

二维光子晶体波导耦合器传输特性的研究

韩利红^{1,2} 俞重远^{1,2*} 刘玉敏^{1,2} 芦鹏飞^{1,2}

(¹北京邮电大学 光通信与光电子学研究院, 北京 100876
²北京邮电大学信息光子学与光通信教育部重点实验室, 北京 100876)

摘要 采用全矢量有限元法,研究了圆柱形介质柱、正方形格子的光子晶体波导耦合器的传输特性,计算了不同耦合长度波导耦合器的分光比,以及同一耦合长度下不同波长时的分光比,并分析了改变介质柱折射率后的分光比。计算分析结果表明,可以通过改变光子晶体波导耦合器的某些结构参数来控制各出口处的分光比,实现光在传播过程中的平移、反向和分岔,以满足光信息传输和处理的要求。

关键词 光子晶体; 波导耦合器; 全矢量有限元法; 分光比

中图分类号 O488 文献标识码 A doi: 10.3788/AOS200929s1.0144

Analysis of Transmission Property in 2D Photonic Crystal Waveguide Coupler

Han Lihong^{1,2} Yu Zhongyuan^{1,2} Liu Yumin^{1,2} Lu Pengfei^{1,2}

¹Institute of Optical Communication and Optoelectronics, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China
²Key Laboratory of Information Photonics and Optical Communications, Ministry of Education, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China

Abstract The full-vector finite element method is applied to investigate the property of a photonic crystal waveguide coupler consisting of a square lattice of dielectric cylinders in air. The coupling ratio with different coupling lengths, wavelengths and refractive indexes are given. The simulation results show that the photonic crystal waveguide coupler (PCWC) can be widely used as switches, multiplexers and demultiplexers by changing certain structure parameters and coupling ratio.

Key words photonic crystal; waveguide coupler; full-vector finite element; coupling ratio

1 引言

光子晶体是一种存在带隙的周期性介质结构材料,只有频率在光子能带中的光才能在光子晶体中通过而频率在光子带隙内的光则被禁止。在光子晶体中引入线缺陷后,形成光子晶体波导^[1];光子晶体中有两个或两个以上线缺陷波导时,在一定条件下,形成光子晶体波导耦合器^[2,3]。由于光子晶体波导耦合器具有容易光学集成、拐弯角度大、损耗小等普通介质波导耦合器所不具有的一些独特性质,研究光子晶体波导耦合问题是非常有意义的^[4-7]。

采用全矢量有限元法,研究了光子晶体波导耦合器的传输特性,计算分析了耦合长度、入射波长、介质折射率等结构参数对光子晶体波导耦合器的分光比。

2 物理模型

图 1 为所计算的二维光子晶体结构,图中圆点代表折射率较高的介质柱,半径 $r=7\times 10^{-8}$ m,按正方形排列,间距 $a=37.5\times 10^{-8}$ m,空白部分为空气。挖去一些介质柱形成如图 2 所示光子晶体波导

基金项目: 国家 973 计划(2003CB314901)和国家自然科学基金(60644004)资助课题。

作者简介: 韩利红(1974—),女,博士,副教授,主要从事光子晶体和光子晶体光纤等方面的研究。

E-mail: hanlh_star@gmail.com

* 通信联系人。E-mail: yuzhongyuan30@gmail.com

耦合器,耦合长度为 L 。

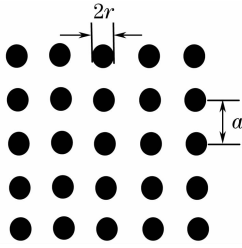


图1 二维光子晶体的结构

Fig.1 Structure of 2D photonic crystal

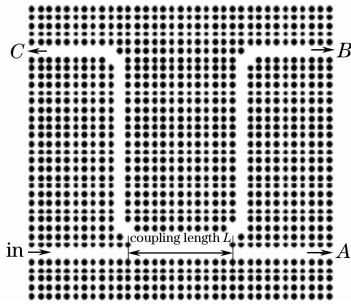


图2 光子晶体波导耦合器的结构

Fig.2 Structure of photonic crystal waveguide coupler

光从 in 端入射,经光子晶体波导耦合器之后从 A,B,C 端出射。定义 B 和 C 端相对于 A 端的分光比 γ_B 和 γ_C , $\gamma_B = I_B/I_A$, $\gamma_C = I_C/I_A$, 其中 I_A, I_B, I_C 分别为 A,B,C 端的光强度。

