

# 一维缺陷光子晶体增益平坦滤波器

李志全, 康莉莉, 苏凤燕

(燕山大学电气工程学院, 河北 秦皇岛 066004)

**摘要:**运用光学传输矩阵理论, 计算了带有缺陷层的一维光子晶体的反射谱。结果表明, 其缺陷峰的形状可以由所设计的一维光子晶体的参数而唯一确定。由此设计了级联的带有缺陷层的一维光子晶体滤波器, 在 1530 ~ 1560nm 范围内对 EDFA 的增益进行平坦, 且不平坦度为  $\pm 0.6\text{dB}$ 。

**关键词:**一维光子晶体; 传输矩阵法; EDFA; 增益平坦滤波

中图分类号: O799 文献标识码: A

## Gain Flatting Filter Based on 1-D Defective Optical Crystal

LI Zhi-quan, KANG Li-li, SU Feng-yan

(Institute of Electrical Engineering, Yan Shan University, Qinhuangdao 066004, China)

**Abstract:** Reflection spectra properties of one dimension(1-D) defective optical crystal were investigated by the optical transfer matrix method. The results show that the properties of defective peak is determined by the parameters of the designed one dimension(1-D) defective optical crystal. So designed cascaded 1-D defective optical crystal filter and it can flat the gain of EDFA in the region of 1530 ~ 1560nm and the non-flatness degree is about  $\pm 0.6\text{dB}$ .

**Key words:** one-dimensional defective photonic crystal; transfer matrix method; EDFA; gain flatting

### 1 引言

近年来,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。然而当EDFA应用于DWDM系统中,其在1530~1560nm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,主要的增益谱线平坦方法有:长周期光纤光栅<sup>[1]</sup>、啁啾光纤光栅<sup>[2-3]</sup>、光纤声光可调滤波器、Mach-Zehnder滤波器等技术。据了解,还没有人用光子晶体来实现的。

光子晶体<sup>[4-5]</sup>是1987年由John S.和Yablono- vitch E.等人提出的,它是一种介质在另一种介质中

基金项目:河北省自然科学基金项目(No. 20070216004)。

作者简介:李志全(1954-),博士生导师,教授,主要研究方向为非线性光电检测技术及光纤传感技术等。

收稿日期:2008-07-09

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<sup>[6-7]</sup>,与缺陷模共振的光可以通过光子晶体。

### 2 一维缺陷光子晶体理论分析

传输矩阵法分析光子晶体特性是一种简便有效地方法,目前大量的理论研究光子晶体的光学传输特性都是采用传输矩阵法。典型的一维光子晶体结构为 $(AB)^m$ ,其中 $A, B$ 代表两种不同的介质,折射率分别为 $n_1$ 和 $n_2$ ,介质厚度分别为 $a_1, a_2$ 。

假设电磁波是在 $XZ$ 平面内传输的平面波(TE波),通过求解麦克斯韦方程组可以得到均匀单层介质的传输矩阵为:

$$M = \begin{bmatrix} \cos\beta & -\frac{i}{p}\sin\beta \\ -ip\sin\beta & \cos\beta \end{bmatrix} \quad (1)$$

式(1)中, $\beta = \frac{2\pi}{\lambda_0} n \alpha \cos\theta, p = \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} \cos\theta$ ,其中,折射率 $n = \sqrt{\epsilon\mu}, \alpha$ 为介质的厚度; $\epsilon$ 为介电常数; $\mu$ 为导磁率; $\theta$ 为入射方向和介质表面法线的夹角,设各层介质为非磁性的( $\mu = 1$ )。

如果在典型的光子晶体模型中引入一个缺陷层,便可得多层介质的特征矩阵 $M'$ 为:

$$M' = (M_1 M_2)^m M_c (M_2 M_1)^n = \begin{bmatrix} M'_{11} & M'_{12} \\ M'_{21} & M'_{22} \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中, $M_c$ 为缺陷层的传输矩阵;用 $M'_{11}, M'_{12}, M'_{21}, M'_{22}$ 表示矩阵 $M'$ 中的各个量。可以得一维缺陷光子晶体的透射系数 $t$ :

$$t = \frac{2p_i}{M'_{11}p_i + M'_{12}p_i p_l + M'_{21} + M'_{22}p_l} \quad (3)$$

