

文章编号: 0258-7025(2002)09-0805-03

基于光纤环形镜的掺铒光纤放大器增益平坦化

蒙红云, 赵春柳, 杨石泉, 宁 鼎, 黄勇林, 袁树忠, 董孝义

(南开大学现代光学研究所, 天津 300071)

提要 理论和实验上简要分析研究了由两段保偏光纤组成的光纤环形镜的反射谱特性, 提出了利用保偏光纤环形镜进行掺铒光纤放大器(EDFA)增益平坦化的方法。应用该方法, 在 1527 ~ 1562 nm 范围内, EDFA 自发辐射谱的不平坦度为 ± 1 dB。

关键词 光纤放大器, 光纤环形镜, 波分复用

中图分类号 TN 253 文献标识码 A

Gain-flattening of an Erbium-doped Fiber Amplifier Using a Fiber Loop Mirror

MENG Hong-yun, ZHAO Chun-liu, YANG Shi-quan,

NING Ding, HUANG Yong-lin, YUAN Shu-zhong, DONG Xiao-yi

(Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 300071)

Abstract The reflection characteristic of a fiber loop mirror, which comprises two pieces of polarization maintaining fiber, is studied in theory and experiment. A flexible method based on the polarization maintaining fiber loop mirror is proposed for the gain flattening of an erbium-doped fiber amplifier. The excursion of the ASE intensity of the flattened-EDFA is 2 dB in the 1527 ~ 1562 nm wavelength region.

Key words optical fiber amplifier, fiber loop mirror, wavelength division multiplexing

1 引 言

在波分复用(WDM)系统中,除了要求掺铒光纤放大器(EDFA)有足够高的增益外,还要求有足够的带宽。而随着高速率 WDM 通信的发展,EDFA 性能的某些缺陷——增益谱非均匀性和噪声特性对系统的影响也愈加明显地暴露出来。由于 EDFA 的增益不平坦现象,在多个 EDFA 级联时,某些波长光的增益将明显小于另一些波长的光增益,从而这些波长的光信道产生很大的误码,这样势必影响 WDM 系统的传输距离,因此很有必要对 EDFA 的增益谱进行平坦。主要有两种增益平坦的方法,一种是改变掺铒光纤(EDF)的材料组成^[1,2],另一种方法是利用各种滤波器补偿增益光谱的差异,比如光纤 Bragg

光栅^[3],长周期光栅^[4,5],光纤声光可调滤波器^[6], Mach-Zehnder 滤波器^[7]等。利用光栅的方法需要昂贵的写入设备,而且灵活性差,而光纤声光可调滤波器价格昂贵, Mach-Zehnder 滤波器存在不稳定等缺点。本文利用光纤环形镜实现了 EDFA 增益谱的平坦化,该方法容易实现、灵活性好。

2 光纤环形镜的构成及其增益平坦原理

光纤环形镜(FLM)的构成如图 1 所示,它由一个耦合器、两个偏振控制器(PC1 和 PC2)和两段同类型保偏光纤(PMF1, L_1 和 PMF2, L_2)组成,保偏光纤是利用它的高双折射效应。

收稿日期 2001-06-28;收到修改稿日期 2001-09-26

基金项目 天津市科委重点基金资助(编号 013800411)。

作者简介 蒙红云(1973—),男,江西人,现为南开大学现代光学研究所学生,博士,主要从事光纤放大器和全光纤通信方面的研究。E-mail: hymeng@eyou.com

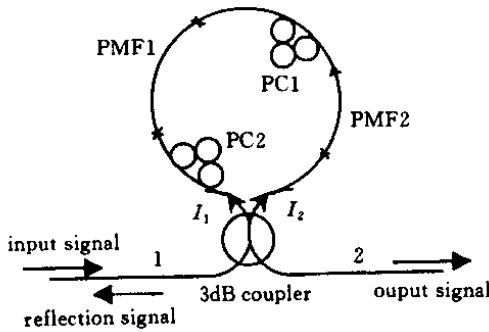


图1 光纤环形镜示意图

Fig.1 Diagram of the fiber loop mirror

当光信号 (I_{in}) 从 3 dB 耦合器的一端输入时, 它被分成强度相等而传播方向相反的两束光 (I_1 和 I_2), 当这两束光通过两段保偏光纤后, 分别分成四束光, 因此当它们通过耦合器时, 由于双折射快慢轴引入的相位差, 它们之间形成四对相干光。为简单起见, 先考虑只有一个偏振控制器和一段保偏光纤的情况。

