



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103985941 B

(45)授权公告日 2017.06.20

(21)申请号 201310063113.1

(22)申请日 2013.02.07

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 103985941 A

(43)申请公布日 2014.08.13

(73)专利权人 中国计量学院

地址 310018 浙江省杭州市下沙高教园区  
学源街258号

(72)发明人 肖丙刚 孙润亮 谢治毅 章东平

(51)Int.Cl.

H01P 1/375(2006.01)

(56)对比文件

JP H1020250 A,1998.01.23,

US 6091866 A,2000.07.18,

CN 101089667 A,2007.12.19,

Dimitrios L. Sounas and Christophe Caloz.Gyrotropy and Nonreciprocity of Graphene for Microwave Applications.《IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES》.2012,第60卷(第4期),第910-911页,附图12.

P. E. LJUNG.Proceedings of the IEE-Part B:Radio and Electronic Engineering.《Proceedings of the IEE-Part B:Radio and Electronic Engineering》.1957,第104卷(第6期),第362-363页,附图1.

审查员 龙平

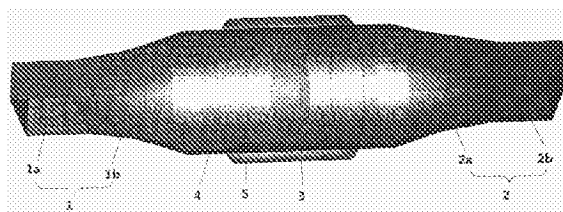
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54)发明名称

基于石墨烯的磁可调法拉第式隔离器

(57)摘要

本发明涉及一种基于石墨烯的磁可调法拉第式隔离器,其结构包括输入、输出部分,运用在微波频段的圆波导,在圆波导内垂直于微波信号传播方向的多层石墨烯模块,在圆波导外部套置的一个提供磁场偏置的螺线管模块所构成。多层石墨烯模块是由内部平行排列的多片单层石墨烯片所构成的,螺线管模块可以通过控制电流的大小来控制外加偏置静磁场的强弱。本发明隔离器的隔离度在工作频段内小于-30dB,因此具有良好的隔离特性。并可以通过改变通入螺线管电流方向来改变隔离方向。本发明结构简单紧凑、体积较小、易于集成,控制简单,使用方便的法拉第式隔离器。



1. 基于石墨烯的磁可调法拉第式隔离器,其特征在于,包括:输入部分(1),由第一矩形波导(1a)和第一矩形-圆波导转换器(1b)构成;输出部分(2)由第二矩形波导(2a)和第二矩形-圆波导转换器(2b)构成;多层石墨烯模块(3);圆波导(4);螺线管(5);输入部分(1)和输出部分(2)之间有45度的夹角;多层石墨烯模块(3)与圆波导(4)内微波信号传播方向相垂直;第一矩形波导(1a)和第二矩形波导(2a)的长边长109.22mm,短边长54.61mm,厚度为4mm,第一矩形-圆波导转换器(1b)和第二矩形-圆波导转换器(2b)的长度设置为100mm;多层石墨烯模块(3)由14片单层石墨烯片所构成,其中每两片间隔3mm平行放置,放置顺序如下:圆波导(4)的内直径为114.58mm,厚度和第一矩形波导(1a)相当;以圆波导(4)中心为起点,向左1.5mm处放置1片,向右1.5mm处也放置一片,这样再向左向右依次放置6片,每两片间间距为3mm。

## 基于石墨烯的磁可调法拉第式隔离器

### 技术领域

[0001] 本发明属于微波技术领域使用的法拉第式隔离器,特别涉及新材料石墨烯。

### 背景技术

[0002] 在微波系统中,隔离器又可以被称为单向器,顾名思义电磁波在该种器件中传播只能向一个方向传播,在正向传播时其衰减较小,在隔离器的反向传输时衰减较大,利用隔离器可以实现信号的单向传输。法拉第式隔离器是指利用一些特殊材料的法拉第旋转效应,来制作隔离器,传统技术中一般采用电磁波在纵向磁化的铁氧体棒中传播时极化面产生旋转制成的隔离器。对于有些对返回波极敏感的传输系统,比如雷达设备级间隔离和某些双工系统等,隔离器都是必不可少的器件。法拉第式隔离器的核心部件就是能使电磁波产生角度偏转的材料,因此其材料的选择会直接影响到整个系统的工作性能。

