

· 天线与系统 ·

中图分类号: TN011

文献标志码: A

文章编号: 1004-7859(2012)01-0064-03

# 左手材料在线极化微带贴片天线上的应用

王盼盼, 曹祥玉, 马嘉俊

(空军工程大学 电讯工程学院, 西安 710077)

**摘要:**为了实现提高天微带天线增益,减小天线波瓣宽度的目的,利用左手材料的零折射率特性,对线极化微带天线进行了增加覆盖层的处理。对由色散稳定的左手介质结构单元用组成的覆盖层进行了结构仿真优化。测量结果表明使用左手材料覆盖层后天线波瓣减小了8°,增益提高了1.8 dB。

**关键词:**左手介质;微带天线;增益

## A Left-handed Material Designed for Microwave Antenna Cover

WANG Pan-pan, CAO Xiang-yu, MA Jia-jun

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

**Abstract:** In order to improve the gain of the antenna and reduce the lobe, A microstrip antenna is designed by adding a covered layer with a left-handed material characteristic. The structure of the coverd layer composed of left-handed material units with steady dispersion is optimized by simulation. The experimental results show that the use of the left hand material as cover can make the lobe of the antenna reduce 8° and the gain increase 1.8 dB.

**Key words:** left-handed material; microstrip antenna; gain

## 0 引言

左手介质(Left-handed Material, LHM)最早是在1967年由前苏联物理学家 Veselago首先提出来的,因其同时具有负的介电常数和负的磁导率,导致在该媒质中传播的电磁波的电场、磁场以及波矢量三者构成左手螺旋关系,因其与遵循右手定则的普通介质不同而得名。它具有一系列超常规的电磁特性(包括负折射特性、平板聚焦特性、亚波长衍射和后向波特性等),在高指向性天线、雷达、聚焦微波波束、电磁波隐形、卫星通信等领域有着广阔的应用前景,成为了一个研究热点。LHM的完美成像效应除了用于光学成像<sup>[1]</sup>外,还可以用来扩充存储容量<sup>[2]</sup>、天线隐形<sup>[3]</sup>等;零折射率特性可以提高天线的定向辐射能力<sup>[4]</sup>,用于高指向性天线;相位补偿原理可以用来改变天线的匹配负载,提高天线辐射效率<sup>[5]</sup>;文献[6]提出了亚波长左手材料漏波天线。本文将主要讨论平板聚焦性在微带天线中的应用。

## 1 左手材料的零折射特性

本文研究的左手材料结构,由金属细线和金属开路环谐振器以一定的周期排列,其结构如图1所示。

其中,金属细线阵列结构产生等效负介电常数,其表现为类似电等离子体的色散特性<sup>[7-9]</sup>为

$$\epsilon_{\text{eff}}(\omega) = 1 - \omega_p^2/\omega^2 \quad (1)$$

式中:  $\omega_p$  为等离子频率,对等离子频率以下的电磁波,该金属细线结构具有等效为负的介电常数  $\epsilon_{\text{eff}}$ 。

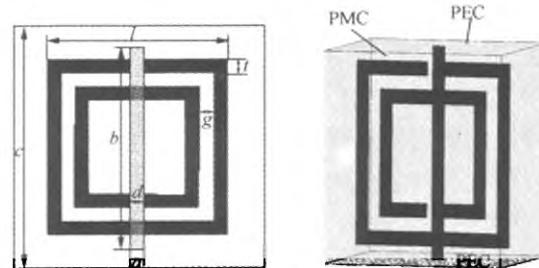


图1 SRR-SW结构的左手介质单元结构

本文采用方形SRR结构,由矩形SRR结构产生等效负磁导率,其表现为类似磁等离子体的色散特性

$$\mu_{\text{eff}}(\omega) = 1 - \frac{F\omega_0^2}{\omega^2 - \omega_0^2 - j\omega\Gamma} \quad (2)$$

