

文章编号: 0258-7025(2004)08-0903-04

固体谐波多波长拉曼激光器

叶震寰¹, 楼祺洪¹, 董景星¹, 朱晓峥^{1,2}, 魏运荣¹, 凌磊¹

(¹ 中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800; ² 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要 研究了多谐波固体激光器在气体中的受激拉曼散射, 获得了多波长激光输出。利用 Nd:YAG 激光的二倍频、三倍频及四倍频的激光输出在氢气和甲烷气体中的受激拉曼特性获得多个波长的拉曼输出, 波长范围覆盖紫外到可见光甚至近红外。列出了常用的几种拉曼工作气体, 其中氢气和甲烷各有优缺点, 而两者的混合气体一方面弥补了氢气频移过大的缺点, 另一方面抑制了甲烷的易分解性。利用缓冲气体和混合气体优化拉曼激光的输出。给出了 24 个拉曼波长的功率输出数据, 其中功率较大的有 13 个波长。多谐波固体激光与受激拉曼散射结合的多波长拉曼激光器在激光雷达等领域有广泛的应用。

关键词 非线性光学; 拉曼激光器; 受激拉曼散射; 固体谐波

中图分类号 TN 248; O 437 **文献标识码** A

Harmonic Solid Laser Pumped Multi-Wavelength Raman Lasers

YE Zhen-huan^{1,2}, LOU Qi-hong¹, DONG Jing-xing¹,

ZHU Xiao-zheng^{1,2}, WEI Yun-rong¹, LING Lei¹

(¹ Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)
(² Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract In this paper, a combinative technology of harmonic solid-state laser and stimulated Raman scattering (SRS) has been investigated to obtain multi-wavelength laser output with definite power. Multi-order harmonics of a Nd:YAG laser, second harmonic (SH), third harmonic (TH) and fourth harmonic (FH) have been employed to generate multiple Raman lines by pumping the gases of hydrogen, methane, etc. The output Raman lines cover waveband from ultraviolet to near infrared. The characteristics of frequently used Raman gases, methane and hydrogen have been discussed, both have advantages and disadvantages. The mixture gas of these two gases makes up the overlapped frequency shift of hydrogen on the one hand, and restrains the decomposition of methane on the other hand. The rare buffer gases and the mixture gas have also been employed to optimize the Raman output. The table of 24 Raman lines is listed in this paper, including 13 lines of rather strong power. Multi-wavelength Raman lasers integrating the technologies of SRS and harmonic solid-state lasers could be applied in lidar and other application field.

Key words nonlinear optics; Raman laser; stimulated Raman scattering (SRS); solid laser harmonics

1 引言

空间、大气、环境、气象等学科越来越多地应用到基于激光技术的激光雷达技术, 并发展了像差分吸收以及双差分吸收等测试手段^[1~7]。一方面提高

了测量精度, 另一方面也对激光的波长有了更多的要求。利用可调谐激光以及谐波技术可以获得所需的多种波长, 但是价格昂贵且调节复杂。利用拉曼频移技术结合固体激光谐波技术同样可以得到多种激光波长的输出^[1,2,4], 而且方便价廉。

收稿日期: 2003-04-21; **收到修改稿日期:** 2003-06-18

基金项目: 国家 863-804-6 计划 (No. 2002AA846020) 和上海市科技发展基金 (No. 021111000) 资助项目。

作者简介: 叶震寰 (1968—), 男, 中国科学院上海光学精密机械研究所先进激光技术研究室博士研究生, 主要从事紫外激光的受激拉曼散射以及激光消融的研究。E-mail: ye_zhenhuan@hotmail.com

本文将利用 Nd:YAG 激光的倍频、三倍频及四倍频的激光输出在氢气和甲烷气体中的受激拉曼特性获得多个波长的输出。波长范围覆盖紫外到可见光甚至近红外。利用缓冲气体和混合气体^[8]优化拉曼激光的输出。

