

改善带宽的一维 EBG 介质板天线覆层结构

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: 利用一维 EBG 介质板作天线覆层可以获得很高的方向性增益, 但 3dB 增益带宽却很窄。本文通过考察不同介电常数介质板周期间隔构造的一维 EBG 结构的传输特性, 提出了一种改善传统覆层天线带宽的新的天线覆层结构。仿真分析结果表明, 这种新结构可以显著改善传统覆层天线的带宽, 当 $\varepsilon_{r1}/\varepsilon_{r2}$ 比值在 2.8-3.92 之间时, 增益与带宽可以保持较好的平衡, 天线增益相比无覆层时有至少 6dBi 以上的提高, 3dB 增益带宽相比传统覆层结构天线带宽改善 2 倍以上。

关键词: 电磁带隙, 天线覆层, 带宽, 方向性

Enhanced Bandwidth One dimension EBG Dielectric Plate Antenna Cover Structure

Liu Tao Cao Xiang-Yu Yu Kan-Min

(The telecommunication engineering Institute, AFEU, Shann'xi, Xi'an, 710077)

Abstract: The very high directivity gain can be obtained by making use of one dimension EBG dielectric plate to cover antenna, but the 3dB gain bandwidth is very narrow. In this paper, through observing the transmission characteristics of one dimension EBG dielectric plate structure using different permittivity plate to replace the air, a novel antenna cover structure is proposed which can enhance the radiation bandwidth of conventional cover antenna. The simulation and analysis results show that, a good balance can be obtained between gain and bandwidth when the values of $\varepsilon_{r1}/\varepsilon_{r2}$ cover 2.8-3.92, the new structure can enhance the antenna gain by at least 6dBi compared with no cover structure antenna and improve the radiation bandwidth by more than 2 times compared with the conventional cover structure antenna.

Keywords: EBG, antenna cover, enhanced bandwidth, high directivity

1 引言

近年来, 利用微波复合介质材料做天线覆层提高天线方向性增益得到了深入的研究, 覆层结构的形式也多种多样, 如一维介质平板、金属网格、SRR/Rod 结构等^[1-10]。其中一维 EBG 介质平板结构是比较典型的一种结构, 通过在 EBG 结构中引入缺陷, 在带隙范围内就会出现一个很窄的传输通带(即谐振峰), 当天线工作于此缺陷模式就可获得很

高的方向性增益^[3,10]。从能量角度来说, 因为 EBG 结构中有缺陷, 这就使得整体性被破坏, 造成电磁能量局限在缺陷附近, 形成一个谐振效应, 改善了天线辐射性能。从折射定律角度说, 当电磁波工作频率在谐振频率附近, 结构的有效折射率将趋近于零, 从而可以认为电磁波以不同入射角入射到 EBG 结构上时, 都能以趋近于法线的方向射出, 将原本发散的电磁波整理成趋近于覆层面法线方向的平行波, 起到能量汇聚的作用。

但此类天线存在两个主要问题, 一是天线剖面高, 为了满足谐振要求, 第一层介质板一般要求距接地面二分之一波长; 二是 3dB 增益带宽窄, 一

基金项目: 国家自然科学基金(60671001);

般小于 1%，这两点缺陷限制了其应用。对天线剖面问题，文献[11]提出了利用 EBG 结构的同向反射特性降低剖面的方法，剖面降低约四分之一波长；对带宽问题，此类天线中，一般介质板层数越多或介质板相对介电常数越大，则天线的方向性增益越高，同时辐射带宽越窄，增益与带宽基本成反比关系。这可以由一维 EBG 介质板的传输特性来解释，因为介质板层数越多或相对介电常数越大，它的缺陷模式的谐振峰就越尖锐，从而使天线增益提高的更多，带宽压缩的更小。对此问题的解决，目前文献中见到的还比较少，文献[12]提出了利用天线阵，增加馈源方式改善带宽的方法，同时增益也得到了更大地提高，但此方法使馈电网络又变得比较复杂。文献[4]指出，采用特殊缺陷 EBG 材料结构可以扩展天线辐射带宽。基于此问题，本文以单个天线为馈源，提出了一种改进的覆层结构，分析表明，此结构可以改善天线辐射带宽。

