



Dielectric Embedded Microstrip Antenna

介质埋藏 微带天线

倪国旗 著



國防工業出版社

National Defense Industry Press

介质埋藏微带天线

Dielectric Embedded Microstrip Antenna

倪国旗 著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

介质埋藏微带天线 / 倪国旗著. —北京:
国防工业出版社, 2012.7

ISBN 978-7-118-07712-4

I. ①介… II. ①倪… III. ①微波天线
IV. ①TN822

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 116293 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850 × 1168 1/32 印张 6 3/8 字数 152 千字

2012 年 7 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 45.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。

4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革

开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

**国防科技图书出版基金
评审委员会**

国防科技图书出版基金

第六届评审委员会组成人员

主任委员 刘成海

副主任委员 宋家树 蔡 镭 程洪彬

秘书长 程洪彬

副秘书长 邢海鹰 贺 明

委 员 于景元 才鸿年 马伟明 王小谟
(按姓氏笔画排序)

甘茂治 甘晓华 卢秉恒 邬江兴

刘世参 芮筱亭 李言荣 李德仁

李德毅 杨 伟 肖志力 吴有生

吴宏鑫 何新贵 张信威 陈良惠

陈冀胜 周一宇 赵万生 赵凤起

崔尔杰 韩祖南 傅惠民 魏炳波

前 言

微带天线具有重量轻、体积小、剖面薄、易共形、易制作、能双频工作、便于组阵、便于组合设计等优点；而介质埋藏天线则具有可减小体积、隐蔽性好、频带较宽、性能不易受环境影响等优点，如果能将这两者的特性集于一体，则天线的性能就更理想了。该书研究了这两者的结合产物——介质埋藏微带天线。

介质埋藏微带天线是指将微带天线全部埋藏于介质中，并且规定微带天线的接地金属板的任何边缘都应 与微带天线基片相对应的任何边缘之间有一定的距离，即接地板面积尺寸必须小于基片面积尺寸。它与介质覆盖微带天线的主要区别是接地板也全部埋藏于介质中，有时甚至还没有专门的接地板。

本书主要做了如下工作。

(1) 将介质覆盖对微带天线性能影响的研究，拓宽到作为一种天线来研究的层面上，提出了介质埋藏微带贴片天线的结构形式，进行了天线的一个新方向的研究尝试，拓宽了微带天线的研究领域。

(2) 提出了介质埋藏立体式八木天线的新结构，首次设计研究出了一种新型的介质埋藏八木天线结构形式。该结构类似于三明治，因此也称“三明治”结构，该种天线结构保证了微带八木天线的主波束方向能垂直天线基片平面。

(3) 扩充了八木天线中反射振子的作用原理，研究出了可明显改善介质埋藏立体式八木天线性能的“栅栏”式结构。这种结构是在各振子两旁增加寄生贴片，垒起“栅栏”，形成电磁波的反

射和导引通道。

(4) 首次研究和设计出了介质埋藏立体式八木天线线阵结构,为研究新型的平板式相控阵天线打下了一定的基础。

(5) 在设计方法上,对微带贴片天线结构改造的研究提供了一种新的有益尝试。

此外,本书还从介质埋藏微带天线集成度高、可做成小体积的相控阵、低成本的卫星地面接收天线,以及具有良好的隐蔽性和防环境侵害性的特点等方面论证了介质埋藏微带天线具有广阔的发展前景和巨大的应用价值。

本书专业强,主要适用于从事天线设计研究的科技工作者和从教人员,希望能对他们的工作有所裨益。

本书主要由余白平校对,梁军、张涛、倪围等也参与了校对及其他相关工作。

书中涉及的天线设计研究内容历经理论研究、仿真实验、实物制作、测试验证等阶段,历时7年才成稿。在此期间,得到了国内外同行的大力支持和帮助。借此机会,作者要特别感谢良师北京理工大学高本庆,澳大利亚格里菲斯大学鲁军伟教授,还要感谢清华大学冯正和教授,北京邮电大学高攸纲教授。此外,要感谢桂林空军学院张道炽教授及本书的责任编辑国防工业出版社的白天明。

作者

2012.1

Preface

The microstrip antenna is light, smart, thin, conformal, fabricate convenient, working on dual-band, easy arranged array, and combination design convenient. The dielectric embedded antenna is more smart, covert, wide band, and not interferential by the environment. If they can be integrated, the performance of the antenna is preferable. In This book, the Dielectric Embedded Microstrip Antenna (DEMA) is described. The DEMA is integrated by the microstrip antenna and the dielectric embedded antenna.

