



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112577643 B

(45) 授权公告日 2022.08.05

(21) 申请号 202011458947.9

CN 208998968 U, 2019.06.18

(22) 申请日 2020.12.11

CN 110542494 A, 2019.12.06

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 106959175 A, 2017.07.18

申请公布号 CN 112577643 A

CN 104535227 A, 2015.04.22

(43) 申请公布日 2021.03.30

CN 105300572 A, 2016.02.03

(73) 专利权人 武汉大学

CN 110146198 A, 2019.08.20

地址 430072 湖北省武汉市武昌区八一路  
299号

CN 111780897 A, 2020.10.16

US 2019391024 A1, 2019.12.26

CN 104571760 A, 2015.04.29

US 2016188106 A1, 2016.06.30

(72) 发明人 周圣军 崔恩康 万泽洪 雷宇

CN 109282921 A, 2019.01.29

(74) 专利代理机构 湖北武汉永嘉专利代理有限

CN 103261844 A, 2013.08.21

公司 42102

CN 104729769 A, 2015.06.24

专利代理师 王丹

CN 105387957 A, 2016.03.09

CN 106092384 A, 2016.11.09

(51) Int. Cl.

CN 108168765 A, 2018.06.15

G01L 1/14 (2006.01)

CN 110095211 A, 2019.08.06

G01L 5/165 (2020.01)

CN 111780897 A, 2020.10.16

(56) 对比文件

审查员 刘利

CN 109115376 A, 2019.01.01

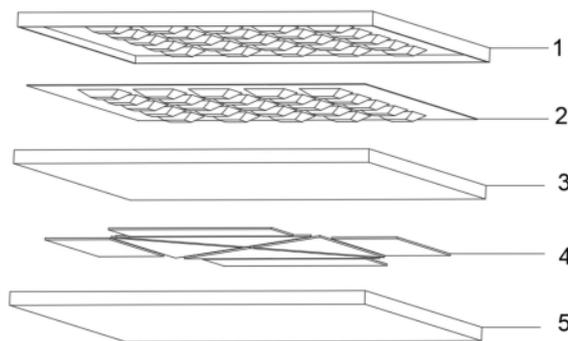
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

## (54) 发明名称

一种实现三轴测力的大量程电容式柔性传感器

## (57) 摘要

本发明提供一种实现三轴测力的大量程电容式柔性传感器,上柔性衬底的底部设有若干高度一致的衬底凸台,上电极为覆盖在上柔性衬底底部的金属层,下电极包括若干中间电极和围绕在中间电极外围的外围电极,中间电极与外围电极一一对应;中间电极与上电极之间形成的电容传感器用于测量正向力,外围电极与上电极之间形成的电容传感器用于测量切向力。本发明利用上柔性衬底自身的柔性以及底部的衬底凸台,使得介质层被完全压缩后,上柔性衬底仍然可以压缩一定的行程,从而有效提升传感器的量程;利用下电极的排布,从而分别测量正向力和切向力。



1. 一种实现三轴测力的大量程电容式柔性传感器,本传感器包括依次连接的上极板、介质层和下极板,其特征在于:

所述的上极板包括上柔性衬底和上电极;上柔性衬底的底部设有若干高度一致的衬底凸台,上柔性衬底的底部周向设有薄壁;上电极为覆盖在上柔性衬底底部的金属层,上电极设有与所述衬底凸台形状一致的电极凸台;

所述介质层为具有三维微孔的弹性介质层,所述薄壁与介质层固定连接;当本传感器未受外力时,所述电极凸台与介质层刚好处于接触状态,相邻电极凸台之间与介质层具有一定距离从而构成空腔;

所述的下极板包括下柔性衬底和覆盖在下柔性衬底顶部的下电极;下电极包括若干中间电极和围绕在中间电极外围的外围电极,中间电极与外围电极一一对应;中间电极与上电极之间形成的电容传感器用于测量正向力,外围电极与上电极之间形成的电容传感器用于测量切向力;

所述上电极在下电极的垂直投影完全覆盖所述的中间电极,并部分覆盖所述的外围电极;

所述的若干高度一致的衬底凸台以阵列形式排布;

所述的上柔性衬底中具有微型弹性小球;

