

文章编号 1004-924X(2001)06-0572-04

微机械多层短接式蓝牙天线

巫正中, 钟先信, 李晓毅, 陈文涛

(重庆大学 光电工程学院微系统研究中心, 重庆 400044)

摘要: 集成电路与微机械天线对于基底介质的要求不同, 前者需要高介电常数的介质, 而后者所需介质的介电常数则较低, 要将两者集成到一起存在一定困难。为了满足蓝牙通信器件的需要, 以便将微带天线与电路集成在一起, 设计了背腔-短接式微带贴片天线, 并采用微机械加工工艺制作了样品, 其 10dB 带宽达到了 10% 以上, 辐射效率为 67%, 长度仅为 1/6 波长, 基本达到了蓝牙通信器件的要求。

关键词: 微带天线; 微机械; 蓝牙技术

中图分类号: TN820.27 文献标识码: A

1 引言

微带天线是一种用途极广的面状天线, 它具有结构简单、重量轻、兼容性好、制造成本低、辐射效率高特点, 从 20 世纪五十年代以来已广泛用于雷达、遥测、遥感、遥控、导航、精密仪器、生物学、环境监测等领域。微带天线的基底介质对天线性能影响较大, 介电常数大的介质有利于减小天线尺寸, 但在介质中极易激励起表面波, 从而导致效率降低、带宽变窄、方向图不理想等; 反之, 介电常数小的介质虽然无助于减小天线尺寸, 却对效率、带宽等的增加有利。增加微带天线的基底厚度、减小基底介质的介电常数可以抑制表面波、增加天线效率、扩展带宽^[1]。文献[2-4]提出以光子带隙、空气分离缝隙等结构来减小基底介质的介电常数, 在抑制表面波、提高天线性能方面取得了较为满意的进展。

近两年无线局域网(WLAN)兴起, 在工业科学医学(ISM)频段(2.402GHz~2.480GHz)出现了蓝牙(Bluetooth)、家用射频(HomeRF)及 IEEE802.11b(Wi-Fi)技术, 这些无线连接器件的尺寸越来越小, 迫切要求制作单芯片的通信模块。为此, 我们设计并制作了中心频率为 2.44GHz 的背腔-短接式微机械蓝牙天线, 这样既

可使天线贴片处的有效介电常数减小, 又可使其余部份仍具较高介电常数, 从而使矛盾得到了解决。

2 背腔-短接式微机械蓝牙天线

2.1 微机械蓝牙天线设计

进行天线设计时, 首先需计算如图 1 所示的多层介质微带线的特征参数。单层微带线参数的计算可参考有关的公式^[4], 但多层微带的参数计算比较困难, 有关文献相对较少。采用变分法求多层微带参数, 具有较高精度。单位长度的电容变分公式为:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \int_0^\pi \int_0^\infty \frac{f(\beta)}{Q} J^2 \hat{g}(\beta) d\beta \quad (1)$$

其中:

$$\frac{f(\beta)}{Q} = \frac{8}{5} \left\{ \frac{\sin(\beta w/2)}{\beta w/2} \right\} + \frac{12}{5(\beta w/2)^2} \left\{ \cos(\beta w/2) - \frac{2\sin(\beta w/2)}{\beta w/2} + \frac{\sin^2(\beta w/4)}{(\beta w/4)^2} \right\} \quad (2)$$

$$\hat{g}(\beta) = \frac{1}{\beta} \left[\epsilon_1 \text{cth}(\beta d_1) + \epsilon_2 \text{cth}(\beta h) \right] \left\{ \epsilon_1 \text{cth}(\beta d_1) \left[\epsilon_3 \text{cth}(\beta d_2) + \epsilon_2 \text{cth}(\beta h) \right] + \epsilon_2 \left[\epsilon_1 + \epsilon_3 \text{cth}(\beta d_2) \text{cth}(\beta h) \right] \right\} \quad (3)$$

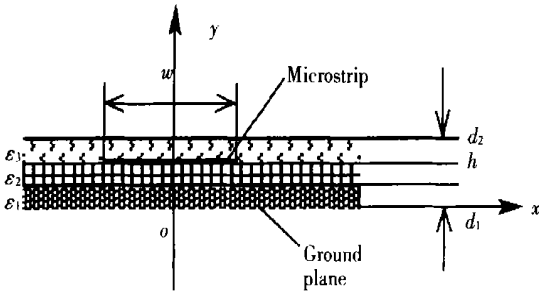


Fig. 1 Structure of the triple layer substrate microstrip.

