

文章编号: 0258-7025(2003)10-0890-03

Cr:LiSAF 再生放大系统

陈长水^{1,2}, 汪家升¹, 房晓俊¹, 张鸿博¹, 林学春¹, 张东香¹, 张秀兰¹, 冯宝华¹, 杭 寅², 许祖彦¹

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

摘要 设计了灯抽运 Cr:LiSAF(Cr:LiSrAlF₆) 飞秒再生放大系统, 对 80 fs 光脉冲(展宽后约 103 ps)进行了再生放大研究, 获得了再生放大的输出能量与输入能量和放大倍率与放大往返次数间的关系, 得到了 8×10^5 的放大倍率和 0.4 mJ 的单脉冲再生放大输出。

关键词 激光技术; 再生放大; Cr:LiSAF 晶体; 飞秒脉冲

中图分类号 TN 248 **文献标识码** A

Cr:LiSAF Regenerative Amplifier

CHEN Chang-shui^{1,2}, WANG Jia-sheng¹, FANG Xiao-jun¹,
ZHANG Hong-bo¹, LIN Xue-chun¹, ZHANG Dong-xiang¹,
ZHANG Xiu-lan¹, FENG Bao-hua¹, HANG Yin², XU Zu-yan¹

¹ Institute of Physics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China

(² Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Hefei, Anhui 230031, China)

Abstract In this paper, a flashlamp pumped Cr:LiSAF (Cr:LiSrAlF₆) regenerative amplifier was developed to amplify chirped light pulses which were stretched from 80 fs to 103 ps. The relation between the amplified output energy and the input energy and that between the net gain and the round-trip number of the chirped pulses in the cavity were determined. Using the regenerative amplifier, a net gain of 8×10^5 and the maximum output pulse energy of 0.4 mJ were obtained.

Key words laser technique; regenerative amplifier; Cr:LiSAF crystal; femtosecond pulse

1 引 言

超短激光脉冲在科研、工业、化学和医疗等方面有越来越多的应用^[1], 如: 超快过程观察、超快共振激发研究、超高速半导体器件检测、超精细加工、触发和跟踪化学反应等。尤其是高功率的飞秒激光脉冲可用来产生高温、高压、高场强、高密度等极端物理条件, 是研究超强激光与物质相互作用如等离子物理、超快 X 射线产生、多光子电离等的重要手段。锁模飞秒激光器振荡级输出的脉冲能量较低(纳焦耳量级), 为获得较大能量的飞秒激光脉冲, 需要对激光脉冲进行放大。目前, 高功率飞秒激光器是利用啁啾脉冲放大技术获得的, 其基本原理是: 锁模激

光器产生的飞秒激光脉冲首先经色散系统展宽至皮秒或纳秒量级的啁啾脉冲, 然后经放大介质多级放大获取足够的能量, 再经啁啾补偿压缩回飞秒量级。

啁啾脉冲激光放大主要采用掺钛蓝宝石^[2~4]和 Cr:LiSAF 类晶体^[5~7]作为放大介质, 前者因其宽的光谱带宽, 优良的热传导性能和高增益、高强度等特性已被广泛应用于低脉冲能量、高重复频率的放大系统, 后者与前者同样具有宽的光谱带宽(780~1020 nm), 但上能级寿命要长(67 μ s), 因此适合于闪光灯抽运获得大脉冲能量。利用灯抽运 Cr:LiSAF 类晶体进行飞秒脉冲放大, 国际上目前已获得脉冲宽度 125 fs, 脉冲能量 1 J, 重复频率 0.05 Hz 的激光脉冲, 最大输出峰功率达 8 TW^[7]。本文报

收稿日期: 2002-05-29; 收到修改稿日期: 2002-08-16

作者简介: 陈长水(1969—), 男, 中国科学院安徽光学精密机械研究所新型激光器与晶体材料研究室副主任, 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。E-mail: cschen@aiofm.ac.cn.

道采用国内生长的 Cr:LiSAF 晶体进行飞秒脉冲啁啾再生放大的实验研究。

2 实验研究

图 1 为 Cr:LiSAF 晶体飞秒再生激光放大系统光路的示意图。系统主要由 4 部分组成:1) 飞秒光脉冲种子源,由 A 与 B 两部分组成,其中 TSA-10 型飞秒钛宝石激光器的振荡部分输出 80 fs,150 mW,82 MHz,中心波长 830 nm 激光脉冲,偏振方向为水平偏振,实验中进入展宽器的种子脉冲功率约为

