

皮秒激光瞬态受激喇曼散射的实验研究

2	a	只选模	选模镜	张守松			
	b	$\{^3T_2 \rightarrow ^3T_2, ^3F_3 \rightarrow (^3G_3^3G_3)\}$	1.1×10^5	1.6×10^6	5.7×10^5	2.3×10^6	$.4 \times 10^6$

提 要

本文采用对撞脉冲锁模 Nd:YAG 激光器输出 10 ps 脉冲串,经 KTP 非线性晶体腔外倍频,泵浦喇曼介质为二甲亚砜(DMSO)液体.实验研究了不同透镜焦长、焦点位置及不同喇曼介质长度对瞬态受激喇曼散射的影响,获得了能量转换效率分别为 45.6% 和 10.5% 的前、后向一阶斯托克斯-喇曼散射光,并对实验结果进行了讨论.

关键词 皮秒光脉冲, 瞬态受激喇曼散射, 二甲亚砜(DMSO).

1 引 言

受激喇曼散射(SRS)不仅可以进行激光波长的调谐,还能有效地进行脉冲压缩^[1,2],且具有相位共轭及图相复原^[3]等优点,因而受到广泛的重视和研究.然而多数的研究集中在 ns 时域,而对 ps 喇曼散射的研究较少.尽管调 Q 脉冲可能已短得足以用来研究气体中的瞬态受激喇曼散射,但对于液体来说,由于其失相时间 T_2 通常具有皮秒的量级,故需要皮秒脉冲.众所周知瞬态受激喇曼散射过程不仅可以有效地压缩脉宽和在宽波段提供波长可调谐的皮秒、甚和激发谱峰位于 642.3 nm 和 649.0 nm 的 $^3T_2 \rightarrow ^3F_3 \rightarrow ^3G_2 \rightarrow ^3G_1$ 和 $^3T_2 \rightarrow ^3F_3 \rightarrow ^3T_2 \rightarrow ^3K_7 \rightarrow ^3G_4$ 重要手段之一.本实验采用对撞脉冲锁模 Nd:YAG 激光脉冲的二次谐波 0.53 μm 绿光作为泵浦源,(基波脉宽 10 ps),喇曼介质选用 DMSO(具有较高的喇曼转换效率)采用聚焦泵浦方式,获得了 0.63 μm 前向-后向一阶斯托克斯红光.实验研究了不同喇曼介质长度、不同聚焦强度及不同聚焦点位置对输出受激喇曼散射光的影响.

2 实验装置与条件

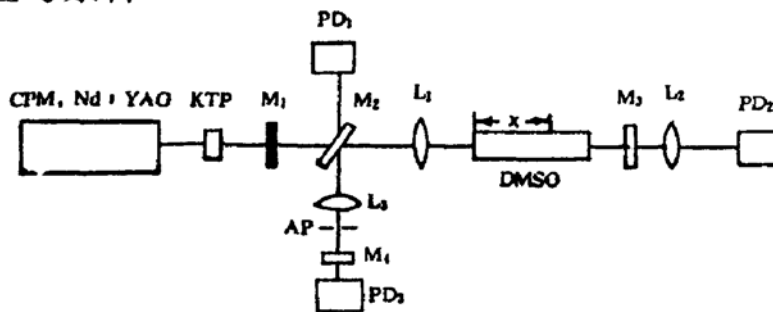


Fig. 1 Experimental set up for the study of SRS

实验采用对撞脉冲锁模 Nd:YAG 激光脉冲的二次谐波作为泵浦源来研究瞬态受激喇曼散射情况,其装置如图 1 所示,10 ps 的 $1.06 \mu\text{m}$ 光经 KTP 倍频后,由滤光片 M_1 滤去基波光, M_2 反射部分 $0.53 \mu\text{m}$ 光由 PD_1 光二极管接收用于监控泵浦光强的变化,透过 M_2 的倍频光由透镜 L_1 将其聚焦于喇曼介质 DMSO,前向喇曼散射由滤光片 M_3 滤去 $0.53 \mu\text{m}$ 泵浦光,并由透镜 L_2 将 $0.63 \mu\text{m}$ 喇曼散射光聚于 PD_2 以测定其光强,由 M_2 反射的后向喇曼散射光经透镜 L_3 及小孔 AP 并由滤光片 M_4 滤去余下的泵浦光,然后由 PD_3 接收测定后向喇曼散射光强.

3 实验结果与讨论

众所周知受激喇曼散射有较小的稳态增益,而有快的瞬态响应(1 ps). 在皮秒超短光脉冲的泵浦下,并不产生受激布里渊散射,而只有受激喇曼散射和受激瑞利翼散射可被放大^[1]. 为了有效提高喇曼光的转换效率,实验采用聚焦泵浦方式,而泵浦光的聚焦强度及焦点位置对喇曼光的输出有很大的影响.

