

文章编号:1004-4213(2010)07-1235-4

# 堆积脉冲光参量啁啾脉冲放大器\*

李晓莉<sup>1,2</sup>, 石顺祥<sup>1</sup>, 赵卫<sup>2</sup>, 刘红军<sup>2</sup>

(1 西安电子科技大学 技术物理学院, 西安 710071)

(2 中国科学院西安光学精密机械研究所 瞬态光学与光子技术国家重点实验室, 西安 710119)

**摘要:**以自启动被动锁模掺镱光纤堆积脉冲激光器为种子源,采用非共线相位匹配的方法,进行了光参量啁啾脉冲放大器的实验研究,得到了两级放大总增益为  $1.1 \times 10^7$ ,单脉冲能量为 11 mJ,能量稳定性小于 2% rms,8 nm 的放大谱宽.实验结果表明,采用这种结构的光参量啁啾脉冲放大器,放大增益高,系统稳定、结构紧凑、便于调节,同时通过调节种子源中的堆积器,可以得到不同宽度的放大信号脉冲.

**关键词:**激光放大器;参量振荡器与放大器;超快激光;超快技术

**中图分类号:** TN248.1

**文献标识码:** A

**doi:** 10.3788/gzxb20103907.1235

## 0 引言

众所周知,采用堆积脉冲的方法产生脉冲形状好的长脉冲是一种很有效的方法<sup>[1-2]</sup>,且其脉冲形状很好,但是采用这种方法产生的长脉冲的能量很小.而光参量啁啾脉冲放大技术(Optical Parametric Chirped Pulse Amplifier, OPCPA)<sup>[3-9]</sup>是结合了光参量放大技术与啁啾脉冲放大系统的一种新技术,同其他同类技术相比,它具有单通增益高,宽的增益带宽,放大过程中无增益窄化现象,好的输出光束质量,低的热损耗以及 B 积分,高的信噪比以及低的预脉冲,故已成为代替 CPA 技术成为产生高功率激光源的一个重要手段.本文采用了以去掉压缩部分的自启动被动锁模掺镱堆积脉冲光纤激光器为种子源,实现了两级光参量放大器.实验得到了  $1.1 \times 10^7$  两级放大总增益,单脉冲能量为 11 mJ,能量稳定性小于 2%,放大信号光谱宽 8 nm,同时测到了谱宽为 8 nm 的闲频光谱.采用这种结构,系统增益高,抽运光的转换效率高,同时大大抑制参量放大过程中参量荧光的产生及其对参量放大过程的影响,使得系统结构简单,便于调节,便于应用.

## 1 实验装置

采用堆积脉冲光纤激光器为种子源的光参量啁啾脉冲放大器主要包括抽运源、种子源和放大器三个部分,抽运光源采用的是有种子注入的单纵模调 Q 激光器的倍频输出光,中心波长为 532 nm,抽运

光分为两束,分别进行两级放大;光参量放大器采用的是两级单通放大结构,非线性晶体采用的是 BBO 晶体,抽运光与放大器的具体结构见文献[10];信号光源是自制的掺镱自启动被动锁模堆积脉冲光纤激光器,波长为 1 053 nm,脉宽 2.43 ns,频率为 3.8 MHz,谱宽为 6 nm.图 1 是这种自启动被动锁模掺镱堆积脉冲光纤激光器的结构.自启动被动锁模堆积脉冲光纤激光器由锁模振荡器、脉冲堆积器和功率放大器三部分组成,锁模振荡器和功率放大器的详细参量介绍见文献<sup>[10]</sup>,脉冲堆积器是由六个分光比为 50%—50% 的光纤耦合器构成,耦合器 4 和 5,6 和 7,8 和 9 分别组成三级堆积器.种子脉冲光入射到耦合器 4 分成两束,经过两段长度不同的光纤后,具有不同时延的两束光脉冲耦合到耦合器 5 中合成一个长脉冲,这个从一级堆积器输出的光脉冲耦合到

