

XeCl 激光泵浦高压氢的衍射极限 SRS 斯托克斯光输出*

楼祺洪 成序三 王润文

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

提 要

利用 XeCl 准分子激光在高压氢中产生受激喇曼散射获得峰值功率为 0.2 MW、衍射极限发散角的一阶(353 nm)斯托克斯输出,并研究了泵浦激光发散角对受激喇曼散射转换效率的影响。

关键词: 受激喇曼散射, 衍射极限输出。

一、引 言

准分子激光的喇曼整形(Beam clean up)是获得高质量紫外相干光束的重要手段,它是八十年代中期发展起来的新技术^[1]。这种技术首先在单程喇曼管中提取第一阶斯托克斯光的衍射极限成份,把这个高质量的光束作为注入信号注入另一个喇曼管,从而获得高效率的斯托克斯光输出,这种输出光保持注入信号的光束质量。如果注入信号具有衍射极限的光束特性,则整形以后的高能斯托克斯光束同样具有衍射极限的光束特性。

将输出波长为 308 nm 的 XeCl 准分子激光会聚到高压氢气作非线性介质的喇曼池中,第一阶斯托克斯光的波长为 353 nm; 同样处于近紫外区。本文的目的在于研究泵浦光束能量、氢气压力对受激喇曼散射转换效率的影响,由于整个转换过程中会出现高阶斯托克斯光及其四波混频过程,需要确定产生最佳一阶斯托克斯光的条件。在此基础上,着重研究作为喇曼整形注入信号源的第一阶斯托克斯光中衍射极限成份的提取,采用平面平行腔及非稳腔作泵浦源,分析泵浦光光束质量对第一阶斯托克斯光衍射极限成份及其光束质量的影响。为喇曼整形实验提供了性能良好的注入源。

实验结果表明,采用平面平行腔及非稳腔的 XeCl 准分子激光,虽然在总体喇曼转换效率上有很大的差异,但都能得到能量为 10 mJ 量级的、衍射极限发射角的一阶(353 nm)斯托克斯光输出。为了提高提取效率,我们还设计了空间滤波装置,使衍射极限一阶斯托克斯光的提取效率提高 1/3 左右。

二、实验装置

图 1 给出实验装置图,泵浦光来自一台 X 光子电离准分子激光器,输出波长为 308 nm。

收稿日期: 1987年2月27日; 收到修改稿日期: 1987年7月8日

* 本工作获得国家自然科学基金会资助。

采用两种形式的光学谐振腔。当采用平面平行谐振腔时, 光束发散角约为 2 mrad ; 当采用正支共焦非稳腔时, 光束发散角减小到 0.3 mrad 。

喇曼池长 110 cm 由不锈钢管制成, 氢气压力可从一个大气压变化到 17 个大气压。喇

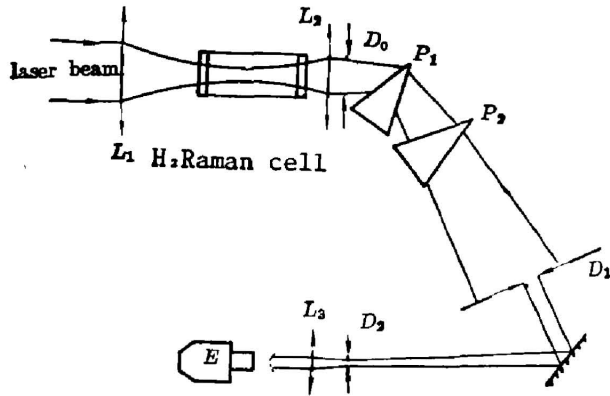


Fig. 1 Experimental set up for stimulated Raman scattering

曼池的窗口为两块石英板, 石英板两面均涂有 308 nm 波长的增透介质膜, 对 XeCl 泵浦激光的总反射率小于 2% 。

图 1 中 L_1 为会聚正透镜, 焦距长度为 100 cm , 用于泵浦光的聚焦作用。 L_2 为准直透镜, 焦距长度为 50 cm 。当 L_1 和 L_2 处于共焦配置时, 可得到斯托克斯平行光输出; 当两者略偏离共焦配置时, 组合成一个长焦距的组合正透镜。

P_1 和 P_2 为两个 60° 三角棱镜, 用于对泵浦光及各阶斯托克斯光进行分束。光阑 D_2 用于提取斯托克斯光中的衍射极限分量。透镜 L_3 及能量计 E 用于激光束及各阶斯托克斯光束的能量测量。

三、实验结果和讨论

1. 单程受激喇曼散射第一阶斯托克斯光最大输出的条件

在文献[2]中, 我们曾采用图 1 所示的实验装置, 准分子激光的光学谐振腔为平行平面腔, 由于光束质量较差, 发射角较大, 总的喇曼能量转移效率约为 20% 左右, 其中占主要成份的是一阶斯托克斯光。为了对比泵浦光光束质量对受喇曼散射的影响, 我们采用正支共焦非稳腔, 此时总的喇曼能量转移效率可达 55% 左右, 若以量子效率计算, 最大量子效率可达 90% 以上。在上述转换过程中, 对一阶斯托克斯光的转换效率依赖于泵浦功率密度以及氢气压力, 为此我们进行了系统的测量。

