

文章编号 : 0253-2239(2001)12-1454-04

频带色散法改善宽线宽激光受激布里渊 散射效果的实验研究*

葛传文 张为俊 陈长水 王 沛 苏 红 汪 震 杭 寅

(中国科学院安徽光学精密机械研究所激光光谱学开放实验室, 合肥 230031)

摘要: 利用频带色散法, 让宽线宽、多横模电光调 Q Cr:LiSAF 激光输出脉冲经过多个色散棱镜, 频带被色散后, 再聚焦到装有 CS_2 散射介质的池中, 产生后向受激布里渊散射, 脉宽的压缩率较大, 约为 5 倍。与无色散棱镜情况相比, 阈值能量有所降低, 并能很有效地改善抽运激光的光束质量。

关键词: 频带色散法; 宽线宽 Cr:LiSAF 激光; 受激布里渊散射; 脉宽压缩; 高光束质量

中图分类号: O437.2 文献标识码: A

1 引 言

近年来, 宽调谐 Cr:LiSAF 固体激光器在大气环境监测、水下通讯等领域呈现出广泛的应用前景。但氙灯抽运的调 Q Cr:LiSAF 可调谐激光器的输出一般都是宽线宽激光束, 而且由于 Cr:LiSAF 晶体硬度低、易被损伤^[1], 晶体棒内常常会有损伤点或不均匀热应力区, 使输出激光的光束质量较差, 一般是明显的多横模结构^[2], 不利于通过非线性光学方法(如谐波、参变振荡等)对其进行波长扩展^[3]。如果能利用受激布里渊散射(SBS)相位共轭技术有效地改善其光束质量, 压缩其脉宽和线宽, 再利用光学谐波或参变振荡方法就可能得到高光束质量的红外、蓝、紫等波段的窄脉冲激光光源, 大大地拓展 Cr:LiSAF 激光器的应用范围。

对红宝石、Nd:YAG 等窄线宽激光来说, 其受激布里渊散射的阈值较低, 容易产生, 已得到人们广泛深入的研究, 宽线宽激光的受激布里渊散射阈值较高, 若不采取适当的措施是难以产生的, 这是因为宽线宽激光脉冲中各频率成分光波在散射介质里的传播速度不同, 相干长度短, 激光脉冲的整体波前畸变严重, 不易形成规则而致密的密度光栅, 受激布里渊散射难以产生。如果仅仅增大抽运激光的能量, 利用短焦距透镜聚焦以增大焦点区域的激光功率密度, 往往会引起受激拉曼散射、多光子吸收以及光学击穿等非线性光学过程^[4,5], 严重影响了受激布里

渊散射的相位共轭效果。Perrone 等^[6]在受激布里渊散射相位共轭镜前放一反射式光栅, 将自由运转的宽线宽 XeCl 激光脉冲以 40° 角入射光栅, 让光栅的一级衍射光经透镜聚焦到介质池中, 有效地降低了宽线宽 XeCl 激光的受激布里渊散射阈值, 提高了共轭反射率, 更好地改善了共轭光的光束质量。

在我们的实验中, 首先让电光调 Q 的宽线宽 Cr:LiSAF 激光脉冲通过五个色散棱镜, 激光脉冲的各频率成分被色散开来, 再经透镜聚焦到受激布里渊散射介质池中。由于各频率成分相对独立, 相互影响较弱, 更好地保证了高强度的频率成分在不受低强度频率成分干扰的条件下, 优先以较低的阈值产生受激布里渊散射。我们称此方法为频带色散法, 实验结果已初步证实了它的有效性。

2 实验装置与结果

实验装置如图 1 所示。在激光腔内无标准具、棱镜以及双折射滤光片等色散元件的条件下, 氙灯抽运、电光调 Q Cr:LiSAF 激光器的输出脉冲的线宽很宽, 用法布里-珀罗标准具测得其线宽约为 5 nm, 与文献 [7] 的值相近。脉冲宽度随电源抽运电压的增大有明显的减小, 从 750 V 时的 180 ns 减小到 900 V 时的 60 ns 左右, 脉冲幅度增大。激光器的阈值抽运电压约为 750 V, 在此阈值附近调 Q 脉冲的输出能量低且很不稳定。

图 2 中给出了 800 V、850 V 及 900 V 时的调 Q 脉冲波形, 它们的脉宽(FWHM)分别约为 100 ns、80 ns、60 ns。实验中, Cr:LiSAF 晶体棒的

