

一种基于平面电磁带隙结构的新型低通滤波器

杨阳 户仕明 张海飞 刘婷 陈如山
南京理工大学通信工程系, 南京, 210094
eerschen@mail.njust.edu.cn

1 引言

随着 Yablonovitch 教授研制的世界上第一个人造光子晶体用来控制光子的传播, 光子带隙结构 (Photonic Band-Gap) 结构的特性及其应用的研究就成为近年来国际上的研究热点。虽然这是来自光子的概念, 但是研究者把它延伸到微波频率, 被称作电磁带隙结构 (Electromagnetic Band-Gap), 一些新的电磁结构得以诞生。

电磁带隙结构的基本工作原理是: 电磁波在具有周期结构的介电材料中传播时, 会受到调制, 形成能带结构, 能带结构之间可能出现带隙。当电磁波的工作频率落在带隙中时, 由于带隙中没有任何态存在, 因而任何方向的入射波都会发生全反射。因此, 电磁带隙结构具有带阻特性。同时, 电磁带隙结构还改变通带内的传播常数, 是一种慢波结构。由于电磁带隙结构的以上特点, 使它在微波和毫米波集成电路中得到了广泛的应用, 例如天线, 谐振腔等。作为天线介质, 可以用来作为反射器减少相邻天线之间的干扰, 并增加天线的方向性和隔离度。

1998 年, UCLA 的 Itoh 教授首先提出了在金属底板光刻上二维槽的平面电磁带隙结构, 试验表明这种结构可以获得比介质打孔等三维结构更为优异的阻带特性。值得一提的是, 这篇名为“微带线中的新型二维 EBG 结构”的文章 1998 年发表于导波快报, 它对于微波平面 EBG 结构的发展来说是很重要的一个起点。这种典型的平面电磁带隙结构 (UC-EBG) 如图 1 所示。

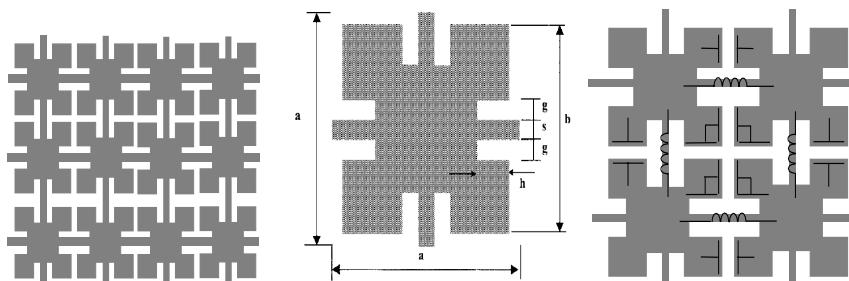


图 1 Itoh 教授提出的二维 EBG 结构及其有效电路图, 其中 $a=3.048\text{mm}$, $b=2.7432\text{mm}$, $s=g=0.3048\text{mm}$, $h=0.762\text{mm}$,

2 分析方法

本文采用三维时域有限差分方法 (FDTD) [4] 分析平面电磁带隙结构。FDTD 方法是求解 Maxwell 微分方程的直接时域方法, 将计算空间某一样本点的电场 (或磁场) 与周围格点的磁场 (或电场) 直接相关联, 介质参数赋值给每一个网格, 结合计算机技术能处理十分复杂的电磁问题。针对平面电磁带隙结构进行计算时需要很小的离散网格, 这显然增加了计算代价。为了得到完整的时域波形, 所需的时间步数可能会超过几万次。而要通过傅立叶变换获得准确的频域散射参数又必须知道完整的时域波形数据。利用现代信号处理技术 (例如 Matrix

