

光学单池中受激布里渊散射的双光束共轴放大^{*}

陈旭东¹⁾ 石锦卫¹⁾ 欧阳敏^{1,3)} 刘 宝¹⁾ 许艳霞¹⁾ 史久林²⁾ 刘大禾^{1,2)†}

1)(应用光学北京市重点实验室,北京师范大学物理系,北京 100875)

2)(无损检测技术教育部重点实验室,南昌航空大学,南昌 330063)

3)(华南师范大学信息光电子科技学院,广州 510631)

(2008 年 10 月 10 日收到,2008 年 11 月 20 日收到修改稿)

介绍了一种在单池中实现受激布里渊散射双光束共轴放大的方法,能够在单一光学池中同时实现受激布里渊散射的产生和放大.相比于传统的双池放大技术,这种方法具有结构简单、信号损失小的优点.对于激光雷达等方法采用双池放大的实际应用领域,单池放大技术更是一种必要的方法.

关键词:受激布里渊散射,放大,光学单池

PACC: 4265C, 7820B, 7835

1. 引 言

受激布里渊散射(SBS)在相位共轭和脉宽压缩等领域有着非常广泛的应用^[1-3].就相位共轭而言,共轭回波信号的保真度^[4]是非常重要的.同时,对于诸如大功率激光器中的相位共轭等,反射率也是重要的参数.为了获得更强的SBS信号,最直接的方法是增大入射激光的能量,并使用聚焦透镜.然而,随着抽运激光能量的增加,焦点处的功率密度急剧增大,会导致其他非线性过程的产生^[5].其中最严重的是光学击穿^[6,7].光学击穿一旦形成,会严重影响SBS的反射率和相位共轭的保真度.使用大口径的聚焦透镜在一定程度上减小了其他非线性过程的产生^[8],但同时也造成了SBS空间模式变差,大大降低了相位共轭的保真度.鉴于此,人们提出了双池系统来提高受激布里渊散射信号的探测能力.最初提出的是一种紧凑双池结构^[9].在此结构中,系统的保真度得到了保证,反射率有所提高.但在很多应用中,人们经常需要改变抽运光与SBS种子光的交叠长度与位置,紧凑双池结构很难达到这一目的.为此,人们又提出了独立双池结构^[10,11],进一步提高了探测系统的性能.然而,当种子信号较弱时,或种子池的衰减较强时,SBS信号在穿出种子池及进入放大池

时,都会在表面产生额外的能量损失,使其在进入放大池的前表面时已损耗殆尽.另外,在某些实际应用中,例如在海洋监测布里渊散射激光雷达中^[12-14],海洋就是一个大水池,不可能建立一个单独的放大池.而要实现放大,除产生种子光的入射激光束外,还需要一束用于放大种子光的抽运光束.因此,在种子池中同时实现SBS信号的产生和双光束共轴放大就成为一个必须解决的问题.

2. 两束(或多束)独立相干光的获得

要实现SBS信号的放大,种子光和抽运光必须是相干光.在已报道的工作中,都是将一束激光分为两束,其中一束用于激发SBS信号,另一束作为抽运光.而这将使得两束光的强度都被减弱.在布里渊散射激光雷达的应用中,这会大大降低探测深度.为了克服这一不足,我们采用了如下的方法.

我们使用种子注入的脉冲YAG激光器,其输出为两束光.一束为532 nm的倍频光,一束为1064 nm的基频光.两束光的能量基本相同.这两束光由同一个振荡级产生.我们用532 nm的绿光射入水中激发SBS.而让另一束1064 nm的基频光再通过一个倍频晶体变为532 nm的光,并用这束光作为抽运光.因此,这两束532 nm的绿光具有非常好的相干性.

^{*} 国家自然科学基金(批准号:10574016和60678049)和国防项目资助的课题.

