

抽运光对双布里渊放大池放大控制脉冲波形的影响

杨 † 阮双琛 张 敏

(深圳大学电子科学与技术学院, 深圳 518060)
(2007 年 12 月 7 日收到, 2008 年 2 月 22 日收到修改稿)

在传统的独立双池结构的受激布里渊相位共轭镜中, 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结构控制脉冲波形, 主放大池控制脉冲的整体波形, 而修整放大池对脉冲波形进行微调. 研究了抽运光功率密度对双布里渊放大池放大控制脉冲波形的影响, 得到了不同抽运光功率密度下, 脉冲波形随双池间距的变化规律. 研究表明, 抽运光功率密度决定了种子光的放大效率, 是控制脉冲波形的重要参数.

关键词: 受激布里渊散射, 布里渊放大, 脉冲波形控制

PACC: 4265C, 4265F

1. 引 言

受激布里渊散射(stimulated Brillouin scattering, 简称 SBS)技术是产生高质量相位共轭光的有效手段, SBS 相位共轭镜(stimulated Brillouin scattering phase conjugation mirror, 简称 SBS PCM)有多种结构, 其中 SBS 产生池与放大池分开的独立双池结构的研究最为广泛^[1-3]. 由于 SBS 的脉冲压缩特性, 从布里渊产生池出射的 Stokes 种子光是陡前沿的压缩光脉冲^[4,5], 但是在高功率激光系统的某些应用中, 要求从 SBS PCM 反射的脉冲与抽运光脉冲波形保持一致, 或者 SBS PCM 具有波形控制的能力^[6,7].

文献[8]中, 在传统独立双池结构的 SBS PCM 的放大池前引入一个修整放大池, 提出一种主放大池与修整放大池相结合的双布里渊池放大控制脉冲波形的新方法. 在主放大池中, 通过调节抽运光与种子光的延迟时间, 完成对脉冲波形的整体控制, 而在修整放大池中, 通过调节双池间距, 完成对脉冲波形, 尤其是对脉冲前沿的微调. 文献[8]对这种双放大池放大对脉冲波形的控制进行了实验研究, 得到了脉冲波形随双池间距的变化. 而抽运光能量决定了种子光的放大效率, 也是控制脉冲波形的重要参数. 本文研究了抽运光光强对双布里渊放大池放大控制脉冲波形的影响, 给出了脉冲波形随抽运光功

率密度的变化规律, 并把实验结果与理论模拟相比较, 理论与实验符合较好.

2. 实验装置

实验装置与文献[8]中类似, 如图 1 所示. Nd:YAG 激光器输出近高斯型调 Q 单纵模线偏振激光, 输出波长 1.06 μm , 脉冲宽度 6—10 ns, 重复频率 1 Hz. 激光器输出的光脉冲被偏振片 P_1 分光, 透射光作为抽运光直接入射到双放大池中, 反射光进入 SBS 产生池, 产生 Stokes 种子光. Stokes 种子光经由全反镜 M_3 和 M_4 耦合进入双放大池, 与抽运光相互作用, 放大光从 P_1 出射. 实验中 1/2 波片和偏振片 P_1 的组合可以调节种子光和抽运光的大小, 全反镜 M_3 和 M_4 的前后移动, 或者 SBS 产生池的前后移动, 调节抽运光与种子光的延时, 而前后移动修整放大池 A_2 就可以调节双池间距. 出射的放大光由快响应 PIN 光二极管探测波形, 并由数字示波器 TDS684A 记录. 种子光、抽运光以及 Stokes 输出光的能量都用能量计 ED200 探测. SBS 产生池长为 20 cm, 产生池和放大池的介质都为 CCl_4 , 介质的声子寿命为 0.6 ns, 折射率为 1.46, 主放大池 A_1 与修整放大池 A_2 的池长分别为 40 和 1 cm. 实验中典型的抽运光脉冲波形与种子光脉冲波形见文献[8].

† E-mail: june1121@sohu.com

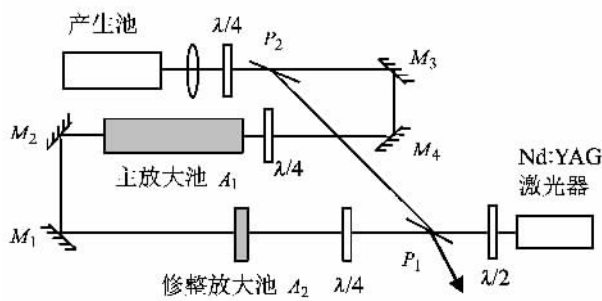


图 1 双布里渊放大池放大控制脉冲波形的实验装置图

3. 实验结果及讨论

文献 [8] 中指出相遇时间及双池间距是控制脉冲波形的重要参数,但是抽运光能量决定了种子光的放大率以及系统的效率,对脉冲波形也有很大影响. 实验中,旋转 $1/2$ 波片的光轴,使入射到放大池中的抽运光能量在约 $75.0\text{--}23.2\text{ mJ}$ 之间变化. 为了方便,根据光斑大小及脉冲宽度,把抽运光能量转换为功率密度,在 $100\text{--}20\text{ MW/cm}^2$ 变化.

