

文章编号:1001-893X(2010)04-0074-04

## 一种新颖的小型宽阻带低通滤波器\*

周明<sup>1,2</sup>, 童创明<sup>1,2</sup>, 付树洪<sup>1,2</sup>, 吴利楠<sup>1,2</sup>, 倪国旗<sup>3</sup>

(1. 空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800; 2. 毫米波国家重点实验室, 南京 210096;  
3. 桂林空军学院, 广西 桂林 541003)

**摘要:**提出了一种新颖的具有C-型几何结构的小型宽阻带低通滤波器。通过弯曲微带线, 缩减了低通滤波器尺寸。采用补偿线和渐变技术对微带线进行调整, 使所提出的低通滤波器获得了低插损, 同时获得宽阻带。对提出的结构作了加工并进行了实物测量, 结果表明, 所设计滤波器的通带反射损耗的最大旁瓣幅度为-19.5 dB, 阻带( $S_{21} < -20$  dB)宽度为10.1 GHz, 而且面积只有6.28 cm<sup>2</sup>。

**关键词:**低通滤波器; 微带线; 缺陷地面结构; 电磁带隙

中图分类号: TN713; TN015 文献标识码: A doi: 10.3969/j.issn.1001-893x.2010.04.016

## A Novel Compact Wide-stopband Low-pass Filter

ZHOU Ming<sup>1,2</sup>, TONG Chuang-ming<sup>1,2</sup>,  
FU Shu-hong<sup>1,2</sup>, WU Li-nan<sup>1,2</sup>, NI Guo-q<sup>3</sup>

(1. The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, China;  
2. State Key Laboratory of Millimeter Waves, Nanjing 210096, China;  
3. Guilin Air Force Academy, Guilin 541003, China)

**Abstract:** A novel compact wide-stopband low-pass filter (LPF) with C-shape geometry is proposed. By employing C-shape geometry of the microstrip line, the physical size of the proposed structure is reduced significantly compared with the size of the conventional straight structures. By employing compensated microstrip line and linear tapering techniques, the proposed structure achieves lower ripple level in the passband and wide bandwidth in the stopband. The structure is fabricated and measured, and the results show that the maximal return loss sidelobe level is -19.5 dB, the stopband width ( $S_{21} < -20$  dB) is 10.1 GHz, and the occupied area is only 6.28 cm<sup>2</sup>.

**Key words:** lowpass filter (LPF); microstrip line; defected ground structure (DGS); electromagnetic bandgap (EBG)

### 1 引言

自1988年Radisic等人提出在微带电路底板上蚀刻周期性小孔获得电磁带隙(EBG)特性以来<sup>[1]</sup>, 研究人员就在寻找一些具有宽阻带特性的结构。其中, 文献[2-5]分别提出通过串联、级联、并联不同

谐振频率的缺陷地面结构(DGS)来获得宽阻带, 但是由于单元阻带宽度较窄, 因此要获得宽阻带就必须串联、级联多个( $\geq 3$ )不同谐振频率的DGS, 这样势必增加整个电路的尺寸, 因此这种方法不利于推广。文献[6-7]提出一种多层微带结构的DGS, 但电路加工工艺很困难。文献[8-10]提出了补偿线

\* 收稿日期: 2010-01-28; 修回日期: 2010-03-09

基金项目: 毫米波国家重点实验室自然科学基金项目(K200818)

Foundation Item: The National Science Foundation of State Key Laboratory of Millimeter Waves (No. K200818)

和加窗函数渐变技术对滤波器进行优化设计,但其面积相对过大,阻带不如人意。

最近,有研究提出了一种新型的小型化宽阻带 DGS<sup>[11-12]</sup>。通过把顶部微带线弯曲,其电路面积大大缩小,而对于滤波器的性能,可以通过补偿线和加窗技术等方法使其有效地提升。从这种思想出发,本文通过把微带线弯成 C-型曲线设计了一种新颖的小型宽阻带低通滤波器,其通带内反射损耗的最大旁瓣幅度在 -19.5 dB 以下,通带波纹系数为 0.3 dB,阻带宽度达到 10.1 GHz,而其尺寸相对传统的直线型低通滤波器而言降低了 25.7%。