2 实验装置

图 1 为进行受激拉曼散射研究的实验装置。抽运源固体谐波激光器采用英国 Spectron Laser Systems 公司的 SL454G Nd:YAG 激光器,谐波输出有二倍频、三倍频和四倍频,标准输出能量分别为 200 mJ,70 mJ 和 35 mJ。激光脉冲重复频率为 30 Hz,脉宽 8 ns。激光输出经过石英分束镜反射一部分用作能量监测,透过部分通过透镜 L_1 (焦距 50 cm)聚焦后进入拉曼池,并在拉曼池的出射窗口后用具有相同焦距的透镜 L_2 准直, L_1 和 L_2 为共焦系统。拉曼池为长 85 cm 的不锈钢管,入射窗和出射窗均是没有镀膜的石英平板,并与光轴的垂直面成 $5^\circ \sim 10^\circ$ 的夹角,抽运光焦点位于拉曼池中心位置。

抽运光经准直输出以后由棱镜组将不同阶次的 Stokes 光分开。

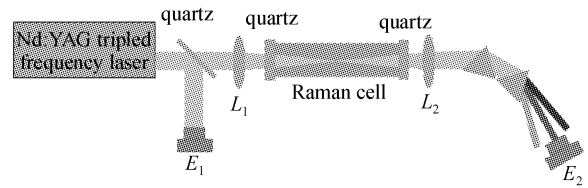


图 1 受激拉曼散射实验装置

Fig. 1 Experimental setup of the SRS experiment

3 工作气体

拉曼工作气体有很多种,氢气(H_2)、氘气(D_2)和甲烷气体(CH_4)是最常见的选择。在所有的参数中,最重要的是工作气体的拉曼频移以及拉曼增益。表 1 列出了各种气体的拉曼频移以及计算拉曼增益系数所需的相关参数,并给出了在 2 MPa 气压和 $25^\circ C$ 下的稳态增益系数。图 2 所示为各种气体的稳态增益系数与气体压力的关系曲线。

表 1 各种气体的拉曼频移及 295 K 条件下计算拉曼增益系数的相关参数

Table 1 Raman shift and parameters used in calculating Raman gain at 295 K for H_2 , D_2 and CH_4 , the Raman gain presented is a calculation at pressure of 2 MPa

Gas	Raman shift / cm^{-1}	ΔN / cm^{-3}	$\Delta\nu / (10^{-3} cm^{-1})$ p / atm	$d\sigma/d\Omega$ / $(10^{-30} cm^2 / sr)$	g_R / (cm/GW)
$H_2 Q(1)$	4155	$0.66 N_{tot}$	$11.2/p + 1.58p$	0.79	2.72
$D_2 Q(2)$	2987	$0.38 N_{tot}$	$3.67/p + 3.58p$	0.80	0.56
$CH_4 Q$	2917	N_{tot}	$320 + 12p$	2.70	0.63

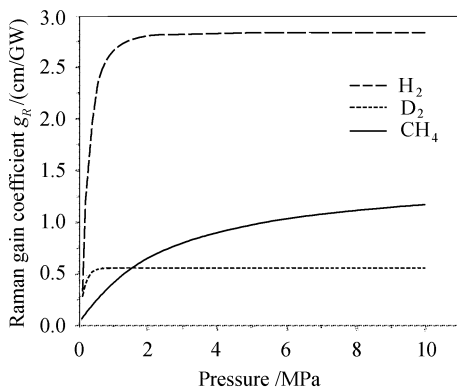
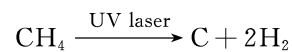


图 2 稳态增益系数与气体压力的理论关系曲线

Fig. 2 Calculated Raman gain coefficient as a function of gas pressure

氢气具有增益系数大、干净、价廉的特点,因此

是理想的工作气体,但其频移较大。氘气则具有较小的拉曼频移,但增益系数较小且价格较昂贵。而甲烷气体则具有较理想的增益系数、频移以及廉价的特点。但是到目前为止甲烷的应用还是有限的,这是因为在高功率紫外激光作用下,甲烷会被分解反应并在拉曼窗口产生沉淀污染。不过在加进氢气成为混合气体以后情况就大为好转,这是因为氢气的增加使甲烷分解的化学平衡式逆向增强抑制了分解过程



