

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0131-03

光纤相位共轭的四通主振荡功率放大器系统实验研究

李东明¹, 周涛¹, 陈军¹, 唐淳^{1,2}, 高清松², 庞毓², 童立新², 卓有福²

(¹浙江大学光电系, 浙江 杭州 310027; ²中国工程物理研究院应用电子技术研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要 报道了应用 $\phi 100$ mm和 $\phi 200$ mm两种芯径光纤作为相位共轭镜时,四通放大主振荡功率放大器(MOPA)系统的SBS能量反射率、稳定性、保真度、输出能量等性能参量的变化趋势。应用 $\phi 100$ mm光纤时四通放大系统最大输出能量为6 mJ,可以获得的最大反射率为41%,SBS能量阈值约为0.73 mJ;应用 $\phi 200$ mm光纤时可以获得最大激光输出能量为21 mJ,可以获得的最大反射率为37%,SBS能量阈值约为1.1 mJ

关键词 光纤; 四通放大; 受激布里渊散射; 主振荡功率放大器

中图分类号 O437.2

文献标识码 A

Experimental Study on MOPA System of Four-Pass Configuration with Optical Fiber Phase-Conjugator

LI Dong-ming¹, ZHOU Tao¹, CHEN Jun¹, TANG Chun^{1,2}, GAO Qing-song², PANG Yu², TONG Li-xing², ZHUO You-fu²

(¹The State Key Lab. of Modern Optical instrumentation, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310027, China)
(²Institute of Applied Electrical Technology, CAEP, Mianyang, Sichuan 621900, China)

Abstract Using optical fiber with diameter of $\phi 100$ mm and $\phi 200$ mm as phase-conjugator, the energy reflectivity, stability, fidelity and output energy in MOPA system of four-pass configuration are presented. Applying optical fiber of $\phi 100$ mm core diameter, 6 mJ output energy and 41% SBS reflectivity have been obtained, SBS threshold is 0.73 mJ. Applying optical fiber of $\phi 200$ mm core diameter, 21 mJ output energy and 37% SBS reflectivity have been obtained, SBS threshold is 1.1 mJ.

Key words optical fiber; four-pass amplifier; SBS; MOPA

1 引言

使用普通平面全反镜进行的四通放大实验中,没有相位共轭的机制,不但不能改善增益介质热效应造成的波形畸变^[1],而且会进一步降低输出激光的光束质量;此外,放大级中用于四通的两个平面全反镜形成了一个振荡腔,对于高功率抽运的放大级而言该振荡腔内的增益可能会超过损耗,使其产生的放大自发辐射(ASE)光在平面镜间往返放大,形成自激振荡现象(SO)^[2,3]。要克服 ASE 现象并改善四通放大的光束质量,采用 SBS 相位共轭镜来代替用于四通放大的普通全反镜是简单和行之有效的方法。

本实验利用光纤作为 SBS 相位共轭镜来进行四通主振荡功率放大器(MOPA)系统的实验研究与分析,从输出激光的输出能量、SBS 能量阈值、脉宽压缩比、能量反射率、保真度及稳定性等方面来分析带光纤相位共轭镜的四通 MOPA 系统输出激光性能,获得了良好的效果。

2 实验装置

四通放大的实验装置如图 1 所示。主振荡器的谐振腔由曲率半径 3 m 的全反凹面镜和 $R=80\%$ 的输出镜 OC 构成,腔内用普克尔盒和偏振片 P1 进行电光调 Q。实验采用增益介质为 45°梯形的 YAG 板条,晶体长宽高规格为 41 mm \times 2.8 mm \times 6 mm。抽运源为通过楔形波导板耦合的大功率 LD,耦合后的发光面为 4 mm \times 40 mm 的矩形光斑,全角发散角接近 90°;在脉宽 300 μ s 和重复频率 100 Hz 下可以获得的最大单脉冲抽运能量为 164 mJ。由于板条内的抽运体积比谐振腔的基模体积大 2 倍左右,因此在腔内插入了 1.5 倍的望远系统进行腔内扩束并使用了 $\phi 1.5$ mm 的小孔来获得基模,为了提高输出激光的相干长度以降低光纤相位共轭产生的阈值能量,输出镜前插入了一块 2 mm 厚、双面镀 50%反射膜的 F-P 标准具。经由偏振片 P2, P3, 45°法拉第旋光器和 22.5°放置的 1064 nm 的半波片组成的隔离

