



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107994352 A

(43)申请公布日 2018.05.04

(21)申请号 201711445456.9

(22)申请日 2017.12.27

(71)申请人 北京航天飞腾装备技术有限责任公司

地址 100097 北京市海淀区蓝靛厂南路59号23号楼3层3018房间

(72)发明人 刘晓昕 孙恒 卢浩 关巍巍
孟宪超 卜君祥 程彦汇 刘记册
李承泽 何俊波 葛志雄 宋金来

(74)专利代理机构 中国航天科技专利中心
11009

代理人 范晓毅

(51)Int.Cl.

H01Q 17/00(2006.01)

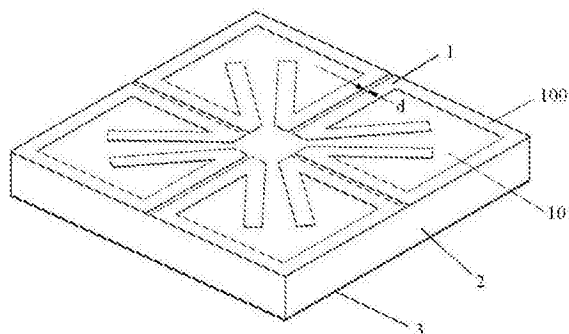
权利要求书2页 说明书5页 附图6页

(54)发明名称

一种吸波体单元、电磁吸波体及射频发射机

(57)摘要

本发明公开了一种吸波体单元、电磁吸波体及射频发射机;其中,该吸波体单元,包括:金属图案、介质板和铜箔;金属图案固定在介质板的一面;铜箔覆盖在介质板的另一面;金属图案中心对称,金属图案由四组相同的子图案构成;子图案包括:关于对角线对称的二级子图案I和二级子图案II、以及二级子图案III和二级子图案IV。通过本发明解决了传统超材料吸波体对入射电场波极化方向敏感和尺寸较大的问题。



1. 一种吸波体单元,其特征在于,包括:金属图案(1)、介质板(2)和铜箔(3);
金属图案(1)固定在介质板(2)的一面;铜箔(3)覆盖在介质板(2)的另一面;
金属图案(1)中心对称,金属图案(1)由四组相同的子图案(101)构成;

子图案(101)包括:关于对角线对称的二级子图案I(1011)和二级子图案II(1014)、以及二级子图案III(1012)和二级子图案IV(1013);其中,二级子图案I(1011)的长边长度为3.9~4.6mm、宽度为0.6mm;二级子图案III(1012)的长边长度为4.7~5.1mm、宽度为0.6mm;二级子图案III(1012)与二级子图案I(1011)的夹角为39°~41°;二级子图案IV(1013)的长边长度为5.9mm,宽度为0.6mm。

2. 根据权利要求1所述的吸波体单元,其特征在于,金属图案(1)材质为铜。

3. 根据权利要求1或2所述的吸波体单元,其特征在于,金属图案(1)的厚度为0.035mm。

4. 根据权利要求1所述的吸波体单元,其特征在于,介质板(2)为FR4介质板,介电常数为4.3,损耗角的正切值为0.025。

5. 根据权利要求1、4或5所述的吸波体单元,其特征在于,所述介质板(2)的长为12mm,宽为12mm,高为1.6mm。

6. 根据权利要求1所述的吸波体单元,其特征在于,铜箔(3)的厚度为0.035mm。

7. 一种电磁吸波体,其特征在于,包括:多个吸波体单元(100);

多个吸波体单元(100)周期性排布,构成电磁吸波体(200);

其中,吸波体单元(100),包括:金属图案(1)、介质板(2)和铜箔(3);

金属图案(1)固定在介质板(2)的一面;铜箔(3)覆盖在介质板(2)的另一面;

金属图案(1)固定在介质板(2)的一面;铜箔(3)覆盖在介质板(2)的另一面;

金属图案(1)中心对称,金属图案(1)由四组相同的子图案(101)构成;

子图案(101)包括:关于对角线对称的二级子图案I(1011)和二级子图案II(1014)、以及二级子图案III(1012)和二级子图案IV(1013);其中,二级子图案I(1011)的长边长度为3.9~4.6mm、宽度为0.6mm;二级子图案III(1012)的长边长度为4.7~5.1mm、宽度为0.6mm,二级子图案III(1012)与二级子图案I(1011)的夹角为39°~41°;二级子图案IV(1013)的长边长度为5.9mm,宽度为0.6mm。

8. 根据权利要求7所述的电磁吸波体,其特征在于,不同尺寸参数的吸波体的工作频率满足如下对应关系:

$$f = f_0/\alpha$$

其中,f表示满足第一尺寸参数的吸波体的工作频率,f₀表示满足第二尺寸参数的吸波体的工作频率,α表示尺寸缩放因子。

9. 一种射频发射机,其特征在于,包括:发射机外壳、发射机电路板和电磁吸波体;其中,发射机外壳为材料为金属;发射机电路板放置于发射机外壳之中;电磁吸波体贴于发射机外壳内侧壁上;

其中,电磁吸波体由多个吸波体单元周期性排布构成;

其中,吸波体单元,包括:金属图案、介质板和铜箔;

金属图案固定在介质板一面;铜箔覆盖在介质板的另一面;

金属图案固定在介质板的一面;铜箔覆盖在介质板的另一面;

金属图案中心对称,金属图案由四组相同的子图案构成;

子图案包括：关于对角线对称的二级子图案Ⅰ和二级子图案Ⅱ、以及二级子图案Ⅲ和二级子图案Ⅳ；其中，二级子图案Ⅰ的长边长度为3.9~4.6mm、宽度为0.6mm；二级子图案Ⅲ的长边长度为4.7~5.1mm、宽度为0.6mm，二级子图案Ⅲ与二级子图案Ⅰ的夹角为 39° ~ 41° ；二级子图案Ⅳ的长边长度为5.9mm，宽度为0.6mm。

一种吸波体单元、电磁吸波体及射频发射机

技术领域

[0001] 本发明属于微波天线工程技术领域,尤其涉及一种吸波体单元、电磁吸波体及射频发射机。

背景技术

[0002] 一直以来,射频发射机的电磁泄露问题是阻碍发射机性能提升的关键难题。这个问题的产生是由于射频发射机电路板无法让射频信号百分百沿着信号线传输而毫无泄露,泄露到空间中的射频信号经过射频发射机结构的反射,有一部分又会重新传输到电路板上,与在电路板上传输的射频叠加,这就导致了电路板上射频信号被干扰,信噪比降低,最终降低了射频发射机的整体性能。为了提升射频发射机的性能,需要将泄露的射频信号处理掉,不让这些干扰信号回到电路板,我们可以通过在电路板周围放置电磁吸波体的方法将泄露射频信号吸收掉。

