

玻璃光纤中的瞬态受激喇曼散射

于福熹 金德运 黄国松 陈世正

(中国科学院上海光机所)

提要: 用峰功率大于 10^7 瓦的 0.53 微米微微秒光脉冲序列激发一根 20 米长的锗磷硅玻璃光纤, 观测到稳定的 15 级以上斯托克斯和 8 级以上反斯托克斯散射。喇曼频移为 430 厘米⁻¹。散射光频谱范围为 0.45~1.00 微米。受激喇曼散射的转换效率大于 50%。

Transient stimulated Raman scattering in glass fiber

Gan Fuxi, Jin Deyun, Huang Guosong, Chen Shizheng

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

Abstract. Using a mode-locked laser at the wavelength of 0.53 μm with a peak power of over 10^7 W, we observed Stokes waves of fifteen orders and anti-Stokes waves of eight orders in a glass fiber with the composition of Ge-P-Si and a length of 20 m. The Raman frequency shift is 430 cm^{-1} in wave number, the range of frequency spectra of the scattering light covers from 0.45 μm to 1.00 μm . The conversion efficiency of the Stimulated Raman scattering is higher than 50%.

一、引言

用时宽 10^{-8} 秒的 0.53 微米激光激发不同组分的玻璃光纤, 观察到七级以上受激喇曼散射^[1~3]和受激布里渊散射^[2]。为提高受激喇曼散射的转换效率, 我们采用用时宽 10^{-11} 秒, 峰功率大于 10^7 瓦的 0.53 微米高功率锁模激光脉冲序列进行实验, 观察到一些新结果。

二、实验装置

实验装置如图 1 所示。激发光是一台重

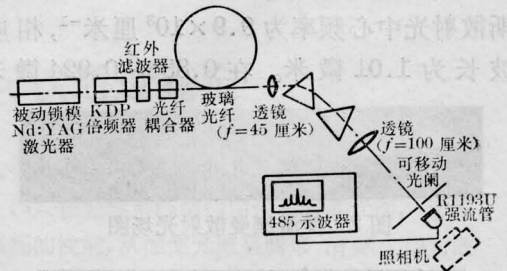


图 1 玻璃光纤受激喇曼散射实验装置

复率为 10~20 次/秒的被动锁模 Nd:YAG 激光器, 经由 II 类相位匹配的 KDP 晶体倍频输出的微微秒光脉冲序列。用双光子荧光法 (TPF) 测量得到单个微微秒脉冲的宽度为

收稿日期: 1983 年 1 月 24 日。

23 微微秒。JN-1 型激光能量计测量结果表明：单个微微秒脉冲的峰值功率大于 5×10^7 瓦。激光束散角小于 1 毫弧度。1.06 微米激光经 KDP 倍频后输出 0.53 微米的微微秒脉冲序列。单个微微秒脉冲峰值功率大于 10^7 瓦。激发光通过红外滤波器和光纤耦合器后，注入一根 20 米长的锗磷硅光纤。受激喇曼散射光从光纤另一端输出，经由一个焦距为 45 厘米的透镜后，通过两块 60° 色散棱镜并用 100 厘米焦距的透镜成像在其焦平面上。散射光场图用照相记录。散射光时域特性由置于焦平面上的可移动光阑来选取某一级散射光，由 R1193U 强流管(响应时间 ~ 300 微微秒)接收，输至示波器显示。散射光频域特性是将光纤输出的散射光直接耦合到 31WII 型摄谱仪或 GDM1000 双光栅单色光计(分辨率 1 厘米^{-1})记录。

三、实验结果

实验中观测到稳定的高阶受激喇曼散射，散射光场图如图 2 所示。图中间最亮点为激发光，左侧为斯托克斯散射，右侧为反斯托克斯散射。图 3 给出用 GDM1000 单色光计记录的频谱信息而得到的受激喇曼散射谱图，喇曼频移为 430 厘米^{-1} ，末级斯托克斯散射光中心频率为 $9.9 \times 10^3 \text{ 厘米}^{-1}$ ，相应波长为 1.01 微米。在 $0.838 \sim 0.924$ 微米