作者简介: 李东明(1979-),男,浙江大学光电系硕士研究生,主要从事固体激光与非线性光学方面的研究。

E-mail: ldmwinsome@sohu.com

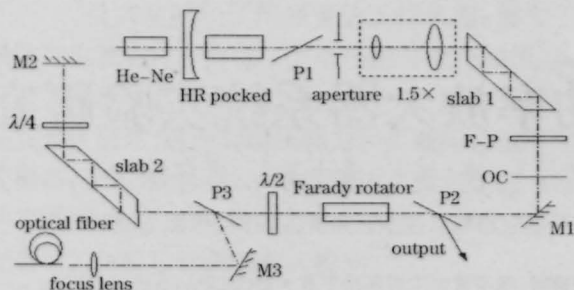


图1 四通放大光纤相位共轭实验装置图

Fig.1 Experimental setup of four-pass configuration with fiber phase-conjugator

器后,使用和振荡级同样规格的 YAG 板条和 LD 进行放大。放大后的调 Q 输出激光通过波长 1064 nm 的 $\lambda/4$ 波片和 $f=18$ mm 的会聚透镜耦合到相位共轭光纤之中,经光纤反射的 SBS 光再次注入到放大级进行四通放大,四通放大输出激光于 P2 处输出。实验中分别采用芯径为 100 μm 和 200 μm , 长度 2.3 m 的多模石英光纤作为相位共轭镜。

3 实验结果与分析

图 2 中示出了振荡级、平面镜四通和光纤相位共轭四通的激光光斑强度三维分布图。(a)所示的振荡级激光光斑接近 TEM_{00} 模,经过普通平面镜的四

通放大后其激光光斑畸变相当严重,近场光斑大小为 $5.3 \text{ mm} \times 1.5 \text{ mm}$,远场发散角约为 2 mrad;(c)示出为相位共轭后的光斑形状,却几乎还原了振荡级的输出光斑。由此可见光纤相位共轭可以显著改善四通结构 MOPA 激光系统的光束质量。

图 3 分别示出了应用长度 2.3 m 的 $\phi 100 \mu\text{m}$ 和 $\phi 200 \mu\text{m}$ 光纤进行四通放大获得的能量反射率。从图中可以看出 $\phi 100 \mu\text{m}$ 光纤的 SBS 能量阈值约为 0.73 mJ,可以获得的最大反射率为 41%,相应的损伤阈值为 2.3 mJ。 $\phi 200 \mu\text{m}$ 光纤的 SBS 能量阈值约为 1.1 mJ,可以获得的最大反射率为 37%,相应的损伤阈值为 4.6 mJ。

SBS 能量阈值的存在可以有效地抑制 ASE 现象。由于 ASE 现象被抑制,四通放大可以比双通放大更多地抽取出放大级中存储的能量,因此四通放大输出的相位共轭光能量将比双通放大中要高。在图 4 中示出了激光系统在重复频率 100 Hz 下获得的四通放大相位共轭光能量和注入能量间的关系。

对比以前测得的双通输出能量实验结果可见,应用 $\phi 100 \mu\text{m}$ 光纤于四通放大结构中可以使系统输出能量从 2.8 mJ 提升到 6 mJ,应用 $\phi 200 \mu\text{m}$ 光纤可以使系统输出能量从 10 mJ 提升到 21 mJ。说明在有效抑制放大级中的 ASE 现象以