2 C-型缺陷地面结构

典型直线型 DGS 是 Jong-Im Park 和 Chul-Soo Kim 等人提出的一种哑铃型缺陷地面结构 (Dumb-bell-shape Defected Ground Structure, DB-DGS),结构如图 1(a)所示。其顶部是宽度为 50 Ω 的微带线,地板上腐蚀的孔为哑铃形<sup>[13]</sup>,由于这是一种一维周期性排列结构,占用面积较大,所以不可取。通过弯曲微带线,本文提出了一种新颖的微带结构,其结构如图 1(b)所示。其中,标注的  $b$ 、 $d$  和  $g$  是以原点  $O$  为圆心,以  $(R + w/2)$  为半径的弧长。

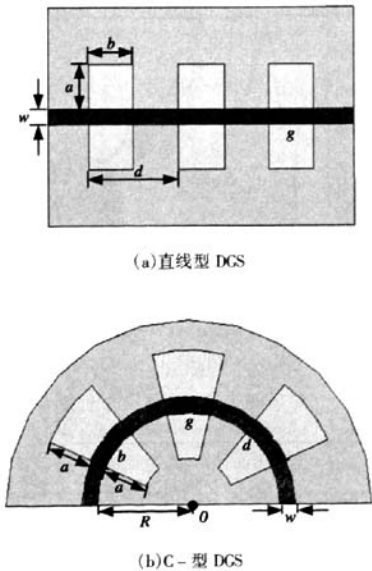


图 1 两种 DGS  
Fig.1 Two types of DGS

本文应用微带介质材料 Rogers R04350 ( $\epsilon_r = 3.48, h = 0.8 \text{ mm}$ ) 设计了谐振中心频率在  $f_r = 8 \text{ GHz}$  的直线型 DGS 和相对应的 C-型 DGS 结构。顶部 50 Ω 微带线宽度为  $w = 1.7 \text{ mm}$ ,地板上单元的排列周期  $d = 10 \text{ mm}$ 。为了避免腐蚀单元相交,使缺陷地面结构与微带线一同弯曲,两种结构的尺寸如表 1 所示。由此得出,直线型 DGS 结构电路尺寸为  $8.4 \text{ cm}^2$ ,而 C-型 DGS 结构电路尺寸为  $6.28 \text{ cm}^2$ ,同比减小了 25.7%。利用电磁场仿真软件 HFSS10.0 对直线型 DGS 和 C-型 DGS 进行仿真分析,其 S 参数的仿真结果如图 2 所示。由图 2 可知,C-型 DGS 与直线型 DGS 结构相比较,整体性能没有大的变化,但电路的占用面积明显减小,有利于结构的小型化设计。

表 1 直线型与 C-型结构参数值  
Table 1 The parameter of straight DGS and C-shape DGS

参数	大小/mm
$a$	5.00
$b$	5.00
$d$	10.00
$R$	10.00
$g$	0.50
$w$	1.70

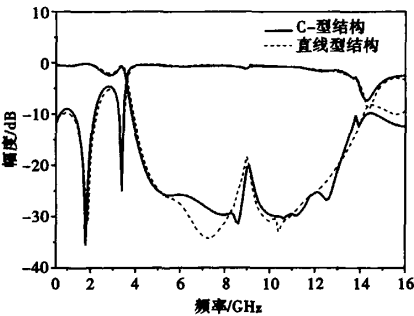


图 2 直线型与 C-型结构的 S 参数仿真结果  
Fig.2 Simulation result of S parameters of straight and C-shape structures

3 C-型 DGS 低通滤波器

本文利用所提出的 C-型 DGS 结构设计了一种低通滤波器。为了降低通带波纹,根据文献[8-10]的思想,采用补偿线和加窗函数渐变技术等方法优

化滤波器的设计。所设计宽阻带低通滤波器的结构如图 3 所示。采用补偿线来改善通带反射损耗,采用高斯加窗函数来加权处理缺陷地面结构的尺寸大小,改善通带波纹,同时保证阻带宽度和抑制深度。表 2 给出了滤波器的尺寸。图 3(b)中标注的  $b_1$ 、 $b_2$ 、 $D$  和  $g$  是以原点  $O$  为圆心,以  $(R + w/2)$  为半径的弧长。

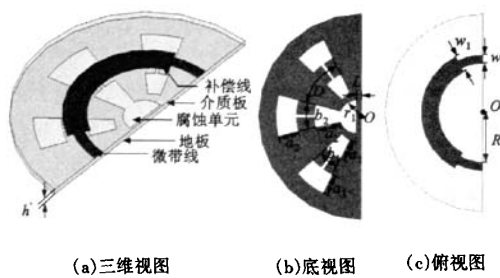
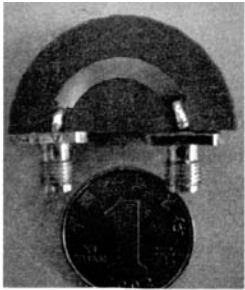


