

文章编号: 0258-7025(2009)07-1886-04

基于保偏光纤光栅的对称腔多波长掺铒光纤激光器

冯素春 许 鸥 鲁韶华 宁提纲 简水生

(北京交通大学光波技术研究所, 全光网络与现代通信网教育部重点实验室, 北京 100044)

摘要 提出一种基于保偏光纤布拉格光栅(PMFBG)的对称腔多波长掺铒光纤激光器(EDFL)。使用直接在保偏光敏光纤(PMPF)上写入的光纤布拉格光栅作为波长选择器件, 利用激光谐振腔中的偏振烧孔效应(PHB), 通过调整偏振控制器(PC), 在室温下得到稳定的四波长激光运转。输出激光的边模抑制比(SMSR)达到 50 dB, 约一个半小时重复扫描时间内对应于每一波长的振幅变化差异均小于 0.8 dB。

关键词 激光器; 掺铒光纤激光器; 多波长; 偏振烧孔效应; 保偏光纤; 光纤布拉格光栅

中图分类号 TN248.1 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL20093607.1886

Multi-Wavelength Erbium-Doped Fiber Laser Using Polarization-Maintaining Fiber Bragg Gratings in Symmetrical Linear Cavities

Feng Suchun Xu Ou Lu Shaohua Ning Tigang Jian Shuisheng

(Key Laboratory of All Optical Network & Advanced Telecommunication Network, Ministry of Education, Institute of Lightwave Technology, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract Multi-wavelength erbium-doped fiber laser using two polarization-maintaining fiber Bragg gratings (PMFBGs) in the symmetrical linear cavities at room temperature is proposed. Due to the polarization hole burning (PHB) enhanced by the PMFBG and the symmetrical cavities structure, stable four-wavelength lasing emission can be generated by adjusting the polarization controllers (PCs) simply. The side mode suppression ratio (SMSR) is over 50 dB. The amplitude variation with 16 times scan in nearly one and a half hours is less than 0.8 dB.

Key words lasers; erbium-doped fiber laser; multi-wavelength; polarization hole burning; polarization-maintaining fiber; fiber Bragg gratings

1 引 言

多波长光纤激光器在波分复用(WDM)光纤通信系统、光纤传感、光学仪器及系统检测、微波产生等领域有着广泛的应用, 近年来引起了人们极大的研究兴趣。光纤激光器较其他激光器具有独特的优势: 结构简单、插入损耗低、体积小; 同时它还具有阈值低、谐振波长范围宽、波长可调谐性好的特点。光纤布拉格光栅(FBG)由于具有很好的波长选择性及光纤兼容性而被广泛地应用于光纤激光器中, 已有多种不同类型的光纤布拉格光栅插入激光腔内执行

滤波功能。由于掺铒光纤(EDF)的增益均匀展宽特性带来的模式竞争, 在常温下很难产生稳定的多波长激光。已提出多种方法来实现稳定的多波长激光输出^[1~9]。基于保偏光纤布拉格光栅(PMFBG)的多波长光纤激光器的研究近年来备受关注^[10~15]。C. L. Zhao 等^[11]利用接续的两个保偏光纤布拉格光栅在环形腔光纤激光器中实现了多波长输出, 但是利用这种结构不能够得到稳定的四波长激光输出。Y. G. Liu 等^[12]在重叠激光腔中实现了稳定的四波长激光输出, 但是利用这种结构实现激光振荡

收稿日期: 2008-07-16; 收到修改稿日期: 2008-11-19

基金项目: 国家 863 计划(2007AA01Z258)和北京交通大学优秀博士生创新基金(141045522)资助课题。

作者简介: 冯素春(1982—), 男, 博士研究生, 主要从事光纤传感、光纤光栅和光纤激光器方面的研究。

E-mail: fengsuchun@gmail.com

导师简介: 简水生(1929—), 男, 教授, 中国科学院院士, 博士生导师, 主要从事光纤通信、光纤传感、光纤有源无源器件、光网络方面的研究。E-mail: ssjian@bjtu.edu.cn

