

曲面 EBG 结构表面波带隙特性研究

刘涛, 曹祥玉, 余侃民

(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘要:研究了3种典型 EBG 结构在曲面上表面波带隙特性,利用悬置微带线法,分析了曲面 EBG 结构带隙特性与其结构参数及曲率的关系。结果表明,曲率对表面波带隙的影响不是太明显,只是带隙中心频率有稍微的下降,介电常数与介质厚度对带隙影响规律与平面上一致。这一结论对在圆柱共形天线上应用高阻表面结构有一定的指导意义。

关键词:电磁带隙;表面波带隙;曲率;圆柱共形天线

中图分类号: TN015 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2008)02-0056-04

近几年,电磁带隙结构(electromagnetic band-gap, EBG)是微波领域研究的一个热点课题,各种不同类型的电磁带隙结构相继被提出,对他们的带隙特性和工程应用的研究也被深入而广泛的展开^[1-2]。工程应用方面的研究表明,EBG 结构用于微波器件和天线后,可明显改善它们的性能^[1,3-8]。与此同时,在天线研究领域,圆柱共形微带天线由于其低剖面,易于共形,重量轻等很多特性而在航空航天以及移动通信等众多领域得到了广泛应用^[9-10]。但到目前为止,对电磁带隙结构特性和天线应用的研究都集中于平面结构上,而对在曲面上 EBG 结构的带隙特性有何变化及其在圆柱共形微带天线中应用的研究在文献中还很少见到。因此,研究曲面共形 EBG 结构的带隙特性及其应用也是一个较新的课题。

本文利用悬置微带线法,研究了曲面上接地面蚀孔型、基底介质钻孔型和高阻表面型3种典型 EBG 结构的表面波带隙特性与介质介电常数 ϵ_r 、介质厚度 t 和曲面半径 R 的关系,得到了一些有意义的结论,这对在曲面共形天线上应用 EBG 结构以改善共形天线性能有一定的指导意义。

1 曲面共形 EBG 结构建模与分析方法

文中研究的3种曲面共形 EBG 结构分别具有如下的初始参数:对蚀孔型结构: $a = 14.5 \text{ mm}$, $d = 7.25 \text{ mm}$, $\epsilon_r = 2.65$, $t = 1 \text{ mm}$, $R = 60 \text{ mm}$, $n = 7$;对曲面介质孔型: $a = 10 \text{ mm}$, $d = 6 \text{ mm}$, $t = 1 \text{ mm}$, $\epsilon_r = 5$, $R = 60 \text{ mm}$, $n = 7$;对高阻表面型: $w = 12 \text{ mm}$, $g = 4 \text{ mm}$, $t = 1 \text{ mm}$, $r = 0.5 \text{ mm}$, $\epsilon_r = 2.7$, $R = 80 \text{ mm}$, $n = 7$ 。其中, a 为 EBG 结构周期, d 为开孔尺寸, r 为过孔半径, t 为介质厚度, ϵ_r 为介质介电常数, R 为曲面半径, w 为贴片宽度, g 为贴片缝隙, n 为周期数量。

这里采用高频电磁仿真软件 CST-MWS 来进行曲面 EBG 结构的建模和分析,以获得其带隙特性与其结构参数和曲率的关系。仿真模型如图1所示,采用7个单元建模,用悬置微带线法获得 S21 参数观察 EBG 结构的带隙(S21 为传输系数)。由于传输的电磁场主要集中在微带线下面,所以实际上对于微带线来说,一维的曲面 EBG 结构已经足以获得良好的带隙特性,因此仿真建模时采用了一维的 EBG 结构。

