

# 利用不同介质进行布里渊放大的研究<sup>\*</sup>

哈斯乌力吉<sup>1,2)†</sup> 吕志伟<sup>1)</sup> 何伟明<sup>1)</sup> 王双义<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 哈尔滨工业大学光电子技术研究所, 哈尔滨 150001)

<sup>2)</sup> 内蒙古民族大学化学学院, 通辽 028043)

(2004 年 4 月 14 日收到, 2004 年 6 月 25 日收到修改稿)

研究了受激布里渊散射振-放双池系统中振荡池和放大池选用不同种类介质的情况. 理论分析结果表明, 当两种介质的布里渊频移接近, 布里渊线宽有交叉时, 系统仍具有放大作用. 采用  $\text{CCl}_4$  作为放大池介质,  $\text{CCl}_4/\text{CS}_2$  的混合介质作为振荡池介质, 利用 Nd:YAG 调 Q 激光研究了布里渊频移的偏离对布里渊放大的影响. 结果表明, 当布里渊频移的偏离较小时, 其种子光放大率和种子光脉宽压缩率仍然很大. 采用  $\text{CS}_2$  作为放大池介质, 苯作为振荡池介质, 对振-放双池系统进行了实验研究, 其种子光放大率达到 4.4, 种子光脉宽压缩率为 7.2, 相位共轭保真度为 98%, 种子光放大率的稳定度小于 3%.

关键词: 受激布里渊散射, 布里渊放大, 布里渊频移, 布里渊线宽

PACC: 4265C, 4265F

## 1. 引言

受激布里渊散射(SBS)相位共轭镜有多种结构, 如聚焦单池、双池系统、紧凑双池系统和独立双池系统等等. 除了聚焦单池以外, 其他结构均属于振-放双池系统, 由振荡池和放大池两部分组成. 振荡池中产生的 Stokes 种子光进入放大池, 与抽运光作用, 产生强的放大, Stokes 脉冲宽度变窄, 能量转换效率提高. 以往人们在振荡池和放大池中使用同一种介质, 其目的是为了确保持 Stokes 种子和抽运光的频差恰为布里渊频移, 从而两波在放大池中相互作用能够驱动声子场, 这种被驱动的声子波比在噪声中形成的声子波具有更快的响应时间和更好的相位共轭声子模, 从而抑制了噪声及其他非线性效应的竞争. 但是, 当振荡池和放大池中使用同一种介质时, 有时受到介质的吸收系数、增益系数、声子寿命和光学击穿阈值等的限制. 一部分介质的增益系数小, 吸收系数大, 因此放大池的能量提取效率低, 能量损耗大, 不适合于作为放大池的介质, 而另一部分介质的光学击穿阈值低, 声子寿命长, 因此所产生的 Stokes 种子光的稳定性和相位共轭保真度低<sup>[1]</sup>, 不适合于作为振荡池的介质. 若放大池和振荡池中选

用不同介质, 即放大池中选用增益系数大, 吸收系数小的介质, 而振荡池中选用光学击穿阈值高, 声子寿命小的介质. 这样放大池的能量损耗降低, 能量提取效率提高, 振荡池中所产生的 Stokes 种子光的稳定性和相位共轭保真度也将有所提高.

本文分析了振-放双池系统的振荡池和放大池中使用不同种类介质的情况. 结果表明, 当两种介质的布里渊频移接近, 布里渊线宽有交叉时, 则系统仍具有放大作用. 采用  $\text{CCl}_4$  作为放大池介质,  $\text{CCl}_4/\text{CS}_2$  的混合介质作为振荡池介质, 利用 Nd:YAG 调 Q 激光实验研究了布里渊频移的偏离对布里渊放大的影响. 结果表明, 布里渊频移的偏离较小时, 种子光放大率和种子光脉宽压缩率仍然很大. 采用  $\text{CS}_2$  作为放大池介质, 苯作为振荡池介质, 对振-放双池系统进行了实验研究, 其种子光放大率达到 4.4, 种子光脉宽压缩率为 7.2, 相位共轭保真度为 98%, 种子光放大率的稳定度小于 3%.

## 2. 理 论

### 2.1. 理论模型

斯托克斯场和抽运场由麦克斯韦波动方程描

<sup>\*</sup> 国家高技术研究发展计划和国家自然科学基金(批准号: 60278033, 10476009)资助的课题.

