

文章编号: 1004-2474(2001)S0-0331-03

微机械双 C 微带天线的研究

潘 武, 钟先信, 巫正中, 陈文涛, 肖沙里

(重庆大学 微系统研究中心, 重庆 400044)

摘要: 提出了一种微带馈电的微机械双 C 微带天线。天线由两 C 型贴片构成, 贴片间通过短路壁相连。天线采用硅和 Teflon 材料作混合基底。采用微机械加工技术在硅基底中构成空腔结构, 从而有效降低基底的有效介电常数。天线尺寸约为 $\lambda/12$, 带宽约为 2% (电压驻波比 < 2)。利用有限时域差分法 (FDTD 法) 对该天线进行了仿真计算, 并与测试结果进行了比较, 基本相符。

关键词: 微带天线; 微机械; 微型天线

Study of Micromechanical Double-C Microstrip Antenna

PAN Wu, ZHONG Xian-xin, WU Zheng-zhong, CHEN Wen-tao, XIAO Sha-li

(Microsystems R&D Center of Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: A micromechanical double-C microstrip antenna excited by means of a microstrip line is described. The antenna consists of two stacked C-shaped elements connected together with a shorted circuit plane. The antenna is designed on a hybrid substrate that consists of silicon and teflon material. The cavity structure is fabricated in silicon substrate by micromechanical technology. The effective dielectric constant is reduced effectively. The dimension of antenna is reduced to $\lambda/12$. A bandwidth of 2% is obtained ($VSWR \leq 2$). The antenna is simulated by using finite-difference time-domain (FDTD) method. Basic agreement is found between the measured and simulated results.

Key words: microstrip antenna; micromechanical; miniaturized antenna

1 引言

微带天线具有剖面薄、易共形和低制造成本等特点, 被广泛用于卫星通信、雷达、遥感遥测以及生物医学系统等许多领域^[1]。随着更高频率的使用, 对射频器件、电路和辐射单元集成的要求也越来越高, 以便提供重量轻、尺寸小和最佳性能的无线通信系统。通常集成电路被做在高介电常数基底材料上, 而天线则应做在低介电常数基片上。一般的解决办法是电路集成在基片的高介电常数区域, 平面天线集成在低介电常数区域的混合集成。然而随着使用频率的提高, 混合集成越来越困难, 开发成本越来越高。特别是对单片通信系统的急迫要求, 要求辐射元件能与电路集成在一起, 研究高介电常数基片上的微带贴片天线成为人们关注的问题^[2]。

为了克服常规微带贴片天线的尺寸问题, 已出现了许多小型微带天线结构。一种是用高介电常数^[3]的材料作基底, 但它又具有带宽窄和更高材料价格的缺点。通常在辐射单元和接地面之间采用短接针可使天线的尺寸减小^[4]; 另一种是包括直接在辐射单元上刻

蚀缝^[5], 或对 $\lambda/2$ 贴片天线的形状稍作改进, 也可获得工作在相同频率结构更小的天线^[6]。文章中的天线采用硅作基本基底材料, 提出用微机械加工工艺, 将基底硅片作部分刻蚀, 形成空气腔, 使天线基底成为硅片和空气腔的混合结构。从而为天线提供一个等效的低介电常数环境, 达到抑制表面波激励、改善天线性能。文章提出一种双 C 折叠结构及混合基底的微带天线, 利用有限时域差分法^[7] (FDTD) 进行电磁仿真, 对天线有关参数作了测试分析。从仿真与测试结果看, 该天线的尺寸约为 $\lambda/12$, 说明此方法可有效降低微机械微带天线的尺寸。

2 降低微带天线基底有效介电常数的方法

在不影响电路要求的情况下, 人们希望将微机械平面天线结构与集成电路集成在同一硅或砷化镓基片上。在天线和电路的集成中, 采用微带馈电的微带贴片天线应是较为方便的方案。而随着人们对更高频率的使用和对低价格的要求, 需要能将有源器件、电路以及辐射元件的高度集成的创新结构设计。虽然在高

