



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109546986 A

(43)申请公布日 2019.03.29

(21)申请号 201811450759.4

(22)申请日 2018.11.29

(71)申请人 中国科学院半导体研究所

地址 100083 北京市海淀区清华东路甲35号

(72)发明人 陈泽基 阚泉 袁泉 杨晋玲
杨富华

(74)专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司 11021

代理人 李坤

(51)Int.Cl.

H03H 9/05(2006.01)

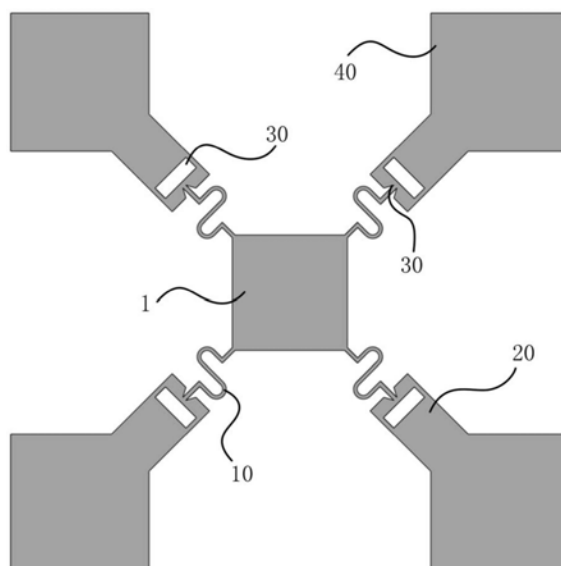
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

用于降低能量损耗的RF-MEMS谐振器支撑结构

(57)摘要

本公开提供一种用于降低能量损耗的RF-MEMS谐振器支撑结构,包括:支撑梁、后端支撑结构以及至少两级能量阻断结构;支撑梁与谐振器连接;后端支撑结构设置于支撑梁和基座之间,用于减小支撑梁与基座间的连接刚度,增大固-气界面,反射向后端支撑结构两侧传输的弹性波;能量阻断结构设置在支撑梁和后端支撑结构的连接处、后端支撑结构和/或基座上,用于阻断弹性波在谐振器支撑结构中的扩散路径。本公开提供的用于降低能量损耗的RF-MEMS谐振器支撑结构针对开发高频率高Q值谐振器的技术瓶颈,提出一种低损耗的支撑结构设计方案,在不增加工艺难度的前提下显著改善器件性能,实现高性能谐振器的批量化生产,在无线通信系统中具有更广阔的应用前景。



1. 一种用于降低能量损耗的RF-MEMS谐振器支撑结构,包括:
支撑梁,其一端沿谐振器的边沿与谐振器连接,另一端与后端支撑结构连接;
后端支撑结构,设置于所述支撑梁和基座之间,用于减小所述支撑梁与基座间的连接刚度,增大固-气界面,反射向所述后端支撑结构两侧传输的弹性波;
至少两级能量阻断结构,设置在所述支撑梁和所述后端支撑结构的连接处、所述后端支撑结构和/或基座上,用于阻断弹性波在谐振器支撑结构中的扩散路径。
2. 根据权利要求1所述的用于降低能量损耗的RF-MEMS谐振器支撑结构,所述支撑梁中包含多个转折和/或弯曲形状,用于减小刚度和振幅,延长声学传输路径,增加固-气界面。
3. 根据权利要求2所述的用于降低能量损耗的RF-MEMS谐振器支撑结构,所述支撑梁的形状包括:S形、圆环形、方框形、梳齿形或其中至少两种形状的组合。
4. 根据权利要求2所述的用于降低能量损耗的RF-MEMS谐振器支撑结构,所述支撑梁包括:直梁、折叠梁、框架梁、弧形梁或其中至少两种结构的组合;
其中,所述谐振器和每个所述后端支撑结构之间包括至少一根所述支撑梁。
5. 根据权利要求2所述的用于降低能量损耗的RF-MEMS谐振器支撑结构,所述支撑梁的形状为轴对称、中心对称或旋转对称。
6. 根据权利要求1所述的用于降低能量损耗的RF-MEMS谐振器支撑结构,其中:
设置在所述支撑梁和所述后端支撑结构的连接处的所述能量阻断结构为单个或阵列排布的多个孔洞结构;
该孔洞的形状包括:三角形、梯形、弧形、矩形或其中至少两种形状的组合;
该能量阻断结构的所述孔洞中的填充物为空气或声学阻抗与所述后端支撑结构不同的固体材料。
7. 根据权利要求1所述的用于降低能量损耗的RF-MEMS谐振器支撑结构,其中:
所述后端支撑结构和/或所述基座上的二级和/或二级以上的所述能量阻断结构为单个或阵列排布的多个孔洞结构;
该孔洞的形状包括:矩形、扇形、椭圆形或其中至少两种形状的组合;
该能量阻断结构的所述孔洞中的填充物为空气或声学阻抗与所述后端支撑结构不同的固体材料。
8. 根据权利要求1所述的用于降低能量损耗的RF-MEMS谐振器支撑结构,其中:
所述后端支撑结构的形状包括:矩形梁、折叠梁、弧形梁或其中至少两种形状的组合;
所述后端支撑结构与所述支撑梁和/或所述基座的连接处设置有所述能量阻断结构。
9. 根据权利要求1所述的用于降低能量损耗的RF-MEMS谐振器支撑结构,其中:
所述谐振器工作在面内或面外振动模态下,包括:Lamé模态、酒杯状模态、回音壁模态、面外弯曲模态;
所述谐振器的形状包括:方形、圆形、环形;
所述谐振器的材料包括:硅基、金刚石、III-V族半导体、压电材料。
10. 根据权利要求1至9中任一项所述的用于降低能量损耗的RF-MEMS谐振器支撑结构,所述支撑梁、所述后端支撑结构和所述基座均包括4个。

