

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2014.06.021

引用格式:谭立容,倪瑛,刘豫东,等.多频段背腔式半模基片集成波导弯折缝隙天线[J].电讯技术,2014,54(6):808-812. [TAN Li-rong, NI Ying, LIU Yu-dong, et al. Multiband Cavity-backed Half-mode Substrate Integrated Waveguide Meandered Slot Antenna[J]. Telecommunication Engineering, 2014, 54(6):808-812.]

## 多频段背腔式半模基片集成波导弯折缝隙天线\*

谭立容<sup>1,3,\*\*</sup>, 倪瑛<sup>2</sup>, 刘豫东<sup>1</sup>, 王抗美<sup>1</sup>

(1. 南京信息职业技术学院, 南京 210023; 2. 南京工业职业技术学院, 南京 210023;  
3. 南京大学 电子科学与工程学院, 南京 210093)

**摘要:**针对需要安装在金属平台上的天线应用,提出了一种具有定向辐射特性的新型多频段背腔式半模基片集成波导缝隙天线。利用半模基片集成波导谐振腔的多模式特性实现了该天线多频段工作,通过在谐振腔的金属顶面蚀刻弯折形状的缝隙实现对外辐射,并可以通过调整弯折缝隙尺寸参数来减小天线尺寸。仿真和测试结果表明,该天线能同时工作在 5.7/10.7/11.9/12.5/13.1 GHz,且在这 5 个频段的最低增益大于 6.7 dBi。天线具有便于和平面电路集成、体积小、结构简单、成本低等优点,具有一定的工程应用价值。

**关键词:**多频段天线;半模基片集成波导;谐振腔;弯折缝隙;缝隙天线

**中图分类号:**TN822 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2014)06-0808-05

## Multiband Cavity-backed Half-mode Substrate Integrated Waveguide Meandered Slot Antenna

TAN Li-rong<sup>1,3</sup>, NI Ying<sup>2</sup>, LIU Yu-dong<sup>1</sup>, WANG Kang-mei<sup>1</sup>

(1. Nanjing College of Information Technology, Nanjing 210023, China;  
2. Nanjing College of Industry Technology, Nanjing 210023, China;  
3. School of Electronic Science and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of mounting antennas on the metal platform, this paper presents a novel multiband half-mode substrate integrated waveguide (HMSIW) cavity-backed slot antenna with directional radiation characteristics. It uses the multimode characteristics of HMSIW resonant cavity to realize multiband characteristics of the antenna, and a meandered slot is etched at its conductor plane to realize radiation. The size of the antenna can be reduced by changing parameters of the meandered slot. Simulation and test results show that the antenna can operate at 5.7/10.7/11.9/12.5/13.1 GHz with the gain over 6.7 dBi in the observing frequency bands. The antenna is featured by easy to be integrated with planar circuit, small size, simple structure, and low cost, and it has engineering application value.

**Key words:** multiband antenna; half-mode substrate integrated waveguide (HMSIW); resonant cavity; meandered slot; slot antenna

### 1 引言

随着无线通信的快速发展,一个通信系统中常

常集成了多个通信标准,通信设备往往需要支持多频段工作。为了减少电磁干扰,降低成本,在系统中

\* 收稿日期:2013-12-27;修回日期:2014-04-04 Received date:2013-12-27;Revised date:2014-04-04

基金项目:江苏省普通高校研究生科研创新计划项目(CXZZ12-0054);南京信息职业技术学院科研基金重点项目(YKJ12-001)

Foundation Item: Program Granted for Scientific Innovation Research of College Graduate in Jiangsu Province(CXZZ12-0054); Major Program of Scientific Research Fund of Nanjing College of Information Technology(YKJ12-001)

