

文章编号: 0258-7025(2002)09-0780-03

受激布里渊放大光束发散角实验研究

丁迎春, 吕志伟, 何伟明

(哈尔滨工业大学光电子技术研究所, 黑龙江哈尔滨 150001)

提要 研究了布里渊放大器 Stokes 出射光束的发散角随抽运功率密度的变化规律以及与种子光束和抽运光束发散角的关系。抽运功率密度的变化对 Stokes 出射光束的发散角几乎没有影响, 通过控制 Stokes 种子光束的发散角可以获得高光束质量的输出激光。

关键词 布里渊放大器, 发散角, 抽运功率密度

中图分类号 O 437.2 文献标识码 A

Experimental Investigation on the Divergence of Brillouin Amplification Beam

DING Ying-chun, LÜ Zhi-wei, HE Wei-ming

(Institute of Opto-Electronics, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150001)

Abstract The divergence of Stokes output versus power density of pump in the Brillouin amplifier was experimentally studied and the relations of divergence among Stokes output, Stokes seed and pump were also experimentally studied. The change of pump power density hardly affects the divergence of Stokes output, and high quality Stokes output could be obtained by controlling the divergence of Stokes seed beam.

Key words Brillouin amplifier, beam divergence, pump power density

1 引言

受激布里渊散射(SBS)运用到高功率激光时,既需要高的脉冲压缩率又需要高的相位共轭保真度。SBS 相位共轭镜使激光脉冲具有高峰值功率的同时又具有高的相位共轭保真度是可能的。高保真度相位共轭镜的结构最简单的是用聚焦透镜把光会聚到布里渊激活介质或装有液体或气体的波导中^[1,2]。对于高功率激光,一些非线性过程包括光学击穿、自聚焦和热载在这种结构的相位共轭镜中很容易发生,严重破坏了 SBS 过程。在双池相位共轭镜中,产生池能够获得高保真度 Stokes 相位共轭光,在放大池中,相位共轭 Stokes 光代替了来自自发散射的初始噪声,共轭种子光可以提高相位共轭保真度。在各种双池相位共轭镜中,独立双池相位共轭镜有很

多优点^[3~5]。独立双池结构中 Stokes 种子光与抽运光往往具有不同的发散角,而发散角的大小是衡量光束质量好坏的一个重要标志,高光束质量也是 SBS 得以应用的重要原因,所以研究从放大池出射的 Stokes 光束发散角随 Stokes 种子光和抽运光发散角的变化规律以及随抽运功率密度等的变化规律具有重要意义。

2 实验装置

图 1 为实验光路。Nd:YAG 振荡器输出的激光经望远扩束镜 L_1 和 L_2 扩束后入射到 Nd:YAG 放大器。平面全反镜 M_1 和未镀膜的反射率为 8% 的玻璃平片 M_2 构成振荡器的振荡腔,由透过率为 18% 的染料片调 Q , P_1 为起偏偏振片,限模光阑的直径为

收稿日期 2001-06-17;收到修改稿日期 2001-09-29

基金项目:1999 年教育部“跨世纪优秀人才培养计划”基金、国家高技术惯性约束聚变主题和国家自然科学基金(编号:60088001)资助项目。

作者简介:丁迎春(1966—),女,博士,副教授,主要从事非线性光学研究。E-mail: dyc6601@yahoo.com.cn

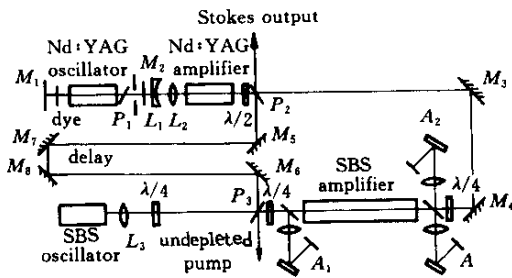


图 1 实验装置图
Fig.1 Experimental setup

0.2 cm。Nd:YAG 放大器出射的脉宽为 9 ns 抽运偏振光经过 1/2 波片入射到偏振片 P_2 ,被偏振片 P_2 反射的 S 波经过全反镜 M_5, M_6, M_7, M_8 传到偏振片 P_3 ,被偏振片 P_3 反射后 ,经过 1/4 波片变成圆偏振光 ,再经过透镜 L_3 聚焦到 SBS 种子产生池 ,聚焦透镜的焦距是 10 cm ,从种子产生池后向反射的 Stokes 光 ,即种子光经过 1/4 波片后变成 P 波 ,经过偏振片 P_3 透射 ,再经 1/4 波片变成圆偏振光入射到 SBS 放大池。被偏振片 P_2 透射的 P 波 (作为抽运光) 经过全反镜 M_3 和 M_4 反射后再经 1/4 波片变成圆偏振光入射到 SBS 放大池。在放大池中 ,种子光吸取抽运光的能量后由偏振片 P_2 耦合输出 ,未抽空的抽运光由偏振片 P_3 输出。其中 1/2 波片的作用是调整种子光与入射抽运光束的能量比 ,全反镜 M_5, M_6, M_7, M_8 起到延时线的作用 ,通过调整延时线

