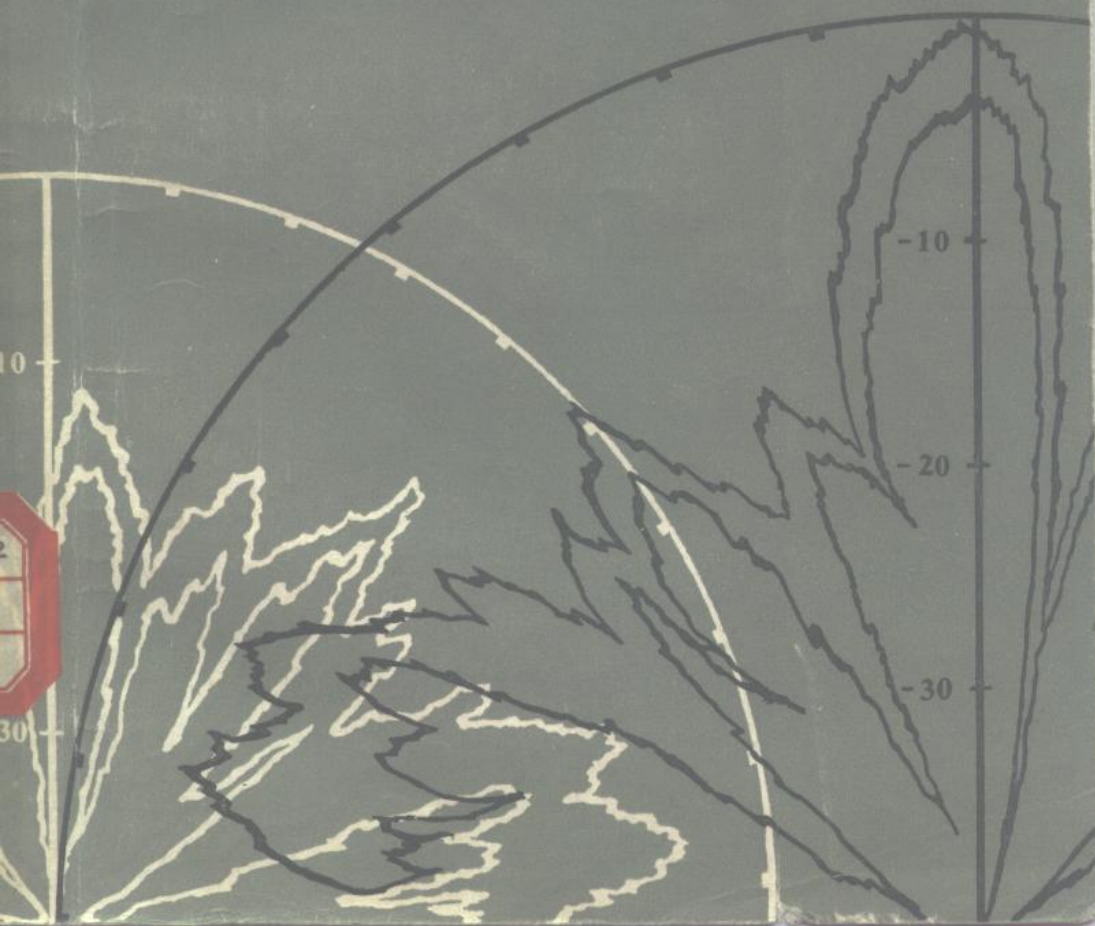


MICROSTRIP ANTENNAS

微带天线

〔美〕 I·J·鲍尔 P·布哈蒂亚 著

梁联倬 寇廷耀 译



微带天线

[加] I·J·鲍尔 P·布哈蒂亚 著

梁联倬 寇廷耀 译

杨弃疾 校

电子工业出版社

内 容 简 介

本书讲述了微带天线及其阵列的分析和设计。包括微带辐射器的各种分析模型；矩形、圆形、多角形微带贴片天线的各种方案，性能分析和设计公式以及微带行波天线、微带缝隙天线和微带阵列天线的各种设计方案和实例。在附录中给出了微带天线设计及微带天线制造的资料。全书分七章和三个附录，每一章和每一个附录后面都列有大量参考文献。