<sup>†</sup> E-mail: hasiwuliji@sohu.com

述, 介质中的声波场由纳维-斯托克斯(Navier-Stokes)能量传输方程给出. 在平面波近似, 略去空间二阶导数及忽略时间二阶微分项, 得到瞬态受激布里渊散射耦合波方程组为<sup>[2]</sup>

$$\frac{\partial E_L}{\partial z} - \frac{n}{c} \frac{\partial E_L}{\partial t} = -ig_L \rho E_S + \frac{\alpha}{2} E_L, \quad (1)$$

$$\frac{\partial E_S}{\partial z} + \frac{n}{c} \frac{\partial E_S}{\partial t} = ig_S \rho^* E_L - \frac{\alpha}{2} E_S, \quad (2)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \Gamma Q = ig_a E_L E_S^*, \quad (3)$$

式中  $E_L$  和  $E_S$  分别为抽运光场和斯托克斯场复振幅;  $Q$  为声波场振幅(声波场用介质的密度偏离其平均值  $\rho_0$  的变化值  $\tilde{\rho}(z, t)$  来描述. 用复振幅  $\chi(z, t)$  来表示密度的变化);  $\Gamma$  为受激布里渊散射线宽,  $\Gamma = 1/(2\tau)$ , 其中  $\tau$  为介质的声子寿命;  $\alpha$  为介质的吸收系数;  $c$  为真空光速;  $n$  为介质的折射率;  $ig_L, ig_S$  和  $ig_a$  代表了光子-声子耦合常数,  $ig_L = \frac{\gamma\omega_L}{4cn\rho_0}$ ,  $ig_S = \frac{\gamma\omega_S}{4cn\rho_0}$ ,  $ig_a = \frac{\gamma q^2}{16\pi\Omega}$ ,  $\gamma$  是介质的电致伸缩系数,  $\rho_0$  是介质的未扰密度,  $\Omega = \omega_L - \omega_S$ ,  $\omega_L, \omega_S$  和  $\Omega$  分别为抽运光波、斯托克斯光波和声波的角频

率,  $q = k_L - k_S$ ,  $k_L, k_S$  和  $q$  分别为抽运光波、斯托克斯光波和声波场的波矢. 并且有关系式  $\Omega = qv$ , 其中  $v$  表示声波在介质中的传播速度.

令  $g_L \approx g_S = g_2$ ,  $g_a = g_1$ , 对(3)进行积分后代入(1)(2)式, 并考虑截面  $\sigma$  的变化, 得到

$$\left(\frac{\partial}{\partial z} - \frac{n}{c} \frac{\partial}{\partial t}\right) E_L = \frac{g\Gamma}{2\sigma} E_S \int_0^t E_S^* E_L \exp[-\Gamma(t-\tau)] d\tau + \frac{1}{2} \alpha E_L, \quad (4)$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial z} + \frac{n}{c} \frac{\partial}{\partial t}\right) E_S = \frac{g\Gamma}{2\sigma} E_L \int_0^t E_L^* E_S \exp[-\Gamma(t-\tau)] d\tau - \frac{1}{2} \alpha E_S, \quad (5)$$

其中  $g = 4g_1 g_2 / \Gamma$ , 功率  $P_L = |E_L|^2$ ,  $P_S = |E_S|^2$ . 边界条件为  $E_{S0}(z=0, t) = E_{S0}$  和  $E_{Ll}(z=L, t) = E_{Ll}(t)$ . 这样构成完整的数学模型. 在空间上采用向后插商, 时间上采用隐格式有限差分, 对(4)和(5)式进行离散化和数值求解<sup>[3]</sup>. 数值模拟时, 取  $CCl_4$  作为放大池介质, 其 SBS 参数列于表 1 中.

