

光子晶体共振耦合滤波器的设计与研究

李 未,王长松,王博雅,谢 凯

(南昌工程学院 理学系,江西 南昌 330099)

摘要:谐振腔因其具有选频功能而在集成光学领域具有广泛的应用。基于共振耦合腔的该特性,设计了一种共振耦合腔滤波器。用时域有限差分法模拟分析的结果表明,当微腔禁带内的频率与环形腔的频率相近时,可以实现不同频率的光波的输出。

关键词:光学器件;光子晶体;耦合;滤波器

中图分类号: TN248.1

文献标识码: A

文章编号: 0253-2743(2013)01-0017-02

Design and research the resonance of the photonic crystal coupled filter

LI Wei, WANG Chang-song, WANG Bo-ya, XIE Kai

(Department of Science, Nanchang Institute of Technology, Nanchang 330099, China)

Abstract: Cavity because of its frequency selection features may have a wide range of applications in the field of integrated optics. We design a resonant coupled cavity filter based on the characteristics of the resonant coupling cavity. The results show that output of the light waves of different frequencies can be achieved when the cavity within the band gap frequency and the frequency of the ring cavity similar by using the finite difference time domain method.

Key words: Optical devices; photonic crystals; coupling; filter

光子晶体的概念最早在 1987 年由 Yablonovitch^[1] 和 John^[2] 提出,是一种介电材料在空间按一定的周期排列的人工材料。由于光子带隙的作用,光子晶体的出现给了人们可以控制光的希望。基于光子晶体的光电器件已经得到了广泛的研究,这种器件相比于传统结构的光电器件,具有体积小,易于集成,系统不受外界电磁场干扰等优点,为光电子器件向高集成化的发展带来了崭新的应用前景。

基于光子晶体的光波导、谐振腔^[3-4]等基本功能单元是实现复杂功能甚至光集成的基础。但是仅仅由于无源光子晶体器件来实现这些复杂的器件是不可能的。为了能够设计可控的光子晶体器件,必须考虑利用光子晶体的材料特性实现对功能期间某些参量的调制。

在以往的光子晶体滤波器^[5-6]中,波长调节性较弱,透射率较低。本文给出了一种由光子晶体环形腔与微腔组成的组合腔滤波器,在环形谐振腔中增加四个散射介质柱,环形腔和波导之间相隔一排介质柱,输出波导与输入波导呈垂直关系,形成一种新的环形腔。而在环形腔与输出波导之间放置微腔,形成滤波器。在新的滤波器中,通过改变微腔中间介质柱的参数(介质柱半径或者折射率大小),可以调节波长的大小,这将使滤波器在波分复用系统中有了更广阔的应用。

1 理论分析

无限长介质柱按正方晶格周期性地排列在空气背景中,构成完整光子晶体。结构的参数选取如下:介质柱为折射率 $n = 3.4$ 的 GaAs,半径 $r = 0.185a$,其中 a 为晶格常数。运用平面波展开法计算其禁带,只有 TM 模(电场方向平行于介质柱轴方向)在 $0.298(a/\lambda)$ 至 $0.436(a/\lambda)$ 存在禁带, λ 为真空中的波长。在完整的光子晶体中,去除一排介质柱形成光子晶

体单模波导。采用平面波展开法,选取正确的超原胞,计算此单模波导的色散曲线。如图 1 所示,阴影部分为导带,中间区域为光子禁带,由归一化频率 a/λ 从 0.30 到 0.44 之间只存在一种传播模式。

