

修整放大池对双布里渊放大池控制脉冲波形的影响

杨珺^{1,2}, 阮双琛¹, 张敏¹

(1 深圳大学 电子科学与技术学院, 广东 深圳 518060)

(2 哈尔滨工业大学 空间光学工程研究中心, 哈尔滨 150001)

摘 要: 在传统独立双池结构的受激布里渊相位共轭镜系统中, 引入修整放大池, 采用主放大池与修整放大池相结合的双布里渊放大池放大控制脉冲波形. 主放大池控制脉冲的整体波形, 而修整放大池对脉冲波形, 特别是脉冲前沿进行微调. 修整放大池池长对双布里渊放大池放大控制脉冲波形的影响进行了理论研究和实验验证, 得到了不同情况下脉冲波形随双池间距的变化规律. 研究表明修整放大池池长决定放大光前沿的放大效率, 是控制脉冲波形的重要参量.

关键词: 受激布里渊散射; 布里渊放大; 脉冲波形控制

中图分类号: O437

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2008)07-1334-4

0 引言

相位共轭镜(Phase Conjugation Mirror, PCM)技术可以提高激光器光束质量、降低对大口径光学材料和元件加工准确度的要求, 高功率激光系统中结合 PCM 实现多程放大就可以大幅降低器件造价与系统投资; 而受激布里渊散射(Stimulated Brillouin Scattering, SBS)是产生相位共轭光最简单方便的方法, 在高功率激光系统中具有深远的应用前景^[1-2]. 但是, 在高功率激光系统中, 往往用 SBS PCM 产生相位共轭 Stokes 种子光, 种子光再经过后续放大, 这就要求从 SBS PCM 反射的 Stokes 脉冲波形必须与抽运光波形相同, 至少有稳定的相关性^[3]. 而传统独立双池结构的 SBS 系统中, 布里渊产生池只能得到陡前沿的压缩 Stokes 光脉冲, 可以利用放大池对脉冲波形进行控制^[4-5].

文献[6]中在独立双池结构的 SBS PCM 系统^[1]中, 引入修整放大池, 采取主放大池与修整放大池相结合的方案来控制输出脉冲波形. 主放大池较长, 完成对脉冲波形整体的控制; 修整放大池较短, 用以对脉冲波形进行微调; 调节双池间距就可以方便地微调脉冲波形, 特别是对脉冲前沿进行微调. 本文研究了修整放大池池长对此双布里渊放大池放大控制脉冲波形的影响, 理论模拟了不同修整放大池池长下, 脉冲波形随双池间距的变化规律, 并用实验进行了验证. 研究表明: 修整放大池主要功能是对脉冲波形的微调, 修整放大池池长决定了种子光前沿在其中与抽运光的相互作用长度, 是微调脉冲前沿的重要参量.

1 理论模拟

双布里渊放大池放大的物理模型见文献[6], 双池中 SBS 过程的基本耦合波方程组见文献[7-8]; 而双放大池之间的自由空间中, 耦合波方程组为

$$\frac{\partial A_L}{\partial z} - \frac{1}{c} \frac{\partial A_L}{\partial t} = 0 \quad (1a)$$

$$\frac{\partial A_S}{\partial z} + \frac{1}{c} \frac{\partial A_S}{\partial t} = 0 \quad (1b)$$

将以上耦合波方程组代入边界条件, 进行数值求解. 计算中, 主放大池 A_1 的池长为 40 cm; 放大池中介质的折射率为 1.5, 稳态增益为 6 cm/GW, 声子寿命为 0.5 ns; 抽运光脉冲波形符合高斯型分布, 脉冲宽度为 8 ns; 陡前沿的 Stokes 种子光脉冲后沿脉宽与抽运光相同、前沿脉宽为抽运光脉宽的一半, 且符合高斯型分布; 抽运光与种子光的波长均为 1.06 μm .

修整放大池 A_2 的主要功能是对脉冲前沿的微调, 其池长决定了种子光前沿在其中与抽运光的相互作用长度. 如果说主放大池的池长决定了放大光脉冲的整体波形, 那么修整放大池的池长就决定了对放大光脉冲前沿的微调. 下面研究脉冲波形随着修整放大池池长的变化. 图 1(a)是在双放大池间距 $L=120$ cm 时计算的脉冲波形随修整放大池池长的变化, 此时相遇时间 3 ns^[6], 抽运光峰值光强和种子光强分别为 100 mW/cm² 和 10 mW/cm². 可见修整放大池越长, 脉冲前沿放大越多, 但是太长的修整放大池对脉冲前沿的影响很大, 就失去了“微调”的意义. 因此, 如果只是达到微调脉冲前沿的目的, 修整放大池池长不应过长, 一般放大光光强最大不超过抽运光峰值功率密度, 可根据布里渊放大指数增益系数 $G=gIl$ 估算.