用于降低能量损耗的RF-MEMS谐振器支撑结构

技术领域

[0001] 本公开涉及射频微机电系统(RF-MEMS)技术领域,尤其涉及一种用于降低能量损耗的RF-MEMS谐振器支撑结构。

背景技术

[0002] 下一代无线通信系统呈现出集成化、小型化、低功耗、高频率、多模式的发展趋势,相较于传统谐振器,RF-MEMS谐振器凭借抗震效果好、高频高Q值、低功耗、小尺寸、可集成、低成本等优势,被视为未来无线通信系统的理想射频器件,具有广阔的应用前景。

[0003] MEMS谐振器主要可分为两大类型:面外振动模态,如面外弯曲模态、扭转模态、厚度拉伸模态,等;面内振动模态,如径向轮廓模态、方形伸缩模态、平面剪切模态,等。相较于面外振动模态,面内振动模态的谐振频率由平面尺寸所定义,可在同一晶圆上实现多种尺寸,获得多种谐振频率,满足无线通信系统的多模式需求。

[0004] 然而,在实现本公开的过程中,本申请发明人发现,支撑梁是MEMS谐振器中广泛采用的一种支撑结构,正常情况下,支撑梁尺寸应远小于谐振器尺寸以降低支撑损耗。然而,随着谐振频率的提高,谐振器尺寸减小,而受制于光刻精度,支撑梁尺寸难以随之等比例缩小。因此,支撑梁在整个器件结构中的相对刚度提高;且由于支撑梁与谐振结构之间连接面积增大,更多大振幅区域的能量耦合进入支撑梁。上述因素导致支撑梁弹性势能增大,在输入能量一定的情况下,支撑损耗加剧,Q值衰减,并伴随着谐振器模态扭曲。因此,迫切需要优化支撑结构,降低支撑损耗。

[0005] 公开内容

[0006] (一)要解决的技术问题

[0007] 基于上述技术问题,本公开提供一种用于降低能量损耗的RF-MEMS谐振器支撑结构,以缓解现有技术中的谐振器支撑梁弹性势能增大,支撑损耗加剧,Q值衰减,并伴随着谐振器模态扭曲的技术问题。

[0008] (二)技术方案

[0009] 本公开提供一种用于降低能量损耗的RF-MEMS谐振器支撑结构,包括:支撑梁,其一端沿谐振器的边沿与谐振器连接,另一端与后端支撑结构连接;后端支撑结构,设置于所述支撑梁和基座之间,用于减小所述支撑梁与基座间的连接刚度,增大固-气界面,反射向所述后端支撑结构两侧传输的弹性波;至少两级能量阻断结构,设置在所述支撑梁和所述后端支撑结构的连接处、所述后端支撑结构和/或基座上,用于阻断弹性波在谐振器支撑结构中的扩散路径。

