

文章编号: 0258-7025(2006)Supplement-0141-03

受激布里渊散射激光组束中高功率斯托克斯光的放大

王双义, 吕志伟, 林殿阳, 赵晓彦, 王超

(哈尔滨工业大学光电子技术研究所, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要 对时间上串行的受激布里渊散射(SBS)激光组束中高功率斯托克斯光的放大问题进行了研究,实验研究了高功率下斯托克斯光放大的能量提取效率随种子光与抽运光功率密度比的变化规律。实验发现,当斯托克斯光功率密度大于抽运光功率密度时,斯托克斯光仍然可以从抽运光中提取能量。而且研究表明,随着斯托克斯光功率的增大,从抽运光中提取出的能量越多。高功率斯托克斯光的放大存在一个最大值,这个最大值决定于抽运光能量、介质吸收系数、介质池长等参量。通过优化介质池长和介质吸收系数等参量可以提高斯托克斯光放大的最大值,并获得较高的能量提取效率。

关键词 非线性光学; 受激布里渊散射; 组束; 能量提取效率; 放大

中图分类号 O437.2 **文献标识码** A

Amplification of High-Power Stokes Beam in Laser Beam Combination by Stimulated Brillouin Scattering

WANG Shuang-yi, LÜ Zhi-wei, LIN Dian-yang, ZHAO Xiao-yan, WANG Chao

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

Abstract Amplification of high-power Stokes beam in the time serial laser beam combination by stimulated Brillouin scattering (SBS) is studied. The variation of energy extraction efficiency of Stokes beam amplification with the power density ratio of Stokes beam to pump beam is studied experimentally. The results show that energy can be extracted from pump beam when power density of Stokes beam is more than that of pump beam. The more power density of Stokes beam, more energy are extracted from pump beam. There exists a maximum for the amplification of high-power Stokes beam which is restricted by the energy of pump beam, the absorption coefficient of medium and the length of medium cell, etc. The maximum of Stokes beam amplification can be increased and the higher energy extraction efficiency can be gained through optimizing the absorption coefficient of medium and the cell length.

Key words nonlinear optics; stimulated Brillouin scattering; beam combination; energy extraction efficiency; amplification

1 引言

大能量、高功率激光在国防上具有广泛的应用,诸如激光武器、激光制导、光电对抗等方面。然而增加激光器的功率会受到激光技术和激光材料等方面的制约。在过去几十年中,基于不同的原理,发展了许多激光组束方法。其中,人们对受激布里渊散射(SBS)并行激光组束已经研究了多年^[1~3],主要包括重叠耦合和后向注入种子两种方案,这种方法可以把两束或多束时间上并行的激光合成一束,但组束效率低、调整精度要求高,不能满足大能量、高功率激光组束的要求。上世纪九十年代后期发展起来的布里渊增强四波混频激光组束^[4],可以获得很好的相位锁定,有效地把多束激光合成一束。近些年

来,利用光纤对激光进行组束的方法得到了广泛的研究,发展了多种方法,诸如受激布里渊散射光纤激光组束^[5]、波长/频谱光纤激光组束^[6,7]、全光纤组束^[8]等。光纤组束在近些年发展很快,但受限于目前光纤所能承受的功率水平,还不能达到大能量、高功率的需求。

近年来,我们对时间上串行的受激布里渊散射激光组束进行了研究^[9]。这种组束的方法通过斯托克斯光逐级抽取抽运光中的能量来实现,具有结构简单、造价低廉、调整方便和高负载等诸多优良特性,而且可以从物理上将多束激光真正地合成一束。本文对这种组束方案中的高功率斯托克斯光的放大进行了研究。

作者简介: 王双义(1979—),男,哈尔滨工业大学光电子技术研究所博士研究生,主要从事受激布里渊散射方面的研究。

E-mail: fredwsy@126.com

2 实验装置

实验装置如图 1 所示。从 Nd:YAG 激光器输出的激光被分束片 BS 分为两束,其中一束通过 M_1 , 并经过受激布里渊散射产生池(聚焦透镜为 $f=10\text{ cm}$) 作为反射镜的双通放大后,经由 P1, HW1, M_2 作为斯托克斯光进入放大池(放大池长为 60 cm);另一束作为抽运光经由 $M_3, M_4, \text{HW2}$ 直接进入放大池。实验中所用 Nd:YAG 激光器的输出脉宽为 10 ns , 经过受激布里渊散射双通放大后的斯托克斯光的脉宽约为 9 ns 。实验中抽运光和斯托克斯光放大前后的脉宽和波形利用 PIN 光电二极管探测,并用数字

