

# 线形腔半导体可饱和吸收镜被动锁模掺镜 光纤激光器

宋锐<sup>1</sup> 侯静<sup>1\*</sup> 王彦斌<sup>2</sup> 靳爱军<sup>1</sup> 陆启生<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 国防科学技术大学光电科学与工程学院, 湖南长沙 410073)  
(<sup>2</sup> 中国人民解放军 63892 部队, 河南洛阳 471003)

**摘要** 皮秒脉冲在超连续谱光源中具有重要应用, 基于线形腔搭建了半导体可饱和吸收镜 (SESAM) 被动锁模皮秒脉冲掺镜光纤激光器, 详细分析对比了激光器中所用光纤光栅的反射率、反射带宽以及 SESAM 的宏观特性参数对锁模激光器输出脉冲特性的影响。实验结果表明: 选择 10% 反射率和 0.3 nm 反射带宽的光纤光栅比较有利于激光器的稳定锁模; 光纤激光器对 SESAM 参数的适用范围比较大, SESAM 的非饱和损耗对激光器输出平均功率影响较大, SESAM 的非饱和损耗越小, 激光器输出脉冲的平均功率越高。

**关键词** 激光器; 光纤激光器; 被动锁模; 半导体可饱和吸收镜; 光纤光栅

**中图分类号** TN248 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201441.0102007

## Ytterbium-Doped Fiber Laser Passively Mode-Locked by a Semiconductor Saturable Absorber Mirror in Linear Cavity

Song Rui<sup>1</sup> Hou Jing<sup>1</sup> Wang Yanbin<sup>2</sup> Jin Aijun<sup>1</sup> Lu Qisheng<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> College of Optoelectronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha, Hunan 410073, China)  
(<sup>2</sup> Unit 63892 of People's Liberation Army, Luoyang, Henan 471003, China)

**Abstract** Picosecond pulses have an important application in supercontinuum sources. A picosecond ytterbium-doped fiber laser passively mode-locked by an semiconductor saturable absorber mirror (SESAM) in linear cavity is constructed, and the effects of the reflectivity as well as the bandwidth of the fiber Bragg grating and the parameters of the SESAM on the characteristics of the output pulse are analyzed in detail and compared with each other. The experimental results show that a fiber Bragg grating with 10% reflectivity and 0.3 nm reflection bandwidth is more profitable for the mode-locking stability of the fiber laser, and the fiber laser has a wide working range for the parameters of the SESAM. In addition, the non-saturable loss of the SESAM has an important influence on the average output power of the fiber laser, and a smaller value of non-saturable loss results in higher output power for the laser.

**Key words** lasers; fiber lasers; passively mode-locking; semiconductor saturable absorber mirror; fiber Bragg grating

**OCIS codes** 140.3510; 140.4050; 140.3615

## 1 引言

半导体可饱和吸收镜 (SESAM) 是利用分子束外延技术开发出来的一种基于半导体吸收漂白特性的新型锁模器件, 1992 年由当时在美国 AT&T Bell 实

验室的 Keller 等<sup>[1]</sup>首次提出, 该器件改变了以前其他可饱和吸收体很难实现激光器连续波锁模的状况, 具有重要的历史意义<sup>[2]</sup>。SESAM 先后被应用于固体激光器和光纤激光器<sup>[3]</sup>。SESAM 被动锁模激光器可以

**收稿日期**: 2013-07-20; **收到修改稿日期**: 2013-08-18

**基金项目**: 国家自然科学基金 (61077076)、湖南省杰出青年基金项目 (12JJ1010)、湖南省研究生科研创新项目、国防科技大学优秀研究生创新资助 (B120701)

**作者简介**: 宋锐 (1985—), 男, 博士, 讲师, 主要从事光纤激光及光子晶体光纤方面的研究。E-mail: srnotice@163.com

\* **通信联系人**。E-mail: houjing25@sina.com

输出纳秒至飞秒量级的脉冲,对应的重复频率可以从几百千赫兹至几十兆赫兹,对应的工作波长为  $1\sim 2\ \mu\text{m}$ <sup>[4-11]</sup>。目前,SESAM 是技术最为成熟、商业应用最为广泛的被动锁模器件之一。

