

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0188-03

利用两级受激布里渊散射获得皮秒激光脉冲

王超, 吕志伟, 何伟明

(哈尔滨工业大学 光电子技术研究所, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要 理论采用一维瞬态理论模型, 包含抽运耗空的影响。实验采用两级布里渊结构压缩 8 ns 的 Nd:YAG 激光, 研究了基频光和倍频光的 SBS 压缩过程。实验中采用 CCl₄ 作为 SBS 介质, 经第一级双池 SBS 压缩后, 获得了 1.5 ns 左右的 Stokes 脉冲; 第二级采用单池 SBS 压缩, 分别使用基频光和倍频光作为抽运光, 获得最短为 60 ps 的 Stokes 脉冲。实验证明在一定条件下, 利用 SBS 压缩脉宽可以获得比介质的声子寿命更短的脉冲。数值模拟结果与实验结果比较基本符合。

关键词 非线性光学; 受激布里渊散射; 脉冲压缩; 皮秒脉冲; 声子寿命

中图分类号 O437.2

文献标识码 A

Picoseconds Pulse Generation by Two-Stage Stimulated Brillouin Scattering Compressor

WANG Chao, LÜ Zhi-wei, HE Wei-ming

(Institute of Opto-Electronics, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150001, China)

Abstract The theory model is transient model including the effect of the pump depletion. The results of numerical simulation are consistent with the experimental results. The picoseconds pulse was obtained by two-stages stimulated Brillouin Scattering (SBS) compressor to compress 8 ns laser pulse. The experiment used CCl₄ as SBS medium. The laser pulse was compressed to 1.5 ns by the first stage compressor. In the second compress stage, by the use of 532 nm and 1064 nm as a pump, separately, the shortest pulse of 60 ps was obtained. The results show that the pulse with the duration shorter than the medium acoustic lifetime can be achieved by SBS compressor. The results of numerical simulation are consistent with the experimental results.

Key words nonlinear optics; stimulated Brillouin scattering; pulse compression; picoseconds pulse; acoustic lifetime

1 引言

高功率皮秒脉冲有很多重要的应用, 如用于激光惯性约束聚变快点火的打洞激光, ICF 核爆模拟探针激光等。尽管小能量的皮秒脉冲已经很容易获得, 但到目前为止, 高功率皮秒脉冲的产生仍是一个难题。现在大部分激光器都是利用锁模原理来产生皮秒脉冲激光的, 但是锁模激光器在运行、维护等方面比较复杂。受激布里渊散射现象从被发现到现在已经被广泛地应用于相位共轭、脉冲压缩、激光组束等方面。从 Hon 首次提出 SBS 具有脉冲压缩的特性以来^[1], 压缩激光脉宽成为受激布里渊散射一个重要的研究方向。利用布里渊散射的方法, 通过对纳秒级高功率脉冲进行高效率压缩从而获得高功率的皮秒激光脉冲, 对研究高功率皮秒脉冲的产生有重大的意义。

2 数值模型

本文采用一维瞬态理论模型 SBS 过程进行数值模拟^[2], 这个模型包括瞬态影响, 介质的吸收以及抽运耗空的影响。抽运和 Stokes 场用 E_L 和 E_S 表示, Q 表示声波场。

耦合波方程为:

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \Gamma\right) Q = -ig_1 E_L E_S^* \quad (1)$$

$$\left(\frac{n\partial}{c\partial t} + \frac{\partial}{\partial z} + \frac{\alpha}{2}\right) E_S = -ig_2 E_L Q^* \quad (2)$$

$$\left(\frac{n\partial}{c\partial t} - \frac{\partial}{\partial z} + \frac{\alpha}{2}\right) E_L = -ig_2 E_S Q \quad (3)$$

c 为光速, n 为介质折射率; Γ 为自发辐射布里渊线宽 (FWHM), $\Gamma = 1/2\tau_B$, τ_B 为介质声子寿命; $g_{1,2}$ 为电场和声波场耦合系数; α 为吸收系数。为了将截面的变化影响考虑在内, 用 E_L/σ , E_S/σ 代替 E_L , E_S 对方程的离

