

聚焦参量对斯托克斯光远场 发散角的影响*

楼祺洪 宁 东 董景星

(中国科学院上海光机所 上海 201800)

提要 测量了准分子激光泵浦氢气产生一阶斯托克斯光的远场发散角。结果表明光束质量基本不随氢气压力变化,主要由泵浦光泵浦聚焦参量确定。

关键词 受激拉曼散射, 光束质量, 准分子激光

1 引 言

紫外高功率激光系统已在国际上引起了广泛的重视,各项技术也日趋成熟。英国卢瑟福实验室^[1,2]运用矩形光导组束放大技术,在 268 nm 波长成功地获得了单脉冲能量 4.5 J,远场发散角 20 μrad (约 5 倍衍射极限)的高质量斯托克斯输出光束,系统的总体能量转换效率接近 50%。此项技术在受控核聚变、化学同位素分离、等离子体 X 射线等领域中有广泛的应用前景。准分子激光泵浦的气体拉曼散射-放大系统主要包括振荡(拉曼种子源)、预放大和组束放大三个部分。其中振荡源要求高质量的斯托克斯种子光,对整个系统的实现有着重要的意义。我们利用北京原子核研究所的 LPX-150 型 KrF 准分子激光器,对氢气拉曼种子源进行了深入的实验研究^[3,4],获得了全面详尽的实验数据。实验主要测量了各种实验条件下(拉曼池气压、泵浦能量、泵浦聚焦参数)拉曼种子源输出斯托克斯光的能量转换效率、阈值泵浦能量和光束质量。这些数据对于深入理解气体中受激拉曼散射过程,优化拉曼种子源设计参数是不可缺少的。其中泵浦聚焦参数对种子源的影响在以往的类似实验中往往被忽略,但我们的实验结果表明泵浦聚焦条件对斯托克斯能量转换效率、拉曼池气压、输出光束质量和高阶拉曼转换过程均有重要的影响,是优化种子源设计时必须考虑的重要参数。

2 实验及结果

实验中使用的泵浦光源为北京原子核研究所提供的一台德国 Lambda 公司生产的 LPX-150 型 KrF 准分子激光器,激光波长为 248 nm,线宽为 0.5 nm,输出脉宽为 23 ns(FWHM),单脉冲最大能量为 160 mJ,最大重复率为 100 Hz,输出光束截面 $1 \times 2 \text{ cm}^2$,远场发散角约为 0.4 mrad。该激光器由振荡源、放大两部分组成,由于采用了计算机反馈电压控制,输出能量非

* 863-416 支持项目。

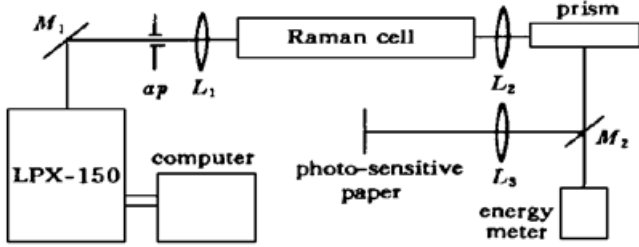


图 1 实验装置

Fig. 1 Experimental set-up

常稳定, 脉冲能量起伏为 $\pm 5\%$ 。控制计算机可对输出能量进行实时监测, 并可通过改变放大级电压方便地调节输出能量(12~160 mJ)。

矩形限束光阑($ap0.8 \times 0.8 \text{ cm}^2$)置于激光器输出光束的中间部分, 实验测得光束远场发散角约为 0.2 mrad, 最大泵浦能量为 70 mJ。泵浦光束由透镜 L_1 聚焦在拉曼池中心, 透镜焦距 $F = 100, 60, 30 \text{ cm}$ 。拉曼池长 70 cm, 窗口直径为 8

cm, 最高氢气压为 9 atm。拉曼池输出光束经透镜 L_2 准直后, 由一组分光棱镜使剩余泵浦和各阶斯托克斯光分离。一台 PT-1 型激光功率能量计测量输出的斯托克斯光能量, 泵浦光能量由控制计算机提供, 并经过实验测量校准。