[0003] 现今微波频段内使用的法拉第式隔离器一般以铁氧体等传统材料为基础制作,利用铁氧体材料在直流磁场和微波场共同作用下呈现出的旋磁效应来制作隔离器。传统的基于铁氧体的旋转器需要在圆波导内加载铁氧体棒和四分之一波长板,且需要一个可以产生隔离效果的部件所构成。其结构相对比较复杂,体积也相应较大,制作工艺较为繁琐,工作频带窄,且功率容量低,多用于毫米波段内。

[0004] 石墨烯是由一层密集的、包裹在蜂巢晶体点阵上的碳原子组成,具有二维蜂窝状晶格结构,是目前发现的唯一存在的二维自由态原子晶体。石墨烯的研究最早始于20世纪70年代,2004年Geim和Novoselov等以石墨为原料,通过微机械力剥离法从高定向石墨上的成功剥离石墨烯,其厚度仅为一层碳原子厚(0.35nm),是世界上最薄的二维材料,并具有出众的物理电子特性,如:优良的导热性能、优异的导电性和高载流子迁移率等,并且是目前已知材料中强度最高的材料。随着电子器件的高度集成化和微观尺度化,电子的输运行为不再具有宏观统计属性,量子效应开始显现,载流子的波动和量子相变相应将占据主导地位,因此传统微电子器件将面临大的挑战。石墨烯优异的电磁特性满足了该发展的要求,在微波器件领域有广泛的应用前景。近年来随着石墨烯制作水平的提高,较大尺度的石墨烯薄片已经被成功制作出来,使得石墨烯在微波频段的应用成为可能,基于石墨烯的微波器件研究成为国际上的研究热点之一。

[0005] 石墨烯在磁场偏置的情况下,其电导率是各向异性,在微波信号入射时,会产生法拉第旋转效应,即透射波相对于入射波偏振方向将会发生一定角度的旋转。综合以上特性,使得石墨烯成为制造法拉第式隔离器的理想材料。基于石墨烯材料的法拉第式隔离器具有结构简单紧凑、体积相对较小、导热性强等优点,同时有利于器件的集成。

[0006] 本发明中基于石墨烯的法拉第式隔离器,不仅能够实现隔离度在一定范围内可调,其隔离方向同样可以通过改变磁场方向来控制,磁场方向通过改变螺线管电流的方向来改变;而且该种隔离器较传统隔离器具有结构简单紧凑、易于集成和散热性强等优良特性,能够满足大功率微波器件小型化的要求,可以广泛地应用于微波系统中。

## 发明内容

[0007] 本发明的目的是提供一种应用于微波领域,其正向传输损耗较小,反向传输具有较大损耗,并且具有较宽的使用频带、结构简单紧凑、体积较小和易于集成的法拉第式隔离器。

[0008] 实现本发明的技术解决方案是:

[0009] 本专利所述的隔离器采用圆波导和矩形波导等结构,工作于圆波导和矩形波导的主模下,其结构具体包括:一个工作频率在微波频段内的圆波导,作为微波信号传输的载体;多层石墨烯模块,在该模块信号产生一定角度的旋转;输入输出模块,该模块是一矩形波导和矩形-圆波导转换器构成,矩形-圆波导转换器将矩形波导和圆波导连接起来;外部的螺线管,以提供一个偏置静磁场。