3 结果及分析

分别计算了在 4 种波长 ($\lambda = 1.125 \mu\text{m}, 1 \mu\text{m}, 0.9 \mu\text{m}$ 和 $0.85 \mu\text{m}$) 下光子晶体波导耦合器中的分光比,通过改变光子晶体波导耦合器的耦合长度 L ,使其从 $4a \sim 26a$, 间隔取 $2a$ 。介质柱折射率为 $n = 3.5031$,空气折射率为 1。

图 3 为入射波长 $\lambda = 1.125 \mu\text{m}$ 时的计算结果。从图 3 中可以看出,当耦合长度 $L = 6a$ 和 $14a$ 时, B 和 C 端的出射光强之比都近似为 1:3,因此这种耦

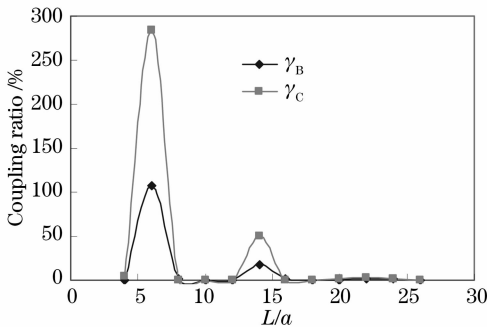


图3 B 和 C 端口的分光比

Fig.3 Coupling ratio of port B and C

合器可以实现光从下通道向上通道中两个端口的双向耦合,用以实现特殊的用途。图 4 所示为 $L = 6a$ 时的传播场图。

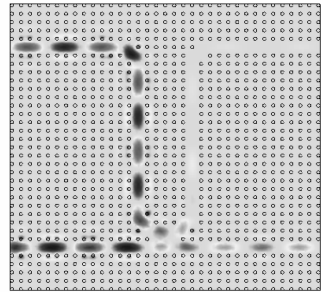


图4 电场强度 E 矢量的分布

Fig.4 Distribution of electric field vector E

当入射波长 $\lambda = 1 \mu\text{m}$ 时,从图 5 中可以看出,当耦合长度 $L = 4a, 14a$ 和 $24a$ 时,B 和 C 端口出射的光极少,光主要从 A 端口出射,相当于单一直线型光子晶体波导。图 6 所示为 $L = 14a$ 时的传播场图。

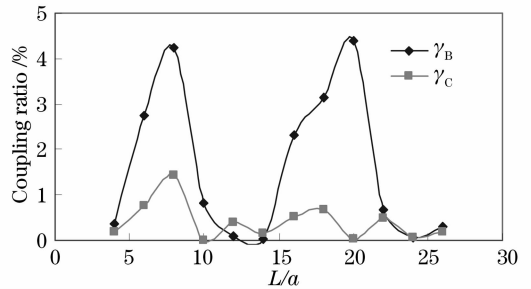


图5 B 和 C 端口的分光比

Fig.5 Coupling ratio of port B and C

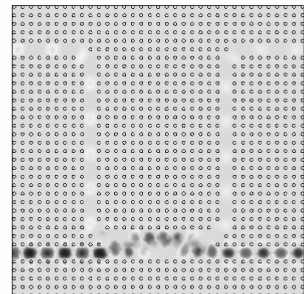


图6 电场强度 E 矢量的分布

Fig.6 Distribution of electric field E

图 7 和图 8 分别为入射波长 $\lambda = 0.9 \mu\text{m}$ 和 $0.85 \mu\text{m}$ 时的结果,可以看出,通过改变耦合长度,可以控制各端口的分光比,以满足对耦合器不同的需要。

