

文章编号:1001-9014(2004)05-0431-05

一种新颖的蝴蝶结形缺陷接地结构微带线

刘海文^{1,2}, 李征帆¹, 孙晓玮², 程知群², 钱蓉², 张丹²

(1. 上海交通大学电子工程系, 上海 200030; 2. 中国科学院上海微系统与信息技术研究所, 上海 200050)

摘要:提出一种新颖的蝴蝶结形缺陷接地结构(DGS)微带线,分析了该微带线的带阻特性和慢波特性和带线损耗,建立了该微带线的等效电路模型及其参数提取,并分析了蝴蝶结形DGS结构变化对阻带特性的影响.最后将该DGS结构应用于紧凑结构低通滤波器的设计,模拟结果与实验结果吻合较好,验证了所提结构的可靠性.

关键词:缺陷接地结构;微带线;阻带;慢波结构;低通滤波器

中图分类号:TN45;TN713 **文献标识码:**A

NOVEL BUTTERFLY SHAPE DEFECTED GROUND STRUCTURE FOR MICROSTRIPLINE

LIU Hai-Wen^{1,2}, LI Zheng-Fan¹, SUN Xiao-Wei²
CHENG Zhi-Qun², QIAN Rong², ZHANG Dan²

(1. Department of Electronic Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China

2. Shanghai Institute of Microsystem and Information Technology, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050, China)

Abstract: A novel butterfly shape defected ground structure for microstrip line was proposed. Its band-gap characteristics and slow-wave characteristics were discussed. Including the transmission loss, equivalent circuit modeling for the proposed microstrip line was built and its parameters were extracted. The effects of DGS dimensions on stop-band characteristics were presented. Furthermore, a compact DGS low-pass filter was designed and measured. The validity of the DGS filter is verified by the agreement between simulated and measured results.

Key words: defected ground structure; microstrip line; stop band; slow-wave structure; low-pass filter

引言

自1999年韩国学者J. I. Park等人^[1,2]提出缺陷接地结构(Defected Ground Structure,简称DGS)以来,DGS结构逐渐成为微波毫米波电路设计领域的一个研究热点.和光子带隙结构(Photonic Band-gap,简称PBG)类似,DGS结构也是通过在电路的接地板上刻蚀出缺陷图案,以改变电路衬底材料有效介电常数的分布,从而改变微带线的有效电感和有效电容,使得由DGS结构构成的微带线具有慢波特性和带阻特性.然而,PBG结构在光学领域中由于其尺寸极小造成加工难度很大,因而应用受限;而在微波毫米波电路中,PBG结构往往达到厘米级甚至分米级,尺寸过大,在单片集成电路实际应用中

面临一定的困难^[3-6].

和PBG结构比较,DGS结构仅由1个缺陷单元构成,它的带隙中心频率仅由该缺陷单元结构决定,而PBG结构是由若干个缺陷单元组成的缺陷阵列构成,它的带隙中心频率由缺陷阵列间距、排列方式和几何结构等诸多因素决定.因此,DGS结构具有结构简单,易于电磁场理论分析和等效电路建模分析,更适于集成电路实际应用的显著优点.近几年,国内外学者已将DGS结构广泛应用于微波毫米波电路设计,如提高天线性能、抑制高次谐波^[7]、增加功率放大器和振荡器的输出功率^[8,9]、降低振荡器的相位噪声^[10]、构造紧凑结构电路^[11]等方面.

经典DGS结构的缺陷单元,其图案由2个正方形和它们之间的1个长方形缝隙组成,形状酷似

收稿日期:2003-06-17,修回日期:2004-06-20

Received date: 2003-06-17, revised date: 2004-06-20

基金项目:国家863高科技计划资助项目(2002AA135270);中国科学院重大资助项目(KGCX1-SW-10);上海市应用材料研究与发展基金资助项目(0109)

作者简介:刘海文(1975-),男,湖南邵阳人,博士研究生.主要从事研究微波集成电路.

