

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0415-03

# 提高主振-功率放大系统光束质量的实验研究

王之桐

(华北光电技术研究所, 北京 100015)

**摘要** 设计了一套灯抽运的 Nd:YAG 主振-功率放大(MOPA)系统,在该系统中使用受激布里渊散射(SBS)相位共轭镜来提高光束质量,其中种子激光源为窄线宽的 Cr<sup>4+</sup>:YAG 被动调 Q 的扭转模激光器,使用两个放大级进行双程放大,在两个放大级之间采用像传递和 90°旋光器补偿退偏,在相位共轭镜中采用 CCl<sub>4</sub>, 氟里昂 112 和 CS<sub>2</sub> 三种液体进行实验,并测量了 SBS 反射率和 SBS 保真度。MOPA 系统在 20 Hz 的重复频率下工作, M<sup>2</sup> 因子为 1.6,脉宽为 7 ns,最大输出能量为 600 mJ。

**关键词** 激光技术; 非线性光学; 受激布里渊散射相位共轭镜; 扭转模

中图分类号 TN248.1\*3

文献标识码 A

## Experimental Study on Improving Beam Quality of MOPA System

WANG Zhi-tong

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

**Abstract** A master oscillator power amplifier (MOPA) system was designed, SBS phase-conjugate mirror was used in the system, the seeder was a narrow-linewidth laser of twisted mode with Cr<sup>4+</sup>:YAG as passive Q-switch, two amplifiers were used to pass twice, image-relay telescope and 90° rotator was used to compensate the depolarization between amplifiers, three liquids of CCl<sub>4</sub>, Freon112 and CS<sub>2</sub> were used in phase-conjugate mirror, SBS reflective rate and SBS fidelity were measured.

**Key words** laser technique; nonlinear optics; SBS phase-conjugate mirror; twisted mode

## 1 引言

在高功率固体激光系统中,由于热透镜和应力双折射现象而使光束质量恶化,使光束质量和输出功率难以同时提高,而在主-功率放大(MOPA)系统中采用相位共轭镜技术可以使光束波阵面反转,这样光束在二次放大的过程中可以补偿一次放大产生的畸变,使光束以接近种子激光的光束质量输出,因此相位共轭技术在高功率固体激光系统中得到了广泛的应用。

## 2 实验装置和设计原理

主振-功率放大系统实验原理图如图 1 所示。种子激光源采用 Nd:YAG 作为激光介质,采用线性腔结构。腔内使用小孔光阑选出基横模。在腔的两端插入一对光轴相互垂直的  $\lambda/4$ , 同时在腔内插入偏振片,两个  $\lambda/4$  波片的光轴相互垂直且与偏振片的偏振方向成 45°, 这样在工作介质中相向而行的两束光都是圆偏振光,同时旋向相反,形成了扭转模。这样的两束光在传播方向上相互干涉,使工作物质中光强保持一致而消除了“空间烧孔”,从而使输出激

光达到较长的相干长度以满足受布里渊散射(SBS)的要求。同时在腔内使用 Cr<sup>4+</sup>:YAG 作为被动调 Q 器件,由于被动调 Q 器件本身具有一定的选纵模能力,这样综合使用扭转模和 Cr<sup>4+</sup>:YAG 被动 Q 开关可以获得较窄的激光线宽。系统的放大部分使用两个放大级进行双程放大,在两个放大级之间使用 4f 像传递和 90°旋光器。4f 像传递在短热焦距的情况下可以抑制光束的聚焦,提高工作物质的利用率,并实现无衍射的像传递,90°旋光器将径向和切向的偏振光互换,将两个放大器中产生的退偏互相抵消。在本系统中使用 SBS 相位共轭镜改善光束质量。在 SBS 相位共轭镜中采用三种液体进行实验:CCl<sub>4</sub>, 氟里昂 112, CS<sub>2</sub>。液体是目前使用最多的 SBS 介质,液体的优点是声子寿命短(ns 量级)、增益稳定, SBS 阈值低。三种液体的参量在表 1 中列出。其中 CS<sub>2</sub> 的增益系数最高,但是由于声子寿命较长,要求激光具有很窄线宽; CCl<sub>4</sub> 的声子寿命最短,对激光线宽的要求较宽,增益系数最小;氟里昂 112 的增益系数和声子寿命适中。三种液体中 CS<sub>2</sub> 和 CCl<sub>4</sub> 都有剧毒,综合 SBS 性能和安全考虑,用氟里昂 112 是折中的选择。

