

# 一种双层的基于衬底打孔的 PBG 结构带阻滤波器

李艳君 邱贵祯

中国传媒大学信息工程学院通信工程系 北京 100024

Email: bbi\_liyanjun@163.com luguizhen@bbi.edu.cn

**摘要:** 本文提出了一种双层的基于衬底打孔的 PBG 结构带阻滤波器, 采用了周期结构与微带电路分离的设计, 易于微带电路的加工与修改, 解决了衬底打孔 PBG 结构中导带加工难的问题。文章给出的 HFSS 仿真和实际测量结果基本相符, 验证了这种结构的可行性, 同时分析了物理尺寸及介电常数对于此种结构阻带特性的影响。

**关键词:** 光子晶体 带阻滤波器 微带线

## 一、引言

光子晶体这个概念自提出以后, 由于它具有良好的阻带特性, 关于它的研究和应用的报道越来越多。人们发现在传输线结构的地面上刻上各种周期结构<sup>[3]</sup>或在介质中形成周期性的结构<sup>[1]</sup>都能得到较好的带阻特性。在介质中形成周期性的结构实际应用时, 微带电路不好加工。本文介绍了一种双层的基于衬底打孔的 PBG 带阻滤波器, 采用了双层结构, 此结构中两层介质板分别用来提供周期结构和微带电路。这种双层的 PBG 结构可以解决微带电路不易加工的问题, 并且对电路进行修改的时候, 不用改变底层的 PBG 结构, 能够较好地解决目前提出的基于衬底打孔的光子晶体结构器件的导带加工问题, 文章对于这种结构给出了理论仿真和实际测量结果, 论证了它的可行性。

## 二、仿真与测试

### 1 设计与分析

#### 1.1 理论设计

对于在介质中形成周期结构的 PBG 带阻滤波器实际应用时, 微带线在介质板的上层, 这种结构直接将导带刻在介质板上, 由于要经过周期性的孔, 孔中是空气, 对于导带的支撑性能不好, 若是想在上面再刻上一层薄薄的介质<sup>[1]</sup>, 对于加工工艺要求较高。本文所提出的 PBG 结构带阻滤波器采用双层介质板来实现如

图 1 所示, 下层用来提供周期性结构, 上层用来提供微带电路。上层板的介电常数要远远小于下层介质板, 且越接近空气越好, 厚度越小越好。

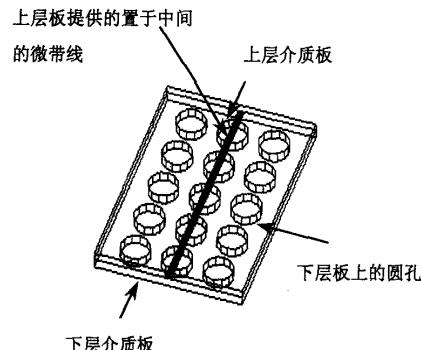


图 1 衬底打孔双层 PBG 带阻滤波器示意图

对于一般的 PBG 结构, 阻带中心频率为  $f = \frac{0.5c}{D\sqrt{\xi_e}}$  Hz<sup>[4]</sup>,  $\xi_e$  为打孔介质板等效介电常数, 与空气与介质的比例和介质板的等效介电常数  $\epsilon_e$  有关。一般 5 到 7 个周期就能实现较好的阻带特性。D 是周期即纵向两相邻周期结构的中心距离, 周期 D 与其介质中的波长之比为 0.5。另一个重要参数是导带宽度, 为了便于测试, 微带线的特性阻抗取 50 欧, 导带宽度由下

面的公式求出：

当  $W/h < 1$  时：

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_e}} \ln\left(\frac{8h}{W} + \frac{W}{4h}\right) \quad (1)$$

当  $W/h \geq 1$  时：

$$Z_0 = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_e[1.393 + W/h + 0.677 \ln(W/h + 1.444)]}} \quad (2)$$

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12h/W}} \quad (3)$$

选定下层介质板厚度  $h$  为 2mm,介电常数 10.2, 上层介质板厚度  $h$  为 1.6mm, 介电常数 2.65, 孔的直径 10mm, 有五个周期, 整个板的尺寸为 50mm×74mm, 采用 5 个周期。设定工作频率为 6GHz, 在双层结构中, 上层板主要提供微带电路, 其介电常数取得较低, 近似采用上面提到的频率公式来计算周期, 所得值要通过仿真进行修正, 本文取周期  $D$  为 14mm。在求解导带宽度时利用(1)(2)(3)计算,  $\epsilon_e$  就取下层介质板等效介电常数, 求出导带宽度值为 1.88mm。由于存在上层介质板和空气填充的周期结构, 对所求的导带宽度要进行修正。具有周期结构的介质板的等效介电常数小于普通介质板的等效介电常数, 修正时将宽度增大。通过多次仿真该值修正为 2mm, 在整个频带范围内特性阻抗基本为 50 欧, 符合设计要求。

