

# 全光纤窄线宽脉冲激光器

宋 锐 陈胜平 侯 静 湛鸿伟 杨未强 陆启生

(国防科学技术大学光电科学与工程学院, 湖南 长沙 410073)

**摘要** 介绍了一种全光纤窄线宽脉冲激光器。该激光器由两部分组成,即脉冲光纤激光器种子和由隔离器、耦合器以及光纤光栅组成的窄线宽脉冲提取装置。脉冲光纤激光器种子是基于半导体可饱和吸收镜(SESAM)为锁模机制的全光纤被动锁模激光器,输出脉冲的光谱宽度约为 3 nm。窄线宽脉冲提取部分对脉冲光纤激光器种子输出脉冲的光谱进行提取、窄化,输出脉冲的光谱宽度约为 0.1 nm。该激光器操作简单、设备简易,为全光纤结构;不仅可以输出窄线宽光脉冲序列,而且同时还可以输出脉冲光纤激光器种子的光脉冲序列,极大地拓展了脉冲光纤激光器的应用范围。

**关键词** 激光器;光纤激光器;半导体可饱和吸收镜;窄线宽

**中图分类号** TN248.1 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201138.0502002

## All-Fiber Pulsed Laser with Narrow Line Width

Song Rui Chen Shengping Hou Jing Chen Hongwei Yang Weiqiang Lu Qisheng

(College of Opto-Electronics Science and Engineering, National University of Defense Technology,  
Changsha, Hunan 410073, China)

**Abstract** An all-fiber pulsed laser with narrow line width is introduced. The fiber laser consists of a pulsed fiber laser seed and a narrow line width abstraction device. The all-fiber pulsed laser seed is based on a semiconductor saturable absorber mirror (SESAM) with a 3-nm line width. Including an isolator, a coupler and a fiber Bragg grating the narrow line width abstraction device extracts narrow line width optical pulses from seed laser's optical pulses and produces optical pulses with a 0.1-nm line width. The all-fiber, easy using, simple configuration, pulsed fiber laser can not only output narrow line width optical pulses, but also output the wide line width optical pulses from the pulsed fiber laser seed simultaneously, which greatly broadens the applications of the pulsed fiber lasers.

**Key words** lasers; fiber laser; semiconductor saturable absorber mirror; narrow line width

**OCIS codes** 140.3510; 140.4050; 140.3615

## 1 引 言

光纤激光器由于体积小、成本低、效率高等优点在通信、医学、生物以及雷达等领域有着广泛且重要的应用,已经成为激光器家族中的重要一员。窄线宽光纤激光器因其线宽窄、低噪声、抗电磁干扰、安全、可远程控制等特性,广泛应用于光纤通信、光纤传感、光纤遥感、材料技术以及高精度光谱等领域<sup>[1,2]</sup>。窄线宽光纤激光器主要有利用分布布拉格

反射器(DBR)构成的光纤激光器<sup>[3,4]</sup>,由一个光栅构成的分布反馈(DFB)式光纤激光器<sup>[5,6]</sup>,利用一段未被抽运的稀土掺杂光纤作为饱和吸收体的光纤激光器<sup>[7,8]</sup>等。DBR 激光器两端利用布拉格光栅作为反射镜,输出谱线窄,结构简单,便于集成,但对两个光纤光栅的要求较高;DFB 激光器虽然只需要一个光栅,但需要引入  $\pi/2$  的相移实现单模振荡,并且腔长有限,输出功率较低。饱和吸收体利用介质内烧

**收稿日期**: 2010-12-20; **收到修改稿日期**: 2011-01-18

**基金项目**: 国家自然科学基金(61077076,61007037,10904173)资助课题。

**作者简介**: 宋 锐(1985—),男,博士研究生,主要从事光纤激光器及光子晶体光纤等方面的研究。

E-mail: srnotice@163.com

**导师简介**: 陆启生(1942—),男,教授,博士生导师,主要从事光纤激光与光子晶体光纤、光束控制与气动光学、激光与物质相互作用、自适应光学、纳米光子学理论与器件等方面的研究。E-mail: luqsheng@public.cs.hn.cn