本书可供从事微波技术与天线方面的科研人员和工程技术人员、大专院校的教师、研究生和高年级学生阅读。

微 带 天 线

〔加〕I·J·鲍尔 P·布哈蒂亚 著

梁联倬 寇廷耀 译

杨弃疾 校

责任编辑：邓又强

*

电子工业出版社出版(北京市万寿路)

山东电子工业印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

开本：850×1168 1/32 印张：10 字数：268.8千字

1984年12月第1版 1985年3月第1次印刷

印数：11000册 定价：2.30元

统一书号：15290·89

译 者 的 话

由于微带天线在制造和性能方面的许多优点,尤其是结构薄、重量轻并可附于物体壁面等特点,近来发展非常迅速,类型日益增多,已有许多成功的设计并应用在各种系统中。我国在微带天线方面的研究和应用也有了一些进展,并正在形成自己的特点。由 I·J·鲍尔和 P·布哈蒂亚合著的这本“微带天线”,是一本关于微带天线的综述性的著作。作者收集了大量资料,比较系统地讲述了微带天线的各种结构形式、辐射原理、理论模型、数学分析以及设计方法,适合于对微带天线的概括了解和工程设计参考。

本书不是专著,书中所给的公式和讲述的概念,有不少是直接引用文献的,在个别地方难免未说清楚,为帮助读者阅读,对其中明显未说清楚之处略加注释,对一些刊误,也直接作了改正。

限于水平,译文中错误和不妥之处在所难免,望读者随时指出,以便改进。

译 者

于清华大学无线电电子学系

前 言

利用微带谐振器的辐射特性的想法是几年前提出来的。之后，在各种应用领域内，有关微带天线的应用研究得到了迅速发展。目前，在微波天线的广阔领域里，微带天线已经发展成为一个独立的课题。微带天线之所以能够广泛流行，是因为它具有“平面”结构，因而具有印制电路工艺技术的全部优点。微带天线基本上是一块印刷电路板，全部功率分配器、匹配网络、移相电路和辐射器都光刻在板的一侧，板的另一侧是金属地板，所以，微带天线可以直接装在飞机或导弹的金属表面上。关于这种天线的理论和设计的许多论文都分散在一系列的技术期刊和报告中，目前还没有一本关于微带天线的综合教科书。本书就是想用来填补这个空白的。

本书给出各种结构的微带天线理论和设计的详细说明。因此，本书的目的不仅在于帮助研究生和研究人员，而且对于天线工程师也提供一个设计工具。对于研究生水平的学生，本书足够有一个学期的课程的内容。

本书分七章和三个附录，每一章和每一个附录后面都列有参考文献目录。各章都讲述了微带天线或阵列的分析和设计。只要有可能，都尽量用实验验证理论预期的结果。在各种天线结构中，对重要天线的特点进行了讨论，同时给出了近似的和严格的分析、简单的设计公式、等效电路、辐射特性以及激励方法。在微带阵列天线的讨论中，也作了同样深度的分析和讲述。

第一章首先回顾了微带天线的发展历史，同时研究了微带天线的定义和优缺点。而后叙述了微带辐射器，包括微带天线的辐射机理，同时讨论了实际中使用的微带天线的各种结构和其它可

能的结构。最后，复习了微带天线的激励方法。

第二章是讨论矩形微带天线，讲述了分析这种结构的近似理论和严格理论，给出辐射特性（例如辐射方向图、波瓣宽度、输入阻抗、方向性系数、效率等）的设计公式。本章还给出了辐射特性的实验结果，并同理论预期结果作了比较。