所述的中间电极为4个且形状相同,所述的外围电极为4个且形状相同;4个中间电极与上电极之间形成的电容传感器用于测量正向力;4个外围电极与上电极之间形成两对差动电容,用于测量两个相互垂直的切向力。

2. 根据权利要求1所述的传感器,其特征在于:所述的衬底凸台为梯型。

3. 根据权利要求2所述的传感器,其特征在于:所述的衬底凸台设有底部和顶部,底部为 $600\mu\text{m}\times 600\mu\text{m}$ 的正方形,顶部为 $300\mu\text{m}\times 300\mu\text{m}$ 的正方形,这两个正方形的中心在竖直方向重合,并且二者通过放样拉伸形成所述的衬底凸台。

4. 根据权利要求1所述的传感器,其特征在于:每个中间电极为等腰直角三角形电极,4个等腰直角三角形电极排列成正方形结构,相邻的等腰直角三角形电极之间间隔一定距离;所述的外围电极为与中间电极一一对应的矩形电极,这4个矩形电极排布在等腰直角三角形电极所形成的正方形结构的四周,每个矩形电极的长边的垂直平分线均经过下柔性衬底的中心,且矩形电极的长边与对应等腰直角三角形电极底边具有一定距离。

5. 根据权利要求1所述的传感器,其特征在于:每个中间电极由一个位于内侧的梯形与一个位于外侧的矩形拼接而成,梯形的底边与矩形的长相接,并且矩形的外侧为梳状结构;所述的外围电极为内侧为梳状结构的矩形,每个外围电极与对应的中间电极通过梳状结构交叉,交叉处具有一定间距。

6. 根据权利要求1所述的传感器,其特征在于:所述的下柔性衬底采用PI材料,下柔性衬底的顶部通过光刻或电镀技术覆盖所述下电极。

7. 根据权利要求1所述的传感器,其特征在于:所述的上柔性衬底采用PI材料,包括一个 $5500\mu\text{m}\times 5500\mu\text{m}\times 10\mu\text{m}$ 的方形薄板。

## 一种实现三轴测力的大量程电容式柔性传感器

### 技术领域

[0001] 本发明属于电容式柔性传感器领域,具体涉及一种实现三轴测力的大量程电容式柔性传感器。

### 背景技术

[0002] 随着机器人技术的发展以及人体智能穿戴设备的普及,现代社会对于柔性传感器的性能提出了越来越高的要求。而电容式传感器由于其温度稳定性好、结构简单等优点被广泛应用。

[0003] 但是目前的电容式柔性传感器仍然存在一定问题。例如应用于机器人手指的触觉传感器在拿捏物体时会受到一个三轴力,而该三轴力可以分解为由于按压所产生的正向力以及由于摩擦所产生的切向力,切向力又包括两个相互垂直的切向力。传统的电容传感器是通过极板间的距离变化来测量正向力以及通过极板间的正对面积变化来测量切向力。当传感器同时受到正向力与两个切向力时,极板的距离与正对面积会同时发生改变,因此传感器无法同时分别测量出正向力与两个切向力的大小。所以设计出一种可以同时分别测量正向力与两个相互垂直的切向力的电容式柔性传感器至关重要。

[0004] 除此以外,许多科研人员针对介质层的结构提出了许多设计方案以提高传感器的灵敏度。在初始电容一定的情况下,介质层中的空气比例越大,传感器的灵敏度越大,但是测量范围越小。许多的介质层设计方案在提高灵敏度的同时牺牲了测量范围。

### 发明内容

[0005] 本发明要解决的技术问题是:提供一种实现三轴测力的大量程电容式柔性传感器,同时分别测量正向力与切向力,并且提升测量范围。

[0006] 本发明为解决上述技术问题所采取的技术方案为:一种实现三轴测力的大量程电容式柔性传感器,本传感器包括依次连接的上极板、介质层和下极板,其特征在于:

[0007] 所述的上极板包括上柔性衬底和上电极;上柔性衬底的底部设有若干高度一致的衬底凸台,上柔性衬底的底部周向设有薄壁;上电极为覆盖在上柔性衬底底部的金属层,上电极设有与所述衬底凸台形状一致的电极凸台;

