

文章编号: 0258-7025(2006)Supplement-0169-03

飞秒光参量产生和放大实验

曾小明, 朱启华, 魏晓峰, 黄小军, 王 逍, 王晓东, 周凯南,
王 方, 刘兰琴, 谢旭东, 郭 仪

(中国工程物理研究院激光聚变研究中心, 四川 绵阳 621900)

摘要 提出了一种基于超连续谱注入的大能量飞秒光参量放大(OPA)技术,该技术不仅克服了常规 1053 nm 激光脉冲在前端小能量放大时的增益窄化现象,而且该系统可实现 800 nm 激光脉冲和 1053 nm 激光脉冲的零时间同步。并且实验获得了能量大于 2.6 mJ,脉宽为 93 fs 的 1053 nm 宽带激光脉冲。

关键词 超快光学; 飞秒激光脉冲; 光参量放大; 超连续谱

中图分类号 TN248.1 **文献标识码** A

Experimental Research on Femtosecond Optical Parametric Generation and Amplification

ZENG Xiao-ming, ZHU Qi-hua, WEI Xiao-feng, HUANG Xiao-jun, WANG Xiao,
WANG Xiao-dong, ZHOU Kai-nan, WANG Fang, LIU Lan-qin, XIE Xu-dong, GUO Yi
(Research Center of Laser Fusion, China Academy of Engineering Physics, Mianyang, Sichuan 621900, China)

Abstract Based on super-continuum white light (SWL) injection, a new method of high-energy femtosecond optical parametric amplification (OPA) is put forward which can realize the zero synchronization between 800 nm pump laser and 1053 nm signal laser, and overcome the gain narrowing effect during small signal gain amplification. In the experiment, a broadband 1053 nm laser pulse is obtained with duration of 93 fs and energy higher than 2.6 mJ just with only one stage optical parametric amplification.

Key words ultrafast optics; femtosecond laser pulse; optical parametric amplifier; super-continuum white light (SWL)

1 引 言

自从啁啾脉冲放大的概念提出以来,超短超强高功率大型激光装置有了长足的发展。以钕玻璃为主要增益介质的激光脉冲输出功率已超过 1.5 PW^[1],以钛宝石为主要增益介质的激光脉冲也在 2003 年达到了近拍瓦功率输出^[2]。若能在同一个装置上同步同时输出 800 nm 的高功率飞秒脉冲,1053 nm 的大能量皮秒和纳秒脉冲,将给强场物理和快点火实验研究提供非常理想的实验平台。目前基于钛宝石系统抽运的飞秒光参量产生和放大技术是拓展超短脉冲光源波长的主要手段,人们利用千赫兹的钛宝石系统作为抽运光已经实现了微焦量级的能量输出^[3,4]。本文简要地报道了利用大能量 800 nm 的飞秒脉冲作为抽运光,以超连续谱产生作为种子光,经飞秒光参量放大(OPA)技术直接获得

毫焦量级能量的 1053 nm 飞秒脉冲光。

2 实验布局

由于飞秒光参量产生这一非线性过程起始于参量荧光,不同波长产生于不同角度而形成锥形光谱分布,导致所产生的光脉冲的光谱质量和光束空间质量并不理想。因此可以通过种子注入的方法引入一些频率相近的光子,通过频率牵引的作用,可以改善参量脉冲的输出特性。而飞秒超连续谱的产生非常简单,并且光束发散角控制相对来说比较容易,因此我们设计了基于超连续谱注入的飞秒光参量放大系统,其基本实验光路如图 1 所示。

