

# 基于相移光栅的多波长掺铒光纤激光器的实验研究

杨秀峰 方秀丽\* 童峥嵘 曹 晔

(天津理工大学计算机与通信工程学院智能计算及软件新技术重点实验室及薄膜电子与通信器件重点实验室, 天津 300384)

**摘要** 提出了一种基于相移光栅(PSG)的多波长掺铒光纤激光器的结构。在该结构中,使用双相移点相移光栅作为波长选择器件,该光栅是在普通布拉格光栅上插入两个相移点而形成的。以 980 nm 的激光二极管(LD)作为抽运源,通过调整偏振控制器(PC),在室温下得到了稳定的三波长激光输出。通过连续 25 min 的观察,观测到输出波长的峰值波动范围小于 0.6 dB。研究了相移光栅激光器的温度特性,通过设置不同的温度(25 °C~85 °C),实现了此类基于相移光栅激光器的微调谐。该掺铒光纤激光器可同时输出多个稳定的波长,因此可应用于多波长干涉测量以及全光通信等领域中。

**关键词** 激光器;相移光栅;波长可调谐;稳定性

中图分类号 TN248.1 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL201239.0602012

## Experimental Study of Multi-Wavelength Fiber Laser Based on Phase-Shifted Fiber Grating

Yang Xiufeng Fang Xiuli Tong Zhengrong Cao Ye

(Key Laboratory of Film Electronics and Communication Devices and Key Laboratory of Intelligent Computing and Novel Software Technology, School of Computer and Communication Engineering, Tianjin University of Technology, Tianjin 300384, China)

**Abstract** A multi-wavelength fiber laser with phased-shifted fiber grating (PSG) is proposed. The phase-shifted fiber grating with two phase shift points is used as the wavelength selection device which is formed by inserting two phase shift points in the Bragg grating. Under 980 nm laser diode (LD) pumped, stable triple-wavelength can be obtained by adjusting the polarization controller (PC) at the room temperature. The triple-wavelength output power fluctuation is less than 0.6 dB within 25 min. Further more, the temperature tunability of the wavelength of the fiber laser is investigated. The output wavelength can be tuned with the temperature changing from 25 °C to 85 °C. Due to the stable multiwavelength output, the fiber laser can be used in the multiwavelength interference measurement and optical communication systems.

**Key words** lasers; phase-shifted fiber grating; wavelength tunable; stability

**OCIS codes** 140.3560; 060.3510; 140.3500

## 1 引 言

多波长掺铒光纤激光器因其阈值小、噪声低、调谐范围宽、易于与通信光纤连接等优点在波分复用(WDM)光纤通信系统、光谱分析和光传感等领域有着广泛的应用。例如,在多波长干涉测量技术

中,需要使用两个或两个以上波长光束,来克服用单波长干涉法测量时存在的模糊性问题。在多波长掺铒光纤激光器中,实现稳定的多波长激光运转的关键在于降低由掺铒光纤(EDF)的增益均匀展宽特性带来的模式竞争,为此提出了许多方法。1)如利

收稿日期: 2011-12-16; 收到修改稿日期: 2012-03-17

基金项目: 国家自然科学基金(61107052)和天津市自然科学基金(11JCYBJC00100)资助课题。

作者简介: 杨秀峰(1964—),女,博士,教授,主要从事慢光、光纤激光器和光传感技术等方面的研究。

E-mail: yangxfbee@163.com

\* 通信联系人。E-mail: fxlsummer@163.com

用非线性偏振旋转效应<sup>[1~3]</sup>,其需要激光腔内具有较高的功率水平,激光腔的长度比较长;2)利用正弦相位调制器<sup>[4]</sup>,为了保证多波长的连续激光输出,必须精细控制环形腔中的腔内损耗、功率水平以及掺铒光纤的饱和水平等;3)利用光子晶体光纤<sup>[5,6]</sup>的非线性四波混频效应(FWM)<sup>[7,8]</sup>,但光子晶体光纤本身造价昂贵,限制了其应用。近年来,光纤光栅(FBG)因其体积小、成本低和插入损耗低等优点,在光通信以及光纤传感领域引起了广泛的注意以及应用。布拉格光栅由于其波长的可选择性、可控性、操作简单、高灵活性受到广泛关注,尤其是特定布拉格光栅,如:保偏布拉格光栅<sup>[9]</sup>、取样布拉格<sup>[10~12]</sup>、多模布拉格<sup>[13]</sup>等在稳定的多波长激光器中得到广泛应用,但其输出波长的线宽均较宽。本文提出了一种简单的环形腔掺铒光纤激光器的结构,实现了稳定的三波长激光的同时运转。在该激光器中,使用相位掩膜加二次曝光法制作的双相移点光栅<sup>[14,15]</sup>作为多波长激光器的滤波元器件,即在布拉格光栅的透射阻带谱中插入两个极窄的透射峰,从而有3个带宽较窄的透射峰形成。即原来的1个布拉格透射谱被分成了3个,从而减小了透射谱的线宽。与传统的多波长激光器相比,利用相移光栅(PSG)设计的激光器输出波长线宽更窄<sup>[16,17]</sup>。

