

# 一种新型多频微带天线的分析与设计

杨虹, 陈轶芬, 邵建兴

重庆邮电大学光电工程学院, 重庆 400065

**摘要** 对 C 型缝隙微带天线进行理论分析, 设计了一种 C 型缝隙的微带天线, 并利用仿真软件 HFSS 10.0 对天线的特性进行仿真验证。结果表明, C 型缝隙天线在高频的辐射方向性能出现主瓣分离现象, 通过改变贴片表面电流路径对高频性能进行改善, 改进后的 C 型天线在回波损耗小于  $-10.0\text{dB}$  时, 该天线工作的频段分别为  $2.26\sim 2.51$ 、 $3.38\sim 3.60$  和  $4.19\sim 4.48\text{GHz}$ , 且天线的尺寸得到了有效缩减。天线的整体辐射性能良好, 且结构简单, 易于实现。所设计的天线可以作为多频段小型微带天线, 用于无线通信系统中。

**关键词** C 型缝隙; 多频; 微带天线; 谐振频率

**中图分类号** TN828.6

**文献标识码** A

**文章编号** 1000-7857(2010)22-0069-05

## Analysis and Design of a Multi-band Microstrip Antenna

YANG Hong, CHEN Yifen, SHAO Jianxing

College of Electrical Engineering, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China

**Abstract** Microstrip antenna with a C-shaped slot is analyzed, and a multi-band microstrip antenna with C-shaped slot is designed. Numerical simulation is performed for the characteristics of the antenna with the software HFSS 10.0, which is a kind of simulation software based on Finite Element Method (FEM). The simulation results show that the C-shaped antenna's radiation character in the high frequency was separated. By changing the current path in the patch to improved the performance, the operation frequency channels of the improved antenna are  $2.26\sim 2.51$ ,  $3.38\sim 3.60$  and  $4.19\sim 4.48\text{GHz}$ , when return loss is less than  $-10\text{dB}$ , and the size of the microstrip antenna is reduced availably. Moreover, the antenna has a very well unitary radiation character and simple configuration. Therefore, this kind of antenna can be used in RF communication as a multi-band and compact microstrip antenna.

**Keywords** C-shaped slot; multi-band; microstrip antenna; resonant frequency

### 0 引言

随着军事通信和移动通信中跳频、扩频通信技术的发展, 以及微波集成技术和空间技术对天线小型化的需要, 微带天线以其结构简单、体积小、重量轻、低剖面、易于与飞行器共形安装及可与有源器件和电路集成等特点, 在通信、雷达等领域得到了广泛的重视与应用<sup>[1]</sup>。

中国目前处于 2G 与 3G 的过渡阶段, 移动通信用户的急剧增长, 使得通信系统不断更新和扩容。为减小无线通信中的干扰并降低成本, 要求天线在宽频段内工作。同时, 为了满足多个系统的通信要求, 实现多系统共用和收发共用, 又要求天线在不同频段下工作<sup>[2-6]</sup>。因此, 微带天线的多频段和宽

频带技术研究已成为一个重要的研究课题。

目前, 微带天线的双频或多频化技术主要有: 在矩形贴片辐射边附近刻蚀缝隙<sup>[3]</sup>; 采用多层贴片<sup>[4]</sup>; inclined 缝隙耦合的矩形贴片<sup>[5]</sup>; 带有短路针和缝隙的矩形贴片<sup>[6]</sup>; 还有采用单一馈电, 单层结构的双频技术<sup>[7]</sup>。Sheta 等<sup>[8-9]</sup>提出的 H 形微带天线, 与传统的矩形微带贴片天线相比具有小型化和多频段工作的优点。葛林等<sup>[10]</sup>设计了一种新型的“田”字形单层双频微带天线, 实现了 S 波段和 X 波段天线的孔径复用。Caratelli 等<sup>[6]</sup>在 E 形槽的基础上加载 Z 字锯齿形槽, 从而实现带宽为 29.8% 的宽带缝隙微带天线, 但其加工工艺较为复杂。文献<sup>[11]</sup>采用多枝节匹配技术进行设计, 但尺寸相对较大。本文在分析矩