\*\* 通讯作者: tanlirong77@163.com Corresponding author: tanlirong77@163.com

采用支持多频段的天线是有必要的。近年来,出现了多种实现多频段天线的方法,如变形的单极天线<sup>[1-3]</sup>、改进的平面倒 F(PIFA)天线<sup>[4]</sup>和其他采用各种各样缝隙形式的缝隙天线<sup>[5-6]</sup>。文献[1]在传统平面 U 形单极天线上的 U 形金属面上蚀刻两个对称的 T 形缝隙,并在其介质板背面加矩形和 T 形微带金属条,实现了工作在 2.40 ~ 2.51 GHz、3.35 ~ 3.94 GHz 和 5.02 ~ 6.63 GHz 3 个频率范围。文献[4]提出了一种共面波导馈电带有多个折叠缝隙的多频段平面倒 F 形天线,实现了在 0.93 GHz、1.8 GHz、2.4 GHz 和 5.2 GHz 多个频段工作。在这些天线中,大部分是属于双向或全向辐射天线。

最近,为了消除向后辐射,基片集成波导(SIW)<sup>[7]</sup>和半模基片集成波导(HMSIW)技术<sup>[8]</sup>被应用于背腔式天线设计<sup>[9-10]</sup>,从而获得高性能的定向辐射天线。例如,文献[11]中采用 HMSIW 技术实现了一种增益约 5 dBi 的背腔式天线,但这种天线仅工作在单频段。从目前国内外公开文献来看,基于半模基片集成波导技术的多频段天线研究还很少。

本文采用半模基片集成波导(HMSIW)技术设计并实现了一种多频段背腔式定向辐射天线。经仿真和实验结果证明,优化设计后的天线能同时工作在 5.7/10.7/11.9/12.5/13.1 GHz 这 5 个频段,具有体积小、便于和平面电路集成、性能好的优点。

## 2 天线原理与设计

当双向或全向辐射天线需要安装在某个金属平台上时,金属平台会改变天线辐射特性,向着平台的辐射可能影响系统其他电路的性能,带来严重的电磁兼容问题。背腔式天线是一种采用金属腔或金属平面来抑制某一个方向的辐射,以实现单向辐射的天线。半模基片集成波导是在 SIW 基础上提出的一种小型化结构,与基片集成波导相比,它能减少将近一半的尺寸而不恶化基片集成波导的性能。如图 1 所示,通过在双面敷铜板设有两排正交的金属化通孔阵列,让金属化通孔和介质基片上的覆铜连通,当金属化通孔的间距  $d_p$  远小于波长,间距  $d_p$  和孔径  $d$  之比在 1 ~ 2.5 之间时,构成了一个半模基片集成波导谐振腔。在天线介质基片板顶面的覆铜面蚀刻弯折缝隙实现对外辐射,通过一段宽度渐变的微带线实现馈电。

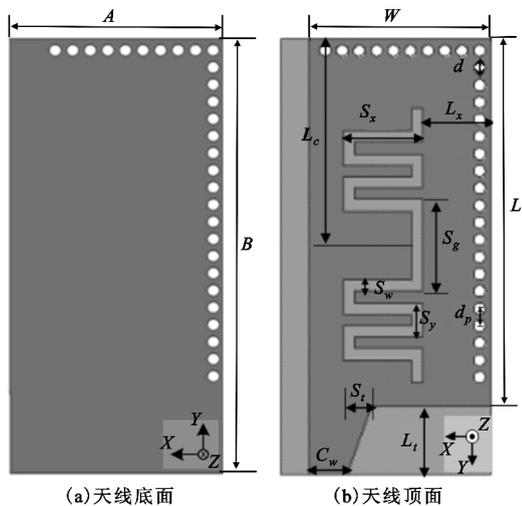


图 1 天线结构示意图

Fig. 1 Schematic of antenna

天线的谐振频率由半模基片集成波导谐振腔和缝隙的尺寸、位置等共同决定。当不考虑缝隙的影响时,半模基片集成波导谐振腔的半模  $TE_{mnp}$  频率和对应基片集成波导谐振腔的全模  $TE_{mnp}$  频率是相同,可由公式(1)算出<sup>[9]</sup>。和全模基片集成波导谐振腔谐振频率公式不同之处在于,原基片集成波导谐振腔公式中的宽度应取为半模基片集成波导谐振腔宽度的 2 倍。

$$f_{mnp} = \frac{c}{2\sqrt{\mu_r \epsilon_r}} \sqrt{\left(\frac{m}{W_{ef}}\right)^2 + \left(\frac{n}{L_{ef}}\right)^2 + \left(\frac{p}{h}\right)^2} \quad (1)$$

