

文章编号: 0258-7025(2008)06-0840-05

相遇时间对双布里渊放大池 放大控制脉冲波形的影响

杨 珺^{1,2} 吕志伟³ 何伟明³ 阮双琛² 张 伟¹

¹ 哈尔滨工业大学空间光学工程研究中心, 黑龙江 哈尔滨 150001

² 深圳大学电子科学与技术学院, 广东 深圳 518060; ³ 哈尔滨工业大学光电子技术研究所, 黑龙江 哈尔滨 150001

摘要 在传统独立双池结构的受激布里渊散射(SBS)相位共轭镜(PCM)系统中,对布里渊放大池进行改进。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结构控制脉冲波形,主放大池对脉冲波形进行粗调,修整放大池对脉冲波形,特别是脉冲前沿进行微调。理论和实验研究了相遇时间对双布里渊放大池放大控制脉冲波形的影响,得到了不同相遇时间下,脉冲波形随双池间距的变化规律。研究表明,相遇时间是决定放大光脉冲波形整体形状的重要参数,相遇时间越长,脉冲可控范围越大,但是系统的效率越低。

关键词 光电子学;脉冲波形控制;布里渊放大器;相遇时间

中图分类号 O 437 文献标识码 A

Effect of Encounter Time on Pulse Shape Control by Two Brillouin Amplifiers

Yang Jun^{1,2} Lü Zhiwei³ He Weiming³ Ruan Shuangchen² Zhang Wei¹

¹ Research Center for Space Optical Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150001, China

² College of Electronic Science and Technology, Shenzhen University, Shenzhen, Guangdong 518060, China

³ Institute of Opto-Electronics, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150001, China

Abstract A reshaping Brillouin amplifier is suggested to combine with the main amplifier in the system of the stimulated Brillouin scattering (SBS) phase conjugate mirror (PCM). In this novel scheme, the main amplifier can coarsely tune the output pulse shapes, while the reshaping amplifier is to finely control the output pulse shapes. Effects of encounter time on pulse shapes are theoretically and experimentally researched, and pulse shapes versus the distance between the two amplifiers are achieved with various encounter time. Results show that the encounter time decides the general pulse shape and is an important parameter to control the pulse shape. The longer the encounter time, the wider the control range, and the lower the efficiency of the system.

Key words optoelectronics; pulse shape control; Brillouin amplifier; encounter time

1 引 言

受激布里渊散射(SBS)相位共轭镜(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的加工精度的要求^[1~3],高功率激光系统中,结合受激布里渊散射相位共轭镜实现多程放大就可以大幅降低器件造价与系统投资。往往用受激布里渊散射相位共轭镜产生相位共轭种子光,种子光再经过后续放大。这就要求从受激布里渊散射相位共轭镜反射的脉冲波形与抽运光相同,或者受激布里

渊散射相位共轭镜具有脉冲波形控制的能力^[4]。但是,独立双池结构的受激布里渊散射相位共轭镜系统中,受激布里渊散射振荡池只能得到陡前沿的压缩光脉冲^[5~8],可以利用放大池对脉冲波形进行控制。

在传统独立双池结构的受激布里渊散射相位共轭镜系统中,引入修整放大池^[9],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

收稿日期:2007-12-12;收到修改稿日期:2008-03-13

作者简介:杨 珺(1977—),女,安徽人,博士后,主要从事非线性光学及太赫兹光学的研究及应用。

E-mail:june.yung@yahoo.com.cn

调。本文研究了此双布里渊放大池结构中,相遇时间对脉冲波形的影响。理论模拟了脉冲波形在不同相遇时间下,随双池间距的变化规律,并用实验进行验证。

2 理论模拟

双布里渊放大池放大的物理模型如图 1 所示。在传统独立双池结构的受激布里渊散射系统的布里渊放大池 A_1 (主放大池) 前再加入一个短放大池 A_2 (修整放大池), 双放大池中介质相同。Stokes 种子光由相同介质的布里渊散射产生池产生, 与抽运光相向进入双池系统。陡前沿的 Stokes 种子光较抽运光提前进入主放大池中, 后沿得到充分放大, 脉冲峰后移, 前沿变缓。而在修整放大池中, 种子光的前沿与抽运光相遇并得以放大, 由于修整放大池池长较短, 放大较弱。调整 A_2 放置的位置, 亦即调节双放大池之间的距离 L , 就可以控制 A_2 中种子光前沿的放大过程, 从而对脉冲波形进行微调。定义相