表 1  $CCl_4$  的 SBS 参数

液体	$n$	$\alpha/cm^{-1}$	$g/(cm/GW)$	$\tau/ns$	$\rho_0/(g/cm^3)$	$\gamma$	$\Omega/Hz$	$v/(m/s)$
$CCl_4$	1.460	0.003	6	0.6	1.595	1.35	$1.74 \times 10^{11}$	1010

放大池增益系数根据方程(6)算出<sup>[4]</sup>

$$g = g^e(\max) \frac{1}{1 + (2\Delta\nu/\Gamma_B)^2} + g^a \frac{4\Delta\nu/\Gamma_B}{1 + (2\Delta\nu/\Gamma_B)^2}, \quad (6)$$

式中  $g^e$  为电致伸缩增益因子,  $g^a$  为吸收增益因子,  $\Delta\nu$  为布里渊频移的偏离 ( $\Delta\nu = |\nu_1 - \nu_2|$ ,  $\nu_1$  为放大池介质的布里渊频移,  $\nu_2$  为振荡池介质的布里渊频移),  $\Gamma_B$  为放大池介质的布里渊线宽和振荡池介质的布里渊线宽互相交叉的半高宽度, 如图 1 所示. 增益因子由两部分组成, 其中第一部分是电致伸缩的贡献, 在纯的和吸收性介质中出现, 另一部分是吸收的贡献, 只有在吸收性物质中才会出现. 放大池中需要使用吸收系数小的介质, 因此可忽略吸收对增益的贡献, 方程(6)可简化为

$$g = g^e(\max) \frac{1}{1 + (2\Delta\nu/\Gamma_B)^2}. \quad (7)$$

从方程(7)可知, 当  $\Delta\nu = 0$  时,  $g = g^e$ ; 即振荡池介质和放大池介质的布里渊频移相同时, 放大池增

益系数最大. 当  $\Delta\nu \neq 0$  时,  $g < g^e$ ; 由于每种介质的布里渊线宽都有一定的宽度, 所以当两种介质的布里渊频移接近时, 有一部分布里渊线宽互相重叠在一起, 因此仍然有放大作用.

$CCl_4$  的布里渊线宽为 520MHz, 电致伸缩增益因子为 6cm/GW; 假定振荡池介质的布里渊线宽为 500MHz, 根据方程(7)可算出放大池的增益系数随布里渊频移的偏离的变化关系, 如图 2 所示.

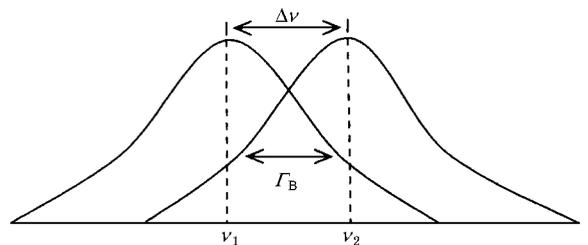


图 1 布里渊线宽的交叉

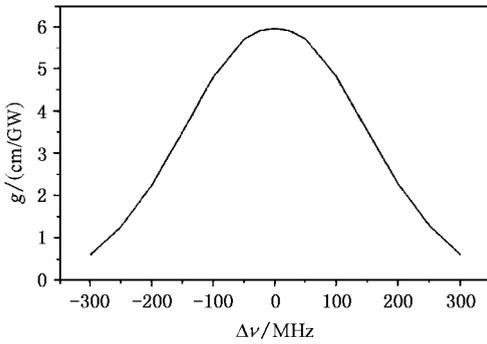


图2 放大池增益系数随布里渊频移的偏离的变化关系

## 2.2. 理论模拟结果

计算参数选取如下:入射抽运光脉冲波长为  $1.064\mu\text{m}$ , 脉宽取  $20\text{ns}$ , 功率密度为  $30\text{MW}/\text{cm}^2$ , Stokes 种子光脉宽取  $15\text{ns}$ , 功率密度为  $5\text{MW}/\text{cm}^2$ , 放大池池长为  $60\text{cm}$ . 布里渊放大中的主要参量定义如下<sup>[5]</sup>: 种子光放大率  $\alpha = E/E_s$ , 种子光脉宽压缩率  $\beta = W_s/W$ , 其中  $E_s$  和  $E$  分别为 Stokes 种子光和 Stokes

