

文章编号: 0258-7025(2001)08-0685-04

利用受激布里渊散射提高固体激光系统 光束质量的实验研究*

于欣 鞠有伦 王月珠 王骥 陈德应

(可调谐激光技术国家级重点实验室, 哈尔滨工业大学光电子技术研究所 哈尔滨 150001)

张世文 唐晓军 孙丽娜 杜涛

(华北光电技术研究所 北京 100015)

提要 在Nd:YAG振-放系统上采用受激布里渊散射后向放大方法补偿了放大器造成的波前畸变, 实现了双程放大, 从而改善了光束质量。获得重复频率为10 Hz, SBS反射率达到70%, SBS后向放大倍数为2.5倍的光强空间分布均匀的稳定输出。

关键词 受激布里渊散射, 相位共轭镜, 脉冲压缩, 光束质量

中图分类号 O 437.2; TN 248.1[†] 3 文献标识码 A

Experimental Investigation for Improving the Solid State Laser Beam Quality with SBS

YU Xin JU You-lun WANG Yue-zhu WANG Qi CHEN De-ying

(National Key Laboratory of Tunable Laser Technology, Institute of Opto-electronics,
Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

ZHANG Shi-wen TANG Xiao-jun SUN Li-na DU Tao

(North China Research Institute of Electro-Optics, Beijing 100015)

Abstract By using the SBS PCM, a double-way amplified beam with improved beam quality was obtained. The obtained laser frequency is 10 Hz, SBS reflectivity is 70%, and the amplifying coefficient of back-SBS is 2.5, as well as a stable output with symmetric distribution was got.

Keyword: Stimulated Brillouin Scattering (SBS), phase conjugate mirror (PCM), pulse compression, beam quality

Key words

1 引言

近些年来, 由于工业材料加工、激光医学和惯性约束聚变(ICF)等应用研究的推动, 固体激光和相关单元技术的研究进展非常迅速。其中发展高光束质量的固体激光系统一直是实际应用和研究者所追求的目标。而获得高光束质量的方法之一是应用受激布里渊散射(SBS)相位共轭技术。由于SBS具有相位复共轭、脉冲压缩、频移量小、转换效率高和后向散射等特点, 能够实时有效地补偿工作物质的热透

镜效应和光学元件所造成的光束相位畸变, 从而改善光束质量, 获得空间强度分布均匀的近衍射极限的优质光束输出。SBS系统结构简单, 可以大大减小激光器的规模, 降低造价, 大幅度提高激光系统的性能价格比。国外在Nd:YALO激光系统上进行了SBS后向放大的实验研究^[1,2]。日本高阳激光聚变电厂的概念性设计中采用SBS和法拉第旋光器补偿热聚焦和双折射效应, 用于激光聚变驱动器的激光二极管抽运固体激光器中实现高平均功率、高效率 and 优质光束质量的输出^[3]。国内也在脉冲压缩等方面进行了研究^[4,5]。本文介绍了将SBS用于Nd:YAG激光振-放系统中, 研究了系统输出的光束特

* 哈尔滨工业大学校基金(HIT2000.35)资助项目。

收稿日期: 2000-10-18; 收到修改稿日期: 2001-03-19

性, 获得了输出能量为 260 mJ, 重复频率为 10 Hz, 脉冲宽度(FWHM)为 5 ns 的强度空间分布均匀的光束稳定输出。

2 实验装置

实验装置如图 1 所示。采用 SBS 后向放大结构, 用于消除放大器激活介质在高抽运功率、高重复频率时产生的热透镜效应以及其他光学元件等因素所引起的波前畸变。图 1 中 YAG 振荡级由全反射镜 M_1 和部分反射镜 M_2 ($R = 8\%$) 构成平行平面腔, Nd: YAG1 为激活介质, Q 开关分别选用 BDN 染料