基金项目: 国家高技术 863-804 主题和国家自然科学基金(60278033)资助课题。

作者简介: 王超(1978-), 男, 哈尔滨工业大学博士研究生, 主要从事受激布里渊散射研究。E-mail: wangchao@hit.edu.cn

散化:采用隐格式和后向差分,进行离散化得:

$$E_{S_s^{m+1}} - E_{S_s^m} + \frac{n\Delta z}{c\Delta t} (E_{S_s^{m+1}} - E_{S_s^m}) = \frac{G'}{\sigma_j} [|E_{L_s^{m+1}}|^2 E_{S_s^{m+1}} + p_j^m E_{L_s^{m+1}}] - \frac{1}{2} \alpha \Delta z E_{S_s^{m+1}}, \quad (4)$$

$$E_{L_s^{m+1}} - E_{L_s^m} - \frac{n\Delta z}{c\Delta t} (E_{L_s^{m+1}} - E_{L_s^m}) = \frac{G'}{\sigma_j} [|E_{S_s^{m+1}}|^2 E_{L_s^{m+1}} + p_j^m E_{S_s^{m+1}}] - \frac{1}{2} \alpha \Delta z E_{L_s^{m+1}}, \quad (5)$$

其中 $G' = \frac{g\Gamma}{4} \Delta t \Delta z$, $g = 2g_1 q_2 / T$ 为增益系数, $t = m\Delta t$, $m = 0, 1, 2, \dots, M$; $z = j\Delta z$, $j = 0, 1, 2, \dots, J$

$$p_j^m = (p_j^{m-1} + 2A_{L_s^m} A_{S_s^m}) \exp(-\Gamma \Delta t) \quad (6)$$

$$p_j^0 = A_{L_s^0} A_{S_s^0} \exp(-\Gamma \Delta t) \quad (7)$$

(4)~(7)式为我们采用的数值模型。其中 σ 为截面积。加上边界条件: $E_S(z=0, t) = E_{S_0}(t)$, $E_L(z=L, t) = E_{L_0}(t)$ 构成完整的数学模型。 $|E_{S_0}(t)|^2$ 为输入的 Stokes 噪声功率, $|E_{L_0}(t)|^2$ 为聚焦前的抽运光功率。在数值模拟过程中,假设抽运光时间上为高斯型函数,空间上为高斯光束,经透镜聚焦后,焦点为光束的束腰位置。

2 实验装置

实验装置如图 1 所示,实验中将双池 SBS 系统和输出 P 偏振光的 Nd:YAG 激光器做成了一个紧凑的整体器件。双池 SBS 系统由聚焦透镜(焦距为 $f_1 =$

70 cm, $f_2 = 10$ cm)和 SBS 放大池(池长为 60 cm)、产生池(池长为 30 cm)组成。抽运光和双池压缩后输出的 SBS 的脉宽和脉冲波形用 PIN 光电二极管探测,并用数字示波器 TDS684A 来记录。Nd:YAG 的输出激光脉冲宽度为 8 ns。经过双池 SBS 脉冲压缩获得大约 1.5 ns 的激光,作为第二级压缩的抽运源,由透镜 f_3 聚焦抽运 cell 3 中的布里渊介质(CCL₄)进行二次脉冲压缩;产生的 Stokes 光使用条纹相机测量 Stokes 光脉宽,ED200 测量能量。第一阶段双池脉冲压缩的实验和理论在以前的研究中已有详细的描述^[2]。本文主要研究第二阶段的 SBS 脉冲压缩。实验中我们采用基频光和倍频光分别进行试验,使用基频光时,将倍频晶体和其后的 1.06 μm 的高反片去掉,换成平片。实验中测量了抽运光能量变化对脉冲压缩和能量反射率的影响,也测量了不同聚焦焦距对整个脉冲压缩的影响。

