

文章编号: 0258-7025(2006)Supplement-0226-03

# 利用受激布里渊散射压缩获得小于介质 1/4 超声振荡周期的激光脉冲

王 超, 吕志伟, 林殿阳, 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** 对利用受激布里渊散射(SBS)两级压缩结构压缩 8 ns 的激光脉冲进行了实验研究。实验中采用重氟碳 FC-75 作为介质, 两级压缩后得到的最短的受激布里渊散射脉冲为 153 ps, 统计脉宽为  $177.6 \pm 11.9$  ps, 脉宽小于 FC-75 的 1/4 的超声振荡周期。实验中还研究了抽运光能量、聚焦透镜焦距对布里渊短脉冲压缩过程的影响。

**关键词** 非线性光学; 受激布里渊散射; 脉冲压缩; 皮秒脉冲

**中图分类号** O437.2      **文献标识码** A

## Laser Pulse with Duration Shorter than 1/4 of Hypersound Oscillation Period of Medium Achieved by Stimulated Brillouin Compressor

WANG Chao, LÜ Zhi-wei, LIN Dian-yang, HE Wei-ming

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

**Abstract** An 8 ns laser pulse is compressed with the stimulated Brillouin scattering (SBS) two-step compressor in the experiment, the shortest 153 ps SBS pulse is obtained with FC-75 as the medium, and the average pulse is  $177.6 \pm 11.9$  ps statistically, which is shorter than the 1/4 of hypersound oscillation period of FC-75. And the effects of the pump energy and the focal length of the lens on the SBS pulse compression process are studied experimentally.

**Key words** nonlinear optics; stimulated Brillouin scattering; pulse compression; picosecond pulse

## 1 引 言

高能量的皮秒脉冲有很多重要的应用,如用于激光惯性约束聚变(ICF)快点火的打洞激光、惯性约束聚变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,高能量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(SBS)现象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<sup>[1]</sup>提出受激布里渊散射具有脉冲压缩的特性以来,压缩激光脉宽成为受激布里渊散射一个重要的研究方向。利用受激布里渊散射的方法,通过对纳秒量级的高功率脉冲进行高效率的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要的意义。利用受激布里渊散射产生

过程,可以有效地压缩激光脉冲得到亚纳秒脉冲,甚至得到约 100 ps 脉冲<sup>[2,3]</sup>。在以前的研究中,一种普遍的观点认为利用受激布里渊散射压缩激光脉冲的物理极限是由介质的声波振荡周期决定的。Iavor Velchev 等<sup>[4]</sup>通过一维强瞬态理论,以及对声波谱的分析,认为压缩极限是  $\tau_a = \pi/2\Omega_B$ , 亦即 1/4 的介质声波振荡周期。在我们的实验中利用受激布里渊散射压缩激光脉冲小于这个限制。

## 2 实验分析

实验装置见参考文献[5]。激光器输出 8 ns 的激光脉冲,利用双池受激布里渊散射结构将脉宽压缩到 1.5 ns 左右,产生池和放大池中使用的介质是重氟碳 FC-75。然后再利用一个单池受激布里渊散射结构进一步压缩激光脉冲,在此压缩阶段,采用几

**作者简介:** 王 超(1978—),男,哈尔滨工业大学光电子技术研究所博士研究生,主要从事非线性光学方面的研究。

E-mail: chaowangcn@126.com

种不同介质进行研究。表 1 是实验中采用布里渊介质的各种参量<sup>[6]</sup>。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<sup>[7]</sup>。本文主要研究第二阶段的受激布里渊散射脉冲压缩。能量采用 Gentec 公司 ED200, ED500, 波形采用 Lecroy 86000(带宽 6 GHz, 采样速率 20 GS/s)测量。抽运激光波长为 1064 nm。

表 1 布里渊介质参量

Table 1 Parameters of Brillouin medium

| Medium | Photon lifetime /ns | Gain coefficient / (cm/GW) | Frequency shift /GHz |
|--------|---------------------|----------------------------|----------------------|
| FC-75  | 0.9                 | 4.5                        | 1.34                 |

