

微带天线理论和技术的进展*

钟 顺 时

(上海科学技术大学,上海)

罗 远 祉

(美国伊利诺斯大学)

摘要 本文综述了迅速发展中的微带天线理论和技术的最新进展。侧重评述了基本理论和圆极化、宽频带、多频段及馈电等技术的进展,并介绍了毫米波微带天线阵和有源固态相控阵等新型微带阵列。最后展望了发展方向。

关键词 天线;微带天线;相控阵

一、引 言

天线技术领域引人瞩目的进展之一是印刷电路天线技术的进展,特别是微带天线的发展。实用微带天线是1972年出现的,现在已从大约100MHz应用至100GHz,已成为一个专门的天线分支。其优点是:剖面薄、重量轻、造价低,能与大多数表面共形,并可与馈电网络及有源器件成块集成,已显示了作为一种新一代天线形式的巨大活力。

微带天线的首次专题国际会议于1979年召开,1981年出版了IEEE天线与传播会刊的微带天线专辑,同时还出现了一些微带天线专著和综述^[1-4]。本文目的是概述其理论和技术的最新进展和新型阵列。

二、微带天线理论

1. 传输线模型

这是最早出现的最简单的分析模型,它将一矩形微带天线(图1(a))等效为一段微带传输线,两端由辐射缝隙的等效导纳加载,如图1(b)所示。新进展是:(1)有了更精确的计算模型,且可用于由同轴线底馈及有调谐短路针的情况。Pues和Van de Capelle^[5]提出的一个改进的等效电路如图1(c)所示。此模型引入互导纳 Y_m 来计入两辐射缝隙间的互耦,并在辐射缝隙的自导纳 Y 中计入了另两侧边的辐射效应,从而改进了阻抗计算精度,但也增加了计算复杂性。对于矩形微带天线上有1或 N 根短路针加载的情况,Sengupta^[6]已用传输线模型导出其谐振频率的解析计算式(当 N 不大时)。(2)传输线模型已推广至能分离变量的其它形状贴片。例如对圆环形微带天线,Bhattacharyya和Garg^[7]提出用壁导纳加载的一段径向传输线来表示。但其求解已发展到利用波导模式

* 1987年6月23日,1987年7月30日修改定稿。

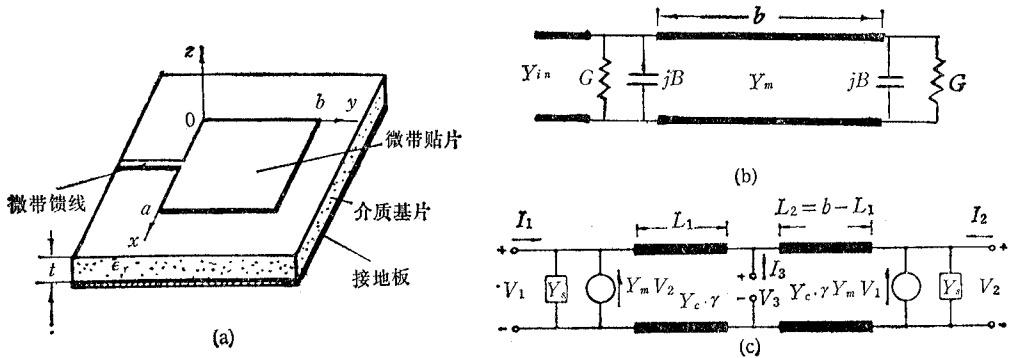


图1 矩形微带天线及其传输线等效电路

理论,实质上这已与空腔模型的处理方法相同了。

2. 空腔模型

文献[8]中提出将薄微带天线的贴片下空间处理成上下为电壁四周为磁壁的谐振空腔。这一模型使能对微带天线的工作特性有了更为深入的理解,并已成功地用于精确计算厚 $0.005\lambda_e$ 至 $0.02\lambda_e$ (λ_e 为介质中波长)的微带天线输入阻抗。传输线模型一般只相当于空腔模型计入一个主模的情况;而积分方程法又比空腔模型计算时间长得多,并且往往未用真正的馈源边界条件求解,从而难以得出精确的输入阻抗值。这样空腔模型便以其简明性和结果的准确性而受到重视。

