gain of the Sagnac filter changes. It allows the wavelengths reflected by the fiber Bragg Grating pass selectively, so as to realize the wavelength switchable function. The experiment proved that it is an effective way to realize the multi-wavelength switchable function through adjusting the cavity gain of the Sagnac Filter and letting the wavelengths pass selectively.

Key words: Wavelength switchable; Fiber Bragg Grating(FBG); Sagnac filter; Erbium-doped fiber; Self-seeded