

而且也适用于框架式结构。将激光全息干涉法推广到用于高层建筑自振特性的研究上将会具有广阔的前景。

参 考 文 献

- 1 何伯森, 陈吉书. 中国激光, 1983; 10(2): 105
- 2 张崇文 *et al.* 水利学报, 1985; (3): 8

(收稿日期: 1987年3月13日)

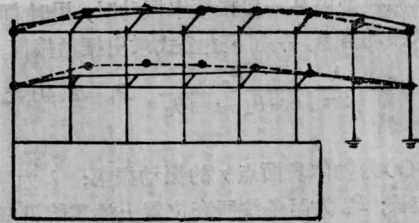


图3 试验与动力有限元计算比较一阶振型图
(..... 试验; —— 动力有限元计算)

高阶喇曼辐射的弛豫振荡和光束特性*

成序三 楼祺洪 霍芸生 王润文

(中国科学院上海光机所)

Relaxation oscillation and beam characteristics of higher order Raman emission

Cheng Xusan, Lou Qihong, Huo Yunsheng, Wang Runwen

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

Abstract: Raman shifted convesion from AS_3 (226 nm) to S_5 (849 nm) have been observed in high pressure H_2 pumped by high power XeCl eximer laser radiation (308 nm). Its photon-conversion efficiency into blue-green region (S_3 , 499 nm) was obtained up to 39%. Relaxation oscillations of higher order Raman shifted emissions were obtained and analysed.

一、前 言

准分子激光器的受激喇曼散射一般采用气体作为非线性介质。对 XeCl(308nm)激光, 采用金属蒸气(Pb、Ba等)作为介质^[1], 进行共振受激喇曼散射, 可以得到单一蓝绿波长的喇曼光。但是, XeCl在氢气中的喇曼散射, 要到第3阶高阶斯托克斯喇曼频移才处于蓝绿光(499nm)。这种高阶喇曼过程不适宜用小信号注入放大形式来实现单一波长高效蓝绿光转换。本文的研究表明, 采取适当的聚焦光束泵浦, 用简单的单程受激喇曼超荧光放大器工作, 可实现XeCl激光在氢气中单一特定蓝绿波长(499nm)占主导地位的高效喇曼转换, 第三阶斯托克斯蓝绿光的量子转换效率可达 $\eta_s=39\%$, 输出能量236mJ, 输出功率10MW(236mJ能量、24ns脉宽), 而

泵浦功率18MW(1J, 55ns), 这对应56%的功率转换效率。

二、实验结果与讨论

图1为实验装置方框图。泵浦光是X-光预电离放电泵浦XeCl准分子激光器。采用放大倍率 $M=6$, 等效菲涅尔数 $N_{eq}=88$ 的正支共焦凹凸非稳腔, 输出光斑为中心有0.8cm孔径圆孔的 $2.3 \times 2.0 \text{ cm}^2$ 矩形环, 光束远场发散角为0.3mrad。输出激光功率18MW(1J, 55ns), 激光脉冲前沿小于2ns。喇曼池长1.2m, 泵浦光用1m焦距透镜聚焦进入喇曼池, 焦面平均聚焦功率密度为 13 GW/cm^2 。池中充以高压氢气, 压力在3atm到17atm范围变化。

* 本工作得到国家自然科学基金资助。

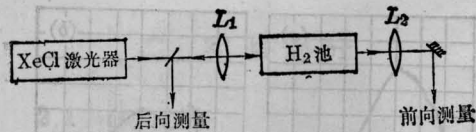


图1 喇曼散射实验装置简图

$L_1-f=1\text{m}$ 焦距聚焦透镜; L_2 -准直透镜

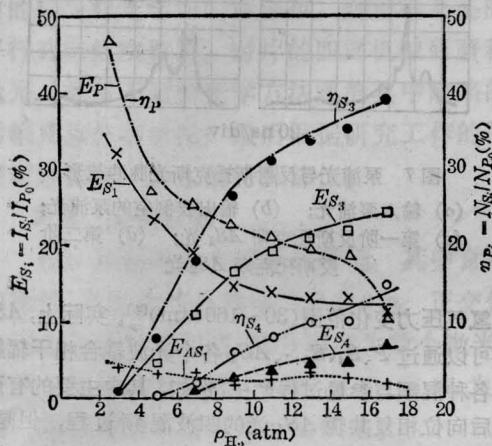


图2 高阶斯托克斯光的能量效率和量子效率随压力 ρ_{H_2} 的变化曲线。

$E_{S_i} = \frac{I_{S_i}}{I_{P_0}}$ 为能量效率, I_{S_i} 为喇曼光强, I_{P_0} 为输入泵浦光强;

$\eta_{S_i} = \frac{N_{S_i}}{N_{P_0}}$ 为量子效率, N_{P_0} 为输入泵浦光子数, N_{S_i} 为斯托克斯光的 S_i 光子数。