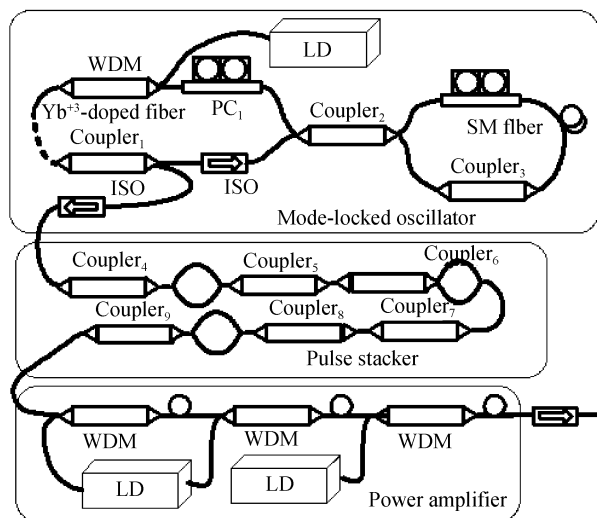


图 1 堆积脉冲光纤激光器的实验装置  
Fig. 1 Experimental setup of the stacking pulse fiber laser

\* 国家自然科学基金(60408002)资助

Tel: 029-88209243

Email: lx18201@sohu.com

收稿日期: 2009-11-06

修回日期: 2010-02-14

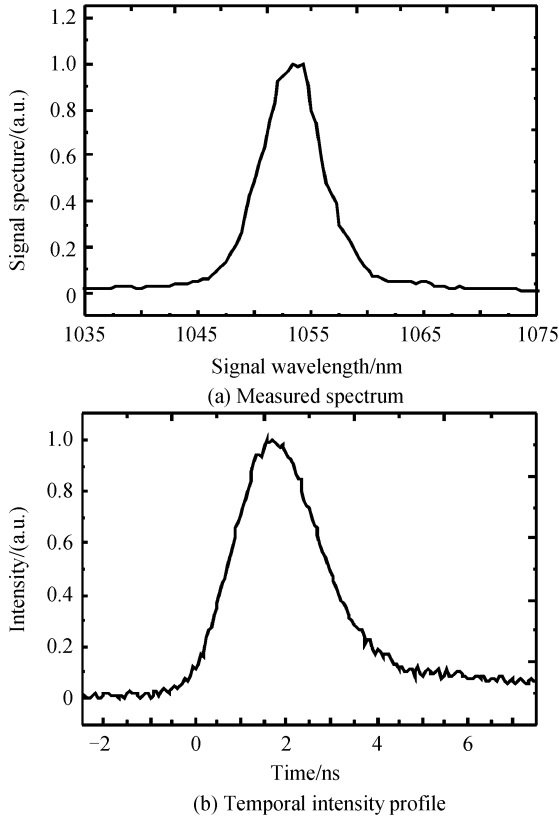


图2 测得的信号光光谱和脉冲形状

Fig. 2 Measured spectrum and temporal intensity profile of the chirped seed pulse

二级堆积器,随后耦合入三级堆积器中.一、二、三级堆积器中光纤的长度差分别为 6 cm, 14 cm 和 27 cm. 由这个自启动被动锁模掺铽堆积脉冲光纤激光器输出的光脉冲形状和光谱如图 2. 通过调整这三级堆积器中光纤的长度差,可以得到的不同形状和脉冲宽度的长脉冲.

堆积脉冲信号光经过选单后,与抽运光经过 DG535 和 5046 精确时间同步后,进入到光参量放大器中进行放大.

## 2 实验结果与讨论

对采用堆积脉冲的光参量啁啾脉冲放大器进行了实验研究,得到了这种放大器的增益、输出光脉冲的时间、光谱特性.

### 2.1 抽运光强与信号光放大增益之间的关系

在入射信号光单脉冲能量为 1 nJ 情况下,信号光放大增益与抽运光强之间的关系如图 3,图中每一个测量值表示 1 min(600 点)连续实验测量的平均值.由图可知,当抽运光强为 350 MW/cm<sup>2</sup> 时,通过第一级放大器放大后,可以得最大单通能量增益达 6 000 倍.为进一步增加信号光增益,将第一级放大输出的信号光注入到结构相似的第二级放大器中,测得单通能量增益约 1 880 倍,并在接近最大抽

运光强处达到增益饱和.实验最终得到总的输出信号光脉冲能量 11 mJ,其相应的能量增益为  $1.1 \times 10^7$ . 由于实验过程中增益达到饱和,所以大大提高了输出信号光能量的稳定性,实验测得能量稳定性为  $<2\%$  rms.