收稿日期: 2001-06-14

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助项目《集成微光机电系统研究》(G1999033105)

作者简介: 潘武 (1966-), 男, 四川大英人, 博士生。

介电常数基片上可实现微型化电路结构, 但性能优化的贴片天线是建立在低介电常数基片上的。为了避免使用昂贵的混合技术, 创新的结构设计需要在高介电常数基片上完成电路与天线的集成。目前, 有两种技术可用在高介电常数基片上制造性能优化的微带贴片天线。一种是基于微细加工技术; 另一种是利用光子带隙结构基片的概念。前者主要在于移去辐射元件下面的一部分基片, 获得天线所需的低相对介电常数环境; 这样, 由表面波激励带来的能量损耗降低了, 但对空间波辐射功率的耦合增强了。后者依赖于PBG(光子带隙) 工程概念: 高介电常数基片被周期地填充许多孔状结构, 也可以降低天线基底的有效介电常数。

3 微机械双 C 微带天线结构设计

图 1 为微机械双 C 微带天线的结构示意图。该天线采用两个相同 C 型贴片结构, 贴片间利用短路壁相连, 微带馈电线与下层贴片相连, 馈电位置见图 1。从天线结构看, 天线基底采用了两种介质, 下层贴片与接地面之间采用硅材料(主要是考虑与集成电路兼容的问题), 下层贴片与上层贴片之间采用低介电常数的介质材料(如 Teflon 等)。 $L \times W = 8.5 \text{ mm} \times 8.5 \text{ mm}$, 高约 4 mm。

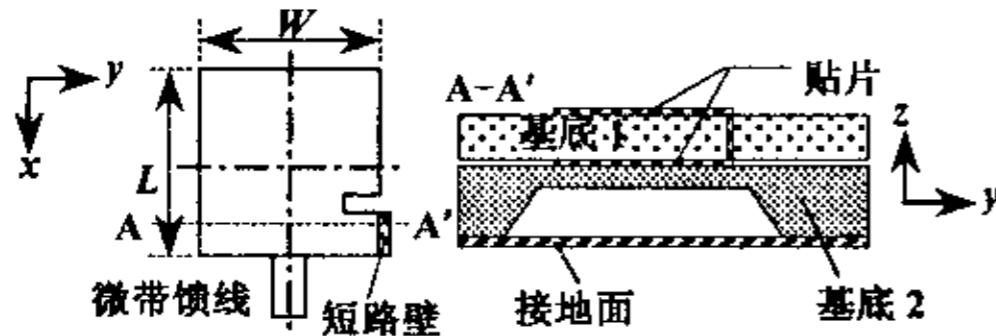


图 1 微机械双 C 微带天线结构示意图

硅材料具有较高的介电常数($\epsilon_r=11.9$), 而高介电常数基底材料中表面波的显著激励, 使微带天线性能明显降低, 如效率更低、带宽更窄、辐射方向图变坏等。本文利用微机械加工工艺, 将硅片作部分刻蚀, 形成空气腔, 使天线基底变为硅片和空气腔的混合结构(见图 1)。这样可为天线提供一个等效的低介电常数环境, 达到抑制表面波激励的目的^[2]。

4 数值仿真计算

针对此天线的微型结构, 主要采用有限时域差分法(FDTD) 对天线进行电磁场的数值计算。FDTD 法来自于 Maxwell 方程组的两个旋度方程的直接差分离散^[7], 通过递推进行求解, 适合计算机编程实现。这里用计算机编程语言给出 FDTD 法的电磁场 6 个分量的

