

文章编号: 1001-3806(2017)01-0098-03

基于环形滤波器的双波长单频光纤激光器

姚晓琼, 孙薇, 王喜斌

(北华航天工业学院 电子与控制工程学院, 廊坊 065000)

摘要: 为了解决双波长激光器的稳定性问题、达到压窄双波长激光器线宽的目的, 采用在激光器结构中加入环形滤波器的方法, 抑制了不需要的振荡模式。对滤波器进行了计算和仿真, 得到了梳状谱; 通过实验得到了线宽为 5.7kHz 的单纵模双波长激光。经过输出功率稳定性测试, 1h 内功率波动为 0.6dB。结果表明, 环形滤波器的作用是十分明显的。

关键词: 激光器; 双波长光纤激光器; 非线性偏振旋转; 光纤滤波器

中图分类号: TN248.1 **文献标志码:** A **doi:**10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2017.01.020

Dual-wavelength single frequency fiber laser based on ring filter

YAO Xiaoqiong, SUN Wei, WANG Xibin

(College of Electronic and Control Engineering, North China Institute of Aerospace Engineering, Langfang 065000, China)

Abstract: In order to solve the problem of dual wavelength laser stability and achieve the purpose of narrowing the line width, the unwanted oscillation modes was limited by adding ring filter into the laser structure. After simulation and calculation of filter, the dressing spectrum was obtained. Single frequency dual-wavelength laser with linewidth of 5.7kHz was obtained by experiments. After output power stability test, the power fluctuation within 1h was 0.6dB. The result shows that the effect of ring filter is very obvious.

Key words: lasers; dual-wavelength fiber laser; nonlinear polarization rotation; fiber filter

引言

光纤激光器与其它激光器相比, 具有结构简单、成本低、容易实现窄线宽的优点, 被广泛应用于光电检测、光纤传感、光通信等领域^[1-4], 是近年来研究的热点。双波长单纵模光纤激光器可以通过拍频产生微波信号^[5-6]。此方法不需要参考微波源, 具有结构简单、产生的微波相位噪声低等优点, 被许多研究者重视^[7-9]。

获得双波长振荡很容易, 而解决稳定性问题绝非易事。有两个问题不可避免: (1) 掺铒光纤本身的均匀展宽特性, 使振荡的模式具有不稳定性, 研究者提出很多办法解决这个问题, 比如应用掺铒光纤和其它放大器相结合^[10], 或在原谐振腔的基础上加入未抽运的掺铒光纤作为可饱和吸收介质的滤波器来抑制不需要的模式^[11]; (2) 激光器结构中需要加入纵模选择机制来限制多纵模振荡, 比如加入一个萨哥纳克(Sagnac)光纤环^[12], 或者由光纤布喇格光栅构成的法布里-珀罗(F-

P)滤波器^[13]。但是这些结构中, 由于双波长之间的模式竞争, 实现单频振荡依然是很困难的问题。

本文中提出了基于半导体光放大器(semiconductor optical amplifier, SOA)环形滤波器的双波长单频激光器, 应用偏振分束和保偏光纤的非线性偏振旋转效应(nonlinear polarization rotation, NPR)实现多波长振荡, 应用非均匀展宽增益介质 SOA 弱化模式竞争, 实现了双波长振荡, 实现了激光的单频振荡。

1 实验结构和原理

图1为实验中设计的基于 NPR 和掺铒环形滤波器的双波长单纵模激光器的结构。掺铒光纤放大器加上驱动电流产生自发辐射的光, 使激光器起振, 并作为激光器的增益介质, 经过一个带增益的环形滤波器, 限制激光器的模式, 使得双波长振荡处于单纵模状态, 偏振控制器用来调整激光谐振腔的偏振态, 保偏光纤和隔离器和偏振分束器共同构成在线型周期滤波器, 当激光腔内的功率满足一定条件时, 便可有多波长输出^[14-16], 偏振分束的一端作为输出, 对激光器进行监测。图1中虚线框内是激光器结构中的环形滤波器, 光纤环的长度约是 1.46m, 50:50 耦合器 4 个端口的输入输出光强分别用 E_1, E_2, E_3 和 E_4 来表示, 它们之间的关系如下所示^[15]:

基金项目: 河北省教育厅自然科学基金资助项目(ZD2015057); 廊坊市科技局资助项目(2015011006)

作者简介: 姚晓琼(1980-), 男, 硕士, 讲师, 现主要从事激光技术与智能仪器的研究。

E-mail: yao_xq@163.com

收稿日期: 2015-12-21; 收到修改稿日期: 2016-01-28

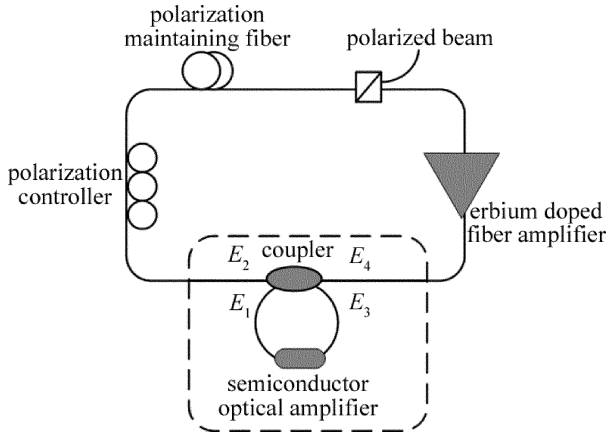


Fig. 1 Schematic of dual-wavelength fiber laser based on SOA ring filter

$$\begin{bmatrix} E_3 \\ E_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{1-\gamma} & i\sqrt{\gamma} \\ i\sqrt{\gamma} & \sqrt{1-\gamma} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, γ 为耦合因子, E_4 可以表示为:

$$E_4 = i\sqrt{\gamma}E_1 + \sqrt{1-\gamma}E_2 \quad (2)$$

在光纤环中, E_4 经过掺铒光纤获得了增益(或者损耗)及时间延迟 τ , 然后送到 E_2 , E_4 和 E_2 的关系如下:

$$E_2 = ge^{i\omega\tau}E_4 \quad (3)$$

式中, ω 是光强的角频率, g 为环路增益。将(2)式代入(3)式得:

$$E_2 = ige^{i\omega\tau}\sqrt{\gamma}E_1 / (1 - ge^{i\omega\tau}\sqrt{1-\gamma}) \quad (4)$$

然后将(4)式代入(1)式可得:

$$E_3 = \frac{\sqrt{1-\gamma} - ge^{i\omega\tau}}{1 - ge^{i\omega\tau}\sqrt{1-\gamma}} E_1 \quad (5)$$

$$E_4 = i\sqrt{\gamma}E_1 / (1 - ge^{i\omega\tau}\sqrt{1-\gamma}) \quad (6)$$

两个谱线间的间隔 $\Delta\omega$ 为:

$$\Delta\omega = \frac{1}{\tau} \arccos \left[\frac{4g\sqrt{1-\gamma} - 1 - g^2(1-\gamma)}{2g\sqrt{1-\gamma}} \right] \quad (7)$$

则相应的传输函数 T 为:

$$T = \frac{|E_4|^2}{|E_1|^2} = \frac{\gamma}{1 + g^2(1-\gamma) - 2g\sqrt{1-\gamma}\cos(\omega\tau)} \quad (8)$$

自由频谱范围 F 为: $F = 2\pi/\tau$ (9)

