

文章编号 1004-924X(2010)12-2549-08

二维硅薄膜光子晶体波导的设计及制作

崔乃迪^{1,2}, 梁静秋¹, 梁中翥¹, 周建伟^{1,2}, 宁永强¹, 王维彪¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 应用光学国家重点实验室, 吉林 长春 130033;
2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要: 为了制作可用于通信波段的二维硅光子晶体波导, 研究了光子晶体波导的设计方法及制作工艺。应用平面波展开法计算了两种空气孔型光子晶体结构的 TE 波禁带, 经筛选采用了三角晶格空气孔结构。同样利用平面波展开法计算了引入缺陷后二维三角晶格空气孔型光子晶体波导结构的 TE 波禁带, 经对比发现归一化频率为 0.295 7 的缺陷态最适宜用来制备光子晶体波导, 并据此设计了用于 1.55 μm 波长的二维三角晶格空气孔型光子晶体波导, 其晶格周期为 458 nm, 空气孔直径为 339 nm。对设计的结构参数进行了容差计算, 结果表明误差在 -3.95~5.65 nm 方能满足设计要求。最后使用聚焦离子束刻蚀工艺, 制作了所设计的波导结构, 并进行了测试。测试结果表明, 样品实际晶格周期为 463 nm, 空气孔直径为 344 nm, 比设计值大 5 nm, 在容差允许范围内, 满足设计要求。

关键词: 光子晶体; 二维光子晶体波导; 三角晶格空气孔; 聚焦离子束刻蚀

中图分类号: 0734; TN252 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20101812.2549

Design and fabrication of two-dimensional photonic crystal waveguides on silicon films

CUI Nai-di^{1,2}, LIANG Jing-qiu¹, LIANG Zhong-zhu¹,
ZHOU Jian-wei^{1,2}, NING Yong-qiang¹, WANG Wei-biao¹

(1. *State Key Laboratory of Applied Optics, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*
2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

Abstract: In order to fabricate two-dimensional photonic crystal waveguides on silicon films, the design method and fabrication techniques were investigated. Firstly, the TE bands of the two-dimensional square lattice and triangular lattice air hole structures were calculated by using the plane wave expansion method, and the two-dimensional triangular lattice air hole structure was chosen. Then, by adding a line defect, the photonic band gaps of the two-dimensional triangular lattice were calculated also by using the plane wave expansion method. The reasonable photonic band gap whose normalized frequency was 0.295 7 was chosen, and the structure parameters of two dimensional photonic crystal waveguides used in the 1.55 μm were designed as the period of the lattice in 458 nm and the diameter of the air hole in 339 nm. Furthermore, the tolerances of structure parameters were calculated as

收稿日期: 2010-03-17; 修订日期: 2010-04-05.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 60877031)

—3.95—5.65 nm. Finally, the photonic crystal waveguides were fabricated by using the focused ion beam etching. The testing shows that the period of the lattice is 463 nm, and the diameter of the hole is 344 nm, which are 5 nm larger than the design values, but still in the tolerance range.

Key words: photonic crystal; two-dimensional photonic crystal waveguide; triangular lattice air hole; focused ion beam etching

1 引言

1987年, E. Yablonovich 和 S. John 分别提出光子晶体概念^[1-2]。光子晶体是由具有不同介电常数的物质, 在空间周期性排列而形成的人工微结构, 当电磁波通过光子晶体时, 光子晶体中周期性排布的介电常数会对电磁波进行调制, 从而产生光子能带, 能带之间可能存在禁带, 与之相应频率的电磁波在禁带内则无法传播。在二维方向上具有介电常数周期排列的光子晶体被称为二维光子晶体, 相对于一维和三维光子晶体, 它具有制作简易, 应用广泛的优点, 是当前光子晶体器件制作研究的重点方向。

二维光子晶体可以广泛应用于制作光子晶体偏振器件、光子晶体微波天线、光子晶体棱镜、光子晶体滤波器件、光子晶体波导等光学器件^[3-7]。其中二维光子晶体波导可以应用于光电芯片、生物芯片及未来大规模光电集成, 具有重要的应用意义, 而用于通信波段(这里指 1.55 μm 波段)的二维光子晶体波导的设计制作是当前光子晶体器件研究领域中的热点方向。

