

氢中后向一、二阶反斯托克斯受激喇曼散射

林殿阳 王月珠 陈德应 鞠有伦 王 骐 马祖光

(哈尔滨工业大学光电子技术研究所, 哈尔滨 150006)

摘要 本文观察到氢的后向一、二阶反斯托克斯受激喇曼散射, 分析了它们产生的机理, 并比较了前向和后向受激喇曼散射的特性。

关键词 氢, 反斯托克斯, 受激喇曼散射

Generation of 1st and 2nd anti-Stokes backward SRS in H₂

Lin Dianyang, Wang Yuezhu, Chen Dejing, Ju Youlun, Wang Qi, Ma Zuguang

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

Abstract This paper reports the generation of the 1st and 2nd anti-Stokes components of the backward SRS in H₂, analyzes the mechanism of their generation and compares the properties of the backward SRS with those of the forward SRS.

Key words H₂, anti-Stokes, SRS

1 引 言

有关受激喇曼散射的研究虽然有许多报道, 但是主要集中在前向受激喇曼散射的研究上^[1~6]; 对于后向受激喇曼散射, 只见到一些关于产生斯托克斯光的报道^[4~6]。按通常的解释, 在前向受激喇曼散射中, 泵浦光、一阶斯托克斯光和一阶反斯托克斯光满足四波混频的相位匹配条件:

$$2K_p - K_s - K_{As} = 0$$

其中 K_p , K_s 和 K_{As} 分别为泵浦光、一阶斯托克斯光和一阶反斯托克斯光的波矢。在实验中容易产生并观察到反斯托克斯受激喇曼散射^[5]。而对于后向受激喇曼散射, 与前向受激喇曼散射相比, 不存在相应的泵浦光, 这样, 四波混频的相位匹配条件不满足, 因此, 也就不可能产生后向反斯托克斯受激喇曼散射^[7]。

本文报道了用脉冲、调 Q 红宝石激光泵浦高压氢, 观察到氢的后向一、二阶反斯托克斯受

激喇曼散射。对前向和后向反斯托克斯光的光强分布进行了比较,分析了后向反斯托克斯受激喇曼散射产生的机理。

2 实验结果及分析

2.1 实验装置

实验装置如图 1 所示。红宝石激光器采用平-平腔,利用隐花菁进行染料调 Q,输出光束直径为 6 mm,发散角为 12 mrad,输出能量为 180 mJ,脉宽为 75 ns。单程喇曼管由 $\phi 25 \text{ mm} \times 620 \text{ mm}$ 的不锈钢管制成,窗片为 K₉ 玻璃平片。

管中充入 33 atm,纯度为 99.9% 的氢气。聚焦透镜焦距为 210 mm,后向散射光用二色片提取。在测量斯托克斯光(或反斯托克斯光)时,用干涉滤光片滤掉剩余泵浦光及反斯托克斯光(或斯托克斯光)。并且在实验时,使喇曼管窗片与泵浦光有一定倾角(不垂直入射)。用 ED-500 型和 ED-200 型能量计探测能量,用 GD-11 型快速光电强流管探测脉冲波形及脉宽,并在 Tek466 型示波器上进行观测。

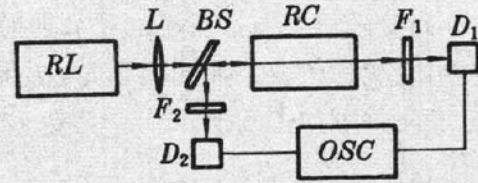


Fig. 1 Experimental setup

RL—ruby laser; L—lens; BS—beam-split; F₁, F₂—filters; OSC—oscilloscope; D₁, D₂—energy meter; ED—500 and ED—200 respectively or GD—11 fast high-current optotubes

2.2 实验结果

2.2.1 受激喇曼散射谱

根据实验,只有在后向斯托克斯光产生之后才能观察到后向反斯托克斯光的产生。在实验中,利用富士彩色胶卷拍摄下了氢的前向和后向受激喇曼散射谱。图 2 给出的是氢的后向受激喇曼散射谱。与前向受激喇曼散射谱相比,除谱线强度不同外,后向受激喇曼散射谱与前向光谱对应的谱线位置相同。图中 SBS 谱线对应的波长与泵浦光的波长相同,AS₁ 谱线对应后向一阶反斯托克斯光,AS₂ 谱线对应后向二阶斯托克斯光,S₁ 谱线对应后向一阶斯托克斯光(其它可能出现的谱线,因胶片感光弱未拍到)。