对环形滤波器进行仿真, 其中 $\gamma = 0.5, g = 1.2$,

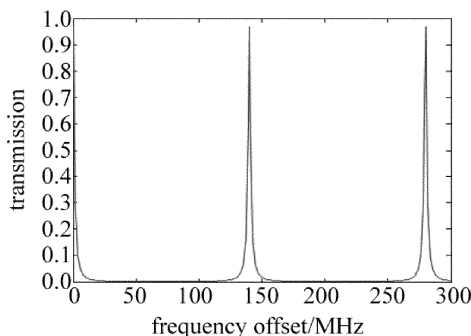


Fig. 2 Simulation spectrum of ring filter

$F = 140\text{MHz}$, 得到如图2 所示的传输函数。

2 实验结果及分析

当掺铒光纤放大器的驱动电流调整到 180mA 时, 在不加滤波器之前, 调整偏振控制器的位置使激光腔内的偏振态发生改变, 当腔内的相位和增益等条件达到自洽时, 开始出现激光。图 3a 为多波长振荡时的光谱(未加滤波器)。理论上多波长间隔是均匀的, 但实验结果表明多波长的间隔不一样, 这是由于掺铒光纤放大器的增益不平坦, 且掺铒光纤放大器是均匀展宽介质, 模式竞争比较激烈, 有一部分波长被抑制掉了。图 3a 中共有 4 个功率比较高的波长, 1544.4nm, 1545.2nm, 1546.5nm, 1546.9nm, 3dB 带宽分别为 0.12nm, 0.13nm, 0.12nm, 0.15nm。加上滤波器, 并调整半导体光放大器的驱动电流为 100mA 时, 只剩下 1544.4nm, 1545.2nm 两个波长, 3dB 带宽都是 0.05nm。激光器环形腔、环形滤波器以及非线性偏转旋转作用, 三者都有选频作用, 在不加环形滤波器时, 有多个波长振荡, 加上环形滤波后, 有一部分波长被抑制掉了, 故只剩下

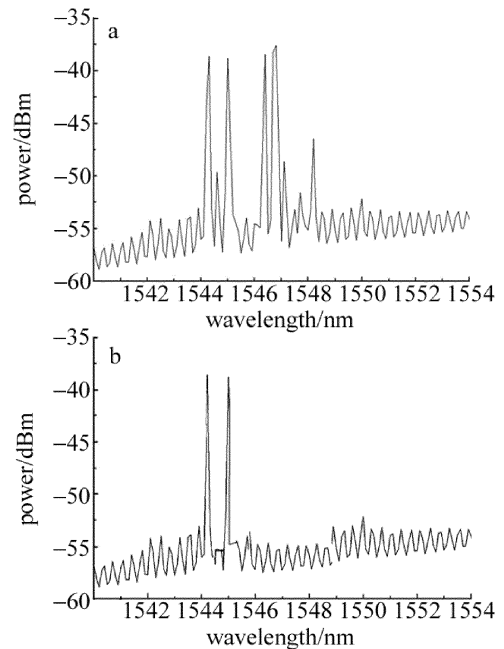


Fig. 3 a—spectrum of multi-wavelength laser b—spectrum of dual-wavelength laser with filter

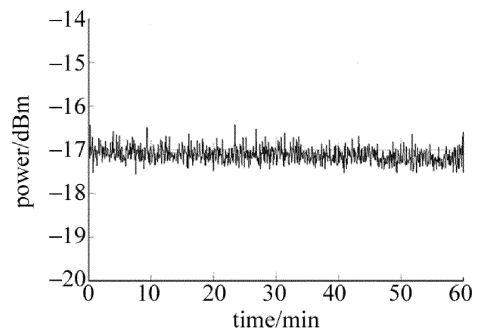


Fig. 4 Laser power fluctuation within 1h

了双波长。

作者用可调谐滤波器分别滤除其中一个波长,并进行了稳定性和激光器线宽的测试。图 4 是对波长为 1544.4nm 的单纵模振荡 1h 内的输出功率进行的测试,输出功率波动为 0.6dB。用延时干涉的方法对其进行了测试,选 20km 单模光纤作为延时,图 5 为频谱仪获取结果,洛伦兹拟合后线宽值为 5.7kHz。

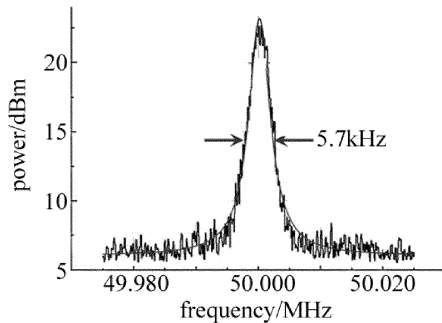


Fig. 5 Linewidth measurement of laser

3 结 论

设计了一种基于 SOA 和掺铒光纤滤波器的环形腔激光器,利用 NPR 效应获得多频率同时振荡,掺铒光纤环形滤波器起到滤波作用,通过调整 SOA 的驱动电流的大小和偏振控制器,可以获得双波长激光振荡。仿真表明:环形滤波器具有梳状滤波作用;光谱仪上显示,由不加滤波器的 0.12nm ~ 0.13nm 被压缩到 0.05nm,并测量出激光器的线宽为 5.7kHz,说明引入的环形滤波器滤波效果十分明显,输出激光的线宽得到了有效的压缩。

