

文章编号 : 0258-7025(2001)03-0229-03

# 无固体窗口的受激拉曼放大器<sup>\*</sup>

楼祺洪 徐剑秋 董景星 魏运荣 李铁军

(中国科学院上海光机所 上海 201800)

**提要** 研究了用气体折射率和密度与空气接近的无固体窗口受激拉曼散射放大管的拉曼放大特性,并研究了它对光束质量的影响。

**关键词** 受激拉曼散射,准分子激光,光束质量

**中图分类号** :O 437.3 **文献标识码** :A

## Stimulated Raman Amplifier Using Raman Cell without Solid Window

LOU Qi-hong XU Jian-qiu DONG Jing-xing WEI Yun-rong LI Tie-jun

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

**Abstract** The characteristics of Raman amplifier are investigated in a Raman cell without solid windows. The Raman medium is a mixed gas with gas mixture and reflective index near that of air. The effects of gas flow on beam quality are also studied.

**Key words** stimulated Raman scattering, excimer laser, beam quality

## 1 引 言

在高功率准分子振荡-放大系统之后,为了改善光束质量,利用受激拉曼散射是一个重要的方法<sup>[1]</sup>。但是随着功率密度的提高,拉曼池窗口破坏是一个重要的技术问题。用融石英作窗口的拉曼池,在波长 248 nm 处的破坏阈值仅为  $2 \text{ J/cm}^2$ <sup>[2]</sup>,因而限制了总体能量及功率水平的提高。尤其当采用多束抽运光同时抽运时,抽运光之间的干涉会形成一些峰值较高的强区,更易损坏窗口。

本文设计了一种利用安装在拉曼池两端的两个快门来取代通常使用的固体窗口,在平时快门关闭,拉曼气体被封闭在拉曼池中,在激光抽运光到达前,打开快门,拉曼池中充有与环境气体密度一致的拉曼气体,因此快门打开后气体间扩散速率很低。同时设计中用混合气体效应使它的折射率与空气接近,使气流造成的光束形变尽量减小。这一设计能很好地进行拉曼放大。该系统适合于单脉冲高功率装置,在两个脉冲之间关闭快门更换气体即可达到目的。

## 2 无固体窗口的受激拉曼放大

### 2.1 实验装置

在受激拉曼散射实验中,抽运光中的强度亮点将引起 Stokes 光的强烈发散,而且受激拉曼散射中的增益不够大,因此 Stokes 光中的杂散光较多,使受激拉曼散射中的 Stokes 光的光束质量较抽运光的光束质量差。再加上准分子激光本身的光束质量就很差,因而很难由受激拉曼散射中 Stokes 光的光束质量的变化判断出气体流动对 Stokes 光的光束质量的影响。

在受激拉曼放大实验中,Stokes 种子光先经空间滤波器滤波,得到较好的 Stokes 光束质量,然后 Stokes 种子光注入拉曼池中,输出的 Stokes 光的光束质量在理想情况下,应保持与注入 Stokes 种子光相同的光束质量。由于在无固体窗口的拉曼池中气体的流动对输出的 Stokes 光的光束质量的影响必然导致光束质量的下降。本节利用 KrF 准分子激光器抽运甲烷混合气体,研究无固体窗口的拉曼池中光束质量的变化。

实验装置示意图见图 1。抽运源为 LPX-150 型 KrF 准分子激光器,其输出的抽运光的光束质量因子  $M^2 = 4.5$ ,  $M^2$  因子定义为  $M^2 = (k/2) (w_F w_L / F)^{31}$ ,其中  $w_F$  为光束聚焦后的光斑半径, $w_L$

