

同轴正交偏振双脉冲序列受激布里渊散射 抽运放大的实现方法^{*}

陈旭东¹⁾ 石锦卫¹⁾ 刘 娟¹⁾²⁾ 刘 宝¹⁾ 许艳霞¹⁾ 史久林²⁾ 刘大禾¹⁾²⁾†

1) (北京师范大学物理系, 应用光学北京市重点实验室, 北京 100875)

2) (南昌航空大学无损检测技术教育部重点实验室, 南昌 330063)

(2009 年 1 月 5 日收到; 2009 年 3 月 6 日收到修改稿)

利用受激布里渊散射放大时抽运光与种子光可以有一时间延迟的特性, 设计了一个同轴传播正交偏振双脉冲序列的偏振控制装置, 使同轴传播的两个正交偏振脉冲光束在放大时具有相同的偏振态, 从而实现了两束光的抽运放大.

关键词: 受激布里渊散射, 抽运放大, 偏振控制

PACC: 4265C, 7820B, 7835

1. 引 言

在很多光学实验中, 经常需要使两束光同轴传播. 可以采用几种方法将不同方向的激光束耦合为同轴光束, 其中, 偏振耦合法因其能量损失最小而被广泛使用. 然而, 偏振耦合法仍有局限性. 由于同轴传播的两束光的偏振态是正交的, 因此, 不能实现相干放大. 但在实际应用中, 有时相干放大是非常必要的. 例如: 受激布里渊散射 (SBS) 信号的放大^[1-8], 以及布里渊散射激光雷达回波信号的放大^[9].

我们在布里渊散射激光雷达^[10-13]的工作中, 利用 SBS 改善了激光雷达的性能^[14,15]. 为了进一步提高激光雷达的探测深度, 对回波信号进行放大是最有效的方法. 然而, 实验室中通常使用的双池放大技术在激光雷达中是不适用的. 因为微弱的 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, 海洋就是一个大水池, 不可能另外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, 还需要另一

束用于放大种子光的抽运光束. 然而, 如前所述, 对于实际可用的激光雷达系统, 这两束光必须是同轴传播的. 为了最大限度减小能量损耗, 又应是正交偏振的. 如何使这两束正交偏振的光产生放大作用, 成为我们面对的关键问题. 我们设计了一个同轴双脉冲序列激光束偏振态的控制装置, 可以使同轴传播的两个正交偏振脉冲光束在放大时具有相同的偏振态. 从而实现了 SBS 信号的放大.

2. 偏振控制器的设计

由于受激布里渊散射具有位相共轭特性^[16,17], 在 SBS 信号背向传播的过程中, 如果遇到与之相干的光束, 即可被放大. 这实际意味着抽运放大光束与 SBS 种子光之间可以有一个时间延迟. 这正是我们设计同轴传播正交偏振双脉冲序列振态控制装置的出发点.

2.1. 基本原理

偏振控制器包括双折射电光晶体和驱动电源两部分.

让两束正交偏振光耦合后的同轴光束射到电光偏振控制器上. 两束光之间有一时间延迟, 它们

^{*} 国家自然科学基金 (批准号: 10574016, 60778049) 资助的课题.

† 通讯联系人. E-mail: dhliu@bnu.edu.cn

在不同时刻先后到达腔外电光偏振控制器. 不加高压时,其光轴为竖直方向;加高压时,其光轴与水平(或竖直)方向成 45° ,且对入射光为半波片. 通过控制在双折射电光晶体上加或不加高压改变双折射晶体的双折射特性,达到改变两束光偏振态的目的.

2.2. 实现方法

在我们的方案中,采用了升压工作方式. 这是由于在升压工作方式中,绝大部分时间晶体不加高压,可以延长晶体的使用寿命. 退压工作方式具有更高的开关速度,在需要更短开关时间时,应采用退压工作方式. 设激光的脉冲宽度为 10 ns,重复频率为 10 Hz. 同轴光束由两个正交偏振的脉冲光束组成. 电光偏振控制器的工作过程如下:

- 1) 两束正交偏振的线偏振光经偏振耦合器后耦合为一束光. 两束光之间有一定的时间延迟(10 ns). 因此,两束光在不同时刻先后到达电光偏振控制器. 设水平偏振的光首先到达.
- 2) 电光偏振控制器平时处在不加高压状态(初始状态). 此时,水平偏振的光将以很小的损耗通过电光偏振控制器.
- 3) 经过 10 ns 后,第一束水平偏振的光脉冲消失. 又经过一段时间后,第二束竖直偏振的光脉冲到达电光偏振控制器. 此时,驱动电源突然对双折射电光晶体加高压,电光晶体的双折射特性突然发

生变化. 此时,晶体变为对该光束的半波片(光轴方向与水平振动方向成 45°),竖直偏振的光将以很小的损耗通过晶体并变为水平偏振的光.