目前光子晶体及光子晶体波导理论及设计的研究已趋于完善, 实验制备上, 通信波段硅材料二维光子晶体波导制作较为困难, 仍然主要采用干法刻蚀工艺, 国际上光子晶体波导的研究开展较早, 部分科研组织已经制作出光子晶体波导器件, 并进行了简单测试, 但工艺尚不成熟, 其商用化非常困难^[8-10]。在国内, 中国科学院、复旦大学、南京大学、北京大学等是开展光子晶体领域研究较早的单位, 但大部分工作仍集中于光子晶体波导的设计、能带计算等基础理论研究, 只有相当少数的科研单位进行了光子晶体波导的实验制备。而在样品测试方面, 由于通信波段光子晶体波导通

光孔径尺度为几百个纳米, 光学特性及通光效率测试难度很大, 使得涉及光子晶体波导测试的研究更为稀少。中科院物理所韩守振等人利用 FIB 工艺在 SOI 上制作了用于通信波段的 W3 型光子晶体波导, 并进行了简单测试^[11], 对国内光子晶体波导的理论设计及制备测试研究进行了有益的探索。

本文基于对二维光子晶体波导的理论研究, 设计了一种可用于通信波段的二维硅光子晶体波导, 使用聚焦离子刻蚀工艺制作了所设计的波导结构, 并进行了测试。结果表明, 样品误差在容差范围内, 满足设计要求。

2 二维光子晶体波导的设计

在光子晶体波导的制作过程中, 前期设计是非常重要的第一步, 这里作者自行设计了一种可用于 1.55 μm 波段的二维光子晶体波导。

二维光子晶体波导结构类型主要有空气孔型和介质柱型两种, 晶格结构主要有三角晶格和正方结构两种。这里定义填充率 $f = D/a$, 其中 D 为空气孔直径, a 为晶格周期; 归一化频率 $F = \omega a / 2\pi c = a/\lambda$, λ 为电磁波波长。

在结构选择上, 有如下 3 个因素要考虑:

(1) 选择禁带宽度大的结构。禁带宽度相对较大的结构更方便引入缺陷;

(2) 选择禁带归一化频率高的结构。通信波段光子晶体波导周期尺度多为几百个纳米, 器件制作较为困难, 而由归一化频率 $F = \omega a / 2\pi c = a/\lambda$, 可知 F 与 a 成正比, 即在相同的目标波长下, 归一化频率大的, 所要刻蚀的晶格周期尺寸相对较大, 实验制备更为简易;

(3) 晶格结构的填充率要控制在合理范围。

填充率 $f=D/a$, 可知 D 与 f 成正比, 即若填充率太小, 则所需刻蚀空气孔的直径相应减小, 会增加刻蚀难度。同时, 若填充率过大, 则需要刻蚀的相邻空气孔孔壁厚度相应减小, 也会增加刻蚀难度, 甚至造成刻蚀失败。在实际光子晶体波导器件制作方面, 填充率在 $0.25 \sim 0.8$ 较为合理。

在光子晶体器件的设计过程中, 寻找具有合适光子禁带的结构至关重要。这里利用平面波展开法(Plane Wave Expansion, PWE)计算光子晶体的电磁禁带。

在实际光电应用中, TE 波应用较 TM 波更为广泛, 故这里主要设计了可用于通信波段的 TE 波子晶体波导, 也只讨论 TE 波禁带, 并不涉及 TM 波禁带。

在无源、非磁性无损耗的线性谐变系统中, 麦克斯韦方程组可写为:

$$\begin{cases} \nabla \times H(r) = j\omega\epsilon_0\epsilon(r)E(r) \\ \nabla \times E(r) = -j\omega\mu_0 H(r) \\ \nabla \cdot H(r) = 0 \\ \nabla \cdot \epsilon(r)E(r) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

