

光导中喇曼放大实验的观察

王月珠 鞠有伦 许军 崔瑛 王骥 马祖光
(哈尔滨工业大学光电子技术研究所, 哈尔滨 150006)

提 要

本文报道了光导中单束激光无聚焦多次反射激励喇曼介质 H_2 , 使得同步入射的 H_2 的斯托克斯种子光得到耦合放大, 放大系数大于 2, 并且光束质量明显提高

关键词 光导, 喇曼放大, 光束质量

1 引 言

用非线性效应改善光束质量是目前激光工程应用中一个重大课题, 特别是利用受激喇曼散射(SRS)和受激布里渊散射(SBS)来改善光束质量收到明显的效果, 国内外已有较多报导^[1-4]. 文献[3]中曾用多光束激活光导中介质, 放大一级斯托克斯种子光, 获得优质激光输出. 而本文报道了用光束质量很差的单光束入射光导中. 在其中多次反射激励光导中高压 H_2 , 同时输入 H_2 的一级斯托克斯光, 经过多次交叉耦合, 实现了斯托克斯光的放大, 已获得了 2~5 倍放大, 所得的输出脉宽压缩, 光束均匀, 束散角为泵浦光的 1/36 倍, 实验证明了这种光导喇曼放大技术对光束质量的改善有一定效果.

2 实验装置与实验条件

实验装置如图 1 所示, 实验中采用两路同步触发的红宝石激光器, 激光器 I 经过会聚, 泵浦高压 H_2 产生受激喇曼散射, 并提取其一级斯托克斯光为种子光, H_2 纯度为 99.9%. 种子光经透镜组准直成平行光束入射到光导池中, 激光器 II 用于激活光导中喇曼介质高压 H_2 , 激光 II 光束质量较差, 束散角为 26 mrad. 脉宽为 90 ns, 激光 I 通过入射镜斜入射到光导中, 以不同的入射角来控制光导中反射次数, 光导壁是镀铝镜, 反射率为 76%, 光导池长 1.2 m, 放置在内充高压 H_2 的钢管中.

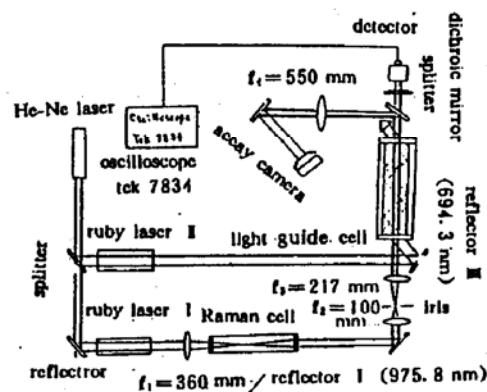


Fig. 1 The set-up for forward amplification of Stokes seed beam in a light guide

收稿日期: 1992 年 9 月 20 日; 收到修改稿日期: 1992 年 11 月 25 日

* 本课题获国家自然科学基金资助.

实验中调试泵浦光与种子光间的时间关系,使种子光略为滞后泵浦光,以确保在整个光导中有最佳放大效果.种子光进入光导前用滤光片滤掉其它高级次斯托克斯成份,避免光导内激活介质向这些成份的能量转移.

测量能量用 ED-500, ED-200,接 Tek 7834 示波器,实验中分别测量加与不加放大泵浦光时(激光 I),斯托克斯种子光和放大光能量 E_s, E_{SA} 两者比值为放大倍数 K ,这其中特别要注意滤掉通过光导管后,放大泵浦光剩余能量,避免造成 E_{SA} 测量误差,当然由于泵浦光出射有一角度,它与放大光会自然分开,但为保险起见,还要再加一长通滤光片滤掉泵浦光等杂散光,保证 K 值测量程度.测量束散角用阵列相机,测量脉宽用单色仪加 RCA 8852,光电倍增管接 Tek 7834 示波器观测

3 实验结果及分析

3.1 斯托克斯光放大倍数

图 2 给出了在两种气压下测得的放大倍数曲线.其中脚标 1,2,分别对应 1.6 MPa 和 3.6 MPa 时测量结果,当 1.6 MPa H_2 作光导中激活介质时,发现放大不明显,实验采取 3 点措施.

- 1) 进一步提纯斯托克斯光,滤掉其它成份;
- 2) 提取斯托克斯光单模优质小信号光作为种子光(用空间滤波),并尽量利用小信号增益较大的特点来提高种子光放大倍数.
- 3) 加大光导池中 H_2 的压强.