[0008] 所述介质层为具有三维微孔的弹性介质层,所述薄壁与介质层固定连接;当本传感器未受外力时,所述电极凸台与介质层刚好处于接触状态,相邻电极凸台之间与介质层具有一定距离从而构成空腔;

[0009] 所述的下极板包括下柔性衬底和覆盖在下柔性衬底顶部的下电极;下电极包括若干中间电极和围绕在中间电极外围的外围电极,中间电极与外围电极一一对应;中间电极与上电极之间形成的电容传感器用于测量正向力,外围电极与上电极之间形成的电容传感器用于测量切向力;

[0010] 所述上电极在下电极的垂直投影完全覆盖所述的中间电极,并部分覆盖所述的外围电极。

- [0011] 按上述方案,所述的衬底凸台为梯型。
- [0012] 按上述方案,所述的衬底凸台设有底部和顶部,底部为 $600\mu\text{m}\times 600\mu\text{m}$ 的正方形,顶部为 $300\mu\text{m}\times 300\mu\text{m}$ 的正方形,这两个正方形的中心在竖直方向重合,并且二者通过放样拉伸形成所述的衬底凸台。
- [0013] 按上述方案,所述的若干高度一致的衬底凸台以阵列形式排布。
- [0014] 按上述方案,所述的上柔性衬底中具有微型弹性小球。
- [0015] 按上述方案,所述的中间电极为4个且形状相同,所述的外围电极为4个且形状相同;4个中间电极与上电极之间形成的电容传感器用于测量正向力;4个外围电极与上电极之间形成两对差动电容,用于测量两个相互垂直的切向力。
- [0016] 按上述方案,每个中间电极为等腰直角三角形电极,4个等腰直角三角形电极排列成正方形结构,相邻的等腰直角三角形电极之间间隔一定距离;所述的外围电极为与中间电极一一对应的矩形电极,这4个矩形电极排布在等腰直角三角形电极所形成的正方形结构的四周,每个矩形电极的长边的垂直平分线均经过下柔性衬底的中心,且矩形电极的长边与对应等腰直角三角形电极底边具有一定距离。
- [0017] 按上述方案,每个中间电极由一个位于内侧的梯形与一个位于外侧的矩形拼接而成,梯形的底边与矩形的长相接,并且矩形的外侧为梳状结构;所述的外围电极为内侧为梳状结构的矩形,每个外围电极与对应的中间电极通过梳状结构交叉,交叉处具有一定间距。
- [0018] 按上述方案,所述的下柔性衬底采用PI材料,下柔性衬底的顶部通过光刻或电镀技术覆盖所述下电极。
- [0019] 按上述方案,所述的上柔性衬底采用PI材料,包括一个 $5500\mu\text{m}\times 5500\mu\text{m}\times 10\mu\text{m}$ 的方形薄板。
- [0020] 本发明的有益效果为:
- [0021] 1、利用上柔性衬底自身的柔性以及底部的衬底凸台,使得介质层被完全压缩后,上柔性衬底仍然可以压缩一定的行程,从而有效提升传感器的量程;利用下电极的排布,从而分别测量正向力和切向力。
- [0022] 2、由于中间电极的数量不止1个,通过多个测量结果可以得出正向力的分布特征,使得测量结果更为精准;通过4个四周电极与上电极可以形成两对差动电容,从而测量出两个相互垂直的切向力;结合中间电容测量出的正向力,最终实现三轴力的测量。除此以外,还可以通过四周四个电容的大小变化情况确定两个切向力的具体方向。

## 附图说明

- [0023] 图1为本发明实施例一的结构剖视图。
- [0024] 图2为本发明实施例一的结构爆炸图。
- [0025] 图3为上柔性衬底等轴侧视图。
- [0026] 图4为图2的AA剖视图。
- [0027] 图5为上电极结构示意图。
- [0028] 图6为本发明实施例一受到正向力时的形变示意图。
- [0029] 图7为本发明实施例一的上电极与下电极俯视图。
- [0030] 图8为本发明实施例二的上电极与下电极俯视图。