孔效应实现单模运转,稳定性好且波长可调谐,但损耗大,转换效率低。

目前窄线宽光纤激光器输出大多为连续波,输出为脉冲类型的在国内外报道的文献中都很少<sup>[9,10]</sup>。产生光脉冲序列的方法一般有两种,即调Q和锁模。调Q产生的光脉冲序列重复频率通常较低,为10~200 kHz;脉冲宽度约为几十纳秒。锁模产生的光脉冲序列重复频率一般较高,通常大于10 MHz;脉冲宽度约为皮秒到飞秒量级。两种方法产生脉冲的光谱宽度通常较宽,一般从几纳米到几十纳米,远大于窄线宽脉冲光纤激光器对光谱宽度的要求。基于此,本文介绍了一种窄线宽脉冲光纤激光器,并对其进行了原理分析和实验研究。

## 2 窄线宽脉冲光纤激光器原理

窄线宽脉冲光纤激光器采用脉冲光纤激光器种子外加窄线宽脉冲提取装置组成,其结构如图1所示。脉冲光纤激光器种子是基于半导体可饱和吸收镜<sup>[11,12]</sup>(SESAM)为锁模机制的全光纤被动锁模激光器,其结构如图2所示。窄线宽脉冲提取装置由隔离器、耦合器和光纤光栅组成。隔离器具有35 dB的隔离度;耦合器为2×2类型,耦合比为50/50;布拉格光纤光栅的中心波长为1064 nm,反射带宽为0.1 nm,反射率为99%,长度为9 mm,其反射光谱如图3所示;布拉格光纤光栅的另一端插入折射率匹配液中,降低光纤光栅透射光对反射光的影响。输出端口2为脉冲光纤激光器种子的输出端;输出端口1输出的是光纤光栅反射的窄线宽光脉冲序列。从而此激光器实现了窄线宽光脉冲序列以及脉冲激光器种子所产生光脉冲序列的双重输出,极大地拓展了脉冲光纤激光器的应用范围。

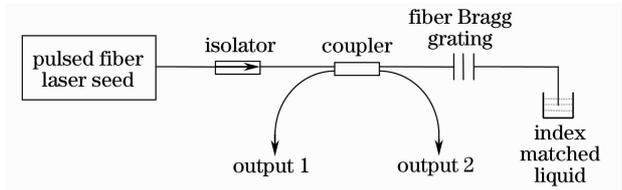


图1 窄线宽脉冲光纤激光器结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of narrow optical spectrum pulsed fiber laser

由图2可知,抽运源的中心波长为975 nm,通过波分复用器(WDM)耦合到腔体内。为激光器提供增益的高浓度掺杂单模掺镱光纤的长度约为30 cm。滤波器的中心波长以及3 dB带宽分别为1064 nm和3 nm。SESAM(SAM-1064-45-x)为

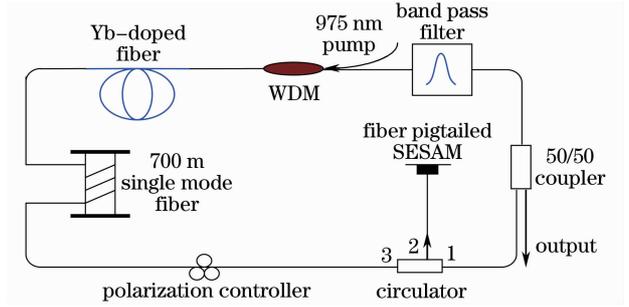


图2 基于SESAM锁模的全光纤被动锁模光纤激光器结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of all-fiber, passively mode-locked fiber laser based on SESAM

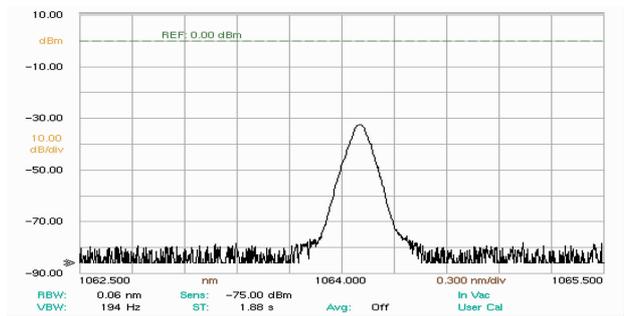


图3 光纤布拉格光栅反射光谱图

Fig. 3 Reflection spectrum of the FBG

BATOP公司生产,通过尾纤实现与环形器2端口的耦合,其调制深度、饱和通量以及恢复时间分别为30%、30 μJ/cm<sup>2</sup>和500 fs。环形器的2端口与1端口之间以及3端口与2端口之间有35 dB的隔离度。嵌入式偏振控制器用来调节激光器的偏振态。700 m的单模光纤用来延长腔长并提供全正色散。激光器通过50/50耦合器输出。输出结果通过采样频率为20 GHz的示波器、高速光电探头以及分辨率为0.06 nm的光谱仪进行观察。