圆形微带天线是第三章的基础。与上一章一样，本章对这种结构的设计和分析作了叙述，同时给出了设计曲线。最后，从设计者观点对圆形和矩形微带天线进行了比较。

第二章和第三章讨论的是最常见的微带天线结构。然而，另外的结构也是可能的，第四章进行了详细的讨论。这些结构包括三角形、五角形、圆环形、椭圆形等结构。第四章还给出了这些几何图形的设计考虑和数据。

第五章研究微带行波天线，包括矩形和圆形天线结构的分析，对于各种微带行波天线的特点及其辐射特性也进行了讨论。

微带缝隙天线是另一种类型的基本微带天线元，第六章讨论了这种天线，对窄缝和宽缝天线都进行了研究，同时比较了它们的优缺点。对微带缝隙天线和贴片天线也进行了比较，以帮助设计者适当地选取天线结构。

微带阵列天线是最后一章的论题，论述了应用各种几何图形的微带辐射元的天线阵列，讨论了微带天线元的广角相位扫描及频率扫描，并叙述了各种应用。

为使本书自成体系，还包括有三个附录：附录一是天线术语汇编；附录二是微带传输线的设计资料；附录三是天线制造和基片选择的资料。

最后，列出了本书使用的符号和缩略词，在末尾给出本书名词索引^①。

I·J·鲍尔 P·布哈蒂亚

于渥太华 1980年

^① 以下一段关于致谢的话从略。——译者

目 录

译者的话

前言

第一章 微带辐射器	1
1.1 引言	1
1.1.1 微带天线的定义	2
1.1.2 微带天线的优缺点	2
1.1.3 应用	3
1.2 辐射场	4
1.2.1 微带天线的辐射机理	5
1.2.2 微带天线的辐射场	6
1.2.3 微带天线的计算	13
1.3 各种微带天线的结构	16
1.3.1 微带贴片天线	16
1.3.2 微带行波天线	16
1.3.3 微带缝隙天线	17
1.4 激励方法	18
1.4.1 微带馈电	18
1.4.2 同轴线馈电	20
1.5 表面波	23
参考文献	24
第二章 矩形微带天线	26
2.1 引言	26
2.2 矩形贴片辐射器的分析	26
2.2.1 矢量位法	27
2.2.2 并矢格林函数法	29

2.2.3	导线网模型	31
2.2.4	辐射孔径法	32
2.2.5	腔体模型	36
2.2.6	模式展开模型	38
2.2.7	传输线模型	42
2.2.8	其它模型	48
2.3	矩形微带天线的设计步骤	49
2.3.1	单元宽度	49
2.3.2	单元长度	50
2.3.3	辐射方向图	52
2.3.4	输入导纳	52
2.3.5	辐射电阻、品质因数和损耗	52
2.3.6	带宽	54
2.3.7	方向性系数和增益	56
2.3.8	波瓣宽度	56
2.4	矩形微带天线的不准确性分析	58
2.5	实际微带天线的设计考虑	61
2.5.1	极化	62
2.5.2	微带天线的双频工作或频率离散工作	63
2.5.3	全向微带天线	65
2.5.4	覆冰或介质敷层对微带天线的影响	66
	参考文献	70
第三章	圆形微带天线	75
3.1	引言	75
3.2	圆形微带天线的分析	75
3.2.1	简单的腔体模型	76
3.2.2	有馈源的腔体模型	85
3.2.3	模式展开模型	89
3.2.4	导线网模型	93
3.2.5	格林函数法	94
3.3	半圆形天线的分析	96

