

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101499552 B

(45) 授权公告日 2013. 01. 02

(21) 申请号 200810018945. 0

US 6714344 B2, 2004. 03. 30,

(22) 申请日 2008. 02. 01

Wenquan Che 等. Analysis and

(73) 专利权人 南京理工大学

Experiments of Compact Folded Substrate Integrated Waveguide. 《IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES》. 2008, 第 56 卷 (第 1 期),

地址 210094 江苏省南京市孝陵卫 200 号

(72) 发明人 车文荃 李翠霞 周雍 王超

汪磊 李超

审查员 唐和香

(74) 专利代理机构 南京理工大学专利中心

32203

代理人 朱显国

(51) Int. Cl.

H01P 3/123 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1629663 A, 2005. 06. 22,

CN 1825677 A, 2006. 08. 30,

CN 2789948 Y, 2006. 06. 21,

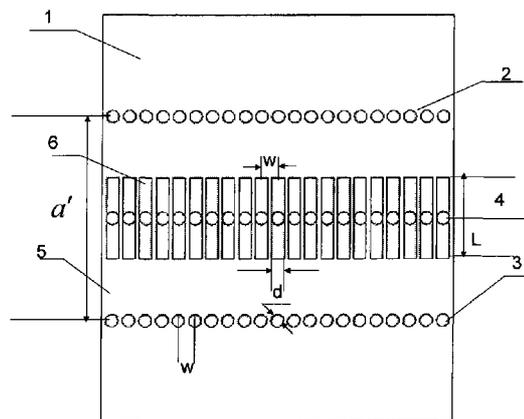
权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 2 页

(54) 发明名称

宽带衬底集成脊波导及其分析方法

(57) 摘要

本发明公开了一种宽带衬底集成脊波导及其分析方法。本发明包括介质基板,在该介质基板上设置两排金属柱,形成衬底集成波导,所述的两排金属柱中间位置处设置一排中间脊金属柱,该中间脊金属柱垂直嵌入介质基板,该中间脊金属柱的上表面与介质基板的上表面重合,而该中间脊金属柱的下底面位于介质基板的内部,与介质基板的下底面有一间隙 g 。本发明降低主模的截止频率,提高波导的带宽;该结构的简易理论分析方法,具有较高的精度;在悬浮金属柱的下端加入一排等间距的金属带,从而引入新的电容,带宽得到了进一步的提高;体积小、重量轻、损耗小、易于和其他的平面微波毫米波电路集成的显著优点,主模工作带宽大大提高,极大地拓宽了应用范围。



1. 一种宽带衬底集成脊波导,包括介质基板 [1],在该介质基板 [1] 上设置两排金属柱 [2,3],形成衬底集成波导 [5],其特征在于:所述的两排金属柱 [2,3] 中间位置处设置一排中间脊金属柱 [4],该中间脊金属柱 [4] 垂直嵌入介质基板 [1],该中间脊金属柱的上表面与介质基板 [1] 的上表面重合,而该中间脊金属柱 [4] 的下底面位于介质基板 [1] 的内部,与介质基板 [1] 的下底面有一间隙 g 。

2. 根据权利要求 1 所述的宽带衬底集成脊波导,其特征在于在中间脊金属柱 [4] 的下底面加入一排金属条 [6],各金属条之间等间距。

3. 根据权利要求 2 所述的宽带衬底集成脊波导,其特征在于金属条 [6] 为长方形,每个金属条的中心与其上的中间脊金属柱中心重合,每个金属条的宽度与中间脊金属柱 [4] 的直径相等,长度 L 为 $1\text{mm} \sim 6\text{mm}$ 。

4. 根据权利要求 1 所述的宽带衬底集成脊波导,其特征在于介质基板 [1] 的总厚度为 h 为 $0.254\text{mm} \sim 3\text{mm}$,介电常数为 $2.2 \sim 10.2$ 。