式中:  $\omega_0$  是SRR结构的谐振频率;  $F, \Gamma$  为特定常数,和SRR的结构尺寸有关。

由式(1)可以看出,在金属细线结构中,当  $\omega < \omega_p$  (电等离子体频率)时,  $\epsilon_{\text{eff}}$  为负值;  $\omega > \omega_p$  时,  $\epsilon_{\text{eff}}$  为正值。在SRR结构中,  $\omega < \omega_0$  时,  $\mu_{\text{eff}} > 1$ ;  $\omega = \omega_0$  时,  $\mu_{\text{eff}}$  趋近于无穷;  $\omega_0 < \omega < \omega_{mp}$  (磁等离子频率)时,  $\mu_{\text{eff}}$  为负值;

基金项目:国家自然科学基金(60671001);陕西省基础研究基金(SJ08-ZT06)

通信作者:王盼盼 Email:wpp1234@yeah.net

收稿日期:2011-07-02 修稿日期:2011-10-24

$\omega > \omega_{mp}$  时,  $\mu_{eff}$  取值在 0 与 1 之间。将 SW 与 SRR 周期结构组合在一起, 就有可能在  $\omega < \omega_p$  且  $\omega_0 < \omega < \omega_{mp}$  的频段内得到  $\epsilon_{eff}$  和  $\mu_{eff}$  同时为负的左手材料。

再根据斯奈尔折射定律, 电磁波从空气入射到媒质的折射率  $n = \sqrt{\epsilon_{eff}\mu_{eff}}$ , 在  $\epsilon_{eff}$  和  $\mu_{eff}$  同时为负的区域, 当电磁波的频率接近于等离子频率  $\omega_p$  (或  $\omega_{mp}$ ) 时, 其折射率小于 1, 并且趋近于 0, 从而可以认为电磁波以不同入射角入射到左手材料上, 都能沿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近似平面波, 起到能量汇聚的功能, 如图 2 所示。

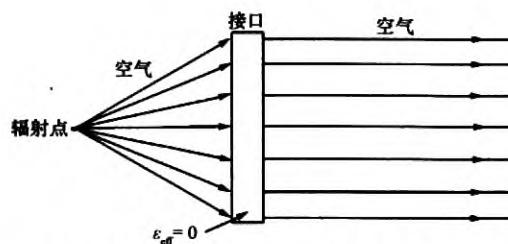


图 2 零折射率左手材料结构汇聚电磁波能量

## 2 左手材料覆层的设计

采用的 SRR-SW 结构的左手介质单元结构如图 2 所示,  $l = 3.9 \text{ mm}$ ;  $t = 0.3 \text{ mm}$ ;  $g = 0.3 \text{ mm}$ ;  $d = 0.3 \text{ mm}$ ;  $c = 4.5 \text{ mm}$ ;  $a = 0.3 \text{ mm}$ ;  $b = 4.5 \text{ mm}$ 。将它置与矩形的格子中, 填充材料的相对介电常数为 2.65。使用 AN-SOFTFSS 三维电磁仿真软件能对该结构在本征模式下的色散曲线进行有效的仿真。结构单元的边界条件分别是前后理想导磁体 (Perfect Magnetic Conductor, PMC), 与环平面平行, 上下理想导电体 (Perfect Electric Conductor, PEC) 与环平面垂直所示, 左右平面则采用主从周期边界条件。经过软件仿真得到的上述结构的色散曲线及数据如图 3 所示。然后根据文献 [10] 的理论可知左手材料特性的频段为 5.48 GHz ~ 6.22 GHz。