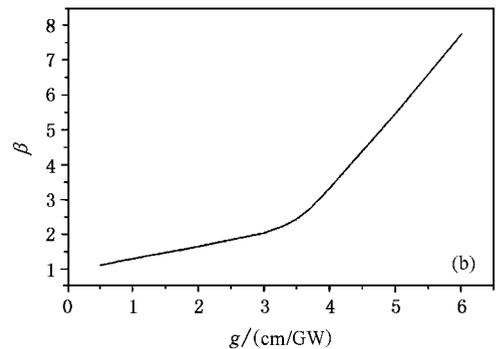
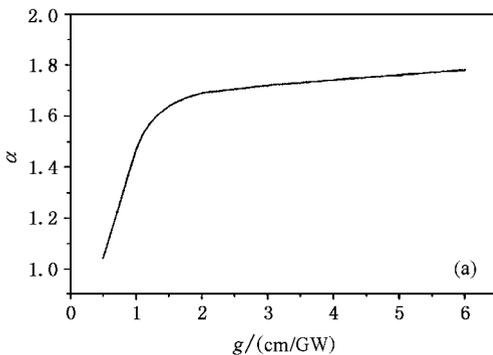


图3 种子光放大率(a)和种子光脉宽压缩率(b)随放大池增益系数的变化规律的数值模拟曲线

## 3. 实验装置和介质的选取

### 3.1. 实验装置

实验装置如图4所示,Nd:YAG调Q激光器由全反射镜 $M_1$ 、调Q染料片、偏振片 $P_1$ 、Nd:YAG棒、小孔光阑和部分反射镜 $M_2$ 组成.偏振片 $P_2$ 和偏振片 $P_1$ 平行, $P_2$ 和1/4波片组成隔离器,防止SBS后向散射放大光进入YAG振荡器,振荡器输出的p偏振光经1/4波片后变成圆偏振光.SBS系统由放大

出射光的能量, $W_s$ 和 $W$ 分别为Stokes种子光和Stokes出射光的脉宽.图3是种子光放大率和种子光脉宽压缩率随放大池增益系数的变化.随着放大池增益系数的变大种子光放大率和种子光脉宽压缩率均变大.在布里渊放大池中,当入射抽运光光强达不到SBS阈值时,注入反向转播的Stokes种子光,这样抽运光、声波和Stokes种子光相互作用,将导致抽运光能量向Stokes种子转移.在Stokes种子放大的过程中,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.当放大池增益系数增加时,将导致更大的抽运光能量向Stokes种子光能量的转移,因此增加了种子光放大率.但是,放大池增益系数增加到一定值以后,由于能量提取效率趋于饱和,因此种子光放大率缓慢上升<sup>[6]</sup>.同理,放大池增益系数的增加,Stokes种子光饱和作用在放大池中发生的越早,使得Stokes种子光脉冲前沿的陡度增加,增加了脉冲压缩的效率,Stokes出射光的脉宽更窄.

池、振荡池和透镜 $L_1$ 和 $L_2$ 组成,放大池(池长为 $60\text{cm}$ )前面放入凸透镜 $L_1$ ( $f = 80\text{cm}$ ),其目的是对抽运光缩束以增强放大池中抽运光的强度;抽运光被透镜 $L_2$ ( $f = 5\text{cm}$ )聚焦到振荡池(池长为 $30\text{cm}$ )中产生种子光,产生的种子光在放大池中与抽运光耦合,并得到有效的放大.经过1/4波片后变为s偏振光,并被偏振片 $P_2$ 反射.抽运光和SBS光的能量用能量计ED200探测,脉冲波形用PIN光电二极管探测,并用数字示波器TDS684A来记录.相位共轭保真度是通过列阵相机测量激光光束能量远场角分布而获得的<sup>[7]</sup>.

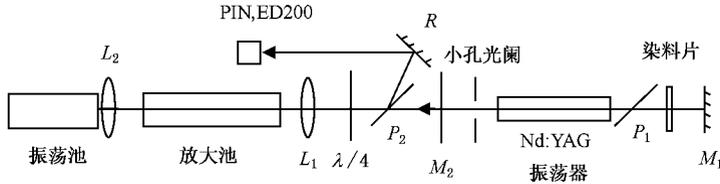


图4 实验装置

### 3.2. 介质的选取

当研究布里渊频移的偏离对布里渊放大的影响时,放大池中选用  $\text{CCl}_4$ , 振荡池中选用不同体积比的  $\text{CCl}_4/\text{CS}_2$  的混合介质. 当研究不同介质具有放大作用时,放大池中选用  $\text{CS}_2$ , 振荡池中选用苯(  $\text{CS}_2$  和苯的布里渊频移接近,如表 2 所示).