空腔模型本身的发展主要在两个方面:(1)壁效应的处理;(2)馈源影响的计算。壁效应的简便处理是采用磁壁假设,用等效尺寸来计入边缘效应。Yano 和 Ishimaru^[3]曾尝试计算辐射功率和边缘处电磁储能电抗功率来得出薄圆形微带天线的等效边界导纳,并由格林函数导出空腔内场(可称为空腔格林函数法),得到了与实测阻抗相吻合的可喜结果。计入真正的馈源边界条件的一种严格分析已由 Davidovitz 和本文作者之一^[9]给出。这里已把空腔模型推广来分析厚微带天线,仍采用磁壁假设。方法要点是将微带贴片下的场展开为既满足空腔磁壁,又满足馈电探针边界条件的一组模式,再利用模匹配法解出同轴馈源与空腔连接处的场,并由同轴馈源中 TEM 波的反射系数来得出天线输入阻抗。对厚至 $0.1\lambda_e$ 的圆形微带天线,计算与实测的阻抗轨迹都相当吻合。对半径为 $0.25\lambda_e$ 的圆形微带天线,计算表明,当厚度由 $0.03\lambda_e$ (空腔 Q 值为 33)增至 $0.1\lambda_e$ ($Q = 9$) 时,驻波比 $\rho \leq 3$ 的带宽由 5% 增至 18%;表面波功率损失增至约 30%,使边射方向辐射效率降到 70% 左右。图 2 示出计算的各项损失占总功率的百分比随电厚度的变化^[9]。

空腔模型还可用于分析非规则形状的微带贴片。Palanisamy 和 Garg^[10]已利用分割技术和空腔模型分析了矩形环微带天线。

3. 积分方程法

近年来对具有厚基片的不同形状贴片和微带振子,及其互耦、多层结构等,纷纷利用积分方程法进行分析,并已发展了多种计算程式^[13,11-21]。例如:(1) Newman 和 Tulyathan^[31], Bailey 和 Deshpande^[12] 等人根据满足边界条件的空域格林函数或通过谱域格林函数来建立微带贴片电流的积分方程,然后用矩量法求解。Kishk 和 Shafai^[13] 已用

类似方法分析了圆形微带天线基片厚度和介电常数、馈源位置、接地板有限尺寸等参数对辐射特性的影响。(2) Alexopoulos 等^[3]和 Pozar^[4]采用带接地板的介质层中的格林函数来建立积分方程,而利用数值解析积分技术等方法处理 Sommerfeld 型奇异积分,再用矩量法求解。还用这类处理方法研究了微带振子基片厚度的优化^[5]、电磁耦合馈电频带的展宽^[6]和微带振子间的互耦^[7]等。Pozar^[8]应用谱域矩量法^[4]和逐元法分析了有限微带振子阵,但计算是很费时的。图 3 示出了 19×19 元阵中不同位置阵元的反射系数振幅 $|R|$ 随 E 面扫描角 θ 的变化^[8]。中心单元 (No. 10) 对边射方向 ($\theta = 0$) 是完全匹配的。但该阵在 E 面有一扫描盲点,约在 $\theta = 45.8^\circ$ 处,这可由 $\theta = 45^\circ$ 曲线看出。中心单元两侧曲线呈现不对称。(3) Chew 和 Kong^[3]引入矢量汉克尔变换,把具有圆柱坐标边界的微带问题化为解未知电流的矢量积分方程对,然后用抽出奇点的伽略金法求解,已用于分析厚基片上的圆形和圆环形微带天线^[19,20]。(4) Itoh 等^[3]采用全波分析法,即利用傅里叶变换域或汉克尔变换域的谱域导抗矩阵方法,数值处理较简单又已计入了全部波效应。Araki 等^[21]已用这种汉克尔变换域分析对双层圆形微带天线的宽频带阻抗特性进行了研究。