[0010] 在上述圆波导内垂直于波的传播方向放置多层石墨烯模块,该模块直接紧密的插入到圆波导壁中。多层石墨烯模块是由内部平行排列的多片单层石墨烯片构成的,使整个系统具有较好的物理特性。在外加一个垂直于石墨烯片的静磁场的条件下,微波信号在透射通过石墨烯片时会产生一定角度的偏转。多层石墨烯模块采用多片单层石墨烯平行排列所构成,是因为电磁波在透射通过单层石墨烯片时会发生一定角度的偏转,由于该偏转角度较小不足以满足设计要求,所以采用多层叠加的形式,以达到设计的要求。

[0011] 输入输出段都使用矩形波导,矩形波导和中间圆形波导使用矩形-圆波导转换器无耗地连接起来。输入矩形波导和输出矩形波导间呈45度夹角。

[0012] 在上述圆波导的外部套置一个提供偏置磁场的螺线管,螺线管骨架直接套置在圆波导外部,在螺线管骨架上绕有多层的导线构成的线圈。对螺线管供电能够产生磁场,因此可以通过控制电流的强弱来控制外加偏置静磁场的强弱。

[0013] 所采用的圆波导工作于它的主模 $TE_{11}$ 模式下,矩形波导工作于它的主模 $TE_{10}$ 模式下,通过矩形-圆波导转换器实现这两种模式间的转换。

[0014] 在本发明中能够使电磁波发生偏转的核心材料采用石墨烯取代了传统的铁氧体材料,主要显著的优点是:

[0015] 1、结构简单紧凑、体积较小、易于集成,采用新材料石墨烯可以省去了两块四分之一波长板;

[0016] 2、采用输入输出段的矩形波导间成45度夹角放置,省去了用于隔离的部件;

[0017] 3、控制简单,使用方便,隔离器的隔离方向可以通过改变通入螺线管电流方向来控制。

## 附图说明

[0018] 图1为本发明基于石墨烯的法拉第式隔离器的正视图;

[0019] 图2工作频段内多层石墨烯模块产生的角度旋转角度;

[0020] 图3工作频段内正向传输时的衰减;

[0021] 图4工作频段内反向传输时的衰减;

[0022] 图5工作频段内的隔离度。

[0023] 以上图片中含有:

[0024] 1:输入部分;1a:第一矩形波导;1b:第一矩形-圆波导转换器;2:输出部分;2a:第二矩形波导;2b:第二矩形-圆波导转换器;3:多层石墨烯模块;4圆波导;5螺线管。

### 具体实施方式

[0025] 为使本发明实现的技术手段、创作特征、达成目的与功效易于明白了解,下面结合具体实施方式,进一步阐明本发明。

[0026] 具体实施:

[0027] 本发明实例工作频段设置为1.8GHz至2.2GHz,工作模式为在圆波导内传播的主模 $TE_{11}$ 模式和矩形波导内传输的主模 $TE_{10}$ 模,其电场方向和波传播方向垂直,在波的传播方向无电场分量。在多层石墨烯模块部分添加一个静磁场偏置,偏置磁场强度为0.35T。

[0028] 本发明实例结构如图1所示,尺寸单位都为毫米(mm)。主要由输入部分、输出部分、圆波导、多层石墨烯模块和螺线管所构成。

[0029] 其中输入部分1由第一矩形波导1a和第一矩形-圆波导转换器1b构成,输出部分2由第二矩形波导2a和第二矩形-圆波导转换器2b所构成的,特别之处在于第一矩形波导1a和第二矩形波导2a间有45度的夹角。第一矩形波导1a和第二矩形波导2a的长边长109.22mm,短边长54.61mm厚度约为4mm左右,第一矩形-圆波导转换器1b和第二矩形-圆波导转换器2b的长度设置为100mm。

[0030] 其中圆波导4两端连接第一矩形-圆波导转换器1b和第二矩形-圆波导转换器2b,圆波导的内直径为114.58mm厚度和第一矩形波导1a相当。

[0031] 在圆波导的内部中心处,垂直于波的传播方向,放置了多层石墨烯模块。该模块由14片单层石墨烯片所构成,其中每两片间隔3mm平行放置。放置顺序如下:以圆波导中心为起点,向左1.5mm处放置1片,向右1.5mm处也放置一片,这样再向左向右依次放置6片,每两片间间距为3mm。

