

文章编号 1005-0388(2002)06-0565-04

无表面波损耗的孔耦合贴片天线的设计^①

程崇虎

(南京邮电学院通信工程系, 江苏 南京 210003)

K. Li K. F. Tong T. Matsui

(Communications Research Laboratory, 4-2-1, Nukui-kita, Koganei, Tokyo, 184-8795, Japan)

摘 要 设计了一种新结构的孔耦合贴片天线, 该天线结构将贴片连同制作贴片的介质基板一起放置在一个矩形金属框里, 彻底阻断了表面波的传输。该天线结构的尺寸比一般贴片天线要小很多, 但却具有更高的增益。还介绍了对该天线结构的数值模拟、样品制作和实验测量。测量数据显示矩形金属框使天线的增益在 9GHz 到 11GHz 的频率范围内平均提高了 0.7dB, 该天线的工作频带超过了 20%, 带内平均增益为 8.3dBi, 同时天线具有良好的辐射方向图。

关键词 贴片天线, 天线效率, 天线增益, 表面波损耗

中图分类号 TN82 **文献标识码** A

An aperture-coupled microstrip patch antenna without surface wave loss

CHENG Chong-hu

(Nanjing Univ. of Posts & Telecommunications, Nanjing Jiangsu 210003, China)

K. Li K. F. Tong T. Matsui

(Communications Research Lab, 4-2-1, Nukui-kita, Koganei, Tokyo, 184-8795, Japan)

Abstract An aperture-coupled microstrip patch antenna without surface wave loss is presented in this paper. The patch of the antenna is surrounded with four conductor walls to prevent the surface wave propagation. The dimension of the antenna is much smaller than that of a conventional patch antenna, but it has a higher gain. The antenna was simulated firstly by means of a commercial soft IE3D. Then around the dimension obtained in simulation, many samples were fabricated and measured. Measured data show the conductor walls provide a gain improvement of 0.7 dBi over the frequency range from 9GHz to 11GHz. The antenna has a bandwidth of over 20% (for $|S_{11}| \leq -10\text{dB}$) centered at 10GHz, an average gain of about 8.3dBi over the operating frequency range, and a good radiation pattern.

Key words patch antennas, antenna efficiency, antenna gain, surface wave loss

1 引 言

孔耦合底馈贴片天线由于结构紧凑、制作便利、易于调配等优点在各类微波、毫米波系统中有着广泛的应用。该天线结构最早由 Pozar 于 1985 年提出^[1], 与以前的微带馈电结构和同轴馈电结构相比,

由处于背面的微带线通过共用底板上的耦合孔馈电的结构优点十分明显, 因而 Pozar 的文章一发表该天线结构便受到了广泛的关注, 并很快成为平面天线研究的一个热点。该天线结构也存在缺点, 主要是工作频带窄、效率低, 后续研究工作的目的主要便在于天线这两项性能指标的改善。其中针对工作频带

① 收稿日期 2002-04-25

的研究工作成效显著,如1988年Zurcher设计的天线通过加厚介质基板便将工作带宽提高到了10%^[2];1990年Croq又将带宽提高到了20%^[3];其后叠加贴片技术的提出使带宽又获得了进一步的提高^[4,5],如今该天线结构可实现50%以上的带宽^[6,7]。但有关天线效率的研究则始终未能取得实质性进展。

对天线效率的影响主要来自各种损耗,包括导体损耗、介质损耗、表面波损耗、反射损耗等。其中导体损耗和介质损耗属于材料问题,虽然通过结构设计也可以使这两种损耗获得某种程度的改善,但效果有限。反射损耗对应天线的工作频带,工作频带通常定义为反射损耗小于-10dB的频率范围。只有表面波损耗源于贴片天线的分层介质结构,属于结构性的寄生模式损耗,需通过结构设计来抑制或消除。目前比较有效而又相对成熟的一种抑制表面波的方法是采用相对介电常数接近于1.0的介质基板制作天线,参考文献[2~4]的天线便都采取了这种设计方案,该方法的一个不足之处是贴片通常不能直接制作在这类基板上,而只能制作在相对介电常数稍高的介质基板上,因此采用该方法制作的贴片天线通常包含两种介质基板,这样表面波实际上并不能完全被消除。