4 拉曼谱线

如表 2 所示,谐波激光与多种拉曼气体的组合可以提供相当丰富的拉曼激光谱线的输出,根据波

表 2 固体谐波激光抽运多种拉曼气体的拉曼激光谱线及其获得的实验输出功率

Table 2 Multiple Raman lines and their experimental output power generated by multi-order harmonics of a Nd:YAG laser pumped in different Raman gases

No.	Line identity	Pump/Gas/Stokes	Raman shift /cm ⁻¹	Wavelength /nm	Output power /mW
1	2H1a	266 nm/H ₂ /AS1	4155	239.5	24
2	3H2a	355 nm/H ₂ /AS2	4155	274.1	40
3	3C2a	355 nm/CH ₄ /AS2	2917	294.1	10
4	2H1	266 nm/H ₂ /S1	4155	299.1	90
5	3H1a	355 nm/H ₂ /AS1	4155	309.4	90
6	3C1a	355 nm/CH ₄ /AS1	2917	321.7	22
7	2H2	266 nm/H ₂ /S2	4155	341.5	180
8	5H2a	532 nm/H ₂ /AS2	4155	368.9	14
9	3C1	355 nm/CH ₄ /S1	2917	396.0	240
10	2H3	266 nm/H ₂ /S3	4155	397.9	84
11	5C2a	532 nm/CH ₄ /AS2	2917	406.0	10
12	3H1	355 nm/H ₂ /S1	4155	416.4	860
13	5H1a	532 nm/H ₂ /AS1	4155	435.7	25
14	3C2	355 nm/CH ₄ /S2	2917	447.7	240
15	5C1a	532 nm/CH ₄ /AS1	2917	460.5	34
16	3H2	355 nm/H ₂ /S2	4155	503.5	440
17	3C3	355 nm/CH ₄ /S3	2917	515.0	120
18	3C4	355 nm/CH ₄ /S4	2917	606.0	15
19	5C1	532 nm/CH ₄ /S1	2917	629.7	350
20	3H3	355 nm/H ₂ /S3	4155	636.8	300
21	5H1	532 nm/H ₂ /S1	4155	683.0	340
22	5C2	532 nm/CH ₄ /S2	2917	771.4	80
23	5H2	532 nm/H ₂ /S2	4155	953.6	200
24	5H3	532 nm/H ₂ /S3	4155	1579.3	50

长从紫外到可见再到红外的顺序进行排列。谱线标识的含义中第一个数字代表抽运波长,第二个字母代表工作气体,后面的数字代表斯托克斯谱线的阶次,最后的字母 a 代表反斯托克斯。

考虑到安全性和实用性,没有进行超高压的实验,气体压力不超过 1.3 MPa。实验中分别用四倍频、三倍频和二倍频在氢气和甲烷气体中进行了受激拉曼散射的特性实验,这里仅将具有一定输出功率的 24 条拉曼谱线进行测量汇总(表 2),其中 13 条谱线具有较大的输出功率。事实上还有很多谱线由于输出功率较小,没有一一列出。另外在氢气甲烷混合气体中由于四波混频的作用还有非常丰富的谱线,由于实验条件的限制没有全部测量,将在改进后的条件下进行更全面的测量。

以上的谱线加上谐波激光器本身就具有的四个波长输出,可以获得从紫外(如 239.5 nm)到近红外(如 1579.3 nm)的数十个波长的输出。为了对输出波长进行优化选择,除了通过不同气压条件获得优