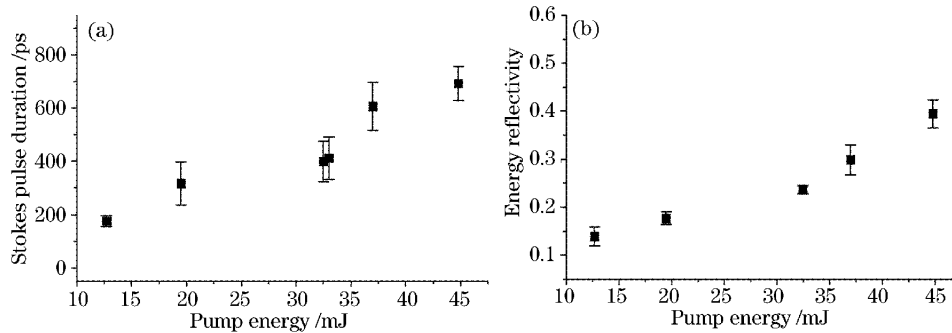


图 1 输出的斯托克斯光脉宽(a)和能量反射率(b)随抽运光能量的变化规律(FC-75)

Fig. 1 Stokes pulse duration (a) and energy reflectivity (b) versus pump energy (FC-75)

图 2 是在抽运光能量约为 12 mJ 时得到的受激布里渊散射的波形。

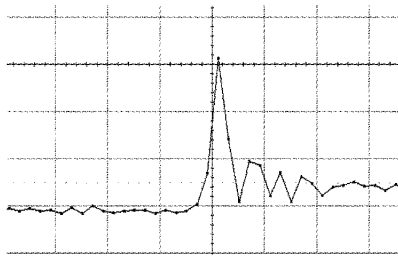


图 2 受激布里渊散射介质为 FC-75 时得到的斯托克斯波形(168 ps)

Fig. 2 SBS pulse profile (168 ps) when the SBS medium is FC-75

由于抽运光的入射,由噪声起源产生的斯托克斯光场和声波场相互作用,使抽运光的能量向斯托克斯光转移,抽运光能量越大,功率密度越高,转移越有效,因此抽运光能量越大,受激布里渊散射的能量反射率越大。受激布里渊散射的脉宽随抽运光能量增加而变大,这是因为对于一定长度的抽运光脉

### 3 实验结果

#### 3.1 抽运光能量对受激布里渊散射压缩的影响

图 1 是当抽运激光脉宽为 1.6 ns, 聚焦透镜的焦距为 30 cm, FC-75 为受激布里渊散射介质时,得到的斯托克斯(Stokes)光的脉宽[图 1(a)]和受激布里渊散射的能量反射率[图 1(b)]随抽运光能量变化的规律。从图 1 可见,斯托克斯脉宽随入射抽运激光能量的增加而增大,受激布里渊散射的能量反射率随入射抽运激光能量的增加而变大。在实验中,测量得到的最短的受激布里渊散射脉冲为 153 ps, 统计脉宽为  $177.6 \pm 11.9$  ps。最小脉宽小于 FC-75 的 1/4 的超声振荡周期(186 ps)。

冲,抽运光功率密度越大能够达到受激布里渊散射阈值光强的光脉冲时间长度越长。当最前面的受激布里渊散射的脉冲前沿从介质中出射,前沿放大不够充分,抽运光后沿的脉冲继续产生受激布里渊散射,其脉冲后沿被放大,脉宽加宽。因此抽运越强越有效,产生受激布里渊散射的时间越长,其脉冲长度随抽运光功率密度增加而增大。

#### 3.2 聚焦透镜焦距对受激布里渊散射压缩的影响

图 3 是抽运光能量为 9.8 mJ, 脉宽为 1.6 ns, FC-75 为受激布里渊散射介质时,受激布里渊散射脉宽[图 3(a)]和能量反射率[图 3(b)]随聚焦透镜焦距变化的规律。从图 3 可以看出,聚焦透镜的焦距越大,经受激布里渊散射压缩得到的斯托克斯光脉宽随之变小,焦距越大越有利于压缩。能量反射率随聚焦透镜焦距的变大先增大后减小,形成峰值。

在受激布里渊散射的产生过程中,其增益  $G = gIL$ ; 其中  $I$  代表抽运光功率密度,  $L$  代表受激布里渊散射产生过程中的相互作用长度,  $g$  代表介质增益系数。在入射能量相同的情况下,透镜焦距越短,

聚焦产生池中的焦点处的抽运光功率密度越大,但是短焦距透镜的瑞利长度相应变短。而在受激布里渊散射的产生过程中,斯托克斯光与抽运光的有效相互作用长度与透镜的瑞利长度有直接的关系,瑞利长度越大,斯托克斯光与抽运光的有效相互作用长度也越大。对受激布里渊散射增益  $G$  来讲,聚焦透镜的的焦距越大,  $I$  减小,  $L$  变大,这两个因素的影响使  $G$  在透镜焦距的变化过程中出现峰值。 $G$  的变化直接导致受激布里渊散射的能量反射率随聚焦透镜焦距变化时出现峰值。当透镜焦距较短时,在聚焦处的受激布里渊散射的功率越大,对于一定长