[0010] 在本公开的一些实施例中,所述支撑梁中包含多个转折和/或弯曲形状,用于减小刚度和振幅,延长声学传输路径,增加固-气界面。

[0011] 在本公开的一些实施例中,所述支撑梁的形状包括:S形、圆环形、方框形、梳齿形或其中至少两种形状的组合。

[0012] 在本公开的一些实施例中,所述支撑梁包括:直梁、折叠梁、框架梁、弧形梁或其中

至少两种结构的组合；其中，所述谐振器和每个所述后端支撑结构之间包括至少一根所述支撑梁。

[0013] 在本公开的一些实施例中，所述支撑梁的形状为轴对称、中心对称或旋转对称。

[0014] 在本公开的一些实施例中，其中：设置在所述支撑梁和所述后端支撑结构的连接处的所述能量阻断结构为单个或阵列排布的多个孔洞结构；该孔洞的形状包括：三角形、梯形、弧形、矩形或其中至少两种形状的组合；该能量阻断结构的所述孔洞中的填充物为空气或声学阻抗与所述后端支撑结构不同的固体材料。

[0015] 在本公开的一些实施例中，其中：所述后端支撑结构和/或基座上的二级和/或二级以上的所述能量阻断结构为单个或阵列排布的多个孔洞结构；该孔洞的形状包括：矩形、扇形、椭圆形或其中至少两种形状的组合；该能量阻断结构的所述孔洞中的填充物为空气或声学阻抗与所述后端支撑结构不同的固体材料。

[0016] 在本公开的一些实施例中，其中：所述后端支撑结构的形状包括：矩形梁、折叠梁、弧形梁或其中至少两种形状的组合；所述后端支撑结构与所述支撑梁和/或所述基座的连接处设置有所述能量阻断结构。

[0017] 在本公开的一些实施例中，其中：所述谐振器工作在面内或面外振动模式下，包括：Lamé模态、酒杯状模态、回音壁模态、面外弯曲模态；所述谐振器的形状包括：方形、圆形、环形；所述谐振器的材料包括：硅基、金刚石、III-V族半导体、压电材料。

[0018] 在本公开的一些实施例中，所述支撑梁、所述后端支撑结构和所述基座均包括4个。

[0019] (三) 有益效果

[0020] 从上述技术方案可以看出，本公开提供的用于降低能量损耗的RF-MEMS谐振器支撑结构具有以下有益效果的其中之一或其中一部分：

[0021] (1) 本公开提供的用于降低能量损耗的RF-MEMS谐振器支撑结构针对开发高频率高Q值谐振器的技术瓶颈，提出一种低损耗的支撑结构设计方案，在不增加工艺难度的前提下显著改善器件性能，实现高性能谐振器的批量化生产，使RF-MEMS谐振器在无线通信系统中具有更广阔的应用前景；

[0022] (2) 本公开提供的用于降低能量损耗的RF-MEMS谐振器支撑结构能够广泛适用于各类基于支撑梁结构的面内或面外振动模态谐振器，具有广泛的适用性和良好的拓展性，在显著改善器件性能的同时缩短研发周期，提高RF-MEMS器件的市场竞争力。

附图说明

[0023] 图1为本公开提供的用于降低能量损耗的RF-MEMS谐振器支撑结构的结构示意图。

[0024] 图2为本公开提供的用于降低能量损耗的RF-MEMS谐振器支撑结构的另一种结构示意图。

[0025] 图3为本公开提供的用于降低能量损耗的RF-MEMS谐振器支撑结构的再一种结构示意图。

[0026] 【附图中本公开实施例主要元件符号说明】

[0027] 1-谐振器；

[0028] 10-支撑梁；

- [0029] 11-直梁;
- [0030] 12-弧形梁;
- [0031] 20-后端支撑结构;
- [0032] 30-能量阻断结构;
- [0033] 40-基座;
- [0034] 50-平面酒杯模态;
- [0035] 60-位移节点;
- [0036] 70-方形轮廓模态。