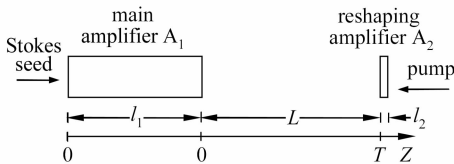


图 1 双布里渊放大池放大结构示意图

Fig. 1 Schematic of two Brillouin amplifiers

遇时间 T : 抽运光峰值与 Stokes 种子光峰值相遇时, 相遇点与 A_1 的抽运光入射端面的距离所对应的时间。相遇点在端面上时 T 为零, 在该端面抽运光入射一侧时为正, 另一侧为负, 如图 1 所示。

采用分段计算的方法, 双放大池中, 慢变化振幅近似下, 受激布里渊散射过程满足的耦合波方程见文献[10, 11]; 而双放大池 A_1 和 A_2 之间的自由空间中, 耦合波方程组为

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

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

对耦合波方程组代入边界条件, 进行数值求解。计算中, A_1, A_2 的池长分别为 40 cm 和 1 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 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都为 $1.06 \mu\text{m}$ 。

相遇时间反映了抽运光与种子光的延迟, 决定了主放大池中种子光被放大的过程, 直接影响着放大光的脉冲波形。图 2(a) 是抽运光 and 种子光峰值光强分别为 $100 \text{ MW}/\text{cm}^2$ 和 $10 \text{ MW}/\text{cm}^2$ 时, $L = 150 \text{ cm}$ 处脉冲波形随相遇时间的变化。可以看出, 相遇时间越长, 抽运光较种子光的延迟越大, 主放大

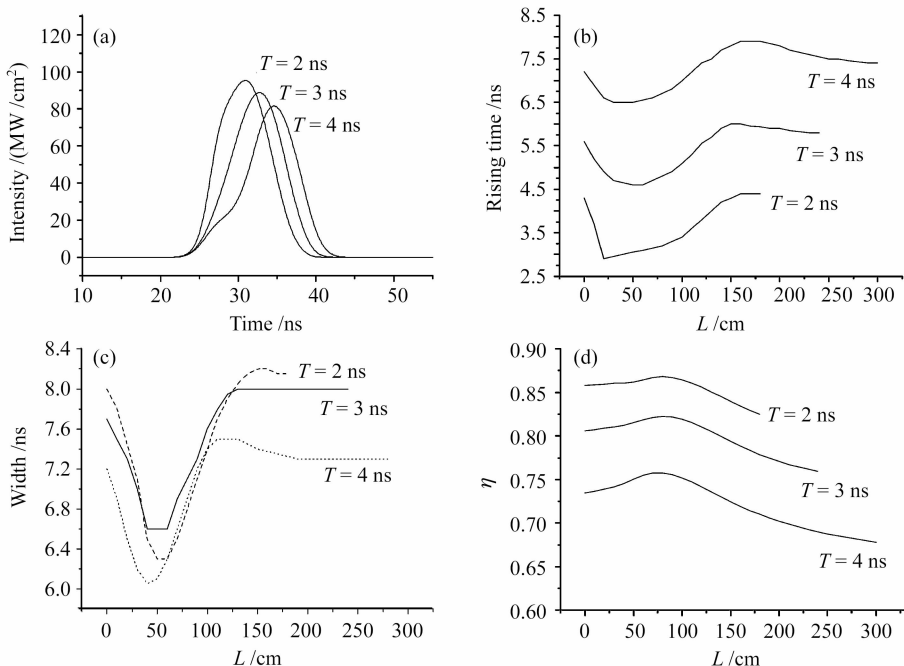


图 2 不同相遇时间下输出光脉冲波形及参数随池间距的变化

Fig. 2 Dependence of output pulse shapes and parameters on L with various encounter time

池中种子光被放大的时间越迟,因而脉冲前沿随着相遇时间的增加而变缓。与以上脉冲波形相对应的,在相遇时间为2 ns,3 ns和4 ns时计算出脉冲波形输出参数随池间距的变化规律如图2(b)~(d)所示。可见脉冲上升沿都是随着池间距的增加先减小后增加的,达到最大值后再减小;池间距一定时,脉冲上升沿随相遇时间的增加而增加,这与脉冲波形的分析相符。不同相遇时间下,脉宽随池间距的变化规律相似;能量提取效率 η 随着相遇时间的增加而减小。