[0032] 本发明的工作原理如下:

[0033] 本发明的整个系统除多层石墨烯模块以外可近似的认为是一个无耗的传输媒介,在以上设计的整个波导系统内可以无耗地传输1.8GHz至2.2GHz频率的电磁波。

[0034] 在正向传输时输入部分第一矩形波导1a内 $TE_{10}$ 模的电磁波进入到系统中,并经过第一矩形-圆波导转换器1b进入到圆波导中, $TE_{10}$ 模也转换成圆波导内的主模 $TE_{11}$ 模。在圆波导内传输的过程中由于多层石墨烯模块的作用后,使得这时 $TE_{11}$ 模和未经过多层石墨烯模块的 $TE_{11}$ 模之间有一个45度的夹角。由于输出部分的第二矩形波导2a和输入部分的第一矩形波导1a间呈45度,所以该电场方向和输出部分相同,能以较小的衰减传输。

[0035] 在反向传输的过程中,电磁波由输出部分向输入部分传导,同样电磁波可以通过第二矩形波导2a进入系统中并由转换模块进入到圆波导中,经过多层石墨烯以后会偏转正向传输一样的角度和方向,但由于输出和输入部分原本有45度的夹角,在加上由多层石墨烯作用产生的45度夹角,所以输出的电磁波的电场方向和输入部分几乎相互垂直部,因此会产生较大的衰减。

[0036] 由于多层石墨烯的偏转方向只和磁场方向有关,所以如果需要改变输入输出端口只需将磁场方向反转即可,即通过改变外加螺线管的电流方向。

[0037] 图2表示电磁波进过多层石墨烯模块时所产生的角度偏转,可见在2GHz附近旋转

角度大约在45度附近。图3表示工作频段内正向传输时的传输衰减,可见总的衰减在2至3dB之间,衰减并不大。图4为工作频段内反向传输时的传输衰减,其衰减几乎都要大于40dB,衰减较大可认为信号已经不能传输。图5为该系统隔离度的曲线,可见在工作频段内隔离度小于-30dB,所以本发明具有良好的隔离特性。