2 一维 EBG 介质板传输特性

传统一维 EBG 介质板结构是在空气中周期放置一些介质板单元形成的，此种结构可以形成空间波阻抗的不连续性，从而阻止某些特定频段的电磁波传输。文献[3,10]研究的都是这种空气与介质板周期间隔的结构模型。本文以文献[3]为基础，考察了利用介质板取代空气层，由两种不同介电常数介质板周期间隔构造的一维 EBG 结构的传输特性，其存在一个缺陷情况的结构模型如图 1，传输特性如图 2，同时给出了传统结构结果，仿真基于 CST MWS 完成。仿真模型中， $\epsilon_{r1}=9.8$ ，厚约 $a=\lambda_g/4$ ，调整为 $a=5.1\text{mm}$ ， $\epsilon_{r2}=2.7$ ，厚度为 $b=\lambda_g/4=9.129\text{mm}$ ，结构周期为 $a+b=14.229\text{mm}$ ，缺陷长度 $L=58.2\text{mm}$ ， λ_g 为电磁波在介质材料中的波导波长。由图 2 看到，两种结构的谐振峰都位于 5GHz 左右，二者没有变化，介质与空气间隔情况下的谐振峰更尖锐，3dB 带宽只有 78MHz，而空气换为介质时谐振峰要平缓一些，3dB 带宽达到 293MHz，带宽改善了近 3.8 倍，但此时禁带深度却比较浅。这样在中间缺陷镜像面处放置天线，以上半部分介质板结构作为天线覆层时，天线的带宽应该能够得到一定的改善，但增益可能会减小。

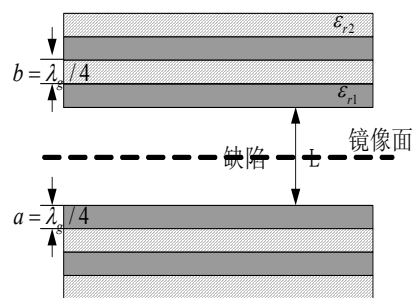


图 1 一维 EBG 缺陷结构

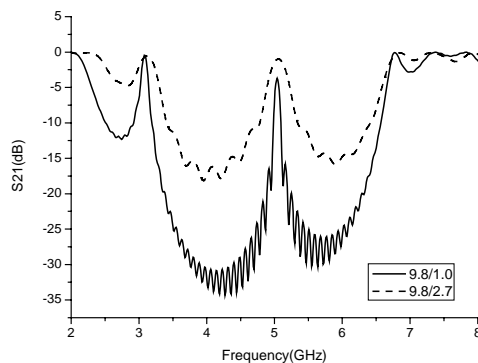


图 2 一维 EBG 介质板缺陷结构传输特性

3 新覆层结构天线

3.1 设计与仿真

新覆层天线结构如图 3。设计天线工作频率 $f=5\text{GHz}$ ，采用方形贴片，边长 $W=27\text{mm}$ ，馈点位置距中心 $L=12.5\text{mm}$ ，天线距地面 $h=3.6\text{mm}$ ，贴片下为空气基底，地面为 $258\text{mm}\times 258\text{mm}$ 。无覆层时以回波损耗 S_{11} 小于 -10dB 为标准，仿真可以得到天线相对带宽 8.6%，绝对带宽 430MHz，最大增益 9.3dBi。具体覆层结构数据如图 3 所示。当 $\epsilon_{r1}/\epsilon_{r2}=9.8/2.7=3.63$ 时仿真结果如图 4，同时给出了传统覆层结构时结果，也即 $\epsilon_{r1}/\epsilon_{r2}=9.8$ 情况。由图 4 看到，传统覆层结构天线频率与增益曲线比较尖锐，最大增益 21.43dBi，3dB 增益带宽 160MHz，新覆层结构天线频率与增益曲线比较平缓，最大增益 19.49dBi，3dB 增益带宽约 400MHz，二者相比，最大增益降低了 3dB，带宽改善了 2.5 倍，接近无覆层时天线带宽。