SESAM 被动锁模激光器有环形腔和线形腔两种,环形腔 SESAM 被动锁模激光器的腔长通常较长,激光器的输出脉冲重复频率较低,脉冲宽度较宽,一般为亚纳秒量级,但是输出脉冲宽度受腔长、偏振态以及抽运功率等因素的影响。线形腔 SESAM 被动锁模激光器的腔长较短,激光器的输出脉冲受偏振态影响较小,重复频率相对较高,为兆赫兹量级,脉冲宽度较窄,一般为皮秒量级,在全光纤超连续谱光源系统中具有广泛应用。

本文基于线形腔搭建了 SESAM 被动锁模皮秒脉冲光纤激光器,依次对比研究了激光器中所用光纤光栅的反射率、反射带宽以及 SESAM 的几项宏观特性参数(如调制深度、饱和通量以及非饱和损耗等)对锁模激光器输出脉冲特性的影响,为进一步优化腔体结构提供了参考。

## 2 光纤光栅反射率对 SESAM 锁模激光器输出脉冲特性的影响

线形腔皮秒脉冲激光器的实验原理如图 1 所示。图中 SESAM(Batop, SAM-1064-40-500 fs)的调制深度、饱和通量以及恢复时间分别为 30%、 $30\ \mu\text{J}/\text{cm}^2$  和 500 fs。30 cm 长的高浓度掺杂单模掺镱光纤(Liekki)在 976 nm 处的吸收系数为  $1200\ \text{dB}\cdot\text{m}^{-1}$ ,最大输出功率为 480 mW、中心波长为 976 nm 的半导体激光器作为抽运源并通过波分复用器耦合进入到谐振腔内。为了减小光纤光栅长度不一致对激光器输出脉冲特性的影响,谐振腔的腔长相对较长,大约为 4 m。光纤光栅的输出端连接隔离器,消除输出端面反射回光对激光器锁模稳定性的影响。 $1\times 3$  类型耦合器的输出耦合比为 1:1:98,其中 98%的端口作为功率输出端,两个 1%的输出端口分别连接示波器(Tektronix, TDS7154)和光谱仪(Agilent, 86142B-E02),用来观察激光器的时域和频域输出。

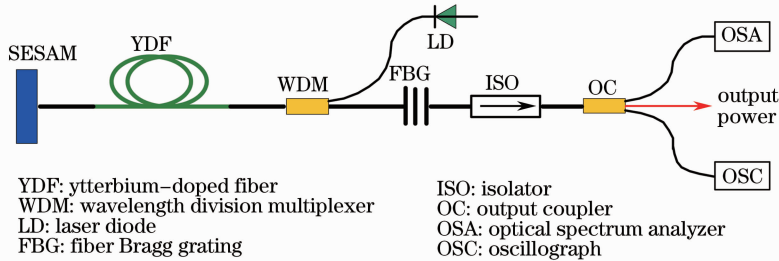


图 1 线形腔 SESAM 被动锁模皮秒脉冲光纤激光器原理图

Fig. 1 Schematic diagram of the picosecond fiber laser passively mode-locked by an SESAM in linear cavity

依次把反射率分别为 10%、40%、80% 的三种光纤光栅连入激光器内,三种光纤光栅的中心波长与反射带宽均相同,分别为 1064 nm 和 0.3 nm。表 1~3 分别给出了三种光纤光栅对应激光器输出脉冲的平均功率。通过对比可知,随着光纤光栅反射率的减小,SESAM 实现稳定连续波锁模时对应 976 nm 抽运源的工作电流范围越来越大,对应激光器输出脉冲的平均功率也越来越高。这是因为光纤光栅的反射率越大,在相同抽运功率下激光器内脉冲的平均功率越高,由于脉冲的重复频率基本相同,

所以单脉冲能量随着脉冲平均功率的增加逐渐提高,脉冲对 SESAM 的漂白能力也越来越强。入射到 SESAM 表面上的脉冲能量为 SESAM 饱和通量的 3~5 倍时激光器能够实现稳定的连续波锁模,脉冲能量过大会导致激光器谐波锁模,脉冲能量过小则会导致激光器处于调 Q 状态。所以光纤光栅的反射率越高,SESAM 锁模激光器能够稳定工作时对应 976 nm 抽运源的工作电流范围越窄,输出脉冲的平均功率越低。

表 1 光纤光栅反射率为 80% 时对应 SESAM 锁模激光器的输出功率

Table 1 Output powers of the SEMAM mode-locked laser when the reflectivity of the FBG is 80%

Working current /mA	140	145	150	155	160
Output power /mW	0.69	0.78	0.89	0.98	1.05

