

文章编号: 0258-7025(2009)03-0643-04

可调双频光纤环形腔激光器

苏觉 洪蕾 钱景仁

(中国科学技术大学电子工程与信息科学系, 安徽 合肥 230026)

摘要 提出了一种新型双波长掺铒光纤环形腔激光器。使用可调滤波器改变两束激光的波长差, 采用由窄带滤波器 and Mach-Zehnder 梳状滤波器组成的多重滤波的方式来选择工作频率或者工作模式, 有效地抑制相邻纵模之间的跳模现象。利用偏振烧孔效应和激光反向传播的特点大大增强了增益介质的非均匀加宽特性。实验结果表明, 得到的单频单纵模双波长激光器的波长间隔可调谐范围为 0.019~15 nm; 两束激光的拍频信号的频率差调节至 472.5 MHz 时, 在 100 Hz~3 GHz 范围内只有一个拍频信号。

关键词 激光器; 掺铒光纤双波长激光器; 偏振烧孔; 波长间隔可调; 单频单纵模

中图分类号 TN243 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL20093603.0643

Tunable Dual-Frequency Er-Doped Fiber Ring Laser

Su Jue Hong Lei Qian Jingren

(Department of Electronics Engineering and Information Science, University of Science and Technology of China, Hefei, Anhui 230026, China)

Abstract A new dual-wavelength erbium-doped fiber ring laser is proposed. By using multi-filtering method to select working frequencies or modes, the mode hopping between the neighboring modes can be effectively suppressed. Simultaneously by using the polarization hole burning effect, incorporating with the contrary propagation of the two light beams, the inhomogeneous broadening is significantly increased in the gain medium, and thus a stable dual-wavelength Er-doped fiber ring laser operating in single-longitudinal mode and single-frequency was demonstrated. Wavelength spacing between the two wavelengths was tunable from 0.019 nm to 15 nm. By suitable adjusting the tunable fiber filter, its intensity was of 25 dB over the noise and only one beat tone at 472.5 MHz was found in the spectral range from 100 Hz to 3 GHz.

Key words lasers; dual-wavelength Er-doped fiber ring laser; polarization hole burning; tunable wavelength spacing; single-longitudinal mode and single-frequency

1 引言

双波长或多波长掺铒光纤激光器在光纤波分复用通信系统、光纤传感器和光学仪器等方面的应用越来越引起人们的关注。在产生窄线宽的毫米波信号^[1], 甚至是产生太赫兹波^[2]时, 使用两束激光相拍被认为是一种有效的方法。为了产生较纯的拍频信号, 两个频率的激光必须工作在单纵模状态上。另外, 为了获得高度相干性的信号, 两个频率的激光应该由同一增益媒质, 或者由两个相关的增益媒质产生, 这样可极大地减小拍频信号的相位噪声。

近年来, 人们利用各种技术和方式来获得多波长激光器^[3~7]。其中, 在实现双波长激光器时, 主要采用偏振烧孔 (PHB) 这一机制^[8]。偏振烧孔效应是依靠在激光腔内引入特殊器件, 激发两个正交的偏振模式来诱发的, 如多量子阱波导^[9]、在高双折射光纤^[10]或多模光纤^[11]上刻制的布拉格光纤光栅等。偏振烧孔效应极大地提高了铒光纤增益的非均匀加宽特性, 减小激光腔内模式竞争。另外, 由于掺铒光纤是一种增益均匀加宽的介质^[1], 所以在室温下对多波长激光器如何抑制其交叉增益饱和是非常必要