[0031] 图中:1-上柔性衬底,1-1-衬底凸台,1-2-薄壁,2-上电极,2-1-电极凸台,3-介质层,4-下电极,4-1-等腰直角三角形电极,4-2-矩形电极,5-下柔性衬底,6-微型弹性小球,7-空腔,8-上极板,9-下极板。

### 具体实施方式

[0032] 下面结合具体实例和附图对本发明做进一步说明。

[0033] 实施例一:

[0034] 参照图1-图7所示,本实施例主要由上柔性衬底1、上电极2、介质层3、下电极4、下柔性衬底5组成。其中,上柔性衬底1与上电极2共同组成上极板8,下柔性衬底5与下电极4共同组成下极板9。这几个部件通过各种工艺封装为一体。

[0035] 所述的上柔性衬底如图2和图3所示,上柔性衬底1的主体为一个方形薄板,其底部设有若干高度一致的衬底凸台1-1,本实施例中该衬底凸台1-1的竖直截面为梯形,成阵列排布,上柔性衬底1的外围是一圈薄壁1-2,本实施例中,薄壁1-2的高度为 $15\mu\text{m}$ 。

[0036] 本实施例所述的上柔性衬底1采用PI材料,包括一个 $5500\mu\text{m}\times 5500\mu\text{m}\times 10\mu\text{m}$ 的方形薄板,衬底凸台1-1设置在方形薄板的底部。所述的衬底凸台1-1设有底部和顶部,底部为 $600\mu\text{m}\times 600\mu\text{m}$ 的正方形,顶部为 $300\mu\text{m}\times 300\mu\text{m}$ 的正方形,这两个正方形的中心在竖直方向重合,并且二者通过放样拉伸形成所述的衬底凸台1-1。

[0037] 所述的上电极2如图5所示,其为覆盖在上柔性衬底1底部的一层金属薄膜,具有与所述衬底凸台1-1形状一致的电极凸台2-1。

[0038] 所述的介质层3为具有三维微孔的弹性介质层,所述薄壁1-2与介质层3固定连接;当本传感器未受外力时,所述电极凸台2-1与介质层3刚好处于接触状态,相邻电极凸台2-1之间与介质层3具有一定距离从而构成空腔7。

[0039] 下电极4包括若干中间电极和围绕在中间电极外围的外围电极,中间电极与外围电极一一对应。所述的下柔性衬底5为方形薄板结构,其顶部通过光刻、电镀等工艺覆盖了一层上述的下电极。并且下柔性衬底的边长大于整个下电极的边长。中间电极与上电极之间形成的电容传感器用于测量正向力,外围电极与上电极之间形成的电容传感器用于测量切向力。所述上电极2在下电极4的垂直投影完全覆盖所述的中间电极,并部分覆盖所述的外围电极。

[0040] 本实施例中,所述的中间电极为4个且形状相同,所述的外围电极为4个且形状相同,均通过导线与外部连接;4个中间电极与上电极之间形成的电容传感器用于测量正向力;4个外围电极与上电极之间形成两对差动电容,用于测量两个相互垂直的切向力。

[0041] 再进一步的,每个中间电极为等腰直角三角形电极4-1,4个等腰直角三角形电极4-1排列成正方形结构,相邻的等腰直角三角形电极4-1之间间隔一定距离;所述的外围电极为与中间电极一一对应的矩形电极4-2,这4个矩形电极排布在等腰直角三角形电极4-1所形成的正方形结构的四周,每个矩形电极4-2的长边的垂直平分线均经过下柔性衬底的中心,且矩形电极4-2的长边与对应等腰直角三角形电极4-1底边具有一定距离。上电极2与八个下电极共同组成了八个电容。如图7所示,虚线为上电极2边框的垂直投影,这八个下电极与上电极之间共形成了八个电容传感器,分别记作C11、C12、C13、C14以及C21、C22、C23、C24。其中C11、C12、C13、C14代表中间四个电容,主要用于测量正向力。C21、C22、C23、C24代

表四周四个电容,主要用于测量切向力以及确定切向力方向。C21与C22形成一对差动电容,C23与C24形成一对差动电容。

[0042] 本实施例中,等腰直角三角形电极4-1的底为3000 $\mu\text{m}$ ,高为1500 $\mu\text{m}$ 。矩形电极4-2的长为2500 $\mu\text{m}$ ,宽为1000 $\mu\text{m}$ 。矩形电极4-2长边与等腰直角三角形电极4-1底边相距100 $\mu\text{m}$ 。

