

独立双池受激布里渊散射系统中 能量转换效率的研究

王维波

(哈尔滨师范大学 理学院物理系, 哈尔滨 150080)

摘要: 利用瞬态包含泵浦抽空的SBS理论模型对独立双池受激布里渊散射系统进行数值模拟, 给出了能量转换效率随泵浦功率密度的变化规律。实验验证, 理论值与实验结果相吻合。

关键词: 受激布里渊散射; 独立双池系统; 能量转换效率; 泵浦功率密度

中图分类号: O437.2-34

文献标识码: A

Study on Energy Conversion Efficiency of Stimulated Brillouin Scattering in Independent Two-cell System

WANG Wei-bo

(Physics department of Harbin normal university, Harbin 150001, China)

Abstract: The independent two-cell system was numerically simulated by the theoretical model of the transient stimulated Brillouin scattering. The depleted pump energy conversion efficiency versus pump power density is given. The experiment shows that the theoretical calculation is coincident with the experiment result.

Keywords: stimulated Brillouin scattering; independent two-cell system; energy conversion efficiency; pump power density

引言

独立双池受激布里渊散射系统是一种较好的受激布里渊散射相位共轭镜系统, 其优点是: (1) 与传统双池系统相比, 其入射到产生池的泵浦光无任何光学衰减, 产生池出射的种子光也可以全部到达放大池, 大大提高了能量转化率; (2) 高能泵浦时便于控制入射到产生池内的能量大小, 使产生池的泵浦能量始终保持在光学击穿和自聚焦阈值之下; (3) 可通过调节光学延迟来改变放大池中种子光与泵浦光的相互作用区, 获得最大脉冲压缩及能量转换效率。为此, 人们对该系统进行了大量的研究^[1-3]。本文采用数值法求解了包含泵浦抽空效应的瞬态SBS耦合波方程, 给出了独立双池受激布里渊散射系统中能量转换效率随泵浦光功率密度变化的规律。实验验证, 理论值与实验值相吻合。

1 理论分析

在平面波近似及忽略二次时间导数情况下, 瞬态受激布里渊散射耦合波方程为

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \Gamma\right)Q = ig_1 A_L A_s^* \quad (1)$$

$$\left(\frac{n\partial}{c\partial t} + \frac{\partial}{\partial z}\right)A_s = ig_2 A_L Q^* \quad (2)$$

$$\left(\frac{n\partial}{c\partial t} - \frac{\partial}{\partial z}\right)A_L = ig_2 A_s Q \quad (3)$$

式中, A_L 和 A_s 分别为激光场和斯托克斯场复振幅; Q 为声波场振幅; Γ 是受激布里渊散射线宽, $\Gamma = 1/(2\tau_p)$; g_1 和 g_2 均为光子-声子耦合常数, $g_1 = \frac{\gamma K^2}{16\pi\omega}$, $g_2 = \frac{\gamma\omega_L}{4cn\rho_0}$, γ 为电致伸缩耦合常数, K 为热力学温度, ω 为声子角频率, n 为SBS介质的折射率, ρ_0 为介质的密度。由(1)式直接积分得到 Q , 然后代入(2)式和(3)式, 并假定 $g = 4g_1 g_2 /$

Γ ,则有:

$$\left(\frac{\partial}{\partial z} + \frac{n}{c} \frac{\partial}{\partial t}\right)A_s = \frac{g\Gamma}{2}A_L \int_0^t A_L^* A_s \exp[-\Gamma(t-\tau)]d\tau \tag{4}$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial z} - \frac{n}{c} \frac{\partial}{\partial t}\right)A_L = \frac{g\Gamma}{2}A_s \int_0^t A_L A_s^* \exp[-\Gamma(t-\tau)]d\tau \tag{5}$$

在时间上使用隐式有限差分法,在空间上使用后向差分格式对偏微分方程组(4)式和(5)式离散化和数值求解。放大池中激光场与斯托克斯场相互作用介质为 CCl_4 。对于 $1.06 \mu\text{m}$ 波长,各参数取值如下:
 $n=1.452$, $\rho_0=1.595 \text{ g/cm}^2$, $\gamma=1.35$, $\omega=1.7 \times 10^{10} \text{ rad/s}$, $g=6 \text{ cm/GW}$ 。

定义能量转换效率 $\eta=(E-E_s)/E_p$ 。式中 E_s , E_p 和 E 分别为放大池中Stokes种子光、泵浦光和Stokes出射光的能量。在实验范围内对独立双池受激布里渊散射系统进行了数值模拟计算。

2 实验研究

为了检验上述理论的正确性,用图1所示的实验装置进行了验证实验。平面全反镜 M_1 和未镀膜的玻璃片 M_2 (反射率8%)构成Nd:YAG振荡器的振荡腔,由染料片(透过率为18%)完成调Q。 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放大器出射的泵浦偏振光(脉宽为9~10 ns,光束直径为6 mm,能量为90 mJ)。经 $1/2$ 波片(其作用是调整种子光与入射泵浦光束

并被偏振片 P_3 反射,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。聚焦透镜的焦距为10 cm,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,经偏振片 P_3 透射,再经过 $1/4$ 波片后变成圆偏振光入射到SBS放大池中。被偏振片 P_2 透射的P波(作为泵浦光)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,种子光提取泵浦光的能量后由偏振片 P_2 耦合输出,未抽空的泵浦光由偏振片 P_3 输出。其中全反镜 M_5 、 M_6 、 M_7 和 M_8 起延时线的作用。通过调整延时线可以调整Stokes种子光和泵浦光在布里渊放大池中的相遇位置。入射到放大池的种子光和泵浦光的能量 E_s 和 E_p 分别由能量计ED1(ED200)和ED2(ED200)探测。Stokes种子光从放大器中提取泵浦光能量,从放大器出射(本文称为Stokes出射光)的能量 E 用能量计ED(ED200)探测。

