

高压 H₂ 气受激喇曼移频器的实验研究

高国昌 李荣平 郭宁宁 高文斌 陈俊德 鲁士平

(中国科学院安徽光机所)

提要: 本文报道 RS-I 型高效率高压 H₂ 气受激喇曼移频器的实验装置和实验结果, 观察到一至四阶斯托克斯线和一至八阶反斯托克斯线, 总能量转换效率达 56%, 一阶斯托克斯能量转换效率达 34%。

Experimental study of stimulated Raman scattering of high pressure H₂ frequency shifter

Gao Guochang, Li Rongping, Guo Ningning, Gao Wenbin, Chen Junde, Lu Shiping

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

Abstract: Experimental setup and results of RS-1 model high efficiency high pressure H₂ Raman shifter are presented.

Main factors affecting the energy conversion efficiency are discussed. When the Raman shifter was pumped by Nd: YAG SHG, 1st to 4th order Stokes lines and 1st to 8th anti-Stokes lines have been observed. An overall energy conversion efficiency of 56% and an energy conversion efficiency of 34% in the 1st Stokes component have been achieved.

一、引言

我们设计并研制成功的 RS-系列高压 H₂ 气受激喇曼移频器, 采用透镜密封窗口和严格的加工工艺, 大大提高了泵浦光和频移光的能量利用率, 已接近达到或者达到国外同类移频器水平 (Lambda Physik RS-75 Raman Cell)。在 8 atm H₂ 气压力和输入泵浦能量为 26 mJ 条件下, 观察到一至八阶反斯托克斯线。在 18 atm H₂ 气压力和相同输入泵浦能量条件下, 观察到一至四阶斯托克斯线。这个结果与国内最近的报道^[1] 相比,

在大致相同的实验条件下, 所观察到的斯托克斯和反斯托克斯线阶数以及能量转换效率均有明显增加。

此外, 由于采用了新的窗口密封工艺, 在 20 atm H₂ 气压力下, RS-I 型移频器已连续使用 18 个月无 H₂ 气溢漏现象, 达到了长期安全使用的要求。

二、实验装置和实验结果

实验装置如图 1 所示。实验中使用的泵浦激光是铌酸锂晶体调 Q Nd:YAG 倍频

收稿日期: 1985 年 4 月 8 日。



图1 实验装置

- 1—Nd:YAG 激光器; 2—KDP 倍频晶体;
 3— $1.06\mu\text{m}$ 全反射片; 4—直角全反射棱镜;
 5—分束板; 6和11—激光能量计;
 7—RS-I 型移频器; 8—Pellin-Broca 棱镜;
 9—可变孔径光阑; 10—聚光透镜

输出光束, 波长 532nm , 脉冲宽度 15ns 。
 $1.06\mu\text{m}$ 全反射片去掉倍频后残存的 $1.06\mu\text{m}$ 光。RS-I 型喇曼移频器由不锈钢体和透镜密封窗口组成。不锈钢体内层为充 H_2 池, 外层为液 N_2 冷却套、高压控制阀门和 H_2 气压力监视器。一对共焦型透镜密封窗口起着高压密封和聚焦双重作用。透镜窗口外侧装有专门用于对光和防尘用的针孔帽。Pellin-Broca 棱镜用于分光和使输出光束恒偏向 90° 角。测光用的能量计是经过标定的 NJ-J1 型激光能量计。转动固定在 QJG 型光栅调节台上的 Pellin-Broca 棱镜, 可使待测的各阶 Raman 光束和剩余的泵浦光束依次通过光阑 9 和透镜 10 准确地进入能量计 11。实验中使用的 H_2 气纯度为 99.99% 。整个实验在室温 18°C 条件下进行。

在泵浦激光能量为 26mJ , 移频器中 H_2 气压力变化为 $20\sim 2\text{atm}$ 条件下, 测量出来的一阶斯托克斯光 (S_1) 和一至三阶反斯托克斯光 (AS_1-AS_3) 的能量分别示于图 2 和图 3 中。

当移频器内 H_2 气压为 13atm 时, 用孔径光阑改变入射的泵浦光能量测量出来的 S_1 和 AS_1 的输出能量与泵浦能量的关系示于图 4 中。

在泵浦能量为 26mJ , H_2 气压为 8atm 时, 测量出来的 S_1 和 AS_1-AS_7 的输出能量

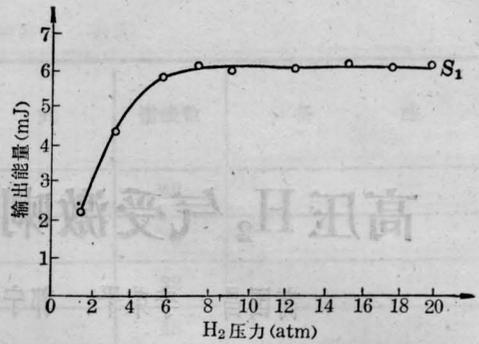


图2 S_1 输出光能量与 H_2 气压力的关系 (泵浦能量为 26mJ)