可以调整 Stokes 种子光和抽运光在布里渊放大池中的相遇位置。SBS 种子产生池和放大池的池长分别为 30 cm 和 200 cm ,池中盛有 CCl_4 液体介质。入射到放大池的种子光和抽运光的发散角分别由列阵相机 A_1 和 A_2 探测 ,Stokes 种子光从放大器吸取抽运光能量从放大器出射 (本文称为 Stokes 出射光) 后的发散角由列阵相机 A 探测。

3 实验结果与分析

实验中选取 CCl_4 作为 SBS 介质 ,主要是因为 CCl_4 具有短的声音寿命 (约 0.6 ns) 和较大的增益系数 (6 cm/GW) 。评价激光束光学质量优劣的最直接的方法是测量远场光斑中能量的集中程度。对于理想光束大约有 85% 的能量集中在衍射极限角内 ,而对实际光束 ,能量将分散在较大的角范围内 ,这个角范围就是俗称的发散角。在实验中用列阵相机测量了激光束能量远场角分布。在测量时 ,用紫外示波纸接收激光的远场空间分布 ,在紫外示波纸上记录到一系列半径逐渐减小的光斑 ,由显微镜读取这些光斑直径大小 ,并根据光楔法原理编制程序 ,计算出激光发散角与能量百分比之间的关系曲线 ,对于所测激光的远场空间角分布 ,一般选取激光列阵图中 85% 能量处的发散角为测量值。

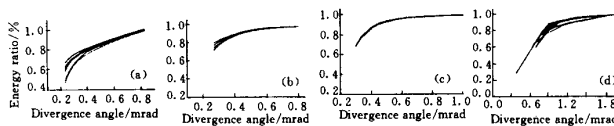


图 2 SBS 种子光和 Stokes 输出光束的发散角

(a) Stokes 种子光 (b) Stokes 输出 (c) 畸变抽运光后 Stokes 输出 (d) 畸变种子后 Stokes 输出

Fig.2 Divergence angle of SBS seed and Stokes output beam

(a) Stokes seed ;(b) Stokes output ;(c) aberrant pump Stokes output ;(d) aberrant seed Stokes output

我们研究了放大 Stokes 出射光束的光束质量与抽运光和种子光光束质量的关系以及与抽运光功率密度变化的关系。实验中选取抽运光能量为 49.97 mJ 种子光能量为 5.23 mJ ,提取效率中等的一组 ,先后多次测量了抽运光 Stokes 种子光和 Stokes 出射光的能量远场角分布 ,如图 2(a) 和 (b) 所示。为了更好地了解 Stokes 出射光束发散角与 Stokes 种子光与抽运光发散角的关系 ,又分别在抽运光路和种子光路中 (放在 P_3 偏振片的右侧) 加上一片畸变片 (用 HF 浸泡的玻璃平片) ,调整光路准直后 ,分别多次测

量了 Stokes 输出光的能量远场角分布 ,如图 2(c) 和 (d) 所示。在图 1 光路中入射到放大池的抽运光的发散角为 1.068 mrad 约为 2.8 倍衍射极限。图 2(a) ~ (d) 中发散角分别为 0.488 mrad 0.337 mrad 0.427 mrad 0.991 mrad。表 1 中给出了 Stokes 种子光和 Stokes 输出光束的远场发散角及其标准方差以及波动性的测量值。

从测量结果来看 ,Stokes 输出光束的发散角比 Stokes 种子光略小。畸变抽运光后 ,Stokes 输出光的发散角没有明显变化 ,只是比无畸变抽运光时稍大 ,

也就是说畸变抽运光对 Stokes 输出光束质量没有明显的影响。畸变 Stokes 种子后, Stokes 输出光的发散角明显变大,几乎与抽运光的发散角相同。由此可