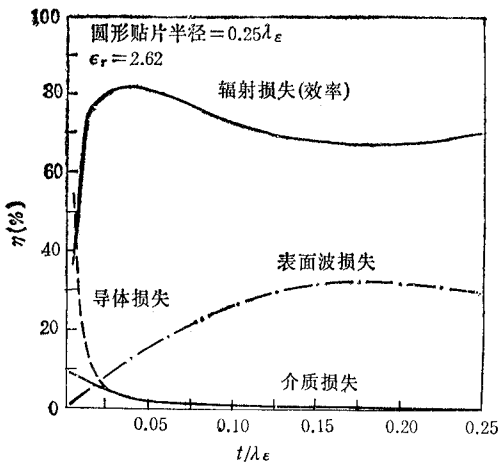


图 2 圆形微带天线各种损失的百分比随厚度的变化

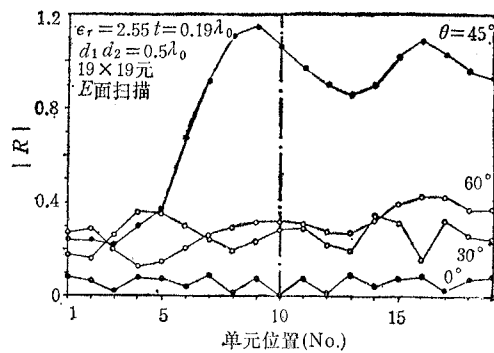


图 3 微带振子阵中不同阵元的反射系数振幅

三、微带天线元技术

1. 圆极化技术

微带天线具有便于实现圆极化的优点。已发展了多种实现方式:(1) 利用微扰手段的单馈点法^[3],如:准方形贴片、带对角槽或切角的方贴片、有缺口的圆贴片、椭圆贴片、五边形贴片、三角形贴片^[22]、方形环和交叉贴片^[23]等。(2) 双或四馈点法,即用幅度相等、相移 90° 的双馈源馈电,或用相位分别为 $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ 和 270° 的四馈源馈电,以展宽频带^[24]。(3) 利用多个线极化单元的组合。已有二元组合、 2×2 元组合和 N 元相位累加组合等多种。一个 2×2 元实验模型采用厚 2.54cm 的蜂房基片,测得 800 至 900MHz

频带(12%)上轴向轴比不劣于 0.6dB^[25]。(4) 利用微带弯曲、折角等构成的行波串馈阵列。如城墙线阵(见图 4)^[26]等。

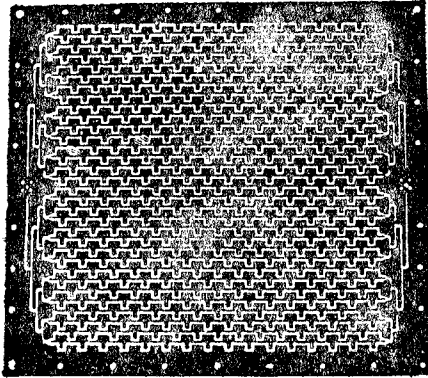


图 4 城墙线式圆极化微带面阵

2. 宽频带技术

近年来为克服微带天线固有的窄频带特性开展了大量研究,已取得重大进展.归纳起来,对于给定的贴片形式,展宽其频带有三条途径^[27]: (1) 降低 Q 值, 主要是增加基片厚度和降低基片介电常数; (2) 修改等效谐振电路, 如利用寄生贴片形成双调谐耦合电路的双层圆形结构, 比单片时(厚 $t = 1.6\text{mm}$, $\epsilon_r = 2.55$, $f_0 = 2.55\text{GHz}$) 电压驻波比 $\rho \leq 1.5$ 的带宽大了约 8 倍^[21]; (3) 加阻抗匹配网络^[28], 但这并未改进天线本身特性。

不限定贴片形式时,方法更多,如: (1) 选择贴片形式; (2) 改变构造; (3) 加变容二极管进行频率捷变; (4) 利用行波阵或对数周期阵^[29]等结构。值得指出, 介质基片上的渐变缝隙天线^[30]具有端射行波天线的特性,也可获得很宽的带宽(2:1 以上)且具有(10—15) dB 的增益,已应用于 94GHz 成像系统等。

几种微带天线的带宽列于表 1^[29]。可以看出, 频带的展宽往往要以体积的增大或效率的降低为代价。

表 1 几种微带天线的带宽和效率

($\epsilon_r = 2.3$ $f_0 = 10\text{GHz}$)

天线形式	带宽 BW(%)	效率 η (%)	厚度 t (mm)	天线形式	带宽 BW(%)	效率 η (%)	厚度 t (mm)
谐振贴片	6.6	>90	1.59	城墙线行波阵	44	60	1.59
厚贴片	19	>90	3.0	变参数行波阵	40	—	1.59
多层贴片	18	>80	3.68	对数周期阵	4:1	79	1.59
螺旋形贴片	40	50	1.59				

