

# 后向耦合拉曼净化实验研究\*

王月珠 陈德应 鞠有伦 王 军 王 骥 马祖光

(哈尔滨工业大学光电子技术研究所, 哈尔滨 150006)

**提要** 用红宝石激光泵浦高压  $H_2$  进行了后向耦合拉曼净化实验, 获得种子光(近衍射极限)放大 64 倍, 转换效率达 32% 的结果。并探讨了耦合放大系数随种子光、泵浦光及气压等的变化规律。

**关键词** 拉曼净化, 后向放大, 光束质量

## Experimental investigation of the backward coupling Raman cleanup

WANG Yuezhu, CHENG Deying, JU Youlun, WANG Jun, WANG Qi, MA Zuguang

(Institute of Opto-Electronics, Harbin Institute of Technology, Harbin 150006)

**Abstract** An experimental study of backward coupling Raman cleanup, pumping by ruby laser, is presented in high pressure  $H_2$ . In the experiment, the maximum amplified factor of the seed beam (near diffraction limit) is 64, the maximum energy conversion coefficient is 32%. And the dependence of coupling amplified coefficient on seed beam, pump energy and the pressure of  $H_2$  is discussed.

**Key words** Raman clean-up, backward amplify, beam quality

## 1 引 言

目前国内外围绕光束质量改善这一重大课题进行着广泛的探讨, 利用非线性效应提高光束质量被认为是简便易行的方法。拉曼净化就是其中有效技术之一, 利用前向拉曼净化方法已有了较多报道<sup>[1~4]</sup>, 国内效率高者达 19%。而本实验则是作者在首次做出气体中后向拉曼散射<sup>[5]</sup>的基础上, 进行的一系列后向耦合拉曼净化实验, 并同时也做了前向拉曼净化加以比较, 结果为近轴光后向耦合放大效果远优于前向放大, 这一点与后向拉曼散射相似。实验中后向拉曼散射束发散角可压缩 12 倍, 而前向只压缩 2~5 倍<sup>[5]</sup>。后向效率可达 32%, 并获得了近衍射极限的放大光输出。

收稿日期: 1992 年 10 月 9 日; 收到修改稿日期: 1993 年 4 月 19 日。

\* 本课题获国家自然科学基金资助。

### 2 实验及分析

本文所说的后向耦合拉曼净化是指种子光和泵浦光相对入射拉曼放大器,而前向拉曼净化则是指同向入射。

图 1 为后向拉曼放大装置,斯托克斯种子光由振荡器产生,振荡器腔长为 60 cm,内充 3.2 MPa H<sub>2</sub>,纯度为 99.9%,放大器腔长为 80 cm,内充高压 H<sub>2</sub>,气压为 0.1~5.0 MPa 可调,红宝石激光能量在 1 J 内可变,脉宽为 10~30 ns,用 ED-500 型能量计、GD-9 型强流管和示波器观测能量和脉宽。种子光和泵浦光相向入射到放大器中,输入的种子光得到放大输出,同时泵浦光减弱。

实验获得的主要结果为:

2.1 实验测得放大光  $E_s$ , 种子光  $E_s^0$  与泵浦光  $E_p$  的关系示于图 2, 实验中当  $E_p$  分别为 480 mJ, 417 mJ, 300 mJ 和 232 mJ 时, 测得放大光能量  $E_s$  随种子光能量  $E_s^0$  的关系曲线, 当泵浦光为 480 mJ, 种子光为 45 mJ, 气压为 2.0 MPa 时, 输出的放大光能量为 153 mJ, 此时由泵浦光能量转化为放大光能量的转化效率为 32%。