4) 再经过 10 ns 后,第二束光消失. 此时,驱动电源突然关断加到双折射电光晶体上的高压,晶体的双折射特性回到初始状态.

5) 经过约 999 ms 后,第二个光脉冲序列到达电光控制器,并重复 1)–4) 的工作过程.

6) 上述过程不断重复,可在每一个重复阶段内使两束正交偏振的线偏振光在不同时刻(可根据实际情况设置)具有相同的偏振态.

7) 用一台高精度脉冲发生与延迟器输出的脉冲电信号控制电光偏振控制器驱动电源的工作,保证电光偏振控制器的工作准确无误.

3. 实际电光偏振控制器

图 1 为电光偏振控制器及高压的开、关与激光脉冲的时序. (a) 图为腔外电光偏振控制器, (b) 图为示波器显示的电脉冲与光脉冲时序. 两个窄峰为激光双脉冲,较宽的峰为电光偏振控制器驱动电脉冲,充满屏幕的平缓曲线为激光器输出的触发脉冲. 电光偏振控制器中的晶体为经特殊切割的 KD^*P 晶体. 电光偏振控制器的工作参数如下: 晶体通光孔径为 15 mm; 工作方式为升压工作方式; 半波电压为 7000 V; 上升沿宽度为 27 ns.

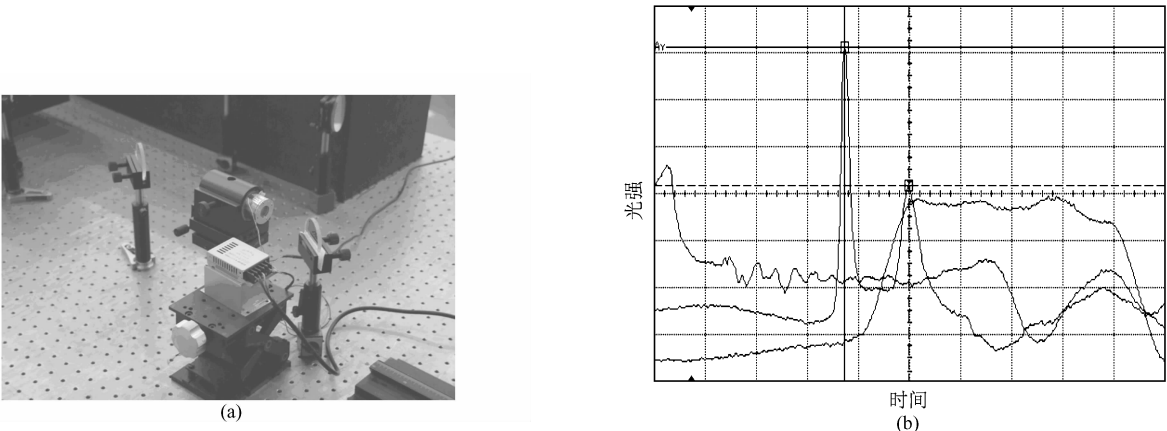


图 1 电光偏振控制器及时序 (a)电光偏振控制器,(b)电脉冲与光脉冲时序(横坐标 20 ns/div)

图 2 为脉冲序列通过电光偏振控制器后的输出波形. 可以看到,控制器对两个正交偏振光脉冲实现了预期的控制.