基本迭代公式, 即

$$\begin{aligned}
 E_x(i, j, k) &= C_x(i, j, k) \{ -D_x(i, j, k) E_x(i, j, k) + \\
 &\quad [H_z(i, j+1, k) - H_z(i, j, k)]/dy - \\
 &\quad [H_y(i, j, k+1) - H_y(i, j, k)]/dz \} \\
 E_y(i, j, k) &= C_y(i, j, k) \{ -D_y(i, j, k) E_y(i, j, k) + \\
 &\quad [H_x(i, j, k+1) - H_x(i, j, k)]/dz - \\
 &\quad [H_z(i+1, j, k) - H_z(i, j, k)]/dx \} \\
 E_z(i, j, k) &= C_z(i, j, k) \{ -D_z(i, j, k) E_z(i, j, k) + \\
 &\quad [H_y(i+1, j, k) - H_y(i, j, k)]/dx - \\
 &\quad [H_x(i, j+1, k) - H_x(i, j, k)]/dy \} \\
 H_x(i, j, k) &= C'_x(i, j, k) \{ -D'_x(i, j, k) H_x(i, j, k) - \\
 &\quad [E_z(i, j, k) - E_z(i, j-1, k)]/dy + \\
 &\quad [E_y(i, j, k) - E_y(i, j-1, k)]/dz \} \\
 H_y(i, j, k) &= C'_y(i, j, k) \{ -D'_y(i, j, k) H_y(i, j, k) - \\
 &\quad [E_x(i, j, k) - E_x(i, j-1, k)]/dz + \\
 &\quad [E_z(i, j, k) - E_z(i-1, j, k)]/dx \} \\
 H_z(i, j, k) &= C'_z(i, j, k) \{ -D'_z(i, j, k) H_z(i, j, k) - \\
 &\quad [E_y(i, j, k) - E_y(i-1, j, k)]/dx + \\
 &\quad [E_x(i, j, k) - E_x(i-1, j, k)]/dy \}
 \end{aligned} \tag{1}$$

其中系数 $C_x, C_y, C_z, D_x, D_y, D_z, C'_x, C'_y, C'_z, D'_x, D'_y, D'_z$ 为介质电磁参数的函数^[7]。实际的天线计算不可能在无限空间中进行, 而通常要利用吸收边界条件来模拟电磁波在无限空间中的传播特性。这里我们采用完全匹配层(PML) 条件, 用一种非物理性的电磁波吸收层(即一层损耗媒质) 包围计算域, 用以吸收任意频率、任意入射角的达到边界的外向波。另外激励源的选取对算法的准确度和稳定性影响较大, 选用高斯脉冲作为激励信号, 并采用微带馈电方式, 激励信号均匀地加在天线微带馈线与接地面之间。

计算得到微带馈线端点的时域波形, 可将该波形分为入射脉冲和反射脉冲两部分, 分别对它们进行傅里叶变换, 由反射项和入射项的比值求出激励源频谱范围内反射系数 S_{11} 频率特性, 并得到输入阻抗

$$Z_{in}(\omega) = Z_0 \frac{1 + S_{11}(\omega)}{1 - S_{11}(\omega)} \tag{2}$$

其中 Z_0 为馈电微带线的特性阻抗。而从此时域波形的减幅振荡周期可计算出天线的谐振频率。

通过时域解的傅里叶变换可得到频域解, 包括计算空间中任意场点的谱特性和特定频率下场的空间分

布, 从而获得工作频率下天线的近场及贴片表面的电流分布, 并通过近场—远场的变换(如 LOVE 场等效原理) 得到天线的方向图。

5 计算及测试结果及分析

本天线的数值仿真计算是在 MATLAB 软件上进行的, 采用宽为 3.2 mm 的微带馈线馈电, 得到的中心频率为 3.23 GHz, 谐振点的回损达-47 dB, 天线输入阻抗为 $48+j0.3 \Omega$ (见图 2、3)。图 4 为微机械双 C 微带天线的方向图, 从图中可知, 辐射方向接近全向。测试得到的天线中心频率为 3.139 GHz, 带宽约 2% (电压驻波比 ≤ 2), 天线尺寸约为 $\lambda/12$ 。从而可知, 这种双 C 结构可大大降低天线的尺寸, 有利于微机械天线的微型化。测试与计算结果有一定的差异, 一是由于仿真计算有一定误差, 特别是从时域到频域的傅氏变换对数值误差非常敏感, 容易产生误

