

文章编号: 1001-3806(2003)04-0304-03

不同液体介质的受激布里渊散射的实验研究*

哈斯乌力吉^{1,2} 吕志伟¹ 何伟明¹

(¹哈尔滨工业大学光电子技术研究所, 哈尔滨, 150001) (²内蒙古民族大学化学系, 通辽, 028043)

摘要: 选用一些常用 SBS 液体介质作为散射介质, 实验研究了相同条件下不同介质所产生 SBS 脉宽、能量和波形的差异, 分析讨论了液体介质的吸收系数对 SBS 性能的影响。

关键词: 受激布里渊散射(SBS); 氢键; 吸收系数; 液体介质

中图分类号: O437.2 文献标识码: A

Experimental investigations on stimulated Brillouin scattering for different liquid mediums

Hasiwuliji^{1,2}, Lü Zhiwei¹, He Weiming¹

(¹ Institute of Optoelectronics, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150001)

(² Department of Chemistry, Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao, 028043)

Abstract: The differences of SBS pulse width, energy and shape were investigated in experiment under the same conditions. And the influences of the liquid medium absorption coefficient on the characteristics of SBS were analyzed and discussed.

Key words: stimulated Brillouin scattering; hydrogen bond; absorption coefficient; liquid medium

引 言

组成介质的基本单元(原子、分子、分子团和晶胞等)的整体力学振动,称为介质内弹性声波场(从声频到超声频)。一般布里渊散射起源于介质的自发声波场。由于介质内自发运动引起的弹性声波场十分微弱和非相干,观测十分困难。激光出现后,强激光感应而产生强的声波场,这声波场反过来对强入射光散射,产生受激布里渊散射(SBS),SBS由于相位共轭特性,能够消除光传输过程中的相位畸变,提高光束质量,现已得到大量应用^[1]。然而,在同样条件下应用不同的介质研究SBS,进而分析介质的各种参数影响SBS性能的实验研究却很少^[2]。常用SBS液体介质均是以分子组成的,介质的吸收系数的大小取决于它的分子结构。SBS液体介质的分子结构互不相同,因此,它们吸收系数的大小也有

所不同。为了研究介质的吸收系数的大小对介质所产生的SBS性能的影响,选择了一些SBS液体介质,然后在相同条件下测定了它们的吸收系数($\lambda_p = 1.06\mu\text{m}$)和所产生的SBS脉宽、能量和波形等。实验结果表明:介质的吸收系数的大小对介质所产生的SBS性能有一定的影响,尤其介质的吸收系数比较大时影响更大。

1 实验装置

实验装置如图1所示。将单池SBS系统和Nd:YAG激光器做成一个紧凑的整体器件。Nd:YAG激光器有全反射镜M₁、调Q染料片、偏振片P₁,Nd:YAG棒、小孔光阑和部分反射镜M₂组成。

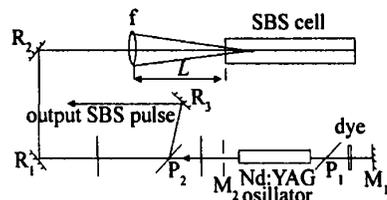


Fig. 1 Experimental setup

偏振片P₂和偏振片P₁平行,P₂和1/4波片组成隔离器,防止SBS后向散射放大光回到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

* 国家高技术惯性约束聚变主题、国家自然科学基金以及国防科技重点实验室基金资助项目。

作者简介: 哈斯乌力吉,男,1971年10月出生。讲师,博士研究生。现从事受激布里渊散射液体介质的研究工作。

收稿日期: 2002-12-09; 收到修改稿日期: 2003-02-05

光, 经过 45° 全反镜 R_1 和 R_2 进入单池 SBS 系统, 它由聚焦透镜(焦距为 $f = 10\text{cm}$) 和 SBS 产生池(池长为 30cm) 组成。由相位共轭镜返回的 Stokes 光经过 $1/4$ 波片后变为 s 偏振光, 被偏振片 P_2 反射, 经反射镜 R_3 输出。输出的泵浦光和 SBS 光的能量用能量计 ED200 探测, 脉宽和脉冲波形用 PIN 光电二极管探测, 并用数字示波器 TDS684A 来记录。

