

文章编号: 0258-7025(2009)03-0710-03

光子晶体增益平坦滤波器的设计

李志全 康莉莉 苏凤燕 高鹏

(燕山大学电气工程学院, 河北 秦皇岛 066004)

摘要 掺铒光纤放大器(EDFA)的增益平坦化是波分复用(WDM)系统中的重要问题。提出了用光子晶体实现增益平坦的新方案。通过分析 EDFA 增益平坦的原理与一维光子晶体的反射谱(在不同波长处具有不同反射率的特性),设计出了满足特定条件的增益平坦滤波器。以 EDFA 典型曲线为例,利用遗传算法简便精确地优化一维光子晶体的周期数,从而设计出了与 EDFA 增益谱相匹配的增益平坦滤波器。结果表明,级联的一维光子晶体滤波器在 1530~1560 nm 范围内对 EDFA 的增益进行平坦,且不平坦度约为 ± 0.6 dB。

关键词 光子晶体; 增益平坦; 遗传算法; 掺铒光纤放大器

中图分类号 TN253 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL20093603.0710

Design on Photonic Crystal Gain Flatness Filters

Li Zhiquan Kang Lili Su Fengyan Gao Peng

(Institute of Electrical Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao, Hebei 066004, China)

Abstract Gain flatness of erbium doped fiber amplifier (EDFA) is a critical issue for wavelength division multiplex (WDM) system, and realizing this function by photonic crystal is a new scheme proposed in this paper. We designed the gain flatness filter satisfied with special condition by analyzing the principle of gain flatness of EDFA and the different reflection character of one dimension (1-D) photonic crystal whose reflectivity is different at different wavelength. Taking the typical gain spectra of EDFA for example, we optimized the period of optical crystal conveniently and exactly using the genetic algorithm and finally designed the gain flatness filter matched with the gain spectra of EDFA. The results show that the designed cascaded 1-D optical crystal filter can flat the gain of EDFA in the range of 1530~1560 nm and the non-flatness degree is about ± 0.6 dB.

Key words photonic crystal; gain flatness; genetic algorithm; erbium doped fiber amplifier

1 引言

随着密集波分复用(DWDM)技术的日趋成熟,掺铒光纤放大器(EDFA)也得到了广泛应用。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,是其他光放大技术所不可比拟的。然而 EDFA 在 1530~1560 nm 波段的放大特性与波长有关,各波长间的增益差使得 DWDM 系统可用的平坦增益带宽不够宽,且各信道的信号获得的增益不均衡。因此,对

EDFA 的增益谱进行平坦以获得更高的可利用带宽成为一个现实问题。目前,主要的增益平坦方法有长周期光纤光栅、啁啾光纤光栅、光纤声光可调滤波器、马赫-曾德尔(Mach-Zehnder)滤波器等技术^[1]。

光子晶体^[2,3]是一种介质在另一种介质中周期排列的人造光电材料。由于一维光子晶体制备简单且成本较低,因此受到人们的普遍关注。在光子晶体中引入缺陷后,在禁带中将出现缺陷模^[4,5],与缺陷模共振的光可以通过光子晶体。通过改变光子晶体的结构参数,可以得到在不同波长处具有不同带

收稿日期: 2008-10-17; 收到修改稿日期: 2008-12-24

基金项目: 河北省自然科学基金(20070216004)资助课题。

作者简介: 康莉莉(1982-),女,硕士研究生,主要从事光子晶体、光通信器件等方面的研究。

E-mail: kanglili0501@163.com

导师简介: 李志全(1954-),男,教授,博士生导师,主要从事非线性光电检测技术、光纤传感技术等方面的研究。

阻率的反射谱。

2 基本原理

当掺铒光纤放大器的各参数及抽运功率确定后,它在各波段上的增益值也就确定了。其增益谱随波长的关系为

$$G_0(\lambda) = \left\{ [a(\lambda) + g(\lambda)] \frac{\bar{n}_2}{\bar{n}_1} - a(\lambda) \right\} L + D(\lambda), \quad (1)$$

式中 $a(\lambda)$, $g(\lambda)$ 分别表示光纤在波长 λ 处的吸收系数和发射系数; \bar{n}_2/\bar{n}_1 为光纤在长度上求平均后的粒子反转率; L 为 EDFA 的长度; $D(\lambda)$ 为固有插入元件的损耗。图 1 是 EDFA 的典型增益谱,可以看出,在 1525~1560 nm 间有两个增益峰,且增益峰值的 21.5 dB 与增益波谷值 18.5 dB 的差值为 3 dB。在 EDFA 后串接一个滤波器来损耗增益较大处的功率从而达到增益平坦的目的。

根据文献[6~8]中对一维缺陷光子晶体传输特性的分析,了解到一维缺陷光子晶体的反射谱具有带阻特性。通过调节一维缺陷光子晶体的各个参数,就能设计出在不同波长处具有不同带阻率的反射谱,从而反射掉增益峰处的能量。

