

## 乙醇溶液中后向受激喇曼散射的瞬态 效应——亚皮秒喇曼光脉冲的产生

张筑虹 钱列加 刘一先 李富铭

(中国科学院上海光机所, 201800) (复旦大学物理系, 200433)

**摘要:** 本文报道了在乙醇溶液中实现后向受激喇曼散射光脉冲产生的实验装置和结果, 得到了脉宽为 280 fs、压缩比达 100 倍的喇曼光脉冲, 提出了喇曼超压窄区的概念。

**关键词:** 乙醇, 后向受激喇曼散射

### Generation of subpicosecond backward stimulated Raman scattering pulses in ethanol

Zhang Zhuhong, Qian Liejia

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

Liu Yixian, Li Fuming

(Department of Physics, Fudan University, Shanghai)

**Abstract:** Experimental setup for studying the generation of backward stimulated Raman scattering pulses in ethanol and the experimental results are reported. The pulsewidth of the shortest Raman pulse is 280fs with a compression factor of 100.

**Key words:** ethanol, backward stimulated Raman scattering

我们曾研究并报道了乙醇溶液中 C-H 伸张模的动力学过程与泵浦光参量的关系, 获得后向斯托克斯脉冲宽度为 310 fs, 有近 80 倍的压窄<sup>[1]</sup>。本文着重研究了在乙醇溶液中获得的后向斯托克斯光脉冲宽度和泵浦光参量的关系, 采用锁模 Nd:YAG 激光器的谐波输出做泵浦源, 脉宽为 28 ps, 当泵浦光峰值功率密度介于  $5.13 \sim 5.27 \times 10^9$  W/cm<sup>2</sup> 时, 选取适当的会聚透镜和喇曼池, 可获得亚皮秒的后向斯托克斯光脉冲, 最窄时脉宽为 280 fs。

### 实验装置和结果

实验装置如图 1 所示, 激光器是主-被动锁模 Nd:YAG 激光器, 经 KDP<sub>1</sub> 倍频并用双色镜 M<sub>1</sub> 分离基波光和谐波光, 谐波光脉宽为 28 ps; 透过的基波光由 PD<sub>1</sub> 光二极管接收用于同步触发 Boxcar 取样积分平均器, 反射的 0.53 μm 谐波光用 M<sub>2</sub> 分取部分由 PD<sub>2</sub> 接收用于监控泵浦光强的变化; M<sub>3</sub> 是对 0.53 μm 高反、对 0.62 μm 高透的双色镜, 经 M<sub>3</sub> 反射的

0.53 μm 光经  $L_1$  聚焦到盛有乙醇的喇曼池  $S$  中；后向散射的喇曼光透过  $M_3$  后经  $M_4$  分取部分由  $PD_3$  接收用于测定其强度变化；经  $M_4$  反射的喇曼光再用  $M_5$  等分成两部分，此二部分光束经光学延迟线  $OD$  和  $P$  进行时间延迟并由透镜  $L_2$  ( $f_2=6\text{ cm}$ ) 同时聚焦到  $KDP_2$  上，晶体厚度为 0.3 mm，可忽略群速度色散引起的测量误差，由  $KDP_2$  产生的谐波光经小孔  $A$  和