**作者简介:** 王之桐(1972-),男,华北光电技术研究所工程师,博士,主要从事 SBS 相位共轭镜改善光束质量技术、激光二极管抽运技术和激光放大器技术的研究工作。E-mail:superporpeller@tom.com

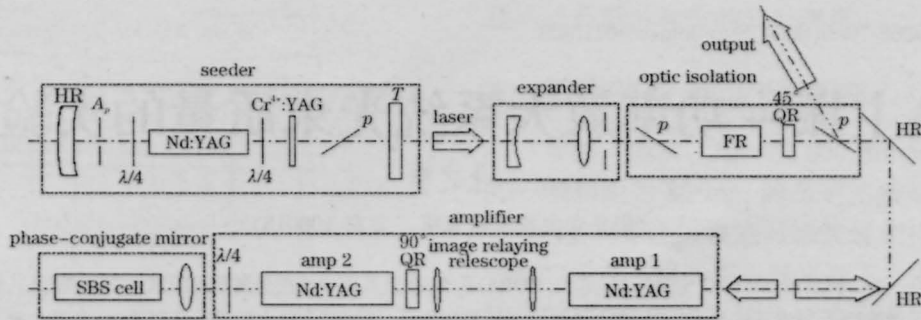


图1 实验原理图

Fig.1 Schematic of experiment

表 1 SBS 介质参量

Table 1 Parameter of SBS medium

Medium of liquid	CCl <sub>4</sub>	Freon112	CS <sub>2</sub>
Gain coefficient /(cm/GW)	6	25	130
Acoustic decay time /ns	0.6	3	5.2
SBS linewidth /MHz	1667	333	192

### 3 实验结果和分析

#### 3.1 种子激光器参量

种子激光的远场光斑图和光波形曲线在图 2 中示出,参量为: $M^2=1.3$ ,脉宽 7 ns,脉冲能量 2 mJ。

#### 3.2 SBS 反射率

在实验中测量了三种液体的 SBS 相位共轭反射率,结果分别在图 3 中示出,在表 2 中列出了部分数据。从表 2 的数据中看出 CCl<sub>4</sub> 的 SBS 反射率最高,依次为 CS<sub>2</sub> 和氟里昂 112。从增益系数来考虑,CS<sub>2</sub> 的 SBS 反射率应该最高,同时 Freon112 的 SBS 阈值也应小于 CCl<sub>4</sub>,而实验结果与此相反,这说明种子激光的线宽比较宽,大于氟里昂 112 所要求的稳态 SBS 的线宽 333 MHz,发生的是瞬态的 SBS 过程,导致增益下降和阈值增高。在图 4 中通过比较三种液体的 SBS 曲线,可以看出在小入射能量时,CS<sub>2</sub> 的 SBS 反射率增高很快,适用于小入射能量下的 SBS 相位共轭过程。而 CCl<sub>4</sub> 和氟里昂 112 的 SBS 反射率曲线相

