

增益平坦滤波器（GFF）的几种实现技术

高凡 陈学卿 赵灏 波覃

(桂林航天工业高等专科学校、中国电子科技集团公司第三十四研究所)

摘要：EDFA 的增益平坦化是 DWDM 系统中的关键问题,介绍了 EDFA 增益平坦滤波器的实现技术原理并对其关键技术参数进行了比较,认为啁啾光栅增益平坦滤波器是一较好的选择。试验表明,在高功率 EDFA 中加入啁啾光栅增益平坦滤波器,其增益平坦度可控制在 $\pm 0.3\text{dB}$ 以内。

0 引言

EDFA 具有增益高、带宽大、噪声低、增益特性对光偏振状态不敏感、对数据速率以及格式透明和在多路系统中信道交叉串扰可忽略等优点[1],在 DWDM 系统中,由于各信道波长的密集复用以及 EDFA 均匀展宽特性,不同信道之间存在激烈的竞争,当多波长光信号通过 EDFA 时,不同信道波长的增益会有所不同;同时,在 DWDM 网络中,经常需要对 EDFA 进行级联使用,每个放大器的增益波动将使 DWDM 的增益波动进行累积使其加剧,这会加剧网络中信号功率的不平衡,使比特误码率 (BER) 不能满足系统要求[2]。因此,对 EDFA 的增益谱进行平坦化成为一个 DWDM 系统应用的现实问题[3,4]。目前,实现 EDFA 增益平坦主要有薄膜滤波、微光正弦滤波、光纤光栅滤波等技术手段。

1 几种增益平坦滤波器技术

1.1 基于薄膜滤波技术的 GFF

薄膜滤波器由介质薄膜 (DTF) 构成,其基本结构是基于法布里-泊罗 (F-P) 标准具的谐振器,该谐振器是间距固定的平板,由腔和反射镜构成,如图 1 所示。

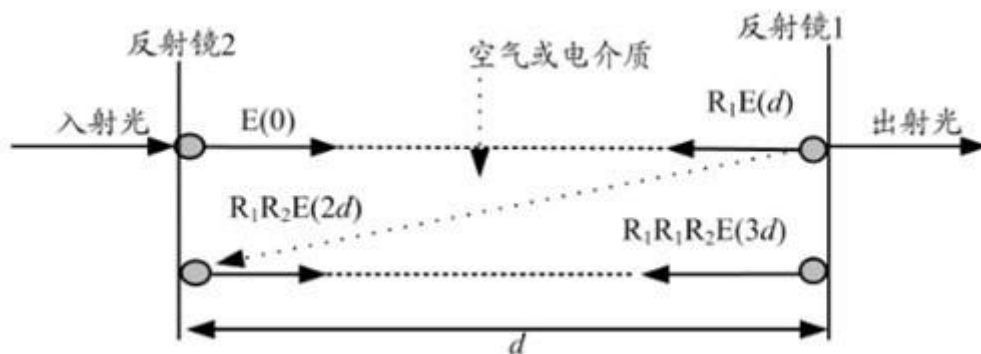


图 1 F-P 谐振器工作原理示意图

薄膜滤波技术是一个比较成熟的技术,典型的基于薄膜滤波技术的 GFF 由一个高反射的多层平板夹以 $\lambda/2$ 间隔层构成,如图 2 所示。

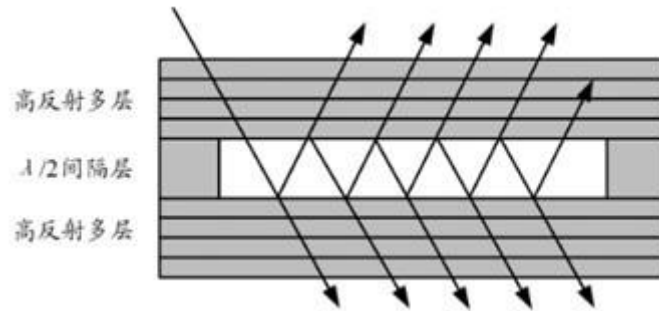


图 2 基于薄膜滤波技术的 GFF 的结构

基于薄膜滤波技术的 GFF 可以工作于反射模式或者透射模式，一般由两个以上的 F-P 腔构成，所以也称为多腔薄膜干涉滤波器，其腔之间通过介质反射层隔离，每个腔包括 50 层以上的多层结构。