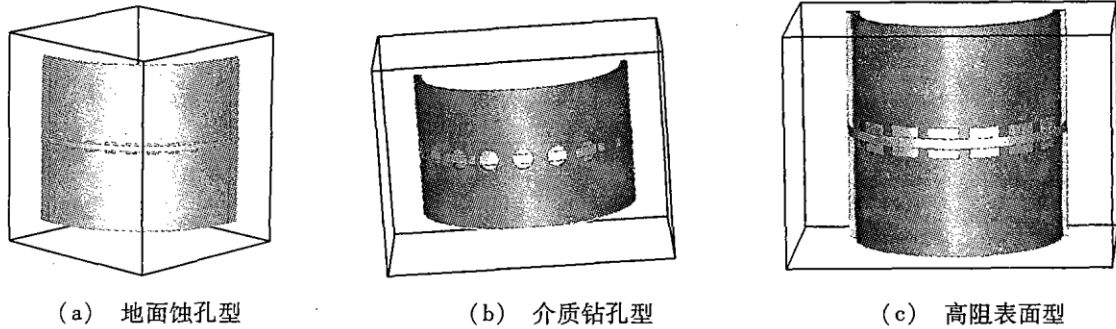
收稿日期:2007-05-09

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60671001);陕西省自然科学基金资助项目(2005F21);西安市工业攻关项目(GG06020);空军工程大学电讯工程学院博士创新基金资助项目(200603)

作者简介:刘涛(1976-),男,山东单县人,博士生,主要从事电磁场数值算法和电磁带隙结构研究;

E-mail:lt9571@163.com

曹祥玉(1964-),女,陕西西安人,教授,博士生导师,主要从事电磁场数值算法和电磁带隙结构研究。



(a) 地面蚀孔型 (b) 介质钻孔型 (c) 高阻表面型

图 1 仿真模型

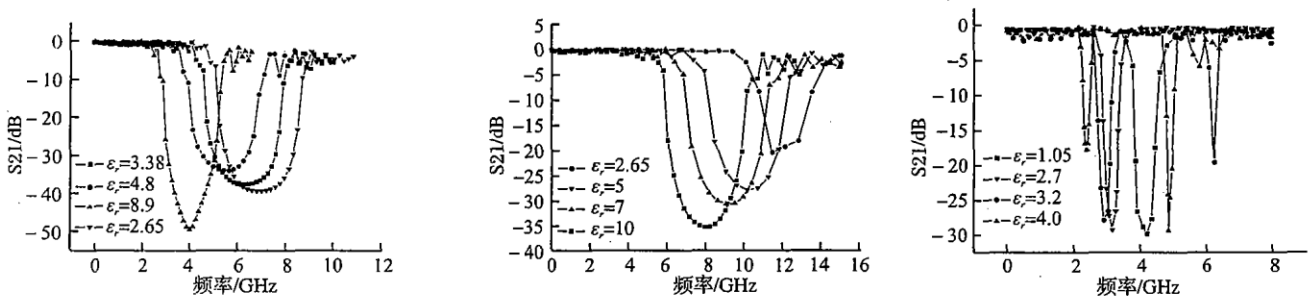
Fig. 1 Simulation model

2 曲面共形 EBG 结构带隙特性分析

2.1 介质介电常数 ϵ_r 的影响

仿真模型单元个数同为 7 的情况下,在初始参数的基础上改变相对介电常数 ϵ_r 值。对曲面地面蚀孔型结构,讨论了当 $\epsilon_r = 2.65, 3.38, 4.8, 8.9$ 时的带隙特性;对曲面介质孔型结构,观察了 $\epsilon_r = 2.65, 5, 7, 10$ 时其对带隙的影响;对曲面高阻表面结构,观察了 $\epsilon_r = 1.05, 2.7, 4.0$ 时带隙的情况。微带线支撑介质介电常数为 2.7。仿真结果如图 2 所示。由图 2(a) 观察得出,介质基片的 ϵ_r 的增加会引起蚀孔型结构阻带中心频率 f_0 和带隙宽度的减小,在 ϵ_r 值较小时,带隙深度减小,较大时,反而变得更深。从图 2(b) 可看出,随着 ϵ_r 的增加,介质孔型结构的带隙中心频率明显下降,带宽增大,带隙加深。从图 2(c) 可以看到,介电常数 r 的增大,使得高阻表面型带隙中心频率降低,带宽变窄,带隙变浅。另一方面观察到,当基板介电常数大于支撑介质的值时,出现了双带隙情况。分析其中原因,这和支撑介质的选取有关。支撑介质的加载增大了等效电容,使带隙频率降低。可将支撑介质设为空气,以减小支撑介质的影响。