3.4 圆环天线的分析	98
3.4.1 谐振频率	101
3.4.2 辐射场	101
3.5 圆形天线的设计步骤	103
3.5.1 单元半径	10 ⁴
3.5.2 输入阻抗	104
3.5.3 辐射方向图	106
3.5.4 辐射电阻、品质因数和损耗	107
3.5.5 带宽	109
3.5.6 方向性系数和增益	110
3.6 圆形微带天线的不准确性分析	111
3.7 实际圆形天线进一步的设计考虑	113
3.7.1 极化	113
3.7.2 双频工作	114
3.7.3 半空间扫描	117
3.7.4 介质覆盖的设计	119
3.8 矩形和圆形微带天线的比较	120
参考文献	121
第四章 三角形和五角形微带天线	124
4.1 三角形微带天线	124
4.1.1 场的关系式和谐振模	125
4.1.2 谐振频率	127
4.1.3 面电流	128
4.1.4 辐射场	130
4.1.5 辐射功率	135
4.1.6 总品质因数	136
4.2 五角形微带天线	138
4.2.1 五角形元的分析	142
4.2.2 双频工作	144
4.3 其它形状	147

4.3.1 等腰三角形元	147
4.3.2 六角形元	150
4.3.3 椭圆形元	152
4.3.4 其它可能的几何图形	156
参考文献	159
第五章 微带行波天线	162
5.1 引言	162
5.2 辐射特性	162
5.2.1 辐射方向图	163
5.2.2 波束指向	165
5.3.2 波瓣宽度	165
5.2.4 增益	166
5.2.5 旁瓣电平	168
5.2.6 效率	168
5.3 传播常数	170
5.3.1 传播常数的测量	170
5.3.2 传播常数的理论计算	172
5.4 方向图赋形	172
5.5 圆环行波天线	173
5.6 微带行波天线的结构	179
5.6.1 链形天线	179
5.6.2 TEM模传输线天线	183
5.6.3 全向天线	185
5.6.4 串联微带贴片天线	190
5.6.5 梳形天线	191
5.6.6 垛口形天线	192
5.6.7 富兰克林型天线	193
参考文献	196
第六章 微带缝隙天线	198
6.1 引言	198

6.2 矩形缝隙天线	198
6.2.1 窄缝天线	198
6.2.2 宽缝天线	205
6.2.3 锥形缝隙天线	210
6.2.4 圆极化天线	211
6.3 环缝天线	213
6.4 微带缝隙天线与微带贴片天线的比较	217
参考文献	219
第七章 微带阵列天线	221
7.1 引言	221
7.2 微带阵列天线	221
7.2.1 固定波束线阵天线的特性	222
7.2.2 微带线阵	226
7.2.3 面阵天线的特性	230
7.2.4 微带面阵	232
7.3 微带扫描阵列天线	240
7.3.1 相扫微带阵列	241
7.3.2 时延扫描	261
7.3.3 电子馈电开关	261
7.3.4 频扫微带阵	262
7.4 相控阵天线的优缺点	265
参考文献	268
附录一 天线术语	273
附录二 微带设计公式	277
2.1 特性阻抗	277
2.2 导波波长	278
2.3 损耗	279
2.4 功率容量	280
2.5 品质因数	282
参考文献	282

附录三 微带基片和天线制造技术 283

 3.1 用于设计微带天线的基片特性 283

 3.2 用于制造微带天线的基片特性 288

 3.3 典型制造工序 290

参考文献 292

文献目录 293

符号表 296

索引 303

第一章 微带辐射器

1.1 引言

微带辐射器的概念首先是 Deschamps^[1] 在 1953 年就提出来了。但是, 过了二十年, 当较好的理论模型及对敷铜或敷金的介质基片的光刻技术发展之后, 实际的天线才制造出来。这种基片的介电常数范围较宽, 具有吸热特性和机械特性及低损耗角正切。最早的实际的微带天线是 Howell^[2] 和 Munson^[3] 在二十世纪七十年代初期研制成的。之后, 基于微带天线的许多优点, 例如重量轻、体积小、成本低、平面结构、可以和集成电路兼容等, 微带天线得到了广泛的研究和发展, 从而使微带天线获得了多种应用, 并且在微波天线这个广阔的领域里, 作为一个分立的整体而建立了自己的课题。

