

· 天馈伺系统 ·

中图分类号: TN82

文献标志码: A

文章编号: 1004-7859(2011)04-0058-04

利用负磁导率材料提高宽带微带天线增益

汤杭飞, 王虎, 郭晓静, 赵晓鹏

(西北工业大学应用物理系智能材料实验室, 西安 710129)

摘要:研究了负磁导率材料对宽带微带天线性能的改善作用, 将正方形结构负磁导率材料作为宽带微带天线的基板, 设计了一种能够在低剖面结构下实现高增益宽频带定向辐射的负磁导率材料基板宽带微带天线。从实验测量结果看, 在整个较宽的工作频带内, 负磁导率材料使宽带微带天线侧向辐射减弱, 前向辐射增强, 方向性改善, 增益提高约 1 dB。

关键词:负磁导率; 正方形结构; 宽带微带天线; 增益

Enhancement of the Gain for Broadband Microstrip Antennas using Negative Magnetic Permeability

TANG Hang-fei, WANG Hu, Guo Xiao-jing, ZHAO Xiao-peng

(Smart Material Laboratory, Department of Applied Physics,

Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China)

Abstract: Using the square structure negative magnetic permeability material as the substrate of the broadband microstrip antennas, the improvement of the antennas' performance is investigated, the design of negative magnetic permeability material as the substrate of the broadband microstrip antennas can realize the high gain, broadband and directional radiation. The experimental results indicated that the side radiation of the proposed microstrip antenna decreased and the forward radiation increased. Moreover, the directivity of microstrip antennas is improved and its gain is enhanced by 1dB.

Key words: negative magnetic permeability; square structure; broadband microstrip antennas; gain

0 引言

微带天线因其具有体积小、重量轻、结构稳定、剖面低、馈电方式灵活及易集成等优点而深受人们的青睐, 但微带天线同时存在增益低、效率低和带宽窄等固有缺点, 限制了其在实际工程中的应用范围^[1-3]。

最近几年, 电磁超材料以其奇异的电磁特性在微波和毫米波领域特别是天线领域得到了广泛的应用^[4-17]。负磁导率材料是一种在一定频率范围磁导率为负的电磁超材料, 利用其负磁导率禁带可以有效地抑制微带天线工作时产生的表面波, 从而改善微带天线的方向性, 提高微带天线的增益^[18]。

本文针对微带天线增益低, 效率低, 频带窄等缺点, 在采用共面附加寄生贴片的方法展宽微带天线工作带宽的基础上, 进一步将正方形结构负磁导率材料作为天线基板, 设计了一种在低剖面结构下实现高增益负磁导率材料基板宽带微带天线。通过 CST Micro-

wave Studio 软件全波仿真与实验测量两种方法研究了负磁导率材料对宽带微带天线的方向性和增益等性能的改善作用。

1 正方形结构负磁导率材料

正方形结构负磁导率材料是一种在介质板两面刻蚀金属正方形结构单元的电磁超材料, 两面的正方形结构单元要求严格对齐, 正方形结构负磁导率材料的结构单元, 如图 1 所示。当电磁波垂直入射时, 在谐振频率范围内电磁波不能传播, 即产生了禁带, 在禁带范围内磁导率为负。

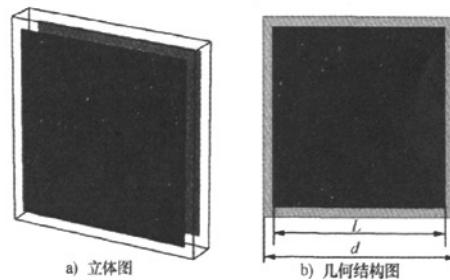


图 1 正方形结构负磁导率材料示意图

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50632030, 50872113, 50936002)

通信作者: 汤杭飞

Email: xpzhao@nwpu.edu.cn

收稿日期: 2010-12-13

修订日期: 2011-02-22

通过选取正方形结构单元的几何参数与介质基板, 可以使得正方形结构负磁导率材料的谐振频率在不同频段调控。借助 CST Microwave Studio 软件设计了谐振频率为 5.27 GHz 的正方形结构负磁导率材料, 其介质板选取厚度为 1.5 mm 的聚四氟乙烯纤维板 ($\epsilon = 2.55, \tan\delta = 0.001$), 金属正方形结构单元材料采用铜, 厚度为 0.04 mm, 正方形结构单元的几何尺寸为: $L = 18 \text{ mm}$, $d = 20 \text{ mm}$ 。

