

准单模掺锗硅芯光纤的受激喇曼散射中的模竞争

朱克荣 金绍维

(安徽大学实验与计算中心, 合肥 230039)

赵 华 正

(安徽大学物理系, 合肥 230039)

提 要

本文报道了准单模掺锗硅芯光纤的受激喇曼散射中的模竞争实验研究。观察到了喇曼竞争现象和喇曼跳级现象。较详细分析了受激喇曼模的竞争。

关键词: 掺锗硅芯光纤, 受激喇曼散射。

一、引 言

对光纤受激喇曼散射研究已有大量文章报道, 至今仍方兴未艾。这是因为光纤的受激喇曼散射容易实现, 并且已研制成光纤喇曼激光器^[1]。光纤喇曼放大器也在研究之中, 并预言将在光纤通讯中有广泛的应用前景^[2]。目前光纤喇曼孤子激光器是个正在迅速发展的研究领域。但是光纤中的受激喇曼散射往往与诸多因素有关, 如掺杂物质、损耗、传输模式等, 使得光纤受激喇曼散射变得复杂和丰富, 更不用说它常常伴随着其它三级线性效应产生如自相位调制、四波混频等。人们对光纤喇曼散射的研究, 一方面有利于光纤喇曼器件的实现, 另一方面对喇曼散射的基本机制有更进一步的认识。

本文主要在可见光区研究准单模掺锗硅芯光纤的受激喇曼散射的模竞争, 并观察到了光纤喇曼跳级现象。指出这种光纤对实现光纤宽频带喇曼放大器和光学宽频带可调谐振荡器有重要应用价值。

二、实验装置与实验结果

实验装置如图1。泵浦源是调Q Nd:YAG激光器的倍频光532 nm。能量可调, 最大输出能量为10 mJ, 脉宽为20 ns。泵浦光通过滤光片滤去1.06 μm的红外光后, 用10倍或20倍显微物镜耦合到光纤中去。从光纤末端输出的光再通过10倍或20倍显微物镜耦合到小型重火石棱镜摄谱仪中。用Ne灯标准谱线定标。实验中所用光纤长100 m, 芯径为4 μm, 掺锗摩尔数为硅的8%, 包层是SiO₂, 截止波长为1.250 μm。因而在532 nm处已不是单

模了,最大可能模式为 16,称之为准单模或少模光纤。

图 2、图 3 和图 4 是实验结果。它们的入射泵浦能量依次增高。图 2(b)和图 3(b) 中标出了各谱线的频移。标记为 Ne 的谱线是 Ne 灯的 5875.6 Å 特征线,相对泵浦光频移是 1777 cm^{-1} 。图 3(b)中各谱线的高度表明各谱线的相对强度。

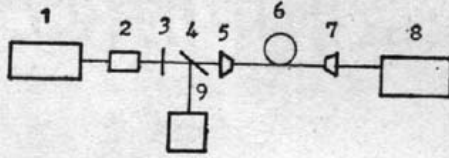
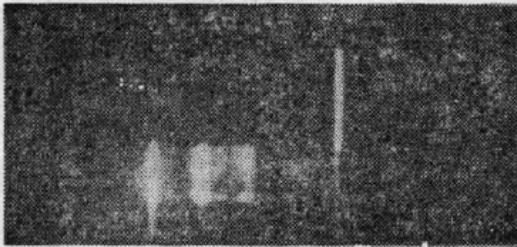
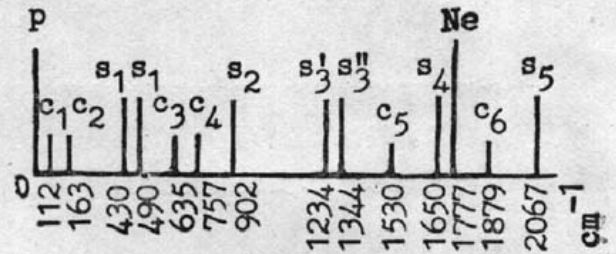


Fig. 1 The scheme of experimental arrangement. 1 Q-switched Nd: YAG; 2 LiNbO second harmonic crystal; 3 Filter; 4 Beam splitter; 5. 7 microscope objectives; 6 Fiber; 8 Spectrograph; 9 Power meter