收稿日期: 2010-05-31; 修回日期: 2010-11-01

基金项目: 重庆市教委科学技术研究项目 (KJ100512); 重庆市自然科学基金项目 (2010DD2412)

作者简介: 杨虹, 教授, 研究方向为微波/毫米波集成电路设计与天线设计, 电子信箱: yanghong@cqupt.edu.cn

形微带天线理论的基础上,设计了一种加载 C 型缝隙多频段微带贴片天线,利用 Ansoft HFSS 10.0 软件仿真模拟和优化,结果表明,该结构不仅能够使天线在多频段很好地工作,而且还能减小微带天线的尺寸,提高天线增益及增加前后比等性能,另外此天线结构简单,易于加工制作和调试。

## 1 天线结构设计

### 1.1 矩形贴片天线设计

通常,微带天线设计的总目标是在指定的工作频率上得到特定的工作特性。为使微带天线达到这个总目标,要选择合适的贴片几何形状。由于矩形微带天线设计、制造工艺简单,理论研究如分析矩形贴片天线的传输线法、空腔模型法等较为成熟,在没有特殊要求的情况下,首选矩形贴片。

在普通矩形微带天线的设计中,可以根据所要求的带宽及增益确定介质板的材料和厚度。一般可以根据天线所工作的中心频率,由以下公式求出辐射片的尺寸<sup>[1]</sup>:

$$W = \frac{c}{2f} \left( \frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-1/2} \quad (1)$$

$$L = \frac{c}{2f\sqrt{\epsilon_e}} - 2\Delta l \quad (2)$$

$$\frac{\Delta l}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_e + 0.3)(W/h + 0.264)}{(\epsilon_e - 0.258)(W/h + 0.8)} \quad (3)$$

其中,  $W$  和  $L$  分别为辐射单元的宽度和长度,  $\Delta l$  为等效线伸长,  $\epsilon_e$  为介质等效介电常数,  $c$  为光速,  $f$  为频率,  $\epsilon_r$  为介电常数,  $h$  为基板厚度。

基板厚度  $h$  和介电常数  $\epsilon_r$  均对微带天线的带宽有影响。 $h$  越大,频带越宽,但厚度加大使得天线尺寸增大,破坏天线的低剖面性,且会引起表面波的明显激励。 $\epsilon_r$  与天线的尺寸成反比且其越高天线的带宽越窄。因此,应综合考虑选择适当的基板介电常数与厚度。从理论上讲,接地板可以视为无限大,然而在实际工程设计中,考虑到天线安装尺寸、重量、成本等,接地板尺寸应尽可能地小。在实际工程应用中,当地板宽度满足  $W_0 \geq W + 0.2\lambda_g$  时 ( $\lambda_g$  为介质传播中的波长),即可将地板视为无限大。

### 1.2 新型多频段微带天线的设计

为实现天线的多频段设计,通过同轴探针单点馈电,利用在单层介质基片上开 C 型缝隙的贴片结构,设计了一种新型多频段微带天线。该天线为单层贴片结构,因此保证了天线的低剖面性,且在实际应用中制作简单,成本低。此设计的主要思想为:在辐射板上加载 C 型缝隙,该缝隙分割了矩形贴片上的电流,从而通过增加电流路径、弯折电流路径的双重方法实现多频段效应。

结合矩形贴片天线的设计参数原理以及在贴片上开 C 型缝隙的方法,最终设计的微带天线的尺寸如下:辐射板尺寸为  $20\text{mm} \times 36\text{mm}$ ;接地板尺寸为  $40\text{mm} \times 50\text{mm}$ ;C 型缝隙宽为  $1\text{mm}$ 。整个天线制作在相对介电常数  $\epsilon_r = 2.2$ ,厚度为  $3\text{mm}$  的 Rogers RT/duroid 5880(tm) 板材上。所设计的微带天