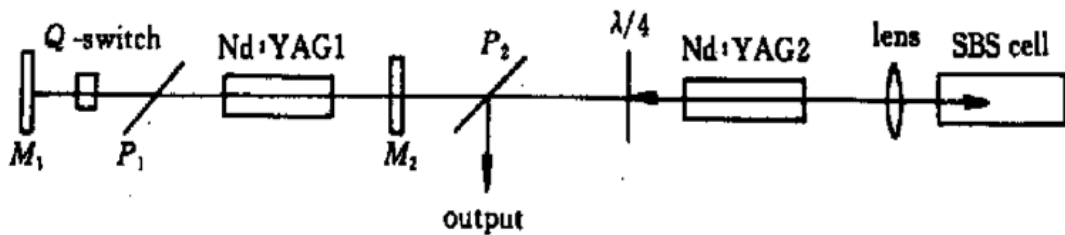


图 1 SBS 后向放大实验装置示意图

Fig. 1 Scheme of back-amplifying SBS

3 实验结果与讨论

描述 SBS 过程的基本方程主要有三个: 连续性方程、纳维-斯托克斯方程、能量输运方程。SBS 散射光的各种特性可以通过求解以上三个方程得到。当激光脉冲宽度远大于声子寿命时, 可以得到稳态解。SBS 反射率 R 可以用(1) 式表示^[6]

$$\frac{G}{G_{th}} = \frac{G_{th}^{-1} \ln R + 1}{1 - R} \quad (1)$$

式中 $G = gI_L L$ 为斯托克斯光的指数增益, G_{th} 为阈值增益, 对大部分材料此值约在 25~30。当 $G < G_{th}$ 时几乎没有斯托克斯光产生, 当入射光强稍稍超过阈值光强时, 反射率就迅速增长, 当 $G > G_{th}$ 时反射率渐渐接近于 100%, 显饱和趋势。

首先我们在实验中采用 BDN 染料片调 Q , YAG 激光器的重复频率为 5 Hz, 脉冲宽度为 13.6 ns, 在腔中加入 2 mm 小孔光阑保证了振荡级输出光束具有好的横模。在 SBS 系统中透镜焦距为 300 mm, SBS 池长 700 mm。用 ED-500 能量计和 TDS684A 示波器测量了不同输入光能量下的 SBS 反射率和后向放大的输出能量。实验结果表明, 当抽运能量增加时 SBS 反射率和后向放大输出能量都在增加, 并有饱和趋势(图 2), 这与(1) 式所描述的趋势一致。同

($T = 36.5\%$) 和 KD^*P 电光晶体。 P_1, P_2 为偏振片, 偏振片 P_2 和 $\lambda/4$ 波片组成隔离器, 防止 SBS 后向散射放大光回到 YAG 振荡级。Nd: YAG2 作为放大器, 由透镜和装有 SBS 介质的池子组成 SBS 系统。对于 SBS 而言抽运光的脉冲宽度在 10 ns 以上, CCL_4 的声子寿命约为 1 ns, 相对于抽运光脉宽来说要小得多, 因此选用液体 CCL_4 作为 SBS 介质保证了该装置输出的相位共轭波有稳定的保真度。SBS 相位共轭光经放大器放大后从第二个偏振片 (P_2) 耦合输出, 形成 SBS 后向放大光。

时还发现 SBS 对脉冲的压缩作用, 利用 PIN 管(响应时间为 0.1 ns) 和 TDS684A 示波器(带宽 2 GHz) 测量得到 SBS 后向放大输出的脉冲宽度为 848 ps, 脉冲曲线光滑且前沿较陡, 这一现象与 Hon 的关于 SBS 压缩脉宽的理论分析^[7] 相符。运用 CCD, 数据采集卡和计算机自行编制程序, 分别采集了抽运光(在放大级与透镜之间) 和 SBS 后向放大输出的光斑, 分析了它们的光强空间分布。从图 3 明显看出由于 SBS 的相位共轭效应补偿了放大级和光学元件所造成的抽运光的畸变, 使得空间分布不均匀的抽运光经 SBS 后向放大后变得分布均匀, 同时有效地抑制了 ASE 成分, 且输出稳定(优于 5%)。

