

文章编号 :1001-5078(2004)01-0050-03

级联薄膜滤波器的透射函数研究

陈海燕^{1,2}, 刘永智², 戴基智², 陈德军²

(1. 江汉石油学院 理学院 湖北 荆州 434023 2. 电子科技大学光电信息学院 四川 成都 610054)

摘要 提出一种用于平坦 Er-Yb 共掺波导放大器增益的级联介质薄膜滤波器, 这种级联介质薄膜滤波器由具有不同中心波长与带宽的不同的滤波单元组成, 每一个滤波单元可对某一特定波长处的峰值增益进行有效地压缩。作为实例, 给出了一种带级联薄膜滤波器的‘D’形 Er-Yb 共掺磷酸盐玻璃波导放大器, 并得到了其透射函数, 结果表明这种级联薄膜滤波器具有很好的滤波特性。

关键词 光波导放大器, 薄膜滤波器, 级联介质薄膜滤波器, 增益平坦, 光通信器件

中图分类号 :TN713 文献标识码 :A

Study on Transmission Function of Cascaded Medium Thin Film Filter

CHEN Hai-yan^{1,2}, LIU Yong-zhi², DAI Ji-zhi², CHEN De-jun²

(1. School of Science, Jianghan Petroleum University, Jingzhou 434023, China 2. School of Optoelectronic Information, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract A cascaded medium thin film filter used for flattening the gain of erbium-ytterbium co-doped waveguide amplifier is presented. It consists of some different filtering unit cell with different central wavelength and bandwidth and each of which can suppress a certain gain peak at a specific wavelength. An example ‘D’ type wideband erbium-ytterbium co-doped phosphate glass waveguide amplifier integrated with cascaded medium thin film filter is given, and the transmission function of that is obtained. It demonstrates that this cascaded medium thin film filter has good filtering performance.

Key words optical waveguide amplifier; thin film filter; cascaded medium thin film filter; gain flattening; Optical communication device;

1 引言

近些年来, 能与泵浦激光器、增益平坦滤波器以及调制器等集成在同一衬底上的单片光波导放大器引起人们的极大关注^[1~4], 它降低了系统成本与体积, 提高了系统的稳定性。随着城域网中承载的业务和信息量的迅速增长, 高增益、宽带宽的光波导放大器的研究成为关键。我们提出了线性单程、双程和多程(-S 形)三种结构的基于薄膜滤波器的宽带集成光波导放大器结构以提高器件的整体增益和增益平坦带宽^[5]。

多层介质薄膜滤波器的滤波特性可用 n 阶巴特渥斯(Butterworth)滤波函数近似^[6], 当放大器的本征增益谱的抖动较小时其效果很好, 它能很好地抑制 1532 nm 波长处的峰值增益^[7], 但当放大器的本征增益谱的抖动较大时其滤波效果就不太理想^[8]。本文提出将具有不同滤波特性(不同中心波长与带

作者简介 陈海燕(1965-), 男, 副教授, 电子科技大学在读博士研究生, 研究方向为光纤与光通信技术, 兴趣方向有集成光学, 激光技术及应用等。Email: hestcchy0470@sina.com.cn

收稿日期 2003-8-04

宽)的多层介质薄膜滤波器单元级联起来,其每一个滤波单元可对某一特定波长处的峰值增益进行有效地压缩。作为实例,给出了一种带级联薄膜滤波器的‘D’形Er-Yb共掺磷酸盐玻璃波导放大器,并得到了其透射函数。

2 理论模型

图1为带级联薄膜滤波器的Er-Yb共掺磷酸盐玻璃波导放大器结构示意图^[5,8]。信号光和泵浦光经过复用器后进入Er与Yb共掺磷酸盐玻璃光波导,这样经过波导后,信号光得到放大,其增益谱为均匀加宽型,放大后的光波经过起滤波作用的光学薄膜,以提高放大器的3dB带宽,经过增益平坦化之后的放大的信号光耦合至输出光纤。这种结构的优点是将滤波器和放大器集成在一起,减小了器件的体积和由于元件分离带来的插入损耗。此外,这种‘D’形集成光波导放大器结构还增加了信号光在有限基质玻璃中走过的有效路程,相当于增加了放大器的长度,这样器件的整体增益就得到了提高。