具体实施方式

[0037] 本公开提供的用于降低能量损耗的RF-MEMS谐振器支撑结构通过设置支撑梁、后端支撑结构以及设置于其上的能量阻断结构,能够不增加工艺难度和成本的前提下,减小高频谐振器支撑结构的振幅和刚度,减小模态的扭曲失真,并提高Q值。

[0038] 为使本公开的目的、技术方案和优点更加清楚明白,以下结合具体实施例,并参照附图,对本公开进一步详细说明。

[0039] 本公开实施例提供一种用于降低能量损耗的RF-MEMS谐振器支撑结构,如图1至图3所示,包括:支撑梁10、后端支撑结构20以及能量阻断结构30。

[0040] 在本公开的一些实施例中,如图1至图3所示,支撑梁10的一端沿谐振器1的边沿与谐振器1(例如谐振器1的振动位移节点60)连接,另一端与后端支撑结构20连接;后端支撑结构20设置于支撑梁10和基座40之间,用于减小支撑梁10与基座40间的连接刚度,增大固-气界面,反射向后端支撑结构20两侧传输的弹性波;至少两级能量阻断结构30设置在支撑梁10和后端支撑结构20的连接处、后端支撑结构20和/或基座40上,用于阻断弹性波在谐振器支撑结构中的扩散路径;其中,设置在支撑梁10和后端支撑结构20的连接处的能量阻断结构30基于声学阻抗失配原理,反射弹性波,实现能量阻断,用于阻断弹性波在后端支撑结构20中的扩散路径,将能量反射回谐振器1中,减小梁根部的支撑损耗;设置在后端支撑结构20和/或基座40上的能量阻断结构30用于阻断未被在前设置的能量阻断结构30反射,继续向基座40传输的弹性波,减小耦合进入基座40的能量,降低损耗。

[0041] 在本公开的一些实施例中,如图1至图3所示,支撑梁10中包含多个转折和/或弯曲形状,用于减小刚度和振幅,延长声学传输路径,增加固-气界面,增强对弹性振动的反射作用,减少能量损耗,同时能够增强声学反射效应,增加缓冲效果。

[0042] 在本公开的一些实施例中,如图1至图3所示,支撑梁10的形状包括:S形、圆环形、方框形、梳齿形或其中至少两种形状的组合。

[0043] 在本公开的一些实施例中,如图1至图3所示,支撑梁10包括:直梁11、折叠梁、框架梁、弧形梁12或其中至少两种结构的组合,形成低刚度、小振幅结构,采用此种设置,能够形成多级缓冲,组成低刚度、小振幅复合结构,延长声波的传输路径,增大与空气接触面积,加强声波在固-气界面的反射效应。

[0044] 在本公开的一些实施例,谐振器1和每个后端支撑结构20之间包括至少一根支撑梁10。

[0045] 在本公开的一些实施例中,如图1至图3所示,支撑梁10的形状为轴对称、中心对称

或旋转对称。

[0046] 在本公开的一些实施例中,支撑梁10的材料可以与谐振器相同或不同。

[0047] 在本公开的一些实施例中,如图1至图3所示,其中:设置在支撑梁10和后端支撑结构20的连接处的能量阻断结构30为单个或阵列排布的多个孔洞结构;该孔洞的形状包括:三角形、梯形、弧形、矩形或其中至少两种形状的组合;该能量阻断结构30的孔洞中的填充物为空气或声学阻抗与后端支撑结构20不同的固体材料。

[0048] 在本公开的一些实施例中,如图1至图3所示,其中:后端支撑结构20和/或基座40上的二级和/或二级以上的能量阻断结构30为单个或阵列排布的多个孔洞结构;后端支撑结构20和/或基座40上的能量阻断结构30的形状包括:矩形、扇形、椭圆形或其中至少两种形状的组合;该能量阻断结构30的孔洞中的填充物为空气或声学阻抗与后端支撑结构20不同的固体材料。

[0049] 在本公开的一些实施例中,如图1至图3所示,其中:后端支撑结构20根据实现最大能量反射的需求,其形状包括:矩形梁、折叠梁、弧形梁或其中至少两种形状的组合;后端支撑结构20与支撑梁10和/或基座40的连接处设置有能量阻断结构30。