表 2 光纤光栅反射率为 40% 时对应 SESAM 锁模激光器的输出功率

Table 2 Output powers of the SEMAM mode-locked laser when the reflectivity of the FBG is 40%

Working current /mA	140	145	150	155	160	165	170
Output power /mW	2.0	2.30	2.69	2.97	3.32	3.76	4.20

表 3 光纤光栅反射率为 10% 时对应 SESAM 锁模激光器的输出功率

Table 3 Output powers of the SEMAM mode-locked laser when the reflectivity of the FBG is 10%

Working current /mA	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245
Output power /mW	4.24	4.81	5.35	5.81	6.31	6.78	7.26	7.74	8.22	8.70	9.30

图 2 显示了三种光纤光栅在 SESAM 稳定工作时对应的时域和频域输出,由于激光器的腔长相对较长,光纤光栅长度不一致和多次熔接造成的激光

器腔长的变化可以忽略不计。三种光纤光栅稳定工作时对应激光器输出脉冲的重复频率分别为 27.2、27.4、27.6 MHz。图 2(a)、(c)、(e)分别为三种光纤

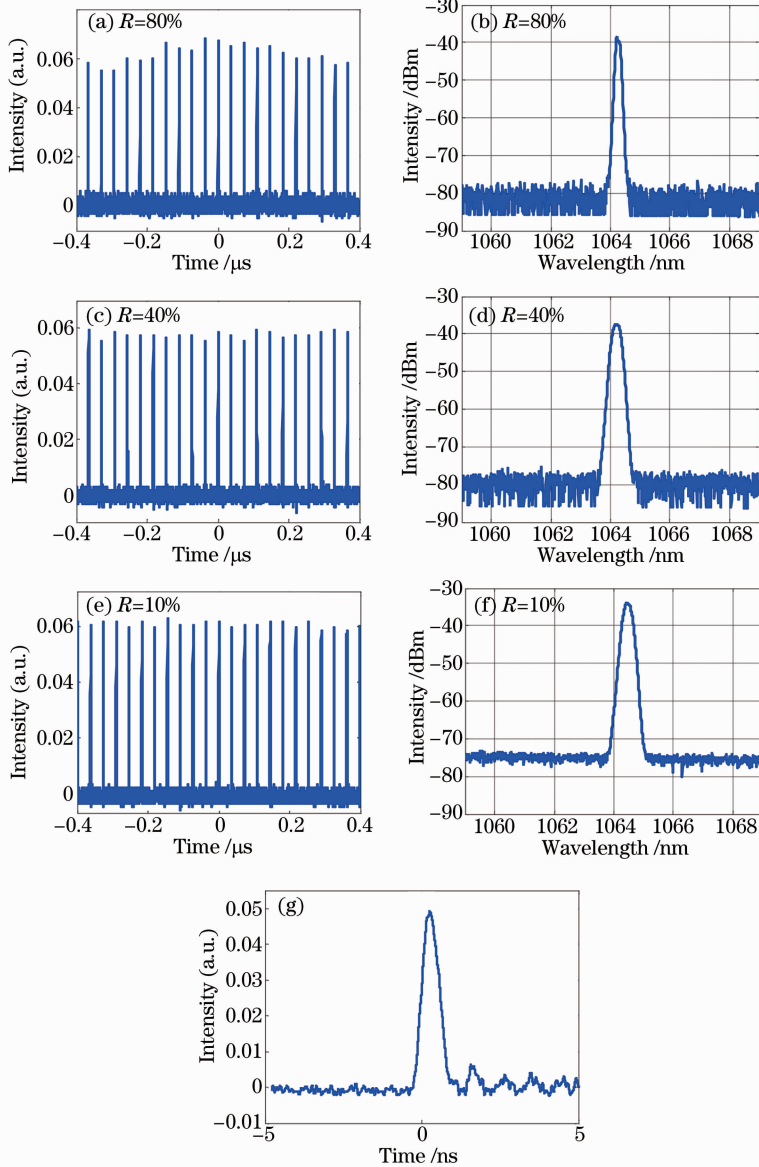


图 2 光纤光栅反射率对 SESAM 锁模激光器输出特性的影响。(a),(c),(e)不同反射率光纤光栅对应的时域输出;