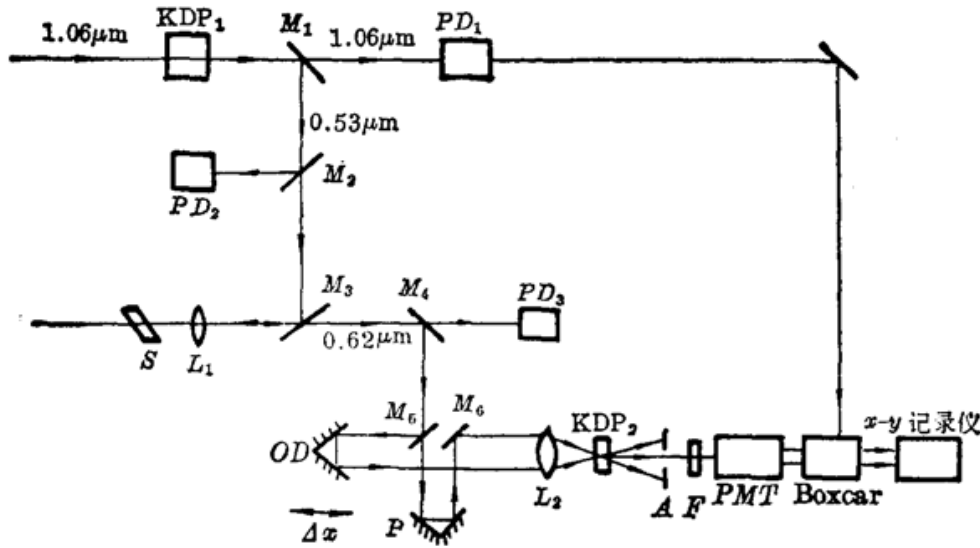


图 1 实验装置示意图

滤光片  $F$  后用  $PMT$  紫外光电倍增管接收并送到 Boxcar 中进行处理和由  $X-Y$  记录仪记录其相关函数信号，测量喇曼光脉冲宽度。

实验中选用的透镜  $L_1$  的焦距分别为 5 cm、20 cm，喇曼池长分别为 0.5 cm、1 cm、2 cm。测到的后向喇曼光脉冲宽度表示在图 3 中。从图中可以看出，当选取喇曼池长为 0.5 cm，透镜焦距为 5 cm，光会聚于距池后窗 0.2 cm 处，泵浦光峰值功率密度介于  $5.13 \sim 5.27 \times 10^9 \text{ W/cm}^2$  时，后向喇曼光脉冲宽度大都为亚皮秒，压窄倍数均在 50 倍以上，测到的最短脉冲宽度为 280 fs，其自相关迹见图 2 (此处假定脉冲为正切型)。当泵光功率密度位于该区域外时，或改变透镜或喇曼池时脉宽压缩率一般只有 10~20 倍。

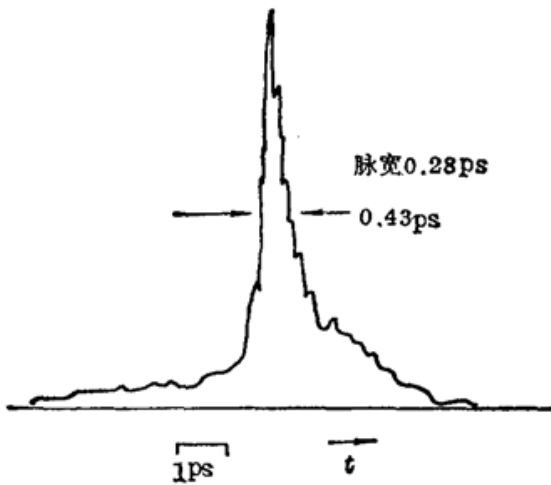


图 2 喇曼池长为 0.5 cm，透镜焦距为 5 cm 时，后向喇曼光的脉冲宽度

### 讨 论

根据文献 [2, 3] 所报道的理论分析和实验结果，只有在后向受激喇曼散射抑制前向散射并且焦区长度远小于泵浦光和喇曼光的作用区长度时，可以实现后向喇曼光的 10~20 倍压缩，喇曼光脉宽随泵浦光光强的增加先变窄后变宽。斯托克斯光脉冲由自发辐射噪声产生，其宽度与焦区的雷莱范围相关连，有  $\tau_s \sim l_r / C$  (雷莱范围长度为  $l_r$ )，经在长度为  $L = \tau_i C / 2$  ( $\tau_i$  为泵光脉宽) 区域有效放大形成，并且需满足条件  $gE_s C > 1$  ( $g$  为喇曼增益系数； $E_s$  为斯托克斯光的能量密度)，在这些条件下可获得最窄喇曼光宽度为

$$\tau_{\min} \geq (gI_{th}C)^{-1}$$

$I_{th}$  是材料的损伤阈值，也是非线性过程产生的阈值。

考察我们的实验结果所列图 3(a) 的曲线 1。相应地,  $f=5\text{ cm}$ ,  $P_{in}=4.6\times 10^9\text{ W/cm}^2$ , 入射光束半径  $W=1.5\text{ mm}$ , 乙醇的喇曼增益为  $g=5.1\times 10^{-9}\text{ cm/W}$ , 由此可得出  $\tau_s\sim 1.13\text{ ps}$ ,  $\tau_{min}=1.5\text{ ps}$ , 这与实验结果相符合。实验曲线的实线部分同样可用 [2, 3] 理论解释。