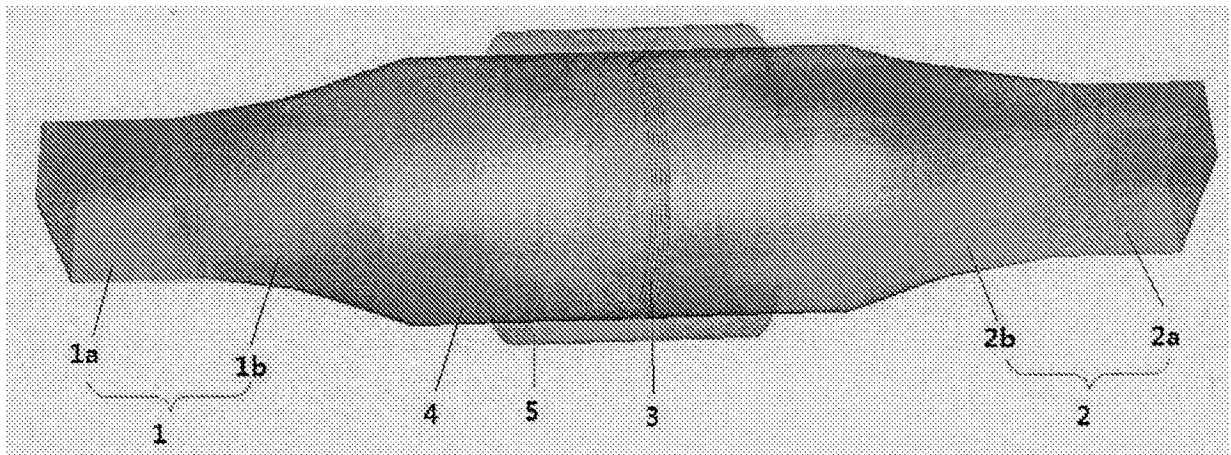


图1

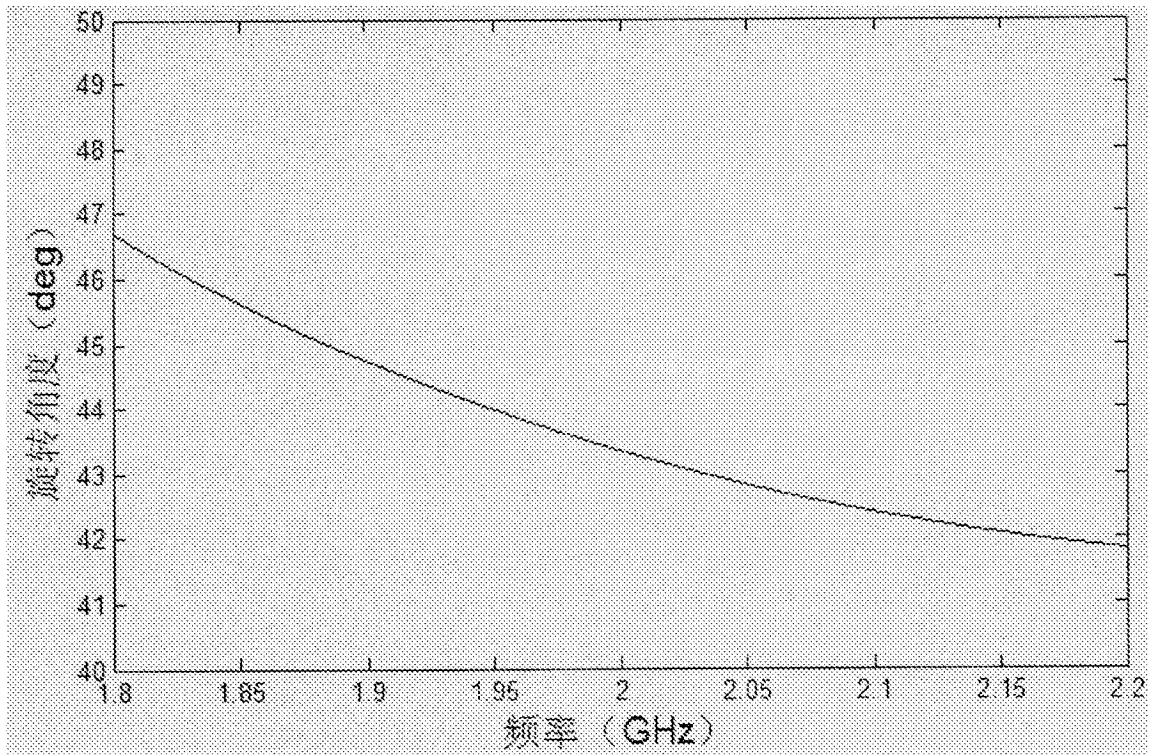