的条件略显复杂。

本文使用在自制保偏光敏光纤(PMPF)上写入的光纤布拉格光栅作为波长选择器件,利用激光谐振腔中由保偏光纤布拉格光栅引入的偏振烧孔效应(PHB)^[10~15],通过调整偏振控制器(PC),在室温下得到稳定的四波长激光运转。和其他方法相比,所提出的激光器具有工作原理简单、结构简单、输出稳定等优点。

2 实验装置及工作原理

提出的对称腔多波长掺铒光纤激光器的结构如图 1 所示。它包括:两个直接写在自制熊猫型保偏光敏光纤上的具有不同反射波长的均匀保偏光纤光栅;一个由 1550 nm 的 3 dB 耦合器构成的 Sagnac 光纤环境(SFLM),此 Sagnac 光纤环境在 1550 nm 区域有接近 100% 的反射率^[14];两段 1.5 m 长,在 1530 nm 处吸收系数为 16 dB/m 的自制掺铒光纤,这两段掺铒光纤由最大抽运功率约 200 mW 的 980 nm 激光二极管(LD)通过一个 980 nm 的 3 dB 耦合器和两个 980 nm/1550 nm 波分复用耦合器进行抽运;两个偏振控制器用来分别连续调节激光腔内的双折射状态来平衡激光腔的增益均衡;两个光隔离器(ISO)和一个用来把从 WDM1 和 WDM2 输出的激光合起来的 1550 nm 3 dB 耦合器。两个保偏光纤光栅,Sagnac 光纤环境和两段掺铒光纤构成了两个对称的线性激光腔。

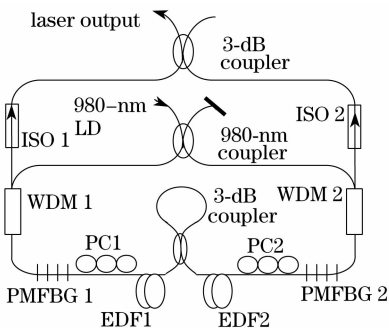


图 1 四波长激光器结构图

Fig. 1 Schematic diagram of the proposed laser

由于保偏光纤存在较强的双折射,即在 x 方向和 y 方向的有效折射率 $n_{\text{eff}x}$ 和 $n_{\text{eff}y}$ 不同,在保偏光纤上写入光栅后形成具有两个波长的光栅,其中一个波长对应一个偏振态^[10~15]。根据耦合模理论,其波长间隔为: $\Delta\lambda = 2\Delta\lambda/L_B$,其中 $\Delta\lambda$ 为光栅反射的两个布拉格波长之差, Λ 为光栅的周期, L_B 为保偏光纤的拍长, λ 为工作波长。所用的保偏光敏光纤波

长在 1550 nm 附近的拍长约为 4.98 mm,对应约 0.332 nm 的波长间隔。实验中所用的两个保偏光纤光栅由同一块均匀相位掩模板(掩模板周期为 1068 nm)利用 KrF 准分子激光器在不同的拉力下制作而成。第一个约 60 mm 长的保偏光纤光栅(PMFBG1)的两反射峰波长分别为 1543.150 nm, 1543.482 nm, 3 dB 带宽分别为 0.036 nm, 反射率分别为 76.7%, 80%。第二个约 60 mm 长的保偏光纤光栅(PMFBG2)的两反射峰波长分别为 1543.889 nm, 1544.221 nm, 3 dB 带宽分别为 0.036 nm, 反射率分别为 83.3%, 73.3%。图 2 为两个保偏光纤光栅的透射谱,测试光源为掺铒光纤放大器(EDFA)的自发辐射噪声(ASE)。光谱输出用 ANDO 公司的 AQ6317 光谱分析仪(OSA)观测,光谱分析仪分辨率为 0.01 nm。

