

文章编号: 0258-7025(2001)04-0304-03

用后向 SBS 压缩电光调 Q Cr:LiSAF 激光 脉冲宽度的研究

葛传文 张为俊 陈长水 王 沛 陶德杰 苏 红

(中国科学院安徽光机所激光光谱学开放实验室 合肥 230031)

提要 在抽运能量一定的条件下,采用强聚焦短焦距透镜提高焦点处的光功率密度,将 Cr:LiSAF 电光调 Q 激光器的输出脉冲聚焦于装有 CS₂ 介质的受激布里渊散射(SBS)池中,实现了宽线宽、多横模 Cr:LiSAF 激光脉冲的后向 SBS,并观察到对激光脉宽的有效压缩。

关键词 宽线宽, Cr:LiSAF 激光, 受激布里渊散射, 脉宽压缩

中图分类号 TN 248.1; O 437.2 **文献标识码** A

Studies on the Compression of Electrooptical Q-switched Cr:LiSAF Laser Pulse Width by SBS Phase Conjugator

GE Chuan-wen ZHANG Wei-jun CHEN Chang-shui WANG Pei TAO De-jie SU Hong

(Laser Spectroscopy Laboratory, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics,
The Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031)

Abstract Under the condition of given pump laser energy, using a lens with short focal length to focus the Cr:LiSAF electrooptical Q-switched laser pulses into CS₂ SBS-cell, the backward SBS scattering of broad-band and multi-transverse-mode Cr:LiSAF laser pulses is realized, and the effective pulse width's compression is observed.

Key words broad-band, Cr:LiSAF laser, stimulated Brillouin scattering(SBS), pulse width's compression

1 引 言

Cr:LiSAF 是新型近红外、宽调谐固体激光晶体,其调谐范围从 760 nm 到 1000 nm 附近,倍频处于蓝绿波段,它具有很长的上激光能级寿命(67 μs)以及两个宽的、红移的可见吸收带^[1],可以方便有效地使用闪光灯或半导体激光作抽运源^[2,3],非常有利于超短脉冲的产生及放大。但迄今为止,这种激光器的输出一般都是宽线宽、多横模激光束,光束质量较差,不利于通过非线性过程(如谐波、光学参量振荡等)对其进行有效的波长扩展,极大地限制了它的应用范围。如果能利用受激布里渊散射(SBS)相位共轭技术压缩 Cr:LiSAF 激光脉宽和线宽,改善其光束质量,再结合非线性光学谐波技术,有望得到高光束质量宽调谐的近红外、蓝、紫光波段的窄脉冲激光输出。受激布里渊散射相位共轭镜可以放在激光腔

内构成相位共轭谐振腔,直接产生调 Q 窄脉冲输出,也可将激光器的电光调 Q 输出脉冲聚焦于腔外的 SBS 池中,在腔外做进一步的脉冲压缩和光束质量的改善。目前人们已将相位共轭腔、MOPA(master oscillation and power amplifier)系统等方法成功地应用于 Nd:YAG 等窄线宽激光系统,以及 XeCl^[4~6]、Ti:sapphire^[7]等宽线宽激光系统中,获得了窄脉宽、高功率、近衍射极限的激光输出。

我们用强聚焦透镜将 Cr:LiSAF 电光调 Q 激光器的输出脉冲聚焦于腔外的 SBS 池中,实现了宽线宽、多横模 Cr:LiSAF 激光脉冲的后向 SBS,并观察到对激光脉宽的有效压缩。

2 宽线宽、多横模光 SBS 的实现条件

理论上说,高效率 SBS 的产生一般要求抽运光为窄线宽(单纵模)、单横模激光,但实际应用中,这种理想的条件难以满足,许多高功率或高能量激光

都是多横模、宽线宽(或多纵模)光束。多横模是指激光束中除了零阶基横模之外,还有一些高阶横模存在,这种激光束的发散角大,光束质量差,不易聚成理想焦点,降低了焦点处的激光功率密度;宽线宽是指抽运光的线宽超过SBS介质中受激声子的线宽或者抽运光的脉宽短于受激声子的寿命^[8]。本文研究的情况属于前者,即抽运光的线宽很宽,相干长度很小,SBS过程的有效相互作用长度小,增益小而阈值强度很大。文献^[9]表明,在高强度激光抽运条件下,宽线宽多横模对SBS的峰值反射率、保真度的影响不大。

设抽运激光的相干长度为 l_c ,它与激光线宽成反比,激光束经透镜聚焦后,与介质的相互作用长度 l_i ,一般在实验中取为瑞利长度 z_R 的5倍^[10,11]

$$l_i \approx 5z_R = \frac{5\pi w_0^2}{\lambda M^2} \quad (1)$$

$$E_{th} = \frac{G^2 \pi w_0^2 \tau_B}{gl_e} \quad (2)$$

$$w_0 = \frac{f\lambda M^2}{\pi d} \quad (3)$$

式中增益指数 G 一般取20~30, g 为介质的稳态SBS增益系数, w_0 为聚焦区域的束腰半径, M^2 为混合模光束质量系数^[12], l_e 为实际的有效作用长度, τ_B 为介质的声子寿命, d 为聚焦前抽运光束的束径。