介质的布里渊频移的表达式为<sup>[8]</sup>

$$\nu = 2nv/\lambda, \quad (8)$$

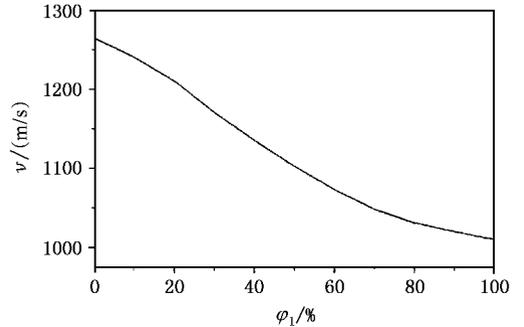
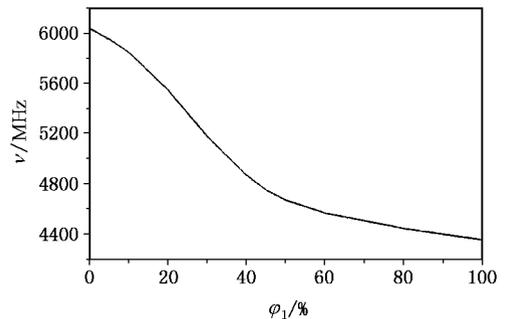
式中  $n$  为介质折射率,  $\lambda$  为入射光波长,  $v$  为介质中的声速.

从方程(8)可知,当入射光确定时,介质的布里渊频移由其折射率和声速来决定.  $\text{CCl}_4$  和  $\text{CS}_2$  的布里渊频移分别为 4390MHz 和 5850MHz,折射率分别为 1.460 和 1.632,声速分别为 1010m/s 和 1260m/s.  $\text{CCl}_4/\text{CS}_2$  混合介质的折射率可由洛伦兹-罗伦茨公式计算出<sup>[9]</sup>,也可近似认为线性变化.  $\text{CCl}_4/\text{CS}_2$  混合介质的声速随  $\text{CCl}_4$  体积混合比的变化关系如图 5 所示<sup>[10]</sup>. 这样依据方程(8)可计算出  $\text{CCl}_4/\text{CS}_2$  混合介质的布里渊频移随  $\text{CCl}_4$  体积混合比(  $\varphi_1 =$

$\frac{V_1}{V_1 + V_2} \times 100\%$ ,其中  $V_1$  是  $\text{CCl}_4$  的体积,  $V_2$  是  $\text{CS}_2$  的体积)的变化关系,如图 6 所示.

$\text{CCl}_4$  与  $\text{CS}_2$  混合,声速随混合比单调变化,不出现极大值或极小值. 这是因为  $\text{CCl}_4$  和  $\text{CS}_2$  都是非极性液体,二者混合时相互之间的作用与液体单独存在时同种分子相互作用类似,混合不会破坏对方的结构. 因此,它们的混合可看作是近理想混合.

本文测定了常用液体介质的吸收系数(列于表 2). 除了  $\text{CCl}_4$  和  $\text{CS}_2$  等少数几种介质以外,其他大部分介质的吸收系数均大于  $0.015\text{cm}^{-1}$ . 当吸收系数等于  $0.015\text{cm}^{-1}$ ,放大池池长为 60cm 时,光束每

图5 声速随  $\text{CCl}_4$  体积混合比的变化关系图6 布里渊频移随  $\text{CCl}_4$  体积混合比的变化关系

次通过时的能量损耗达到 60%,这就是大部分介质不适合于作为放大池中的介质的缘故. 实验当中还可看出,吸收系数大的介质不易出现光学击穿现象. 这是因为吸收系数越大,抽运光到达焦点之前被介质吸收的就越多,焦点附近功率密度就越低,因此不易出现光学击穿现象. 振荡池前面一般使用短焦距的透镜,对于短焦距的透镜来说,吸收系数对能量反射率的影响并不大,因此,当吸收系数大的介质作为振荡池的介质时,不仅 Stokes 种子光的稳定性提高,而且也能保持足够的能量. 表 2 给出了常用液体介质的 SBS 参数(在波长为  $1.064\mu\text{m}$ (其中布里渊频移是波长为  $0.6943\mu\text{m}$  时的值),温度为  $20^\circ\text{C}$ (其中苯的布里渊频移是  $50^\circ\text{C}$  的值)下).