[†] 通讯联系人. E-mail: dhliu@bnu.edu.cn

而要获得多束相干光,则需要使用两台以上的激光器.具体实现方法如图 1 所示.激光器 1 输出的 1064 nm 基频光经倍频晶体后再经过分束镜,得到波长分别为 1064 nm 和 532 nm 的两束强度基本相同的光.将 1064 nm 的光作为种子光输入到激光器 2 的放大级,则由激光器 2 又可得到两束 532 nm 的光和一束 1064 nm 的光.这束 1064 nm 的光可再作为种子光输入到激光器 3 获得更多的 532 nm 的光.由于

这些 532 nm 的光束都是同一种子光放大得到的,因此,它们都很好的相干性.另外,为了保证激光器 2 的稳定性,尽管我们不需要其振荡级的输出,但我们仍令该振荡级正常工作,以满足整台激光器的热稳定条件.基于上述方法,我们曾用一台 Continuum Powerlite Precision Plus 种子注入 YAG 激光器、一台 Continuum Powerlite Precision 8000 种子注入 YAG 激光器和一台 YAG 放大器获得了六束 532 nm 的相干

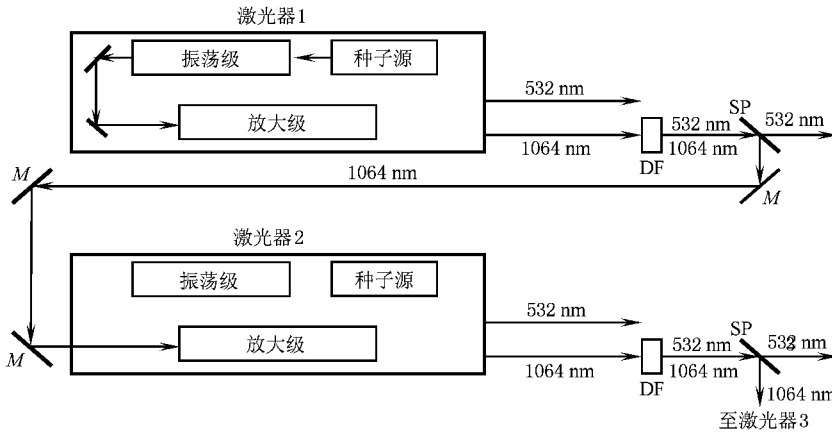


图 1 多束独立相干光的获得(DF 为倍频晶体,SP 为分束镜,其对 1064 nm 高反,而对 532 nm 高透. M 为 1064 nm 高反镜)

光,并得到了很好的干涉实验结果.

3. SBS 的单池放大实验

图 2 为我们的实验系统框图.激光器 1 为 Continuum Powerlite Precision 8000 种子注入脉冲 YAG 激光器,重复频率为 10 Hz,532 nm 输出的单脉冲能量为 650 mJ.激光器 2 为 Continuum Powerlite Precision Plus 种子注入脉冲 YAG 激光器,重复频率为 10 Hz,532 nm 输出的单脉冲能量为 1.3 J.我们将激光器 1 输出的 1064 nm 的光适当衰减,并经过一个光束变换系统后,以合适的发散角射入激光器 2 的放大级.激光器 2 输出的 532 nm 的光作为主光束射入水槽,激发 SBS.激光器 1 输出的 532 nm 的光作为抽运光射入水槽对主光束激发的 SBS 信号进行放大.两台激光器均用 Stanford Research System 公司的 DG535 脉冲发生与延迟器精确控制.两台 DG535 之间完全同步.激光器 2 输出的 532 nm 的光经一个扩束系统控制其发散角与激光器 1 输出发散角的差别,使两束光经过聚焦系统后会聚在水槽中不同的位置.激光器 1 输出光束所经过的光学延迟应与两束光在水

槽中会聚点的距离匹配,以保证获得最佳的放大效果.双光束偏振控制系统用于改变射入水槽的光的偏振态,以满足不同的实验需要.背向散射光由 F-P 标准具分光,最后用 ICCD 系统记录散射光谱.所用的 ICCD 系统为 Princeton Instruments 公司的 PI-MAX2-1003 ICCD 摄像机.

