



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

微波技术

顾继慧 编著



科学出版社
www.sciencep.com

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

微波技术

顾继慧 编著

科学出版社

北京

林楚良 顾继慧 顾家“五一五”育楚等高新普

内 容 简 介

本书以场路结合的方法系统地叙述了微波技术的主要内容,包括微波传输系统、微波等效电路、微波谐振腔、微波元件、微波无源器件以及各向异性介质构成的微波铁氧体器件。对近年来微波集成电路中常用的微带电阻元件、极化信息应用技术以及在现代相控阵天线中广泛应用的各种移相器也做了较为详尽的介绍。

本书可作为高等院校射频、微波技术、电子信息及通信等电子工程类相关专业本科生教材,也可供从事射频无线电技术工作的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

微波技术/顾继慧编著. —北京:科学出版社,2008

(普通高等教育“十一五”国家级规划教材)

ISBN 978-7-03-020949-8

I. 微… II. 顾… III. 微波技术-高等学校-教材 IV. TN015

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 009927 号

责任编辑:匡 敏 余 江 / 责任校对:钟 洋

责任印制:张克忠 / 封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

骏 杰 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 2 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2008 年 2 月第一次印刷 印张:26 1/2

印数:1—4 000 字数:520 000

定价:35.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

前 言

1982年大学毕业后,我毅然选择了美丽而宁静的母校南京理工大学作为自己工作和学习的场所。在20多年的教学生涯中,我亲眼目睹一批批充满活力和自信的年轻学子走出象牙塔,陆续成为祖国繁荣富强之良才,心里感到由衷的喜悦,但同时又总觉得作为教师的我,给学生们的奉献依然太少。基于这一缘由,1995年我萌发了编写《微波技术》教材的想法,从此便步入了大量搜集资料、广泛征集意见和整理编撰的艰辛工作中,历时4年之久。其间,得到了当时教研室主任邬友卫老师的热情鼓励和帮助,也得到了教研室其他老师的支持和关心。1999年该书在我校初版,经过几年的教学实践,在广泛听取意见之后,我于2001年10月又开始投入到该教材的修改和补充工作中,两年后由科学出版社公开发行,2006年被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

此次出版的《微波技术》是基于原教材之上,听取采纳导师邬友卫先生的建议和部分高校相关任课老师的意见之后,作者对原书中个别概念重新进行斟酌和推敲,并给予了新的描述;对书中所用曲线重新进行仿真和确认;对全书的语句重新进行组织和加工,使之更简洁严谨;对部分公式进行补充和推导,并加入适当例题以加强概念理解和工程应用。

从编写风格上讲,本书不仅注重基础理论,更注重实际应用。具体地说,对于微波传输线中的导波特性这一理论基础,本书给予了严格的数学推导,并对最终所得冗长的场分布表达式结合边界条件给予了物理解释,使之更易理解和记忆;而对于各类微波元器件的工作原理,本书精简了烦琐的理论阐述而尽可能多地从物理概念出发加以解释并举例介绍其实际应用。另外,考虑到与先修课程“电磁场与电磁波”的衔接,本书将微波传输线的理论分析置于微波传输线的等效电路之前。从内容上看,本书可分为两大部分:第一部分为“导波理论及其应用”;第二部分为“微波等效电路及其应用”。其中,第一部分由第1章组成,首先从场的观点分析导行波的一般纵向特性,其次分析常用微波传输线中各种导行波的横向特性,从而全面阐明微波传输线的特性和应用。第二部分由第2~5章组成,运用等效电路理论对实际微波传输系统中必然存在的各种形式的不连续性进行分析,即将均匀传输线等效为长线,将各种不连续性等效为网络,并运用场路结合的方法对各种微波元件和无源器件进行分析和综合。等效电路理论归于第2章,包括长线理论和微波网络理论,它们为分析各类微波元器件奠定了理论基础。各种基本微波元件的结构、工作原理和应用举例以及微波无源器件的分析与综合归于第3~5章,其中谐振器的内容篇幅较大,故单列为第3章;微波基本元件归于第4章;微波无源器件归于第5

