

# 准稳态受激喇曼散射的时间特性

孟绍贤 张伟清 林礼煌 林尊琪 盛国平 谢梓铭 康玉英

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

1984年11月12日收到

## 提 要

用波长为 5321 埃、宽度为 200 微微秒光脉冲泵浦乙醇介质,同时获得了宽度为 14 微微秒的后向斯托克斯光脉冲和宽度为 26 微微秒的前向斯托克斯光脉冲。并进行了初步的理论分析。

## 一、引 言

受激喇曼散射是研究气体、液体和固体元激发的有效手段。散射辐射参数如频率位置、光谱线型、偏振度和散射效率可提供所研究材料的细致信息。因而,受激喇曼散射在物理学、化学、生物学等领域中获得广泛应用。微微秒激光泵浦不同喇曼介质可获得不同波长的相干光输出,这种新产生的相干光源在材料超快弛豫过程研究中是非常有用的。

在受激喇曼散射的理论和实验研究中,Ахманов<sup>[1,2]</sup> Bloembergen<sup>[3]</sup>, Kaiser<sup>[4]</sup>等人做了大量的工作。然而,在受激喇曼散射的时间特性研究上还很不够。因而,进行时间特性研究无论在理论上和实验上都是十分有意义的。

我们的实验是用六路激光装置上的一束进行的。用高速探测系统同时测量了前、后向斯托克斯和泵浦倒空光的时间特性,并进行了初步的理论分析。

## 二、实 验 描 述

有关泵浦激光装置已有描述<sup>[5]</sup>。喇曼散射部分的实验装置如图 1 所示。

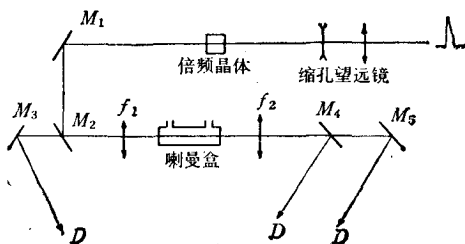


图 1 受激喇曼散射时间特性测量系统

从锁模 Nd:YAG 激光器输出的 1.064 微米锁模脉冲列中选出单一脉冲, 经过多级放大, 得到脉冲宽度为 200 微微秒, 能量为 1 焦耳的单一脉冲。然后经过 2:1 望远镜缩束后通过 KDP 晶体倍频为 5321 埃。  $M_1$  和  $M_2$  为 5321 埃全反射, 1.064 微米全透镜, 5321 埃绿光脉冲经透镜聚焦于装有乙醇的喇曼盒中, 喇曼盒长 20 厘米。后向斯托克斯光透过  $M_2$  镜, 由  $M_3$  镜全反射到探测器上。前向斯托克斯光和泵浦倒空光经透镜  $f_2$  准直, 分别用  $M_4$  和  $M_5$  镜全反射到探测器上。为避免探测系统饱和, 探测器前均加入衰减滤光片。

我们首先测量了泵浦光脉冲宽度和波形, 得到脉冲宽度为 200 微微秒, 波形为高斯型。然后将前向斯托克斯光、后向斯托克斯光和泵浦倒空光同时引入高速探测器中, 在泵浦光强较弱时, 只出现前向斯托克斯光, 而无后向斯托克斯光。在泵浦增强时, 则出现前向斯托克斯光和后向斯托克斯光, 其时间特性如图 2。前向斯托克斯光脉冲宽度为 26 微微秒, 后向斯托克斯光脉冲宽度为 14 微微秒。