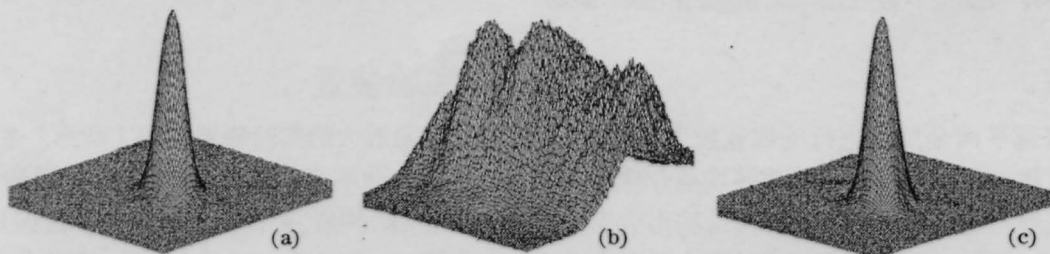


图2 $\phi 200 \mu\text{m}$ 光纤四通放大中光斑强度的三维分布图

(a) 振荡级输出; (b) 普通全反镜的四通放大输出; (c) 光纤相位共轭镜的四通输出

Fig.2 Laser spots intensity in four-pass configuration with $\phi 200 \mu\text{m}$ fibre

(a) oscillator output; (b) four-pass output with ordinary reflector; (c) four-pass output with fiber conjugator

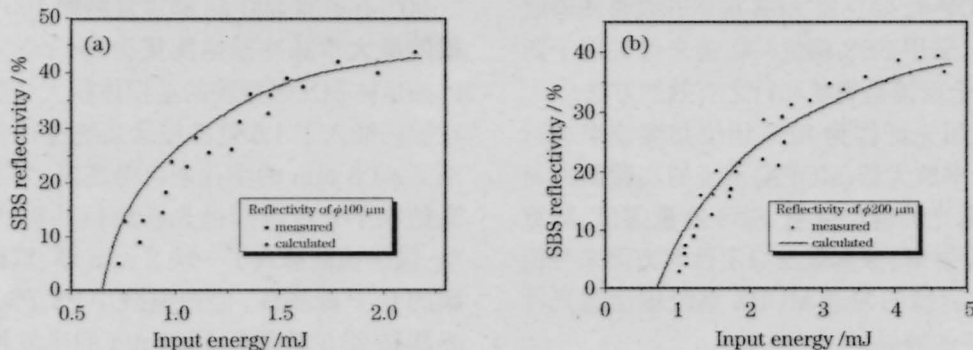


图3 光纤相位共轭四通放大系统获得的 SBS 反射率随注入能量的变化

Fig.3 Relation between SBS reflectivity and energy of injection fiber

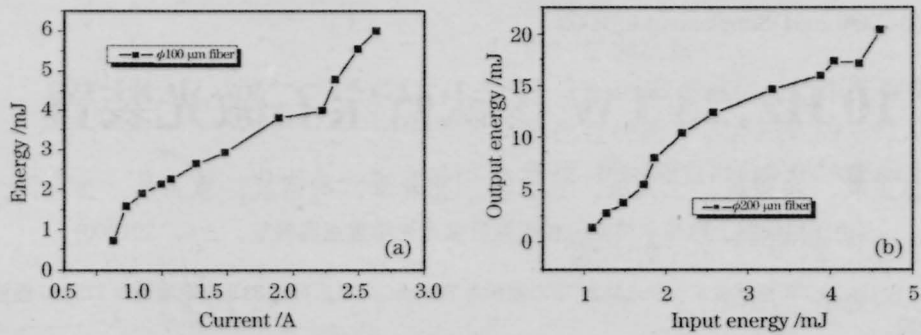


图4 $\phi 200 \mu\text{m}$ 光纤四通放大输出能量和光纤注入能量间的关系图

Fig.4 Relation of four-pass output energy and energy of injection $\phi 200 \mu\text{m}$ fiber

后,带有光纤相位共轭镜的四通放大系统可以获得比双通放大高很多的输出能量,而且光束质量可以获得显著改善。

保真度是光学相位共轭的重要概念之一,它表示了相位共轭器的反射光中相位共轭部分的能量在整个能量中所占的比例。稳定性则是脉冲激光系统的重要性能参量之一,它反映了相位共轭过程中四通放大激光的能量波动幅度。由图5可见,四通放大中相位共轭光获得的最大相对稳定性为70%;对