在采集每种散射介质的 SBS 光斑时, 确保实验条件不变, 即保持纸屏、PIN 光电二极管和 ED200 探测器的相对位置不变。每次测量 10 次取其平均值, 使得到的脉宽、脉冲波形及能量具有可比性^[3]。实验中, 对每种介质进行 3 种不同聚焦深度(通过改变透镜与受激布里渊散射池距离实现) 进行测量, 即 L 分别等于 9.0cm , 4.0cm 和 0cm 。

2 实验结果

实验时, Nd: YAG 调 Q 激光输出脉宽约为 8.6ns , 能量约为 45.0mJ 。在同样条件下, 先测定了常用 SBS 液体介质吸收系数($\lambda_p = 1.06\mu\text{m}$) (列于表

1)。实验结果显示: 泵浦光波长为 $1.06\mu\text{m}$ 时, 介质的吸收系数的大小不仅跟分子结构有关还跟分子之间的作用力有一定的关系, 如分子之间有氢键^[4,5]的介质(乙醇、甲醇和水等) 的吸收系数都比较大。根据吸收系数的大小把常用 SBS 液体介质排成一列, 如表 1 所示。

在同样条件下, 测得了这些 SBS 液体介质在不同聚焦深度($L = 9.0\text{cm}$, 4.0cm 和 0cm) 下所产生的 SBS 脉宽和能量平均值, 如表 2 所示。从表中可看出: CS_2 , CCl_4 、丙酮和苯所产生的 SBS 脉宽随着聚焦深度的变化不明显, 但是甲苯、正己烷、环己烷、乙醇、甲醇和水所产生的 SBS 脉宽随着聚焦深度的增大而变窄。同样聚焦深度下, 所有介质所产生的 SBS 脉宽(能测得到的) 从上而下有逐渐变小的趋势。尤其, 随着吸收系数的增大这种趋势更加明显。所有介质所产生的 SBS 能量(能测得到的) 均随着聚焦深度的增大而变小, 并且随着吸收系数的增大这种变化更加明显。同样聚焦深度下, 所有介质所产生的 SBS 能量从上而下有逐渐变小的趋势。

Table 1 Some related parameters of SBS liquid mediums

	absorption coefficient/ cm^{-1}	refractive index	density $/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	SBS gain coefficient $g/(\text{cm} \cdot \text{GW}^{-1})$	hyper sound decay time τ/ns	hydrogen bond
CS_2	0.0038	1.632	1.263	68	6.4	non e
CCl_4	0.0040	1.460	1.594	6	0.5	non e
acetone	0.0180	1.358	0.792	15.8	2.67	non e
benzene	0.0185	1.501	0.878	9.6	1.4	non e
methyl benzene	0.0286	1.496	0.867	13	0.275*	non e
normal hexane	0.0475	1.375	0.660	—	2.2***	non e
cycle hexane	0.0584	1.426	0.778	6.8	—	non e
grain alcohol	0.1194	1.361	0.791	—	—	exist
methyl alcohol	0.1565	1.328	0.810	13	0.37**	exist
water	0.1713	1.324	1.000	3.8	1.87	exist

note: * $\lambda_p = 807\text{nm}$; ** $\lambda_p = 532\text{nm}$; *** $\lambda_p = 694.3\text{nm}$; others at $\lambda_p = 1.06\mu\text{m}$

Table 2 The measured SBS pulse width and energy for different L and liquid mediums

L/cm	9.0		4.0		0	
	pulse width/ ns	energy/ mJ	pulse width/ ns	energy/ mJ	pulse width/ ns	energy/ mJ
CS_2	8.3	22.0	8.3	21.1	8.3	18.3
CCl_4	8.2	20.5	8.1	20.0	8.1	18.0
acetone	7.3	19.4	8.1	18.8	7.8	16.3
benzene	7.4	19.3	7.8	18.1	7.0	16.0
methyl benzene	7.5	16.6	7.1	15.5	6.2	13.8
normal hexane	8.1	15.8	7.6	12.8	7.2	10.6
cycle hexane	7.9	14.8	6.9	8.6	6.0	4.2
grain alcohol	7.5	16.6	6.5	5.5	unmeasured	unmeasured
methyl alcohol	7.0	15.5	5.9	3.1	unmeasured	unmeasured
water	5.9	7.7	4.2	unmeasured	unmeasured	unmeasured

