

宽可调谐自起振被动锁模掺铒光纤激光器*

王肇颖 王永强 林冉 李世忱

(天津大学精密仪器与光电子工程学院,光电信息技术科学教育部重点实验室,天津 300072)

摘要 分析了利用非线性偏振旋转效应作为等效可饱和吸收体锁模的原理,并用该方法构建起环形腔被动锁模掺铒光纤激光器,结合可调谐滤波器腔外滤波的方法实现锁模脉冲波长的连续可调谐. 实验中得到自起振、平均输出功率0.313 mW,脉冲半极大全宽度(FWHM)1.5 ps,中心波长1562.3 nm,重复频率13.9 MHz的稳定被动锁模脉冲序列输出,滤波后输出脉冲中心波长在1553.2~1571.4 nm内连续可调,得到谱宽2.5 nm以下,脉宽小于1.8 ps的限变脉冲输出.

关键词 非线性偏振旋转;被动锁模;宽可调谐

中图分类号 TN248 **文献标识码** A

0 引言

被动锁模掺铒光纤激光器可以产生稳定、低噪声和低时间抖动、高峰值功率的超短光脉冲,在研究光纤中的非线性效应、超快光谱学、多光子显微镜等很多应用中起重要作用. 目前主要用两种方法实现掺铒光纤激光器的被动锁模:一种方法是利用半导体可饱和吸收体实现被动锁模,尽管这种方法可以比较容易地实现自启动,但是该方法产生的脉冲宽度比较宽,而且破坏了全光纤结构;另一种方法是利用光纤的非线性效应对光脉冲产生自幅度调制,在激光腔内形成等效的可饱和吸收体,用这种方法可以得到亚皮秒短脉冲^[1-4]. 同时由于大量的应用中需要宽可调谐的 ps 光源,因此近年来对可调谐被动锁模激光器的报道层出不穷. 93年, D. U. Noske 用 F-P 滤波器在“8”字形被动锁模激光器内实现了工作波长在 20 nm 范围内连续可调^[5]. 95年, K. Tamura 在非线性偏振旋转锁模激光器中,用一对双折射滤波片和起偏器构成带宽 19.2 nm,自由光谱区(FSR)82 nm 的可调谐滤波器,实现激光器输出的中心波长在 1528~1610 nm 可调^[6]. 97年, T. O. Tsun 报道了用“8”字形腔被动锁模激光器得到脉宽 125 fs,能量 0.5 nJ 的高能量飞秒脉冲,中心波长在 1557.7 nm 到 1564.2 nm 可调^[7]. 2000年, M. Y. Jeon 等人在 8 字型被动锁模光纤激光器中插入声光可调谐滤波器,得到 1557~1607 nm 的宽带可调谐光纤激光器,重复频率 2.49 MHz,脉宽 1.5 ps^[8]. 本文报道了通过非线性偏振旋转效应获得的宽可调谐全光纤锁模激光器,得到了脉宽 1.5 ps,重复率

13.9 MHz 的稳定被动锁模脉冲输出,在 1553.2~1576.8 nm 范围内连续可调且输出脉冲限变.

1 实验结果和讨论

非线性偏振旋转自起振被动锁模掺 Er³⁺ 光纤环形腔激光器的实验装置如图 1 所示,它由隔离器、起偏器、两个光纤偏振控制器(PC1、PC2)、980 nm/1550 nm 波分复用器、高掺杂浓度掺 Er³⁺ 光纤和输出耦合器构成,我们在文献[9]中详细阐述了利用非线性偏振旋转效应实现被动锁模的物理机制. 在实验中使用的高掺杂浓度掺 Er³⁺ 光纤为 4 m Coractive 的 EDFL1500. 泵浦光由最大泵浦功率 120 mW 的 980 nm LD 提供;输出耦合器的分束比为 10:90;偏振控制器、起偏器、隔离器和耦合器的尾纤均为普通单模光纤;锁模激光器输出和经过滤波器滤波后的结果分别送入 Ando 的 AQ-6315A 光谱仪和 HP 的 500 MHz 54615B 示波器进行测量.