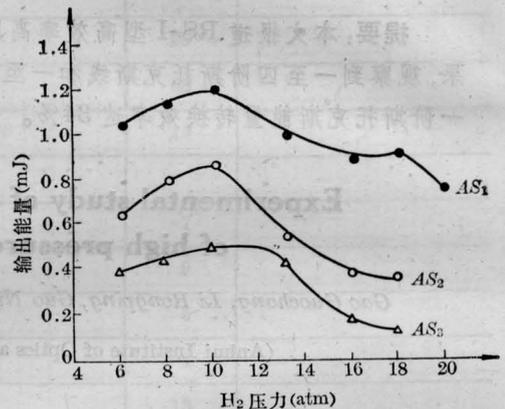


图3 AS_1 、 AS_2 和 AS_3 输出光能量与 H_2 气压力的关系 (泵浦能量为 26mJ)

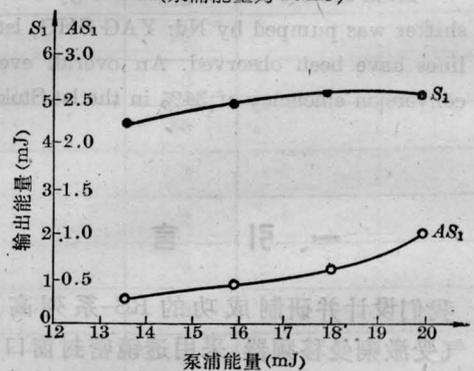


图4 S_1 和 AS_1 输出光能量与泵浦能量的关系 (H_2 气压力为 13atm)

与泵浦能量的相对比较示于图 5 中。

泵浦能量为 26mJ , 移频器内 H_2 气压力变化 $20\sim 2\text{atm}$, 用荧光纸屏观察在不同 H_2 气压力下输出的反斯托克斯频移光级数, 其分布情况列于表 1 中。

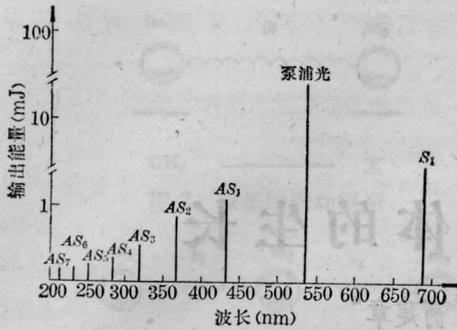


图5 S_1 和 AS_1-AS_7 输出能量与泵浦能量的相对比较
(H_2 气压力为 8 atm, 泵浦能量为 26 mJ)

表1 在不同 H_2 气压力下观察到的反斯托克斯频移级数

H_2 气压力 (atm)	20	18~13	8~6	4	2
出现光斑阶次	AS_1 ~ AS_3	AS_1 ~ AS_5	AS_1 ~ AS_8	AS_1 ~ AS_7	AS_1 ~ AS_5

在可见光和紫外光波段内, 使用 AAS_1 型原子吸收分光光度计和 AC15/5 型复射式检流计检测了由移频器输出的各级频移光的波长。 AAS_1 型原子吸收分光光度计的波长精度为 ± 0.1 nm。检测波长时使用的 H_2 气压力为 8 atm, 泵浦能量为 26 mJ。测定实验结果列于表 2 中。

表2 在 8 atm H_2 气压力下检测到的各阶频移光的关系

频移光阶次	S_1	AS_1	AS_2	AS_3	AS_4	AS_5	AS_6	AS_7	AS_8
中心波长 (nm)	688	435.7	368.9	319.8	282.3	252.7	228.6	208.8	192.1

对于较高阶斯托克斯频移光, 因缺少合适的上转换荧光材料, 无法准确地指示光斑位置, 未对其进行能量测量。关于 S_4 的检测, 我们用的是带有锗窗口的 TGS 型红外摄像管和电视显示器, 摄像管前面还装有锗透镜, 短波极限为 $1.8 \mu m$, 所以 S_3 (波长为 $1.579 \mu m$) 是透不过的。当转动 Pellin-Broca 棱镜使摄像头捕捉到信号光斑后, 将摄像头作前后移动, 但光斑尺寸并无明显变化, 这说明它

是一个激光斑。我们认为它是 S_4 (波长 $4.59 \mu m$) 光斑。此外, 我们对光路中所用的石英材料作红外透测量, 透射曲线表明在 $4.5 \mu m$ 附近微透, 那么, 在强光下完全可以有部分光透过, 这更支持了我们的判定。

三、讨 论

能量转换效率是移频器最重要的指标参数。转换效率的定义是: 从移频器出来的频移光能量与输入的泵浦光能量之比。通过我们的实验研究表明, 主要有以下几个方面的因素影响转换效率:

1. 移频器自身质量的影响。常用的移频器结构形式主要有需用外部聚焦透镜的平面窗口型(简称 A 型)和透镜窗口型(简称 B 型)两种。在同等工艺条件下, A 型比 B 型多损失光能量大约 20%, 而实际使用成本高出大约 30%。RS-I 型移频器结构属于 B 型, 它自身的透光性好, 效率高。