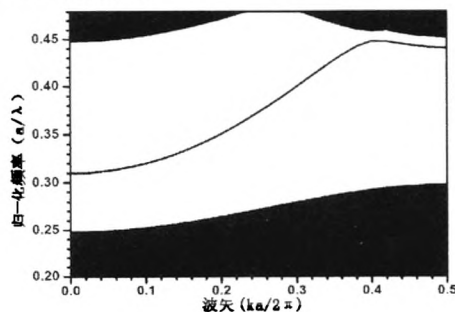


图 1 光子晶体单模波导色散曲线

本文设计的组合腔滤波器由以下部分组成:一个输入波导、一个共振耦合腔和一个输出波导,如图 2 所示。

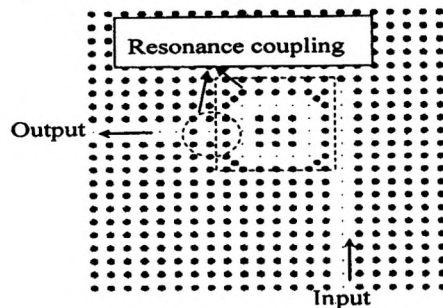


图 2 共振耦合腔滤波器结构示意图

用时域有限差分法分析微腔与环形腔的耦合传输特性发现,当所有频率的光波由输入端口输入时,进入单模输入波导,因为光子禁带的作用,只有带隙内的频率的光波才可以在光子晶体波导中传播,而其他频率的光波由于反射、散射或者损耗作用而无法在波导内传播。当光波到达环形谐振腔时,因为谐振腔的局域选频作用,只有符合腔内的谐振

收稿日期:2012-11-27

基金项目:江西省自然科学基金(2010GQW0050)、南昌工程学院青年基金(2010KJ020)、南昌工程学院大学生科研训练计划资助(20111115)

作者简介:李未(1979-),男,讲师,主要从事光子晶体波导和光纤的研究。

频率的光波才可以产生共振,而耦合进入环形谐振腔。据第四章环形腔的色散曲线分析,在 $r = 0.185a$, $n = 3.4$ 的介质柱参数情况下,环形谐振腔区域中存在数个导模,谐振频率分别为 $0.318(a/\lambda)$ (三重简并), $0.328(a/\lambda)$, $0.331(a/\lambda)$, $0.350(a/\lambda)$ (二重简并), $0.380(a/\lambda)$ (二重简并)和 $0.420(a/\lambda)$ (二重简并)。所以这些频率可以被激活,相对应的光波即可以通过环形谐振腔继而得以输出。

而当在环形谐振腔与输出波导之间安置了一个微腔,它们的色散曲线只在某个很小的频率段波动。当环形谐振腔中的数个频率中的一个频率与微腔的频率相当时,此频率的光波可以被再次激活,而经由微腔到达输出波导得到输出;同时其它的几个频率的光波由于不能产生共振耦合而被发射或者消耗。与此同时,由于该频率的光波经过了两次共振耦合作用(一次环形腔和一次微腔),输出效率将得以提高,得到更大的输出效率。

通过以上的理论分析,我们知道只有一个频率可以从输出波导输出,而且此频率同时是环形腔与微腔的谐振频率。当选取的介质柱为 $r = 0.185a$, $n = 3.4$ 的材料时,微腔的谐振频率只有一个,为 $0.38(a/\lambda)$,此频率与环形谐振腔的频率之一 $0.378(a/\lambda)$ 相当,即此频率的光波才可以产生共振,而与此频率不相同的光则会被禁止输出,因此实现了选频功能。

运用时域有限差分法计算图 2 的共振耦合腔的透射谱,如图 3 所示。从图中可以看出输出端只有一个透射峰,对应的频率为 $0.378(a/\lambda)$,该结果与之前的分析一致。与图 2 中环形腔的透射谱对比,发现该频率的透射峰比环形腔的透射峰更窄,效率更高。

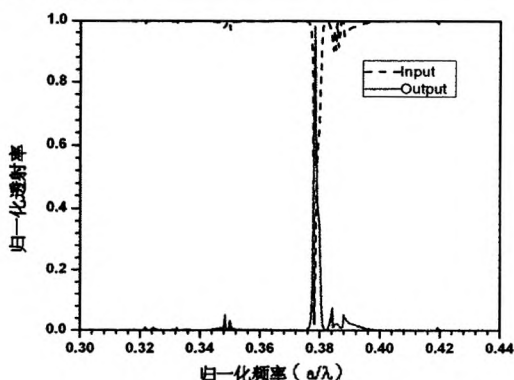


图 3 共振耦合腔透射谱

基于共振耦合腔的该特性,通过设计不同的微腔结构,当微腔禁带内的频率与环形腔的频率相近时,可以实现不同频率光波的输出。基于此原理我们可以设计多通道的滤波器以及多波长波分复用/解复用器。

