

0.2 THz 频段的光子晶体微带天线研究

丰春芳¹, 许丽萍¹, 温廷敦¹, 王志斌^{1,2,3}

(1. 中北大学理学院物理系, 山西 太原 030051; 2. 中北大学 电子测试国家重点实验室, 山西 太原 030051;

3. 中北大学 山西省光电信息与仪器工程技术研究中心, 山西 太原 030051)

摘要:将缺陷型一维光子晶体应用在微带天线上,设计了一款工作在0.2 THz频段处的光子晶体微带天线,并且利用基于有限元法的三维电磁仿真软件HFSS以及软件Origin进行模拟仿真及作图。研究表明:光子晶体微带天线的增益可以达到9.3 dB,与普通微带天线相比增益增加了2.5 dB。并且讨论了光子晶体的周期层数对微带天线的增益和回波损耗的影响,发现光子晶体周期层数为3层时,天线的回波损耗最低。然后以周期层数为3层的光子晶体微带天线为例,讨论了不同的光子晶体与微带天线的距离对天线的增益和回波损耗的影响。

关键词:太赫兹;光子晶体;有限元法;微带天线

中图分类号:TN82 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2015.01.016

Study on photonic crystal microstrip antenna at 0.2 terahertz frequency

FENG Chun-fang¹, XU Li-ping¹, WEN Ting-dun¹, WANG Zhi-bin^{1,2,3}

(1. Department of Physics, North University of China, Taiyuan 030051, China;

2. Notional Key Laboratory for Electronic Measurement Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China;

3. Engineering Technology Research Center of Shanxi Province for Opto-electronic Information and Instrument, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: One-dimensional photonic crystals with insertion of defect are applied to the microstrip antenna. The photonic crystal microstrip antenna is designed at 0.2 THz frequency, and the three-dimensional electromagnetic simulation software HFSS based on finite element method and software Origin are used to simulate and draw. The study results show that the gain of the photonic crystal microstrip antenna can reach 9.3 dB, which is increased by 2.5 dB compared with the gain of normal microstrip antenna. The effect of different cycles of photonic crystal on the proposed microstrip antenna is discussed. When the cycle is three, the return loss of the antenna is lowest. Taking the three cycle of photonic crystal microstrip antenna as an example, the influence of the different distances between the photonic and the microstrip antenna on the gain and the return loss of the proposed antenna is discussed.

Key words: terahertz; photonic crystal; finite element method; microstrip antenna

1 引言

太赫兹辐射是频率在微波和红外波段之间的电磁辐射,其频段在0.1~10 THz,由于实用技术的缺乏使得太赫兹频段成为电磁波谱探索最少的区域。太赫兹波比微波高1个到4个数量级的带宽并且比光波具有更高的能量转换效率^[1],使得太赫兹波在无线通信领域的应用具有很大的优势^[2-3]。

微带天线具有低剖面、体积小、成本低、易于制

造和生产的优点。由于表面波降低了微带天线的性能,限制了它的广泛应用。为了克服这个问题,近年来人们提出了在太赫兹贴片天线的基板上加入光子晶体来改善天线的性能^[4-8]。本文主要研究了缺陷型一维光子晶体在微带天线中的应用,使微带天线位于一维光子晶体缺陷层的中央位置,设计了一款在0.2 THz频段处具有高增益的新型微带天线结构,应用HFSS对不同周期层数的光子晶体微带天

线进行模拟仿真,并利用 Origin 软件对仿真出来的数据进行作图比较,然后以周期层数为 3 的光子晶体微带天线为例,讨论了光子晶体与微带天线的距离对天线性能的影响。

2 光子晶体微带天线

2.1 微带天线的辐射贴片尺寸理论计算

对于中心频率 f_0 的矩形微带天线,可以用下面的公式^[9]计算出辐射贴片的宽度 W 以及长度 L ,即:

$$W = \frac{c}{2f_0} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$L = \frac{c}{f_0 \sqrt{\epsilon_e}} - 2\Delta L \quad (2)$$

$$\text{其中, } \epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{W} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_e + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_e - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (4)$$

式中, c 是光速; ϵ_e 是有效介电常数; ΔL 是等效辐射缝隙长度; ϵ_r 是介质的介电常数; h 是介质基板的厚度。

2.2 光子晶体微带天线结构

通过式(1)~(4)的理论计算以及 HFSS 对微带天线的优化,图 1 给出同轴馈电微带天线的图形。在图中,介质基板尺寸为 $800 \mu\text{m} \times 800 \mu\text{m}$,厚度为 $40 \mu\text{m}$,介质基板的材质为 CuClad 250GX,相对介电常数为 2.5。微带贴片的尺寸为 $443 \mu\text{m} \times 400 \mu\text{m}$,馈电方式选用的是同轴线馈电。

