

文章编号: 1001-3806(2011)01-0058-03

## 基于饱和吸收镜的被动锁模掺铒光纤激光器

欧攀, 贾豫东, 林志立, 刘磊

(北京航空航天大学 仪器科学与光电工程学院, 北京 100191)

**摘要:** 为了研究基于半导体可饱和吸收镜的被动锁模掺铒光纤激光器的输出特性, 采用1480nm的半导体激光器作为抽运源, 利用掺铒光纤作为增益介质, 以及光纤环行器、偏振控制器、波分复用器和耦合器等构成了环形腔结构的被动锁模掺铒光纤激光器。实验中获得了峰值波长1586nm、光谱宽度4.8nm、重复频率11.2MHz、最大平均输出功率8.4mW的稳定锁模激光脉冲输出。结果表明, 调整光纤偏振控制器会使光纤激光器输出脉冲的时域波形略微发生变化, 在实际应用中需要注意偏振态变化对锁模掺铒光纤激光器输出脉冲时域特性的影响。这一结果对于半导体可饱和吸收镜在被动锁模掺铒光纤激光器中的应用及其特性具有一定帮助。

**关键词:** 激光技术; 光纤激光器; 被动锁模; 半导体可饱和吸收镜

**中图分类号:** TN248.1 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-3806.2011.01.017

## Passively mode-locked Er-doped fiber laser with a semiconductor saturable absorber mirror

OU Pan, JIA Yu-dong, LIN Zhi-li, LIU Lei

(School of Instrument Science and Optoelectronic Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China)

**Abstract:** The output characteristics of a passively mode-locked erbium-doped ring fiber laser with a semiconductor saturable absorber mirror were studied. This ring fiber laser was constructed with a 1480nm laser diode as pump source, erbium-doped fiber as gain medium, as well as circular, polarization controller, wavelength division multiplexier and coupler. In experiments, the fiber laser operated stably with mode-locked pulse laser output, whose peak wavelength of 1586nm, spectrum width of 4.8nm, repetition frequency of 11.2MHz and maximum mean optical power of 8.4mW. It was found that the characteristics of the output laser pulse in time domain would change a little while adjusting the polarization controller in experiments. Hence, the effect of the polarization change in the fiber laser on characteristics of the output laser pulse should be paid attention to in practical utilization. The experimental results are helpful to the use of semiconductor saturable absorber mirror in passively mode-locked fiber lasers.

**Key words:** laser technique; fiber laser; passively mode-locking; semiconductor saturable absorber mirror

### 引言

高峰值功率的超短脉冲激光已广泛地应用于非线性光学、激光测距、超精细加工、时间分辨光谱学等诸多领域<sup>[1-3]</sup>。近十几年来,作为一种稳定可靠的超短脉冲激光光源,超短脉冲被动锁模掺铒光纤激光器得到了飞速的发展,它是利用光学非线性效应作为锁模机制,激光腔内无需任何主动器件<sup>[4-6]</sup>。其中利用半导体可饱和吸收镜(semiconductor saturable absorber mirror, SESAM)来实现被动锁模的光纤激光器,是近年来超

短脉冲光纤激光器锁模的常用手段,它具有体积小、稳定性高等优点,应用前景非常广阔<sup>[7-9]</sup>。

快速可饱和吸收器是非线性器件的一种。这种器件的吸收能力在脉冲持续时间内是变化的。当强光脉冲在吸收体中传播时,脉冲两侧所受的损耗要比中心部分大,中心部分的脉冲强度足以使该吸收体达到饱和状态,从而导致脉冲通过吸收器后得到窄化。

早期光纤激光器中常用的可饱和吸收材料是半导体吸收介质(如InGaAsP等),采用单层或者多层量子阱结构制成。随着技术的不断发展,出现了将吸收器同Bragg反射器集成在一起的新型可饱和Bragg反射器,其反射性能更佳<sup>[10]</sup>。作者以半导体可饱和吸收镜作为非线性介质,获得了稳定输出的环形腔结构被动锁模掺铒光纤激光器。

基金项目:北京航空航天大学青年创新基金资助项目(911901341)

作者简介:欧攀(1977-),男,副教授,博士,研究方向为光纤激光器、光纤传感器、激光雷达等。

E-mail: oupan@tsinghua.org.cn

收稿日期:2010-03-30;收到修改稿日期:2010-04-07

## 1 实验原理及装置

图1为基于半导体可饱和吸收镜的被动锁模掺铒

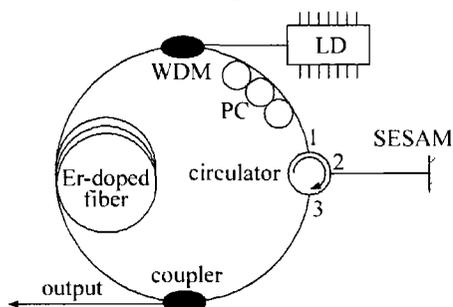


Fig. 1 Experimental setup for mode-locked Er-doped fiber laser based on a SESAM

光纤激光器示意图,主要由光纤激光器的环形腔光路和半导体可饱和吸收镜构成。在光纤激光器的环形腔光路中,采用1480nm的半导体激光器(laser diode, LD)作为抽运源,

