

用饱和增益开关法压缩 KrF 准分子激光脉冲

向益淮,单玉生,高智星,陆泽,龚堃,汤秀章

(中国原子能科学研究院 核技术应用研究所,北京 102413)

摘要:为提高激光作用于靶上的功率密度和耦合效率,需对目前的激光进行脉宽压缩。本工作采用饱和增益开关法,利用预放大器的放大特性对前端输出的非相干光进行了脉宽压缩,最后将脉宽为 23 ns 的种子光压缩到了 12 ns,且可根据需要在 5~20 ns 内变化。

关键词:功率密度;耦合效率;饱和增益开关;脉宽压缩

中图分类号:TN24 文献标识码:A 文章编号:1000-6931(2006)02-0192-03

Shortening of KrF Excimer Laser Pulses by Optical Gain Switching Method

XIANG Yi-huai, SHAN Yu-sheng, GAO Zhi-xing, LU Ze,
GONG Kun, TANG Xiu-zhang

(China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275-7, Beijing 102413, China)

Abstract: In order to increase the intensity on target and the coupling efficiency, it is necessary to shorten the bandwidth of laser pulse. An optical gain switching method is adopted. As a result, the pulse width is shortened to 12 ns from 23 ns, and it can also be varied from 5 to 20 ns by simply changing the delay between the pulses.

Key words: intensity; coupling efficiency; optical gain switching; pulse width shortening

KrF 激光应用于惯性约束聚变(ICF)有许多诱人的优点,但其最大输出功率密度受其较低的饱和通量和较大的非饱和吸收损失的限制。另外,其光学元件的损伤对实际运行的通量也是一种限制。因此,为达到 ICF 的高能输出,这些限制因素使得激光器的孔径必须有很大的尺寸。大口径的输出则使光束有很大的发散角。激光器的功率还受激活介质的非储存性质的限制,激发的上能级寿命短,除非连续从介

质中引出能量,否则,自发辐射将占主导地位。当使用长的电子束泵浦脉冲作泵浦源时,所产生的 KrF 激光脉冲的宽度基本上与电子束脉冲宽度处于相同量级。然而,耦合激光能到靶上则要求入射激光脉宽约为几纳秒甚至更短。目前,“天光一号”前端输出脉宽约为 23 ns,因此,为适应将来 ICF 对入射激光的高功率要求,必须对其脉宽进行压缩。另外,“天光一号”目前正在用平滑光束进行物质状态方程的实验

研究。实验要求作用于靶上的功率密度必须在 10^{12} W/cm^2 以上。由此提出了必须对现有的脉冲宽度进行压缩的要求。由于 ICF 及其相关物理实验要求激光驱动器有灵活的时间整形能力,因此,主要的光束时间整形方法几乎均出自世界各国的 ICF 研究机构。在 ICF 驱动器中使用的典型的脉宽压缩方法有光学多路技术(又叫脉冲堆积)、非线性光学压缩(包括受激拉曼(Raman)和受激布里渊(Brillouin)散射)、高压普克尔盒、饱和增益开关和饱和吸收体等。本工作采用饱和增益开关法来实现对 KrF 准分子激光脉宽的压缩。

1 技术原理及分析

饱和增益开关脉宽压缩的原理示于图 1。图中, M1 为石英平片; M2、M3、M4 为 45° 全反镜; M5、M6 为 0° 平面全反镜。系统由两种不同放电类型的激光器组成, 1 个是主振荡器, 另 1 个是放大器。主振荡器输出的一部分脉冲(脉冲 A)被衰减到 $0.01I_s$ (I_s 为饱和光强)后, 进入放大器被放大到 $2I_s$, 放大倍数为 200。此时, 另 1 束强度为 I_s 的脉冲(脉冲 B)紧跟着 A (与 A 延时小于脉宽)进入放大器被放大到 $10I_s$, 放大倍数仅为 10。这样, 脉冲 A 的后半部分的增益被急剧减小到 10 倍, 仅被放大到 $0.1I_s$ 。脉冲 A 的峰值和后面被抑制部分的比值为 20。这样, 便达到了脉宽压缩的目的。通过改变两束光之间的延时可使脉冲的宽度随意改变, 同时还可调整两束光的先后顺序, 以满足实验分别对脉冲的前部分或后部分的需要。这种脉宽压缩技术输出的脉冲宽度十分稳定, 因为它仅与两束光之间的延时有关。

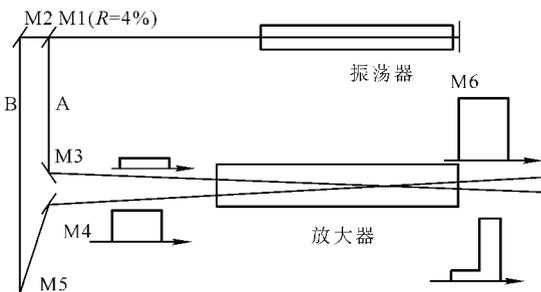


图 1 饱和增益开关原理示意图

Fig. 1 Schematic diagram of optical gain switching

2 实验及其结果

实验用放电泵浦的 LPX150 的输出作为前端种子光, 将其输出分成强度不同的两束光, 两束光的强度差别约为 100 倍。利用光程差使强的 1 束比弱的 1 束延时一定时间依次注入电子束泵浦的预放大器进行放大。脉宽压缩实验光路示于图 2。平片 M1 将种子光分成强度比为 4: 96 的 A、B 两束光, 在光束 A 的光路上添加衰减片, 使 A、B 的强度比约为 1: 100。光束 B 的光路比光束 A 的长 4 m, 延时约 13 ns。光束 A 的能量非常低, 约为几百 μJ , 通过双程预放大器放大后为几十 mJ, 无法满足主放大器的输入要求。考虑到预放大器的电子束脉宽为 90 ns, 而脉宽压缩放大过程只占用了其宽度的约 1/3, 因此, 将压缩后的脉冲再次注入预放大器进行放大, 这样, 既增大了输出能量, 又使预放大器的电子束得到了充分的利用。通过再放大, 预放大器输出能量达到了约 2 J, 注入主放大器经过双程放大后能量约为 40 J。

