

连续调谐波导型 H₂ 受激振动 喇曼散射的研究

周大正 周华木

(中国科学院大连化学物理研究所, 116023)

摘要: 设计和研制了一台石英毛细管波导型 H₂ 喇曼池, 用 450 nm 染料激光研究了 H₂ 的受激振动喇曼散射, 测定了一阶 Stokes 波输出能量与 H₂ 气压之间的依赖关系。最高能量转换效率为 20%。用 Oxazine-1 染料激光作泵浦源获得三阶 Stokes 信号, 得到的红外喇曼散射最长波长为 6.57 μm。

关键词: 波导型 H₂ 喇曼池, 连续调谐, 受激振动喇曼散射

Research on continuously tunable waveguide type stimulated vibrational Raman scattering in H₂

Zhou Dazheng, Zhou Huamu

(Dalian Institute of Chemical Physics, Academia Sinica, Dalian)

Abstract; A quartz capillary waveguide type H₂ Raman cell has been designed and investigated. Stimulated vibrational Raman scattering in H₂ was studied by a 450nm dye laser pumping source. The Stokes-1 wave output energy was measured as a function of H₂ pressure. The maximum energy conversion efficiency was 20%. The Stokes-3 pulse waveform was obtained by oxazine-1 dye laser pumping source and the maximum infrared Raman output wavelength up to 6.57 μm was obtained.

Key words: waveguide type H₂ Raman cell, continuously tunable, stimulated vibrational Raman scattering

一、前 言

利用 H₂ 受激喇曼散射技术既可把光谱范围扩大到紫外区又可延伸到近红外和中红外区, H₂ 气喇曼频移大 ($\Delta\nu = 4155.2 \text{ cm}^{-1}$), 跃迁的线宽窄, 是当前最实用的受激喇曼散射 (SRS) 介质。其缺点是激光泵浦阈值较高, 在典型情况下需 1 MW 以上, 如频移到红外区, 由于红外喇曼截面小, 所需的激光泵浦阈值更高 (需 10^7 W 以上), 要降低 SRS 激光泵浦阈值可采用多程喇曼池结构, 利用谐振腔多次再聚焦反射达到延伸泵浦作用区提高喇曼增益并提供

Stokes 波的反馈从而降低激光泵浦功率阈值, 但此法多点光束调试较困难, 喇曼池占地又长, 影响一定的使用。本文采用中空介质波导来引导泵浦激光和 Stokes 波辐射, 同样也能达到降低泵浦阈值的的目的^[1,2], 只要所选取的波导材料的折射率小于 2.02, 所产生的介质波导模是低损耗的 EH_{11} 模^[2], 便能与传输损耗极小的 TEM_{00} 模高效耦合^[3,4]。为了分子铀同位素研究工作的需要, 我们研制了中空介质波导型可连续调谐的 H_2 喇曼激光器, 重点考察其红移和红外频移性能。

二、实验装置

我们用 EMG100-201 型 XeCl 准分子激光束泵浦 FL2002E 型染料激光器中的香豆素-2 激光染料(中心波长为 450 nm)作为石英毛细管 H_2 波导喇曼激光器的泵浦源(图 1); 经调试, 该染料激光脉宽约 15 ns, 光束质量接近 TEM_{00} 模, 光束发散度 2 mrad(半角)。喇曼池为直径 100 mm, 长 1 m, 内充 H_2 气的不锈钢管。激光入射窗口用厚为 5 mm 的石英片, 出口端用厚为 5 mm 的 CaF_2 片, 把经严格挑选过的平直石英毛细管定位在喇曼池光轴中心, 毛细管内径 0.72 mm, 长度 750 mm。本试验所用石英毛细管事先用 632.8 nm He-Ne 激光检测, 透过率为 90% 以上。用光阑和石英聚焦透镜把泵浦激光光斑尺寸 W_0 与毛细管内径($2a$)相匹配, 使之满足波导传输条件: $3W_0 = 2a$ 。如果泵浦光质量达到单横模, 加上毛细管波导理想的话, 此时输入的泵浦激光束应与波导的 EH_{11} 模高效耦合(理论上可高达 98%)^[3]。从喇曼池输出的光束经棱镜单色仪分光以观察 Stokes 波、泵浦光和 Anti-Stokes 波, 如要测试能量, 可在输出光路上用不同波段前截止片和功率计检测。