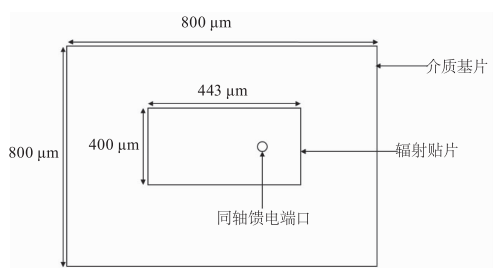


图1 同轴馈电微带天线结构图

Fig. 1 Coaxial feed microstrip antenna

本文选用的一维光子晶体结构是由介电常数为 9.8 的材料在空气中周期排列构成,周期数为 6,光子晶体介质层的尺寸为 $800 \mu\text{m} \times 800 \mu\text{m}$,厚度是 $35 \mu\text{m}$,介质层之间的距离为 $169 \mu\text{m}$ 。改变光子晶体中央位置处的空气厚度,可以使光子晶体产生缺陷,从场的分布看,缺陷的场是对称的,缺陷中心处的切向电场为零,那么在缺陷层的中央位置处放一个微带天线就不会对场产生影响^[10],并且光子晶体微带天线结构可以只考虑加入光子晶体上半部分的

结构。图 2 给出光子晶体微带天线的结构图,将图 1 设计的微带天线放在缺陷的光子晶体的中央位置处,其中介质层与微带天线的距离为 $375 \mu\text{m}$ 。

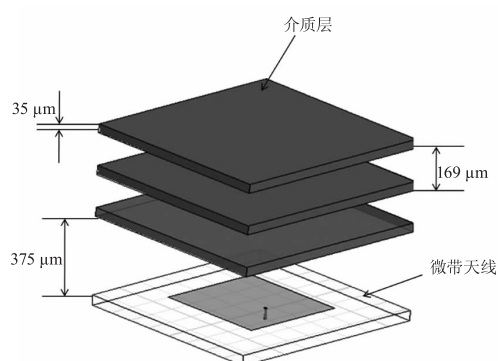
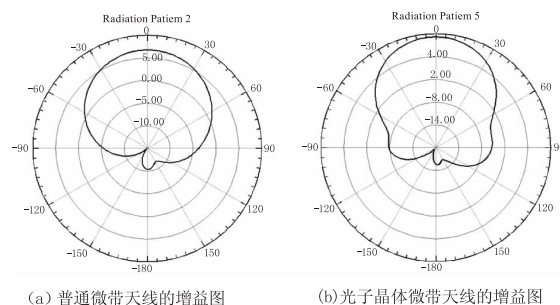


图2 光子晶体微带天线结构

Fig. 2 Photonic crystals microstrip antenna

3 光子晶体微带天线的仿真与分析

图 3(a) 是普通微带天线的增益图形,图 3(b) 是光子晶体微带天线的增益图形。通过对比可以看出,在 $\text{Freq} = 0.2 \text{ THz}$, $\text{Phi} = 0^\circ$ 处,主辐射方向为 0° ,普通微带天线的增益为 6.8 dB,光子晶体微带天线的增益为 9.3 dB,发现光子晶体微带天线比普通微带天线增益增加了 2.5 dB,说明光子晶体的引入可以增大微带天线的增益,有效地改善天线的性能。



(a) 普通微带天线的增益图

(b) 光子晶体微带天线的增益图

图3 微带天线的增益方向图

Fig. 3 The gain of the microstrip antenna

图 4 是不同的光子晶体周期层数对微带天线的影响,可以得出不同的层数对应着不同的回波损耗,层数 $N = 1, 2, 3, 4, 5$ 分别对应着的回波损耗为 -13.4 dB , -13.5 dB , -21.6 dB , -14.4 dB , -14.4 dB 。比较发现层数 $N = 3$ 时,回波损耗最小,说明在实际应用中光子晶体并不需要太多的周期层数,就可以有效地改善天线的性能。

图 5 给出光子晶体与微带天线的距离对天线性能的影响,以光子晶体与天线的距离为 $\frac{1}{8} \lambda$ 的整数倍进行讨论,其中 λ 是中心频率的波长,即 $\lambda = 1500 \mu\text{m}$ 。从图 5(a) 中可以看出当整数倍 L 分别为 1, 2, 3, 4 时,在 $\text{Freq} = 0.2 \text{ THz}$, $\text{Phi} = 0^\circ$,主辐射方向

为 0° 处分别对应着的天线的增益为8.8 dB, 8.8 dB, 9.3 dB, 9.4 dB, 发现天线的增益都接近于9 dB, 说明距离对微带天线的增益影响不大。图5(b)给出整数倍 L 分别为1, 2, 3, 4时, 分别对应着的回波损耗是-13.5 dB, -21.6 dB, -20.4 dB, -21.1 dB, 可以看出当 $L=2$ 时, 回波损耗最小。说明光子晶体与天线的距离在 $L=2$ 即距离为 $\frac{1}{4}\lambda$ 时, 天线的性能最佳, 原因是光子晶体缺陷层的厚度等于 $\frac{1}{4}\lambda$ 时, 反射波与入射波发生共振, 得到高的透射率。