利用 CST Microwave Studio 软件仿真得到了正方形结构负磁导率材料的透射与反射曲线, 如图 2a) 所示, 可以看到在 5.27 GHz 附近处的频率范围内出现了禁带。通过散射参量法得到了正方形结构负磁导率材料的磁导率曲线, 如图 2b) 所示, 可以看到正方形结构负磁导率材料在 4.83 GHz ~ 5.59 GHz 的频率范围内磁导率为负。结果表明: 当电磁波垂直入射时, 正方形结构负磁导率材料在谐振频率附近出现一个磁导率为负的禁带。

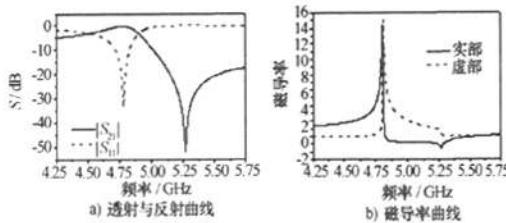


图 2 正方形结构负磁导率材料

2 天线设计、仿真与实验

2.1 天线设计与加工

按照文献[1-3]中共面附加寄生贴片展宽微带天线工作频带的方法, 在 CST Microwave Studio 软件的帮助下设计了一个宽带微带天线, 图 3 给出了宽带微带天线的示意图。天线的介质基板选取厚度为 1.5 mm 的聚四氟乙烯纤维板 ($\epsilon = 2.55, \tan\delta = 0.001$), 金属贴片和金属接地板的材料采用铜, 厚度为 0.04 mm, 天线中心贴片的尺寸为 $L \times W = 17 \text{ mm} \times 21 \text{ mm}$, 2 个寄生贴片的尺寸均为 $L_1 \times W = 16 \text{ mm} \times 21 \text{ mm}$, 接地板和基板尺寸均为 $LG \times WG = 80 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$, 寄生贴片与中心贴片之间的距离为 $s = 1.9 \text{ mm}$, 馈点距离辐射边的距离为 $D = 4.0 \text{ mm}$ 。

将正方形结构负磁导率材料作为宽带微带天线的基板, 在宽带微带天线贴片和接地板周围的空白处周期性地双面刻蚀正方形结构单元, 就实现了负磁导率材料基板宽带微带天线, 如图 4 所示。周期性排布的正方形负磁导率材料的晶格常数为 20 mm, 天线基板

的面积为 $120 \text{ mm} \times 80 \text{ mm}$ 。

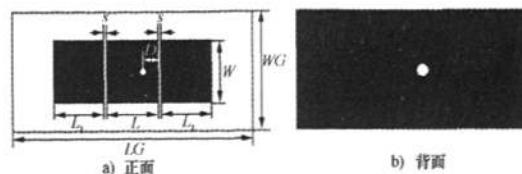


图 3 宽带微带天线的示意图

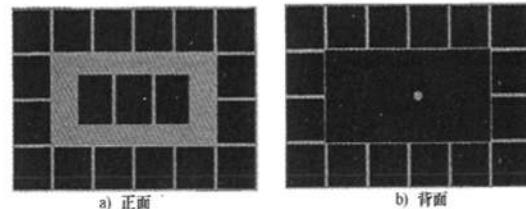


图 4 负磁导率材料基板宽带微带天线示意图

利用 CST Microwave Studio 软件仿真得到了普通宽带微带天线与负磁导率材料基板宽带微带天线的回波损耗、辐射方向图和增益等性能参数, 并作了对比研究。为了验证分析与设计的正确性, 采用标准电路板刻蚀方法加工了天线样品, 天线样品的照片如图 5 所示。样品的尺寸参数与仿真模型中的一致, 采用 AV3618 矢量网络分析仪测量了天线样品的回波损耗曲线, 并在吸波暗室中测量了天线样品的辐射方向图和增益。

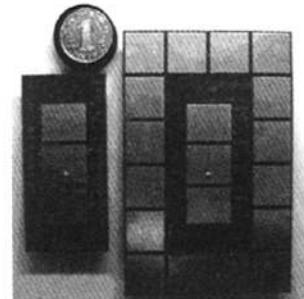


图 5 天线样品照片

2.2 回波损耗

仿真和实验测量得到的普通宽带微带天线与负磁导率材料基板宽带微带天线的回波损耗 S_{11} 曲线, 如图 6 所示。仿真和实验结果一致, 普通宽带微带天线与负磁导率材料基板宽带微带天线都实现了在较宽工作频带内工作, 从实验测量结果看, 普通宽带微带天线的工作频带为 4.97 GHz ~ 5.45 GHz, 负磁导率材料基板宽带微带天线的工作频带为 4.96 GHz ~ 5.43 GHz, 相比普通宽带微带天线, 负磁导率材料基板宽带微带天线的回波损耗曲线几乎没有发生改变。另外, 宽带微带天线的工作频带与前面设计的正方形负磁导率材料的负