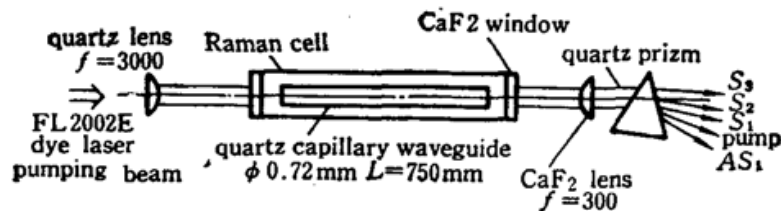


Fig. 1 Schematic view of waveguide-type Raman cell

三、实验结果与讨论

我们用重复率为 5 pps、30 mJ、448 nm 的染料激光对 4 kg/cm^2 H_2 气泵浦时, 从棱镜单色仪出口处清楚地观察到顺序为紫色、蓝色、淡黄色和深红色激光, 它们分别为 AS_1 (377 nm)、残余泵浦光(448 nm)、S-1 波(550 nm)和 S-2 波(714 nm), 见图 2。当 H_2 气压提高到 6 kg/cm^2 以上时在棱镜单色仪出口处右边放上硅光电二极管, 在记忆示波器上能见到 $1.01 \mu\text{m}$ 红外(S_3)波形(图 3)。我们用不同波段高通滤光片和功率计, 测定了泵浦能量固定条件下 H_2 气压与一阶 Stokes(S_1)波和残余泵浦能量的关系(图 4); 发现一阶 Stokes 波的压力阈值为 1 atm, 在 10 kg/cm^2 H_2 气压范围内, 一阶 Stokes 波能量起初随 H_2 气压提高急剧上升, 到 $3 \sim 3.5 \text{ kg/cm}^2$ 时达到峰值(6 mJ), 然后随 H_2 气压提高, 激光输出能量下降, 最后趋于平衡(约 3 mJ 左右)。出现这种现象是由于当 H_2 气压在 3.5 kg/cm^2 以上时, 一阶 Anti-Stokes 波、二

