

低重复率的 Ti : Al₂O₃ 飞秒激光放大器研究

侯洵 阮双琛 杨建军 王水才 孙艳玲 丰善

(中国科学院西安光学精密机械研究所瞬态光学技术国家重点实验室, 西安 710068)

摘要 本文报道了重复频率为 10Hz 的 Ti : Al₂O₃ 飞秒激光放大器的研究. 基于脉冲啁啾放大技术和采用再生/多通放大装置, 得到了能量为 8mJ 的放大光脉冲, 在该放大系统中, 激光脉冲获取净增益约 8×10⁷.

关键词 Ti : Al₂O₃ 飞秒激光器; 脉冲啁啾放大; 再生放大器

0 引言

随着人们对高功率、大能量超短光脉冲日益增长的需求, 例如进行强场物理实验(等离子体、X 射线)和某些超快过程的研究, 使得飞秒激光脉冲的放大成为当前激光技术领域内的重要研究方向之一^{1,2}. 然而, 在通常的放大过程中, 当脉冲峰值功率高到一定程度时将面临两个主要的问题: 增益饱和所导致的低效放大和高峰值功率所造成介质的非线性效应, 这二者使得放大器受到脉冲强度而非能量的制约. 幸运的是, 脉冲啁啾放大技术的出现使得上述问题得以解决, 它通常有四部分组成³: 1) 超短光脉冲振荡器; 2) 脉冲展宽器; 3) 脉冲放大器; 4) 脉冲压缩器. 另外, 近年来新型固体激光晶体如: Ti : Al₂O₃, Cr³⁺: LiSAF 的发展为超短光脉冲的放大提供了优良的放大材料. 目前, 采用脉冲啁啾放大技术和 Ti : Al₂O₃ 晶体, 人们分别对高重复率(>1KHz)和低重复率(~10Hz)的飞秒激光放大系统进行了研究^{4,5}. 本文采用再生/多通放大装置和脉冲啁啾放大技术, 发展了一种结构紧凑、高效的 Ti : Al₂O₃ 飞秒激光放大系统, 获得了脉冲能量为 8mJ 的高强度飞秒光脉冲, 脉冲重复率为 10Hz.

1 实验装置

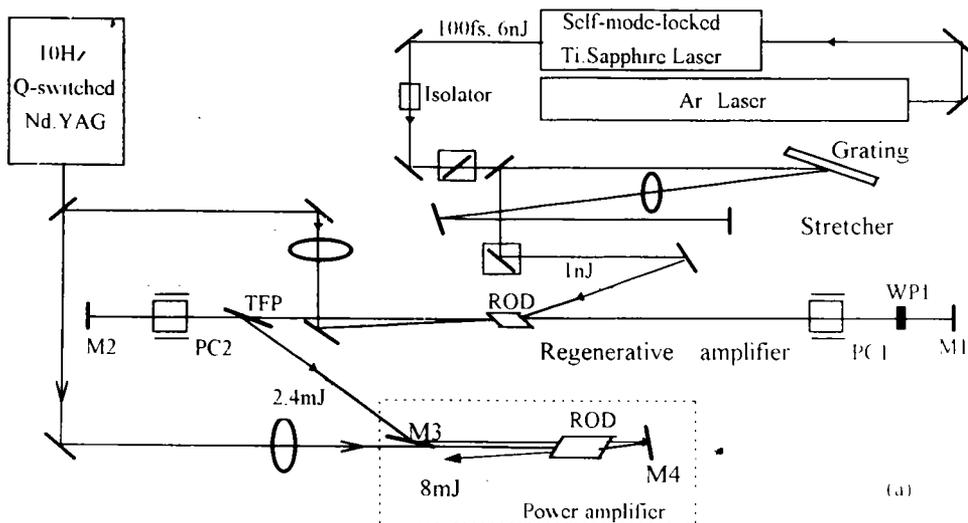
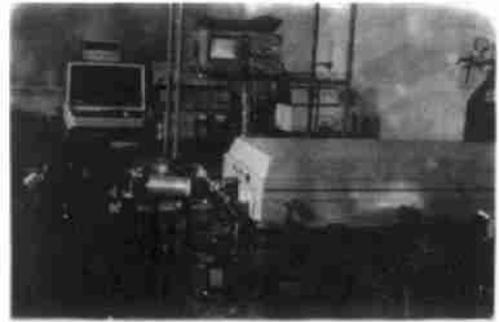