实验研究了不同抽运光功率密度下,输出脉冲波形随双池间距 L 的变化. 图 2 是双池间距分别在 0.50 和 100 cm 时,脉冲波形随抽运光功率密度的变

化,此时相遇时间为 1.5 ns ,种子光功率密度 $\sim 15\text{ MW/cm}^2$. 显然池间距一定时,放大光脉冲峰值随着抽运光峰值的增加而增加,如 $L = 0\text{ cm}$ 处,当功率密度为 100 MW/cm^2 时,放大光脉冲峰值很高,种子光峰值在其前沿形成一个小小的“台阶”;随着抽运光峰值功率密度的减小,放大光脉冲峰值逐渐减小,而脉冲前沿的“小台阶”的大小几乎不变;当抽运光峰值功率密度减小到 $\sim 20\text{ MW/cm}^2$ 时,放大光脉冲峰值很小,几乎和脉冲前沿的“小台阶”连在一起,如图 2(a)–(d). 随着池间距的增加,种子光脉冲前沿在进入主放大池前,在修整放大池中得到放大,脉冲前沿抬起,放大光脉冲前沿的“小台阶”变得相对平滑,如图 2(e)–(h),放大光脉冲峰值也是随着抽运光功率密度的减小而减小,在抽运光功率密度为 $\sim 20\text{ MW/cm}^2$ 时,几乎出现了平顶脉冲,如图 2(h). 从图 2 中还可看出,相同池间距处,随着抽运光功率密度的增加,脉冲上升沿以及脉冲宽度减小,这是因为随着抽运光功率密度的增加,种子光放大的效率更高,放大光脉冲峰值更高,那么种子光前沿及峰值在放大光前沿形成的“台阶”相对变小,因而脉冲上升沿及脉冲宽度都变短.

