

# 后向喇曼压缩器的稳定性研究\*

孟绍贤 谷忠民 逯其荣 谢梓铭  
杨镜新 陈绍和

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

**摘 要** 证实了后向斯托克斯输出脉宽的稳定性主要由泵浦光的稳定性决定. 实验结果与理论预言完全符合.

**关键词** 喇曼压缩器, 后向斯托克斯脉冲, 超短光脉冲.

## 1 引 言

有机液体在激光作用下, 可引起分子的振动模式的激发, 从而产生受激喇曼散射. 通常分子可存在  $3N-6$  个振动模式 ( $N$  为分子包含原子的数目), 适当控制泵浦光强、脉冲宽度、聚焦方式及喇曼盒长, 可以使某个振动模式优先起振, 或使几个模式同时起振<sup>[1]</sup>.

作者在实验中已观测到乙醇  $2877\text{ cm}^{-1}$ 、 $2928\text{ cm}^{-1}$  和  $2972\text{ cm}^{-1}$  三个振动模式的同时起振, 结果使振动线宽达到  $100\text{ cm}^{-1}$  以上, 再由于强光下的自位相调制的加宽, 结果观测到的光谱宽度足以达到产生飞秒量级光脉冲所需的值. 因此利用受激喇曼散射是获得超短光脉冲又一重要途径<sup>[2]</sup>.

利用受激喇曼效应产生超短光脉冲的主要优点是: 有高的转换效率; 输出光的方向性和均匀性好; 有较大的波长灵活性, 对于一种喇曼介质, 可以输出几种波长的超短光脉冲; 改变不同泵浦激光波长, 改变不同介质, 可输出不同波长的喇曼光脉冲; 更适宜获得高功率单一脉冲; 由于喇曼光与泵浦光有好的同步特性, 因此它更适用于用泵浦-探测技术研究物质的超快弛豫过程, 如用于探测激光等离子体的膨胀过程<sup>[3]</sup>.

然而, 在所有泵浦探测研究快过程的测量中, 都希望探测脉冲宽度有很好的稳定性, 泵浦脉冲和探测脉冲之间延迟有稳定的同步特性. 因此, 研究上述两种稳定性具有重要意义.

为了研究它的稳定性, 就需要稳定的泵浦激光源. 为此采用我国自制的“神光”装置的前几级做泵浦源, 结果证明了泵浦脉冲和探测脉冲之间有满足要求的同步特性, 且用于探测的喇曼光脉冲宽度亦有较好的稳定特性.

\* 本课题得到国家科委 863 高科技基金的资助.

收稿日期: 1993年6月4日; 收到修改稿日期: 1993年11月1日

## 2 实验装置与实验结果

实验在“神光”装置上进行, 振荡器采用脉冲预激光声光调 Q 单纵模 Nd:YLF 激光器. 其输出波长为  $1.053 \mu\text{m}$ , 激光脉冲宽度可从 30 ns 到 100 ns 范围内连续可调, 激光脉冲经过电光开关削波, 获得脉宽为 1~2 ns 的脉冲, 然后经过多级磷酸盐玻璃系统放大到所需的能量.

进行喇曼频率变换和脉冲宽度压缩的稳定性实验研究的装置如图 1 所示. 由掺钕磷玻璃激光器中  $\phi 70 \text{ mm}$  放大器输出处分出一束光, 经过望远镜缩束, 四分之一波长旋光片调节激光的偏振方向, 然后经过 I 型 KDP 晶体倍频后产生 527 nm 的绿光, 经过二色镜  $M_5$ ,  $1.053 \mu\text{m}$  光全部透过, 530 nm 光全反. 527 nm 的绿光经过对 530 nm 全反对 6300 nm 全透的双色镜  $M_6$  后用透镜聚焦于喇曼盒中, 此时产生的 630 nm 后向喇曼光经过  $M_6$  及反射镜  $M_9$ 、 $M_{10}$  至条纹相机的狭缝, 进行脉冲宽度的测量.

为了研究喇曼光脉冲的稳定性, 首先测量了“神光”装置在  $\phi 70 \text{ mm}$  放大器处输出的能量变化及相应的倍频后的绿光脉冲宽度, 结果列于表 1.

Table 1.