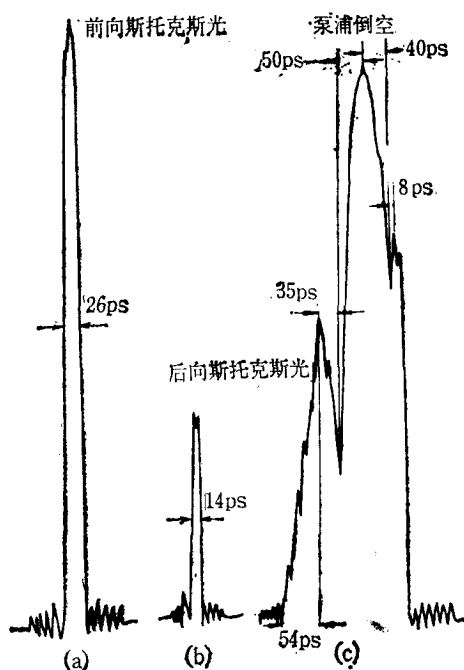


图 2 受激喇曼散射的时间特性

从泵浦倒空光时间特性可以分析, 在泵浦光达到一定阈值时, 首先产生前向斯托克斯光, 前向斯托克斯光的产生距泵浦光起点 54 微微秒左右。经过 35 微微秒左右由前向斯托克斯光造成的泵浦倒空最大。后向斯托克斯光在较高强度时产生, 而经过 40 微微秒左右对泵浦倒空最大, 这大约是后向斯托克斯光脉冲宽度的两倍。

在泵浦光强很大时, 后向斯托克斯光呈现饱和, 脉冲宽度接近于泵浦光脉冲宽度, 而前向斯托克斯光脉冲, 分别在泵浦光的前部和后部出现, 形成两个分立的前向斯托克斯光脉冲。

### 三、理论分析

以上实验对于分析受激喇曼散射过程的时间特性的细节是非常有意义的。由于我们采用的泵浦光脉冲为 200 微微秒左右。乙醇介质的  $2928 \text{ 厘米}^{-1}$  振动的能量弛豫时间  $T_1 = 20$  微微秒, 位相弛豫时间  $T_2 = 0.25$  微微秒。因而, 它属于准稳态受激喇曼散射过程。

由于泵浦脉冲为高斯型, 按照变换极限脉冲公式, 可确定泵浦光的光谱宽度为 0.1 埃。因此可采用准单色泵浦波近似, 此外, 泵浦光损耗可忽略, 且不考虑反斯托克斯光和高阶斯托克斯光。在此前提下求解麦克斯韦方程和分子振动方程, 可得到斯托克斯光强度<sup>[1]</sup>

$$I_s \sim \frac{e^{gI_L z}}{\sqrt{\pi g I_L z}}. \quad (1)$$

$g$  为增益因子,对乙醇介质  $g = 5.1 \times 10^9$  厘米/瓦.  $I_L$  为泵浦光强. 从(1)式可以看出,只有当泵浦光达到一定强度时,斯托克斯光才能达到仪器所能探测的灵敏度. 我们可求出产生前向和后向斯托克斯光所需泵浦强度比近似为

$$\frac{I_{T^{\text{前}}}}{I_{T^{\text{后}}}} = \frac{l^{\text{后}}}{l^{\text{前}}}. \quad (2)$$

前向和后向斯托克斯光阈值泵浦强度比与前向和后向斯托克斯光增益长度  $l^{\text{后}}$  和  $l^{\text{前}}$  有关.

对于前向斯托克斯光,考虑它和泵浦光的位相同步,最大同步距离

$$l_{\text{max}} = \frac{ct_p}{2(n_L - n_s)}. \quad (3)$$

这里  $n_L$  和  $n_s$  是介质对于泵浦波长和斯托克斯波长的群折射率.

在我们实验中  $t_p = 200$  微微秒,且乙醇色散较小,故(2)式中  $l^{\text{前}}$  不应取  $l_{\text{max}}$ ,而是取

前向斯托克斯光产生的位置到输出窗口的距离,为 10 厘米左右,即  $l^{\text{前}} \ll l_{\text{max}}$ .

而后向斯托克斯光达到最大强度的位置距产生后向斯托克斯光的地方为

$$l^{\text{后}} = \frac{ct_p}{2n_L}. \quad (4)$$

对于乙醇  $n_L = 1.37$ ,  $t_p = 200$  微微秒,所以  $l = 2$  厘米.

