

文章编号 : 0253-2239(2001)06-0766-03

1410 nm 波段分布式光纤拉曼增益放大器的研究*

张在宣 金尚忠 王剑峰 刘红林 沈为民 徐江峰

(中国计量学院光电子技术研究所, 杭州 310034)

摘要: 讨论了分布式光纤拉曼增益放大器的工作原理, 采用 1320 nm 固体激光器作为抽运源, 获得了 1410 nm 波段附近的光放大, 在单模 GI 光纤长度为 23 km 时, 初步研究了拉曼放大器增益与光纤作用长度的关系, 抽运脉冲峰值功率分别为 50 W、30 W 时, 光纤的有效作用长度分别为 15.5 km 和 10.5 km, 研究了在不同的光纤有效作用长度时, 拉曼放大器增益与抽运功率的关系, 从光纤拉曼光谱图估算了光纤拉曼放大器的光谱宽度为 50 nm 或 250 cm^{-1} 。

关键词: 光纤拉曼散射; 光纤拉曼放大器; 分布式光纤拉曼增益放大器; 光时域反射

中图分类号: TN242 文献标识码: A

1 引 言

近年来, 光通信向超大容量光纤通信试验系统发展, 采用密集波分复用(DWDM)技术, 由于光纤技术的进展, 已经把 1300 nm 波段和 1550 nm 波段连成一个宽广的区域。要实现远距离超大容量的通信, 必须解决激光光源、调制器和放大器。掺铒光纤放大器(EDFA)已满足不了要求, 近几年来拉曼光纤放大器成为研究的热点^[1, 2]。

在分布式光纤拉曼温度传感器的研究中, 发现

重掺铒的光纤在抽运功率较高时, 斯托克斯拉曼背向散射光时域反射曲线在后端偏离正常的光纤的指数规律。Wakama^[3]也观察到不同抽运功率时的异常现象, 如图 1 所示。在脉冲峰值功率为 15 W 时, 斯托克斯拉曼背向散射光时域反射波形处于正常状况 [图 1(a)] 功率为 30 W 时出现了异常现象 [图 1(b)] 随着抽运功率进一步增强, 50 W 时效应加剧 [图 1(c)] 这是由受激拉曼散射效应引起的, 是分布式光纤拉曼增益放大的现象。

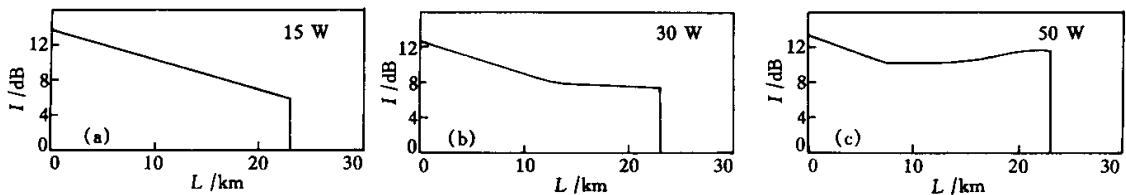


Fig. 1 Stokes Raman backscattering OTDR waveform. (a) $P = 15 \text{ W}$, (b) $P = 30 \text{ W}$, (c) $P = 50 \text{ W}$

2 分布式光纤拉曼增益放大器的工作原理

当抽运光与光纤相互作用时, 产生瑞利散射、布里渊散射和拉曼散射。光纤拉曼散射是光子与光纤分子相互作用时, 光子吸收或发射一个声子, 光纤分子拉曼能级图如图 2 所示。光纤的拉曼声子频率为 $\Delta\nu = 1.32 \times 10^{13} \text{ Hz}$ 。可分为斯托克斯和反斯托克