由式(1)进行数值积分,可以计算出单位长微带的电容 C_1 , 令介电常数 ϵ_{r1} 、 ϵ_{r2} 、 ϵ_{r3} 等于1, 同样以式(1)可以算出空气悬置微带的电容 C_0 , 于是就能以下式计算多层微带的特征阻抗 Z_0 和有效电介常数 ϵ_e :

$$\begin{cases} z_0 = \frac{1}{v_c \sqrt{C_0 C_1}} \\ \epsilon_e = \frac{C_0}{C_1} \end{cases} \quad (4)$$

其中 v_c 为真空中光速, 近似取 $v_c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 。

本方案选用 0.5mm 厚的硅片, 腐蚀空腔高度 $t_a = 0.25\text{mm}$, 设计初始数据如下: $d_1 = h = 0.25\text{mm}$, $d_2 = 0.25$, $\epsilon_{r1} = \epsilon_{r3} = 1$, $\epsilon_{r2} = 11.7$, 微带宽 $W = 20\text{mm}$ 。利用变分式(1)编制程序, 进行数值计算, 得到单位长度多层微带电容 C_1 , 再令 $\epsilon_{r1} = \epsilon_{r2} = \epsilon_{r3} = 1$, 计算单位长度空气悬置微带电容 C_0 , 由式(4)计算出 $\epsilon_e = 1.9774$, $Z_0 = 48.9\Omega$ 。为了减小天线尺寸, 采用短接形式的 1/4 波长贴片结构, 工作模式为 TM_{10} 。因此中心频率为 2.44GHz 的背腔-短接式蓝牙天线长度为:

$$L = \frac{V_c}{4f_r \sqrt{\epsilon_e}} - \Delta \quad (5)$$

式中

$$\Delta = 0.412H \frac{(\epsilon_e + 0.3)(W/H + 0.264)}{(\epsilon_e - 0.258)(W/H + 0.8)} \quad (6)$$