线的平面结构示意图如图 1 所示。

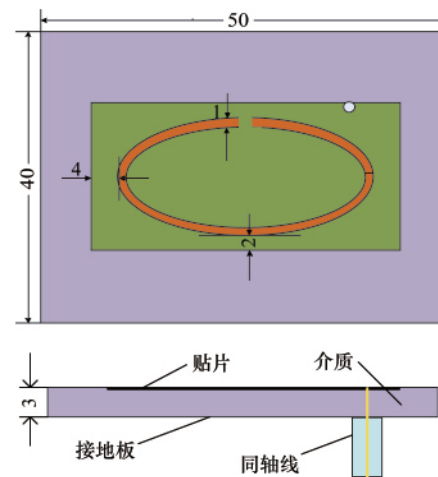


图 1 天线的俯视图和侧视图

Fig. 1 Top and side view of the antenna

## 2 天线仿真分析

采用 Ansoft 公司的电磁仿真软件 HFSS 10.0 对天线进行仿真。由于 C 型缝可能影响微带天线频率的谐振点和带宽,在此首先讨论不同缝隙宽度的 C 型槽对天线的影。如图 1 所示,以 C 型缝长轴较短的椭圆为基准,调节较大椭圆的大小(其他尺寸不变),其回波损耗仿真图如图 2 所示。由图 2 可见,C 型缝隙的不同宽度对天线的各频段的谐振频率和带宽影响不大,均只是发生了轻微的偏移。

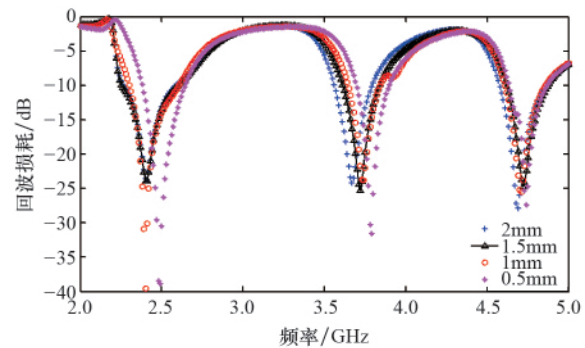
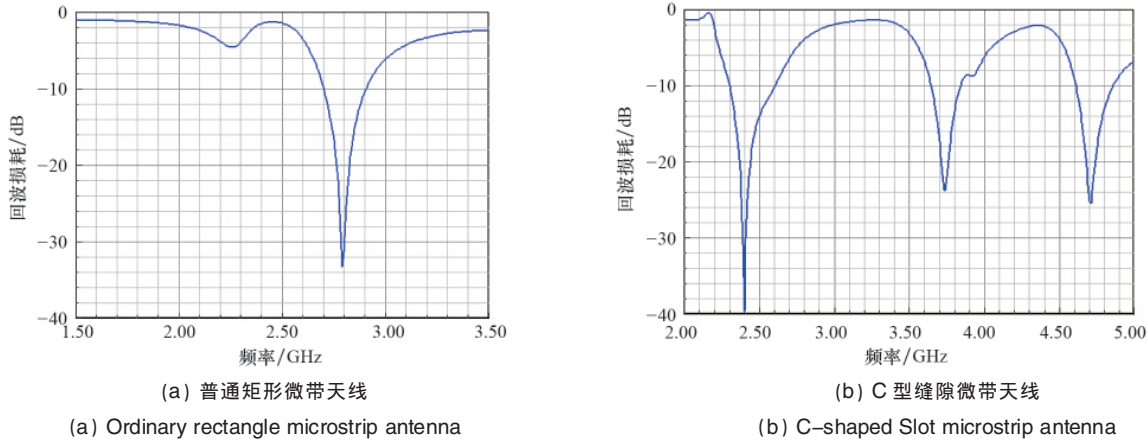


图 2 不同缝隙宽度的天线回波损耗仿真图

Fig. 2 Frequency response of return loss in different slot width

对 C 型缝隙宽度为  $1\text{mm}$  的天线进行仿真,可得到天线的回波损耗图和天线的辐射方向图图形分别如图 3 和图 4 所示。由图 3 可以看出,普通矩形微带天线仅有一个谐振频率  $2.79\text{GHz}$ ,其  $-10\text{dB}$  带宽为  $190\text{MHz}$ (天线带宽为  $3180 \sim 3370\text{MHz}$ )。而加载 C 型槽的微带天线具有多频工作性能,其谐振频率分别为  $2.40, 3.73$  和  $4.71\text{GHz}$ ,  $-10\text{dB}$  带宽分别为  $310\text{MHz}$ (天线带宽  $2300 \sim 2610\text{MHz}$ ),  $210\text{MHz}$ (天线带宽  $3640 \sim$