5. 根据权利要求 1 所述的宽带衬底集成脊波导,其特征在于两排金属柱 [2,3] 的高度为介质基片 [1] 的总厚度 h 为 $0.254\text{mm} \sim 3\text{mm}$,金属柱直径 d 为 $0.4\text{mm} \sim 0.8\text{mm}$,相邻两排金属柱中的金属柱间距 W 为 $0.8\text{mm} \sim 1.6\text{mm}$,两排金属柱 [2,3] 之间的距离 a' 为 $10 \sim 15\text{mm}$ 。

6. 根据权利要求 1 或 2 所述的宽带衬底集成脊波导,其特征在于中间脊金属柱 [4] 直径 d 为 $0.4\text{mm} \sim 0.8\text{mm}$,相邻两排金属柱中的金属柱间距 W 为 $0.8\text{mm} \sim 1.6\text{mm}$,高度为介质基板 [1] 总厚度的 $0.1 \sim 0.9$ 倍。

7. 一种分析权利要求 1 至 5 中任意一项所述的宽带衬底集成脊波导的方法,包括以下步骤:

(1) 选定介质基板 [1] 的特性参数,包括介电常数和衬底厚度;

(2) 根据工程要求,确定金属柱 [2,3] 的直径 d 以及相邻两排金属柱中的金属柱的间距 W , $W < 2d$;

(3) 根据工作频段,确定衬底集成波导的宽度即金属柱 [2,3] 之间的距离 a' ;

(4) 选取中间脊金属柱 [4] 的直径和相邻两排金属柱中的金属柱之间的间距与金属柱 [2,3] 的尺寸相同,或者选取不同,中间脊金属柱 [4] 的高度依次选取为介质基板 [1] 总厚度的 $0.1 \sim 0.9$ 倍;

(5) 根据宽带衬底集成脊波导的等效结构的二维传输线等效电路:金属柱 [2,3] 和中间脊金属柱 [4] 都等效为实体金属壁,而两侧壁的金属柱相当于短路,中间脊金属柱 [4] 与波导底面之间存在的脊电感和脊电容,由横向谐振条件和传输线的相关理论,得到宽带衬底集成脊波导的等效模型的传播常数的分析方法,而当纵向传播常数为 0 时的频率即为主模的截止频率;

(6) 由等效结构还原到宽带衬底集成脊波导的原结构,中间脊电容/感的获得方法:由于中间脊金属柱 [4] 与波导底面的边缘效应以及各金属柱之间的互耦作用比较复杂,采用修正因子来描述这些不确定因素,即把问题简化为先求出一个金属柱产生的脊电容/感,再乘以单位长度金属柱的个数,通过调节修正因子即可得到总的脊电容/感,将结果带入第 (5) 步得到的传播常数和主模截止频率中即可得到宽带衬底集成脊波导结构的传播常数和主模截止频率;

(7) 第一高次模的截止频率的获得方法,由于第一高次模的场分布关于中间脊金属柱

[4] 对称,将其分解为两个相同的衬底集成波导,该衬底集成波导的宽度是原来衬底集成脊波导宽度的一半,再将新的衬底集成波导等效为常规波导,得到其主模截止频率即衬底集成脊波导的第一高次模截止频率,而第一高次模场在宽度的中心处为电压零点,所以脊的加入对第一高次模式的截止频率没有影响;

(8) 衬底集成脊波导的带宽即主模工作带宽定义为第一高次模和主模截止频率之间的差值,由第(6)(7)步得到的两种模式的截止频率获得带宽的增加量,为了进一步提高带宽,在脊柱的下端加入等间距周期性排列的金属带[6],即引入新的电容,进一步降低主模的截止频率,从而形成宽带衬底集成脊波导。

宽带衬底集成脊波导及其分析方法

技术领域

[0001] 本发明属于微波毫米波混合集成电路和毫米波集成电路中的新型传输线,特别是一种宽带衬底集成脊波导及其分析方法。

背景技术

[0002] 传统的矩形波导为传输电磁能量的导波装置,可以减小传输损耗,并防止电磁波向外辐射,使被引导的电磁波完全限制在金属导管,承受的功率容量大, Q 值高、易于加工,但矩形波导体积大,其三维结构难以与平面电路相集成。而现代技术的发展对小型化、集成化均有相当高的要求。而微带线作为被应用最多的一种平面型传输线,体积小,重量轻,易于与其它无源微波电路和有源微波电路集成,但功率容量小, Q 值低,因而在某些方面的应用受到一定的限制。