[0003] 吸收体,又称吸波材料,指能吸收投射到它表面的电磁波能量的一类材料。在工程应用上,除要求吸波材料在较宽频带内对电磁波具有高的吸收率外,还要求它具有质量轻、耐温、耐湿、抗腐蚀等性能。传统的吸波体,诸如尖劈形材料、磁性吸收剂和Salisbury吸收屏等存在密度大,使用温度低或厚度较大等缺陷。

[0004] 超材料是指一些具有天然材料所不具备的超常物理性质的人工复合结构或复合材料。以左手材料,光子晶体,频率选择表面为代表的超材料,在光学成像,小型化天线,电磁波隐形等领域有广泛的应用前景。而超材料吸波体由于其“薄、轻、强、带宽可调”等优势更是成为了当今吸波体研究的热点内容。

[0005] 数年前,研制出一种超材料吸收体,对于入射到其表面的电磁波既不反射也不透射,达到电磁波完全吸收的科学标准。但该超材料吸收体仍存在问题:1、要求入射电磁波的电场的方向与谐振器铜线方向保持平行,以激励磁谐振。当电场方向与铜线垂直时,几乎不具有吸波性,即对入射电磁波极化方向敏感;2、吸波体单元尺寸较大,单元尺寸为工作波长的二分之一左右,在对尺寸要求严格的实际应用场合,无法满足要求。

[0006] 此外,近些年以来,针对超材料吸波体的研究多在实验室中进行,目前市面上尚无相关产品问世。

发明内容

[0007] 本发明的技术问题:克服现有技术的不足,提供一种吸波体单元、电磁吸波体及射频发射机,旨在解决传统超材料吸波体对入射电场极化方向敏感和尺寸较大的问题。

[0008] 为了解决上述技术问题,本发明公开了一种吸波体单元,包括:金属图案(1)、介质板(2)和铜箔(3);

[0009] 金属图案(1)固定在介质板(2)的一面;铜箔(3)覆盖在介质板(2)的另一面;

[0010] 金属图案(1)中心对称,金属图案(1)由四组相同的子图案(101)构成;

[0011] 子图案(101)包括:关于对角线对称的二级子图案I(1011)和二级子图案II(1014)、以及二级子图案III(1012)和二级子图案IV(1013);其中,二级子图案I(1011)的长边长度为3.9~4.6mm、宽度为0.6mm;二级子图案III(1012)的长边长度为4.7~5.1mm、宽度为0.6mm;二级子图案III(1012)与二级子图案I(1011)的夹角为39°~41°;二级子图案IV(1013)的长边长度为5.9mm,宽度为0.6mm。

[0012] 在上述吸波体单元中,金属图案(1)材质为铜。

[0013] 在上述吸波体单元中,金属图案(1)的厚度为0.035mm。

[0014] 在上述吸波体单元中,介质板(2)为FR4介质板,介电常数为4.3,损耗角的正切值为0.025。

[0015] 在上述吸波体单元中,所述介质板(2)的长为12mm,宽为12mm,高为1.6mm。

[0016] 在上述吸波体单元中,铜箔(3)的厚度为0.035mm。

[0017] 相应的,本发明还公开了一种电磁吸波体,包括:多个吸波体单元(100);

[0018] 多个吸波体单元(100)周期性排布,构成电磁吸波体(200);

[0019] 其中,吸波体单元(100),包括:金属图案(1)、介质板(2)和铜箔(3);

[0020] 金属图案(1)固定在介质板(2)的一面;铜箔(3)覆盖在介质板(2)的另一面;

[0021] 金属图案(1)固定在介质板(2)的一面;铜箔(3)覆盖在介质板(2)的另一面;

[0022] 金属图案(1)中心对称,金属图案(1)由四组相同的子图案(101)构成;

[0023] 子图案(101)包括:关于对角线对称的二级子图案I(1011)和二级子图案II(1014)、以及二级子图案III(1012)和二级子图案IV(1013);其中,二级子图案I(1011)的长边长度为3.9~4.6mm、宽度为0.6mm;二级子图案III(1012)的长边长度为4.7~5.1mm、宽度为0.6mm,二级子图案III(1012)与二级子图案I(1011)的夹角为39°~41°;二级子图案IV(1013)的长边长度为5.9mm,宽度为0.6mm。

[0024] 在上述电磁吸波体中,不同尺寸参数的吸波体的工作频率满足如下对应关系:

[0025] $f=f_0/\alpha$

[0026] 其中, f 表示满足第一尺寸参数的吸波体的工作频率, f_0 表示满足第二尺寸参数的吸波体的工作频率, α 表示尺寸缩放因子。

[0027] 相应的,本发明还公开了一种射频发射机,包括:发射机外壳、发射机电路板和电磁吸波体;其中,发射机外壳为材料为金属;发射机电路板放置于发射机外壳之中;电磁吸波体贴于发射机外壳内侧壁上;

[0028] 其中,电磁吸波体由多个吸波体单元周期性排布构成;

[0029] 其中,吸波体单元,包括:金属图案、介质板和铜箔;

[0030] 金属图案固定在介质板一面;铜箔覆盖在介质板的另一面;

[0031] 金属图案固定在介质板的一面;铜箔覆盖在介质板的另一面;

[0032] 金属图案中心对称,金属图案由四组相同的子图案构成;

[0033] 子图案包括:关于对角线对称的二级子图案I和二级子图案II、以及二级子图案III和二级子图案IV;其中,二级子图案I的长边长度为3.9~4.6mm、宽度为0.6mm;二级子图案III的长边长度为4.7~5.1mm、宽度为0.6mm,二级子图案III与二级子图案I的夹角为39°~41°;二级子图案IV的长边长度为5.9mm,宽度为0.6mm。

[0034] 本发明具有以下优点:

[0035] (1) 在本发明中,当电磁波入射到吸波体上时,金属图案在该电磁波的波频下进行谐振,同时金属图案周围产生较强的磁场环路,该磁场环路使金属片和介质板上产生电流,从而使介质板产生介电损耗,同时金属片上也会产生欧姆损耗,电磁波的电磁能通过损耗转化为热能,从而实现对入射电磁波的损耗吸收,使吸波体对于不同极化方向的入射波均具有吸收作用,进而解决了吸波体对入射波极化方向敏感的问题。