图2

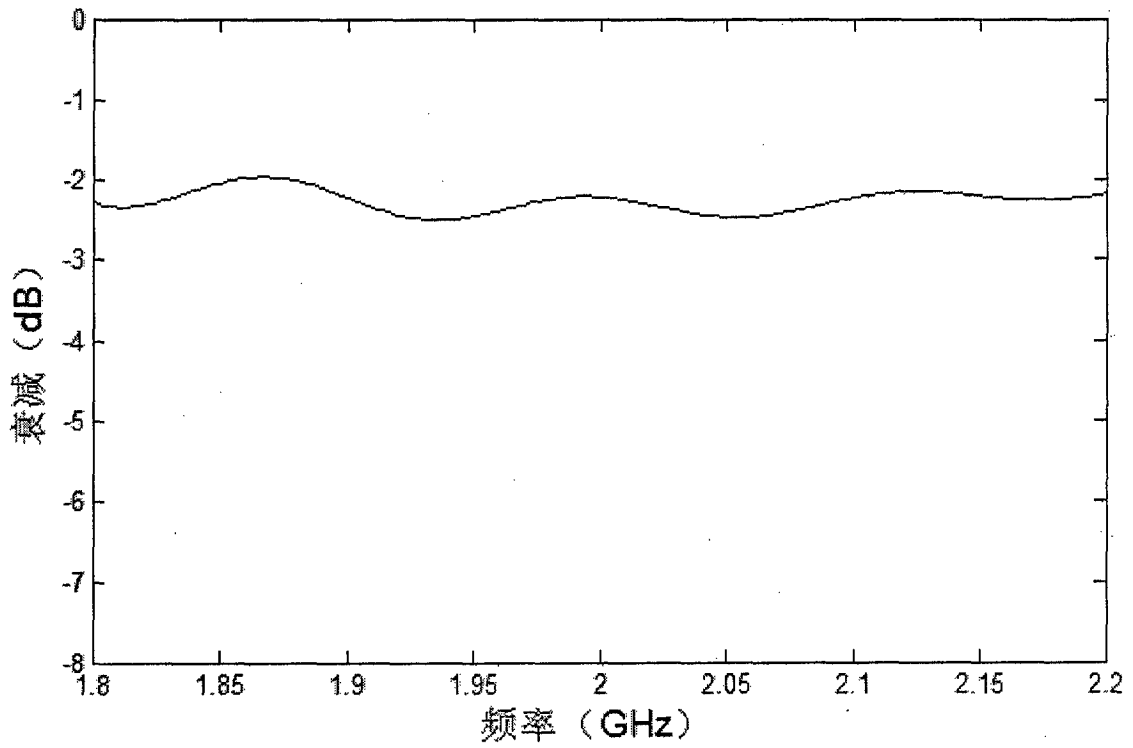


图3