4. 实验及结果

参考文献[9]给出了一种用两台或多台脉冲激

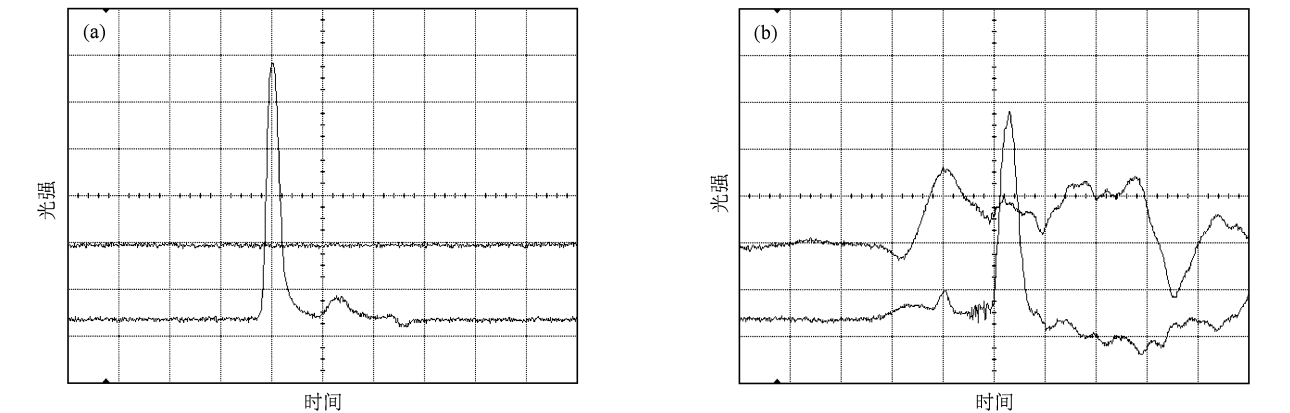


图2 电光偏振控制器对两个脉冲光偏振态的控制 横坐标 20 ns/div. (a) 不加高压,第一个脉冲通过,第二个脉冲不通过;(b) 加高压,第一个脉冲不通过,第二个脉冲通过

光器获得多束相干光的方法. 在本文中仍采用这种方法. 图3为实验装置示意图. 激光器1为一台 Continuum Powerlite Precision II 8000 种子注入脉冲激光器,其脉宽为 8 ns,重复频率为 10 Hz,532 nm 的脉冲能量为 650 mJ,1064 nm 的输出脉冲能量为 600 mJ. 激光器2为一台 Continuum Powerlite Precision Plus 种子注入脉冲激光器,其脉宽为 8 ns,重复频率为 10 Hz,532 nm 的脉冲能量为 1.5 J. 我

们将激光器1输出的1064 nm单纵模光注入到激光器2的放大级从而获得了两束完全相干的532 nm脉冲光束. 实验中,我们用F-P标准具分光,用ICCD相机(Princeton Instruments PI-MAX 2)记录散射光谱. 脉冲发生与延迟器为Stanford Research System公司的DG 535型号. 实验装置其他部分的作用和功能在文献[4—9]中已有详细描述,这里不再重复.

