

文章编号: 1000-7032(2010)05-0757-05

一种基于光子晶体异质结构的新型多通道波分复用器

杨春云, 徐旭明*

(南昌大学 物理系, 江西 南昌 330031)

摘要: 在二维三角光子晶体环形腔的周围增加六个散射介质柱, 构成一个新的环形腔结构, 该结构使光波的透射率达到 90%, 带宽也比较小。通过改变光子晶体介质柱的折射率, 使环形腔的选择波长不断改变, 能够明显地区分出两个不同波长, 且分波波长在通信波长范围之内。将不同折射材料的光子晶体连接在一起, 构成一种新的光子晶体波分复用器, 相比同种材料, 它具有高效率, 多波长选择的优点。利用这种异质结构可以构建一个多波长的波分复用结构, 它也为制作多通道波分复用器奠定了基础。

关键词: 光子晶体; 环形腔; 波分复用; 散射介质柱; 折射率

中图分类号: O431.1

PACS 42.70.Qs

PACC 4270Q

文献标识码: A

1 引 言

光子晶体的概念是 1987 年分别由 S. John 和 E. Yablonvitch 等提出来的。它具有与半导体材料中的势场类似的周期性结构, 但晶格常数比半导体的大。其折射率在空间呈周期性变化, 变化周期是光波波长数量级。根据需要, 可以制成在一定波长间隔内某些方向上或全部方向上禁止光传播的光子禁带材料。光波的某些频率被禁止通过, 同时也抑制了频率落于禁带中的原子的自发辐射, 通常称这些被禁止的频率区间为“光子频率禁带”(Photonic Band Gap, PBG), 一般将具有 PBG 的材料称作光子晶体^[1-3]。

光子晶体的出现给了人们能够控制光的希望, 最重要的就是提供了一个光子集成平台。传统的一些光学元件, 如谐振腔、波导, 仅仅对应于在完美光子晶体中引入不同结构的缺陷。相对由那些传统分离元件构成的功能性器件而言, 光子晶体集成器有着体积小、损耗低、性能好等巨大优势。本文从当前光子晶体的研究热点之一的线缺陷^[4]、波导和环形腔^[5-7]出发, 提出了一种基于两者间耦合相互作用的波分复用器^[8-12]。

由于对光子晶体的大量研究, 导致其研究方

法也越来越多。目前, 研究光子晶体的主要手段是数值分析和数值模拟。常见的方法有, 传输矩阵法、散射矩阵法、平面波展开法、时域有限差分法等。传输矩阵法和散射矩阵法一般用来计算有限尺寸光子晶体透射谱、反射谱; 平面波展开法是一种频域方法, 利用它能获得能带结构和相应的模场分布; 时域有限差分法是一种时域方法, 利用它可以研究光子晶体的动态特性。在这些方法中, 平面波展开法^[13, 14]和时域有限差分法(FDTD)^[15, 16]是研究光子晶体用得最多, 最广泛的方法。本文采用时域有限差分法进行模拟计算。

2 光子晶体模型的设计与优化

2.1 环形腔的优化

在晶格常数为 a 、基质为空气的完整二维三角光子晶体中, 介质柱材料为 Si, 折射率 $n = 3.59$, 介质柱半径 $r = 0.16a$, 去掉内部环形的介质柱, 形成一个六边形的光子晶体环形腔, 内部有七个中心介质柱, 在环形腔的各个角上增加一个介质柱, 构成一个具有散射介质柱的新六边形, 得到图 1 所示的环形腔结构。增加的散射介质柱, 既降低了光波在环形腔中的损耗, 又使光波的透射率增强。

