

纳秒级宽带 KrF 激光时间脉冲整形

王双义¹ 吕志伟¹ 林殿阳¹ 汤秀章² 龚 堃² 高智星²

(¹ 哈尔滨工业大学可调谐激光技术国家级重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150001; ² 中国原子能科学研究院, 北京 102413)

摘要 对纳秒级宽带 KrF 激光脉冲的时间整形进行了研究。采用受激布里渊散射(SBS)脉冲压缩 KrF 激光获得短脉冲,通过脉冲堆积获得 KrF 激光时间整形脉冲。利用激光放大器对整形脉冲进行放大,对 KrF 激光整形脉冲的形状影响较大。通过对放大前整形脉冲形状的调整,在放大后可以得到所需形状的整形脉冲,一次放大能量输出可达 50 mJ,二次放大能量输出可达 300 mJ。理论分析与实验结果一致。研究表明,短脉冲堆积和放大器放大的组合方案具有较强的整形能力。

关键词 激光技术; KrF 激光; 脉冲整形; 脉冲堆积; 放大; 宽带

中图分类号 O437.2 **文献标识码** A

Pulse-Shaping of Nanosecond Broadband KrF Laser

Wang Shuangyi¹ Lü Zhiwei¹ Lin Dianyang¹ Tang Xiuzhang² Gong Kun² Gao Zhixing²

¹ National Key Laboratory of Tunable Laser Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150001, China
² China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China

Abstract Pulse-shaping of nanosecond broadband KrF laser is studied in this paper. Short pulse is obtained through the stimulated Brillouin scattering (SBS) pulse compression, and then the pulse-shaping is realized by using the pulses-stacking. According to the amplification of stacking-pulses in KrF laser amplifier, KrF laser amplifier has great influence on the shape of stacking-pulse. Through adjusting the shape of stacking-pulse, the anticipated shaped pulse can be gained after amplification. The energy of shaped-pulse reaches 50mJ after once amplification, and reaches 300mJ after twice amplifications. The theoretical analysis agrees well with the experimental results. The results show that the combined scheme of pulse-stacking and the amplification of amplifier have strong ability of pulse-shaping.

Key words laser technique; KrF laser; pulse-shaping; pulse-stacking; amplification; broadband

1 引 言

KrF 激光短波长、大能量的特性使其在科研和工业诸多领域具有广泛的应用,由此带来了针对不同的应用需求而对其进行时空整形的要求。如在工业材料加工方面对光束空间分布的要求^[1],在 KrF 激光惯性约束核聚变驱动器方面对光束时间分布的要求等。目前时间脉冲整形方案主要有普克尔盒削波、集成光学波导调制器、光纤堆砌器、时空变换法

等^[2~9],这些整形方案主要应用在可见和红外波段的固体激光器上,关键器件和材料一般对紫外激光具有很强的吸收,由此引起的破坏和效率降低使其很难应用于 KrF 激光。张芳沛等^[10]对 355 nm 脉冲激光进行了等离子体开关削波的研究,但在 KrF 激光方面尚未有可用的脉冲整形方案。

本文研究了利用脉冲堆积和放大器放大的对 KrF 激光进行时间脉冲整形的方法。利用受激布里

基金项目: 国家自然科学基金(10476009, 60478020)和哈尔滨工业大学优秀团队支持计划资助课题。

作者简介: 王双义(1979—),男,河南人,博士研究生,主要从事受激布里渊散射及非线性光学技术应用等方面的研究。

E-mail: fredwsy@126.com

导师简介: 吕志伟(1961—),男,辽宁人,教授,主要从事非线性光学、固体激光技术和光电控制技术等方面的研究。

E-mail: zhiweilu@yeah.net

渊散射(SBS)压缩 KrF 激光获得短脉冲,对 KrF 激光短脉冲进行脉冲堆积,结合放大器放大研究了脉冲堆积和放大器放大的组合方案对 KrF 激光的时间脉冲整形。

2 实验装置

脉冲堆积和放大器放大的组合方案的实验装置如图 1 所示,从三腔激光装置 CHEL3300 的振荡器出射的激光束通过受激布里渊散射装置产生短脉冲。此受激布里渊散射短脉冲激光经过一个分束器分为两束。第一束再通过一个分束器分成两束,其