$H = 0.5$, $V_c = 3 \times 10^{11}$, $f_r = 2.44 \times 10^9$

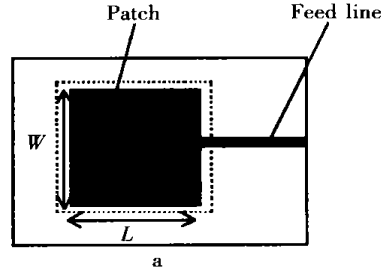
经计算, 得到天线贴片长度 $L = 21.5\text{mm}$ 。

设计微带馈线尺寸为 $1.8 \times 22\text{mm}^2$ 。

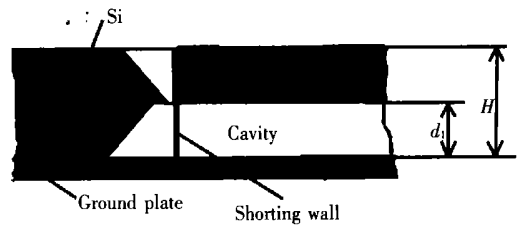
2.2 微机械蓝牙天线结构

根据设计所得数据, 在 0.5mm 厚的硅片上, 采用用微机械加工艺^[5], 通过刻蚀、淀积处理,

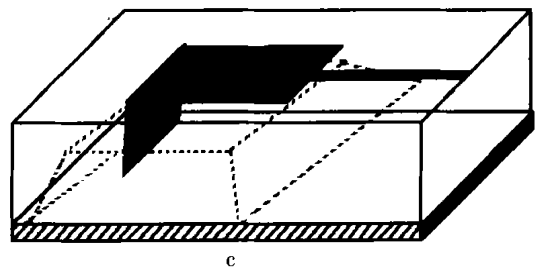
在硅片上得到空腔、短接狭缝及贴片、微带馈线等结构, 如图 2 所示。金属贴片、馈线与半导体硅之间镀有一层 14nm 厚的 SiO_2 薄膜, 短路壁处的狭缝底部宽 0.15mm~0.2mm, 空腔顶部长和宽比贴片尺寸略大 1mm。短路壁选用 0.05mm 厚的铜箔, 底部与金属接地板焊在一起, 顶部穿过狭缝通过导电胶与贴片相连, 硅片与接地板间用环氧树脂固定, 最后装上标准同轴电缆接头。



(a) Top view.



(b) Cross section of the shorting wall and the cavity.



(c) Layout of the Bluetooth antenna.

Fig. 2 Geometry of the shorted micromachining.

3 测试结果及分析

3.1 测试结果及讨论

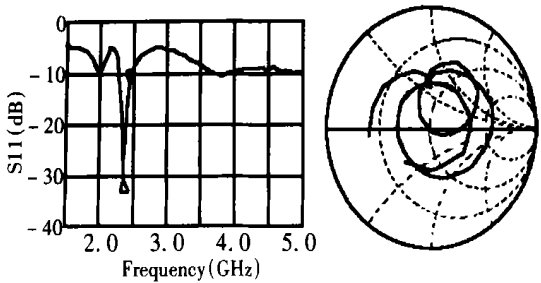
微机械蓝牙天线制作完成后, 用 HP8720C 矢量网络分析仪进行测试, 结果见图 3, 其中(a)为 S_{11} 对于频率的变化曲线, (b)为对应的 Smith

图。中心频率和特征阻抗的设计值与测量值比较见表 1。

Table 1 Parameter comparisons of the design and results measured

Parameters	Design	Measurement	Errors
Central frequency(GHz)	2.44	2.375	2.67%
Characteristic impedance(Ω)	48.9	46.846+j0.1621	4.2%

天线的 10dB 带宽(反射损耗小于或等于-10dB)为 10.11%, 这比直接在高介电常数基底材料上制作的微带贴片天线带宽(2%)^[6]提高了 4 倍以上, 爱立信公司新推出的蓝牙模块 ROK101008 要求天线驻波比仅为 3(即 S11 为-3dB), 因此若按蓝牙模块要求的 3dB 带宽来计算, 带宽还将成倍增加, 完全可以覆盖 2.402GHz ~ 2.480GHz 的 ISM 频段; 天线的品质因数为 $Q = 276.32$ 。



(a) Measured return loss (b) Smith chart

Fig. 3 Measured reflection coefficient for Bluetooth micro-machined antenna.

设计参数值与测试值之间的误差在 5% 以内, 误差的主要原因是设计时没有考虑腐蚀短接狭缝所形成的 54.7° 的倾斜角度、空腔四周的边缘效应和导电胶(如图 2b)对天线的影响, 另外加

参考文献:

- [1] Giladas P. Microstrip antennas on synthesized low dielectric constant substrates[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 1997. 45(8): 1310- 1314.
- [2] Mark J. Improvement of microstrip patch antenna radiation patterns[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 1994. 42(6): 882- 885.
- [3] Bahi I J, Bharti. 微带天线[M], 北京: 电子工业出版社, 1985.
- [4] 潘武, 钟先信, 巫正中, 等. 微带天线的宽带化、微型化研究及微机械天线[J]. 微米/纳米科学与技术, 2000, 5(1): 201- 204.

