

含缺陷模一维光子晶体的超窄带滤波特性分析*

Characteristics of Super Narrow Band Filtering of One-dimensional Photonic Crystals with Defect Mould

王玉玲,高英俊,王 娜

WANG Yu-ling,GAO Ying-jun,WANG Na

(广西大学物理科学与工程技术学院,广西南宁 530004)

(School of Physics Science and Engineering, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China)

摘要:利用传输矩阵方法,计算含缺陷模的一维光子晶体中缺陷模产生的窄透过带的滤波特性。结果得出,缺陷模介质的折射率越小,产生的超窄滤波带滤波性能越好;一维光子晶体的两基元介质折射率比值越大,产生的透过带越窄;缺陷插入一维光子晶体正中间产生的滤波效果最好。

关键词:光子晶体 杂质模 传输矩阵

中图分类号:O431 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-9164(2007)01-0056-03

Abstract:Filtering characteristics of one-dimensional photonic crystals with defect mold have been calculated by transfer matrix theories. The results are revealed as follows. The smaller the refractive index of dielectric of defect mold is, the better the performance of super narrow band optical filter is. The bigger the refractive index ratio of two primitive dielectrics of one-dimensional photonic crystals is, the narrower the transmission band is. When the defect mold is placed in the centre of one-dimensional photonic crystal, the filtering performance is the best.

Key words: photonic crystal, defect mold, transfer matrix

光子晶体是一种介电常数按一定周期发生变化的人工微结构材料,其概念是由 Yablonovitch^[1]和 John^[2]在 1987 年各自独立提出来的,它来源于 Maxwell 方程和 Schrodinger 方程以及光子和电子的类比。在半导体材料中由于周期性势场作用,电子会形成能带结构,带与带之间有能隙;光子晶体中,介电常数空间上的周期性对光子产生类似的影响,因而形成光子带隙结构,出现“光子禁带”,频率落在带隙中的光被严格禁止传播,光子禁带是光子晶体最重要的特性,这就意味光子晶体有很多方面的应用^[3~5]。类似于半导体中的导带,半导体材料的电磁性质可以通过掺入不同类型和浓度的杂质而加以改变,半导体中的杂质或缺陷可以在禁带中形成电子的束缚能级,称

为杂质能级。同样的在制作光子晶体过程中,引入杂质结构,使其折射率变化的周期性受到局域性的破坏,也会形成光子的缺陷模和杂质态。这种含缺陷模的光子晶体可以用来制作高精度的超窄带滤波器、相位调节器、光波导。目前对这些器件的应用研究中,大多集中缺陷模宽度、位置、入射角对杂质态的影响^[5~7],而对于一维光子晶体两基元介质折射率之比和杂质模介质本身的折射率这两个对器件工作性能的影响因素研究的很少。本文利用传输矩阵方法对一维光子晶体进行数值模拟计算,并分析讨论杂质模介质对光子晶体滤波特性的影响。

1 理论模型

研究的一维含缺陷层的光子晶体结构如图 1 所示。由两种折射率相差较大的材料 A、B 交替排列的一维光子晶体间,插入另一种介质材料 C,构成含缺陷层的理论模型,它们对应介质层的折射率和厚度分别为 (n_a, a) , (n_b, b) , (n_c, c) , 设光从左向右以一定角度 θ 入射。据传输矩阵理论,光波与介质层的相互作

收稿日期:2006-06-23

作者简介:王玉玲(1979-),女,硕士研究生,主要从事光子晶体与负折射率材料的研究。

* 国家自然科学基金项目(50061001),广西科学基金项目(桂科基 0342004-1,桂科基 0639004),广西“十百千人才工程”(2001207),广西研究生教育创新计划项目(200605930805M19)资助。

用由其特征矩阵决定,单介质层的特征矩阵^[7~9]为:

$$M_i = \begin{bmatrix} \cos\delta_i & -\frac{i}{\eta_i}\sin\delta_i \\ -i\eta_i\sin\delta_i & \cos\delta_i \end{bmatrix}, \quad (1)$$

其中,

$$\delta_i = \frac{2\pi}{\lambda} n_i h_i \cos\theta_i, \quad (2)$$

$$\eta_i = \sqrt{\frac{\epsilon_i}{\mu_i}} \cos\theta_i. \quad (3)$$

θ_i 和 λ 分别为入射角和入射波长, ϵ_i 和 μ_i 分别为层介质的介电常数和磁导率常数、折射率为 $n_i = \sqrt{\epsilon_i \mu_i}$, 设研究的所有介质都为非磁性的 ($\mu_i = 1$), h_i 为介质层厚度。

对于一维光子晶体,当膜层包含 N 层时,整个膜系的特征矩阵 M 可以由各个膜系的特征矩阵 M_i 的连乘积求得^[10],即

$$M = \prod_{i=1}^N M_i = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}. \quad (4)$$

通过 M 可得出膜层的反射系数、透射系数、反射率和透射率。

反射系数

$$r = \frac{A\eta_0 + B\eta_0^2 - C - D\eta_0}{A\eta_0 + B\eta_0^2 + C + D\eta_0}, \quad (5)$$