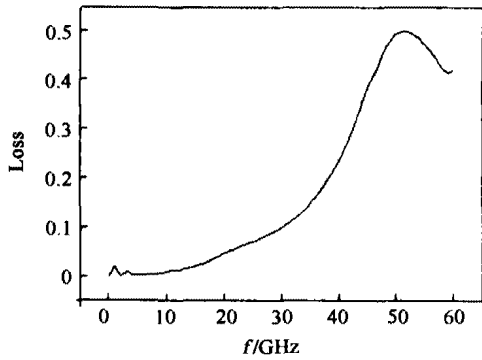


图3 DGS结构微带线的传输损耗
Fig.3 Transmission loss of the microstrip line with DGS

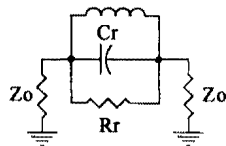


图4 DGS结构微带线的等效电路模型
Fig.4 Equivalent circuit model for the microstrip line with DGS

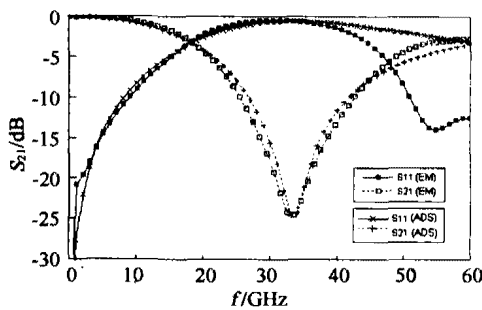


图5 DGS结构微带线的模拟结果
Fig.5 Simulated results for the microstrip line with DGS

微带线结构是一个慢波结构,可用于构造紧凑的微波毫米波电路结构。

图2(a)中,设透射波 S_{21} 的幅度为 T ,反射波 S_{22} 的幅度为 R ,则对于一入射波,由能量守恒定理可知,它的传输损耗(Loss)可以表示为

$$\text{Loss} = 1 - T^2 - R^2 \quad (1)$$

基于图2(a)提供的数据,该微带线传输损耗情况如图3所示。由图中可以看出,40GHz以下,损耗小于0.2。

2.2 DGS结构微带线的等效电路模型及其参数提取

将蝴蝶结形 DGS 缺陷单元看成二部分,一部分

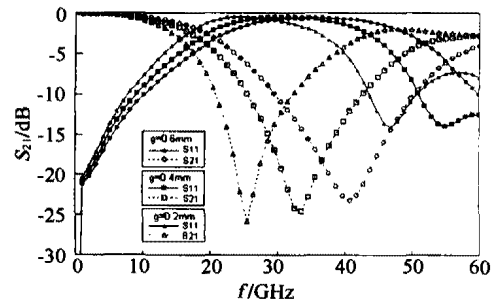


图6 缝隙的宽度 g 对阻带特性的影响
Fig.6 Effect of gap distance (g) on stop-band characteristics

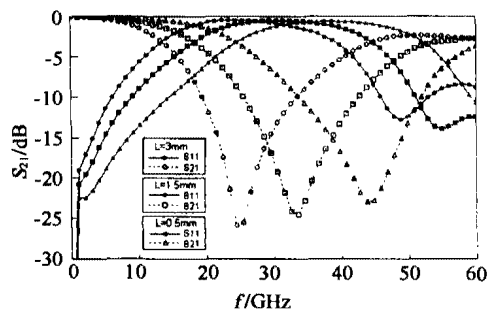


图7 扇形半径 L 对阻带特性的影响
Fig.7 Effect of sector's radius (L) on stop-band characteristics

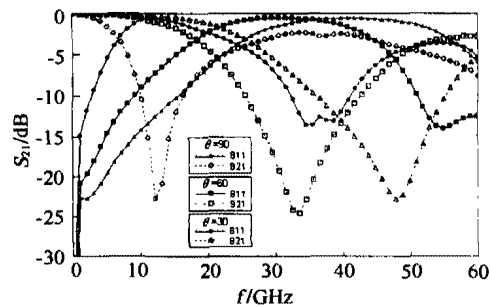


图8 扇形夹角 θ 对阻带特性的影响
Fig.8 Effect of sector's angle (θ) on stop-band characteristics