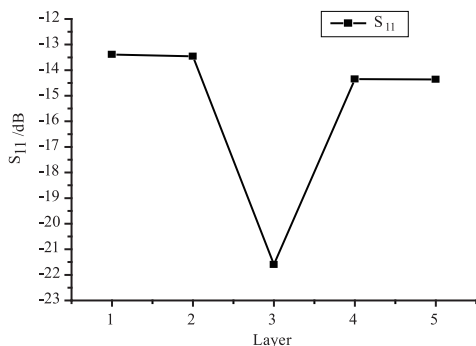


图4 光子晶体周期层数对回波损耗的影响

Fig. 4 The effect of the different cycle of photonic crystal on return loss

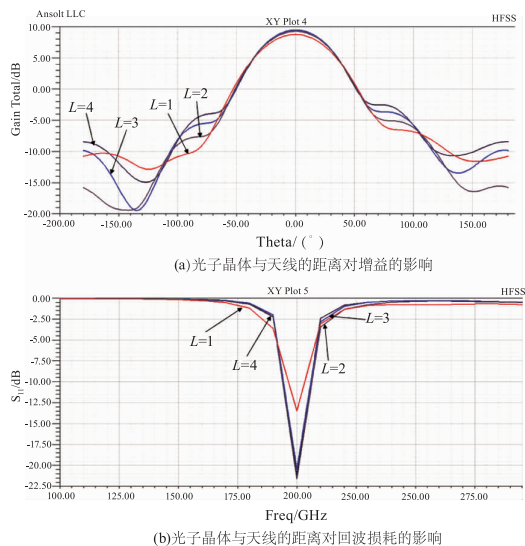


图5 光子晶体与天线的距离对天线性能的影响

Fig. 5 The effect of the different distance between photonic crystal and microstrip antenna on the performance of the proposed antenna

4 结论

研究了0.2 THz频段处光子晶体微带天线, 结果表明光子晶体结构能够有效地提高微带天线的增益, 并且发现引入的光子晶体周期层数不必太多, 只需要3层就可以有效地改善天线的性能。本文所设计的光子晶体微带天线结构简单, 性能良好, 对于太赫兹频段应用于通信系统具有一定

的指导意义, 并且对微带天线的优化与设计有一定的参考作用。

参考文献:

- [1] Yun-Shik Lee, CUI Wanzhao, LI Yun, et al. Principles of terahertz science and technology [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2012. (in Chinese)
Yun-Shik Lee, 崔万照, 李韵, 等. 太赫兹科学与技术原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012.
- [2] LI Xin, XU Hui, YU Xumin, et al. Progress of terahertz communication technology and space application outlook [J]. Space Electronic Technology, 2013, 4: 56 - 60. (in Chinese)
李欣, 徐辉, 禹旭敏, 等. 太赫兹通信技术研究进展及空间应用展望[J]. 空间电子技术, 2013, 4: 56 - 60.
- [3] SHEN Jine, RONG Jian, LIU Wenxin. Progress of terahertz in communication technology [J]. Infrared and Laser Engineering, 2006, 35 (Supplement): 342 - 347. (in Chinese)
申金娥, 荣健, 刘文鑫. 太赫兹技术在通信方面的研究进展[J]. 红外与激光工程, 2006, 35 (增刊): 342 - 347.
- [4] Kumud Ranjan Jha, G Singh. Terahertz planar antennas for future wireless communication: A technical review [J]. Infrared Physics & Technology, 2013, 60: 71 - 80.
- [5] Kumud Ranjan Jha, G Singh. Microstrip patch array antenna on photonic crystal substrate at terahertz frequency [J]. Infrared Physics & Technology, 2012, 55: 32 - 39.
- [6] G Singh. Design considerations for rectangular microstrip patch antenna on electromagnetic crystal substrate at terahertz frequency [J]. Infrared Physics & Technology, 2010, 53: 17 - 22.
- [7] GE Jun, SHEN Tinggen, YU Fengchao, et al. Study of patch antennas based on photonic crystal structure [J]. Laser & Infrared, 2008, 38 (8): 0802 - 0804. (in Chinese)
葛俊, 沈廷根, 余凤潮, 等. 光子晶体结构贴片天线的研究[J]. 激光与红外, 2008, 38 (8): 0802 - 0804.
- [8] Lechen Yang, Xueshun Shi, Kunfeng Chen, et al. Analysis of photonic crystal and multi-frequency terahertz microstrip patch antenna [J]. Physica B, 2013, 431: 11 - 14.
- [9] LIN Ruobo, LIAO Xingzhan, CHEN Xuwen. Optimizing microstrip antenna based on photonic crystal PBG structure [J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications: Natural Science Edition, 2014, 24 (4): 431 - 436. (in Chinese)
林若波, 廖兴展, 陈旭文. 基于光子晶体 PBG 结构的微带天线优化研究[J]. 重庆邮电大学学报: 自然科学版, 2014, 24 (4): 431 - 436.
- [10] FU Yunqi, YUAN Naichang, WEN Xisen. Technology of microwave photonic crystal antenna [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2006. (in Chinese)
付云起, 袁乃昌, 温熙森. 微波光子晶体天线技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.