

文章编号: 0258-7025(2001)06-0553-03

运用长周期光纤光栅实现 EDFA 的增益平坦化

谢增华 陈根祥 李唐军 简水生
(北方交通大学光波所 北京 100044)

提要 针对 Perilli 公司生产的 OP-980 型掺铒光纤放大器(EDFA)的增益谱不平坦特性,运用紫外写入的方法研制成使其增益平坦化的长周期光纤光栅增益平坦化器件,实现了该掺铒光纤放大器在 30 nm 范围内的增益谱波动小于 ± 0.4 dB。

关键词 掺铒光纤放大器,长周期光纤光栅,增益平坦

中图分类号 TN 929.11 **文献标识码** A

EDFA Gain Flattening Equalizer Based on Long Period Fiber Gratings

XIE Zeng-hua CHEN Gen-xiang LI Tang-jun JIAN Shui-sheng
(*Institute of Lightwave Technology, Northern Jiaotong University, Beijing 100044*)

Abstract The EDFA gain flattening equalizer using a long period fiber gratings(LPGs) fabricated using amplitude mask scanned by UV light is presented in this paper. The results show that this EDFA is flat to within ± 0.4 dB exceeding 30nm usable bandwidth.

Key words erbium-doped fiber amplifier, long period fiber gratings, gain flattening

1 引 言

掺铒光纤放大器(EDFA)的商用化使得光信号的中继传输距离显著增加。但在大容量多通道的密集波分复用通信系统中,由于传输系统中 EDFA 的增益谱不平坦,使得各通道的增益有所不同,于是不可避免地在传输中产生误码。在长距离多级放大的情况下,这一现象尤为严重。

近年来对各种 EDFA 的增益平坦化技术的研究受到了国内外光纤和光电子研究领域的普遍关注,迄今为止已经有多种方法用来实现各种 EDFA 的增益平坦化。

有两种基本的方法实现 EDFA 的增益平坦^[1]:一种是设法改进掺铒光纤的材料特性;另外就是设计光谱特性与 EDFA 的增益突起几近相反的滤波器。

长周期光纤光栅(LPG, Long-period Grating)作为一种性能优良的波长选择性损耗元件,可以通过选

择适当的光栅周期,使光栅将一定波长的光耦合至包层而迅速损耗掉,它具有结构简单、附加损耗小、带宽大、无背向反射、成本低廉等优点,因此,采用长周期光纤光栅是使 EDFA 增益平坦的有效方法^[2~4]。A. Srivastava 等采用带有长周期光纤光栅增益均衡器的 8 个 EDFA 级联,成功地实现了 32 × 10 Gbit/s 在 640 km 光纤上的无误码传输^[5];P. F. Wysocki 等运用内置光谱精确设计的峰值衰减达 14 dB 的长周期光纤光栅滤波器获得了有效增益谱宽超过 40 nm,增益波动小于 1 dB,噪声因数低于 4.0 dB,输出功率达 +15 dBm 的增益平坦化 EDFA^[6];J. R. Qian 等采用在长周期光纤光栅中引入一定相移的方法来控制光栅的光谱结构,从而实现不同增益谱形状的 EDFA 的增益平坦化^[7]。

本文针对 Perilli 公司生产的 OP-980 型 EDFA,根据预先计算设计,采用幅度掩模结合程控微位移扫描曝光技术,研制成功可用于实现 EDFA 增益平坦化的长周期光纤光栅器件,在约 30 nm 的范围内,

获得了增益谱波动小于 ± 0.4 dB ,增益谱最低点 (1539 nm) 的功率损失小于 2 dB 的结果。

2 增益平坦器件的设计与研制

长周期光纤光栅是一种传输损耗型光纤光栅 ,其基本原理是将导模中某频段的光耦合到包层模中损耗掉。通过采用耦合模理论对长周期光纤光栅损耗谱的计算并结合实验研究表明 ,长周期光纤光栅损耗谱的形状可以通过改变光栅长度、折射率调制深度等参数有效地加以控制。长周期光纤光栅的谐振波长位置由下式给出

$$\lambda_p = (n_{\text{eff}}^{01} - n_{\text{eff}}^{0m})\Lambda$$

其中 n_{eff}^{01} 和 n_{eff}^{0m} 分别为光纤中 LP₀₁ 和 LP_{0m} 模的有效

折射率 , Λ 为光栅周期。因此结合给定的 EDFA 的增益谱宽和幅度 ,根据相位匹配条件确定光栅周期 ,然后再确定折射率调制和光栅长度 ,最后通过适当组合即可实现 EDFA 的增益平坦化。