2 滤波器的结果仿真与模拟

结构的参数选取如下:介质柱为折射率 $n = 3.4$ 的 GaAs, 半径 $r = 0.185a$, 其中 a 为晶格常数。在这里我们设定 $a = 580\text{nm}$, 此时频率 $0.38(a/\lambda)$ 对应 $1.55\mu\text{m}$ 这个波长。当从输入端口输入各种波长时, $1.55\mu\text{m}$ 的光波会从输出端口输出, 可以实现滤波作用。

3 结论

本文基于光子晶体环形腔、微腔与波导的共振耦合,采用平面波展开法和时域有限差分法,设计和模拟分析了一种超微、高效的滤波器。光子晶体微腔能够束缚一个或几个局域模,微腔的中心频率与主波导的光波频率发生共振,频率一致的光波将进入微腔中,并从负载波导中输出,从而达到滤波的作用。

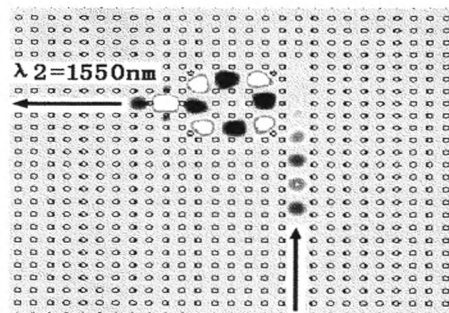


图 4 滤波器中光波的电场幅度分布图

创新点:

光子晶体谐振腔主要应用于波分复用器、滤波器和光开关等光子集成器件中,应用于分叉滤波器中时,不仅能选择波长,并且能控制光波输出通道,是波分复用系统中不可或缺的重要器件。随着技术的发展,通道间隔也越来越小,同时谐振腔的品质因子(Quality factor)可以做得很高,理论上可以达到 10^6 数量级,有效地提高了通道分叉滤波器的效率,这是其他材料的谐振腔所不能达到的。

本文给出了一种由光子晶体环形腔与微腔组成的组合腔滤波器,在环形谐振腔中增加四个散射介质柱,环形腔和波导之间相隔一排介质柱,输出波导与输入波导呈垂直关系,形成一种新的环形腔。而在环形腔与输出波导之间放置微腔,形成滤波器。在新的滤波器中,通过改变微腔中间介质柱的参数(介质柱半径或者折射率大小),可以调节波长的大小,这将使滤波器在波分复用系统中有了更广阔的应用。

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 photons in certain disordered dielectric superlattices[J]. Phys. Rev. Lett., 1987, 58(23): 2486-2489.
- [3] Guan Jianfei, Shi Zheng. Numerical study on ring resonator - based photonic crystal filters[J]. STUDY ON OPTICAL COMMUNICATION, 2010, 162(6): 32-35.
- [4] Yang Chun - Yun, Xu Xu - Ming, Ye Tao, et al. The modulation of a novel photonic crystal ring resonator filter[J]. Acta Phys Sin, 2011, 60(1): 017807-017812.
- [5] Guo Hao, Fang Li - guang, Wu Xiao - hua, et al. Heterostructure ultracompact multiway beam splitter using photonic crystal ring resonator [J]. Acta Optica Sinica, 2011, 39(7): 1198-1201.
- [6] Manzacca G, Paciotti D, Marchese A, et al. 2D photonic crystal cavity - based WDM multiplexer [J]. Photonics and Nanostructures - Fundamentals and Applications, 2007, 5: 164-170.

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, 致力和专注于微波、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/>