

· 光电器件与材料 ·

基于 comsol 软件的光子晶体通信器件模拟

臧克宽, 孙晓红, 李大海, 刘国斌

(郑州大学河南激光与光电信息技术重点实验室, 河南 郑州 450052)

摘要:利用 comsol 软件对几种光子晶体通信器件的模拟, 有光子晶体光纤、波导、分波器以及滤波器等器件, 模拟结果很好, 可以更直观地了解光子晶体器件的优越性, 更为开发集成光通信器件提供了有益的参考。

关键词:光子晶体; 通信器件; comsol 模拟

中图分类号: TN929.11

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2010)05-0051-03

Simulation of Optical Communication Apparatus Based on the Comsol Software

ZANG Ke-kuan, SUN Xiao-hong, Li Da-hai, LIU Guo-bin

(The key Laboratory of Laser and Photo-electricity Information Technology of He Nan province, Zhengzhou 450052, China)

Abstract: The comsol software is used to simulate some integrated apparatus of the optical communication such as photonic crystal fiber, waveguide, wave separator and filter. The result of simulation is very good. The advantages of photonic crystal devices can be more intuitively understood. It provides the useful information for the development of the apparatus of the optical communication.

Key words: optical crystal; communication apparatus; comsol simulation

长期以来,人们一直希望能够突破电子在信息传输上的瓶颈限制,而让拥有极高信息容量和效率、极快响应能力、极强的互连能力和并行能力以及极大存储能力的光子来取代电子成为新型的信息载体。光子具有高传输速度、高密度及高容错性等优点,成为代替电子作为信息的载体。光子晶体(Photonic Crystal)概念的提出,加速了人们对光子作为信息载体的研究。

由于光子在光子晶体中的行为类似于电子在天然晶体(从某种意义上来说可以叫做电子晶体)中的行为,固体物理中的许多概念都可用在光子晶体上,所以光子晶体的基本特征是具有光子禁带。频率落在禁带中的电磁波是禁止传播的,因为带隙中没有任何态存在。光子晶体的另一个主要特征是光子局域^[1-4]。

光子晶体的出现使自由地操纵和控制光的行为

成为现实,人们能够按自己的需求,以人工的方式设计和制造光子器件,由于光子晶体能够控制光在其中的传播,所以它的应用十分广泛。其主导思想就是利用光子禁带或禁带结构中的缺陷态来改变光子晶体中某种电磁态的密度,以制作全新原理或以前所不能制作的高性能器件^[5]。

1 光子晶体通信器件的模拟^[6,7]

1.1 光子晶体光纤

如今,人们对光子晶体的应用研究得最多也是进展最快的领域莫过于对光子晶体光纤的研究。光子晶体光纤虽然和传统光纤的导光机制一样,但是却具有明显优于传统光纤的特性,诸如无截止单模、不同的色度色散、极好的非线性效应、双折射效应、

收稿日期:2010-07-19

作者简介:臧克宽(1981-),男,硕士,主要从事光子晶体激光器方面的研究;孙晓红,女,博士,郑州大学教授,主要从事光子晶体方面的研究。

较高的入射功率、非线性现象、易于实现多芯传输等,这些优良特性使其在未来的光通信领域将有着广阔的应用前景.

图 1 是用 comsol 软件简单模拟了光子晶体光纤的光场分布.

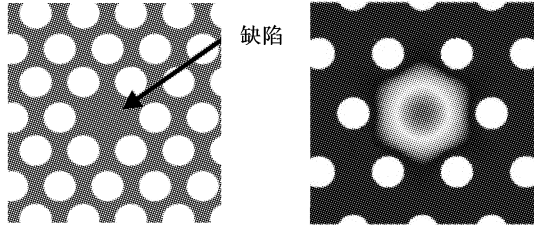


图 1 六角形结构光子晶体光纤的光场分布图

从图中可以明显看到,光只会分布在光纤孔中,不会散射到其他区域.

1.2 光子晶体波导

传统的介电波导在传播电磁波是会在传输过程中损失能量,特别是在拐角处损失的能量更多,但是光子晶体波导可以改变这种情况.即光子晶体波导对直线和转角都有很高的效率.具有如此高效传播能力波波导使得人们不得不对其另眼相看.因此,对光子晶体波导的研究也成为光子晶体应用研究的一个主要领域.

