

# 幅度调制的脉冲光激发受 激喇曼散射的时间特性

孟绍贤 张伟清 林礼煌 林尊琪  
(中国科学院上海光学精密机械研究所)

## 提 要

实验研究了有幅度调制的 5321 Å 亚毫微秒脉冲激发乙醇介质所产生的受激喇曼散射中的前向及后向斯托克斯光脉冲的时间特性。结果表明,前向和后向斯托克斯脉冲出现与泵浦脉冲相同的调制周期,只是调制度显著增大。对实验结果进行了理论解释。

## 一、引 言

锁模高功率激光系统由于强光下的非线性效应,或多或少存在着幅度或相位调制,造成输出激光的时间波形不十分光滑<sup>[1]</sup>。

这样调制的泵浦光脉冲使产生的喇曼光脉冲也具有调制特性,降低了喇曼增益的幅度,并使受激喇曼光相对于自发喇曼光的波长产生位移。

目前对幅度调制的泵浦光产生喇曼效应的理论和实验研究不多。因此本工作对于理论和实验研究都有一定意义。

## 二、实验装置

本实验工作是在中科院上海光机所六路大功率激光装置上进行的<sup>[2]</sup>。为获得较宽的锁

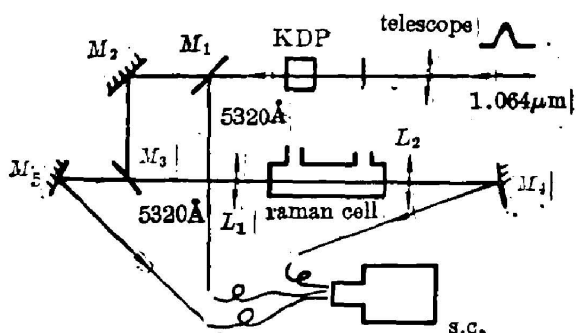


Fig. 1 Experimental setup of stimulated Raman scatterin

模脉冲,在主-被动锁模激光腔内加上厚 1.5 cm 未镀膜的平行平板玻璃作为标准具。

受激喇曼散射实验装置如图 1 所示。从锁模 Nd:YAG 激光器的输出脉冲序列中选出单一脉冲,经过多级放大,能量达到 1J 左右。然后通过 2:1 缩束望远镜缩束后,再经 KDP 晶体倍频成 5321 Å 的绿光脉冲。其一部分通过平面镜 M<sub>1</sub> 反射到高速条纹相机上,大部

分通过对波长 5320 Å 全反射,而 1.064 μm 全透射的反射镜 M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub> 反射,再经过焦距为

30 cm 的透镜  $L_1$  聚焦到长度  $L$  为 40 cm 的喇曼盒中。输出的前向斯托克斯光经焦距为 30 cm 的透镜  $L_2$  准直, 由反射镜  $M_4$  反射到条纹相机 S. O. 上, 而后向斯托克斯光经  $L_1$  和  $M_3$  透射, 由反射镜  $M_5$  反射到条纹相机上。泵浦光, 前向和后向的斯托克斯光经过不同的光路延迟分别进入三根短单模光纤, 同时入射到条纹相机的狭缝上。为了避免条纹相机图像因入射光太强出现饱和, 在三根光纤前分别加以适当透过率的衰减片。利用 27 din 感光胶片记录下条纹相机的扫描图像, 经测微光度计处理。结果如图 2 所示。

从图 2 中看出, 当泵浦光脉冲以周期为 75 ps 作幅度调制时, 前向和后向斯托克斯光的调制周期也为 75 ps。而且前向的斯托克斯光脉冲比后向的宽。

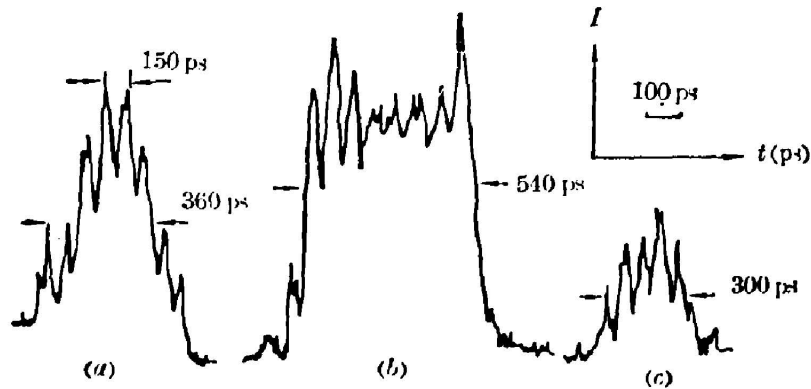


Fig. 2 Intensity—time waveform of (a) incident pump pulse, (b) forward and (c) backward Stokes pulses