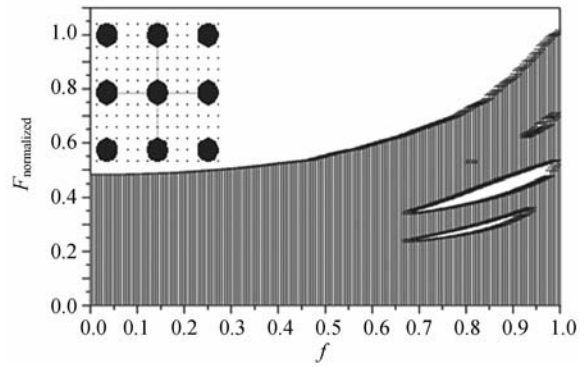
求场矢量 H 及 E 的旋度, 并将周期性介电常数 ϵ 和电磁场矢量在倒格矢空间做傅里叶展开, 对于 TE 波, 可以得到关于 $A(k, G')$ 的方程:

$$\sum_G (k + G) \cdot (k + G') \epsilon^{-1}(G - G') A(k, G') = \frac{\omega^2}{c^2} A(k, G'),$$

其中 G 是 r 的倒格矢, k 为波矢。这样就将能带问题转化为求解对称矩阵本征值和本征方程问题^[11-14], 求解该方程组即可计算出二维光子晶体的 TE 波禁带。

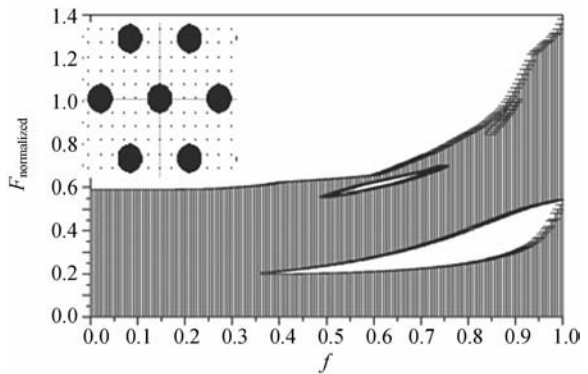
考虑到在试验制备过程中, 利用干法刻蚀工艺刻蚀空气孔比刻蚀介质柱更为方便准确, 这里排除了介质柱结构, 只考虑三角晶格空气孔结构及正方晶格空气孔结构。

图 1(a) 和 (b) 分别为应用平面波展开法计算的正方晶格空气孔光子晶体和三角晶格空气孔光子晶体结构的 TE 波禁带示意图。对于正方晶格空气孔结构, 填充率在 $0.675 \sim 0.990$ 时, 归一化频率在 $0.340 \sim 0.535$ 有一较大的光子禁带。对



(a) 二维正方晶格空气孔光子晶体结构 TE 波禁带示意图

(a) TE bands of two-dimensional photonic crystal with square lattice air holes



(b) 二维三角晶格空气孔光子晶体结构 TE 波禁带示意图

(b) TE bands of two-dimensional photonic crystal with triangular lattice air holes

图 1 二维空气孔结构光子晶体 TE 波禁带示意图

Fig. 1 TE bands of two-dimensional photonic crystals with air holes

于三角晶格空气孔结构, 填充率在 $0.370 \sim 0.995$ 时, 归一化频率在 $0.200 \sim 0.55$ 有一较大的光子禁带。可见, 相对于正方晶格空气孔结构, 三角晶格空气孔结构在合理填充率(这里指 $0.25 \sim 0.8$) 以内, TE 波禁带更大, 且归一化频率更高, 故采用三角晶格空气孔结构制作二维光子晶体波导更为合理。对以三角晶格空气孔结构, 综合考虑禁带宽度及图形尺寸在制作过程中的难度, 选择填充率为 0.74 , 这时三角晶格空气孔结构的 TE 波禁带图如图 2 所示。可以看到, 该结构归一化频率在 $0.234 \sim 0.361$ 有 TE 波禁带。