当 $l_c > l_i$ 时,实际的有效作用长度 l_e 就等于 l_i ,由(1)(2)式可得

$$E_{th} = \frac{G^2 \pi w_0^2 \tau_B}{gl_i} = \frac{G^2 \tau_B \lambda M^2}{5g} \quad (4)$$

可见,对于有很长相干长度的窄线宽抽运激光来说,SBS阈值能量 E_{th} 受聚焦透镜焦距 f 的影响不明显。

当 $l_c < l_i$ 时,实际的有效作用长度 l_e 就只能取抽运光的相干长度 l_c ,因为只有相干长度 l_c 的范围内,抽运光才能与SBS介质发生强烈的相互作用。所以由(1)~(3)式可得

$$E_{th} = \frac{G^2 \pi w_0^2 \tau_B}{gl_c} = \frac{G^2 \lambda^2 (M^2) \tau_B}{gl_c \pi d^2} \cdot f^2 \quad (5)$$

宽线宽抽运激光具有很短的相干长度,一般都是 $l_c < l_i$,因此其阈值能量 E_{th} 可用(5)式计算,属于瞬态的SBS过程。为了降低宽线宽SBS的阈值能量,可以采用短焦距(减小 f)聚焦透镜,增大抽运光束的束径 d ,用光阑滤除抽运光束中的高阶横模以减小 M^2 值,选用稳态布里渊增益系数 g 较大、声子寿命 τ_B 较小的SBS介质等途径。

3 实验装置与结果

3.1 实验装置

在用输出能量不是特别高的Cr:LiSAF激光抽运时,我们采用强聚焦的短焦距透镜提高焦点处的光功率密度,使其达到或超过所要求的高阈值强度,实现Cr:LiSAF激光的SBS。实验装置如图1所示,氙灯抽运Cr:LiSAF电光调Q激光器,由于腔内没有放置色散棱镜、标准具以及光栅等压缩线宽的元件,输出激光的线宽约为5~10nm,相干长度约为0.1nm左右^[2]。输出激光经过一分束镜,透过部分经焦距 $f = 2.5$ cm的强聚焦透镜后,聚焦点位于SBS散射介质池内很靠近前窗片的位置,池内装满SBS增益 g 很大的CS₂介质,池的两个窗片都镀了800~900nm的单面增透膜,产生后向SBS光反向经过分束镜,分出部分光再经反射镜反射至强流管或PIN管光敏面,脉冲光波形被TDS520数字示波器采集并存储于软盘。激光器输出端腔镜与分束镜之间的距离足够大,以减少后向SBS光对激光谐振腔的不利影响。

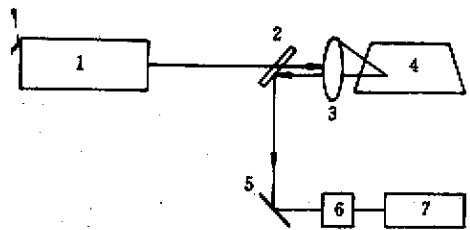


图1 实验装置示意图

1:Cr:LiSAF电光调Q激光器 2:分束镜 3:聚焦透镜 4:散射介质池 5:反射镜 6:强流光电管或PIN管 7:TDS520示波器

Fig.1 Schematic of the experiment

1:Cr:LiSAF Q-switched laser; 2:beam splitter; 3:focusing lens; 4:scatter-medium cell; 5:mirror; 6:photo-electric detector; 7:TDS520 oscilloscope

3.2 实验结果

Cr:LiSAF电光调Q激光器输出脉冲的宽度随电源抽运电压的增大而减小^[13],如图2所示,当抽运电压为700V时,输出激光脉宽为97ns,能量约为80mJ,利用强流光电管可偶尔地观察到很弱的SBS光脉冲信号,脉宽30ns左右,当抽运电压升到800V时,输出激光脉宽为81ns左右,能量约为135mJ,利用PIN管就能观察到SBS光脉冲信号,脉宽为25ns左右,出现SBS信号的次数较多;当抽运电压升到950V时,输出激光脉宽为39.5ns左右,能量约为

