

1.32 μm 泵浦下多模光纤受激喇曼散射

吕建华 李雨林 蒋家麟 程关锴
(上海市激光技术研究所)

提 要

本文报道在 1.32 μm 声光 Q 开关 Nd:YAG 激光器泵浦下, 从多模光纤中获得由受激喇曼散射及四光子混频产生的宽带非线性散射谱的实验。结果表明, 在 1.32 μm 泵浦下产生了明显的连续谱本底, 并认为它是由光纤零材料色散区的宽带参量增益四光子混频产生的。观察到激光器 1.34 μm 微弱输出在光纤中明显放大的新现象, 并指出放大来自玻璃光纤的宽带喇曼增益。

由于光纤对非线性光学作用的强烈增强效应, 利用光纤作为非线性光学介质已成为获得高效率频率转换的一种有效手段。国外在这方面曾进行了大量工作^[1]。

国内近年来围绕这方面工作曾报道了利用红宝石 6943 \AA 、Nd:YAG 1.06 μm 输出及其倍频 0.53 μm 作为泵浦, 从单模和多模光纤中获得多级受激喇曼散射(SRS)分量的实验。

本文报道利用新近研制的 1.32 μm 声光 Q 开关 Nd:YAG 激光器作为泵浦源, 对多模光纤的非线性散射的研究。结果表明在 1.32 μm 泵浦下, 散射谱中产生了比较明显的连续谱本底, 并提出它是由光纤零色散区内四光子混频作用产生的看法。实验中还观察到 1.34 μm 激光输出经光纤后的明显放大现象, 认为这种放大来自玻璃光纤的宽带喇曼增益。

一、实验装置及其描述

实验装置如图 1 所示。固体激光器工作物质为 Nd:YAG 晶体棒, 采用双氙灯连续泵浦; 谐振腔为平行平面腔。利用 LiNbO₃-ZF₆ 玻璃声光开关调 Q。激光器工作在 1.32 μm 波长。脉冲重复频率为 1 KHz, 调 Q 脉冲峰功率约 6 kW。

本文对两根不同长度的光纤进行了实验, 它们均为 GeO₂-SiO₂ 芯、SiO₂ 包层梯度折射率多模光纤, 其主要参数列于表 1 中。

散射谱经光栅单色仪分光后由热释电红外探测器接收。热释电探测器在较宽的光谱范围内具有较平坦的响应特性。实验中采用 12.5 Hz 斩波器调制重复率为

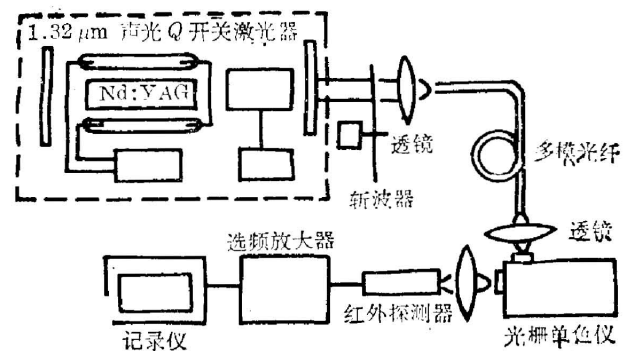


图 1 实验装置

Fig. 1 Experimental setup

表 1 光纤的一些参数

Table 1 Some parameters of fibers

编 号	芯 径 (μm)	长 度 (m)	最大掺杂浓度 (mol.%)	1.32 μm 处损耗 (dB/km)
A	46	640	~23	0.96
B	50	1100	~23	0.77

1 KO 的准连续激光, 并配以 12.5 Hz 选频放大器, 用函数记录仪直接记录光纤的非线性散射谱, 同时可部分地消除杂散光引起的本底噪声, 提高接受系统信噪比。

二、实验结果及讨论

利用 10 \times 显微物镜将激光束聚焦耦合到光纤中。单色仪自动扫描时, 函数记录仪上测得的光纤 A、B 的非线性散射谱分别如图 2(a)、(b) 所示, 其中耦合到光纤内的泵浦脉冲峰功率为 1 kW。