3. 多频段工作

现已出现具有双频段、双极化、频率或极化捷变等多种功能的微带天线。我们称这类

天线为“多功能微带天线”。实现多频段的方式有：(1) 单片法；最简单的是利用两个不同模式(如矩形贴片的 TM_{01} 和 TM_{03} 模)来同时工作^[31,32]和利用电抗加载的方法^[33]；(2) 双片法；即利用谐振频率不同的两个贴片工作，如背驮式微带天线^[3]；(3) 其他；如利用缝隙与一对带片的组合^[34]等。

4. 馈电技术

基本形式有(1)微带线边馈；(2)同轴线底馈。随着微带相控阵等应用的发展，多层阵中的层间连接已成为一个突出问题，宽频带的接近式(无接触)耦合方式正受到重视。已发展的技术有：(a) 电磁耦合^[3,16]；(b) 口径耦合^[35]。

还发展了将射频功率源直接向微带天线馈电，一起集成的技术，这将为相控阵提供一种经济而轻巧的高功率输出。已将 X 频段耿氏二极管与厚 0.8mm 的 RT-Duroid 5870 ($\epsilon_r = 2.33$) 上的矩形贴片相集成，制成有源贴片，并能注频锁定，可用于多元阵中^[36]。将砷化镓 IMPATT 二极管并接在圆形微带贴片与接地板之间，已在 6.8GHz 上获得对边射方向的 14W 等效辐射功率^[37]。

四、微带阵列技术

1. 串馈微带阵

这类阵以其馈电简单、控制灵活见长，且能获得较高效率。不但有微带贴片、微带振子和缝隙等阵元形式，还发展了利用连续传输线的弯曲和不连续点的阵列。常见形式如：串馈贴片阵、梳形阵和城墙线阵等^[2]。有两类设计：谐振式和行波式。其带宽受阻抗变化和波束指向变化的限制，但行波阵能获得较宽的频带。若采用对数周期阵设计，甚至可得到大于 2:1 的带宽^[29]，只是其增益有限(10dB 量级)。串馈微带阵已用于综合赋形方向图^[38]。图 5 所示为一工作于 9GHz 的谐振式梳形阵^[39]。这类阵能方便地实现 (20—25) dB 的增益，已应用于便携式多普勒雷达中。

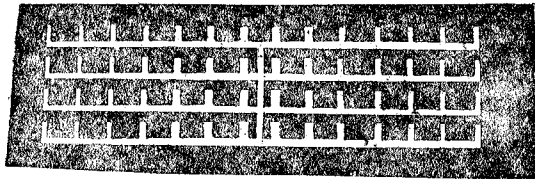


图 5 X 频段谐振式梳形微带天线阵

2. 并馈微带阵

一般采用并合式等长馈线馈电，使全部阵元同相以保持宽频带。全阵的阻抗匹配可利用若干阻抗变换段设计来实现。这种阵的馈线损耗比串馈方式大，但用划分子阵的方法能减小损耗。更积极的措施是对子阵加功率放大器(有源阵列)。图 6 所示为计划应用于下一代直播卫星的 12GHz 有源圆极化微带子阵的试验模型^[40]。它由 4 个并馈的 2×2 元圆极化矩形贴片组合同两级微型氧化铍电路放大器的射频模块组成。每个 2×2 元组合都通过一段 50Ω 短同轴馈线与低耗介质基片上的一对四射频带状线分配网络相连。子