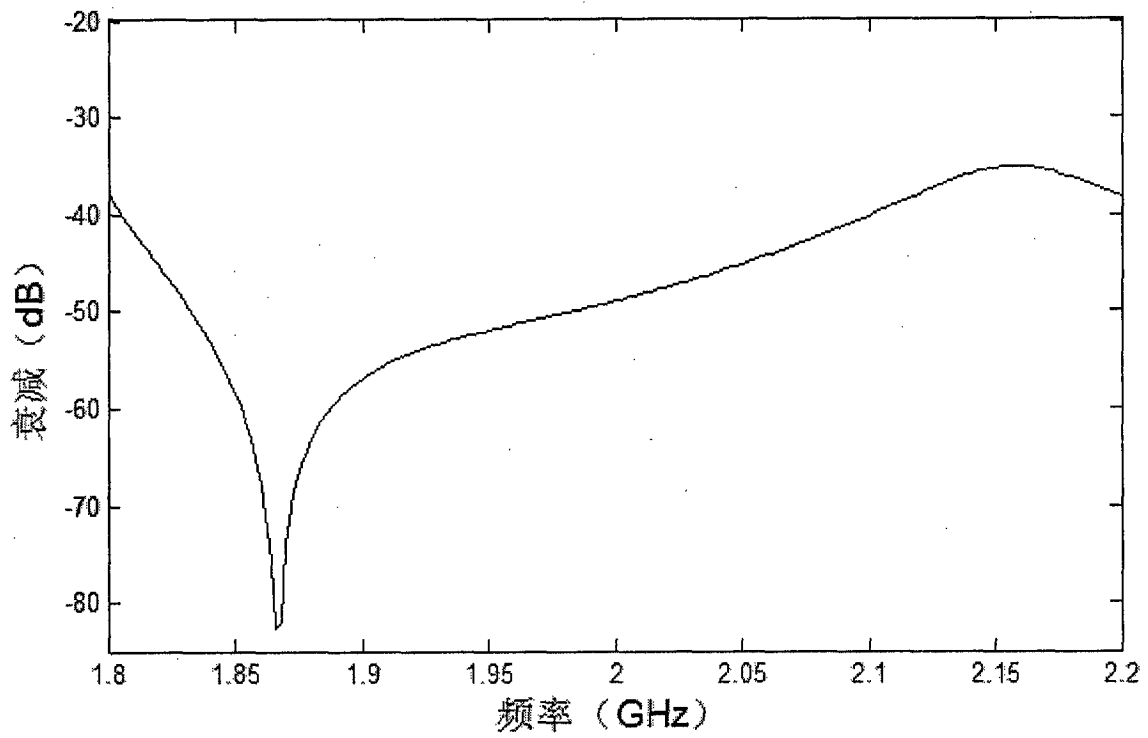


图4



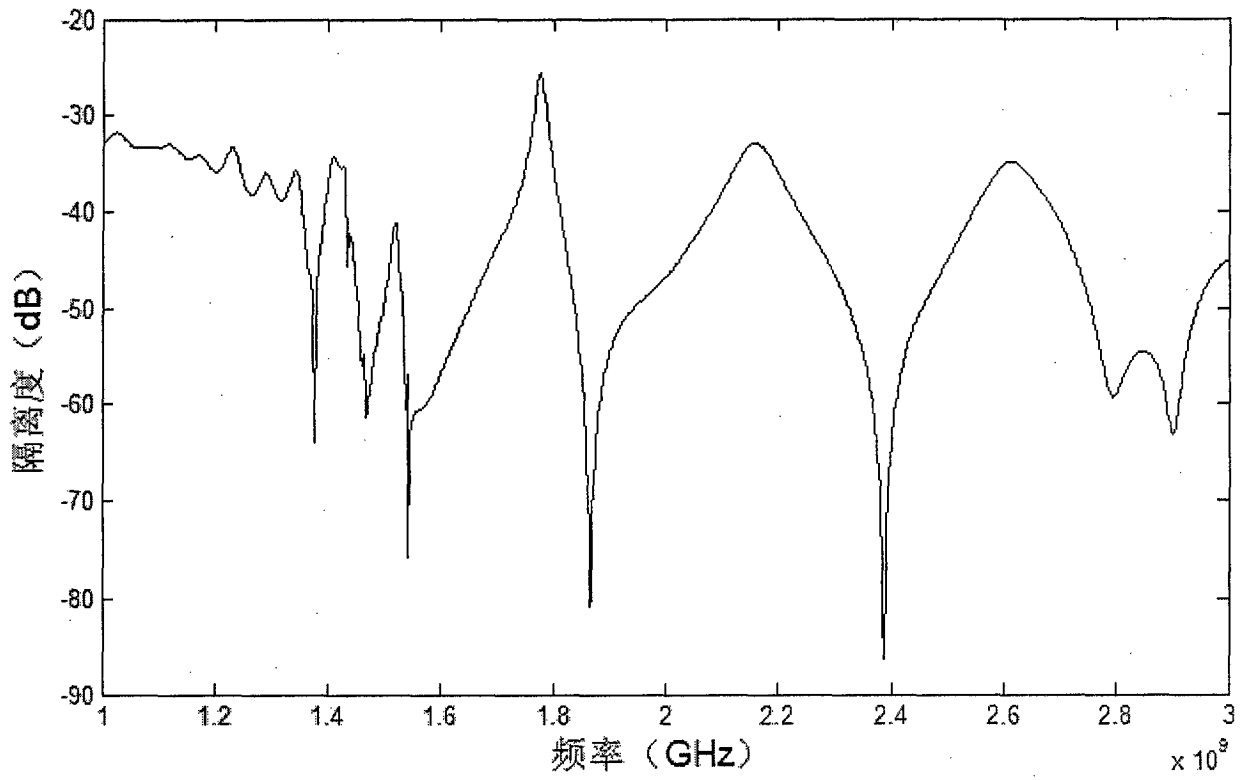


图5