章。关于微波测量,本书未作系统介绍,而是在适当的章节中穿插一些微波测量的原理和基本方法。此外,为加深对基本理论和器件原理的理解,在本书的每一章节后都附有图、表、公式并茂的小结和适量的习题。

本教材的计划学时数为 64 学时,4 学分;若开设 3 学分课程,则可删去 5.4 节“微波滤波器”和 5.6 节“微波铁氧体器件”的内容。

与教材配套的 FLASH 平台下制作的 1.0 版多媒体课件此次随书出版,与教材配套的解题指导书仍在修订完善中,力争早日与读者见面。

借此机会,作者想表达几年来心中的谢意:诚挚感谢广大高校师生、科技人员、微波爱好者对本书的厚爱,正是因为有了他们,才有了本书的今天;永远珍惜来自全国各地、不同行业朋友们的电子邮件;衷心感谢东南大学杨铨让教授和南京理工大学温俊鼎教授对本书所作的审阅和指教,感谢中国科技大学徐善嘉教授和北京航空航天大学王宝发教授对本书所作的书面评价,感谢东南大学章文勋教授所提供的许多好建议,感谢西安电子科技大学梁昌洪教授所给予的鼓励;特别感谢西安交通大学徐伟军老师、合肥工业大学李祥老师、海南师范学院王林茂老师、景德镇陶瓷学院曹良足老师、金陵科技学院陈传君老师和成都电子科技大学杨洪平老师对教材内容和使用效果所进行的交流;十分感激南京理工大学电子工程与光电技术学院领导和微波领域国际知名教授方大纲先生的再次鼎力相助;感谢我的几届学生李德文、周小敏、杨一飞、朱银霞、周虹和徐翠等为本书所做的仿真工作和为课件所做的描图工作。

非常感谢科学出版社给我提供了与读者交流的平台。

最后,我要深深感谢我的儿子亮亮,他自三岁起便一直伴随我的教材长大,感谢他给予了我充分的时间工作和写作,同时又给了我无限欢乐和勇气。

面对大家的关爱,作者只有敬业奉献方能心安理顺,同时继续期待有机会能与有识之士切磋、交流和合作,共同为广大微波专业的教师、学生、科技人员奉献一套好资料。

由于本人水平有限,书中难免有不足之处,恳请广大读者不吝赐教,作者当用心采纳,以求改进(联系方式:025-84314917, gujihui@mail.njust.edu.cn)。

作者

2007 年 12 月

科学出版社 高等教育出版中心

教学支持说明

科学出版社高等教育出版中心为了方便教师的教学，特为教师免费提供本教材的电子课件或其他相关素材。

要获取电子课件或其他相关素材的教师需要填写如下情况的调查表，以确保资料仅为任课教师获得，并保证只能用于教学，不得复制传播。否则，科学出版社保留诉诸法律的权利。

请将本证明签字盖章后，传真或者邮寄到本社，我们确认销售记录后将立即赠送电子课件或相关素材。

地 址：北京东城区东黄城根北街 16 号（100717）

科学出版社 高教中心 工科出版分社

联系人：段博原

Tel: 010-6403 3891 6403 4725 (Fax)

E-mail: gk@mail.sciencep.com

证 明

兹证明_____大学_____学院/_____系
第_____学年□上/□下学期开设的课程，采用科学出版社出版的
的_____ / _____（书名/作者）作为
上课教材。任课老师为_____共_____人，
学生_____个班共_____人。

