

文章编号:1001-5078(2004)03-0169-03

拉曼光纤激光器的初步研究

杜戈果, 邓莹, 陈慧玲, 姜连勃, 阮双琛, 朱勤

(深圳大学工程技术学院, 深圳市激光工程重点实验室, 广东 深圳 518060)

摘要:采用标准单模石英光纤作为拉曼增益介质, 国产镀膜镜作为谐振腔镜, 在 1064nm 光纤激光器的泵浦作用下, 在波长 1123nm 获得了一级拉曼激光输出。实验观察了激光的形成过程。

关键词:受激拉曼效应; 拉曼激光器; 光纤激光器; F-P 腔

中图分类号: TN248

文献标识码: A

Experimental Study on Raman Laser

DU Ge-guo, DENG Ying, CHEN Hui-ling, JIANG Lian-bo, RUAN Shuang-chen, ZHU Qin

(College of Engineering and Technology, Shenzhen University, Shenzhen Key Laboratory of

Laser Engineering, Shenzhen 518060, China)

Abstract: A first-order Raman laser pumped by a fiber laser is developed with Corning SMF-28™ as the gain material. The F-P cavity consists of a home-coated dichroic mirror and the fiber end. Laser wavelength is 1123nm with FWHM being 0.84nm. Formation process of Raman laser is also studied.

Key words: SRS; Raman laser; fiber laser; F-P cavity

1 引言

近年来,随着社会信息传输量的急剧增加,人们对拉曼光纤放大器的研究越来越重视,因为它可放大掺铒光纤放大器所不能放大的波段。由于拉曼光纤放大器基于受激拉曼散射效应,一般具有较高的泵浦阈值,需要较大功率的泵浦源。目前较为适用的泵浦方法有两种^[1]:采用多个半导体耦合复用和利用级联拉曼光纤激光器作为泵浦源。与前者相比,后者具有能量利用率高、结构简单、成本低等优点。以 1060nm 激光作为泵浦源,级联拉曼激光器可以在光通信所需的 1.31μm 和 1.55μm 甚至任意波长实现激光输出。因此,级联拉曼激光器引起了各国研究者的极大兴趣,在最近几年内取得了很大的进展^[2-4]。

目前国内对拉曼光纤激光器的研究并不多,见诸报端的只有南开大学一家^[5]。主要是因为实现级联输出所需的光纤布拉格光栅其工作波长比较特殊而难于加工,国内目前还未有相应的光栅产品,文献^[5]中所用的光栅也是进口的。本文采用国产镀膜镜来作为谐振腔镜,实现了一级拉曼激光输出,验证了其可行性。

基金项目:广东省自然科学基金资助项目(011736);深圳市南山区科学技术局资助项目

作者简介:杜戈果(1971-),女,副教授,博士,1999年1月毕业于西安光学精密机械研究所获博士学位,2001年进入复旦大学物理系博士后站,现在深圳大学从事本科生与研究生的教学工作和科研工作,已发表学术论文近30篇,主要研究领域包括光通信及光纤技术,半导体泵浦固体激光器等。

收稿日期:2004-10-13

2 实验原理

受激拉曼散射 (Stimulated Raman Scattering, 通常简称 SRS) 是光纤非线性光学中一个很重要的非线性过程, 是高强度的激光与光纤介质的振动模式相互作用产生的一种三阶非线性光学效应, 表现为入射光作为泵浦光产生 Stokes 的频移光。量子力学描述为入射光波的一个光子被一个分子散射成为另一个低频光子, 同时分子完成振动态之间的跃迁。

