

文章编号: 0258-7025(2003)Supplement-0001-03

## Cr:LiSAF 晶体飞秒激光放大器

汪家升<sup>1</sup>, 陈长水<sup>1,2</sup>, 房晓俊<sup>1</sup>, 张鸿博<sup>1</sup>, 林学春<sup>1</sup>, 张东香<sup>1</sup>, 张秀兰<sup>1</sup>, 冯宝华<sup>1</sup>, 杭寅<sup>2</sup>, 许祖彦<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>中国科学院物理研究所, 北京 100080; <sup>2</sup>中国科学院安徽光学精密机械研究所, 安徽 合肥 230031)

**摘要** 采用啁啾脉冲激光放大技术, 以 Cr:LiSAF 晶体为放大介质, 对飞秒种子脉冲进行放大, 获得了运转频率 0.5 Hz, 最大单脉冲能量近 200 mJ 的皮秒脉冲。再压缩后获得脉宽约 350 fs, 最大峰值功率近 0.04 TW 的光脉冲输出。

**关键词** 激光技术; Cr:LiSAF 晶体; 啁啾脉冲放大; 飞秒脉冲

中图分类号 TN248.1

文献标识码 A

## Cr:LiSAF Femtosecond Laser Pulses Amplifier

WANG Jia-sheng<sup>1</sup>, CHEN Chang-shui<sup>1,2</sup>, FANG Xiao-jun<sup>1</sup>, ZHANG Hong-bo<sup>1</sup>,

LIN Xue-chun<sup>1</sup>, ZHANG Dong-xiang<sup>1</sup>, ZHANG Xiu-lan<sup>1</sup>, FENG Bao-hua<sup>1</sup>,

HANG Yin<sup>2</sup>, XU Zu-yan<sup>1</sup>,

(<sup>1</sup>Institute of Physics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China

<sup>2</sup>Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Hefei, Anhui 230031, China)

**Abstract** The chirped pulse amplification technique was used to amplify femtosecond light pulses in the laser material Cr:LiSAF. The amplifier produces approximately 200 mJ chirped ps pulses at a repetition rate of 0.5 Hz. And after recompression, femtosecond light pulses with a pulse duration of roughly 350fs and a maximum peak power approaching to 0.04 TW are put out.

**Key words** laser technique; Cr:LiSAF crystal; chirped pulse amplification; femtosecond pulse

### 1 引言

LiSAF 类晶体材料具有辐射带宽宽、上能级寿命长、热透镜效应低以及激发态吸收低等特点, 已被用作飞秒激光放大介质。例如, LiSAF 的辐射带处在 750~1000 nm 之间, 接近钛宝石的带宽 (660~1100 nm)。但钛宝石晶体材料的辐射上能级寿命仅为 3.2  $\mu$ s, 通常需要另外采用一台激光器进行快速抽运, 因此脉冲能量相对较低。与钛宝石不同的是, LiSAF 晶体的辐射上能级寿命达到 67  $\mu$ s, 适合于直接用闪光灯抽运获得大脉冲能量。近年来此类晶体材料被用于高脉冲能量的放大系统, 该系统不追求重复率, 脉冲能量在毫焦耳至焦耳量级, 重复率在 1~10 Hz。因此, 采用 LiSAF 类材料进行飞秒啁啾脉冲放大已成为国外过去十年以来激光领域的重要研究方向之一。以 LiSAF 晶体为介质的单级放大获

得了脉冲宽度 150 fs, 脉冲能量 8 mJ, 重复频率 10 Hz 的激光脉冲输出<sup>[1]</sup>, 多级放大后分别获得 135 fs, 1 TW, 0.5 Hz<sup>[2]</sup>以及 125 fs, 8 TW, 0.05 Hz<sup>[3]</sup>的高功率飞秒脉冲。

本文设计了 LiSAF 晶体啁啾脉冲激光放大器, 开展了 LiSAF 晶体的飞秒脉冲啁啾放大研究, 获得了最大皮秒单脉冲能量近 200 mJ, 压缩后输出脉宽约 350 fs, 峰值功率近 0.04 TW, 重复率 0.5 Hz 的飞秒脉冲激光。