该系统主要由 800 nm 飞秒抽运激光、超连续谱产生 1053 nm 种子光、铌酸锂(LN)晶体飞秒光参量放大器三部分组成。飞秒抽运激光从 SILEX-1

基金项目: 等离子体物理国防科技重点实验室基金(51480040204JW0701)和激光聚变研究中心创新基金资助课题。

作者简介: 曾小明(1973—),男,硕士研究生,主要从事超短超强激光技术的研究。E-mail: zxm7311@vip.sina.com

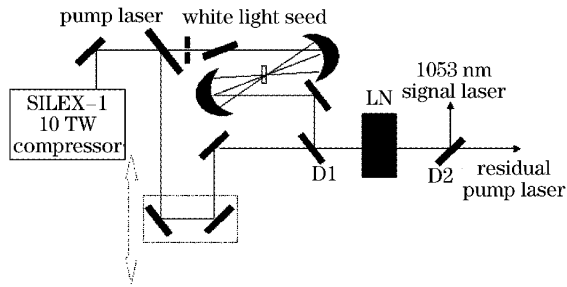


图 1 飞秒光参量放大实验装置图

Fig. 1 Experimental setup of the OPA

装置前端分光经过压缩后获得,其中心波长为 800 nm(可调),最大能量为 200 mJ,最窄压缩脉宽为 30 fs。该 800 nm 抽运光首先经过一块高反射镜经过反射和漏光分成两部分,漏光脉冲经过一个小孔和可变衰减器后,被短焦抛物面镜聚焦到一块 2 mm 厚的 Ti:s 片上,通过精确控制聚焦在 Ti:s 片上的能量和焦点位置,可以产生非常稳定的超连续谱白光,光谱覆盖范围可以一直从可见光到近红外,产生的超连续谱再经过一个准直透镜进行准直和滤波后注入光参量放大晶体。另外大部分 800 nm 脉冲经分光镜反射,经过延时光路后与产生的超连续谱同时共线注入第一块 LN 晶体,经调整晶体的相位匹配角就可以得到放大的宽带飞秒 1053 nm 脉冲。非线性参量放大晶体为 I 类匹配的 LN 晶体,口径 60 mm×60 mm×15 mm,无膜。

3 实验结果及分析

首先,在抽运光脉宽为 80 fs,光参量放大晶体抽运光强度为 70 GW/cm² 的情况下,对超连续谱注入放大后的信号光光谱进行了测量。中心光谱在 1053 nm 时光谱带宽一般为 25 nm 左右,典型输出光谱如图 2 所示。并且随着非线性晶体相位匹配角的变化,放大信号光输出光谱的中心波长可以从

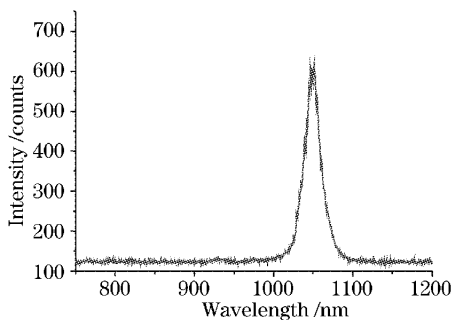


图 2 飞秒光参量放大信号光光谱

Fig. 2 OPA signal spectrum near 1053 nm

1010 nm 一直调谐到 1080 nm。同时,在调谐放大信号光输出中心波长为 1053 nm 时,对抽运光在参量放大中的光谱耗尽进行了对比测量,结果如图 3 所示,从中可以看出,光参量放大主要消耗了 800 nm 以上光谱的能量。

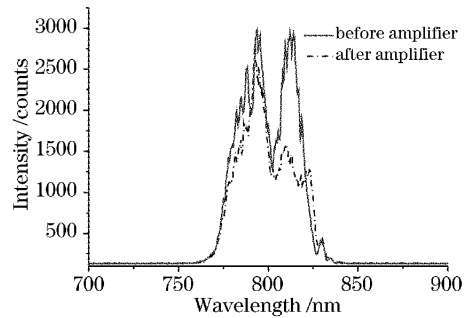
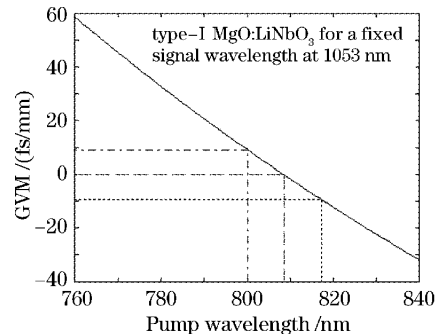