是蝴蝶结中2个扇形构成的缺陷面积,它的作用等效为微带线的有效电感,另一部分是蝴蝶结中两个扇形之间缝隙构成的缺陷面积,它的作用等效为微带线的有效电容。这就是文献^[1]提出的用LC电路来等效DGS微带线的模型,但是,该模型没有将微带线损耗考虑进去,因此,在带隙中心频率 f_0 处,电磁场仿真结果与电路仿真结果误差较大。为了更好的将DGS结构应用于电路CAD中,本文将微带线损耗这一因素考虑进来,提出用LCR电路模型来等

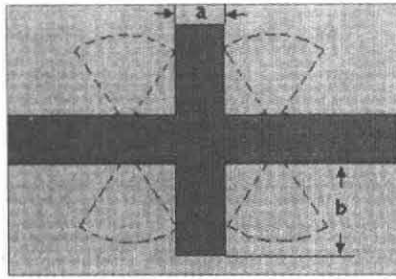


图9 低通滤波器示意图
Fig. 9 Schematic view of proposed low-pass filter

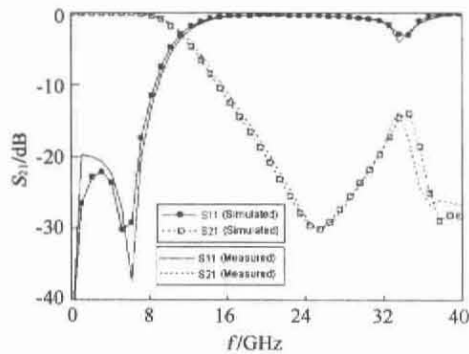


图10 低通滤波器的传输特性
Fig. 10 Transmission characteristics of the proposed low-pass filter

效 DGS 结构微带线,如图 4 所示,LC 表示产生带阻特性的谐振网络,R 反映微带线损耗.由图 2(a) 的电磁场仿真结果与原型滤波器模型拟合^[2],可以得到

$$C_r = \frac{f_c}{2Z_0} \cdot \frac{1}{2\pi(f_0^2 - f_c^2)}, \quad (2)$$

$$L_r = \frac{1}{4\pi^2 f_0^2 C_r}. \quad (3)$$

其中 f_0 和 f_c 分别为带隙中心频率和 -3dB 处频率, Z_0 取为 50Ω .

采用 Agilent 公司的 ADS2002 电路仿真软件优化 R, 优化目标是使 LCR 电路模拟结果和图 2(a) 的电磁场模拟结果(EM)在带隙中心频率处的 $|S_{21}|$ 相等.经计算,R 优化值为 1675Ω .结果如图 5 所示,两种模拟结果吻合较好,验证了所提模型的有效性.

2.3 DGS 结构改变对阻带特性的影响

下面我们来考察蝴蝶结形 DGS 结构各要素,即扇形半径 L 、扇形夹角 θ 和连接两个扇形的缝隙宽度 g 对阻带特性的影响.

1) 缝隙宽度 g 的影响

基于图 1 所示的蝴蝶结形 DGS 结构,取其扇形

半径 L 为 1.5mm 、扇形夹角 θ 为 60° .改变缝隙的宽度 g ,分别取 $g = 0.2\text{mm}$, 0.4mm 和 0.6mm ,对应的 DGS 结构微带线传输特性如图 6 所示,此时,对应的带隙中心频率 f_0 分别为 25.48GHz , 33.50GHz 和 40.71GHz .由此可见, g 对带隙中心频率 f_0 影响较大,并且,随着 g 的增加, f_0 相应提高.这是因为,缝隙的宽度 g 增加,等效于微带线的有效电容减小,对于 LC 谐振网络而言,其谐振频率(即阻带带隙中心频率)也相应的提高.

