

26-29

第4卷第5期  
1996年10月光学 精密工程  
OPTICS AND PRECISION ENGINEERINGVol. 4, No. 5  
October, 1996

## 皮秒光泵氢喇曼散射激光的研究

曹念文 王佩琳

TN 241

(中国科学院安徽光学精密机械研究所, 合肥 230031)

**A** 摘要 用PS量级532 nm光泵浦高压H<sub>2</sub>,产生了1-3阶st光和1-3阶as光,用ps量级1064 nm光泵浦放有波导管的喇曼池,得到波长为9.18 μm的中红外喇曼光。研究能量转换效率与压力、波导管等其它因素的关系,以及泵浦能量阈值与压力的关系,实验结果与理论分析相符合。

关键词: 受激喇曼散射; 光波导

激光

## 1 引言

⑥ 近年来,受激喇曼(Raman)散射主要用途是进行频率转换和扩展。用高压氢作为工作物质,以染料激光器作为泵浦源,可以得到从真空紫外(0.18 μm)到近红外(2 μm)覆盖全光波段的连续可调的高峰值功率激光脉冲输出<sup>[1]</sup>。利用受激喇曼效应,也可以Nd:YAG激光器作泵浦源,将工作波段扩展到红外及真空紫外波段。在激光同位素分离、海洋光学、生物工程、光化学和非线性光学中得到广泛应用<sup>[2]</sup>。

本论文主要是研究以高压氢为工作物质,以皮秒量级0.53 μm或1.06 μm为波长的光作为泵浦源所产生的喇曼散光。在国内首次获得9.18 μm的皮秒光脉冲输出,是一项有新意义的工作。该波长的光在大气光学,分子结构探索,中红外光电探测器时间响应特性等方面的研究十分重要,有着广泛的应用前景。本论文还研究了喇曼散射光的输出特性,研究转换效率与压力、喇曼池长以及与泵浦能量的关系,研究泵浦能量阈值与压力的关系。研究怎样利用波导管来提高喇曼光的转换效率。

## 2 转换效率与压力、波导管的关系

能量转换效率是受激喇曼散射的一个重要参数,能量转换效率与压力有很大的关系,用波导管能提高能量转换效率。

## 2.1 相同压力下各阶喇曼散射光转换效率的相对大小的实验结果及分析。

实验装置如图1

收稿日期:1996年8月5日

泵浦激光是 Nd:YAG 锁模倍频输出光束, 波长为 531 nm, 脉冲宽度为 30 ps。先用 He-Ne 激光调整光路, 在喇曼管的输出端放一光屏能观察到同心圆环, 说明光路中各光学元件共轴。然后用 532 nm 的光泵浦喇曼池进行实验, 测量用的能量计是经过标定的 LPE-1A 型激光能量计, 转动固定在调节台上的 JGS1 色散棱镜, 可使待测的各阶喇曼光束依次通过小孔光阑 9, 准确地进入能量计 8, 实验中使用的 H<sub>2</sub> 纯度为数 99.99%, 整个实验是在 10 °C 条件下进行的。在泵浦激光能量为 12.97 mJ, 喇曼池中 H<sub>2</sub> 压力为 20 atm 条件下, 根据测量出来的 1-3 阶斯托克斯光和 1-3 阶反斯托克斯光的能量作出散射光输出能量随波长变化关系如图 2。

根据 H<sub>2</sub> 的色散特性越到短波方向色散越大,  $\Delta K \propto \Delta n$ , 这样相位失配越大, 故高阶 as 光不易出现。从图 2 可以看出在 20 个气压下, 1st 光的输出能量最高, 因而转换效率最大, 其次为 2st 光和 1as 光, 高级 st 光和高级 as 光转换效率很低, 这说明高阶 st 光和高阶 as 光是以低阶 st 光和 as 光为基础能过四波混频过程出现的, 这一结果与四波混频理论相符合。