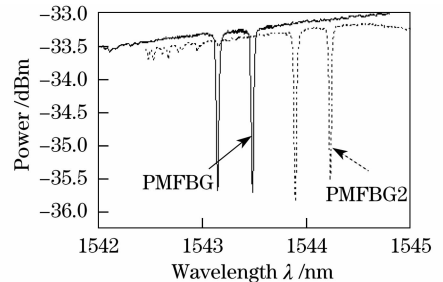


图 2 两个保偏光纤光栅的透射谱

Fig. 2 Transmission spectra of two PMFBGs

对于由 WDM1, PMFBG1, PC1, EDF1, Sagnac 光纤环境构成的激光腔和由 WDM2, PMFBG2, PC2, EDF2, Sagnac 光纤环境构成的激光腔,由于 Sagnac 光纤环境近乎 100% 的反射率,这两个对称的激光腔几乎是独立的,即在两个对称激光腔中形成的激光振荡互不影响。对于这两个对称激光腔的任一个激光腔,保偏光纤光栅引入的双折射有助于分开掺铒光纤中不同波长的偏振状态,从而抑制了掺铒光纤中的增益均匀展宽,增强了偏振烧孔效应,减小了不同模式之间的竞争。因此,室温条件下,激光能够在相应于两正交偏振状态的波长上产生稳定的双波长振荡^[10~15]。最后,通过一个 1550 nm 的 3 dB 耦合器把从 WDM1 和 WDM2 输出的激光合并在一起,便可得到稳定的四波长激光振荡输出。

3 实验结果及讨论

通过简单地调整两个偏振控制器的状态,得到

了具有均衡输出功率的稳定四波长激光振荡输出。图3给出了激光器在160 mW抽运功率下,四波长激光振荡稳定的输出情况。四个激光波长分别为1543.156 nm, 1543.488 nm, 1543.894 nm和1544.226 nm,分别对应第一个保偏光纤光栅和第二个保偏光纤光栅的反射峰波长。由图3可以看

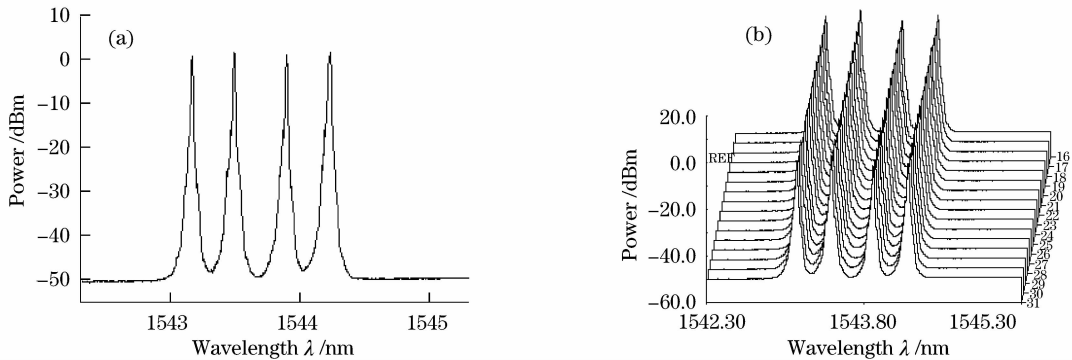


图3 激光器在160 mW抽运功率下的四波长输出

Fig. 3 Four-wavelength operation of the laser at about 160-mW pump

由图3可看出,室温下在同一抽运功率下四波长激光振荡输出的稳定性及振幅均衡性都很好。正如第2节所述,这主要是因为偏振烧孔效应大大增强了掺铒光纤的非均匀增益展宽,从而减小了不同模式之间的竞争。由以前的报道可知^[14,15],对于对称激光腔的任一激光腔来说,若通过调整偏振控制器的状态,即改变腔内的双折射状态,当一个模式所对应的增益粒子数比另一个占绝对优势时,就会在此波长处形成稳定的单波长振荡。由此可形成对激光振荡模式的选择,即通过调整偏振控制器的状态可使激光器在稳定的双波长或单波长之间转换。在本实验中也进行了波长转换的实验,但最终的激光输出不稳定。这可能是由于激光腔比较短的腔长(约1.5 m)和具有较高增益的掺铒光纤,使得形成激光振荡的阈值比较低,两个激光振荡模式均在阈值之上,这一现象还有待进一步研究。若能实现波长转换,则这种激光器结构是很灵活的,可以得到具有多种波长间隔、不同激光波长数的激光输出,即两波长、三波长、四波长激光输出都可以通过这种结构来实现。

同文献[12]相比,这种激光器工作原理简单,且边模抑制比和输出功率都比其得到的结果要好。具有更高输出功率、斜率效率和边模抑制比的激光可以通过优化掺铒光纤的长度和保偏光纤光栅的反射率来得到。具有不同激光波长和不同激光波长间隔的激光可以通过调谐保偏光纤光栅的温度、选取不同的相位掩模板和具有不同双折射的保偏光敏光纤