为使 SBS 种子光与抽运光有最大的相互作用长度,我们采用了双光束共轴的配置.实验在 55 m 长的水槽中进行.我们选用了衰减系数为 1.2/m 的浑浊水,其对应的一个衰减长度为 0.833 m.图 3 为水样长度为 5 米(对应于 6 个衰减长度)时的实验结果.可以明显看到在单池中双光束共轴放大对增强 SBS 信号的作用.图 4 为水样长度为 7 m(对应于 8.4 个衰减长度)时的实验结果.此时,布里渊信号非常微弱,图中给出了信噪比的变化.在单光束探测时,单纯的布里渊信号已经淹没在背景噪声中了;而使用双光束放大系统后,信噪比增加到 4.72.可以看到,对于同样的接受仪器,在采用了双光束共轴放大方法后,SBS 信号几乎发生了从不可见到可见的变化,即 SBS 信号由不可测量变为可测量.

在很多实际应用(如激光雷达系统)中,散射信

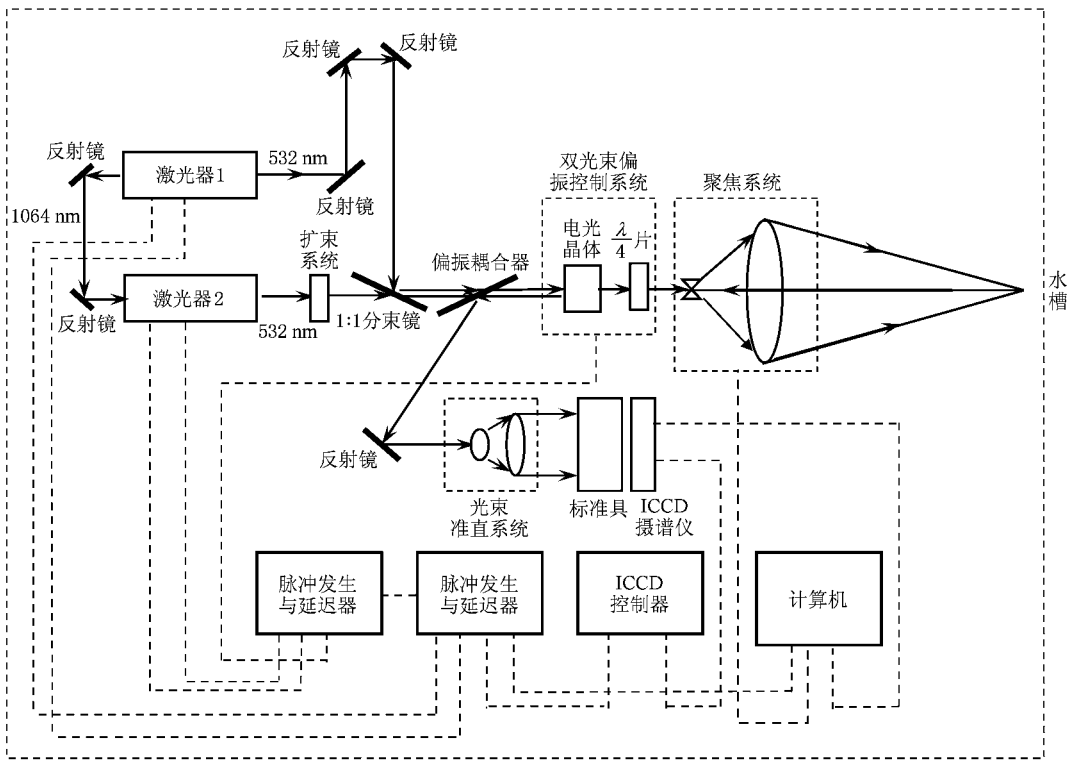


图 2 SBS 单池双光束放大实验系统(实线表示光信号连接,虚线表示电信号连接)