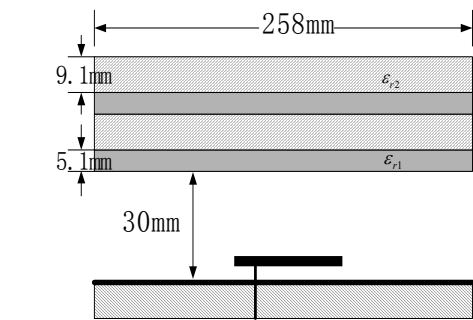


图3 新覆层天线结构侧视图

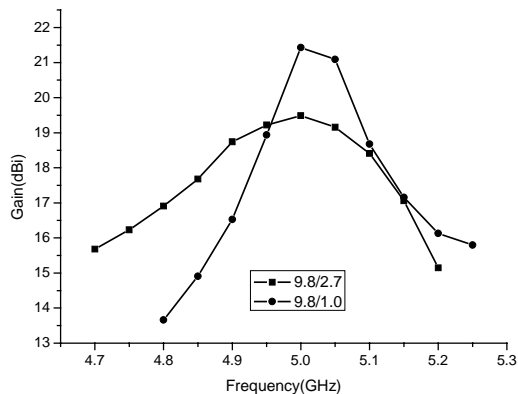


图4 频率与增益关系

3.2 $\epsilon_{r1}/\epsilon_{r2}$ 比值讨论

为了更好地认识 $\epsilon_{r1}/\epsilon_{r2}$ 比值对天线辐射带宽的影响, 本文分析了 $\epsilon_{r1}=9.8$, ϵ_{r2} 取不同值时对带宽的影响 (相应地介质板厚度随波导波长改变而改变), 结果如图 5。随着 $\epsilon_{r1}/\epsilon_{r2}$ 比值减小, 方向性增益逐渐减小, 频率增益曲线变得越来越平缓, 3dB 增益带宽越来越大。这是因为带宽增大, 谐振腔的质量因子减小, 从而增益减小。因此, 在应用此结构时, 增益与带宽必须做出折衷, 从图 5 分析, 当 $\epsilon_{r1}/\epsilon_{r2}$ 比值在 2.8-3.92 之间时, 增益与带宽可以保持较好的平衡, 最大增益 18dBi-20dBi, 相比无覆层时天线有至少 6dBi 以上的增益提高, 3dB 增益带宽 350MHz-550MHz, 相比传统覆层天线结构带宽改善 2 倍以上。

这里还比较了两种情况, 第一种情况为 $9.8/2.7=3.63$, 第二种为 $3.63/1.0=3.63$, 即介质板介电常数为 3.63, 中间为空气间隔。图 6 给出了他们的频率增益曲线。第二种情况时最大增益 19.69dBi,

带宽约 300MHz, 与第一种情况增益 19.49dBi, 带宽约 400MHz 相比, 二者最大增益差别不大, 但带宽相差 100MHz, 再次表明新结构在改善带宽方面具有明显优势。

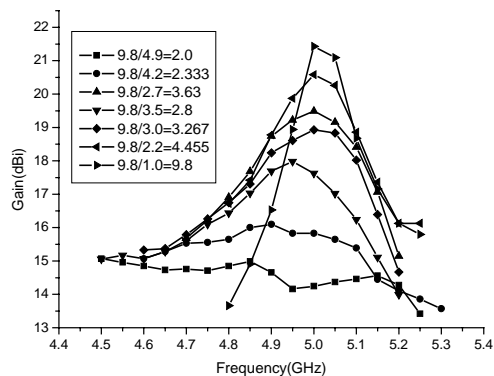


图5 不同 $\epsilon_{r1}/\epsilon_{r2}$ 比值时频率与增益曲线图

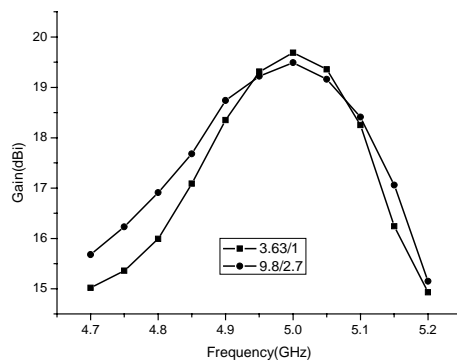


图6 $\epsilon_{r1}/\epsilon_{r2}$ 比值相同材料不同时带宽比较

4 结论

本文通过考察不同介电常数介质板周期间隔的一维 EBG 结构的传输特性, 提出了一种改善传统覆层天线带宽的新的天线覆层结构。通过仿真分析, 证实了这种新结构可以显著改善传统覆层天线的带宽, 当 $\epsilon_{r1}/\epsilon_{r2}$ 比值在 2.8-3.92 之间时, 增益与带宽可以保持较好的平衡, 3dB 增益带宽相比传统覆层结构天线带宽改善 2 倍以上。