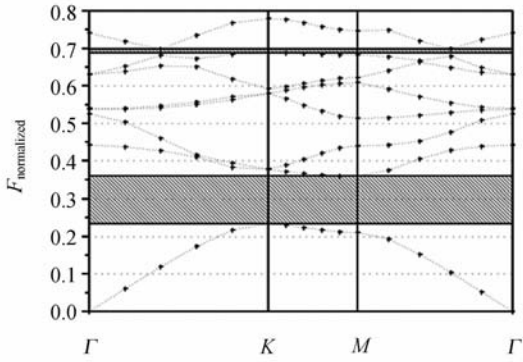


图 2 $f=0.74$ 时三角晶格空气孔结构光子晶体 TE 波禁带示意图

Fig. 2 TE bands of two-dimensional photonic crystal with triangular lattice air holes when $f=0.74$

在三角晶格空气孔结构引入线缺陷,得到光子晶体波导结构。图 3 为引入线缺陷后该结构波导 TE 波禁带示意图,图中示出在归一化频率 $0.234 \sim 0.361$ 时,该结构波导 3 条缺陷态的归一化频率为 0.2670 、 0.2957 和 0.3370 ,分别标记为缺陷态 1、缺陷态 2 和缺陷态 3。其他缺陷态归一化频率并不在 $0.234 \sim 0.361$ 内,均为赝带隙。在这 3 条缺陷态中,缺陷态 2 相对于缺陷态 1 有更高的归一化频率,所需刻蚀的尺寸要相对大些,在达到相同的目标波长的情况下,所需刻蚀孔径更大,降低了实验制备难度,同时相对于缺陷态 3,缺陷态 2 更靠近于禁带中心位置,故选择归一化频率为 0.2957 的缺陷态 2 更为合理。

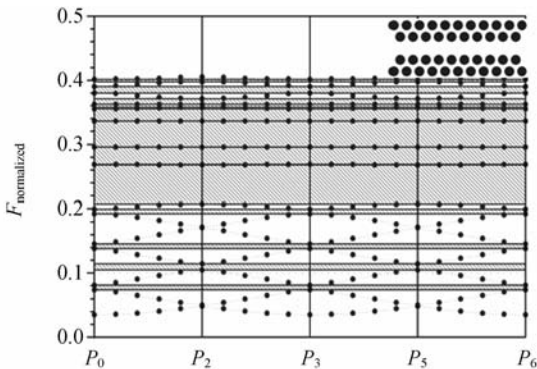


图 3 $f=0.74$ 时引入线缺陷后三角晶格空气孔光子晶体结构 TE 波禁带示意图

Fig. 3 TE bands of two-dimensional photonic crystal with triangular lattice air holes when it is added line defect in $f=0.74$

通过简单计算可得到二维光子晶体波导的最终结构参数:由归一化频率 $F = \omega a / 2\pi c = a / \lambda$,得 $a = F \cdot \lambda = 458 \text{ nm}$;由填充率 $f = D/a$,得 $d = 339 \text{ nm}$;刻蚀深度选为 200 nm 。考虑到刻蚀工作量,选择 24×25 的三角晶格空气孔阵列。 24×25 的周期阵列已经完全可以代表光子晶体结构的周期性,不会对光子晶体波导的光学特性产生影响^[15]。

3 实验制备

根据上述设计,制备了 $1.55 \mu\text{m}$ 硅薄膜 24×25 三角晶格阵列空气孔型二维光子晶体波导,参数为:晶格周期 $a = 458 \text{ nm}$,填充率 $f = 0.74$,空气孔直径 $D = 339 \text{ nm}$,深度为 200 nm 。由于三角晶格空气孔阵列为 24×25 ,故最后制作的波导尺寸仅为 $11.5 \mu\text{m}$ 。由于尺寸过小为进一步的实验测试带来极大的不便,同时也为了方便电磁波耦合,本文在光子晶体波导的两端设计了脊型波导,其中 $B = 2 \mu\text{m}$, $L = 800 \mu\text{m}$,刻蚀深度同样为 200 nm ,如图 4 所示。