任课教师需要与本教材配套的电子课件或相关资料。

电 话：_____

传 真：_____

E-mail: _____

地 址：_____

邮 编：_____

学院/系主任：_____

（学院/系办公室章）

_____年_____月_____日

目 录

前言	1
引论	1
0.1 微波及其基本特点	1
0.2 微波的应用	4
0.3 微波技术的基本内容	6
第1章 微波传输线	7
1.1 引言	7
1.2 麦克斯韦方程与边界条件	9
1.2.1 麦克斯韦方程	9
1.2.2 边界条件	10
1.2.3 波动方程	11
1.3 导行波的一般形式	13
1.4 导行波按纵向分量分类	16
1.4.1 场的横向分量与纵向分量之间的关系	16
1.4.2 横电波(TE波)	19
1.4.3 横磁波(TM波)	19
1.4.4 横电磁波(TEM波)	20
1.5 相速、群速和色散	21
1.6 矩形波导	25
1.6.1 矩形波导中的场解	25
1.6.2 矩形波导中的主模—— TE_{10} 模的场结构及其传输参量	32
1.6.3 矩形波导中的高次模和场的对称性	44
1.7 圆波导	48
1.7.1 圆波导中的 TM 波	49
1.7.2 圆波导中的 TE 波	53
1.7.3 圆波导中三种常用模 TE_{11} 、 TM_{01} 和 TE_{01} 的特点和应用	55
1.8 同轴线	64
1.8.1 同轴线中的主模——TEM 模	64
1.8.2 同轴线中的高次模	68
1.8.3 同轴线尺寸的确定	69

1.9 微波集成传输线	70
1.9.1 微带线	70
1.9.2 介质片波导	81
1.9.3 槽线 共面波导 鳍线	85
1.10 微波传输线中的模式转换	87
1.10.1 奇偶禁戒规则	88
1.10.2 同轴线中的 TEM 波-矩形波导中 TE_{10} 模的转换	89
1.10.3 矩-圆波导模式转换	90
1.10.4 其他一些微波传输线之间的转换	92
本章小结	95
习题一	99
第2章 微波等效电路	102
2.1 引言	102
2.2 长线理论	105
2.2.1 传输线方程及其解	106
2.2.2 入射波与反射波	109
2.2.3 均匀无耗长线	110
2.2.4 均匀无耗长线终端接不同负载时的工作状态	116
2.3 圆图	131
2.3.1 史密斯圆图的构成	131
2.3.2 史密斯圆图的使用	135
2.3.3 导纳圆图及其使用	139
2.4 长线的阻抗匹配	141
2.4.1 阻抗匹配概念	141
2.4.2 阻抗匹配方法	143
2.5 均匀微波传输系统与长线的等效	151
2.5.1 等效概念与等效关系	151
2.5.2 矩形波导中 TE_{10} 波的等效阻抗	153
2.5.3 均匀传输系统等效为长线的具体做法	155
2.6 微波网络	156
2.6.1 网络参考面	156
2.6.2 微波网络转移参量与散射参量的定义及物理含义	158
2.6.3 各网络参量之间的相互转换	163
2.6.4 多端口网络的散射矩阵	165
2.7 常用的微波网络特性	166

2.7.1	可逆网络	166
2.7.2	对称网络	167
2.7.3	无耗网络	167
2.8	几种基本电路的二端口网络参量	168
2.9	网络的组合	170
2.10	参考面移动对散射参量矩阵的影响	173
2.11	微波网络参量的测定	176
2.11.1	微波网络的外特性参量	176
2.11.2	微波网络参量的实验测定方法	178
	本章小结	179
	习题二	185
第3章	微波谐振腔	193
3.1	引言	193
3.2	微波谐振腔的基本特性与参量	195
3.2.1	谐振频率 f_0	195
3.2.2	品质因数 Q_0	197
3.2.3	特性阻抗 ξ_0	199
3.3	金属波导型谐振腔	200
3.3.1	矩形谐振腔	201
3.3.2	圆柱谐振腔	205
3.4	传输线谐振器	211
3.4.1	同轴谐振器	211
3.4.2	微带线谐振器	214
3.5	介质谐振器	216
3.6	非传输线型谐振腔——环形腔	218
3.7	谐振腔的微扰原理	220
3.8	微波谐振腔与外电路的耦合及耦合参量	221
3.8.1	谐振腔的耦合与耦合装置	221
3.8.2	谐振腔的模式选择	223
3.8.3	谐振腔的耦合参量	224
3.9	谐振腔的等效电路	226
3.9.1	孤立谐振腔的等效电路	226
3.9.2	耦合谐振腔的等效电路	228
3.9.3	不同参考面上腔的等效参量之间的换算	230
3.9.4	谐振腔与两个传输系统的耦合	232