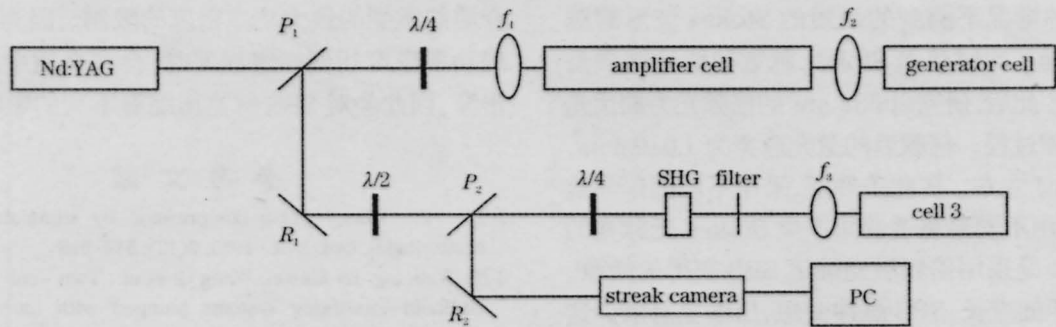


图 1 实验装置图

Fig.1 Experimental setup. R: reflector; P: polarizer; f: focus lens

3 实验与计算结果的比较

首先研究以 1.06 μm 的基频光为抽运光的 SBS 压缩过程。实验中经过双池压缩后进入 cell 3 中的

抽运光脉宽为 1.5 ± 0.1 ns, 最高能量为 15.8 mJ。图 2 是我们采用 $f_3 = 30$ cm 的透镜时,激光抽运能量变化对 SBS 脉冲压缩的影响。随激光抽运能量的升高,获

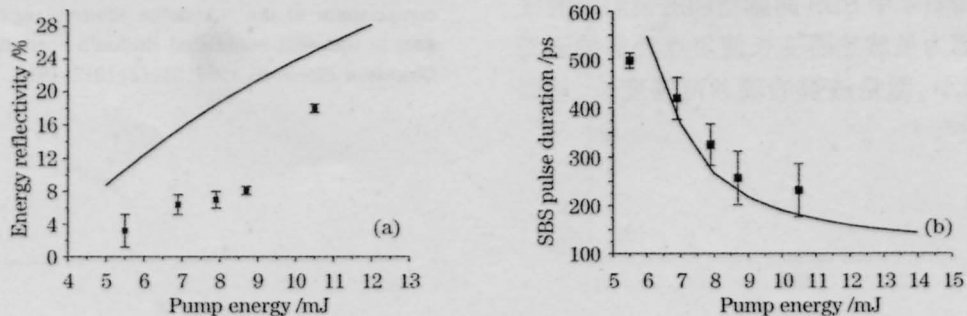


图 2 $f_3 = 30$ cm 时,能量反射率与 SBS 的脉宽随抽运光能量变化的规律

Fig.2 $f_3 = 30$ cm, energy reflectivity and SBS pulse duration vs. pump energy

得 SBS 的脉冲宽度变小, 压缩效果越好, 同时 SBS 的能量反射率随之变大。图 3 中的两个波形是用条纹相机测量到的典型的 Stokes 光波形。

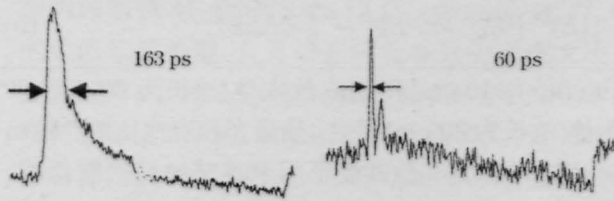


图 3 典型的 Stokes 脉冲
Fig.3 Typical Stokes pulse

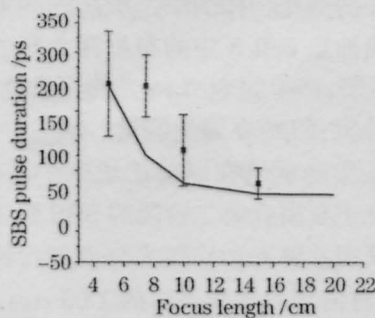


图 4 抽运光为 532 nm 时, SBS 脉宽随透镜焦距变化的规律
Fig.4 When pump laser is 532 nm, SBS pulse duration vs focus length