在我们的实验中  $l^{\text{前}} > l^{\text{后}}$ . 因此产生前向斯托克斯光所需泵浦光强远低于产生后向斯托克斯光所需泵浦光强. 故首先产生前向斯托克斯光,而在泵浦光强继续增加时,才出现后向斯托克斯光.

我们泵浦光为高斯型脉冲

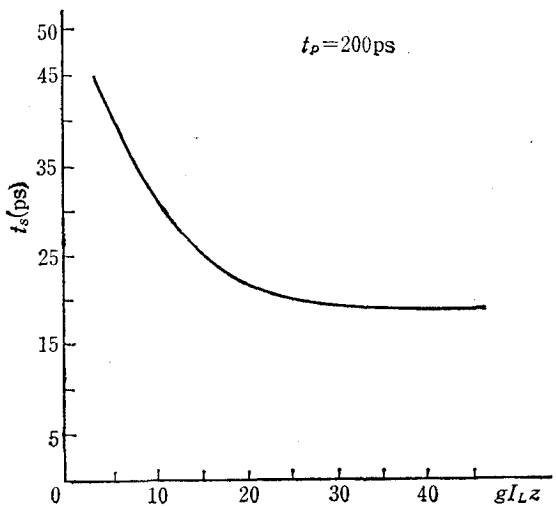


图3 斯托克斯光脉冲宽度  $t_s$  与  $gI_L z$  的关系

$$I_L = I_0 e^{-\left(\frac{t}{t_p}\right)^2 \ln 2}. \quad (5)$$

$t_p = 200$  微微秒,将(5)式代入(1)式,可求出产生斯托克斯光半强度点的脉冲宽度  $t_s$ . 由于得出的方程为

$$e^{-x^2} + Ax^2 = B \quad (6)$$

的形式,故只能求其数值解. 对  $t_p = 200$  微微秒,我们计算出斯托克斯光脉冲宽度  $t_s$  与  $gI_L z$  的关系如图 3.

从图 3 可以看出,在  $gI_L z = 25$  时,已达到最大的压缩,  $gI_L z$  继续增加,压缩就不明显了. 理论上确定的  $t_s$  为 19 微微秒,与我们实验值在仪器测量精度范围是一致的,此时  $I_L$  为  $10^9$  瓦/厘米<sup>2</sup>.

应该指出,对于不同泵浦脉冲宽度和  $gI_L z$  值,可获得不同的  $t_s$ . 最短的  $t_s$  在  $gI_L z \sim$

25 时达到。

在泵浦光非常强时,斯托克斯光将产生增益饱和,斯托克斯光脉冲将加宽,泵浦光将倒空,还会出现反斯托克斯光和高阶斯托克斯光以及其它非线性效应。这时,上述理论分析将不再成立。

实验中得到六路激光实验组大力帮助,在此表示感谢。

### 参 考 文 献

- [1] C. A. Axmanov, *ЖЭТФ*, **59** (2) (1970), 485.
- [2] C. A. Axmanov, *ЖЭТФ*, **62** (2) (1972), 525.
- [3] N. Bloembergen, *Am. J. Phys.*, **35** (1967), 989.
- [4] W. Kaiser, *Laser Handbook*, Vol. 2, (1972).
- [5] 孟绍贤等, *中国激光*, **10**(1983), 120.

## TEMPORAL BEHAVIOR OF QUASI-STATIONARY STIMULATED RAMAN SCATTERING

MENG SHAO-XIAN   ZHANG WEI-QING   LIN LI-HUANG   LIN ZUN-QING  
SHENG GUO-PING   XIE ZI-MING   KANG YU-YING

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

### ABSTRACT

The ethanol media is pumped by a 5321 Å single laser pulse of 200 ps duration. The backward Stokes pulse of 14 ps duration and the forward Stokes pulse of 26 ps duration are obtained simultaneously. Theoretical discussion is also given in this paper.