斯拉曼光子。斯托克斯拉曼光子:

$$\nu_s = \nu_p - \Delta\nu. \quad (1)$$

反斯托克斯拉曼光子:

$$\nu_a = \nu_p + \Delta\nu. \quad (2)$$

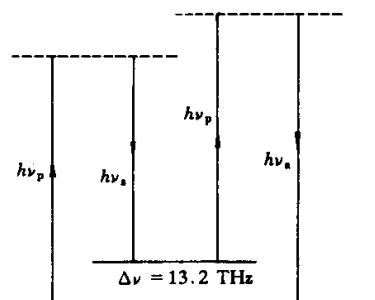


Fig. 2 Raman energy level of optical fiber

* 国家质量技术监督局科技创新项目(D98-A01-07)资助项目。

式中 ν_p 、 ν_s 、 ν_a 分别为抽运光、斯托克斯拉曼光和反斯托克斯拉曼光的频率。在正常情况下,在 L 处,总的斯托克斯拉曼散射强度

$$I_s(L) = I_s(0) \exp[-(\alpha_p + \alpha_s)L], \quad (3)$$

式中 α_p 、 α_s 为抽运光波长和斯托克斯拉曼光波长时光纤中的衰减系数。(3) 式中右边第二项为背向斯托克斯拉曼散射光强

$$I_s(L) = I_s(0) \exp(-\alpha_s L). \quad (4)$$

当抽运光超过受激拉曼散射的阈值时,背向传播的斯托克斯拉曼信号强度为^[41]:

$$I_s(L) = I_s(0) \exp(g_R I_0 L_{\text{eff}} - \alpha_s L), \quad (5)$$

式中 g_R 为光纤拉曼增益系数, L_{eff} 为当实际光纤长度为 L 时,光纤的有效作用长度,

$$L_{\text{eff}} = \frac{1}{\alpha_p} [1 - \exp(-\alpha_p L)], \quad (6)$$

(5) 式除以 (4) 式,得到放大器的增益或放大因子

$$G_A = \frac{I_s(L)}{I_s(0) \exp(-\alpha_s L)} = \exp(g_R I_0 L_{\text{eff}}). \quad (7)$$

3 实验分析与结果

3.1 分布式光纤拉曼放大器(FRA)的结构

分布式光纤拉曼放大器结构如图 3 所示。

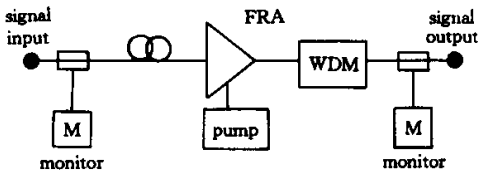


Fig. 3 The configuration of distributed fiber Raman amplifier

采用 808 nm 激光二极管抽运的 1320 nm 固体脉冲激光器作为分布式光纤拉曼放大器的抽运光源,脉冲功率可调,功率可达 50 W,用单模 GI 光纤。采用光纤的自发斯托克斯拉曼散射作为输入信号,在抽运光作用下,产生受激拉曼散射放大,实现了分布式光纤拉曼增益放大器。

3.2 放大器增益 G_A 与光纤作用长度的关系,光纤有效作用长度

从实验上,分别得到了抽运功率为 50 W 和 30 W 时,放大器增益 G_A 为 8.4 dB 和 3.2 dB,并研究了放大器增益与光纤作用长度的关系,如图 4 所示,纵坐标用对数坐标,横坐标为光纤长度。实验曲线与理论公式 (7) 式符合。当抽运功率为 50 W 时,光纤的有效作用长度为 15.5 km;抽运功率为 30 W

时,光纤的有效作用长度为 10.5 km。

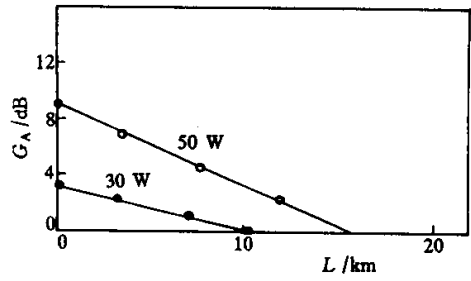


Fig. 4 The relation between the gain of FRA and optical fiber length

3.3 在不同的光纤有效作用长度时,放大器增益与抽运功率的关系

在不同的光纤有效作用长度时,放大器增益与抽运功率的关系如图 5 所示。图中纵坐标为放大器增益的对数坐标,横坐标为抽运功率,图中给出了不同的光纤有效作用长度时,光纤拉曼放大器增益与抽运功率的关系曲线,与理论分析比较符合。