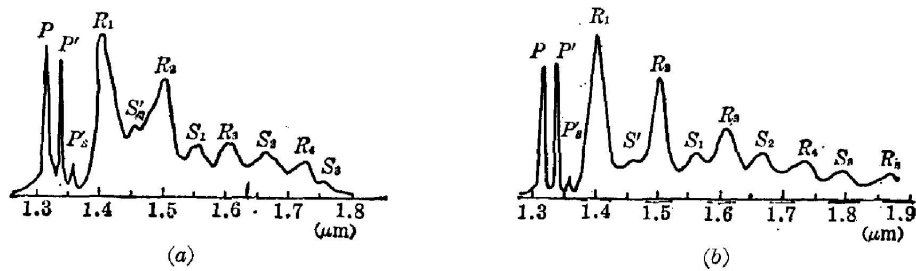


图 2 多模光纤 A (a) 和 B (b) 的非线性散射谱

Fig. 2 Nonlinear scattering spectrum of multimode optical fiber A (a) and B (b)

在较长的光纤 B 中, 非线性散射谱一直延续到 1.85 μm 以上。为讨论方便, 将图 2(b) 所示散射谱中各级散射峰的波长、相对大小及频移表示在图 3 中。

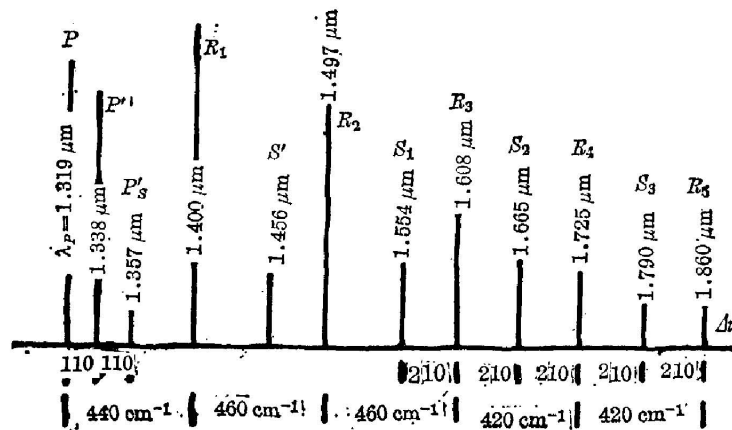


图 3 图 2(b) 中诸散射峰的波长、频移及相对幅值

Fig. 3 Wavelengths, frequency shifts and relative amplitudes of scattering peaks in Fig. 2(b)

图中 R 系线为由逐级泵浦的 SBS 过程产生的斯托克斯分量, 它们相对各自的泵浦波的频移在 $420\sim 460\text{ cm}^{-1}$ 之间。 P' 则是以 P' 为泵浦波、以 P 为反斯托克斯波、通过四光子参量过程所产生。在目前的泵浦水平及测试条件下, 将观察不到反斯托克斯区域散射谱。

由频率关系可看出, S 系线系由四光子混频参量过程产生。多模光纤中, 四光子混频的相位匹配条件由模间色散补偿材料色散实现。基于四光子参量作用的同时参与, 后几级受激喇曼中频移为 420 cm^{-1} 的 Ge 振动模将占优, 所以 R_3 以后诸分量的频移均为 210 cm^{-1} 左右。

在 $1.32\text{ }\mu\text{m}$ 泵浦下, 散射谱的明显特征是从其第一级斯托克斯分量起便出现较明显的连续谱本底。我们认为这种连续谱本底可通过四光子混频与逐级泵浦的受激喇曼散射过程两者的组合作用来解释。在近红外区存在一个使光纤材料色散 $M = (\lambda/c)(d^2n/d\lambda^2) = 0$ 的波长 λ_0 。对于纯 SiO_2 玻璃 $\lambda_0 = 1.284\text{ }\mu\text{m}$; 当掺入 GeO_2 后 λ_0 近似地正比于 GeO_2 浓度增长。借助文献[2]中的结果及表 1 中有关参数, 可估算本文所用光纤 λ_0 在 $1.45\text{ }\mu\text{m}$ 左右。在 λ_0 附近, 由于光纤的材料色散小, 利用不同波导模式的色散特性, 能在较宽的频移范围内实现相位匹配^[3]。当泵浦光或斯托克斯分量处于 λ_0 附近区域时, 利用 λ_0 区域的宽带参量增益, 四光子混频过程将在这些分量两侧产生许多小频移的频率对, 连续谱即是由这些信号、闲频波的相互交迭所形成。

