

# 双折射光纤受激喇曼散射的研究

王兆民 任建华

(长春光学精密机械学院光学物理系长春, 130023)

## 提 要

本文详细地研究了双折射光纤的受激喇曼散射. 观测到9级斯托克斯受激喇曼谱. 文中讨论和测试了阈值和频移与泵浦光偏振方向间的关系; 当泵浦光偏振方向与光纤椭圆核的长轴或短轴平行时的传输损耗. 并根据测得的阈值在理论上计算了各级斯托克斯线的喇曼增益系数.

关键词 双折射光纤, 受激喇曼散射.

## 1 引 言

光纤中的受激喇曼散射(SRS)由于增益介质长, 可控性好, 损耗低已受到人们的普遍关注. 进行了诸多研究. 特别是近年来提出的光纤逻辑门快速开关元件更广泛利用了双折射光纤的非线性特性. 本文对双折射光纤的受激喇曼散射作了系统的研究. 对其喇曼光谱、阈值条件, 模式效应和喇曼增益系数等以及它们与入射光的偏振状态和双折射光纤结构参量间的关系进行了分析, 测试和计算.

## 2 实验装置及结果

### 2.1 实验装置

本实验中所用的纯元素, 无杂质的双折射光纤, 截止波长为  $0.63 \mu\text{m}$ , 核长短轴分别为  $2.5 \mu\text{m}$  和  $3.5 \mu\text{m}$ . 外径为  $125 \mu\text{m}$ , 核成份为  $\text{GeO}_2 + \text{SiO}_2$ . 相对折射率为  $(\Delta n_x - \Delta n_y) / \Delta n_x = 0.0005$ . 长度为  $L = 60 \text{ m}$ . 实验装置如图1所示. 倍频 YAG 激光 ( $\lambda = 532.0 \text{ nm}$ ) 用作

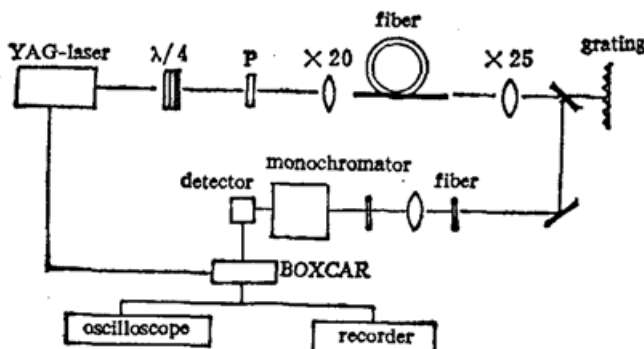


Fig. 1 Set up for SRS measurement of birefringence fiber

Table 1 Raman Shift ( $\text{cm}^{-1}$ )

Order	1	2	3	4	5
$\Delta\nu_R$	394	792	1191	1584	2015
Order	6	7	8	9	
$\Delta\nu_R$	2400	2870	3312	3753	

收稿日期: 1991年10月7日

\* 由北京玻璃研究所提供.

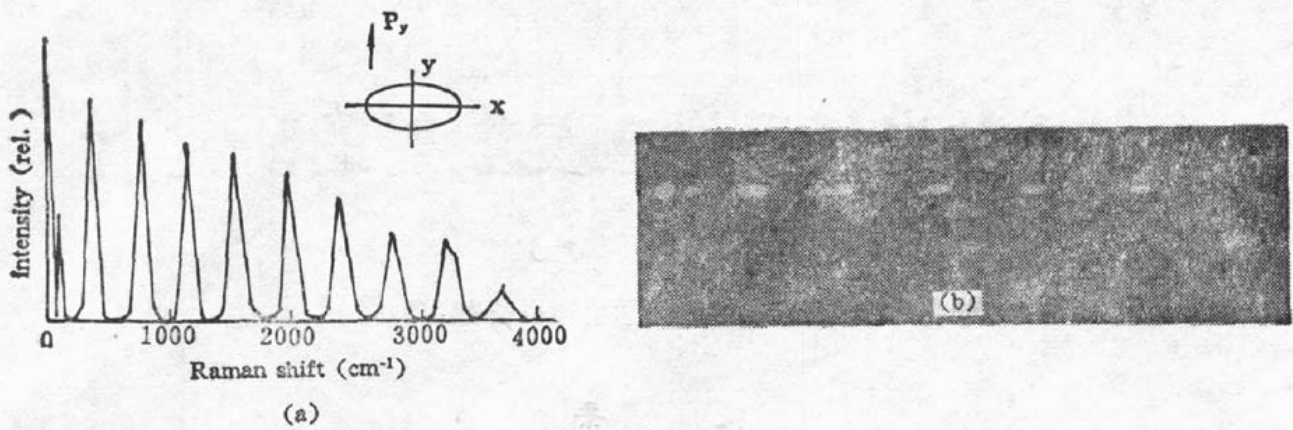


Fig. 2 Measured one group SRS spectra and photograph.

