

文章编号:1002-2082(2010)03-0508-04

高效三通光参量啁啾脉冲放大器

李晓莉^{1,2}, 石顺祥¹, 刘红军², 赵卫²

(1. 西安电子科技大学 技术物理学院, 陕西 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, 陕西 西安 710119)

摘要: 为了提高信号光与抽运光在时域上的匹配, 提高放大系统的增益, 提出了三通光参量啁啾脉冲放大的方法。实验中, 信号光在一块晶体内被一抽运光在完全相位匹配的条件下放大了三次, 总放大增益为 3.7×10^7 , 能量晃动小于 3%rms, 放大后的信号光谱宽为 30 nm, 压缩后的信号光脉宽为 82 fs。实验结果表明: 采用三通光参量啁啾脉冲放大方法, 有效地抑制了放大过程中参量荧光对放大过程的影响, 在抽运光强为 350 MW/cm^2 时, 参量荧光仅占输出总能量的 1%。

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

文献标志码: A

High efficient triple-passed optical parametric chirped pulse amplification

LI Xiao-li^{1,2}, SHI Shun-xiang¹, LIU Hong-jun², ZHAO Wei²

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

2. State Key Laboratory of Transient Optics and Photonic Technology, Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, CAS, Xi'an 710068, China)

Abstract: A triple-passed non-collinear optical parametric chirped pulse amplifier is presented. The signal was triple-passed amplified in a single nonlinear crystal by a long pump pulse, in which the signal and pump pulses of each pass were completely phase matched in the plane to have the maximum of the effective nonlinearity. The total net gain higher than 3.7×10^7 , single pulse energy exceeding 3.7 mJ with fluctuations less than 3%rms, 30 nm amplified signal spectrum and recompressed pulse duration of 82 fs were achieved. With this system, the parametric fluorescence is less than 1% of the total output pulse energy when the pump intensity is 350 MW/cm^2 .

Key words: laser amplifier; parametric oscillators and amplifiers; ultra-fast laser; ultra-fast technology

引言

光参量啁啾脉冲放大技术由于具有在放大过程中单通增益高、增益带宽宽、输出光束质量好、非线性B积分小以及信噪比高等特点, 所以近年来, 光参量啁啾脉冲放大技术已成为产生高功率超短激光脉冲的重要手段^[1-9]。而多通光参量啁啾脉冲放大系统

可以有效地提高转换效率, 抑制实验过程中参量荧光的产生, 更是成为人们研究的热点^[10-13]。

本文实验研究采用 Ti:sapphire 飞秒激光器作为信号源的新型三通光参量啁啾脉冲放大器, 即在抽运光所定义的时间窗口内, 信号光 3 次通过非线性晶体被同一束抽运光的不同部分放大, 并且信

收稿日期: 2009-09-17; 修回日期: 2009-11-20

作者简介: 李晓莉 (1974—), 女, 陕西渭南人, 博士研究生, 主要从事超短激光脉冲及放大技术的研究工作。

E-mail: lx18201@sohu.com

号光的3次放大过程均在非线性耦合系数最大的平面内进行,不但提高了信号光增益和抽运光的转换效率,而且有效地抵制了参量荧光对放大信号光的干扰。同时,使系统更加紧凑、经济、调节方便。

1 实验装置

光参量啁啾脉冲放大实验原理图如图1所示,种子源为自制的钛宝石飞秒振荡源,中心波长为800 nm,脉宽为55 fs,谱宽为28 nm,重复频率为80 MHz。飞秒种子信号光脉冲首先经过自制的Öffner脉冲展宽器展宽成545 ps的啁啾脉冲,然后入射到普克尔盒中进行单脉冲选取,重复频率为10 Hz,最后准直为直径2 mm后入射到放大晶体中进行放大。注入到放大器中的信号光脉冲单脉冲能量为0.1 nJ,3次放大过程中抽运光束保持不变,信号光束被反复入射到抽运光中心区域,即第1次被放大的信号光再次入射到晶体中进行参量放大,然后把2次放大后的信号光再次入射到晶体中进行第3次放大。因此,信号光的能量增益被大大提高。参量放大过程对非共线角非常敏感,为尽量使双通放大过程非共线角保持一致,同时也为了保证满足相位匹配条件,3次放大的信号光位于同一水平面内,保证了3次放大信号光都在非线性耦合系数最大的平面内,这需要实验过程中精确调节。图1中的反射镜M2和M3用来调节第一通放大的非共线角,反射镜M4和M5则用来调节第2次放