图 2 是用 comsol 软件模拟的直线波导和弯折波导的光传播情况.

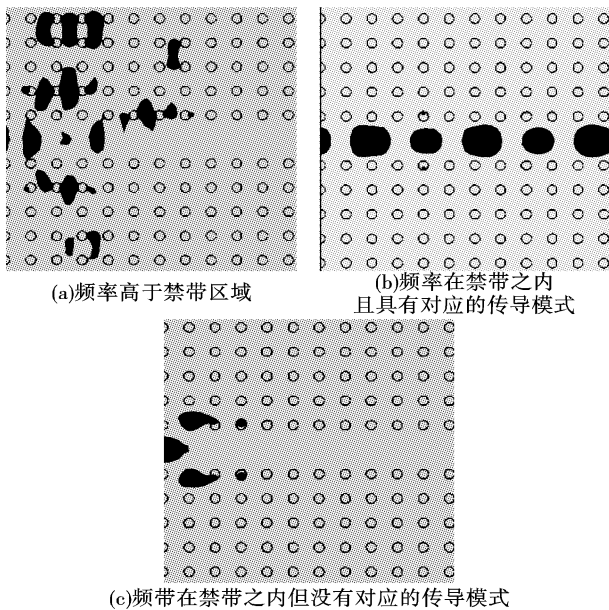


图 2 正方晶格光子晶体直波导传输图

从模拟图 2 中可以清楚看到:不在禁带区域的

光会出现很强的散射,传导模式不对会很快衰减,只有在范围内而又有很好的传导模式的光才能顺利传播,而且损耗极小.

看以看到,与直波导相同,弯曲波导的传输率也可以接近 100%,如图 3 所示.

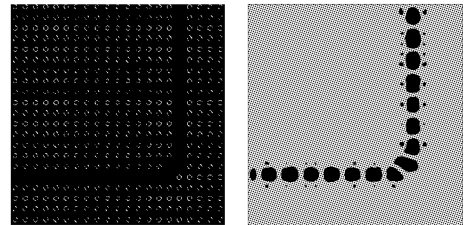


图 3 直角弯折波导的光传播模拟图

1.3 光分波器

在通信电路中,分波器是很重要的器件,那么光分波器在全光路中必不可少,图 4 是 T 字型光分波器的光场模拟图.可以看到,与图 3 中的直角弯折波导具有相似性,只是光能量分开传播,分开后的总能量与分开前的能量相差很小,效率可以高达 96%.

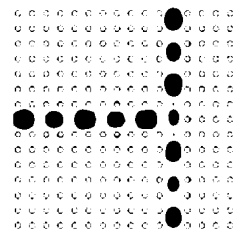


图 4 T 字型光分波器的光场模拟图

1.4 宽带带阻滤波器和极窄带选频滤波器

利用光子晶体的光子频率禁带特性可以实现对光子极优良的滤波性能.这是由于光子晶体的滤波带宽可以做得比较大.钻石结构的光子晶体的滤波带宽可以做到中心频率的 20%.而由 S. Gupta 等人所提出的金属-介质复合型光子晶体可以将从低频(频率接近 0 Hz)直到红外波段的电磁波完全滤掉.这种大范围的滤波作用利用传统的滤波器是难以实现的.

另外研究发现,当光子晶体中的某些单元被取消而造成缺陷时,就会使得光子晶体的光子频率禁带出现一些“可穿透窗口”.即光子频率禁带内的某些频率会毫无损失地穿过光子晶体,光子晶体的这一特性可以用来制作高品质的极窄带选频滤波器.

经分析可以知道,为了得到窄的线宽,应该选择

合适的谐振腔和波导之间的距离.