其中

$$L_{ef} = L - 1.08 \frac{d^2}{d_p} + 0.1 \frac{d^2}{L}$$

$$W_{ef} = 2W - 1.08 \frac{d^2}{d_p} + 0.1 \frac{d^2}{2W}$$

公式(1)中,在  $z$  轴方向由于天线厚度  $h$  远小于波长,故  $p$  等于零,若要谐振腔内有电磁波存在, $m$  和  $n$  都不能等于零。当  $m$ 、 $n$  取不同值时,对应半模基片集成波导谐振腔的不同模式,有多个谐振频率。故可利用半模基片集成波导谐振腔的多模式工作特性,实现天线多频段特性。

除了半模基片集成波导谐振腔的尺寸参数等直接影响该天线的性能,天线顶部覆铜面上蚀刻的弯折缝隙也具有关键作用。它可起到改变天线电流和场分布,从而改善天线的阻抗匹配的作用,尤其是低频段的阻抗匹配。谐振腔和缝隙的影响可以通过全波仿真来分析调整。

在天线实际设计过程中,先根据多频段天线所

要工作的最低频段中心频率  $f_{\min}$ , 通过公式 (2) 估计半模基片集成波导谐振腔的宽度:

$$W = \frac{C}{2f_{\min}\sqrt{\mu_r\epsilon_r}} \quad (2)$$

再采用全波仿真软件 HFSS 建立天线模型, 对如何确定弯折缝隙的长宽、弯折个数和位置进行分析研究。在设计过程中, 以弯折缝隙在  $y$  轴方向长度要短从而缩小天线总长度为原则, 来调整弯折缝隙物理参数。

应用软件 HFSS 对该天线结构尺寸进行仿真优化后, 天线的总长度  $B$  和总宽度  $A$  分别为 38.0 mm、18.4 mm, 图 1 中所标注的天线尺寸参数经优化设计后为 (单位: mm):  $L_t = 5.5, L_c = 18.0, L_x = 5.9; d = 1.0, d_p = 1.5; S_x = 7.0, S_y = 3.0, S_l = 2.0, S_g = 8.0, S_w = 1.0; C_w = 3.5; W = 15.9; L = 32.0$ 。仿真模型中已经人为地加入 58 mm×75 mm 金属面用来模拟金属平台。

图 2 给出了在其他参数一样条件下, 所设计多频段缝隙天线对比不加弯折缝隙和采用同样长度的直条缝隙时的反射系数  $S_{11}$  参数随频率变化图。仿真结果显示有了弯折缝隙后, 天线在低频段 5.78 GHz 的回波损耗由不加缝隙和采用直条缝隙时的零点几分贝变到加弯折缝隙的 9.8 dB, 本设计的匹配性能更好。

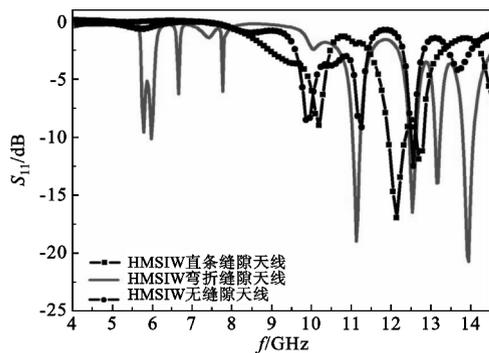
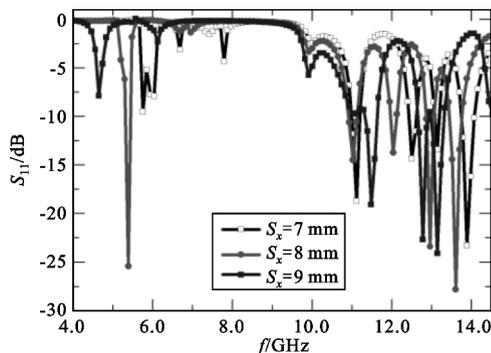
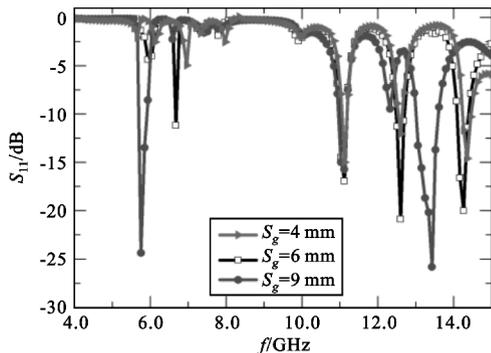