不同修整放大池长下, 输出脉冲波形参量随双

池间距 L 的变化如图 1(b)~(d). 可以看出,不同池长下,脉冲上升沿随池间距的变化总体趋势相同;池间距较小时,脉冲上升沿随池长的增加而减小,池间距较大时,脉冲上升沿随池长的增加而增加;修整放大池较长时,脉冲上升沿可变化的范围也较大.

脉冲宽度的变化与上升沿的变化规律相似. 修整放大池越长,种子光在其中与抽运光相互作用长度越长,因而能量提取效率 η (η 定义为:Stokes 出射光能量与 Stokes 种子光能量之差与抽运光能量的比值) 随着池长的增加而增加.

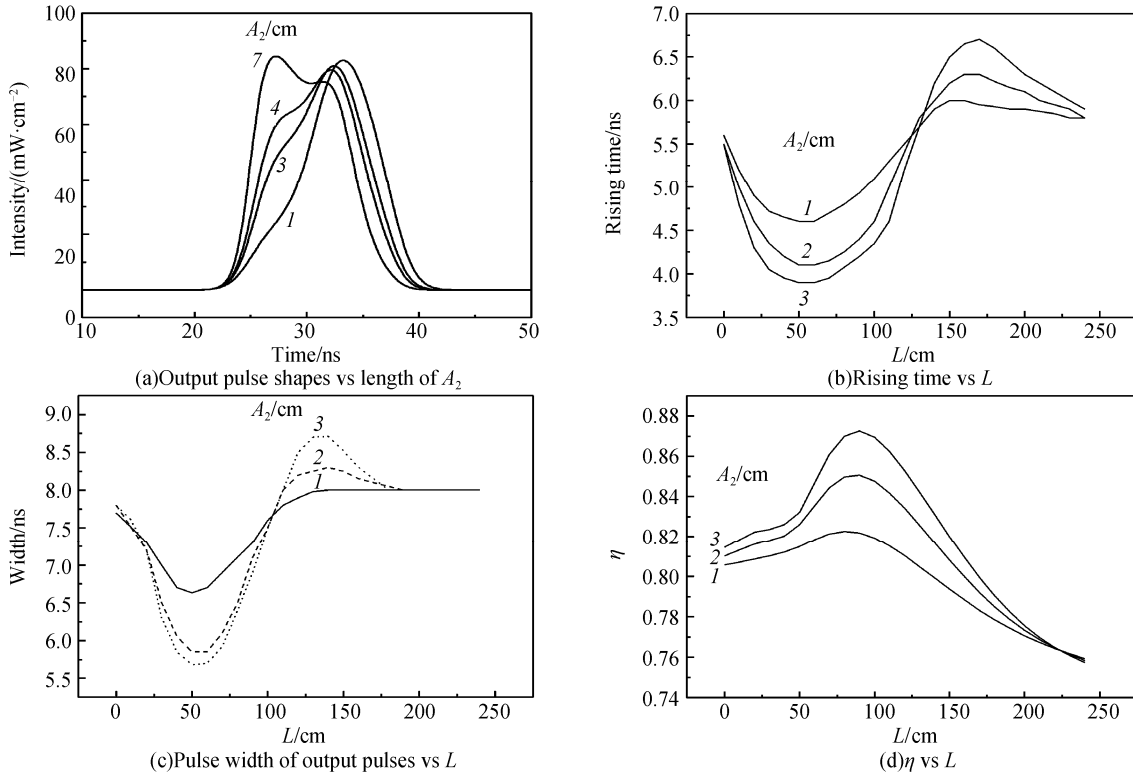


图 1 不同修整放大池池长下,输出脉冲波形参量随池间距的变化

Fig. 1 Dependence of output parameters on L with various lengths of reshaping amplifier

2 实验研究

实验装置图见文献[6],实验中抽运光的脉宽以及上升沿分别为 ~ 6.2 ns 和 4.0 ns,种子光的脉宽及上升沿为 ~ 5.1 ns 和 1.6 ns,它们的能量分别为 ~ 52.2 mJ 和 4.3 mJ,计算出平均功率密度分别为 ~ 150 mW/cm² 和 17 mW/cm². 主要研究了修整放大池池长对脉冲波形变化的影响. 图 2 是池间距