化输出,还采取加入缓冲气体以及采用氢气甲烷混合气体等办法来获得优化输出。实际使用中可根据具体要求和条件对波长拉曼激光器进行布局上的优化设计。

5 结 论

利用 Nd:YAG 激光的多谐波波长输出在氢气、甲烷气体中的受激拉曼散射特性,获得数十个波长的具有一定能量的激光输出。讨论了不同常见工作气体及混合气体的特点。多谐波固体激光与受激拉曼散射结合获得从紫外到可见光范围的多波长输出在激光雷达等领域有广泛的应用。

参 考 文 献

- 1 V. Simeonov, V. Mitev, H. van den Bergh *et al.*. Raman frequency shifting in a CH₄:H₂:Ar mixture pumped by the fourth harmonic of a Nd:YAG laser [J]. *Appl. Opt.*, 1998, **37** (30):7112~7115
- 2 Z. Chu, U. N. Singh, T. D. Wilkerson. Multiple Stokes

- wavelength generation in H_2 , D_2 , and CH_4 for lidar aerosol measurements [J]. *Appl. Opt.*, 1991, **30**(30):4350~4357
- 3 J. A. Sunesson, A. Apituley, D. P. J. Swart. Differential absorption lidar system for routine monitoring of tropospheric ozone [J]. *Appl. Opt.*, 1994, **33**(30):7045~7058
- 4 S. E. Bisson. Parametric study of an excimer-pumped, nitrogen Raman shifter for lidar applications [J]. *Appl. Opt.*, 1995, **34**(18):3406~3412
- 5 E. J. Lerner. Lasers probe global climate from space [J]. *Laser Focus World*, 2002, **38**(10):95~100
- 6 A. B. Davis, S. P. Love, R. F. Cahalan *et al.*. Off-beam lidar senses cloud thickness and density [J]. *Laser Focus World*, 2002, **38**(10):101~104
- 7 Wang Zhien, Hu Huanling, Zhou Jun. Dual differential absorption LIDAR; a new method to reduce effectively the effect of aerosols on ozone measurement [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 1996, **54**(4):437~446
王志恩, 胡欢陵, 周 军. 双差分吸收激光雷达:一种能有效减小气溶胶对臭氧测量影响的方法[J]. *气象学报*, 1996, **54**(4):437~446
- 8 Ye Zhenhuan, Lou Qihong, Dong Jingxing *et al.*. Multi-wavelength Raman shifting in a hybrid gas of methane and hydrogen [J]. *Chinese J. Lasers*, 2004, **31**(6):677~680
叶震寰, 楼祺洪, 董景星 等. 甲烷氢气混合气体中的多波长拉曼转换[J]. *中国激光*, 2004, **31**(6):677~680



《中国激光》关键词推荐表

为了使作者在撰写论文时更准确地选择第一关键词,本刊特推荐以下学科名称,供作者选用:

大气与海洋光学(atmospheric and ocean optics)
 衍射与光栅(diffraction and gratings)
 光纤光学(fiber optics)
 光通信(optical communication)
 傅里叶光学与光信号处理(fourier optics and optical signal processing)
 几何光学(geometrical optics)
 导波光学(集成光学)(guided wave optics(integrated optics))
 全息(holography)
 图像处理(image processing)
 成像系统(imaging systems)
 仪器,测量与计量(instrumentation, measurement and metrology)
 激光器(lasers)
 激光物理(laser physics)
 激光技术(laser technique)
 激光光学(laser optics)
 材料 (materials)
 医用光学与生物技术(medical optics and biotechnology)
 显微 (microscopy)
 非线性光学 (nonlinear optics)
 光数据存储(optical data storage)
 光学设计与制造(optical design and fabrication)
 光学器件(optical devices)
 光电子学 (optoelectronics)
 量子光学 (quantum optics)
 遥感 (remote sensing)
 散射 (scattering)
 光谱学 (spectroscopy)
 薄膜(thin films)
 超快光学(ultrafast optics)
 X 射线光学 (X-ray optics)