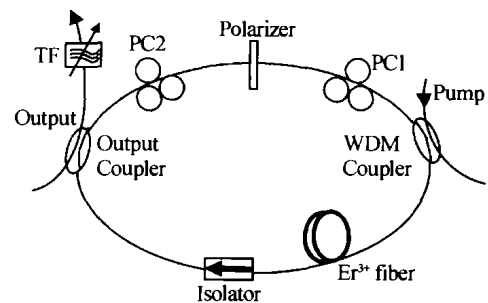


图 1 宽可调谐非线性偏振旋转被动锁模掺铒光纤激光器的实验装置图

Fig. 1 Experimental setup of widely tunable passively modelocked Er-doped fiber laser

图 2 中分别给出了当泵浦功率为 100 mW 时得到的稳定被动锁模脉冲序列及其光谱图,其重复频率为 13.9 MHz,中心波长 1562.3 nm,谱宽 12.4 nm. 考虑输出脉冲为 sech 型,此时得到的脉宽为 1.5 ps,自相关曲线如图 2(c) 所示,时间带宽积为 $\Delta T \cdot \Delta \nu = 2.28$,这说明输出脉冲的啁啾较大.

*教育部博士点基金项目(1999005615)、国家自然科学基金项目(69877012)

Tel:022-27402421 Email:wangzy@tju.edu.cn

收稿日期:2003-07-21

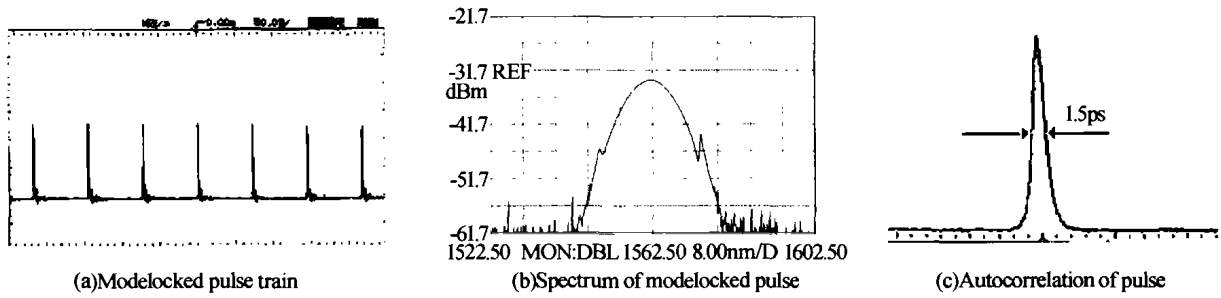


图2 100 mW 泵浦时得到的锁模脉冲结果
 Fig. 2 Output results of modelocked pulse train with 100 mW pump power

让锁模光纤激光器的输出脉冲经过一段色散补偿光纤 (DCF) 后脉冲宽度明显展宽, 这说明输出脉冲带有正啁啾. 而经过普通单模光纤 (SMF) 后脉冲稍有展宽, 也没有实现压缩效果, 这说明在输出脉冲的啁啾中, 非线性啁啾占了很大的比重, 需要用滤波器强制滤波. 为了不影响激光器的性能, 我们在激光腔的输出端而不是激光腔内加入 Santec 的可调谐滤波器 (图1中的TF). 该滤波器在1530 ~ 1560 nm 内连续可调, 3 dB 带宽为 1.95 ± 1 nm.

受滤波可调谐波长范围的限制, 我们只能对输出光谱 1562.3 nm 左侧波长范围内滤波后的特性进行测量, 但是由于输出锁模脉冲的光谱是以1562.3 nm 中心对称的, 因此其滤波后的特性也应该一致. 图3中分别给出了当泵浦功率为 100 mW 时, 对激光器输出脉冲滤波后得到的平均输出功率和脉冲半极大全宽度 (T_{FWHM}) 随波长的变化情况, 从中看出, 在平均功率3 dB变化范围内, 波长从1553.2 ~ 1562.3 nm 连续可调, 在1560nm 右侧输出平均功率的降低是由于滤波器的插入损耗造成的, 由此可知该被动锁模光纤激光器滤波后应该在 1553.2 ~ 1571.4 nm 内连续可调, 而滤波后脉冲宽度的变化并不显著, 如图