## 1.2 理论仿真

以 1.1 中所给的参数, 对本文提出的双层结构利用 HFSS 仿真, 得到它的散射参数曲线见图 2a 和图 2b。

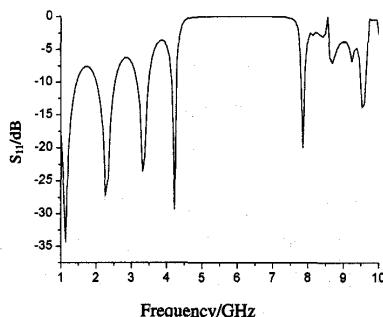


图 2a 双层结构  $S_{11}$  参数仿真曲线

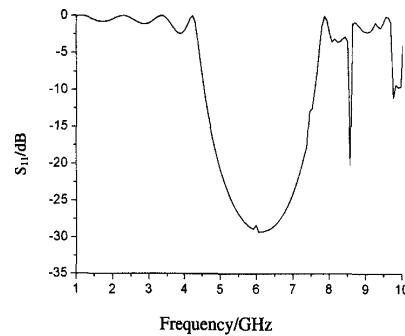


图 2b 双层结构  $S_{21}$  参数仿真曲线

从图 2a 和图 2b 可以看出采用双层基于衬底打孔的 PBG 结构带阻滤波器其阻带中心频率约为 6GHz, 阻带零点深度值约为-28dB, 带外衰减约为 3dB, 同时表现出了周期的阻带特性。理论仿真说明了这种双层 PBG 结构具有较好的阻带特性。

## 1.3 加工与测试

按照仿真时设定的参数进行加工, 上层板只保留了中间提供微带电路的那部分金属, 在实际加工时考虑导带置于中间, 为了导带与接头的焊接, 下层板尺寸大一些, 其接地要好。采用 JSMA-KFD10 的 50 欧接头, 外部壳体的高度为 15mm, 为了减少端口处波反射对于测量的影响, 在内部加上了少量的吸波材料, 利用 HP 的网络分析仪 8722ES 测量其网络参量并与仿真结果对比:

从图中可以看出, 测量结果与仿真曲线基本符合, 仿真的中心频率为 6GHz, 实测的中心频率为 6.5GHz, 发生了频率偏移, 后面的分析中将会看出中心频率对孔径尺寸较敏感, 加工的误差会引起频率的偏移。从图 3b 的实测曲线(曲线 1)可以看出存在周期性的带阻特性。实测的零点深度比仿真值要更好, 约为 34dB, 带外衰减约为 3dB, 能满足要求。频率较高时, 实测与仿真结果差别较大, 随着频率增大, 端口和介质的损耗都会增大, 信号衰减大。另外此处采用加大下层板并保留一段导带的方法来保证接头与微带焊接, 当频率较高时, 介质衰减增大, 反射损耗相应变大。若采用带状线器件接头焊接方法, 应该会有所改善。实测结果证明了本文提出的将导带置于中间的基于衬底打孔的双层 PBG 结构带阻滤波器具有较好的阻带特性, 它所采用的双层结构为其他衬底打孔

PBG 结构器件的实际应用提供了一种实现方法。我们在实际应用时，上层板的厚度要尽可能小，介电常数越接近 1 越好。

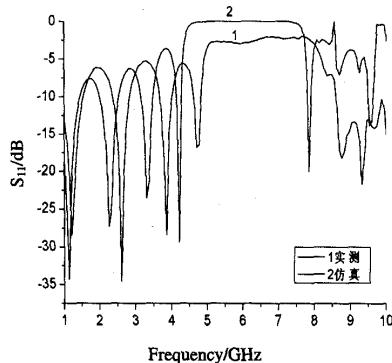


图 3a  $S_{11}$  参数实测和仿真曲线图

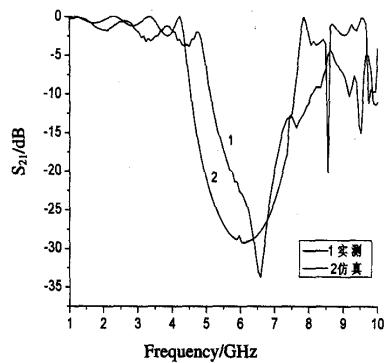


图 3b  $S_{21}$  参数实测和仿真曲线图

## 2. 参数变化对于阻带性能影响的分析

### 2.1 几何尺寸变化对于阻带性能的影响

从  $f = \frac{0.5c}{D\sqrt{\epsilon_r}}$  可知光子晶体的结构的阻带频率与周期长度值成反比，在这里就不做分析了。光子晶体结构中周期数的多少对阻带频率特性同样有影响。图 4 给出了孔径为 8mm， $D$  为 14mm，周期数分别为 4, 5, 6 时  $S_{21}$  参数的仿真曲线图。