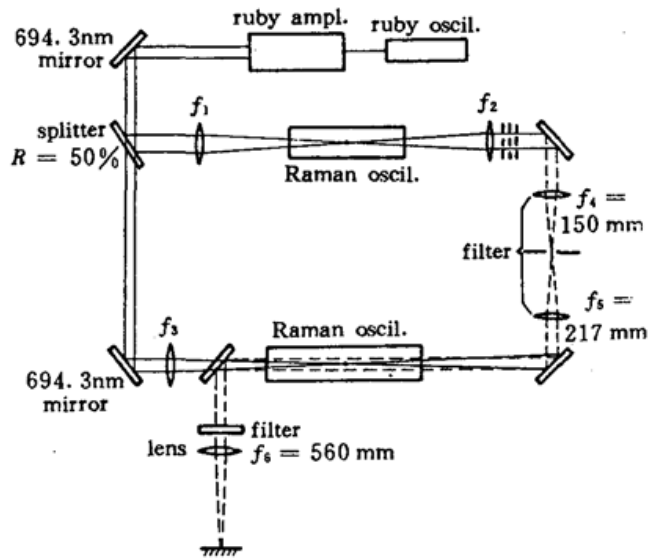


Fig. 1 The experimental set-up

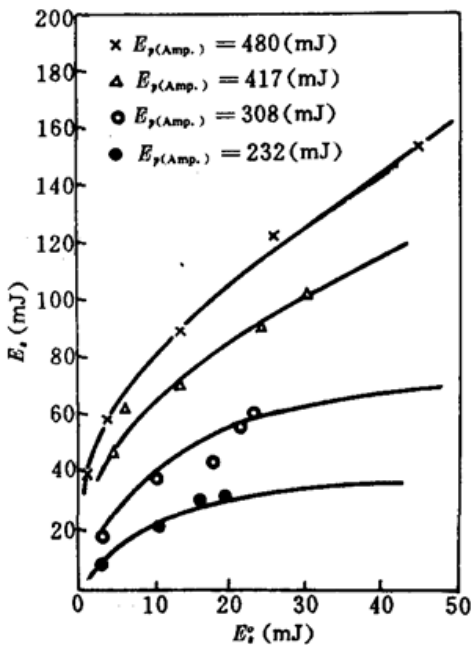


Fig. 2 Relationship between  $E_s$  (amplified beam),  $E_s^0$  (seed beam) and  $E_p$  (pumping laser)

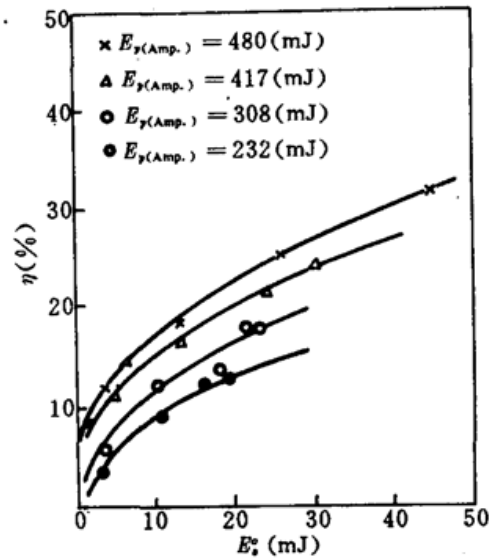


Fig. 3 Variation of the energy conversion coefficient  $\eta$  vs  $E_s^0$

实验得到能量转化效率 ( $\eta = E_s/E_p$ ) 及放大倍数 ( $g = E_s/E_s^0$ ) 随种子光能量变化的关系曲线示于图 3 和图 4。当不扣除泵浦光自身后向散射光时,最佳放大倍数为 64 倍,实验证明存在种子光时,由于耦合转移及竞争机制减弱了泵浦光自身的后向散射,又由实验曲线可见处于小信号区的放大倍数较大。

取小信号工作区,  $E_s^0 = 3.3$  mJ 时,测得  $E_s \sim E_p, g \sim E_p$  等曲线,示于图 5。由实验可知随着

种子光能量的增加,输出光由小变大,最后趋于饱和。这与理论分析相符,由量子理论解释,饱和原因为泵浦光的耗尽和拉曼跃迁中下能级粒子数的减少。种子光不变,在不同的泵浦能量下输出光的放大倍数亦不同,泵浦能量越高输出光放大倍数也越大,在小信号情况下  $\ln g$  与  $E_p$  成线性关系。

