

调 Q 倍频 Nd:YAG 激光泵浦氧气和氧-氦混合气体的受激拉曼散射*

郑 义 姚建铨 朱少明 周定文

李 艺

(天津大学精仪系, 天津 300072) (曲阜师范大学物理系, 曲阜 273165)

摘 要 报道了调 Q 倍频 Nd:YAG 激光泵浦的高压工业用氧气和氧-氦混合气体的受激拉曼散射特性, 研究了一阶、二阶斯托克斯(Stokes)光的能量转换效率与泵浦光的能量及气压的关系, 并探讨了如何抑制氧气的二阶斯托克斯的产生等问题。

关键词 调 Q 倍频 Nd:YAG 激光, 氧气, 氧-氦混合气体, 受激拉曼散射。

1 引 言

高压气体的受激拉曼散射已被广泛地用于产生强相干光源以及用于简化非线性光学的诊断等, 但是由于氧的自发拉曼散射截面小, 故氧气的受激拉曼散射研究得较少。Lempert^[1] 等人 1990 年发表了用调 Q Nd:YAG 泵浦的氧气(浓度为 99.99%)的受激拉曼散射, 研究了一阶斯托克斯光的阈值以及能量转换效率与气压的关系, 能量转换效率与泵浦能量的关系, 获得 6% 的一阶斯托克斯光的能量转换效率等。然后用工业用氧气除了进行上述研究之外, 还研究了氧气的二阶受激拉曼散射, 受激拉曼散射与介质作用长度的关系。并且通过研究氧-氦混合气体的受激拉曼散射, 探讨了如何抑制氧气的二阶斯托克斯光的问题, 目的是以一阶斯托克斯光代替染料激光, 与倍频 Nd:YAG 激光一起使空气流中的氧分子产生受激拉曼激发, 作为超音速空气流运动的标记^[2, 3], 从而减少测试设备操作的复杂性和降低设备成本。

2 实验装置

实验装置由图 1 给出, 倍频 Nd:YAG 激光器的型号为 Quanta-Ray DCR-2A, 激光脉宽 10 ns, 重复频率 10 Hz, 拉曼池是一个可充高压气体的不锈钢管, 两端装有石英窗口, 聚焦透镜焦距为 1.527 m, 输出的拉曼光经过色散棱镜由美国产

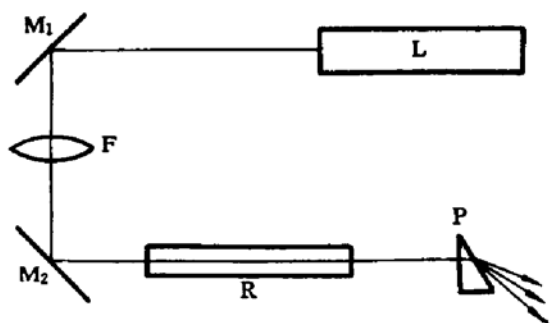


Fig. 1 Experimental setup of stimulated Raman scattering in oxygen or oxygen-helium gas
L: Q-switch frequency doubled Nd:YAG laser, M₁, M₂: mirror, R: Raman cell, P: prism, F: focus lens

* 国家自然科学基金资助课题。

收稿日期: 1994 年 9 月 15 日; 收到修改稿日期: 1994 年 11 月 21 日

的 RJ-7200 型能量计(精度为 10^{-12} J)测量各阶斯托克斯光的能量,用单色仪测出拉曼光谱。

3 实验条件及结果

分别向 1 m 和 2 m 长的拉曼池中充入工业用氧或氧-氮混合气体,分别改变泵浦光的能量和池内气压,可以观察到受激拉曼散射的变化。

3.1 氧气的受激拉曼散射

3.1.1 能量转换效率

当氧气压强一定时,逐渐增加泵浦光强度,随着泵浦光强度的增加,各阶斯托克斯光逐渐产生,用 RJ-7200 型能量计测量其能量。图 2 是典型的一阶斯托克斯光的能量转换效率与泵浦能量的关系图(氧气的气压为 3.0 MPa)。对于 2 m 长的拉曼池,氧气压强为 3.0 MPa 时,二阶斯托克斯光的泵浦阈值为 36.612 mJ,对于 1 m 长的拉曼池氧气压强为 3.0 MPa 时,二阶斯托克斯光的泵浦阈值为 74.520 mJ,在 85.860 mJ 泵浦光作用下,二阶斯托克斯光的能量为 0.510 mJ,能量转换效率为 0.594%。