2) 扇形半径 L 的影响

基于图 1 所示的蝴蝶结形 DGS 结构,取其缝隙宽度 g 为 0.4mm 、扇形夹角 θ 为 60° .改变扇形半径 L ,分别取 $L = 1\text{mm}$, 1.5mm 和 3mm ,对应的 DGS 结构微带线传输特性如图 7 所示,此时,对应的带隙中心频率 f_0 分别为 44.51GHz , 33.50GHz 和 24.46GHz .由此可见, L 对带隙中心频率 f_0 影响也比较大,并且,随着 L 的增加 f_0 相应降低.这是因为,扇形半径 L 增加,缺陷面积增大,这等效于微带线的有效电感增加,对于 LC 谐振网络而言,其谐振频率(即阻带带隙中心频率)也相应的降低.

3) 扇形夹角 θ 的影响

基于图 1 所示的蝴蝶结形 DGS 结构,取其扇形半径 L 为 1.5mm 、缝隙宽度 g 为 0.4mm .改变扇形夹角 θ ,分别取 $\theta = 30^\circ$, 60° 和 90° ,对应的 DGS 结构微带线传输特性如图 8 所示,此时,对应的带隙中心频率 f_0 分别为 47.82GHz , 33.50GHz 和 12.30GHz .由此可见, θ 对带隙中心频率 f_0 影响显著,并且,随着 θ 的增加 f_0 相应降低.这是因为,扇形半径 θ 增加,缺陷面积增大,这等效于微带线的有效电感增加,对于 LC 谐振网络而言,其谐振频率(即阻带带隙中心频率)也相应的降低.

综上所述,可以通过改变蝴蝶结形 DGS 结构的 L 、 θ 和 g ,来实现不同要求的带隙中心频率.不同尺寸的 DGS 的带阻特性总结于表 1 所列.由表 1 可看出,DGS 结构尺寸对阻带深度影响不大.

3 应用实例

我们利用蝴蝶结形 DGS 结构设计制作了一个低通滤波器,如图 9 所示.所用介质材料和 DGS 结构和图 1 所示一致.图 9 中 2 个 DGS 结构尺寸均取为:扇形半径 $L = 1.5\text{mm}$ 、扇形夹角 $\theta = 60^\circ$,缝隙的宽度 $g = 0.4\text{mm}$.而微带线为一个十字形结构,由传输线理论可知,小于 $1/4$ 导引波长的开路短截线表现为容性.这里, α 取为 0.8mm , b 取为 1.75mm .该

滤波器传输特性的电磁场模拟结果和实测结果如图10所示,在0.1~7.9GHz低通频带内,具有良好的低通滤波特性,带内波纹起伏小于0.01dB.而在8~40GHz高阻频带内,在35GHz附近, $|S_{21}|$ 最大值为-15dB.通过合理设计DGS结构和十字形短截线的尺寸,可以使得阻带内 $|S_{21}|$ 更小,从而满足实际应用.测试设备:HP8722D矢量网络分析仪(工作频段为0.5~40GHz)与计算机主机、Cascade探针台、XJ4810图示仪.

4 结语

本文提出一种新颖蝴蝶结形DGS结构的微带线,分析了该微带线的传输特性,建立该微带线的等效电路模型,并分析了蝴蝶结形DGS结构参数对阻带特性的影响.最后,将蝴蝶结形DGS结构应用于低通滤波器的设计.DGS结构的阻带特性和慢波特性和慢波特性,可用于谐波抑制、去噪、构造紧凑和新型电路结构等方面,因此,DGS结构在微波毫米波单片集成电路(MMIC)、低温共烧陶瓷(LTCC)多层微波电路等领域中具有广泛的应用前景.

