

# 大学生创新训练项目申请书

项目编号 s201910536033

项目名称 超材料加载的小型化超宽带天线设计

项目负责人 黄惠林 联系电话 13142149765

所在学院 物理与电子科学学院

学 号 201855110106 专业班级 电科 1801

指导教师 卞立安

E-mail dk061bianlian@126.com

申请日期 2019.04

起止年月 2019.04-2021.04

长沙理工大学

# 填 写 说 明

1、本申请书所列各项内容均须实事求是，认真填写，表达明确严谨，简明扼要

2、申请人可以是个人，也可为创新团队，首页只填负责人。“项目编号”一栏不填。

3、本申请书为大 16 开本（A4），左侧装订成册。可网上下载、自行复印或加页，但格式、内容、大小均须与原件一致。

4、负责人所在学院认真审核，经初评和答辩，签署意见后，将申请书（一式两份）报送××××大学项目管理办公室。

## 一、基本情况

项目名称	超材料加载的小型化超宽带天线设计						
所属学科	学科一级门:	工学		学科二级类:	电子信息类		
申请金额	20000 元		起止年月	2019 年 4 月至 2021 年 4 月			
负责人姓名	黄惠林	性别	女	民族	汉	出生年月	2001 年 11 月
学号	201855110106	联系电话	宅: 0731-85258225 手机: 13142149765				
指导教师	卞立安	联系电话	宅: 0731-85258225 手机: 15616195746				
负责人曾经参与科研的情况	参与湖南省教育厅项目 (项目编号: 18C0239)						
指导教师承担科研课题情况	主持湖南省自然科学基金一项 (项目编号: 2019JJ50671) 主持湖南省教育厅项目一项 (项目编号: 18C0239)						
指导教师对本项目的支持情况	提供仿真软件, 教授设计方法, 外联实验平台, 指导加工测试						
项目组主要成员	姓名	学号	专业班级	所在学院	项目中的分工		
	薛孟	201855110138	电科 1801	物电学院	理论计算		
	惠新元	201855110110	电科 1801	物电学院	软件仿真		
	肖应林	201855110120	电科 1801	物电学院	资料查阅		
	许朗明	201855110134	电科 1801	物电学院	资料查阅		

## 二、 立项依据（可加页）

### （一） 项目简介

为了拓宽微带贴片天线的工作带宽、减小天线体积，拟对天线结构进行超材料加载。通过合理设计超材料单元来改变天线电流分布，以期实现天线的宽带化和小型化。

### （二） 研究目的

针对微带贴片天线辐射频带较窄的现状，利用超材料加载的方法，在不增加天线物理尺寸的条件下，拓宽其工作频带，实现天线的宽带化和小型化。

### （三） 研究内容

设计超材料图案以有效改变天线电流分布；利用等效电路法分析超材料电特性；研究超材料结构尺寸对天线辐射频带、增益、方向性等特性的影响；分析仿真结果与实验测试结果间存在差异的主要原因。

### （四） 国、内外研究现状和发展动态

微带天线具有体积小、剖面低、制造工艺相对简单、便于共形等特点，在很多领域比如无线通信、雷达、卫星导航等方面得到了广泛的应用。然而，传统的微带天线频带较窄，并不能满足日益增长的应用需求，近来超材料和人工电磁结构的兴起，为天线设计提供了很多新途径<sup>[1]</sup>。

新型电磁材料统称为 **Metamaterials**，其中 **Meta** 是一个古希腊的单词前缀，有“超”的意思，一般译为“超材料”，亦即新型电磁材料<sup>[2]</sup>。这些材料都是人工合成材料，能够通过人为的方式，构造出不同的介质基板结构，实现特定的电磁功能，在电磁领域表现出一些在自然界中不存在的现象，如频率禁带、负折射率等<sup>[3-5]</sup>。当把它们应用于天线设计领域中时，可显著改善天线单元的性能，如提高增益、增加带宽等<sup>[6]</sup>。这些人工材料的出现，为克服当前在天线设计领域遇到的一些技术上的限制提供了可能的解决方案。新型电磁材料所具备的独特电磁特性使其成为电磁领域一个研究热点，其中尤以人工磁导体(**Artificial Magnetic Conductor, AMC**)的研究和应用最为广泛和深入<sup>[7-9]</sup>。