实验选取 CCl_4 作为受激布里渊介质,它的声子寿命短,约为0.6 ns,布里渊增益系数 $g=6 \text{ cm/GW}$ 。实验时,选择一种延时线使Stokes种子光与泵浦光在布里渊放大池的中部相碰。泵浦光功率密度的变化是通过衰减片衰减泵浦光的能量来实现的,每加一片衰减片,就必须重新准直光路。实验中,Stokes种子光、泵浦光和Stokes出射光的能量都是30多次测量的平均值。

测得的能量转换效率随泵浦光功率密度的变化规律如图2所示。从图中可以看出,能量转换效率随泵浦光功率密度的增加而增加,从能量转换效率曲线看不到有明显的饱和现象发生。

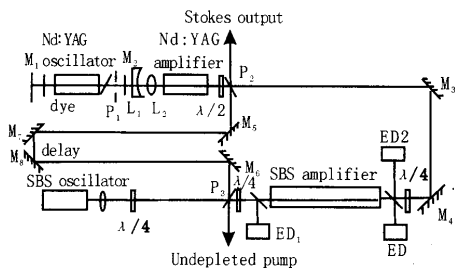
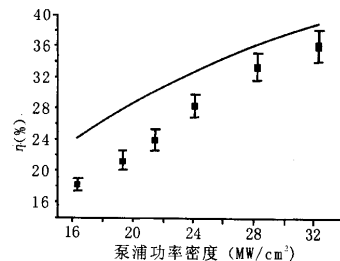


图1 实验装置图

Fig. 1 Beam path of experimental setup

的能量比)入射到偏振片 P_2 上;被偏振片 P_2 反射的S波经过全反镜 M_5 、 M_6 、 M_7 和 M_8 传递到偏振片 P_3



(■为实验点;实线为理论模拟曲线)

图2 能量转换效率随泵浦光功率密度的变化规律

Fig. 2 Variation of energy conversion efficiency with pump power density

3 讨论

图2中的实线为相同实验条件下计算机数值模拟受激布里渊散射双池系统中能量转换效率随泵浦光功率密度而变化的曲线。从图中可以看出,能量转换效率实验值比理论值稍低,但其变化趋势是一致的。这是因为在理论计算中没有考虑介质的吸收。从总体上来看,实验与理论基本符合。在布里渊放大器中,当入射泵浦光强达不到阈值时,注入反向传播的Stokes种子光后,Stokes波、声波与入射激光场相互作用,将导致激光能量向Stokes种子光转移。当泵浦功率密度增加时,会导致更大的泵浦光能量向Stokes种子光转移,因此增加了能量转换效率。

从以上分析可以看出,在种子光不变的条件下,增加泵浦光功率密度可以增加能量转换效率。因此,在设计双池SBS相位共轭镜,特别是设计放大池时应使泵浦光功率密度在低SBS阈值的情况下尽量高些。

4 结论

在实验条件下,研究发现独立双池受激布里渊散射系统中的能量转换效率随泵浦光功率密度的增加而增加。该结论为今后研究和设计振放双池SBS相位共轭镜奠定了基础。

参考文献:

- [1] C Brent Dance, William A Neuman, Lloyd A. High-energy SBS pulse compression[J]. IEEE J Quantum Electron, 1994, 30(8): 1907—1915.
- [2] Allan A Offenberger, David C Thompson, Robert Fedosejevs, J Santiago, H R Manjunath. Experimental and modeling studies of a Brillouin amplifier [J]. IEEE J Quantum Electron, 1993, 29(1): 207—216.
- [3] 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.

(上接第20页)

单片机作为处理器,从硬件和软件两个方面对该光电测隙装置进行了设计,从而实现了对间隙尺寸的非接触在线测量。通过标准件标定和实际测量,该设计方案可以达到设计要求的测量精度,满足工业现场实际需要。本方案适用于成本低但对测量精度又有相对较高要求的场合。

参考文献:

- [1] 曹芬,黄根良. 齿轮的热处理畸变与控制[J]. 金属热处理, 2002, 27(11): 51—53.
- [2] 孙成波,等. 齿轮与蜗轮高频淬火用的感应圈[J]. 金属热处理, 2000, (6): 36—37.
- [3] 蔡文贵,等. CCD技术及应用[M]. 北京:电子工业出版社, 1992.

- [4] 王庆有. CCD应用技术[M]. 天津:天津大学出版社, 2000.
- [5] J Wang. Industrial monitoring and controlling system of integrated single chip computer with linear CCD image sensor[J]. SPIE, 1999, 3589: 84—92.
- [6] 吴秀清,周荷琴. 微型计算机原理与接口技术[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社, 2003.
- [7] 高爱华,等. 基于线阵CCD的尺寸测量装置[J]. 西安工业学院学报, 2003, 23(9): 189—193.
- [8] Kozo Ohtani. A fast edge location measurement with subpixel accuracy using a CCD image [C]. IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2001, (21—23): 2087—2092.
- [9] 孙钊,等. 线阵CCD测径装置的设计. 应用光学[J], 2003, 24(2): 31—33.