本章小结	233
习题三	238
第4章 基本微波元件	239
4.1 引言	239
4.2 微波电阻性元件——衰减器和匹配负载	239
4.2.1 吸收式衰减器	240
4.2.2 极化衰减器	241
4.2.3 截止式衰减器	243
4.2.4 匹配负载	244
4.3 微波移相器、极化变换器	245
4.3.1 介质片移相器	245
4.3.2 PIN 管数字式移相器	249
4.3.3 有源场效应管移相器	251
4.3.4 极化变换器	253
4.4 微波电抗性元件——膜片、销钉和螺钉	254
4.4.1 波导中的膜片——电感膜片和电容膜片	255
4.4.2 销钉	257
4.4.3 微波可调电抗元件——螺钉	259
4.5 微波电抗元件的微带实现	260
4.5.1 短路短线等效为电感,开路短线等效为电容	260
4.5.2 低阻短线等效为并联电容,高阻短线等效为串联电感	261
4.6 波导的弯曲和扭转	262
4.7 波导分支	263
4.7.1 波导 E 面分支	264
4.7.2 波导 H 面分支	265
4.7.3 双 T 接头	266
4.7.4 匹配双 T(魔 T)	267
4.8 微带线的拐角与分支	270
4.8.1 微带的拐角	270
4.8.2 微带 T 型接头	271
4.9 短路活塞和抗流结构	273
4.9.1 接触式短路活塞	273
4.9.2 抗流式短路活塞	274
4.9.3 波导抗流接头	275
4.9.4 旋转抗流接头	276
4.10 阻抗调配器	277

4.10.1	单支可变调配器	278
4.10.2	并联双(三)支调配器	279
4.10.3	E-H 调配器	280
	本章小结	281
	习题四	287
	第5章 微波无源器件	290
5.1	阻抗变换器	290
5.1.1	单节 $\lambda/4$ 阻抗变换器	290
5.1.2	二节阻抗变换器	293
5.1.3	多节阻抗变换器	295
5.1.4	切比雪夫多节阻抗变换器	297
5.1.5	渐变线阻抗变换器	301
5.2	定向耦合器	303
5.2.1	引言	303
5.2.2	孔定向耦合器	305
5.2.3	分支定向耦合器	312
5.2.4	波导裂缝电桥	321
5.3	微带功分器	324
5.4	微波滤波器	326
5.4.1	引言	326
5.4.2	低通原型滤波器	329
5.4.3	频率变换	338
5.4.4	倒置变换器及变形低通原型滤波器	343
5.4.5	滤波器的微波实现	346
5.4.6	不连续性	354
5.4.7	微波滤波器的设计举例	355
5.5	双工器	361
5.5.1	收、发双工器	361
5.5.2	频段双工器	365
5.6	微波铁氧体器件	367
5.6.1	单个电子的进动,进动方程及其解	367
5.6.2	旋磁介质与张量磁导率	370
5.6.3	铁氧体移相器	374
5.6.4	铁氧体环行器和隔离器	378
	本章小结	383
	习题五	388

参考文献	393
附录	394
附录 A 矩形与扁矩形波导规格	394
附录 B 常用硬同轴线特性参量	396
附录 C 常用同轴射频电缆特性参量	396
附录 D 几种双导体传输线分布参数的计算公式	397
附录 E 双端口网络的各种参量换算	398
附录 F 证明无耗网络的散射矩阵满足 $[S]^T[S]^* = [1]$	399
附录 G 简单双端口网络的转移矩阵	400
附录 H 一些有用材料的常数及常用导体材料的特性	401
H1 自由空间的常数	401
H2 电子、质子和中子的物理常数	401
H3 相对电容率(介电常数)	401
H4 电导率	402
H5 相对磁导率	402
H6 常用导体材料的特性	402
H7 常用介质基片材料的主要特性	403
附录 I 常用谐振模的品质因数 Q_0 的估算公式	404
附录 J 膜片和销钉的相对电纳计算公式	404
附录 K 阶梯过渡参数	405
附录 L 数学公式	409
L1 一些有用的矢量恒等式	409
L2 梯度、散度、旋度和拉普拉斯运算	409
L3 欧拉公式	410
附录 M 符号和单位	411
M1 国际单位制(SI 或有理化 MKSA 制)的基本单位	411
M2 符号和单位	411