(b),(d),(f)不同反射率光纤光栅对应的频域输出;(g)单脉冲形状

Fig. 2 Influence of the reflectivity of the FBG on the output characteristics of the SESAM mode-locked laser. (a), (c), (e) Time domain outputs with different FBG's reflectivities; (b), (d), (f) frequency domain outputs with different FBG's reflectivities; (g) single pulse shape

光栅对应激光器的时域输出,通过对比可知激光器输出脉冲的稳定性随着光纤光栅反射率的降低逐渐提高。这是由于光纤光栅的反射率越高,激光器内的相对损耗越小,在相同增益下谐振腔内可以起振的模式越多,模式之间的竞争越激烈,从而导致输出脉冲振幅的波动范围越大。图 2(b)、(d)、(f)分别为三种光纤光栅对应激光器的频域输出,由于三种光纤光栅的 3 dB 反射带宽和中心波长相同,导致对应激光器输出脉冲的光谱形状几乎没有变化,只是光谱强度随着光纤光栅反射率的降低逐渐增强。反射带宽对脉冲宽度的影响比较小,利用自相关仪(FR-103XL, Femtochrome)对激光器在上述三种不同反射率光纤光栅下的输出脉冲宽度进行测量,脉宽保持在 20 ps 附近,波动较小,如图 2(g)所示。

综上所述,在相同激光器腔体结构下,依次对比研究了三种反射带宽相同、反射率  $R$  分别为 80%、40%和 10%的光纤光栅对 SESAM 被动锁模激光器输出脉冲特性的影响,三组实验结果表明所用光纤光栅的反射率较高时,对应激光器输出脉冲的平均功率较小,激光器能够实现稳定工作时对应 976 nm 抽运源的工作电流范围较窄,并且时域上输

出脉冲的稳定性较差。通过对比,选择反射率为 10%的光纤光栅比较合适。

### 3 光纤光栅反射带宽对 SESAM 锁模激光器输出脉冲特性的影响

经前面分析可知,光纤光栅反射率为 10%时比较有利于激光器的稳定工作,在此基础上,为了对比研究光纤光栅反射带宽对 SESAM 被动锁模激光器输出脉冲特性的影响,依次把两款反射率均为 10%、反射带宽  $B_R$  分别为 0.3 nm 和 8.4 nm 的光纤光栅接入激光器中,实验装置和测试方法与图 1 相同,得出了两种光纤光栅对应激光器在稳定工作时输出脉冲的平均功率,结果由表 4 给出。通过对比可知,反射带宽为 8.4 nm 的光纤光栅对应输出脉冲的平均功率更高一些。这是由于掺镱光纤的转换效率较高,发射谱比较宽,反射带宽为 8.4 nm 的光纤光栅能够使谐振腔内更多的模式起振,从而在相同抽运功率下能够从增益介质中提取出更多的能量,导致激光器输出脉冲的平均功率更高。

表 4 光纤光栅反射带宽对 SESAM 锁模激光器平均输出功率的影响

Table 4 Influence of the bandwidth of the FBG on the average output power of the SESAM mode-locked laser

	Current /mA	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245
Output power /mW	$B_R=0.3$ nm	5.09	5.56	6.09	6.55	7.02	7.48	7.92	8.48	8.93	9.47
	$B_R=8.4$ nm	6.88	7.49	8.00	8.51	9.17	9.74	10.38	10.90	11.47	12.10

图 3 给出了两种光纤光栅在激光器稳定工作时对应的时域和频域输出。时域上,对比图 3(a)、(c)可知,反射带宽为 0.3 nm 的光纤光栅与反射带宽为 8.4 nm 的光纤光栅输出脉冲序列在时域上的稳定性比较接近。频域上,图 3(b)中脉冲的 3 dB 光谱宽度为 0.3 nm,与光纤光栅的反射带宽相同;图 3(d)中输出脉冲的 3 dB 光谱宽度为 1 nm,与光纤光栅 8.4 nm 的反射带宽差别较大。这是由于 0.3 nm 的反射带宽相对掺镱光纤的辐射谱而言比较窄,增益光纤提供的增益能够满足该光谱范围内的模式,导致激光器输出脉冲的光谱宽度与光纤光栅的反射带宽相同。8.4 nm 的反射带宽相对比较宽,增益光纤提供的增益无法满足该光谱范围内的所有模式,部分增益较大的模式能够起振,增益较小的模式在增益竞争中被抑制,导致激光器输出脉冲的光谱宽度只有 1 nm。由掺镱光纤的辐射截面分布<sup>[12]</sup>可知,对于反射带宽为 8.4 nm(1060~1068 nm)的光纤光