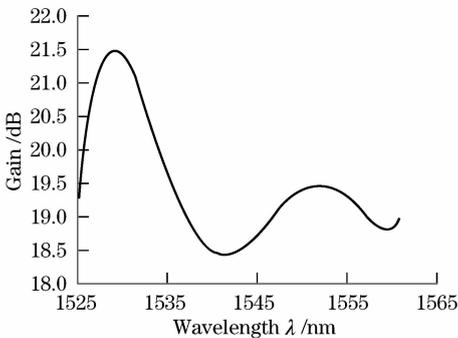


图 1 EDFA 的增益谱

Fig. 1 Gain spectra of EDFA

3 增益平坦滤波器的设计

为了设计光子晶体滤波器,必须先得到它的目标谱,即 EDFA 的增益反射谱,如图 2 所示,用 $G_1(\lambda)$ 表示。设计的光子晶体反射谱用 $G_2(\lambda)$ 表示。当光子晶体滤波器目标谱与设计的光子晶体反射谱完全重合,则证明设计的光子晶体滤波器最为理想。其数学模型为

$$F(\lambda) = \int_a^b [G_1(\lambda) - G_2(\lambda)] d\lambda, \quad (2)$$

式中 a 表示 EDFA 的起始波长, b 表示 EDFA 的结束波长。

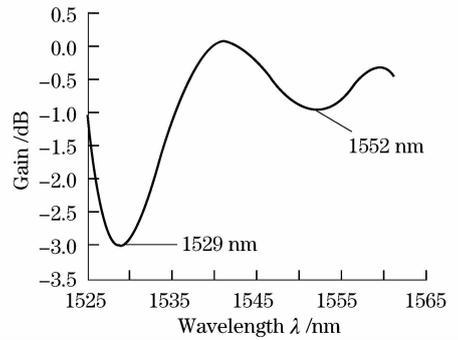


图 2 增益平坦滤波器的目标谱

Fig. 2 Objective spectra of gain-flatness filter

构造形如 $(AB)^m (BA)^n$ 的一维光子晶体模型。

其中介质 A 为 SiO_2 , 介质 B 为 Si, m 和 n 为周期数。取介质 A, B 的光学厚度均为 $n_1 a_1 = n_2 a_2 = \lambda/4$ (λ 为中心波长, n_i 为介质的折射率, a_i 为介质的物理厚度)。由图 1 可知,在 1525~1560 nm 波长范围内 1529 nm 处的增益值最大,所以考虑先损耗掉这个峰值。由含缺陷光子晶体反射谱特性可以知道,其反射谱有在一定波长上反射率为负值的特征。所以利用其反射率为负的特征正好达到损耗增益的目的。但是用一个光子晶体来损耗增益峰的值,使其增益值达到理想的平坦程度是完全不可能的。由于对于不同参数的光子晶体其反射谱特性是不同的,所以必须考虑用多个参数不同的光子晶体级联来实现。为了能更加简捷清楚地说明原理,只探讨两个光子晶体级联的情况。

将光子晶体的周期数 m 和 n 设为未知数,当 $F(\lambda)$ 趋于零时得到的周期数就是满足条件的光子晶体的参数。为了方便准确地求得周期数,引用遗传算法^[9]进行优化计算。优化步骤如下:

1) 将一维光子晶体的周期数利用二进制编码的方法组成一个个体。在设定的变化范围内随机产生出 50 个个体,组成初始种群。

2) 利用传输矩阵法计算出父代群体中每一个个体决定的反射谱数据。

3) 将要设计的目标增益平坦滤波器的谱型编码。将每个个体的反射谱数据和目标谱数据之差的和取负(在几个关键波长处加入权重因子)作为适应度函数,个体适应度函数值越大,越接近最优解。

4) 通过一定的随机选择方法将父代群体中适应度比较大的个体遗传到子代群体;设定交叉的概率为 40%,通过一定的交叉算法形成子代中新的个体;设定变异的概率为 10%,通过一定的变异算法形成子代中新的个体。将子代群体作为下一代的父

代群体。

5) 设定循环的次数,也就是遗传代数 为 200 次,重复 2,3 的步骤。最后将第 200 代群体中适应度最高的个体作为最佳的个体,得到一维光子晶体的周期数。计算的周期数可能为小数,最后结果取