实验发现当出现二阶斯托克斯光时,泵浦光带来的热效应相当明显,以至于各阶斯托克斯光能量起伏较大,光束质量变差。

实验还发现一阶斯托克斯光的能量转换效率达到 6% 时,没有出现饱和现象,这与 Lempert^[1] 等人的报道不同。但由于所用 Nd:YAG 激光器的限制(使用多年,能量已下降许多),更高泵浦能量下的受激拉曼散射实验未能做。

3.1.2 能量转换效率与氧气压强的关系

当泵浦光能量一定时,随着拉曼池中氧气气压的降低,拉曼光的阶次逐渐减少,强度变弱,直到受激拉曼散射消失为止。图 3 是 97.848 mJ 的泵光泵浦 2 m 的拉曼池产生的一阶斯托克斯光的能量转换效率与气压的关系图。

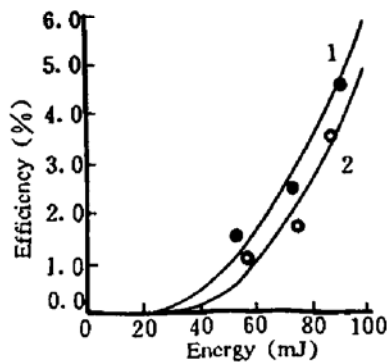


Fig. 2 First-order Stokes' energy converting efficiency versus pump energy in oxygen gas at 3.0 MPa pressure. Curve 1 and 2 correspond to 2 m- and 1 m-long cell, respectively

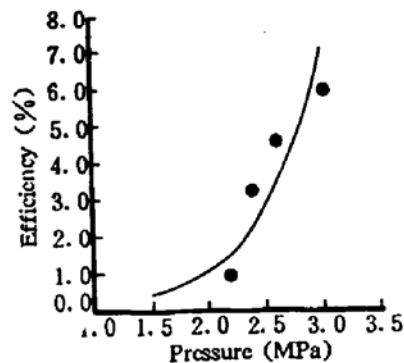


Fig. 3 First-order Stokes' energy converting efficiency versus gas pressure in oxygen

3.1.3 拉曼光的波长、线宽等

实验中用光栅单色仪测拉曼光的波长、线宽以及压力引起的频移等。一阶斯托克斯光的波长约为 580.10 nm,二阶斯托克斯光的波长约为 637.90 nm。对于线宽 0.028 nm 的泵浦光,斯托克斯光的线宽较大,约为 0.3 nm。在 1.0~3.0 MPa 的气压范围内,改变气压,精度为 0.05 nm 的单色仪不能测出压力频移。

3.2 氧-氦混合气体的受激拉曼散射

3.2.1 拉曼光的能量转换效率

向 2 m 长的拉曼池充入不同混合浓度的氧气和氦气的混合气体, 改变泵浦光的能量, 可以观察到受激拉曼散射的变化。图 4 曲线 1 和 2 分别是混合气压比为 $O_2:He=2.5:(3.4 \sim 2.5)$ MPa 和 $O_2:He=2.0:(3.0 \sim 2.0)$ MPa 的氧-氦混合气体的一阶斯托克斯光的能量转换效率和泵浦光能量的关系曲线。当氧气与氦气的气压比为 2.5 MPa:(3.4~2.5) MPa 时, 二阶斯托克斯光的泵浦阈值约 72.576 mJ, 泵浦光的能量为 87.480 mJ 时, 二阶斯托克斯的能量为 0.008 mJ, 转换效率为 0.009%。氧气和氦气的气压比为 2.0 MPa:(3.0~2.0) MPa 时, 二阶斯托克斯光泵浦阈值为 85.860 mJ, 当泵浦光的能量为 87.480 mJ 时, 二阶斯托克斯的能量为 0.0007 mJ, 能量转换效率约为 0.0007%。由图 4 可以看出, 通过选择合适的混合比例, 尽管一阶斯托克斯光的阈值提高, 但是只要泵浦光的能量超过阈值, 其转换效率曲线的斜率较大, 而二阶斯托克斯光的阈值很高, 故可以通过此途径抑制二阶斯托克斯光的产生。