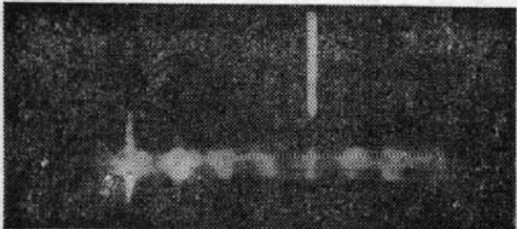


(a)

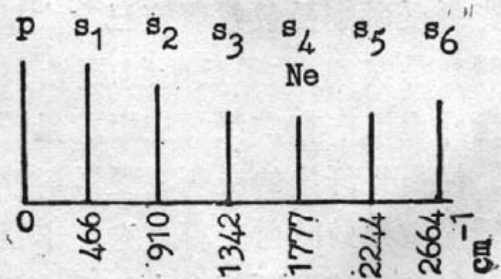


(b)

Fig. 2 The SRS spectrum in germanium-doped silicate quasi-monomode fiber



(a)



(b)

Fig. 3 The spectrum of Order-Jump of SRS in the fiber. The higher of spectrum show relative intensity

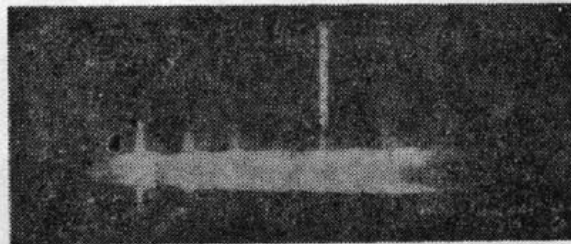


Fig. 4 Quasi-continuum SRS spectrum in the fiber

三、结果分析

图 2 中的第一级斯托克斯有两条线 s_1' 和 s_1'' 频移分别为 430 cm^{-1} 和 490 cm^{-1} 。因为在试样中 GeO_2 的摩尔数约占 8%, 而 GeO_2 的 420 cm^{-1} 喇曼增益约为 SiO_2 490 cm^{-1} 的 10

倍, 这样 GeO_2 的增益约为 SiO_2 的 80%。因而它们的受激喇曼散射都能出现。对纯硅芯单模光纤, 它的喇曼增益带宽达 8 nm。在这宽带内又有 440 cm^{-1} 和 490 cm^{-1} 两个谱带。1984 年 Stolen 详细的研究了硅芯单模光纤受激喇曼散射的这两个谱带的发展^[3], 结果如图 5 所示。三个不同泵浦能量的一级斯托克斯都有较宽的峰 440 cm^{-1} 和较窄的峰 490 cm^{-1} 。当泵浦能量较低时, 440 cm^{-1} 的峰比 490 cm^{-1} 的峰高, 随着泵浦能量的增加, 440 cm^{-1} 峰饱和后下降, 而 490 cm^{-1} 连续上升。能量由 440 cm^{-1} 谱带转向 490 cm^{-1} 谱带。现在由于 GeO_2 的 420 cm^{-1} 落在 440 cm^{-1} 谱带内, 因而谱线移到 430 cm^{-1} 处。这样推理下去, s'_1 和 s''_1 将激发三条线, 如图 6 所示。频率分别为 840 、 910 和 980 cm^{-1} , 中间一条是两条的叠加, 因而 s_2 较强, s'_2 和 s''_2 较弱, 实际只观察到一条线, 它的频移为 902 cm^{-1} , 接近 910 cm^{-1} 。这是由于仪器分辨率不高, 因而 s'_2 和 s''_2 被中间强线包络了。同样 s_3 应有四条, 频率分别为 s'_3 1260 cm^{-1} 、 s_3 1734 cm^{-1} 、 s''_3 1400 cm^{-1} 和 s'''_3 1470 cm^{-1} , 中间两条 s'_3 和 s''_3 为两次叠加线, 应该较强。但实际观察到的两条线为 1234 cm^{-1} 和 1344 cm^{-1} , 接近 s'_3 和 s_3 。作者认为虽然 GeO_2 的增益只有 SiO_2 的 80%, 但这级的泵浦能量较小, SiO_2 在受激喇曼散射主要集中在 440 cm^{-1} 带内。这样和 GeO_2 的 420 cm^{-1} 谱线加起来, 就使得频移为 420 cm^{-1} 的谱线在竞争中占主导地位, 因而 s_3 中出现频率较低的两条线。后面的谱线 s_4 由 s'_3 激发, s_5 由 s_4 激发, 频率都在 420 cm^{-1} 左右。虽然 GeO_2 的 420 cm^{-1} 与 SiO_2 的 490 cm^{-1} 的竞争借助 SiO_2 的 440 cm^{-1} 谱带, 但当入射泵浦能量增加时, 由于 SiO_2 喇曼散射能量从 440 cm^{-1} 转向 490 cm^{-1} 带, 使得 GeO_2 的竞争处于劣势, 因而谱线应向后移动。图 3 就是入射能量较高时得到的散射谱。由于前面两级斯托克斯曝光过度, 不便于仔细分析, 但 s_3 、 s_4 和 s_5 显然向后移动了。总之 GeO_2 和 SiO_2 的受激喇曼散射的竞争, 不但取决于它们的相对增益大小, 还取决于入射能量。图中标记为 σ 的谱线不在我们分析范围内, 它们可能是杂质谱线和四波混频谱线等。