3.1 不同聚焦强度和不同焦点位置对受激喇曼散射的影响

实验中聚焦透镜 L_1 采用 80 mm 和 145 mm 两种不同焦长,喇曼介质长为 110 mm,当泵浦光功率密度为 $5.1 \times 10^{10} \text{ W/cm}^2$ 时,测得前、后向受激喇曼散射光强和不同焦点位置的关系曲线如图 2 ($f = 80 \text{ mm}$) 和图 3 ($f = 145 \text{ mm}$). 图中 x 为喇曼池入射窗口到聚焦点位置(负值表示焦点在入射窗口前,尚未进入喇曼介质). 简单分析可知:当一定直径的光束由透镜聚焦,焦点位置在折射率为 $n(n > 1)$ 的介质中相对在空气中将有一个正的位移量,且位移量大小正比于折射率 n .

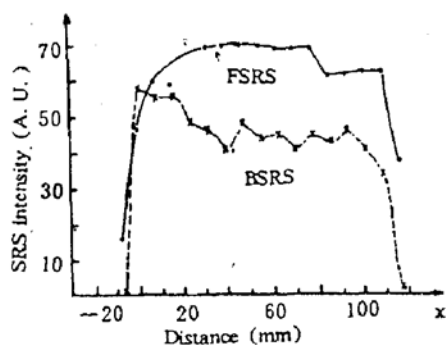


Fig. 2 SRS intensity as a function of the location of focal point with $f = 80 \text{ mm}$ lens

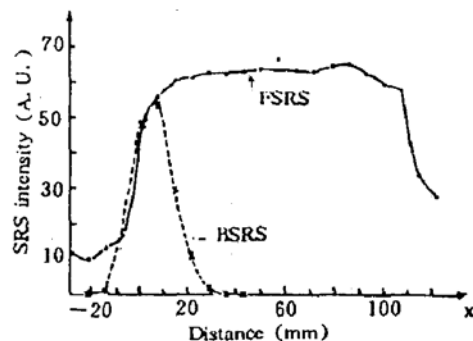


Fig. 3 SRS intensity as a function of the location of focal point with $f = 145 \text{ mm}$ lens

图 2、图 3 给出如下实验结果:1) 在喇曼介质的入射端近区后向喇曼散射最强,当聚焦点落在喇曼介质外,后向散射急剧下降为零;2) 对于强聚焦($f = 80 \text{ mm}$),焦点在介质内的位置对后向散射影响较小(见图 2),而对焦长较大的透镜($f = 145 \text{ mm}$),焦点位置对后向散射的影响很大,仅在入射端 $10 \sim 20 \text{ mm}$ 区域内有后向散射光输出(见图 3);3) 不同聚焦强度及不同焦点位置对前向散射的影响不大,前向受激喇曼散射具有较稳定的输出.

当采用皮秒脉冲泵浦喇曼介质时,对于后向喇曼散射,泵浦脉冲和斯托克斯脉冲相互作用区域很小,后向散射光仅在 $l_p = v\tau_p$ 的区域内被喇曼介质放大^[5],这里 v 为介质中光传播的相速度, τ_p 为泵浦脉宽,在本实验条件下 $l_p \approx 2 \text{ mm}$ (DMSO 液体的折光率 $n = 1.48$),因而当焦点落在喇曼介质外,后向受激喇曼散射急剧下降为零.另一方面,根据文献[6]的建议,若采用 $B = L/\omega$ 和 $K = l/L$ 作为泵浦束的聚焦参数(其中 L 为介质池长, l 为束腰距入射端的距离),由

聚焦束泵浦的受激喇曼散射耦合方程出发,可导出增益参数 G 的表达式:

$$G = \tan^{-1} \frac{B}{1+R} + A,$$

$$A = \alpha L \left[K \tan^{-1} \frac{B}{1+R} - \frac{1}{2B} \log \frac{1+B^2(1+K)}{1+B^2K^2} \right] = \alpha L A'(K, B)$$

式中第二项 A 与介质吸收 αL 有关, $A'(K, B)$ 表示聚焦对吸收的增强作用. A' 值皆为负,说明吸收使增益下降. 当 B 值大(强聚焦)时, A' 在 $-1 < K < 0$ (焦点位于池内) 区域绝对值较大,且 A' 的极值位于出射窗口($K = -1$) 附近. 当 B 值小, A' 的极值在池中央($K = -1/2$), 这说明: 在介质有吸收的情况下, 强聚焦于池中, 特别是聚焦于池的后半部会增加吸收引起的增益下降. 以上分析指出焦点聚于喇曼介质入射端近区更有利于后向喇曼散射, 这同实验结果相符.