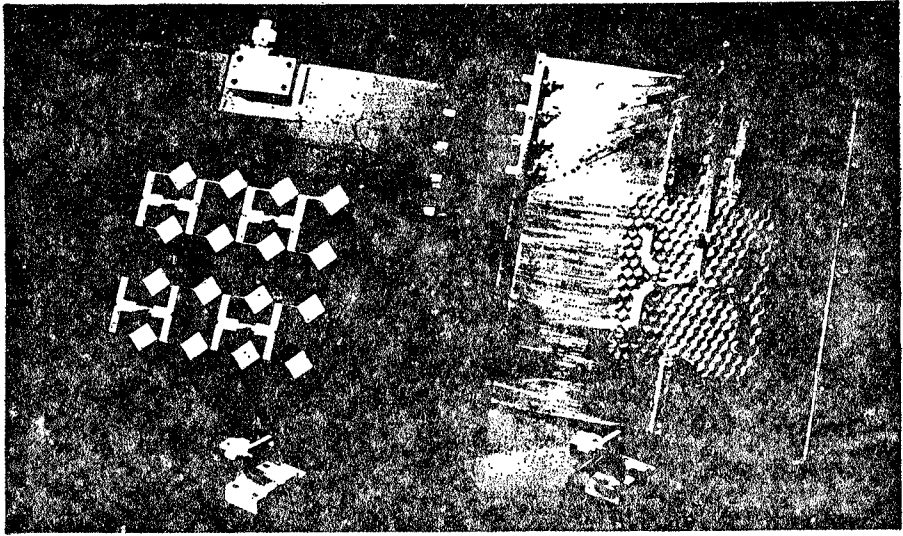


图 6 12GHz 有源圆极化微带子阵

阵输入端的电压驻波比在 500MHz 频带上都小于或近于 1.5，在 12.8GHz 的峰值极化纯度为 35dB，即轴比为 0.13dB，其平均旁瓣电平为 -12.5dB，很近于理论值。无源阵的研制实例如：计划用于 L 频段卫星移动通信系统的圆极化圆形贴片阵，它利用低损耗的三板带状线网络馈电^[41]。

3. 混合微带阵

往往将多个串馈微带线阵用并合方式馈电来形成二维面阵。这可在一维上避免串馈阵的阻抗和波束指向限制。日本已利用并馈的城墙线阵(参看图 4)制成接收卫星直播电视的 12GHz 圆极化微带面阵。利用 16 个线格微带子阵并馈而成的毫米波微带天线如图 7 所示^[42]。天线直径 12.7cm，共 300 个辐射单元，中心有一 2.54cm 直径的空白(以备装置光学传感器用)，在 35.2GHz 上的增益达 25dB。一个工作于 94GHz (3.2mm 波长)的混合微带阵由 67 行串馈矩形贴片阵对各行中心并馈而成^[43]。每行线阵由 32 元端

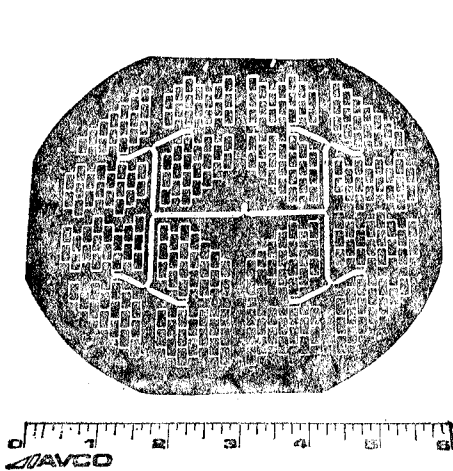


图 7 35GHz 线格微带天线阵

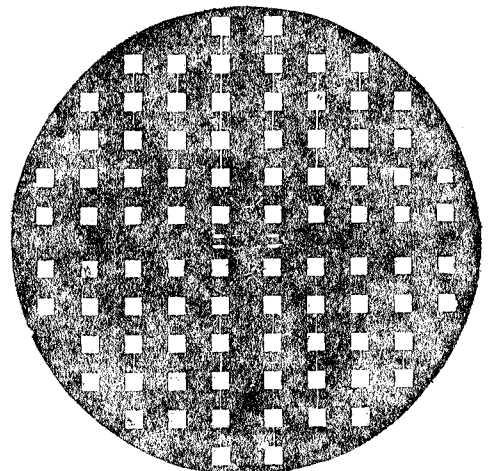
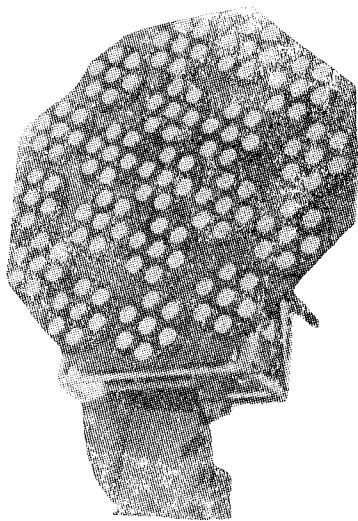