2. H_2 气纯度对转换效率的影响。早期实验中, 由于除气不彻底, 转换效率较低。经过改进后, H_2 气池中的 H_2 纯度提高了, 转换效率有明显改善。

3. 泵浦能量和 H_2 气压力对效率的影响。转换效率与泵浦能量和 H_2 气压力之间有着很复杂的关系, 必须据根所需要的输出阶次(或波长)合理选择泵浦能量和工作气压。

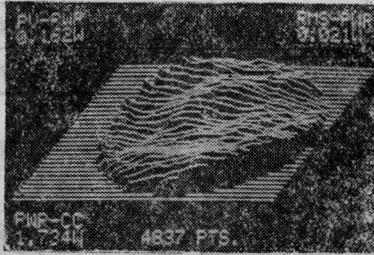
4. 移频器长度对效率的影响。一般说来, 在同样 H_2 气压力和泵浦条件下, 较长的移频器阈值较低, 而较短的移频器阈值较高。阈值高低本身就反映效率高, 因而较长的移频器一般转换效率较高, 但有一定限度。

5. 密封性能对效率的影响。移频器密封性能的好坏, 不仅影响使用安全, 而且直接影响转换效率。RS-I 型移频器采用新的密封工艺, 在 20 atm H_2 气压力下, 已连续使用 18 个月无漏气现象, 安全可靠。

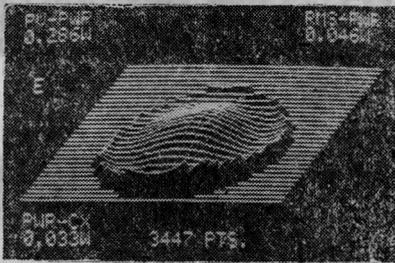
(下转第 358 页)

表 2 由图 2(a)剪切干涉图形采用三种处理方法得到的结果

ν	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Q_{ν}	0	-3.931	-3.273	-2.636	-2.014	-1.162	-0.297	0.508	1.261	1.978	2.614	3.307	
δ_{ν}	重合法	0	0.088	0.127	0.107	0.020	-0.018	-0.001	0.041	0.082	0.104	0.067	-0.002
	平均法	-0.133	-0.005	0.067	0.072	0.003	-0.026	-0.006	0.031	0.060	0.061	-0.004	-0.107
	最小二乘法	-0.059	0.030	0.071	0.052	-0.033	-0.070	-0.051	-0.008	0.035	0.059	0.023	-0.045



(a) $\lambda/7$



(b) 接近 $\lambda/4$

图 4 用 Zygo Mark III 数字干涉仪对序号 B 和 D 傅里叶物镜所得的立体图

($\phi 60 \text{ mm}$) 的剪切干涉图形。由图中可以看出, 在理论计算的处理面范围($\phi 40 \text{ mm}$)内, 波象差控制得很好。图 2(d) 是序号 D 和 E 物镜通常出现的干涉图形, 同样用 Saunders

解析法求得最大峰谷值波象差接近 $\lambda/4$ 。

为了验证上述结果的可靠性, 我们用 Zygo Mark III 数字干涉仪对序号 B 和 D 物镜进行复测。干涉仪上输出的立体图分别示于图 4(a)、(b), 其中 (a) 为序号 B 物镜的结果, 最大峰谷值波象差为 $0.162 W$, 即 $\lambda/7$, 与表 2 所给结果完全一致; (b) 为序号 D 物镜的结果, 最大峰谷值波象差为 $0.286 W$, 即接近 $\lambda/4$, 也与上述结果一致。

乔景文同志协助完成用 Zygo Mark III 型干涉仪复测傅里叶物镜, 在检测北京、天津、上海、杭州等地的傅里叶物镜过程中, 得到了有关人员的支持与协助, 在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] Saunders J. B.; *Appl. Opt.*, 1970, **9**, No. 7, 1923.
- [2] 徐德衍; 《光学与光谱技术》, 1982, No 1, 41.
- [3] D. 马拉卡拉主编, 白国强等译; “光学车间检验”, 机械工业出版社, 1983 年, p. 115.
- [4] Saunders J. B.; *J. R. NBS*, 1964, **68C**, No. 3, 155.

(上接第 361 页)

6. 温度对转换效率的影响。使用低温冷却工作气体对提高转换效率是有益的。据文献[2]报道, 使用液 N_2 冷却可使 AS_7 能量增加一倍。关于我们使用液 N_2 后的定量实验结果, 将在以后的文章中详细报道。

本工作得到刘颂豪、顾之玉、朱景毅、石仑、季春挥、花春贵、杨立书、董成功、李光茂、

詹合英和曹效文等同志的热情帮助和大力支持; 胡象魁、陈文琢和钱军等同志参加了部分工作, 在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 郭奕理等; 《物理学报》, 1985, **34**, No. 1, 24.
- [2] D. J. Brink, D. Proch; *Laser and Optoelektronik*, 1982, No. 3, 41~48.