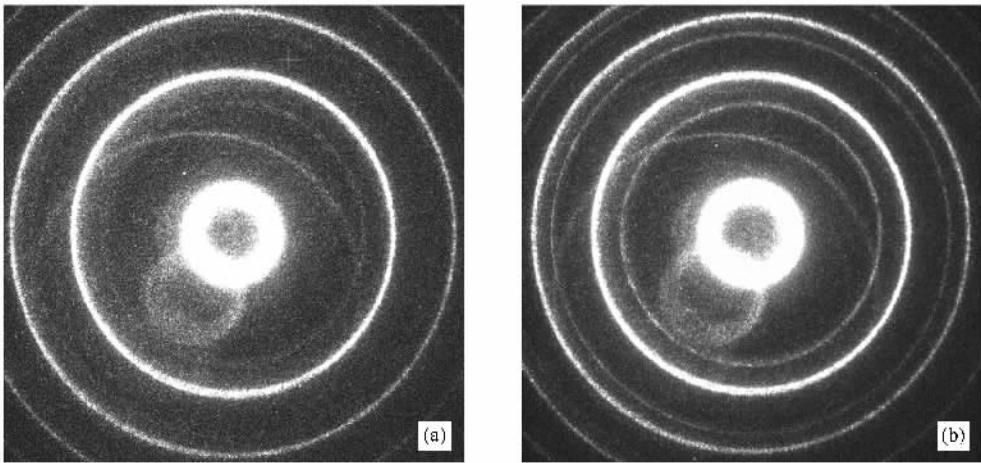


图 3 6 个衰减长度水中 SBS 信号的实验测量结果 (a)单光束探测实验结果 (b)双光束放大实验结果

号在介质中传播的距离很长,往往在介质中就已经损耗殆尽,在介质外再增加一个放大池是没有任何作用的.另外,现在的探测器灵敏度已相当高,能够由介质出射的散射信号通常也能够被探测到.因此,在单池中同时实现 SBS 信号的产生和放大是非常必要的.

4. 结 论

对于微弱 SBS 信号的探测,在光学单池中同时实现 SBS 的产生和双光束共轴放大是可行的,而且是有效的.