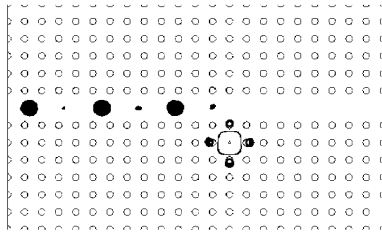


图 5 带阻滤波器结构传输图

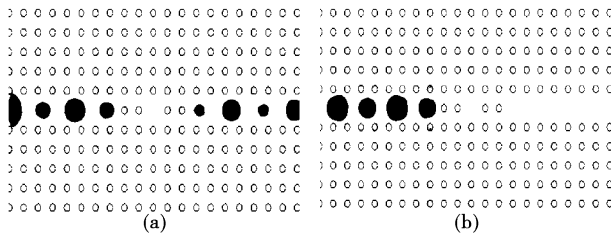


图 6 归一化频率不同的两种频率的窄带滤波器传输图

图 6a 为频率在谐振频率处,图 6b 传输频率仅仅偏离谐振频率 1%,而传输率却降低为输入的 2%多一点.可见此时的滤波器带宽相当窄.

1.5 多组合滤波器

当把多个谐振腔与波导组合后,会形成不同种类的滤波器.下面把两个波导两个谐振腔组合成一个二维光子晶体的三端口通道下路滤波器并用 comsol 软件模拟光传播,如图 7 所示.

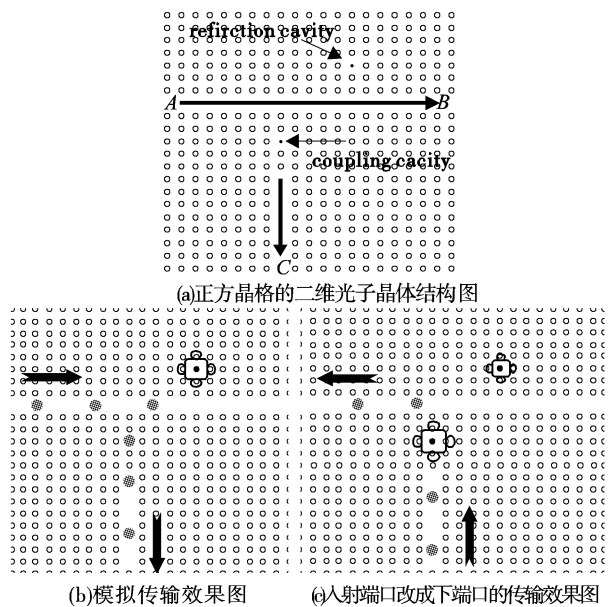


图 7 三端口通道下路滤波器的结构图与光传输图

从图 7 可以清楚观察到,光波从 A 端入射,传输到 B 端的能量几乎为零了,所以下传到 C 端的效率比较高.如果入射波端口改为 C(此时此端口成为上传端口),能量将沿相反的方向传输从端口 A 输出,而 B 端口因为反射谐振腔的反射而几乎得不到能量.

2 结 束 语

文中基于 comsol 软件对几种光子晶体通信器件的模拟,模拟结果非常好地体现光子晶体器件的优越性,并对模拟结果进行了简单分析,并提出多组合滤波器设计思路,为开发集成光通信器件提供了有益的参考.

参考文献

- [1] John D Joannopoulos, Steven G Johnson, Joshua N Winn, et al. Photonic Crystals: Molding the Flow of Light[M]. 2nd Edition. Princeton University Press, 2008.
- [2] Steven G Johnson, Photonic Crystals: From Theory to Practice[M]. Massachusetts Institute of Technology, 2001.
- [3] Kazuaki Sakoda. Optical Properties of Photonic Crystals [M]. Springer, 2001.
- [4] E Yablonovitch. Inhibited Spontaneous Emission in Solid - State Physics and Electronics[J]. Phys. Rev. Lett. 1987,58: 2059 - 2062
- [5] Z Zhang , S Satpathy. Electromagnetic wave propagation in periodic structures: Bloch wave solution of Maxwell's equations[J]. Phys. Rev. Lett. 1990,65.
- [6] Y Tanaka, T Asano, Y Akahane, et al. Theoretical investigation of a two - dimensional photonic crystal slab with tapered air holes. Appl[J]. Phys. Lett. 2003, 82 (9).
- [7] K S Yee. Numerical solution to initial boundary value problems in - volving Maxwell's equations in isotropic media[J]. IEEE Trans. Antennas Propagate. 1966. AP - 14.
- [8] O Painter, J Vuckovic, A Scherer. Defect modes of a two - dimensional photonic crystal in an optically thin dielectric slab[J]. JOSAB,1999,275(16).