基于薄膜滤波技术的 GFF 生产工艺较复杂，对于新的放大器增益曲线的适应能力较弱，同时，薄膜滤波 GFF 属于一种体效应技术，插入损耗相对较大。由于每只薄膜滤波 GFF 的生产使用同样的工具和工艺，使每只 GFF 增益波动几乎一样，这样在 EDFA 进行级联使用时，必然会加剧网络的增益波动的累积。

1.2 基于微光正弦滤波技术的 GFF

基于微光正弦滤波技术 GFF 的实现方式之一是采用马赫-曾德尔 (M-Z) 干涉仪[5]。两个波长 (λ_1 和 λ_2) 的光输入光纤，经方向耦合器 #1 使两个波长的光功率对半分并各自耦合进两个长度不等的波道臂，两波道长度差为 ΔL 。经两个臂传输的光束以不同的相位到达第二个方向耦合器 #2。按照相位变化和输出光纤的位置，每个波长在两个输出光纤之一产生“相长”干涉，而另一个产生“相消”干涉，即在第一根光纤上，波长 λ_1 “相长”(波长 λ_2 “相消”)干涉；在第二根光纤上，波长 λ_2 “相长”(波长 λ_1 “相消”)干涉，这样便把 λ_1 和 λ_2 分开，如图 3 所示。

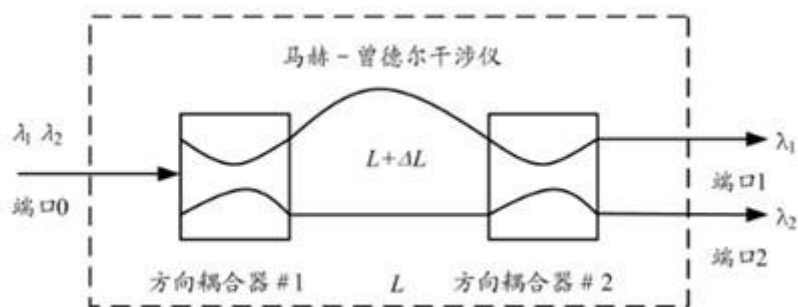


图 3 M-Z 干涉仪结构示意图[6]

基于微光正弦滤波技术的 GFF 具有正弦滤波功能，调整其自由光谱通道可以使其与设计的放大器放大窗口相吻合，对 EDFA 的增益谱进行傅立叶分析，可以确定所需要的干涉仪个数。为了覆盖 EDFA 的 C 波段，一个 GFF 通常需要 3 到 5 个单独的 M-Z 干涉仪组成，这样，将会增加 GFF 的封装尺寸。

1.3 基于光纤光栅滤波技术的 GFF

光纤光栅是一种折射率周期变化的光波导,其纵向折射率的变化将引起不同光波模式之间的耦合,并且可以通过将一个光纤模式的功率部分或完全地转移到另一个光纤模式中以改变入射光的频谱。

长周期光纤光栅 GFF 中,与光栅相互作用的光被耦合进前向传输包层模,并由于吸收和散射迅速衰减,这种波长选择器具有极小的反射[7],在与 EDFA 集成时不必使用隔离器。然而,与薄膜滤波 GFF 一样,为了覆盖 EDFA 的整个增益带宽必然会增加生产的复杂性,同时,如果没有对这种光栅 GFF 进行封装的话,温度变化时其波长漂移的敏感性是布喇格光栅 GFF 的 5 倍。为了减少这种温度敏感性,需要进行无源温补。与温度敏感性一样,长周期光栅 GFF 对于弯曲损耗的敏感性也比较高。所有这些因素加起来,使得长周期光栅 GFF 的封装技术显得尤为重要。