收稿日期: 2010-01-28 修订日期: 2010-03-09

基金项目: 江西省自然科学基金(2008GZ0007)资助项目

作者简介: 杨春云(1981-), 男, 山西大同人, 主要从事光子晶体光纤及波导的研究。

E-mail: ycy181@163.com

*: 通讯联系人; E-mail: ncxmxen@ncu.edu.cn

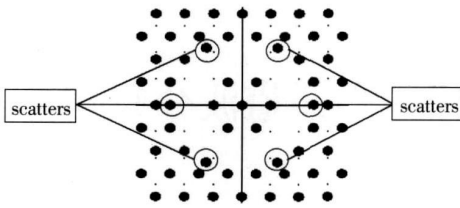


图 1 增加散射介质柱后的环形腔

Fig. 1 Ring resonator with scatters

2.2 单通道波分复用器的模拟分析

利用优化后的环形腔,可以设计一个新的粗波分复用器。在完整光子晶体中,取一排介质柱形成一线缺陷波导,即主波导。在其一边取一环形腔,通过它与负载波导相连接,构成一个简单的波分复用结构。如图 2 所示,输入端口为 Input 两个输出端口分别被标记为 A 和 B,主波导与环形腔之间的介质柱为耦合区域。运用平面波展开法对此结构进行分析,计算该结构的禁带情况,得出主波导的色散曲线(横电场模式,电场平行于介质柱),如图 3 所示。从图 (b) 中可以看到,阴影部分为导带,光子带隙分布在归一化频率 a/λ 从 0.288~0.505 之间,其中 λ 为真空中的波长。由归一化频率 0.352 延伸到 0.488 只存在一种传播模式。

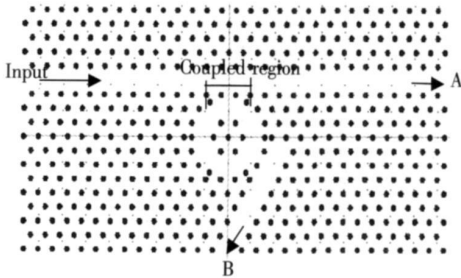


图 2 光子晶体粗波分复用结构

Fig. 2 Structure of photonic crystal CWDM

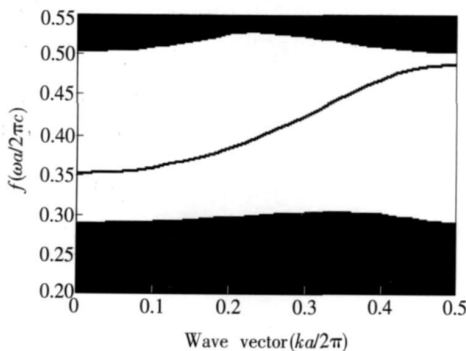


图 3 单模波导色散曲线图

Fig. 3 Dispersion curves of single mode waveguide

以 TE 模为研究对象, 高斯波作为入射波, 经过耦合区域时, 一部分光波被耦合进入环形腔, 通过环形腔的选择作用, 使特定的波长再次与负载波导发生耦合, 从 B 端口输出。如图 4 所示, 当介质柱折射率 $n = 2.59$ 时, 实线表示从 B 端口输出的光波波长为 $1.581 \mu\text{m}$, 透射率达到 90%。虚线表示从 A 端口输出透射率最高的波长为 $1.605 \mu\text{m}$, 透射率接近 100%。图 5 为此结构中光波的电场分布图, 从图中可以看出, 环形腔可以明确的区分出两个不同的波长, 以达到分波的目的。