[0036] (2) 本发明所述的电磁吸波体可工作在2.4GHz-2.5GHz范围内的任一频点上,电磁吸波体对水平极化波和垂直极化波的吸收率均达到99.9%以上,实现了对入射电磁波极化方向不敏感。单元尺寸为工作波长的十分之一,与传统超材料吸波体工作波长二分之一的单元尺寸相比,本发明所述的电磁吸波体的单元尺寸减小了80%,实现了小型化。

[0037] (3) 本发明所述的电磁吸波体可通过普通的PCB(Print Circuit Board,印制电路板)技术加工得到,成本低廉,适合大批量低成本生产。

附图说明

[0038] 图1是本发明实施例中一种电磁吸波体的结构示意图;

[0039] 图2是本发明实施例中一种吸波体单元的结构示意图;

[0040] 图3是本发明实施例中一种金属图案的子图案的结构示意图;

[0041] 图4是本发明实施例中一种入射水平极化波时S参数曲线图;

[0042] 图5是本发明实施例中一种入射垂直极化波时S参数曲线图;

[0043] 图6是本发明实施例中一种入射水平极化波时电磁吸波体的吸收率曲线图;

[0044] 图7是本发明实施例中一种入射垂直极化波时电磁吸波体的吸收率曲线图;

[0045] 图8是本发明实施例中一种电磁波倾斜入射时电磁吸波体的吸波率曲线图;

[0046] 图9是本发明实施例中一种电磁吸波体的吸波率曲线图;

[0047] 图10是本发明实施例中又一种电磁吸波体的吸波率曲线图;

[0048] 图11是本发明实施例中另一种电磁吸波体的吸波率曲线图;

[0049] 图12是本发明实施例中一种射频发射机的结构示意图。

具体实施方式

[0050] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合附图对本发明公开的实施方式作进一步详细描述。

[0051] 本发明公开的电磁吸波体,具有小型化、极化不敏感特性,属于超材料吸波体,适用于屏蔽电磁干扰和隐身技术等领域。

[0052] 参照图1,示出了本发明实施例中一种电磁吸波体的结构示意图。参照图2,示出了本发明实施例中一种吸波体单元的结构示意图。

[0053] 如图1,电磁吸波体200,包括:多个吸波体单元100。在本实施例中,多个吸波体单元100周期性排布,构成电磁吸波体200。其中,需要说明的是,在实际应用时,可以根据空间大小要求,使用多于2x2个周期性排布的吸波体单元组成电磁吸波体,吸波体单元个数较多时,吸波效果较好。

[0054] 如图2,吸波体单元100,具体可以包括:金属图案1、介质板2和铜箔3。

[0055] 在本实施例中,金属图案1固定在介质板2的一面;铜箔3覆盖在介质板2的另一面。

其中,铜箔3可用于防止将吸入吸波体内部的电磁波透射出介质板2。

[0056] 参照图3,示出了本发明实施例中一种金属图案的子图案的结构示意图。如图2和图3,在本实施例中,金属图案1中心对称,金属图案1由四组相同的子图案101构成。其中,子图案的长度(图3中所示的L1)可以为5.9mm,子图案的宽度(图3中所示的L2)可以为4.7~5.1mm,各子图案之间的间隔(图2中所示的d)可以为0.6mm。

[0057] 优选的,如图3,子图案具体可以包括:关于对角线对称的二级子图案I1011和二级子图案II1014。其中,二级子图案I1011的长边长度(图3中所示的L3)可以为3.9~4.6mm、宽度可以为0.6mm。二级子图案III1012的长边长度可以为4.7~5.1mm、宽度可以为0.6mm。二级子图案III1012与二级子图案I1011的夹角(图3中所示的 θ)可以为 $39^\circ\sim 41^\circ$ 。

[0058] 在本发明的一优选实施例中,金属图案1材质为铜。

[0059] 在本发明的一优选实施例中,金属图案1的厚度为0.035mm。

[0060] 在本发明的一优选实施例中,介质板2为FR4介质板,介电常数为4.3,损耗角的正切值为0.025。

[0061] 在本发明的一优选实施例中,所述介质板2的长为12mm,宽为12mm,高为1.6mm。

[0062] 在本发明的一优选实施例中,铜箔3的厚度为0.035mm。

[0063] 在本发明的一优选实施例中,不同尺寸参数的吸波体的工作频率满足如下对应关系:

$$[0064] \quad f = f_0/\alpha$$

[0065] 其中, f 表示满足第一尺寸参数的吸波体的工作频率, f_0 表示满足第二尺寸参数的吸波体的工作频率, α 表示尺寸缩放因子。换言之,将本发明实施例所述的电磁吸波体按一定比例增大或减小后,能够实现在相对带宽不变的情况下,工作带宽向低频或高频移动。例如:当 $\alpha=2$ 时,即表示电磁吸波体整体扩大为原来的2倍,当 $\alpha=0.5$ 时,即表示电磁吸波体整体缩小为原来的0.5倍。当电磁波入射到该电磁吸波体上时,金属图案在该电磁波的波频下进行谐振,同时金属图案周围产生磁场环路,该磁场环路使金属图案和介质板上产生电流,从而使介质板产生介电损耗,同时金属图案上也会产生欧姆损耗。介电损耗是本发明实施例所述的电磁吸波体的主要损耗方式;电磁波的电磁能通过损耗转化为热能,从而实现入射电磁波的损耗吸收。入射的水平极化波和垂直极化波均能够激发金属图案的谐振,使本发明实施例所述的电磁吸波体对于不同极化方向的入射波均具有吸收作用,从而解决了吸波体对入射波极化方向敏感的问题。

[0066] 基于上述实施例,下面结合具体实例对电磁吸波体的性能进行说明。

[0067] 以金属图案尺寸参数为: $L1=5.9\text{mm}$, $L2=5\text{mm}$, $L3=4.1\text{mm}$, $\theta=40^\circ$ 时的电磁吸波体为例,利用高频三维电磁场仿真软件对模型进行仿真,设置入射电磁波为水平极化波时,获得该电磁吸波体的S参数的曲线如图4所示;设置入射电磁波为垂直极化波时,获得该电磁吸波体的S参数曲线如图5所示。其中,图4为本发明实施例中一种入射水平极化波时S参数曲线图(图4中的实线表示第一S参数曲线,虚线表示第二S参数曲线);图5为本发明实施例中一种入射垂直极化波时S参数曲线图(图5中的实线表示第一S参数曲线,虚线表示第二S参数曲线)。