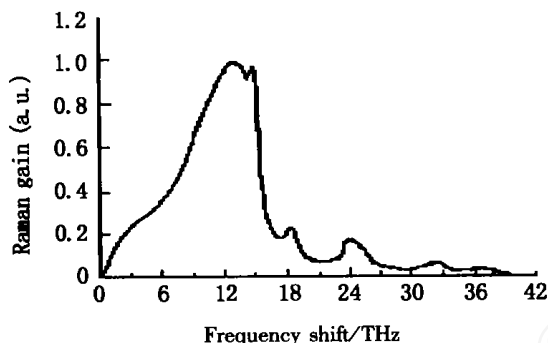


图1 石英光纤的拉曼增益谱

在早期单模光纤的 SRS 实验测得了石英光纤中的拉曼增益系数 g_R , 如图 1 所示^[6]。石英光纤中拉曼增益的最显著的特征是 g_R 有一个很宽的频率范围, 可达 40 THz, 并且在 13 THz 附近有一个较宽的主峰, 这些性质是由于石英玻璃的非晶特性所致。在熔石英等非晶材料中, 分子的振动频率展宽成为频带, 这些频带交迭并产生连续态。与大多数介质中在特定频率上产生拉曼增益情况相反, 石英光纤中的拉曼增益可以在一个很宽的范围内连续地产生, 从这一特性看, 光纤可用做宽带放大器。因此, 只要入射光的频率位于图 1 拉曼增益谱的带宽内, 就会由于拉曼增益而被放大; 如果仅仅只有泵浦波输入, 那么自发拉曼散射产生的信号将起到入射光的作用, 并且在传输过程中被放大。如果在光纤两端加上具有适当反射率的反射镜, 对光纤内由受激拉曼散射产生的 Stokes 光提供反馈, 就会形成激光振荡, 成为拉曼光纤激光器。如果泵浦光功率足够强, 那么生成的 Stokes 光又将激起第二级、乃至更高级次的 Stokes 光, 形成级联受激拉曼散射。通过相互级联的多次拉曼频移, 就能够将泵浦光能量转化到所需要的波长。

3 实验与结果分析

实验装置如图 2 所示。泵浦源为一台最大连续输出功率 5.5 W 的光纤激光器, 输出波长为 1064 nm, 线宽 0.9 nm, 输出为接近衍射极限的单横模光束, M^2 因子为 1.1, 并且已经过光学元件准直。采用美国康宁公司研制的 Corning SMF-28TM 标准单模光纤作为增益光纤, 光纤长度约为 25 km。

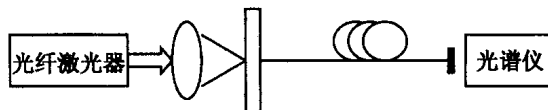


图2 实验装置示意图

本实验装置采用了 F-P 腔线型结构。采用一特殊设计的透镜组作为耦合元件, 实验测得耦合效率接近 50%。由双色镜与光纤端面组成谐振腔, 光纤端面的反射率约为 4%。双色镜的镀膜曲线见图 3。因泵浦波长与激光波长比较接近, 镀膜相对困难, 激光的高反射率要差一些。

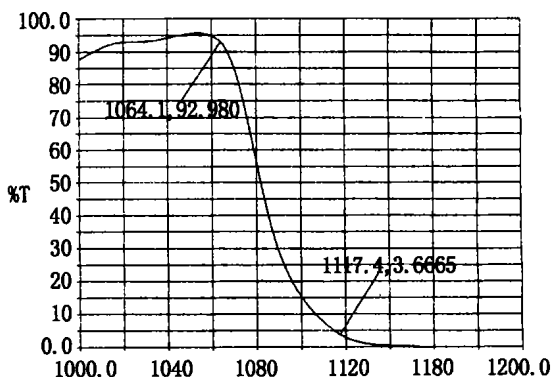


图3 双色镜的镀膜曲线

当泵浦功率达到 3.75 W 时, 出现一级拉曼散射现象, 见图 4(a)。随着泵浦功率的增大, 1064 nm 泵浦光强度递减, 而一级 Stokes 谱线强度递增。这表明, 泵浦功率正在转化为一级 Stokes 光能量。当泵浦功率达到 4.8 W 时, 输出光谱中的泵浦光成分已经很小, 与一级 Stokes 光相比基本可以忽略, 此时泵浦光大部分转化为 Stokes 光。

实验测得一级 Stokes 激光的中心波长为 1123 nm, 计算出与泵浦光的频移量为 490 cm^{-1} , 而非一般的 440 cm^{-1} 。这里再一次地观察到了拉曼光谱

间的能量红移现象。关于这个问题,详细讨论见前期文章^[7]。激光带宽为 0.84nm。拉曼激光谱见图 5。

拉曼光纤激光器的输出功率随泵浦功率的变化见图 6。虽然实验所用的功率计可进行波长选择,但不能与输出波长精确对应(在测量时,波长选择为 1.1 μ m),故输出功率中还包括少量未被吸收完的泵浦光。线性度在较大泵浦功率时较好,拟合直线斜率为 1.03 %。实验中双色镜的高反射率差一些,而且另一端只有 4 %的反射率,所以激光器的输出功率较低,效率也较低。但至少说明采用双色镜作为腔镜的方法是完全可行的。实验结果有待于进一步提高。

