

用偏振烧孔实现的室温双波长光纤激光器*

李尧 冯新焕 孙磊 孙婷婷 刘艳格 袁树忠 开桂云 董孝义

(南开大学现代光学研究所 天津 300071)

摘要 本文提出一种简单的掺铒光纤激光器的结构,在室温下实现了稳定的双波长激光运转.在该结构中,使用刻写在保偏光纤上的光纤布喇格光栅作为波长选择器件.实验表明,通过调整偏振控制器的状态,在室温下能够得到稳定的双波长激光输出,波长间隔 0.52 nm,16 次重复扫描对应于每一波长的振幅变化及波长间振幅差异均小于 0.2 dB.

关键词 掺铒光纤激光器;双波长振荡;偏振烧孔效应

中图分类号 TN248.1 **文献标识码** A

0 引言

波长位于 1.5 μm 处的多波长掺铒光纤激光器(EDFA)在波分复用(WDM)通信系统、光纤传感、光学仪器及系统检测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^[1,2].在此类激光器中,实现稳定的多波长激光运转的关键在于如何降低由掺铒光纤的增益均匀展宽特性带来的模式竞争^[3],为此提出了许多方法.其中一种有效方法是将掺铒光纤置于液氮中(77K)冷却以减小它的均匀展宽^[4],但是低温工作的掺铒光纤激光器不能满足实用的要求.因此如何在室温条件下得到稳定的多波长输出,成为实现其广泛应用的一个重要问题.为此,学者们提出了多种方法均实现了室温下的多波长振荡. Poustie 等人提出将多模光纤引入谐振腔以形成一种具有周期频率响应的空间模式跳动结构^[5],但由于各波长的损耗变化无规律,使其输出的激光波长随机性较大; Cowle 等人采用将线性的掺铒光纤增益与非线性的布里渊增益相结合的方法^[6],可是用于产生布里渊效应的泵浦源—可调谐DFB激光器价格昂贵,而导致造价较高; Bellemare 等人提出在环形腔中加入频率滤波器的方法^[7],环形腔内插入频移器尽管能产生室温稳定的多波长激光,但是声光移频器的插损较大,典型值为 8 dB,并且需要高频驱动电源.

在本文中,我们提出了一种简单的线形腔掺铒光纤激光器的结构,在室温下实现了稳定的双波长激光运转.在该激光器中,选用刻写在保偏光纤上的光纤布喇格光栅(PM-FBG)作为波长选择器件,由于保偏光纤具有高双折射特性,增强了谐振腔内的偏振非均匀性,应用偏振烧孔效应,通过偏振控制器控制腔内

的偏振状态而适当选择腔内损耗,激光器就可以同时产生双波长运转或在两个波长之间转换.

1 实验装置与原理

图1所示为双波长线形腔掺铒光纤激光器的结构示意图.掺铒光纤为增益介质,长 15 m,由 980 nm 激光二极管(LD)通过 WDM 对其进行泵浦,泵浦功率为 80 mW. 谐振腔的一端用 Sagnac 光纤环镜作为全反镜,另一端用光纤布喇格光栅作为输出镜,它是利用相位模板紫外光写在保偏光纤上的,并同时作为波长选择器件.在腔内插入偏振控制器调整进入布喇格光栅的光的偏振状态.激光输出用光谱分析仪(Q8384)观测.

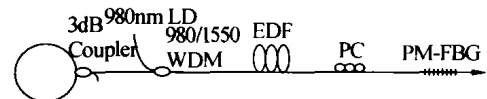


图1 线形腔掺铒光纤激光器结构示意图

Fig. 1 Experiment setup of the EDF linear laser

光纤布喇格光栅的反射峰的波长通过布喇格条件与光纤的有效折射率相联系.对于普通的单模光纤,公式 $\lambda_B = 2n_{\text{eff}}\Lambda$ (其中 Λ 为光栅周期)决定它的反射峰只能有一个^[8].而如果布喇格光栅是在保偏光纤的纤芯中制作的,就应当考虑双折射的影响.若用 Δn_{eff} 表示基模两正交偏振态的有效折射率的差值,相应就会产生两个不同的谐振波长,反射峰将分裂为两个,其间隔为 $\Delta\lambda_B = 2n_{\text{eff}}\Lambda$,并且这两个反射峰分别对应于两正交的偏振态.当利用光纤布喇格光栅作为波长选择器件时,激光器的振荡频率就由其反射峰决定.因此,对于这种刻写在保偏光纤上的光纤布喇格光栅而言,若进入其中的光的偏振方向与光纤双折射的任一主轴相平行,可得到单一偏振方向的输出,激光器为单波长输出;而通过调整偏振控制器的状态使其处于适当位置时,考虑到EDF中的偏振烧孔效应,激光就有可能在对应于两个相互正交的偏振状态的波长处同时振荡,激光器

*国家自然科学基金重点基金(60137010)和天津自然科学基金(013601811)资助

Tel: 022-23509849 Email: liyao@mail.nankai.edu.cn

收稿日期: 2003-12-15

为双波长输出.