Pencil Method 矩阵束方法), 对用 FDTD 法获得的部分电磁波的时域波形进行外推, 以获得完整的时域波形, 可使计算量大大降低。

矩阵束方法 (Matrix Pencil Method) 是高效的线性参数估计方法[3], 其基本思想是构造特殊的矩阵[Hankel 矩阵], 利用矩阵间的特殊关系, 通过求解广义特征值来实现参数估计。该程序在奔腾 P4 CPU2.4G 计算机上的运行时间仅为一秒钟。

3 仿真和分析

3.1 平面电磁带隙结构 (UC-EBG)

平面电磁带隙结构是利用在金属底板上开槽的形状变化, 组合模拟了二维周期性 LC 网络 (见图 2), 引入了分布参数的电感电容, 这种结构能进一步减小单元结构的大小。由于具有标准微波平面电路制作技术的兼容性, 这类结构在低成本的微波单片集成电路中具有潜在的应用价值。

3.2 平面电磁带隙结构在微带线中的应用

图 3.a 为具有平面电磁带隙结构的微带线[1], 其底板厚度为 0.635mm, 微带宽 0.6096mm, 介电常数为 10.2。图 3.b 给出了其散射参数图, 从图中可以看出, 在 10GHz 以上出现明显的阻带, 可知该结构具有较好的低通滤波特性, 显示出平面电磁带隙结构的特性。