(a) Stokes lines; (b) photograph.

泵浦光源。激光器的运转特性为：调Q脉冲光重复频率为20 pps；脉冲宽度为10 ns；从 $\lambda/4$ 波片出射的泵浦光成为圆偏振光，然后由偏振片P调整偏振方向。在光纤的出射和入射端分别用20和25倍显微物镜聚焦。滤光片是为了有效除去泵浦光影响。信号一部分由光栅分光后照像，一部分由探测器检出后经取样积分器，最后由记录仪给出结果。

## 2.2 受激喇曼谱

当入射光偏振方向与双折射光纤低损耗轴平行时，测出了9级受激喇曼谱，如见图2所示，测出的各级喇曼频移如表1所列。它相应于 $\text{SO}_2$ 的 $25.38 \mu\text{m}$ 振动带<sup>[1]</sup>。值得注意的是如果入射光偏振为某一方向时，测出了二组不同喇曼频移谱，它们分别为 $\Delta\nu_{R_1} = 393 \text{ cm}^{-1}$   $\Delta\nu_{R_2} = 354 \text{ cm}^{-1}$ 和对应于结晶态 $\text{SiO}_2$ 的 $25.38 \mu\text{m}$ 寻常光和 $27.47 \mu\text{m}$ 非寻常光振动带。由于其它元素的存在及光纤中 $\text{SiO}_2$ 并非以完全晶体形式存在，所以其喇曼频移与结晶态 $\text{SiO}_2$ 略有不同。这说明这二个振动模式的喇曼增益近乎相等。能量竞争处于近乎相同地位，如图3所示。

## 2.3 传输模式

由于在本实验中所用的泵浦光波长低于光纤的截止波长，因此存在几个传输模式。如果采用阶跃型光纤模式计算公式，其特征频率为<sup>[2]</sup>：

$$\nu = 2\pi r n_1 \sqrt{2\Delta} / \lambda, \quad (1)$$

$$\Delta = (n_1 - n_2) / n_1, \quad (2)$$

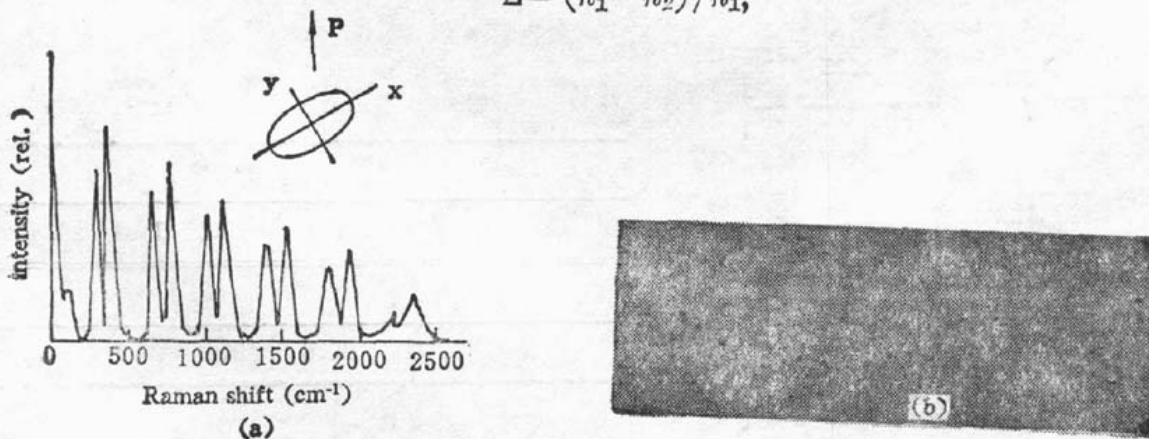


Fig. 3 Measured two group SRS spectra and photograph.

(a) Stokes lines; (b) Photograph.

式中  $r$  为芯径,  $N$  为传输模式数,  $N \approx \nu^2/2$ . 把光纤各参数代入可求出  $N \approx 2$ . 实验证明, 光纤中传输的模式与泵浦光入射角, 光纤长度及弯曲状态有关, 图 4 给出了这二个传输模式照片.