(a) 普通矩形微带天线 (a) Ordinary rectangle microstrip antenna  
 (b) C型缝隙微带天线 (b) C-shaped Slot microstrip antenna

图3 天线回波损耗仿真

Fig. 3 Frequency response of return loss

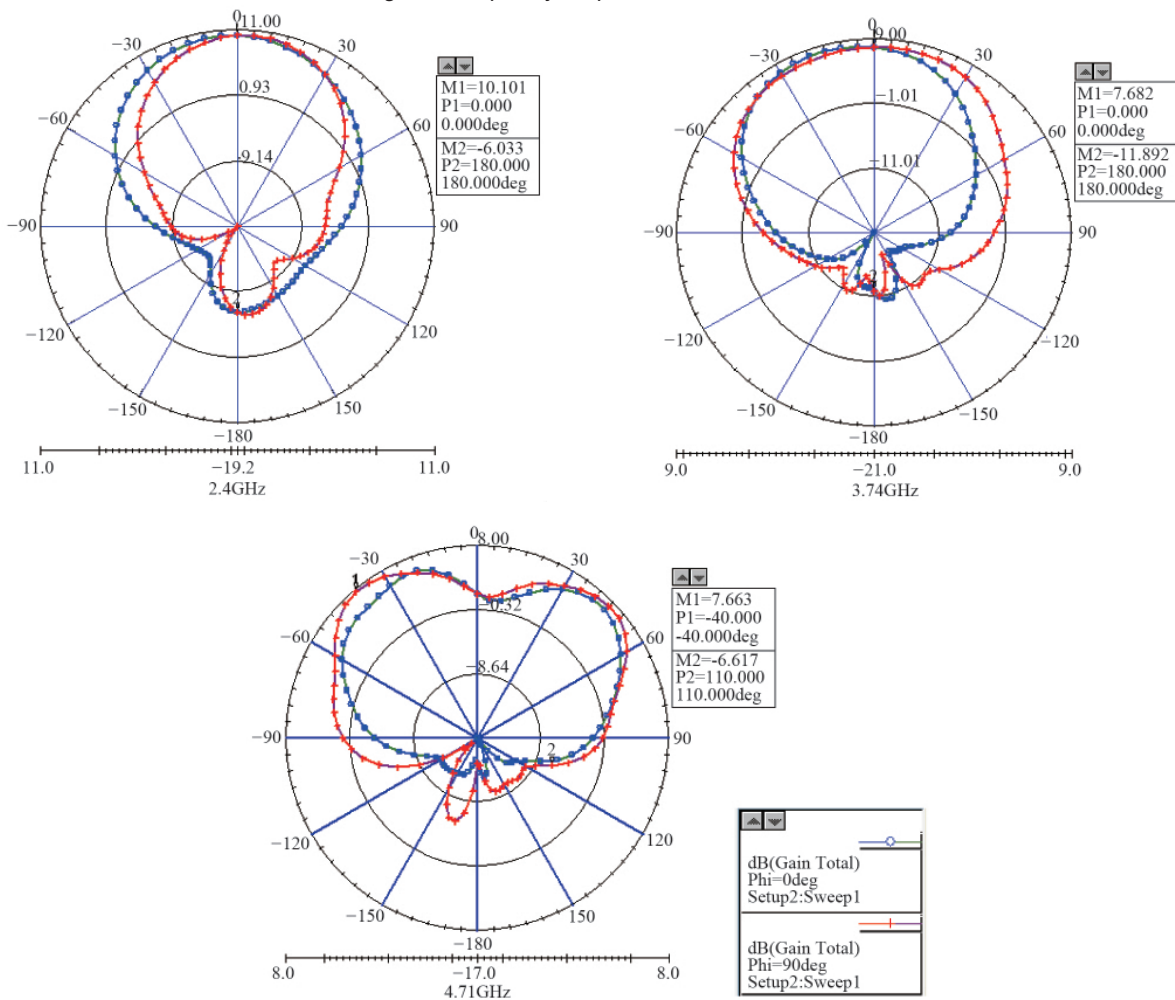


图4 天线辐射方向图

Fig. 4 Radiation pattern of the antenna

3850MHz)和 250MHz(天线带宽 4610~4860MHz),满足了天线多频段工作的要求。由此可见,通过加载 C 型缝隙改变贴片上的电流分布,从而增加电流路径达到增加谐振频率的作用,使天线表现出多频效应。同时由于 C 型缝隙的存在,贴片的表面电流发生了绕流,从而弯折了电流路径,减小天线物理尺寸。

天线在 3 个谐振频率处的辐射方向图如图 4 所示。可以看出,当频率为 2.4GHz 时,天线的主辐射方向在 $-45^{\circ}\sim 40^{\circ}$ , $0^{\circ}$ 时天线达到最大增益为 10.101dB,在此频率下天线的前后比为 16.134dB;天线在谐振频率为 3.74GHz 时的主辐射方向为 $-45^{\circ}\sim 45^{\circ}$ ,此时天线的最大增益有所减小,约为 7.682dB,其前后比约为 19.574dB;而当频率为 4.71GHz 时,天线的主瓣

发生了分离,天线的主辐射方向在 $\pm 45^\circ$ 。由此可见,天线在高频端时,辐射方向图效果不是很好,因此应对天线进行优化,从而改善天线高频端的辐射方向特性。

图 5 是高频 4.71GHz 时天线贴片表面的电流密度图。由图 5 可知,此时天线的电流主要分布在 C 型槽外边周围的贴片中央,而 C 型槽内部的电流分布只是少量的,可以采用阻止或切断电流集中分布路径的方法改善高频端的辐射方向性能。