分别在 3 种固定的耦合长度 (即 $L = 10a, 18a$ 和 $20a$) 下改变入射波长,计算各端口的分光比。

图 9 和图 11 所示为耦合长度 $L = 20a$ 和 $18a$ 时的结果,可以看出,连续改变入射波长,各端口的分

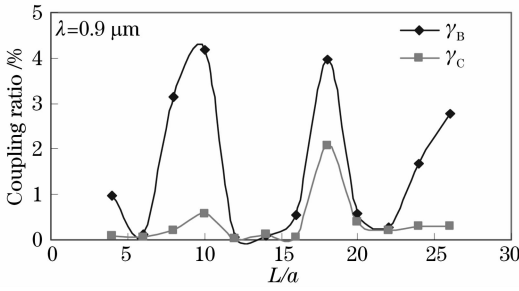


图 7 B 和 C 端口的分光比

Fig. 7 Coupling ratio of port B and C

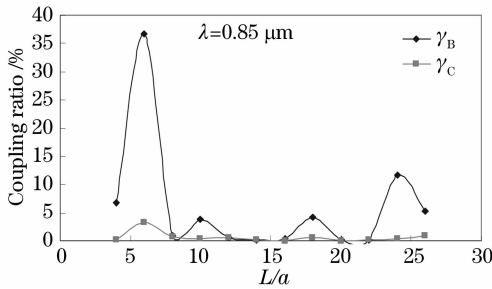


图 8 B 和 C 端口的分光比

Fig. 8 Coupling ratio of port B and C

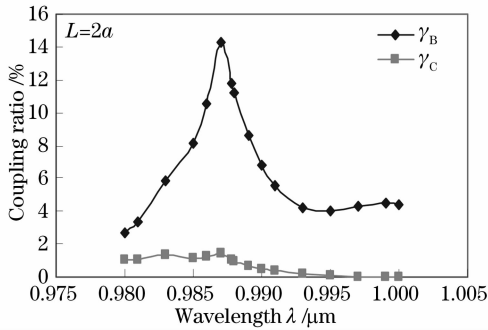


图 9 B 和 C 端口的分光比

Fig. 9 Coupling ratio of port B and C

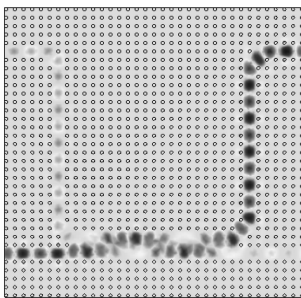


图 10 电场强度 E 矢量的分布

Fig. 10 Distribution of electric field vector E

光比也在连续改变,当入射波长分别为 $0.987\mu\text{m}$ ($L=20a$)和 $0.986\mu\text{m}$ ($L=18a$)时, B 端的光强远远大于 A 端和 C 端,从而实现了光波从下通道完全正向耦合到上通道。图 10 为 $L=20a, \lambda=0.987\mu\text{m}$

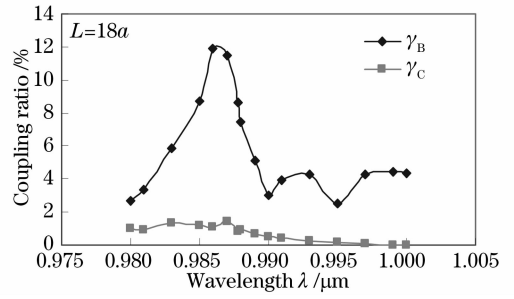


图 11 B 和 C 端口的分光比

Fig. 11 Coupling ratio of port B and C

时的传播场图。

从图 12 中可以看出,在耦合长度为 $L=10a$,入射波长为 $0.963\mu\text{m}$ 时, γ_B 近似为 1:1,从而实现了光的分岔,图 13 所示为 $L=10a, \lambda=0.963\mu\text{m}$ 时的传播场图。

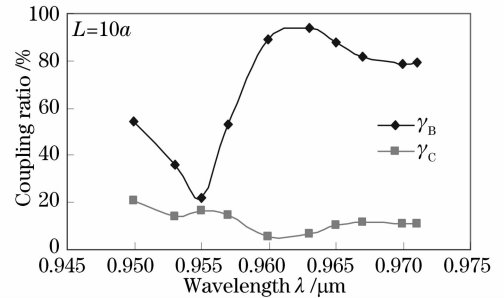


图 12 B 和 C 端口的分光比

Fig. 12 Coupling ratio of port B and C

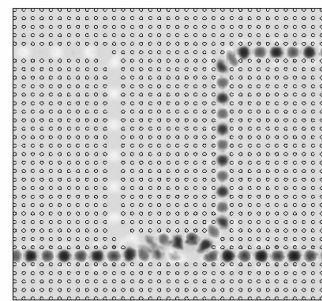


图 13 电场强度 E 矢量的分布

Fig. 13 Distribution of electric field E

将光子晶体波导耦合器的耦合长度固定为 $L=10a$,入射波长 $\lambda=0.963\mu\text{m}$,选取实际中常用的一些材料的折射率作为介质柱的折射率,如表 1 所示。