所以,透射率为:

$$T = |t|^2 \quad (4)$$

反射率为:

$$R = 1 - T \quad (5)$$

式(3)中, $p_i = \sqrt{\frac{\epsilon_i}{\mu_i}} \cos\theta_i, p_l = \sqrt{\frac{\epsilon_l}{\mu_l}}$ 。 $\epsilon_i, \epsilon_0$ 和 $\mu_i, \mu_0$ 分别为与光子晶体接触的左边介质和右边介质的介电常数和导磁率; $\theta_i$ 和 $\theta_0$ 分别为光子晶体入射波和出

射波方向与介质表面法线之间的夹角。本文中左右两边介质都设为Si。

### 3 一维缺陷光子晶体增益平坦滤波器设计

图1为EDFA的增益谱,要想平坦其中的两个增益峰必须使得增益平坦滤波器的损耗谱与EDFA的反转增益谱相同,一维缺陷光子晶体在缺陷峰处正好可以反射一定的能量达到能量的损耗。图2所示的曲线为要设计的增益平坦滤波器的损耗谱。由图2可以看出,在1530~1560nm波长范围内两个波谷所对应的增益值差别很大,所以必须用中心波长和增益值不同的两个一维缺陷光子晶体级联来构成增益平坦滤波器模型。表1是要设计的增益平坦滤波器的损耗谱的两个波谷处的参数。

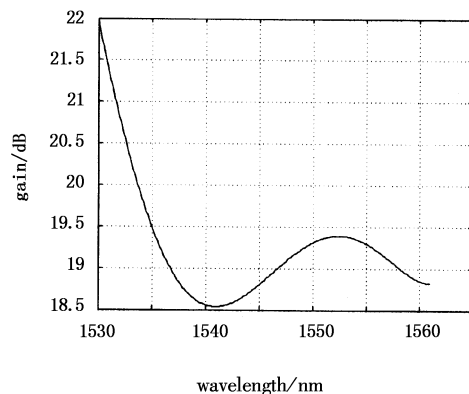


图1 EDFA增益放大谱

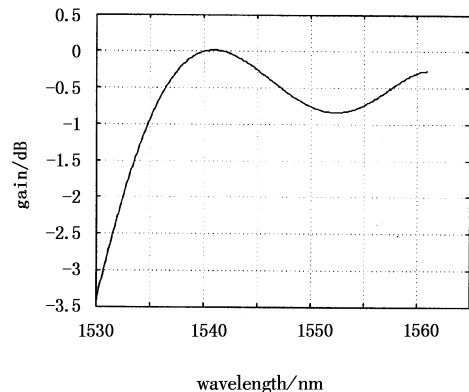


图2 增益平坦滤波器的损耗谱

表1 增益波谷的参数

	中心波长/nm	增益值/dB
波谷一	1530	-3.36
波谷二	1553	-0.83

构造形如 $(AB)^m C (BA)^n$ 的一维光子晶体模型。

$A, B$  分别为  $\text{SiO}_2$  和  $\text{Si}$ , 缺陷层所选的介质材料也为  $\text{Si}$ 。取两介质层光学厚度均为  $n_1 a_1 = n_2 a_2 = \lambda/4$ , 几何厚度分别为  $262\text{nm}$  和  $116\text{nm}$ , 光垂直入射。由于缺陷层厚度、两边周期数对缺陷峰都有影响, 所以只要调节一维缺陷光子晶体的这些参数就能得到增益平坦滤波器的损耗谱。设计的两个光子晶体的参数如表 2 所示。图 3 和图 4 即为由设计的参数得到的两个一维缺陷光子晶体的反射谱。