参 考 文 献

- [1] DAI Zh Y, ZHANG X X, PENG Z Sh, *et al.* A single-frequency narrow-line width fiber laser with PM fiber saturable absorber [J]. *Journal of Optoelectronics · Laser*, 2011, 22(5):652-655 (in Chinese).
- [2] DONG F J, YANG X F, TONG Zh R, *et al.* Dual-wavelength Erbium-doped fiber laser based on polarization hole burning of multi-mode fiber [J]. *Journal of Optoelectronics · Laser*, 2011, 22(6):841-844 (in Chinese).
- [3] CAO Y Ch, XIONG J J, HOU Q Zh. Design of precision control systems for tunable semiconductor lasers [J]. *Laser Technology*, 2015, 39(3):316-319 (in Chinese).
- [4] CHEN W G, LOU S Q, WANG L W, *et al.* Switchable dual-wavelength erbium-doped fiber laser based on the photonic crystal fiber loop mirror and chirped fiber Bragg grating [J]. *Optoelectronics Letters*, 2010, 6(2):94-97.
- [5] JIN L, KAI G Y, XU L L, *et al.* Switchable dual-wavelength erbium-doped fiber laser with a tilted fiber grating [J]. *Optoelectronics Letters*, 2007, 3(1):27-29.
- [6] PAN Sh L, YAO J P. A wavelength-switchable single-longitudinal-mode dual-wavelength erbium-doped fiber laser for switchable microwave generation [J]. *Optics Express*, 2009, 17(7):5414-5419.
- [7] QUINTELA M A, PEREZ-HERRERA R A, CANALES I, *et al.* Stabilization of dual-wavelength erbium-doped fiber ring lasers by single-mode operation [J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2010, 22(6):368-370.
- [8] PENG P C, TSENG H Y, CHI S. A tunable dual-wavelength erbium-doped fiber ring laser using a self-seeded Fabry-Perot laser diode [J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2003, 15(5):661-663.
- [9] YAO Y, CHEN X F, DAI Y T, *et al.* Dual-wavelength erbium-doped fiber laser with a simple linear cavity and its application in microwave generation [J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2006, 18(1):187-189.
- [10] PAN S L, ZHAO X F, LOU C Y. Switchable single-longitudinal-mode dual-wavelength erbium-doped fiber ring laser incorporating a semiconductor optical amplifier [J]. *Optics Letters*, 2008, 33(8):764-766.
- [11] RYN H Y, LEE W K, MOON H S, *et al.* Stable single-frequency fiber ring laser for 25GHz ITU-T grids utilizing saturable absorber filter [J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2005, 17(9):1824-1826.
- [12] ZHANG K, KANG J U. C-band wavelength-swept single-longitudinal-mode erbium-doped fiber ring laser [J]. *Optics Express*, 2008, 16(18):14173-14179.
- [13] FANG X L, TONG Zh R, CAO Y, *et al.* Narrow line width ring cavity fiber laser using F-P fiber ring filter [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2013, 42(2):329-333 (in Chinese).
- [14] ZHANG Z X, SANG M H, YE Zh Q, *et al.* Multiwavelength fiber laser based on nonlinear polarization rotation [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, 28(4):648-652 (in Chinese).
- [15] PAN S L, YAO J P. Frequency-switchable microwave generation based on a dual-wavelength single-longitudinal-mode fiber laser incorporating a high-finesse ring filter [J]. *Optics Express*, 2009, 17(14):12167-12173.
- [16] LI B, LIU Y, ZENG Sh G, *et al.* Study on coherent beam combination of fiber laser array [J]. *Laser Technology*, 2015, 39(5):712-716 (in Chinese).