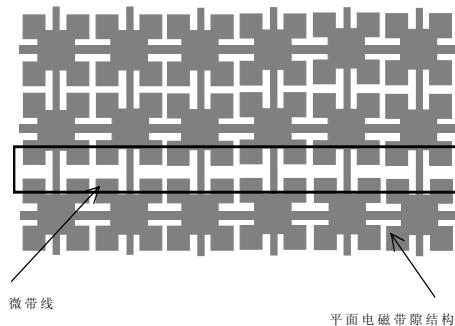


图 3.a 具有平面电磁带隙的微带线

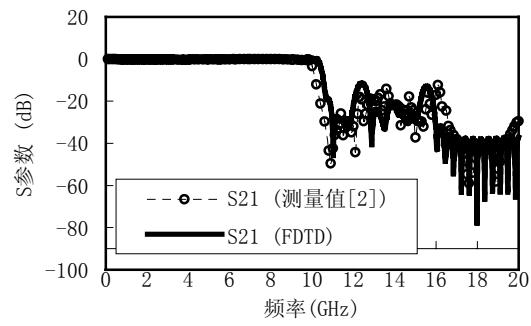


图 3.b 该结构的散射参数图

运用混和算法计算时, 先用 FDTD 法计算出部分时域波形(见图 4.a), 由部分时域数据计

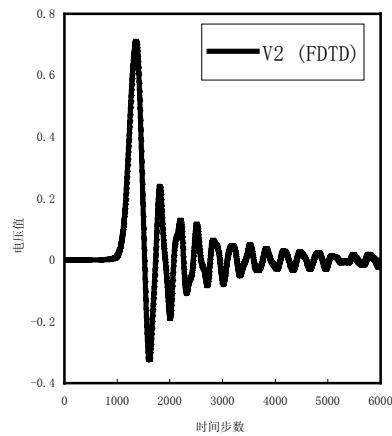


图 4.a 观察点的部分时域图

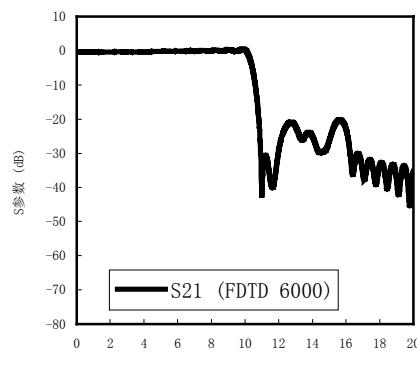


图 4.b 部分时域数据得出的散射参数图

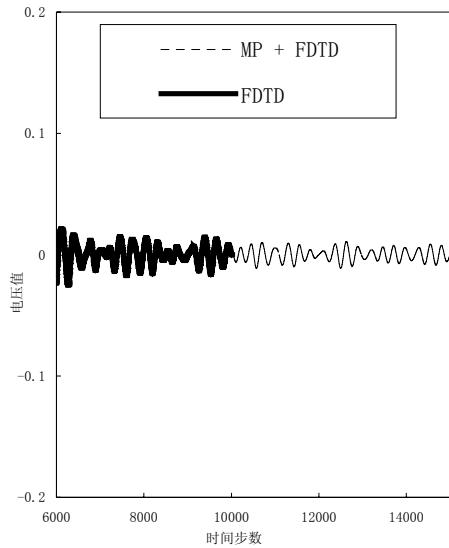


图 4.c 用矩阵束方法外推得出的完整时域图

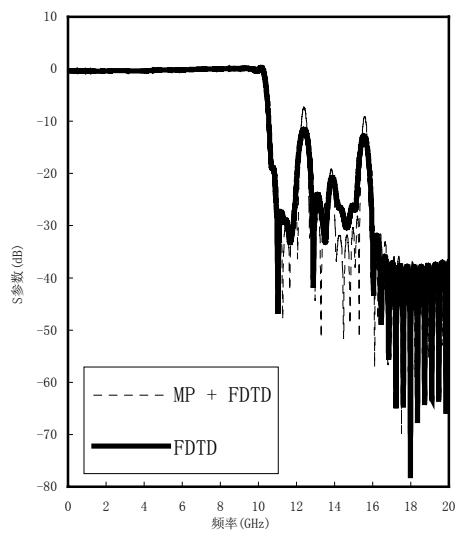


图 4.d 用矩阵束方法外推后得出的散射参数图

算出的散射参数图(见图 4.b)数据很不准确；运用矩阵束方法外推获得准确的完整时域波形(见图 4.c)，再计算散射参数图(见图 4.d)结果准确。计算时间节省了 70%，计算结果验证了该混和算法的正确性。

3.3 平面电磁带隙结构在滤波器中的应用

3.3.1 低通滤波器

在微波集成电路中性能良好的低通滤波结构由于其应用价值总能引起工程师们的兴趣，如图 5 所示为一种在微波集成电路中较为常见的低通滤波结构，其中 $l_1 = 1.651\text{mm}$ ， $l_2 = 1.143\text{mm}$ ， $l_3 = 0.635\text{mm}$ ， $w_1 = 0.635\text{mm}$ ， $w_2 = 1.524\text{mm}$ ， $w_3 = 0.381\text{mm}$ ，基底厚度为 0.635mm