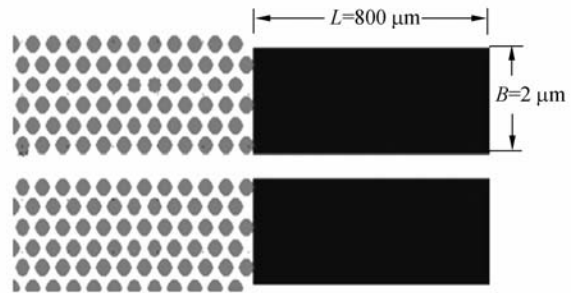


图 4 脊型波导和二维光子晶体波导相接示意图

Fig. 4 Connection between rib waveguides and two-dimensional photonic crystal waveguides

通常二维光子晶体波导的制作主要采用感应耦合等离子刻蚀、电子回旋加速等离子刻蚀、反应离子刻蚀^[16]等技术,这些刻蚀技术工艺较为成熟,也完全可以达到二维光子晶体波导所需精度,但制作过程中需要制作昂贵的纳米级掩模板,光刻过程中所需的 248 nm 光刻技术或电子束曝光技术也十分昂贵,而且需要曝光、显影、制作光刻胶掩模层等复杂的工艺流程。同时这些流程中,图形从光刻板到光刻胶掩模层,再到波导材料的多次复制也会造成图形精度降低,这些都极大地限制了光子晶体波导的制作及研究。而聚焦离子

束刻蚀(Focused Ion Beam Etching, FIB)是一种直写干法刻蚀工艺,其刻蚀过程是用高度汇聚的离子束轰击样品表面,从而留下凹凸图形,刻蚀精度高。与其他干法刻蚀工艺相比,该工艺不需要曝光,不必制作昂贵的掩模板,工艺流程简单,制作成本相对较低,且不受材料限制^[7],可在几个小时内完成光子晶体波导的刻蚀,非常适于本二维光子晶体波导器件的制作。

利用美国 FEI 公司的 DB235 型聚焦离子束刻蚀设备制备了所设计的二维光子晶体波导结构。经多次实验,发现以 Ga^+ 为刻蚀离子,在 30 kV 加速电压,100 pA 的离子发射电流的条件下,制作本结构最为适宜。另外考虑到聚焦离子束刻蚀尺寸有效位数为 10 nm,晶格周期 a 近似取 460 nm,空气孔直径近似取 340 nm,对最后的通光效率及波导光学特性的影响见 4.2 节参数容差讨论。

4 样品测试

4.1 形貌测试

最终的刻蚀结果如图 5 所示,可见,脊型波导与所刻蚀的光子晶体波导连接紧密,脊型波导与光子晶体波导的通光通道在同一直线上,没有出现错位现象。另外刻蚀的空气孔直径一致,形状较圆,没有出现方形或六边形结构,晶格排列整齐,分布均匀。

如图 7,刻蚀的晶格周期为 463 nm,空气孔直径为 344 nm,分别比设计的周期 458 nm,直径 339 nm 大 5 nm。在脊型波导的制作过程中出现了误差,如图 6 所示,可以看到脊型波导的通光通道出现变形,传输损耗会有所增加。

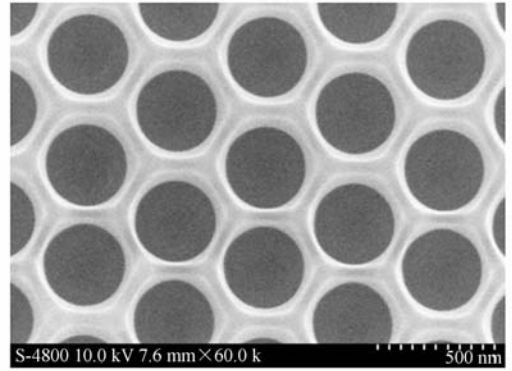


图 5 FIB 刻蚀的二维三角晶格空气孔光子晶体波导 SEM 图

Fig. 5 SEM of two-dimensional photonic crystal waveguides with triangular lattice air holes