图1 Ti: Al₂O₃ 飞秒激光放大系统的结构(a)及实验装置(b)

Fig. 1 (a) Amplifier system structure of Ti: Al₂O₃ fs laser and (b) experimental setup



实验的基本结构如图1(a)所示,包括产生种子脉冲的自锁模 Ti: Al₂O₃ 飞秒激光器;单光栅脉冲展宽器及二通结构的能量放大器. 整个的实验装置如图1(b)所示.

整个放大系统首先从功率为10W的CW氩离子激光器泵浦自锁模 Ti: Al₂O₃ 激光器开始,振荡器可输出 2~10nJ, 100~200fs 的锁模光脉冲,脉冲重复频率为 82MHz, 波长调谐范围 700~800nm. 超短光脉冲经过法拉第隔离器进入光栅展宽器,该展宽器主要由一个1800 lp/mm的镀金全息光栅和焦距为80cm的平凸透镜组成,入射光束在光栅的入射角及一级衍射角分别为 55°和 38°,可提供一个正的 GVD 量,将光脉冲啁啾展宽至 200ps 的范围³. 此时用红外

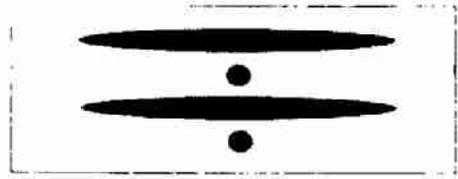


图2 飞秒光脉冲在光栅上的展宽图案

Fig. 2 Broadening pattern of fs light pulse on the grating

观察仪可观察到飞秒光脉冲在光栅上空间色散展宽图案,如图2所示,其光谱的空间色散展宽约 5cm^{-1} .

光脉冲经过展宽器输出后,种子只剩下 $\sim 0.1\text{nJ}$ 的能量,然后由放大增益介质钛宝石晶体的一个布儒斯特端面将其反射耦合到再生放大腔内,这样设计既可减少再生腔内光学元件的数量,又可降低腔内损耗. 再生腔设计为平凹腔结构,其中凹面镜的曲率半径 $R=4\text{m}$,腔长为 1.8m ,可提供一个稳定的 TEM₀₀ 模运转⁵. 此时平面镜上的高斯模直径约为 1.5mm ,在凹面镜上的光束直径约为 2mm . 放大介质采用上海光机所生产的 $5.2 \times 5.5 \times 10\text{mm}$ 的钛宝石晶体. 重复率为 10Hz 的 YAG 倍频调 Q 激光器作为再生放大器的泵浦源,其输出的光脉冲宽度小于 10ns ,泵浦光束经焦距为 80cm 的透镜聚焦于钛宝石晶体的一个端面,为了避免晶体的损伤,控制泵浦光束能量在该端面上的光通量为 $\sim 1.5\text{J}/\text{cm}^2$. 两个 KD*P 普克尔盒 PC1 和 PC2 以及四分之一波长的薄片 WP1 和宽带薄膜偏振片 TFP 用来选取单一的种子脉冲注入再生腔或将放大到一定强度的光脉冲从再生腔内倒空输出. 单一脉冲的选取和腔倒空输出均由同步延迟产生器(SDG)分别提供给普克尔盒的两个延迟的高速电脉冲来保证,当 PC1 两端施加一个 $V_{1/2} = 3500\text{V}$ 的电脉冲时,它与四分之一波片共同作用来选取单一的种子光脉冲注入再生腔内. 单一的种子脉冲信号在腔内往返数次,当其能量被放大到一定的程度时,PC2 两端也将产生一个延迟的高压电脉冲 $V_{1/2}$,从而改变腔内光脉冲的偏振方向,实现放大光脉冲从 TFP 处的腔倒空输出. 事实上,为了使得放大增益介质中的能量在种子光脉冲注入之前不至于被再生腔内的 ASE 所损耗,我们仍采用 SDG 来保障种子锁模脉冲与 YAG 倍频激光器之间的时间同步⁷.