The DEMA is antenna of microstrip antenna all embedded in the dielectric. There is a distance between any edge of grounding metal plate of microstrip antenna and any corresponding edge of the substrate of microstrip antenna. Namely, the area size of grounding metal plate must be less than the substrate size area. The trait of DEMA is the grounding metal plates of microstrip antenna all embedded in the dielectric. Sometime, the DEMA has not appropriative grounding metal plate. But dielectric coverage microstrip antenna is not such.

This book mainly describes the following matters:

(1) The new concept of the Dielectric Embedded Microstrip Patch Antenna (DEMPA) is given by the performance of the coverage microstrip antenna researched. A new research direction of antenna is attempt, so that a research direction of microstrip antenna is extended.

(2) The new structure of the Dielectric Embedded Three-Dimensional Yagi Antenna (DETDYA) is given. The newly configuration of DETDYA researched is headmost. It is the same as a sandwich, so it can be called sandwich structure, which guarantees uprightness between beam direction and the substrate flat plane of microstrip Yagi antenna.

(3) The theory of reflector of the Yagi antenna is extended. The "barrier" configuration of markedly improving the capability of DETDYA is researched. The reflection is used as barrier in the DETDYA. So as to, the reflection or transmission channel of electromagnetic wave is formed.

(4) The DETDYA array researched is headmost, in order to explore new type of flat-Phased Array Antenna laid a certain foundation.

(5) On the methods of antenna design, the research of microstrip patch antenna structure improved is new and useful attempt.

Also, this book demonstrates the bright future and great value of DEMA for its high integration, easily made small size of phased array and low cost satellite antenna, as well as good concealment and good prevention of environmental violations.

Besides, this book is very professional. It is mainly for the antenna researcher and teaching staffer. I wish that it will be beneficial for their work.

The whole book is mainly proofread by Yu Baiping, Liang Jun, Zhang Tao, Ni Wei and others also participate in it or something related.

As the antenna design content related this book has been through theory researching, simulating, physical production, testing and verification, it took seven years to complete the first draft. During this peri-

od, domestic and foreign counterparts helped me a lot, taking this opportunity, the authors especially want to thanks his mentors Professor Gao Benqing in Beijing Institute of Technology and Professor Lu Junwei in Griffith University, then thanks Professor Feng Zhenghe in Tsinghua University and Professor Gao Yougang in Beijing University of Posts and Telecommunications, besides, thanks Professor Zhang Dao-Chi in Guilin Air Force Academy and Editor Bai Tianming in National Defense Industry Press and so on.

The Author

2012. 1

目 录

第一章 概述	1
1.1 研究介质埋藏天线的意义	1
1.2 介质埋藏微带天线的研究方法	2
1.2.1 介质埋藏微带天线定义及其与微带天线的比较	2
1.2.2 借鉴微带天线的结构设计方法	5
1.2.3 借鉴微带天线的分析方法	5
1.3 主要内容和结构	7
1.4 主要创新点	8
第二章 微带天线基础	10
2.1 微带线概述	10
2.1.1 微带线结构及缝隙微带线	11
2.1.2 微带线性能描述	13
2.1.3 微带线的损耗及尺寸选择	23
2.2 微带天线基本原理与计算分析	27
2.2.1 微带天线的定义及结构	27
2.2.2 微带天线辐射机理及辐射场	28
2.2.3 微带天线的计算	35
2.2.4 微带天线的分析方法综述	38
2.3 微带天线技术的研究历程和进展	40
2.3.1 微带天线的起源及研究历程	41
2.3.2 微带贴片天线的主要技术及发展	41
2.3.3 微带贴片天线阵列技术	45

2.3.4	微带天线的发展趋势	49
第三章	介质埋藏微带天线基本问题探讨	52
3.1	介质埋藏天线的研究进展	52
3.1.1	介质覆盖微带贴片天线的研究情况	53
3.1.2	介质埋藏圆杆线状天线的研究情况	56
3.2	埋藏介质材料特性及应用	57
3.2.1	介质的介电常数对频率的影响	57
3.2.2	介质各向异性	58
3.2.3	介质材料的选择	59
3.3	介质埋藏微带天线的馈电	61
3.3.1	微带线馈电法的优缺点	61
3.3.2	同轴线馈电法的优缺点及模型	61
3.3.3	电磁耦合型馈电方法	64
3.3.4	介质埋藏微带天线阵的馈电方法	64
第四章	介质埋藏准微带对称振子天线设计与研究	67
4.1	介质埋藏准微带振子天线模型的建立	68
4.1.1	介质中振子天线的积分方程法分析	68
4.1.2	准微带振子天线的定义	80
4.1.3	介质埋藏准微带振子天线的定义及 结构模型	81
4.2	介质埋藏准微带振子天线设计与研究	82
4.2.1	几个主要参数的设计考虑	82
4.2.2	介质埋藏准微带振子天线的设计考虑	84
4.3	数值计算、仿真实验和实物测试结果分析	88
4.3.1	自由空间的对称线振子天线实验研究	88
4.3.2	自由空间的对称薄片振子天线实验研究	88
4.3.3	准微带振子天线实验研究	90
4.3.4	介质埋藏准微带振子天线的实验及研究	91
4.4	振子尺寸变化对介质埋藏准微带振子天线性能 影响研究	94