研究人员从倒 L 型单极子天线入手，分析了其在理想导体(**Perfect Electric Conductor, PEC**)接地表面时的不匹配现象，进而引入三种不同的 **AMC** 结构接地板来使得该天线达到匹配，并显著增强了天线在其中心频率处的输入阻抗带宽<sup>[10]</sup>。**Wang** 等人研究了将 **AMC** 表面应用于接地板的地剖面谐振腔天线。该天线由接地板和金属电磁介质层阵列构成，该阵列起到部分反射表面的作用，同时使

用微带天线来作为谐振腔的馈源，使用 AMC 接地板替代 PEC 接地板实现了将天线的剖面降低 50%<sup>[11]</sup>。

Gonzalo 利用基底打孔电磁带隙结构,很好地抑制了贴片天线的表面波，减小了天线后向辐射，使天线增益有了大幅的提升。Llombart 等人提出的平面圆对称 EBG 结构，具有易于制作、抑制所有沿径向传播的表面波的优点，使印刷天线的带宽提高到 20%。Coccioli 等人将共面紧凑式光子晶体结构用于缝隙耦合馈电贴片天线，成功抑制了表面波，使得天线的边射增益提高了 3 dB<sup>[12]</sup>。

Hosseinipannah 等人在原来传统 AMC 结构介质基板上，添加了第二层频率选择表面结构，构成双层 AMC(2L-AMC)结构,将传统 AMC 结构中使用的单层厚介质基板使用两层薄介质基板来替代，在同等基板厚度下达到同样的性能。最重要的是，这样的双层薄介质结构消除了传统设计中单层厚介质基板价格昂贵且难以制得的影响，同时为天线的性能优化提供了更多的可调节参数，更加有利于天线的精细化调节<sup>[13]</sup>。

通过使用 AMC 结构来合理设计微带天线的辐射贴片和接地板，使二者在相同的频段分别产生电谐振和磁谐振，等效于构造了具有负介电常数和负磁导率的介质，从而构成了一种基于新型电磁材料的微带天线，实现了一般天线所不能达到的性能<sup>[14]</sup>。通过对以上文献内容分析综合，可以看出，仿真和测试结果均表明使用新型电磁材料结构所设计的天线带宽得到了极大提升，同时，在整个带宽范围内也保持了较高的增益<sup>[15]</sup>。

武警工程大学天线研究人员通过利用“四方形”超材料单元和周期条形缝隙刻在普通微带天线的辐射贴片和接地板上，设计了 3.67GHz-14.17GHz 的小型化高增益微带天线<sup>[16]</sup>。中北大学张敏等人通过在天线的辐射贴片和接地板上分别刻蚀花型和十字型交叉图案，设计了宽频带定向微带贴片天线<sup>[17]</sup>。

文献[18]提出了基于支节加载的人工磁导体结构并应用于微带天线中，通过合理优化各单元加载支节的非周期分布来改善天线口径场。由于 AMC 结构在 E 面的尺寸对天线表面电流分布有很大的影响，加载支节的指向与微带天线的 E 面一致，其等效电路和普通 AMC 结构类似，该 SLAMC 结构也可以等效为一个并联的 LC 谐振回路，可以看作是表面贴片结构形成的自谐振阻抗  $Z_g$  和接地介质板引入的电感  $L_d$  的并联。其中金属支节可等效为类容指电容  $C_i$ ，随着支节长度  $L$  的增加，电容  $C_i$  的数值逐渐增大，且呈线性增长趋势。所以，支节长度  $L$  对 SLAMC 结构的容抗部分有很大的影响，可以明显改变其表面电流分布。加载优化后的非周期 SLAMC 结构，使得天线的近场电场强度明显增强，且幅度分布变得更加一致。因此，该天线获得了很高的增益和口径效率，增益超过了 12 dBi，口径效率为 83.3%。