于是,放大效果明显增加,图 2 中脚标为 2 的 E_{SA2}/E_{S2} 较之 E_{SA1}/E_{S1} 增加了许多

图 3 为种子光与放大光同步增长情况,可见不同气压情况下,提高种子光能量时放大光的生长有不同的规律,气压高时会呈现指数增长的趋势.

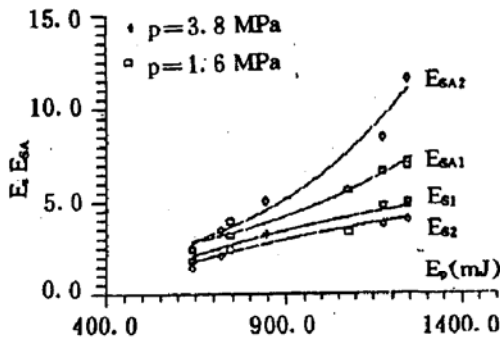


Fig. 2 The variation of energies E_s, E_{SA} vs E_p

S—Stokes seed beam, SA—amplified beam,
P—pumping laser

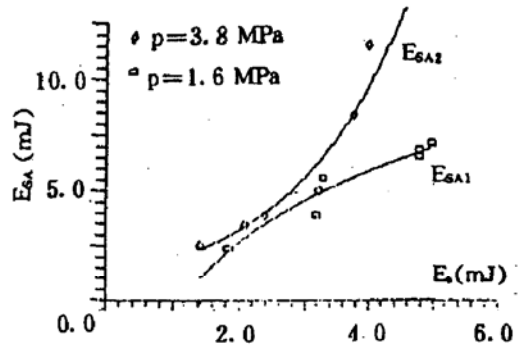


Fig. 3 The variation of energies E_{SA} vs E_s

由图 2,图 3 可得出,前向喇曼放大倍数随泵浦能量增加而增加,转换效率也同样增加,但两种气压条件下,增长速率不一样,高压情况下增长的快,呈指数增长.

3.2 前向喇曼放大的时间特性

图 4 为测得的泵浦光,种子光,放大光脉宽随泵浦能量变化曲线,由图可发看出,当增加泵浦能量时(通过增加氙灯电压).斯托克斯种子光脉宽有所增加,因而放大光脉宽也略有增加,但两者相对于泵浦光脉宽来说都被压缩了,放大光与种子光相比,也略为压缩.

3.3 前向喇曼放大的空间特性

在前向喇曼放大实验中,有关放大的斯托克斯光,及种子斯托克斯光的光束束散角及光强

横向分布均匀性方面的信息对了解光束质量问题很重要。

在测量束散角时,首先在光导腔入口处,对种子光采取先用小孔光栏滤去高阶模成分,尽量获得种子光的基模,以便与后面测到的放大斯托克斯光进行真实比较。

用列阵相机测得泵浦光,斯托克斯种子光及斯托克斯放大光的束散角,并用图 5 给出束散角随浦能量变化的实验结果,最小的斯托克斯种子光束散角为 1 mrad,放大斯托克斯光束散角为 0.78 mrad,而泵浦光的束散角测得为 28.1 mrad,可见放大的斯托克斯光种子光与斯托克斯种子光比较束散角又有所压缩与泵浦光束散角相比,束散角压缩了 36 倍。

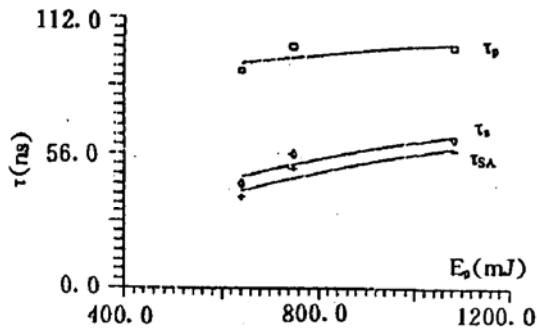


Fig. 4 The variation of pulse duration of pumping laser (τ_p), Stokes seed beam (τ_s) and amplified beam (τ_{SA}) vs pumping energy (E_p)