工过程中也会出现误差, 如果设计时作适当的修正, 可以缩小误差。

爱立信蓝牙模块 ROK101008 预留了一对 50Ω 的天线球栅阵列(BGA)引脚, 天线加载蓝牙模块后, 谐振频率将发生变化, 带宽将变窄。其变化幅度与所加载荷及阻抗匹配有关, 模块载荷越大、阻抗匹配越差, 中心频率和带宽变化就越大。ROK101008 模块额定功率非常小, 并且其 50Ω 的天线引脚与天线特征阻抗(47Ω)相差不大, 所以此天线加载蓝牙模块后, 中心频率和带宽变化在容许范围内, 仍然能够满足蓝牙通信的要求。

3.2 天线辐射效率计算

天线的工作模式为 TM_{01} , 其辐射品质因数 $Q_r^{[1]}$ 为:

$$Q_r = \frac{3\lambda_0}{8h}\epsilon_c \approx 185.38 \quad (7)$$

微带天线的计算辐射效率 η_r 为:

$$\eta_r = \frac{P_r}{P} = \frac{Q_r}{Q} = \frac{185.38}{276.32} = 67.09\% \quad (8)$$

微带天线的主要特点之一是效率高, 采用低介电常数基底的微带天线效率可达 80% 以上, 反之, 采用高介电常数基底的天线效率则较低, 本文的天线采用背腔结构, 使天线辐射效率达到 67% 以上。

4 结 论

本文为了解决将微带天线贴片和电路集成到一起所面临的矛盾, 提出了背腔-短接式微带贴片天线结构, 以达到同时满足天线和线路的要求, 设计了天线及其微带馈线, 并采用微机械加工工艺制作了天线试验样品。经测试阻抗带宽为 10.11%, 计算辐射效率为 67.09%, 与全硅基底的贴片天线相比, 带宽增加了 4 倍以上, 效率也较高, 并且天线长度小于 $1/6$ 波长, 适用于小型蓝牙通信器件。

[5] 邵培革,王立鼎,任延同.微机械元件和仪器新进展[J].光学精密工程,1999,7(1):10-15.

Multilayer- shorted Micromachined Bluetooth Antenna

WU Zheng-zhong, ZHONG Xiarr-xin, LI Xiaor-yi, CHEN Werr-tao

(*Research and Development Centre of Micro- system,
Chongqing University, Chongqing 400044, China*)

Abstract: The substrate performances for integrated circuit and micromachined antenna are quite different in which the former requires high dielectric constant, but the latter doesn't. Therefore it's difficult to integrate circuits with microstrip antenna. To meet the needs of miniaturized Bluetooth devices, the paper presents a cavity-shorted microstrip antenna manufactured by micromachining process. The 10dB bandwidth and efficiency of the micromachined Bluetooth antenna are more than 10% and 67%, respectively, and the length is only 1/6 wavelength. The antenna is suitable for Bluetooth devices.

Key words: microstrip antennas; micromachining; Bluetooth technology

作者简介:巫正中(1968-),男,重庆人。重庆大学微系统研究中心博士研究生,现主要从事 MEMS 及蓝牙通信方面的研究。E-mail: Lrjuntang@hotmail.com

欢迎您订阅《光机电信息》

《光机电信息》是由中国科学院长春光学精密机械与物理研究所主办的科技类信息刊物。主要报道国内外光机电领域的前沿与发展动态,内容包括光学、光电子学、激光、光通信、发光学、精密机械、医用光学、军用光学、航空航天技术、微机械、计算机与测量技术等高新技术的各个领域,涉及科技热点评述、趋势与动向、科学专题、研究综述、科学探索、市场动态、新产品开发和高新技术产业化等多方面内容。

为满足不同读者的不同需求,在传播和报道国内外最新信息的同时,我们努力将办刊和为科研生产服务有机地结合在一起,对《光机电信息》所报道的每一专题,乃至每一条信息,我们都可以利用长春光机所的丰富馆藏优势和先进的计算机检索系统,为读者展开深层次的文献跟踪服务,这是我们在新世纪对广大读者的又一庄重承诺!

本刊为月刊,国内外公开发行,每期定价 5.00 元,全年 60.00 元(含邮费)。个人订阅,通过邮局汇款。单位订阅,请填好订购单位通信签、长春光机所财务科存根《记账凭证》,连同款项通过银行寄回。欢迎广大读者订阅并投稿。

地 址: 长春市 1024 信箱《光机电信息》编辑部

开户行: 中行吉林省分行营业部

账 户: 04 单位 438 部

账 号: 018211000889

国内邮发代号: 12-171

《光机电信息》编辑部