于振荡级12%的能量波动,相位共轭光的波动幅度高达38%。而图6中示出保真度在高于阈值2倍以后保真度趋于平稳,达到90%。

脉宽压缩现象是光纤相位共轭的又一特点,由图6可知, $R_{\text{SBS}}=10\%$ 和 20% 时的脉冲宽度分别为3.7 ns和6.2 ns,和(a)振荡级脉冲(脉宽32 ns)相比,脉宽分别被压缩了8.6和5.3倍,前者是实验中获得的最大压缩比。

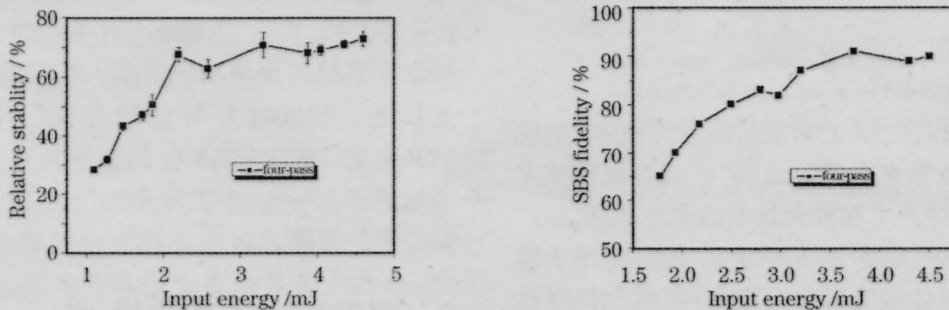


图5 四通放大中相位共轭光的(a)相对稳定性和(b)保真度随注入能量的变化曲线

Fig.5 Relation of phase-conjugated laser (a) stability and (b) fidelity and energy of injection fiber

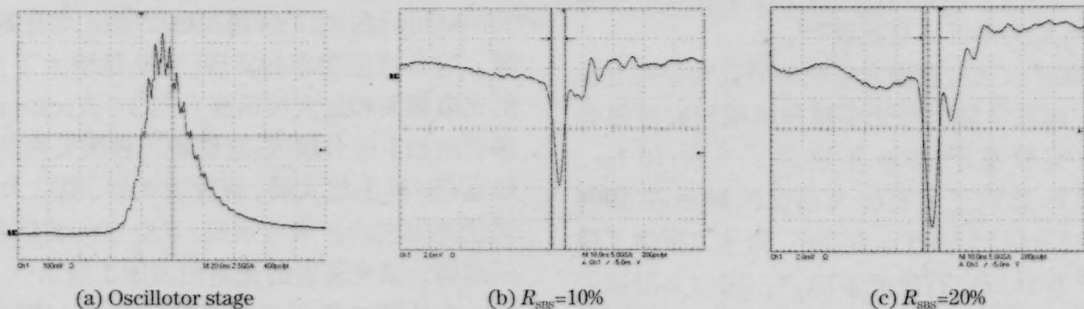


图6 振荡级和相位共轭光脉冲波形

Fig.6 Profile of pulses of laser of oscillator (a) and phase-conjugated laser (b), (c)

参考文献

1 K. Tei, M. Kato, Y. Niwa *et al.*. Diode-pumped 250-W zigzag slab Nd:YAG oscillator-amplifier system[J]. *Opt. Lett.*, 1998, 23(7): 514-516
 2 U. Roth, Thomas Graf, E. Rochat *et al.*. Saturation, Gain, and

Noise Properties of a Multipass Diode-Laser-Pumped Nd:YAG CW Amplifier[J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1998, 34(10): 1987-1991
 3 Wang Victor, Ginliano C.R. Correction of phase aberrations via stimulated Brillouin scattering[J]. *Opt. Lett.*, 1978, 2(1):4-6