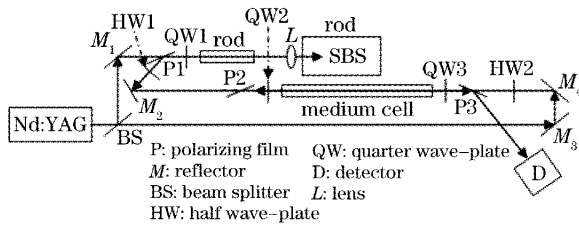


图 1 实验装置

Fig. 1 Experiment setup

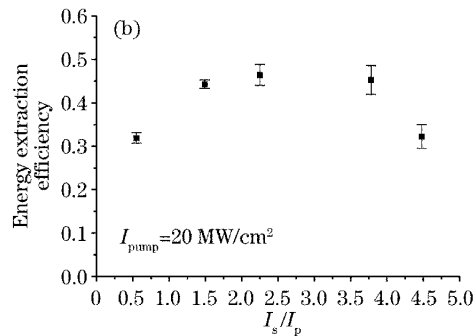
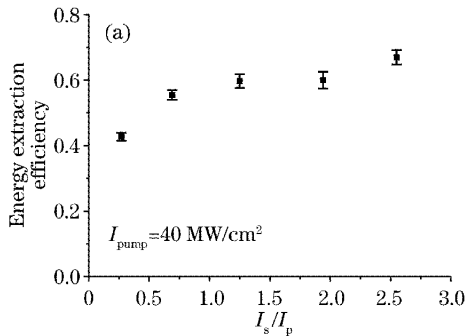


图 2 能量提取效率随斯托克斯光功率密度的变化

Fig. 2 Energy extraction efficiency versus power density of Stokes beam

4 分析与讨论

实验发现,保持抽运光能量不变,在斯托克斯光的功率密度超过抽运光时,受激布里渊散射放大可以有效地进行,而且斯托克斯光的脉冲宽度接近不变。但实验也发现,当斯托克斯光的功率密度超过抽运光一定程度后,能量提取效率是下降的。

为了进一步说明问题,我们用受激布里渊散射一维瞬态理论模型进行了数值模拟^[10]。选取抽运光和斯托克斯光脉宽为 10 ns , 介质吸收系数为 $\alpha=4\times 10^{-3}\text{ cm}^{-1}$, 受激布里渊散射池长为 100 cm 的情况下,计算所得能量提取效率以及斯托克斯光的放大随斯托克斯光和抽运光的功率密度比的变化规律如图 3 所示(图中 AE_s 为放大后的斯托克斯光)。

示波器 TDS3032B 来记录,用 OPHIR 公司生产的能量计 PE25BB-DIF 测量抽运光和斯托克斯光的能量。

3 实验结果

利用图 1 的实验装置,选取 FC-72 作为介质进行实验。在抽运光功率密度分别为 40 MW/cm^2 和 20 MW/cm^2 情况下,改变斯托克斯光的功率密度,获得了能量提取效率的变化规律,如图 2 所示。这里能量提取效率通常定义为 $\eta=(E_{s2}-E_{s1})/E_{p0}$, E_{p0} 为抽运光能量, E_{s1} 为斯托克斯光能量, E_{s2} 为放大后的斯托克斯光能量。由图 2 可以看出,在高功率状态下,尤其是当斯托克斯光的功率密度高于抽运光的功率密度时,仍然可以有效地进行放大。由图 2(b)可以看出,能量提取效率随着斯托克斯光功率密度的增高,先增加,然后降低。图 2(a)没有呈现这样的趋势,是因为斯托克斯光与抽运光的功率密度比不够大。此外,斯托克斯光的脉冲宽度在放大过程中接近不变。

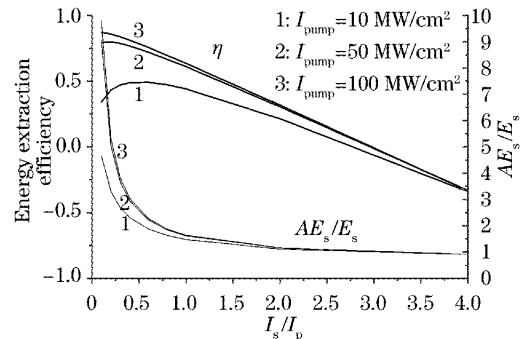


图 3 能量提取效率和斯托克斯光放大倍数随斯托克斯光与抽运光功率密度比的变化

Fig. 3 Energy extraction efficiency and amplification factor of Stokes beam versus the power density ratio of Stokes beam to pump beam

可以看出,在斯托克斯光的功率密度超过抽运光一定程度时,能量提取效率为零,此时相当于斯托克斯光没有被放大。而且,如果斯托克斯光更大,能量提取效率为负值,这说明斯托克斯光在介质池中与抽运光作用后反而变小了。

分析能量提取效率的定义,其中包含斯托克斯光在介质池中的吸收损耗,在斯托克斯光为小信号

的情况下,损耗相对较小,能量提取效率是递增的;但是当斯托克斯光与抽运光可以相比甚至已经超过了的时候,损耗相对较大,造成了能量提取效率的下降,从而最终影响了斯托克斯光的放大。分析表明,影响斯托克斯光放大的主要因素是介质吸收系数和介质池长等参量,如图4所示。