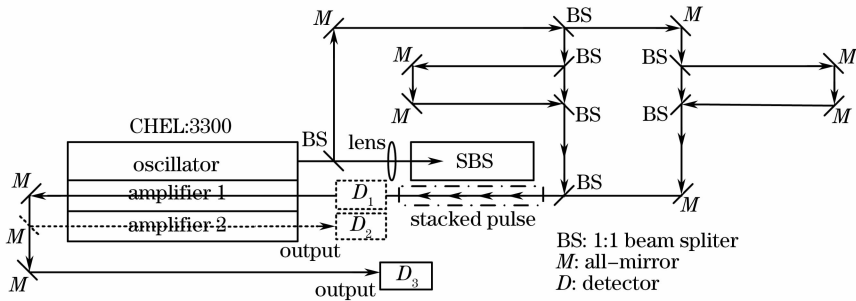


图 1 组合方案实验装置图

Fig. 1 Experimental setup of the combined scheme

整个实验装置分为两部分,激光脉冲从振荡器出射到堆积脉冲形成为脉冲堆积部分;堆积脉冲形成之后为放大器放大部分(包括一次放大、二次放大两部分)。实验中脉冲波形利用日本滨松公司 R1193U-52 型紫外光电管和示波器 TDS340A 测量,激光光束能量利用原子能科学研究院的能量计 LE-3B 测量。

3 脉冲堆积

对于宽带 KrF 激光而言,相干长度非常短,所以当两个纳秒级的激光脉冲在时间上重叠时,其重叠部分在强度上近似线性叠加。因此,利用脉冲堆积的方法可以将 KrF 激光短脉冲堆积成所需形状

中一束经过延时后与另一束激光通过一个分束器合成一束光。同理,第二束光也是经过如此的分束延时合成一束光,合成后的两束光再通过一个分束器合成为最终的输出光脉冲。脉冲之间的延时通过移动反射镜来调节,子脉冲间的幅度比通过在光路中加入衰减器来调节,子脉冲的个数控制通过挡掉其中一个或两个子脉冲来实现。堆积成形的脉冲波形在探测器 1 处进行探测。堆积脉冲通过第一次放大后的脉冲波形在探测器 3 处进行探测,二次放大后的脉冲波形在探测器 2 处进行探测。

的时间脉冲。进行脉冲堆积的前提是获得所需要形状和脉宽的 KrF 激光短脉冲作为堆积的子脉冲。由于 KrF 激光短波长的特性,目前获取 KrF 激光短脉冲的主要方法为受激布里渊散射脉冲压缩。实验证明受激布里渊散射可以将脉宽为 20 多纳秒的 KrF 激光脉冲压缩成 3~5 ns 的短脉冲。经过计算机仿真,发现影响堆积脉冲的主要因素是子脉冲的形状、个数、脉冲宽度以及各子脉冲之间的幅度比^[11]。

脉冲堆积的实验结果如图 2 所示。从图 2 可以看出,3 束或者 4 束激光都可以堆积出较好的平顶脉冲,而且堆积整形脉冲宽度在 10~15 ns 范围可变,脉冲平顶宽度在 5~10 ns 范围可变。

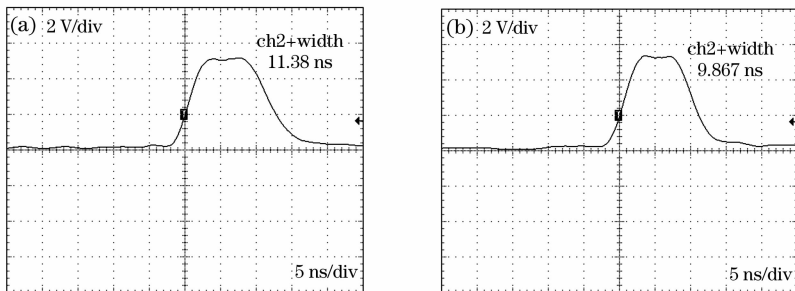


图 2 脉冲堆积所得实验结果。(a) 4 束激光, (b) 3 束激光

Fig. 2 Experimental results of pulse stacking. (a) 4 Laser pulses, (b) 3 laser pulses

