

# S 波段可调谐掺铒光纤激光器的实验研究

张志芹 丁 镭 邢俊波 王树民 吕可诚

(南开大学物理科学学院光电信息科学系天津市信息光子材料与技术重点实验室, 天津 300071)

**摘要** 提出了一种结构简单的 S 波段环形腔可调谐光纤激光器, 研究了输出功率随激光波长和抽运功率的变化关系以及激光器运转的稳定性。当抽运功率 113 mW 时, 通过调节全光纤可调谐法布里珀罗滤波器, 在 1482.73~1520.75 nm 范围内得到了稳定的激光输出, 3 dB 带宽小于 0.03 nm。其中 1487.70~1520.75 nm 范围内输出功率大于 5 dBm, 边模抑制比大于 60 dB。1499.02 nm 处最大输出功率 7.11 dBm, 输出功率起伏小于 0.04 dB。

**关键词** 激光器; 掺铒光纤激光器; W 型掺铒光纤; S 波段

**中图分类号** TN248.1 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS20092907.1885

## Experimental Research of Tunable S-Band Erbium-Doped Fiber Laser

Zhang Zhiqin Ding Lei Xing Junbo Wang Shumin Lü Kecheng

(Tianjin Government Key Laboratory for Photonics Materials and Information Science Technology, Department of Optoelectric Information Science, College of Physics, Nankai University, Tianjin 300071, China)

**Abstract** A tunable S-band fiber ring laser is demonstrated, and the dependence of output power's on the lasing wavelength and the pump power are experimentally researched. Stable output is obtained with the tuning range of 1482.73~1520.75 nm, the 3 dB bandwidth narrower than 0.03 nm and pump power of 113 mW by tuning an all-fiber tunable Fabry-Pérot filter. In the range of 1487.70~1520.75 nm, the output power exceeds 5 dBm and the side mode suppression ratio (SMSR) is larger than 60 dB. A maximal output power of 7.11 dBm is achieved at 1499.02 nm, together with a fluctuation below 0.04 dB during 900 s.

**Key words** laser; erbium-doped fiber laser; erbium-doped W-type fiber; S-band

## 1 引 言

随着数字化时代的到来,爆炸性增长的数据通信业务对现有的通信系统提出了严峻的挑战。提高光纤通信系统的容量成为迫切任务。提高单信道的数据传输速率和增加复用信道数可以增加通信容量,但是伴随的色散和非线性效应将严重影响信号的传输质量<sup>[1~4]</sup>。开辟新的通信波段成为增容的有效途径。S 波段(1470~1530 nm)位于硅基光纤的低损耗传输窗口,可与 C 和 L 波段的传输窗口很好地衔接,因此 S 波段光纤有源器件的研究引起了人们的广泛关注。

近几年来适用于 S 波段的掺铒( $Tm^{3+}$ )光纤有源器件和光纤喇曼器件已取得重要进展<sup>[5~7]</sup>,但是实用化尚存在许多技术难点。2003 年,Lightwave

Electronics 公司的研究者首次报道了具有折射率凹陷结构的 W 型掺铒光纤(W-EDF)<sup>[8]</sup>,揭开了 W 型光纤用于研制 S 波段有源器件的序幕。同年,Chien-Hung Yeh 等<sup>[9]</sup>报道了工作于 S 波段的环形腔激光器,最大输出功率 5.1 dBm。此后他们改进激光器结构,实现了可调谐单频输出和多波长运转<sup>[9~14]</sup>。W 型光纤的特殊结构使其弯曲损耗对波长非常敏感,基于此,2006 年 M. Foroni 等<sup>[15]</sup>在 S 波段获得了 44 nm 的调谐范围,最大输出功率 0.1 dBm。

本文报道了一种结构简单的基于 W 型掺铒光纤的 S 波段环形腔可调谐光纤激光器,得到了 38 nm(1482.73~1520.75 nm)的调谐范围,在 1487.70~1520.75 nm 范围内输出功率大于 5 dBm,边模抑制比大于 60 dB。激光 3dB 带宽小于