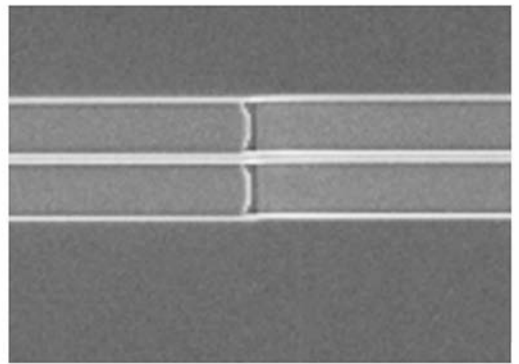


图 6 脊型波导 SEM 图

Fig. 6 Connection of rib waveguides

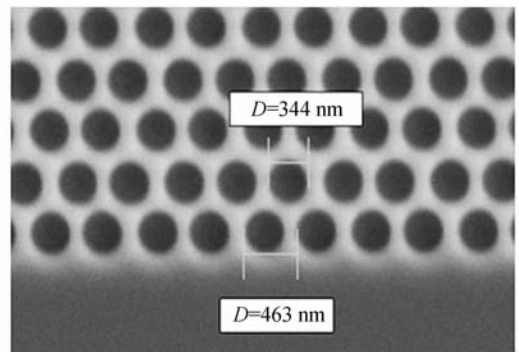
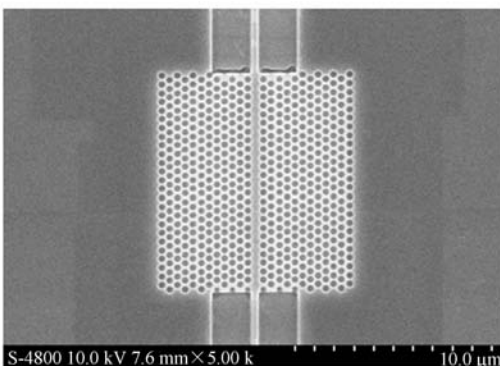


图 7 FIB 刻蚀的空气孔 SEM 放大图

Fig. 7 SEM of air holes fabricated by FIB

4.2 二维光子晶体波导参数的容差计算

设计的波导波长为 $1.55 \mu\text{m}$,这里规定 $1.55 \times (1 \pm 0.01) \mu\text{m}$,即误差允许范围为 $1.534 5 \sim 1.565 5 \mu\text{m}$ 。实际样品制作过程中,直径和周期



同时比设计值大 5 nm。故这里仅讨论二者同时出现误差,且误差值相同的情况。设直径和周期误差同为 Δx 。

周期和直径的制作误差会引起填充率的变化,进而导致中心波长发生偏差。图 8 为填充率在 0.65~0.85 时,归一化频率随填充率的变化曲线。如图所示,填充率在该范围内,归一化频率 F 随填充率 f 单调递增,则波长 λ 随填充率 f 单调递减。经曲线拟合,得到变化方程为:

$$F = \frac{a + \Delta x}{\lambda} = 0.2508f^3 - 0.523f^2 + 0.4197f + 0.1702$$

其中填充率 $f = \frac{D + \Delta x}{a + \Delta x}$ 。

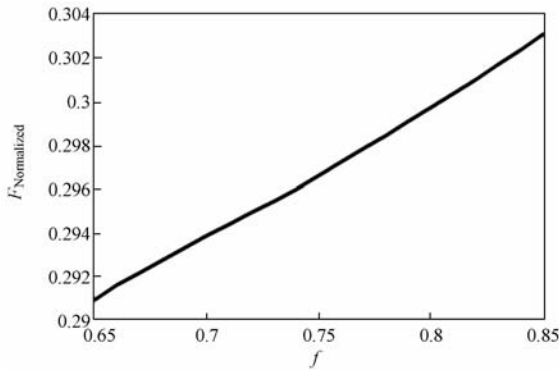


图 8 归一化频率 F 和填充率 f 的关系

Fig. 8 Relation between normalized frequency F and filling rate f

可得出出现 Δx 误差后波长 λ 与误差 Δx 的关系式:

$$\lambda = \frac{a + \Delta x}{0.2508 \left(\frac{D + \Delta x}{a + \Delta x} \right)^3 - 0.523 \left(\frac{D + \Delta x}{a + \Delta x} \right)^2 + 0.4197 \left(\frac{D + \Delta x}{a + \Delta x} \right) + 0.1702}$$