图 3 C-型 DGS 低通滤波器结构  
Fig.3 Structure of the C-shape DGS low-pass filter

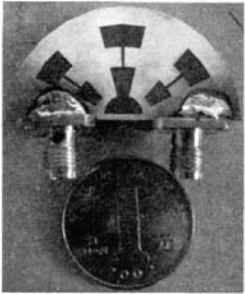
表 2 C 型 DGS 低通滤波器参数值  
Table 2 The parameters of the C-shape DGS low-pass filter

参数	大小/mm
$a_1$	4.00
$a_2$	5.25
$b_1$	4.00
$b_2$	5.25
$D$	5.35
$2L$	1.00
$h$	0.80
$g$	0.50
$w$	1.70
$w_1$	3.50
$R$	10.00
$r_1$	4.45

根据上述参数,对此结构进行了仿真和实物加工,实物模型如图 4 所示。利用 HP8720ET 矢量网络分析仪对上述电路进行测试,实测结果如图 5 所示。与仿真结果比较,测试结果与仿真结果比较吻合。测试结果表明,通带波纹系数为 0.3 dB,通带内反射损耗的最大旁瓣幅度为 -19.5 dB,20 dB 以下的阻带宽度可达 10.1 GHz,实现了宽阻带。与已有文献结果作对比,如表 3 所示。由表 3 可知,本文所提出的 C-型 DGS 低通滤波器各项性能大大优于已有文献结果。



(a) 顶视图



(b) 底视图

图 4 C-型 DGS 低通滤波器实物模型  
Fig.4 Photographs of the C-shape DGS low-pass filter

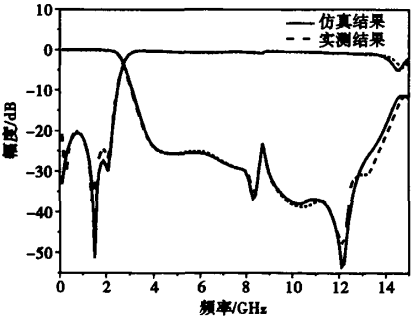


图 5 C-型 DGS 低通滤波器 S 参数仿真与测试结果  
Fig.5 Simulation result and measurement result of S parameters of C-shape DGS low-pass filter

表 3 低通滤波器性能的比较  
Table 3 Performance comparison of low-pass filters

滤波器类型	占用面积 /cm <sup>2</sup>	通带反射损耗 最大旁瓣/dB	-20 dB 阻带宽度/GHz
文献[7]	15	-10	10.0
文献[10]	14	-15	6.0
文献[11]	15	-18	8.8
C-型 DGS LPF	6.28	-19.5	10.1

## 4 结 论

针对电磁带隙结构在实际应用中的小型化和宽阻带问题,本文提出了一种新颖的C-型DGS低通滤波器。通过弯曲微带线,缩减了低通滤波器尺寸。采用补偿线和渐变技术对微带线进行调整,使所提出的低通滤波器具有低插损,同时获得宽阻带。对提出的滤波器做了加工并进行了实物测量,结果表明,所设计滤波器的通带反射损耗的最大旁瓣幅度为-19.5 dB,20 dB阻带宽度为10.1 GHz。相对于直线型结构而言,电路面积减小了25.7%。由于所提出结构具有低插入损耗、小尺寸和宽阻带等优点,适合应用于常规平面电路。