反射率

$$R = |r|^2, \quad (6)$$

透射系数

$$t = \frac{2\eta_0}{A\eta_0 + B\eta_0^2 + C + D\eta_0}, \quad (7)$$

透射率

$$T = |t|^2. \quad (8)$$

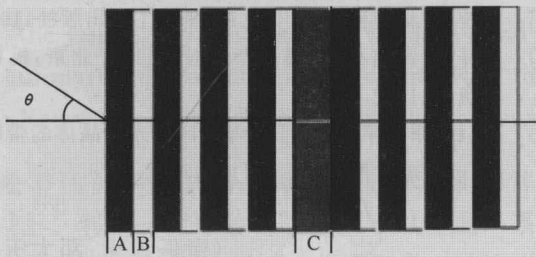


图1 含缺陷层的一维光子晶体模型

Fig. 1 The defective model of 1D photonic crystal

2 数值模拟和结果分析

设所研究介质两端为空气层,入射波为平面 TE 波,且垂直于表面入射 ($\theta = 0$),结构层 A 选为砷化钾 ($n_A = 3.23$),B 选硫化镁 ($n_B = 1.38$),介质层的光学厚度 $n_i h_i$ 为 150nm。

用 Matlab 编程软件将上面的参数带入公式进行模拟计算,不插入杂质模时,在光波长 400~1600nm 之间有一个明显的光子晶体带隙(472~829nm),如

图 2 所示。加入杂质模后,含杂质模光子晶体在光子带隙区出现以 601nm 为中心的一个窄带透过窗口,如图 3 所示,从这个窗口光可以透过光子晶体,而利用这一特性即可以制造超窄带滤波器。

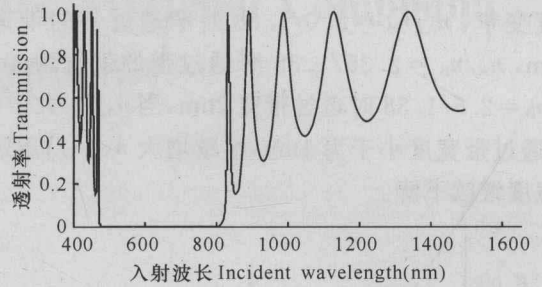


图2 光子晶体的完整透射谱

Fig. 2 The structure of band gap

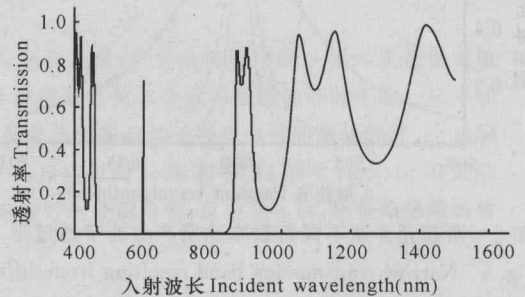


图3 含缺陷模光子晶体的透射谱

Fig. 3 The structure of band gap with defect

以此为参照计算杂质层折射率 n_c 对窄带透过窗口峰值的影响,得出随着杂质层折射率的升高,产生的窄带透过窗的峰值下降,但窄带透过窗的位置不变,仍为 601nm 处,见图 4。

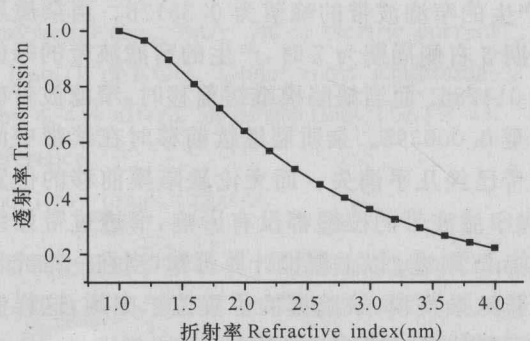


图4 缺陷层折射率与窄带透射尖峰值曲线关系

Fig. 4 The relation between the incident of defect and transmission bump

从图 4 可以看出,当杂质层的折射率增加到 2.5 左右时,窄透过带的峰值已降到 0.5,当折射率继续增大时峰值仍不断下降,所以当我们利用含杂质层的光子晶体制作超窄带滤波器时,杂质层要选取折射率低的物质,以增大该晶体的滤波性能。

当固定杂质层的介质为 ThO_2 折射率 $n_c = 1.8$ 时,通过改变高折射率介质 A 来改变 A、B 的折射率比值,得到两种基元介质的折射率比值分别为 2.0/

1.38、2.35/1.38、2.5/1.38 的透射谱图形,如图 5 所示。计算发现 A、B 两种介质的折射率不仅对禁带宽度有影响,同时它也对产生的窄透过带的宽度有影响,随着 A、B 的比值的增大,缺陷模产生的窄透过带宽度变窄, $n_A/n_B = 2.0/1.38$ 时窄透过带的带宽为 18nm, $n_A/n_B = 2.35/1.38$ 窄透过带的带宽为 4nm, $n_A/n_B = 2.5/1.38$ 时透过带宽 2nm,当 n_A/n_B 大于 2.0 时,透过带宽度小于为 1nm,继续增大 n_A/n_B ,透过带的宽度继续下降。