3 实验结果及讨论

实验装置图见文献[9],实验中前后移动Stokes种子光产生池(generator)来改变抽运光与种子光的延迟时间,从而改变它们的相遇时间。首先在对准的光路中选定一个确定的位置,用分光片同时分出抽运光和种子光,用PIN管同时监测,在示波器上读出此处抽运光与种子光的延时,最后再折算成相遇时间。实验中为了保护光电探头,对入射其中的光脉冲作了不同程度的衰减,因此以下脉冲波形图中都只表示脉冲波形,而不表示脉冲大小。实验中典型的抽运光与种子光的脉冲波形分别如图3(a)和(b)所示。其中抽运光的脉宽以及上升沿分别约为6.2 ns和4.0 ns,种子光的约为5.1 ns和1.6 ns,它们的能量分别约为52.2 mJ和4.3 mJ,计

算出平均功率密度分别约为150 MW/cm²和17 MW/cm²。显然,由于脉冲压缩效应,从受激布里渊散射产生池产生的Stokes种子光脉冲前沿较陡,脉宽较窄。

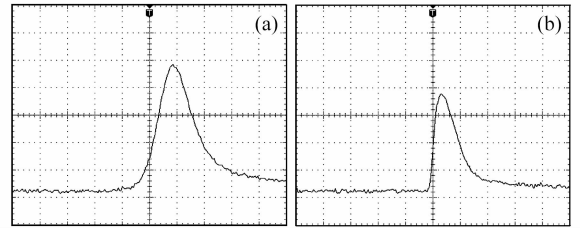


图3 典型的抽运光(a)与Stokes种子光(b)脉冲波形
Fig. 3 Typical pulse shapes of pump (a) and Stokes seed (b)

图4为不同相遇时间下,脉冲波形随池间距的变化,其中(a)~(d),(e)~(h)和(i)~(l)对应的相遇时间分别为1.5 ns,1 ns和0.5 ns,主放大池和修整放大池的池长分别为40 cm和1 cm。从图中可以看出,Stokes放大光的上升沿时长较Stokes种子光的明显变长,而脉宽变宽;相同池间距时,脉冲上升沿以及脉宽都随相遇时间的增加而增加。

从输出脉冲波形得到不同相遇时间下输出参数随池间距的变化,如图5所示。可以看出,脉冲上升沿随着相遇时间的增加而增加;相遇时间一定时,随着池间距的增加,脉冲上升沿有一个先减小后增大的趋势。放大光脉宽的变化与此类似。这与脉冲波