收稿日期: 2008-08-15; 收到修改稿日期: 2008-10-16

基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金(20060358012)资助课题。

作者简介: 苏觉(1978-), 男, 博士, 讲师, 主要从事光纤及其元器件的理论和技術等方面的研究。

E-mail: sjue@ustc.edu.cn

的。以前制作的双波长激光器存在波长间隔难以小于 0.1 nm 或者间隔固定的缺点,然而波长间隔可调是双波长激光器比较重要的参数之一。

本文提出了一种双波长单频单纵模可调环形腔激光器。通过采用偏振烧孔和多重滤波,激光器的两束激光功率相当,并且它们之间的波长间隔具有非常宽的调谐范围。

2 实验装置和原理

双波长激光器系统的实验结构示意图如图 1 所示,确切的说由同一个增益介质激励的双环谐振腔产生双波长激光器的装置。实验系统两个子环的总长度相当,均约为 7 m,其自由谱宽约为 30 MHz。使用一段约 1 m 长的掺铒光纤(EDF)作为增益介质,截止波长为 907 nm,在 978 nm 处的吸收系数为 17.9 dB/m,数值孔径为 0.2。采用 980 nm 激光二极管(LD)通过波分复用器(WDM)对掺铒光纤进行抽运,系统中的其他光纤均为普通单模光纤。在包含增益介质的公共臂上分别连接两个分支,每个分支上包括三个器件,一个光纤滤波器(FF)、一个偏振控制器(PC)和一个光纤隔离器(IS)。其中一个分支上的滤波器(FF2)是固定的,中心波长为 1550.65 nm,3 dB带宽为 0.2 nm。另一个分支上的滤波器(FF1)是可调的,波长的可调节范围为 1535~1565 nm,3 dB带宽为 0.3 nm。两个分支的工作波长是不同的,分别由不同的滤波器 FF1 和 FF2 来控制。通过调节可调滤波器 FF1,可调节两个相反方向传输激光之间的波长差。PC2 和 PC3 分别用来调整每个分支上的偏振状态,以减少损耗。两个偏振分束器用来连接主环和两条支路,同时也保证了向两个相反方向传输的激光工作在相互正交的偏振状态上。在主干臂上插入一个马赫-曾德尔(Mach-Zehnder, M-Z)梳状滤波器进行进一步滤波,以抑制跳模现象。M-Z 滤波器的自由谱宽约为 753 MHz,3 dB 带宽约为 378 MHz。使用一个 90:10 的输出耦合器输出激光。

由于用两个偏振分束器(PBS)连接公共臂和两个分支,这样在增益介质上会产生偏振烧孔效应,大大降低模式竞争。同时,假如两束激光的传输方向是相同的,在 EDF 的输出端面,两束激光同时被放大到最大值,有较强的交叉增益饱和现象。现在采用的是两束激光在相反方向上传输的方法,使两束激光沿着 EDF 轴向的功率分布也是相反的,有助于加强增益介质的非均匀加宽效应,得到稳定的双模

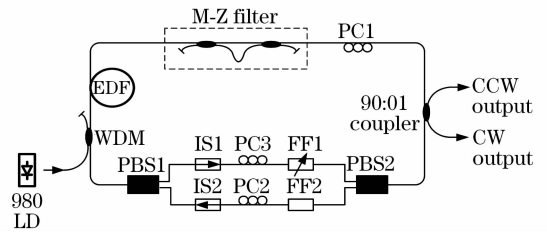


图 1 双波长激光器系统结构图

Fig.1 Schematic of the experimental setup
工作状态。尤其是在两束激光的波长间隔小于 0.1 nm 时,反向传输起了比较大的作用。同时由于反向传输,只用一个耦合器即可分离两束激光。

使用多重滤波的方式来选择工作频率或者工作模式。Mach-Zehnder 梳状滤波器可有效地抑制相邻纵模之间的跳模现象。尽管 Mach-Zehnder 梳状滤波器的加入引入了一个 753 MHz 整数倍的频率分离,但最终形成的滤波特性仍然是多重滤波器的叠加。所以,两束激光之间的频率差不是固定离散的,并且可通过可调滤波器 FF1 进行控制。

3 实验结果

仔细调节图 1 中的 PC1、PC2、PC3 可得到稳定的双波长激发。调节 PC2 和 PC3 可得到在顺时针(CCW)和逆时针(CW)方向的最低阈值,表明两个相反方向传输的激光在通过 PBS 时处于相互正交的偏振状态上。调节 PC1 使得在 EDF 中传输的光处于正交的偏振状态上。最后,微调三个偏振控制器得到在两个相反传输方向功率相当的激光。在光谱分析仪(ANDO, AQ 6317C)可观察到稳定的双波长功率谱,如图 2 所示。图 3 表示将激光器两路输出分别连接到扫描光纤环形腔,然后经光电转换后在示波器(Tektronix, TDS 1012)观测到的扫描波形。其中,扫描光纤环形腔的自由谱宽为 100 MHz,使用压