表 1.1 各种平面结构印制天线的比较

特 性	微 带 天 线	带线缝隙天线	背腔印制天线	印制偶极子天线
剖 面	薄	不很薄	厚	薄
制 造	很容易	容 易	困 难	容 易
极 化	线极化和圆极化	线极化	线极化和圆极化	线极化
双 频 工 作	可 能	不可能	不可能	不可能
形状的灵活性	任意形状	只能矩形	其它形状也可能	矩形和三角形
附加辐射	存 在	存 在	不存在	存 在
带 宽	1—5%	1—2%	~10%	~10%

目前, 已研制成了各种类型平面结构的印制天线, 例如, 微带天线、带线缝隙天线、背腔印制天线以及印制偶极子天线。这些类型天线的特征列于表 1.1 中, 以便比较。但是, 在本书中我们只研究微带天线, 它与其它类型天线的不同之处在于, 它是由微带贴片、或准 TEM 模传输线、或开在地板上的缝隙产生辐射。

1.1.1 微带天线的定义

如图 1.1 所示, 结构最简单的微带天线是由贴在带有金属地板的介质基片($\epsilon_r \leq 10$)上的辐射贴片所构成的。贴片导体通常是铜和金, 它可取任意形状。但是, 通常我们都用常规的形状以简化分析和预期其性能。基片的介电常数应较低($\epsilon_r \sim 2.5$), 这样可增强产生辐射的边缘场。但是, 其它的性能则要求使用介电常数大于 5 的基片材料。目前已制成了介电常数范围较大和损耗角正切低的各种类型的基片, 这些基片的特性在本书的附录三中给出。此外, 还可利用韧性基片以制造简单的共形卷绕天线。

1.1.2 微带天线的优缺点

同常规的微波天线相比, 微带天线具有一些优点。因而, 在大约从 100 MHz 到 50 GHz 的宽频带上获得了大量的应用。与通常的微波天线相比, 微带天线的一些主要优点是:

- 重量轻、体积小、剖面薄的平面结构, 可以做成共形天线;
- 制造成本低, 易于大量生产;
- 可以做得很薄, 因此, 不扰动装载的宇宙飞船的空气动力学

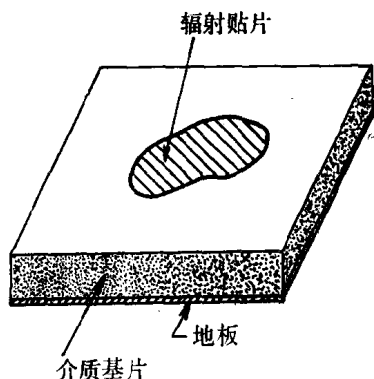


图 1.1 微带天线结构

性能；

无需作大的变动，天线就能很容易地装在导弹、火箭和卫星上；

天线的散射截面较小；

稍稍改变馈电位置就可以获得线极化和圆极化(左旋和右旋)；

比较容易制成双频率工作的天线；

不需要背腔；

微带天线适合于组合式设计(固体器件，如振荡器、放大器、可变衰减器、开关、调制器、混频器、移相器等可以直接加到天线基片上)；

馈线和匹配网络可以和天线结构同时制作。

但是，与通常的微波天线相比，微带天线也有一些缺点：

频带窄；

有损耗，因而增益较低；

大多数微带天线只向半空间辐射；

最大增益实际上受限制(约为20dB)；

馈线与辐射元之间的隔离差；

端射性能差；

可能存在表面波；

功率容量较低。

但是，有一些办法可以减小某些缺点。例如，只要在设计和制造过程中特别注意就可抑制或消除表面波。

1.1.3 应用

在许多实际设计中，微带天线的优点远远超过它的缺点。甚至目前(1980年)仍认为微带天线处于它的幼年时期的情况下，微带天线已有许多不同的和成功的应用。随着微带天线的继续研究和发展以及日益增多的使用，可以预料，对于大多数的应用，它