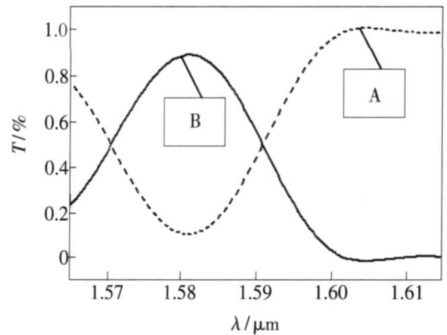


图 4 当 $n = 2.59$ 时, 光波的透射谱图

Fig. 4 Transmission spectra of light waves at $n = 2.59$

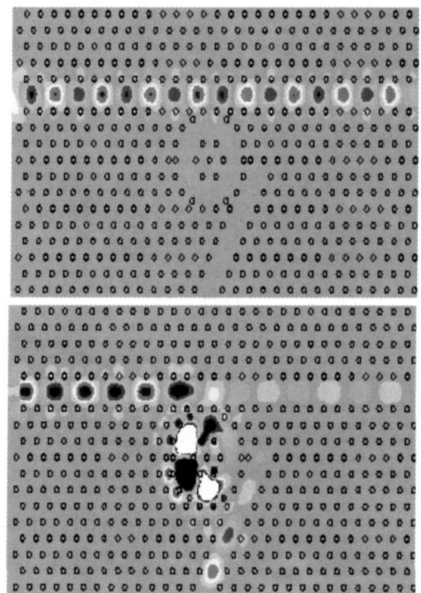


图 5 光波通过 A, B 两个端口的电场分布图

Fig. 5 The electric field distribution at A and B port

在光子晶体环形腔中, 它的传输行为主要依靠波导中传输模式的相匹配耦合。环形腔中的光波传输依靠了波的转动和环中的全内反射原理, 环与波导的耦合是倏逝发生的。光波的传播方向由负载波导的方向决定, 且可以大角度的改变波

的传输方向。

3 异质结构波分复用器的设计与分析

从图 4 的分析可以看出, 经过优化后的光子晶体波分复用器, 透射率有了明显的提高, 这就为制作致密型波分复用器奠定了基础。由此, 还可以通过改变光子晶体介质柱材料, 也就是改变介质柱折射率, 使得不同的波长被环形腔选择, 有多个波长从负载波导输出。图 6 所示是光子晶体多通道波分复用结构, 两个环形腔之间的间距为 $3a$ 。通过改变环形腔区域各个介质柱的折射率, 使得三个环形腔区域由不同的折射率材料构成, 也就是有不同的波长从负载波导输出, 依此原理,

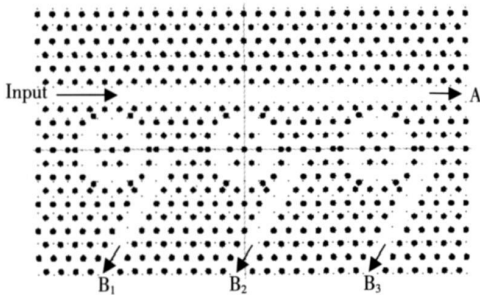


图 6 多通道光子晶体波分复用结构图

Fig. 6 Structure of multi-channels photonic crystal WDM

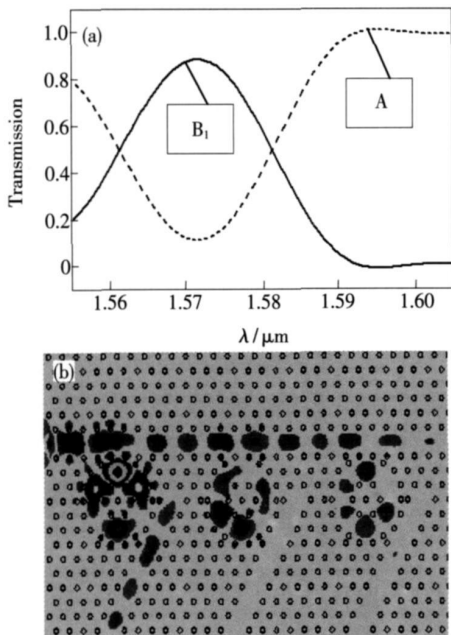


图 7 当 $n=2.56$ 时, 该波分复用器中光波从 B1 端口输出, (a) 透射谱图, (b) 电场分布图。

Fig. 7 The light wave outputs from B1 port at $n=2.56$, (a) Transmission; (b) The electric field distribution.

可以设计一个多通道的波分复用器。当介质柱折射率 $n=2.56$ 时, 如图 7 (a) 是它的光波透射谱图, 从 B 端口输出的波长为 $1.572 \mu\text{m}$, 而 A 端口输出的波长为 $1.595 \mu\text{m}$, 图 7 (b) 是相应的电场