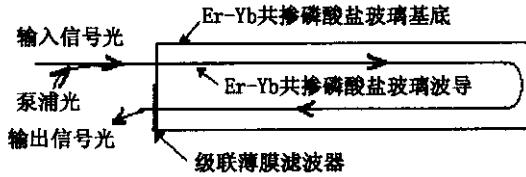


图1 带级联薄膜滤波器的‘D’形波导放大器

多层次介质薄膜滤波器的滤波特性可由n阶巴特渥斯(Butterworth)滤波函数近似^[6]:

$$Trans(\lambda, \lambda_i, \lambda_{ci}, n_i) = \frac{a}{1 + [(\lambda - \lambda_i)/\lambda_{ci}]^{2n_i}} \quad (1)$$

式中 $Trans(\lambda, \lambda_i, \lambda_{ci}, n_i)$ 为任意薄膜滤波单元的透射函数, a 表滤波器的插入损耗, λ_i 为中心波长, λ_{ci} 为增益平坦半带宽, n_i 为巴特渥斯滤波器透射函数的阶数。级联多层次介质薄膜滤波的透射函数可表示为:

$$\begin{aligned} T &= \sum_{i=1}^N Trans(\lambda, \lambda_i, \lambda_{ci}, n_i) \\ &= \sum_{i=1}^N \frac{a}{1 + [(\lambda - \lambda_i)/\lambda_{ci}]^{2n_i}} \end{aligned} \quad (2)$$

对于波长为 λ 的输出信号光,其增益可表示

$$G(\lambda) = Gain(\lambda) + T(\lambda) \quad (3)$$

式中 $G(\lambda)$, $Gain(\lambda)$, $T(\lambda)$ 分别表示在波长 λ 处 Er-Yb 共掺磷酸盐玻璃波导放大器的平坦增益谱、本征增益谱以及级联薄膜滤波器的透射谱。

当 Er-Yb 共掺磷酸盐玻璃波导放大器的相关参数如光波导长度、泵浦波长及功率等一定时,输入信号光功率也一定时,其本征增益谱就确定了。利用(1)、(2)与(3)式我们就可以根据实际需要(如增

益的平坦度以及增益平坦带宽等),在对系统本征增益谱研究的基础上,利用拟合的方法求得级联薄膜滤波器的透射谱(即透射函数)。

3 结果与讨论

图2是在一定条件下(Er 粒子浓度: $1.51 \times 10^{26}/m^3$, Yb 浓度: $1.95 \times 10^{27}/m^3$, 泵浦光波长980nm、功率200mW, Er - Yb 共掺磷酸盐玻璃基底长5.5cm, Er - Yb 共掺磷酸盐玻璃波导长9.5cm)利用有关数值计算方法^[3]得到的‘D’形波导放大器本征增益谱。从图上可以看出,在1528nm~1570nm约40nm的波长范围内,放大器的增益抖动是比较大的(除了在1532nm波长处有一个较强的增益峰外,在另外一些波长处还有一些较小的增益峰)。我们可以选取具有不同中心波长与带宽的介质薄膜滤波函数来分别削减这些次增益峰。