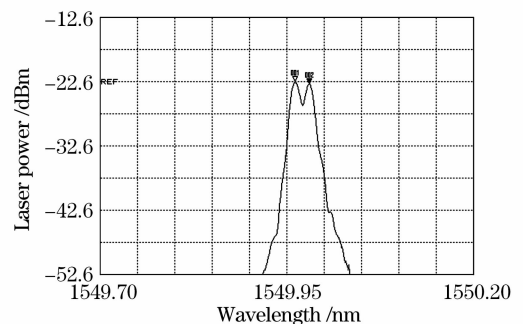


图 2 光谱分析仪观察到的双波长激光功率谱

Fig.2 Output power spectra of dual-wavelength laser beams displayed by an OSA

电陶瓷来改变扫描光纤环形腔的腔长,从而达到扫描的目的,扫描范围约为 73 MHz。图 3 中的锯齿波即为加载在压电陶瓷上的电压波形。从图 3 可以看出激光器工作在单频单纵模状态,EDF 的非均匀展宽特性被增强了。同时,在调节两束激光之间的频率差时,仍然可保持激光的单纵模状态。频率差最小可以调节至 472.5 MHz 以下。将两束输出激光由一个 3 dB 耦合器合并后连接到光电探测器上,使用频谱仪(Agilent,E4402B)可观察到两束激光信号的拍频谱,如图 4(a)所示。在 100 Hz~3 GHz 的测量范围内,只有频率为 472.5 MHz 的拍频信号,信噪

比为 25 dB,进一步表明了两束激光工作在单频状态。拍频信号的 3 dB 带宽约为 40 kHz,如图 4(b)所示。

当调节 FF1 时,可得到波长差变化的两束激光。其中,图 5(a)是两束激光的波长差为 3.812 nm 时的双波长功率谱。波长差的最大值可调节到 15 nm,如图 5(b)所示,表明双波长激光器有可能被使用于产生毫米波信号甚至太赫兹信号。当波长差小于 0.015 nm 时,由于光谱仪的分辨率为 0.01 nm,在光谱仪上已经不能分辨两束激光。但从示波器的扫描信号和频谱仪的拍频信号中我们可以确定,两束激光仍然处于单纵模状态。

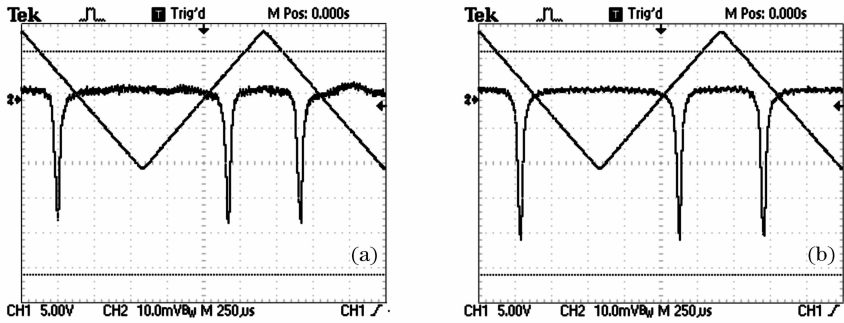


图 3 双波长激光扫描光纤环形腔输出功率谱。(a) CW, (b) CCW

Fig. 3 Output power spectra of dual-wavelength laser beams displayed by a scanning fiber ring resonator.

(a) CW, (b) CCW

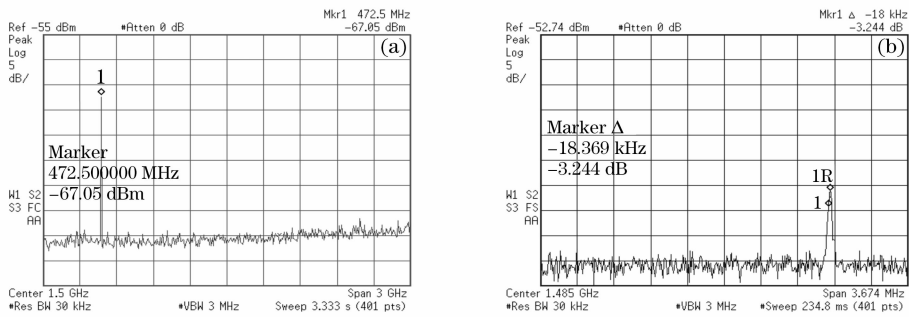


图 4 拍频信号的频谱(a)和 3 dB 带宽(b)