LD抽运光通过1480nm/1550nm波分复用器(wavelength division multiplexer, WDM)耦合进入环形腔,作为增益介质的是长度为4.3m的单模掺铒光纤,其在1480nm处的吸收系数为8.8dB/m,在1550nm的吸收系数和增益系数分别为8.3dB/m和11.7dB/m。

环行器具有较高的隔离度,其中端口2到端口1及端口3到端口2的隔离度分别为46dB,44dB。由于半导体可饱和吸收镜性能与偏振态相关,所以腔内插入偏振控制器(polarization controller, PC)控制偏振态,环行器端口1与偏振控制器连接。环行器端口3接输出耦合器,形成一个单向传输的行波光纤环形腔。环行器端口2与半导体可饱和吸收镜的尾纤连接。5/95单模耦合器中5%光输出环形腔,获得锁模脉冲激光输出。

半导体可饱和吸收镜的本质作用在于利用其自身的响应恢复作为时间选通门来对激光脉冲进行时间上的整形,对于脉冲中能量较低的部分完全吸收,引入损耗机制;而对于脉冲中能量较高达到饱和吸收阈值的部分,可饱和吸收体被漂白而变得透明,这样使得光得以在漂白恢复时间内几乎无损耗地通过,而当可饱和吸收体经过响应恢复时间重新恢复吸收特性后,一个新的可饱和吸收过程便再次重新开始。从而实现了脉冲的周而复始的窄化过程,使得光脉冲的峰值功率也在不断的提高,最终实现超短脉冲的形成。

采用的半导体可饱和吸收镜为BATOP公司生产的SAM-1550-23-FC/PC-2ps型可饱和吸收镜,吸收层为多量子阱结构,高反区(大于75%)为1450nm~1600nm,调制深度为14%,饱和通量为 $25\mu\text{J}/\text{cm}^2$ ,恢复时间约2ps,非饱和吸收损耗为9%。半导体可饱和

吸收镜紧贴在磨抛好的光纤端面。

## 2 实验数据及其分析

实验中,锁模光纤激光器的输出时域特性利用Tektronix公司生产的高速示波器结合光电探测器来观测,光谱特性由Agilent公司生产的86142B型光谱分析仪进行观测,输出光功率由ILX Lightwave公司生产的FPM-8210H型光功率计进行测量。

测量到的基于SESAM的锁模光纤激光器的输出光功率与抽运光功率的关系曲线如图2所示。当最大

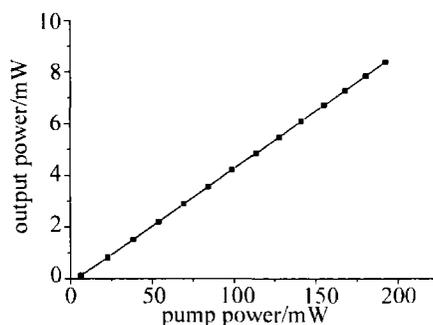


Fig. 2 Output power of the mode-lock fiber laser vs. pump power

抽运光的功率为190mW时,得到的锁模激光平均输出功率为8.4mW,此时锁模光纤激光器未达饱和状态,通过提高抽运功率,激光器的输出功率还可进一步提高。

图3是几种典型的锁模激光输出脉冲时域特性

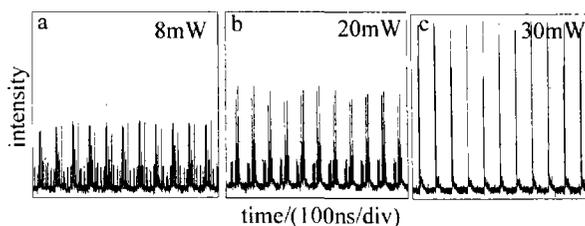


Fig. 3 Output laser characteristics in time domain at pump powers

图。当抽运功率为8mW时,光纤激光器仅仅工作在抽运功率稍大于阈值功率的状态,这时输出的激光脉冲性能不稳定,从图3a中可以看到,每个周期内有多数激光脉冲产生,且脉冲的峰值功率起伏较大。当抽运功率为20mW时,从图3b中可以看到,每个周期内主要有两个峰值相近的激光脉冲产生,同时伴随着一些小脉冲,这时输出的激光脉冲性能较稳定。当抽运功率达到30mW时,从图3c中可以看出,每个周期内有一个激光脉冲产生,脉冲的重复频率为11.2MHz,输出的激光脉冲性能非常稳定。

实验中还发现,在光纤激光器获得稳定锁模脉冲输出的情况下调整偏振控制器,会使光纤激光器输出脉冲的时域波形略微发生变化,即会在两个巨脉冲之间产生一系列小脉冲(如图4所示),这些小脉冲的峰值不到巨脉冲的1/5,同时光纤激光器的平均输出光