[0050] 在本公开的一些实施例中,后端支撑结构20的材料与谐振器相同或不同。

[0051] 在本公开的一些实施例中,其中:谐振器工作在面内或面外振动模态下,包括:Lamé模态、酒杯状模态、回音壁模态、面外弯曲模态;谐振器的形状包括:方形、圆形、环形;谐振器的材料包括:硅基、金刚石、III-V族半导体、压电材料。

[0052] 在本公开的一些实施例中,支撑梁10、后端支撑结构20和基座40均包括4个。

[0053] 以下以多个具体实施例,验证本公开实施例提供的用于降低能量损耗的RF-MEMS谐振器支撑结构的有效性:

[0054] 实施例一

[0055] 请参阅图2,本实施例提供一种具有“凸字形”支撑梁10的用于降低能量损耗的RF-MEMS谐振器支撑结构。

[0056] 谐振器为工作在平面酒杯模态50的圆盘谐振器,其位移节点60位于圆周上,如图2(b)。

[0057] 支撑梁10为低刚度的复合梁,呈“凸字形”,为轴对称结构,双重折叠梁结构用以降低复合梁刚度并对支撑梁所受剪切应力起缓冲作用,减小振幅;同时,折叠结构增大了与空气的接触面积,增强了对耦合能量的反射效果;

[0058] 设置在支撑梁10和后端支撑结构20的连接处的能量阻断结构30采用倒三角孔洞结构,填充物为SiO₂;

[0059] 后端支撑结构20上的能量阻断结构30采用矩形孔洞结构,填充物为SiO₂;

[0060] 后端支撑结构20采用简单的长条形结构,连接支撑梁10与基座40。

[0061] 实施例二

[0062] 请参阅图3,本实施例提供一种具有环状结构支撑梁10的用于降低能量损耗的RF-MEMS谐振器支撑结构。

[0063] 谐振器为工作在方形轮廓模态70的方块谐振器,如图3(b)所示。

[0064] 支撑梁10为低刚度的复合梁,呈环形,为轴对称结构,包括直梁11和弧形梁12,用以减轻复合梁的刚度并对复合梁所受拉伸应力起缓冲作用,减小振幅;同时,弧形结构增大

了与空气的接触面积,增强了对耦合能量的反射效果;

[0065] 设置在支撑梁10和后端支撑结构20的连接处的能量阻断结构30采用倒梯形孔状结构,填充物为空气;

[0066] 后端支撑结构20上的能量阻断结构30采用扇形孔状结构,填充物为空气;

[0067] 后端支撑结构20采用简单的长条形结构,连接支撑梁10与基座40,与基座40的连接位置附近还分布有矩形孔状结构的能量阻断结构30。

[0068] 依据以上描述,本领域技术人员应当对本公开实施例提供的用于降低能量损耗的RF-MEMS谐振器支撑结构有了清楚的认识。

[0069] 综上所述,本公开提供的用于降低能量损耗的RF-MEMS谐振器支撑结构针对高频谐振器的支撑梁受工艺限制,难以等比例缩小以致能量损耗过大,Q值衰减的问题,开发了新型低刚度、小振幅复合支撑梁,通过降低支撑端弹性势能,可减小能量向基座的耗散,大幅降低支撑损耗,显著提高Q值。

[0070] 还需要说明的是,实施例中提到的方向用语,例如“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”等,仅是参考附图的方向,并非用来限制本公开的保护范围。贯穿附图,相同的元素由相同或相近的附图标记来表示。在可能导致对本公开的理解造成混淆时,将省略常规结构或构造。

[0071] 并且图中各部件的形状和尺寸不反映真实大小和比例,而仅示意本公开实施例的内容。另外,在权利要求中,不应将位于括号之间的任何参考符号构造成对权利要求的限制。

[0072] 类似地,应当理解,为了精简本公开并帮助理解各个公开方面中的一个或多个,在上面对本公开的示例性实施例的描述中,本公开的各个特征有时被一起分组到单个实施例、图、或者对其的描述中。然而,并不应将该公开的方法解释成反映如下意图:即所要求保护的本公开要求比在每个权利要求中所明确记载的特征更多的特征。更确切地说,如前面的权利要求书所反映的那样,公开方面在于少于前面公开的单个实施例的所有特征。因此,遵循具体实施方式的权利要求书由此明确地并入该具体实施方式,其中每个权利要求本身都作为本公开的单独实施例。