注意到在我们的实验条件下, 如只是单纯的喇曼产生过程, 那么即使考虑到会聚光束的情况, 由 [4] 所得的脉冲压缩比  $\eta$  为

$$\eta = \sqrt{P_{L0} g \lambda^{-1} \tan^{-1}(x/l_f)}$$

其中  $P_{L0}$  为高斯光束的峰值功率,  $g$  为喇曼增益,  $x$  为焦点距出端距离。在我们实验中, 当  $P=36\text{ kW}$  时,  $\eta$  只有 22, 这与实验中得到的近百倍压窄十分不符。我们称这种位于曲线 1 凹部的特殊的亚皮秒喇曼光脉冲产生区为超压窄区。

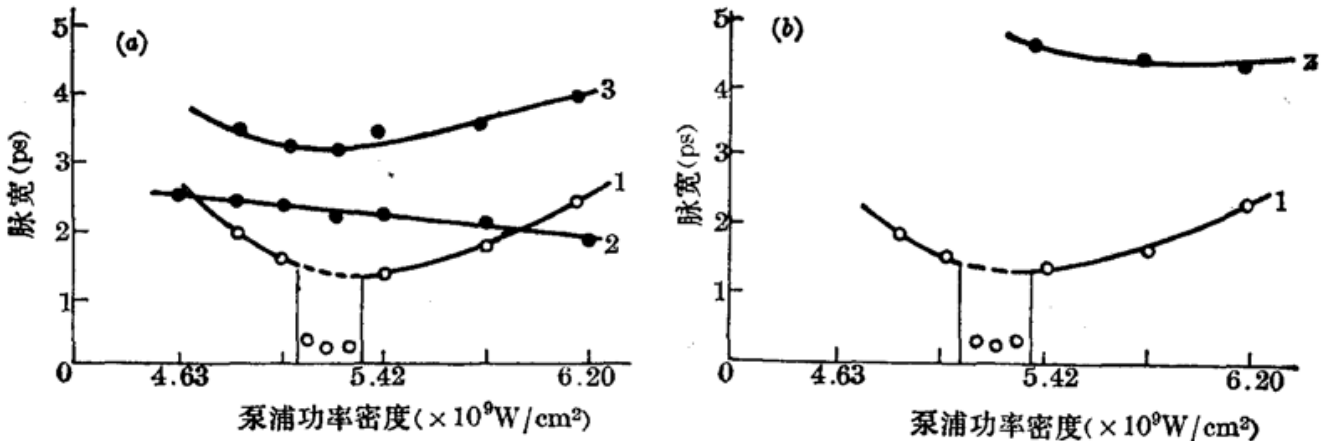


图 3 泵浦功率密度与脉宽的关系

(a) 焦距为 5 cm, 池长分别为 1—0.5 cm, 2—1 cm, 3—2 cm;

(b) 池长为 0.5 cm, 焦距分别为 1—5 cm, 2—20 cm

在实验中, 我们多次重复得到了这一特殊的亚皮秒喇曼光, 因而可排除实验过程中随机因素以及其它不稳定因素造成实验假像的可能。有两种可能导致该区域出现的原因, 一是纯物理的考虑, 注意到斯托克斯光脉冲是由自发辐射噪声经光放大而产生的, 并且乙醇的失相时间  $T_2$  为 0.25 ps, 与最短的喇曼光脉冲的宽度 0.28 ps 相近, 这种区域可能是相应于在最佳参量运转中, 自发辐射噪声放大的竞争过程中出现的相干放大的结果。另一考虑是介质中瞬态自聚焦的影响, 实验中所观察到的随泵浦光增强喇曼光变宽和分裂成尖峰现象已说明了自聚焦的存在, 在自聚焦出现的阈值附近, 自聚焦等效于缩短了会聚镜的焦长, 即减小了雷莱范围长度, 从而可使喇曼光变得更窄, (0.28 ps 相应于乙醇中  $60\ \mu\text{m}$  的长度), 根据 [5] 计算可得出自聚焦的等效焦长, 它与原会聚镜的组合给出  $\tau_s\sim 0.85\text{ ps}$ , 结果说明自聚焦的出现会使后向喇曼光更窄, 但这也不足以说明 0.4 ps 左右的喇曼光的成因。我们认为第一种考虑可能是亚皮秒喇曼光产生的主要原因。

### 参 考 文 献

- 1 刘一先 *et al.*, 中国激光, **17**(1), 23(1990)
- 2 V. B. Iranov *et al.*, *Sov. J. Quant. Electr.*, **16**, 560(1986)
- 3 V. A. Gorbunov *et al.*, *Sov. J. Quant. Elec r.*, **13**, 900(1983)
- 4 孟绍贤 *et al.*, 强激光与粒子束, **2**(2), 303(1990)
- 5 沈元壤, 非线性光学原理, 科学出版社, 1987, 386