

1342nm 激光泵浦单模光纤受激喇曼效应 实验研究*

林伟欣^{1,2}, 阮双琛^{2,+}, 周睿², 闫培光², 吕玉祥¹, 王云才¹

(1 太原理工大学 物理系, 太原 030024)

(2 深圳大学 电子科学与技术学院, 深圳 518060)

摘要: 利用 1342 nm 调 Q Nd:GdVO₄ 激光器为泵浦源, 对 76 km 普通单模光纤中受激喇曼散射谱的形成过程进行了实验研究. 随着泵浦功率的增加, 观察到了一、二级 Stokes 光的形成和演化过程及一级 Stokes 光谱内部能量红移, 最后得到一个 1500~1640 nm 段的平坦宽带光谱, 并对实验中观察到的现象进行了讨论.

关键词: 受激喇曼散射; 单模光纤; 喇曼频移; 能量红移

中图分类号: O437

文献标识码: A

0 引言

受激喇曼散射(SRS)是一种常见的非线性光学现象. 光在单模石英光纤中传输时具有较强的非线性效应, SRS 是其中重要的非线性现象之一. 喇曼光纤放大器、宽带可调谐喇曼光纤激光器及光纤喇曼孤子激光器正是基于光纤中的 SRS 效应研制的^[1-3]. 与大多数介质中在特定频率上产生喇曼增益的情况不同, 石英光纤中的喇曼增益可在很宽的范围内产生, 它可以放大掺铒光纤放大器所不能放大的波段, 因此研究光纤中的 SRS 在光纤通信等领域具有重要的应用价值. 人们对基于普通单模光纤受激喇曼散射效应已经做了大量的实验研究^[4-7], 但这些报道中所用泵浦源波长一般为 1064 nm 和 1480nm. 本文以运行在 1342 nm 的调 Q Nd:GdVO₄ 固体激光器作为泵浦源, 研究了随着泵浦功率的变化, 76 km 常规单模光纤中一级 Stokes 及高阶 Stokes 光谱的形成和演化过程.

1 实验装置

实验所用的泵浦源为本实验室研究小组自行搭建的激光系统. 该激光器采用双端面泵浦, 增益介质为两块 3×3×10 mm³ 的 Nd:GdVO₄ 晶体, 对称置于激光腔内, 两晶体中间加入一个声光调制器以获得调 Q 激光脉冲输出. 激光器的输出波长为 1342 nm, 重复频率 100 kHz, 脉冲宽度为 100 ns, 测得其输出激光光束质量 $M^2 < 3$.

图 1 为实验装置结构. 为提高泵浦光的耦合效率, 单模光纤一端被安装于六维调整架上, 泵浦脉冲经准直后, 通过一个 25 倍物镜聚焦耦合进光纤, 最终得到总耦合效率为~75%. 在光纤另一端用光谱分析仪 (OSA, ADVANTEST Q8384) 测量输出的光谱变化.

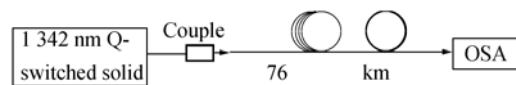


图 1 SRS 实验装置

Fig.1 The experimental setup of SRS

2 结果与讨论

石英光纤中典型的喇曼增益谱如图 2^[8], 其最显著的特征是在 40 THz 的频率范围内都能获得喇曼增益, 并且在 13.2 THz 附近有一个较宽的谱峰. 普通单模光纤不同于其他掺铈、磷等单模光纤, 其非线性系数相对较低, 因此需要足够的长度以获得明显的受激喇曼散射效应. 实验中使用 76 km 长的单模光纤作为非线性介质, 研究了随着泵浦光功率的逐步增加

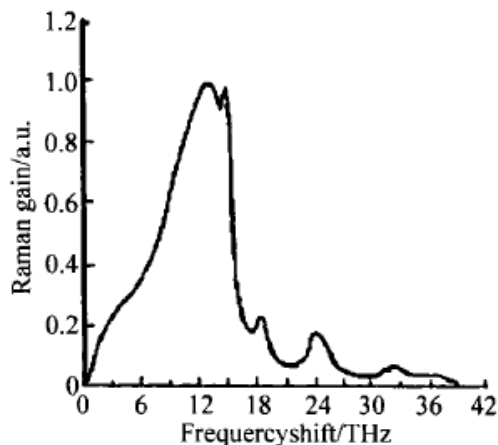


图 2 石英光纤中的喇曼增益谱

Fig.2 Raman gain spectrum of silica fiber

*广东省自然科学基金(31809)和深圳市科技和信息局(200718)资助.