与脉冲波形相对应的,放大光脉冲的上升沿、脉冲宽度以及能量提取效率随池间距的变化规律如图

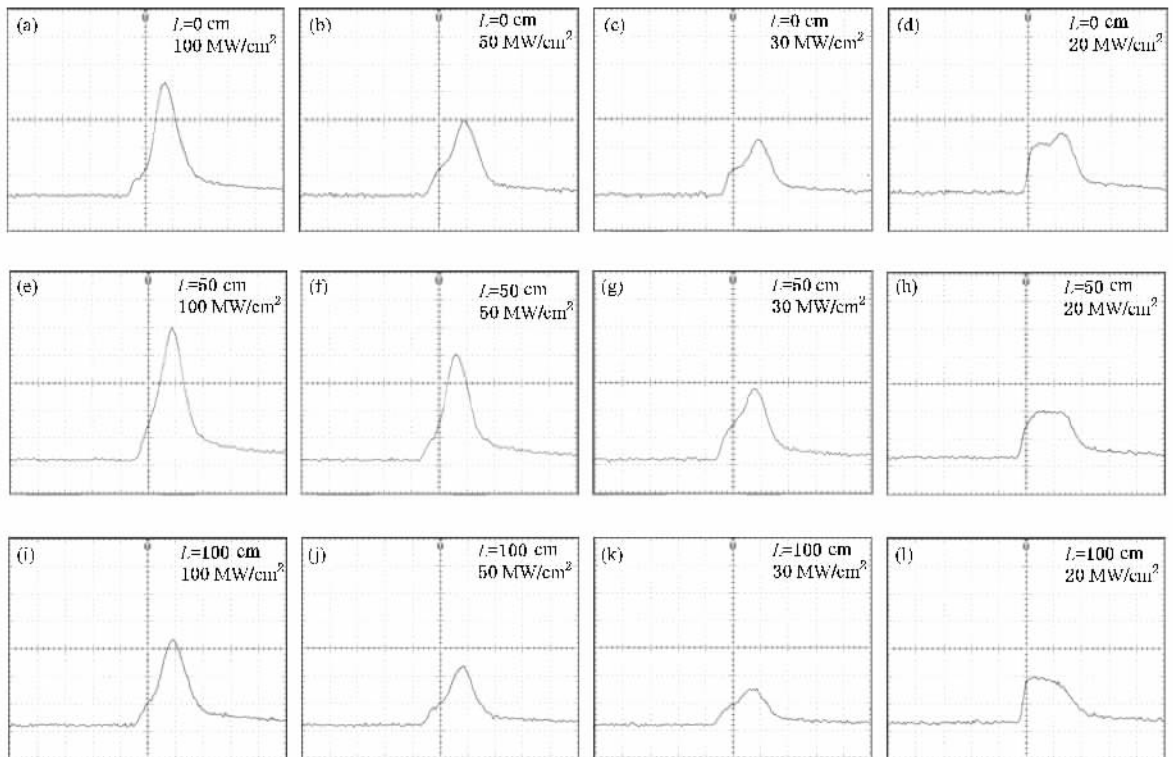


图 2 不同池间距下,输出脉冲波形随抽运光功率密度的变化

3 所示. 与脉冲波形的分析相符, 脉冲上升沿、脉冲宽度都随着抽运光能量的增加而减小, 不同抽运光峰值功率时, 随着池间距的增加脉冲上升沿以及脉冲宽度都是先减小后增大, 并且在几乎相同的池间距处达到最小值. 由于布里渊放大效率随着抽运光功率密度的增加而增加, 因而, 如图 3 所示, 能量提取效率随着抽运光功率密度的增加而增加. 从图 3

中还可以看出, 脉冲前沿以及脉冲宽度的可控范围都随着抽运光功率密度的增加而扩大.

综上所述可以看出, 较低的抽运光功率密度, 可以获得较宽的脉冲前沿和脉冲宽度, 而较高的功率密度可以提高系统的效率和扩大脉冲波形的可控范围, 但是应保证抽运光功率密度在介质的 SBS 阈值以下.

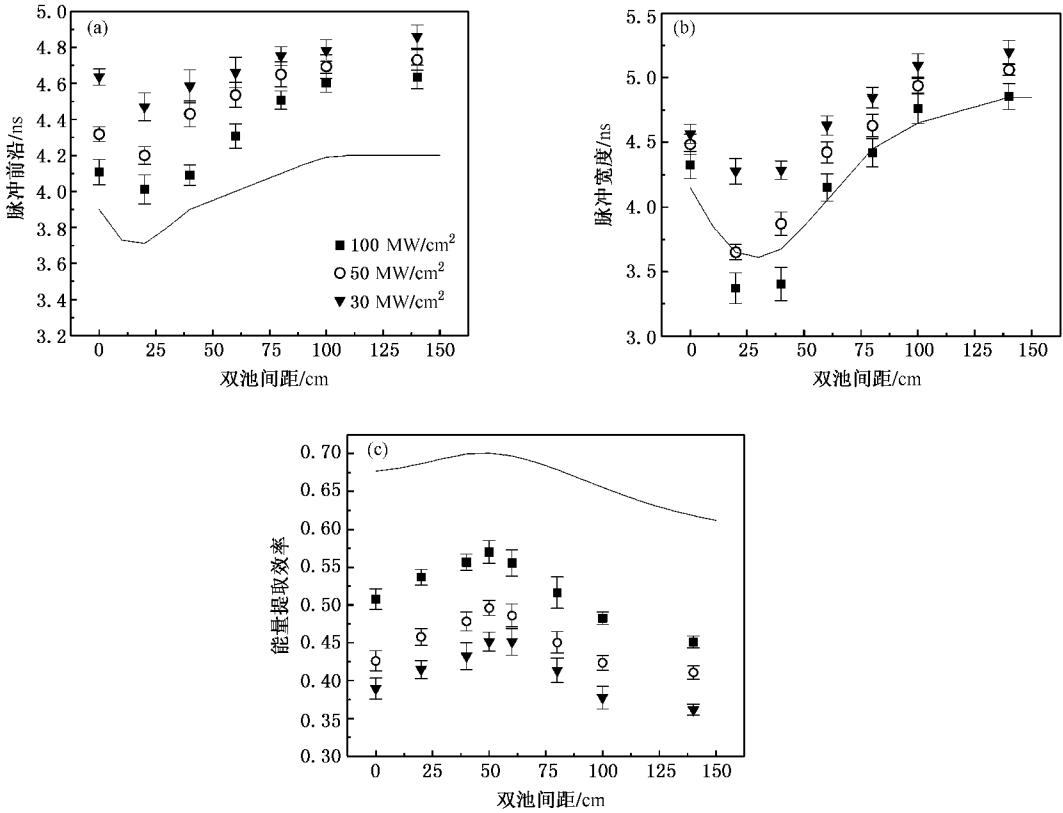


图 3 不同抽运光功率密度下, 输出脉冲波形参数随池间距的变化

4. 数值分析

受激布里渊散射是一个三波参量混频过程, 可以用三维、含时的非线性偏微分方程组描述. 对于单布里渊放大池中抽运光与种子光的相互作用过程已有很多研究. 这里双布里渊放大池结构中, 主放大池 A_1 和修整放大池 A_2 中, 受激放大过程的数学描述与单放大池的相同^[9,10],

$$\begin{aligned} \frac{\partial A_L}{\partial z} - \frac{n}{c} \frac{\partial A_L}{\partial t} &= -ig_L \rho A_S + \frac{\alpha}{2} A_L, \\ \frac{\partial A_S}{\partial z} + \frac{n}{c} \frac{\partial A_S}{\partial t} &= ig_s \rho^* A_L - \frac{\alpha}{2} A_S, \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \Gamma \rho &= ig_a A_L A_S^*. \end{aligned} \quad (1)$$