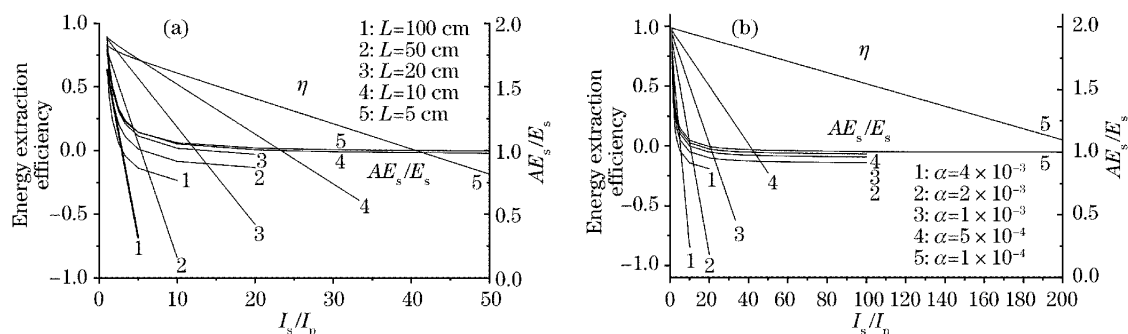


图4 能量提取效率和斯托克斯光的放大倍数随介质池长和介质吸收系数的变化

Fig. 4 Energy extraction efficiency and amplification factor of Stokes beam versus cell length and absorption coefficient of medium

图4(a)中,吸收系数 $\alpha=4 \times 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$;图4(b)中,介质池长为50 cm。由图中可以看出在相同的介质池长和介质吸收系数下,能量提取效率随着斯托克斯光和抽运光的功率密度比的增加最终呈下降趋势。介质吸收系数和介质池长决定了斯托克斯光在介质池中的损耗,斯托克斯光能量越大,在介质池中损耗的绝对量就越大。当斯托克斯光在介质池中的损耗已经等于从抽运光中提取的能量时,能量提取效率就为零,斯托克斯光的放大也就达到了临界点,过了这个临界点,斯托克斯光不但不能被放大,反而会变小。通过图4可以看出,在其他条件相同的情况下,缩短介质池长或者降低介质吸收系数都可以提高斯托克斯光放大的最大值和能量提取效率。但是池长的缩短会造成介质中斯托克斯光和抽运光相互作用距离的缩短,因此在一定程度上又会引起能量提取效率的降低。因此根据实际需要,通过优化介质参量和结构参量的组合,可以提高斯托克斯光放大的最大值,并获得较高的能量提取效率。

参 考 文 献

- 1 Marcy Valley, Gabriel Lombardi, Robert Aprahamian. Beam combination by stimulated Brillouin scattering [J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1986, 3(10): 1492~1497
- 2 Richard H. Mayer. Beam combination with stimulated Brillouin

scattering: a review [C]. *SPIE*, 1998, 1000: 25~32

- 3 Ding Yingchun, Lü Zhiwei, Zhao Xiaoyan *et al.*. Current situation and outlook for beam combination by stimulated Brillouin scattering [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2000, (5): 7~12
- 丁迎春,吕志伟,赵晓彦等. 受激布里渊散射相位共轭组束的研究现状和发展前景 [J]. *激光与光电子学进展*, 2000, (5): 7~12
- 4 Mark W. Bowers, Rober W. Boyd, Allen K. Hankla. Brillouin-enhanced four-wave-mixing vector phase-conjugate mirror with beam-combining capability [J]. *Opt. Lett.*, 1997, 22(6): 360~362
- 5 Blake C. Rodgers, Timothy H. Russell, Won B. Roh. Laser beam combining and cleanup by stimulated Brillouin scattering in a multimode optical fiber [J]. *Opt. Lett.*, 1999, 24(16): 1124~1126
- 6 S. J. Augst, A. K. Goyal, R. L. Aggarwal *et al.*. Wavelength beam combining of ytterbium fiber lasers [J]. *Opt. Lett.*, 2003, 28(5): 331~333
- 7 Erik J. Bochove. Theory of spectral beam combining of fiber lasers [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 2002, 38(5): 432~445
- 8 V. A. Kozlov, J. Hernández-Cordero, T. F. Morse. All-fiber coherent beam combining of fiber lasers [J]. *Opt. Lett.*, 1999, 24(24): 1814~1816
- 9 Wang Shuangyi, Lin Dianyong, Lü Zhiwei *et al.*. Numerical simulation and scheme design for laser beam combination of stimulated Brillouin scattering [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2003, 15(9): 877~880
- 王双义,林殿阳,吕志伟等. 对受激布里渊散射激光进行组束的数值模拟及方案设计 [J]. *强激光与粒子束*, 2003, 15(9): 877~880
- 10 Rajun Chu, Morton Kanefsky, Joel Falk. Numerical study of transient stimulated Brillouin scattering [J]. *J. Appl. Phys.*, 1992, 71(10): 4653~4658