#### 2.4 阈值条件和喇曼增益系数

为了求出受激喇曼阈值条件和喇曼增益系数利用公式<sup>[3]</sup>

$$P_s(L) = P_s(0) \{-\alpha_s L + [\gamma S_p(0)/A\alpha_p]\}, \quad (3)$$

式中  $P_s(L)$ ,  $P_s(0)$  分别为光纤出射端和入射端信号光功率,  $S_p(0)$  为泵浦光功率  $\alpha_p$ ,  $\alpha_s$  分别为泵浦光和信号光传输损耗系数,  $\gamma$  为喇曼增益系数. 如果假定谱线线型为洛伦兹线型, 那么有效入射的斯托克斯光功率可以写成

$$P_s(0) = h\nu_s B_{\text{eff}} N_s, \quad (4)$$

$$B_{\text{eff}} = (\sqrt{\pi}/2) \Delta\nu [S_p(0)\gamma/A\alpha_p]^{-1/2} \quad (5)$$

式中  $N_s$  为传输模式数,  $B_{\text{eff}}$  为有效带宽,  $\Delta\nu$  为线宽,  $A$  为有效入射截面, 可取几何面积的 1.3 倍<sup>[4]</sup>. 对于只考虑一个传输模式情况下, 取  $\alpha_s \approx \alpha_p$ , 采用 Smith 近似条件<sup>[3]</sup>, 那么在阈值条件下有:

$$P_{\text{th}} = 16A\alpha_p/\gamma. \quad (6)$$

泵浦光偏振方向相对于双折射光纤椭圆芯径取向不同, 其传输损耗也不相同. 在实验中, 对于二个椭圆轴向偏振光传输损耗分别为  $\alpha_{p_1} = 5\%$  和  $\alpha_{p_2} = 55\%$  ( $\lambda = 532.0 \text{ nm}$ ,  $L = 60 \text{ m}$ ) 图 5 给出了对于这二种偏振态, 各级喇曼谱的阈值以及当  $\alpha_{p_1} = 5\%$  时由 (6) 式计算出来的喇曼增益因子曲线. 从图上可以看出, 对于不同的泵浦光偏振取向, 其阈值相差是非常大的.

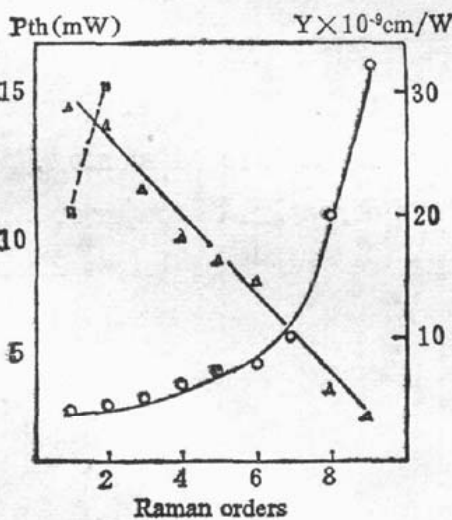


Fig. 5 The dependence curve of threshold and gain coefficient of SRS on Raman order

- Threshold in low transmission
- Threshold in high transmission
- △—Theoretically calculated Raman gain coefficient by measured threshold in (○)

### 3 结 论

双折射光纤的受激喇曼谱特性的强烈地依赖于泵浦光的偏振态. 它不仅要影响到喇曼散射阈值, 增益系数等与能量和传输损耗有关的物理量, 甚至影响到频移和传输模式, 此外, 由于光纤的克尔效应, 散射光的偏振比也要发生变化.

在实验中还发现, 随泵浦光功率的增强, 对高次斯托克斯线逐渐变成连续谱, 测试更高次喇曼线是很困难的.

## 参 考 文 献

- [1] 工藤惠荣. 基础物性图表(分光学的性质を主とした), 共主出版株式会社  
[2] 根本俊雄. 光ファイバ. アイテの基礎, オーム社, 1979  
[3] R. G. Smith, *Appl. Opt.*, 1972, **11** (11): 2489  
[4] R. H. Stolen, *Nonlinear Properties of Fiber*, New York: Academic, 1979: 147  
[5] J. Stone, A. R. Ohranlyyy, O. A. Burrus, *Opt. Lett.*, 1982, **7** (6): 297

**Study of SRS birefringence fiber**

WANG ZHAOMIN    REN JIANHUA

*(Department of Optical Physics, Institute of Optical and Fine Mechanics, Changchun 130023)**(Received 7 October 1991)***Abstract**

In the paper, stimulated Raman scattering (SRS) of birefringence fiber is studied in detail. 9-th order Stokes line of SRS has been observed. The dependence of threshold and Raman shift on polarization of pumping light are discussed. The transmission loss of pumping light polarization along the direction of major or minor axis of fiber core are measured. SRS gain coefficient of birefringence fiber is theoretically calculated with measured threshold.

**Key woros** birefringence fiber, stimulated Raman scattering.