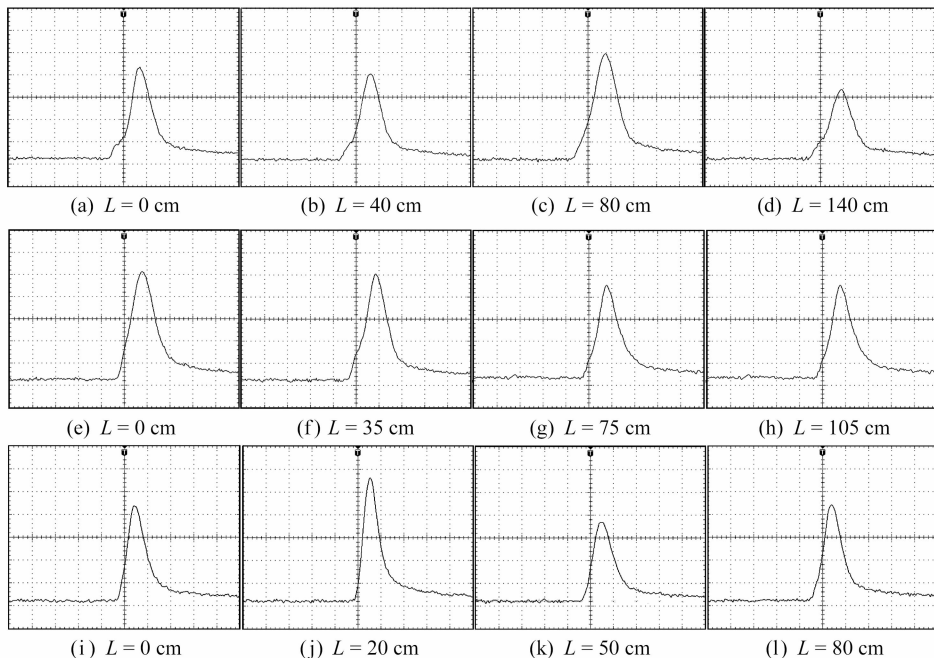


图4 不同相遇时间下脉冲波形随池间距的变化

Fig. 4 Dependence of output pulse shapes on L with various encounter time

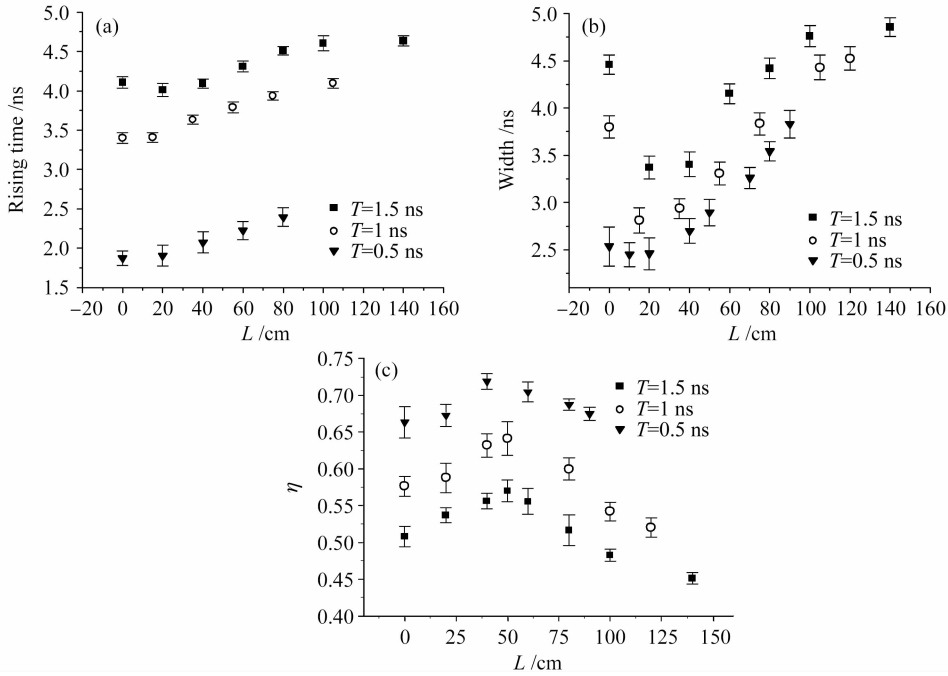
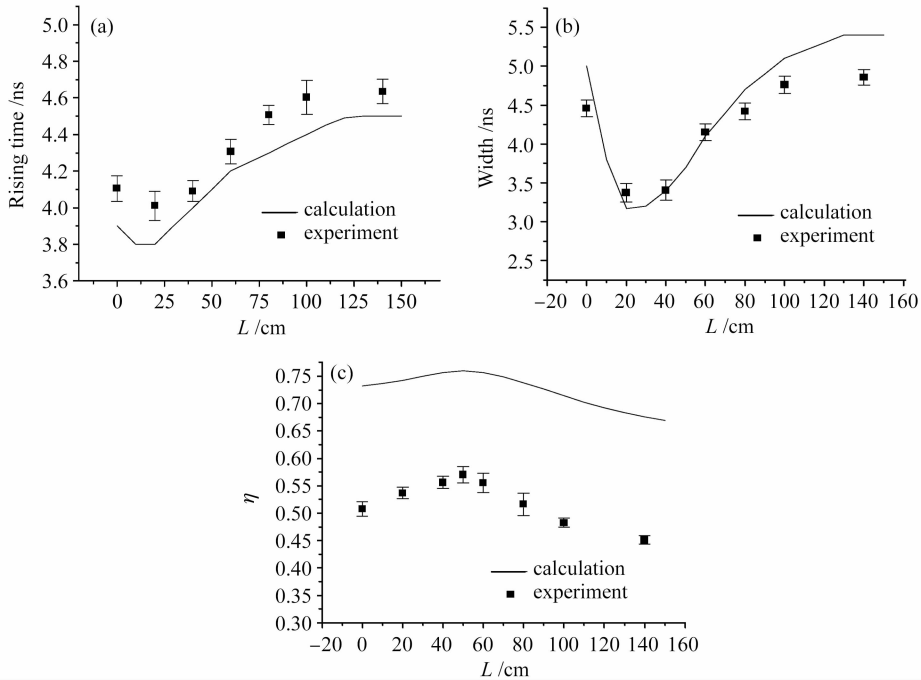