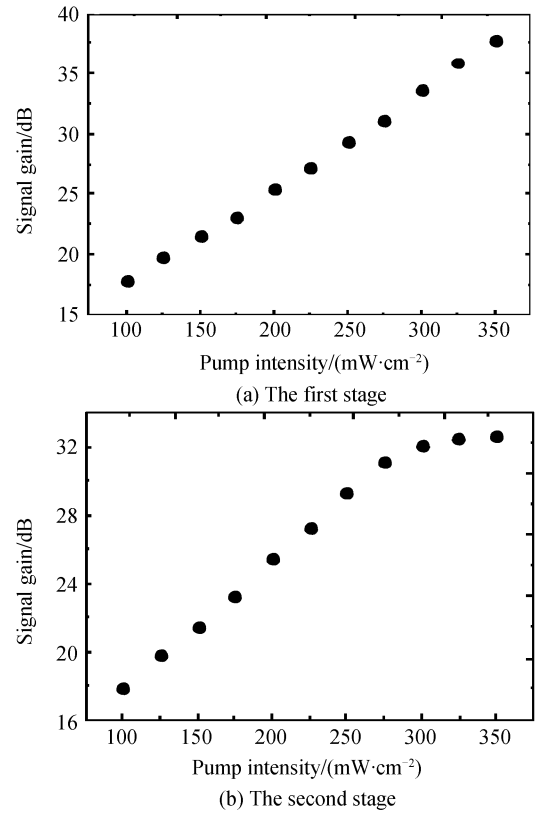
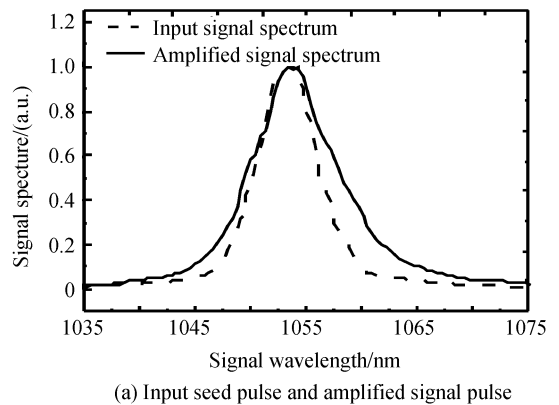


图3 放大信号光增益随抽运光强的变化关系

Fig. 3 Experimental gain of the amplifier versus the pump pulse intensity

### 2.2 放大前与放大后的信号光光谱

放大前与放大后光谱特性如图 4. 其中,图 4(a) 表示输入与输出 1 053 nm 的信号光谱,可以看出,经过放大过程后,光谱带宽有所加宽,由原来的 6 nm 增加到 8 nm. 图 4(b) 表示测量的与放大信号光同时输出、能量与之相近、中心波长为 1 075 nm 的闲频光光谱,光谱的半高全宽为 8 nm.



(a) Input seed pulse and amplified signal pulse

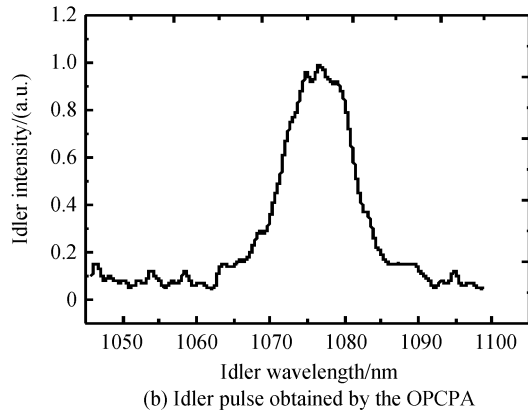


图4 测量的光谱

Fig. 4 Measured spectrum

### 2.3 放大后的信号光脉冲

放大后信号光的输出脉冲如图5,脉冲宽度为2.3 ns.与输入信号光脉冲相比,脉冲形状一致,脉冲窄一些,脉冲上升沿为450 ps.

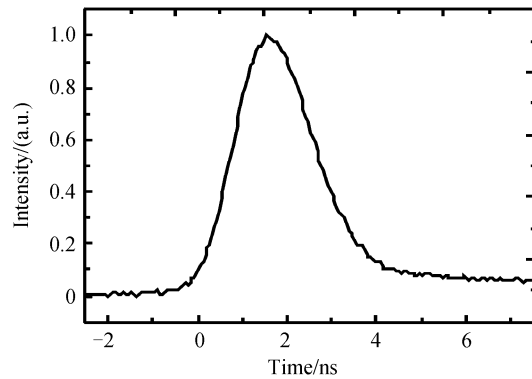


图5 用宽带示波器测的放大后的信号光脉冲,脉冲宽度2.3 ns

Fig. 5 Broad-band oscillograph trace of the amplified signal pulse with the width duration of 2.3 ns

实验结果表明,与传统的 ns 光参量啁啾脉冲放大器相比<sup>[11]</sup>,采用堆积脉冲光纤激光器作为光参量放大器的种子源,其放大增益高,能量稳定性好,参量荧光小,并且通过调节堆积脉冲激光器中的堆积器,可以得到不同脉宽的 OPCPA 放大脉冲。

## 3 结论

本文采用掺镱自启动被动锁模堆积脉冲光纤激光器作为种子源进行了两级光参量啁啾脉冲放大器的实验研究,实验结果表明,采用堆积脉冲光纤激光器为种子源,可以有效地满足信号光与纳秒量级抽