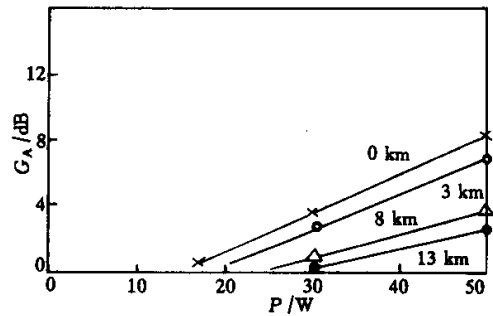


Fig. 5 The relation between the gain of FRA and pumping power

3.4 分布式光纤拉曼放大器光谱带宽的估算

从 (7) 式可知,光纤放大器的增益光谱带宽由光纤拉曼增益光谱的带宽所决定。当 1320 nm 抽运光作用时,文献 [3] 中给出了光纤的背向散射的光谱图,如图 6 所示。图中纵坐标是光谱强度的对数坐标,横坐标是光谱波长。从光谱图估算,分布式光纤拉曼放大器光谱带宽为 50 nm 或 250 cm^{-1} 。

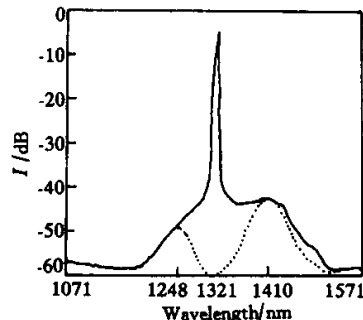


Fig. 6 Spectrum of backscattering in optical fiber

结论 1)对 1410 nm 波段分布式光纤拉曼增益放大器的工作特性进行了初步研究,实验分析结果和理论一致。

2)采用光纤光学时域反射(OTDR)技术是研究分布式光纤拉曼增益放大器的有效方法。

参 考 文 献

[1] Lewis S A E, Chemikov S V, Taylor J R. Broadband high-gain dispersion compensating Raman amplifier.

Electron. Lett., 2000, **36**(16):1355~1366

[2] Chemikov S V, Zhu Y, Kashyap R *et al.*. High-gain, monolithic cascaded fibre Raman amplifier operation at 1.3 microns. *Electron. Lett.*, 1995, **31**(6):472~473

[3] Wakama T, Nishimura M, Tanaka S *et al.*. Development of an optical fiber distributed temperature sensor for long distances. *Smitomo Electric Technical Review*, 1997, **43**(1):40~44

[4] Agrawal G P. *Nonlinear Fiber Optics*. New York: Academic Press, Inc., 1989, Chap. 8, 218~235

Study of 1410 nm Wavelength Region Distributed Fiber Raman Gain Amplifier

Zhang Zaixuan Jin Shangzhong Wang Jifeng Liu Hualing Shen Weimin Xu Jifeng
(*Optoelectronics Technology Institute, China Institute of Metrology, Hangzhou 310034*)

(Received 10 January 2001)

Abstract: The operation principle of distributed fiber Raman gain amplifier is discussed. The light amplification was obtained at 1410 nm wavelength region by using a 1320 nm solid laser as pumping source and a 23 km single mode GI optical fiber. The relation between the gain of fiber Raman amplifier and the effective interaction length of optical fiber is studied. When the pump peak power is 50 W and 30 W, the effective interaction length is 15.5 km and 10.5 km. The relation between the gain of Raman amplifier and pump power at different effective interaction length of optical fiber is analyzed. The spectrum width of Raman fiber amplifier is estimated to be 50 nm or 250 cm from the Raman backscattering spectrum of optical fiber.

Key words: fiber Raman scattering; Raman fiber amplifier; distributed fiber Raman gain amplifier; optical time domain reflection(OTDR)