参 考 文 献

- [1] Lin Qing-chun, Zhu Fang-ming, He Sai-ling, “A New Photonic Bandgap Cover for a Patch Antenna with a Photonic Bandgap Substrate”, Journal of Zhejiang University SCIENCE A, 2004,5:269-273
- [2] Andrew R. Weily , Levente Horvath, Karu P. Esselle, Barry C. Sanders, “A Planar Resonator Antenna Based on a Woodpile EBG Material”, IEEE Trans. On Antenna and Propagation, Vol.53, No.1, 2005:216-223
- [3] Marc Thevenot, Cyril Cheype, Alain Reineix, and Bernard Jecko, “Directive Photonic-Bandgap Antennas”, IEEE Trans. On Microwave Theory and Technology, Vol.47, No.11, 1999:2115-2122
- [4] Cyril Cheype, Cedric Serier, Marc Thevenot, etc, “An Electromagnetic Bandgap Resonator Antenna”, IEEE Trans. On Antenna and Propagation, Vol.50, No.9, 2002:1285-1290
- [5] Halim Boutayeb, Tayeb A. Denidni, Abdel Razik Sebak, and Larbi Talbi, “Design of Elliptical Electromagnetic Bandgap Structures for Directive Antennas”, IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS, Vol. 4, 2005:93-96
- [6] Hu Jun, Yan Chun-sheng, Lin Qing-chun, “A New Patch Antenna with Metamaterial Cover”, Journal of Zhejiang University SCIENCE A, 2006,7:89-94
- [7] A.P.Feresidis and J.C.Vardaxoglou, “High Gain Planar Antenna Using Optimised Partially Reflective Surfaces”, IEE Proc. Microwave .Antenna Propagation, Vol.148,No.6, December 2001:345-350
- [8] S. Wang, A.P. Feresidis, G. Goussetis and J.C. Vardaxoglou, “High-gain subwavelength resonant cavity antennas based on metamaterial ground planes”, IEE Proc.-Microw. Antennas Propag., Vol. 153, No. 1, 2006:1-6
- [9] Stefan Enoch, Ge´rard Tayeb, Pierre Sabouroux, Nicolas Gue´rin, and Patrick Vincent, “A Metamaterial for Directive Emission”, Physical Review Letters, Vol.89, No.21, 2002:213901-213904
- [10] 李斌, “微波复合介质材料及其应用研究”, 西安电子科技大学博士论文, 2006:94-128
- [11] S. Wang, A.P. Feresidis, G. Goussetis and J.C. Vardaxoglou, “Low-profile resonant cavity antenna with artificial magnetic conductor ground plane”, ELECTRONICS LETTERS, Vol. 40 No. 7,2004: 405-406
- [12] Ludovic Leger, Thierry Monediere, and Bernard Jecko, “Enhancement of Gain and Radiation Bandwidth for a Planar 1-D EBG Antenna”, IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol. 15, No. 9, 2005:573-575

作者简介:

刘涛, 男, 博士, 主要研究电磁带隙结构及其他超材料等;

曹祥玉, 女, 教授、博士生导师, 主要研究领域为计算电磁学、电磁兼容和超材料等。

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深, 让许多工程师望而却步, 然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上, 我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识, 借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养, 推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程, 化繁为简, 直观易学, 可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛, 让天线设计不再难...



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书, 课程从基础讲起, 内容由浅入深, 理论介绍和实际操作讲解相结合, 全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程, 可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计, 让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程, 由经验丰富的专家授课, 旨在帮助您从零开始, 全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程, 边操作边讲解, 直观易学; 购买套装同时赠送 3 个月在线答疑, 帮您解答学习中遇到的问题, 让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程, 培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合, 全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作, 同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习, 可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果,又能免除您舟车劳顿的辛苦,学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲,结合实际工程案例,直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>