本文提出一种新的天线结构,该天线结构将贴片连同制作贴片的介质基板一起放置在一个矩形金属框里,彻底阻断了表面波的传输。与通常的贴片天线相比,金属框的设置使该天线结构的尺寸小了很多,同时由于消除了表面波损耗,天线又拥有更高的增益,因此该天线结构的优点十分明显。本文介绍了该天线的结构与性能参数,文中天线设计工作在10GHz。天线首先经数值模拟来确定结构尺寸,模拟工作借助于一种商业软件IE3D来进行,然后根据数值模拟获得的结构尺寸制作实验样品,最后进行实验测量,测量参数包括天线的反射系数、增益和方向图。为充分说明金属框对天线性能参数的影响,文中还同时给出了具有相同结构尺寸的普通贴片天线的性能参数,并将两者进行了比较。

2 数值模拟

本文提出的无表面波损耗的孔耦合底馈贴片天线的结构如图1所示,图中贴片、金属底板上的耦合孔和包围贴片的金属框均为相对于同一中心点的对称结构,金属框的高度与介质基板的厚度相等,图中同时给出了本文所用介质基板的参数。

与普通孔耦合底馈贴片天线的结构相比图1所示天线结构的不同之处便是多了一个矩形的金属框,很明显表面波被限制在了金属框内。单纯从阻止表面波传输的角度出发,金属框的尺寸并不重要,但表面波在金属框的棱边处依然要产生绕射,这将影响到天线的增益方向图,因此金属框的尺寸需要通过数值模拟来确定。确定的原则除天线的增益与方向图外,还需考虑的因数包括:

(1)金属框的尺寸应处于天线的反射特性对其相对不太敏感的范围,这样可降低对金属框制作精度的要求,便于金属框的制作。

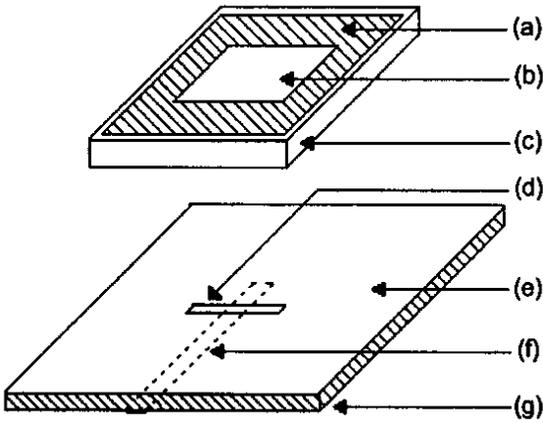
(2)金属框的尺寸不宜过大,这样在应用该天线作为单元天线设计阵列时,单元之间的间隔可以不因为单元天线的尺寸而受到限制。

数值模拟借助于商业软件IE3D来进行,受软件功能的限制,模拟时需对图1所示的天线结构稍作改动,内容包括金属腔的导体壁近似为无限薄、介质基板在横平面内近似为无限大等。取数值模拟的频率范围为8GHz~12GHz。为便于与测量设备连接,馈电微带线的特性阻抗取为50Ω。数值模拟从根据经验设定的一组天线尺寸开始,通过不断调整天线的各个尺寸来考察天线输入端反射系数的变化情况,最终以工作频带最宽为标准选定一组尺寸,具体数据为: $L_p = 7.6\text{mm}$, $W_p = 10.0\text{mm}$, $L_a = 7.4\text{mm}$, $W_a = 0.4\text{mm}$, $W_f = 1.6\text{mm}$, $L_s = 2.6\text{mm}$, $L_c = 22.0\text{mm}$, $W_c = 23.0\text{mm}$ 。该天线的工作频率范围约为9GHz~11GHz,工作带宽超过了20%。

3 实验测量

天线的实验样品根据以上数值模拟所获得的尺寸来制作,制作误差小于 $50\mu\text{m}$,与天线的尺度相比,该误差十分微小,因此由制作误差带来的影响可以忽略。微带馈线制作在一块 $50\text{mm} \times 50\text{mm}$ 的介质基板上,由于微带线的金属底板同时也是天线的反射板,因而其大小对天线的增益和方向图是有影响的,但本文天线由于在贴片四周多了一个金属导体框,反射板尺寸的影响相对降低,因此采用了相对较小的尺寸。同时为比较有无金属框时天线性能的变化,另外还制作了尺寸相同的普通贴片天线,该天线的贴片制作在一块 $50\text{mm} \times 45\text{mm}$ 的介质基板上。