图 5 不同相遇时间下输出脉冲波形参数随池间距的变化

Fig. 5 Dependence of output parameters on L with various encounter times图 6 $T = 1.5$ ns 时输出脉冲波形参数理论值与实验结果的比较Fig. 6 Comparison of theoretical rules to experimental results with $T = 1.5$ ns

形分析结果相符：随着相遇时间的增加，抽运光与种子光的延时增加，种子光被放大的时间越晚，因而放大光的脉冲前沿以及脉宽越长。能量提取效率随着相遇时间的增加而减小；相遇时间一定时，随着池间距的增加，能量提取效率都是先增大而后减小。这是因为池间距较小时，主放大池前放置修整放大池

就相当于增加了主放大池池长，池长越长，能量提取效率越高；当池间距增大到一定长度后，修整放大池才真正起到脉冲修整的作用，此时随着池间距的增加能量提取效率减小。

为了与理论模拟相比较，把 $T = 1.5$ ns 的实验结果重新在图 6 中示出，同时作出与实验条件相同

情况下的理论曲线。从图中可以看出,理论模拟的脉冲上升沿以及脉冲宽度随池间距的变化趋势与实验测量结果都是相符的。但是脉冲上升沿的实验值整体偏高,这是因为实验中引入了各种损耗,如放大池窗片的吸收、全反射镜放置的角度偏差、种子光与抽运光的对准精度不高,以及放大池中的介质不纯等,这些因素都会降低放大效率,影响输出脉冲波形。因此,能量提取效率的实验值低于理论值,但它们的变化规律都是相符的。

4 结 论

对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的结构中,相遇时间对脉冲波形的影响进行了理论分析与实验研究。得到了不同相遇时间下,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,相遇时间是控制脉冲整体波形的重要参数,相遇时间越长,脉冲可控范围越大,但是系统的效率越低。

参 考 文 献

- 1 Metin S. Mangir, David A. Rockwell. 4.5 J Brillouin phase-conjugate mirror producing excellent near- and far-field fidelity [J]. *J. Opt. Soc. Am. B.*, 1993, **10**(8):1396~1400
- 2 C. Brent Dane, William A. Neuman, Lloyed A. Hackel. Pulse-shape dependence of stimulated-Brillouin-scattering fidelity for high input energies [J]. *Opt. Lett.*, 1992, **17**(18):1271~1273
- 3 Andrei A. Fotiadi, Patrice Megret, Michel Blondel. Stimulated Brillouin scattering in optical fibers and fiber lasers: 1-D dynamics [C]. *SPIE*, 2003, **482911**:971~972
- 4 Dianyuan Fan, Guojun Wen, Junxiao Lu. Four-pass laser amplifier with active SBS mirror for application to ICF driver [C]. *SPIE*, 1995, **2633**:29~35
- 5 Yang Jun, He Weiming, Zhang Rui *et al.*. Shape modification of Stokes pulses with steep leading edge by Brillouin amplification [J]. *Chinese J. Lasers*, 2005, **32**(2):196~199
杨 珺,何伟明,张 锐等. 布里渊放大修整陡前沿 Stokes 脉冲波形[J]. *中国激光*, 2005, **32**(2):196~199
- 6 Stephan Schiemann, Wim Ubachs, Wim Hogervorst. Efficient temporal compression of coherent nanosecond pulses in a compact SBS generator-amplifier setup [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1997, **33**(3):358~366
- 7 Wang Pinghe, Liao Xian, Rao Yunjiang. A novel self-exciting Brillouin erbium-doped fiber laser [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(12):2200~2204
汪平河,廖 弦,饶云江. 一种新型自激发布里渊掺铒光纤激光器[J]. *光学学报*, 2007, **27**(12):2200~2204
- 8 Deng Shaoyong, Zhu Yongxiang, Guo Shaofeng *et al.*. Experiments of stimulated Brillouin scattering for pulse compression and energy reflectivity in K9 glass and fused silica [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(2):219~224
邓少永,朱永祥,郭少锋等. K9 玻璃与熔融石英中纵向受激布里渊散射的脉宽压缩和能量提取效率[J]. *中国激光*, 2007, **34**(2):219~224
- 9 Yang Jun, Lü Zhiwei, He Weiming *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
- 10 Ding Yingchun, Lü Zhiwei, He Weiming. 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
- 11 R. Chu, M. Kanefsky, J. Falk. Transient phase conjugation by stimulated Brillouin scattering: numerical analysis of zero-order solutions [J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1994, **11**(2):331~338