[0068] 基于吸波体吸收率计算公式,可计算得到该电磁吸波体的吸收率 $A(\omega)$:

$$[0069] \quad A(\omega) = 1 - |S_{11}|^2 - |S_{21}|^2$$

[0070] 其中, S_{11} 表示第一S参数, S_{21} 表示第二S参数。

[0071] 入射波为水平极化波时,该电磁吸波体的吸收率曲线如图6所示;入射波为垂直极化波时该电磁吸波体的吸收率曲线如图7所示。根据图6和图7所示,该电磁吸波体对水平极化波和垂直极化波的吸收效果是相同的。在2.482GHz,该电磁吸波体的对水平极化波和垂直极化波的吸收率分别为99.969%和99.964%,均达到99.9%以上。

[0072] 在入射波的入射角 i 分别为 20° 、 40° 、 60° 倾斜入射的情况下,对该电磁吸波体进行仿真,分别获得水平极化波和垂直极化波的吸收率曲线如图8所示,可见:该电磁吸波体的吸收率随入射波的入射角的增大而减小,入射角度 40° 时,该电磁吸波体对电磁波吸收率为97.85%;入射角度 60° 时,该电磁吸波体对电磁波吸收率已经降到87.69%。因此,若该电磁吸波体的使用场合要求是吸波率 $>95\%$,则需要保持入射角在 40° 之内,以实现较好的吸收效果。

[0073] 在本发明的一优选实施例中,当 L_2 分别取4.7mm、4.9mm和5.1mm时,该电磁吸波体的吸波率曲线如图9所示。其中,图9中的实线表示 $L_2=4.7\text{mm}$ 时,该电磁吸波体的吸波率曲线图;图9中的虚线表示 $L_2=4.9\text{mm}$ 时,该电磁吸波体的吸波率曲线图;图9中的点划线表示 $L_2=5.1\text{mm}$ 时,该电磁吸波体的吸波率曲线图。

[0074] 在本发明的一优选实施例中,当 L_3 分别取3.8mm、4.0mm和4.4mm时,该电磁吸波体的吸波率曲线如图10所示。其中,图10中的实线表示 $L_3=3.8\text{mm}$ 时,该电磁吸波体的吸波率曲线图;图10中的虚线表示 $L_3=4.0\text{mm}$ 时,该电磁吸波体的吸波率曲线图;图10中的点划线表示 $L_3=4.4\text{mm}$ 时,该电磁吸波体的吸波率曲线图。

[0075] 在本发明的一优选实施例中,当夹角 θ 分别取 39° 、 40° 和 41° 时,该电磁吸波体的吸波率曲线如图11所示。其中,图11中的实线表示 $\theta=39^\circ$ 时,该电磁吸波体的吸波率曲线图;图11中的虚线表示 $\theta=40^\circ$ 时,该电磁吸波体的吸波率曲线图;图11中的点划线表示 $\theta=41^\circ$ 时,该电磁吸波体的吸波率曲线图。

[0076] 可见,通过对顶层的金属图案的尺寸参数进行重构设计,在不影响吸波体吸收率(99.9%以上)的前提下,可以方便地改变吸波体的工作频率。

[0077] 本说明中的各个实施例均采用递进的方式描述,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处,各个实施例之间相同相似的部分互相参见即可。

[0078] 参照图12,示出了本发明实施例中一种射频发射机的结构示意图。如图12所示,这种射频发射机由发射机外壳、发射机电路板和电磁吸波体组成。其中,发射机外壳材料为金属,起到屏蔽作用,防止发射机电路板泄露的射频信号辐射到外界;发射机电路板放置于发射机外壳之中,用于实现发射机信号发射功能;电磁吸波体贴于发射机外壳内侧壁上,负责将发射机电路板泄露的射频信号吸收掉,提高二次抑制,降低泄露信号对电路板的干扰,最终提高发射机的总体性能。其中,电磁吸波体由多个吸波体单元周期性排布构成。吸波体单元可参见前述实施例的描述,在此不再赘述。

[0079] 以上所述,仅为本发明最佳的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到的变化或替换,都应涵盖在本发明的保护范围之内。