栅而言,位于 1060 nm 附近的模式比位于 1068 nm 附近的模式具有更大的增益,模式之间的竞争结果是前者起振,后者在竞争中被抑制掉。从图 3(d)中可以看出在 1061~1068 nm 范围内有一定的光谱成分存在,只是相对信号光而言强度非常微弱,相当于噪声。光纤光栅反射带宽对激光器输出脉冲的脉宽影响同样比较小,两种不同反射带宽的光纤光栅对应输出脉冲的脉宽比较接近,均为 20 ps。

综上所述,在相同的激光器腔体结构下,依次对比分析了两种具有相同反射率、不同反射带宽的光纤光栅对 SESAM 锁模激光器输出脉冲特性的影响。实验结果表明反射带宽为 8.4 nm 的光纤光栅相对反射带宽为 0.3 nm 的光纤光栅而言,对应输出脉冲的平均功率较高,但脉冲在频域上的噪声较大,不利于后续的放大,通过对比选择反射带宽为 0.3 nm 的光纤光栅比较合适。

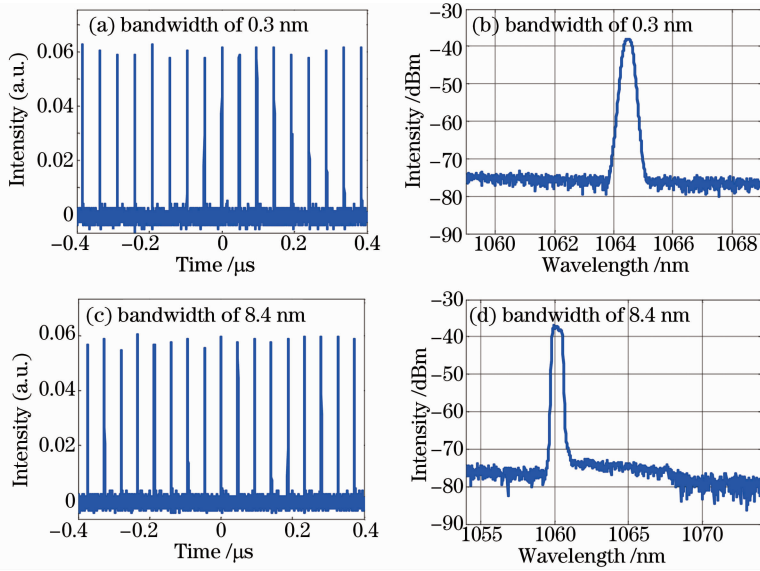


图 3 光纤光栅反射带宽对 SESAM 锁模激光器输出特性的影响。(a),(c) 不同带宽光纤光栅对应的时域输出；(b),(d) 不同带宽光纤光栅对应的频域输出

Fig. 3 Influence of the bandwidth of the FBG on the output characteristics of the SESAM mode-locked laser. (a), (c) Time domain outputs with different FBG's bandwidths; (b), (d) frequency domain outputs with different FBG's bandwidths

#### 4 SESAM 参数对激光器输出脉冲特性的影响

SESAM 的几项主要宏观特性参数有调制深度、饱和通量、恢复时间以及非饱和损耗等<sup>[13-15]</sup>。本节将研究 SESAM 的几项宏观特性参数对锁模激光器输出脉冲特性的影响,两种 SESAM 的具体型号和参数如表 5 所示。

实验装置与测试方法与图 1 相同,光纤光栅的反

射率和反射带宽分别为 10% 和 0.3 nm,依次把两款 SESAM 接入激光器中,表 6 给出了两种 SESAM 对应激光器的输出平均功率。通过对比分析可知,光纤激光器对 SESAM 参数的适用范围比较大,两种 SESAM 在激光器能够稳定工作时对应 976 nm 抽运源的工作电流比较接近,由于两种 SESAM 的非饱和损耗差别较大,导致在相同抽运功率下,非饱和损耗较小的 SESAM 对应输出脉冲的平均功率更高一些。

表 5 两种不同 SESAM 的具体参数

Table 5 Details of two different SESAMs

SESAM type	Modulation depth /%	Non-saturable loss /%	Saturation fluence /( $\mu\text{J}/\text{cm}^2$ )	Relaxation time /fs
SAM-1064-45-25.6 s-500 fs	30	15	30	500
SAM-1064-70-25.6 s-500 fs	40	30	40	500