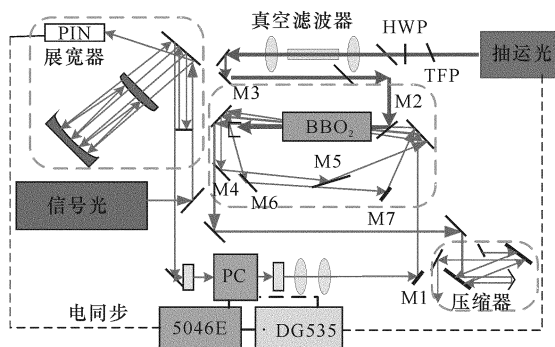


图1 采用掺钛蓝宝石飞秒振荡器的非共线光参量啁啾脉冲放大系统的原理图

Fig. 1 Experimental setup of the non-collinear OPCPA laser system based on Ti : sapphire oscillator

大的非共线角,反射镜M6和M7用来调节第3次放大的非共线角。图2详细给出了3次放大过程中,信号光与抽运光在入射晶体端面的空间位置关系。从图2可以看出,3次放大的信号光在水平方向上

错开一定的空间位置。如果完全重合,无法将放大的信号光导出。而且值得注意的是3次放大的非共线角保持一致,即竖直方向保持一致,所不同的只是水平方向有所错开,这对信号光的增益影响不大。为了进一步说明3次放大过程,图3绘出了3次放大信号光与抽运光的时间关系。 t_1 为第1次信号光到达的时间, t_2 为第2次信号光到达的时间, t_3 为第3次信号光到达的时间。

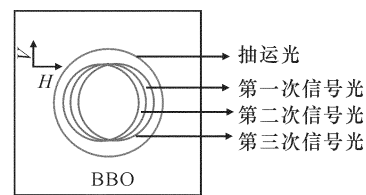


图2 3次放大过程中信号光与抽运光的分布图

Fig. 2 The signal spatial alignment with respect to the pump beam

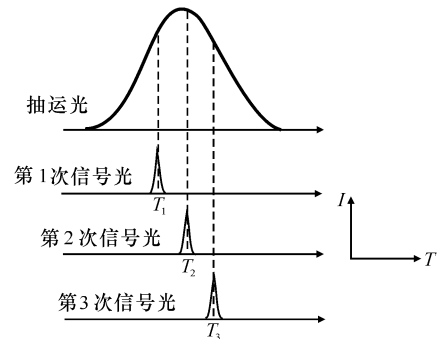


图3 3次放大过程中信号光与抽运光的时间分布

Fig. 3 The temporal diagram in triple-passed

系统抽运光采用美国Continuum公司生产的Seeded PR I 8010型大能量单纵模纳秒级调Q Nd : YAG倍频激光系统。作为抽运光源,我们使用的输出波长为532 nm,重复频率为10 Hz,其中,该激光器在532 nm处最大输出能量为800 mJ,脉冲宽度为6 ns。在实验过程中,抽运光采用150 mJ,垂直偏振的抽运光被3 : 1的缩束器调整为光斑直径为3 mm后入射到非线性晶体中进行放大信号光。

实验中晶体采用福建福晶公司生产的BBO晶体,其尺寸为6 mm × 6 mm × 16 mm,采用非共线第I类相位匹配方式,抽运光沿竖直方向偏振,信号光沿水平方向偏振,为了获得高的有效非线性系数,晶体切割角为23.86°,信号光与抽运光在非线性和晶体内的非共线角为2.38°,晶体外为3.8°。晶体

安装与文献[9]相同。

2 实验结果和讨论

2.1 放大增益与抽运光强的关系

图4为放大输出信号光脉冲能量增益随抽运光强变化的实验测量结果。基于钛宝石飞秒振荡源的三通光参量啁啾脉冲放大器的放大增益是通过能量计来测量的。图中每一个测量值表示1 min (600点)连续实验测量的平均值。

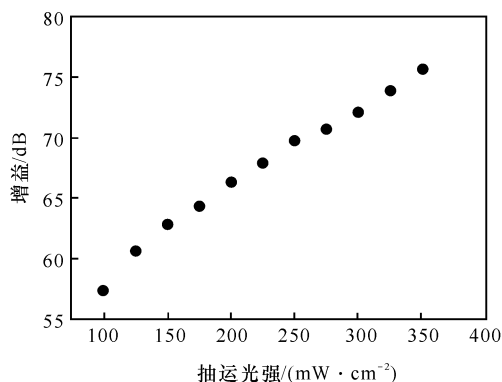


图4 放大信号光增益与抽运光强之间的关系

Fig. 4 Experimental gain of the amplifier versus the pump pulse intensity

放大增益定义为输出信号光能量除以输入信号光能量。入射信号能量为0.1 nJ,当抽运光强为350 mW/cm²时,放大信号总增益为~3.7 × 10⁷,此时放大信号光能量为3.7 mJ,同时测得能量稳定性 < 3% rms,参量荧光小于输出总能量的1%。

2.2 输入输出信号光光谱

图5给出了入射信号光与放大信号光能量达到3.7 mJ时的放大信号光的光谱。从图5中可以看出,入射光谱宽度约28 nm(FWHM),经过放大过程后,输出信号光光谱与入射光谱稍有不同,放