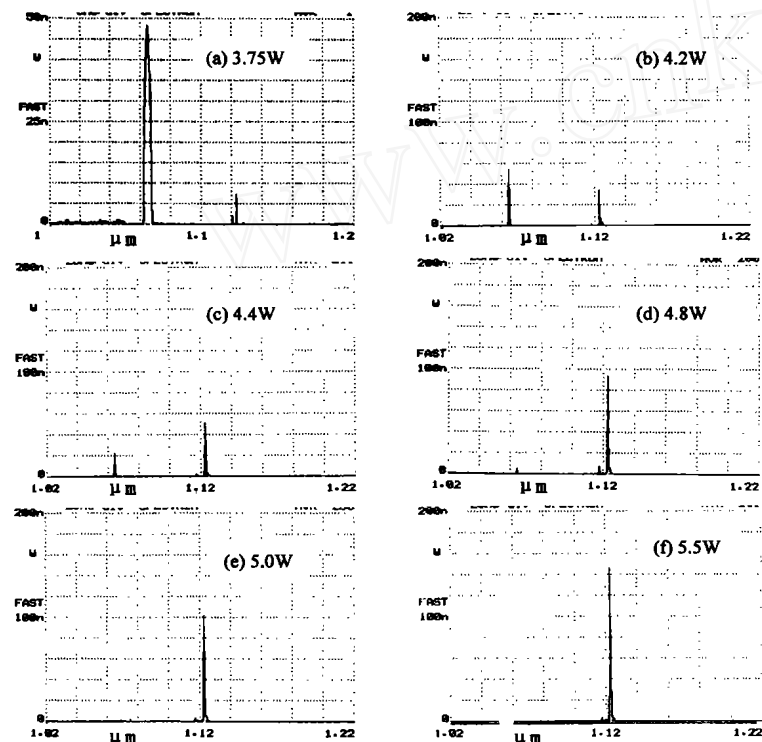


图4 不同泵浦功率下剩余泵浦光和一级 Stokes 激光的强度变化

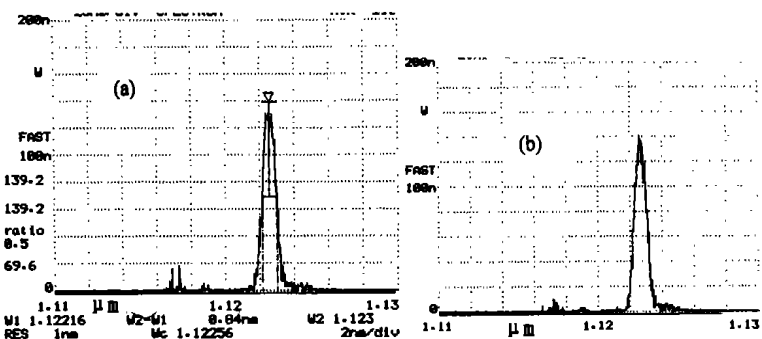


图5 一级拉曼激光的光谱图

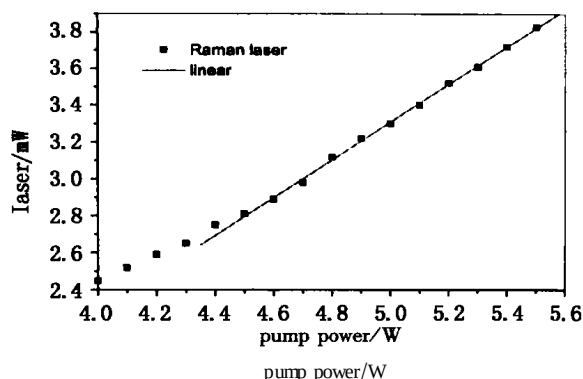


图6 拉曼激光输出随泵浦功率的关系

4 小 结

从光纤激光器的应用来讲,全光纤激光器无疑是最好的。但鉴于光纤光栅制作的特殊性,我们用双色镜作为腔镜,同样实现了一级拉曼激光输出。

对光纤光栅,还望各位同仁努力,早日生产出国产的光栅,用于级联拉曼光纤激光器的研究、应用中。

参考文献:

- [1] 杜戈果,苏红新,姜连勃,等. Raman 光纤放大器的泵浦源[J]. 深圳大学学报(理工版),2003,20(1):30-35.
- [2] Vareille G,Audouin O, Desurive E. Numerical optimization of power conversion efficiency in 1480nm multi-Stokes Raman fiber lasers[J]. Electron. Lett.,1998,34(7):675-676.
- [3] Karpov V I,Dianov E M, Paramonov V M, et al. Laser diode-pumped phosphosilicate-fiber Raman laser with an output power of 1W at 1.48 μ m[J]. Optics Lett.,1999,24(13):887-889.
- [4] Dianov E M,Bufetov I A,Bubnov M M. et al. Three-cascaded 1407-nm Raman laser based on phosphorus-doped silica fiber[J]. Optics Lett.,2000,25(6):402-404.
- [5] 苏红新,吕可诚,闫培光,等. 内腔级联拉曼光纤激光器输出特性的实验研究[J]. 光学学报,2003,23(1):53-56.
- [6] Stoler R H, Ippen E P. Raman gain in glass optical waveguides[J]. Appl. Phys. Lett.,1973,22(6):276-278.
- [7] 苏红新,阮双琛,杜戈果,等. 单模石英光纤中连续波泵浦 SRS 谱的演化[J]. 光子学报,2003,32(3):272-275.