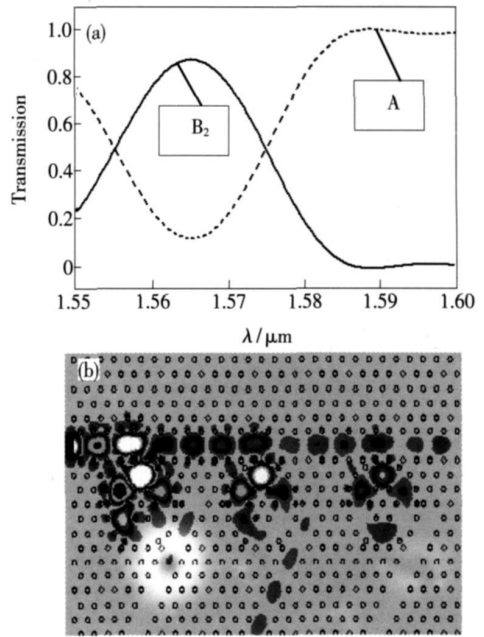


图 8 当 $n=2.54$ 时, 该波分复用器中光波从 B₂ 端口输出, (a) 透射谱图; (b) 电场分布图。

Fig. 8 The light wave outputs from B₂ port at $n=2.54$, (a) Transmission (b) The electric field distribution.

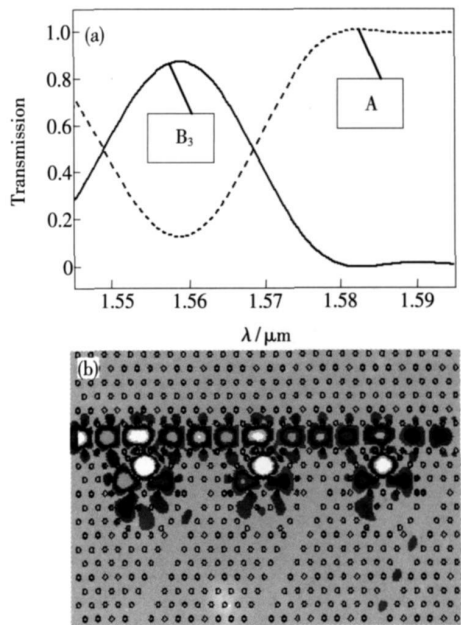


图 9 当 $n=2.52$ 时, 该波分复用器中光波从 B₃ 端口输出, (a) 透射谱图; (b) 电场分布图。

Fig. 9 The light wave outputs from B₃ port at $n=2.52$, (a) Transmission (b) The electric field distribution.

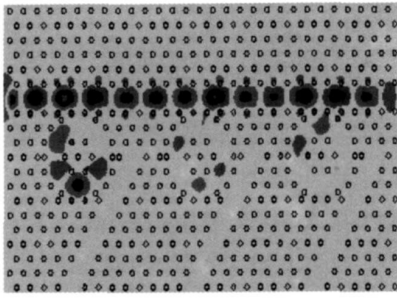


图 10 光波从 A 端口输出的电场分布图

Fig 10 The electric field distribution at A port

模拟分布图。图 8 (a)所示,当 $n = 2.54$ 时,此结构中光波的透射谱,两个输出端口 A 和 B 的输出波长分别为 $1.565 \mu\text{m}$ 和 $1.590 \mu\text{m}$,图 8 (b)所示为相应的电场分布图。图 9 所示为 $n = 2.52$ 时光波的透射谱和相应的电场分布图,波长分别为 1.558 $1.585 \mu\text{m}$ 。从以上分析可看出,随着介质

柱折射率的不断减小,透射波长也在不断的降低,呈现出成正比的变化。图 10 是在不同折射率材料下,光波从 A 端口输出的电场分布图。根据这个规律,制作多通道型的波分复用器,将可以得到我们需要的任意波长,这也为光纤的飞速发展带来重大的影响。

4 结 论

本文构建了一种新的制作多通道波分复用器的方法,通过在环形腔周围增加散射介质柱,相比以前,环形腔的分波特性和增强,光波的透射率达到 90% 以上,透射效果得到明显的提高。改变介质柱材料的折射率,使不同的波长被选择输出,并且分波波长明显,波长与折射率的大小成正比的变化。这些结论在实现超微、多通道型波分复用器中具有潜在的应用价值。

参 考 文 献:

- [1] Ho K M, Chen C T, Soukoulis C M. Existence of a photonic gap in periodic dielectric structures [J]. *Phys Rev Lett*, 1990, **65**(25): 3152-3155.
- [2] Wang Daobin, Hou Shanglin, Ren Guodong, *et al*. Band structure of Sugi phase photonic crystal [J]. *Chin. J. Luminescence* (发光学报), 2008, **29**(5): 885-890 (in Chinese).
- [3] Yan Mingbo, Wang Haibing, Zhou Ping. Transmission properties of 2D photonic crystals with triangular dielectric rods [J]. *Chin. J. Luminescence* (发光学报), 2009, **30**(1): 1-6 (in Chinese).
- [4] Meade R D, Devenyi A, Joannopoulos J D, *et al*. Novel applications of photonic bandgap materials: Low-loss bends and high-Q cavities [J]. *J. Appl. Phys.*, 1994, **75**(9): 4753-4755.
- [5] Dinesh Kumar V, Srinivas T, Selvarajan A. Investigation of ring resonators in photonic crystal circuits [J]. *Photonics and Nanostructures*, 2004, **2**(3): 199-206.
- [6] Qiang Z X, Zhou W D. Optical add-drop filter based on photonic crystal ring resonators [J]. *Opt. Express*, 2007, **15**(4): 1823-1831.
- [7] Djavid M, Monifi F, Ghaffari A, *et al*. Heterostructure wavelength division demultiplexers using photonic crystal ring resonators [J]. *Opt. Commun.*, 2008, **281**(15): 4028-4032.
- [8] Fan S, Villeneuve P R, Joannopoulos J D. Channel drop filters in photonic crystals [J]. *Opt. Express*, 1998, **3**(1): 4-11.
- [9] Little B E, Foresi J, Steimeyer G, *et al*. Ultracompact Si/SiO₂ microring resonator optical channel dropping filters [J]. *IEEE Photon Technol. Lett.*, 1998, **10**(4): 549-551.
- [10] Manzacca G, Pacioti D, Marchese A, *et al*. 2D photonic crystal cavity-based WDM multiplexer [J]. *Photon and Nanostruct. Fundam. Appl.*, 2007, **5**(4): 164-170.
- [11] Koshba M. Wavelength division multiplexing and demultiplexing with photonic crystal waveguide couplers [J]. *J. Lightwave Technol.*, 2001, **19**(12): 1970-1975.
- [12] Barwicz T, Popovic M, Rakich P, *et al*. Microring-resonator based add-drop filters in SiN: fabrication and analysis [J]. *Opt. Express*, 2004, **12**(7): 1437-1442.
- [13] Leung K M, Liu Y F. Full vector wave calculation of photonic band structures in FCC dielectric media [J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1990, **65**(21): 2646-2649.

- [14] Johnson S G, Joannopoulos J D. Block iterative frequency-domain methods for Maxwell's equations in a plane wave basis [J]. *Optics Express*, 2001, **8**(3): 173-190
- [15] Hong Z Z, Ming Y W. The characteristic properties of transmission research of 2-D photonic crystals using the finite difference time domain (FDTD) method [J]. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2003, **23**(5): 511-516 (in Chinese).
- [16] Mur G. Absorbing boundary conditions for the finite difference approximation of the time domain electromagnetic field equations [J]. *IEEE Trans Electron Magnetic Compatibility*, 1981, **23**(4): 377-382

A New Multi-channels WDM Based on Photonic Crystal Heterostructures

YANG Chun-yun, XU Xun-ming

(Department of Physics Nanchang University, Nanchang 330031, China)

Abstract Six scatters is increased in two-dimensional triangular photonic crystal ring resonator forming a new ring-cavity structure, so that the transmission of light waves attain 90%, the bandwidth is relatively small in the optimized ring resonators. By changing the refractive index of photonic crystals dielectric cylinders, but also the selection of ring cavity wavelength is changed, so discriminate clearly two different wavelength, the wavelength of partial wave is the range of the communication wavelength. Different refractive materials of photonic crystals connected together to form a new kind of photonic crystal WDM, compared with the same kinds of material, which has the advantages of high efficiency and multiwavelength selection. This heterogeneous structure can be used to build a multiwavelengths structure, it is also the foundation for the facture of multi-channels WDM device.

Key words photonic crystal; ring resonator; WDM; scatters; refractive index

CLC number O431.1 **PACS** 42.70.Qs **PACC** 4270Q **Document code** A