测量不同实验条件下输出一阶斯托克斯光的远场发散角。发光后准直的一阶斯托克斯光束由长焦距透镜 L_3 聚焦, 光敏纸在焦点处接收到的焦斑由 600DPI 的灰度扫描仪转化为 256 级灰度图像输入计算机。由图象的 $1/e$ 灰度变化决定焦斑尺寸, 根据焦斑大小和透镜焦距即可求得光束远场发散角(这里定义强度下降到中心峰值 $1/e$ 的宽度为远场发散角)。

表 1 为透镜焦距分别为 100, 60 和 30 cm 时, 在不同气压下测得的一阶斯托克斯光的远场发散角。实验结果表明, 一阶斯托克斯光束质量主要由泵浦光聚焦条件决定, 基本上与气压无关。

表 1 聚焦参数对一阶斯托克斯光光束质量的影响

Table 1 Influence of focus parameters on quality of one-order Stokes beam

focus length (cm)		gas pressure /atm	measured focus length of L_3 /cm	far field spread angle/mrad	diffraction limited beam spread angle (DL)/mrad	beam spread angle (XDL)
L_1	L_3					
100	60	8	58	2.12	0.135	16
		6		2.09		15
		4		1.86		14
		2		1.97		15
60	100	8	114	1.25	0.112	11
		6	108	1.28		11
		4	110	1.38		12
		2	114	1.06		9.5
30	100	8	98	0.97	0.045	22
		6		0.99		22
		5		0.80		18
		4		0.73		16

3 分析和讨论

根据表 1 中的数据, 光束质量基本不随气压变化, 主要由泵浦聚焦参数决定。 $F = 60 \text{ cm}$ 时光束质量最好, 约 11 倍衍射极限发散角; $F = 100 \text{ cm}$ 时次之, 约 15 倍衍射极限; $F = 30 \text{ cm}$ 时最差, 约 20 倍衍射极限。通常认为长焦距对提高光束质量有利, 目前对实验中 $F = 100 \text{ cm}$

时光束质量的下降还不能作出令人满意的解释。一种可能的原因是 100 cm 长焦距使得拉曼散射过程中的四波混频过程增强, 产生的一阶发散斯托克斯分量使光束质量下降。

根据我们的实验, 泵浦聚焦参数对拉曼种子的各项特性均有较强的影响, 在优化系统设计时必须作为重要参数加以考虑。在最佳聚焦参数 ($F = 60$ cm) 时, 实验获得的最高一阶转换效率大于 30%, 光束质量约 11 倍衍射极限, 最大一阶斯托克斯输出能量为 45 mJ(泵浦能量为 160 mJ, 氢气气压为 3 atm)。在现有的实验条件下(主要是拉曼池最高气压限制), 改善拉曼种子源主要有两种途径: 使用高质量的消球差透镜, 减小泵浦光束畸变; 使用焦距更长的透镜 ($F > 300$ cm), 使得聚焦光束夹角小于四波混频角(9 atm 时约为 2.5 mrad), 从而抑制一阶斯托克斯能量向高阶分量的转换, 提高一阶能量的转换效率。

致谢 感谢 401 所在实验条件上的大力支持。

参 考 文 献

- 1 N. J. Everall, J. P. Partanen, J. R. M. Barr *et al.*. Threshold measurements of stimulated Raman scattering in gases using picosecond KrF laser pulses. *Opt. Comm.*, 1987, **64**(4) : 393~ 397
- 2 J. P. Partanen, M. J. Shaw. High-power forward Raman amplifiers employing low-pressure gases in light guides. Theory and applications. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1986, **3**(10) : 1374~ 1389
- 3 J. C. van der Heuvel, F. J. M. van Putten, R. J. L. Lerou. The stimulated Raman scattering threshold for a nondiffraction-limited pump beam. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1992, **28**(9) : 1930~ 1936
- 4 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

Effects of Focus Parameters on the Far-field Beam Spread Angle of Stokes Output

Lou Qihong Ning Dong Dong Jingxing

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

Abstract The experimental results of the far-field beam spread angle of the first Stokes output of a KrF/H₂ Stimulated Raman Scattering system are presented. The effects of focus parameters on the beam spread angle of the first Stokes output are discussed.

Key words stimulated Raman scattering, beam quality, excimer laser