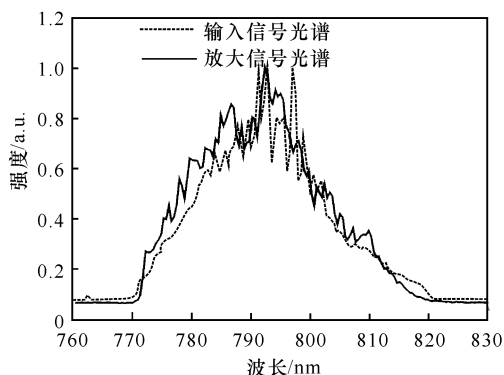


图5 测量的光谱

Fig. 5 Measured spectrum

大信号光的光谱宽度有所加宽,约30 nm(FWHM),这是由于在第三级放大过程中,信号光进入了饱和放大区,放大信号光光谱展宽了。

2.3 压缩后的信号光脉冲宽度

图6给出了信号光能量被放大到3.7 mJ时被光栅压缩器压缩后的脉冲形状,从图中可以看出,压缩脉冲宽度为82 fs。

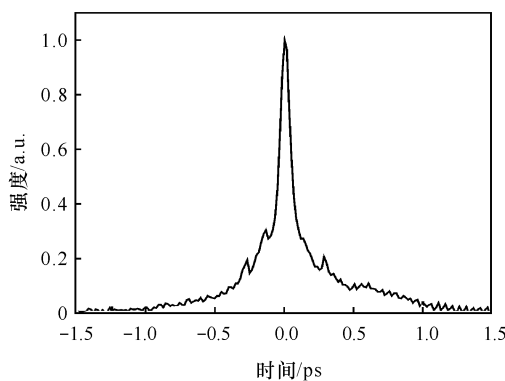


图6 测得压缩后的信号光脉宽

Fig. 6 The temporal intensity profile of the recompressed pulse

3 结论

文中实验研究了以钛宝石飞秒振荡源为种子源,用单纵模调Q激光器为抽运光的新型三通光参量啁啾脉冲放大系统。系统总放大增益为3.7 × 10⁷,能量晃动小于3% rms,参量荧光小于1%,放大后的信号光谱宽为30 nm,压缩后的信号光脉宽为82 fs。实验结果表明,采用这种三通放大结构,提高了系统的放大增益,改善了抽运光的转换效率,有效地抑制参量荧光对放大过程的影响,且系统成本低,结构紧凑,调节方便。

参考文献:

[1] DUBIETIS A, JONUŠAUSKAS G, PISKARSKAS A. Powerful femtosecond pulse generation by chirped and stretched pulse parametric amplification in BBO crystal[J]. Opt. Commun., 1992, 88(4-6): 437-440.

[2] ROSS N, COLLIER J L, MATOUSEK P, et al. Generation of terawatt pulses by use of optical parametric chirped pulse amplification[J]. Applied Optics, 2000, 39(15): 2422-2427.

[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] LIU Hong-jun, ZHAO Wei, YANG Yan-long, et

- al. Matching of both group-velocity and pulse-front for ultrabroadband three-wave-mixing with noncollinear angularly dispersed geometry [J]. *Applied Physics B*, 2006, 82(4): 585-594.
- [5] 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*, 36(8): 1389-1392.
GAO Yan-xia, ZHAO Gai-qing. Gain stability of the small signal in OPCPA with periodically poled LiNbO₃ [J]. *Acta Photonica Sinica*, 36(8): 1389-1392. (in Chinese with an English abstract)
- [6] 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.
- [7] LIU Hong-jun, ZHAO Wei, CHEN Guo-fu, et al. Experimental and theoretical analysis of nondegenerate ultrabroadband chirped pulse optical parametric amplification [J]. *Chin. Phys. Lett.*, 2004, 21(1): 94-97.
- [8] ISHII N, TURI L, YAKOVLEV V S, et al. Multi-millijoule chirped parametric amplification of few-cycle pulses [J]. *Opt. Lett.*, 2005, 30(5): 567-569.
- [9] WANG Hong-ying, LIU Hong-jun, LI Xiao-li, et al. Non-collinear CPOPA seeded by an Yb³⁺-doped self-starting passive mode-locked fiber laser [J]. *Opt. Express*, 2007, 15(8): 4493-4498.
- [10] ZINKSTOK R T, WITTE S, HOGERVORST W, et al. High-power parametric amplification of 11.8-fs laser pulses with carrier-envelope phase control [J]. *Opt. Lett.*, 2005, 30(1): 78-80.
- [11] 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.
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. (in Chinese with an English abstract)
- [12] STEPANENKO Y, RADZEWICZ C. High-gain multipass noncollinear optical parametric chirped pulse amplifier [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2005, 86(21): 211120-211123.
- [13] STEPANENKO Y, RADZEWICZ C. Multipass non-collinear optical parametric amplifier for femtosecond pulses [J]. *Opt. Express*, 2006, 14(2): 779-785.