反射系数的测量在网络分析仪HP8510上进行,图2给出了反射损耗频率特性的测量结果,图中实线为设置金属框的贴片天线的数据;虚线为普通贴片天线的数据。很明显图中两条曲线的形状基本相



(a) 介质基板 2 : $\epsilon_{r2} = 2.17, h_2 = 2.5\text{mm}, \tan\delta_2 = 0.00085$
 (b) 贴片 : $L_p \times W_p$ (c) 矩形金属框 : $L_c \times W_c$
 (d) 耦合孔 : $L_a \times W_a$ (e) 金属底板 (f) 微带馈线 : W_f, L_s
 (g) 介质基板 1 : $\epsilon_{r1} = 2.17, h_1 = 0.508\text{mm}, \tan\delta_1 = 0.00085$

图 1 无表面波损耗的孔耦合贴片天线

同,其中实线小于 -10dB 的频率范围为 $8.9\text{GHz} \sim 11.0\text{GHz}$;虚线小于 -10dB 的频率范围为 $9.0\text{GHz} \sim 11.0\text{GHz}$,两者相差仅 0.1GHz ,变化十分微小,由此可见这里金属框的添加并未在天线的输入端对其反射特性产生明显的影响。

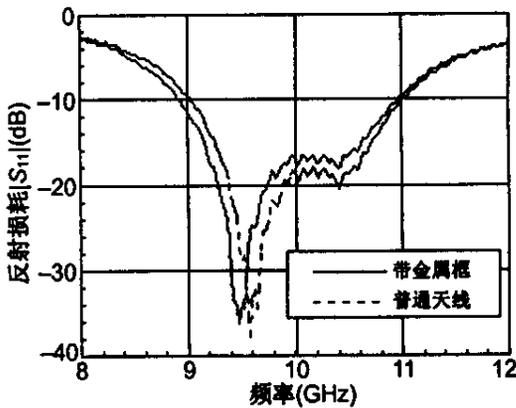


图 2 天线输入端反射损耗的频率特性

天线增益与方向图的测量均在微波暗室中进行,采用标准喇叭作为发射天线,被测天线作为接受天线。测量所获得的天线增益如图 3 所示,图中曲线表明金属腔的设置使天线增益获得了明显的提高。在中心频率点 10.0GHz 处,实线的增益数据为 8.6dBi ,虚线的增益数据为 7.6dBi ,相差 1.0dB ;在频率点 9.0GHz 处,实线的增益数据为 5.9dBi ,虚线的增益数据为 4.7dBi ,相差 1.2dB ;在频率点 11.0GHz 处,实线的增益数据为 9.6dBi ,虚线的增益数据为 8.9dBi ;相差 0.7dB 。在 $9.0\text{GHz} \sim 11.0\text{GHz}$

的工作频带内,实线比之虚线增益平均提高了 0.7dB 。由此可见,金属框的作用是十分明显的。

图 4 给出了天线分别在 E 面和 H 面的方向图,由该图可见天线在 E 面的 3dB 波瓣宽度约为 70° ;在 H 面的 3dB 波瓣宽度约为 60° ;前/后向比约为 14dB ;天线的方向图保持了较好的对称性。

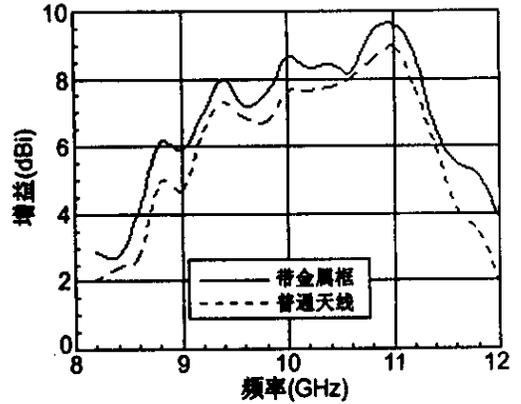


图 3 天线增益随频率的变化规律

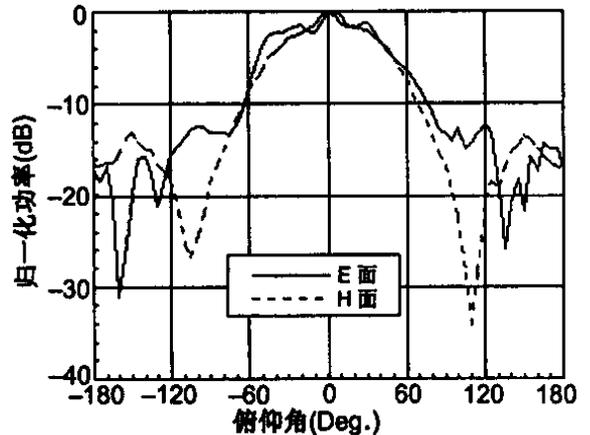


图 4 天线的辐射方向图(10GHz)