表 2 液体介质的 SBS 参数

	$n$	$\alpha/\text{cm}^{-1}$	$\nu/\text{MHz}$	$\Gamma/\text{MHz}$	$g/(\text{cm}/\text{GW})$	$\tau/\text{ns}$	$\gamma$	$v/(\text{m/s})$	$\rho_0/(\text{g}/\text{cm}^3)$
二硫化碳	1.632	0.0038	5850	52.3	68	6.4	2.37	1250	1.263
苯	1.501	0.0185	5843	289	9.6	1.4	1.62	1359	0.878
甲苯	1.496	0.0286	5910	250	13	1.27*	1.75*	1327	0.867
环己烷	1.426	0.0584	5550	774	6.8	0.41*	1.39*	1313	0.778
水	1.324	0.1713	5690	317	3.8	1.87	0.87	1482	1.000
四氯化碳	1.460	0.0040	4390	520	6	0.6	1.35	1012	1.594
丙酮	1.358	0.0180	4600	224	15.8	2.67	0.99	1168	0.792
正己烷	1.375	0.0475	4402*	222	26	1.43*	1.15*	1085	0.660
甲醇	1.328	0.1565	4250	250	13	1.27*	0.96*	1121	0.810
乙醇	1.361	0.1190	4550	353	12	0.9*	1.09*	1241	0.789

注:带有星号的参数是根据文献[8]的方程计算而得,其他参数摘自文献[11].

## 4. 实验结果及讨论

### 4.1. 布里渊频移的偏离对布里渊放大的影响

实验时 Nd:YAG 调 Q 激光器输出抽运光波长为  $1.064\mu\text{m}$ , 重复率为 1Hz, 脉宽为 18.0—19.0ns, 能量约为 26.0mJ, 发散角约为 1.6mrad (5 倍衍射极限). 放大池的介质为  $\text{CCl}_4$ , 振荡池的介质为  $\text{CCl}_4/\text{CS}_2$  混合溶液.

图 7 是种子光放大率和种子光脉宽压缩率随振荡池混合介质 ( $\text{CCl}_4/\text{CS}_2$ ) 中  $\text{CCl}_4$  体积混合比的变化曲线. 当  $\varphi_1$  小于 50% 时, 随着  $\varphi_1$  的增大种子光放大率和种子光脉宽压缩率无明显变化; 但是当  $\varphi_1$  大于 50% 时, 随着  $\varphi_1$  的增大种子光放大率和种子光脉宽压缩率变大. 这是因为当  $\varphi_1$  小于 50% 时, 放大池介质 ( $\text{CCl}_4$ ) 和振荡池介质 ( $\text{CCl}_4/\text{CS}_2$  混合介质) 的布里渊频移的偏离过大, 其布里渊线宽没有交叉,

放大池增益系数趋于零, 因此种子光放大率和种子光脉宽压缩率变为恒定值 1; 但是当  $\varphi_1$  大于 50% 时, 放大池介质 ( $\text{CCl}_4$ ) 和振荡池介质 ( $\text{CCl}_4/\text{CS}_2$  混合介质) 的布里渊线宽开始有了交叉, 并且随着  $\varphi_1$  的增大, 其布里渊频移的偏离变小, 布里渊线宽的交叉程度变大, 进而导致放大池增益系数的变大, 因此种子光放大率和种子光脉宽压缩率也变大. 另外, 当  $\varphi_1$  为 40%—60% 时, 混合介质的吸收系数变大 (大于  $0.015\text{cm}^{-1}$ ), 焦点附近的功率密度降低, 振荡池的光学击穿现象消失, 因此种子光放大率和种子光脉宽压缩率的稳定度<sup>[12]</sup> (定义为测量值均方差与算术平均值之比) 比较高.

数值模拟时假定 Stokes 种子的脉宽和能量为恒定值. 然而, 当实验研究时, 随着  $\text{CCl}_4/\text{CS}_2$  混合介质中  $\text{CCl}_4$  体积混合比的增大, Stokes 种子的脉宽和能量不断变化, 因此数值模拟与实验研究有一定偏差, 但是其变化趋势是一致的, 如图 7 所示.