表 6 SESAM 参数对锁模激光器平均输出功率的影响

Table 6 Influence of the parameters of the SESAM on the average output power

	Working current /mA	190	200	210	220	230	240	250	260
Output power /mW	SAM-1064-45-25.6 s-500 fs	4.32	5.36	6.31	7.43	8.42	9.39	10.42	11.39
	SAM-1064-70-25.6 s-500 fs	3.54	4.54	5.48	6.44	7.42	8.35	9.33	10.31

图 4 显示的是两种 SESAM 在激光器稳定锁模时对应的时域和频域输出,时域上,图 4(a)和(c)比较接近,脉冲稳定性比较好,表明光纤激光器对 SESAM 参数的适用范围比较大;频域上,由于采用相同的光纤光栅,所以图 4(b)和(d)中的 3 dB 光谱宽度相同,

均为 0.3 nm。调制深度为 30% 的 SESAM 对应输出脉冲的脉宽为 22 ps,调制深度为 40% 的 SESAM 对应输出脉冲的脉宽为 20 ps,这是因为 SESAM 的调制深度对脉宽具有较大影响,调制深度越大,输出脉冲的脉宽越窄,实验结果与理论相吻合<sup>[5]</sup>。



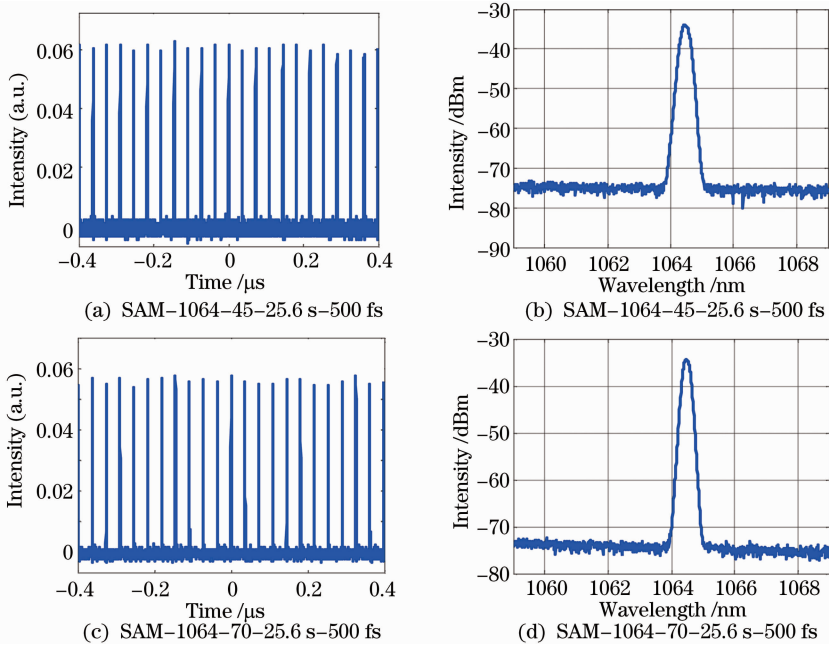


图 4 SESAM 参数对锁模激光器输出(a),(c)时域特性及(b),(d)频域特性的影响

Fig. 4 Influence of the parameters of the SESAM on (a), (c) time domain and (b), (d) frequency domain output characteristics of the mode-locked laser

综上所述,在相同的激光器腔体结构下,依次对比分析了两种 SESAM 的不同参数对激光器输出脉冲特性的影响。实验结果表明光纤激光器对 SESAM 参数的适用范围比较大,SESAM 的非饱和损耗越小,对应输出脉冲的平均功率越高,在实验中应尽可能选择非饱和损耗比较小的 SESAM。

## 5 结 论

基于线形腔搭建了 SESAM 被动锁模皮秒脉冲光纤激光器,对比研究了所用光纤光栅的反射率、反射带宽以及 SESAM 的不同宏观特性参数对激光器输出脉冲特性的影响。实验结果表明,所用光纤光栅的反射率为 10%、反射带宽为 0.3 nm 时比较有利于激光器的稳定锁模,光纤激光器对 SESAM 宏观特性参数的适用范围比较大,SESAM 的非饱和损耗对激光器输出脉冲的平均功率影响较大,实验中应尽可能选择非饱和损耗比较小的 SESAM。