## 2 实验结构及原理

图1为环形腔掺铒光纤激光器的结构示意图。由980 nm激光二极管(LD)通过WDM对其进行抽运,抽运功率为80 mW。相移光栅通过环形器引入环形腔,作为波长选择器件。掺铒光纤为增益介质,长为5 m。为了确保环形腔中入射光的单向运转,在系统中引入隔离器(ISO),通过调整偏振控制器(PC)控制进入相移光栅中入射光的偏振态。耦合系数为10:90的耦合器用作输出耦合器,输出激光

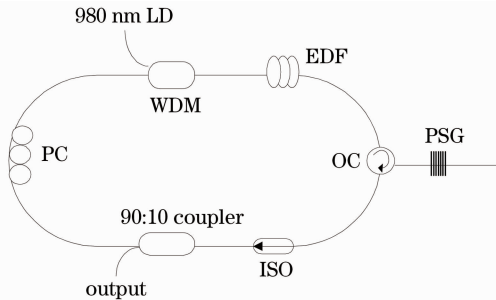


图1 基于相移光栅的稳定多波长激光器结构图  
Fig.1 Structure of stable multi-wavelength laser based on phased-shifted fiber grating

用光谱分析仪(OSA)进行观测。

图1所示激光器的工作原理是由抽运源注入的抽运光抽运掺铒光纤得到增益,由光耦合器输出到双相移点光栅,由于插入两个相移点,形成两个极窄的透射峰,双相移点光纤光栅可支持3个模式在其中传输,这些模式具有不同的传输速度和模场分布。满足光栅波长的光被反射回环中继续振荡,经过多次循环振荡后形成谐振,产生的激光经10:90的耦合器输出到光谱仪观测结果,满足波长在相移中心波长处的谐振频率产生持续稳定的激光输出。通过调整偏振控制器状态,实现对光栅反射峰值大小的调整,进而实现常温下三波长的输出。图2为相移光栅的透射谱,3个透射峰的波长分别为1544.05、1544.22、1544.36 nm。

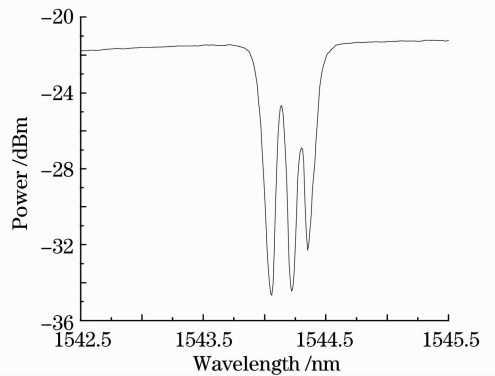


图2 相移光栅的透射谱

Fig.2 Schematic of transmission spectrum of PSG

## 3 实验结果及分析

实验从3个方面对系统结构进行研究。1)在常温下将抽运功率调整至75 mW,通过调整偏振控制器,得到了稳定的三波长激光输出,如图3所示。激光器输出稳定的三波长分别为1543.99、1544.13、1544.28 nm,波长间隔分别为0.14 nm和0.15 nm。与实验采用的相移光栅的中心波长及间隔稍有偏差,这是因为激光模式在偏振方向上存在竞争,调节偏振控制器,调节了腔内波长的偏振态使得布拉格中心波长发生了轻微的偏移。激光的消光比大于25 dB。2)研究了输出波长峰值功率的稳定性,如图4所示,在25 min内每隔5 min对输出激光进行观测,实验结果表明三波长的峰值波动小于0.6 dB,三波长激光器输出功率稳定。3)对激光器的温度特性进行了研究。把实验装置置于恒温板中,设置恒温板温度分别为30 ℃、50 ℃、70 ℃,观察输出激光的波长位置如图5所示。由图看出,随着温度的升