### 2 实验装置和结果

如图 1 所示, Cr:LiSAF 晶体飞秒放大器由飞秒种子源、展宽器、再生放大器、功率放大器和压缩器构成。全固态钛宝石激光器输出的飞秒种子脉冲的中心波长为 830 nm, 平均功率大于 200 mW, 脉宽

**作者简介:** 汪家升(1960-), 男, 中国科学院物理研究所副研究员, 博士, 主要从事固体激光器、非线性光学和晶体材料及其应用方面的研究工作。现在北方交通大学理学院工作。E-mail: jswang100@hotmail.com

为 80 fs, 重复率为 82 MHz。为了减小展宽器的调节难度, 消除望远镜的像差和色差, 采用了含有凹面镜的单光栅展宽器结构。其中, 凹面镜的曲率半径为 1000 mm, 光栅为 1200 线/mm。入射种子光经过光学反射镜和光栅多次反射或衍射后, 色散长度达到 250 mm。种子脉冲(80 fs)经此展宽器展宽后到约 100 ps 左右。

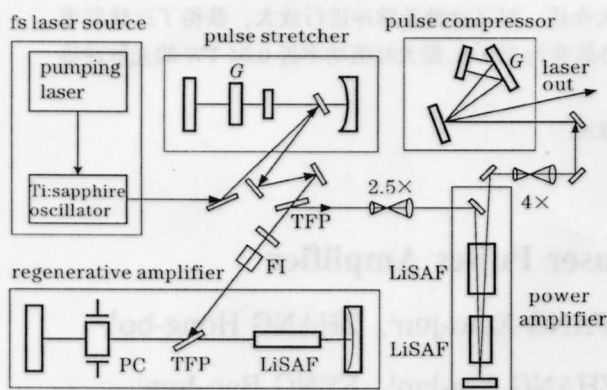


图1 Cr:LiSAF 晶体飞秒放大器示意图。G:光栅; TFP:薄膜偏振片; FI:法拉第隔离器; PC:普克尔盒

Fig.1 Schematic setup of the fs Cr:LiSAF amplifier

G:grating; TFP:thin-film polarizer; FI:Faraday isolator; PC:Pockels cell

展宽后的皮秒水平偏振激光脉冲被注入到单普克尔盒线性腔再生放大器进行选单和放大。受展宽器效率元件其他光学元件损耗的影响, 注入到再生放大器的种子平均功率仅为 24 mW。放大介质 LiSAF 激光晶体的尺寸为  $\phi 6 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$ , 灯抽运激励电源运转频率为 0.5 Hz。由薄膜起偏器、法拉第旋转器和普克尔盒等元器件控制激光脉冲的偏振方向, 选出单个脉冲进行能量放大。控制普克尔盒四分之一波电压加压时序, 使激光单脉冲在腔内往返次数在 40~150 次范围内可调, 对应的最大再生放大倍数已超过  $10^5$ , 光脉冲能量达 0.2 mJ<sup>[4]</sup>。

从再生放大器输出的垂直偏振激光脉冲通过由放大倍率为 2.5 的望远镜与孔径约 1mm 小孔光阑构成的空间滤波器扩束与滤波后, 进入功率放大级。由  $\phi 8 \text{ mm} \times 115 \text{ mm}$  和  $\phi 9.5 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$  两支 LiSAF 晶体棒组成的双通功率放大器, 对皮秒脉冲作进一步放大。构成放大器的两个激光头与再生放大的激光头同步运转, 电脉冲延时可调。在运转频率为 0.5 Hz 时, 固定再生放大器激光头与功率放大器中一个激光头的抽运电压, 改变另一激光头的灯电压即调节抽运能量, 获得了最大单脉冲能量接近 200 mJ 脉冲的啁啾皮秒脉冲输出。皮秒脉冲能量输