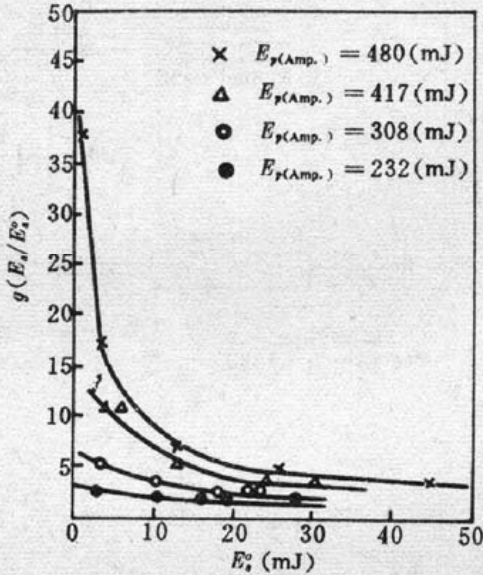


Fig. 4 Variation of the amplified factor  $g$  vs  $E_s^0$

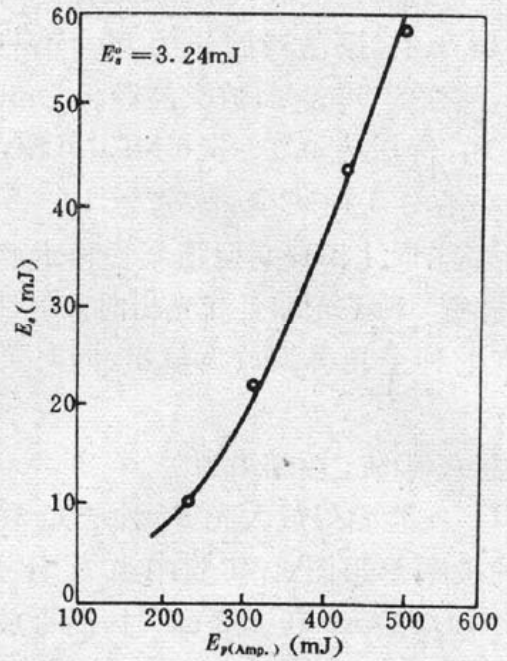


Fig. 5 Variation of  $E_s$  vs  $E_p$

## 2.2 后向耦合拉曼净化的空间特性和时间特性

由量子理论分析可将拉曼过程分为参量过程和非参量过程。参量过程即由满足波矢匹配的参量过程形成拉曼散射,其空间分布实验照片如图 6(a)。非参量过程,即由能级间跃迁形成,其后向散射的空间分布照片见图 6(b)。而拉曼净化过程中,种子光的作用就是使信号光的初始光子态中存在一定光子数的情况下进行光信号的放大,而不再是从噪声源开始放大,即拉曼净化同时解释为参量和非参量两种过程。本实验发现种子光对放大器中自身产生的后向反斯托克斯光几乎没有影响,而当以反斯托克斯为种子光时,放大器对其没有放大作用。从这两个特征实验可以判定后向拉曼净化主要属于非参量过程。