磁禁带重合。

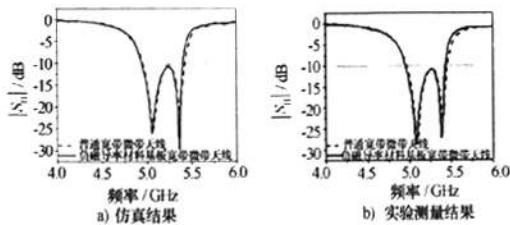


图 6 回波损耗曲线

2.3 辐射方向图

天线的工作带宽较大,为了全面地展示负磁导率材料对宽带微带天线整个工作频带范围内的辐射特性的影响,仿真并实验测量了普通宽带微带天线与负磁导率材料基板宽带微带天线在 5.0 GHz、5.1 GHz、5.2 GHz、5.3 GHz 和 5.4 GHz 这 5 个频率处的辐射方向图,进行对比研究,如图 7、图 8 所示。

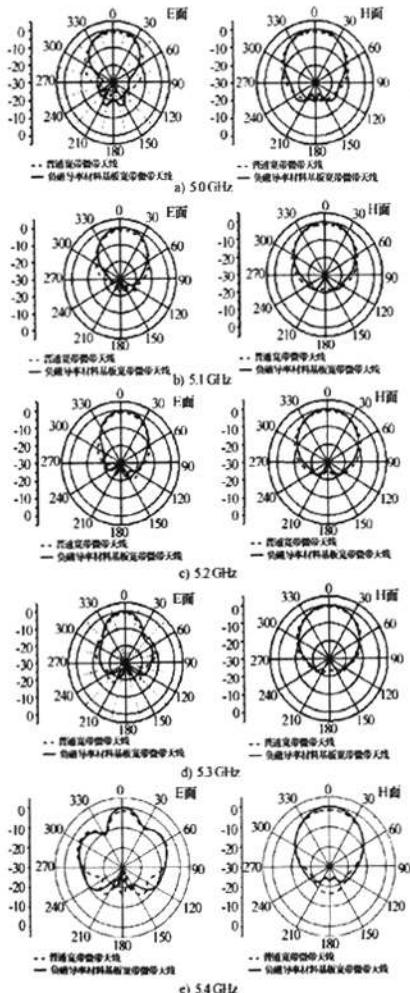


图 7 仿真得到的辐射方向图

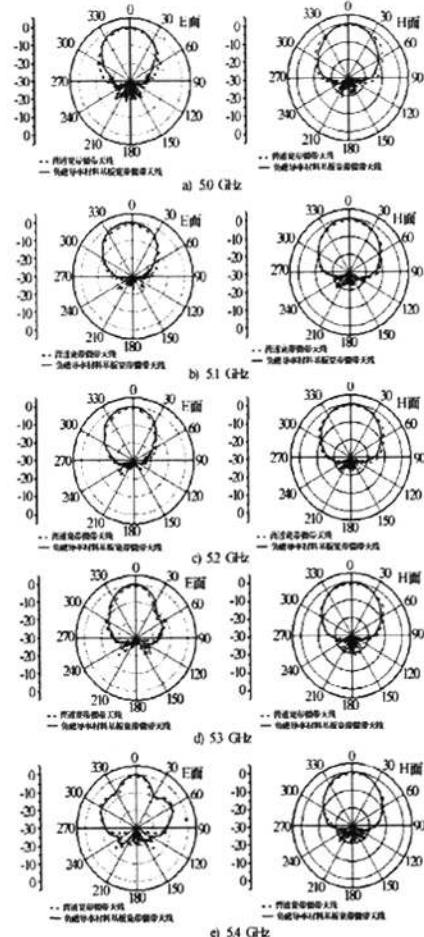


图 8 实验测量的辐射方向图

2.4 增益

仿真和实验测量得到的普通宽带微带天线与负磁导率材料基板宽带微带天线在整个工作频带内的增益值,如图 9 所示,对比后可以看出:与普通宽带微带天线相比,负磁导率材料基板宽带微带天线在整个带宽范围内的增益提高了约 1 dB。

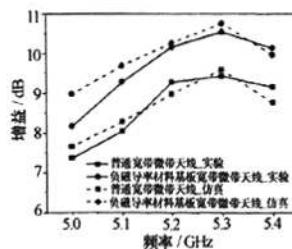


图 9 增益对比图

3 结束语

本文将正方形结构负磁导率材料作为宽带微带天线的基板,设计制备了一种负磁导率材料基板宽带微带天线,研究了负磁导率材料对宽带微带天线的方向性和增益等性能的改善作用。在采用 CST Microwave Studio 软件仿真的基础上,加工制备了天线样品,并进行了实验测量,仿真和测量结果一致,得到以下结论:

- 1) 普通宽带微带天线与负磁导率材料基板宽带微带天线都实现了在较宽工作频带内工作,相比普通宽频微带天线,负磁导率材料基板宽带微带天线的回波损耗曲线几乎没有发生改变;
- 2) 在整个工作频带内,负磁导率材料使宽带微带天线侧向辐射减弱,前向辐射增强,方向性得到改善;
- 3) 在整个工作频带内,负磁导率材料使宽带微带天线的增益提高了约 1 dB。

参 考 文 献

- [1] 钟顺时. 微带天线理论与应用 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1991.
Zhong Shunshi. Theory and applications of microstrip antenna [M]. Xi'an: Xidian University Press, 1991.
- [2] 张 钧, 刘克诚, 张贤铎, 等. 微带天线理论与工程 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1988.
Zhang Jun, Liu Kecheng, Zhang Xianduo, et al. Theory and engineering of microstrip antenna [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1988.
- [3] Ramesh G, Prakash B, Inder B, et al. Microstrip antenna design handbook [M]. Boston: Artech House, 2001.
- [4] 崔万照, 万 伟, 邱乐德, 等. 电磁超介质及其应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
Cui Wanzhao, Wan Wei, Qiu Lede, et al. Electromagnetic metamedium and application [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2008.
- [5] Christophe C, Tatsuo I. Electromagnetic metamaterials: transmission line theory and microwave applications [M]. New York: John Wiley & Sons, 2006.
- [6] Eleftheriades G V, Balmain K G. Negative-refraction metamaterials: fundamental principles and applications [M]. New York: John Wiley & Sons, 2005.
- [7] Lai A, Leong K M K H, Itoh T. Infinite wavelength resonant antennas with monopolar radiation pattern based on periodic structures [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2007, 55(3): 868–876.
- [8] Park J H, Ryu Y H, Lee J G, et al. Epsilon negative zeroth-order resonator antenna [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation 2007, 55(12): 3710–3712.
- [9] Caloz C, Itoh T. Transmission line approach of left-handed materials and microstrip implementation of an artificial LH transmission line [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2004, 52(5): 1159–1166.
- [10] 纪 宁, 赵晓鹏. C 波段超材料基板高增益微带天线 [J]. 现代雷达, 2010, 32(1): 70–73.
Ji Ning, Zhao Xiaopeng. A C-band high-gain microstrip antenna using negative permeability metamaterial substrate [J]. Modern Radar, 2010, 32(1): 70–73.
- [11] Borja A L, Hall P S, Liu Q, et al. Omnidirectional loop antenna with left-handed loading [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2007, 5(6): 495–498.
- [12] Izuka H, Hall P S, Borja A L. Dipole antenna with left-handed loading [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2006, 5(1): 483–485.
- [13] Remmings A, Otto S, Calo C, et al. Enlarged half-wavelength resonator antenna with enhanced gain [C]// IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, [S. l.]; IEEE Press, 2005.
- [14] Herranz-Martínez F J, González-Posadas V, García-Muñoz L E, et al. Multifrequency and dual-mode patch antennas partially filled with left-handed structures [J]. IEEE Transaction on Antennas and Propagation, 2008, 56(8): 2527–2539.
- [15] Liu Y H, Zhao X P. Investigation of anisotropic negative permeability medium cover for patch antenna [J]. IET Microwaves, Antennas & Propagation, 2008, 2(7): 737–744.
- [16] Liu Y H, Zhao X P. Enhanced patch antenna performances using dendritic structure metamaterials [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2009, 51(7): 1732–1738.
- [17] Tang H F, Zhao X P. Center-fed circular epsilon-negative zeroth-order resonator antenna [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2009, 51(10): 2423–2428.
- [18] 史亚龙, 罗春荣, 赵晓鹏. S 波段新型负磁导率微带天线 [J]. 现代雷达, 2009, 31(9): 63–66.
Shi Yalong, Luo Chunrong, Zhao Xiaopeng. A novel S-band microstrip antenna with negative magnetic permeability [J]. Modern Radar, 2009, 31(9): 63–66.

汤杭飞 男, 1984 年生, 硕士研究生。研究方向为电磁超材料对微带天线性能。

赵晓鹏 男, 1957 年生, 教授, 博士生导师, 国家杰出青年基金获得者。研究方向为智能材料与结构、光信息材料与行为、左手材料及其在天线上的应用。

王 虎 男, 1986 年生, 硕士研究生。研究方向为空间天线技术。

郭晓静 女, 1986 年生, 硕士研究生。研究方向为超材料对微带天线性能。

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，一直致力于专注于微波、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>