光纤环形镜的定量分析可以用 Jones 矩阵法^[8], 假设保偏光纤的快轴和慢轴分别对应于 x 和 y 轴, 则由于快轴和慢轴的折射率差别, 它们之间传播的光将产生相位差 $\delta\varphi(\lambda) = 2\pi\Delta nL/\lambda$, 其中 Δn 为快慢轴折射率差, L 为光纤的长度。当偏振控制器使 x 轴和 y 轴的光旋转 90° 时, 可以得到该器件的反射率为^[9]

$$R(\lambda) = 2K(1 - K) [1 + \cos\delta\varphi(\lambda)] \quad (1)$$

其中, K 为耦合器的耦合比。当偏振控制器使 x 轴和 y 轴的光旋转小于 90° 时, 相反传播的光返回到耦合器时只有部分相干, 反射率的对比度下降。调节偏振控制器就可以改变 x 轴和 y 轴光旋转的角度。

从 (1) 式可以看出, 当只有一段双折射光纤和一个偏振控制器时, 反射率是余弦函数的形式, 当有两段保偏光纤和两个偏振控制器交替连接时, 其反射率函数应该是两个余弦形式函数的叠加效果, 因此, 光纤环形镜的反射光强度跟相位差以及偏振控制器的状态有关, 即取决于保偏光纤快轴和慢轴的折射率差、保偏光纤的长度、两段保偏光纤的长度差以及偏振控制器 PC1 和 PC2 的状态。

为了验证上面的分析, 利用一个 3 dB 耦合器, 两个偏振控制器, 两段长度分别为 31 cm 和 28 cm 的保偏光纤组成如图 1 所示的环形镜, 其中保偏光纤的拍长为 3.1 mm, 截止波长为 1270 nm。宽带光源作为输入, 用光谱分析仪测量了偏振控制器 PC1 和

PC2 在不同状态下环形镜的反射谱, 如图 2(a)(b) 所示。从图 2 可以看出, 通过调节 PC1 和 PC2 的状态, 可以改变光纤环形镜反射峰的位置和深度(对比度)。由此可知, 通过调节偏振控制器 PC1 和 PC2 的状态, 可能得到跟 EDFA 增益谱互补的反射谱, 实现 EDFA 的平坦化。

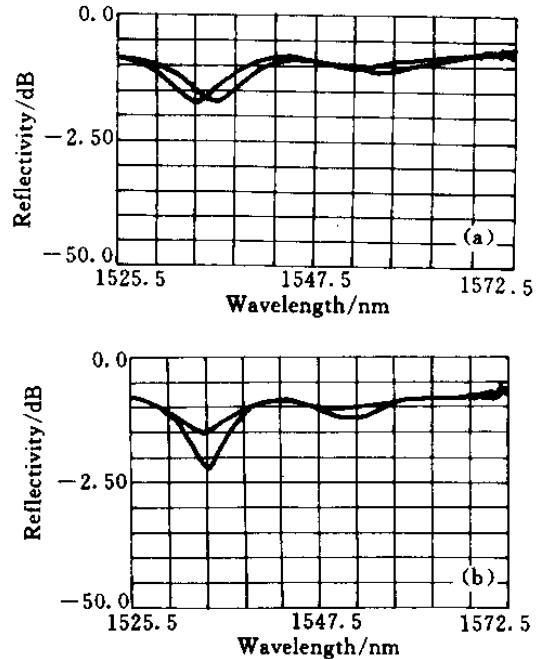


图2 反射光谱位置(a)和深度(b)的变化

Fig.2 Control of the notch position(a) and depths(b) of the reflection spectrum

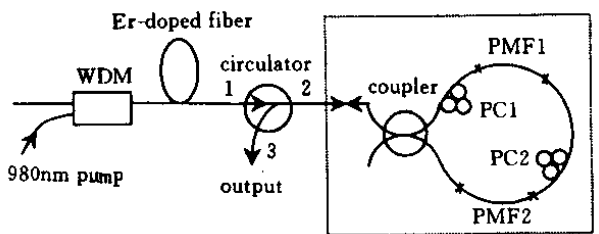


图3 EDFA 增益平坦实验示意图

Fig.3 Experimental setup of the gain-flattened EDFA

3 平坦实验结果与讨论

EDFA 增益平坦实验装置如图 3 所示, 980 nm 抽运的 EDFA 自发辐射信号经环行器 1 端输入, 通过环行器 2 端进入光纤环形镜, 信号被反射后从环行器的 3 端输出, 环行器也起隔离器的作用。图 4(a) 中的曲线 a 表示当抽运功率为 80 mW 时, 平坦前 EDFA 的自发辐射谱, 可以看出, 在平坦之前, 在 1531 nm 左右的高峰强度高达 -12.5 dBm, 而 1550

nm左右的平坦位置只有-22.5 dBm左右,两者相差10 dB。在1550 nm左右,不平坦度为2 dB的带宽不到20 nm。利用我们提出的方法,选择适当长度的两段保偏光纤,通过调节偏振控制器,得到图4(a)中曲线b所示的环形镜反射光谱,可以看出,该反射光谱跟EDFA的自发辐射谱基本互补。从环形器3端测得如图4(b)所示的光谱,可以看出,在