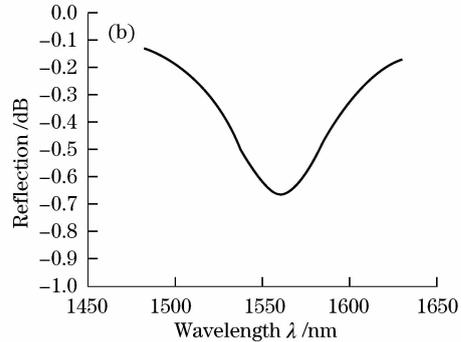
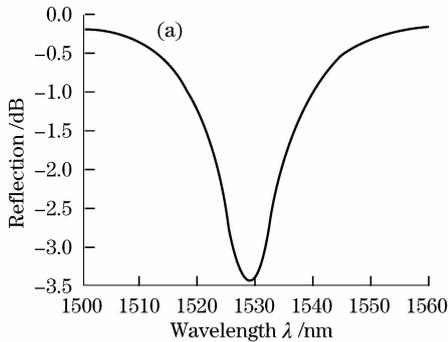


图 3 第一个(a)和第二个(b)光子晶体的反射谱

Fig. 3 Reflection spectra of the first photonic crystal (a) and the second photonic crystal (b)

图 4 是从 EDFA 出来的光经过 2 个一维光子晶体级联组成的滤波器后的增益谱。从图中可以看出,虽然增益值整体有所下降,但是在 1530~1560 nm 范围内,增益上下波动只有 ± 0.6 dB,达到了对 EDFA 增益平坦的目的。

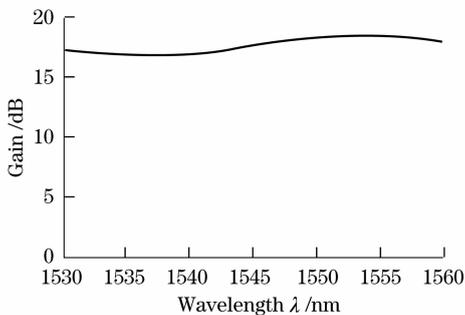


图 4 平坦后的 EDFA 增益谱

Fig. 4 Gain spectra of EDFA after flattening

4 结 论

通过分析 EDFA 增益平坦原理,运用遗传算法优化一维光子晶体的周期数,设计了级联的一维光子晶体滤波器。实现了对给定的 EDFA 增益谱的平坦化。使 EDFA 的增益在 1530~1560 nm 范围内基本平坦,且增益波动为 ± 0.6 dB。

参 考 文 献

1 Huang Liqun, Wang Li, Wang Zhi. Design on gain-flattening filters of L-band EDFAs[J]. *Chinese J. Lasers*, 2004, **31**(7): 829~832

大于小数所对应的整数。

根据前面的分析和遗传算法的优化得到两个光子晶体的参数,第一个光子晶体的周期为 $m=3, n=4$;第二个光子晶体的周期数为 $m=2, n=4$ 。图 3 为由这些参数仿真得到的两个一维光子晶体的反射谱。

黄力群,王 里,王 智. L 波段掺铒光纤放大器的增益平坦滤波器设计[J]. *中国激光*, 2004, **31**(7):829~832

2 Eli Yablonovitch. Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics[J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1987, **58**(20): 2059~2062

3 Sajeev John. Strong localization of photons in certain disordered dielectric superlattices [J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1987, **58**(23): 2486~2489

4 Liu Qineng. Effect of impurity absorption on one-dimensional photonic crystal defect mode[J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(6): 777~780

刘启能. 杂质吸收对一维光子晶体缺陷模的影响[J]. *中国激光*, 2007, **34**(6):777~780

5 Fang Yuntuan, Shen Tinggen, Tan Xilin. Study on one dimensional photonic crystal with impurity defects [J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(11):1557~1560

方云团,沈廷根,谭锡林. 一维光子晶体掺杂缺陷模研究[J]. *光学学报*, 2004, **24**(11):1557~1560

6 Meng Qingsheng, Ouyang Zhengbiao, Wang Jong C *et al.*. Mode types and their related properties of one-dimensional photonic crystal resonant cavity[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(7): 1290~1294

孟庆生,欧阳征标,王仲淳 等. 一维光子晶体谐振腔的模式类型及其性质[J]. *光学学报*, 2007, **27**(7):1290~1294

7 Wang Xudong. Numerical study on transmission properties of the one dimension photonic crystal [D]. Qufu, Qufu Normal University, 2004. 23~30

王旭东. 一维光子晶体光学传输特性的数值研究[D]. 曲阜:曲阜师范大学, 2004. 23~30

8 Lou Shuqin, Wang Zhi, Wang Muguang *et al.*. Research on the transmission properties of the photonic crystal and application in optical sensors[J]. *J. Optoelectronics · Laser*, 2003, **14**(11): 1152~1156

娄淑琴,王 智,王目光 等. 一维光子晶体传输特性及其在光传感器中的应用[J]. *光电子·激光*, 2003, **14**(11):1152~1156

9 Cheng Cheng, Zhijun Xu, Chenghua Sui. A novel design method: a genetic algorithm applied to an erbium-doped fiber amplifier[J]. *Opt. Commun.*, 2003, **227**:371~282