4 结论

以上介绍了无表面波贴片天线的结构与性能参数,参数包括天线输入端反射损耗的频率特性、天线的增益方向图。数据表明金属框的添加对天线输入端反射损耗的频率特性影响很小,但天线增益在工作频带内获得了平均 0.7dB 的提高,因此,金属框的作用是十分明显的。同时,金属框的设置也使天线的尺寸减小了很多,通常为降低表面波的影响,制作贴片的介质基板的尺寸需几倍于贴片的尺寸,如本文用作比较的普通贴片天线那样,但设置了金属框后,这种有意识加大介质基板的做法便可以避免了。

表面波对叠加贴片天线结构的影响更大,尤

其对采用多层介质基板具有超宽工作宽带的天线结构,因为介质基板的加厚意味着表面波的增强,而且增加的贴片同时也是产生表面波的源,因此设置金属框对这类天线结构应有更大的作用。

参考文献

- [1] D M Pozar. A microstrip antenna aperture coupled to a microstripline[J]. Electron. Lett. , 1985 21(2):49 ~ 50.
- [2] J F Zurcher. The SSFIP : A global concept for high performance broadband planar antennas[J]. Electron. Lett. , 1988 24(23):1433 ~ 1435.
- [3] F Croq and A Papiernik. Wideband aperture coupled microstrip antenna[J]. Electron. Lett. , 1990 , 26(16): 1293 ~ 1294.
- [4] C H Tsao , Y M Hwang , F Killburg , and F Dietrich. Aperture coupled patch antenna with wide bandwidth and dual polarization capabilities[J]. in Proc. of 1988 IEEE AP-S , New York , 936 ~ 939.
- [5] F Croq and D M Pozar. Millimeter-wave design of wide-band aperture-coupled stacked microstrip antennas[J]. IEEE Trans. on Antennas Propagat. , 1991 , 39(12):1770 ~ 1776.
- [6] S D Targonski , R B Waterhouse , and D M Pozar. An aperture coupled stacked patch antenna with 50% bandwidth[J]. in Proc. of 1996 IEEE AP-S , Baltimore , MD , 18 ~ 22.
- [7] S D Targonski , R B Waterhouse , and D M Pozar. Design of wide-band aperture-stacked patch microstrip antennas[J]. IEEE Trans. on Antennas Propagat. , 1998 46(9): 1245 ~ 1251.



程崇虎 (1962-) ,男 ,江苏人 ,南京邮电学院副研究员 ,博士 ,主要研究方向包括电磁场理论、天线理论与设计、微波成像等。

(上接第 564 页)

- [4] G Xu and S D Silverstein. Beamspace ESPRIT[J]. IEEE Trans. Signal Processing , Feb. 1994 42(2): 349 ~ 355.
- [5] G A Tsihrintzis and C L Nikias. Performance of optimum and suboptimum receivers in the presence of impulsive noise modeled as an alpha-stable process[J]. IEEE Trans. Comm. , Feb./Mar./Apr. 1995 , 43(2/3/4): .904 ~ 913.
- [6] P Tsakalides and C L Nikias. The robust covariation-based MUSIC(ROC-MUSIC) Algorithm for bearing estimation in impulsive noise environments[J]. IEEE Trans. Signal Processing , July 1996 , 44(7): 1623 ~ 1633.
- [7] T -H Liu and J M Mendel. A subspace-based direction finding algorithm using fractional lower order statistics[J]. IEEE Trans. Signal Processing , Aug. 2001 , 49(8): 1605 ~ 1613.



吕泽均 (1966-) ,男 ,四川人 ,现在电子科技大学通信与信息系统专业攻读博士研究生。主要研究方向为高分辨阵列测向、自适应波束形成、电子侦察与对抗、软件无线电等。

肖先赐 (1933-) ,男 ,湖南人 ,现为电子科技大学教授 ,博士生导师 ,中国电子学会会士。著书 2 本 ,发表论文 100 余篇。主要研究方向为雷达和通信信号处理及应用。

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,一直致力和专注于微波、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>