

用腔倒空 Nd:YAG 激光器对 fs 超短脉冲的同步放大*

沈晋汇 何慧娟 张影华 刘玉璞 肖纲要 王之江

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

提 要

实现了用腔倒空 Nd:YAG 激光器对 fs 超短脉冲放大器的同步泵浦。由碰撞锁模环形染料激光器产生的 80 fs 脉冲经二级染料放大后, 实现放大倍数 6.2×10^4 , 输出超短脉冲峰值功率 $\sim 2 \times 10^7$ W。

关键词: fs 超短脉冲, 同步, 放大。

一、引 言

碰撞锁模环形染料激光器(CPM)的出现, 使产生脉宽短于 100 fs 的激光脉冲变得比较容易^[1]。但是, 它所产生的单脉冲能量非常低, 通常仅为 nJ 量级。

调 Q 或锁模 Nd:YAG 激光器是 fs 单脉冲, 大能量放大器的理想泵浦源。为了有效地减少由放大的自发辐射导致的能量损失, 提高泵浦效率, 必须使泵浦脉冲和碰撞锁模环形染料激光器输出的被放大脉冲进行同步。这正是实现 fs 脉冲放大的一个关键问题。通常, 人们^[2~4]是从锁模 Nd:YAG 器件中引出一部分 $1.06 \mu\text{m}$ 的光脉冲, 将其能量放大后作为 fs 脉冲放大器的泵浦光, 即可达到泵浦光和被放大的 fs 脉冲之间的自然同步, 这是非常容易实现的。但是, 如果用低重复率调 Q Nd:YAG 器件对连续 Ar⁺ 激光器泵浦的碰撞锁模环形染料激光器输出超短脉冲进行放大, 则必须有可靠的同步电路作保证, 实现起来较为困难。文献[5, 6]所采用的方法是: 用腔倒空从碰撞锁模环形染料激光器输出的序列超短脉冲中选出单一脉冲, 经过适当延迟触发 Nd:YAG 激光器的调 Q 过程, 实现 Nd:YAG 激光器调 Q 脉冲与 fs 脉冲的同步。然而, 当各种不稳定因素造成 Nd:YAG 器件的泵浦能量变化时, 调 Q 过程的时间延迟和峰值强度将随之发生变化, 从而影响放大过程的同步精度。如果用脉宽较宽的调 Q 脉冲作为 fs 超短脉冲放大器的泵浦光源, 将使很大一部分能量浪费在无效的放大的自发辐射上。为避免这一缺点, 本文采用与 fs 超短脉冲同步的 Nd:YAG 腔倒空脉冲作为泵浦脉冲, 获得了令人满意的预期效果。

二、实验装置及原理

fs 超短脉冲放大系统如图 1 所示。由碰撞锁模环形染料激光器的一个布儒斯特窗口反

收稿日期: 1990 年 12 月 12 日; 收到修改稿日期: 1991 年 3 月 12 日

* 本工作是在中国科学院上海光学精密机械研究所激光技术开放研究实验室完成。

射出来的准连续光脉冲, 作为触发 Nd:YAG 激光器腔倒空过程的参考信号。光电管 PD 产生的电信号, 由于其峰值强度仅有 5 mV, 不足以触发高压方波发生器。且由于碰撞锁模环染料激光器输出的不稳定性, 会造成参考信号强度的起伏, 从而影响腔倒空过程的触发阈值。为此, 作者设计了一种由前置放大电路和高频受迫振荡电路组成的同步脉冲发生器, 用以放大和稳定参考信号。它可产生与输入 80 MHz 信号同步的稳定电脉冲 (宽度为 2 ns、幅值为 9 V) 序列。

