

# 光纤喇曼增益系数的简捷测量

姜海明 王亚非

(电子科技大学光电信息学院, 成都 610054)

**摘要** 基于小信号开关增益原理,采用抽运光-探测波法,利用SLD(超辐射激光二极管)作为宽带小信号探测光源,快速测量出了标准单模光纤(G.652)的频移为0.5~20 THz内的喇曼增益系数,测量结果和文献中已有的值基本吻合,所测得的光纤喇曼增益系数可用于光纤喇曼放大器的理论和实验研究,该方法同样可以对其他类型光纤的喇曼增益系数进行测量.

**关键词** 光纤喇曼增益系数;抽运光-探测波法;光纤喇曼放大器;开关增益

**中图分类号** TN253 **文献标识码** A

## 0 引言

近年来,光纤喇曼放大器(FRA)在光纤通信的波分复用(WDM)和长距离系统中的作用越来越引起重视,对其的研究也越来越多<sup>[1-5]</sup>.在光纤喇曼放大器的研究与设计中,首先要获得光纤的喇曼增益系数.目前应用的光纤喇曼增益系数大多是采用Stolen等人通过测量熔石英(光纤纤芯的主要成分)的自发喇曼散射截面积获得的结果<sup>[6]</sup>,该方法测试相对复杂.另外,当今光纤种类较多,纤芯的成分也不尽相同,所以其喇曼增益系数也不相同,不同纤芯成分的光纤使用上述的喇曼增益系数时会带来较大误差.后来,Mahgerefteh等人采用测量斯托克斯波随入射方波脉冲宽度变化的方法也获得了光纤的喇曼增益系数<sup>[7]</sup>,但是因为该方法要测量自发喇曼散射产生的很微弱的斯托克斯光,由于噪声的影响,只得到了频移为4~16 THz的喇曼增益系数值.本文的测试方法可用较简单的设备快速测量出各种光纤频移为0.5~20 THz甚至更大频移的喇曼增益系数.

## 1 测量原理

光纤喇曼放大器中,在连续波反向抽运并考虑光纤损耗的情况下,抽运光和信号光的相互作用可由强度耦合方程来描述<sup>[8]</sup>

$$\frac{dI_s}{dz} = g_R I_p I_s - \alpha_s I_s \quad (1)$$

$$\frac{dI_p}{dz} = \frac{\omega_p}{\omega_s} g_R I_p I_s + \alpha_p I_p \quad (2)$$

式中, $I_p$ 是抽运光强, $I_s$ 是信号光强, $\alpha_s$ 、 $\alpha_p$ 分别是光纤对信号光和抽运光的衰减系数, $\omega_p$ 、 $\omega_s$ 分别是抽运光和信号光的角频率, $z$ 为信号光沿光纤的传播方向, $g_R$ 是喇曼增益系数,其值与信号光和抽运

光的频差有关,是介质的固有属性,一般由实验来确定.在耦合方程中,如果信号光的光强总是远小于抽运光的光强,即小信号情况,可以忽略抽运光消耗效应,即,略去式(2)右边的第一项,解耦合方程可得信号光的开关增益

$$G(\nu_s) = \frac{P_s(L, \nu_s)}{P'_s(L, \nu_s)} = \exp [g_R(\nu_p - \nu_s) \cdot P_0 L_{\text{eff}} / A_{\text{eff}}] \quad (3)$$

式中 $\nu_s$ 、 $\nu_p$ 分别是信号光和抽运光的频率, $P_s(L, \nu_s)$ 、 $P'_s(L, \nu_s)$ 分别是在抽运光开和关时光纤输出端信号光的功率, $L$ 为光纤实际长度, $P_0$ 、 $A_{\text{eff}}$ 分别为入射的抽运光功率和光纤的有效纤芯面积, $L_{\text{eff}}$ 为有效光纤长度,表达式为

$$L_{\text{eff}} = \alpha_p^{-1} [1 - \exp(-\alpha_p L)] \quad (4)$$

从信号光的开关增益表达式可解出 $g_R$ 的表达式,同时考虑到抽运光和信号光反向传输,偏振关系完全混乱,光纤实际的喇曼增益系数应在所得表达式前面乘以一个因子 $2^{[8,9]}$ ,所以

$$g_R(\nu_p - \nu_s) = \frac{2A_{\text{eff}} \ln G(\nu_s)}{P_0 L_{\text{eff}}} \quad (5)$$

由式(5)可见,只要测出了信号光的开关增益,根据其它已知的参数,就可计算出光纤的喇曼增益系数.

## 2 实验测量

实验装置如图1所示,超辐射激光二极管(SLD)发出的光作为宽带小信号光源,通过第一个光环形器(Circulator1)进入作为增益介质的25 km标准单模光纤(SMF),同时抽运光通过第二个环形器(Circulator2)从另外一端进入标准单模光纤,为了抑制布里渊散射<sup>[10]</sup>,抽运源采用中心波长为1456 nm的多模激光器(Pump).由于受激喇曼散射效应,抽运光和信号光在标准单模光纤中发生非线性相互作用,信号被放大后从第二个环形器输出,信号光的光谱用光谱仪(OSA)测量.