在这种情况下测到的最短的 Stokes 波形的脉宽是 163 ps; 此时获得 Stokes 脉宽的统计结果是 260 ± 55 ps。此后, 研究以 532 nm 的倍频光为抽运光的 SBS 压缩过程。倍频后的激光脉宽为 1.0 ± 0.2 ns, 能量在 1 mJ 左右。在此条件下, 采用不同的聚焦透镜, 测量采用不同聚焦透镜对产生 Stokes 光脉宽的影响。图 4 是采用倍频激光抽运 SBS 获得的结果。随聚焦焦距的变长, SBS 脉冲变短, 压缩更有效。这时测量到的最短的 Stokes 脉冲是 60 ps; 此时获得 Stokes 脉宽的统计结果是 75 ± 26 ps。

4 分析与讨论

图 2 表明 SBS 的脉宽随抽运光能量的增加而变小的规律, 而图 4 中 SBS 的脉宽随透镜焦距的变长而变小, 是因为虽然焦距变长使焦点处的抽运光的功率密度变小, 但是透镜的瑞利范围变长, 从而

相互作用长度变长, 而且透镜的焦距较短时, 产生很强的光学击穿, 造成能量损失, 不利于脉宽压缩。数值模拟的结果与实验结果符合一致。但是数值模拟得到的能量反射率比实验得到的高, 这是由于实验中产生了光学击穿, 影响了 SBS 的能量反射率。在 1.06 μm 激光作为抽运光时, 测量到的最小脉冲是 163 ps, 在 532 nm 作为抽运光时测到的最小的脉冲是 60 ps; 从统计数据上, 以 1.06 μm 作为抽运光时, 获得 Stokes 脉冲为 260 ± 55 ps; 在用 532 nm 作为抽运光时, 获得 75 ± 26 ps 脉冲宽度的 Stokes 脉冲, 是声子寿命的一半(抽运光 1064 nm 和 532 nm 时, CCl_4 介质的声子寿命分别是 0.6 ns 和 0.151 ns, 增益系数为 3.8 cm/GW^[4])。

根据文献中 SBS 的理论压缩的极限是 $\tau_a = \pi / 2\omega_b$ ^[5], ω_b 是介质的 Stokes 频移; 即 SBS 的脉冲压缩受在介质中产生的声波的振荡周期的限制, 理论上 CCl_4 的压缩极限在基频光和倍频光情况下分别是 0.1 倍和 0.3 倍左右的声子寿命。实验中获得的最小 Stokes 脉宽虽然小于声子寿命的一半, 但是在多数情况下, 较容易获得的 Stokes 脉宽是声子寿命的一半。可能的原因是, 实际上 SBS 压缩极限还受到介质能承受的最大功率密度的限制。因为当抽运光的功率密度达到一定程度时, 会在介质中产生光学击穿, 因此会对 SBS 脉宽压缩有不利的影响。

参 考 文 献

- 1 D. T. Hon. Pulse compression by stimulated Brillouin scattering[J]. *Opt. Lett.*, 1980, 5(12): 516-518
- 2 He Weiming, Lu Zhiwei, Wang Qi et al.. Two-cell stimulated-Brillouin-scattering systems pumped with narrow-pulse-width laser[J]. *Chinese J. Lasers*, 1997, A24(1):46-50
何伟明, 吕志伟, 王 骐 等. 窄脉冲泵浦双池受激布里渊散射系统研究[J]. *中国激光*, 1997, A24(1): 46-50
- 3 V. Babin, A. Mocofanescu, V. I. Vlad. Analytical treatment of laser-pulse compression in stimulated Brillouin scattering[J]. *J. Opt. Soc. Am B*, 1999, 16(1): 155-163
- 4 R. W. Boyd. *Nonlinear Optics*[M]. Academic Press, 1992. 337-338
- 5 I. Velechev, D. Neshev, W. Hogervorst et al.. Pulse compression to the subphoton lifetime region by half-cycle gain in transient stimulated Brillouin scattering [J]. *IEEE. J. Quantum Electron.*, 1999, 35(12):1812-1816