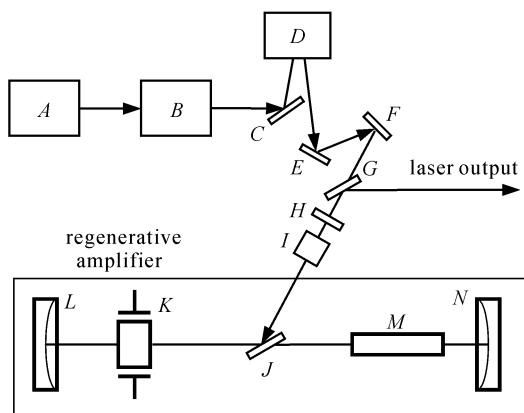


图 1 实验装置图

A: 二极管抽运固体激光器; B: 钛宝石锁模激光器; C, E, F: 45° 全反镜; D: 脉冲展宽器; H: $\lambda/2$ 波片; I: 法拉第旋光器; G, J: 薄膜偏振片; K: KD*P 普克尔盒; L, N: 腔镜; M: Cr:LiSAF 晶体

Fig. 1 Scheme of the experimental setup

A: diode-pumped solid-state laser; B: mode-locked Ti:sapphire laser; C, E, F: 45° high reflectivity mirrors; D: pulse stretcher; H: $\lambda/2$ waveplate; I: Faraday rotator; G, J: thin-film polarizer; K: KD*P Pockels cell; L, N: cavity mirrors; M: Cr:LiSAF crystal

35 mW; 2) 飞秒脉冲展宽系统,由 C, D, E 组成。将种子脉冲注入到单光栅构成的脉冲展宽器,展宽系统的凹面镜的曲率半径为 1000 mm,光栅为 1200 lines/mm,色散长度为 250 mm,输出脉宽约 103 ps 的脉冲,输出功率为 24 mW; 3) 再生放大系统的隔离和输出系统,由 F, G, H, I 和 J 组成,光束经半波片和法拉第隔离器后变为垂直偏振,经薄膜偏振片 J,注入到 LiSAF 再生放大谐振腔系统; 4) 再生放大谐振腔系统,由 J, K, L, M 和 N 组成。在未加电压前,将普克尔盒 (Medox DR-85A) 调整为对 830 nm 波段为四分之一波片。J 为薄膜偏振片,与普克尔电光开关 K 组成注入和放大后脉冲的输出系统,在普克尔盒上未加电压时,当垂直偏振的光经薄膜

偏振片反射一次通过普克尔盒,再经腔镜 L 反射,二次通过普克尔盒后,变为水平偏振,透过薄膜偏振片 J,再经 Cr:LiSAF 晶体和腔镜 N 反射后,光束两次通过普克尔盒后,光束的偏振方向又为垂直偏振,被薄膜偏振片反射出放大腔。这样,在普克尔盒上未加电压时,光脉冲通过放大介质,未能获得足够的放大。在实验中利用光电接收器将抽运 Cr:LiSAF 晶体的氙灯的光信号转换成电信号,经特定延时后,控制普克尔盒的第一次加压,再经调整延时,控制普克尔盒的第二次加压。如果在普克尔盒和腔镜 N 间有一个光脉冲(脉冲为水平偏振)时,将普克尔盒上的电压升到四分之一波电压,加上起始的四分之一波片特性,这样,普克尔盒相当于二分之一波片,水平偏振的光脉冲被选定在腔内,而被薄膜偏振片反射进入腔内的垂直偏振脉冲,两次通过普克尔盒后,仍为垂直偏振光脉冲,被薄膜偏振片反射出腔外,选定的光脉冲在腔内放大,经过设定的时间间隔后,将普克尔盒上的电压升为半波电压,加上起始的四分之一波片特性,普克尔盒相当于四分之三波片,在普克尔盒和腔镜 N 间的光脉冲(脉冲为水平偏振),两次通过普克尔盒后变为垂直偏振,被薄膜偏振片反射出腔外,获得放大输出的光脉冲。

该再生放大器为平-凹腔结构,腔镜 L 为平面镜,腔镜 N 的曲率半径为 3 m,两腔镜均镀 830 nm 波段全反射膜; Cr:LiSAF 晶体为 $\phi 6 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$,腔长为 1200 mm。Cr:LiSAF 晶体采用快脉冲闪光灯抽运,运转频率约 0.5 Hz。

图 2 为再生放大倍数与往返次数的关系。在抽运能量为 108.8 J 时,在放大往返次数为 150 次(锁

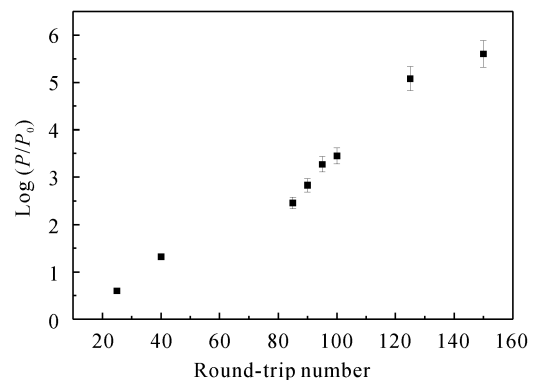


图 2 再生放大倍数与脉冲往返次数的关系

(P_0, P 分别表示啁啾激光脉冲放大前后的能量)