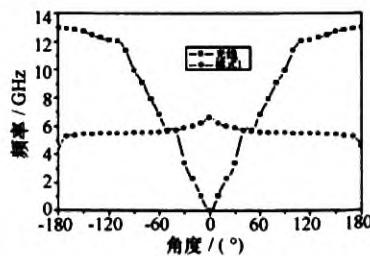


图 3 左手材料结构单元的色散曲线

因此, 该左手材料结构在 5.48 GHz 或 6.22 GHz 附近比较窄的频带内呈现零折射率特性。

## 3 左手材料加载微带天线及电磁仿真测量

侧馈线极化微带贴片天线结构如图 4a) 所示, 调节

天线工作频带中心频点到上述左手材料的双负频段的最大频率附近。该天线经过优化后的各项尺寸为:  $L_s = 32 \text{ mm}$ ;  $W_s = 28 \text{ mm}$ ;  $L = 19 \text{ mm}$ ;  $W = 16 \text{ mm}$ ;  $h = 0.78 \text{ mm}$ ;  $d_0 = 10.1 \text{ mm}$ ;  $f = 2.46 \text{ mm}$ ;  $\epsilon_r = 2.2$ 。其工作频段的中心频点为 6.08 GHz。将侧馈线极化微带贴片天线放置于天线辐射元上方距离  $d$  处, 并保证微带天线的辐射电场平行于金属条, 辐射磁场穿过金属开口环, 放置方法如图 4b) 所示。图 5 为加载左手材料覆层的线极化微带贴片天线的加工实物图, 天线和左手材料覆层通过 4 根长螺丝固定, 并且可以通过改变螺丝上的塑料管的长度调节  $d$  的大小。

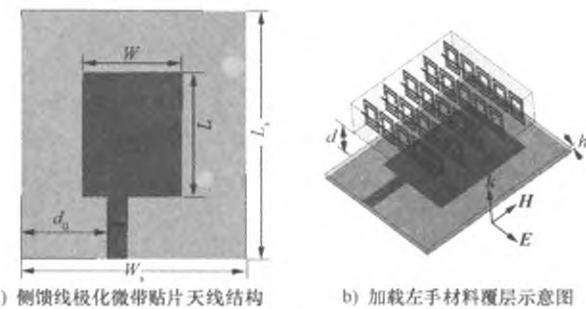


图 4 低折射率覆层天线结构示意图

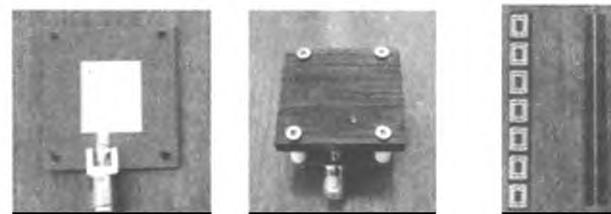


图 5 低折射率覆层天线加工实物图

改变塑料管的长度, 调节左手材料覆层与天线辐射元距离  $d$ , 天线的实测反射系数随频率变化曲线如图 6 所示, 未加载左手材料前天线的带宽比较窄, 反射系数最低为  $-11.04 \text{ dB}$ ;  $d = 15 \text{ mm}$  时,  $S_{11} < -10 \text{ dB}$  的带宽最宽, 反射系数最低值为  $-23.8 \text{ dB}$ , 虽然中心频点稍往右偏移, 但整个工作带宽仍然在 6.08 GHz 附近。

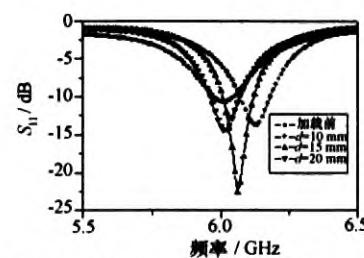


图 6 实测加载左手材料前后天线反射系数随频率变化曲线

图 7 为天线随  $d$  变化的  $XZ$  平面和  $YZ$  平面的方向图曲线。随着  $d$  的增加, 天线辐射的后瓣先增大后减小又增大趋势; 最大辐射反向的增益值随着  $d$  的增加先增大后减小,  $d = 15 \text{ mm}$  时达到最大值为 9.4 dB,

比加载左手材料前增加了 1.8 dB; 天线的波瓣宽度减小了 8°。

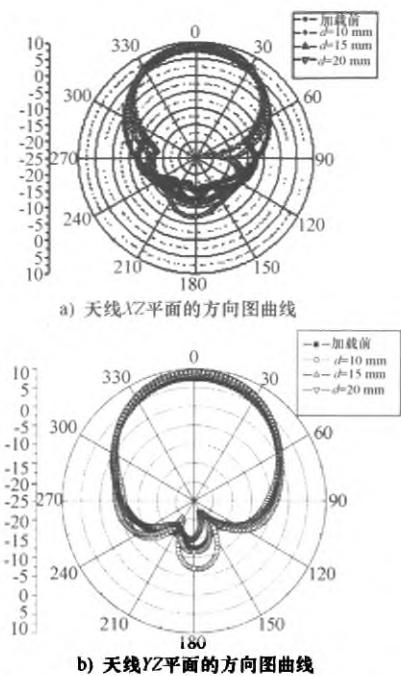


图 7 实测加载左手材料前后天线的方向图曲线

图 8 为天线加载左手材料前后增益随频率变化曲线, 加载左手材料前天线在 6.5 GHz 时, 最大增益值为 7.3 dB; 加载左手材料后天线获得最大增益均在中心频点 6.1 GHz, 在  $d=15$  mm 时, 达到最大值为 9.4 dB, 比加载前增益提高了 2.1 dB。