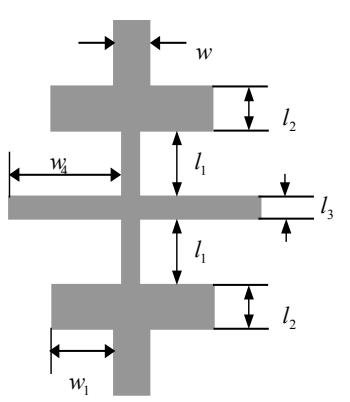


图 5 微带低通滤波器

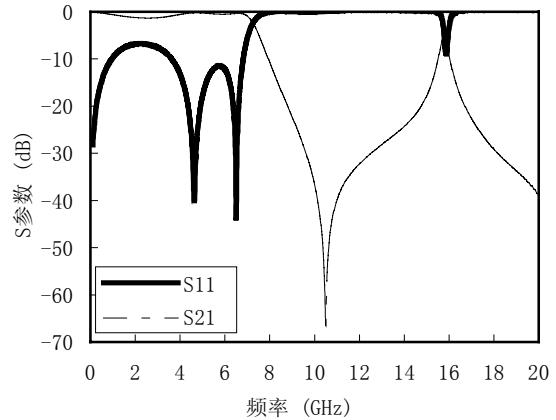


图 6 低通滤波器的散射参数图

由图 6 散射参数图可知，该低通滤波器在谐波频率具有伪相应，这会使整个射频系统的

性能大大降低。考虑将平面电磁带隙结构作为该微带电路的金属底板，期望消除谐波频率的伪通带。用混和算法对该结构进行仿真计算，所得散射参数如图 7 所示

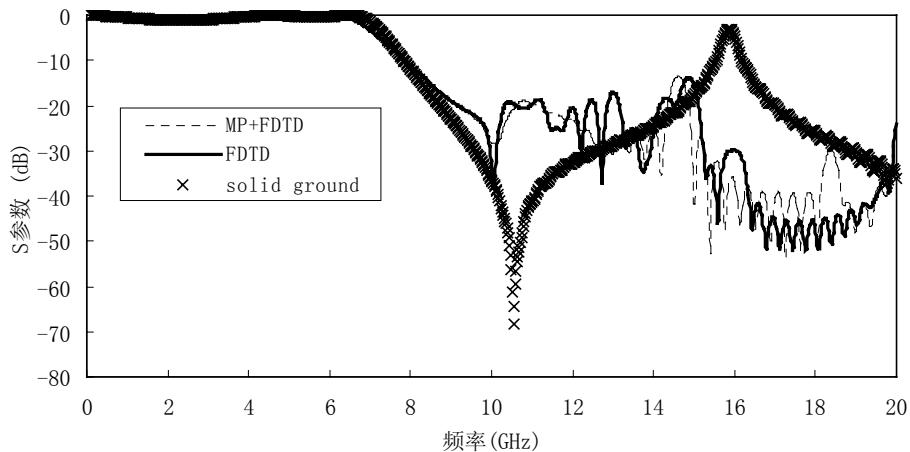


图 7 新型低通滤波器的散射参数图

分析该散射参数图可知，将平面电磁带隙结构作为该微带电路的金属底板后，在低通滤波器的通带外的伪通带已经不存在，阻带衰落在-20dB 以下，达到了设计要求。这种滤波器具有谐波抑制特性，阻带范围宽，适合印制板电路的制作，因此具有潜在的应用价值。

4. 结 论

本文提出一种以 UC-EBG 为基底的新型低通滤波器，并利用三维时域有限差分方法和矩阵束方法相结合的混和算法对此结构进行了仿真，结果表明该滤波器已达到设计要求，而且混和算法可节省 70% 以上的计算时间。通过改变该低通滤波器的三个分支的尺寸调节低通滤波器的通带范围，下一步的工作将就尺寸与通带范围的关系进行研究，以得到尺寸与通带间的函数曲线，便于工程中的应用。

参 考 文 献

- [1] V. Radisic, Y. Qian, R. Coccioni, and T. Itoh, "Novel 2-D Photo Bandgap Structures for Microstrip Lines," *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, vol.8, pp. 69-71, 1998
- [2] R. S. Chen, D. X. Wang, Edward K. N. Yung, and J. M. Jin, "Application Of The Multifrontal Method To The Vector FEM For Analysis Of Microwave Filters," *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol.31 pp. 465-470, 2001
- [3] T. K. Sarkar, O. Pereira, "Using the Matrix Pencil Method to Estimate the Parameters of a sum of Complex Exponentials," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol.37, No.1, PP. 48-55, 1995
- [4] Yee K S, "Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell equations in isotropic media," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, May 1966, AP-14(3): PP. 302—307

A Novel Low-pass Filter Using Uniplanar Compact Electromagnetic-Bandgap (UC-EBG) Structure

Y. Yang, S. M. Hu, H.F. Zhang, T. Liu and R. S. Chen
Department of Communication Engineering, NUST

微波滤波器设计培训——视频课程

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，致力于专注于微波、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/>

专注于微波、射频、天线设计人才的培养

易迪拓培训

官方网址: <http://www.edatop.com>

淘宝网店: <http://shop36920890.taobao.com>