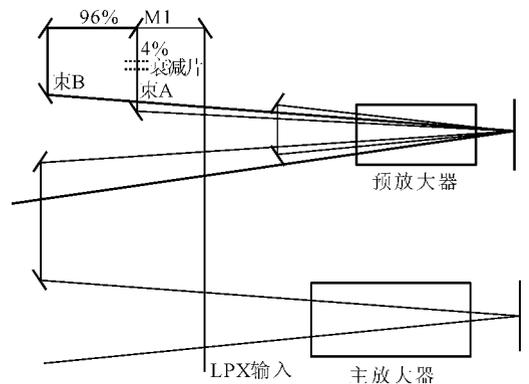


图 2 脉宽压缩实验光路图

Fig. 2 Layout of pulse width shortening experiment

图 3 示出了压缩前后放大链不同位置的波形图。压缩前, 种子光脉宽 23 ns, 压缩后为 12 ns, 再次注入预放大器放大后的输出波形脉宽为 13 ns, 与输入前基本一致。注入主放大器放大后的输出脉冲脉宽为 22 ns, 有一定的展宽。未被压缩的脉冲进入主放大器后将被展宽到 50 ns。这是因为主放大器的电子束脉宽为 160 ns, 而注入脉冲仅有 1 束, 饱和放大使脉冲的上升沿和下降沿变得更陡, 而脉冲底宽不发生变化, 因此, 其半高宽增加。若采用与预放大器相同的多束注入放大方式, 其电子束宽度将

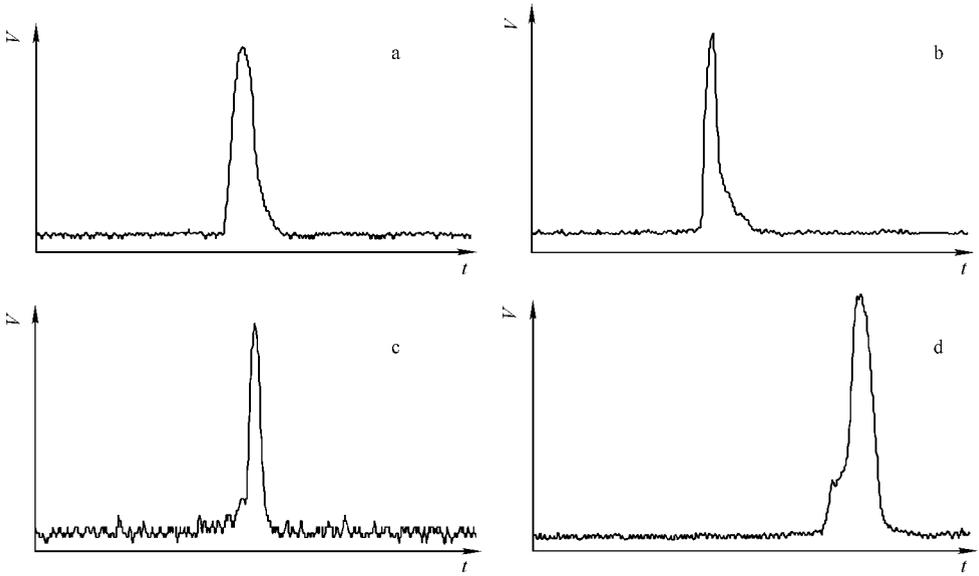


图3 压缩前后及不同位置的脉宽

Fig. 3 Comparison of waveforms for pre- and post-shortening and at different locations

a——压缩前波形(23 ns); b——压缩后波形(12 ns);
c——预放大器输出波形(13 ns); d——主放大器输出波形(22 ns)

被占满,这种展宽将被抑制。通过调整光束 B 多走的光程,可使压缩后的脉宽在 5~20 ns 内变化。

3 结论

以上实验在单束下进行。如果用于角多路多束系统,可在前端激光器上进行压缩,即利用其振荡腔的输出来分束,放大腔进行压缩,压缩后可直接进行分束组束,注入预放大器和主放大器进行放大。实验及结果证实,饱和增益开关法适用于 KrF 准分子激光系统脉冲宽度压缩。

参考文献:

- [1] 吕百达. 强激光的传输与控制[M]. 北京:国防工业出版社, 1999: 274-277.
- [2] 王淦昌,袁之尚. 惯性约束核聚变[M]. 安徽:安徽教育出版社, 1995: 172-188.
- [3] OWADANA Y, OKUDA I, MATSUMOTO Y, et al. Performance of the ASHURA KrF laser and its upgrading plan [J]. Power Laser and Particle Beams, 1993, 11(2): 347-351.