图2即所谓“压力调谐”实验曲线,当改变氢气池气压时,各阶斯托克斯光 S_i 的光强 I_{S_i} 发生显著变化。低气压时主要是低阶(如第一阶)斯托克斯光。气压升高,如氢气压 $\rho_{H_2}=17\text{atm}$ 时,第三阶斯托克斯蓝绿光(499nm)波长的辐射量子效率 η_{S_3} 达到39%,有236mJ能量。如果按弛豫振荡波形的包络宽度(40ns)估算, S_3 光输出功率为6MW,功率效率约30%。由于脉冲光泵浦喇曼转换只是在一定的时间延迟以后才产生最有效转换(对高阶斯托克斯光 S_i 更是如此)^[2],因此在 S_3 光的调制波形的峰值处,按脉宽(见图6(c)) $\tau_{S_3} \approx 24\text{ns}$ 估算,为10MW功率输出,对应 $p_{S_3}=56\%$ 的峰值功率转换效率。在峰值功率转换处的光子转换率为

$$\eta'_{S_3} = \frac{\lambda_{S_3}}{\lambda_P} p_{S_3} \approx 90\%$$

因此,从峰值功率点转换的角度看,在最有效转换的峰值功率点处泵浦光都倒空到了第三阶蓝绿波长 S_3 辐射上,接近量子转换的极限。在 $\rho_{H_2}=17\text{atm}$ 情况下,90%的泵浦光被倒空到各阶斯托克斯光与反斯

托克斯光,喇曼转换总量子效率为90%。图3和图4分别为三个典型条件下($\rho_{H_2}=3, 5, 17\text{atm}$)各阶斯托克斯光能量效率和量子效率的分配情况,这三种情况下 S_1, S_2, S_3 三阶斯托克斯光分别取最大值。 $\rho_{H_2}=17\text{atm}$ 时(图4(c)),可观察到mJ量级以上光能的 AS_3 与 S_5 喇曼光达到8个阶次,有5阶正斯托克斯光($S_1 \rightarrow S_5$)和3阶反斯托克斯光($AS_1 \rightarrow AS_3$),其中最短波长226nm的 AS_3 有1mJ能量,红外的849nm的 S_5 有14mJ能量。图5是 $\rho_{H_2}=17\text{atm}$ 情况下用小孔(孔径为100 μm 或400 μm)扫描测透过光能得出的第一阶和第三阶斯托克斯光近场和远场分布。 S_1 光直接由泵浦光产生,没有离轴分量。高阶光 S_3 含有部分离轴分量,但近场的环形分布并不明显,说明只有一小部分光来自于混频过程。 S_3 光的远场角谱0.5mrad,说明主要的 S_3 光是由级联泵浦产生的具有良好光束方向性的成份。

高阶斯托克斯光另一个显著的特点是出现很高

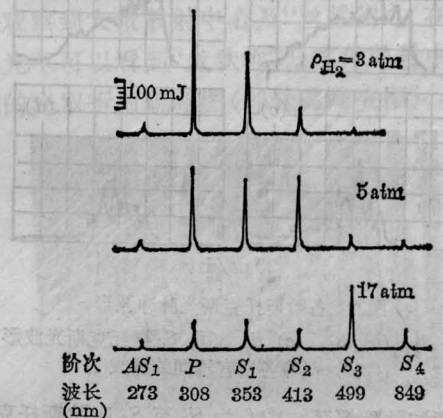


图3 不同氢气压力条件下各阶斯托克斯光与反斯托克斯光的能量比值

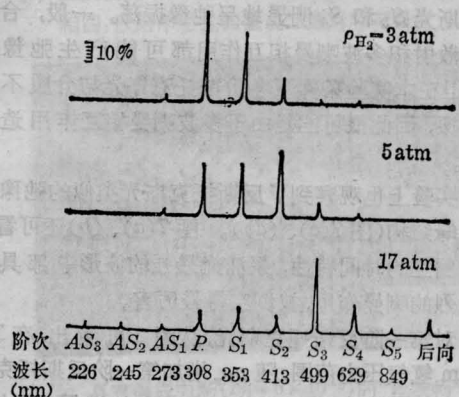


图4 不同氢气压力条件下各阶斯托克斯光和反斯托克斯光转换的光子数百分比(量子效率)