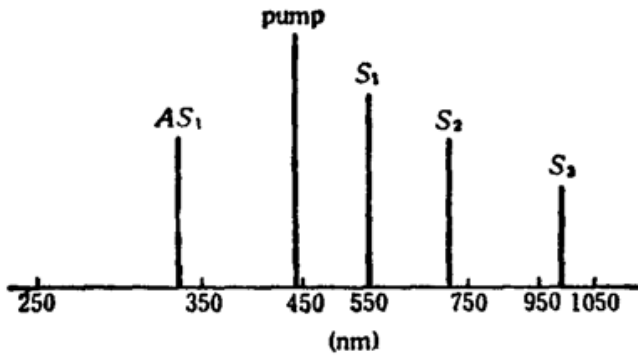


Fig. 2 The observed Stokes and Anti-Stokes lines

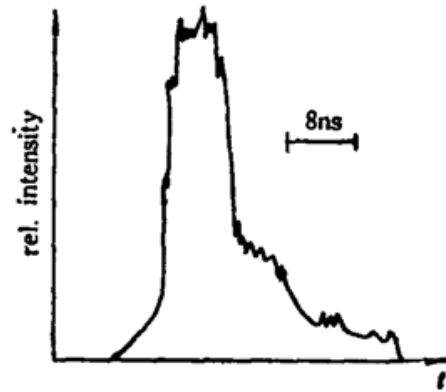


Fig. 3 The measured third Stokes pulse shape

阶 Stokes 波相继出现, 抑制了一阶 Stokes 波输出。这一点用红色玻璃放在喇曼池输出口, 阻挡住一阶 Stokes 黄光, 能见到二阶 Stokes 波的红光得以证明。从图 4 还可见到, 随 Stokes 波的出现, 喇曼池输出处泵浦光残余成分在逐步下降, 最后在 3.5 mJ 处趋于平衡。泵浦激光的耗空水平可标志喇曼激光器能量转换效率的高低。当 H_2 气压力为 3~3.5 kg/cm² 时, 一阶 Stokes 波转换效率最高, 为何在此压力范围内, 残余泵浦光并非最低, 说明气压进一步提高时, 其它高阶 Stokes 波(或反 Stokes 波)也在继续消耗泵浦激光能量。在 H_2 气压为 4 kg/cm² 下, 我们还测定了 450 nm 激光泵浦下一阶 Stokes 波产生的能量阈值为 3 mJ(图 5)。由于我们所使用的染料激光脉宽为 15 ns, 则其喇曼转换功率阈值为 2×10^5 W, 这比经典情况下, H_2 的 SRS 功率阈值约低一个数量级, 说明了我们设计的毛细管波导喇曼池提高了泵浦激光在 H_2 中的增益程, 起到了降低泵浦阈值的效果。当输入的泵浦激光能量为 31.6 mJ 时, 获得的一阶 Stokes 波能量为 6 mJ, 转换效率为 19.4%。当用可调谐 450 nm 染料激光泵浦喇曼激光器, 调谐范围在 1000 cm⁻¹ 以上。实验表明, 要设计高效 H_2 波导振动喇曼转换激光器要满足以下几个条件, (1) 要严格控制泵浦激光为 TEM₀₀ 模输出; (2) 一定要选择内表面平滑无任何

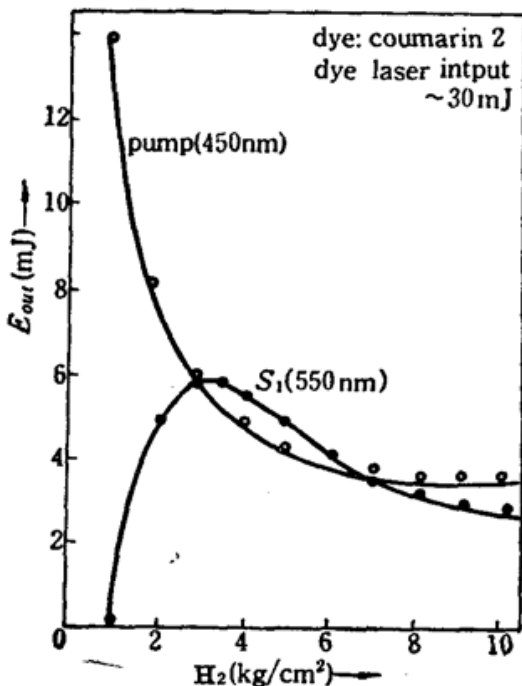


Fig. 4 Pressure dependence of S-1 and residual pumping energy

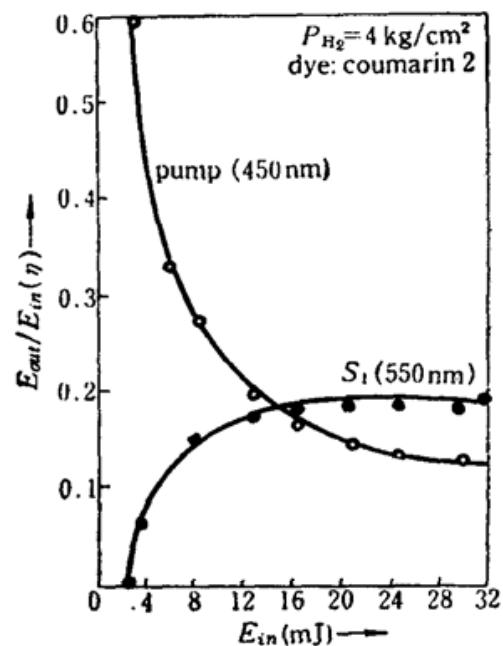


Fig. 5 Input pumping energy dependence of conversion efficiency S-1 and residual pumping energy in H_2