度的抽运光脉冲,抽运光功率密度越大能够达到受激布里渊散射阈值光强的光脉冲时间长度越长。而焦距短,瑞利长度短,产生的斯托克斯光的前沿没能充分地放大提取,抽运光能量便从介质中出射。抽运光后沿的脉冲继续产生受激布里渊散射,斯托克斯光后沿变宽,因此短焦距时,出射的受激布里渊散射的光脉宽较宽。相应地当透镜焦距较长时,对于一定长度的抽运光脉冲,抽运光功率密度越大能够达到受激布里渊散射阈值光强的光脉冲时间长度越长,而且斯托克斯光的前沿也能比短焦距的情况下得到有效的放大,脉宽得到更有效的压缩。

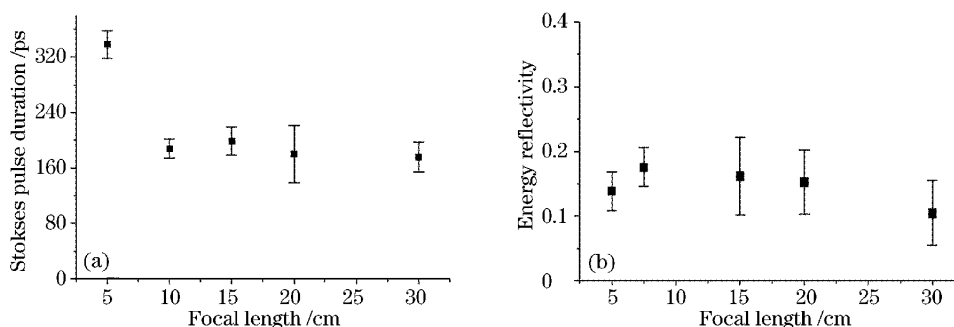


图3 斯托克斯光脉宽(a)和受激布里渊散射能量反射率(b)随聚焦透镜焦距变化的规律(FC-75)

Fig. 3 Stokes pulse duration (a) and SBS energy reflectivity (b) versus the focal length (FC-75)

## 4 结 论

通过分析研究抽运光能量、聚焦透镜焦距对受激布里渊散射压缩过程的影响,发现在聚焦透镜焦距为 30 cm 时,抽运光能量比较低(约 12 mJ)时得到脉宽最小且比较稳定的受激布里渊散射波形。在实验中,测量得到的最短的受激布里渊散射脉冲为 153 ps,统计脉宽为  $177.64 \pm 11.97$  ps,小于 1/4 的 FC-75 介质的振荡周期。

## 参 考 文 献

- 1 D. T. Hon. Pulse compression by stimulated Brillouin scattering [J]. *Opt. Lett.*, 1980, **5**(12): 516~518
- 2 A. Dement'ev, V. Girdauskas, O. Vrublevskaja. Numerical treatment of short laser pulse compression in transient stimulated Brillouin scattering [J]. *Nonlinear Analysis; Model and Control*, 2002, **7**(1): 3~29
- 3 D. Neshev, I. Velchev, W. A. Majewski *et al.*. SBS pulse

compression to 200 ps in compact single-cell setup [J]. *Appl. Phys. B*, 1999, **68**(4): 671~675

- 4 Iavor Velchev, D. Neshev, W. Hogervorst *et al.*. Pulse compression to the sub-photon lifetime region by half-cycle gain in transient stimulated Brillouin scattering [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1999, **35**(12): 1812~1816
- 5 Wang Chao, Lü Zhiwei, He Weiming. Picosecond pulse generation by stimulated Brillouin scattering compressor [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2003, **15**(12): 1184~1186
- 王 超, 吕志伟, 何伟明. 利用受激布里渊散射获得皮秒激光脉冲 [J]. *强激光与粒子束*, 2003, **15**(12): 1184~1186
- 6 Hidetsugu Yoshida, Villiam Kmetik, Hisanori Fujita *et al.*. Heavy fluorocarbon liquids for a phase-conjugated stimulated Brillouin scattering mirror [J]. *Appl. Opt.*, 1997, **36**(16): 3739~3744
- 7 He Weiming, Lü 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 骥 等. 窄脉冲抽运双池受激布里渊散射系统研究 [J]. *中国激光*, 1997, **A24**(1): 46~50