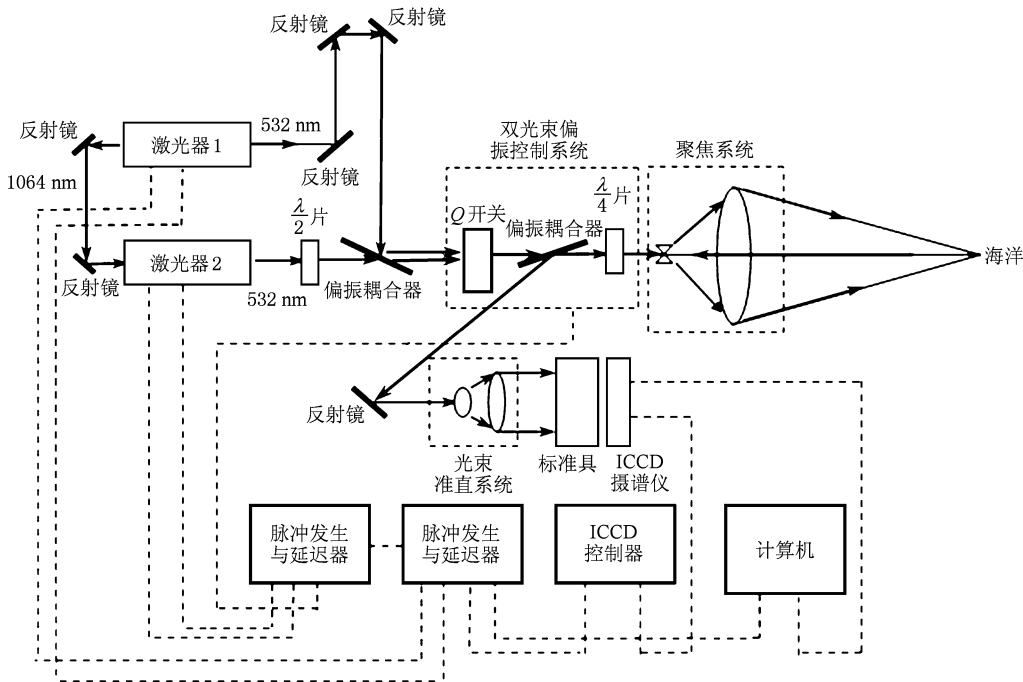


图3 实验装置的框图结构

由于电光偏振控制器驱动电脉冲上升沿的宽度为 27 ns,我们在实验中调节激光器1输出的532

nm 光的光程,使之到达偏振耦合器时与激光器2输出的532 nm 光有 27 ns 的时间延迟. 这对应于两个

光脉冲在水中有约 5 m 的光程差. 即第一个光脉冲激发的 SBS 信号在向回传播约 2.5 m 时与第二个光脉冲相遇. 由于电光偏振控制器的作用, 此时第二个光脉冲的偏振态与第一个光脉冲激发的 SBS 信号的偏振态相同. 因此, SBS 信号可以得到最大程度的放大.

我们在 50 m 水槽中进行了实验, 实验的环境温度为 25 ℃. 所用激光器的线宽为 90 MHz. 图 4 为所用激光器输出脉冲的时间波形. 这是一个典型的单纵模窄带激光才能产生的非常平滑的高斯脉冲. 它可以激发水中的单模受激布里渊散射. 所用水样的衰减系数为 1.2 /m, 对应的一个衰减长度为 0.84 m. 这样的水质对激光和 SBS 信号都有很强烈的衰减作用. 我们测量了水中 7.5 m 处的散射光谱, 如图 5 所示. 所用 F-P 标准具的自由光谱范围为 23.95 GHz, 可求出散射光的频移为 7.54 GHz, 这正是水中的布里渊散射频移值. 测量中, ICCD 相机的门宽为 5 ns. 由图 5 可见, 未采用抽运放大技术时, 散射信号非常微弱, 用 ICCD 相机无法记录到散射光谱. 这是由于对衰减系数为 1.2 /m 的水, 7.5 m 处第一束激光激发的 SBS 信号本身已经很弱, 在向回背向传播的过程中, 进一步被衰减, 使得这个信号已经无法被探测到. 而使用了抽运放大技术后, 由于第二束放大脉冲光的存在, 7.5 m 处第一束激光激发的微弱 SBS 信号在向回传播约 2.5 m 后与第二束放大脉冲光相遇而被放大, 使 SBS 信号得到

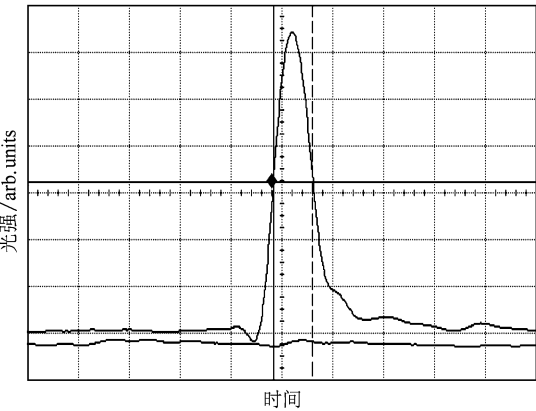


图 4 激光输出脉冲的时间波形 横坐标 20 ns/div

了明显的增强, 从而使 ICCD 在增益相同的情况下能够得到完整的散射光谱.

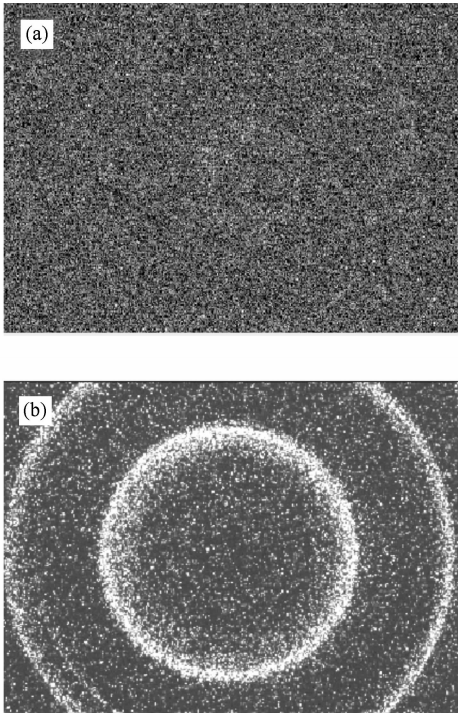


图 5 抽运放大探测的水槽实验结果 衰减系数为 1.2 /m, 深度 7.5 m 处. (a) 未采用抽放大技术的布里渊散射光谱, (b) 采用了抽运放大技术的布里渊散射光谱 (信噪比为 2.6)

可以看到, 采用抽运探测方法后, SBS 信号发生了从不可探测到可清楚探测的质的变化. 这种变化正是借助于电光偏振控制器实现的.