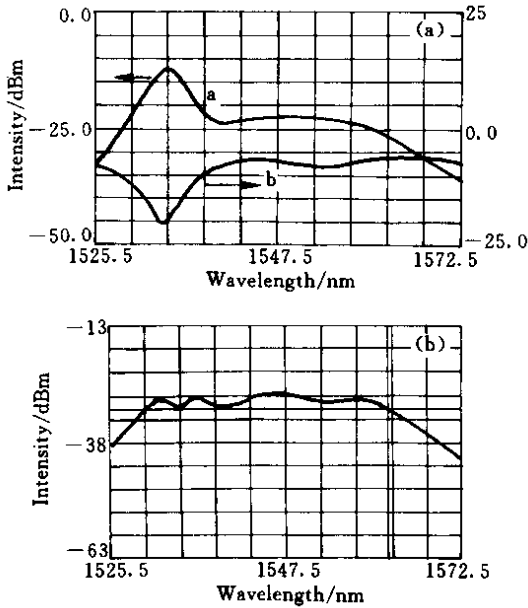


图4 平坦前(a)和平坦后(b)EDFA的自发辐射谱

Fig.4 ASE spectrum of the EDFA before flattening (a) and after flattening (b)

1527~1562 nm(35 nm)范围内,不平坦度为 ± 1 dB。当抽运功率为70 mW时,通过调节偏振控制器的状态,能得到同样的平坦效果,说明该平坦方法具有比较大的可调性,能灵活地对具有不同增益谱的EDFA进行平坦。从图4(a)(b)可以看出,平坦后的功率下降7.5 dB左右,即插入损耗比较大(约为7.5 dB),这主要是两方面因素引起的:一方面由于环形器的质量差,引入的插入损耗比较大(3.1 dB),另一方面由于保偏光纤的纤芯不是圆形的,当它跟单模光纤之间焊接时,由于实验条件所限,焊接引入比较大的损耗(约4.2 dB)。如果选择更低插入损耗的环形器,利用可焊接单模-保偏光纤的焊接设备,将能得到更好的结果。

4 结论

利用光纤环形镜对EDFA进行增益平坦,实现

EDFA在带宽35 nm范围内放大的自发辐射谱(ASE)的不平坦度达 ± 1 dB。该方法容易实现,而且能对具有不同增益谱的EDFA灵活地进行平坦。

参考文献

- 1 M. Yamada, T. Kanamori, Y. Terunuma *et al.*. Fluoride-based erbium-doped fiber amplifier with inherently flat gain spectrum [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1996, **8**(7): 882 ~ 884
- 2 S. Yoshida, S. Kuwano, K. Iwashita. Gain-flattened EDFA with high Al concentration for multistage repeated WDM transmission systems [J]. *Electron. Lett.*, 1995, **31**(20): 1765 ~ 1767
- 3 S. K. Liaw, K. P. Ho, S. Chi. Dynamic power-equalized EDFA module based on strain tunable fiber Bragg gratings [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1999, **11**(7): 797 ~ 799
- 4 Chen Genxiang, Li Tangjun, Liu Chunning *et al.*. Study on fiber grating filters for gain flattening. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1999, **19**(9): 1315 ~ 1317 (in Chinese)
- 5 P. F. Wysocki, J. B. Judkins, R. P. Espindola *et al.*. Broad-band erbium-doped fiber amplifier flattened beyond 40 nm using long-period grating filter [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1997, **9**(10): 1343 ~ 1345
- 6 S. K. Yun, B. W. Lee, H. K. Kim *et al.*. Dynamic erbium-doped fiber amplifier based on active gain flattening with fiber acoustooptic tunable filter [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1999, **11**(10): 1229 ~ 1231
- 7 M. Yamada, A. Mori, K. Kobayashi *et al.*. Gain-flattened tellurite-based EDFA with a flat amplification bandwidth of 76 nm [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1998, **10**(9): 1244 ~ 1246
- 8 David B. Mortimore. Fiber loop reflectors [J]. *J. Lightwave Technology*, 1988, **6**(7): 1217 ~ 1224
- 9 X. P. Dong, Shenping Li, K. S. Chiang *et al.*. Multiwavelength erbium-doped fibre laser based on a high-birefringence fibre loop mirror [J]. *Electron. Lett.*, 2000, **36**(19): 1609 ~ 1610