图 2 仿真得到的  $S$  参数  
Fig. 2 Simulated  $S_{11}$

图 3 显示了当其他参数不变时, 半模基片集成波导的上表面金属层所开弯折缝隙的宽度  $S_x$  和长度  $S_g$  对天线  $S_{11}$  参数的影响。可见, 当  $S_x$  和  $S_g$  增大 (即弯折缝隙总的长度变长) 时, 天线的谐振频率向低频移动, 反之向高频移动。由于改变  $S_x$  或  $S_g$  几乎有同等效果, 故对天线总长度有限制时, 可以通过只改变弯折缝隙的宽度  $S_x$  达到调节频率的目的。



(a)  $S_x$



(b)  $S_g$

图 3 弯折缝隙的宽度  $S_x$  和长度  $S_g$  对天线的影  
Fig. 3 The effect of  $S_x$  and  $S_g$  on antenna

### 3 实验结果

基于上述优化设计, 采用厚度为 1 mm 的国产 F4BM 基板 ( $\epsilon_r = 2.2, \tan\delta = 0.001$ ) 制备了该多频段缝隙天线, 如图 4 所示。

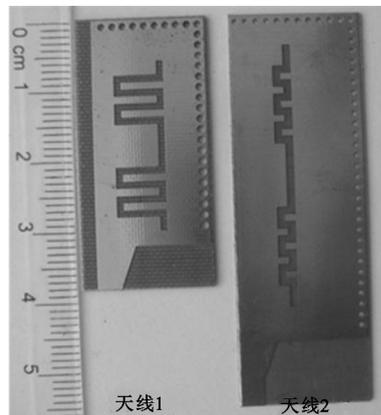


图 4 实际制备的天线照片  
Fig. 4 Photo of the fabricated antenna

图 4 中的天线 1 是对应以上天线尺寸的实物照片, 尺寸大小 18.4 mm×38.0 mm, 天线 2 是为了验证调整弯折缝隙尺寸参数能减小天线尺寸。使用矢量网络分析仪 PNA8363 测试了这两个多频段背腔

式 HMSIW 缝隙天线输入端的反射系数,且在微波暗室里测试了天线 1 方向图,测试中将天线安装在了 58 mm×75 mm 金属板上。

图 5 给出了天线 1 和天线 2 测量结果,天线 1 的测量结果和图 2 的仿真结果吻合较好。从测试结果可看到,两天线都工作在 C/X 频段,而天线 1 尺寸更小。表 1 列出了天线 1 在各个频段的反射系数、天线效率、增益等参数。由图表可见,天线 1 能同时工作在 5.7/10.7/11.9/12.5/13.1 GHz 这 5 个频段,天线 1 在这 5 个频段满足反射系数  $S_{11} < -10$  dB(对应  $VSWR \leq 2$ )的带宽对应依次为 230/180/300/230/290 MHz,能满足常规 C 频段和 X 频段应用需求。