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金(编号 69788003)资助项目。

收稿日期:1999-10-25;收到修改稿日期:1999-12-07

为入射光束半径  $r$ ,  $F$  为透镜焦距,  $k$  为常数。拉曼振荡器由长 83 cm 直径 3 cm 的不锈钢管组成, 拉曼放大器由长 100 cm 直径 3 cm 的不锈钢管构成。抽运光的一部分 (50 mJ) 经分光镜分出, 用作拉曼振荡器的抽运光, 其余的光 (200 mJ) 用作拉曼放大器的抽运光。拉曼气体为 90% 的甲烷和 10% 的氮气的混合气体, 其与空气的微分密度差约为 32%。由拉曼振荡器输出的 Stokes 光经一个空间滤波器滤波后, Stokes 种子光的光束质量为  $M^2 = 1.3$ , 能量为 0.3 mJ。由拉曼放大器输出的 Stokes 光为避免棱镜分光对光束质量的影响, 用平面双色镜滤掉剩余抽运光, 然后对 Stokes 进行测量。

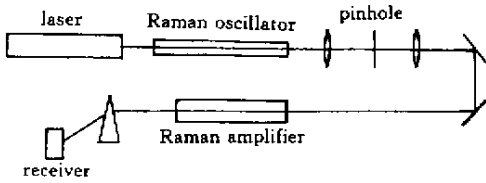


图 1 拉曼放大实验装置图

Fig.1 Experimental set-up for Raman amplifier

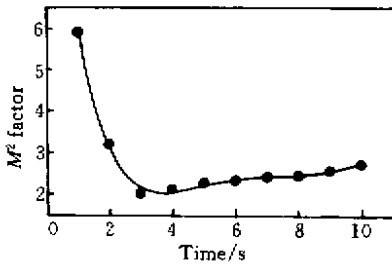


图 2 斯托克斯光束质量随时间的变化

Fig.2 Beam quality of Stokes output vs time

### 2.2 实验结果与分析

光束质量由多次测量透镜聚焦前后打在热敏纸上的斑点的直径经平均后得到。输出 Stokes 光的光束质量随时间的变化见图 2。在快门打开之初 (前 3 s) Stokes 光的光束质量有明显的下降, 其原因正如前面所述, 由于快门抽拉对气体的扰动引起的。在 3 s 时, Stokes 光的光束质量为  $M^2 = 1.9$ , 相对于输入的种子光其光束质量已没有明显的劣化, 而其差异可能来自于聚焦抽运方式对 Stokes 光的光束质量的干扰, 说明在此情况下, 拉曼放大的光束净化效果并未因气体的流动有明显影响, 其效应相对于拉曼过程其他效应对光束质量的影响在一定时间段内可以忽略。相应地, 输出 Stokes 光的能量为 3 mJ 是输入光的 10 倍, 说明 Stokes 光得到了有效的放大。

图 3(a)和(b)分别为典型的输入 Stokes 光和 5 s 时的输出 Stokes 由  $f = 20$  mm 的透镜聚焦后打在热敏纸上的斑点形状。此形状即 Stokes 光的远场能量分布。在激光打靶及激光加工等应用中, 激光的可聚焦性至关重要, 对比图 3(a)和(b), 可以发现受激拉曼放大的光束净化效果并未因无固体窗口的拉曼池中的气体流动发生明显的弱化。