高压方波发生器由串级雪崩管组成, 它可以产生前沿为 5 ns、幅值为 3000 V 的高压方波。抖动时间通常在 1 ns 以内。

为了快速、精确地控制 Nd:YAG 激光器的腔倒空过程与 fs 超短脉冲同步, 本文采用了一种光电控制的方法: 将 9 V 电脉冲序列信号加到一个响应速度为 800 ps 的 PIN 管阴极 (见图 1)。形成一个瞬时的光腔电信号开关, 只有当 Nd:YAG 器件的调 Q 光脉冲照射到 PIN 管时, 即在光脉冲信号作用时间内, 电脉冲信号才能通过 PIN 管。高压方波发生器将被第一个达到触发电平的电脉冲触发。这样, 尽管 YAG 器件的调 Q 脉冲与碰撞锁模环染料激光输出在时间上是随机的, 但是, YAG 器件的腔倒空脉冲却与 fs 超短脉冲同步。实验中, 采用的调 Q 脉冲宽度为 25 ns, 而碰撞锁模环染料激光输出的准连续 fs 脉冲间隔为 12 ns 左右。因此, 只要适当调整照射到 PIN 管 D 上的光强, 控制腔倒空过程的触发阈值, 使其在腔内能量达到最大值附近, 即可选出峰值起伏较小的腔倒空种子脉冲。经一级 YAG 激光器三程放大, 利用增益饱和, 可进一步减小腔倒空脉冲的能量起伏。由于倒空出的脉冲宽度为 5 ns, 因此, 用这种脉冲倍频后作为放大器泵浦光可以对碰撞锁模环染料激光输出的 fs 信号进行单脉冲选择放大。

通过适当调整高频传输线的长度, 就可使泵浦光和 fs 信号脉冲在染料盒中同步。且由于泵浦脉宽远大于 80 fs 的信号脉宽, 因此, 二级染料盒间不需要非常严格的光学延迟线。

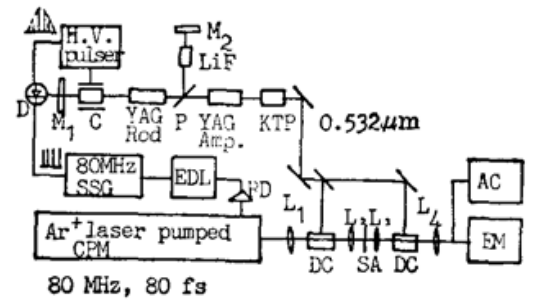


Fig. 1 Experimental setup of the fs pulse amplifier system with the cavity-dumped Nd:YAG laser pumping system

PD: photodiode, P: polarizer, SSG: synchronous signal generation, EDL: electric delay line, DC: dye cell, SA: saturable absorber, AC: autocorrelater, FM: energy meter

Table 1. Parameters of the Dye Amplifier

	Stage 1	Saturable Absorber	Stage 2
Dye Solution	R640 in eg	DODCI in eg	R640 in eg
Concentration	10^{-3} M/l	$5 \cdot 10^{-3}$ M/l	$5 \cdot 10^{-4}$ M/l
Length or Thickness	15 mm	200 μ m	50 mm
Feam Diameter	200 μ m		1 mm
Pump Energy	100 μ J		560 μ J
Net Gain	1000		60

染料放大器有关参数如表 1 所示, 染料盒以布儒斯特角放置, 采用横向泵浦方式。每级泵浦光都用一对母线互相正交的凹面柱透镜和凸面柱透镜进行扩束和聚焦, 用以在染料盒中形成细长均匀的激活区域。泵浦能量由一定的分光加入适当的衰减来控制。在第一级和第二级之间, 放置了小孔光阑和可饱和吸收体用以隔离放大的自发辐射。

放大后的超短脉冲能量用 GN-82 型激光能量计进行测试。脉宽采用单板机控制的步进马达自相关装置实现逐点测试。自相关信号经峰值保持器后实现数据采集。最后由计算机对多次采集的数据进行平均处理。

三、实验结果

图 2 是本文实验中采用带宽 400 MHz 双踪示波器, 连续 40 次重叠记录到的, 未被放大的碰撞锁模环形染料激光输出信号和腔倒空脉冲信号。显然, 各次记录的腔倒空脉冲信号和 fs 信号位置稳定, 抖动时间小于 1 ns。图中基线的不平是由于电磁干扰所致。