Shot	1	2	3	4	5	6	7	8	average
Energy (J)	4.19	4.22	4.25	4.09	4.09	3.96	4.08	4.42	4.16
Width (ns)	1.45	1.45	1.53	1.34	1.38	1.13	1.51	1.20	1.37

能量最大值相对于平均值偏差 6%, 能量最小值相对于平均值偏差 4.8%, 说明“神光”装置在  $\phi 70 \text{ mm}$  放大器输出能量稳定性在  $\pm 5\%$  左右. 而测得的绿光脉冲宽度最大值相对于平均值偏差为 11.7%, 而脉宽最小值相对于平均值偏差 12.4%. 即脉冲宽度的稳定性在  $\pm 12\%$  左右, 它比能量稳定性差. 知道能量和脉宽, 可以求出泵浦功率稳定性为  $\pm 14\%$ . 然后, 利用条纹相机测量了后向斯托克斯光脉冲的宽度. 经过连续 16 次测量, 其结果列于表 2.

Table 2.

Shot	1	2	3	4	5	6	7	8
Width (ps)	108	154	106	115	154	158	147	154
Shot	9	10	11	12	13	14	15	16
Width (ps)	123	129	137	113	100	137	133	158

脉冲宽度平均值为 133 ps, 脉宽最大值相对于平均值偏差为 18.8%, 脉宽最小值相对于平均值偏差 24.8%, 即脉冲宽度的稳定性在 20% 左右. 这样的稳定性对于激光产生等离子体膨胀过程诊断的分幅测量, 完全可以满足要求.

测得的典型绿光脉冲和后向斯托克斯的条纹相机波形如图 2 所示.

在测量泵浦脉冲时, 条纹相机扫描在 10 ns 档, 测得脉冲宽度为 1.45 ns. 测量乙醇后向

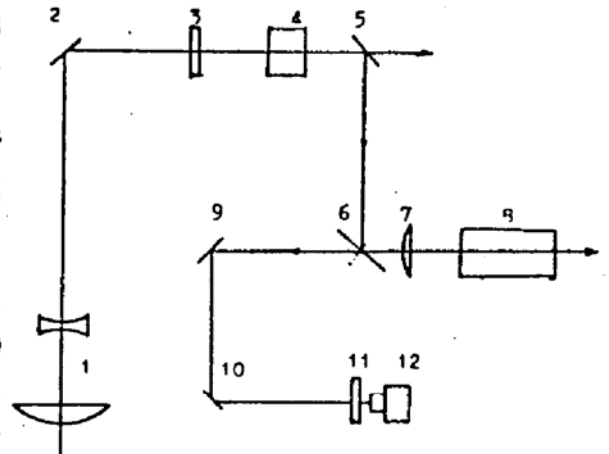


Fig. 1 Experiment setup of pulses stability measurement.

1. telescope, 2, 9, 10. mirror, 3.  $\lambda/4$  rotatory optical plate, 5, 6. dichroic mirror, 7. lens, 8. Raman cell, 11. filter, 12. streak camera

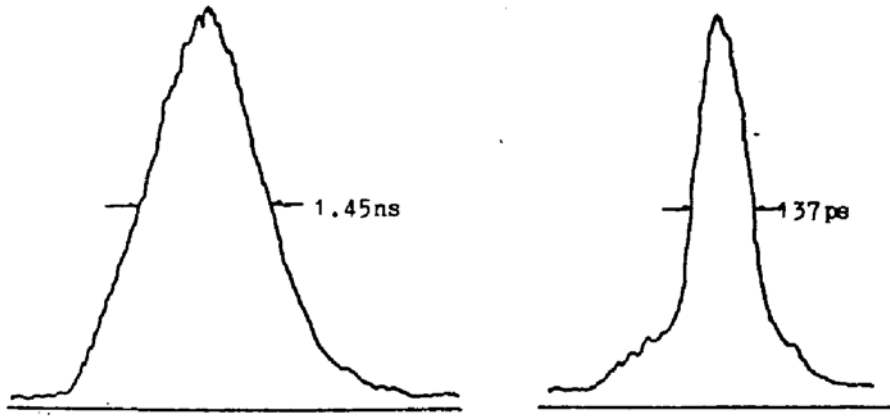


Fig. 2 Streak camera record of the pump pulse (530 nm) and the backward stokes pulse (630 nm)

斯托克斯脉冲宽度时, 条纹相机扫描在 2 ns 档, 测得脉冲宽度为 137 ps. 考虑到 1.06 μm 倍频后脉冲变窄(对高斯型脉冲、变窄  $\sqrt{2}$  倍), 则 1.06 μm 的脉宽为 2 ns, 则 1.06 μm 光经过倍频、喇曼变换, 脉宽压窄了 15 倍. 从图 2 可看出, 无论泵浦脉冲还是后向斯托克斯脉冲, 波形都是很光滑的.