## 3 实验结果

对于脉冲光纤激光器种子,当抽运功率达到190 mW时激光器种子实现连续波锁模,其光脉冲序列的时域以及频域分布如图4所示。

由图4可知,脉冲激光器种子在实现稳定连续波锁模状态下,其输出光脉冲序列的中心波长、重复频率、脉冲宽度、光谱宽度和输出平均功率分别为1064 nm、284.3 kHz、2.5 ns、3.1 nm和10.13 mW。此激光器在锁模过程中无调Q现象,极大减小了SESAM被损坏的机会。

当脉冲光纤激光器种子连接到窄线宽脉冲提取装置后,输出端口1输出的光脉冲序列的时域以及

频域分布如图 5 所示。

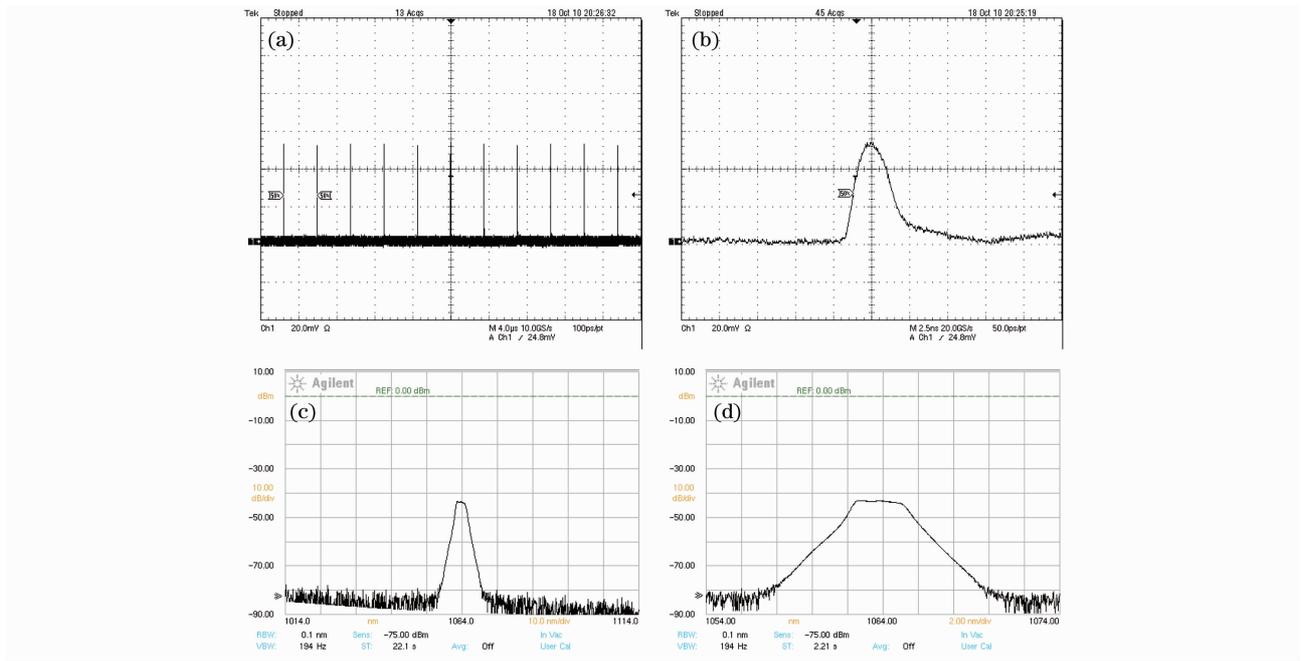


图 4 脉冲激光器种子输出光脉冲序列的时域分布图。(a)脉冲序列,(b)单个脉冲和频域分布图, (c)100 nm 范围,(d)20 nm 范围

Fig. 4 Time domain diagram of pulsed fiber laser seed. (a) optical pulses, (b) single pulse and frequency domain diagram of pulsed fiber laser seed, (c) 100 nm wide, (d) 20 nm wide