从图中可以看出，在其它参数不变时，周期数增加，阻带中心频率的零点深度加深。每增加一个周期，零点深度下降约为 5dB，周期数的增加阻带中心频率略有偏移，这是因为周期数不同，介质与空气比值不同导致下层板的等效介电常数不同，使得  $f$  有偏移。

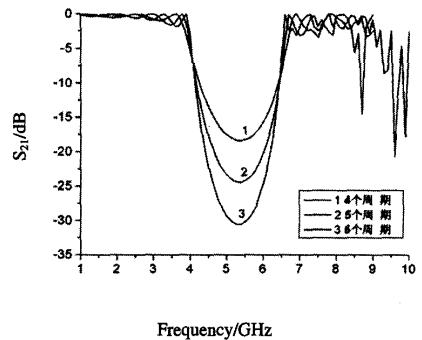


图 4 不同周期数  $S_{21}$  参数仿真曲线

比较图 2b 和图 4 的曲线 2，图 4 仿真时选用的孔直径为 8mm，图 2b 采用的孔直径为 10mm，其他参数相同，孔直径为 8mm 时的中心频率为 5.2GHz，零点深度为 24.8dB，与孔直径为 10mm 相比，中心频率值变小，零点深度减小，这表明中心频率对于孔径的大小较为敏感，在加工时要保证一定的精度。

### 2.2 介电常数的变化对于阻带性能的影响

当下层板的介电常数改变时，中心频率的位置会有变化，从频率的公式中可知中心频率与其等效介电常数有关，图 5 是当下层介电常数分别取 10.2, 5 时的频率特性，此图表明随着介电常数的增加，阻带中心频率发生了移动，下层板介电常数越大中心频率越小，反之亦然。

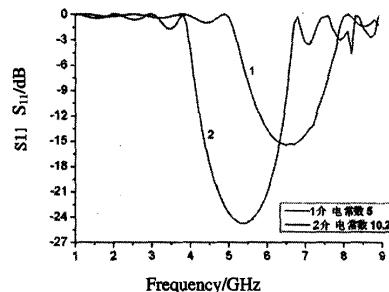


图 5 下层介电常数取 10.2 和 5 时  $S_{21}$  仿真曲线

上层板介电常数的改变对于特性阻抗没有影响，但是该介电常数的改变也会影响到该带阻器件的频率特性。通过仿真可知当介电常数增大时，阻带频率的零点深度逐渐减小，上层板介电常数越接近空气越好。

从上面的讨论可以看出，对于本文中所提

到的光子晶体带阻滤波器来说，最重要的参数是周期数和介质板的介电常数，同时它对于周期结构的尺寸较敏感，我们在实际利用时要根据要求选择合适的周期和介电常数，来达所需要的带阻特性。

### 三、应用前景

本文从理论和实际测量上表明基于衬底打孔结构的双层 PBG 带阻滤波器具有良好的阻带特性，它采用了分离周期结构和微带电路的双层板设计方法，使电路的加工和修改简单，而且节省了成本，我们可以将这种结构用于其他光子晶体结构器件中，例如多层的微带天线阵，在实际应用时微带线的加工变得简单易行，对于 PBG 结构器件的应用有一定实际意义。

### 参考文献

- [1] I.Rumsey, M.P. May, and P.K. Kelly. Photonic Bandgap Structures Used as Filters in Microstrip Circuits[J].IEEE Microwave and Guided Wave Letters vol.8.No.10. Oct.1998:336-338
- [2] 王忠和,张光寅.光子学物理基础[M].北京：国防工业出版社
- [3] 李小卫,程知群,孙晓玮.一种新型一维微带光子带隙滤波器[J].微波学报, 2003, Vol.19 No.2:61-64
- [4] Wo-Shiun Sun, Guan-Yu Chen. Simple PBG Structures Serve Microwave Designs [J]. Microwaves & RF, Vol.42, No.11, Nov. 2003: 51-57

## 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/>