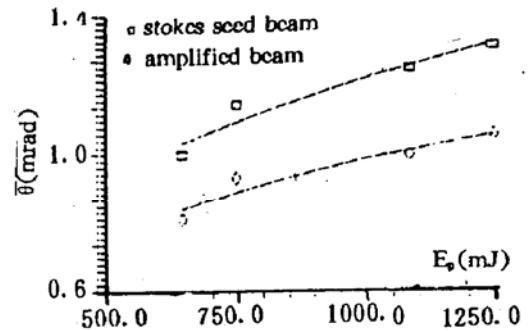


Fig. 5 The variation of divergence of amplified beam vs E_p

并从光斑图可以看出,放大的斯托克斯光能量分布均匀,比泵浦光要改善得多。

4 利用光导放大斯托克斯种子光基本原理

图 6 是利用光导放大斯托克斯种子光示意图,图 7 是光导腔内光路照片,红光为 694.3 nm 泵浦光,绿光为 H_2 的一级反斯托克斯光 538.9 nm (图为 H_2 一级斯托克斯光 975.8 nm 不可见,因此用反斯托克斯绿光拍照作为原理说明),图 8 是光导反射壁为玻璃时,出射口屏幕上的光斑图。

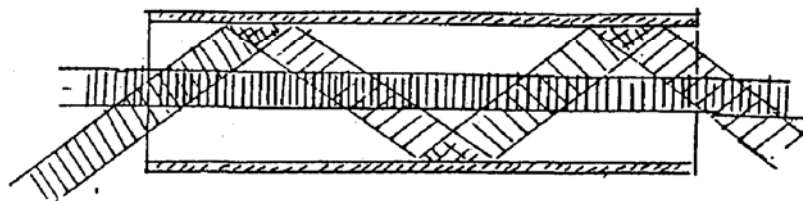


Fig. 6 The principle scheme of amplification of Stokes seed beam in light guide cell

一级斯托克斯种子光经透镜变换成平行光射入光导腔,泵浦光与斯托克斯光有一夹角,它将在光导腔壁上反射着前进,此时,在光导腔内将发生泵浦光,斯托克斯光与光导中喇曼介质激发光(此光最终成为放大的斯托克斯光)的耦合,即这时将发生从泵浦光抽运能量使斯托克斯种子光获得放大的能量转移过程,此时耦合波方程可写为^[5]

$$\frac{\partial E_p}{\partial Z} + \frac{1}{v_p} \frac{\partial E_p}{\partial t} = i \frac{v_f \omega_f}{v_s \omega_s} c_1 q_0 E_s \quad (1)$$

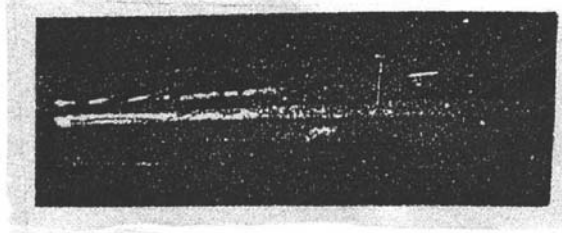


Fig. 7 The photograph of seed beam and pumping laser passing through the light guide

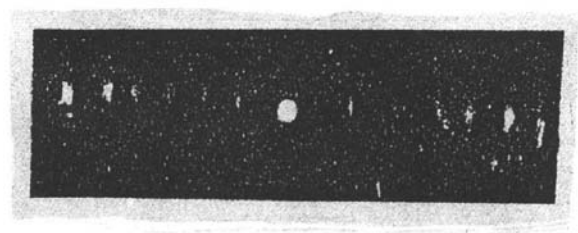


Fig. 8 The photograph of spots at the output of the light guide (when glass without coating is used as reflective wall of light guide)

$$\frac{\partial E_s}{\partial Z} + \frac{1}{v_s} \frac{\partial E_s}{\partial t} = iC_1 q_v^* E_p \quad (2)$$

$$\frac{\partial q_v}{\partial t} + \frac{1}{2} \Gamma q_v = iC_2 E_p E_s^* \quad (3)$$

$$C_1 = \frac{\mu_0 \rho_a v_s \omega_s}{4} \left(\frac{\partial \alpha}{\partial q} \right) \quad C_2 = \frac{1}{2 \omega_0 m} \left(\frac{\partial \alpha}{\partial q} \right) \quad (4)$$

式中 E_p, E_s, q_v 分别为泵浦光, 斯托克斯种子光及介质激发光波场振幅, $(\partial \alpha / \partial q)$ 为分子极化率, Γ 为阻尼系数, ω, v 分别为频率和光导中速度. 当夹角很小, 且光束之间多次交叉时, 泵浦光的倒空将由斯托克斯平均光强决定, 斯托克斯增益由泵浦光束的光强决定, 此时泵浦光产生斯托克斯喇曼增益公式为:

$$I_s(\tau, \psi) = I_0(\tau) \frac{[I_s(\tau, \psi_0) / I_p(\tau, \psi_0)] \exp[\alpha(\tau)(\phi - \phi_0)]}{(v_p / v_s) [I_s(\tau, \phi_0) / I_p(\tau, \phi_0)] \exp[d(\tau)(\phi - \phi_0) + 1]} \quad (6)$$