为进一步说明 SBS 对光束质量的显著改善作用, 我们采用美国 Spiricon 公司生产的光束质量分析仪(Model M^2-101) 分别测量了抽运光和 SBS 后向放大光及利用普通全反镜代替 SBS 系统的后向放大光的 M^2 值和发散角, 如图 4 所示。测得抽运光的 $M_x^2 = 2.13, M_y^2 = 2.08$, 发散角 $\theta_x = 2.194$ mrad, $\theta_y = 1.817$ mrad, SBS 后向放大光的 $M_x^2 = 2.22, M_y^2 = 2.18$, 发散角 $\theta_x = 1.178$ mrad, $\theta_y = 1.172$ mrad。利用普通全反镜代替 SBS 系统获得的后向放大光的 $M_x^2 = 4.54, M_y^2 = 4.00$, 发散角 $\theta_x = 4.805$ mrad, $\theta_y = 4.405$ mrad。比较以上结果, 发

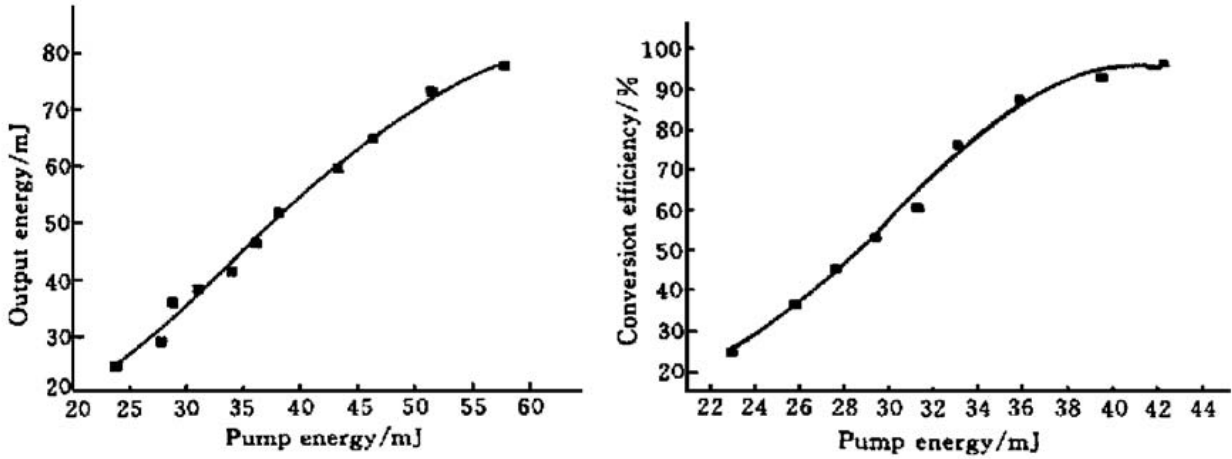


图 2 输出能量, SBS 反射率与抽运能量的关系曲线

Fig. 2 Output energy and conversion efficiency versus pump energy

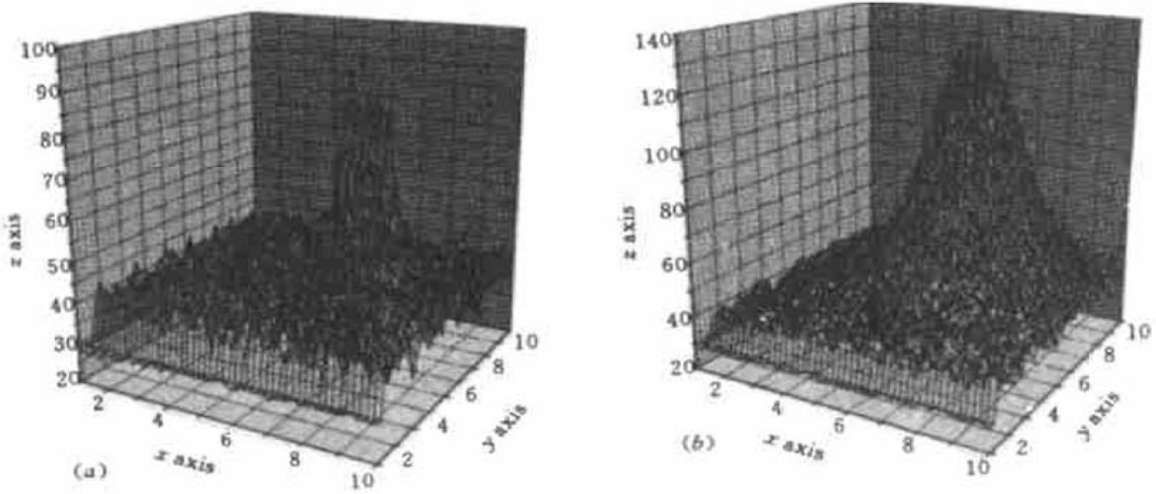


图 3 抽运光 (a) 和 SBS 后向放大光 (b) 强度空间分布图

Fig. 3 Spacial distribution of pumping beam (a) and back-amplifying SBS (b)

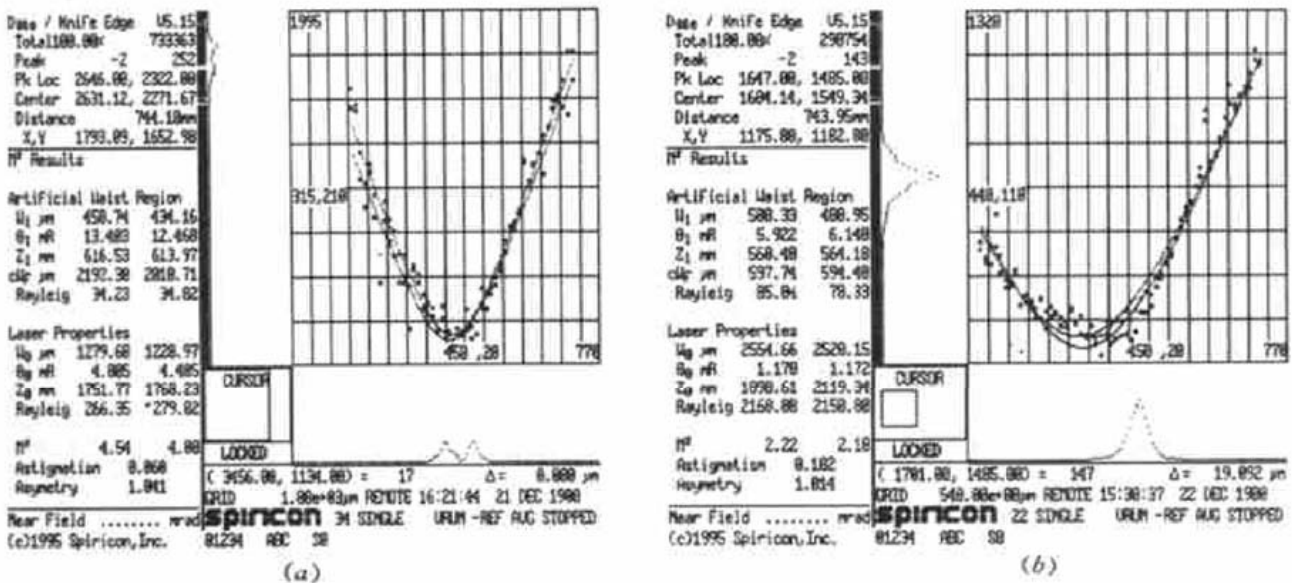


图 4 利用普通全反镜 (a) 和 SBS 相位共轭镜 (b) 获得的放大光光束质量

Fig. 4 Double-way amplified beam quality with normal full-reflector mirror (a) and SBS PCM (b)