用另一台锁模激光器测量了泵浦脉冲与后向喇曼光脉冲的同步特性. 测得两者同步稳定性在  $\pm 10$  ps 左右, 如图 3 所示, 此时, 条纹相机扫描在 10 ns 档. 喇曼光脉冲已在该档分辨率附近, 不能表示出真正宽度, 为此将条纹相机扫速改到 1 ns 档, 测得喇曼光脉冲宽度为 20 ps. 这样泵浦光与探测光的同步稳定性对于激光等离子体诊断来说是满足要求的.

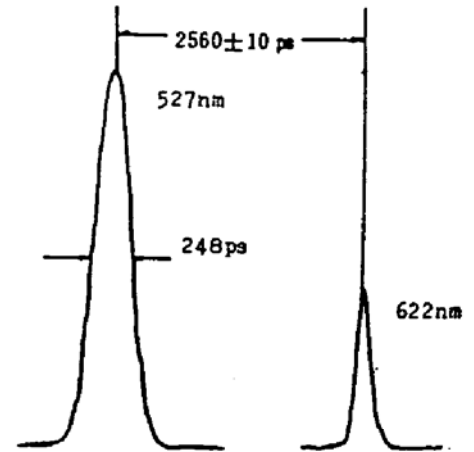


Fig. 3 Synchronization measurement of pump green pulse and backward Raman pulse (Streak camera record)

### 3 结果分析和讨论

有关后向斯托克斯光脉冲的压缩问题, 本文已经进行过详细地讨论.

若泵浦光为高斯型  $P_L = P_{L0} \exp[-4 \ln 2 (t/t_p)^2]$ , 则后向斯托克斯脉冲压缩公式为<sup>[4,5]</sup>:

$$t_s/t_p = \sqrt{P_{L0} \log \tan^{-1}(L/Z_R)/\lambda} \tag{1}$$

其中  $L$  为由透镜焦面来测量后向斯托克斯光输出距离;  $Z_R$  是聚焦光束的雷莱范围,  $\lambda$  是泵浦光波长.

将公式(1)中功率  $P_{L0}$  用能量  $E$  和脉宽  $t_p$  表示, 则可求出后向斯托克斯光脉冲宽度相对变化与泵浦能量和泵浦脉宽相对变化的关系式

$$|\Delta t_s/t_s| \ll \frac{3}{2} |\Delta t_p/t_p| + \frac{1}{2} |\Delta E/E| \tag{2}$$

由表 1, 可以求出泵浦脉宽相对变化量为  $\Delta t_p/t_p = \pm 12\%$ , 泵浦能量相对变化  $\Delta E/E = \pm 5\%$ , 则

$$\frac{3}{2} |\Delta t_p/t_p| + \frac{1}{2} |\Delta E/E| = 20.5\%$$

而由表 2 求得  $\Delta t_s/t_s = \pm 20\%$ , 即由(2)式求得的结果与实验测得的  $\Delta t_s/t_s$  完全符合. 可见理论

分析是完全正确的. 可见喇曼变换不引入额外的不稳定性, 它主要受泵浦光的脉宽和能量的稳定性影响. 为了保证喇曼光脉冲输出稳定性, 唯一办法就是使泵浦光脉冲宽度和能量有足够的稳定性.

以上讨论结果适合于任何喇曼光脉冲的脉冲压窄过程.

作者感谢林尊琪、范滇元教授和刘凤翹高级工程师给予的支持和帮助.

### 参 考 文 献

- [1] 孟绍贤, 谷忠民, 张伟清等, 10~20 ps 等离子体紫外光探针. 中国激光, 1991, 18(12): 909~914
- [2] 孟绍贤, 杨镜新, 钱列加等, 用级联脉冲压缩器产生皮秒光脉冲. 中国激光, 1992, 19(11): 842~847
- [3] 孟绍贤, 杨镜新, 钱列加等, 长短脉冲间自同步的光探针. 核聚变与等离子体物理, 1992, 12(3): 178~182
- [4] Meng Shaoxian, Yang Jingxin, Gu Zhongmin *et al.*, Ultrashort pulses generated by stimulated backward scattering compressor. *Proc. SPIE*, 1992, 1726: 338~342
- [5] Meng Shaoxian, Gu Zhongmin, Yang Jingxin *et al.*, 315 nm optical sounding for laser produced plasma. *Proc. SPIE*, 1992, 1801: 514~519

## Stability of Backward Raman Compressor

Meng Shaoxian    Gu Zhongmin    Lu Qirong    Xie Zhiming  
Yang Jingxin    Chen Shaohe

(Shanghai Institute of Optics & Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

(Received 4 June 1993; revised 1 November 1993)

**Abstract** Stability of pulsewidth of backward stokes output is dominated by the stability of pump light. The theoretical prediction is verified by experimental results.

**Key words** Raman compressor, backward stokes pulse, ultrashort optical pulse.