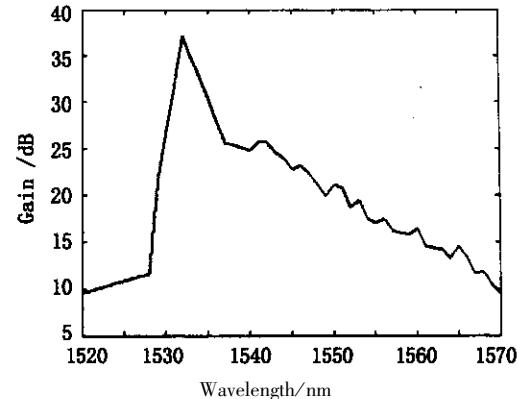


图2 ‘D’形波导放大器本征增益谱

具有中心波长为1553nm、带宽为35nm的7阶巴特渥斯滤波函数的单个滤波单元对放大器增益特性的影响如图3。从图上可以看出这一滤波单元能有效地压缩1532nm波长处的较强增益峰,在1535nm~1570nm范围内的平均增益约15dB,抖动约8dB。这说明单个滤波单元对放大器增益平坦所起的作用是有限的,为了获得较大的增益平坦带宽,必须利用具有不同滤波特性的滤波单元级联。

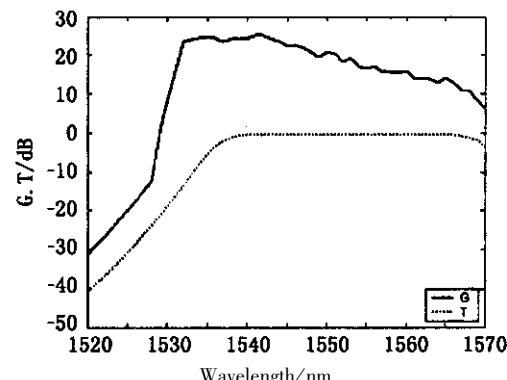


图3 G, T 与波长的关系

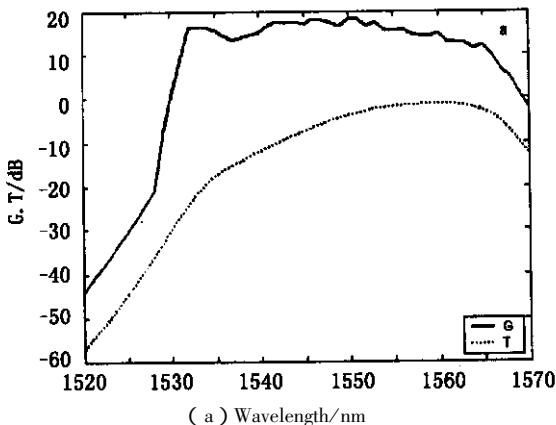
具有不同滤波单元的级联滤波器的透射特性对放大器增益平坦带宽的影响见图4。图4(a)表示的各滤波单元分别为中心波长1550nm、带宽35nm的6阶巴特涅斯滤波函数;中心波长为1560nm、带宽为30nm的2阶巴特涅斯滤波函数以及中心波长为1560nm、带宽为50nm的1阶巴特涅斯滤波函数,这一级联滤波器的透射函数为

$$T = \frac{0.9}{1 + [(\lambda - 1550)/17.5]^2} + \frac{0.9}{1 + [(\lambda - 1560)/15]^4} + \frac{0.9}{1 + [(\lambda - 1560)/25]^2} \quad (4)$$

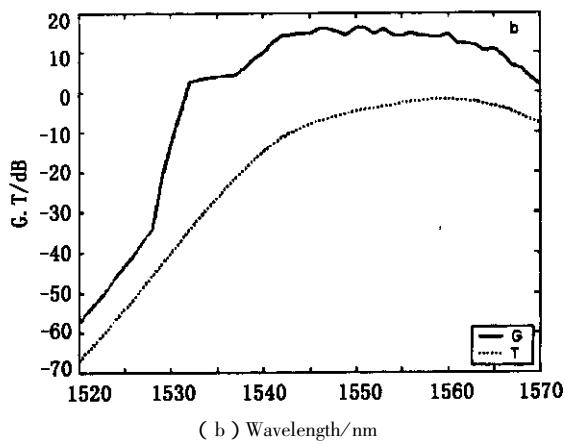
1532nm~1565nm范围内的平均增益约15dB,抖动约3dB。图4(b)表示的各滤波单元分别为中心波长1550nm、带宽40nm的3阶巴特涅斯滤波函数;中心波长为1560nm、带宽为40nm的4阶巴特涅斯滤波函数、中心波长为1560nm、带宽为40nm的3阶巴特涅斯滤波函数以及中心波长为1560nm、带宽为20nm的1阶巴特涅斯滤波函数,这一级联滤波器的透射函数为