由上面分析看出,介电常数对带隙影响比较大,同样的 EBG 结构尺寸在不同介电常数下可得到差异很大的带隙,说明介质基片的相对介电常数 ϵ_r 是一个用来控制表面波带隙的有效参数。随着介电常数的增加,带隙的中心频率将向低频方向移动,并且带隙变窄。这是由于按照等效电路的观点,随着介电常数的增加,相邻单元等效电容变大,因此带隙的中心频率向低频偏移,带隙宽度变窄。



(a) 接地面蚀孔型 (b) 介质孔型 (c) 高阻表面型

图 2 介电常数的影响

Fig. 2 Effect of permittivity

2.2 介质厚度 t 影响

对曲面蚀孔型结构,分别计算了 $t = 1 \text{ mm}, 1.5 \text{ mm}, 2 \text{ mm}$ 时柱面带隙特性;对曲面介质孔型,开孔半径同为 3 mm 情况下,计算了 $t = 1 \text{ mm}, 1.5 \text{ mm}, 2 \text{ mm}, 2.5 \text{ mm}$ 时带隙变化;对曲面高阻表面结构,观察了介质层厚度 $t = 1 \text{ mm}, 1.5 \text{ mm}, 2 \text{ mm}$ 时的带隙。仿真结果如图 3 所示。从图 3(a) 中可看到,随着介质层厚度 t 的增加,蚀孔型结构的带隙深度和带宽都减小,但带隙中心频率基本不变。从图 3(b) 可看出,介质孔型结构的介质厚度变化对带隙中心频率 f_0 影响较小, f_0 基本保持不变,但随着厚度增加,带宽变窄,带隙变浅。从 EBG 结构的 Sievenpiper 等效媒质模型可知,高阻表面结构中电感 L 直接与介质基板的厚度相关,而且成正比,因此从图 3(c) 中可看出,随着 t 的增大,带隙中心频率降低,但带宽增大,带宽增大对设计宽带微带天线非常

有利。

因此对于同种介质覆盖层,其厚度对蚀孔型和介质孔型结构带隙的影响并不明显。这是由于对于同种介质覆盖层,介电常数相同,随着厚度的增加,相邻单元之间的等效电容保持不变,因此带隙的中心频率保持不变。而对高阻表面结构,厚度增加还使得等效电感增加,由 Sievenpiper 近似公式^[11]分析可知,厚度增加使得带隙中心频率降低,带宽增大。另外可得到,在柱面上应用蚀孔型和介质孔型结构时,介质层厚度不能太厚,否则得到的带隙结果不够理想。