[0080] 本发明说明书中未作详细描述的内容属于本领域专业技术人员的公知技术。

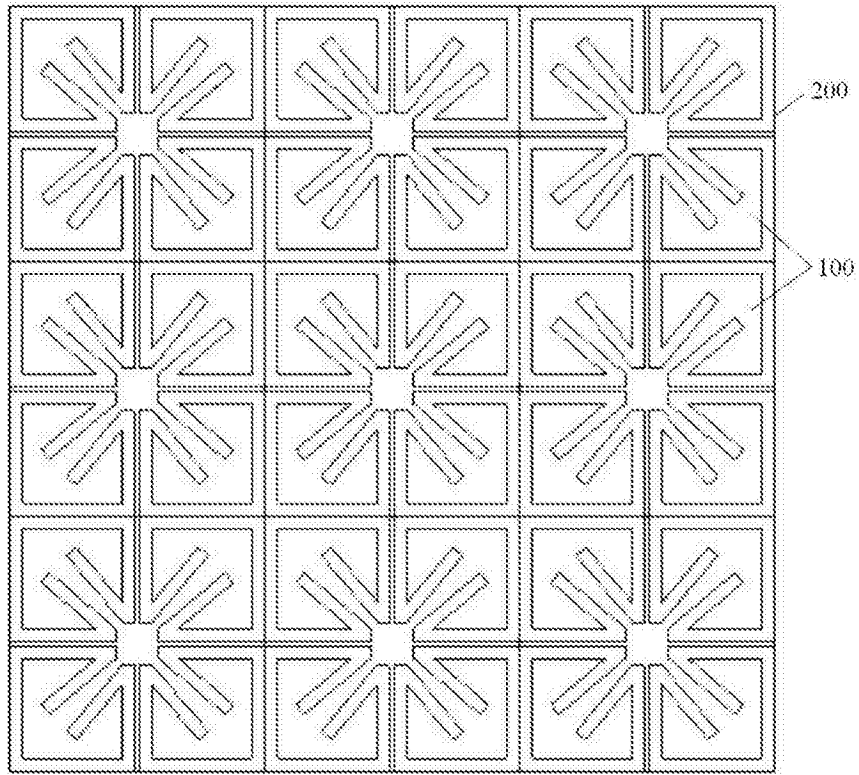


图1

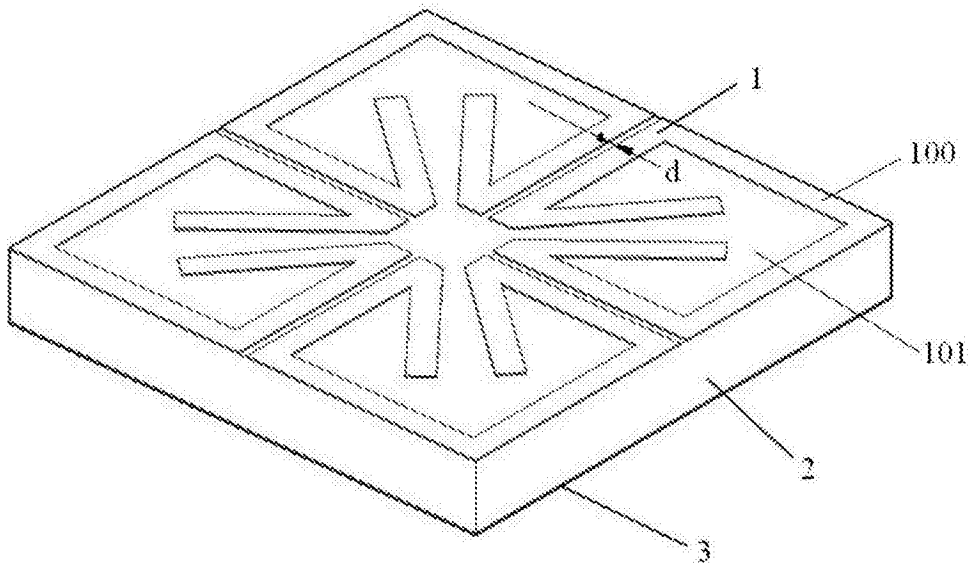


图2