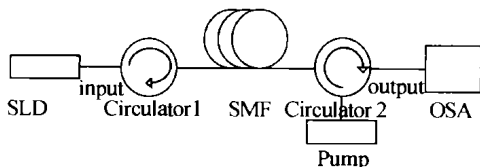


图 1 光纤喇曼增益系数测量光路

Fig. 1 Setup measuring Raman gain coefficient

实验中,打开信号光,用光谱仪分别测量抽运光开和关时环形器 2 输出端的光谱,抽运光关时光谱仪测量出的光谱是经过光纤衰减的信号光,其光谱如图 2 所示.

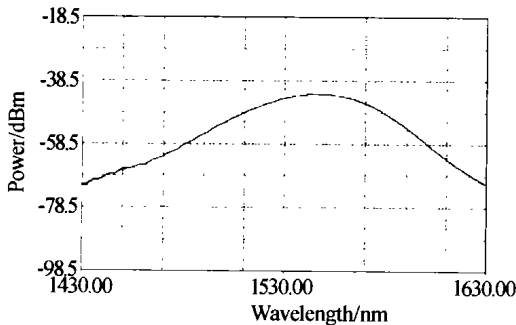


图 2 抽运光关、SLD 开时的输出光谱

Fig. 2 Output spectrum when pump off, SLD on

抽运光开时光谱仪测量出的光谱除了被放大的信号光之外还包含抽运光的反向 ASE(自发辐射)和瑞利散射,其光谱如图 3 所示. 为了提高测试的精度,需要从图 3 的光谱中把抽运光的反向 ASE 和瑞利散射的光谱成份分离出去. 抽运光的反向 ASE 和瑞利散射光谱可以在关闭信号光、只输入抽运光的情况下在环形器 2 的输出端测得. 从图 3 中分离出抽运光的反向 ASE 和瑞利散射的光谱成份后便得到了较纯的放大后的信号光谱,如图 4.

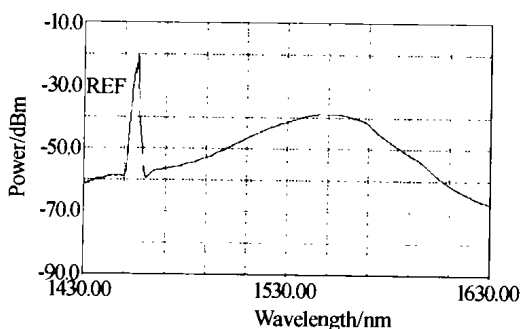


图 3 抽运光开、SLD 开时的输出光谱

Fig. 3 Output spectrum when pump and SLD on

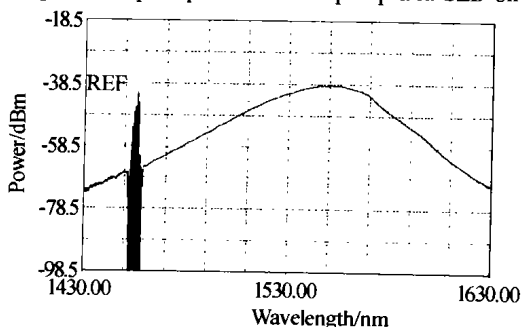


图 4 放大的 SLD 光谱

Fig. 4 Amplified SLD spectrum

把图 4 的光谱和图 2 的光谱对数相减便得到以对数形式表示的信号光的开关增益谱,如图 5.

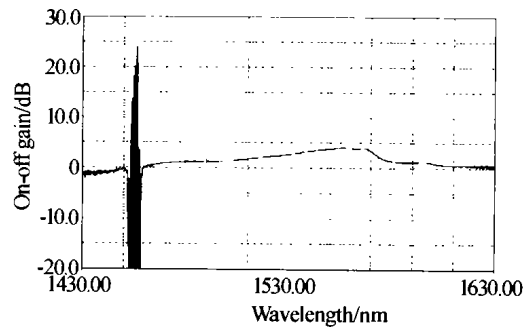


图 5 SLD 的开关增益谱

Fig. 5 On-off gain of SLD

### 3 数据处理与分析

实验中光纤长度  $L = 25 \text{ km}$ ,有效面积取标准单模光纤典型值  $A_{\text{eff}} = 80 \mu\text{m}^2$ , 光纤对 1456 nm 的抽运光的损耗系数取实验测量值  $\alpha_p = 0.24 \text{ dB/km}$ ,利用以上参数和图 5 所示的探测信号光的开关增益谱,根据式(5)进行计算,得出了相对抽运光频移为 0.5 ~ 20 THz 内的光纤喇曼增益系数,结果如图 6 中细曲线所示,由于 1456 nm 波长附近的信号光开关增益受抽运光噪声的影响很大,所以本实验测得的频移为 0 ~ 0.5 THz 内的喇曼增益系数未在图中画出. 文献[6]中的熔石英喇曼增益系数是采用 526 nm 的抽运光,通过测量自发喇曼散射截面积获得的,为了与本文的实验结果进行比较,必须依据喇曼增益系数与抽运光波长成反比的关系<sup>[11]</sup>,将其转化为抽运光波长为 1456 nm 时的喇曼增益系数,结果如图 6 中粗曲线所示. 由图可见,两者谱形非常相似,有些差别但基本上一致. 实验和计算上的各种误差与光纤的掺锗浓度<sup>[12]</sup>的不同都会造成测量结果的一些差异.