+Tel: 0755-26958265

Email: scruan@szu.edu.cn

收稿日期: 2008-11-30

Stokes 光谱的演化过程. 从图 3(a)中可以看到, 泵浦功率为 0.13 W 时, 显然, 在 1 426 nm 处出现了一个新的谱峰. 计算发现, 新的谱峰相对于泵浦光波长移动了 84 nm, 正好与喇曼增益峰(13.2 THz, 440 cm^{-1})相对应, 说明这就是单模光纤的一级 Stokes 光. 而在小平均功率下观察到喇曼散射现象主要得益于脉冲

激光较高的峰值功率输出. 随着耦合光功率的进一步增大, 一级 Stokes 光强度也逐步加强. 如图 3(a)~(c), 泵浦光从 0.13 W 增加到 0.2 W 的过程中, Stokes 光强度增加缓慢; 而当光功率 0.2 W 上升至 0.25 W, Stokes 光迅速增强. 分析认为, 这是泵浦光达到一定强度后, 由自发喇曼散射向受激喇曼散射演化.

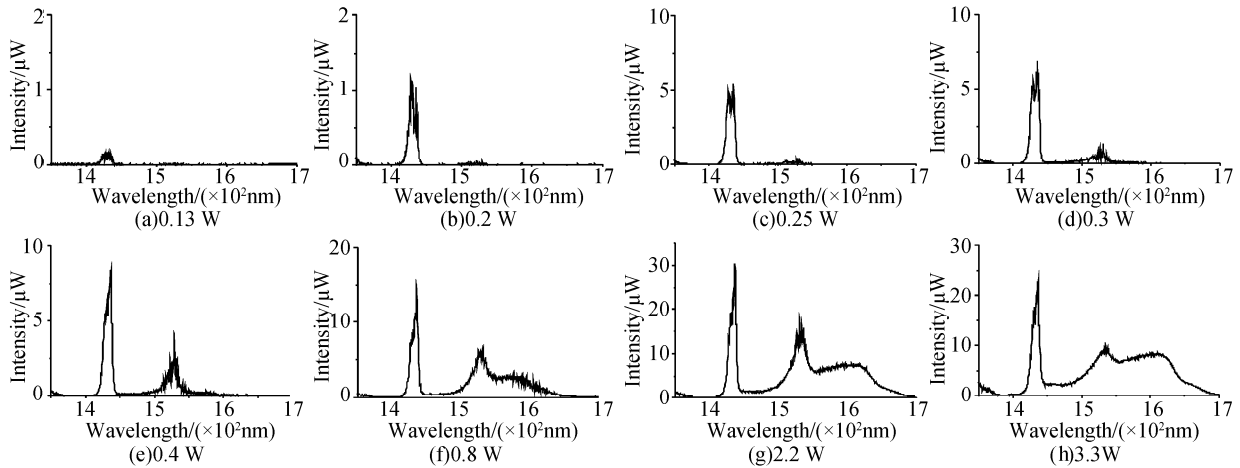


图 3 不同泵浦功率下的喇曼谱

Fig.3 Evolution of Raman spectrum with different pump power

仔细观察发现, 一级 Stokes 光有两个波峰, 分别为 1 426 nm 和 1 436 nm, 对应的频移量为 13.2 THz 和 14.7 THz, 光谱形状与光纤喇曼增益谱相似. 图 3(a)~(e)为不同功率下一级 Stokes 光的演化过程. 可以看到, 当泵浦功率较小时 Stokes 光的主要频移在 440 cm^{-1} , 与喇曼增益谱峰一致; 当光功率较高时, 490 cm^{-1} 处光谱继续增强, 而 440 cm^{-1} 处光谱强度逐渐出现饱和, 并将能量红移到 490 cm^{-1} 处, 即波峰位置从 1426nm 转移到 1436nm 处, 最终只剩下 1436nm 一个谱峰.

另外, 泵浦功率为 0.3 W 时, 在 1 533 nm 处产生了二级 Stokes 光, 计算得其频移量也为 13.2 THz, 见图 3(d). 继续增大注入的光功率, 在长波长方向可以观察到一个较宽的光谱峰, 其紧挨着二级 Stokes 光谱, 如图 3(f)~(h). 当泵浦功率增至 2.2 W, 二级 Stokes 光谱的强度达到最大. 随后, 二级 Stokes 光的强度逐渐减小, 而挨着它的光谱峰强度逐步增大. 最终在入纤功率为 3.3 W 时, 两者强度相当, 得到一个从 1 500 nm 到 1 640 nm 的较为平坦的宽带光谱.