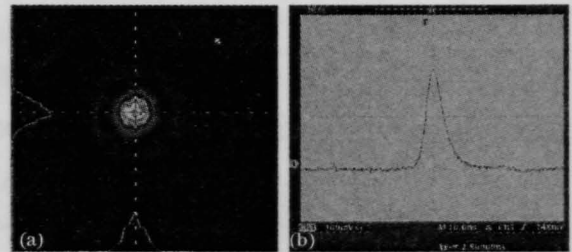


图 2 Cr<sup>4+</sup>:YAG 被动调 Q 扭转模种子激光源参量  
(a) 远场光斑图; (b) 光束的时间-光强曲线

Fig.2 Parameter of Laser seeder of Cr<sup>4+</sup>:YAG Q-switched twisted mode

(a) optic far-field; (b) curve of optic time-intensity

表 2 SBS 反射率数据

Table 2 Data of SBS reflective rate

Medium of liquid	CCl <sub>4</sub>	Freon112	CS <sub>2</sub>
Highest SBS reflective rate/%	78	70	75
Experimental value of SBS threshold power /kW	330	430	50
Calculated value of SBS threshold power /kW	220	53	10

差不多,考虑到二次放大的增益饱和现象,两种液体最终输出的能量应该基本一致,再考虑到安全问题,应该选择氟里昂 112 作为 SBS 介质。

#### 3.3 保真度

保真度定义为子激光的发散角与最终输出光束的发散角的比值。在实验中对三种液体分别进行了

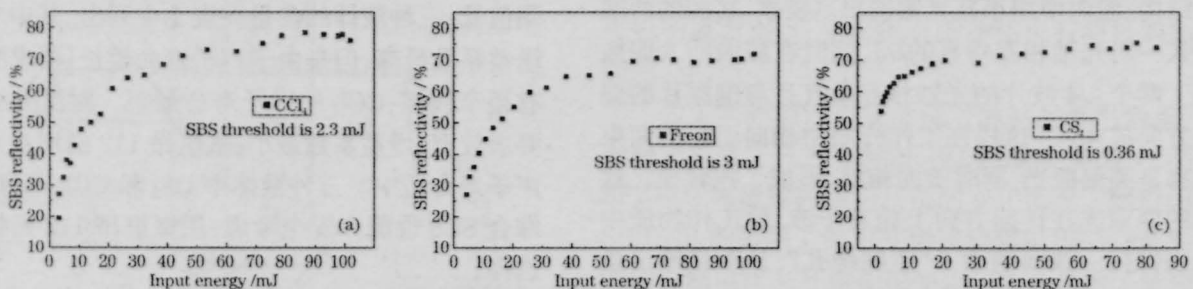


图 3 SBS 反射率曲线图

Fig.3 Curve of SBS reflective rate

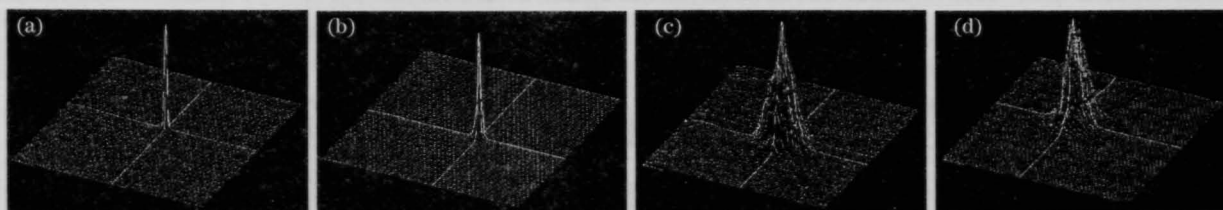


图4 光强空间分布比较图

(a)种子扩束后; (b) MOPA 系统输出; (c)MOPA 系统一程放大; (d)SBS 反射后

Fig.4 Comparing distributions of optic intensity

(a) seeder After expanded; (b) output of MOPA system; (c) one pass amplification of MOPA system; (d) reflected from SBS mirror

测量,  $\text{CCl}_4$ , 氟里昂 112,  $\text{CS}_2$  的保真度依次为 68.2%, 67%, 65.9%。三种液体的保真度都不高, 这也说明种子激光线宽较宽, 导致保真度下降。