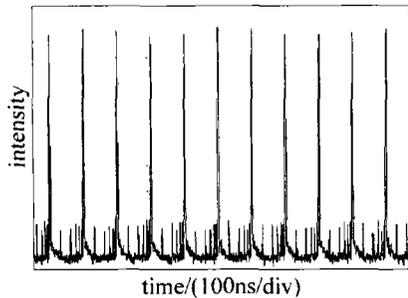


Fig. 4 Output laser characteristics in time domain while adjusting the polarization controller

功率变化不到1%。这是因为关于被动锁模光纤激光器的耦合非线性薛定谔方程理论和实验上都已证实:任意一个被动锁模光纤激光器都存在多种不同的工作模式,包括正常孤子态、多脉冲束缚态、噪声像脉冲态等<sup>[11]</sup>。因此,在基于半导体可饱和吸收镜的被动锁模光纤激光器中同样也能通过改变抽运功率以及偏振态来观察到这些工作模式。在实际应用过程中需要注意偏振态变化对锁模光纤激光器输出脉冲时域特性的影响。

图5是锁模光纤激光器稳定输出情况下,用光谱

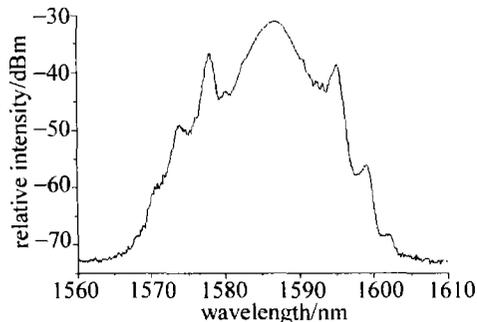


Fig. 5 Output spectrum of the mode-locked fiber laser

仪测量到的输出光谱。从图中可以看出,输出光谱的峰值波长为1586nm,光谱的3dB带宽为4.8nm,若输出脉冲为高斯型,则可估算出其脉冲宽度约为800fs。

### 3 结论

基于半导体可饱和吸收镜技术,采用掺铒光纤与光纤环行器、偏振控制器、波分复用器和耦合器等构成

环形腔被动锁模光纤激光器,实现稳定的被动锁模运转。获得了峰值波长1586nm、光谱宽度4.8nm、重复频率11.2MHz、最大平均输出功率8.4mW的锁模激光脉冲输出。实验中发现,调整光纤偏振控制器会使光纤激光器输出脉冲的时域波形略微发生变化,因此,在实际应用过程中需要注意偏振态变化对锁模光纤激光器输出脉冲时域特性的影响。

### 参 考 文 献

- [1] JOO K N, KIM Y, KIM S W. Distance measurements by combined method based on a femtosecond pulse laser [J]. *Optics Express*, 2008, 16(24): 19799-19806.
- [2] GATTASS R R, MAZUR E. Femtosecond laser micromachining in transparent materials [J]. *Nature Photonics*, 2008, 2(4): 219-225.
- [3] WHITE Y V, LI X X, SIKORSKI Z, *et al.* Single-pulse ultrafast-laser machining of high aspect nano-holes at the surface of SiO<sub>2</sub> [J]. *Optics Express*, 2008, 16(19): 14411--14420.
- [4] TAMURA K, IPPEN E P, HAUS H A, *et al.* 77fs pulse generation from a stretched-pulse mode-locked all-fiber ring laser [J]. *Optics Letters*, 1993, 18(13): 1080.
- [5] NELSON L E, JONES D J, TAMURA K, *et al.* Ultrashort-pulse fiber ring lasers [J]. *Applied Physics*, 1997, B65(2): 277-294.
- [6] YANG L Zh, WANG Y C, CHEN G F, *et al.* Generation of ultrashort pulse at 1053nm from fiber laser [J]. *Laser Technology*, 2007, 31(6): 610-612 (in Chinese).
- [7] ZHANG H, TANG D Y, ZHAO L M, *et al.* Induced solitons formed by cross-polarization coupling in a birefringent cavity fiber laser [J]. *Optics Letters*, 2008, 33(20): 2317-2319.
- [8] TANG D Y, ZHANG H, ZHAO L M, *et al.* Observation of high-order polarization-locked vector solitons in a Fiber Laser [J]. *Physical Review Letters*, 2008, 101(15): 153904.
- [9] GU Q Y, HOU J, CHENG X A, *et al.* All-fiber passive mode-locked laser realized by semiconductor saturable absorber mirror [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2008, 35(5): 655-659 (in Chinese).
- [10] WANG Y G, MA X Y, WANG Sh T. Development of visible ultrashort pulse laser realize by semiconductor saturable absorption mirror as an absorber for passive modelocking [J]. *Optical Technique*, 2004, 30(3): 367-369 (in Chinese).
- [11] ZHANG Zh X, WU J, XU K, *et al.* Multiple output states from passive mode-locked fiber lasers [J]. *Laser Technology*, 2009, 33(5): 548-550 (in Chinese).