Fig. 2 Backward SRS spectra in H₂

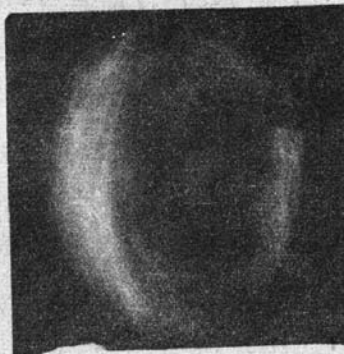


Fig. 3 Forward SRS spot in H₂

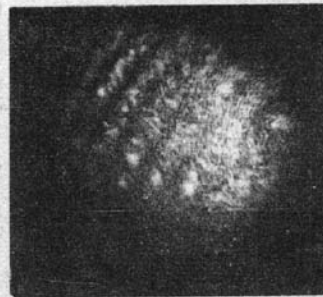


Fig. 4 Backward SRS spot in H₂

2.2.2 反斯托克斯光光强分布

在实验中,观察并拍摄到前向受激喇曼散射光斑(图 3)和后向受激喇曼散射光斑(图 4)。

可以看出,前向和后向反斯托克斯光的光强分布明显不同,前向一阶反斯托克斯光呈环状分布,而后向则呈轴向分布。根据光斑尺寸大小,测得后向反斯托克斯光的发散角约比泵浦光发散角小 10 倍,而前向反斯托克斯光发散角大于泵浦光发散角。

2.2.3 散射光能量与泵浦光能量之间的关系

当用衰减片改变泵浦光能量时,所获得的前向、后向斯托克斯能量及反斯托克斯能量随泵浦能量变化关系如图 5 所示。

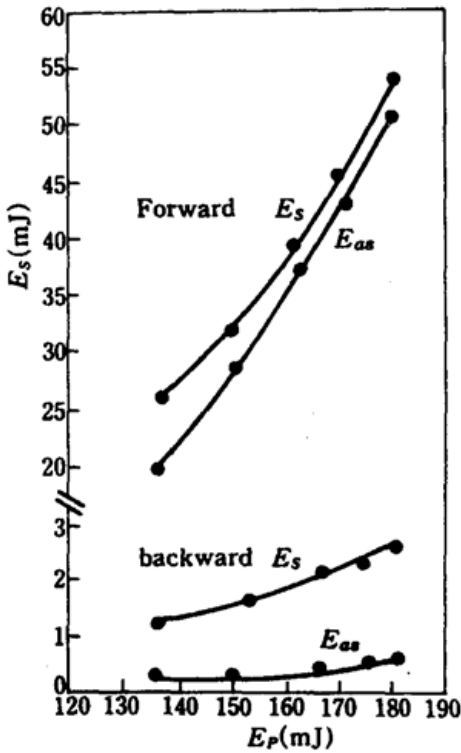


Fig. 5 Relation between scattered energy and pumping energy

当泵浦光能量为 180 mJ,透镜焦距为 210 mm 时,前向斯托克斯光转换率为 31.8%,后向斯托克斯光转换率为 1.4%,前向反斯托克斯光转换率为 28.6%,后向反斯托克斯光转换率为 0.16%。

2.2.4 散射光脉宽

当用 GD-11 型光电快速强流管取代能量计时,可在示波器上观测散射光及泵浦光的脉冲波形和脉宽。根据多次观测的平均结果,获得泵浦脉宽为 75 ns,前向散射光脉宽为 46 ns,后向散射光脉宽为 25 ns。

2.3 实验分析

我们在实验中观察到后向反斯托克斯光的产生,并且后向反斯托克斯光与前向反斯托克斯光明显不同:后向反斯托克斯光呈轴向分布,发散角小,脉宽小,能量转换率低;而前向反斯托克斯光通常呈环状分布,发散角大,脉宽长,能量转换率高。与前向反斯托克斯受激喇曼散射相比较,后向反斯托克斯光的产生存在两种可能的机理。