在双放大池 A_1 和 A_2 之间的自由空间中, 耦合波方程组为

$$\begin{aligned} \frac{\partial A_L}{\partial z} - \frac{1}{c} \frac{\partial A_L}{\partial t} &= 0, \\ \frac{\partial A_S}{\partial z} + \frac{1}{c} \frac{\partial A_S}{\partial t} &= 0. \end{aligned} \quad (2)$$

式中 A_L , A_S 和 ρ 分别表示抽运光, Stokes 光场以及声子场复振幅, Γ 是自发辐射的布里渊线宽, $ig_L \approx g_s$ 和 g_a 代表光声耦合系数, α 是介质的吸收系数. 对上述耦合波方程组进行离散化和数值求解. 在模拟中, 设抽运光与种子光都为高斯型分布, 各参数都尽量与实验条件相一致. 图 3 中实线是抽运光功率密度为 50 MW/cm² 时, 放大光脉冲的上升沿、脉冲宽度以及能量提取效率随池间距的变化. 可以看出, 理

论曲线与实验点的变化趋势基本相同,几乎都是在相同的池间距处达到最大或最小值,只是在数值上有所偏差,这主要是因为理论模拟中没有考虑介质的吸收,并且放大池系统的损耗也影响了放大效率,实验与理论符合较好.

5. 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控制脉冲波形的结构中,抽运光场对

脉冲波形的影响进行了实验研究,并理论模拟此系统,理论计算与实验测量符合较好.研究表明,抽运光能量决定了种子光的放大效率,是控制脉冲波形的重要参数.在双布里渊放大池结构中,为了提高系统的效率以及扩大脉冲可控范围,应提高抽运光功率密度,但是,若为了获得较宽的脉冲前沿和脉冲宽度,则需较低的抽运光功率密度,应用中应综合考虑这两方面的影响,选取合适的抽运光功率密度.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.

- [1] Dane B , Neuman M A , Hackel L A 1994 *IEEE . J. Quantum Electron.* **30** 1907
- [2] Kmetik V , Fiedorowicz H , Andreev A A 1998 *Appl. Opt.* **37** 7085
- [3] Song K Y , Gonzalez H M 2005 *Opt. Express* **13** 82
- [4] Kuwahara K , Takahashi E 2000 *Proceedings of SPIE* **3889** 780
- [5] Ding Y C , Lü Z W , He W M 2002 *Acta Phys. Sin.* **51** 2767 (in Chinese) [丁迎春、吕志伟、何伟明 2002 物理学报 **51** 2767]
- [6] Fan D Y , Wen G J , Lu J X 1995 *Proceedings of SPIE* **2633** 29

- [7] Wen G J , Lu J X , Fan D Y 1995 *Proceedings of SPIE* **2633** 554
- [8] Yang J , Lü Z W , He W M , Ruan S C 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 4622 (in Chinese) [杨 、吕志伟、何伟明、阮双琛 2007 物理学报 **56** 4622]
- [9] Boyd R W , Rzazewski K , Narum P 1990 *Phys. Rev.* **42** 5514
- [10] He W M , Yang J , Lü Y L , Lü Z W 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 468 (in Chinese) [何伟明、杨 、吕月兰、吕志伟 2004 物理学报 **53** 468]

The influence of pump power on pulse shape control by Brillouin amplification of two Brillouin amplifiers

Yang Jun[†] Ruan Shuang-Chen Zhang Min

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

(Received 7 December 2007 ; revised manuscript received 22 February 2008)

Abstract

A reshaping Brillouin amplifier is combined with the main Brillouin amplifier in the conventional stimulated Brillouin scattering (SBS) phase conjugation mirror (PCM) , which can control the SBS pulse shape , the main amplifier controls the pulse shape roughly , while the reshaping amplifier can control it finely . Effect of pump on pulse shape is studied , and the dependence of the pulse shape on the distance between the two amplifiers is achieved at various pump intensities . Results show that the pump intensity determines the amplifying efficiency of the seed , and that it is an important parameter to control the pulse shape .

Keywords : stimulated Brillouin scattering , Brillouin amplification , pulse shape control

PACC : 4265C , 4265F

[†] E-mail : june1121@sohu.com