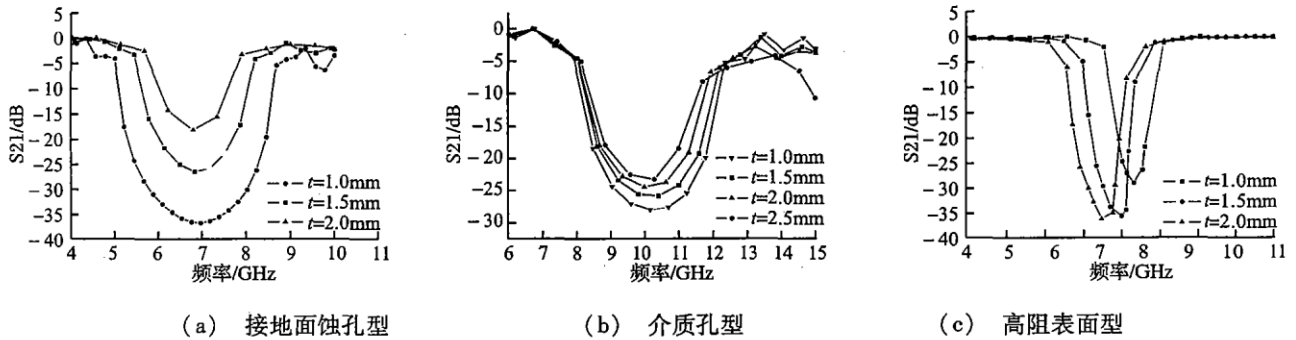


图3 介质厚度影响

Fig. 3 Effect of dielectric thickness

2.3 曲率的影响

把 EBG 结构从平面上移到曲面上研究,最大的区别就是他们之间曲率的不同。对曲面蚀孔型结构,分别计算了柱面半径 R 分别为 50 mm、60 mm、100 mm、150 mm 时的带隙特性。对曲面介质孔型结构,仿真了曲面半径 R 分别为 30 mm、60 mm、90 mm、120 mm 时的情况。对高阻表面结构,仿真了半径 R 分别为 40 mm、80 mm、160 mm、200 mm 时的带隙特性。仿真结果如图 4 所示。从图 4(a)中观察到,曲率对蚀孔型结构带隙宽度影响不大,曲率增大使带隙中心频率稍微下降,但带隙深度减小。从图 4(b)中可看出,曲率对介质孔型结构带隙的影响也不是太显著,带隙中心频率和带宽变化都不是太明显,曲面中心频率相比平面有稍微的下降,带隙深度稍微减小。从图 4(c)结果来看,曲率对高阻表面结构带隙中心频率和带宽变化不大,曲面中心频率和平面相比较,要稍微偏低一些。

分析曲率对带隙影响,EBG 结构被弯曲之后,接地板附近电场比平面的情况下更集中,相当于 EBG 结构的周期增加了,从而中心频率有所降低。但从仿真结果看,这种影响并不是很严重。

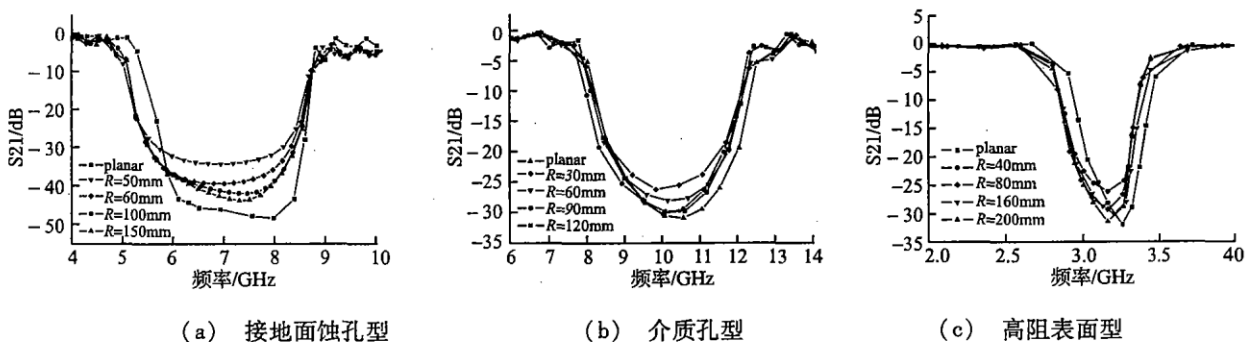


图4 曲率的影响

Fig. 4 Effect of curvature

3 结论

通过对曲面上 EBG 结构表面波带隙特性的研究,可以看到,在曲面上,EBG 结构带隙特性与其结构参数的关系和平面结构上得到的结论一致,曲率对其表面波带隙特性的影响并不是太显著。这对在曲面共形天线上应用 EBG 结构有一定的理论参考价值,对其具体应用研究将在今后进一步展开。