2.3.1 逆向受激喇曼散射

在受激喇曼散射发生时,喇曼跃迁的两个能级之间产生急剧的粒子数变化,喇曼跃迁的上能级可以集居一定的粒子数。如果泵浦光较强,在产生正向受激喇曼跃迁的同时,也会产生逆向受激喇曼跃迁^[8]。而逆向受激喇曼跃迁的频率上移,产生的受激散射光对应于一阶反斯托克斯光。与正向受激散射相比,这种逆向受激散射,存在一定的散射阈值,但是不存在相位匹配问题^[4]。因此,逆向受激喇曼散射呈轴向分布。由于上能级可能集居的粒子数不会太多,产生逆向受激喇曼散射的增益也就很小。对于实验中观察到的轴向分布的反斯托克斯光,存在两种解释方法:一种是逆向受激喇曼散射效应;另一种则是相位失配情况下的四波混频效应($2K_p - K_s - K_{as} = \Delta K \neq 0$)^[2,9]。对于后向受激喇曼散射,由于一阶反斯托克斯光不满足相位匹配条件,这样,由逆向受激喇曼散射产生的轴向反斯托克斯光可以获得一定增益,从而在实验中可能观察到轴向分布的一阶反斯托克斯光。

2.3.2 沿轴向的相位失配情况下的四波混频效应

在实验中,可能产生了后向受激布里渊散射,从而导致相位失配情况下的四波混频效应的产生。根据氢的后向受激喇曼散射光斑(图 4),图中的斑点是绿光和红光两种波长的光合成的结果。这可与后向受激喇曼散射谱对比来说明。这部分红光显然是沿后向轴向传播的(在实验中,排除了器件表面反射的可能性),而产生它的最可能的效应就是受激布里渊散射。这样,后

向受激布里渊散射光(其波长与泵浦光波长近似相等),后向一阶斯托克斯光和后向一阶反斯托克斯光可以满足四波混频的相位匹配条件。由于受激布里渊散射光的发散角较小,它们不满足四波混频的角度匹配,但是根据前向散射的理论分析,在满足一定条件下,相位失配条件下的四波混频可以在轴向获得一定增益^[9]。因此,可以认为后向一阶反斯托克斯光可能是一种沿轴向的相位失配情况下的四波混频过程:

$$2K_B - K_{S_1}^B - K_{AS_1}^B = \Delta K \quad (\Delta K \neq 0)$$

其中, K_B 是受激布里渊散射光波矢, $K_{S_1}^B$ 、 $K_{AS_1}^B$ 分别为后向一阶斯托克斯光及后向一阶反斯托克斯光的波矢。

由于后向一阶反斯托克斯光的能量较低,它不可能级联泵浦产生后向二阶反斯托克斯光,因此后向二阶反斯托克斯光的产生仍可能是一种沿轴向的相位失配情况下的四波混频过程:

$$K_B - K_{S_1}^B + K_{AS_1}^B - K_{AS_2}^B = \Delta K \neq 0$$

综上所述,虽然后向一阶反斯托克斯受激喇曼散射可由逆向喇曼散射产生,但其增益较小;而由于后向受激布里渊散射的产生,由沿轴向相位失配情况下的四波混频过程产生后向一阶反斯托克斯光的可能性更大。因此,我们认为后向一阶反斯托克斯受激喇曼散射主要由沿轴向相位失配情况下的四波混频产生,而后向二阶反斯托克斯光的产生则只能是沿轴向相位失配情况下的四波混频过程。

参 考 文 献

- 1 F. R. Anssenege *et al.*, *Opt. Commun.*, **37**, 59(1981)
- 2 李 港 *et al.*, *清华大学学报*, **24**, 59(1984)
- 3 王月珠 *et al.*, *中国激光*, **16**(9), 555(1989)
- 4 赫光生 *et al.*, *中国激光*, **13**(2), 71(1985)
- 5 N. 布洛姆伯根, *非线性光学*, 科学出版社, 北京, 1987, 111~120, 156~162;
Y. R. Shen *et al.*, *Phys. Rev.*, **137**, 1786(1965)
- 6 I. V. Tomov *et al.*, *Opt. Lett.*, **8**, 9(1983)
- 7 Yu. E. D' yakov *et al.*, *Sov. Quant. Electr.*, **12**, 796(1982)
- 8 郑顺旋, *激光喇曼光谱学*, 上海科学技术出版社, 上海, 1985, 198~207
- 9 P. R. Andeev *et al.*, *Opt. & Spectrosc.*, **51**, 358(1981); *Sov. Quant. Electr.*, **12**, 35(1982)