为 50 cm 处,修整放大池分别为 1 cm、 2 cm 和 3 cm 时的脉冲波形,此时相遇时间为 1.5 ns. 可以看出,随着修整放大池池长的增加,脉冲上升沿明显变化. 在未进入主放大池前,种子光脉冲前沿在修整放大池中与抽运光相遇,修整放大池越长,种子光脉冲前沿与抽运光相互作用长度越长,得到的放大越大,脉冲前沿的“台阶”逐渐变得平滑,甚至鼓起.

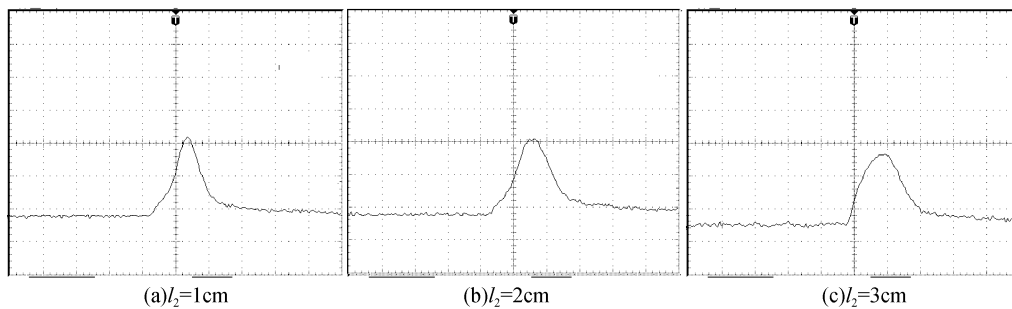


图 2 $L=50$ cm 处,输出脉冲波形随池长 l_2 的变化

Fig. 2 Dependence of output shapes on the length of reshaping amplifier with $L=50$ cm

图 3 是不同修整放大池池长下,实验得到的放大光脉冲输出参量随池间距的变化规律. 可以看

出,不同修整池长下,上升沿及脉冲宽度都是随着池间距的增加,先减小后增加;但是修整放大池越长,

脉冲上升沿以及脉冲宽度的变化范围越大. 能量提取效率随着修整放大池池长的增加而增加. 为了比较理论模拟与实验值, 把 $l_2 = 2$ cm 的实验点与相同条件下理论模拟的规律在图中实线示出. 上升沿及

脉宽的理论曲线都与实验值基本符合, 只是因为系统损耗及光束对准准确度不高, 因而能量提取效率的实验值较理论值偏低, 但是变化趋势与之相同.

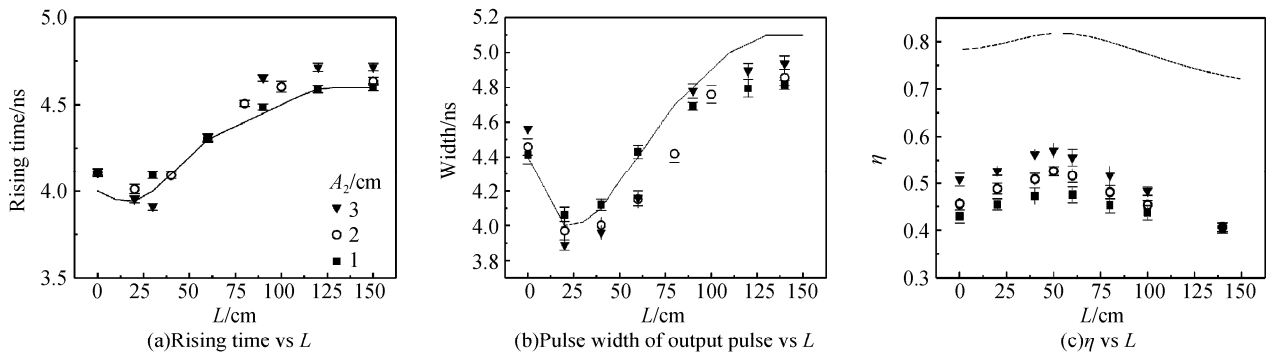


图3 不同修整池长下, 脉冲输出波形参量随池间距的变化

Fig. 3 Dependence of output parameters on L with various length of reshaping amplifier