[0043] 一方面,上柔性衬底1通过薄壁1-2与介质层3实现固定连接;另一方面,做成薄壁1-2主要是为了上柔性衬底1在受到切向力时便于产生位移。上柔性衬底1设计成上述结构的主要作用是提高传感器的测量范围。如图6所示,当传感器受到正向力作用时,其介质层3会被压缩,进而使得上下极板8和9之间的距离变化,最终产生电容变化。但是当介质层3被完全压缩时,由于上柔性衬底1存在内部充满微型弹性小球6的衬底凸台1-1,上柔性衬底1仍然可以被进一步压缩,上下极板8和9之间的距离仍然可以产生变化。这就使得传感器的测量范围得到了提高。

[0044] 进一步地,当该传感器只受到正向力时,中间的四个电容因极板之间的距离减小而增大。该传感器在实际应用中,由于各个位置所受到的正向力大小并不一致,所以中间这四个电容的电容变化量也不相同。由此可以测量出一定范围内的四个不同位置的正向力。相对于传统的电容传感器只能在一个平面范围内测出一个正向力数值,本发明所设计的电容传感器在正向力检测方面具有更突出的优势,而装备该传感器的设备既可以识别出正向力的大小,也可以确定正向力的及分布特征,从而提升设备的性能。

[0045] 进一步地,当该传感器受到一个三维力时,该三维力可以分解为一个正向力以及两个互相垂直的切向力。通过这种上下电极结构的设计,可以分别测量出正向力与两个切向力的大小。由于切向力对于中间四个电容的变化不会产生影响,所以在同时施加正向力与切向力的情况下,仍然可以通过中间四个电容测量出正向力的大小以及分布特征。而四周四个电容的变化主要来自于四个方面:正向力压缩介质层所产生的极板之间的距离变化、正向力压缩上极板所产生的极板之间的距离变化、正向力压缩上极板使其向外侧扩张所产生的的极板之间正对面积的变化以及切向力使上极板位移所产生的极板之间正对面积的变化。设传感器受到+x方向的切向力,C24的电容变化量记作 $\Delta C_{24}$ ,由于上述这四个因素所引起的电容变化量分别记作 $\Delta C_1$ 、 $\Delta C_2$ 、 $\Delta C_3$ 、 $\Delta C_4$ ;C23的电容变化量记作 $\Delta C_{23}$ ,由于上述这四个因素所引起的电容变化量分别记作 $\Delta C_1$ 、 $\Delta C_2$ 、 $\Delta C_3$ 、 $-\Delta C_4$ 。最终可以得出由于切向力所产生的电容变化量 $\Delta C_4 = (\Delta C_{24} - \Delta C_{23}) / 2$ ,而其中 $\Delta C_{24}$ 与 $\Delta C_{23}$ 的值可以直接读取获得。根据公式

$C = \frac{\epsilon A}{d}$ ,已知电容的变化量,可以根据其他条件计算出上下电极正对面积的变化量,从而得到上极板的位移变化量,最终根据上极板位移变化量与切向力的关系确定切向力的大小。同理,可以得到当传感器受到-x、+y、-y这三个方向的切向力时所产生的的电容变化量,从而计算出切向力的大小。

[0046] 进一步地,如表格所示,当传感器受到x方向的切向力时,C23与C24会产生变化,而C21与C22不会产生变化;当传感器受到y方向的切向力时,C21与C22会产生变化,而C23与C24不会产生变化。即该传感器对x方向与y方向切向力的测量不会相互干扰。这就保证了该传感器可以同时分别测量出正向力以及两个相互垂直的切向力的大小。

[0047] 进一步地,如表格所示,当传感器受到+x、-x、+y、-y这四种方向的切向力时,四周四个电容都会有不同的变化情况。所以最终可以根据四周四个电容的变化情况,确定两个

相互垂直的切向力的具体方向。

[0048]		+x	-x	+y	-y
	C21	不变	不变	增大	减小
	C22	不变	不变	减小	增大
	C23	减小	增大	不变	不变
	C24	增大	减小	不变	不变