出与抽运能量之间的关系如图 2 所示。

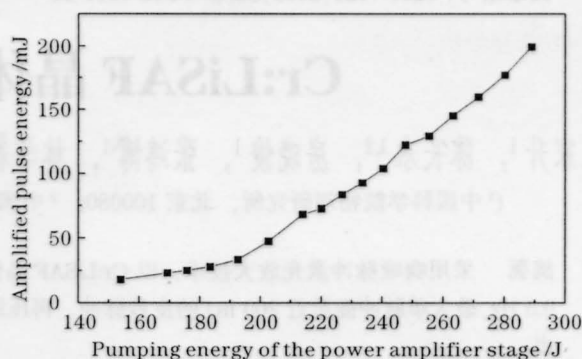


图2 功率放大级输出能量与抽运能量的关系(再生放大器的电抽运能量: 108 J)

Fig.2 Energy output of the amplified ps pulses in relation to the pumping energy(the pumping energy of the regenerative amplifier is 108 J)

功率放大后的皮秒脉冲经放大倍率为 4 的望远镜构成的空间滤波器滤波与扩束后, 注入到单光栅外加直角反射镜构成的压缩器进行再压缩。为防止激光对光学元件的光损伤, 可降低功率放大级的灯电压, 控制放大系统使其在较低能量输出水平运转, 经压缩器后的激光脉冲输出能量接近 14 mJ, 运转频率 0.5 Hz。输出脉冲脉宽用自制的单脉冲相关仪<sup>[5]</sup>测量, 测得最可几脉宽约为 350 fs(图 3), 最大脉冲峰功率近 0.04 TW。

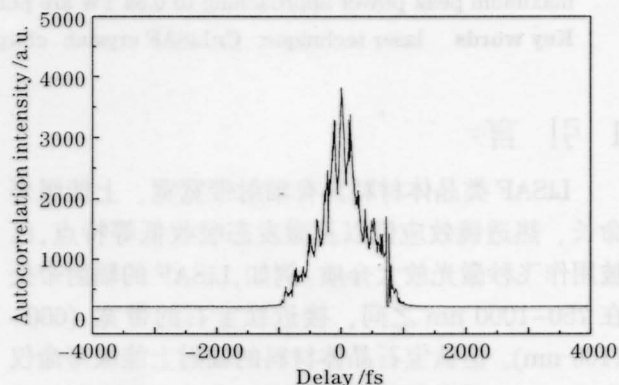


图3 再压缩后飞秒脉冲相关信号波形

Fig.3 Autocorrelation signal distribution of the recompressed pulse

## 4 结 论

采用 LiSAF 晶体作为放大介质, 开展了飞秒激光脉冲放大研究。对飞秒脉冲进行展宽、选单与多级放大, 最大皮秒单脉冲能量达 200 mJ。再压缩后获得运转频率 0.5 Hz, 最可几脉宽 350 fs, 最大峰功率近 0.04 TW 飞秒激光脉冲输出。从脉冲波形来

看,再压缩后的光脉冲存在畸变现象而且脉冲宽度比种子脉冲要宽一些。激光放大晶体材料和光学元件的非均匀性以及非线性色散等是导致波形畸变的主要因素,而系统设计与调整误差所引起的剩余色散则导致波形增宽。

参 考 文 献

1 M. D. Perry, D. Strickland, T. Ditmire *et al.*. Cr:LiSrAlF<sub>6</sub> regenerative amplifier[J]. *Opt. Lett.*, 1992, 17(8):604~

606  
 2 T. Ditmire, M. D. Perry. Terawatt Cr:LiSrAlF<sub>6</sub> laser system[J]. *Opt. Lett.*, 1993,18(6):426~428  
 3 T. Ditmire, H. Nguyen, M. D. Perry. Amplification of femtosecond pulses to 1 J in Cr:LiSrAlF<sub>6</sub>[J]. *Opt. Lett.*, 1995, 20(10):1142~1144  
 4 陈长水,汪家升,房晓俊等.Cr:LiSAF 再生放大系统[J]. 中国激光, 2003, 30(待发表):  
 5 陈毓川. 飞秒激光产生与调谐[D]. 中国科学院物理研究所博士后研究报告, 2000,67~69