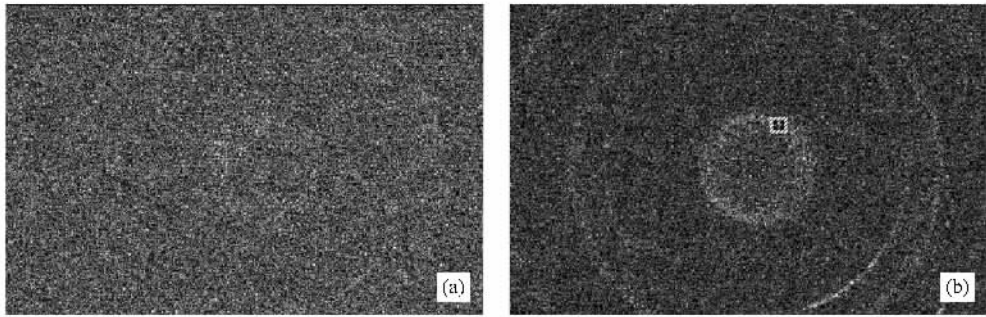


图4 8.4个衰减长度水中SBS信号的实验测量结果 (a)单光束探测实验结果, SNR = 1.43 (b)双光束放大实验结果, SNR = 4.72

- [1] Shen Y R 1984 *The Principle of Nonlinear Optics*, ch. 11 (New York : John Wiley & Sons).
- [2] Ye P X 2007 *Nonlinear optics physics* (Beijing : Peking University Press)(in Chinese)[叶佩弦 2007 非线性光学物理 (北京 : 北京大学出版社) 第九章]
- [3] Damzen M J , Vlad V I , Babin V , Mocofanescu A 2003 *Stimulated Brillouin Scattering : Fundamentals and Applications* ch. 4 (Institute of Physics Publishing , Bristol).
- [4] He W M , Yang J , Lü Y L , Lü Z W 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 468 (in Chinese)[何伟明、杨 、吕月兰、吕志伟 2004 物理学报 **53** 468]
- [5] Deng S Y , Guo S F , Lu Q S , Cheng X A 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 3164 (in Chinese)[邓少永、郭少锋、陆启生、程湘爱 2005 物理学报 **54** 3164]
- [6] Hasiwuliji , Lü Z W , He W M , Li Q , Ba D X 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 5654 (in Chinese)[哈斯乌力吉、吕志伟、何伟明、李强、巴德欣 2005 物理学报 **54** 5654]
- [7] Hasiwuliji , Lü Z W , Li Q , Ba D X , Zhang Y , He W M 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 5252 (in Chinese)[哈斯乌力吉、吕志伟、李强、巴德欣、张 祎、何伟明 2006 物理学报 **55** 5252]
- [8] Gong H P , Lü Z W , Lin D Y , Lü Y L 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 2735 (in Chinese)[龚华平、吕志伟、林殿阳、吕月兰 2006 物理学报 **55** 2735]
- [9] Glazkov D A , Efinkov V F , Zubayev L G 1988 *Sov. J. Quantum Electron.* **18** 974
- [10] Offenberger A A 1993 *IEEE J. Quantum Electron.* **29** 207
- [11] Yang J , Lü Z W , He W M , Ruan S C 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 4622 (in Chinese)[杨 、吕志伟、何伟明、阮双琛 2007 物理学报 **56** 4622]
- [12] Shi J W , Gong W P , Bai J H , Liu D H 2007 *Physics* **36** 777 (in Chinese)[石锦卫、弓文平、白建辉、刘大禾 2007 物理 **36** 777]
- [13] Shi J W , Li G X , Gong W P , Bai J H , Huang Y , Liu Y N , Li S J , Liu D H 2007 *Appl. Phys. B* **86** 177
- [14] Ouyang M , Shi J W , Zhao J H , Chen X D , Jing H M , Liu D H 2008 *Appl. Phys. B* **91** 381

Collinear amplification by dual-beam stimulated Brillouin scattering in a single optical cell^{*}

Chen Xu-Dong¹⁾ Shi Jin-Wei¹⁾ Ouyang Min^{1B)} Liu Bao¹⁾ Xu Yan-Xia¹⁾ Shi Jiu-Lin²⁾ Liu Da-He^{1D)†}

1 *Applied Optics Beijing Area Major Laboratory, Department of Physics, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*

2 *Key Laboratory of Nondestructive Test (Ministry of Education), Nanchang Hang Kong University, Nanchang 330063, China*

3 *School of Information Photoelectric Science & Technology, South China Normal University, Guangzhou 510631, China*

(Received 10 October 2008; revised manuscript received 20 November 2008)

Abstract

The amplification of the signal of stimulated Brillouin scattering (SBS) is widely used in many area. A method for amplifying the signal of SBS using dual collinear beams in a single optical cell is introduced. The stimulated Brillouin scattering can be induced and amplified in one optical cell. Comparing with previous double-cell technique, the proposed method has the advantages of simple structure and low energy loss. It is necessary for some applications with weak signal of stimulated Brillouin scattering such as lidar for remote sensing, in which double-cell technique is not suitable.

Keywords : stimulated Brillouin scattering, amplification, optical single cell

PACC : 4265C, 7820B, 7835

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 10574016 and 60678049) and the Foundation of National Defence.

[†] Corresponding author. E-mail: dlhliu@bnu.edu.cn