* 国家科委 863 高科技计划资助课题。

内部已有局部损伤区, 所以其输出光斑的空间形状较差。

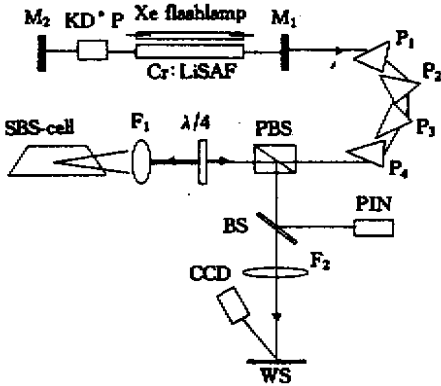


Fig. 1 Schematic of the experimental setup. M_1, M_2 : resonator mirrors; P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 : disperse prisms; PBS: polarizing beam-splitter; $\lambda/4$: quarter wave plate; SBS-cell: SBS medium cell; BS: glass beam-splitter; WS: wood screen; PIN: fast photodiode; CCD: imaging camera; F_1, F_2 : lens ($f_1 = 2.5 \text{ cm}, f_2 = 25 \text{ cm}$)

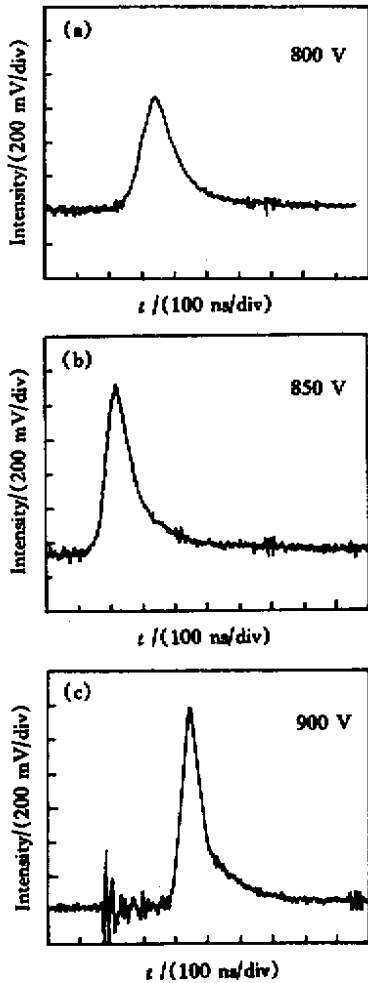


Fig. 2 Electro-optical Q -switched Cr:LiSAF laser's pulses at different pump voltages

激光脉冲打在灰白色相纸上得到的近场光斑如

图 3(a) 所示, 通过五个色散棱镜 P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 (图中只画了四个棱镜) 后变成如图 3(b) 所示的沿水平方向的扁长形光斑 (20 mm \times 5 mm), 其频率成分被展开, 再经偏振分光棱镜 (PBS) 和四分之一波片组成的光隔离器后, 由焦距为 2.5 cm 的透镜 F_1 聚焦到盛有 CS_2 介质的受激布里渊散射池中。用中国科学院物理研究所研制的 R-938 型能量计分别测量调 Q Cr:LiSAF 激光器输出脉冲的能量 E_1 , 经过五个色散棱镜、偏振分光棱镜、四分之一波片后的能量 E_2 , 结果如表 1 所示。由于激光器的输出脉冲能量不稳定, 表 1 中的 E_1, E_2 值均为 50 多个脉冲能量的平均值。从表中可以看出, 经过色散棱镜、偏振分光棱镜以及四分之一波片后, 激光束的能量损失近一半。

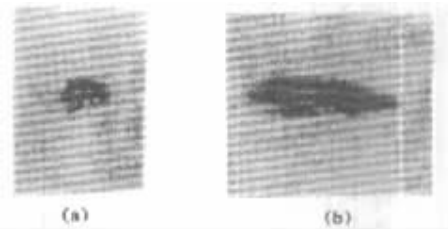


Fig. 3 Q -switched Cr:LiSAF laser's near-field spot (a) and the flat-long spot (b) after passing through five dispersive prisms

Table 1. The output energy E_1 of Q -switched Cr:LiSAF laser and the energy E_2 after passing through the $P_1 \sim P_5, \text{PBS}$ and $\lambda/4$ at different pump voltages

pump voltage/V	E_1/mJ	E_2/mJ
750	7.5	3.8
775	22.5	14.5
800	35.0	21.5
825	64.5	30.5
850	89.8	45.6
875	122.0	61.5
900	168.0	76.5

当聚焦到 CS_2 介质池中的激光功率密度达到阈值时, 产生的后向受激布里渊散射脉冲反向经过四分之一波片和偏振分光棱镜, 并从其侧面输出, 由玻璃薄片 (BS) 分束, 小部分光被反射至快响应光电二极管 (PIN) 用于采集波形, 透射光由焦距为 25 cm、通光口径为 55 mm 的透镜聚焦到薄木板屏, 屏板上的焦斑大小整体反映了后向受激布里渊散射光束质量的好坏, 焦斑越小, 光束可聚焦性越好, 光束质量越高^[8]。用 CCD 相机从侧边摄取屏板上的受激布里渊散射光的焦斑。