引 论

0.1 微波及其基本特点

通常将 $3 \times 10^8 \text{Hz} \sim 3 \times 10^{11} \text{Hz}$ 范围的电磁波划为微波波段,随着现代微波技术的发展,已将微波的高频段推至 $3 \times 10^{12} \text{Hz}$,即 3THz 。根据频率 f 、波长 λ 与电磁波在真空中的传播速度 c 之间的关系

$$f\lambda = c$$

微波的波长范围为 $1\text{m} \sim 0.1\text{mm}$ 。其中 $c = 3 \times 10^8 \text{m/s}$ 。

图 0-1 给出了微波在整个电磁波频谱中的位置,从中可见,其低频端与普通无线电波的“超短波”波段相连接,而其高频端与红外线的“远红外”波段毗邻。

将微波从整个电磁波谱中专门划分出来并非任意,主要是因为其波长比普通无线电波的波长短得多,这种量的变化引起了电磁波质的变化,使得微波具有反射、透射等一系列不同于普通无线电波的特点;同时微波的波长又比可见光的波长长得多,其特点与光波也不同,使得微波的应用领域和研究方法及其所用的传输系统、元件、器件和测量装置等都与别的波段不同而成为一个独立体系。

在微波波段内部,通常又按频率范围将其划分为如表 0-1 所示的若干个分波段。

表 0-1 微波的分波段划分

波段名称	波长范围	频率范围
分米波	$1\text{m} \sim 10\text{cm}$	$300\text{MHz} \sim 3\text{GHz}$
厘米波	$10\text{cm} \sim 1\text{cm}$	$3\text{GHz} \sim 30\text{GHz}$
毫米波	$1\text{cm} \sim 1\text{mm}$	$30\text{GHz} \sim 300\text{GHz}$
亚毫米波	$1\text{mm} \sim 0.1\text{mm}$	$300\text{GHz} \sim 3\text{THz}$

习惯上又将微波的常用波段分别以拉丁字母作代号,见表 0-2。

纵观从低频无线电波、微波到可见光以至 X 射线、 γ 射线的整个电磁波谱,可以发现它们虽然都同属于电磁波,但随着频率的提高,不同波段的电磁波具有各自不同的性质。与低频无线电波相比,微波具有以下几个基本特点:

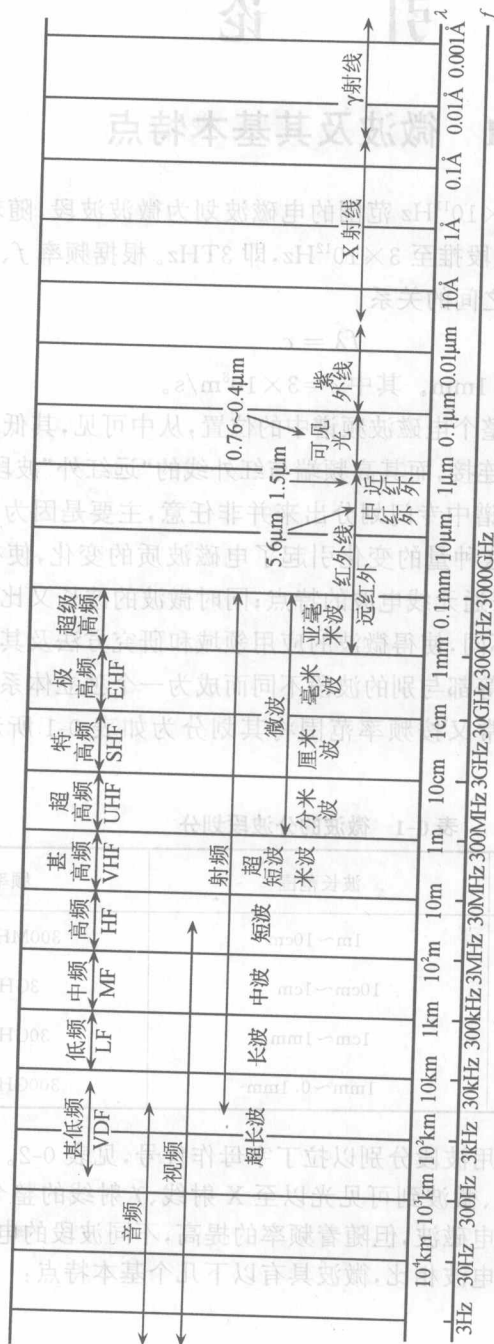


图 0-1 电磁波频谱

表 0-2 常用微波波段的划分

波段代号	频率范围/GHz	波段代号	频率范围/GHz
UHF	0.3~1.12	Ka	26.5~40.0
L	1.12~1.7	Q	33.0~50.0
LS	1.7~2.6	U	40.0~60.0
S	2.6~3.95	M	50.0~75.0
C	3.95~5.85	V	60.0~80.0
XC	5.85~8.2	W	80.0~100.0
X	8.2~12.4	F	90.0~140.0
Ku	12.4~18.0	G	140.0~220.0
K	18.0~26.5	R	220.0~325.0

(1) 高频特性

微波的振荡频率极高,每秒在 3 亿次以上!由于频率比低频无线电波提高了几个数量级,一些在低频段并不显著的效应在微波波段就能非常明显地表现出来。例如:在普通栅控电子管内,电子在极间飞越的时间一般为 10^{-9} s 的数量级,这比长、中、短波段无线电波的振荡周期小得多,可以忽略不计,但与微波的振荡周期相比就绝不能忽略。因此在低频时可以认为是无惯性的普通栅控电子管,当频率提高到微波波段以后,就会由于电子的惯性而失去有效的控制作用,从而被建立在新原理基础上的微波电子管、微波固体器件和量子器件所代替。由于电磁波是以光速传播的,因此它从电路的一端传到另一端需要一定的时间,这就是“延时效应”,在一般低频电路中其延时远小于振荡周期,可以忽略,但在微波电路中其延时可以与周期相比拟,不再能忽略。在简谐振荡情况下,这种延时表现为电路中的各点具有不同的相位。此外,如高频电流的趋肤效应、传输线的辐射效应等,也随频率的提高而越来越显著,乃至在微波波段一般都不可忽略。

更重要的是,由于微波的频率很高,因此在不太大的相对频宽下,其可用频带很宽,可达数百甚至上千兆赫,这是低频无线电波无法比拟的。频带宽意味着信息容量大,因此微波具有巨大的信息传输潜力,使得它在需要大信息容量的场合(如多路通信)得到了广泛应用。

(2) 短波特性

微波的波长比一般宏观物体(如建筑物、船舰、飞机、导弹等)的尺寸短得多,因此当微波波束照射到这些物体上将产生显著的反射,一般地说,电磁波的波长越短,其传播特性越接近于几何光学,波束的定向性和分辨能力就越高,天线尺寸也可以做得更小,这对于雷达、导航和通信等应用都很重要,可通过接收和分析反射

信号而判断目标的距离、方位和特征。此外,一般微波电路的尺寸可以和波长相比拟,由于延时效应,电磁波的传播特性将明显地表现出来,使得电磁场的能量分布于整个微波电路之中,形成所谓的“分布参数”;这与低频时电场和磁场能量分别集中在各个元件中的所谓“集总参数”有原则的区别。

(3) 散射特性

当电磁波入射到某物体上时,波除了会沿入射波相反方向产生部分反射外还会在其他方向上产生散射,我们称该物体为散射体,散射是入射波与散射体相互作用的结果,故散射波中携带有关于散射体的频域、时域、相位、极化等多种信息,人们可通过对不同物体散射特性的检测,从中提取目标信息从而进行目标识别,这是实现微波遥感、雷达成像等的基础。