图 2 给出喇曼池氢气压力对各种转换效率的影响, 此时激光泵浦能量 E_{p0} 维持不变为 900 mJ , 峰值功率为 18 MW 。当我们测量第一阶斯托克斯光能量 E_{s1} 随氢气压力变化的数值后, 可以求得第一阶斯托克斯光的能量转换效率 η_{s1} 。令第 i 阶的斯托克斯光能量为 E_{si} , 在实验中我们观察到五阶斯托克斯光输出, 则总的能量转换效率可表达为

$$\eta_s = \sum_{i=1}^5 E_{si} / E_{p0}$$

在两块棱镜后面, 我们还可以测量到剩余的泵浦光能量 E_p , 由此可求得泵浦光的能量倒空率为

$$\eta_p = E_p / E_{p0}$$

图 2 给出 η_s 、 η_{s1} 和 η_p 随氢气压力的变化。当气压大于 5 个大气压后 η_s 与 η_p 几乎保持不变, 但在低气压区 η_s 较小, η_p 较大。如果我们考虑到受激喇曼散射的光量子数。令第 i 阶

的斯托克斯光的光子能量为 $h\nu_i$, 则第 i 阶斯托克斯光的量子数为

$$N_i = E_{s_i} / h\nu_i,$$

令泵浦激光的光量子数 N_{p0} 为 ($h\nu_p$ 为泵浦光子能量)

$$N_{p0} = E_{p0} / h\nu_p,$$

则受激喇曼散射总的量子效率为

$$\eta_0 = \sum_{i=1}^n N_i / N_{p0},$$

从图 2 η_0 曲线可知, η_0 随氢气压力升高而增大, 在氢气压力为 17 atm 时, η_0 高达 90% 左右, 此时泵浦光大部分被倒空。这是由于随着氢气压力的升高, 低阶斯托克斯光向高阶斯托克斯光转换, 由于氢气的喇曼频移较大, 使总的能量转移效率趋于饱和。

对于我们感兴趣的一阶斯托克斯光的转换效率, 它随着氢气压力的增高而减小。由此可见, 在高功率激光泵浦时, 要获得尽可能多的第一阶斯托克斯光, 氢气压力不宜过高, 一般应低于三个大气压。

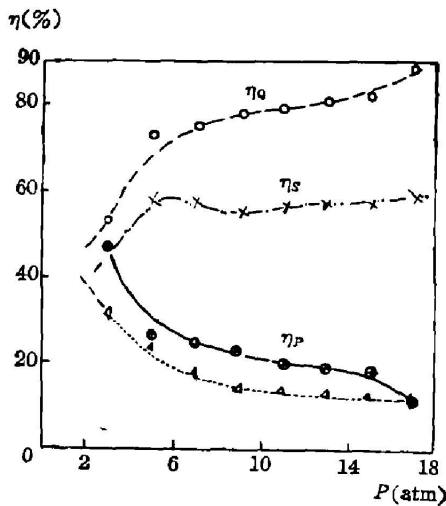


Fig. 2 SRS efficiencies and pumping laser depletion efficiency as the functions of hydrogen gas pressure

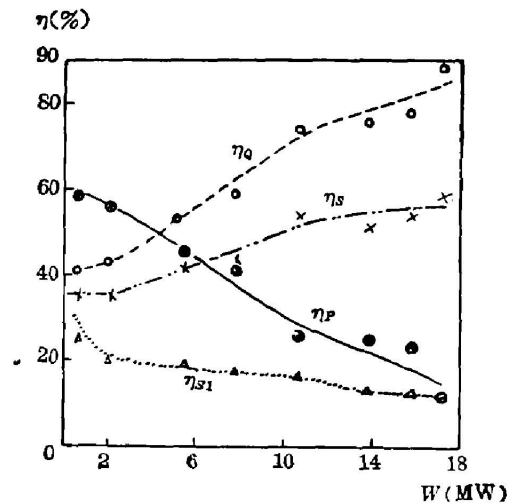


Fig. 3 SRS efficiencies and pumping laser depletion efficiency as the functions of pumping laser power.

在确定了合适的喇曼池氢气压力后, 我们还希望确定合适的泵浦光功率。图 3 给出 η_0 、 η_{s1} 、 η_P 和 η_0 随泵浦功率的变化曲线, 此时固定喇曼池的氢气压力为 17 atm。从曲线可知, η_s 和 η_0 都随泵浦功率的升高而升高, 对于第一阶斯托克斯光的转移效率 η_{s1} 则随泵浦功率的升高而减小, 这是由于在高泵浦功率下, 一阶斯托克斯光被高阶斯托克斯光倒空的结果。因此要获得一阶斯托克斯光较大的转移效率可以采用两种方法: 一种是较低的氢气压力、较高的泵浦功率; 一种是较高的氢气压力, 较低的泵浦功率, 两者均可获得较好的结果, 在我们的实验条件下, η_{s1} 可在 40% 左右。