将最终取代常规的天线。在一些显要的系统已经应用微带天线的有：

- 卫星通讯；
- 多普勒及其它雷达；
- 无线电测高计；
- 指挥和控制系统；
- 导弹遥测；
- 武器信管；
- 便携装置；
- 环境检测仪表和遥感；
- 复杂天线中的馈电单元；
- 卫星导航接收机；
- 生物医学辐射器。

这些绝没有列全，随着对微带天线应用可能性认识的提高，微带天线的应用场合将继续增多。

1.2 辐 射 场

微带天线的辐射是由微带天线导体边沿和地板之间的边缘场产生的。开路微带线的辐射机理已在文献[4-12]中作了详细论述。Lewin对微带不连续性的辐射首次作了研究^[4]，他的分析是基于导体中流动的电流进行的。这个方法也可用来计算辐射对于微带谐振器品质因数的影响。这个分析是以微带开路端和地板所构成的口径场为基础。按此分析，辐射对于总品质因数的影响可描述为谐振器尺寸、工作频率、相对介电常数及基片厚度的函数。理论和实验结果表明，在高频时，辐射损耗远大于导体和介质的损耗。还证明，在用厚的而介电常数低的基片时，开路微带线的辐射更强。

1.2.1 微带天线的辐射机理

微带天线的辐射可以用图 1.2(a) 所示的简单情况来说明。这是一个矩形微带贴片，与地板相距几分之一波长。假定电场沿微带结构的宽度与厚度方向没有变化，则辐射器的电场结构可由图 1.2(b) 表示，电场仅沿约为半波长 ($\lambda/2$) 的贴片长度方向变化。辐射基本上是由贴片开路边沿的边缘场引起的。在两端的场相对于地板可以分解为法向分量和切向分量，因为贴片长为 $\lambda/2$ ，所以，法向分量反相，由它们产生的远区场在正面方向上互相抵消。平行于地板的切向分量同相，因此，合成场增强，从而使垂直于结构表面的方向上辐射场最强。所以，贴片可表示为相距 $\lambda/2$ 、同相激励并向地板以上半空间辐射的两个缝隙(图 1.2(c))。

也可以考虑电场沿贴片宽度的变化。这时，微带贴片天线可以用贴片周围的四个缝隙来表示。同样，其它微带天线结构也可用等效的缝隙来表示。

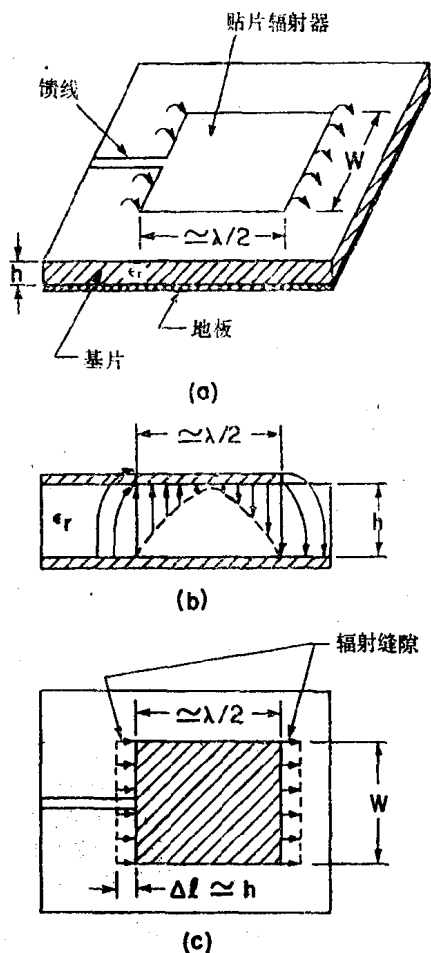


图 1.2 (a) 矩形微带贴片天线
(b) 侧视图
(c) 顶视图