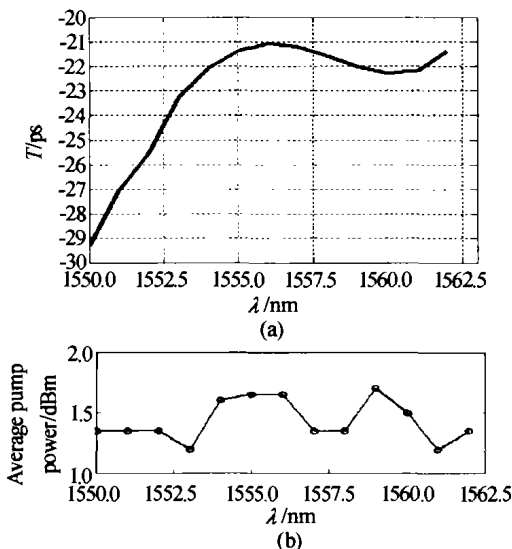


图3 滤波后输出平均功率(a)和脉冲宽度(b)随波长的变化情况
 Fig. 3 Average output power (a) and pulse width (b) versus wavelength after filtering

3(b)所示.

作为例子, 图4中分别给出了滤波后在1553.3 nm 和 1558.4 nm 处得到的光谱图, 图5还给出了经滤

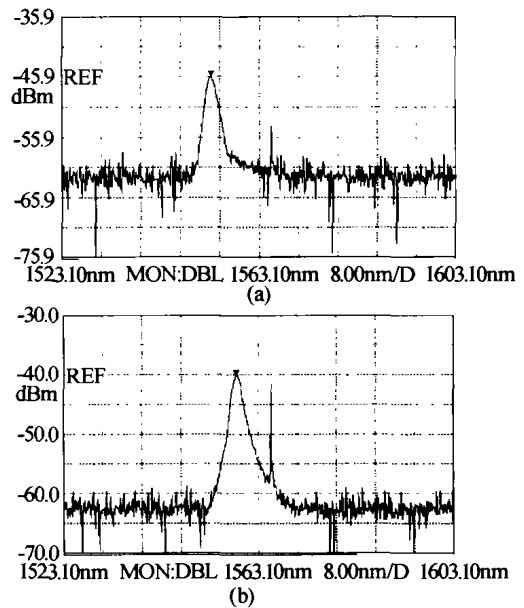


图4 滤波后分别在 1553.3 nm (a) 和 1558.4 nm (b) 处得到的光谱图
 Fig. 4 Filtered spectrum at 1553.3 nm (a) and 1558.4 nm (b)

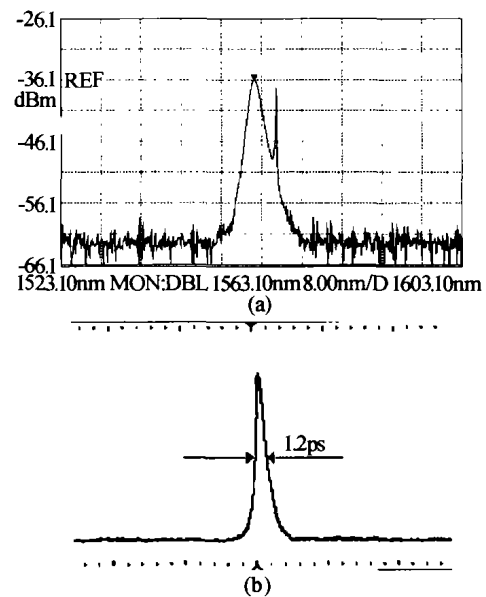


图5 滤波后分别在 1561.6 nm 处得到的光谱(a)和自相关曲线(b)
 Fig. 5 Filtered spectrum (a) and autocorrelation (b) at 1561.6 nm

波后在 1561.6 nm 处得到的输出光谱和自相关曲线,其光谱宽度为 2.2 nm,脉宽 1.2 ps,时间带宽积为 $\Delta T \cdot \Delta \nu = 0.324$,说明经过滤波后得到了限变的脉冲输出。