2. 一阶斯托克斯光中衍射极限发散角光束的提取

在一阶斯托克斯光中提取衍射极限发散角的光束, 可以采取空间滤波的方法。在图 1 中的光阑 D_2 就是起这个作用的, D_2 的位置一般位于斯托克斯光的焦平面上, 此时由 L_1 和

L_2 两个透镜组成一个等效的长焦距透镜, 光阑 D_2 的孔径可以在 $100 \sim 400 \mu\text{m}$ 内变化。

经过空间滤波后的光束具有良好的方向性, 为了测量它们的空间分布, 在光阑 D_2 后面放置一个微能量计, 将光阑 D_2 在 x, y 方向扫描, 测量不同扫描位置下的能量分布。图 4 给出它的实验结果。图 4(a) 是用平面平行激光腔的激光束泵浦时一阶斯托克斯光的空间分布; 图 4(b) 是用正支共焦非稳腔的激光束泵浦时, 一阶斯托克斯光的空间分布。其半宽度分别为 0.3 mm 和 0.18 mm 。采用非稳腔输出的激光束作泵浦源能获得更好的效果。

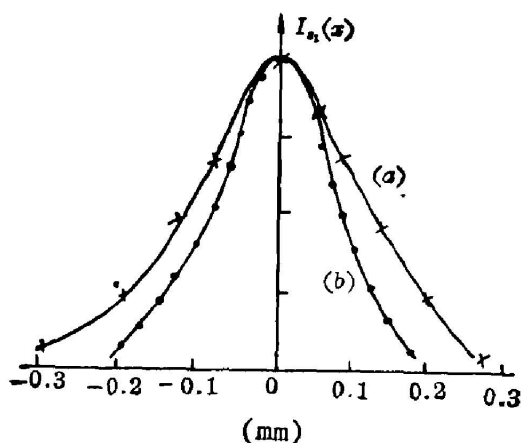


Fig. 4 Laser beam profiles of the first Stokes SRS output

- (a) for pumping laser with planeparallel optical cavity;
- (b) with unstable optical cavity

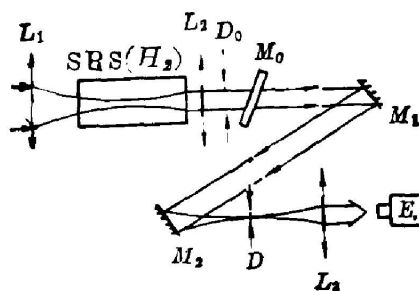


Fig. 5 Experimental arrangement using bicolour mirror as the spectroscopic element

但是我们如果注意到采用平行平面腔的激光束发散角要比非稳腔激光束发散角大近一个数量级, 表明在受激喇曼散射过程中, 泵浦光的高阶空间分量并不起大的作用, 只是那些能获得高聚焦功率密度的低阶空间分量才对斯托克斯光的有效转换有大的贡献。

在上述实验的光路中, 由于两块棱镜的作用, 会使一阶斯托克斯光的 x 方向空间分布比 y 方向展宽, 这是由于自由振荡的 XeCl 准分子激光线宽为 10 \AA 量级, 一阶斯托克斯光的线宽也具有同样的数量级, 光束通过两个色散棱镜会使一阶斯托克斯光在水平方向 (x 方向) 发散角展宽。为此, 我们改进了分光系统的设计, 我们采用图 5 的实验装置进行分光, 图中 M_0 为一块双色片, 它对泵浦光的反射率达 99% 以上, 对一阶斯托克斯光透过率为 40% 左右。 M_1 和 M_2 为一阶斯托克斯光 (353 nm) 的全反射镜, 而对二阶以上斯托克斯光的反射率小于 10% , 经过 M_1 和 M_2 二次反射, 高阶斯托克斯光只剩下 1% 左右, 这样从空间滤波光阑 D 中透过的光基本上全部是一阶斯托克斯光。采用上述办法, 减小了光路中棱镜的吸收损耗, 使衍射极限一阶斯托克斯光的提取效率提高了三分之一, 同时使它在 x 方向的空间分布与 y 方向基本一致, 有利于作为注入信号源的应用。衍射极限发散角的一阶斯托克斯光的峰值功率为 0.2 MW 。

参 考 文 献

- [1] R. S. F. Chang *et al*; *IEEE J. Quantum. Electron.*, 1985, QE-21, 5 (May), 477~487.
[2] 楼洪洪等;《光学学报》, 1985, 5, No. 12 (Dec), 1069~1073.

Diffraction-limited SRS Stokes output from high pressure hydrogen pumped by XeCl laser*

LOU QIHONG, CHENG XUSAN AND WANG BENWEN

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

(Received 27 February 1987; revised 8 July 1987)

Abstract

Diffraction-limited Stimulated Raman Scattering (SRS) first Stokes output with peak power of 0.2 MW was obtained from high pressure hydrogen pumped by XeCl excimer laser. The effects of pumping laser beam spread angle on the transfer efficiencies of SRS were investigated.

Key words: Stimulated Raman Scattering; diffraction-limited output.

* This work was supported by the Nature Science Fundation of China.