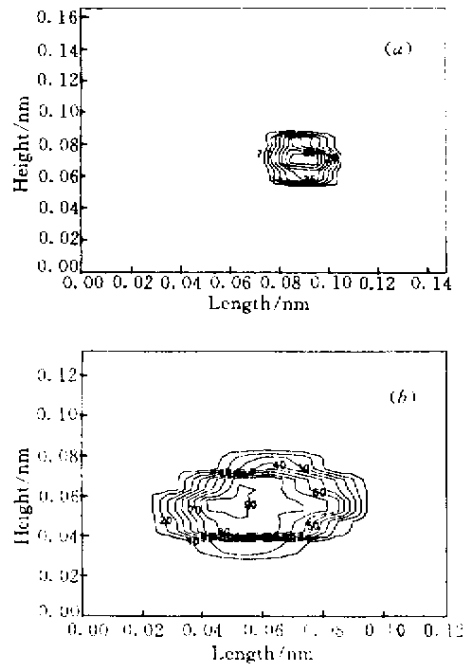


图 3 聚焦束斑

(a)输入斯托克斯光束 (b)放大后的斯托克斯光束

Fig.3 Focused beam pattern

(a)input Stokes beam ; (b) amplified Stokes beam

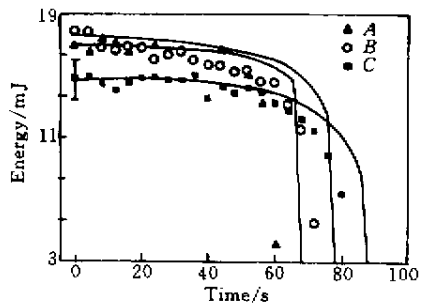


图 4 采用无固体窗口拉曼池时, 斯托克斯光强随时间的变化

Fig.4 Stokes output vs time by using Raman cell without solid window

从实用的角度出发, 研究气体窗口的工作稳定性是十分重要的, 图 4 给出三种混合气体 (A) Kr (10%) + H<sub>2</sub>(90%), (B) Kr(20%) + H<sub>2</sub>(80%) 和

(C)H<sub>2</sub>(100%)情况下斯托克斯能量随阀门打开后时间的变化。上述混合气体与空气之间密度差分别为62%、32%和92%。从实验结果可见,密度差愈大,在一定时间范围内(如60 s内)稳定性愈差,计算上述三种情况下的稳定性分别为13%、6%和16%。在密度差进一步改善以后,稳定性可进一步提高。另一方面,受激拉曼放大转换效率的稳定性亦可以得到进一步改善。在上述实验中还观察了斯托克斯的脉冲宽度变化,结果表明,脉宽变化幅度小于能量变化的幅度。

### 3 讨 论

在高功率受激拉曼放大实验中,拉曼池窗口的损伤严重限制了抽运功率的提高,尤其是当拉曼池窗口镀有增透膜时更是如此。即使在低功率下,拉曼池窗口的损坏也会由于聚焦及其他光学器件的反射而经常发生,使拉曼放大器的运转费用大幅度增加。利用快门及平衡拉曼气体的方案,避免昂贵的拉曼池窗口的损坏不失为一种可行的措施。

本文对无固体窗口的拉曼池的工作性能进行了实验研究。并从空气动力学出发,研究了无固体窗口拉曼池中气体流动对光束质量的影响。在低功率情况下,发现无固体窗口的拉曼池因气体的流动在初始阶段对拉曼过程的转化效率,Stokes光的光束质量影响较小,与其他因素相比时,这些影响基本可以忽略。高功率区的实验还在进行之中。

对于高功率抽运的情况,由于拉曼池的直径相

对较大,拉曼气体(一般为甲烷、氢气等易燃易爆气体)的泄漏有可能引起拉曼气体的爆炸,此时在拉曼气体与空气之间应当插入一个由惰性气体组成的隔离区。另一方面,高功率激光器从触发到出光直到抽运光注入拉曼池中,约需3 s时间,这足够打开拉曼池的快门并等候气体的平衡,并且其抽运激光与拉曼池快门的同步也很容易做到。当拉曼池运转十几次后应重新换气,以保证拉曼池中气体的纯度,获得高增益的拉曼输出。

当抽运激光器以脉冲方式工作时,大功率激光器的脉冲间隔较长(约10 min左右),拉曼池应重新关闭使拉曼气体再平衡。为保证无固体窗口的拉曼池稳定运行,应控制周围环境的空气流动、温度起伏和低频振动。

虽然无固体窗口的拉曼池是为拉曼受激放大设计的,但将其稍作改动即可用于其他以气体作工作介质的高功率放大器、激光器和振荡器。

### 参 考 文 献

- 1 M. J. Shaw, J. P. Partanen, Y. Owadano *et al.*. High-power forward Raman amplifiers employing low-pressure gases in light guides. II. Experiments. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1986, **3** (10):1466~1475
- 2 J. M. Telle, R. G. Wenzel. High-efficiency first-Stokes generation from XeF pumped CH<sub>4</sub>. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1986, **3** (10):1489~1491
- 3 T. T. Lay, S. Wada, H. Tashiro *et al.*. Relation of pump-beam quality and conversion efficiency in the Raman downward conversion. *Appl. Phys. B*, 1996, **62** (1):59~64