## 参考文献:

- [1] Radisic V, Qian Yongxi. Novel 2-D photonic bandgap structure for microstrip lines[J]. IEEE Microwave and Guided Wave Letter, 1998, 8(2): 69-71.
- [2] 翁丽鸿,郭玉春,史小卫. 缺陷地面结构最新研究进展[J]. 微波学报, 2008, 24(增刊): 226-232.  
WENG Li-hong, GUO Yu-chun, SHI Xiao-wei. An overview on defected ground structure[J]. Journal of Microwaves, 2008, 24(s): 226-232. (in Chinese)
- [3] Rumsey I, May M P, Kelly P K. Photonic bandgap structures used as filters in microstrip circuits[J]. IEEE Microwave and Guided Wave Letters, 1998, 8(10): 336-338.
- [4] 付云起,袁乃昌. 甚宽带PBG滤波器结构[J]. 电子学报, 2002, 30(3): 444-446.  
FU Yun-qi, YUAN Nai-chang. Broadband PBG filtering structures[J]. Acta Electronica Sinica, 2002, 30(3): 444-446. (in Chinese)
- [5] Chen W L, Wang G M, Qi Y N, et al. A novel wide stop-band PBG structure with fractal features and its application to the design of microstrip low-pass filter [C]// Proceedings of the 7th International Symposium on Antennas, Propagation and EM Theory. Guilin, China: IEEE, 2006: 292-295.
- [6] 刘海文,孙晓玮,李征帆,等. 基于分形特征和双层光子带隙结构的宽阻带低通滤波器[J]. 物理学报, 2003, 52(12): 3082-3086.  
LIU Hai-wen, SUN Xiao-wei, LI Zheng-fan, et al. A low-pass filter of wide stopband with a novel dual-layer fractal photonic bandgap structure[J]. Acta Physica Sinica, 2003, 52(12): 3082-3086. (in Chinese)
- [7] Kim J K, Lee H Y. Wideband and compact bandstop filter structure using double-plane superposition [J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2003, 13(7): 279-280.
- [8] LIU Hai-wen, LI zheng-fang, SUN Xiao-wei. An improved 1-D periodic defected ground structure for microstrip line[J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2004, 14(4): 180-182.
- [9] 安士全,曹锐,张立军. 光子带隙加窗技术在功率放大器中的应用[J]. 中国电子科学研究院学报, 2007, 2(1): 70-72.  
AN Shi-quan, CAO Rui, ZHANG Li-jun. The Implication of Windowed-PBG Using in Power Amplification[J]. Journal of CAET, 2007, 2(1): 70-72. (in Chinese)
- [10] Huang S Y, Lee Y H. Tapered dual-plane compact electromagnetic bandgap microstrip filter structure [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Technology, 2005, 53(9): 2656-2664.
- [11] Chen W L, Wang G M, Qi Y N, et al. Size-reduced fractal-shaped dual planar microstrip low-pass filter [C]// Proceedings of the 7th International Symposium on Antennas, Propagation and EM Theory. Guilin, China: IEEE, 2006: 296-300.
- [12] Huang S Y, Lee Y H. Compact U-shaped dual planar EBG microstrip low-pass filter [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Technology, 2005, 53(9): 2656-2664.
- [13] Jong-Im, Jong-Im P P, Chul-Soo K, et al. Modeling of aphotonic bandgap and its application for the low-passfilter design [C]// Proceedings of Microwave Conference. [S.l.]: IEEE, 1999: 331-334.

## 作者简介:

周 明(1985-),男,湖北人,硕士研究生,主要研究方向为电磁带隙及微波电路器件设计;

ZHOU Ming(male) was born in Hubei Province, in 1985. He is now a graduate student. His research interests include electromagnetic band-gap structure, microwave circuits device, and so on.

Email: zhouming419@163.com

董创明(1964-),男,湖北人,教授,主要研究领域涉及雷达系统、电磁场数值计算、微波毫米波电路等;

TONG Chuang-ming(male) was born in Hubei Province, in 1964. He is now a professor. His research interests include radar system, computation in electromagnetics, microwave and millimeter-wave circuits, and so on.

付树洪(1982-),男,四川人,博士研究生,主要研究方向为电磁带隙、微波电路及器件设计;

FU Shu-hong(male) was born in Sichuan Province, in 1982. He is currently working toward the Ph.D. degree. His research interests include electromagnetic band-gap structure, microwave circuits device, and so on.

吴利楠(1986-),男,安徽人,硕士研究生,主要研究方向为微波电路及器件设计。

WU Li-nan(male) was born in Anhui Province, in 1986. He is now a graduate student. His research interests include microwave wave circuits and device design.

## 微波滤波器设计培训——视频课程

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立, 致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养, 是国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地。客户遍布中兴通讯、研通高频、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。

我们推出的微波滤波器设计培训专题, 有资深工程师领衔主讲, 课程既有微波滤波器设计原理的详细解释, 也有各种仿真分析工具的实际设计应用讲解, 设计原理和设计仿真实践相结合, 向大家呈现各种结构的微波滤波器的完整设计流程。旨在帮助大家透彻地理解并实际的掌握各种微波滤波器的设计。



### 微波滤波器设计培训专题视频课程

高清视频, 专家授课, 中文讲解, 直观易学; 既有微波滤波器设计原理的详细解释, 也有像 ADS、CST、HFSS 各种仿真分析工具的实际设计应用讲解, 旨在帮助大家透彻地理解并实际的掌握各种微波滤波器的设计。

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/filter/>

### 更多专业培训课程:

- **HFSS 视频培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/>

- **CST 视频培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/>

- **天线设计专业培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/>