利用实验所测得的 KrF 激光短脉冲的数据,在计算机上对时间脉冲整形能力进行了模拟,通过调节 4 束激光脉冲间的延时及各个脉冲的幅度,可以

得到所需形状的脉冲,如图 3 所示,可见证明脉冲堆积法对 KrF 激光脉冲具有较强的时间整形能力。

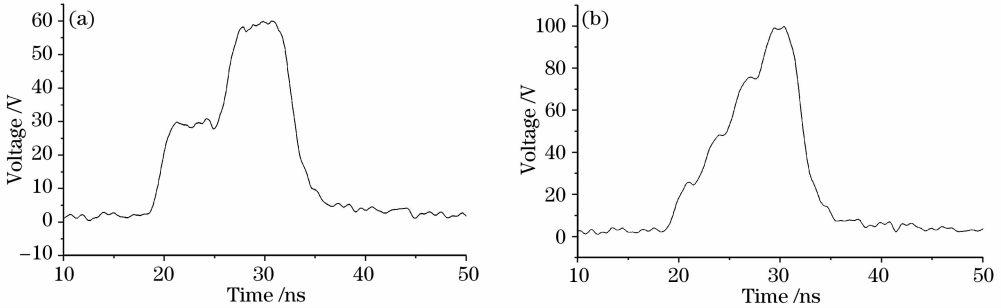


图 3 计算机模拟各种堆积脉冲形状。(a) 延时:3.4 ns, 3.3 ns,3.2 ns,幅度:1.2:1.0:2.2:2.0, (b) 延时:3.2 ns, 3.0 ns, 3.0 ns,幅度:1.0:1.8:2.7:3.5

Fig. 3 Simulated various stacking pulses shape. (a) Delay time:3.4 ns, 3.3 ns,3.2 ns,amplitude rate:1.2:1.0:2.2:2.0, (b) delay time:3.2 ns, 3.0 ns,3.0 ns,amplitude rate:1.0:1.8:2.7:3.5

4 堆积脉冲的放大

由于宽带受激布里渊散射的反射率很低,而利用分束器分束合束的办法进行脉冲堆积损耗也比较大,因此脉冲堆积获得的堆积平顶脉冲的能量水平很低(实验中不超过 1 mJ),在很多情况下不能实用。若要堆积脉冲的能量水平可以达到实用,就必须通过激光放大器对堆积脉冲进行放大。

图 1 中三腔装置 CHEL3300 的两个放大腔可分别对堆积脉冲进行一次和二次放大。对堆积平顶脉冲的一次放大结果如图 4 所示(图中上曲线为堆积脉冲波形,下曲线为放大后的整形脉冲波形)。可见放大后的脉冲不再是平顶,而是前沿偏高的形状。这一结果与利用激光四能级系统的行波放大器的分析结果^[7]一致。

通过调节放大前的堆积脉冲形状,可使放大后的整形脉冲仍为平顶形状,实验结果如图 5 所示(图中上曲线为堆积脉冲波形,下曲线为放大后的整形脉冲波形)。由图 5(a)可知通过调节堆积脉冲为

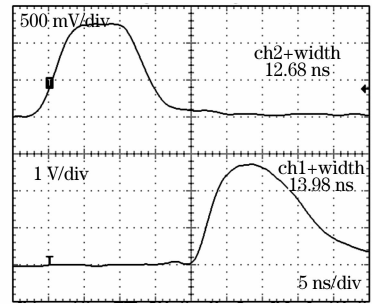


图 4 堆积平顶脉冲的放大

前沿偏低的形状,则可得到放大后的平顶脉冲输出。这与理论分析^[7]是一致的。而图 5(b)中的堆积脉冲是由 2 束激光脉冲堆积得来,当 2 脉冲之间的延时与幅度比合适时,也可以得到放大后的平顶脉冲。这样结合激光放大器可使脉冲堆积部分的结构大大简化。放大前的堆积脉冲能量不超过 1 mJ,放大后的整形脉冲能量可达 50 mJ,若再经过二次放大,则整形脉冲能量可达 300 mJ。

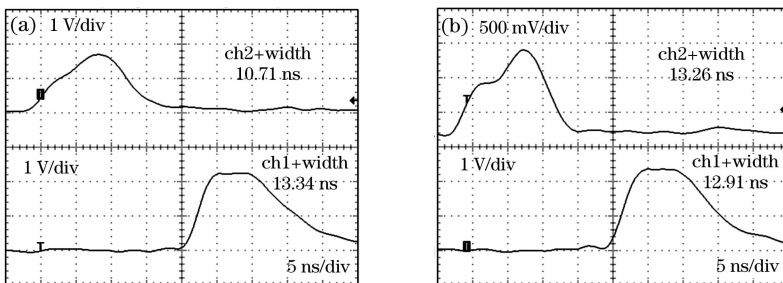


图 5 放大后获得的平顶脉冲

Fig. 5 Flat-top pulse after amplification

5 结 论

利用脉冲堆积与激光放大器放大相结合对纳秒级 KrF 激光进行时间整形,表明脉冲堆积法具有较好的整形能力,且脉冲堆积的脉冲宽度和平顶宽度在一定范围可调。结合激光放大器,通过调节堆积脉冲的形状,可得到放大后所需要的整形脉冲波形,一次放大能量输出可达 50 mJ,二次放大能量输出可达 300 mJ。实验结果与理论分析一致。因此通过控制放大前整形脉冲的形状,可控制放大后的输出整形脉冲形状。脉冲堆积和放大器放大的组合方案对纳秒级宽带 KrF 激光具有较强的时间整形能力,且放大后的激光束远场横向近似为高斯分布,纵向接近平顶分布。