3.2 喇曼光转换效率

实验测定在不同焦长及不同喇曼介质长度时, 前、后向受激喇曼散射光能量转换效率. 由 PD_1 、 PD_2 、 PD_3 测定泵浦光强, 前、后向喇曼散射光强, 即可算出前、后向喇曼的转换效率. 测定前向散射时, 将焦点聚在池中央; 测定后向散射时, 将焦点聚于喇曼池入射端近区(由以上的实验和分析可知, 入射端处有较强的后向散射). 当泵浦功率密度为 $5.1 \times 10^8 \text{ W/cm}^2$, 所测实验结果列于表 1:

Table 1 SRS energy conversion efficiency in the different focusing parameters

direction of scattering	length of Raman medium (mm)	focal length of lens (mm)	focal point location	Energy conversion efficiency
forward	110	80	centre of cell	33.1%
forward	110	145	centre of cell	45.6%
forward	200	145	centre of cell	25.2%
backward	110	145	near field of entrance mirror	10.5%

实验得出: 当喇曼介质长为 110 mm, 聚焦透镜焦长为 145 mm, 分别获得 45.6% 和 10.5% 的前后和后向喇曼光转换. 可见对于一定的泵浦能量, 瞬态受激喇曼散射的前向散射光远大于后向散射光. 作者认为, 当泵浦光功率超过临界功率将在介质内产生自聚焦, 实验中清楚地观察到了自聚焦细丝. 由于自聚焦的产生显著地增大了在焦点区域处的激光强度, 并且破坏了喇曼放大的前、后向对称性. 由于研究的是皮秒瞬态效应, 泵浦光脉冲宽度及喇曼光脉冲宽度均比光通过介质所需的时间短得多, 故激光脉冲和斯托克斯脉冲相互作用范围受到限制, 那么与前向喇曼放大相比, 后向喇曼放大被大大地减弱^[7]. 因此, 皮秒超短光脉冲激发的喇曼散射, 在本实验条件下, 前向散射光比后向散射光强得多.

4 结 论

以二甲亚砜为喇曼散射介质, 研究对撞脉冲锁模 Nd: YAG 激光的皮秒瞬态受激喇曼光散射. 实验表明: 采用小于 10 ps 光脉冲作为泵浦源, 当透镜焦距 $f = 145 \text{ mm}$, 对长为 110 mm 的喇曼介质, 前向受激喇曼散射大大高于后向散射. 不同聚焦强度及不同焦点位置对前向受激喇曼散射影响不大, 其输出较为稳定. 对于后向受激喇曼散射, 聚焦强度及焦点位置对输出影

响很大,当焦点落在喇曼介质外,很难观察到后向散射,而只有当焦点聚于喇曼池入射窗口近区,才能获得较大的后向散射光.

作者感谢庄其仁工程师在能量测定方面给予的帮助.

参 考 文 献

- [1] F. D. Rougemont, D. K. Xian, R. Frey *et al.*, High-efficiency pulse compression with externally pumped intracavity Raman oscillators. *Opt. Lett.*, 1984, **9**(10): 460~462
- [2] 孟绍贤、杨镜新、钱列如等, 用级联脉冲压缩器产生皮秒光脉冲. *中国激光*, 1992, **19**(11): 842~846
- [3] G. Rivoire, A. Sokalovskaia, Phase conjugation and image reconstruction in stimulated scatterings. *Opt. Commun.*, 1982, **42**(2): 138~142
- [4] R. Chevalier, A. Sokolovskaia, N. Tcherniega *et al.*, Stimulated backward Raman scattering excited in the picosecond range; high efficiency conversions. *Opt. Commun.*, 1991, **82**(2): 117~122
- [5] J. L. Ferrier, Z. Wu, J. Gazengel *et al.*, Back scattering in the picosecond range; generation and geometrical conditions for wave front reconstruction. *Opt. Commun.*, 1982, **41**(2): 135~139
- [6] 张梓华, 张华安, 仲志英, 聚焦束泵浦受激喇曼散射中的聚焦参数对转换效率的影响. *光学学报*, 1991, **11**(3): 235~241
- [7] 沈元良著(顾世杰译), 非线性光学原理. 第一版. 北京 科学出版社 1987: 151~200

Experimental study on the transient stimulated Raman scattering of picosecond laser pulse

WU Fengtie PU Jixiong ZHANG Wenzhen

(Department of Physics, Huaqiao University, Quanzhou, 362011)

(Received 9 March 1993; revised 19 April 1993)

Abstract

10 picosecond pulses from a colliding pulse mode-locked Nd : YAG laser pass through a KTP crystal and pump DMSO Raman medium. The effect of lenses with different focal length, focal point location and the length of Raman medium on the transient stimulated Raman scattering studied experimentally. Energy conversion efficiency of 45.6% and 10.5% for the forward and backward first Stokes Raman scattering are obtained respectively. The experimental results are discussed.

Key words picosecond light pulse, transient stimulated Raman scattering, dimethyl sulfoxide (DMSO).