Fig. 4 RF spectrum (a) and bandwidth 3 dB (b) of the beat signal

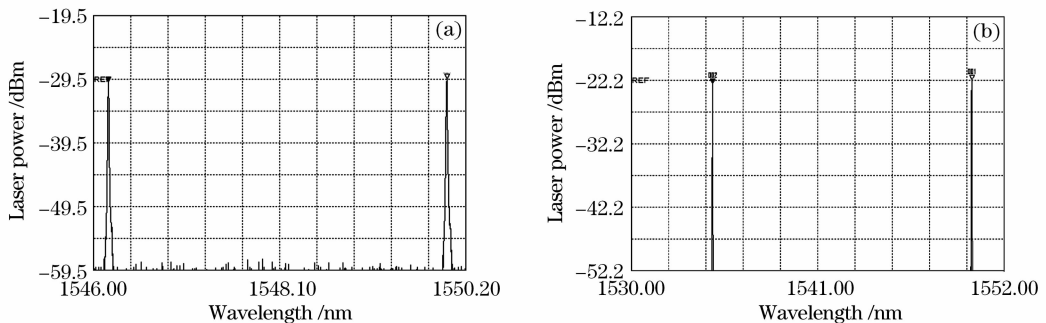


图 5 波长差为 3.812 nm (a)和 15 nm (b)时的双波长激光功率谱

Fig. 5 Power spectra of the dual-wavelength laser when difference is 3.812 nm (a) and 15 nm

4 结 论

提出一种可调双频光纤环形腔激光器。在掺铒光纤环形腔中引入偏振烧孔效应,同时使两束激光在相反方向上传输,可极大增强增益介质的非均匀加宽特性。多重滤波技术有效保证了光的单频状态。得到了一种波长间隔可在很大范围内调节的双波长单频单纵模激光器,其调谐范围为 0.019~15 nm。

参 考 文 献

- 1 Chen Guojie, Huang Dexiu, Zhang Xinliang *et al.*. Dual-wavelength erbium-doped fiber ring laser by cascading tunable bandpass filter with bandstop filter[J]. *Chin. Phys. Lett.*, 2007, **24**(11): 3145~3148
- 2 T. Taniuchi, S. Okada, H. Nakanishi. Widely-tunable THz-wave generation in 2~20 THz range from DAST crystal by nonlinear difference frequency mixing[J]. *Electron. Lett.*, 2004, **40**(1): 60~62
- 3 E. Desurvire, J. L. Zysking, J. R. Simpson. Spectral gain hole burning at 1.53 μm erbium-doped fiber amplifiers[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1990, **2**(4): 246~248
- 4 A. Bellemare, M. Karasek, M. Rochette *et al.*. Room-temperature multifrequency erbium-doped fiber lasers anchored ITU the frequency grid[J]. *J. Lightwave Technol.*, 2000, **18**(6): 825~830
- 5 Q. Mao, John W. Y. Lit. Multiwavelength erbium-doped fiber lasers with active overlapping linear cavities[J]. *J. Lightwave Technol.*, 2003, **21**(1): 160~169
- 6 Ji Heng, Yang Sigang, Zhang Ye *et al.*. Dual-wavelength Er-doped fiber laser based on phase sampled fiber Bragg grating[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(5): 919~922
季 恒, 杨四刚, 张 邨 等. 基于相位采样光栅的双波长光纤激光器[J]. *光学学报*, 2008, **28**(5): 919~922
- 7 Liu Yange, Feng Xinhua, Dong Xiaoyi. Progress in room-temperature stable multi-wavelength fiber laser technologies[J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(7): 883~894
刘艳格, 冯新焕, 董孝义. 室温稳定多波长光纤激光器技术的研究新进展[J]. *中国激光*, 2007, **34**(7): 883~894
- 8 X. H. Feng, Y. Liu, S. Z. Yang *et al.*. L-band switchable dual-wavelength erbium-doped fiber laser based on a multimode fiber Bragg grating[J]. *Opt. Exp.*, 2004, **12**(16): 3834~3839
- 9 J. Sun, J. Qiu, D. Huang. Multiwavelength erbium-doped fiber lasers exploiting polarization hole burning[J]. *Opt. Commun.*, 2000, **182**(1~3): 193~197
- 10 C. L. Zhao, X. Yang, J. H. Ng *et al.*. Switchable dual-wavelength erbium-doped fiber-ring lasers using a fiber Bragg grating in high-birefringence fiber[J]. *Microwave Opt. Technol. Lett.*, 2004, **41**(1): 73~75
- 11 X. Feng, Y. Liu, S. Fu *et al.*. Switchable dual-wavelength ytterbium-doped fiber laser based on a few-mode fiber grating[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2004, **16**(3): 762~765