### 三、实验结果与讨论

实验上采用的喇曼盒较长,  $L=40$  cm, 透镜焦距也较长,  $f=30$  cm, 且由于入射脉冲较宽, 故聚焦后光功率密度较低, 因此受激喇曼散射属于稳态。所以斯托克斯光强表示为:

$$I_s(z, t) = I_s(0, t) \exp[g_{ss} I_L z - \alpha z], \quad (1)$$

这里  $I_s(0, t)$  为起始自发斯托克斯光强,  $g_{ss}$  为稳态增益系数, 对乙醇介质  $g_{ss} = 5.1 \times 10^{-9}$  cm/W,  $I_L$  为泵浦光强,  $\alpha$  为在喇曼光波长的线性吸收系数。

我们可以求出能够探测到的斯托克斯光所需要的泵浦光的阈值强度

$$I_T = \frac{1}{g_{ss} L} \left[ \ln \frac{I_s(L)}{I_s(0)} + \alpha L \right], \quad (2)$$

其中  $L$  为喇曼介质有效增益长度, 可估计出在有效增益长度为 20 cm 时, 阈值强度  $I_T$  约为  $10^8$  W/cm<sup>2</sup>。

根据我们以前的工作分析<sup>[3]</sup>, 产生前向斯托克斯光所需要泵浦强度低于后向的泵浦强度。泵浦脉冲宽度为 360 ps<sup>[3]</sup>, 有效增益长度为 3.9 cm, 而前向  $l_{eff}$  为几十 cm。因此可以解释观察到的前向斯托克斯光。然后随着泵浦强度增加产生后向斯托克斯光, 由于泵浦光的消耗, 因此又限制了前向斯托克斯光的生长。在本实验的条件下, 后向斯托克斯光增益长度小, 故消耗泵浦光脉冲的峰值部分。后向斯托克斯光脉冲结束后, 前向斯托克斯光脉冲仍存

在, 由于泵浦光的幅度调制特性, 故斯托克斯光也存在调制特性, 并由于上述原因, 前向斯托克斯光脉冲的半宽度可以大于泵浦光脉冲的半宽度。

下面计算后向斯托克斯光的调制特性。实验中, Nd:YAG 主-被动锁模激光器输出的  $1.064 \mu\text{m}$  基波光脉冲宽度为  $t_p = 500 \text{ ps}$  的高斯型幅度调制脉冲, 可以取<sup>[4]</sup>

$$I_{\text{基波}} \sim \exp\left[-\frac{t^2}{t_p^2} \cdot 4 \ln 2\right] \exp\left[-2\delta_i \sin^2\left(\omega t + \frac{\sigma\pi}{2}\right)\right], \quad (3)$$

式中  $\omega = 2\pi/T$ ,  $T$  由标准具厚度决定, 用  $1.5 \text{ cm}$  厚的标准具,  $T = 150 \text{ ps}$ ,  $\delta_i$  为幅度调制深度, 由于标准具未涂膜, 调制深度可取  $\delta_i = 0.1$ , 算出其波脉冲的波型如图 3, 脉冲的调制周期为  $75 \text{ ps}$ 。

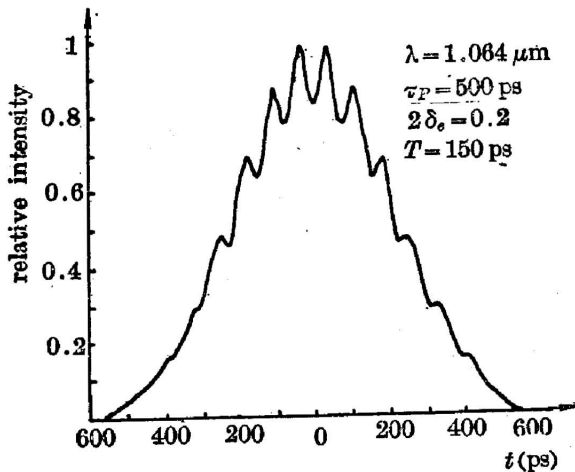


Fig. 3 Calculated pulse shape of the laser output

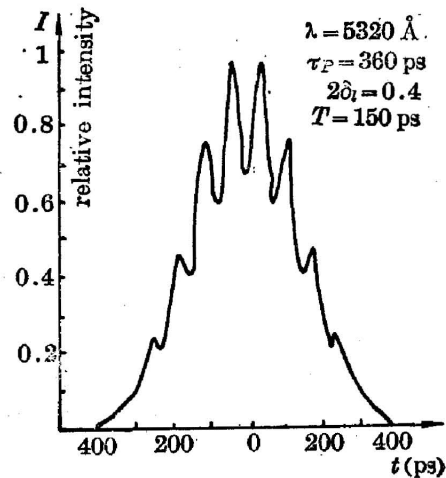


Fig. 4 Calculated pulse shape of the pump beam

倍频激光波形, 根据

$$I_{\text{倍频}} \sim I_{\text{基波}}^2$$

可求出:

$$I_{\text{倍频}} \sim \exp\left[-\frac{t^2}{t_p^2} 8 \ln 2\right] \exp\left[-4\delta_i \sin^2\left(\omega t + \frac{\sigma\pi}{2}\right)\right], \quad (4)$$