[0049] 实施例二：

[0050] 本实施例的结构和原理与实施例一相同或相似，其不同之处在于：如图8所示，每个中间电极由一个位于内侧的梯形与一个位于外侧的矩形拼接而成，梯形的底边与矩形的长相接，并且矩形的外侧为梳状结构；所述的外围电极为内侧为梳状结构的矩形，每个外围电极与对应的中间电极通过梳状结构交叉，交叉处具有一定间距。

[0051] 所有的下电极均做成梳状结构，这就使得C23与C24尽可能地接近，使得这两个电容所受到正向力大小的差值尽可能地小，进一步提高了测量精度。

[0052] 本发明利用上柔性衬底1的衬底凸台1-1与其内部的微型弹性小球6，使得介质层3被完全压缩后，上柔性衬底1仍然可以压缩一定的行程，从而有效提升电容式柔性传感器的量程。

[0053] 本传感器的四个中间电容均用于测量正向力，通过四个测量结果可以得出正向力的分布特征，使得测量结果更加精确。

[0054] 通过四个外围电极与上电极可以形成两对差动电容，从而测量出两个相互垂直的切向力。结合中间电容测量出的正向力，最终实现三轴力的测量。除此以外，还可以通过四周四个电容的大小变化情况确定两个切向力的具体方向。

[0055] 以上实施例仅用于说明本发明的设计思想和特点，其目的在于使本领域内的技术人员能够了解本发明的内容并据以实施，本发明的保护范围不限于上述实施例。所以，凡依据本发明所揭示的原理、设计思路所作的等同变化或修饰，均在本发明的保护范围之内。