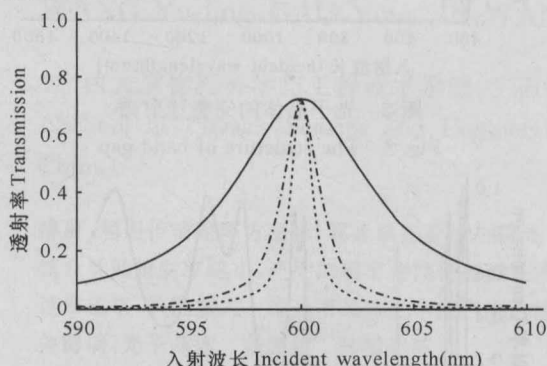


图 5 两基元介质不同折射率比所产生的窄透过带

Fig. 5 Narrow transmission band resulting from different refraction ratio of two primitive medium

.....: 2.5/1.38, - · - · -: 2.35/1.38, — : 2.0/1.38

固定杂质层的折射率 $n_c = 1.8$, 保持杂质层两侧 A、B 介质的周期总数保持不变, 改变层的位置, 当缺陷模位于中间时, 产生的滤波带透过率的峰值为 0.7209, 当杂质层前移到左侧周期为 4, 右侧周期为 6 时, 产生的窄滤波带的峰值为 0.35178。当杂质层左侧周期 3 右侧周期为 7 时, 产生的窄滤波带的峰值降为 0.014286。而当缺陷模继续前移时, 窄滤波带的已经降至 0.000395。杂质层继续前移时在禁带中间的透过带已经几乎消失。而无论缺陷模前移的位置如何, 对窄滤波带的位置都没有影响, 窄透过带始终位于 601nm 附近。以上模拟计算可知, 当在一维光子晶体中掺入杂质模, 缺陷模的位置位于中间, 这样制成的光子晶体窄带滤波的效果较好。

3 结论

利用传输矩阵方法, 计算含缺陷模的一维光子晶体中缺陷模产生的窄透过带的滤波特性, 得到以下几点结论: (1) 缺陷模介质的折射率越小, 产生的超窄滤波带滤波性能越好; (2) 一维光子晶体的两基元介质折射率比值越大, 产生的透过带越窄; (3) 缺陷插入一维光子晶体正中间产生的滤波效果最好。

参考文献:

- [1] YABLONOVITCH E. Inhibited spontaneous emission in solid state physics and electronics [J]. Phys Rev Lett, 1987, 58(20): 2059-2062.
- [2] JOHN S. Strong localization of photon in certain disordered dielectric super lattices [J]. Phys Rev Lett, 1987, 58(23): 2486-2489.
- [3] SHANHUI FAN, VILLENEUVE PIERRE R, JOANNOPOULOS J D. High extraction efficiency of spontaneous emission from colloidal systems [J]. Phys Rev Lett, 1997, 78(17): 3294-3297.
- [4] SANDHYA GUPTA, GARY TUTTLE. Infrared filters using metallic photonic band gap structures on flexible substrates [J]. App Phys Lett, 1997, 71(17): 2412-2414.
- [5] KNIGHT J C. Photonic crystal fibres [J]. Nature, 2003, 424: 847.
- [6] 欧阳征标, 刘海山, 李景镇. 光子晶体超窄带滤波器 [J]. 光子学报, 2002, 31(3): 281-284.
- [7] 许桂雯, 欧阳征标, 安鹤男, 等. 光子晶体缺陷模的带宽与品质因子研究 [J]. 光子学报, 2003, 32(9): 1079-1082.
- [8] 梁轶廷. 物理光学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1980.
- [9] 唐晋发, 顾培夫. 薄膜光学与技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1982.
- [10] 王辉, 李永平. 有特征矩阵法计算光子晶体的带隙结构 [J]. 物理学报, 2001, 50(11): 2172-2178.

(责任编辑: 邓大玉)

韩国科学家确定出稻瘟病菌的遗传基因

稻瘟病是一种常见的水稻疾病, 由真菌病原体引起, 多发于气候湿热的国家, 其造成的水稻产量损失可高达 15% 至 30%。据测算, 由于稻瘟病的危害, 全球范围内每年减产的水稻足以养活 6000 万以上的人口。韩国首尔大学的科学家于 2005 年开始对稻瘟病菌病原菌进行深入研究。他们在对稻瘟病菌病原菌的 2 万多种变体进行生物学实验后, 确定了病原菌的 741 种遗传基因, 其中 202 种是病原性遗传基因。韩国科学家表示, 他们今后将联合生物学、遗传学和电脑方面的专家, 建立生物信息学研究体系, 进一步分析稻瘟病菌病原菌遗传基因之间的相互关系, 以便人类更好地防治稻瘟病。

(据科学网)