5. 结 论

通过精确控制两束同轴传播的正交偏振脉冲激光束的偏振态, 可以实现第二束激光对第一束激光所激发的受激布里渊散射信号的放大. 从而使在单池中采用单光束无法探测到的弱信号能够被探测到, 这对很多实际应用是非常有意义的.

本文的工作得到了王运谦同志的热情帮助, 特此致谢.

[1] Glazkov D A, Efinkov V F, Zubayev L G, 1988 *Sov. J. Quantum Electron.* **18** 974

[2] Offenberger A A 1993 *IEEE J. Quantum Electron.* **29** 207

[3] Yang J, Lü Z W, He W M, Ruan S C 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 4622 (in Chinese) [杨 珺、吕志伟、何伟明、阮双琛 2007 物理学报 **56** 4622]

[4]

Gao W, Lü Z W, He W M, Zhu C Y, Dong Y K 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 2693 (in Chinese) [高 玮、吕志伟、何伟明、朱成禹、董永康 2007 物理学报 **56** 2693]

[5]

Hasi W L J, Lü Z W, Li Q, Ba D X, He W M 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 1385 (in Chinese) [哈斯乌力吉、吕志伟、李 强、芭德欣、何伟明 2007 物理学报 **56** 1385]

[6]

Hasi W L J, Lü Z W, He W M, Wang S Y 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 742 (in Chinese) [哈斯乌力吉、吕志伟、何伟明、王双义 2005 物理学报 **54** 742]

[7]

Hasi W L J, Lü Z W, Li Q, He W M 2007 *Chin. Phys.* **16** 1385

[8]

Fu S Y, Tian Z S, Shi X L, Sun Z H 2008 *Chin. Phys. B* **17** 628

[9]

Chen X D, Shi J W, Ouyang M, Liu B, Xu Y X, Shi J L, Liu D H 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 4680 (in Chinese) [陈旭东、石锦卫、欧阳敏、刘 宝、许艳霞、史久林、刘大禾 2009 物理学报 **58** 4680]

[10]

Shi J, Ouyang M, Gong W, Li S, Liu D 2008 *Appl. Phys. B* **90** 569

[11]

Gong W, Shi J, Li G, Liu D 2006 *Appl. Phys. B* **83** 319

[12]

Gong W, Dai R, Sun Z, Ren X, Shi J, Li G, Liu D 2004 *Appl. Phys. B* **79** 635

[13]

Dai R, Gong W, Xu J, Ren X, Liu D 2004 *Appl. Phys. B* **79** 245

[14]

Shi J, Li G, Gong W, Bai J, Huang Y, Liu Y, Li S, Liu D 2007 *Appl. Phys. B* **86** 177

[15]

Ouyang M, Shi J, Zhao L, Chen X, Jing H, Liu D 2008 *Appl. Phys. B* **91** 381

[16]

Bringnon A, Huignard J P 2004 *PHSASE Conjugate Laser Optics* (New Jersey: John Wiley & Sons. Inc.)

[17]

Boyd R W 2008 *Nonlinear Optic* (3rd ed) (New York: Academic Press) Chapt 9

Amplification of stimulated Brillouin scattering by collinear laser pulse series with two orthogonal polarizations^{*}

Chen Xu-Dong¹⁾ Shi Jin-Wei¹⁾ Liu Juan¹⁾²⁾ Liu Bao¹⁾ Xu Yan-Xia¹⁾ Shi Jiu-Lin²⁾ Liu Da-He^{1)2)†}

1) (Key Laboratory of Applied Optics of Beijing, Department of Physics, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

2) (Key Laboratory of Nondestructive Test of Ministry of Education, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China)

(Received 5 January 2009; revised manuscript received 6 March 2009)

Abstract

Using the characteristic that a time delay between the signal of stimulated Brillouin scattering (SBS) and the pump beam during amplification of SBS signal is allowed, a controller is devised to control the polarizations of two pulses propagating collinearly with orthogonal polarizations. It makes the two beams have the same polarization when the SBS signal meets the pump beam. Therefore, amplification of the SBS signal is realized.

Keywords: stimulated Brillouin scattering, pump amplification, polarization control

PACC: 4265C, 7820B, 7835

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 10574016, 60778049).

[†] Cresponding author. E-mail: dhliu@bnu.edu.cn