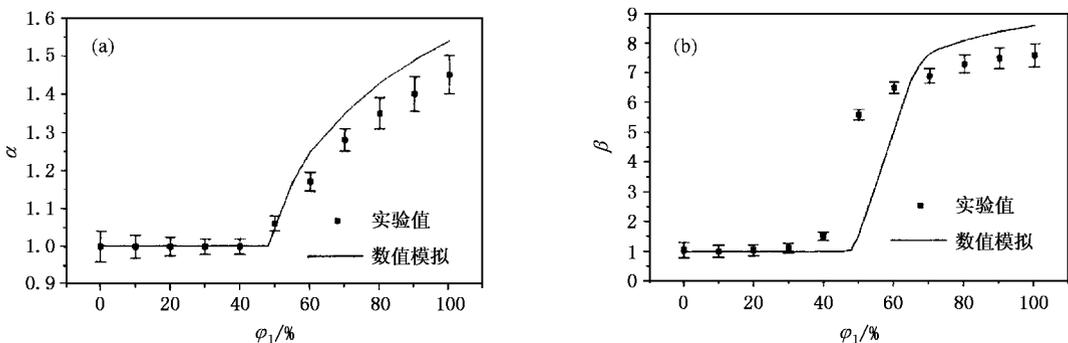


图 7 种子光放大率 (a) 和种子光脉宽压缩率 (b) 随振荡池混合介质中  $\text{CCl}_4$  体积混合比的变化规律

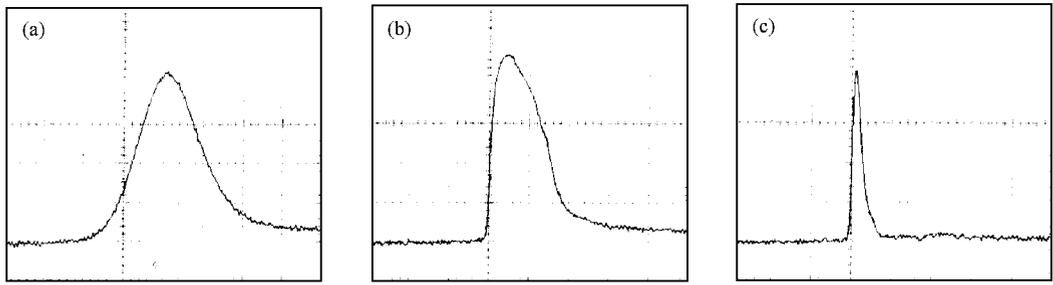


图 8 (a) 抽运光波形 (脉冲宽度 18.4ns, 前沿上升时间 12—1ns), (b) Stokes 种子光波形 (脉冲宽度 14.5ns, 前沿上升时间 2.4ns), (c) Stokes 出射光波形 (脉冲宽度 2.6ns, 前沿上升时间 1.0ns)

#### 4.2. 不同介质的布里渊放大

当采用  $\text{CS}_2$  作为放大池介质, 苯作为振荡池介质时, Stokes 种子光在放大池中得到了有效的放大 (如图 8 所示), 其种子光放大率达到 4.4, 种子光脉宽压缩率为 7.2, 相位共轭保真度为 98%, 种子光放大率的稳定度小于 3%.

为了验证理论分析的正确性, 本文还实验研究了其他介质的互相放大作用. 实验结果表明, 当放大池中的介质为  $\text{CCl}_4$  时, 振荡池中的介质为  $\text{CCl}_4$ 、丙酮、正己烷、甲醇和乙醇时均有放大作用, 而振荡池中的介质为  $\text{CS}_2$ 、苯、甲苯、环己烷和水时没有放大作用. 反之, 当放大池中的介质为  $\text{CS}_2$  时, 振荡池中的介质为  $\text{CS}_2$ 、苯、甲苯、环己烷和水时均有放大作用, 而振荡池中的介质为  $\text{CCl}_4$ 、丙酮、正己烷、甲醇和乙醇时没有放大作用. 从表 2 可知,  $\text{CCl}_4$ 、丙酮、正己烷、甲醇和乙醇的布里渊频移互相接近;  $\text{CS}_2$ 、苯、甲苯、环己烷和水的布里渊频移也互相接近. 这就说

明, 两种介质的布里渊频移接近, 布里渊线宽有交叉时, 互相就有放大作用.