参考文献:

- [1] Gonzalo R, Maagt P, Sorolla M. Enhanced Patch - Antenna Performance by Suppressing Surface Waves Using Photonic -

- Bandgap Substrates[J]. IEEE Trans on Microwave Theory and Techniques, 1999, 47(11): 2131 - 2138.
- [2] Kamgaing T, Ramahi O M. Design and Modeling of High - Impedance Electromagnetic Surfaces for Switching Noise Suppression in Power Planes[J]. IEEE Trans on Electromagnetic Compatibility, 2005, 47(3): 479 - 489.
- [3] Shahparnia S, Ramahi O M. Simultaneous Switching Noise Mitigation in PCB Using Cascaded High - Impedance Surfaces[J]. Electronics Letters, 2004, 40(2): 307 - 310.
- [4] 刘涛, 曹祥玉, 殷兆伟, 等. EBG结构在圆柱共形偶极子振中的应用[J]. 空军工程大学学报: 自然科学版, 2007, 8(2): 63 - 65.
LIU Tao, CAO Xiangyu, YIN Zhaowei, et al. Application Study of EBG Structures in Cylindrical Conformal Dipole Arrays[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2007, 8(2): 63 - 65. (in Chinese)
- [5] Cyril Cheype, Cedric Serier, Marc Thevenot, et al. An Electromagnetic Bandgap Resonator Antenna[J]. IEEE Trans On Antenna and Propagation, 2002, 50(9): 1285 - 1290.
- [6] Weily A R, Horvath L, Esselle K P, et al. A Planar Resonator Antenna Based on a Woodpile EBG Material[J]. IEEE Trans On Antenna and Propagation, 2005, 53(1): 216 - 223.
- [7] LIN Qingchun, ZHU Fangming, HE Sailing. A New Photonic Bandgap Cover for a Patch Antenna with a Photonic Bandgap Substrate[J]. Journal of Zhejiang University Science A, 2004, 5(3): 269 - 273.
- [8] Thevenot M, Cheype C, Reineix A, et al. Directive Photonic - Bandgap Antennas[J]. IEEE Trans On Microwave Theory and Technology, 1999, 47(11): 2115 - 2122.
- [9] Tam W Y, Lai A K Y, Luk K M. Cylindrical Rectangular Microstrip Antennas with Coplanar Parasitic Patches[J]. IEEE Proc Microwave Antennas Propagation, 1995, 142: 300 - 306.
- [10] WONG K L, CHENG Y T, ROW S. Resonance in a Superstrate - Loaded Cylindrical Rectangular Microstrip Structure [J]. IEEE Trans. on Antennas Propagation, 1993, 41(7): 814 - 819.
- [11] Sievenpiper D, Zhang L J, Broas R F J, et al. High - impedance Electromagnetic Surfaces in a Forbidden Frequency Band[J]. IEEE Trans Microwave Theory Tech, 1999, 47(11): 2059 - 2074.

(编辑: 田新华, 徐楠楠)

Study of Surface Wave Band - Gap Feature of Curved Electromagnetic Band - gap Structure

LIU Tao, CAO Xiang - yu, YU Kan - min

(The Telecommunication Engineering Institute, Air Force engineering University, Xi'an 710077, China)

Abstract: The surface wave band - gap characteristics for three typical curved EBG structures are studied in this paper. Using the suspending micro - strip method, the effect of curved EBG structure parameters and curvature on band - gap characteristics is analyzed. The results show that the effect of curvature is lesser, and only the center frequency of band - gap is slight decreased. The effect of substrate permittivity and dielectric thickness on band - gap characteristics is in agreement with that of the planar structure parameters. This conclusion is of certain guided significance in applying such kind of surface structures to cylindrical conformal antennas.

Key words: electromagnetic band - gap; surface wave band - gap; curvature; cylindrical conformal Antenna