文献[19]中将多个周期型蘑菇型超材料结构作为新型辐射元，采用基片集成

波导缝隙馈电,实现了 60 GHz 宽带高效率的平面天线设计。由于传统微带天线是一种谐振天线,其尺寸跟工作频率相对应。当工作在较高或较低频率时,天线尺寸都会面临较大或较小等问题而难以设计。但是,超材料具有很好的谐振特性,其谐振特性不仅与单元结构尺寸相关,而且与相邻单元间距、基板厚度以及单元个数相关,很容易实现高效率的电大或电小天线。

文献[20]提出了基于高阻抗表面的高效率低剖面蝶形金属偶极子天线,在金属偶极子天线下方加载多个周期排布的高阻抗表面。由于 HIS 具有远大于自由空间阻抗的表面阻抗,在特定频段内呈现类似于理想磁导体的零相位反射特性,使偶极子天线在低剖面时仍能实现同相叠加的辐射性能,获得较高的辐射效率。这不仅避免了介质损耗,提高了天线的辐射效率,而且天线的高度可降低至 0.1 个波长以内,比较适合用于高效率的平面天线设计。

由此可见,这种将新型电磁材料应用到天线中的设计方法具有非常广阔的研究前景。

参考文献:

- [1] Zhining Chen. Development of ultra-wideband antennas[J]. Journal of Electromagnetic Engineering and Science, Vol.13, No.2, 63-73, Jun. 2013.
- [2] 叶俊.基于超材料理论的新型微带天线设计与研究[D].南京:南京航空航天大学, 2012.
- [3] 江洪,王微,许露.超材料研究及应用发展趋势[J].新材料产业, 2014(9): 9-11.
- [4] 刘涛,曹祥玉,张广,等. Metamaterials 技术及其天线应用综述[J]. 系统工程与电子技术, 2007(12): 2192-2196.
- [5] 穆欣.电磁带隙结构及其在微带天线中的应用[D].西安:西安电子科技大学, 2012.
- [6] 季灵.平面周期结构在天线设计中的应用[D].合肥:中国科学技术大学, 2014. [7] 刘振哲.基于 LTCC 超材料基板的微带天线研究[D].成都:电子科技大学, 2013.
- [8] 王惊婧.人工磁导体结构的研究及在天线中的应用[D].南京:南京理工大学, 2012.
- [9] 彭麟.微波平面周期结构及其应用研究[D].成都:电子科技大学, 2013.
- [10] Foroozesh A, Shafai L. Application of the artificial magnetic conductor ground plane for enhancement of antenna input impedance bandwidth. 2009 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, 1-4.
- [11] Wang S, Fersidis A, Goussetis, et al. Artificial magnetic conductors for low-profile resonant cavity antennas[J]. IEEE Antennas and Propagation Society Symposium, 2004(2): 1423-1426.
- [12] 张玉发,刘春恒,吕跃广,等.EBG 结构在天线设计中的应用及发展动态[J].舰船电子工程, 2008(1): 21-28, 5.