[0003] 基于以上的背景,近年来,有学者提出一种新型的类似于传统矩形波导特性的结构-衬底集成矩形波导(SIW)(如文献1,“Integrated microstrip and rectangular waveguide in planar form”, IEEE Microwave and Wireless Comp. Lett., Vol. 11, No. 2, 2001, pp. 68-70; 文献2,“Dispersion Characteristics of Substrate Integrated Rectangular Waveguide”, IEEE Microwave And Wireless Components Letters, vol. 12, no. 9, Sep. 2002, pp. 333-335.),即通过加工在介质衬底上的两排金属柱,把矩形波导制作到介质基片上。它融合了传统矩形波导和微带线的双重优点,无辐射、功率容量大、低损耗和易集成。目前,已经有一些微波毫米波的无源或者有源器件被设计在这种新型传输线上,理论和实验均表明这些器件具有非常突出的特点,兼具矩形波导器件和微带器件的双重优点,因而在微波毫米波混合集成电路以及毫米波集成电路(MMIC)中得到了很大的应用(文献3,“Substrate Integrated Waveguide Leaky-Wave Antenna: Concept and Design Considerations”, APMC2005 Proceedings, Suzhou, China, Dec. 4-7, 2005, Vol. 1, pp346-349; 文献4,“Substrate Integrated Waveguide(SIW) Linear Phase Filter”, IEEE Microwave And Wireless Components Letters, vol. 15, no. 11, Sep. 2005, pp. 787-789;)。在上述文献中,都比较详细地介绍了用衬底集成波导这种新技术来设计新型的微波毫米波有源和无源器件。

[0004] 但目前的衬底集成波导在实际应用时,尤其在宽带微波毫米波系统中,带宽仍然较窄,不能满足工程应用的要求,因而其使用受到一定的限制。迄今为止,尚无人对衬底集成波导的带宽展宽技术进行研究。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种宽带衬底集成脊波导及其分析方法,即设计出一种体积小、重量轻、易于和其他的平面微波毫米波电路集成且工作频带宽的衬底集成脊波导,并且获得了其传播常数和截止频率的理论分析方法。

[0006] 实现本发明目的的技术方案为:一种宽带衬底集成脊波导,包括介质基板,在该介

质基板上设置两排金属柱,形成衬底集成波导,所述的两排金属柱中间位置处设置一排中间脊金属柱,该中间脊金属柱垂直嵌入介质基板,该中间脊金属柱的上表面与介质基板的上表面重合,而该中间脊金属柱的下底面位于介质基板的内部,与介质基板的下底面有一间隙 g 。

[0007] 本发明宽带衬底集成脊波导中,在中间脊金属柱的下底面加入一排金属条,各金属条之间等间距。

[0008] 一种分析上述的宽带衬底集成脊波导的方法,包括以下步骤:

[0009] (1) 选定介质基板的特性参数,包括介电常数和衬底厚度;

[0010] (2) 根据工程要求,确定金属柱的直径 d 以及相邻金属柱的间距 W , $W < 2d$;

[0011] (3) 根据工作频段,确定衬底集成波导的宽度即金属柱之间的距离 a' ;

[0012] (4) 选取中间脊金属柱的直径和相邻金属柱之间的间距与金属柱的尺寸相同,也可选取不同,中间脊金属柱的高度依次选取为介质基板总厚度的 $0.1 \sim 0.9$ 倍;

[0013] (5) 根据宽带衬底集成脊波导的等效结构的二维传输线等效电路:金属柱和中间脊金属柱都等效为实体金属壁,而两侧壁相当于短路,中间脊金属柱与波导底面之间存在的脊电感和脊电容,由横向谐振条件和传输线的相关理论,得到宽带衬底集成脊波导的等效模型的传播常数的分析方法,而当纵向传播常数为 0 时的频率即为主模的截止频率;