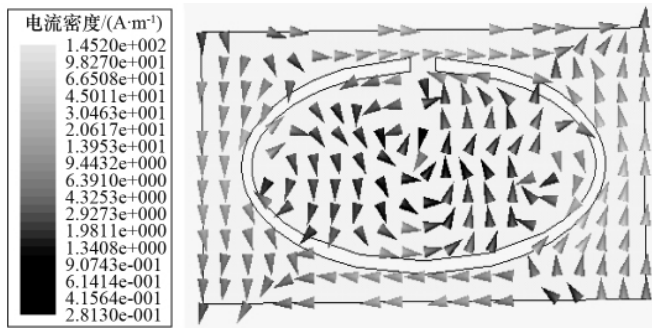


图 5 4.71GHz 时天线的电流分布

Fig. 5 Current distribution of the antenna at  $f=4.71\text{GHz}$

### 3 天线的改进

调整后的天线结构如图 6 所示。

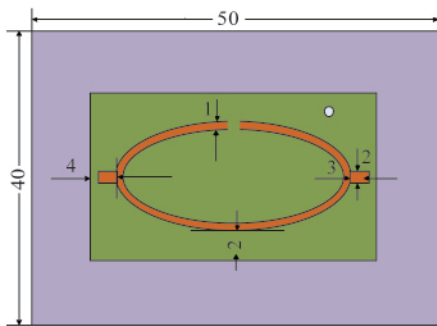


图 6 改进后的天线俯视图

Fig. 6 Top view of the modified antenna

对改进后的天线进行仿真,天线的回波损耗图和天线的辐射方向图图形分别如图 7、图 8 所示。

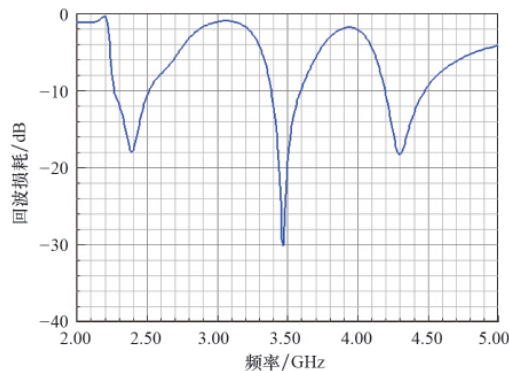


图 7 天线回波损耗仿真

Fig. 7 Modified antenna frequency response of return loss

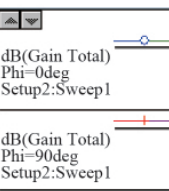
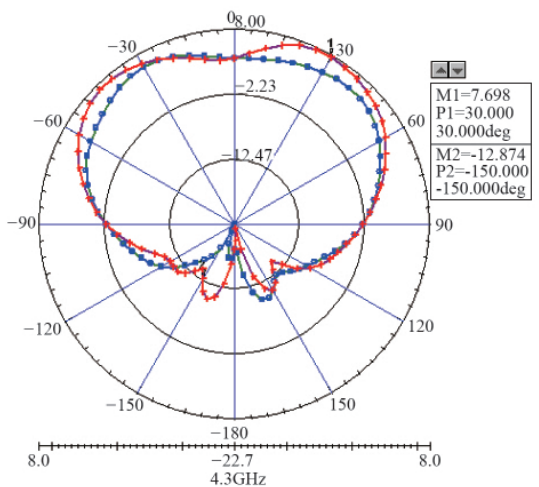