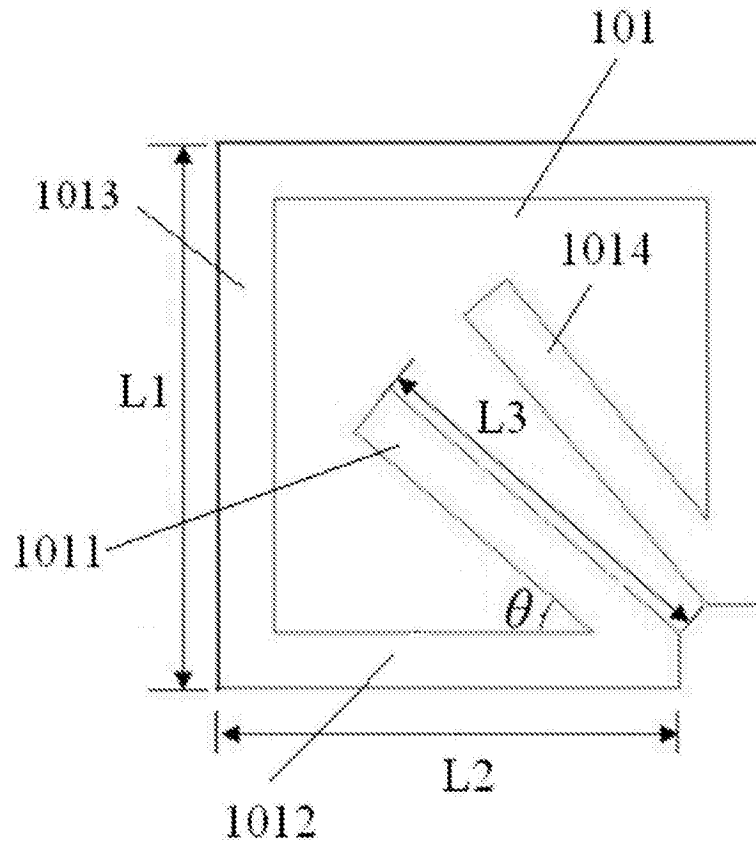


图3

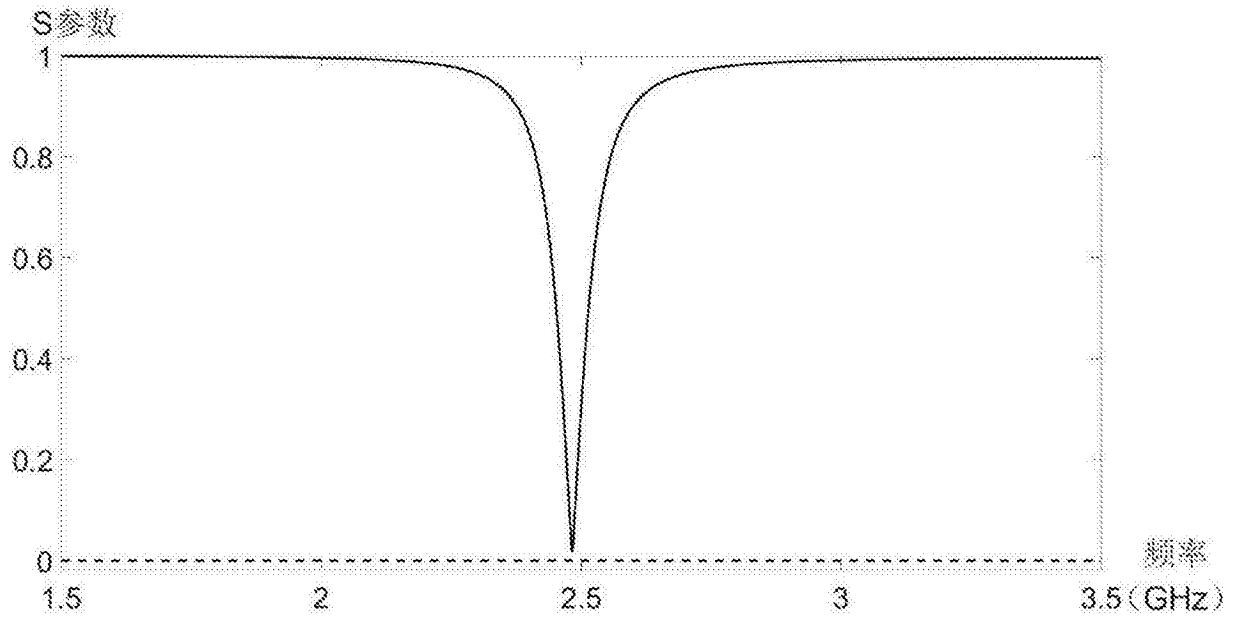


图4

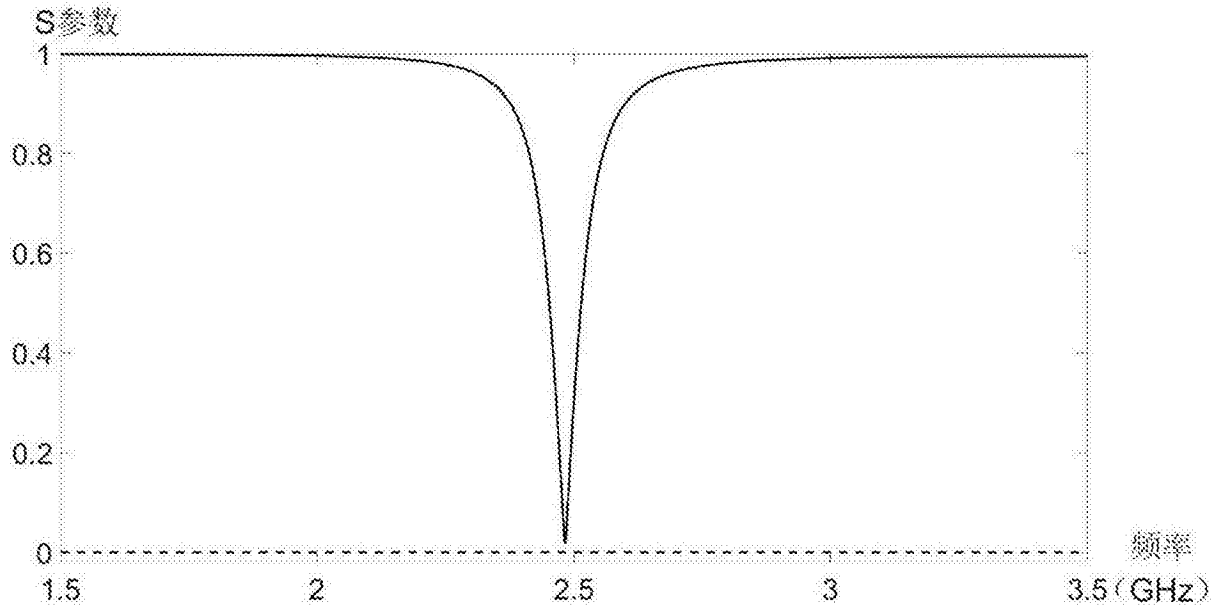


图5

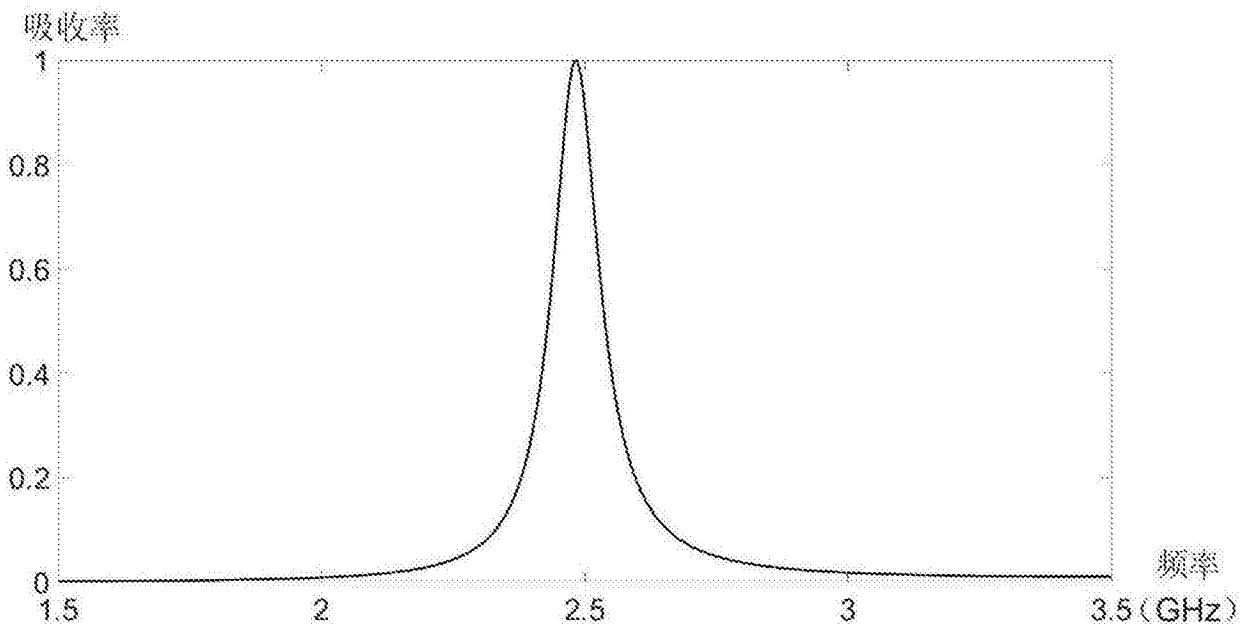