收稿日期: 2008-07-11; 收到修改稿日期: 2008-11-14

基金项目: 国家自然科学基金(60677014)资助课题。

作者简介: 张志芹(1983-),女,硕士研究生,主要从事光纤激光器方面的研究。E-mail: iamzhangzhiqin@yahoo.cn

导师简介: 丁 镭(1973-),男,博士,副教授,主要从事光纤通信方面的研究。E-mail: dinglei@nankai.edu.cn

0.03 nm。

### 2 实验装置

S 波段环形腔光纤激光器实验装置如图 1 所示。抽运源为输出波长 975 nm 的激光二极管 (LD), W 型掺铒光纤长 9.4 m。利用全光纤可调谐法布里-珀罗滤波器 (FFP-TF) 实现输出波长调谐。激光通过 30:70 耦合器输出, 激光器输出光谱和功率分别通过光谱仪和功率计测量。

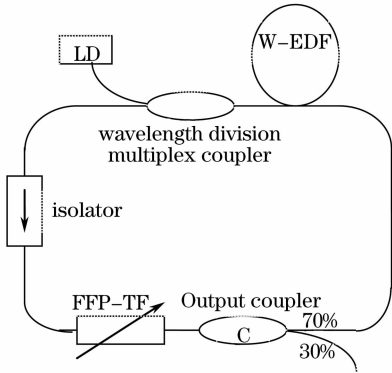


图 1 S 波段可调谐光纤激光器实验装置图

Fig. 1 Experimental configuration of the proposed S-band tunable fiber laser

### 3 实验结果及讨论

W 型光纤的弯曲损耗对波长非常敏感, 实验中将光纤环绕成圆环, 以改变其损耗。但由于实验中所用的 W 光纤参数难以全部测量, 很难从理论上计算出最佳弯曲直径, 所以先将 W 光纤绕成直径 10.5 cm 的圆环, 通过挤压光纤环的办法方便地改变圆环直径, 从而获得最佳的增益分布<sup>[16,17]</sup>, 如图 2 所示, 当  $D=9$  cm 时, S 波段增益最高。当抽运功率为 113 mW 时, 调节 FFP-TF, 在 38 nm

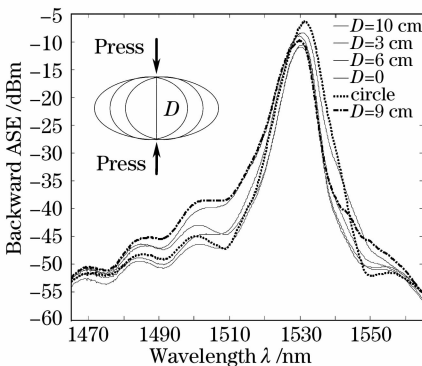


图 2 D 取不同值时光纤后向荧光光谱的变化

Fig. 2 Backward amplified spontaneous emission (ASE) spectra under different  $D$  values

(1482.73~1520.75 nm) 范围内获得了稳定的激光输出。不同激光波长处的输出光谱如图 3 所示, 整个调谐范围内输出功率大于 -10 dBm, 边模抑制比大于 45 dB。激光器 3dB 带宽小于 0.03 nm。

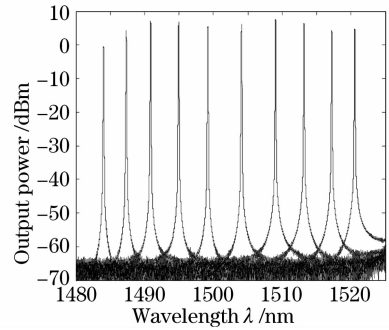


图 3 不同波长处输出光谱

Fig. 3 Laser's output spectrum over the tuning range

图 4 给出了调谐范围内输出功率随波长的变化关系。由图 4 可得, 1499.02 nm 处输出功率最大为 7.11 dBm。在 1487.70~1520.75 nm 范围内激光器输出功率大于 5 dBm, 输出功率起伏小于 2.1 dB, 边模抑制比大于 60 dB。