由此看出倍频光脉冲变窄, 调制度加深, 计算结果与测量的泵浦光脉冲形状完全符合, 如图 4 所示。

将 (4) 式代入 (1) 式, 可以计算后向斯托克斯光脉冲形状。当  $g_{33} I_L z = 1.8$  时, 计算的和测量所得结果一致, 其脉冲形状如图 5 所示。脉冲宽度  $t_s = 300 \text{ ps}$ 。

从实验和计算结果可以得出如下结论:

1. 用单片平行平板做标准具放入锁模激光谐振腔内, 将使输出激光脉冲形状出现调制结构, 而且由于温度变化, 使腔长改变, 从而改变调制频率, 造成输出为不稳定的有调制的光脉冲。为了获得较平滑、稳定的脉冲形状的输出, 应该采用两个平行平板标准具, 并使两者平行。此时, 激光输出基波可以表示为:

$$I_{\text{基波}} \sim \exp\left[-\frac{t^2}{t_p^2} \cdot 4 \ln 2\right] \exp\left[-2\delta_i \sum_{m=1}^6 \sin^2(\omega_m t + \varphi_m)\right], \quad (5)$$

其中  $\delta_1=0.1$ , 仔细加工平行平板的平行度, 小心调整两个平板间距离, 可以选取合适的  $\omega_m$  和  $\varphi_m$ , 从而使输出波形的光滑度变好。并且标准具要处于恒温条件下。

2. 从实验结果和理论分析可以看出, 幅度调制的泵浦光脉冲所产生的斯托克斯光脉冲也是幅度调制的, 且调制度显著增大, 它不利于获得短的斯托克斯光脉冲。

3. 从实验中还可看出前向斯托克斯光脉冲容易出现宽于泵浦光的脉冲, 并形成一个中间凹陷的马鞍形状。而后向斯托克斯光脉冲较易获得窄于泵浦脉冲的单一脉冲。

盛国平、谢梓铭和康玉英同志参加了部分实验工作, “六路激光装置运行组”在实验中给予支持与协助, 在此一并致谢。

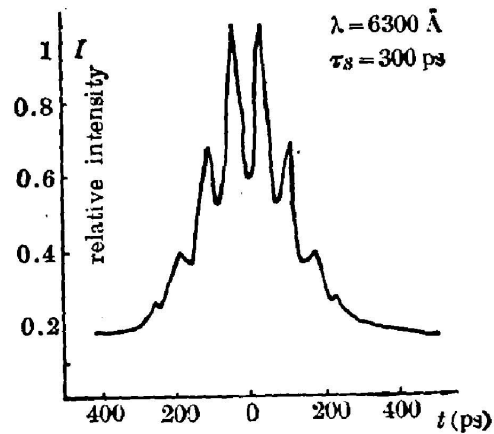


Fig. 5 Calculated pulse shape of the backward Stokes light

#### 参 考 文 献

- [1] С. А. Ахманов; ЖЭТФ, 1972, 62, No. 2 (фев), 525.
- [2] 徐至展等;《物理学报》, 1980, 29, No. 4 (Apr), 439.  
邓锡铭等;《光学学报》, 1981, 1, No. 4 (Jul), 289.
- [3] 孟绍贤等;《物理学报》, 1985, 35, No. 9 (Sep), 1220.
- [4] A. E. Siegman; *Opto-Electronics*, 1974, 6, No. 1 (Jan), 43.

### Temporal behavior of stimulated Raman scattering excited by amplitude modulating pump light

MENG SHAOXIAN, ZHANG WEIQING, LIN LIHUANG AND LIN ZUNQI  
(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

(Received 26 November 1985; revised 19 February 1986)

#### Abstract

We experimentally investigated the temporal behavior of the forward and backward Stokes pulses from the stimulated Raman scattering in ethanol pumped by subnanosecond 5321 Å pulse with amplitude modulation. It was found that both the forward and backward Stokes pulses have the same modulation period as that of the pump beam, but the modularity of the Stokes pulses is much larger. A theoretical explanation for the experimental results is presented.