现采用普通全反镜获得的后向放大光加剧了放大器 和光学元件对光束造成的畸变, 获得的 M^2 值和发

散角偏大,而采用 SBS 相位共轭镜所获得的后向放大光补偿了放大器和光学元件对光束造成的畸变,获得的 M^2 值和发散角明显减小,输出的光束质量得以提高。

为了提高系统的重复频率和输出功率,改用 KD^*P 电光晶体调 Q , YAG 激光器的重复频率为 10 Hz,脉宽为 10 ns。在 YAG 振荡级的谐振腔中去掉小孔光阑,加入 F-P 标准具(厚度为 7 mm,反射率为 53%),压缩了 SBS 抽运光的线宽,提高了 SBS 反射率。透镜焦距为 200 mm, SBS 池长为 400 mm。测得当注入到 SBS 池中的能量为 106 mJ 时 SBS 后向放大获得的能量为 260 mJ, SBS 反射率为 70%, SBS 后向放大倍数为 2.5 倍,脉冲宽度为 5 ns,输出稳定性较好。

实验中发现,在提高激光系统的重复频率和抽运能量时 SBS 介质偶有击穿现象,且在击穿时 SBS 的相位共轭保真度、反射率等性能有所降低,这需要通过采用提高 SBS 介质的纯度、改善 SBS 池结构、优化抽运光的有关参数(如线宽)等方法来提高 SBS 介质的击穿阈值,以适应高重复频率和高功率激光系统的要求。

4 结 论

通过上述实验研究可以得到以下几点结论: 1) 采用 SBS 后向放大方法可利用一个放大器和 SBS 系统达到双程放大的效果,从而补偿了激光系统放大器的热效应和光学元件造成的波前畸变,改善了光束质量,压缩了发散角,获得强度空间分布均匀的优质光束输出。2) 对 SBS 而言,脉宽压缩现象和相位

共轭现象是伴随出现的。因此在改善光束质量的同时,可以通过改变抽运光和 SBS 的有关参数达到对输出脉冲的压缩整形目的,进而获得窄脉冲高功率激光。3) SBS 系统结构简单,光路调试方便,适用性强。

由此可见,采用 SBS 后向放大方法是改善高功率、高重复频率固体激光器光束质量的一种有效方法,同时还可以通过 SBS 压缩脉冲效应对脉冲整形,获得窄脉冲、高功率的光强空间分布均匀的优质光束输出。

参 考 文 献

- 1 A. Dehn, H. J. Eichler, A. Haase *et al.*. Phase conjugation for improvement of solid state and excimer lasers. *SPIE*, 1998, **3403**: 65~ 76
- 2 H. J. Eichler, A. Haase, M. R. Kokta *et al.*. Cr^{4+} : YAG as passive Q -switch for a Nd: YALO oscillator with an average repetition rate of 2.7 kHz, TEM₀₀ mode and 13 W output. *Appl. Phys. B*, 1994, **58**(5): 409~ 411
- 3 Y. Kitagawa, K. Mima, H. Takabe *et al.*. Design of laser fusion reactor driven by laser-diode-pumped solid state laser. *Fusion Technology*, 1992, 21(No. 3, pt 2A): 1460~ 1464
- 4 Liu Li, Lu Zhiwei, He Weiming *et al.*. Study of SBS pulse waveform in a one-cell system. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 2000, **A27**(1): 53~ 58 (in Chinese)
- 5 Liu Li, Lu Zhiwei, He Weiming *et al.*. Experimental investigation on the stability of YAG laser with tunable-pulsewidth. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 2000, **A27**(2): 105~ 109 (in Chinese)
- 6 Robert W. Boyd. *Nonlinear Optics*. Boston, San Diego, New York: Academic Press, Inc., 1992. 339~ 343
- 7 D. T. Hon. Pulse compression by stimulated Brillouin scattering. *Opt. Lett.*, 1980, **5**(12): 516~ 518