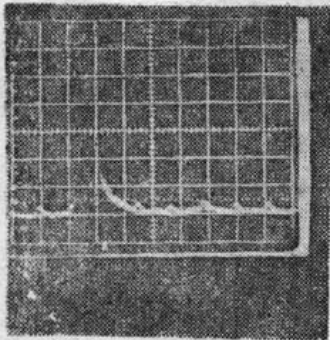


Fig. 2 Synchronous stability between pump pulses and fs signals

碰撞锁模环形染料激光振荡器工作频率为 80 MHz, 产生的超短脉冲宽度为 80 fs, 如图 3 所示, 中心波长在 610 nm 左右, 其光谱基本上在若丹明 640 的增益谱带范围内, 输出的平均功率为 5.6 mW, 对应单脉冲能量 0.07 nJ。

为了在第一级染料放大器获得较大的小信号增益, 采用了较高的染料浓度和较细的泵浦区域。由于泵浦光脉冲较窄, 因此, 用较少的能量即可获得较高的泵浦强度。经测量, fs 超短脉冲经第一级放大后, 可实现接近 10^4 量级的放大倍数。经过可饱和吸收体后, 净增益 10^3 , 放大的自发辐射所占比例小于 1:20。由于群速度色散和增益饱和, 脉冲被展宽到 160 fs。脉冲经第二级放大后, 进一步被展宽到 230 fs, 如图 4 所示。测得二级放大后的脉冲能量为 $4.36 \mu\text{J}$, 峰值功率 $2 \times 10^7 \text{ W}$ 。总放大倍数为 6.2×10^4 。

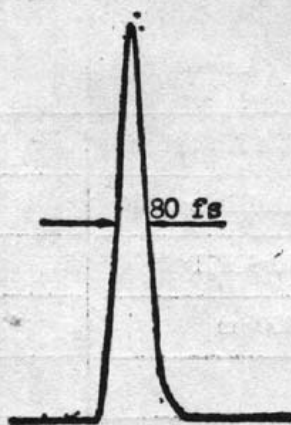


Fig. 3 Autocorrelation function for 80-fs duration incident pulses from CPM oscillator

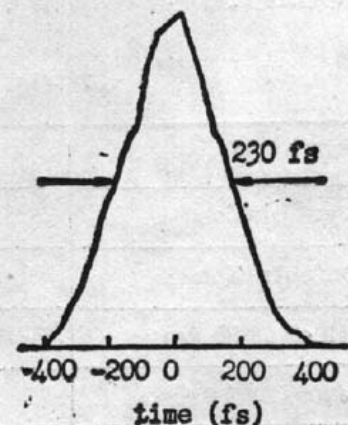


Fig. 4 Autocorrelation function for amplified pulses

在实验过程中李永春、吴瑞琨、钱林兴、陆培华、陆雨田、顾圣如等同志提供了许多方便和帮助,在此,表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] R. L. Fork; *Appl. Phys. Lett.*, 1981, **38**, No. 9 (May), 671~672.
- [2] T. Sizer II; *Opt. Comm.*, 1981, **39**, No. 3 (Feb), 259.
- [3] A. Wokann; *Opt. Lett.*, 1982, **7**, No. 1 (Jan), 13~15.
- [4] T. Sizer I; *IEEE J. Q. E.*, 1983, **QE-19**, No. 4 (Apr), 506~510.
- [5] A. Migus; *IEEE J. Q. E.*, 1982, **QE-18**, No. 1 (Jan), 101~109.
- [6] R. L. Fork; *Opt. Comm.*, 1982, **43**, No. 2 (Sep), 141~144.

Synchronous amplification of fs optical pulses by cavity-dumped Nd:YAG laser

SHEN JINHUI, HE HUIJUAN, ZHANG YINGHUA, LIU YUPU

XIAO GANGYAO AND WANG ZHIJIANG

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

(Received December 1990, revised 12 March 1991)

Abstract

An ultrashort optical pulse amplifier synchronously pumped by cavity-dumped Nd:YAG laser is reported. Optical pulses with 80 fs duration produced by CPM (colliding pulse mode-locking) laser was amplified by a two-stage R640 dye amplifier, and gain of 6.2×10^4 was observed. Peak power of 2×10^7 was reached from output ultrashort optical pulses.

Key words: fs ultrashort optical pulse, synchronization; amplification.