## 参 考 文 献

- 1 U Keller, D Miller, G D Boyd, *et al.*. Solid-state low-loss intracavity saturable absorber for Nd : YLF lasers: an antiresonant semiconductor Fabry-Perot saturable absorber[J]. *Opt Lett*, 1992, 17(7): 505-507.
- 2 U Keller. Recent developments in compact ultrafast lasers[J]. *Nature*, 2003, 424(6950): 831-838.
- 3 Zhang Haiou, Cui Xuelong, Xu Jinlong, *et al.*. CW mode-locked Yb : NaY (WO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> femtosecond laser with a semiconductor saturable absorber mirror[J]. *Chinese J Lasers*, 2012, 39(11):

- 1102002.
- 张海鸥, 崔雪龙, 徐金龙, 等. 基于半导体可饱和吸收镜锁模的 Yb : NaY (WO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 飞秒激光器[J]. *中国激光*, 2012, 39(11): 1102002.
- 4 Song Rui, Chen Shengping, Hou Jing, *et al.*. Ultra-low repetition rate all-normal-dispersion passively mode-locked fiber laser based on SESAM [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2011, 23(9): 2315-2318.
- 宋 锐, 陈胜平, 侯 静, 等. 超低频率全正色散半导体可饱和吸收镜被动锁模光纤激光器[J]. *强激光与粒子束*, 2011, 23(9): 2315-2318.
- 5 U Keller, K J Weingarten, F X Kartner, *et al.*. Semiconductor saturable absorber mirrors (SESAM' s) for femtosecond to nanosecond pulse generation in solid-state lasers[J]. *IEEE J Sel Top Quant Electron*, 1996, 2(3): 435-453.
- 6 R Song, J Hou, S Chen, *et al.*. 157 W all-fiber high-power picosecond laser[J]. *Appl Opt*, 2012, 51(13): 2497-2500.
- 7 Song Rui, Chen Shengping, Hou Jing, *et al.*. All-fiber pulsed laser with narrow line width[J]. *Chinese J Lasers*, 2011, 38(5): 0502002.
- 宋 锐, 陈胜平, 侯 静, 等. 全光纤窄线宽脉冲激光器[J]. *中国激光*, 2011, 38(5): 0502002.
- 8 X Tian, M Tang, X Cheng, *et al.*. High-energy wave-breaking-free pulse from allfiber mode-locked laser system [J]. *Opt Express*, 2009, 17(9): 7222-7227.
- 9 X Tian, M Tang, P P Shum, *et al.*. High-energy laser pulse with a submegahertz repetition rate from a passively mode-locked fiber laser[J]. *Opt Lett*, 2009, 34(9): 1432-1434.
- 10 Liu Shirao, Chen Shengping, Song Rui, *et al.*. Three mode-locking states in all-normal dispersion fiber laser at low repetition [J]. *Chinese J Lasers*, 2012, 39(s1): s102007.
- 刘诗尧, 陈胜平, 宋 锐, 等. 低重复频率全正色散脉冲光纤激光器的三种锁模状态[J]. *中国激光*, 2012, 39(s1): s102007.
- 11 Liu Jiang, Wang Pu. 2 μm thulium-doped ultrafast all-fiber laser with watts-level average output power[J]. *Chinese J Lasers*, 2012, 39(8): 0802004.
- 刘 江, 王 璞. 瓦级输出全光纤结构 2.0 μm 掺铥皮秒脉冲光

- 纤激光器[J]. 中国激光, 2012, 39(8): 0802004.
- 12 H M Pask, R J Carman, D C Hanna, *et al.*. Ytterbium-doped silica fiber lasers: versatile sources for the 1~1.2  $\mu\text{m}$  region[J]. IEEE J Sel Top Quant Electron, 1995, 1(1): 2-13.
- 13 F X Kurtner, J A der Au, U Keller. Mode-locking with slow and fast saturable absorbers-what's the difference[J]. IEEE J Sel Top Quant Electron, 1998, 4(2): 159-168.

- 14 O Shtyrina, M Fedoruk, S Turitsyn, *et al.*. Evolution and stability of pulse regimes in SESAM-mode-locked femtosecond fiber lasers[J]. J Opt Soc Am B, 2009, 26(2): 346-352.
- 15 J C Wang, C K Sun, J K Wang. Nonlinear pulse-shaping phenomena of semiconductor saturable absorber mirror[J]. Appl Phys Lett, 2006, 89(23): 231106.