其函数关系经计算由图 9 表示。

求解该方程可知,若要限制波长在 1.5345~1.5655 μm ,误差应控制在 -3.95~5.65 nm,故样品 5 nm 的误差符合设计指标。对所制备的二维三角晶格空气孔型光子晶体波导的通光学特性、模式特性研究及通光效率等后续测试正在进行。

参考文献:

[1] YABLONOVITCH E, BHAT R, HARBISON J P, et al.. Inhibited spontaneous emission in solid state physics and electronics [J]. *Phys. Rev. Lett.*,

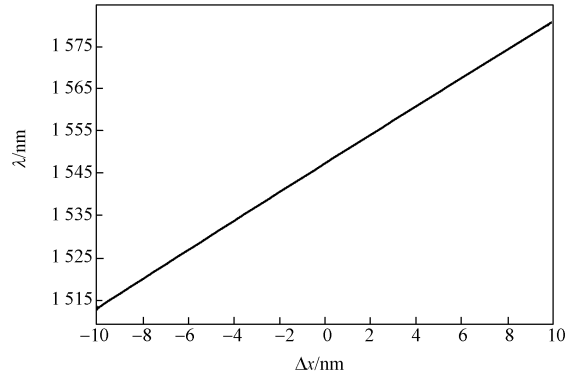


图 9 中心波长 λ 与误差 Δx 的关系

Fig. 9 Relation between central wavelength λ and error Δx

5 结论

本文对几种常用的二维光子晶体波导结构进行了筛选,计算了正方晶格空气孔结构和三角晶格空气孔结构 TE 波禁带,最终设计了填充率晶格周期 $a = 458 \text{ nm}$, $f = 0.74$ 的三角晶格空气孔结构,并通过引入线缺陷最终设计了可以在 1.55 μm 导通的二维三角晶格空气孔型光子晶体波导。为了方便光的耦合,设计了脊型波导与光子晶体波导连接。应用聚焦离子束刻蚀在硅材料上制作了所设计的波导结构,并对所做结构参数做了容差计算。测试结果表明,样品制作精度高,半径均匀,晶格分布整齐,误差在容差范围内,满足设计要求。

6 致谢

衷心感谢中国科学院物理研究所罗强博士在器件制作和测试中对作者的帮助。

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] 桑新柱,余重秀,王葵如,等. 高非线性光子晶体

- 光纤中布拉格光栅的制作[J]. 光学精密工程, 2005,13(6):633-636.
- SHANG X Z, YU C X, WANG K R, *et al.*. Fabrication of Bragg grating in a highly nonlinear photonic crystal fiber[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2005, 13(6):633-636. (in Chinese)
- [4] CHEN Y B, CAI X B, ZHU Y Y, *et al.*. Second harmonic generation in tow dimensional mental photonic band gap materials [J]. *Appl. Phys.*, 2002,92 (6):2969-2937.
- [5] 赵勇, 赵华伟, 张馨元, 等. 慢光产生的新机理及其应用[J]. 光学精密工程, 2009,17(2): 237-245. ZHAO Y, ZHAO W H, ZHANG X Y, *et al.*. Research on some new mechanisms of slow light and its applications[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009,17 (2):237-245. (in Chinese)
- [6] DOWLING J P, SCALORA M, MICHAEL, *et al.*. The photonic band edge laser: a new approach to gain enhancement [J]. *Appl. Phys.*, 1994,75 (4):1896-1899.
- [7] 吴斌, 王庆康. 带反射回馈的高效光子晶体多路滤波器件[J]. 光学精密工程, 2007,15(8): 1208-1214. WU B, WANG Q K. Highly efficient photonic crystal-based multichannel drop filters with reflection feedback[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007,15 (8):1208-1214. (in Chinese)
- [8] SUGISAKA J, YAMAMOTO N, OKANO M. Development of curved two-dimensional photonic crystal waveguides[J]. *Optics Communications*, 2008, (281):5788-5792.
- [9] HUEBNER U, BOUCHER R, MORGENROTH W, *et al.*. Fabrication of photonic crystal structures in polymer waveguide material[J]. *Microelectronic Engineering.*, 2006(83):1138-1141.
- [10] DANAIE M, ATTARI A R, MIRSALEHI M M, *et al.*. Design of a high efficiency wide-band 60° bend for TE polarization[J]. *Photonics and Nanostructures- Fundamentals and Applications*, 2008 (6):188-193.
- [11] 韩守振, 田结, 冯帅. 二维平板光子晶体直波导的制备和光传输特性的测量[J]. 物理学报, 2005, 54(12):5659-5662. HAN S Z, TIAN J, FENG S. Fabrication of straight waveguide in two-dimensional photonic crystal slab and its light propagation characteristics [J]. *Acta Physica Sinica*, 2005, 54 (12): 5659-5662. (in Chinese)
- [12] LIDROIKIS E, SIGALAS M M, SOUKOULIS C M, *et al.*. Tight-Binding parameterization for photonic band gap materials [J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1998,81(7):1405-1408.
- [13] LEUNG K M, LIU Y F. Full vector wave calculation of photonic band structures in face-centered-cubic 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 planewave basis [J]. *Optics Express*, 2001,8(3):173-190.
- [15] JOHN D J, STEVEN G J, JOSHUA N W, *et al.*. *Photonic Crystal Molding the Follow of Light* [M]. Princeton: Princeton University Press, 2008.
- [16] 王家畴, 荣伟彬, 李昕欣, 等. 基于体硅工艺的定位平台制作工艺分析[J]. 光学精密工程, 2008(16): 4, 636-641. WANG J C, RONG W B, LI X X, *et al.*. Fabrication process analysis for nano-positioning stage based on silicon bulk micromachining [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008 (16): 4, 636-641. (in chinese)