2 实验测量结果

钛宝石再生放大器(TSA)作为一个激光放大器,当强度大于内腔噪音的亚纳秒光脉冲被注入腔内时,它可看作一激光器. 因此,我们必须首先确保再生放大腔得到很好的准直. 在注入种子脉冲之前,接通普克尔盒 PC1 获得了腔内振荡激光的调 Q 脉冲运转,用 PIN 管在端镜 M2 处接收光信号并输入示波器观察脉冲波长,如图3所示. 再仔细调节腔内光路及泵浦光束,使得示波器上的脉冲幅度最大,且将腔内 Q 脉冲的建立时间缩短至 $\sim 300\text{ns}$. 此时接通普克尔盒 PC2,调节它的触发延迟,即可测得腔内

振荡光束的腔倒空脉冲波形,如图 4 所示⁶.

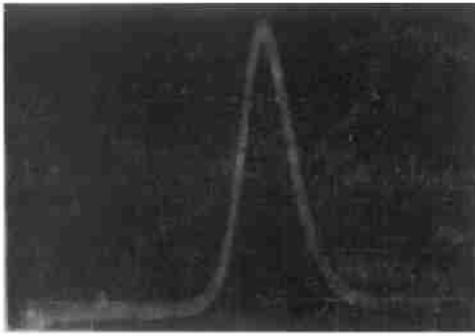


图 3 调 Q 脉冲波形

Fig. 3 Q-switching pulse waveform

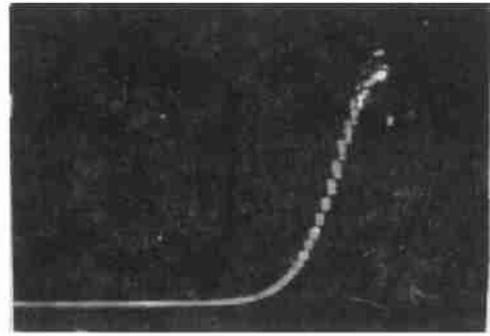


图 4 腔倒空脉冲波形

Fig. 4 Cavity dumping pulse waveform

然后将啾啾展宽后的种子脉冲注入再生腔内,仔细准直,直至在腔镜两端能得到好的种子信号模式.重复上述操作过程,则可观察到放大信号的光脉冲波形和腔倒空输出时放大光脉冲的波形⁶,分别如图 5 和图 6 所示.此时从 TFP 倒空出来的放大光脉冲能量测得为 2.4mJ. 脉冲在该过程中获得的净增益约 2.4×10^7 .