图 2 所示为 PM-FBG 的透射谱,两峰分别对应波长 $\lambda_1 = 1.5552 \mu\text{m}$, $\lambda_2 = 1.56046 \mu\text{m}$,其波长间隔为 0.50 nm,两条谱线对应的偏振态是正交的.因此,将具有此种光谱特性的光栅应用于激光器谐振腔时,由于保偏光纤的双折射特性以及由此引入的掺铒光纤中的偏振烧孔效应,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运转.

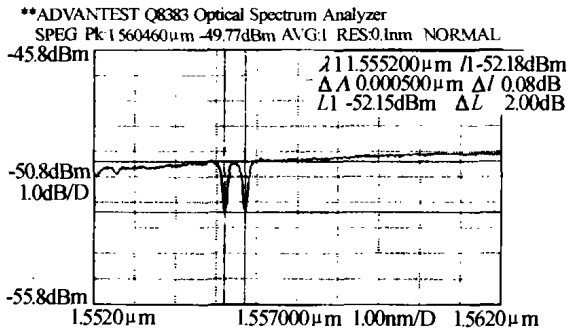
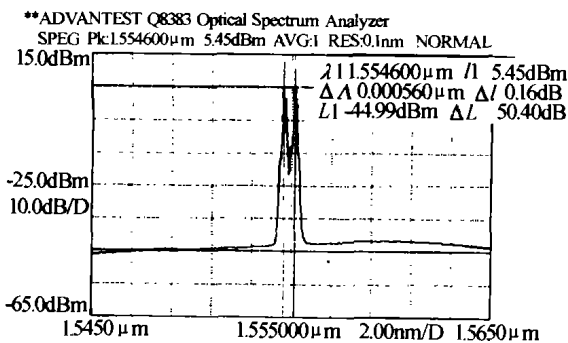


图 2 PM-FBG 的透射谱

Fig. 2 Transmission spectra for the Pm-FBG

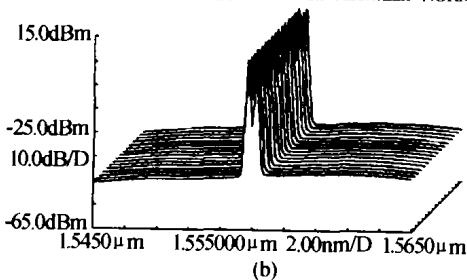
2 实验结果与讨论

在实验中,我们通过调整偏振控制器的状态,在室温条件下得到了掺铒光纤激光器的双波长输出.图 3 (a) 所示即为该光纤激光器双波长激光的光谱图.激光光谱的谱线分别对应波长 $\lambda_1 = 1.5546 \mu\text{m}$ 和 $\lambda_2 = 1.55516 \mu\text{m}$,波长间隔为 0.56 nm,3 dB 带宽分别为 0.14 nm 和 0.12 nm,并且两峰的幅值基



(a)

ADVANTEST Q8383 Optical Spectrum Analyzer
SPEG Pk:1.554600μm 5.45dBm AVG:1 RES:0.1nm NORMAL



(b)

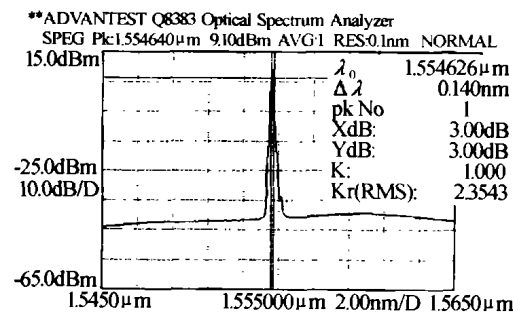
图 3 (a) 线形腔掺铒光纤激光器的双波长激光运转,(b) 激光光谱 16 次重复扫描

Fig. 3 (a) Dual-wavelength lasing operation of the proposed fiber laser, (b) Repeated scan of the optical spectrum (16 scans)

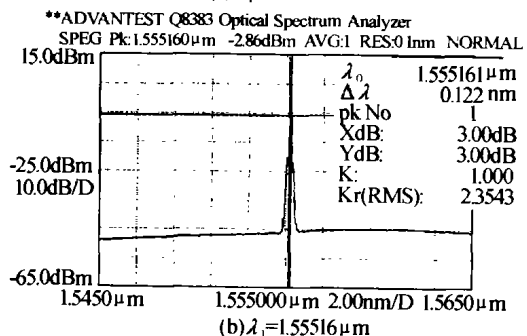
本相等.我们对激光光谱进行 16 次重复扫描,如图 3(b) 所示.可以看出,在整个扫描时间内,双波长激光运转稳定,激光谱线的相对振幅没有明显改变,每一谱线的振幅变化小于 0.2 dB.