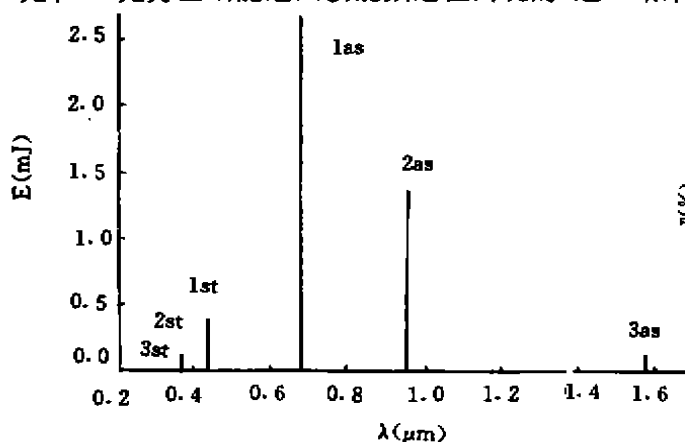


图 2 输出能量随波长变化关系

Fig. 2 Output energy and wavelength

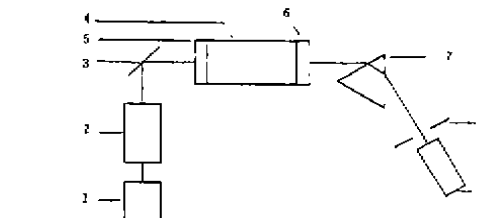


图 1 实验装置

Fig. 1 The experiment set

1-He-Ne 激光器 2-振一放 Nd:YAG 锁模倍频激光器 3-0.532 μm 全反镜 4-喇曼池 5-石英透镜(焦距为 250 cm) 6-BaF<sub>2</sub> 透镜(焦距为 250 cm) 7-JGS1 棱镜 8-LPE-1A 型能量计 9-带有小孔的光屏

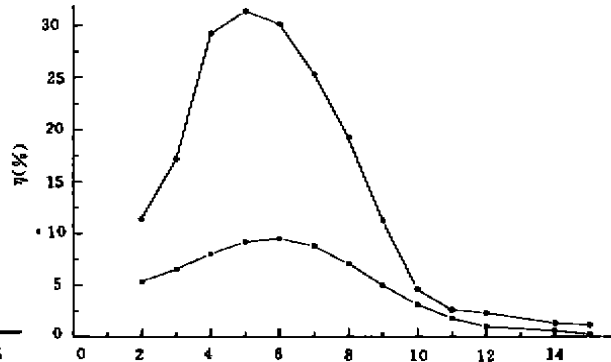


图 3 能量转换效率与压力的关系

Fig. 3 Energy conversion efficiency and pressure

## 2.2 能量转换效率与压力的关系

改变 H<sub>2</sub> 的压力, 可根据测量的数据作出 1st 和 1as 线的转换效率随压力变化的关系如图 3, 从图 3 可见, 各阶散射光的转换效率有个最大气压值, 这对选择各阶喇曼光输出的最佳气压具有重大意义。

## 2.3 转换效率与泵浦能量关系的实验及讨论

在氢气压力为 20 atm 时, 用孔径光阑改变入射的泵浦光能量, 根据测量的数值作出一阶斯托克斯光 s1 和一阶反斯托克斯光 as1 的输出能量与泵浦能量的关系如图 4。

从图 4 可见, 随着泵浦能量的增大受激光的一阶斯光 s1 输出并不单调增大, s1 的输出能

量随泵浦能量变化很小。而是呈现下降的趋势,而一阶反斯托克斯光  $a_{s1}$  输出呈现上升趋势,这是因为纯受激喇曼过程和四波参量过程同时存在,泵浦能量较高时,泵浦光,一阶斯托克斯光通过纯受激喇曼过程和混频过程向高阶斯托克斯光移去能量,此外通过混频过程把能量耦合到高阶反斯托克斯光上去。

### 2.4 用波导管提高喇曼光的转换效率,降低泵浦阈值能量的实验结果及讨论

由于阈值与入射波长的立方成反比,同时波长越长增益越小,故很难产生  $10 \mu\text{m}$  甚至大于  $10 \mu\text{m}$  的中红外或远红外波段的喇曼散射光。用  $1064 \text{ nm}$  光泵浦  $1 \text{ m}$  长的喇曼池,即使提高泵浦能量也观测不到喇曼光,而在  $48 \text{ cm}$  长的喇曼池中放一玻璃毛细波导管,则能观测到波长为  $9.18 \mu\text{m}$  的 2 st 喇曼散射光。泵浦光能量为  $30 \text{ mJ}$ ,以透镜聚焦后的束腰半径  $W_0$  为  $0.64 \text{ mm}$ ,波导管内径  $a$  为  $1 \text{ mm}$  ( $W_0 = 0.64a$ )。输出的喇曼光经过锗片后只有 2 st 光 ( $9.18 \mu\text{m}$ ) 能透过(其它波长光被吸收)用能量计其能量为  $19.1 \mu\text{J}$ ,考虑有  $40\%$  的能量损耗,则 2 st 光能量为  $32.1 \mu\text{J}$ ,能量转换效率为  $32.1 \mu\text{J}/30 \text{ mJ} = 0.1\%$ 。