图 3 光参量放大对抽运光谱的耗尽

Fig. 3 Pump spectrum depletion of the OPA

该实验结果与我们的理论计算完全吻合,如图 4 所示,当信号光中心波长固定为 1053 nm 时,抽运光波长在 808 nm 时信号光和抽运光群速度失配最小,此时参量转换效率最大,该结果证实群速度失配是影响飞秒光参量放大的主要因素。因此,根据上述抽运光光谱的耗尽宽度和中心波长,利用 SILEX-1 激光装置安装的可编程声光光谱色散滤波器(AOPDF)进行了抽运光谱宽和中心波长的优化调整,优化调整后的抽运光光谱如图 5 所示,其中心波长为 808 nm,谱宽为 16 nm。该脉冲同样被压缩到 80 fs 后,晶体前入射能量 35 mJ,光参量放大晶体抽运光强度约为 70 GW/cm²,优化调整后输出 1053 nm 处的放大信号光能量从微焦量级提高到最大输出 2.6 mJ。再考虑 LN 晶体两个未镀膜面分别对输入抽运光和输出信号光的损耗,该级飞秒光参量放大的实际能量转换效率为 10%。该参量放大器的增益稳定性受抽运光强度起伏的影响还比较

图 4 MgO:LiNbO₃ 晶体 I 类匹配中抽运光和信号光的群速度失配Fig. 4 Group velocity mismatch in type-I MgO:LiNbO₃

大,实验测量在抽运光抖动 4%(PTP)的情况下,放大输出的信号光能量抖动为 14%(PTP)。下一步我们将进一步改善抽运光的稳定性和进行参量饱和和放大来改善其增益稳定性。

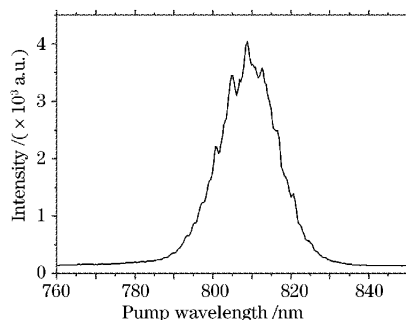


图 5 优化调整后的抽运光光谱
Fig. 5 Optimized pump spectrum

其次,对放大后 1053 nm 的信号光脉宽进行了测量,放大信号光脉宽为 93 fs(图 6),稍大于抽运光 80 fs 的脉冲宽度,这主要是选用厚的 LN 参量放大非线性晶体和超连续谱产生过程中引入的色散

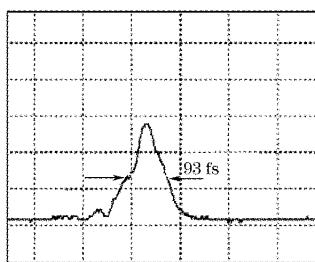


图 6 放大信号光脉宽
Fig. 6 Width of the amplified signal

造成的。根据傅里叶变换极限脉冲可知,对于 25 nm 的光谱带宽,该放大飞秒脉冲存在较大的啁啾,经过色散元件脉宽有可能进一步压窄。

4 结 论

本实验主要对超连续谱注入的飞秒光参量放大技术进行了实验研究,并获得了一些有用的实验结果。首先,通过超连续谱产生信号作为放大信号的种子光,在实验上实现了固体激光两种常用工作波长:800nm 和 1053nm 的零时间抖动同步。其次,利用可编程声光光谱色散滤波器(AOPDF)进行了抽运光谱宽和中心波长的优化调整,极大地提高了参量放大信号光的输出能量(达到 2.6 mJ),有效地克服了常规 1053 nm 宽带脉冲在小能量放大时的增益窄化现象。

致谢 感谢范滇元院士的指导和钱列加教授的有益讨论及帮助。

参 考 文 献

- 1 M. D. Perry, D. Pennington, B. C. Stuart *et al.*. Petawatt laser pulses [J]. *Opt. Lett.*, 1999, **24**(3): 160~162
- 2 M. Aoyama, K. Yamakawa, Y. Akahane *et al.*. 0.85-PW, 33-fs Ti:sapphire laser [J]. *Opt. Lett.*, 2003, **28**(17): 1594~1596
- 3 G. Cerullo, M. Nisoli, S. Stagira *et al.*. Mirror-dispersion-controlled OPA: a compact tool for sub-10-fs spectroscopy in the visible [J]. *Appl. Phys. B*, 2000, **70**(suppl.): S253~S259
- 4 C. J. Fecko, J. J. Loparo, A. Tokmakoff. Generation of 45 femtosecond pulses at 3 μm with a KNbO₃ optical parametric amplifier [J]. *Opt. Commun.*, 2004, **241**: 521~528