[0073] 以上所述的具体实施例,对本公开的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,所应理解的是,以上所述仅为本公开的具体实施例而已,并不用于限制本公开,凡在本公开的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本公开的保护范围之内。

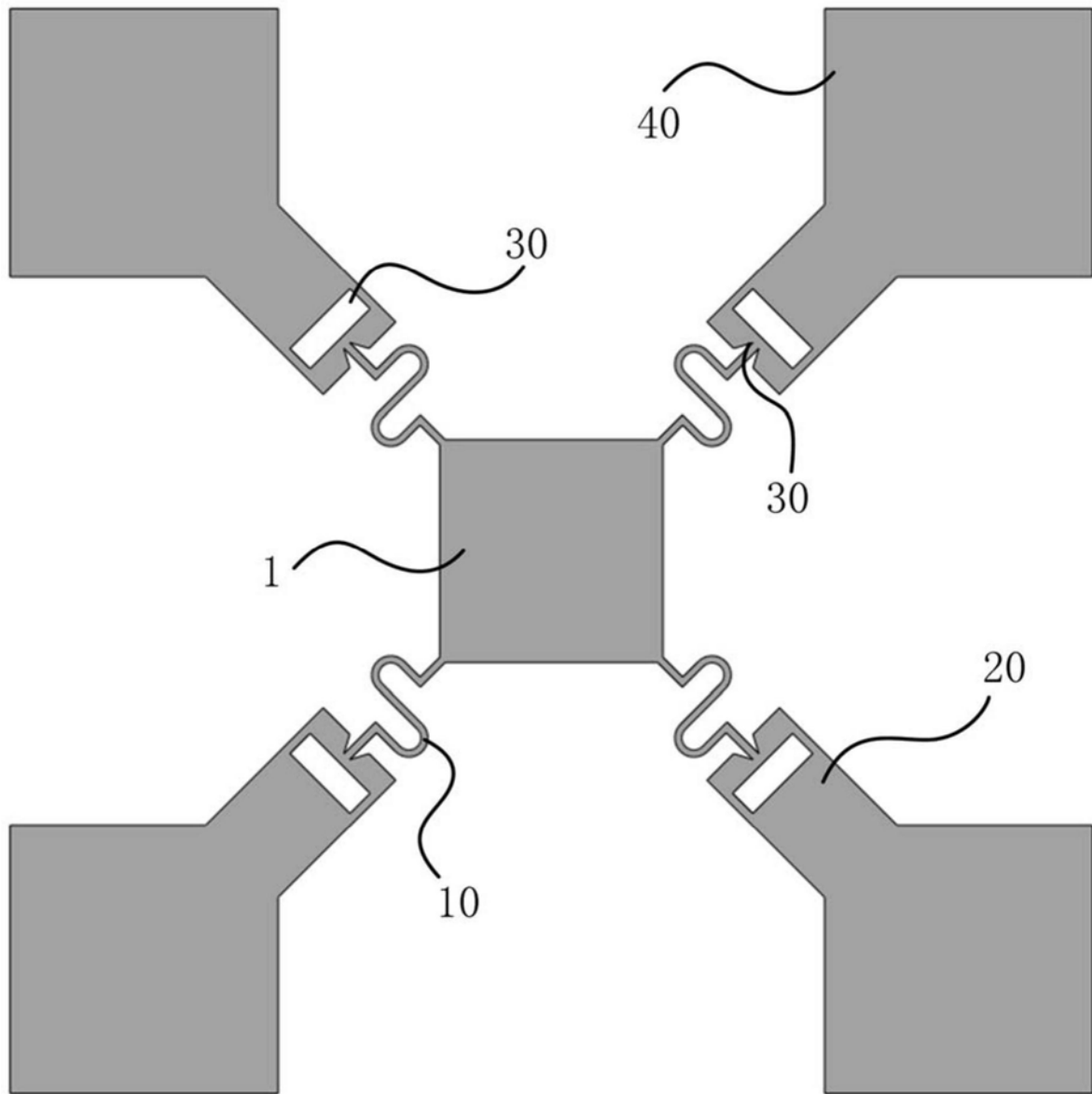
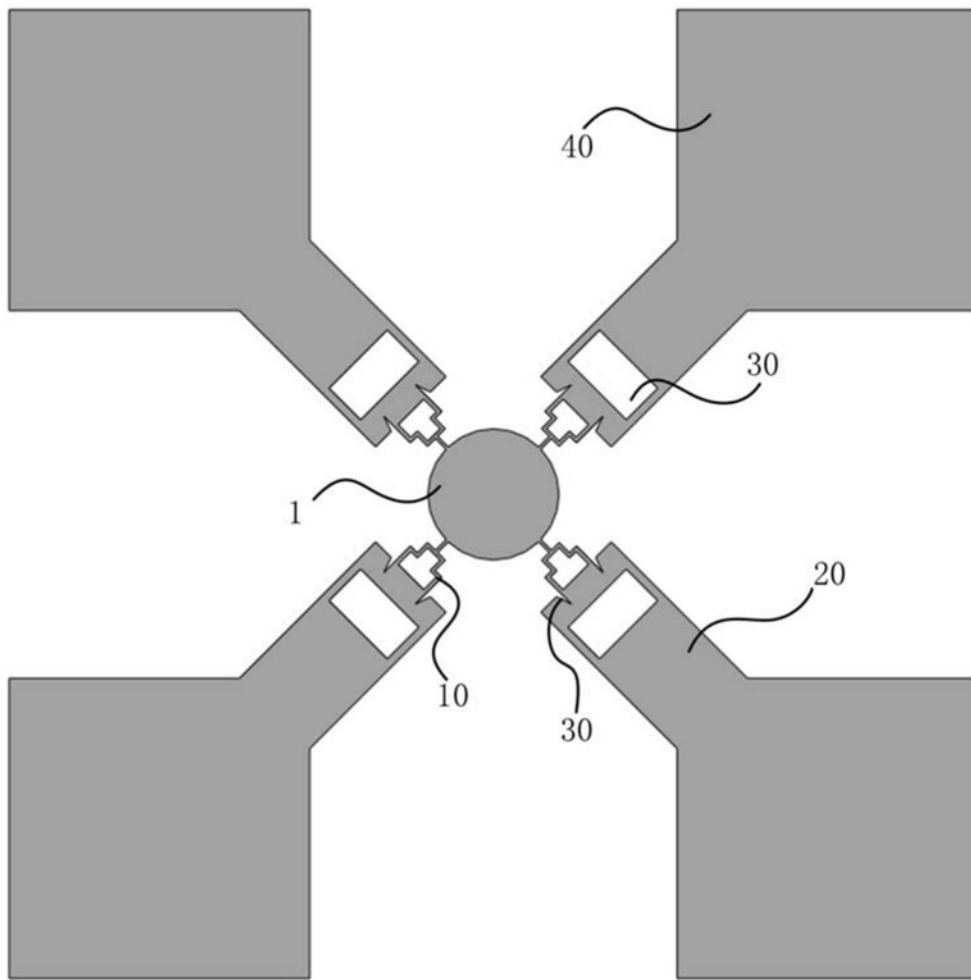
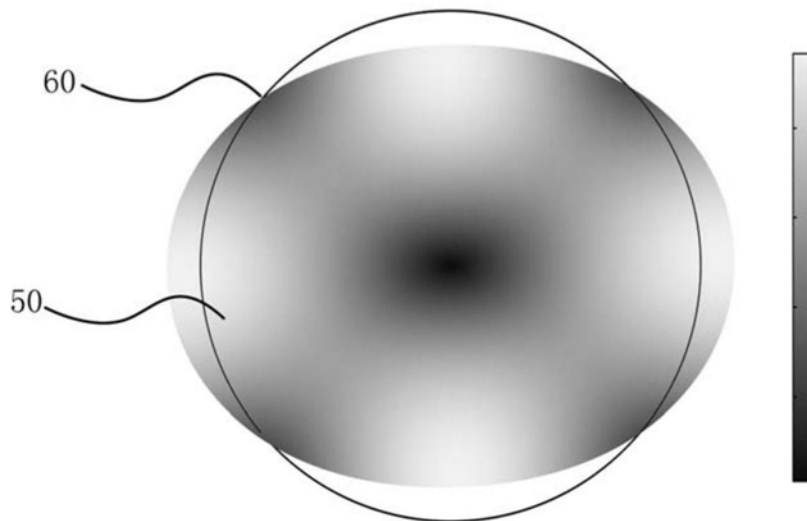