同时,还测到了这些介质在不同聚焦深度($L = 9\text{cm}$, 4cm 和 0cm)下所产生的 SBS 波形。图 2 给出了一些介质在 $L = 4\text{cm}$ 时所产生的 SBS 波形。从波形中可看出:在相同条件下,吸收系数大的介质所产生的 SBS 波形比吸收系数小的介质所产生的 SBS 波形前沿陡。

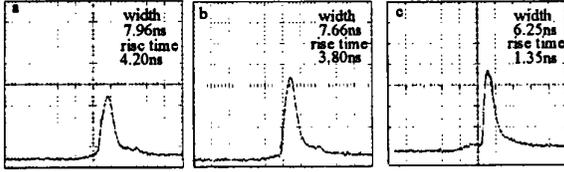


Fig. 2 The SBS pulse shapes produced in different liquids for $L = 4\text{cm}$
a— CCl_4 b—benzene c—methyl alcohol

3 分析和讨论

介质的吸收系数、增益系数、声子寿命和折射率等都影响介质所产生的 SBS 性能,但是聚焦深度较浅时,不同介质吸收系数的差异是它们所产生的 SBS 性能有差异的主要因素。从表 1 中可看出:从上而下介质的吸收系数逐步增大,这种变化导致了介质所产生的 SBS 性能的变化。这是因为对于吸收系数小的介质来说,介质对泵浦光和 Stokes 光的吸收较小、焦点附近的泵浦能量较高, SBS 产生时间提前, Stokes 脉冲前沿放大较小,因此,它们所产生的 SBS 脉宽较宽、能量较高和波形前沿不是很陡^[6]。而对于吸收系数较大的介质来说,介质对泵浦光和 Stokes 光的吸收较大、焦点附近的泵浦能量

较低, SBS 产生时间较晚, Stokes 脉冲前沿放大较大,故它们所产生的 SBS 脉宽较窄、能量较低和波形前沿很陡。另外,对每种介质来说所产生的 SBS 脉宽和能量均随着聚焦深度的增大而变小,这是因为聚焦深度越大,泵浦光与 Stokes 光的相互作用长度增加, Stokes 光的前沿放大增强, SBS 脉宽变窄。但是由于随着聚焦深度的增加,介质对泵浦光和 Stokes 光的吸收也增加,导致了 Stokes 光的能量的降低。甚至导致一些吸收系数较大的介质(如乙醇、甲醇和水等)的焦点附近的泵浦光达不到 SBS 阈值。

从实验结果还可以看出,选择 SBS 液体介质时不仅考虑 SBS 参数(如 g 和 τ 等)还必须考虑它们的吸收系数。有些 SBS 液体介质虽然有理想的 SBS 参数,但是它们的吸收系数较大,对泵浦光和 Stokes 光的吸收很强,因此,在实际应用当中受到限制。

参 考 文 献

- [1] Dane C B, Neuman W A, Hackel L A. IEEE J Q E, 1994, 30(8): 1907~ 1915.
- [2] 杨爱铃, 杨经国. 激光杂志, 1998, 19(4): 13~ 17.
- [3] 葛传文, 张为俊, 王 沛 *et al.* 激光与光电子学进展, 2000, 412(4): 18~ 22.
- [4] 陈伯涛, 林平娣, 张启昆 *et al.* 无机化学. 3 版, 北京: 高等教育出版社, 1992: 294~ 296.
- [5] 朱 丹, 张鹏翔, 周仲壁 *et al.* 物理学报, 1989, 38(4): 683~ 688.
- [6] 刘 莉. 受激布里渊散射相位共轭镜的脉冲波形与控制问题. 哈尔滨工业大学工学博士学位论文, 2000: 109~ 110.

(上接第 295 页)

械结构,并具有可溯源性。实验表明,该系统的测量分辨率可达 0.003° , 多次重复测量的偏差在 0.05° 以下,系统不确定度对于厚度 1.5mm 的石英晶体波片约为 1 。

曲阜师范大学提供了测试所需的波片,在此谨表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Shyu L, Chen C, Su D. Appl Opt, 1993, 32(22): 4228~ 4230.
- [2] Sankarasubramanian K, Venkatakrishnan P. Opt & Laser Technol, 1998, 30(1): 15~ 21.
- [3] Lin Y, Zhou Z, Wang R. Opt Lett, 1988, 13(7): 553~ 555.
- [4] Zhang S, Guo H, Li K *et al.* Opt & Laser in Engng, 1995, 23(1): 1~ 28.