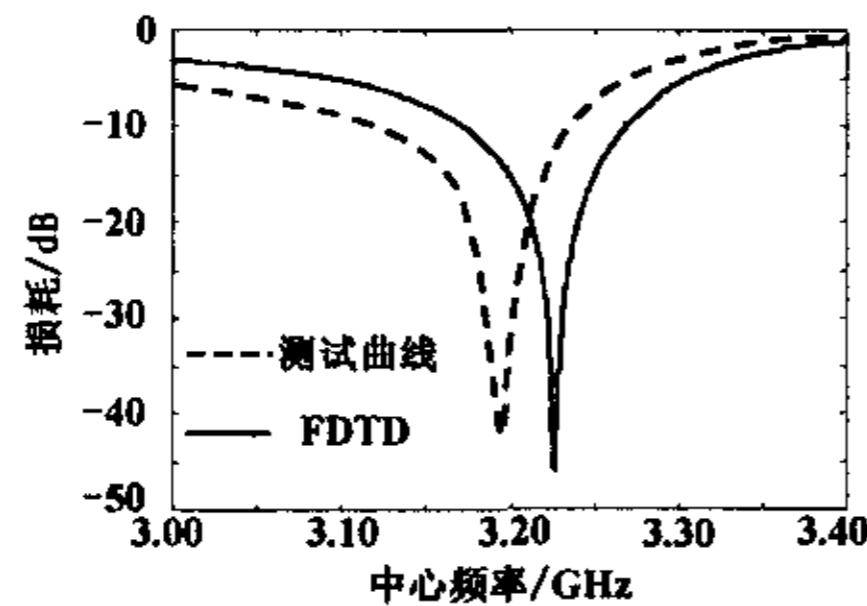


图 2 微机械双 C 微带天线的仿真计算与测试回波损耗曲线

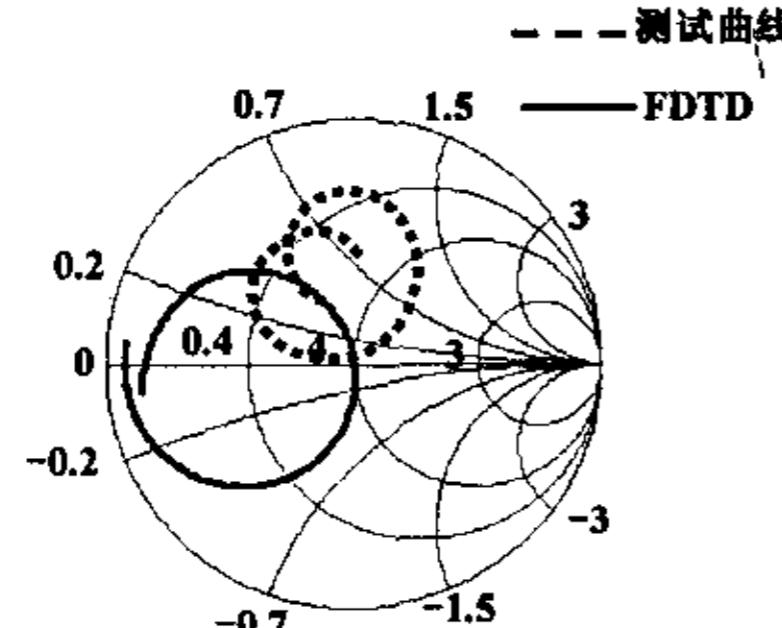


图 3 微机械双 C 微带天线仿真计算与测试的阻抗圆图

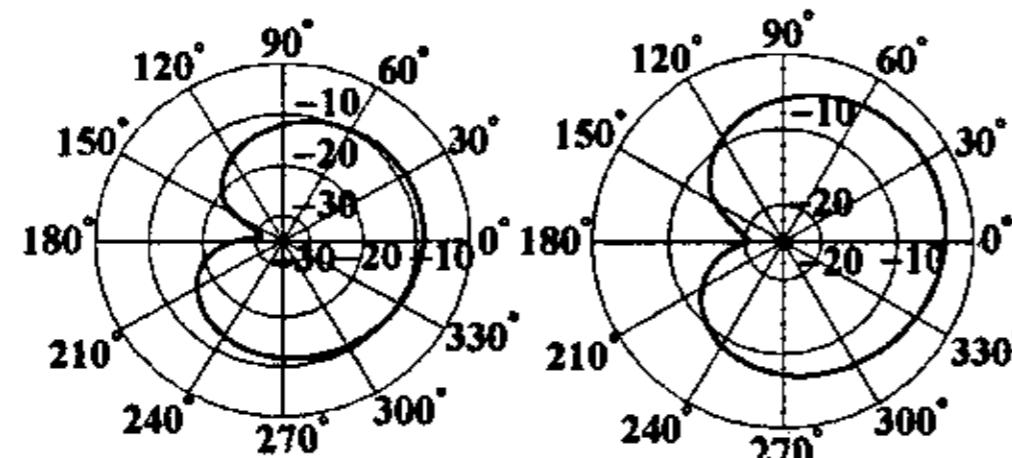


图 4 微机械双 C 微带天线方向图(仿真结果)

差; 二是实际天线制造误差(包括基片厚度、硅基底中空腔高度、微带贴片尺寸等误差)也可能使结果出现偏差。硅的刻蚀深度直接对基底有效介电常数产生影响^[2], 得到的天线的特性参数发生变化。微带馈线的宽度对天线的谐振频率及辐射方向图也将产生影响, 因为较宽的微带线也会有一定的电磁辐射。在天线测试时, 连接头与微带线间的匹配不易把握, 需要多次调整。仿真与测试结果基本相符, 说明利用 FDTD 法仿真结构较复杂的微机械双 C 微带天线是可行的, 有利于微机械天线的研制。

6 总结

本文首次提出一种微机械双 C 微带天线结构。其最大特点是相当小的天线尺寸, 约为 $\lambda/12$, 这有利于微机械天线的微型化。文中利用有限时域差分法对该天线进行了数值仿真, 得到了与测试结果基本相符的结果。这种天线适合于室内通信、Bluetooth 等短距离无线通信系统。

参考文献:

- [1] 钟顺时. 微带天线理论与应用[M]. 陕西: 西安电子科技大学出版社, 1991.
- [2] 潘 武, 钟先信, 巫正中. 微机械微带贴片天线研究[J]. 光学精密工程, 2001, 9(3).
- [3] HWANG Y, ZHANG Y P, ZHENG G X, et al. Planar inverted F antenna loaded with high permittivity material [J]. Electron Lett, 1995, 31, (20): 1 710-1 712.
- [4] ROWELL C R, MURCH R D. A capacitively loaded PIFA for compact mobile telephone handsets [J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 1997, 45(5): 837-842.
- [5] WONG Kin-lu, YANG Kai-ping. Small dual-frequency microstrip antenna with cross slot [J]. Electron Lett, 1997, 33(23): 1 916-1 917.
- [6] GEORGE J, DEEPUKUMAR M, AANANDAN C K, et al. New compact microstrip antenna [J]. Electron Lett, 1996, 32(6): 508-509.
- [7] 王长清, 祝西里. 电磁场计算中的时域有限差分法[M]. 北京: 北京大学出版社, 1994.

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养, 更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果, 又能免除您舟车劳顿的辛苦, 学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲, 结合实际工程案例, 直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>