3 结论

本文对主放大池与修整放大池相结合的双布里渊放大池放大脉冲波形控制的方案中, 修整放大池池长对脉冲波形的影响进行了理论模拟和实验研究, 得到了不同修整放大池池长下, 脉冲波形随双池间距的变化规律, 理论与实验符合较好. 研究表明: 修整放大池池长是微调脉冲波形、特别是脉冲前沿的重要参量, 修整放大池越长, 脉冲前沿的可控范围越大、系统的效率越高, 但是太长的池长对脉冲前沿的影响很大, 失去了“微调”的意义. 应用中, 应结合系统的其他参量, 选取合适的修整放大池池长. 研究结果为今后双布里渊放大池放大控制脉冲波形方案的设计方法奠定了基础.

参考文献

[1] HE G S. Optical phase conjugation: principles, techniques, and applications[J]. *Progress in Quantum Electronics*, 2002, **26** (3):131-191.
 [2] GE Chuan-wen, YANG Zhen-hua, HAN Yu-sheng, *et al.* Experimental research and illustrated analysis on SBS phase-conjugate compensating phenomenon [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(9):1632-1635.
 葛传文, 杨镇华, 韩裕生, 等. SBS 相位共轭补偿现象的实验研究与图示化分析[J]. *光子学报*, 2007, **36**(9):1632-1635.

[3] FAN Dian-yuan, WEN Guo-jun, LU Jun-xiao. Four-pass laser amplifier with active SBS mirror for application to ICF driver [C]. *SPIE*, 1995, **2633**:29-35.
 [4] SCHIEMANN S, UBACHS W, HOGERVORST W. Efficient temporal compression of coherent nanosecond pulses in a compact SBS generator-amplifier setup[J]. *IEEE J Quantum Electron*, 1997, **33**(3):358-366.
 [5] DING Ying-chun, LÜ Zhi-wei, HE Wei-ming. Study on pulse waveform of stimulated Brillouin amplification [J]. *Acta Physica Sinica*, 2003, **52**(9):2165-2169.
 丁迎春, 吕志伟, 何伟明. 受激布里渊放大光脉冲波形的研究 [J]. *物理学报*, 2003, **52**(9):2165-2169.
 [6] YANG Jun, LÜ Zhi-wei, HE Wei-ming, *et al.* Pulse shape control by Brillouin amplification of two Brillouin amplifiers [J]. *Acta Physica Sinica*, 2007, **56**(8):4622-4626.
 杨珺, 吕志伟, 何伟明, 等. 双布里渊放大池放大控制脉冲波形的研究 [J]. *物理学报*, 2007, **56**(8):4622-4626.
 [7] CHU R, KANEFSKY M, FALK J. Transient phase conjugation by stimulated Brillouin scattering: numerical analysis of zero-order solutions[J]. *JOSA B*, 1994, **11**(2):331-338.
 [8] DING Ying-chun, LÜ Zhi-wei, HE Wei-ming. Influence of encounter time on Brillouin amplification [J]. *Acta Optica Sinica*, 2002, **22**(7):784-788.
 丁迎春, 吕志伟, 何伟明. 相遇时间对布里渊放大的影响 [J]. *光学学报*, 2002, **22**(7):784-788.

Effect of Length of Reshaping Amplifier on Pulse Shape Controlled by two Brillouin Amplifiers

YANG Jun^{1,2}, RUAN Shuang-chen¹, ZHANG Min¹

(1 College of Electronic Science and Technology, Shenzhen University, Shenzhen, Guangdong 518060, China)

(2 Research center for Space Optical Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Received date: 2008-01-14

Abstract: A reshaping amplifier is suggested in the system of stimulated Brillouin scattering phase conjugate mirror. This novel scheme of two Brillouin amplifiers can finely control output pulse shapes, in which the main amplifier coarsely controls the pulse shape and the reshaping amplifier fine-tunes the pulse shape, especially the leading edge of the pulse. Effects of the length of the reshaping amplifier on the pulse shape are theoretically and experimentally researched. Rules of pulse shape versus distance between the two amplifiers are achieved. Results show that the length of the reshaping amplifier decides the amplification efficiency and is an important parameter to control pulse shapes.

Key words: Stimulated Brillouin scattering; Brillouin amplification; Pulse shape control



YANG Jun was born in 1977, received her Bachelor's degree from Harbin Institute of Technology in 2000, and her M. S. degree and Ph. D. degree in 2002 and 2006, respectively. Now she works as a postdoctor at Shenzhen University.