[0014] (6) 由等效结构还原到宽带衬底集成脊波导的原结构,中间脊电容/感的获得方法:由于中间脊金属柱与波导底面的边缘效应以及各金属柱之间的互耦作用比较复杂,采用修正因子来描述这些不确定因素,即把问题简化为先求出一个金属柱产生的脊电容/感,再乘以单位长度金属柱的个数,通过调节修正因子即可得到总的脊电容/感,将结果带入第 (5) 步得到的传播常数和主模截止频率中即可得到宽带衬底集成脊波导结构的传播常数和主模截止频率;

[0015] (7) 第一高次模的截止频率的获得方法,由于第一高次模的场分布关于中间脊金属柱对称,将其分解为两个相同的衬底集成波导,该衬底集成波导的宽度是原来衬底集成脊波导宽度的一半,再将新的衬底集成波导等效为常规波导,得到其主模截止频率即衬底集成脊波导的第一高次模截止频率,而第一高次模场在宽度的中心处为电压零点,所以脊的加入对第一高次模式的截止频率没有影响;

[0016] (8) 衬底集成脊波导的带宽即主模工作带宽定义为第一高次模和主模截止频率之间的差值,由第 (6) (7) 步得到的两种模式的截止频率获得带宽的增加量,为了进一步提高带宽,在脊柱的下端加入等间距周期性排列的金属带,即引入新的电容,进一步降低主模的截止频率,从而形成宽带衬底集成脊波导。

[0017] 与现有技术相比,本发明具有如下显著优点:(1) 在两排金属柱中间位置处设置的一排的中间脊金属柱,形成脊电容,使得主模截止频率降低,而对第一高次模影响不大,衬底集成脊波导的带宽即主模工作带宽定义为第一高次模和主模截止频率之间的差值。研究表明,脊越大,主模截止频率越低,即带宽增加越大。所以与衬底集成波导相比,衬底集成脊波导的带宽可以提高 37%,而加金属带后增大了脊电容,且所加金属带的长度在适当的范围内,长度越大,主模截止频率越低,即带宽增加越大,进一步使带宽提高约 50%,主模工作带宽大大提高,极大地拓宽了应用范围。(2) 结果表明提出的理论分析方法精度较高,误差小于 3%。(2) 把常规的脊波导设计到介质基片上,从而融合了传统的矩形波导,脊波

导和微带线的优点,体积和重量均大大减小,仅为传统矩形波导的十分之一,并具有较高的Q值;(3)采用双层或多层介质板,不仅减小电路尺寸,使体积小、重量轻、损耗小;结构更为紧凑,具有较高的集成度,而且电路的设计更加灵活,易于和其他的平面微波毫米波电路集成。

[0018] 下面结合附图对本发明作进一步详细说明。

附图说明

[0019] 图1是本发明宽带衬底集成脊波导的俯视结构示意图。

[0020] 图2是本发明宽带衬底集成脊波导的侧视结构示意图。

[0021] 图3是本发明宽带衬底集成脊波导的带宽拓展方案结构俯视图。

[0022] 图4是本发明宽带衬底集成脊波导的带宽拓展方案结构侧视图。

[0023] 图5是本发明宽带衬底集成脊波导的二维传输线等效电路图。

具体实施方式

[0024] 结合图1,本发明宽带衬底集成脊波导,包括介质基板1,在该介质基板1上设置两排金属柱2、3,形成衬底集成波导5,所述的两排金属柱2、3中间位置处设置一排中间脊金属柱4,该中间脊金属柱4垂直嵌入介质基板1,该中间脊金属柱的上表面与介质基板1的上表面重合,而该中间脊金属柱4的下底面位于介质基板1的内部,与介质基板1的下底面有一间隙g。

[0025] 本发明的宽带衬底集成脊波导,介质基板1由十层厚度为0.254mm,介电常数为2.2~10.2的介质构成,在介质基板1上设置两排周期性排列的金属柱2、3,形成衬底集成波导,再在这两排金属柱的中间位置处设置一排平行于金属柱2、3的中间脊金属柱4,形成金属脊,介质基板1,金属柱2、3、4共同构成衬底集成脊波导。其中,介质基板1的总厚度h为0.254mm~3mm,介电常数为2.2~10.2,而两排金属柱2、3之间的间距为 $a' = 15\text{mm}$,中间脊金属柱4与金属柱2、3之间的间距均为7.5mm,金属柱2、3以及中间脊金属柱4的直径d为0.4mm~0.8mm,相邻两金属柱之间的间距W为0.8mm~1.6mm,金属柱2、3的高度为介质基板1的总厚度0.254mm~3mm,中间脊金属柱4的高度为介质基板1总厚度的0.1~0.9倍,如图1、图2。