以得出结论:在布里渊放大器中, Stokes 输出光的光束质量不是由抽运光的光束质量决定的,而是由 Stokes 种子光的光束质量决定的。

表 1 SBS 种子光和 Stokes 输出光束的发散角及其涨落

Table 1 SBS seed and Stokes output beam divergence and their fluctuation

Item		Mean of divergence angle/mrad	Standard deviation	Fluctuation/%
Seed		0.493	0.031	6.3
Stokes output	Non-aberrant output	0.339	0.019	5.6
	Aberrant pump	0.395	0.011	2.8
	Aberrant seed	0.931	0.089	9.6

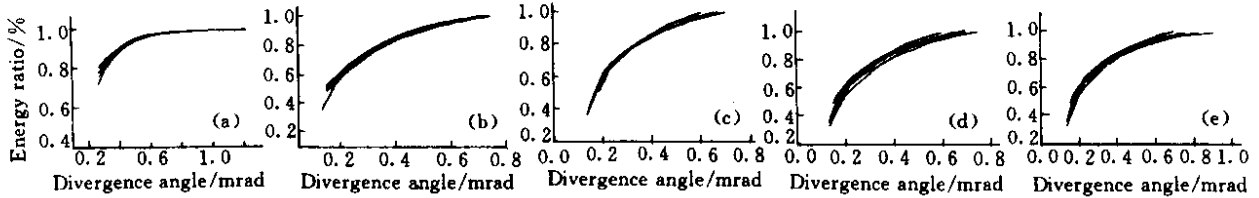


图 3 Stokes 输出光在不同抽运功率密度(D)下的发散角

Fig.3 Divergence angle of Stokes output at different pump power density(D)

(a) $D = 32.34 \text{ MW/cm}^2$; (b) $D = 27.60 \text{ MW/cm}^2$; (c) $D = 24.55 \text{ MW/cm}^2$; (d) $D = 22.10 \text{ MW/cm}^2$; (e) $D = 18.62 \text{ MW/cm}^2$

表 2 不同抽运功率密度下 Stokes 出射光束的发散角及其涨落

Table 2 Stokes output beam divergence and its fluctuation at different pump power density

Pump power density/ $\text{MW} \cdot \text{cm}^{-2}$	Mean divergence angle of Stokes output/mrad	Standard deviation	Fluctuation/%
32.34	0.339	0.019	5.6
27.6	0.412	0.014	3.4
24.55	0.413	0.019	4.6
22.10	0.407	0.023	5.7
18.62	0.416	0.023	5.5

实验中还先后多次测量了抽运光功率密度不同时 Stokes 输出光束的远场空间角分布,如图 3(a)~(e)所示,各个抽运功率密度下的发散角分别为 0.339 mrad, 0.412 mrad, 0.413 mrad, 0.407 mrad 和 0.416 mrad。表 2 给出了抽运光在各种功率密度下 Stokes 输出光束的远场发散角及其标准方差以及波动性的测量值。从测量结果可以看出,抽运功率密度最大时发散角稍小,其他的抽运功率密度发散角基本相同,这主要是由于功率密度的衰减是通过分束片来实现的,进入到放大池的抽运光在通过分束片后存在轻微畸变,所以 Stokes 出射光的发散角稍大。由此可以得出结论,抽运功率密度的变化对布里渊放大器的 Stokes 出射光的发散角没有明显的影响。

参 考 文 献

- 1 C. B. Dane, William A. Neuman, Lloyd A. Hackel. Pulse-shape dependence of stimulated-Brillouin-scattering phase-conjugation fidelity for high input energies [J]. *Opt. Lett.*, 1992, **17**(18):1271~1273
- 2 N. F. Andreyev, E. A. Khazanov, O. V. Palashov et al.. Phase-conjugation fidelity fluctuations for various stimulated-Brillouin-scattering mirror geometries [J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1994, **11**(5):786~788
- 3 V. Kmetik, H. Fiedorowicz, A. A. Andreev et al.. Reliable stimulated Brillouin scattering compression of Nd:YAG laser pulses with liquid fluorocarbon for long-time operation at 10 Hz [J]. *Appl. Opt.*, 1998, **37**(30):7085~7090
- 4 S. Schiemann, W. Ubachs, W. Hogervorst. Efficient temporal compression of coherent nanosecond pulses in a compact SBS generator-amplifier setup [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1997, **33**(3):358~366
- 5 C. Brent Dane, William A. Neuman, Lloyd A. Heckel. High-energy SBS pulse compression [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1994, **30**(8):1907~1915