图 8 35GHz 二维单脉冲微带天线阵

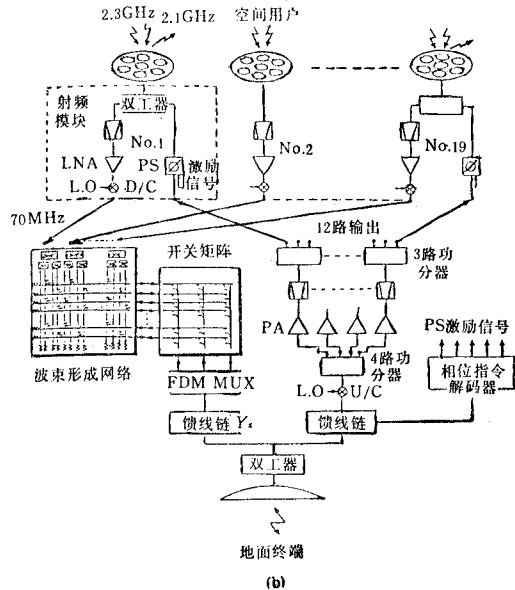
射串馈贴片阵与在中心馈点另一侧的 42 元背射串馈贴片阵构成。面阵共有 4958 个矩形贴片元,口径边长约 14.5cm,实测增益达 37.5dB。其馈线衰减为 0.55dB/cm,平均长度为 7.25cm,故欧姆损失约 4dB;由辐射元效率、渐降和过渡损失和阻抗失配等因素引起的附加损失约 2dB,因而总效率为 25% (-6dB)。还有利用串馈贴片阵与共面集成的单脉冲微带比较器制成二维单脉冲微带天线,如图 8 所示^[43]。其单脉冲零深在 1GHz 带宽 (35GHz 频段)上大于 20dB。

4. 微带相控阵

最近几年来固态微波集成电路 (MMIC) 正取得重大进展,与此同时,利用 MMIC 片的有源微带相控阵纷纷制成并已获得应用。第一个全固态相控阵 (7.25—7.75GHz)已用于 SHF SATCOM 卫星系统,它由 128 元矩形微带贴片和射频接收模块(每只有三个砷化镓 MMIC 片)组成^[44]。由 216 元方形贴片组成的 C 波段有源相控阵天线也已首次用于星载地面成像系统^[45]。每个单元都具有双极化(水平和垂直)能力,阻抗带宽约 4%。天线面共有 12“串”串馈贴片阵(各 18 元),每“串”中心接一个水平极化和一个垂直极化“雷达元”。“雷达元”由四位移相器和收发模块构成。收发模块工作于 5.25—5.35GHz,发射功率为 10W,增益为 12dB;接收噪声系数为 3dB,增益为 20dB。天线口径为 64 × 46 cm²,增益为 28.5dB (总效率约 62%)。俯仰和方位旁瓣电平分别为 -18dB 和 -13.5dB。波束在俯仰平面扫描 ±22°。日本研制成了数据中继卫星用的 19 波束接收阵/单波束发射相控阵的地面样机^[46]。其外形如图 9(a)所示;图 9(b)为多路数据中继系统框图。它由 19 个子阵构成,其中 12 个子阵收发共用。接收时 19 个子阵通过中频网络形成 19 个固定波束,复盖全球 (20° 视场);发射时按指令控制移相器,使扫描波束指向空间用户。各子阵都由 7 个带缺口(以改善轴比)的圆极化圆形贴片组成。每个子阵接一个射频模块。射频模块装有混频器、移相器 (PS)、低噪声放大器 (LNA)、混频器和双工器等,接收增



(a)



(b)

图 9 19 波束接收阵/单波束发射相控阵

益 29.47dB, 发射插入损失不大于 2.68dB, 天线直径 1.5m, 发射频带为 2.025—2.11GHz, 接收频带为 2.20—2.29GHz, 发射波束增益 24dB, 接收波束增益 25.5dB. 对于无源相控阵, 也有不少研制实例, 如工作于 5.7GHz 的圆柱形微带相控阵试验模型, 由 8 行子阵 (各 4 个矩形贴片) 组成, 在方位面波束扫描 $\pm 30^\circ$ [47].

5. 微带共形阵

已广泛用作与导弹共形的全向天线和跟踪天线等, 如置于锥角 20° 底部直径 95mm 的导弹锥体表面的单脉冲圆极化矩形贴片阵 (10GHz)[48] 等.