根据具体 EDFA 的增益谱 ,基于设计计算 ,采用幅度掩模结合程控微位移扫描曝光技术 ,研制了一组长周期光纤光栅。研制过程中 ,采用的紫外光源为德国 Lambda Physik 公司的 LPX-150 型 248 nm KrF 准分子激光器 ,宽带光源为 LED ,紫外光敏光纤采用普通单模光纤高压 (100 atm) 低温渗氢约 30 天。为了增加光栅的温度稳定性 ,把所研制的光栅在 260℃ 高温下退火 2 h。最后结合给定 EDFA 的增益谱 ,从中选出了三个不同光栅连接组成 EDFA 增益平坦化器件 ,其结构图及损耗谱如图 1 和图 2 所示。

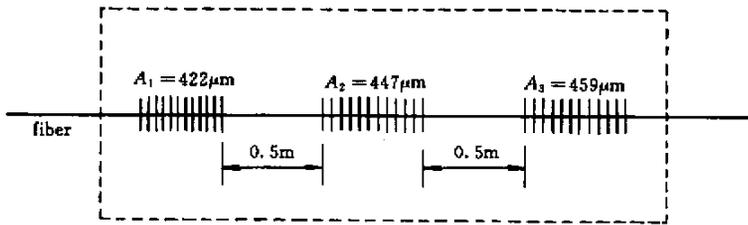


图 1 由 3 个长周期光纤光栅级联组成的 EDFA 增益均衡器

Fig.1 EDFA gain flattening equalizer assembled from three long period fiber gratings

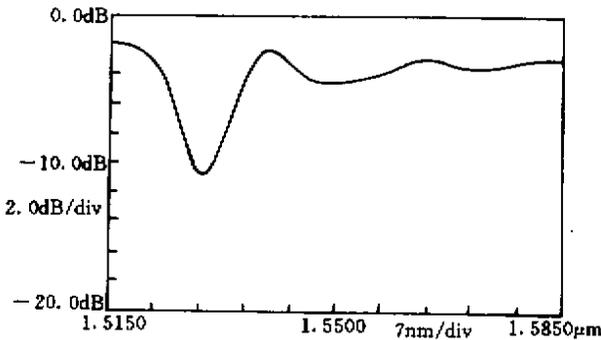


图 2 由 3 个不同长周期光栅组成的 EDFA 增益均衡器的损耗谱

Fig.2 Attenuation spectrum of EDFA gain flattening equalizer based on three long-period fiber gratings

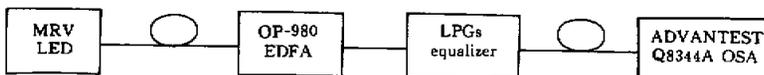


图 3 EDFA 增益平坦化测试系统

Fig.3 Experimental set-up for test the EDFA gain spectrum after connecting with the LPGs equalizer

3 实验结果

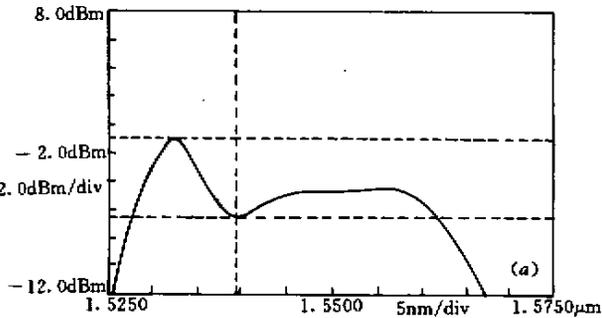
将所研制的由 3 个不同长周期光纤光栅组成的增益均衡器与给定的 OP-980 型 EDFA 输出端串接 ,

