

文章编号: 0258-7025(2002)06-0530-03

种子光与抽运光交角对布里渊放大的影响

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 实验研究了在不同的 Stokes 种子光与抽运光能量比条件下, 布里渊放大池中能量提取效率、种子光放大率、种子光脉宽压缩率和抽运光脉宽压缩率随 Stokes 种子与抽运光交角的变化规律, 在种子光与抽运光的夹角为 $1\sim 2$ mrad 时, 提取效率、种子光放大率、种子光脉宽压缩和抽运光脉宽压缩率变化很小, Stokes 种子光与抽运光有 $1\sim 2$ mrad 的调偏角度。

关键词 布里渊放大器, 提取效率, 种子放大率

中图分类号 O 437.2 **文献标识码** A

Influence of Angle between Seed and Pump Beam on Brillouin Amplification

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

(*Institute of Opto-electronics, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001*)

Abstract Energy extraction efficiency, seed amplification factor, seed beam pulse-width compression ratio and pump beam pulse-width compression ratio versus angle between seed and pump beam at different energy ratio of seed to pump were experimentally investigated. When the angle between seed and pump was $1\sim 2$ mrad, energy extraction efficiency, seed amplification factor, seed pulse-width compression ratio and pump pulse-width compression ratio were changed very small. Stokes seed and pump beam could be misaligned by $1\sim 2$ mrad.

Key words Brillouin amplifier, energy extraction efficiency, seed amplification factor

受激布里渊散射(SBS)相位共轭镜有多种结构。由于振放双池能承受较高的激光功率,所以振放双池 SBS 系统是可实际应用的结构,近年来受到人们的关注^[1-5]。在多种振放双池结构中,独立双池系统是比较好的一种 SBS 相位共轭镜系统,它的优点是:1)与传统的双池系统不同,射入产生池的抽运光不经任何光学衰减,产生池出射的种子光也可以全部到达放大池,这样大大提高了能量转换效率。2)在能抽运时,调节 $1/2$ 波片来控制射入产生池内的能量大小,使产生池的抽运能量始终保持在光学击穿、自聚焦阈值之下。3)可通过调节光学延迟来改变放大池中种子光与抽运光的相互作用区,获得最大脉冲压缩及能量转换效率。在这种独立双池结构中,抽运光与种子光不易对准,所以了解

抽运光与种子光的交角对布里渊放大的影响是很重要的,如果在一定交角范围内,布里渊放大的重要参数如能量提取效率和种子放大率等没有明显下降,则可使用这种结构的 SBS 相位共轭镜结构对多个脉冲进行合成。

本文从实验上研究了独立双池 SBS 相位共轭镜系统中,受激布里渊散射 Stokes 光(种子光)放大问题。测量了在不同种子光与抽运光能量比的条件下,能量提取效率、种子光放大率、种子光脉宽压缩率和抽运光脉宽压缩率随种子光与抽运光交角的变化规律,给出抽运光与种子光可以调偏的范围。

1 实验装置

图 1 为实验光路。平面全反镜 M_1 和未镀膜的

收稿日期 2001-04-02;收到修改稿日期 2001-06-19

基金项目 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)以及 1999 年教育部“跨世纪优秀人才培养”基金和国防科技重点实验室基金资助项目。

作者简介:丁迎春(1966.1—),女,博士,副教授,主要从事非线性光学研究。E-mail: dyc6601@yahoo.com.cn

玻璃平片 M_2 (反射率 8%) 构成 Nd:YAG 振荡器的振荡腔,由染料片调 Q。染料片的透过率为 18%。 P_1 为起偏偏振片,小孔光阑的直径为 0.2 cm。在 Nd:YAG 振荡器与放大器之间有一对望远扩束镜 L_1 和 L_2 ,扩束后可以更充分利用 Nd:YAG 放大器中的介质。Nd:YAG 放大器出射的抽运偏振光脉宽为 8~9 ns,能量为 90 mJ。经过 1/2 波片入射到偏振片 P_2 ,1/2 波片的作用是调整种子与入射光束的能量比。被偏振片 P_2 反射的 S 波经过延时线传到偏振片 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,经过 1/4 波片变成圆偏振光入射到 SBS 放大池。在放大池中,种子光提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。SBS 种子产生池和放大池的池长分别为 30 cm 和 200 cm。入射到放大池的种子光和抽运光的能量 E_s 和 E_p 分别由能量计 ED1(ED200)和 ED2(ED200)探测,Stokes 种子光从放大器提取抽运光能量从放大器出射(Stokes 出射光)后的能量 E 用能量计 ED(ED200)探测,快响应