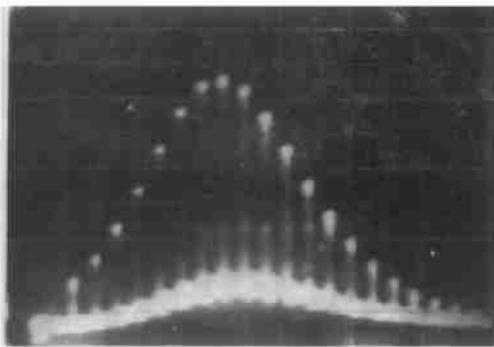


图 5 无腔倒空时的再生放大光脉冲

Fig. 5 Regenerative amplifying light pulse without cavity dumping

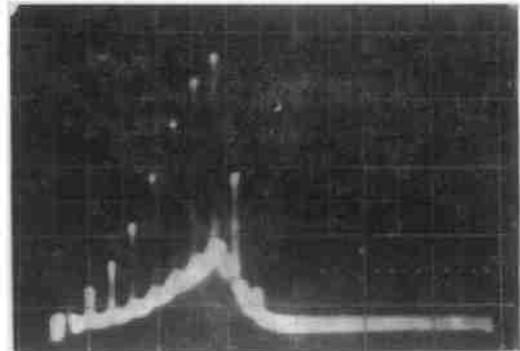


图 6 腔倒空输出时的再生放大光脉冲

Fig. 6 Regenerative amplifying light pulse with cavity dumping

采用二通式能量放大结构⁹,我们又将从再生放大器获得的光脉冲进一步的放大.放大介质仍采用长为 50mm 的 Ti: Al₂O₃ 激光晶体,从 YAG 倍频输出的波长为 532nm 的激光中分得一部分作为其泵浦光束,能量为 177mJ,聚焦在接通表面上的光束直径约为 4mm,经二通能量放大后测得的单脉冲能量为 8mJ,放大后的单脉冲波形如图 7 所示.

由于在能量放大过程中,晶体的尺寸较小,掺杂浓度低,泵浦光束能量较小,放大激光与泵浦光束在晶体内的耦合情况也欠佳.因此,对这些问题的进一步改善,可望获得更大能量的光脉冲输出.

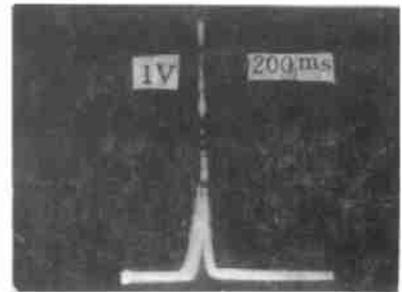


图 7 放大后测得的单个光脉冲

Fig. 7 The measured single light pulse after amplification

参考文献

- 1 Yamakawa K, Chiu P H, et al. IEEE J Q E, 1994, 30(11), 2698~2706
- 2 张伟力, 刑岐荣, 王清月. 光学学报, 1996, 16(4), 399~402
- 3 杨建军. 可调谐钛宝石激光器研究(硕士论文). 中科院西安光机所, 1996, 10~25
- 4 Wynne Klaas, Reid G D, et al. Opt Lett, 1994, 19(12), 895~897
- 5 阮双琛, 王水才, 杨建军等. 光子学报, 1995, 24(5), 393~395
- 6 杨建军, 阮双琛, 王水才等. 光子学报, 1996, 25(7), 594~597
- 7 Quanta-Ray TSA, User's Manual, Spectra-Physics Lasers, 1993
- 8 侯洵, 阮双琛, 杨建军等. 光子学报, 1996, 25(3): 216
- 9 侯洵, 阮双琛, 王水才, 杨建军等. 光子学报, 1996, 25(1): 19

STUDY ON A COMPACT FEMTOSECOND Ti : Al₂O₃ AMPLIFIER AT LOW REPETITION RATE

Hou Xun, Ruan Shuangchen, Yang Jianjun, Wang Shuicai, Sun Yanling, Feng Shan

Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Academia Sinica, Xi'an 710068

Received date: 1996-05-20

Abstract This article described a compact and high efficient solid - state laser system based on Ti : Al₂O₃ capable of producing pulses with energy of 8mJ each at a 10Hz repetition rate. By utilization of chirped pulse amplification technique, ultrashort seed pulses with duration of 100fs and repetition rate of 82MHz generated from self-mode-locked Ti : Al₂O₃ laser were stretched to ~200ps with a four-pass grating stretcher. After regenerative amplification, a cavity-dumped pulse with energy greater than 2mJ was obtained. We also designed a double-pass power amplifier. The long pulses from the regenerative amplifiers were further amplified to about 8mJ with each pulse's energy. As a result, the total net gain of this system was achieved 8×10^7 .

Keywords Ti : Al₂O₃ laser; Chirped pulse amplification; Regenerative amplifier



Hou Xun was born in 1936, graduated from Physics Department of Northwest University of China in 1959 and joined Xi'an Institute of Atomic Energy, Chinese Academy of Sciences. Since 1962 he has been working on High Speed Photography and Photonics at Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, CAS, as a research assistant, associate professor and professor. He studied at Imperial College of London University from 1979 to 1981. His major research areas are image converter high speed photography, image intensifier, generation and measurement of ultrashort laser pulses. He is an academician of Chinese Academy of Sciences.