光电二极管采集到的后向受激布里渊散射光的

波形示于图 4,在抽运电压为 800 V、850 V、900 V 时都产生了明显的后向受激布里渊散射。受激布里渊散射脉冲的幅度随抽运电压的升高而增大,但脉宽(FWHM)相差较小,都约为 15 ns 左右。由于后向受激布里渊散射光的强度较弱,图 4 的每个波形图中较强的主脉冲为受激布里渊散射光,而其余的小脉冲可能都是噪声。与图 2 所示的激光输出波形相比较,脉宽的压缩率约为 5 倍。实验中还观察到,抽运电压 775 V 附近时,偶尔可以产生后向受激布里渊散射,可见其阈值能量约为 15 mJ。若不经透镜进行频带色散而直接由焦距为 2.5 cm 的透镜聚焦到受激布里渊散射介质时,产生受激布里渊散射的阈值能量约为 30 mJ,由此表明,频带色散法可在一定程度上降低受激布里渊散射的阈值能量,有效提高脉宽压缩率,改善宽线宽 Cr:LiSAF 激光受激布里渊散射效果。

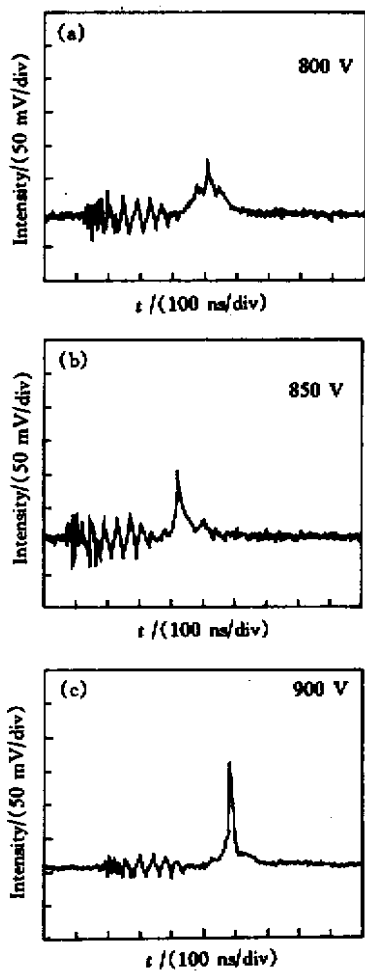


Fig.4 Backward stimulated Brillouin scattering's pulses at different pump voltages

用 CCD 相机摄取 800 V、850 V、900 V 抽运电压时后向受激布里渊散射光的焦斑的三维强度分布

如图 5 所示。由锐利的三维强度分布图可知,后向受激布里渊散射光远场焦斑的光强分布非常集中,具有很优良的光束质量,与图 3 所示的输出光斑质量相比,光束质量的改善是明显的。

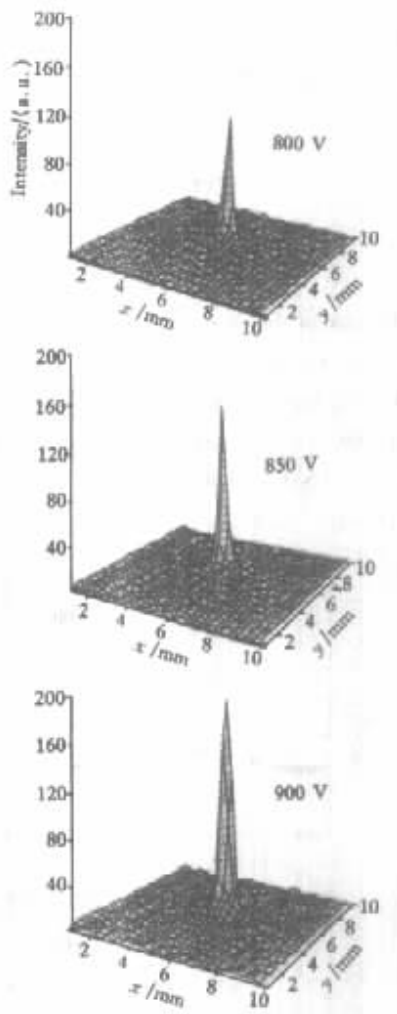


Fig.5 Three dimensional intensity profile of backward stimulated Brillouin scattering's spots on focal plane of lens F_2 at different pump voltages

3 实验结果的分析与讨论

实际的受激布里渊散射实验中,由于受激散射的阈值效应^[9],在抽运激光能量不很高的条件下,后向受激布里渊散射往往不能完全地共轭再现抽运激光中的所有横模、纵模结构,只能再现超过受激散射阈值强度的强横模、强纵模成分,所以具有一定的纵横模选择能力。频带色散法虽能使聚焦到介质池中的宽线宽抽运激光的各个频率成分相对独立,减小了它们之间的相互影响,让各频率成分尽可能地形成窄线宽受激布里渊散射,以降低其阈值能量,但在总的抽运激光能量不高的情况下,各频率