REFERENCES

- [1] Park J I, Kim C S, Kim J, et al. Modeling of a photonic bandgap and its application for the low-pass filter design [A]. *Asia-Pacific Microwave Conference*. Singapore: 1999, 2: 331—334.
- [2] Dal A, Park J S, Kim C S, et al. A design of the low-pass filter using the novel microstrip defected ground structure [J]. *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*. 2001,

- 49(1): 86—93.
- [3] YAN Dun-Bao, YUAN Nai-Chang, FU Yun-Qi, et al. Research on 1-D and 2-D PBG structure based on FDTD method [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (闫敦豹,袁乃昌,付云起,等.基于FDTD的1-D和2-D PBG结构的研究. *红外与毫米波学报*), 2002, 21(4): 281—284.
- [4] LIU Hai-Wen, LI Zheng-Fan, SUN Xiao-Wei, et al. A novel photonic band-gap microstrip structures for low-pass filters of wide stop-band [J]. *Microwave and Optical Tech. Letters*, 2003, 37(6): 470—472.
- [5] Rumsey I, May M P, Kelly P K. Photonic bandgap structure used as filters in microstrip circuits [J]. *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, 1998, 8(10): 336—339.
- [6] Kim T, Seo C. A novel photonic bandgap structure for low-pass filter of wide stopband [J]. *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, 2000, 10(1): 13—15.
- [7] Insik Chang, Bomson Lee. Design of defected ground structures for harmonic control of active microstrip antenna [J]. *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, 2002, 2(2): 852—855.
- [8] Lim J S, Kim H S, Ahn D, et al. A power amplifier with efficiency improved using defected ground structure [J]. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 2001, 11(4): 170—172.
- [9] LIU Hai-Wen, SUN Xiao-Wei, CHENG Zhi-Qun, et al. A VCO with output power improved using defected ground structure [J]. *Microwave and Optical Tech. Letters*, 2003, 38(4): 260—263.
- [10] Lee Y T, Lim J K, Park J S, et al. A novel phase noise reduction technique in oscillator using defected ground structure [J]. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 2002, 12(2): 39—41.
- [11] LIM J S, PARK J S, LEE Y T, et al. Application of defected ground structure in reducing the size of amplifiers [J]. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 2002, 12(7): 261—263.

(上接第430页)叶绿素Chl散射对反射率 R 的影响可用线性项 Chl 来表示;悬浮物的影响可用线性项 SS (当 $SS < 100\text{mg/L}$)或对数线性项 $\ln(SS + 1)$ 来表示.

污染物浓度对水面反射率影响大致地可划分为:叶绿素散射作用主要体现在704nm以上波段,吸收作用主要体现在400~520nm和575~690nm波段,悬浮物的散射作用在500~800nm表现比较明显.

REFERENCES

- [1] Nanjing Institute of Geography and Lake, Chinese Academy of Sciences. *Review of Chinese Lakes* [M]. Beijing: Science Press (中国科学院南京地理与湖泊研究所. *中国湖泊概论*.北京:科学出版社), 1989.

- [2] JIN Xiang-Can, LIU Hong-Liang, TU Qing-Ying, et al. *The Eutrophic State of Chinese Lakes* [M]. Beijing: Chinese Environmental Science Press (金相灿,刘鸿亮,屠清瑛,等.北京:中国湖泊富营养化.中国环境科学出版社), 1990.
- [3] Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences. Symposium of Water and Continuable Development [C]. (中科院上海技术物理所.水与可持续发展论文集), 1999.
- [4] WEI Fu-Sheng. *Manual of Water and Waste Water Monitoring Methods* [M]. Beijing: Chinese Environmental Science Press (魏复盛.水和废水监测方法指南.北京:中国环境科学出版社), 1990.
- [5] Chinese National Standard. The Environmental Quality Standard of Surface Water [S]. (中华人民共和国国家标准.地面水环境质量标准), GB3838—2002.
- [6] National Environmental Bureau. Technical Criterion of Environmental Quality Reports [R]. (国家环保局环监字(91)092号文.环境质量报告书编写技术规定), 1991.