[0026] 结合图3,图4,为了进一步拓宽衬底集成脊波导的带宽,在中间脊金属柱4的下底面加一排等间距的长方形金属带6,每个金属带的中心与其上的金属柱的中心重合,宽度为金属柱的直径0.4mm~0.8mm,长度为L为1mm~6mm。

[0027] 结合图1和图2,本发明宽带衬底集成脊波导的分析方法,是在衬底集成波导的中心处设置一排周期性排列的非全高金属柱而形成的。即设计一种宽带衬底集成脊波导,将一排周期性排列的非全高金属柱加在衬底集成波导的中心线上。进一步拓展带宽技术方案,就是在中间脊金属柱的下底面加一排周期性排列的金属条,引入新的电容,进一步降低主模的截止频率,从而进一步展宽带宽。金属条的中心与脊金属柱中心重合,宽度为脊金属柱直径,长度为一适当渐变量。

[0028] (1) 选定介质基板1的特性参数,包括介电常数和衬底厚度,即整个介质基板1的尺寸为40mm*20mm*2.54mm,介质基板1的介电常数为2.33。

[0029] (2) 根据工程要求,确定金属柱 2、3 的直径 d 以及相邻金属柱的间距 W , $W < 2d$ 。即在该介质基板 1 上设置两排对称的金属柱 2、3,该两排金属柱 2、3 的直径 d 为 0.6mm,相邻金属柱之间的间距 W 为 0.8mm,高度 h 为 2.54mm。

[0030] (3) 根据工作频段,确定衬底集成波导的宽度即金属柱 2、3 之间的距离 a' ,即工作频段为 X 波段,两排金属柱 2、3 之间的间距 a' 为 15mm。

[0031] (4) 选取中间脊金属柱 4 的直径和相邻金属柱之间的间距与金属柱 2、3] 尺寸相同,也可选取不同,中间脊金属柱 4 的高度依次选取为介质基板 1 总厚度的 0.1 ~ 0.9 倍,即在该两排金属柱 2、3 的中间位置处设置一排中间脊金属柱 4,该中间脊金属柱的直径 d 为 0.6mm,相邻金属柱之间的间距 W 为 0.8mm。中间脊金属柱 4 的高度为介质基板 1 总厚度的一半,即 1.27mm。

[0032] (5) 根据等效结构的二维传输线等效电路:金属柱 2、3 和中间脊金属柱 4 都等效为实体金属壁。而两侧壁相当于短路,中间脊金属柱 4 与波导底面之间存在的脊电感和脊电容,由横向谐振条件和传输线的相关理论,得到本发明的等效模型的传播常数的分析方法,而当纵向传播常数为 0 时的频率即为主模的截止频率。本发明结构的二维传输线等效电路图如图 5。

[0033] 金属柱 2、3 和中间脊金属柱 4 都可以等效为实体金属壁。而两侧壁相当于短路, g 表示中间脊金属柱与波导底面之间的间隙, L, C 分别表示间隙形成的脊电感和脊电容。

[0034] 纵向传输模式截止的状态即为横向谐振的状态,根据横向谐振条件 ($x = 0$ 处总电抗为 0),可得

$$[0035] \quad \frac{1}{\frac{1}{j\omega C} + j\omega L} - 2jY_0 \cot(\beta_x a/2) = 0 \quad (1)$$

[0036] β_x 为横向传播常数, a 为衬底集成脊波导的等效结构宽度,

$$[0037] \quad a' = \frac{2a}{\pi} \cot^{-1} \left(\frac{\pi W}{4a} \ln \frac{W}{4R} \right) \quad (2)$$