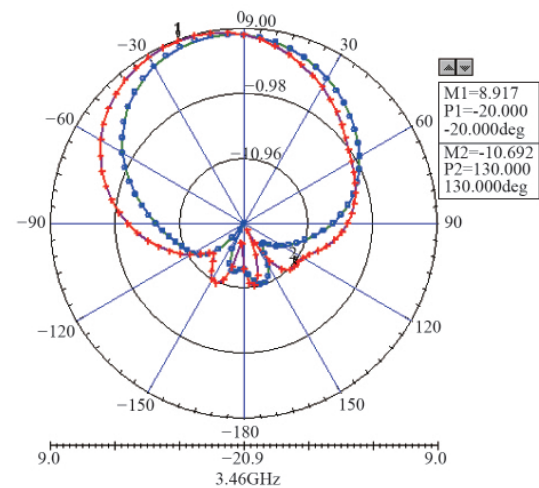
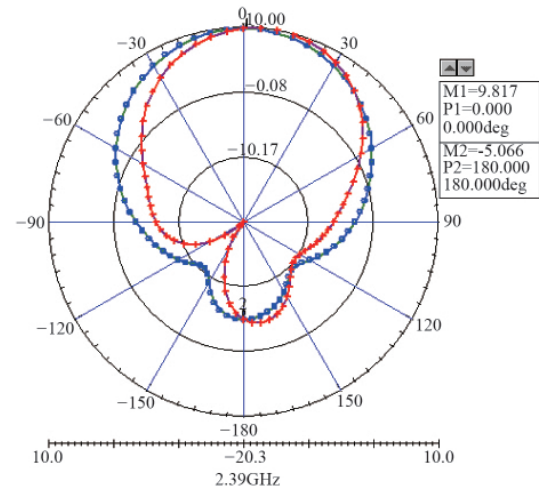


图 8 天线辐射方向图

Fig. 8 Radiation pattern of the antenna

由图 7 可看出,改变天线 C 型槽结构后,天线的低频段谐振频率变化不大,而天线的第二和第三谐振频率略有降低。由图 8 可知,当频率为 2.39GHz 时,天线的主辐射方向为  $-45^{\circ}\sim 45^{\circ}$ , $0^{\circ}$  时天线达最大增益 9.817dB;天线在谐振频率为 3.46GHz 时的主辐射方向为  $-45^{\circ}\sim 45^{\circ}$ ,此时天线的最大增益为 8.917dB,其前后比约为 19.609dB;当频率为 4.3GHz 时,天线的最高增益和前后比分别为 7.698 和 21.757dB,其主辐射方向为  $-60^{\circ}\sim 60^{\circ}$ ,与加载 C 型槽结构的天线相比,虽然低中频率段的辐射性能改善不明显,但高频段的辐射特性有很大的改善,有效抑制了天线的主瓣分离现象,且辐射方向更加全面。