当输入功率相同时 ,测定 EDFA 增益谱。实验所采用的具体测试系统构成如图 3 所示。

在上述测试系统中 ,所用光源为宽带激光二极管

管(LED),光谱仪(OSA)为 ADVANTEST Q8344A 型。经测试,OP-980 型 EDFA 在运用增益平坦化器件前后的增益谱分别如图 4(a)(b)所示。

图 4(a)所示为输入功率为 -32 dBm 时 OP-980 型 EDFA 的增益谱,其中心波长为 1550 nm。由图可见,给定的增益谱在 1532 nm 附近有一明显的突起,



为了实现增益平坦,就必须设法削平这一突起。图 4(b)是运用增益平坦器件后在同一输入功率情况下 EDFA 的增益谱曲线。可以看出,从 1.5295 μm 到 1.5596 μm 约 30 nm 范围内,EDFA 的增益谱波动小于 ± 0.4 dB,增益谱最低点(1539 nm)的功率损失小于 2 dB,从而有效地实现了增益平坦化。

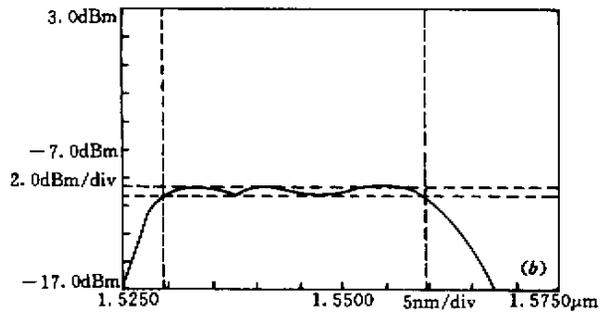


图 4 平坦化前(a)及平坦化后(b)输入功率为 -32 dBm 时 OP-980 型 EDFA 的增益谱

Fig. 4 A OP-980 EDFA gain spectrum when input power is -32 dBm before(a) and after flattening

4 结 论

本文运用 3 个不同的长周期光纤光栅研制成使 OP-980 型 EDFA 增益平坦化的均衡器件,实现了在约 30 nm 范围内 EDFA 的增益波动小于 ± 0.4 dB。采用幅度掩模结合程控扫描曝光的方法可以较快地制作出所需的长周期光栅。

由于长周期光纤光栅的周期远大于 Bragg 光纤光栅的周期,所以长周期光栅易于制作。研究发现,通过对长周期光纤光栅各种参数的精确控制和不同长周期光纤光栅的组合,可以方便地实现所要求的光谱特性。所以,运用长周期光纤光栅构成各种增益谱的平坦化器件是一种简便而有效的方法,具有重要的技术意义和实用价值。

参 考 文 献

1 M. Wilkinson, A. Bebbington, S. A. Cassidy *et al.*. D-fiber filter for erbium gain spectrum flattening. *Electron. Lett.*,

1992, **28**(2):131~132

2 A. M. Vengsarkar, J. R. Pedrazzani, J. B. Judkins *et al.*. Long-period fiber-grating-based gain equalizers. *Opt. Lett.*, 1996, **21**(4):336~338

3 C. Narayanan, H. M. Presby, A. M. Vengsarkar. Band-rejection fiber filter using periodic core deformation. *Electron. Lett.*, 1997, **33**(3):280~281

4 A. M. Vengsarkar, P. J. Lemaire, V. G. Jacobovitz *et al.*. Long-period fiber gratings as gain-flattening and laser stabilizing devices. *Proc. Integrated Optics and Optical Communication (IOOC)* '95, PD1~2

5 A. Srivastava, J. Judkins, Y. Sun *et al.*. 32×10 Gb/s WDM transmission over 640 km using broad band, gain-flattened erbium-doped silica fiber amplifiers. *Proc. Optical Fiber Communication (OFC)* '97, PD18

6 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. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1997, **9**(10):1343~1345

7 J. R. Qian, H. F. Chen. Gain flattening fiber filters using phase-shifted long period fiber gratings. *Electron. Lett.*, 1998, **34**(11):1132~1133