参 考 文 献

- 1 Li Chengde, Wan Ying, Zuo Tiechuan. Development of a practical excimer laser micromachining tool [J]. *Optics and Precision Engineering*, 1999, **7**(1): 79~84
李呈德,万 盈,左铁钊. 实用型准分子激光微细加工机研制[J]. 光学精密工程, 1999, **7**(1): 79~84
- 2 Wang Chun, Chen Shaohe, Xu Faming *et al.*. Pulse shaping in front-end system of solid state laser driver for ICF[J]. *Chinese J. Quantum Electron.*, 2000, **17**(6): 479~492
王 春,陈绍和,许发明等. ICF 固体激光驱动器前级系统中的脉冲整形[J]. 量子电子学报, 2000, **17**(6): 479~492
- 3 Xu Faming, Chen Shaohe, Chen Lanrong *et al.*. Shaping of laser complex shape pulses [J]. *Acta Optica Sinica*, 1996, **16**(7): 943~947
许发明,陈绍和,陈兰荣等. 复杂激光脉冲波形的整形[J]. 光学学报, 1996, **16**(7): 943~947
- 4 Xie Xinglong, Chen Shaohe, Zhou Liangzhi *et al.*. Continuously tunable system for arbitrarily forming of laser pulses using a integrated LiNbO₃ waveguide modulator[J]. *Acta Optica Sinica*, 1997, **17**(4): 393~398
谢兴龙,陈绍和,周良智等. 利用波导调制器实现连续可调任意整形激光脉冲[J]. 光学学报, 1997, **17**(4): 393~398
- 5 Xia Yuxing, Cao Xia, Xie Xinlong *et al.*. ICF pulse forming system based on integrated optics [J]. *Progress In Physics*, 1999, **19**(1): 96~107
夏宇兴,曹 霞,谢新龙等. 基于集成光学的 ICF 脉冲整形系统[J]. 物理学进展, 1999, **19**(1): 96~107
- 6 Shen Lei, Chen Shaohe, Ge Xiaping *et al.*. New temporary pulse shaping technique of the front-end system in laser facility[J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(1): 84~87
沈 磊,陈绍和,葛夏平等. 新型激光装置前端系统激光时间脉冲整形技术[J]. 光学学报, 2004, **24**(1): 84~87
- 7 Jun Kang, Wei Zhang, Hui Wei *et al.*. Pulse re-shaping by using a liquid crystal spatial light modulator and deflector for producing a specific waveform[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2006, **4**(3): 184~186
- 8 Wang Yanhai, Wang Jiangfeng, Li Xuechun. Laser pulse shaping and modification techniques in front - end of high-power laser facility[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(3): 477~481
王艳海,王江峰,李学春. 高功率激光装置前端系统激光脉冲的时间整形及修正技术[J]. 光学学报, 2007, **27**(3): 477~481
- 9 Lin Honghuan, Sui Zhan, Wang Jianjun *et al.*. Optical pulse shaping by chirped pulse stacking[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(3): 466~470
林宏奂,隋 展,王建军等. 啁啾脉冲堆积用于光脉冲整形[J]. 光学学报, 2007, **27**(3): 466~470
- 10 Zhang Fangpei, Lou Qihong, Dong Jingxing *et al.*. Laser induced plasma shutter for wave clipping of 355 nm radiation[J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(6): 759~764
张芳沛,楼祺洪,董景星等. 355 nm 脉冲激光诱导等离子体开关削波[J]. 中国激光, 2007, **34**(6): 759~764
- 11 Wang Shuangyi, Lü Zhiwei, Lin Dianyong *et al.*. KrF laser pulse shaping by pulse stacking [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2005, **17**(11): 1669~1673
王双义,吕志伟,林殿阳等. KrF 激光脉冲整形研究[J]. 强激光与粒子束, 2005, **17**(11): 1669~1673