高,三波长同时向长波方向漂移。为获得光栅的波长漂移量,选取  $\lambda = 1544.13 \text{ nm}$  处的激光进行温度测试的研究,在  $25 \text{ }^{\circ}\text{C} \sim 85 \text{ }^{\circ}\text{C}$  每隔  $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  测量一次输出激光,实验结果如图 6 所示。从拟合方程可以看出,随着温度的变化,输出激光的位置漂移量为  $0.0075 \text{ nm}/^{\circ}\text{C}$ ,所以可以根据激光器对温度的敏感特性对输出激光进行调谐。

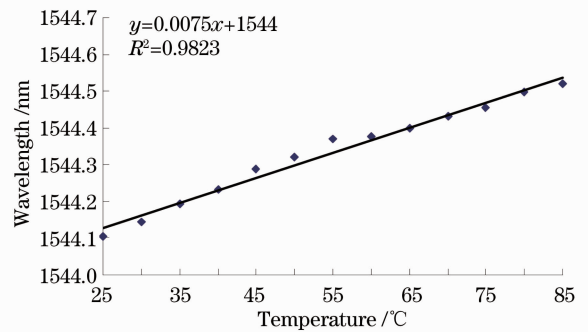


图 6 输出波长随温度的变化关系

Fig. 6 Output wavelength versus the change of temperature

## 4 结 论

提出了一种基于双相移点光栅的多波长激光器,产生了稳定的三波长输出,连续观测 25 min,激光器的输出波长峰值功率波动小于 0.6 dB。对该激光器进行了  $25 \text{ }^{\circ}\text{C} \sim 85 \text{ }^{\circ}\text{C}$  范围内的温度稳定性测试,实验结果表明其输出波长可通过温度调谐,敏感系数为  $0.0075 \text{ nm}/^{\circ}\text{C}$ ,故可以通过改变温度实现输出激光的可调谐。与传统多波长激光器相比,此类多波长激光器具有结构简单、输出稳定、温度可调谐的优点。另外,可以通过优化系统的结构参数提高抽运效率,从而提高输出激光的功率。

## 参 考 文 献

- 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
- Xinhuan Feng, H. Tam, Heliang Liu *et al.*. Multiwavelength erbium-doped fiber laser employing a nonlinear optical loop mirror [J]. *Opt. Commun.*, 2006, **268**(2): 278~281
- Jiajun Tian, Yong Yao, Yunxu Sun *et al.*. Multiwavelength erbium-doped fiber laser employing nonlinear polarization rotation in a symmetric nonlinear optical loop mirror[J]. *Opt. Express*, 2009, **17**(17): 15160~15166
- K. Zhou, D. Zhou, F. Dong *et al.*. Room temperature multiwavelength erbium-doped fiber ring laser employing sinusoidal phase-modulation feedback [J]. *Opt. Lett.*, 2003, **28**(11): 893~895
- Chi Hao, Zeng Qingji, Jiang Chun. Photonic crystal fiber: theory, applications and recent progress[J]. *J. Optoelectronics • Laser*, 2002, **13**(5): 534~537
- 池 灏, 曾庆济, 姜 淳. 光子晶体光纤的原理、应用和研究进展[J]. *光电子·激光*, 2002, **13**(5): 534~537
- Ailing Zhang, Heliang Liu, M. S. Demokan *et al.*. Stable and broad bandwidth multiwavelength fiber ring laser incorporating a highly nonlinear photonic crystal fiber [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2005, **17**(12): 2535~2537
- Jiao Lei, Song Yuejiang, Zhang Xuping. Four-wave-mixing enhanced multi-wavelength Brillouin erbium-doped fiber laser[J].