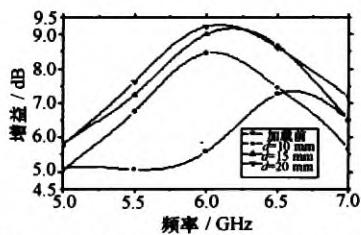


图 8 实测加载左手材料前后天线增益随频率变化曲线

以上结果证明, 加载左手材料覆层能够明显提高天线的辐射功率, 减小波瓣宽度以及后瓣功率, 天线性能有一定改善, 左手材料覆层的汇聚电磁波能量的作用得到了证实。

#### 4 结束语

本文基于 SRR-SW 左手材料微带天线的应用设计, 通过电磁仿真软件对所设计的天线进行了仿真并测量, 从测量结果看, 天线的增益提高了 1.8 dB, 天线的半功率波瓣宽度减小了 8°。说明左手材料的引入确实能改善天线的工作性能, 具有一定的应用前景。

#### 参 考 文 献

[1] Pendry J B. Negative refraction makes a perfect lens [J].

Physical Review Letters, 2000, 85(18): 3966-3969.

[2] Liu L, He S L. Near-field optical storage system using a solid immersion lens with a left-handed material slab [J]. Optics Express, 2004, 20(12): 4835-4840.

[3] Colladey S, Tarot A, Pouliquen P, et al. Use of electromagnetic band gap materials for RCS reduction [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2005, 44(6): 546-550.

[4] Stefan E, Gerard T, Pierre S, et al. A metamaterial for directive emission [J]. Physical Review Letters, 2002, 89(21): 1-4.

[5] Ziolkowski R W, Kipple A D. Application of double negative materials to increase the power radiated by electrically small antennas [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2003, 51(10): 2626-2640.

[6] Andrea A, Filiberto B, Nader E, et al. Theory and simulations of a conformal omni-directional subwavelength metamaterial leaky-wave antenna [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2007, 55(6): 1689-1708.

[7] Juan D B, Ricardo M, Francisco M, et al. Artificial magnetic metamaterial design by using spiral resonators [J]. Physical Review B, 2004, 69(1): 1-5.

[8] 何光华, 伍瑞新, 陈平. 金属线对结构中左手材料特性的实验验证 [J]. 微波学报, 2010, 26(3): 44-47.  
He Guanghua, Wu Ruixin, Chen Ping. Experimental verification of left-handed property of metal cut-wire pairs [J]. Journal of Microwaves, 2010, 26(3): 44-47.

[9] 陈小舟, 尹成友, 关闯. 复合左右手传输线平衡点的三点快速优化方法 [J]. 微波学报, 2011, 26(6): 22-27, 41.  
Chen Xiaozhou, Yin Chengyou, Guan Chuang. Three-point fast optimization algorithm to balance composite right/left-handed transmission line [J]. Journal of Microwaves, 2011, 26(6): 22-27, 41.

[10] Woodley J F, Wheeler M S, Mojahedi M. Determining the sign of the index in metamaterials composed of split ring resonators and strip wires using dispersion diagrams or the insertion phase [C]// The International Society for Optical Engineering, Toronto: University of Toronto, 2005.

王盼盼 女, 1986 年生, 硕士。研究方向为左手材料及其在微带天线的应用研究。

#### 声 明

为适应我国信息化建设, 扩大本刊以及作者的知识信息交流渠道, 本刊已被目次页上的数据库全文收录, 其作者文章著作权使用费与本刊稿酬一次性付给。如作者不同意文章被收录, 请在来稿时向本刊申明, 本刊将作适当处理。

## 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](http://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](http://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](http://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>