(4) 穿透性

微波照射于介质体时能深入到物质内部。微波能穿透高空电离层,这一特点为天文观测增加了一个“窗口”,使得射电天文学研究成为可能。同时,微波能穿透电离层这一特点又可被用来进行卫星通信和宇航通信。但另一方面,也正是由于微波不能为电离层所反射,所以利用微波的地面通信只限于天线的视距范围之内,远距离微波通信需用中继站接力。

(5) 量子特性

电磁波具有波粒二象性,根据量子理论,电磁辐射的能量不是连续的,而是由一个个的“量子”所组成,每个量子具有与其频率成正比的能量 $E = hf$, 其中 $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$, 为普朗克(Planck)常量。低频无线电波的频率很低,量子能量甚小,故其量子特性不显著。与微波频率相应的量子能量范围为 $10^{-5} \sim 10^{-2} \text{eV}$, 故在低功率电平下,微波的量子特性将明显地表现出来。当微波与物质相互作用时,应该考虑到这种量子效应。例如顺磁物质在磁场作用下的许多能级差、一些大分子的振动和转动所造成的能级超精细结构、接近绝对零度时每个自由度所具有的能量等,都落在微波量子的能量范围内。当微波与这些物质相互作用时,特别是在超低温、低电平的条件下,量子特性往往成为决定过程本质的主要因素。

微波的上述几个特点是互相联系的,而这些特点都是由于它在电磁波谱中所占有的特定位置所决定的。

0.2 微波的应用

微波的高频、反射和穿透特性使其应用相当广泛,新的应用层出不穷。这里仅

就几个主要方面做一简单介绍。

(1) 雷达

微波技术的早期发展是和雷达交织在一起的,事实上,正是由于第二次世界大战期间对于雷达的需要,微波技术才迅速地发展起来。为了适应各种不同的要求,现代雷达的种类很多,性能也日益提高。例如超远程预警雷达的作用距离达10 000km以上,可以对洲际导弹的突然袭击给出15~30min的预警时间。又如现代相控阵雷达,利用电子计算机控制其天线阵列中诸元的馈电相位,以电控方式实现波束的快速扫描,并能根据需要形成多波束,实现对多目标的同时探测和自动跟踪。除了军用以外,还发展了多种民用雷达,如气象雷达、导航雷达、汽车防撞雷达、盲人雷达、防盗雷达、遥感用测试雷达等。

(2) 通信

由于微波的频带较宽,信息容量较大,故需要传送较大信息量的通信都可以用微波作为载波。微波多路通信早已进入实用阶段。在微波有线通信方面,利用同轴电缆可同时传送几千路电话和几路电视,而光纤传输线的问世与发展使信息容量更为大增;在无线通信方面,利用微波中继接力传送电视和进行通信。人造卫星通信的射频都工作在微波波段,利用三个互成 120° 的位于外层空间的同步卫星便可进行全球的电视传播。

(3) 科学研究手段

微波作为一种科学研究手段,得到了广泛应用。例如所谓“原子钟”就是工作于微波波段的一种时间基准,其准确度和稳定性比原来的天文钟高得多。国际计量大会已决议:定义时间单位“秒”为铯-133原子基态的两个超精细能级之间跃迁所对应的辐射的9 192 631 770个周期的持续时间,这根谱线就落在微波频段内。此外,如射电天文观察、电子直线加速器、等离子体参量测量、精细的频谱分析、基本物理常数测定以及遥感技术等方面都要用到微波。微波作为一种观测手段,往往对科学的发展做出重要的贡献。如以微波作为主要手段的射电天文学借助于微波扩展了天文观察的视野,所谓20世纪60年代天文学的四大发现——类星体、中子星、2.7K(热力学温度)背景辐射和星际有机分子,全都是利用微波作为主要观察手段而发现的。

(4) 微波能的应用

微波除被用做传递信息的载波外,其自身所携带的能量也已被加以利用。例如微波加热就是利用微波穿透某些物质内部,使其吸收微波能量后加速分子间相互碰撞、摩擦而产生热效应进行加热的。微波加热的特点:就地生热,内外同热。因此