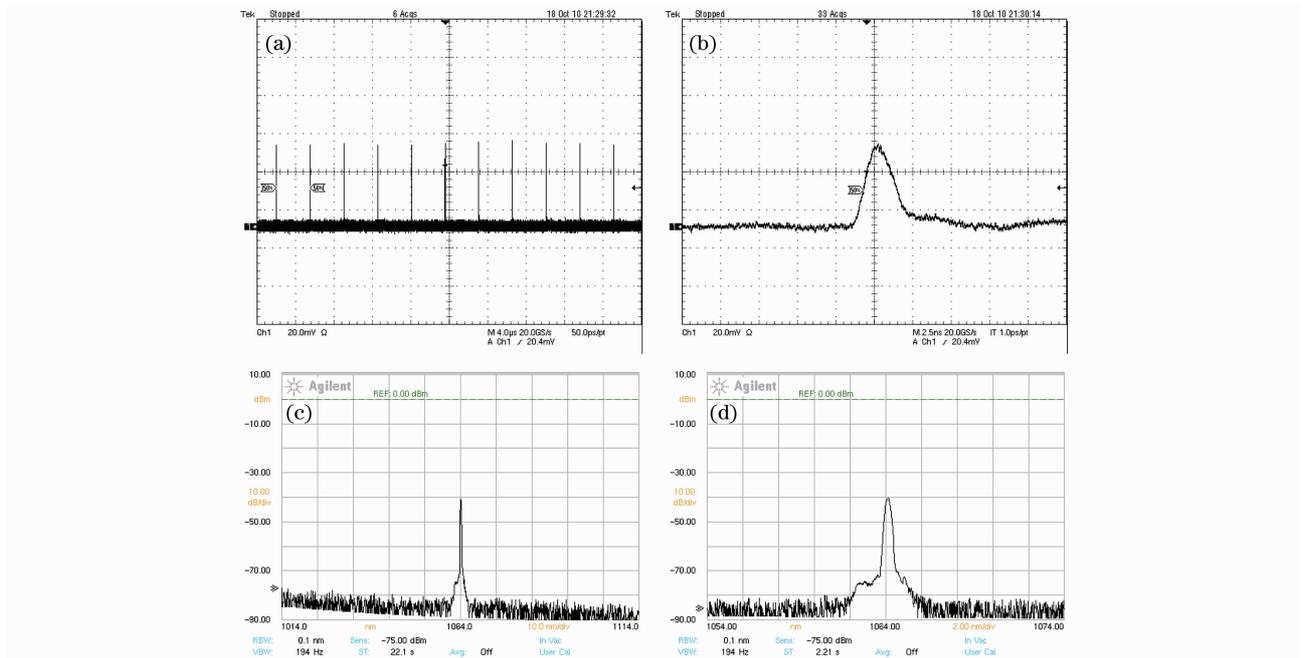


图 5 窄线宽脉冲光纤激光器输出脉冲序列的时域分布图。(a)脉冲序列,(b)单个脉冲和频域分布图, (c)100 nm 范围,(d)20 nm 范围

Fig. 5 Time domain diagram of pulsed fiber laser with narrow line width. (a) optical pulses, (b) single pulse and frequency domain diagram of pulsed fiber laser seed, (c) 100 nm wide, (d) 20 nm wide

由图 5 可知,当在脉冲光纤激光器种子后面连接窄线宽脉冲提取装置以后,经布拉格光纤光栅反射输出的光脉冲序列的重复频率没有改变仍为

284.3 kHz;脉冲宽度约为 2.4 ns;光谱宽度约为 0.1 nm。输出端口 1 输出的平均功率为 0.12 mW;输出端口 2 输出的平均功率为 3.54 mW。端口 1