- [13] Hosseinipansh M, WuQ, Fu J H. A novel design technique for artificial magnetic conductor [C].2007 International Symposium on Microwave , Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications, 3942.
- [14] 闫敦豹.人工磁导体结构及其应用研究[D].长沙: 国防 科学技术大学, 2006.
- [15] Foroozesh A, Shafal L. Investigation into the application of artificial magnetic conductors to bandwidth broadening , gain Enhancement and Beam Shaping of Low Profile and Conventional Monopole Antennas[J].IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2011, 59(1): 4-20.
- [16] 张世全, 全祥锦, 曾俊, 江克侠.一种基于超材料的小型化宽带微带天线[J]. 微波学报, 2016, 32(3):15-18.
- [17] 刘敏,张斌珍, 段俊萍.基于超材料的宽频带定向性微带天线的设计与研究 [J]. 机械工程学报,2018, 54 (9): 64-68.
- [18] Yang W C, Che W Q, Wang H. High-gain design of a patch antenna using stubloaded artificial magnetic conductor[J].IEEE Antennas Wireless Propagation Letters, 2013, 12(5):1172-1175.
- [19] Yang W C , Chen D X , Chen W Q . High-efficiency high isolation dual-orthogonally polarized patch antennas using non-periodic R AMC structure[J]. IEEE Transactions on Antennas & Propagation, 2016, 99: 2632700.
- [20] Liu Y, Luk K M, Yin H C. Bowtie patch antenna with electric dipole on a HIS substrate [ C ] // International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology, 2010.

#### (五) 创新点与项目特色

1. 超材料是当前电磁学的研究热点，将超材料技术引入到天线设计中，对超材料和天线的发展均有促进作用；
2. 实现小型化和宽带化一直是天线设计的重点和难点，利用超材料加载来提高天线性能是一种有效手段。

#### (六) 技术路线、拟解决的问题及预期成果

##### 1. 技术路线：

设计如图 1 所示的具有四分之一波长馈线的方形贴片天线。利用 CST 软件仿真其辐射性能。

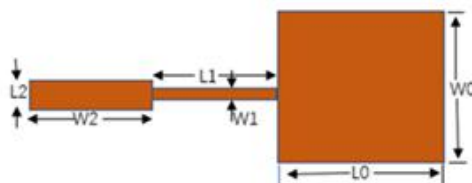


图 1. 微带矩形贴片天线

利用在贴片上加载类雪花状的花纹结构，且在接地板上刻槽，通过改变贴片上的电流分布、增加接地板等效电感，实现超宽带辐射。同时，天线尺寸保持不变。具体天线结构如图 2 所示。最后，对结构进行加工和测试，在微波暗室中利用矢量网络分析仪、喇叭天线和转台等测试天线特征参数。

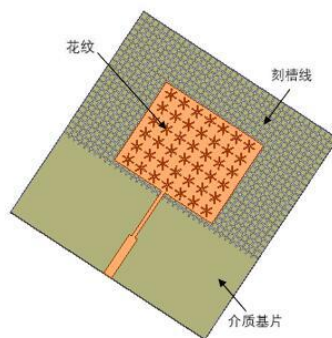


图 2. 超材料加载的贴片天线

## 2. 拟解决的问题

(1) 如何通过理论分析构成合理超材料单元来提高天线辐射能力是本项目要解决的关键问题之一；

(2) 如何对超材料结构进行共形设计是本项目要解决的另一关键问题。

## 3. 预期成果

(1) 通过超材料加载实现天线的小型化和宽带化；

(2) 发表论文一篇。

## (七) 项目研究进度安排

2019. 04-2020. 04

设计出特定频段下性能达标的普通贴片天线；

设计超材料加载的贴片天线，研究超材料结构各部分尺寸对天线带宽、增益、方向性等参数的影响。

2020. 04-2021. 04

熟悉天线测试仪器，对天线进行加工、测试。

## (八) 已有基础

### 1. 与本项目有关的研究积累和已取得的成绩

项目组成员已掌握基本的电路分析、数值计算和电磁场有关理论；能够使用 AutoCAD 进行工程制图；了解 CST 和 HFSS 两种专业天线仿真软件的操作流程。在前期的研究中，已经熟悉了常见微带天线的基本原理，熟悉其辐射特性。