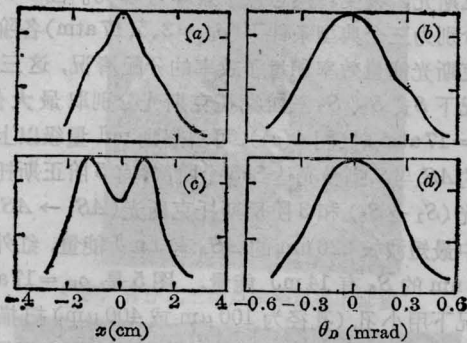


图5 斯托克斯光近场归一化光强空间分布和远场角谱

- (a) 第一阶斯托克斯光近场;
- (b) 第一阶斯托克斯光远场角谱;
- (c) 第三阶斯托克斯光近场;
- (d) 第三阶斯托克斯光远场角谱

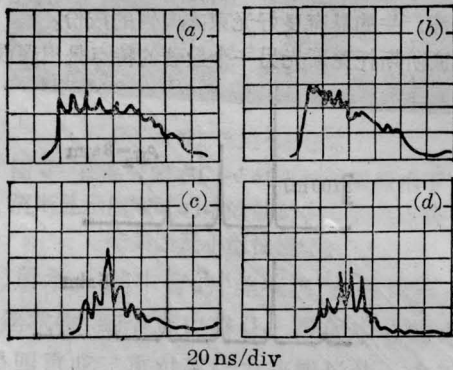


图6 各阶斯托克斯光脉冲波形

- (a) S_1 (b) S_2 (c) S_3 (d) S_4 斯托克斯光波形
- (a)~(d)各自有不同的衰减

调制度的弛豫振荡。图6为 S_1 至 S_4 四阶斯托克斯光波形。第一、第二阶斯托克斯光 S_1 和 S_2 基本上与泵浦光波形吻合,只有一些小尖峰结构。高阶斯托克斯光 S_3 和 S_4 明显地呈弛豫振荡。一般,合作喇曼散射和多波喇曼相互作用都可能产生弛豫振荡,但在本实验条件下各阶斯托克斯光与介质不处于共振,因此很可能是由于多波喇曼相互作用造成的^[3]。

实验上也观察到了反斯托克斯光类似的弛豫振荡尖峰结构(图7(c)、(d))。图7(a)、(b)还可看到泵浦倒空的时间特性,泵浦光最强的波形中部具有最强烈的喇曼作用,被倒空得最厉害。

对第一阶反斯托克斯光,从图2可看出,在1~17atm氢气压力范围,随 ρ_{H_2} 增加第一阶反斯托克斯光 AS_1 光强呈下降的趋势。有些文献把 H_2 压力上升 AS_1 光强下降归结于压力增加由折射率引起的位相失配抑制了混频的过程,但这主要是发生在很高

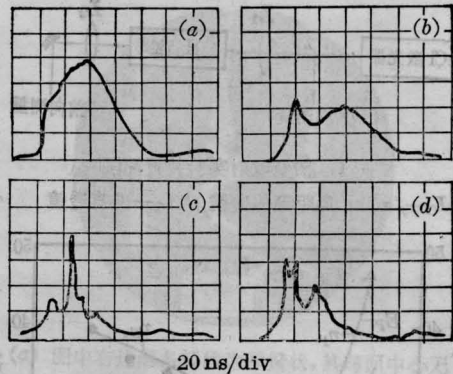


图7 泵浦光与反射斯托克斯光脉冲波形

- (a) 输入泵浦光; (b) 输出被倒空的泵浦光;
- (c) 第一阶反斯托克斯 AS_1 光; (d) 第二阶反斯托克斯 AS_2 光

的氢气压力变化范围(30~160atm)^[4]。实际上, AS_1 光可以通过 P, S_i, S_{i+1}, AS_1 各个光波耦合相干辐射的各种混频与参量过程产生,例如,其中主要的有产生后向位相复共轭 AS_1 光的四波混频过程,但是, AS_1 也可以通过 P 光(XeCl泵浦光)直接产生。因此, AS_1 光的强弱并不是混频过程的唯一判据。在我们实验条件下,对应1~17atm氢气压力变化范围,泵浦光随 H_2 压力增加被逐渐倒空到各阶 S_i 光,泵浦光随 H_2 增加而逐渐减弱(见图2 E_P 与 η_P 曲线),也导致了由泵浦光到 AS_1 光直接泵浦过程的减弱,使 AS_1 光强随 H_2 压力上升而下降。

$\rho_{H_2}=17$ atm时,我们还观察到了85mJ的后向散射光。从棱镜分光系统观察,后向光包含各阶斯托克斯光成份,并且由两束相差一定角度传播方向的光波组成。其中一束是位相复共轭的 AS_1 光,严格地沿泵浦光的相反方法传播,另一束是从喇曼池后窗口石英片反射回来的斯托克斯前向散射光波,具有宽带特性。这是因为虽然喇曼池前后窗口两面都镀有泵浦光波长308nm高增透膜,对泵浦光总反射率小于0.8%,光强可忽略,但对各阶斯托克斯光则仍有透明平板光学面4%的剩余反射率。

参 考 文 献

- 1 Djeu N, Burnham R. *Opt. Lett.*, 1978;(6): 215
- 2 Lowdermilk W H et al. *Appl. Phys. Lett.*, 1975; 27 (3): 133
- 3 Johnson R V et al. *Phys. Rev.*, 1971; A4 (3):1175
- 4 Trainor D W et al. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1982; QE-18 (11): 1929

(收稿日期:1987年4月2日)