出,输出激光的边模抑制比约为50 dB,输出激光功率约为1 mW。图3(b)给出了激光器在160 mW抽运功率下,每隔5 min扫描一次共约1.5 h的重复扫描图,对应于每一激光波长的振幅变化差异均小于0.8 dB。

来实现。值得一提的是,在这种结构的激光器激光腔中插入相移光栅^[2],有望得到单纵模的多波长激光输出。特别是单纵模输出的双波长激光器,其在光生微波、光生毫米波等方面都有重要的应用^[1]。

4 结 论

提出一种基于保偏光纤光栅的对称腔多波长掺铒光纤激光器。使用在保偏光敏光纤上写入的光纤布拉格光栅作为波长选择器件,利用激光谐振腔中的偏振烧孔效应,通过调整偏振控制器,在室温下得到稳定的四波长激光运转。边模抑制比达到50 dB,约1.5 h重复扫描时间内对应于每一波长的振幅变化差异均小于0.8 dB。和其他方法相比,这种激光器具有工作原理简单、结构简单、输出稳定等优点,同时也讨论了该激光器的潜在应用。

致谢 感谢本所光纤预制棒制作组和光纤拉丝组提供性能优良的保偏光敏光纤。

参 考 文 献

- 1 Y. Yao, X. Chen, Y. Dai *et al.*. Dual-wavelength erbium-doped fiber laser with a simple linear cavity and its application in microwave generation [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2006, **18**(1): 187~189
- 2 X. Chen, J. Yao, Z. Deng. Ultranarrow dual-transmission-band fiber Bragg grating filter and its application in a dual-wavelength single-longitudinal-mode fiber ring laser [J]. *Opt. Lett.*, 2005, **30**(16): 2068~2070
- 3 Young Geun Han, Ju Han Lee, Sang Bae Lee *et al.*. Novel multiwavelength erbium-doped fiber and Raman fiber ring lasers

- with continuous wavelength spacing tunability at room temperature [J]. *J. Lightwave Technol.*, 2007, **25**(8): 2219~2225
- 4 Y. Liu, X. Dong, P. Shum *et al.*. Stable room-temperature multi-wavelength lasing realization in ordinary erbium-doped fiber loop lasers [J]. *Opt. Express.*, 2006, **14**(20): 9293~9298
- 5 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): 762~764
- 6 Liu Yanke, Feng Xinhuan, 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
- 7 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
- 8 Li Shule, Shao Jiafeng, Shen Qishun *et al.*. Multiwavelength fiber ring laser with selectable grid spacing [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(10): 1802~1806
李抒乐,邵加峰,沈启舜等. 间隔可调多波长光纤激光器的实验研究 [J]. *光学学报*, 2007, **27**(10): 1802~1806
- 9 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
- 10 D. Liu, N. Q. Ngo, S. C. Tjin *et al.*. A dual-wavelength fiber laser sensor system for measurement of temperature and strain [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2007, **19**(15): 1148~1150
- 11 C. L. Zhao, X. Yang, C. Lu *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**(4): 313~317
- 12 Y. G. Liu, X. Feng, S. Yuan *et al.*. Simultaneous four-wavelength lasing oscillations in an erbium-doped fiber laser with two high birefringence fiber Bragg gratings [J]. *Opt. Express*, 2004, **12**(10): 2056~2061
- 13 W. Guan, J. R. Marcante. Dual-frequency operation in a short-cavity ytterbium-doped fiber laser [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2007, **19**(5): 261~263
- 14 L. Sun, X. Feng, W. Zhang *et al.*. Beating frequency tunable dual-wavelength erbium-doped fiber laser with one fiber Bragg grating [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2004, **16**(6): 1453~1455
- 15 Li Rao, Feng Xinhuan, Sun Lei *et al.*. Dual-wavelength fiber laser based on polarisation hole-burning effect at room temperature [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(2): 173~175
李尧,冯新焕,孙磊等. 用偏振烧孔实现的室温双波长光纤激光器 [J]. *光子学报*, 2005, **34**(2): 173~175