PIN 光二极管(响应时间约 1 ns)探测脉冲波形,并由数字示波器 TDS684A 记录。

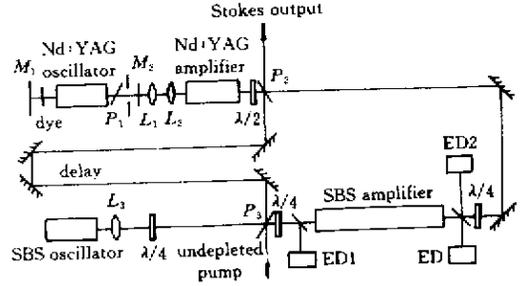


图 1 实验装置光路图
Fig.1 Experimental setup

2 实验结果与分析

实验中选取四氯化碳作为受激布里渊介质,它具有短的声子寿命,约为 0.6 ns,布里渊增益系数 $g = 6 \text{ cm/GW}$,在 $1 \mu\text{m}$ 波长时光学吸收很小。对于不同的延时线,Stokes 种子光和抽运光在放大池中的不同位置相遇,对于有限长放大池,Stokes 种子光和抽运光在放大池中的相互作用时间越长,能量提取效率越大。我们选择一种延时线,使得 Stokes 种子光和抽运光的峰值在放大池中部相遇并相互作用。

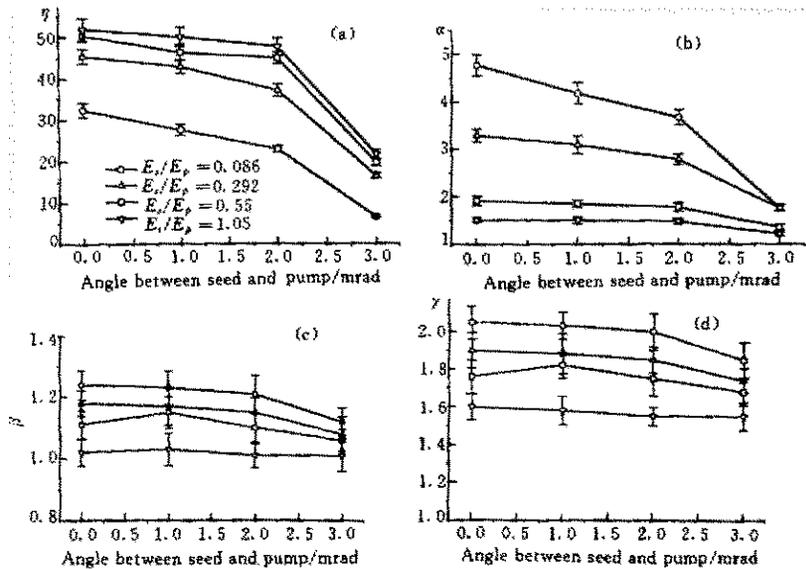


图 2 能量提取效率 (η) 种子光放大率 (α) 种子光脉宽压缩率 (β) 和抽运脉宽压缩率 (γ) 在四种不同的种子光与抽运光能量比下随种子光与抽运光夹角的变化关系

Fig.2 Energy extraction efficiency (η), seed amplification factor (α), pulse-width compression ratio of Stokes seed to output (β) and pulse-width compression ratio of pump to output (γ) versus angle

在实验中 Stokes 种子光和抽运光在放大池中的准直精度为 1 mrad。在测量前,先阻止 Stokes 种子光入射到放大池,只允许抽运光入射到放大池,没有发现 SBS 反射光。我们定义能量提取效率 $\eta = (E - E_s) / E_p$, 种子放大率 $\alpha = E / E_s$, 种子光脉宽压缩率 $\beta = W_s / W$, 抽运光脉宽压缩率 $\gamma = W_p / W$ 。在实验中通过旋转 1/2 波片,改变种子光与抽运光的能量比率。

在抽运功率密度为 18~30 MW 的条件下,测量了能量提取效率,Stokes 种子光放大率,Stokes 种子光脉宽压缩率和抽运脉宽压缩率在 Stokes 种子光与抽运光能量比为 0.086, 0.292, 0.55 和 1.05 条件下随 Stokes 种子光与抽运光夹角的变化规律,如图 2 所示。从图中可以看出,当种子光与抽运光能量比一定时,随着种子光与抽运光夹角的增加,能量提取效率、种子光放大率、种子光脉宽压缩率和抽运光脉宽压缩率下降,在夹角为 1~2 mrad 时,曲线下降得比较缓慢,在夹角为 3 mrad 时,曲线下降明显。当种子光与抽运光能量比不同时,随着能量比的增加,能量提取效率增加,种子光放大率下降,种子光脉宽压缩率和抽运光脉宽压缩率下降。