表 1 几种介质的折射率

Table 1 Refractive index of media

Medium	Refractive index	Medium	Refractive index	Medium	Refractive index
Se	2.292	SiC	3.1145	GaAs	3.5031
Cr ₂ O ₃	2.705	I	3.34	Ge	4.0373
ZnO	2.881	Si	3.4785	InSb	4.2071

对于不同的介质柱,通过改变入射波长,得到了分光比 γ_B 为 1 时对应的最佳波长,如图 14 所示。例如,对于碘晶体构成的介质柱,对应的光子晶体波导耦合器的入射波长应选择为 $0.964 \mu\text{m}$ 。

图 15 所示为分光比 $\gamma_C=1$,此时光波从 A 和 C 两端口出射,实现了光波从下通道到上通道的反向耦合。

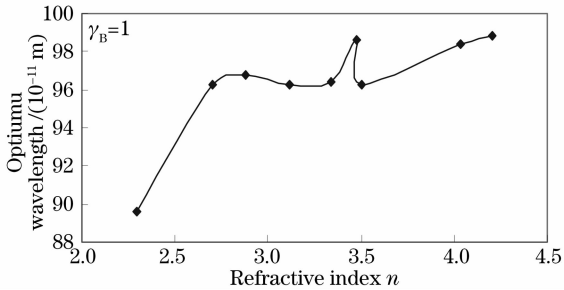


图 14 不同的折射率对应的最佳波长

Fig. 14 Optimum wavelength versus refractive index

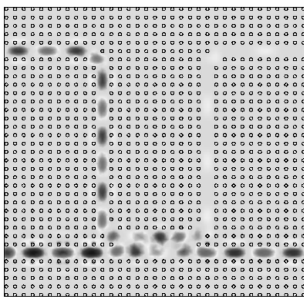


图 15 电场强度 E 矢量的分布

Fig. 15 Distribution of electric field vector E

4 结 论

影响光子晶体波导耦合器传输特性的因素很多,如耦合器的耦合长度、入射光波长、介质柱的折射率等。通过改变这些参数可以得到不同的分光比,以达到光信息传输和处理中光平移、反向和分岔的目的。

参 考 文 献

- 1 A. Mekis, J. C. Chen, I. Kurland *et al.*. High transmission through sharp bends in photonic crystal waveguides[J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1996, **77**(18): 3787~3790
- 2 R. D. Meade, A. Devenyi, J. D. Jpanopoulos *et al.*. Novel applications of photonic band gap materials: Low-loss bends and high Q cavities[J]. *J. Appl. Phys.*, 1994, **75**(9): 4753~4755
- 3 E. H. Khoo, T. H. Cheng, A. Q. Liu. Transmitting light efficiently on photonic crystal surface waveguide bend[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2007, **91**(17): 171109-1~171109-3
- 4 E. Miyai, M. Okano, M. Mochizuki *et al.*. Analysis of coupling between two-dimensional photonic crystal waveguide and external waveguide[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2002, **81**(20): 3729~3731
- 5 F. S. S. Chien, J. B. Tu, W. F. Hsieh *et al.*. Tight-binding theory for coupled photonic crystal waveguides[J]. *Phys. Rev. B*, 2007, **75**(12): 125113-1~125113-8
- 6 Yidong Huang, Xiaoyu Mao, Chao Zhang *et al.*. Photonic crystal waveguides and their applications invited paper[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2008, **6**(10): 704~708
- 7 Hu Jie, Chen Heming. Loss characteristics of photonic crystal fiber as terahertz waveguide [J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(4): 567~572

胡 婕,陈鹤鸣. 光子晶体太赫兹波导的损耗特性[J]. 中国激光, 2008, **35**(4): 567~572