2 结论

对利用非线性偏振旋转效应获得的宽可调谐全光纤锁模激光器进行了研究,得到了脉宽 1.5 ps,重复频率 13.9 MHz 的稳定被动锁模脉冲输出,并利用可调谐滤波器对锁模脉冲光谱中心左侧进行了滤波,实现平均功率 3dB 变化范围内,波长从 1553.2 ~ 1562.3 nm 连续可调。如果有更宽调谐范围的滤波器,则可以得到波长在 1553.2 ~ 1576.8 nm 范围内连续可调且限变的锁模脉冲输出,目前进一步的实验正在进行当中。

参考文献

- 1 G P Agrawal 著,贾东方,余震虹等译. 非线性光纤光学原理及应用,北京:电子工业出版社,2002
Agrawal G P, translated by Jia Dongfang, Yu Zhenhong, et al. Nonlinear fiber optics and application of nonlinear fiber optics (third edition). Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2002
- 2 杨淑雯,姚建国,张登国. 环形光纤孤子激光器. 光子学报,1996,25(10):931 ~ 934
Yang S W, Yao J G, Zhang D G. *Acta Photonica Sinica*, 1996,25(10):931 ~ 934
- 3 刘东峰,杜戈果,陈国夫,等. 掺 Er^{3+} 光纤环腔激光器的初步研究. 光子学报,1998,27(9):847 ~ 850
Liu D F, Du G G, Chen G F, et al. *Acta Photonica Sinica*, 1996,27(9):847 ~ 850
- 4 陈国夫,王贤华,刘东峰,等. 稳定的全光纤飞秒激光器光源. 光子学报,2001,30(2):148 ~ 151
Chen G F, Wang X H, Liu D F, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2001,30(2):148 ~ 151
- 5 Noske D U, Taylor J R. Spectral and temporal stabilization of a diode-pumped ytterbium-erbium fibre soliton laser. *IEEE Electron Lett*, 1993,29(25):2200 ~ 2202
- 6 Tamura K, Kimura Y, Nakazawa M. Femtosecond pulse generation over 82 nm wavelength span from passively modelocked erbium-doped fibre laser. *IEEE Electron Lett*, 1995,31(13):1064 ~ 1066
- 7 Tsun T O, Islam M K, Chu P L. High-energy femtosecond figure-eight fiber laser. *Opt Commun*, 1997,141(1-2):65 ~ 68
- 8 Jeon M Y, Lee H K, Ahn J T, et al. Wideband wavelength tunable modelocked fibre laser over 1557 ~ 1607 nm. *IEEE Electron Lett*, 2000,36(4):300 ~ 302
- 9 王肇颖,王永强,林冉,等. 亚皮秒自起振被动锁模掺铒光纤激光器. 光电子·激光,2004,15(3):295 ~ 298
Wang Z Y, Wang Y Q, Lin R, et al. *Optoelectronics · Laser*, 2004,15(3):295 ~ 298

Widely Tunable Self-starting Passively Mode-locked Er-doped Fiber Laser

Wang Zhaoying, Wang Yongqiang, Lin Ran, Li Shichen

College of Precision Instrument and Optoelectronics Engineering, Tianjin University, Key Laboratory of Opto-electronics Information and Technical Science, Ministry of Education, Tianjin 300072

Received date: 2003-07-21

Abstract The physical mechanism of nonlinear polarization rotation as saturable absorber for mode-locking is analyzed in theory. A passively modelocked fiber laser with loop structure is constructed, which is tunable by using tunable filter outside the cavity. Experimentally, self-starting 1.5 ps mode-locked pulse at 13.9 MHz repetition rate with 0.313 mW average output power is obtained, which is centered at 1562.3 nm. Tunable transform limited pulses are obtained from 1553.2 nm to 1571.4 nm with pulse width less than 1.8 ps.

Keywords Nonlinear polarization rotation; Passively mode-locking; Widely tunable



Wang Zhaoying was born in Tianjin in 1977. She received her doctor degree in physical electronics from Tianjin University in Mar. 2004. Her main research interests are concentrated on fiber lasers and wavelength conversion.