图1

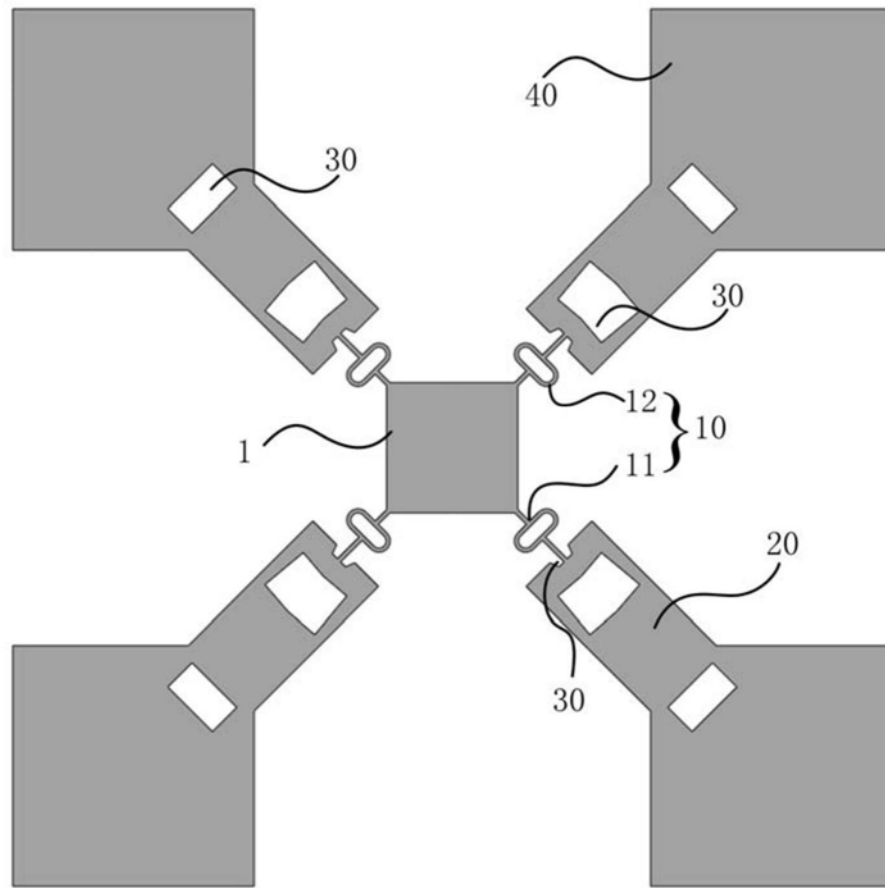


(a)

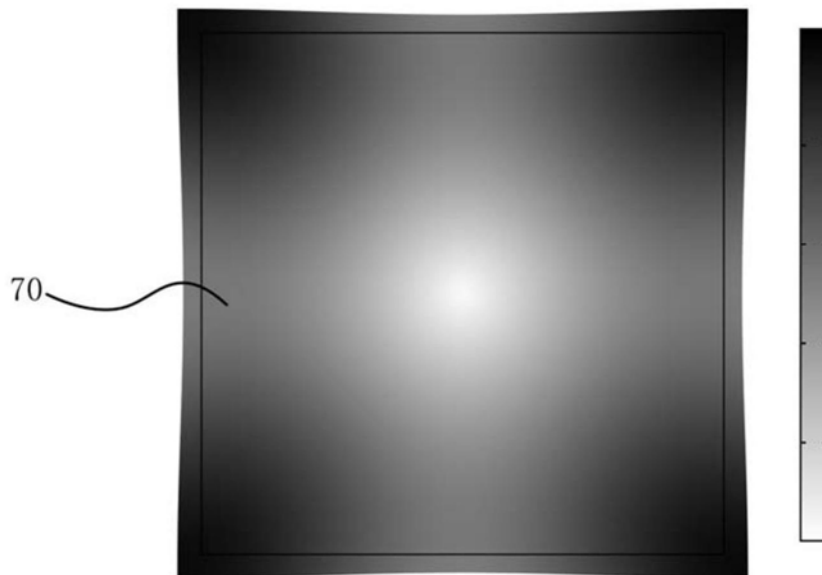


(b)

图2



(a)



(b)

图3