图 6 为测得各频点 E 面和 H 面方向图,该图

显示天线在各谐振点具定向辐射特性,除了在 10.72 GHz 的方向图在 0° 辐射较弱之外,其他频点在 0° 方向的前后比最小为 13.5、最大为 23.6。

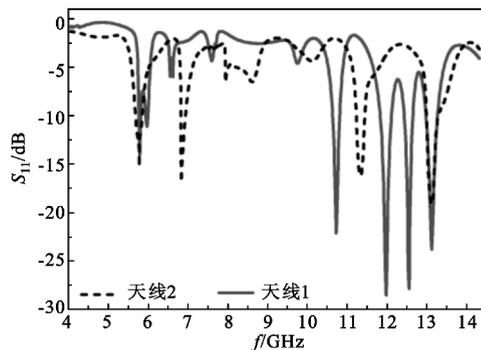


图 5 天线  $S_{11}$  参数的测试结果  
Fig. 5 Measured  $S_{11}$  of antenna

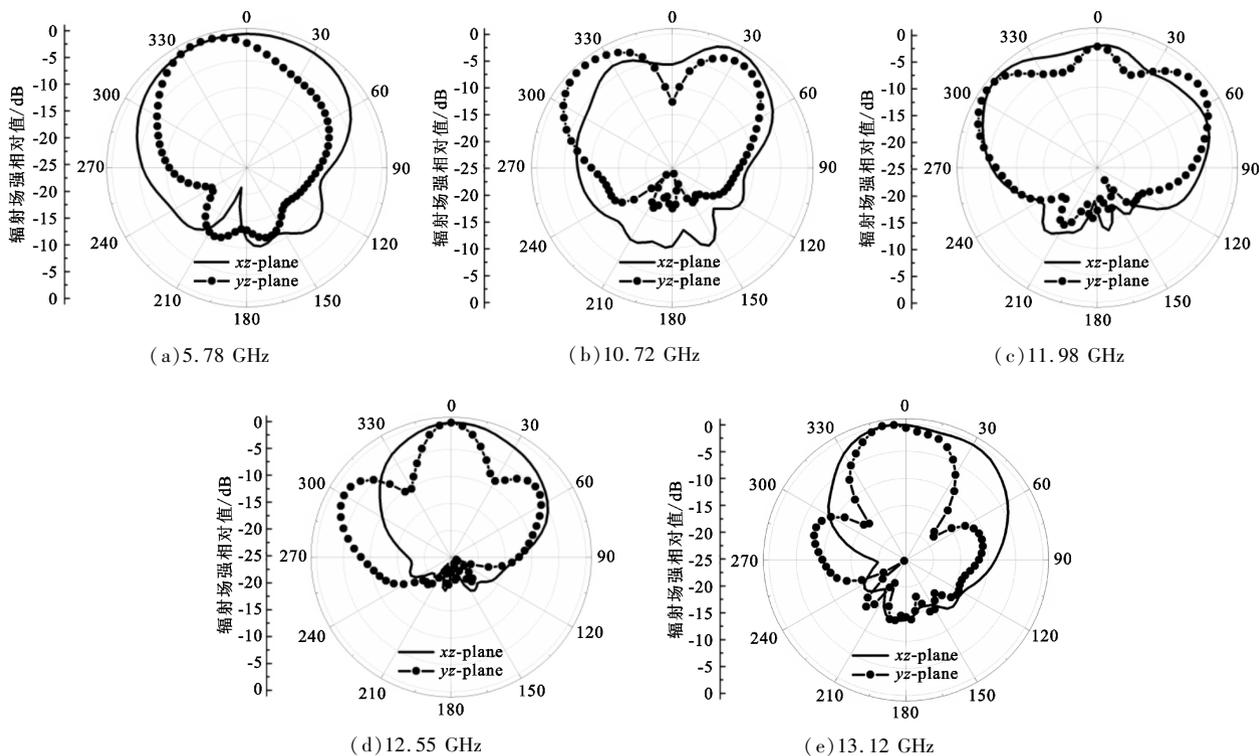


图 6 天线归一化辐射方向图  
Fig. 6 Normalized radiation patterns

表 1 列出了各谐振点增益最小为 6.76 dBi (11.98 GHz)、最大为 9.41 dBi (13.12 GHz)。和文献[12]中的多频段双面印刷偶极子天线(尺寸 75 mm×50 mm,满足  $S_{11} < -10$  dB 的谐振点 6.68/8.88/9.56/10.61 GHz 对应增益分别为 3/4.1/2.9/3.5 dBi)相比,该天线 1 的面积是其 18.6%,增益更高,并可以用于金属平台,实现了小尺寸的 C/X 频段多频点工作天线。