分析认为, 宽带光谱的形成主要有以下两方面原因: 首先, 光纤中的喇曼增益谱本身就比较宽, 随着受激喇曼光级次的增高, 其直接泵浦光(前一级喇曼光)的强度在逐渐减弱, 导致谱宽越来越宽, 而且级次越高, 增宽效应越明显. 同时, 高阶喇曼谱宽度与喇曼频移量比较接近, 使喇曼光相互交叉在一起产生连续光谱. 另外一个导致光谱加宽的原因是光纤中的自相位调制(SPM). 受到 SPM 效应的影响, 喇曼光在

传输过程中不断的在光谱两侧出现新的频率分量, 这就进一步展宽了喇曼频谱.

3 结论

实验研究了 1 342 nm 脉冲激光器泵浦 76 km 普通单模光纤受激喇曼散射效应. 通过逐渐增加泵浦功率, 研究了一、二级斯托克斯光随泵浦功率的形成演化过程及能量红移现象. 实验中还得到一个 1 500 nm~1 640 nm 段的平坦宽带光谱, 分析了宽带光谱产生的原因, 对增益平坦喇曼放大器的研究具有一定的参考价值.

参考文献

- [1] SCOTT S H Yam, MARHIC M E, AKASAKA Y, *et al.* Gain-clamped s-band discrete raman amplifier[J]. *Opt Lett*, 2004, **29**(7):757-759.
- [2] YAN Pei-guang, RUAN Shuang-chen, GUO Chun-yu, *et al.* Efficient, tunable photonic crystal fiber Raman laser[J]. *Microwave and Optical Technology Letters*, 2007, **49**(2):395-397.
- [3] GOUVEIA-NETO A S, GOMES A S L, TAYLOR J R, *et al.* Cascade raman soliton fiber ring laser[J]. *Opt Lett*, 1987, **12**(11):927-929.
- [4] DU Ge-guo, RUAN Shuang-chen, SU Hong-xin, *et al.* Studies on SRS spectra in single-mode silica fiber[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(8):923-926.
- [5] 杜戈果, 阮双琛, 苏红新, 等. 单模石英光纤中受激喇曼散射的研究[J]. *光子学报*, 2004, **33**(8):923-926.
- [6] SU Hong-xin, GUO Qinglin and LU Ke-cheng. Investigating of stimulated Raman scattering in phosphorus-doped silica fiber[C]. *Proceedings of SPIE*, 2005, **5646**:427-434.
- [7] ZHAO Ji-hong, RUAN Shuang-chen and ZHANG Min. Stimulated Raman scattering in standard signal-mode fibers pumped by 1480 nm[J]. *Journal of Shenzhen University Science and engineering*, 2005, **22**(1):27-30.
- [8] 赵霁虹, 阮双琛, 张敏. 1480nm 激光泵浦单模光纤受激喇曼效应实验研究[J]. *深圳大学学报理工版*, 2005, **22**(1):27-30.
- [9] NING Ji-ping, CHEN Zhi-qiang, XU Wen, *et al.* Analysis of Raman gain in various optical fibers[J]. *SPIE*, 2004,

Investigation on Stimulated Raman Scattering in Single-mode Fiber Pumped by 1 342 nm Laser

LIN Wei-xin^{1,2}, RUAN Shuang-chen², ZHOU Rui², YAN Pei-guang², LU Yu-xiang¹, WANG Yun-cai¹

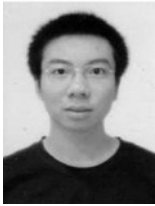
(1 *Physics Department, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China*)

(2 *College of Electronics and Technology, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China*)

Received date:2008-11-30

Abstract: The stimulated Raman scattering with 76 km single-mode fiber using a *Q*-switched 1342nm Nd:GdVO₄ laser as the pump source was studied. The Stokes light evolving versus incident pump power was presented. An energy red shift was also found at first order Stokes light. And a flat broad spectrum from 1500nm-1640nm was appeared when the pump power increased. The spectrum process observed in the experiment was discussed.

Key words: Stimulated Raman scattering; Single-mode fiber; Raman frequency shift; Energy red shift



LIN Wei-xin was born in 1983 in Fujian province. He received the B. S. degree in 2006 from Taiyuan University of Technology. He now is studying for M. S. degree in Taiyuan University of Technology. He works at Shenzhen Key Laboratory of Laser Project, Shenzhen University. His major is fiber laser and nonlinear optics.