### 3.4 SBS 相位共轭对热透镜现象的补偿作用

实验中测量了种子扩束后光强的空间分布, 以及一程放大后、SBS 反射后和最终输出光强的空间分布如图 4 中所示。比较图 4 的(a)和(c)可以看出种子激光经过一程放大后, 由于热透镜的影响, 光强分布发生明显的畸变, 光斑变大, 峰值功率密度减小。比较图 4 的(c)和(d)可以看出一程放大后的光束经过 SBS 相位共轭镜反射后, 光强分布基本不变。在二次放大的过程中, 光束的畸变得得到补偿。比较图 4 的(a)和(b)可以看出, 光束以接近种子激光的光束质量输出。

### 3.5 基于相位共轭的 MOPA 系统的指标

在重复频率 20 Hz 下, 测量了能量输出曲线如图 5 所示。种子激光注入放大器的能量为 1 mJ, 在抽运能量 60 J 时, 增益接近饱和, 输出 600mJ, 整个放大系统的增益为 600 倍, 退偏很小, 可以忽略。

在双头抽运 60J 时测量了输出光束的  $M^2$  因子、近场光斑、远场光斑和光波形, 分别在图 6 中示出。系统最终指标为重复频率 20 Hz,  $M^2$  因子为

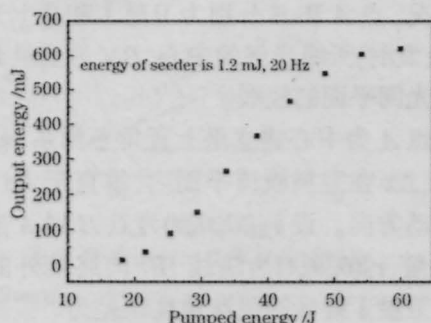


图5 MOPA 系统能量输出曲线

Fig.5 Curve of Energy output of MOPA system

1.6, 脉宽 7 ns, 最高输出能量 600 mJ。

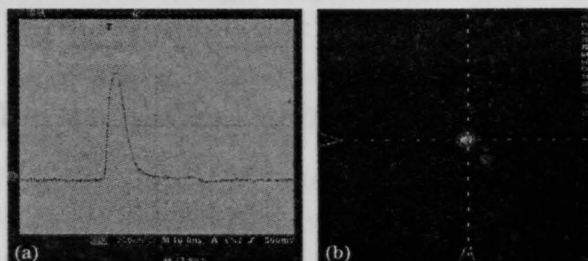


图6 MOPA 系统光波形和远场光斑图

(a) 光束时间-强度曲线; (b) 远场光斑

Fig.6 Optic waveform and far field of MOPA system

(a) curve of optic time-intensity; (b) optic far-field

### 参考文献

- 1 Y.C. Ding, Z. W. Lü, S. W. Han. Development for the phase conjugated MOPA -systems based on stimulated Brillouin scattering[J]. *Laser Journal*, 2001, 22(2):1-5  
丁迎春, 吕志伟, 韩松巍. 发展中的受激布里渊散射相位共轭 MOPA 系统[J]. *激光杂志*, 2001, 22(2):1-5
- 2 S. Seidel, N. Kugler. Nd:YAG 200-W average-power oscillator-amplifier system with stimulated-Brillouin-scattering phase conjugation and depolarization compensation[J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1997, 14(7):1885-1888
- 3 H. L. Offerhaus, H. P. Godfried, W. J. Witteman. All solid-state diode pumped Nd:YAG MOPA with stimulated Brillouin phase conjugate mirror[J]. *Opt. Commun.*, 1996, 128:61-65
- 4 H. J. Eichler, A. Haase, R. Menzel. High beam quality by SBS phase conjugation of a single rod Nd-amplifier up to 140 W average output power[J]. *Opt. Quantum Electron.*, 1996, 28(3): 261-265
- 5 S. Seidel. Improvement of extraction efficiency by regenerative amplification in an Nd:YAG-MOPA with a phase-conjugating SBS cell[J]. *Opt. Quantum Electron.*, 1995, 27(6):625-632
- 6 Hans J. Eichler, Andreas Haase, Ralf Menzel. 100-Watt average output power 1.2 diffraction limited beam from pulsed neodymium single-rod amplifier with SBS phase conjugation[J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1995, 31(8):1265-1269