成分的能量也相应较低,按抽运激光的光谱强度分布,仍只有部分相对较强的频率成分可达到阈值而产生后向受激布里渊散射,因此,总的受激布里渊散射共轭反射率较低。在我们的实验中,利用五个棱镜将宽线宽 Cr:LiSAF 激光脉冲的纵横模结构色散开来,再聚焦到 CS₂ 介质中,由于激光能量在传输光路中损失较大,致使到达介质池中的抽运能量已不很强,其产生的后向受激布里渊散射光也只是共轭再现了 Cr:LiSAF 激光中较强的纵横模成分,阈值强度较高的高阶横模以及弱的纵模成分已被滤除,所以共轭反射率很低,但光束质量却有所改善。

为了提高共轭反射率,有必要增加抽运激光的总能量,使所有频率成分都有足够的能量达到阈值而产生受激布里渊散射光。这时,如果不用频带色散法横向展开各频率成分,而是把高强度宽线宽抽运激光束直接强聚焦到介质池中,就会引起各种非线性光学过程,严重影响受激布里渊散射过程,破坏其相位共轭效果。可见频带色散法在改善高功率宽频带受激布里渊散射的相位共轭效果方面可能更有其优越性。

结论 利用频带色散法,让多横模、宽线宽电光调 Q Cr:LiSAF 激光输出脉冲经过多个色散棱镜,频带被色散后,再聚焦到装有 CS₂ 散射介质的池中产生后向受激布里渊散射,能把 800 V、850 V 及 900 V 抽运电压时分别为 100 ns、80 ns、60 ns 脉宽 (FWHM) 的调 Q 抽运脉冲压缩到 15 ns 左右,压缩

率约为 5 倍;受激布里渊散射的阈值能量约为 15 mJ,与无色散棱镜时的 30 mJ 相比,阈值能量有所降低,在总抽运激光能量不很高的情况下,受激布里渊散射光远场焦斑的光强分布非常集中,具有很优良的光束质量。

参 考 文 献

- [1] 洪伟,贺渝龙,是度芳. 窄脉冲宽调谐调 Q Cr:LiSAF 激光器及其应用研究. 中国激光, 2000, **A27**(4):293~297
- [2] Zenie H H, Isyanova Y. High-energy, high-efficiency harmonic generation from a Cr:LiSrAlF₆ laser system. *Opt. Lett.*, 1995, **20**(2):169~171
- [3] 姚建铨. 非线性光学频率变换及激光调谐技术. 北京: 科学出版社, 1995. 96~108
- [4] Yashin V E, Kryzhanovskii V I, Serebryakov V A. Reversal of the wavefront of nanosecond and subnanosecond light pulses in stimulated Brillouin scattering. *Sov. J. Quant. Electron.*, 1982, **12**(8):1086~1088
- [5] Efimkov V F, Zubarev I G, Kotov A V et al.. Investigation of systems for obtaining short high-power pulses by wavefront reversal of the radiation in a stimulated Brillouin scattering mirror. *Sov. J. Quant. Electron.*, 1980, **10**(2):211~214
- [6] Perrone M R, Yao Y B. On the improvement of broadband stimulated Brillouin scattering reflectors. *Appl. Phys. Lett.*, 1994, **64**(1):19~21
- [7] Stalder M, Chai B H T, Bass M. Flashlamp pumped Cr:LiSrAlF₆ laser. *Appl. Phys. Lett.*, 1991, **58**(3):216~218
- [8] 杜祥瑞. 实际强激光远场靶面上光束质量的评价因素. 中国激光, 1997, **A24**(4):327~332
- [9] 陈军. 光学位相共轭及其应用. 北京: 科学出版社, 1999. 100~102

Experimental Investigation of Broadband Laser's SBS Based on Frequency-Band-Dispersing Method

Ge Chuanwen Zhang Weijun Chen Changshui Wang Pei Su Hong
Wang Zhen Hang Yin

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

(Received 4 July 2000; revised 20 November 2000)

Abstract: With a broadband multimode electro-optically Q-switched Cr:LiSAF laser pulse passing through several dispersion prisms, its frequency band is dispersed. Then by focusing it into CS₂ cell the backward stimulated Brillouin scattering is produced. Experimental results show that in comparison with case of no-dispersing prism frequency-band-dispersing method can efficiently reduce the broadband SBS energy threshold, raise pulsewidth compression ratio by more than 5 times, and improve beam quality of pump light.

Key words: frequency-band-dispersing method; broadband Cr:LiSAF laser; stimulated Brillouin scattering (SBS); pulsewidth compression; high beam quality