由以上分析可以看出,通过改变天线表面电流分布,可以有效改善天线在高频段的辐射方向性能,增加天线的增益和前后比,并在一定程度上抑制天线的主瓣分离现象和后向辐射。

#### 4 结论

采用加载 C 型槽结构的微带天线实现了天线的多频工作特性,并分析了不同 C 型缝隙宽度对天线整体性能的影响。仿真结果表明,在天线多频工作的前提下,天线的尺寸相应得到有效缩减。此外,通过调节优化改变 C 型槽结构,截断贴片表面密集电流,有效抑制天线的后向辐射和改善天线在高频段的主瓣分离现象,增加天线的增益,较好地满足了天线的设计指标要求。所设计的天线结构简单,性能良好,在天线工程中具有良好的应用前景。

#### 参考文献 (References)

[1] 张钧. 微带天线理论与工程[M]. 北京: 国防工业出版社, 1988.

- Zhang Jun. The theory and project of microstrip antenna [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1998.
- [2] 童芸, 张杰, 李春晓, 等. 宽带 U 型槽矩形贴片微带天线设计 [J]. 微波学报, 2008, 24(4): 41-44.
- Tong Yun, Zhang Jie, Li Chunxiao, et al. *Journal of Microwaves*, 2008, 24(4): 41-44.
- [3] Wong K L, Hsu W H. Broadband triangular microstrip antenna with U-shaped slot[J]. *Electronic Letters*, 1997, 33(25): 2085-2087.
- [4] Hsu W H. Studies of broadband patch antennas with an air substrate[D]. Taipei: National Sun Yat-Sen University, 2001.
- [5] Kim W K, Woo J M. Miniaturization of 3-D microstrip antenna using fylfot-shaped Structure [C]. 18th International Conference on Applied Electromagnetics and Communications, Dubrovnik, Croatia, Oct 12-14, 2005.
- [6] Caratelli D, Cicchetti R, Bit-Babik G, et al. A perturbed E-shaped patch antenna for wideband WLAN applications [J]. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2006, 54(6): 1871-1874.
- [7] Hsu W H, Wong K L. A dual capacitively fed broadband patch antenna with reduced cross-polarization radiation [J]. *Microwave and Optical Technology Letters*, 2000, 26(3): 169-171.
- [8] Sheta A F, Mohra A S, Mahmoud S F. Multi-band operation of a compact H-shaped microstrip antenna[J]. *Microwave Optical Technology Letters*, 2002, 35(5): 363-367.
- [9] Sheta A F. A novel H-shaped patch antenna [J]. *Microwave Optical Technology Letters*, 2001, 29(1): 62-66.
- [10] 葛琳, 赵惠玲, 沈楠. 一种新型双频微带天线的设计与仿真 [J]. 电子测量技术, 2007, 30(8): 147-149.
- Ge Lin, Zhao Huiling, Shen Nan. *Electronic Measurement Technology*, 2007, 30(8): 147-149.
- [11] Tao J, Cheng C H, Zhu H B. Compact dual-band slot-antenna for WLAN applications [J]. *Microwave and Optical Technology Letters*, 2007, 49(5): 1203-1204.

(责任编辑 代丽)

#### ·学术动态·

## “第四届国际光电子探测与成像技术 学术交流大会”征文



中国宇航学会将于 2011 年 5 月 24—26 日在北京召开“第四届国际光电子探测与成像技术学术交流大会”。

征文内容: 传感器与微机械光器件技术 (Sensor and micromachined optical device technologies); 激光探测和成像技术 (Laser sensing and imaging); 红外成像技术及应用 (Advances in infrared imaging and applications); 成像探测器技术与应用 (Advances in imaging detectors and applications); 太赫兹技术与应用 (Terahertz wave technologies and applications); 空间探测技术与应用 (Space exploration technologies and applications); 生物激光及其医学应用 (Biological and medical applications of photonics sensing and imaging)。

征文截止时间: 2011 年 4 月 30 日。

电话: 022-23669275, 022-23613813; 电子信箱: conf@cnoenet.com。

会议网站: <http://www.ispdiconf.org>。