运源时域匹配的同时,大大简化了系统的结构,并且便于调节、维护。

### 参考文献

- [1] WANG Jian-jun, LIN Hong-huan, SUI Zhan, *et al.* Temporal pulse shaping by chirped pulse stacking in fiber time delay lines [C]. *SPIE*, 2006, **6287**: 62870G-628712G.
- [2] LIN Hong-huan, SUI Zhan, WANG Jian-jun, *et al.* Optical pulse shaping by chirped pulse stacking [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(3): 466-470.  
林宏奂,隋展,王建军,等.啁啾脉冲堆积用于光脉冲整形[J].*光学学报*, 2007, **27**(3): 466-470.
- [3] KIRIYAMA H, INOUE N, AKAHANE Y, *et al.* Prepulse-free, multi-terawatt, sub-30-fs laser system [J]. *Opt Express*, 2006, **14**(1): 438-445.
- [4] WITTE S, ZINKSTOK R Th, HOGERVORST W, *et al.* Generation of few-cycle terawatt light pulses using optical parametric chirped pulse amplification [J]. *Opt Express*, 2005, **13**(13): 4903-4908.
- [5] ISHII N, TURI L, YAKOVLEV V S, *et al.* Multimillijoule chirped parametric amplification of few-cycle pulses [J]. *Opt Lett*, 2005, **30**(5): 567-569.
- [6] JOVANOVIC I, BROWN C G, EBBERS C A, *et al.* Generation of high-contrast millijoule pulses by optical parametric chirped-pulse amplification in periodically poled  $\text{KTiOPO}_4$  [J]. *Opt Lett*, 2005, **30**(5): 1036-1038.
- [7] GAO Yan-xia, ZHAO Gai-qign. Gain stability of the small signal in OPCPA with periodically poled  $\text{LiNbO}_3$  [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(8): 1389-1392.  
高艳霞,赵改清.高能量高峰值功率激光系统的稳定性研究[J].*光子学报*, 2007, **36**(8): 1389-1392.
- [8] WANG Hong-ying, LIU Hong-jun, LI Xiao-li, *et al.* Dispersion control in broadband optical parametric chirped-pulse amplification laser system [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(7): 1338-1343.  
王红英,刘红军,李晓莉,等.宽带光学参量啁啾脉冲放大系统的色散控制[J].*光学学报*, 2007, **27**(7): 1338-1343.
- [9] CAO Hui, SUN Jun-qiang, CHEN Guo-jie, *et al.* Study on unique saturation properties in fiber optical parametric amplifiers [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(2): 226-229.  
曹辉,孙军强,陈国杰,等.光纤参量放大饱和增益特性研究[J].*光子学报*, 2005, **34**(2): 226-229.
- [10] WANG Hong-ying, LIU Hong-jun, LI Xiao-li, *et al.* Non-collinear CPOPA seeded by an  $\text{Yb}^{3+}$ -doped self-starting passive mode-locked fiber laser [J]. *Opt Express*, 2007, **15**(8): 4493-4498.
- [11] LI Xiao-li, SHI Shun-xiang, LIU Hong-jun, *et al.* Control of superfluorescence for the optical parametric chirped pulse amplifier based on fiber laser. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(4): 667-670.  
李晓莉,石顺祥,刘红军,等.光纤激光器光参量啁啾脉冲放大现象[J].*光子学报*, 2008, **37**(4): 667-670.

## Stacking Pulse Optical Parametric Chirped Pulse Amplifier

LI Xiao-li<sup>1,2</sup>, SHI Shun-xiang<sup>1</sup>, ZHAO Wei<sup>2</sup>, LIU Hong-jun<sup>2</sup>

(1 School of Technique Physics, Xidian University, Xi'an 710071, China)

(2 State Key Laboratory of Transient Optics and Photonics, Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710119, China)

**Abstract:** A compact, low cost, stable noncollinear optical parametric chirped pulse amplification system is studied, which is seeded by an  $\text{Yb}^{3+}$ -doped self-starting passive mode-locked stacking pulse fiber laser centered at 1 053 nm. A gain higher than  $1.1 \times 10^7$ , single pulse energy exceeding 11 mJ with fluctuations less than 2% rms, 8 nm amplified signal spectrum are achieved. Different pulse durations of amplified signal are obtained by adjusting the stacker of the  $\text{Yb}^{3+}$ -doped self-starting passive mode-locked stacking pulse fiber laser.

**Key words:** Laser amplifiers; Parametric oscillators and amplifiers; Ultrafast lasers; Ultrafast technology



**LI Xiao-li** was born in 1974. She is studying for her Ph. D. degree, and her research interests include high power laser technology and applications, ultra-fast pulses, cascaded nonlinear processes and all optical signal processing.



**SHI Shun-xiang** was born in 1943. He is a professor, and his research interests focus on ultra-fast pulses, nonlinear processes, photo-electronics.