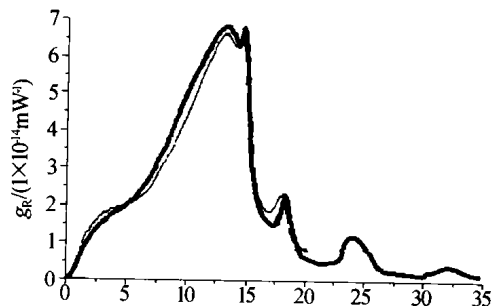


图 6 实验测量值(细线)与文献值(粗线)比较

Fig. 6 Measurement value (thin) and reference value (thick)

### 4 结论

本文利用抽运光-探测波法,采用 SLD 宽谱光源对标准单模光纤频移为 0.5 ~ 20 THz 内的喇曼增益系数进行了测量,结果和已有文献中的测量值基本一致. 应用此方法,采用频带更宽的小信号光源可

以测量出更大频移范围的光纤喇曼增益系数,该测量方法可同样应用于其它类型的光纤. 所测得的喇曼增益系数谱可用于光纤喇曼放大器的理论和实验研究.

### 参考文献

- 1 Emori Y, Tanaka K, Namiki S. 100 nm bandwidth flat-gain Raman amplifiers pumped and gain-equalised by 12-wave-length-channel WDM laser diode unit. *Electron Lett*, 1999, **35**(16):1355 ~ 1356
- 2 Takashina K, Shibano E, Taga H, *et al.* 1T bit/s(100ch × 10G bit/s) WDM repeaterless transmission over 200km with Raman amplifier. *OFC*, 2000, **4**:53 ~ 55
- 3 Namiki S, Emori Y. Recent advances in ultra-wideband Raman amplifiers. *OFC*, 2000, **4**:98 ~ 99
- 4 Morita I, Tanaka K, Edagawa N. Benefit of Raman amplification in ultra-long-distance 40 Gbit/s-based WDM transmission using dispersion-flattened fibre span. *Electron Lett*, 2001, **37**(8):507 ~ 509
- 5 Alan E. Raman amplification in broadband WDM systems. *OFC*, 2001, **2**:TuF4-1- TuF4-3
- 6 Stolen R H, Ippen E P. Raman gain in glass optical waveguides. *Appl Phys Lett*, 1973, **22**(6):276 ~ 278
- 7 Mahgerefteh D, Butler D L, Goldhar J, *et al.* Technique for measurement of the Raman gain coefficient in optical fibers. *Optic Lett*, 1996, **21**(24):2026 ~ 2028
- 8 Agrawal G P. *Nonlinear Fiber Optics*. New York: Academic, 1989. 221 ~ 223
- 9 Stolen R H. Polarization effects in fiber Raman and Brillouin lasers. *Quantum Electronics*, 1979, **15**(10):1157 ~ 1160
- 10 Foley B, Dakss M L, Davies R W, *et al.* Gain saturation in fiber Raman amplifiers due to stimulated Brillouin scattering. *J Lightwave Technol*, 1989, **7**(12): 2024 ~ 2032
- 11 Stolen R H, Clinton L, Jain R K. Development of stimulated Raman spectrum in single-mode silica fibers. *J Opt Soc Am B*, 1984, **1**(4):652 ~ 657
- 12 Davey S T, Williams D L, Ainslie B J, *et al.* Optical gain spectrum of GeO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> Raman fibre amplifiers. *IEE Proceedings Pt J*, 1989, **136**(6):301 ~ 306

## Simple Measurement Method of Raman Gain Coefficient in Optical Fibers

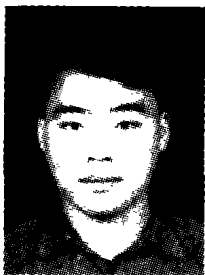
Jiang Haiming, Wang Yafei

School of Opto-Electronic Information, UEST of China, Chengdu 610054

Received date:2003-10-30

**Abstract** Basing on the on-off gain of fiber Raman amplifier under small signal, the Raman gain coefficient for frequency shift between 0.5 and 20 THz in standard single mode optical fiber (G. 652) is measured by pump-probe method through a super luminescent diode (SLD) as a broadband small signal probe. The result agrees with that provided by the reference and can be used in the research on RFA. The method is fit for the measurement of Raman gain coefficient in other optical fibers as well.

**Keywords** Raman gain coefficient; Pump-probe; Fiber Raman amplifier; On-off gain



**Jiang Haiming** was born in 1976, in Liaoning, China. He received his physical electronics bachelor degree in July, 2000 and master degree in June, 2003 from School of Opto-Electronic Information of University of Electronic Science and Technology of China. Now he is working for his alma mater. His current research interests involves fiber amplifiers, fiber lasers, THz technology, SLAM (scanning laser acoustic microscope) and EMC (electro magnetic compatibility) analysis.