栏目编辑: 史 敏

## 七芯光子晶体光纤实现高功率白光超连续谱输出

多芯光子晶体光纤便于与抽运激光器的大模场直径输出尾纤进行低损耗的熔接, 能够把高功率的抽运激光耦合进光子晶体光纤中。同时, 多芯光子晶体光纤的光场分布直径比单芯光子晶体光纤大, 尽管激发非线性效应所需的激光抽运功率会有所提升, 但是其激光损伤阈值也随之提升, 即能够承受更高功率的抽运激光。因而, 多芯光子晶体光纤非常适合用于构建全光纤化的高功率超连续谱光源系统。

最近, 国防科学技术大学采用高功率皮秒光纤激光抽运由光纤光缆制备技术国家重点实验室控制的七芯光子晶体光纤, 实现了 64.2 W 全光纤化白光超连续谱输出, 如图 1 所示。实验所用七芯光子晶体光纤的外径为 127  $\mu\text{m}$ 。包层空气孔按照六边

形双包层结构排布, 其中内包层是 6 圈圆形空气孔, 空气孔直径为 1.45  $\mu\text{m}$ , 空气孔间距为 2.45  $\mu\text{m}$ ; 外包层是一圈椭圆型大空气孔, 空气孔的长轴为 3.10  $\mu\text{m}$ , 短轴为 2.25  $\mu\text{m}$ 。数值计算得到该七芯光子晶体光纤同相模的零色散波长为 1014 nm。通过采用光子晶体光纤后处理技术, 实现了抽运激光系统输出尾纤与七芯光子晶体光纤的低损耗熔接。在 110 W 的皮秒光纤激光抽运下, 实现了 64.2 W 超连续谱输出, 光-光转换效率为 58%, 超连续光谱范围为 500~1700 nm 以上。目前, 该超连续谱光源的输出功率仅受限于抽运激光功率。通过合理的结构设计, 基于多芯光子晶体光纤有望获得平均功率更高、光谱更优化的超连续谱。

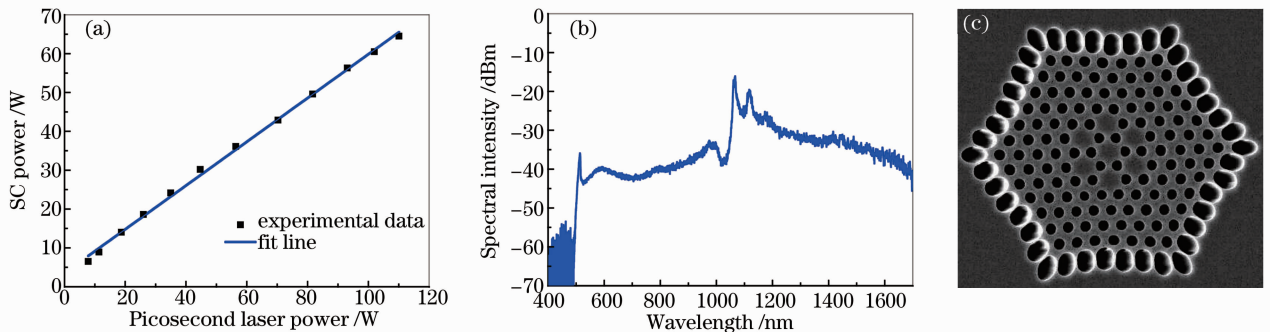


图 1 (a) 超连续谱光源的输出功率特性; (b) 最高输出功率下超连续谱; (c) 七芯光子晶体光纤的端面结构图  
Fig. 1 (a) Output power profile of supercontinuum source; (b) supercontinuum at the maximum output power;  
(c) structure of seven-core photonic crystal fiber

湛鸿伟<sup>1</sup> 韦会峰<sup>2</sup> 刘 通<sup>1</sup> 周旋风<sup>1</sup> 陈子伦<sup>1</sup> 陈胜平<sup>1</sup> 侯 静<sup>1\*</sup> 陆启生<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 国防科学技术大学光电科学与工程学院, 湖南长沙 410073  
(<sup>2</sup> 光纤光缆制备技术国家重点实验室, 长飞光纤光缆有限公司研发中心, 湖北武汉 430073)

\* E-mail: houjing25@sina.com

收稿日期: 2013-11-20; 收到修改稿日期: 2013-11-26