五、展 望

微带天线应用前景广阔. 作为轻巧的又能共形的印刷天线, 它在导弹、卫星和飞机等飞行器上的应用正在日益增多. 由许多有小功率固态功放的有源子阵组成的微带阵列, 有可能代替现用的高功率行波放大器和反射面天线用于下一代直播卫星. 长期盼望的低造价相控阵雷达, 有可能利用微带辐射元与有源器件一起集成的全固态微带相控阵来实现. 多功能的微带阵列不但用作星载天线, 也将用于卫星通信系统的小型地面站等设备中. 微带天线将能替代不少常规天线用于一些民用和军事装备, 特别是便携式设备 (从医学辐射计、卫星电视接收到轻便雷达等) 更新换代的产品. 微带天线还能用作天线馈源和作为“不可见”天线集成在原有的反射面等天线上 (以增加功能).

许多技术仍待进一步发展. 例如: (1) 有源化; (2) 多层化, 各层间的电连接、对准和热效应等问题都需进一步解决; (3) 材料开发, 特别是低损耗基片和半导体、高介电常数、高导磁率材料的开发研究和一致性控制; (4) 机辅设计技术 (CAD) 和机辅制造技术 (CAM), 等. 可以相信, 随着现代科技, 特别是微电子技术的进步, 微带天线将进入较成熟的应用时期.

参 考 文 献

- [1] I. J. Bahl, P. Bhartia, *Microstrip Antennas*, Artech House, 1980.
- [2] J. R. James, P. S. Hall, C. Wood, *Microstrip Antenna Theory and Design*, Peter Peregrinus, 1981.
- [3] K. R. Carver, et al., *IEEE Trans. on AP*, **AP-29**(1981), 1—182.
- [4] 刘克诚, 张钧等, 电子学报, 1984 年, 第 6 期, 第 82—91 页.
- [5] H. Pues, A. Van de Capelle, *IEE Proc. H*, **131**(1984), 334—340.
- [6] D. L. Sengupta, *Electromagnetics*, **4**(1984), 355—376.
- [7] A. K. Bhattacharyya, R. Garg, *IEEE Trans. on AP*, **AP-33**(1985), 369—374.
- [8] Y. T. Lo, D. Solomon, W. F. Richards, *IEEE Trans. on AP*, **AP-27**(1979), 137—145.
- [9] M. Davidovitz, Y. T. Lo, *IEEE Trans. on AP*, **AP-34**(1986), 905—911.
- [10] V. Palanisamy, R. Garg, *IEEE Trans. on AP*, **AP-34**(1986), 1208—1213.
- [11] 陈敬德, 都世民, 天线学报, 1985 年, 第 1 期, 第 4—12 页.
- [12] M. C. Bailey, M. D. Deshpande, *IEEE Trans. on AP*, **AP-30**(1982), 651—656.
- [13] A. A. Kishik, L. Shafai, *IEEE Trans. on AP*, **AP-34**(1986), 969—976.
- [14] D. M. Pozar, *IEEE Trans. on AP*, **AP-30**(1982), 1191—1196.
- [15] N. G. Alexopoulos, P. B. Katchi, D. B. Rutledge, *IEEE Trans. on MTT*, **MTT-31**(1983), 550—557.
- [16] P. B. Katchi, N. G. Alexopoulos, I. Y. Hsia, *IEEE Trans. on AP*, **AP-35**(1987), 5—12.
- [17] P. B. Katchi, *IEEE Trans. on AP*, **AP-35**(1987), 125—133.
- [18] D. M. Pozar, *IEEE Trans on AP*, **AP-33**(1985), 1045—1053.
- [19] S. M. Ali, W. C. Chew, J. T. Kong, *IEEE Trans. on AP*, **AP-30**(1982), 637—644.