基于布喇格光栅的 GFF 又可以分为两种实现方式,一种是闪耀光栅,一种是啁啾光栅。当光栅制作时,紫外侧写光束与光纤轴不垂直时,造成其折射率的空间分布与光纤轴有一个小角度,形成闪耀光栅。闪耀光栅 GFF 同样具有很小的反射,可以减少隔离器的使用;同长周期光栅 GFF 一样,为了覆盖 EDFA 的整个增益带宽必然会增加生产的复杂性。闪耀光栅 GFF 具有较高的损耗谱精度,但是对于新的损耗谱其生产控制方式显得复杂了一些。

啁啾光栅是栅格间距不等的光栅。啁啾光栅 GFF 工作于传输模式,这种 GFF 与常规光纤连接时具有很低的插入损耗,同时,与其他 GFF 相比,啁啾光栅 GFF 可以覆盖一个很宽的光波段(>35nm)并且封装很小。对于新的 EDFA 增益谱,啁啾光栅 GFF 可以很灵活地调整其损耗谱,对于 EDFA 生产商来说,这无疑缩短了对 GFF 进行选型和匹配的时间。啁啾光栅 GFF 在生产时由于单独生产,每个 GFF 均能确保具有轻微的差异,这种轻微的差异使得啁啾光栅 GFF 的 EDFA 增益波动频率位置不同,因此,在 DWDM 网络中对 ED-图 3M-Z 干涉仪结构示意图 [6]FA 级联使用时,减少了功率差异。

1.4 各种 GFF 实现技术的比较

综合比较三种实现 GFF 的技术,如表 1 所示。可以看出实现 EDFA 的增益平坦,啁啾光栅 GFF 是较好的选择。

表 1 几种不同 GFF 实现技术的比较

	薄膜滤波 GFF	微光正弦 滤光 GFF	长周期光栅 GFF	啁啾光栅 GFF
损耗谱精度	±0.30dB	±0.20dB	±0.20dB	<±0.10dB
PDL	0.10dB	0.10dB	0.10dB	<0.03dB
PDM	NA	<0.05ps	NA	<0.10ps
插入损耗	1.0dB	1.0dB	0.2dB	0.1dB
75℃时波长漂移	<150pm	<250pm	<250pm	<75pm
封装尺寸	小	小	大	小

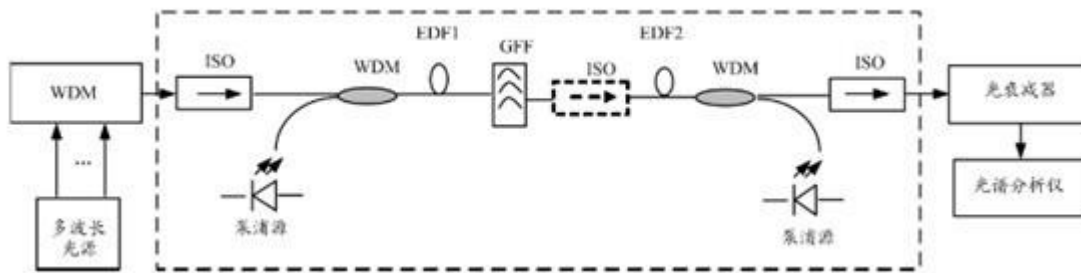


图 4 基于啁啾光栅 GFF 的高功率 EDFA 设计及增益平坦度测试配置

2 试验与测试

设计了如图 4 所示的 EDFA，为了提高该 EDFA 的增益水平，使用两级 EDF 作为增益介质进行放大，在两级增益介质之间使用啁啾光栅 GFF 对 EDFA 的增益曲线进行平坦，同时，在 EDFA 输入及输出端增加隔离器以免泵浦光反射或 ASE 影响 EDFA 的稳定性。在试验过程中发现，由于 GFF 具有较小的反射，可以将紧随 GFF 后的隔离器去掉，一方面可以减少 EDFA 的光路损耗，同时，可以节约 EDFA 的原料成本。