在前期工作中，研究了多孔透镜超材料对天线辐射场分布的影响。如图 3 所示，将弧形介质板打上非均匀空气孔，这样可改变介质的等效介电常数，实现波



形变换。由图 4 可知，这种结构能够突出局部增益，可将增益往对称轴中间集中。

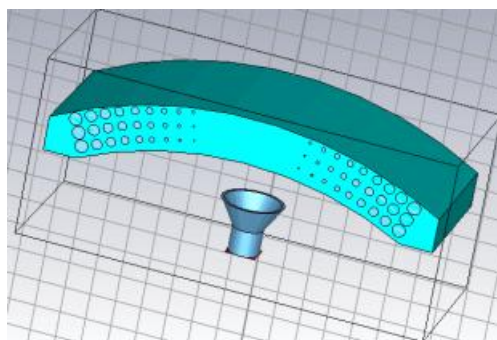


图 3. 多孔透镜超材料天线

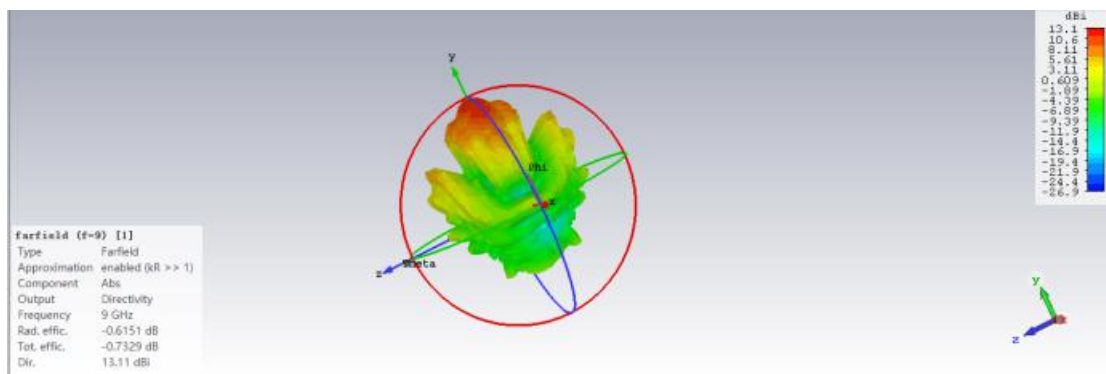


图 4. 多孔透镜天线方向图

## 2. 已具备的条件，尚缺少条件及解决方法

项目依托单位具有 HFSS、CST、Matlab 等可用于天线设计的软件，为了微带天线和超材料的仿真提供了平台。但依托单位不具备天线测试环境。鉴于学院与国防科技大学/湖南大学的良好合作关系，可通过外协方式到两校有关系所进行天线测量。

## 三、 经费预算

开支科目	预算经费 (元)	主要用途	阶段下达经费计划 (元)	
			前半阶段	后半阶段
预算经费总额	20000		7300	12700
1. 业务费	10000		3300	6700
(1) 计算、分析、测试费	2000	计算与测试	800	1200
(2) 能源动力费	0		0	0
(3) 会议、差旅费	5000	学术交流、出差	2500	2500
(4) 文献检索费	0		0	0

(5) 论文出版费	3000	论文版面费	0	3000
2. 仪器设备购置费	2000	购置小型设备	2000	0
3. 实验装置试制费	4500	加工、学生补贴	2000	2500
4. 材料费	3500	实验耗材	0	3500
学校批准经费	20000			

#### 四、 指导教师意见

项目紧跟天线技术发展前沿，利用超材料技术实现天线的小型化和宽带化是一种有效的手段。项目思路清晰，研究人员时间充足、精力充沛，这些均为项目的顺利开展打下了良好的基础，同意指导。

导师（签章）：

年 月 日

#### 五、 院系大学生创新创业训练计划专家组意见

该项目可充分锻炼学生综合运用微波技术、电路分析以及工程制图的能力，研究思路清晰，可行性强，推荐校级项目。

专家组组长（签章）：

年 月 日

#### 六、 学校大学生创新创业训练计划专家组意见

推荐省级项目

负责人（签章）：

年 月 日

## 七、 大学生创新创业训练计划领导小组审批意见

同意

负责人（签章）：

年 月 日