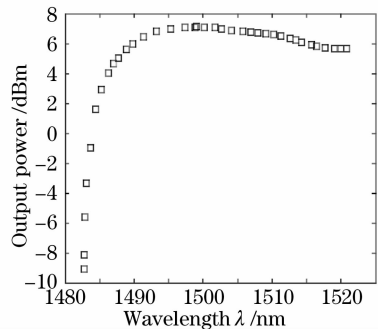


图 4 输出功率随激光波长的变化关系

Fig. 4 Output power versus lasing wavelength

实验中测量了波长 1499.02 nm 处激光器的输出功率特性曲线, 如图 5 所示。激光器阈值功率为

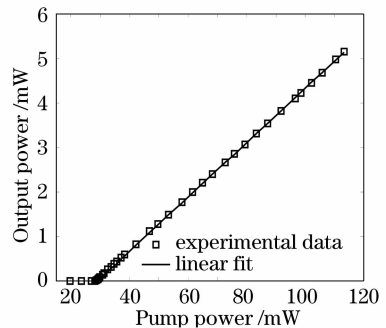


图 5 1499.02 nm 激光激光时功率特性曲线

Fig. 5 Output power characteristics curve at lasing wavelength 1499.02 nm

29.28 mW, 斜率效率 6.11%。最大输出功率 5.15 mW, 最大光光转换效率 4.55%。

利用光功率计和光谱仪观察了激光器输出功率稳定性和输出波长稳定性, 如图 6 所示。在 900 s 的观察时间内, 输出功率起伏小于 0.04 dB, 波长起伏小于 0.02 nm(光谱仪的分辨率 0.02 nm)。

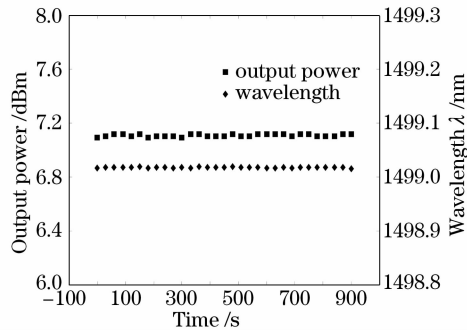


图 6 1499.02 nm 波长输出时, 输出功率和中心波长随时间的变化

Fig. 6 Fluctuation of the output power and the output central wavelength with time at 1499.02 nm

## 4 结 论

报道了一种 S 波段环形腔可调谐掺铒光纤激光器, 获得了 1482.73~1520.75 nm 范围内稳定的激光输出, 输出功率大于 -10 dBm, 边模抑制比大于 45 dB, 3dB 带宽小于 0.03 nm。其中 1487.70~1520.75 nm 范围内输出功率平坦且大于 5 dBm, 边模抑制比大于 60 dB。激光器阈值功率 29.28 mW, 斜率效率 6.11%。

这种结构的 S 波段掺铒光纤激光器结构简单紧凑, 可借鉴或利用现有 C 波段有源器件的生产工艺, 因此具有产业化快和成本低的优点, 不仅在 WDM 光纤通信系统中有广泛的应用前景, 而且在光纤传感、科学研究和器件检测等领域也有重要应用价值。

## 参 考 文 献

1 Xu Wei, Duan Gaoyan, Fang Guangqing *et al.*. Analysis of polarization mode dispersion compensation performance for different modulation formats [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(2): 226~232  
 许 玮, 段高燕, 方光青 等. 不同调制格式的偏振模色散补偿性能分析[J]. *光学学报*, 2008, **28**(2): 226~232