$$T = \sum_{i=1}^N \frac{a}{1 + [(\lambda - \lambda_i)/\lambda_{ci}]^{2n_i}} = \frac{0.9}{1 + [(\lambda - 1550)/20]^6} + \frac{0.9}{1 + [(\lambda - 1560)/20]^8} + \frac{0.9}{1 + [(\lambda - 1560)/20]^6} + \frac{0.9}{1 + [(\lambda - 1560)/10]^2} \quad (5)$$

1540nm~1565nm范围内的平均增益约12dB,抖动约1dB。



(a) Wavelength/nm



(b) Wavelength/nm

图4 G, T与波长关系(不同滤波单元)

4 结论

利用带级联薄膜滤波器对‘D’形Er-Yb共掺磷酸盐玻璃波导放大器的本征增益谱进行平坦处理,通过选取适当的滤波单元,在1540nm~1565nm范围内得到了约12dB的平均增益,增益抖动约1dB。这种方法可对具有任意形状本征增益谱的光放大器进行增益平坦处理,具有较大的灵活性。

参考文献:

- [1] J M P Delavaux, C McIntosh, J Shmulovich, et al. Gain flatness of a planar optical waveguide amplifier [A]. OFC2000[C]. Maryland, WA2.
- [2] D Barbier. The present and future of EDWA technology [A]. Technical program committee OFC 2002[C]. Anaheim California, TuB3
- [3] 陈海燕, 刘永智, 戴基智等. Er³⁺/Yb³⁺共掺磷酸盐玻璃(LGS-L)波导放大器设计[J]. 光学学报, 2003, 23(6): 697~701.
- [4] 陈海燕, 刘永智, 黄绣江. Er-Yb共掺磷酸盐玻璃波导放大器噪声特性研究[J]. 激光与红外, 2003, 33(4): 258~260.
- [5] 陈海燕, 戴基智, 曾雪飞等. 宽带集成光波导放大器的结构设计. 电子科技大学学报[J]. 2003, 32(2): 264~266.
- [6] 金耀辉, 曾庆济. 波分复用全光通信网中的放大自辐射噪声积累效应研究[J]. 光学学报, 2000, 20(2): 195~200.
- [7] 陈海燕, 刘永智. 宽带光波导放大器透射谱研究[J]. 光电子技术与信息, 2003年第四期.
- [8] Chen Haiyan, Liu Yongzhi, Dai Jizhi, et al. Wideband Erbium-Ytterbium Co-Doped Phosphate Glass Waveguide Amplifier[A]. The 8th optoelectronics and communications conference (OECC '2003)[C]. 2003, Oct13~16, shanghai, P. R. China, P3~28.

微波滤波器设计培训——视频课程

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养，是国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地。客户遍布中兴通讯、研通高频、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们推出的微波滤波器设计培训专题，有资深工程师领衔主讲，课程既有微波滤波器设计原理的详细解释，也有各种仿真分析工具的实际设计应用讲解，设计原理和设计仿真实践相结合，向大家呈现各种结构的微波滤波器的完整设计流程。旨在帮助大家透彻地理解并实际的掌握各种微波滤波器的设计。



微波滤波器设计培训专题视频课程

高清视频，专家授课，中文讲解，直观易学；既有微波滤波器设计原理的详细解释，也有像 ADS、CST、HFSS 各种仿真分析工具的实际设计应用讲解，旨在帮助大家透彻地理解并实际的掌握各种微波滤波器的设计。

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/filter/>

更多专业培训课程：

- **HFSS 视频培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/>

- **CST 视频培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/>

- **天线设计专业培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/>