作者简介:



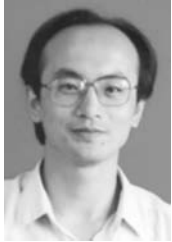
崔乃迪(1983—),男,黑龙江双鸭山人,博士研究生,主要从事 MEMS 功能器件方面的研究。E-mail:cuinaidi@163.com



梁中翥(1978—),男,四川广安人,博士,副研究员,主要从事微光机电系统与光学材料方面的研究。E-mail:lianzh@ciomp.ac.cn



周建伟(1985—),男,黑龙江齐齐哈尔人,硕士研究生,主要从事光子晶体功能器件方面的研究。E-mail: zhoujianwei108@163.com



宁永强(1965—),男,吉林人,博士,研究员,博士生导师,主要从事新型半导体激光器方面的研究。E-mail: ningyq@ciomp.ac.cn

通信作者:



王维彪(1962—),男,江苏人,博士,研究员,博士生导师,主要从事光电信息功能材料与器件方面的研究,目前的研究集中在碳基材料的光电特性、光子材料与器件方面。E-mail: wangwbt@126.com

导师简介:



梁静秋(1962—),女,吉林长春人,博士,研究员,博士生导师,主要从事微光机电系统及微结构光学研究。E-mail: liangjq@ciomp.ac.cn

● 下期预告

低电压下静电力驱动的数字微流控芯片

刘翔^{1,2}, 皋华敏¹, 李铁¹, 周萍¹, 王跃林¹

- (1. 中国科学院上海微系统与信息技术研究所 传感技术联合国家重点实验室, 上海 200050;
2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

为了构建芯片实验室,设计并制作了一种基于静电力驱动的数字微流控芯片。介绍了驱动原理和工艺流程,搭建了驱动检测实验平台。该芯片采用硅作衬底,氧化硅作绝缘层,TiW/Au为驱动电极阵列,高质量氮化硅作介质层,碳氟聚合物为疏水层。采用开放式的结构,只需单层共平面控制电极,简化了工艺流程;优化了器件结构,驱动电极阵列嵌入在氧化硅中,改善了减小介质层厚度时介质层对金属的台阶覆盖性,减少了电极边沿突起引起的边界击穿。采用较薄的高质量介质层和疏水性能好的疏水膜层,大大降低了液滴驱动电压。实验表明,在20 V驱动电压下,即可实现液滴按程序设定方式在二维平面内流畅运动,最大运动速度达96 mm/s。芯片制作工艺简单,与IC工艺兼容,装配容易,可应用于生化分析芯片实验室系统。