调整偏振控制器,使入射光有不同的偏振态,经 PM-FBG 后形成对偏振态有选择性的反馈,这将极大地增强激光谐振腔内偏振状态的非均匀性,从而在均匀展宽的掺铒光纤增益介质中产生偏振烧孔,抑制模式竞争.当偏振控制器处于适当位置时,就有可能使从 EDF 获得的增益能够补偿 PM-FBG 两个布拉格波长处的腔内损耗,在室温条件下实现稳定的双波长运转.

调整偏振控制器,使进入 PM-FBG 的光沿保偏光纤的任意一个光轴方向,由 PM-FBG 的透射谱可知,该偏振状态的光将反射回谐振腔,而与之正交的另一偏振状态的光将大部分透射,这样就可以得到单波长激光输出,图 4 (a)、(b) 所示即为光纤激光器单波长运行时的情况.图 4 (a) 为波长位于 1.5546 μm 时的激光光谱,3 dB 带宽为 0.14 nm.旋转偏振控制器,可使波长位于 1.55516 μm,3 dB 带宽为 0.12 nm,如图 4(b) 所示.



(a) $\lambda_1 = 1.5546 \mu\text{m}$



(b) $\lambda_1 = 1.55516 \mu\text{m}$

图 4 (a) 掺铒光纤激光器单波长激光运转,(b) 掺铒光纤激光器单波长激光运转

Fig. 4 (a) Single-wavelength lasing operation of the proposed laser, (b) Single-wavelength lasing operation of the proposed laser

3 结论

我们提出了一种简单的掺铒光纤激光器线形腔结构,在室温条件下实现了稳定的双波长激光运转.与其他方法相比,其结果简单,输出特性好.在该结

构中,激光腔中的所有光纤均为一般光纤,只有刻有布喇格光栅的光纤为保偏光纤. 实验表明,利用激光谐振腔中的偏振烧孔效应,可在室温下获得稳定的双波长激光输出,它们分别对应于两相互正交的偏振状态,波长间隔为 0.52 nm,16 次重复扫描时间内对应于每一波长的振幅变化及波长间振幅差异均小于 0.2 dB.

参考文献

- 1 赵洪霞,柳春郁,余有龙,等. 一种结构新颖波长间距可调谐的光纤激光器. 光子学报,2003,32(4):392~394
Zhao H X, Liu C Y, Yu Y L, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2003,32(4):392~394
- 2 赵东晖,杨秀峰,葛春风,等. 一种多波长窄线宽环形掺铒光纤激光器. 光子学报,1998,27(5):459~461
Zhao D H, Yang X F, Ge C F, et al. *Acta Photonica Sinica*, 1998,27(5):459~461
- 3 Desurvire E, Zyskind J L, Simpson J R. Spectral gain hole-burning at 1.53 μm in erbium-doped fiber amplifiers. *IEEE*

- Photon Technol Lett*, 1990,2(4): 246~248
- 4 Yamashita S, Hotate K. Multiwavelength erbium-doped fiber laser using intracavity etalon and cooled by liquid nitrogen. *Electron Lett*, 1996,32(14): 1298~1299
 - 5 Pousite A J, Finlayson N, Harper P. Multiwavelength fiber laser using a spatial mode beating filter. *Opt Lett*, 1994,19(10): 716
 - 6 Cowle G J, Stepanov D Y, Chieng Y T. Brillouin/erbium fiber lasers. *J Lightwave Technol*, 1997,15(7): 1198~1204
 - 7 Bellemare A, Karasek M, Rochette M, et al. Room temperature multifrequency erbium-doped fiber lasers anchored on the ITU frequency grid. *J of Light Technol*, 2000,18(6): 825
 - 8 Hernandez-Cordero J, Kozlov V A, Carter L G, et al. Fiber laser polarization tuning using a Bragg grating in a Hi-Bi fiber. *IEEE Photon Technol Lett*, 1998,10(7): 941~943

Dual-wavelength Fiber Laser Based on Polarisation Hole-burning Effect at Room Temperature

Li Yao, Feng Xinhuan, Sun Lei, Sun Tingting, Liu Yange, Yuan Shuzhong, Kai Guiyun, Dong Xiaoyi
Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 300071

Received date:2003-12-15

Abstract A simple erbium-doped fiber laser configuration for achieving stable dual-wavelength oscillation at room temperature is proposed. In this configuration, a fiber Bragg grating written in a polarisation-maintaining fiber as the wavelength-selective component is used. Stable dual-wavelength oscillation with a wave spacing of 0.52nm at room temperature can be achieved through adjusting the state of polarization controller. An amplitude variation within 16 scans time is less than 0.2dB for both wavelengths.

Keywords Erbium-doped fiber laser; Dual-wavelength oscillation; Polarisation hole-burning effect



Li Yao was born in 1977, in Beijing of China. Now she is a graduate student in Institute of Modern Optics of Nankai University. She majors in fiber laser.