Fig. 2 Net gain of the amplifier versus round-trip numbers of the chirped pulses

(P_0, P refer to the injected and the amplified average power of the chirped pulses, respectively)

定在腔内的光脉冲在导出再生放大腔前通过放大介质的往返次数)时,将单脉冲能量 0.3 nJ/脉冲的光脉冲放大到 0.2 mJ/脉冲,获得 6.7×10^5 的放大倍率。

图 3 为往返放大次数为 150 次时,不同抽运能量与放大后脉冲能量的关系。随着输入抽运能量的增加,经再生放大后获得的脉冲能量亦增加。实验中,提高种子脉冲能量到 0.5 nJ,在抽运能量达 110 J,往返放大 150 次后,获得单脉冲 0.4 mJ 能量输出,获得 8×10^5 的放大倍率。

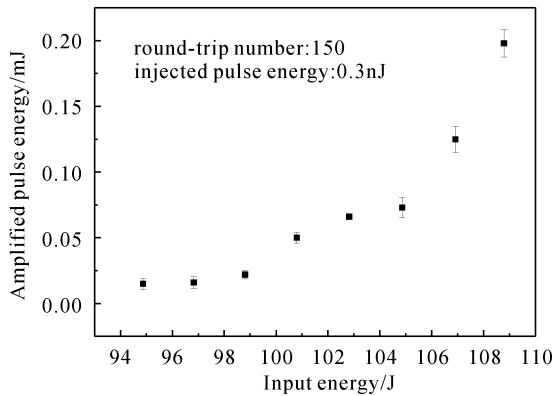


图 3 放大脉冲能量与抽运能量的关系

Fig. 3 Amplified pulse energy versus the pumping energy

3 讨论与结论

利用灯抽运 Cr:LiSAF 激光放大系统,将锁模钛宝石激光器输出的飞秒脉冲展宽,获得 103 ps 的啁啾脉冲,经再生放大获得重复率 0.5 Hz,单脉冲能量 0.4 mJ 的皮秒光脉冲输出。实验中,研究了在放大次数一定的条件下的种子脉冲的放大输出能量与抽运能量的关系和在抽运能量一定的条件下的种

子脉冲的放大倍率与再生放大往返次数的关系。将获得的再生放大脉冲经能量放大、脉冲压缩后,可获得大功率、大能量的飞秒级光脉冲。

实验中由于使用的薄膜偏振片对线偏振光的透过率仅 80%,有 20%的反射,所以腔内的往返损耗达 36%以上,严重影响再生放大的效率;同时,此薄膜偏振片对线偏振光的反射率也仅为 80%,所以在图 1 光路中的 I 与 J 间增加了一块薄膜偏振片以防止再生放大期间的 20%的输出对系统的影响,故光束从 F 到进入腔内,损耗达 50%以上。为防止 Cr:LiSAF 晶体的损伤,将输出能量限制在 0.5 mJ 以内,如果使用更好的薄膜偏振片将大大提高系统的效率和输出光脉冲能量。

参 考 文 献

- 1 T. Brabec, F. Krausz. Intense few-cycle laser fields: Frontiers of nonlinear optics [J]. *Rev. Mod. Phys.*, 2000, **72**(2):545~591
- 2 K. Yamakawa, M. Aoyama, S. Matsuoka *et al.*. 100-TW sub-20-fs Ti:sapphire laser system operating at a 10-Hz repetition rate [J]. *Opt. Lett.*, 1998, **23**(18):1468~1470
- 3 A. Sullivan, H. Hamster, H. G. Kapteyn *et al.*. Multiterawatt, 100-fs laser [J]. *Opt. Lett.*, 1991, **16**(18):1406~1408
- 4 Zhang Weili, Wang Yong, Wang Qingyue *et al.*. Amplified spontaneous emission and its restraint in a terawatt Ti:sapphire amplifier [J]. *Science in China (Series A)*, 2000, **43**(8):853~860
- 5 M. D. Perry, D. Strickland, T. Ditmire *et al.*. Cr:LiSrAlF₆ regenerative amplifier [J]. *Opt. Lett.*, 1992, **17**(8):604~606
- 6 T. Ditmire, M. D. Perry. Terawatt Cr:LiSrAlF₆ laser system [J]. *Opt. Lett.*, 1993, **18**(6):426~428
- 7 T. Ditmire, H. Nguyen, M. D. Perry. Amplification of femtosecond pulses to 1J in Cr:LiSrAlF₆ [J]. *Opt. Lett.*, 1995, **20**(10):1142~1144