4.4.1	振子长度变化对天线性能的影响研究	94
4.4.2	振子宽度变化对天线性能的影响研究	96
4.5	基片形状对介质埋藏准微带振子天线性能的影响研究	97
第五章	介质埋藏准微带立体式八木天线设计与研究	99
5.1	多层介质中埋藏天线的理论分析模型	100
5.1.1	多层介质中微带天线的理论分析模型	100
5.1.2	多层介质中埋藏准微带八木天线的理论分析设想	108
5.1.3	八木天线设计理论及经验原则	108
5.2	平面式微带贴片八木天线研究	114
5.2.1	平面式微带贴片八木天线定义	114
5.2.2	振子为矩形贴片的平面微带八木天线	115
5.2.3	振子为正方形贴片的平面微带八木天线	116
5.2.4	平面式微带准八木天线	118
5.3	介质埋藏准微带立体式八木天线设计与研究	120
5.3.1	介质埋藏准微带立体式八木天线定义	120
5.3.2	自由空间中变形八木天线的设计	122
5.3.3	介质埋藏准微带立体式八木天线设计	123
5.4	介质埋藏准微带立体式八木天线实验与结果分析	128
5.4.1	自由空间中变形八木天线的实验结果及分析	128
5.4.2	介质埋藏准微带立体式八木天线的实验及结果分析	133
5.4.3	变形八木天线与介质埋藏准微带立体式八木天线性能比较	137
5.5	介质埋藏准微带立体式八木天线的改进	138
5.5.1	增加旁边栅栏	138

5.5.2	结构改进后实验结果分析与解释	140
第六章	介质埋藏准微带立体式八木天线阵设计与研究	143
6.1	介质埋藏准微带立体式八木天线线阵 分析模型研究	143
6.1.1	微带振子天线线阵辐射特性理论分析	143
6.1.2	介质埋藏准微带立体式天线阵辐射特性 理论研究	146
6.1.3	平面式微带八木天线线阵实例	146
6.2	介质埋藏准微带立体式八木天线二元阵 设计与研究	150
6.2.1	介质埋藏准微带立体式八木天线 二元阵结构	151
6.2.2	介质埋藏准微带八木天线二元阵设计	152
6.2.3	天线阵元相邻间距变化对天线阵性能的 影响分析	155
6.2.4	提高天线性能的改进措施	158
6.3	介质埋藏准微带立体式八木天线四元阵 设计与研究	158
6.3.1	四元阵的设计	159
6.3.2	仿真与测试结果分析	159
6.3.3	四元阵结构的改进	161
6.4	基片介电常数的变化引起介质埋藏准微带天线 设计误差分析	162
第七章	介质埋藏准微带天线研究工作展望	165
7.1	研究工作设想	165
7.1.1	增加介质埋藏准微带立体式八木天线阵阵元数 及工作机理研究	165
7.1.2	开展介质埋藏准微带立体式八木天线的 相控阵化研究	166

7.1.3	进行介质埋藏准微带立体式八木天线阵 智能化控制的研究	166
7.1.4	开展新类型天线埋藏于介质中的研究	167
7.2	前景展望	167
7.2.1	集成和共形	168
7.2.2	减小体积的相控阵	168
7.2.3	低成本的卫星地面接收天线	169
7.2.4	隐蔽性和防环境侵害性	170
参考文献		171

CATALOGUE

Chapter 1 Summary	1
1.1 The meaning of dielectric embedded antenna researched	1
1.2 The method of dielectric embedded microstrip antenna researched	2
1.2.1 The definition of dielectric embedded microstrip antenna and compare with dielectric embedded microstrip antenna and microstrip antenna	2
1.2.2 Design methods for reference about structure of Microstrip Antenna	5
1.2.3 Analysis methods for reference about Microstrip Antenna	5
1.3 Introduce of contents on this book	7
1.4 The main innovation	8
Chapter 2 The basic principles of microstrip antenna	10
2.1 The microstrip lines	10
2.1.1 The structure of microstrip lines and slot microstrip lines	11
2.1.2 The description on performance of microstrip lines	13
2.1.3 The losses and the size selection of microstrip lines ...	23
2.2 The basic principles and calculation analysis of microstrip antenna	27
2.2.1 The definition on microstrip antenna and structure of microstrip antenna	27