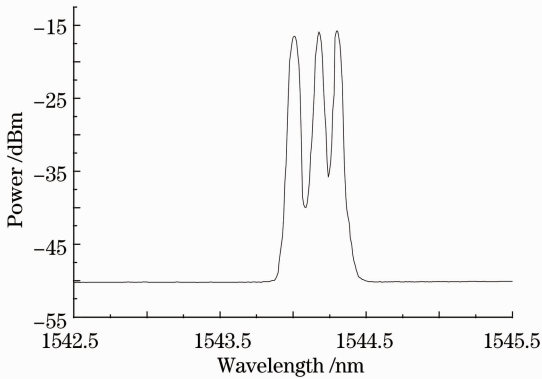


图 3 室温下光谱仪观测到的输出光谱

Fig. 3 Output spectrum measured at room-temperature by optical spectrum analyzer

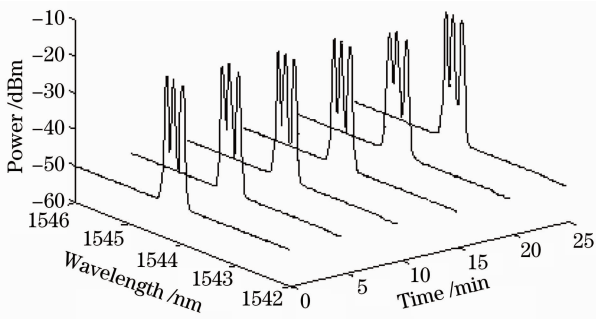


图 4 25 min 内的光谱输出

Fig. 4 Output spectra measured during 25 min period

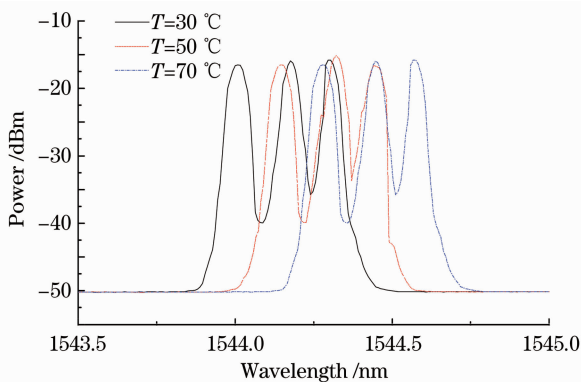


图 5 不同温度时的输出光谱

Fig. 5 Output spectra measured at different temperatures

- Acta Optica Sinica*, 2011, **31**(2): 0214007  
焦 磊, 宋跃江, 张旭革. 四波混频增强多波长布里渊掺铒光纤激光器的实验研究[J]. *光学学报*, 2011, **31**(2): 0214007
- 8 Jianguan Tang, Junqiang Sun, Liang Zhao *et al.*. Tunable multiwavelength generation based on Brillouin-erbium comb fiber laser assisted by multiple four-wave mixing processes[J]. *Opt. Express*, 2011, **19**(15): 14682~14689
- 9 Yang Xiufeng, Wei Fangfang, Tong Zhengrong *et al.*. Dual-wavelength fiber laser based on a high finesse fiber ring filter[J]. *Chinese J. Lasers*, 2011, **38**(4): 0402010  
杨秀峰, 魏芳芳, 童峥嵘等. 基于高精细度光纤滤波器的双波长光纤激光器[J]. *中国激光*, 2011, **38**(4): 0402010
- 10 X. Yang, X. Dong, S. Zhang *et al.*. Multiwavelength erbium-doped fiber laser with 0.8-nm spacing using sampled Bragg grating and photonic crystal fiber[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2005, **17**(12): 2538~2540
- 11 Zhang Xinliang, Zhang Ying, Sun Junqiang *et al.*. Multi-wavelength laser based on SOA and cascaded sampled fibre gratings[J]. *Acta Physica Sinica*, 2003, **52**(9): 2159~2164  
张新亮, 张 颖, 孙军强等. 基于 SOA 和级联取样光纤光栅的多波长激光器[J]. *物理学报*, 2003, **52**(9): 2159~2164
- 12 Wang Leishi. Wavelength Tunable Fiber Lasers Based on Sampled Bragg Grating [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2009. 33~40  
汪磊石. 一种基于取样光栅的波长可调谐光纤激光器 [D]. 北京: 北京交通大学, 2009. 33~40
- 13 Xinhuan Feng, Hwayaw Tam, P. K. A. Wai *et al.*. Switchable multiwavelength erbium-doped fiber laser with a multimode fiber Bragg grating and photonic crystal fiber [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2006, **18**(9): 1088~1090
- 14 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 邺等. 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
- 15 Cai Lulu, Wu Fei, Wang Yutian. Analysis for the reflective spectrum characteristics of phase-shifted fiber gratings [J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(8): 2070~2075  
蔡璐璐, 吴 飞, 王玉田. 相移光纤光栅的反射谱特性分析[J]. *中国激光*, 2009, **36**(8): 2070~2075
- 16 G. P. Agrawal, S. Radic. Phase-shifted fiber Bragg gratings and their application for wavelength demultiplexing [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1994, **6**(8): 995~997
- 17 X. P. Cheng, C. H. Tse, P. Shum *et al.*. All-fiber Q-switched erbium-doped fiber ring laser using phase-shifted fiber Bragg grating[J]. *J. Lightwave Technol.*, 2008, **26**(8): 945~951

栏目编辑: 宋梅梅