2 Wu Honggang, Li Tangjun, Wang Muguang. Dynamic test of PMD in the optical fiber communication system [J]. *Electronic Measurement Technology*, 2007, **30**(2): 186~188  
 武洪刚, 李唐军, 王目光. 光纤通信系统中 PMD 值的动态测试 [J]. *电子测量技术*, 2007, **30**(2): 186~188  
 3 Li Yan, Xu Tianhua, Jia Dagong *et al.*. Dynamic dispersion compensation in a 40 Gb/s single-channel fiber communication system [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(7): 1161~1165  
 李 岩, 徐天华, 贾大功 等. 一种 40 Gb/s 单信道光纤通信系统中的动态色度色散补偿 [J]. *光学学报*, 2007, **27**(7): 1161~1165  
 4 Gao Yongchao, Xie Wei. Analysis of nonlinear effect in optical fiber networks on WDM system [J]. *System Simulation Technology*, 2006, **2**(3): 162~165  
 高永超, 谢 伟. 光纤传输的非线性效应对 WDM 系统发展影响 [J]. *系统仿真技术*, 2006, **2**(3): 162~165  
 5 H. Chen, F. Babin, M. Leblanc *et al.*. Widely tunable S-band fiber-ring lasers and broadband amplified spontaneous emission sources with thulium-doped fluoride fibers [J]. *Lightwave Technology*, 2003, **21**(7): 1629~1634  
 6 S. J. Ahn, J. Park, H. S. Seo *et al.*. S/S<sup>+</sup> band tunable thulium-doped fiber laser anchored on 50-GHz ITU-T grid [J]. *Opt. Commun.*, 2004, **233**: 127~130  
 7 J. Kani, M. Jinno, K. Oguchi. Fiber Raman amplifier for 1520 nm band WDM transmission [J]. *Electron. Lett.*, 1998, **34**(18): 1745~1747  
 8 M. Arbore, Y. Zhou. S-band erbium-doped fiber amplifiers for WDM transmission between 1488 and 1508 nm [C]. *OFC*, 2003, **1**: 374~376  
 9 Chien-Hung Yeh, Chien-Chung Lee, Sien Chi. A tunable S-band erbium-doped fiber ring laser [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2003, **15**(8): 1053~1054  
 10 Chien-Hung Yeh, Ming-Ching Lin, Sien Chi. Stabilized and wavelength-tunable S-band erbium-doped fiber ring laser with single-longitudinal-mode operation [J]. *Opt. Exp.*, 2005, **13**(18): 6828~6832  
 11 Hung-Chang Chien, Chien-Hung Yeh, Kuo-Hsiang Lai *et al.*. Stable and wavelength-tunable erbium-doped fiber double-ring laser in S-band window operation [J]. *Opt. Commun.*, 2005, **249**: 261~264  
 12 C.-H. Yeh, T.-T. Huang, H.-C. Chien *et al.*. Tunable S-band erbium-doped triple-ring laser with single-longitudinal-mode operation [J]. *Opt. Exp.*, 2007, **15**(2): 382~386  
 13 Peng-Chun Peng, Kai-Ming Feng, Ching-Cheng Chang *et al.*. Multiwavelength fiber laser using S-band erbium-doped fiber amplifier and semiconductor optical amplifier [J]. *Opt. Commun.*, 2006, **259**: 200~203  
 14 Hung-Chang Chien, Chien-Hung Yeh, Chien-Chung Lee *et al.*. A tunable and single-frequency S-band erbium fiber laser with saturable-absorber-based autotracking filter [J]. *Opt. Commun.*, 2005, **250**: 163~167  
 15 M. Foroni, F. Poli, A. Cucinotta *et al.*. S-band erbium-doped fiber ring laser tunable through active fiber bending losses [C]. *OFC*, 2007, 25~39  
 16 J. B. Rosolem, A. A. Juriollo, R. Arradi *et al.*. All silica S-band double-pass erbium-doped fiber amplifier [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2005, **17**(7): 1399~1401  
 17 H. Ahmad, N. K. Saat, S. W. Harm. Effect of doped-fiber's spooling on performance of S-band EDFA [J]. *Laser Phys. Lett.*, 2005, **2**(8): 412~414