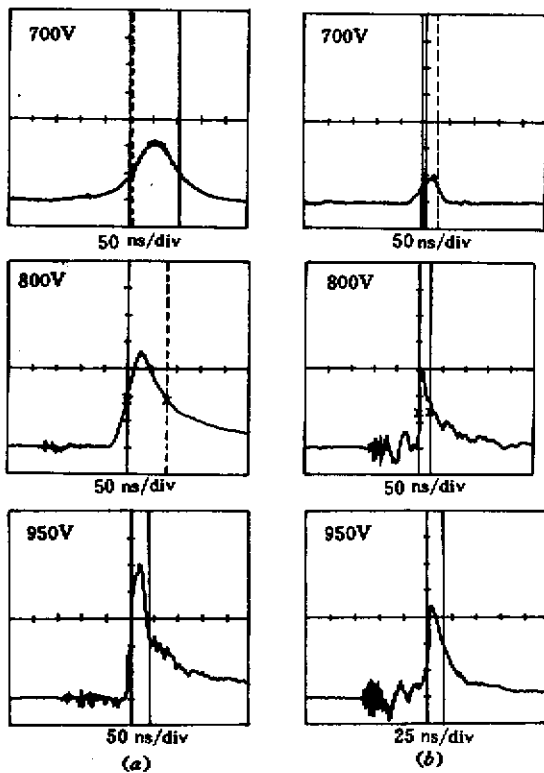


图2 700 V 800 V 950 V 抽运电压下的调Q激光脉冲(a)及其相应的SBS脉冲(b)

Fig.2 Q-switched pulses(a) and their SBS pulses(b) at 700 V, 800 V and 950 V pump voltage

175 mJ 利用 PIN 管观察到 SBS 光脉冲信号,脉宽为 16.5 ns 左右,出现 SBS 信号的次数更多。实验中发现 SBS 信号的产生还不太稳定,这可能是因为在高能量密度的宽线宽激光作用下,CS₂ 介质中的各种非线性光学效应(如受激拉曼散射、多光子离解、光学击穿等)严重影响了 SBS 过程^[8],使后向 SBS 脉冲不稳定。尽管如此,我们仍能肯定地说,当宽线宽 Cr:LiSAF 调 Q 激光的能量足够高时,SBS 能产生利用 SBS 确实能有效地压缩宽线宽 Cr:LiSAF 调 Q 激光脉宽,压缩比率约 2~3 倍。

进一步的实验研究正在继续,随着实验装置的

改进,利用 SBS 镜构成相位共轭谐振腔,直接产生调 Q 窄脉冲输出将会实现,将电光调 Q 输出脉冲聚焦于腔外的 SBS 池中,在腔外进行更有效的脉冲压缩和光束质量的改善,产生高质量的种子脉冲,再经放大级而形成高能量高光束质量的脉冲光束。

参 考 文 献

- 1 S. A. Payne, L. L. Chase, L. K. Smith *et al.*. Laser performance of LiSrAlF₆:Cr³⁺. *J. Appl. Phys.*, 1989, **66** (3):1051~1056
- 2 M. Stalder, B. H. T. Chai, M. Bass. Flashlamp pumped Cr:LiSrAlF₆ laser. *Appl. Phys. Lett.*, 1991, **58**(3):216~218
- 3 R. Scheps, J. F. Myers, H. B. Serreze *et al.*. Diode pumped Cr:LiSrAlF₆ laser. *Opt. Lett.*, 1991, **16**(11):820~822
- 4 M. R. Perrone, Y. B. Yao. Phase conjugated XeCl laser resonator. *Opt. Lett.*, 1994, **19**(14):1052~1054
- 5 D. Berger, H. J. Eichler, S. Baudach *et al.*. Beam quality of self starting SBS resonators for excimer lasers. *Proc. SPIE—Int. Soc. Opt. Eng. (USA)*, 1998, **3267**:287~294
- 6 M. R. Perrone, Y. B. Yao. On the improvement of broadband stimulated Brillouin scattering reflectors. *Appl. Phys. Lett.*, 1994, **64**(1):19~21
- 7 N. W. Hopps, M. R. Dickinson, T. A. King. Enhanced performance flashlamp pumped Ti:sapphire laser with phase conjugate resonator. *OSA Trends in Optics and Photonics on Advanced Solid State Laser (Topical Meeting)*, 1996, **1**:109~116
- 8 G. C. Valley. A review of stimulated Brillouin scattering excited with a broad-band pump laser. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1986, **QE-22**(5):704~712
- 9 M. A. O'Key, M. R. Osborne. Broadband stimulated Brillouin scattering. *Opt. Comm.*, 1992, **89**(2,3,4):269~275
- 10 J. Munch, R. F. Wuerker, M. J. LeFebvre. Interaction length for optical phase conjugation by stimulated Brillouin scattering: an experimental investigation. *Appl. Opt.*, 1989, **28**(15):3099~3105
- 11 H. J. Eichler, R. König, H. J. Patzold *et al.*. SBS mirrors for XeCl lasers with a broad spectrum. *Appl. Phys. B*, 1995, **61**:73~80
- 12 T. F. Johnston, Jr. *M*² concept characterizes beam quality. *Laser Focus World*, 1990, **26**(5):173~183
- 13 Chen Changshui, Zhao Ke, Wang Peiling *et al.*. Generation of dual wavelength and dual pulse in a Q-switched Cr:LiSAF laser. *Chinese J. Lasers (中国激光)*, 2001, **A28**(4):298~300 (in Chinese)