污垢的中空介质波导管(控制介质折射率 $n < 2.02$); (3) 波导管内径尺寸 ($2a$) 要满足泵浦激光束直径 (W_0), 满足波导传输条件 $3W_0 = 2a$; (4) 要对喇曼池 H_2 气压作优化试验, 最佳 H_2 气压随各阶 Stokes 波输出而异; (5) 在最佳 H_2 气压下再提高泵浦激光强度有利于高阶 Stokes 波输出, 这是因为喇曼增益与泵浦激光强度成正比:

$$g_s \propto \frac{\nu_s \cdot |X|^2 I_p \cdot N}{\Gamma} \quad (1)$$

式中 ν_s ——Stokes 波频率; $|X|$ ——分子极化率的绝对值; I_p ——泵浦激光强度; N ——分子数密度; Γ ——自发喇曼散射线宽。根据此情况分析, 我们按上述设计思想研制的波导 H_2 喇曼池是有可能产生较长波长的红外喇曼激光。当我们用 Oxazine-1 激光染料作同样试验时, 把泵浦激光(染料激光)调谐在 715 nm 而 H_2 气压为 15 kg/cm² 时, 输入的泵浦激光能量在 16 mJ 以上, 在石英毛细管波导喇曼池出口, 用液 N_2 冷却的低温碲镉汞红外检测器接收, 在记忆示波器上能见到长达 6.57 μm 红外三阶 Stokes 波信号。试验表明, 高阶 Stokes 波信号出现的 H_2 气压力阈值比最大能量输出条件下的一阶 Stokes 波高。因此, 利用此规律可抑制或控制某阶 Stokes 波输出。

参 考 文 献

- 1 E. J. Woodbury, W. K. Ng, *Proc. IRE*, **50**, 2367(1962)
- 2 R. Frey, F. Pradere, *Opt. Commun.*, **12**, 98(1974)
- 3 T. R. Loree, G. D. Cantrell, D. L. Barkar, *Opt. Commun.*, **17**, 160(1976)
- 4 N. V. Kravston, N. I. Naumkin, *Sov. J. Quant. Electr.*, **6**, 1438(1976)
- 5 W. R. Trutna, R. L. Byer, *Appl. Opt.*, **19**, 3d(1980)
- 6 E. A. J. Marcatili, R. A. Schmeltzer, *Bell System. Tech. J.*, **43**, 1783(1964)
- 7 P. W. Smith, *Appl. Phys. Lett.*, **19**, 132(1971)
- 8 R. L. Abrams, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-8**, 838(1972)
- 9 P. Rabinowitz, A. Kaldor *et al.*, *Appl. Opt.*, **15**, 2005(1976)

'91 国际激光和激光应用讨论会即将召开

由联合国原子能机构、教科文组织所属国际理论物理中心(ICTP)、中国科学院、国家自然科学基金委员会、中国光学学会支持, 中国科学院上海光机所主办的“'91 国际激光和激光应用讨论会”定于 1991 年 11 月 4~16 日在上海华夏宾馆举行。中心议题是: 激光物理的基本理论、激光技术、非线性光学、激光光谱、量子光学、激光化学、激光生物和激光医学应用、激光工业应用和其它有关激光研究。讨论会期间同时举办激光产品展示会, 欢迎广大从事激光和激光应用的理论和实验工作者及企业家参加。联系人: 上海 800-211 信箱计划处程逸殿(邮编: 201800)。