式中 I, v 为各自的光强, 频率, 由此式可以讨论出对应小信号时, 信号是指数增长, 而斯托克斯光达到饱和时, 也就是泵浦光完全转换到斯托克斯光中, 泵浦光波耗尽. 由于泵浦和斯托克斯光非共线同向传输而产生了类似于宽带喇曼放大的色散效应, 而泵浦光与斯托克斯光模式产生的拍频具有差别很小的波矢, 并可得沿斯托克斯方向的拍频波矢分量 $K_p^* = K_p \cos \theta - K_s$. 可推出

$$\Delta K_p^* = \frac{\Delta \omega_p}{\omega_p} \cos \theta - \frac{\Delta \omega_p}{\omega_s} \quad (6)$$

式中 ΔK_p^* 为在整个泵浦带宽范围 $\Delta \omega_p$ 内拍频分量的失谐量, 再做适当假设, 可得喇曼介质激发的相移长度 l 为:

$$v_d = \frac{v}{\Delta \omega_p (1 - \cos \theta)} \quad (7)$$

式中 v 是泵浦光和斯托克斯光的共同速度, v_d 的临界强度为

$$I_c = \frac{\Delta \omega_p}{\gamma_v} (1 - \cos \theta) \quad (8)$$

由此式可看出, 临界强度 I_c 直接依赖于泵浦光和斯托克斯光间夹角 θ , 当 $\theta < 10^\circ$ 时, 此强度不难达到. 根据文献[3], 可以解释放大光的束散角相对于种子光束散角将被压缩的现象.

由于在光导中是用非聚焦平行光束泵浦, 泵浦光角度可选择, 这时有可能通过选择入射角破坏了在光泵中电相位匹配产生的二阶斯托克斯光, 使介质激发波有利于只产生斯托克斯种子光放大, 也就是有利于泵浦光能量向斯托克斯光转移.

5 结 论

1) 光导喇曼放大中,复杂的多光束泵浦实验已有报道,而本实验在较简便的单束泵浦光入射的情况下获得大于 2 的放大倍数.证明了前向交叉喇曼耦合的显著效果.

2) 尽量提高泵浦能量,尽量强化种子光质量,使放大处于小信号区,以及增加光导池介质浓度,即增加激活粒子浓度,是提高放大倍数的重要因素,光导池的制作也是提高放大倍数的关键技术.

3) 通过喇曼放大理论分析及实验证明,放大后的喇曼光束质量可与种子光相同或优于种子光而与泵浦光无关,因此可努力提高泵浦光能量而不必过于追求质量,可通过提高斯托克斯种子光的光束质量来得到优质放大光.

实验及初步分析表明,单光束泵浦喇曼放大在中小功率情况下也是改善光束质量的一个简便有效的方法.

参 考 文 献

- [1] N. G. Basov, A. Z. Grasiuk, I. G. Zunarev, Prospects of high power lasers using stimulated Raman scattering. in *Proceedings of the International Conference on Laser' 80* (STS, McLean, Va., 1981)pp. 819~827
- [2] J. Goldhar, M. W. Taylor, J. R. Murray, An efficient double-pass Raman amplifier with pump intensity averaging in a light guide. *IEEE J. Quant. Electron.* 1984, **QE-20**(5):722~785
- [3] R. S. F. Chang, R. H. Lehmborg, M. T. Duignan *et al.*, Raman beam clean up of a severely aberrated pump laser. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1985, **QE-21**(3):477~487
- [4] 王月珠,林殿阳,谭辐文等, 受激布里渊散射光束发散性的研究. *光学学报*, 1992, **12**(10):669~672
- [5] J. P. Partanen, M. J. Shaw, High-power forward Raman amplifiers employing lowpressure gases in light guide. I. Theory and applications. *J. Opt. Soc. Am. (B)* 1986, **3**(10):1374~1389

Observation of amplified Raman in a light guide

WANG Yuezhu JUI Youlun XU Jun CUI Yin
WANG Qi MA Zuguang

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

(Received 20 September 1992; revised 25 November 1992)

Abstract

In this paper, we report the coupling amplification of the Stokes seed beam in Raman medium H_2 , which is excited by a single laser reflected many times in a light guide without focusing. The amplifying coefficient over 2 is observed and the quality of the amplified beam is the same as or more better than the seed beam.

Key words light guide, amplified Raman, quality of light beam.