表 1 天线 1 的参数

Table 1 Parameters of antenna 1

频率/GHz	测得 $S_{11}$ /dB	天线效率	测得增益/dBi
5.78	-14.01	90%	7.56
10.72	-22.14	92%	8.16
11.98	-28.56	83%	6.76
12.55	-27.88	89%	6.98
13.12	-12.60	94%	9.41

## 4 结 论

本文设计并实现了一种能用在金属平台上、易和平面电路集成、低成本、尺寸小的背腔式半模基片集成波导弯折缝隙天线,该天线能工作在多个频段,增益高,属于定向辐射天线,并可以通过调整弯折缝隙尺寸参数来减小天线尺寸,可应用于 WLAN (IEEE 802. 11a)、WiMAX (IEEE 802. 16)、遥感遥测等领域,已在项目中实际应用。不足之处是,天线不是在所有工作频点的定向性都好,有待进一步提高。

### 参考文献:

- [1] Hu W, Yin Y Z, Yang X, et al. Compact Multiresonator-loaded Planar Antenna for Multiband Operation [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2013, 61(5):2838-2841.
- [2] Liu W C, Wu C M, Dai Y. Design of triple-frequency microstrip-fed monopole antenna using defected ground structure[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2011, 59(7): 2457-2463.
- [3] Niroo-Jazi M, Denidni T A. A New Triple-Band Circular Ring Patch Antenna With Monopole-Like Radiation Pattern Using a Hybrid Technique[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2011, 59(10): 3512-3517.
- [4] Elsheakh D M, Abdallah E A. Compact Multiband Multi-folded-Slot Antenna Loaded With Printed-IFA [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2012 (11): 1478-1481.
- [5] Lu J H, Huang B J. Planar compact slot antenna with multi-band operation for IEEE 802. 16 m application [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2013, 61(3):1411-1414.
- [6] Naser M M, Sadeghi F R, Danideh A. CPW-fed compact slot antenna for WLAN operation in a laptop computer [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2010, 52(6): 1280-1282.
- [7] Bozzi M, Georgiadis A, Wu K. Review of substrate-integrated waveguide circuits and antennas[J]. IET Transactions on Microwaves, Antennas & Propagation, 2011, 5 (8): 909-920.
- [8] Lai Q, Fumeaux C, Hong W, et al. Characterization of the propagation properties of the half-mode substrate integrated waveguide[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2009, 57(8): 1996-2004.

- [9] Luo G Q, Hu Z F, Liang Y, et al. Development of low profile cavity backed crossed slot antennas for planar integration[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2009, 57(10): 2972-2979.
- [10] Wu L, Izquierdo B S, Young P R. Half mode substrate integrated waveguide slot antenna[C]// Proceedings of 2009 International Symposium on Antennas and Propagation Society. Charleston, SC: IEEE, 2009:1-4.
- [11] Razavi S A, Neshati M H. Development of a Linearly Polarized Cavity Backed Antenna Using HMSIW Technique [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2012(11):1307-1310.
- [12] Rmili H, Floc'h J M, Khaleghi A. Design of wideband double-sided printed dipole antenna for C- and X-band applications[J]. Electronics Letters, 2006, 42(19): 1076-1077.

### 作者简介:



谭立容(1977—),女,贵州人,副教授/高级工程师,南京大学博士研究生,主要研究方向为微波器件及天线;

TAN Li-rong was born in Guizhou Province, in 1977. She is now an associate professor/senior engineer and currently working toward the Ph. D. degree. Her research concerns microwave devices and antennas.

Email: tanlirong77@163.com

倪瑛(1979—),女,江苏人,讲师,主要研究方向为通信技术;

NI Ying was born in Jiangsu Province, in 1979. She is now a lecturer. Her research concerns communication technology.

刘豫东(1960—),男,江苏人,研究员,主要研究方向为射频技术;

LIU Yu-dong was born in Jiangsu Province, in 1960. He is now a senior engineer of professor. His research concerns RF technology.

王抗美(1965—),男,江苏人,副教授/高级工程师,主要研究方向为微波技术。

WANG Kang-meimei was born in Jiangsu Province, in 1965. He is now an associate professor/senior engineer. His research concerns microwave technology.