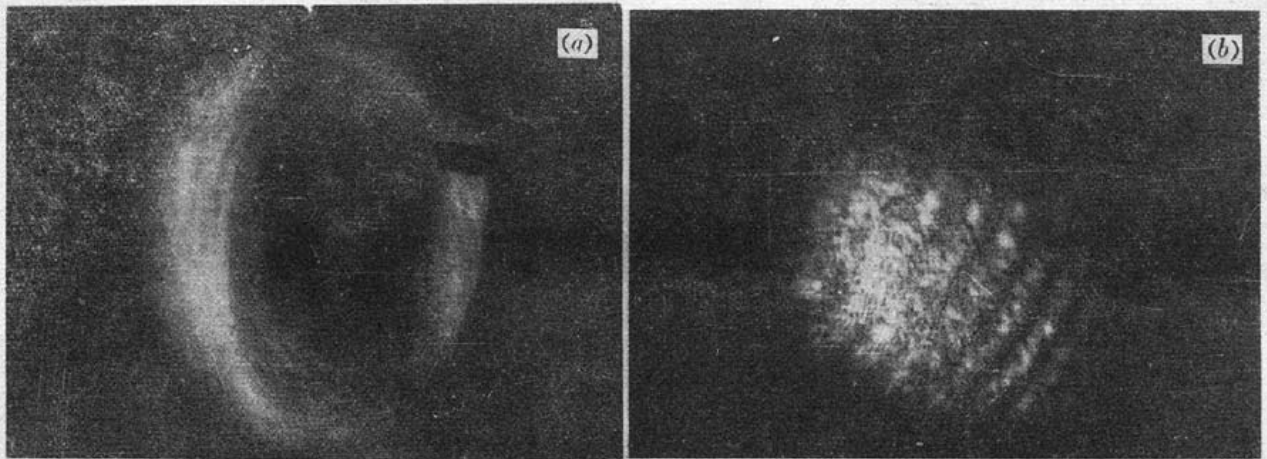


Fig. 6 Photographs of the usual forward cone radiation of anti-Stokes Raman scattering (a) and the backward anti-Stokes Raman scattering (b)

为了了解后向拉曼净化输出光的空间特性,分别改变泵浦光和种子光的束散角,测量输出

光的束散角可知,输出光的束散角与泵浦光无关,而只与种子光有关。 $\theta_s^0$  为种子光束散角, $\theta_s$  为输出光束散角,测得输出光与种子光的依赖关系如表 1。

Table 1

$\theta_s^0$ (mrad)	1.25	1.96	2.50	3.57	3.93	6.25	7.14
$\theta_s$ (mrad)	1.43	1.96	2.58	3.65	3.93	6.25	7.14

从中可知,在中小功率情况下,拉曼放大器输出光的空间特性及束散角完全由种子光的空间特性决定,即拉曼放大器对种子光的放大限制在种子光的特定模式之中,这与非参量拉曼净化的理论解释完全相符。

输出光脉宽与种子光基本相同,而与泵浦光脉宽无关。例如,当泵浦光脉宽为 26 ns,种子光为 15 ns 时,输出光为 14 ns。但实验表明,在种子光和泵浦光脉宽不变的情况下,输出光脉宽随泵浦光能量的增加而增加,但不显著。

后向耦合拉曼净化输出光的空间特性和时间特性与光导中拉曼放大相似。

### 2.3 气压对后向耦合拉曼净化的影响

实验表明,随着拉曼放大器中  $H_2$  气压的增加,后向耦合拉曼净化出现一系列极大值和极小值,在 0.1~3.5 MPa 范围内,呈现了两个极大值,最佳值在 2.5 MPa 处。实验又测量了存在种子光时,前向反斯托克斯光  $E_{Asf}$  及前向斯托克斯光  $E_{Sf}$  等散射光与  $H_2$  气压的变化关系,于示表 2。

Table 2

$P$ (MPa)	1.0	1.6	2.2	2.6	3.1
$E_s$ (mJ)	11.4	6.0	29.6	25.5	19.1
$g$	3.4	1.8	8.9	7.6	5.7
$E_{Sf}$ (mJ)	136	61.2	76.6	139.1	105.9
$E_{Asf}$ (mJ)	51.5	21.8	37.8	40.4	30.7

实验中发现,在基本相同的气压下,出现两极大值,这可能解释为,因气压与粒子数有关,随着气压增加,逐次出现高级次散射光,可能使低级次散射光出现周期变化趋势。

### 参 考 文 献

- 1 A. Flusberg *et al.*, *J. Opt. Soc. Am.*, **B4**, 687(1987)
- 2 Hiroshi Komine, *J. Opt. Soc. Am.*, **B3**, 1428(1986)
- 3 楼祺洪 *et al.*, *光学学报*, **8**(6), 502(1988)
- 4 吴 涛 *et al.*, *强激光与粒子束*, **4**(2), 209(1992)
- 5 林殿阳, 王月珠 *et al.*, *中国激光*, **20**(2), 98(1993)