增益平坦度测试中，使用网泰 (NetTest) 8 波长光源 (OSICS) 作为多播长光源，经 WDM 合波后注入 EDFA，调节 EDFA 的两个泵浦功率，在 EDFA 输出端使用安立 (Anritsu) 光谱分析仪 (MS9710C) 测试输出，考虑到 EDFA 的较高的输出功率，在 EDFA 输出注入光谱分析仪前加入光衰减器。图 5 为加入啁啾光栅 GFF 后 EDFA 增益平坦度测试结果。

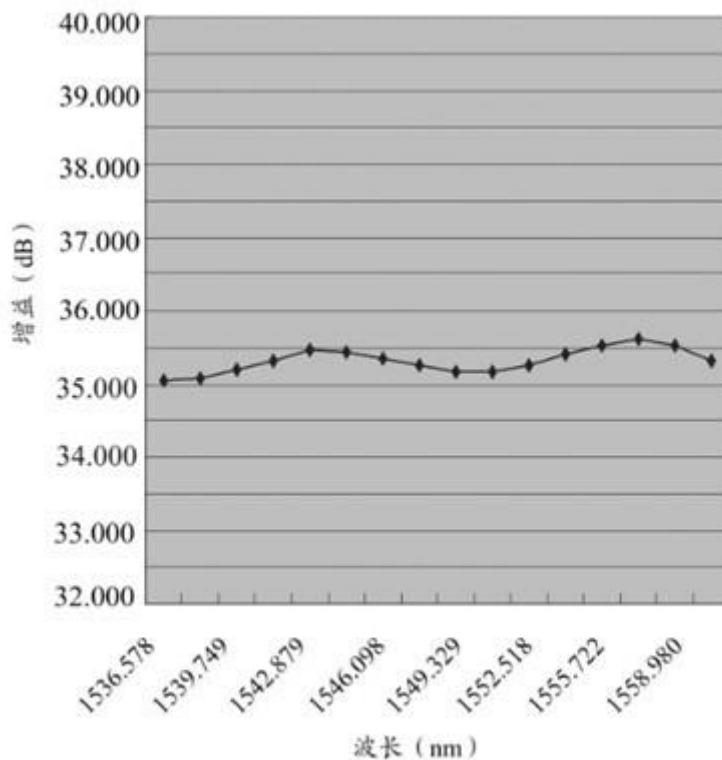


图 5 EDFA 增益平坦度测试结果

3 结束语

综合比较薄膜滤波、微光正弦滤波、光纤光栅滤波实现 GFF 的技术,啁啾光栅 GFF 是较好的选择。试验发现,高功率 EDFA 设计中,在两段增益光纤介质间加入啁啾光栅 GFF 可以将增益平坦度控制在 $\pm 0.3\text{dB}$ 范围内。

参考文献:

- [1]李志全,康莉莉,苏凤燕,等.光子晶体增益平坦滤波器的设计[J].中国激光,2009,36(3):710-712.
- [2]W ARKELL FARR.FBG-based gain flattening filter aid optical amplifiers[J].Lightwave Europe, 2002, (6):1-6.
- [3]宋英雄,李迎春,陈健,等.高增益低噪声全光增益箝制 EDFA[J].上海大学学报,2006,12(2):120-124.
- [4]伍浩成.EDFA 的增益控制及平坦技术研究[J].飞通光电子技术,2002,2(4):215-224.
- [5]肖悦娱,何赛灵.级联 M-Z 型掺铒光纤放大器增益平坦滤波器的设计[J].浙江大学学报(工学版),2005,39(4):487-490.
- [6]黄章勇.光纤通信用新型光无源器件[M].北京:北京邮电大学出版社,2003.
- [7]徐新华,王青.线性啁啾长周期光纤光栅用作 EDFA 增益平坦滤波器的理论研究[J].光子学报,2009,38(8):2063-2065.