- [20] 龚书喜,茅于宽,钟顺时,天线学报,1986年,第1期,第63—72页.
- [21] K. Araki, H. Ueda, T. Masayuki, *IEEE Trans. on AP*, **AP-34**(1986), 1390—1394.
- [22] Y. Suzuki, N. Miyano, T. Chiba, *IEE Proc. H*, **134**(1987), 194—198.
- [23] V. Palanisamy, R. Garg, *IEEE Trans. on AP*, **AP-34**(1986), 1340—1346.
- [24] 钟顺时,刘武华,张学军,圆极化宽频带天线元,1987年全国天线会议论文集,南京,1987.
- [25] J. Huang, *IEEE Trans. on AP*, **AP-34**(1986), 1113—1124.
- [26] S. Nishimura, Y. Sugio, T. Makimoto, Crank-type Circularly Polarized Microstrip Line Antenna, 1983 IEEE AP-S Symp. Dig., Houston, pp. 162—165.
- [27] 钟顺时,电子科学学刊,**7**(1985),98—107.
- [28] S. S. Zhong, A Broadband Feeding Technique for Microstrip Antenna Elements, IEE 5th Int. Conf. on AP(ICAP 87), Heslington, 1987, pp. 300—303.
- [29] P. S. Hall, *Microwave Journal*, **29**(1986)3, 133—138.
- [30] K. S. Yngvesson, et al., *IEEE Trans. on AP*, **AP-33**(1985), 1392—1400.
- [31] S. S. Zhong, Y. T. Lo, *Electron. Lett.*, **19**(1983)8, 298—300.
- [32] B. F. Wang, Y. T. Lo, *IEEE Trans. on AP*, **AP-32**(1984), 938—943.
- [33] S. E. Davidson, S. A. Long, W. F. Richards, *Electron. Lett.*, **21**(1985)20, 936—937.
- [34] K. Ito, N. Goto, *IEE Proc. H*, **130**(1983), 170—174.
- [35] P. L. Sullivan, D. H. Schaubert, *IEEE Trans. on AP*, **AP-34**(1986), 977—984.
- [36] H. J. Thomas, D. L. Fudge, G. Morris, *Microwave & RF*, **24**(1985)2, 87—91.
- [37] T. O. Perkins III, *Microwave Journal*, **30**(1987)3, 109—117.
- [38] P. C. Strickland, Shaped Beam Synthesis with Series-Fed Microstrip Patch Arrays, IEE 5th Int. Conf. on AP(ICAP 87), Heslington, 1987, pp. 477—480.
- [39] S. S. Zhong, J. L. Zhang, Design of a Compact Microstrip Antenna Array, Proc. ISAE'85, China, 1985, pp. 201—204.
- [40] J. F. Balcewicz, S. H. Colodny, H. C. Johnson, Active Array Antenna for the Next-Generation Direct Broadcast Satellite, IEEE GLOBAL Telecom. Conf., 1984, pp. 460—467.
- [41] M. J. Alexander, et al., A Microstrip Patch Array for L-Band Satellite Communications, IEE 5th Int. Conf. on AP(ICAP 87), Heslington, 1987, pp. 285—288.
- [42] G. V. Colby, J. C. Bryanos, *Microwaves & RF*, **24**(1985)2, 96—99.
- [43] F. Lalezari, C. D. Massey, *Microwave Journal*, **30**(1987)4, 87—96.
- [44] E. Brookner, *Microwave Journal*, **30**(1987)3, 167—174.
- [45] H. Haddad, M. F. Fithian, D. Coombs, *Microwaves & RF*, **25**(1986)4, 103—108.
- [46] 手代木,中條,赤石,広瀬,(日)信学论(B), 369-B (1986),1441-1452.
- [47] E. V. Sohtell, J. P. Starski, Cylindrical Microstrip Patch Phased Array Antenna-Chalscan C, Proc. Military Microwaves'86, Brighton, 1986, pp. 312—322.
- [48] P. Newham, Monolithic Patch Array Antenna for Small Missile Applications, Proc. Military Microwaves'86, Brighton, 1986, pp. 335—340.

ADVANCES IN MICROSTRIP ANTENNA THEORY AND TECHNOLOGY

Zhong Shunshi

(Shanghai University of Science and Technology, Shanghai)

Y. T. Lo

(University of Illinois, Urbana-Champaign, U. S. A.)

Abstract Recent developments in microstrip antenna theory and technology are surveyed. Emphasis is on those in the basic theories and techniques for circularly polarized, broadband, multiband operations and feeding methods, as well as several recently developed microstrip arrays such as mm-wave microstrip arrays and active monolithic phased arrays. Finally, directions for microstrip antenna developments and applications are summarized.

Key words Antenna; Microstrip antenna; Phased array