输出的平均功率小于端口 2 输出的平均功率的原因:1)端口 2 输出的光脉冲序列是脉冲激光器种子正常光谱成分的脉冲输出,只经过隔离器以及 50/50 耦合器的衰减,理论上应为种子光纤激光器输出功率的 37%左右,实际上约为 35%,与理论几乎一致;2)端口 1 输出的光脉冲序列经历了两次 50/50 耦合器的衰减,约为 75%,且输出光脉冲序列的光谱宽度只有脉冲激光器种子输出脉冲光谱宽度的 1/30。两方面的综合影响导致其输出平均功率只有种子激光器平均功率的 1%左右。在实际应用中可根据具体需求改变耦合器的耦合比以及光纤光栅的参数和类型以达到理想的要求。

#### 4 结 论

介绍了一种基于 SESAM 为锁模机制的普通脉冲光纤激光器种子和窄线宽光脉冲提取装置组合而成的窄线宽脉冲光纤激光器。此激光器设备简易,操作简单,为全光纤结构;不仅可以输出所需窄线宽光脉冲序列,而且还可以输出普通脉冲光纤激光器种子较宽光谱的光脉冲序列,极大拓展了脉冲光纤激光器的应用范围,为不同类型光纤放大器提供了更多的种子源选择。此外,该结构还可以根据实际应用中的具体需求改变耦合器的耦合比以及光纤光栅的参数和类型以达到理想的要求。

#### 参 考 文 献

1 A. S. Kurkov, P. Bernage, P. Niay *et al.*. 1.55  $\mu\text{m}$  single-frequency long cavity fiber laser with  $\pi/2$  phase shifted DFB mode selection[C]. Proc. IEEE Colloquium on Optical Fiber Gratings,

London, 1997, 12/1~12/4  
 2 Ch. Spiegelberg, J. Geng, Y. Hu *et al.*. Compact 100 mW fiber laser with 2 kHz line width[C]. Proc. OFC, Technical Digest (OSA), Atlanta, 2003, 1~3  
 3 B. Wu, Y. Liu, Z. Dai. Narrow linewidth fiber grating F-P cavity laser and application [C]. Proc. IEEE Conference on Communications, Circuits and Systems Proceedings, Guilin, 2006, 1971~1974  
 4 C. Spiegelberg, J. Geng, Y. Hu *et al.*. Low-noise narrow linewidth fiber laser at 1550 nm[J]. *J. Lightwave Technol.*, 2004, **22**(1): 57~62  
 5 W. H. Loh, B. N. Samson, L. Dong *et al.*. High performance single frequency fiber grating-based erbium: yttrium-codoped fiber laser[J]. *J. Lightwave Technol.*, 1998, **16**(1): 114~118  
 6 Zhang Jingsong, Li Tangjun, Zhao Yucheng *et al.*. Study on DFB fiber laser [J]. *Acta Optica Sinica*, 2000, **20**(11): 1477~1480  
 张劲松, 李唐军, 赵玉成等. 分布反馈光纤激光器的研制[J]. *光学学报*, 2000, **20**(11): 1477~1480  
 7 S. Chang, I. Hwang, B. Kim *et al.*. Widely tunable single-frequency Er-doped fiber laser with long linear cavity[J]. *IEEE Photonic Technol. Lett.*, 2001, **13**(4): 287~289  
 8 Zhiyong Dai, Xiaoxia Zhang. Stable high power narrow linewidth single frequency fiber laser using a FBG F-P etalon and a fiber saturable absorber[C]. Proc. IEEE Symposinm on Photonics and Optoelectronic, Chengdu, 2010, 1~4  
 9 Hu Xiaobo, Li Yongjian. SF optical fiber laser and method for generating SF pulse seeds laser [P]. Chinese Patent: CN200810142583, 2008  
 胡小波, 黎永坚. 单频脉冲光纤激光器及其单频脉冲种子激光产生的方法[P]. 中国专利, 专利号: CN200810142583, 2008  
 10 Hu Xiaobo, Li Yongjian. Single frequency pulse optical fiber laser[P]. Chinese Patent: CN200820095878, 2009  
 胡小波, 黎永坚. 单频脉冲光纤激光器[P]. 中国专利, 专利号: CN200820095878, 2009  
 11 U. Keller. Recent developments in compact ultrafast lasers[J]. *Nature*, 2003, **424**(6950): 831~838  
 12 U. Keller, K. Weingarten, F. Kartner. Semiconductor saturable absorber mirrors for femtosecond to nanosecond pulse generation in solid-state lasers[J]. *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.*, 1996, **2**(3): 435~449