High Repetition Rate Electrooptical Q-Switching of MS Pulse Nd:YAG Laser

NING Guo-bin, FAN Wei, JIN Guang-yong, YAN Xiao-yuan, LIANG Zhu

(Guangzhou University of Science and Technology, Guangzhou, China)

Abstract: Electrooptical Q-switching technology is applied to the MS pulse Nd:YAG laser pumped by a 15W Xe lamp. To generate stable and wide-width output, a pair of AOMs are arranged in the oscillator. Electrooptical Q-switching at repetition of 1-5 kHz and narrow-pulse-width laser output is experimentally obtained. Key words: laser technology; millisecond laser pulse; light technology; electrooptical Q-switching

可,激光晶体 Nd:YAG 晶体中掺入 Nd<sup>3+</sup> 离子,其能级结构如图 1 所示。Nd<sup>3+</sup> 离子在基态  $^4F_{3/2}$  能级上,吸收泵浦光跃迁到  $^4F_{7/2}$  能级,再经非辐射弛豫到  $^4F_{5/2}$  能级,最后经辐射跃迁到  $^4F_{3/2}$  能级,产生激光。Nd<sup>3+</sup> 离子在  $^4F_{3/2}$  能级上的寿命为 100 ns,在  $^4F_{5/2}$  能级上的寿命为 10 ns,在  $^4F_{7/2}$  能级上的寿命为 1 ns。Nd<sup>3+</sup> 离子在  $^4F_{3/2}$  能级上的寿命为 100 ns,在  $^4F_{5/2}$  能级上的寿命为 10 ns,在  $^4F_{7/2}$  能级上的寿命为 1 ns。

$$(1) \quad \frac{dN_1}{dt} = -N_1 \left( \frac{1}{\tau_1} + W_{12} \right) + N_2 W_{21}$$

$$(2) \quad \frac{dN_2}{dt} = N_1 W_{12} - N_2 \left( \frac{1}{\tau_2} + W_{21} \right)$$

$$(3) \quad \frac{dN_3}{dt} = N_2 W_{21} - N_3 \left( \frac{1}{\tau_3} + W_{31} \right)$$

$$(4) \quad \frac{dN_4}{dt} = N_3 W_{31} - N_4 \left( \frac{1}{\tau_4} + W_{41} \right)$$

言 序  
 本论文主要研究了 Nd:YAG 激光器的 Q 开关技术。Nd:YAG 激光器是一种典型的固体激光器,其输出功率高,光束质量好,广泛应用于工业、医疗、科研等领域。然而,传统的 Nd:YAG 激光器存在脉冲宽度窄、重复频率低等问题。本文提出了一种基于电光 Q 开关的 Nd:YAG 激光器,通过引入电光晶体,可以实现对激光腔内 Q 值的快速调制,从而产生宽脉冲宽度的激光输出。实验结果表明,该激光器在 1-5 kHz 的重复频率下,能够产生脉宽为 10 ns 的激光脉冲,输出功率达到 10 W。本文的研究为 Nd:YAG 激光器的 Q 开关技术提供了新的思路和方法。

1. 引言  
 Nd:YAG 激光器是一种典型的固体激光器,其输出功率高,光束质量好,广泛应用于工业、医疗、科研等领域。然而,传统的 Nd:YAG 激光器存在脉冲宽度窄、重复频率低等问题。本文提出了一种基于电光 Q 开关的 Nd:YAG 激光器,通过引入电光晶体,可以实现对激光腔内 Q 值的快速调制,从而产生宽脉冲宽度的激光输出。实验结果表明,该激光器在 1-5 kHz 的重复频率下,能够产生脉宽为 10 ns 的激光脉冲,输出功率达到 10 W。本文的研究为 Nd:YAG 激光器的 Q 开关技术提供了新的思路和方法。