## 5. 结 论

理论分析和实验结果表明, 两种介质的布里渊频移接近, 布里渊线宽有交叉时, 放大池和振荡池中即使使用不同的介质也有很好的放大作用. 这种结构不仅使振-放双池系统可利用的介质种类增多, 还可优化振-放双池系统. 放大池中使用增益系数大, 吸收系数小的介质, 这样放大池的能量提取效率提高, 能量损耗降低; 振荡池中使用光学击穿阈值高, 声子寿命短的介质, 这样所产生的 Stokes 种子光的稳定度和相位共轭保真度提高. 虽然布里渊频移的偏离降低放大池增益系数, 但是布里渊频移的偏离较小时, Stokes 种子光也能得到足够的放大. 实验结果证实了本文最初的理论分析, 该方案可望用于振-放双池系统, 以提高布里渊放大效率.

- [1] He W M *et al* 1996 *Acta Optica Sinica* **16** 1431 (in Chinese) [何伟明等 1996 光学学报 **16** 1431]
- [2] Boyd R W, Rzazewski K and Narum P 1990 *Phys. Rev.* **42** 5514
- [3] He W M *et al* 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 468 (in Chinese) [何伟明等 2004 物理学报 **53** 468]
- [4] Pohl D and Kaiser W 1970 *Physical Review B* **1** 31
- [5] Lü Z W *et al* 2002 *Acta Phys. Sin.* **51** 1286 (in Chinese) [吕志伟等 2002 物理学报 **51** 1286]
- [6] Ding Y C *et al* 2002 *Acta Phys. Sin.* **51** 2767 (in Chinese) [丁迎春等 2002 物理学报 **51** 2767]
- [7] Yang J *et al* 2003 *Chinese Journal of Lasers* **30** 512 (in Chinese)

- [杨 等 2003 中国激光 **30** 512]
- [8] Erokhin A I, Kovalev V I and Faizullov F S 1986 *Sov. J. Quantum Electron* **16** 872
- [9] Yang A L *et al* 1998 *Laser Journal* **19** 13 (in Chinese) [杨爱玲等 1998 激光杂志 **19** 13]
- [10] Zhu D *et al* 1989 *Acta Phys. Sin.* **38** 683 (in Chinese) [朱丹等 1989 物理学报 **38** 683]
- [11] Kaiser W and Maier M 1972 *Laser Handbook* (Amsterdam: North-Holland) p1077
- [12] Lü Z W *et al* 2003 *Acta Phys. Sin.* **52** 1184 (in Chinese) [吕志伟等 2003 物理学报 **52** 1184]

# Study on Brillouin amplification in different liquid media<sup>\*</sup>

Hasi Wu-Li-Ji<sup>1,2)</sup> Lü Zhi-wei<sup>1)</sup> He Wei-Ming<sup>1)</sup> Wang Shuang-yi<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>*Institute of Opto - electronics , Harbin Institute of Technology , Harbin 150001 , China )*

<sup>2)</sup>*Faculty of Chemistry , Inner Mongolia University for Nationalities , Tongliao 028043 , China )*

( Received 14 April 2004 ; revised manuscript received 25 June 2004 )

## Abstract

The two-cell stimulated Brillouin scattering ( SBS ) system that uses different media in generator and amplifier cells is investigated. It is demonstrated that the seed light still has enough amplification when the Brillouin frequency shifts of this two media are near and their Brillouin line-widths are crossed. In experiment , when  $\text{CCl}_4$  is used as an amplifying medium and liquid mixture of  $\text{CCl}_4/\text{CS}_2$  as generating medium , and the two-cell SBS system is pumped by Nd :YAG Q-switched laser , the influence of the deviation of Brillouin frequency shift on seed light Brillouin amplification is studied. The result shows that amplification efficiency and pulse compression ratio are still large enough when Brillouin frequency deviation is small. Moreover , under the condition of  $\text{CS}_2$  as the amplifying medium and benzene as the generating medium , seed light amplification efficiency of 4.4 , pulse compression ratio of 7.2 , phase-conjugation fidelity of 98% , and stability of seed light amplification efficiency of < 3% are obtained.

**Keywords** : stimulated Brillouin scattering , Brillouin amplification , Brillouin frequency shift , Brillouin line-width

**PACC** : 4265C , 4265F

---

<sup>\*</sup> Project supported by the National High Technology Development Program of China and the National Natural Science Foundation of China ( Grant Nos. 60278033 , 10476009 ).