根据光波导理论可知当聚焦后泵浦光的  $\text{TEM}_{00}$  模的束腰半径  $W_0$  与毛细管内径  $a$  的关系为:  $W_0 = 0.64a^{[3]}$  时入射光的  $\text{TEM}_{00}$  模能有效地耦合成波导管内能量传输损耗最低的  $\text{EH}_{11}$  模,从波导管另一端输出的光也能有效地耦合成  $\text{TEM}_{00}$  模。 $\text{TEM}_{11}$  和  $\text{TEM}_{00}$  模之间的能量耦合达到  $98\%$ 。在喇曼池中放入毛细波导管,能增大泵浦光相于作用区域,阻止喇曼光的散射损耗,能提高转换效率,降低阈值能量,实验结果和理论相符合。

## 3 泵浦阈值能量与压力的关系

泵浦阈值能量与压力有重要的关系,泵浦阈值能量随着压力的增大而减小,但渐渐趋向于一定值。

### 3.1 实验结果

改变  $\text{H}_2$  的压力,测量不同压力下泵浦光的阈值能量。

根据测量的数据作出泵浦阈值能量随气压变化的关系如图 5。

从图中可以看出在低压区随  $\text{H}_2$  气压的增高,阈值迅速下降,而在较高气压区,下降明显趋于缓和。

### 3.2 理论分析

由增益系数

$$G = \frac{\frac{d\sigma}{d\Omega} \cdot N \cdot C^2 [1 - e^{-(\nu_1 - \nu_2)/KT}]}{(3h\nu_3 n_i^2 \Delta\nu N)} \cdot I(I)$$

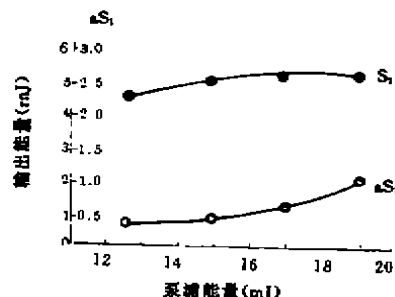


图 4 输出能量与泵浦能量关系  
Fig. 4 Output energy and pump energy

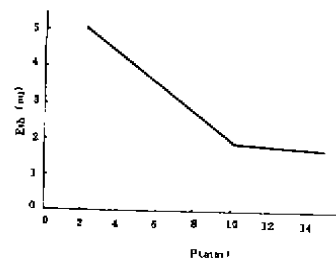


图 5 泵浦阈值能量随气压变化的关系  
Fig. 5 Threshold energy and pressure

和量子力学理论

$$g_{11} = -\frac{\beta}{\frac{n_{th}}{n_1} - 1} = -\frac{\beta}{\frac{E_{th}}{E_1} - 1}$$

可推出  $E_{th} = A + \frac{B}{P^2}$  D[4] 阈值为 H<sub>2</sub> 压力的负二次方的函数, A, B 为常数。这一理论与我们的实验相符合。

#### 4 结束语

通过实验研究表明,影响喇曼光转换效率除以上因素外,这与喇曼池长,氢气的纯度,泵浦光的光束质量及温度等因素有关。

一般情况下,在一定范围内,喇曼管越长,转换效率越高。氢气的纯度越高,转换效率越大。泵浦光的发散角越小,功率密度越高对喇曼光的输出越有益。可以用液氮降低氢气的温度来提高能量转换效率。

#### 参 考 文 献

- [1]李港等,高压氢受激喇曼散射中反斯托克斯散射的研究. 清华大学学报,1984,124(1):59  
 [2]郭亦理等,高压氢受激喇曼散射的阈值与能量转换效率. 物理学报,1985,34(1):24  
 [3]A. J. Berry, D. C. Hanna and D. B. Hern. Optics Communications 433, 230  
 [4]郭亦理等,高压氢受激喇曼散射的阈值与能量转换效率. 物理学报,1985,34(1):28

### Stimulated Raman Scattering in hydrogen pumped by ps Lasert

Cao Nianwen, Wang Peilin

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Hefei 230031)

#### Abstract

Stimulated Raman scattering in hydrogen pumped by ps laser ( $\lambda=532$  nm), 1st to 3th order Stokes lines and 1st to 3th anti-Stokes lines have been observed. When a Optical Waveguide was put in H<sub>2</sub>-cell pumped by ps laser ( $\lambda=1064$  nm) we observed 2st line ( $\lambda=9.18\mu\text{m}$ ). Main factors such as pressure, the energy of pump laser, Optical waveguide affecting the energy conversion efficiency are investigated. Pressure also affected H<sub>2</sub> Stimulated Raman Scattering threshold. The experimental results are well coincident with theory.

**Key words:** Stimulated Raman Scattering, Optical waveguide.

曹念文 男,出生于1967年4月,1996年在中国科学院安徽光学精密机械研究所攻读硕士学位,研究生期间主要从事固体激光器、喇曼散射激光研究工作。