图6

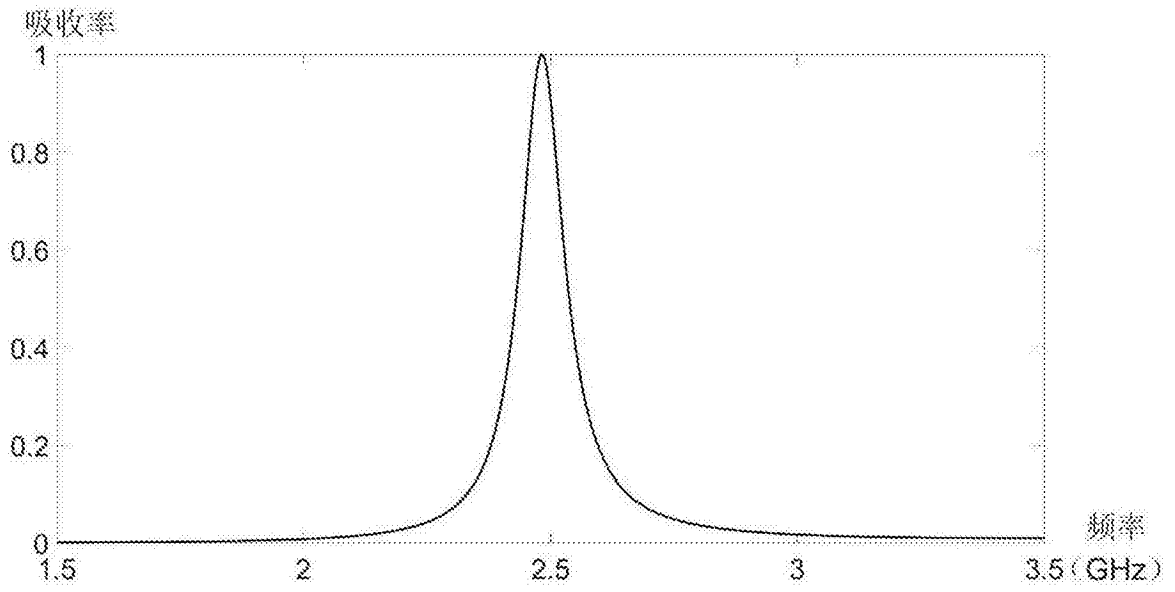


图7

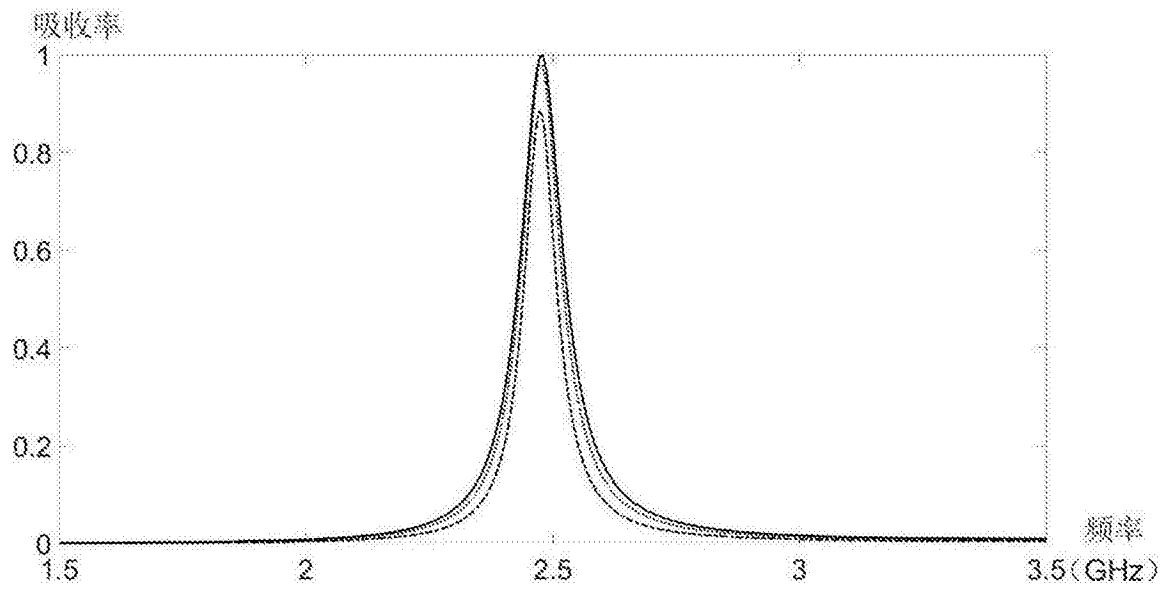


图8

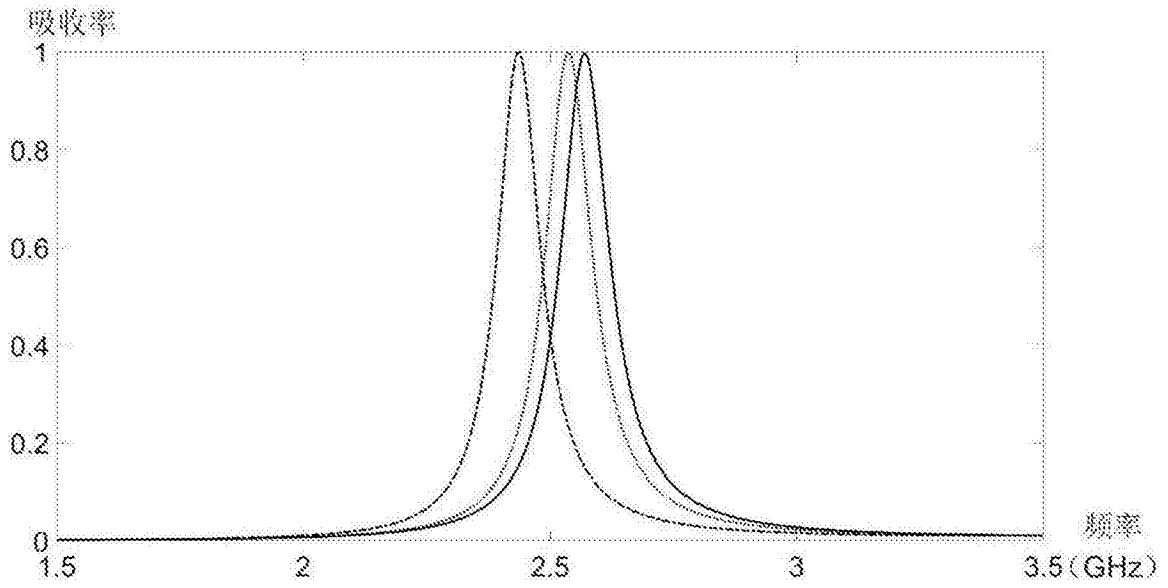