[0038] a' 为衬底集成脊波导的宽度, R, W 分别为金属柱 2、3 的半径和相邻金属柱间距。

[0039] $\omega = 2\pi f$ 为传输的微波信号的角频率 (f 取 5 ~ 10GHz), L, C 分别为脊电容和脊电感。 Y_0 为特性导纳。

$$[0040] \quad \text{纵向传播常数 } \beta \text{ 为 } \beta = \sqrt{k_\epsilon^2 - \beta_x^2}, \quad (3)$$

$$[0041] \quad \text{其中 } k_\epsilon^2 = \omega^2 \mu \epsilon$$

[0042] 由以上分析即可得到本发明等效结构的纵向传播常数和工作频率的关系。

$$[0043] \quad \beta = \sqrt{\omega^2 \mu \epsilon - \left\{ \frac{2}{a} \cot^{-1} \left[\frac{\omega C}{2Y_0} \left(\frac{1}{1 - \omega^2 LC} \right) \right] \right\}^2} \quad (4)$$

[0044] 当纵向传播常数为 0 时,所对应的频率即为主模的截止频率。

$$[0045] \quad \omega_c \sqrt{\mu \epsilon} = \frac{2}{a} \cot^{-1} \left(\frac{1}{2Y_0} \frac{\omega_c C}{1 - \omega_c^2 LC} \right) \quad (5)$$

[0046] (6) 由等效结构还原到本发明的原结构

[0047] 中间脊电容 (感) 的获得方法:由于中间脊金属柱 4 与波导底面的边缘效应以及各金属柱之间互耦作用比较复杂,采用修正因子来描述这些不确定因素。这样把问题简化

为先得到一个金属柱产生的脊电容（感），再乘以单位长度金属柱的个数，通过调节修正因子即可得到总的脊电容（感）。

$$[0048] \quad C_0 = \left(\left(\frac{\varepsilon A}{g} \right)^p + \left(\frac{2\pi\varepsilon k(h-g)}{\ln[\kappa(h-g)/R]} \right)^p \right)^{1/p} \quad C = n \cdot C_0 \quad (6)$$

$$[0049] \quad L_0 = \frac{\mu_0 d}{2\pi} \ln\left(\frac{d}{R} m\right) \quad L = L_0 / n \quad (7)$$

[0050] 将式 (6) (7) 带入等效结构的传播常数和主模截止频率结论 (4) (5) 中即可得到本发明结构的传播常数和主模截止频率。

[0051] $g = 1.27\text{mm}$ 时的结果表明：传播常数计算结果 (124rad/m) 与仿真结果 (128rad/m) 最大误差为 2.87%；主模截止频率计算结果 (6.00GHz) 与仿真结果 (6.06GHz) 误差为 1%。表明该计算公式具有较高的精度，可以满足工程设计的需要。

[0052] (7) 第一高次模截止频率的获得方法：本发明宽带衬底集成脊波导的第一高次模场分布关于中间脊金属柱 4 对称，因此将其分解为 2 个宽度为 7.5mm (= 15mm/2) 的衬底集成波导，再由其等效的常规波导可知其主模截止频率即本发明的第一高次模截止频率为 13.39GHz，这一结果与仿真结果的最大误差为 4.6%，本例中误差为 4%。而第一高次模场在宽度的中心处为电压零点，所以脊的加入对第一高次模式的截止频率没有影响。

[0053] (8) 衬底集成脊波导的带宽即主模工作带宽定义为第一高次模和主模截止频率之间的差值。由以上得到的两种模式的截止频率可获得带宽的增加量，本例带宽提高了 12%。为了进一步提高带宽，结合图 3, 4, 在脊柱的下端加入等间距周期性排列的金属带 6, 引入新的电容，进一步降低主模的截止频率，从而形成宽带衬底集成脊波导。本例所加金属带 6 的长度为 6mm, 宽度为 0.6mm, 与衬底集成波导相比，带宽提高了 50%。