图 2 受激喇曼散射光场图

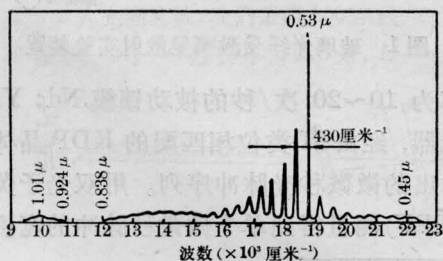


图 3 玻璃纤维瞬态受激喇曼散射谱

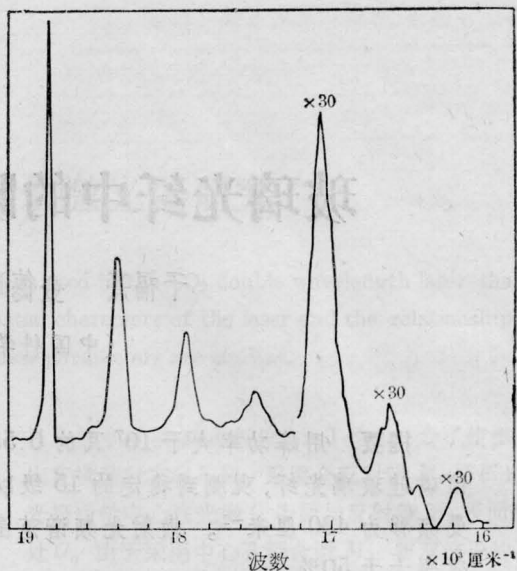
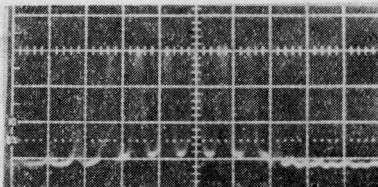
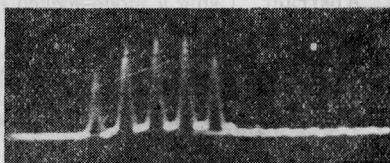


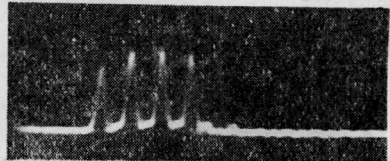
图 4 斯托克斯散射频谱



(a) 0.53 微米激发光波形(1 伏/厘米)



(b) 第 8 级 Stokes 光波形(1 伏/厘米)



(c) 第 16 级 Stokes 光波形(1 伏/厘米)



(d) 第 4 级反 Stokes 光波形(0.1 伏/厘米)



(e) 第 8 级反 Stokes 光波形(0.1 伏/厘米)

图 5 从示波器上观测到的散射光波形

范围内,没有测量到散射光,这可能是玻璃光纤在此波段存在较强吸收所造成的。末级反斯托克斯散射频率大于 22×10^3 厘米⁻¹,据此确认:存在 15 级以上斯托克斯散射与 8 级以上反斯托克斯散射。整个散射光的频谱范围为 0.45~1.00 微米,覆盖了可见光和近红外波段。

图 4、5 分别给出用 GDM1000 单色光计记录的前七级斯托克斯散射谱与用示波器记录的激发光、散射光时域波形。实验结果表明:(1) 散射光线宽大于激发光线宽,因此,所有的激发光对产生受激喇曼散射都是有贡献的。(2) 随着散射级别增加,散射光的频宽展宽,相应的时宽压窄。反斯托克斯与 7 级以上斯托克斯散射基本上接近连续谱。(3) 散射光均为微微秒脉冲序列(见图(5)),因而具有较高的功率密度。散射级序越高,脉冲幅度起伏增大,稳定性变差。(4) 从散射谱的相对强度与各级散射光的功率测量表明:受激喇曼散射的转换效率大于 50%。(5) 多次曝光记录得到高阶散射光时域波形(见图(5))表明:在我们的实验条件下,受激喇曼散射的稳定性是比较好的。

四、结 束 语

受激喇曼散射的基本机理是光子与介质

光学声子的非弹性散射,激发光时宽对光学声子弛豫时间的比值,将对不同类型散射过程的竞争产生强烈影响。在我们的实验条件下,激发光相对于散射介质的元激发,可以认为光场是瞬变的。瞬态喇曼散射理论分析表明^[4]:瞬态散射光的脉宽变窄,其极大值相对于激发光脉冲极大值有一时延,这与我们实验中观察到的结果是一致的。我们的实验结果还表明:稳定、短时宽、高功率的微微秒激光注入到足够长度的玻璃光纤,可以获得高转换效率、高功率密度、宽带的稳定受激喇曼散射。

如果用可调谐的微微秒脉冲来激励光纤,有可能得到宽带连续的散射谱。这对于用玻璃光纤的受激喇曼散射实现宽带连续可调,是十分有意义的。如果适当增加光纤长度与进一步提高光耦合效率,可期望得到更高转换效率的受激喇曼散射。

参 考 文 献

- [1] V. S. Butulkin *et al.*; *Optical and Quantum Electronics*, 1979, **11**, 141.
- [2] R. H. Stolen *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1972, **20**, No. 2, 62.
- [3] Nie Caojiang *et al.*; *Appl. Phys.*, 1981, **24**, 303.
- [4] R. L. Carman *et al.*; *Phys. Rev. A.*, 1970, **2**, No. 1, 60.
- [5] C. S. Wang; *Phys. Rev.*, 1969, **182**, No. 2, 482.