图9

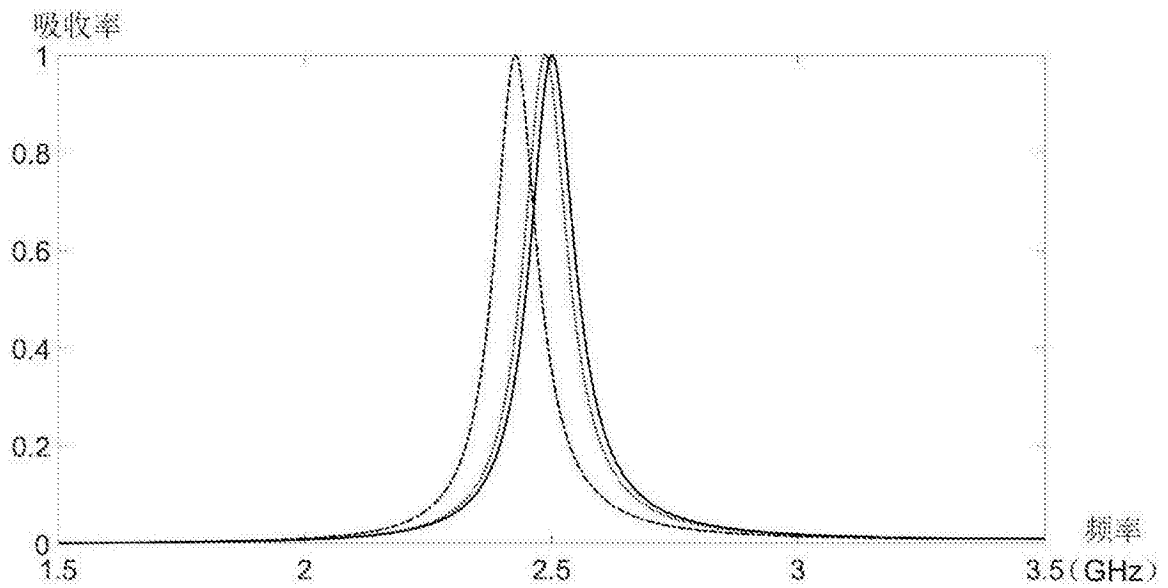


图10

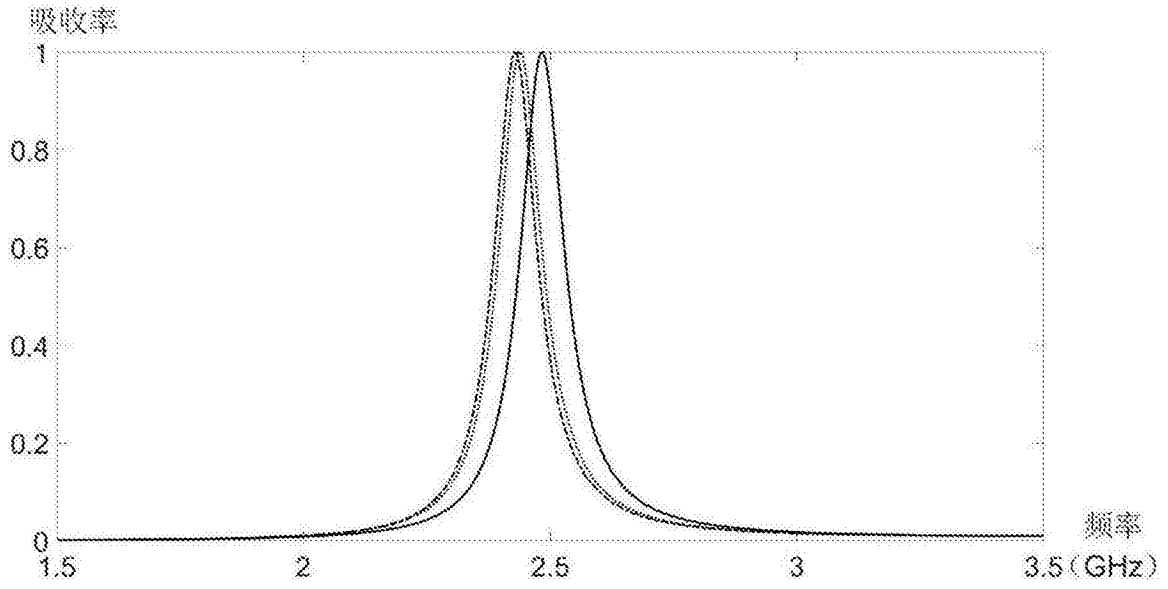


图11

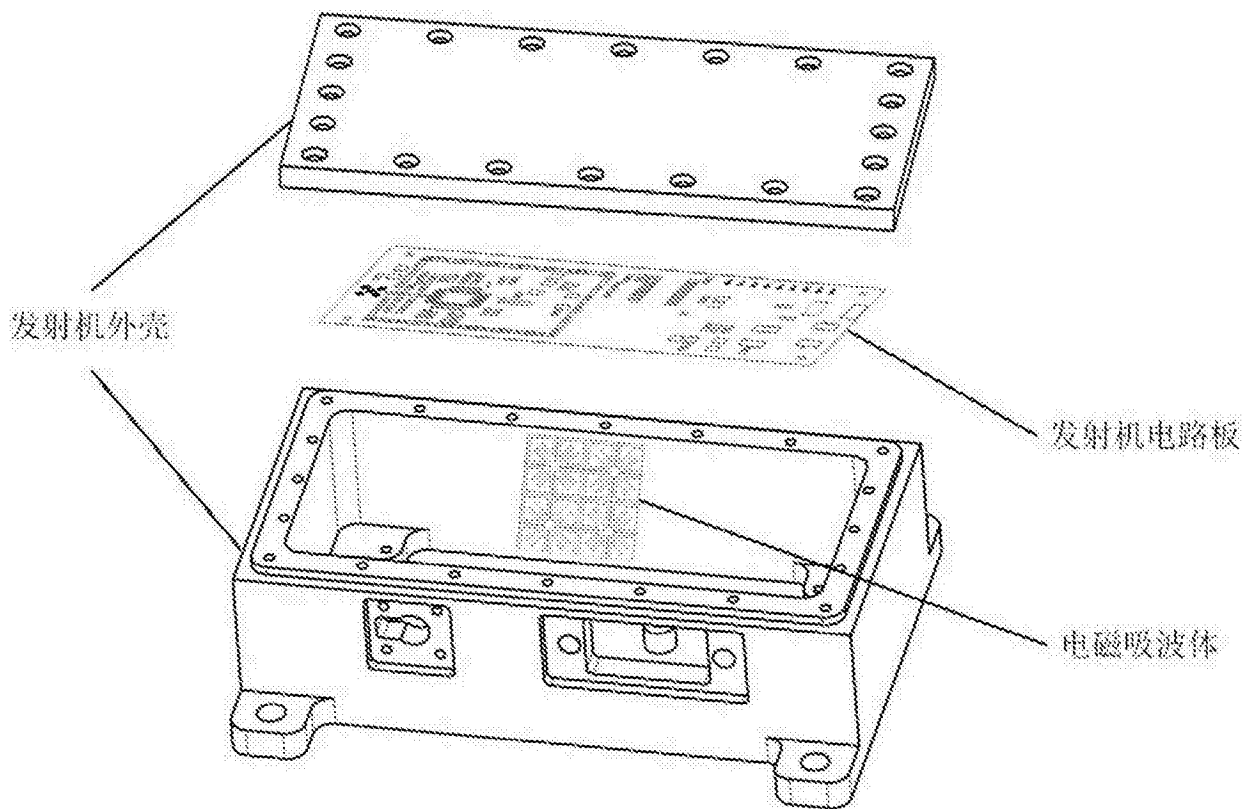


图12