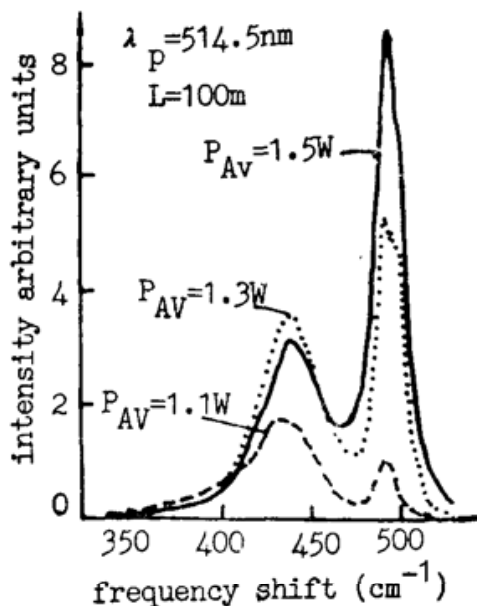


Fig. 5 Dependence of the first Stokes spectrum on the power of the mode-locked argon laser. The peak power in the fiber is a approximately 12 times the average laser power



Fig. 6 Calculated SRS spectrum in the fiber

当再增加入射能量时,由于 SiO_2 和 GeO_2 的受激喇曼散射交替出现,且级次越高,谱线越多,再加上自相位调制和其它杂线的影响,使得光谱出现准连续谱带,如图 4 所示。两级斯托克斯后,谱线准连续,覆盖达 2100 cm^{-1} 之宽。因而可利用这种光纤在较宽的光谱范围内获得较为理想的连续光谱带。对实现光纤宽频带喇曼放大器和宽频带可调喇曼激光器有重要应用价值。

图 2 还显示出第三、四级斯托克斯没有五、六级强。这就是受激喇曼跳级现象。喇曼跳级现象早在苯中就已观察到,原因是苯在缺级处有强烈吸收^[4]。而作者测试了光纤样品在可见光区内的吸收曲线,没有发现在 s_3 和 s_4 处有较强损耗,这和文献[5]中观察到的现象一致,原因有待于进一步探讨。

参 考 文 献

- [1] R. K. Jain, Chinlon *et al.*; *Appl. phys. Lett.*, 1977, **31**, No.2(Jul), 89.
- [2] J. P. Pocholl, J. Raffy *et al.*; *Opt. Engine.*, 1985 **24**, No. 4(Aug), 600.
- [3] R. H. Stolen, G. Lee; *J. Opt. Soc. Am. (B)*, 1984, **B1**, No. 4(Aug), 652.
- [4] J. Stolen; *Appl. Phys. Lett.*, 1975, **26**, No. 4(Feb), 163.
- [5] 李劲、王翠凤,陈英礼;《光学学报》,1990, **10**, No. 4(Apr), 362.

SRS in quasi-monomode germanium doped silica-core fiber

ZHU KERONG JIN SHAOWEI

(Center of Experiment and Computation, Anhui University, Hefei 230039)

ZHAO HUAZHENG

(Department of Physics, Anhui University, Hefei 230039)

(Received 29 January 1991; revised 8 April 1991)

Abstract

The experiments of SRS in quasi-monomode germanium-doped silica-core fiber are reported. The phenomena of competition between Raman modes and order-jump of SRS are observed. The competition between SRS modes is discussed in detail.

Key words: germanium-doped silica-core fiber, SRS.