[0054] 本发明是一种对称的波导结构，两边均可以作为输入或输出端口。

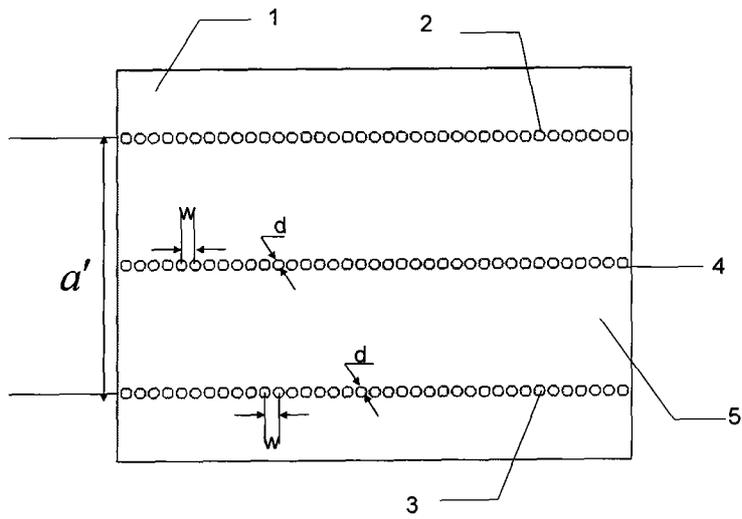


图 1

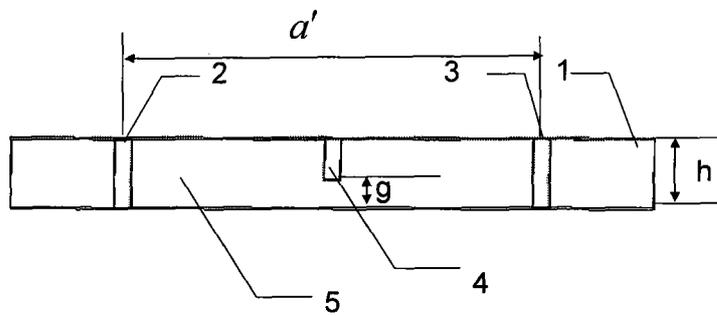


图 2

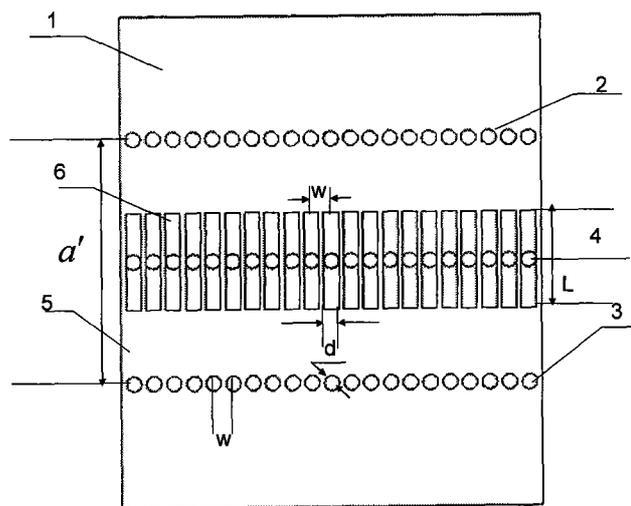


图 3

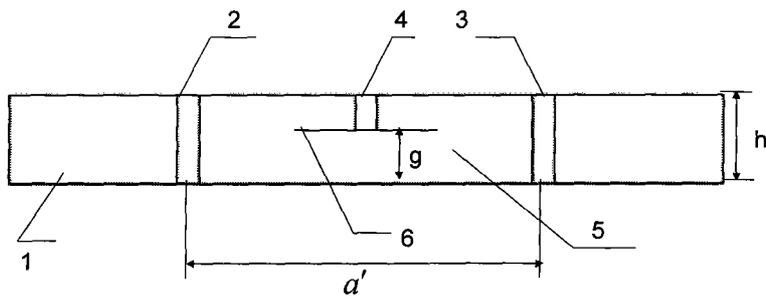


图 4

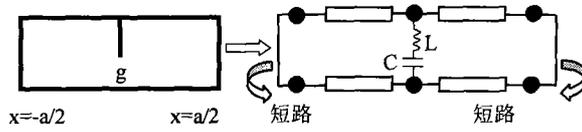


图 5