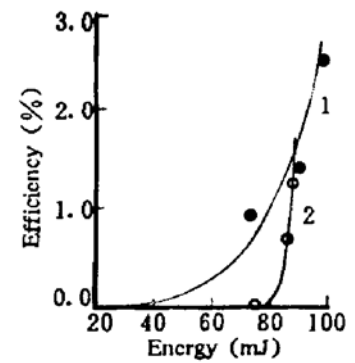


Fig. 4 First-order Stokes' energy converting efficiency versus pump energy in oxygen-helium mixing gas
Curve 1 and 2 correspond to $O_2:He=2.5:(3.0 \sim 2.0)$ MPa and $O_2:He=2.0:(3.0 \sim 2.0)$ MPa, respectively

与氧气的拉曼光的能量转换效率相比较, 氧-氦混合体的拉曼光的能量转换效率降低, 通过比较不同混合浓度的混合气体的拉曼光的能量转换效率和分析其拉曼光的波长、线宽, 作者认为转换效率降低主要是混合气体中单位体积的氧分子数减少所引起的。

3.2.2 氧-氦混合气体的拉曼光的波长

在总气压小于 3.4 MPa 的范围内, 不同混合浓度的氧-氦混合气体的一阶斯托克斯光的波长约为 580.00 nm, 二阶斯托克斯光的波长约为 637.80 nm, 线宽约为 0.3 nm。

与氧气的拉曼光的波长比较, 氧-氦混合气体的拉曼光发生了频移, 这是氧、氦分子间范德瓦尔斯力的作用而产生了感应偶极矩^[4, 5], 从而改变了氧分子振转态间的选择跃迁的结果。这种频移与气压的关系相当复杂。在总气压小于 3.4 MPa 的范围内, 氧-氦混合气体的拉曼光的波长紫移恰好是作者所期望的, 它可以克服压力增大所引起的一阶斯托克斯光的波长红移^[6], 从而提高超音速风洞中氧分子的受激拉曼激发的效率^[3]。

韩汝聪副教授、刘宏伟博士参加了实验的前期准备工作, 清华大学的姜采云副教授制作了拉曼池, 在此表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] W. R. Lempert, B. Zhang, R. B. Miles, Stimulated Raman scattering and coherent anti-Stokes Raman spectroscopy. *Opt. Soc. Am. B.*, 1990, 7(5): 715~721
- [2] R. Miles, C. Cohen, J. Connors *et al.*, Velocity measurements by vibrational tagging and fluorescent probing of oxygen. *Opt. Lett.*, 1987, 12(11): 861~863
- [3] 郑 义, 基于序列脉冲- O_2 拉曼激发激光感应电子荧光(YRELIEF)法用于风洞流场测量的研究. 博士论

文, 天津, 天津大学精仪系, 1993

- [4] A. D. May, V. Degen, J. C. Stryland *et al.*, The Raman effect in gaseous hydrogen at high pressures. *Canad. J. Phys.*, 1961, **39**(6): 1769~1783
- [5] Alan M. Dunker, Roy G. Gordon, Bound atom-diatom molecule complexes. Anisotropic intermolecular potentials of the hydrogen-rare gas systems. *J. Chem. Phys.*, 1978, **68**(2): 700~724
- [6] B. R. Lewis, L. Berzins, C. J. Dedman *et al.*, Pressure-broadening in the Schumann-Runge bands of molecular oxygen. *J. Quant. Spectrosc. & Radiat. Transfer*, 1988, **39**(4): 271~282

Stimulated Raman Scattering in Oxygen or Oxygen-Helium Mixing Gas Pumped by a Q-Switch Frequency Doubled Nd:YAG Laser

Zheng Yi Yao Jianquan Zhu Shaoming Zhou Dingwei

(Department of Precision Instrument Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072)

Li Yi

(Department of Physics, Qufu Normal University, Qufu 273165)

(Received 15 September 1994; revised 21 November 1994)

Abstract This paper presents the stimulated Raman scattering in high pressure industrial oxygen or oxygen-helium mixing gas pumped by a Q-switch frequency doubled Nd:YAG laser. The relationship between Stokes energy converting efficiency and the pump energy, and gas pressure has been investigated. It is also discussed how to restrain second-order Stokes, et al.

Key words Q-switch frequency doubled Nd:YAG laser, oxygen gas, oxygen-helium mixing gas, stimulated Raman scattering.