光纤 A、B 的主要参数较接近, 仅长度有显著差异。比较它们的散射谱图 2(a) 和 2(b), 可看出作用长度对散射谱的影响。首先, 由于作用长度较短。在光纤 A 中未产生高阶散射分量, 散射谱仅延续到 $1.75\text{ }\mu\text{m}$ 左右; 另一方面, 在短光纤中尽管斯托克斯分量的阶数少于光纤 B, 但其在 $1.45\text{ }\mu\text{m}$ 附近的连续谱本底却较明显地高于后者。考虑到参量作用具有有限长的相干长度, 这样在长光纤中无需相位匹配的受激喇曼散射过程将占优势, 结果较短的光纤更有利于四光子混频过程。

实验中, 还观察到激光器的 $1.34\text{ }\mu\text{m}$ P' 线的微弱输出在光纤中得到明显放大。在图 2 中由于光纤输出中残余泵浦光仍很强而使接收器在 $1.32\text{ }\mu\text{m}$ 处饱和。把输出功率衰减到处于接收器动态范围内, 测量光纤输入与输出的 P 和 P' 线的相对功率, 结果示于图 4 中。从光纤输入端测得的激光器的输出频谱图 4(a) 可见, P' 已湮没在干扰噪声中, 1.34 与 $1.32\text{ }\mu\text{m}$ 的功率之比小于 1%; 而从图 4(b) 中可看出, 经光纤后 P' 和 P 线的功率之比大于 10%。由于玻璃光纤中喇曼增益线宽很大, 所以 P' 线的放大来自喇曼增益。

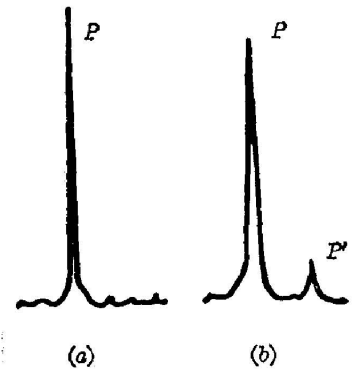


图 4 光纤输入(a)及输出(b)中 P 和 P' 谱线的相对强度
Fig. 4 Relative intensities of line P and line P' in the input (a) and output (b) of the fiber

三、结 论

利用 $1.32\text{ }\mu\text{m}$ 声光 Q 开关 Nd:YAG 激光器泵浦, 在多模光纤中获得了宽带非线性散射谱。这种宽带散射谱是由受激喇曼散射过程与四光子参量过程所产生。由于 $1.32\text{ }\mu\text{m}$ 泵

浦及其产生的斯托克斯分量均处于光纤零材料色散区域, 宽带参量增益四光子混频在 λ_0 附近产生了较明显的连续谱本底; 对于短光纤, 处于 $1.45 \mu\text{m}$ 附近的连续谱更为明显。实验中还观察到激光器微弱 $1.34 \mu\text{m}$ 输出在光纤中得到明显放大现象, 此放大来自玻璃光纤的宽带喇曼增益。

本文所获得的宽带散射谱可应用于纤维光学及光谱学的研究。

参 考 文 献

- [1] R. H. Stolen; *Proc. IEEE*, 1980, **68**, No. 10 (Oct), 1232.
- [2] J. Fleming; *Electron. Lett.*, 1978, **14**, No. 11 (25 Mar), 326.
- [3] C. Lin *et al.*; *Opt. Lett.*, 1981, **6**, No. 10 (Oct), 493.

Stimulated Raman scattering in multimode optical fibers pumped at $1.32 \mu\text{m}$

LU JIANHUA LI YULIN JIANG JIALIN AND CHENG GUANCHANG
(Shanghai Institute of Laser Technology)

(Received 4 July 1984; revised 31 October 1984)

Abstract

Generation of wideband Raman scattering spectra in multimode optical fibres, pumped by an $1.32 \mu\text{m}$ A-O Q-switched Nd:YAG laser, is reported. Discussion shows that the spectra are generated by stimulated Raman scattering and four-photon mixing. Results show that considerable optical continuum is formed because $1.32 \mu\text{m}$ pumping and its Stokes components are near the zero-material-dispersion range of fibers. A new amplification phenomena of the small $1.34 \mu\text{m}$ output of the laser in fibers is observed. It is considered that the amplification comes from the wideband Raman gain of the glass optical fibers.