在种子光与抽运光存在交角的情况下,增益系数可以写为^[6]

$$g(\theta) = g(0^\circ) F_{kg} F_{\Omega} F_{tp}$$

其中 $F_{kg} = 1/\cos(\theta/2)$ 是与激发矢量有关的函数。 $F_{\Omega} = 1/(1+x^2)$, 在增益最大时,抽运光与种子光之间的频移 Ω 必须等于布里渊频移 Ω_B , 在种子光与抽运光存在角度时,失谐因子 $x = (\Omega - \Omega_B) / \Gamma_B$, 其中 Γ_B 为增益系数 g 的线宽最大值一半处的半宽度,它也是角度的函数, $\Gamma_B(\theta) = \Gamma_B(0^\circ) \cos^2(\theta/2)$, Ω_B 也是角度的函数, $\Omega_B(\theta) = \Omega_B(0^\circ) \cos(\theta/2)$, F_{tp} 是瞬态效应引起的 g 的下降,它是角度、脉宽和抽运光强等的函数。在存在小角度时,以上几个函数综合作用的结果是增益系数的下降。除此之外,由于存在角度时,种子光与抽运光不能有效重叠,两束光的相互作用长度减少。

在布里渊放大中,从产生池出射的 Stokes 种子光与抽运光相向传播,在 SBS 放大池中与入射脉冲碰撞,抽空抽运能量,产生 SBS 放大。在 Stokes 种子光放大过程中,脉冲前沿由于增益饱和而上升很快,因此,在脉冲得到完全放大后,抽运激光脉冲能量几乎全部转移到了一个很窄的后向脉冲中,从而实现了脉冲压缩。当种子光与抽运光能量比一定时,随着种子光与抽运光夹角的增加,两束光的相互

作用长度和增益系数减小,能量提取效率和种子光放大率下降,种子光由能达到饱和到不能达到饱和,脉宽变宽,种子光和抽运光脉宽压缩率下降。当种子光能量与抽运光能量相比很小时,有很大一部分抽运光没有被抽空,随着种子光能量的增加,抽运光有更大部分被抽空,能量提取效率增加。当种子光与抽运光能量比超过 0.5 以后,提取效率增加缓慢,因为种子光把抽运光能量已经全部抽空而引起了饱和效应。当种子光与抽运光能量比达到 1 时,这种饱和效应更明显,能量提取效率增加得更少。当 Stokes 种子光的能量与抽运光相比很小时,种子放大率较大,种子放大率随 Stokes 种子光与抽运光能量比的增加而减小,与提取效率相同,在种子光与抽运光能量比大于 0.5 以后,种子放大率下降缓慢,并且当 Stokes 种子光与抽运光夹角增加时,曲线下降得幅度越来越小,当 Stokes 种子光与抽运光的夹角为 3 mrad 时,种子光放大率随 Stokes 种子光与抽运光比的增加几乎不变。因为 Stokes 种子光与抽运光能量比的增加,由抽运光抽空所引起的饱和效应越来越明显,所以种子放大率越来越小。当 Stokes 种子光和抽运光有夹角时,尽管相互作用区域减小了,但由抽运抽空所引起的饱和效应却是一样的。当 Stokes 种子光的能量与抽运光相比很小时,种子光与抽运光相互作用很快就会达到饱和输出,所以脉宽很小,随着种子光能量比的增加,抽运抽空越来越严重,输出脉宽越来越宽,种子光和抽运光脉宽压缩率下降。从以上规律可以看出在布里渊放大池中 Stokes 种子光和抽运光可以调偏的角度很大,有 1~2 mrad 的调偏角度,从而增加了布里渊放大器的实用性。

参 考 文 献

- 1 C. Brent Dane, William A. Neuman, Lloyd A. Hackel. High-energy SBS pulse compression [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1994, **30**(8):1907~1915
- 2 Allan A. Offenberger, David C. Thompson, Robert Fedosejevs *et al.*. Experimental and modeling studies of a Brillouin amplifier [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1993, **29**(1):207~216
- 3 Shmuel Sternklar, Steven Jackel, Doron Chomsky *et al.*. Coherent beam and image amplification by Brillouin two-beam coupling in CS₂ [J]. *Opt. Lett.*, 1990, **15**(11):616~618
- 4 V. Babin, A. Mocofanescu, V. I. Vlad *et al.*. Analytical treatment of laser-pulse compression in stimulated Brillouin scattering [J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1999, **16**(1):155~163
- 5 Lu Zhiwei, Liu Li, He Weiming *et al.*. Generation of high-quality tunable-duration phase by phase conjugating mirror [J]. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2000, **20**(3):389~394 (in Chinese)
- 6 Yaakev Glick, Shmuel Sternklar. Angular bandwidth for Brillouin amplification [J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1994, **11**(9):1539~1543