表 2 两个一维缺陷光子晶体参数

	$m$	$n$	缺陷层厚度/nm
第一个光子晶体	4	3	231.8
第二个光子晶体	2	4	240.3

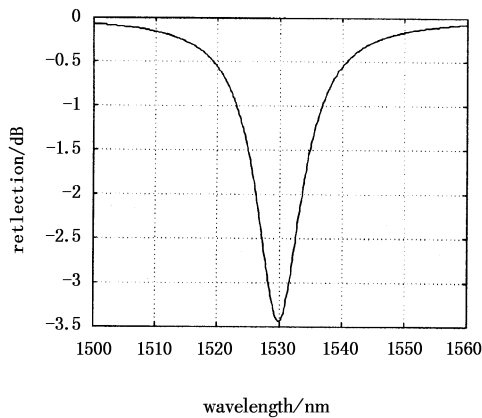


图 3 第一个光子晶体反射谱

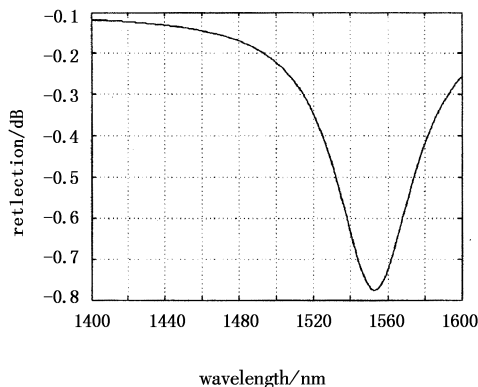


图 4 第二个光子晶体反射谱

图 5 是光经过设计的级联的一维缺陷光子晶体滤波器后的增益谱, 从图中可以看出, 虽然整体增益值有所下降, 但是在  $1530 \sim 1560\text{nm}$  范围内, 增益上下波动仅为  $\pm 0.6\text{dB}$ 。

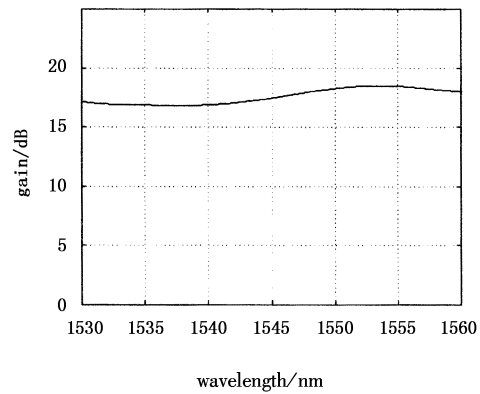


图 5 平坦后的 EDFA 增益谱

### 3 结论

通过运用传输矩阵法, 分析了一维缺陷光子晶体的传输特性并讨论了各参数对缺陷峰的影响。根据 EDFA 的增益谱特性设计了级联的一维缺陷光子晶体滤波器, 使 EDFA 的增益在  $1530 \sim 1560\text{nm}$  范围内基本平坦, 且增益波动为  $\pm 0.6\text{dB}$ 。

### 参考文献:

- [1] 周旭, 李恩邦. 长周期光纤光栅用作 EDFA 增益平坦滤波器的设计方法[J]. 科学技术与工程, 2007, 7(7): 1671-1879.
- [2] 杜华杰, 于永森, 郑杰, 等. 啁啾光纤光栅 EDFA 增益平坦滤波器的设计与制作[J]. 光电子·激光, 2007, 18(6): 1005-1008.
- [3] 赵志勇, 于永森, 马玉刚, 等. 基于啁啾光纤光栅的增益平坦滤波器[J]. 吉林大学学报, 2004, 42(2): 1671-1689.
- [4] Eli. Yablonovitch. Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics[J]. Phys. Rev. Lett., 1987, 58(20): 2059-2062.
- [5] Sajeev, John. Strong localization of photons in certain disordered dielectric superlattices[J]. Phys. Rev. Lett., 1987, 58(23): 2486-2489.
- [6] 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): 2253-2259.
- [7] 刘启能. 一维掺杂光子晶体缺陷模的全貌特征[J]. 材料结构与工艺, 2007, 28(2): 1001-1008.