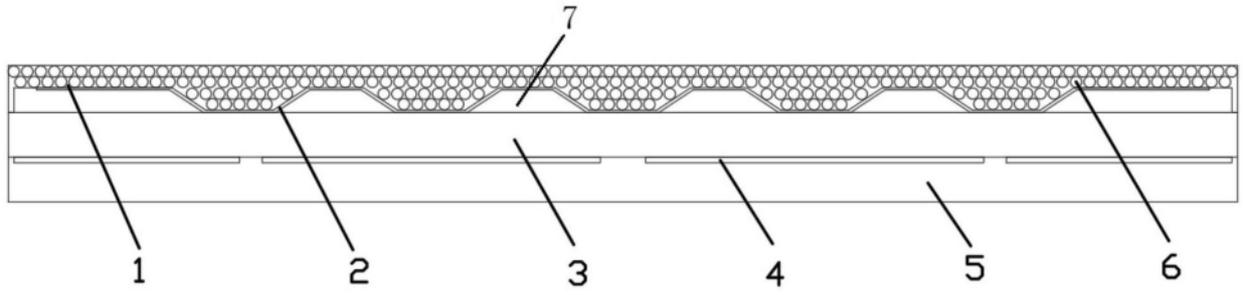


图1

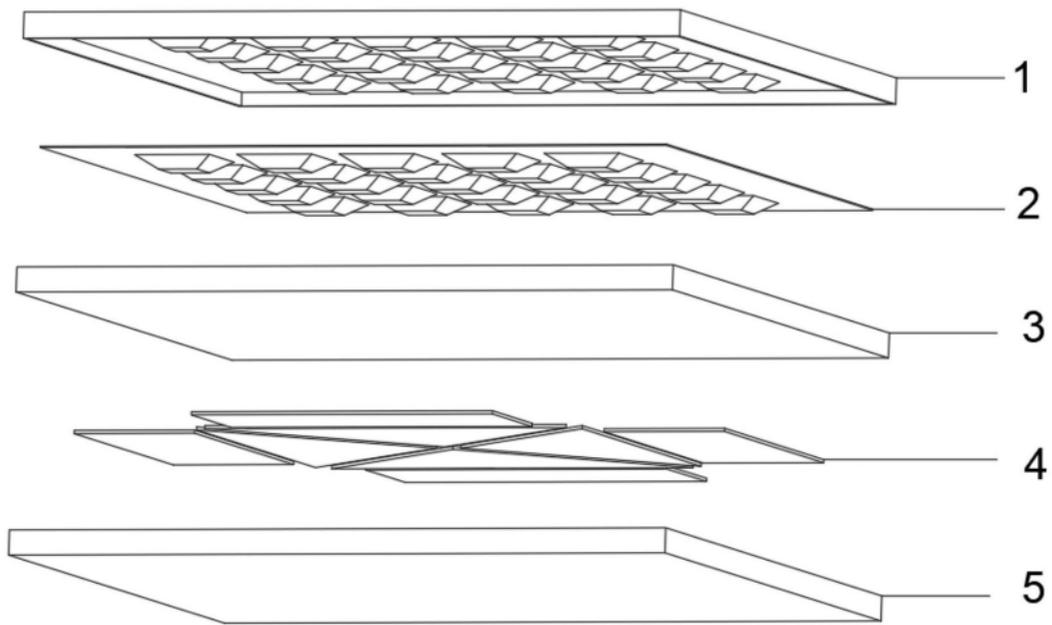


图2

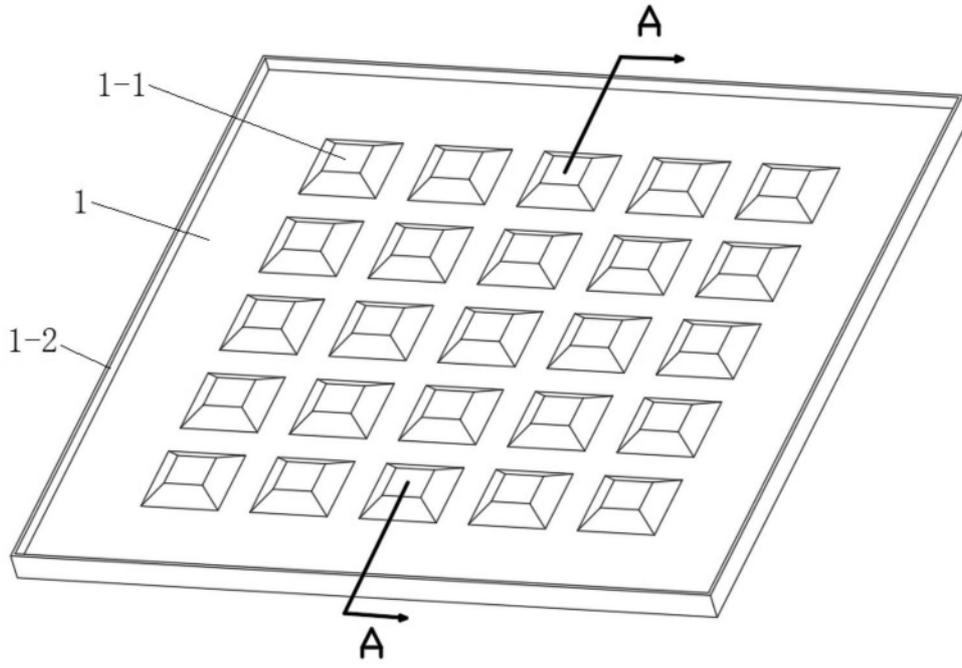


图3

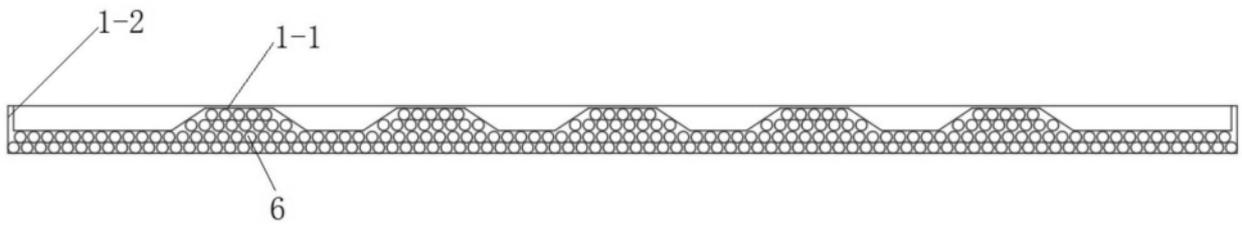


图4

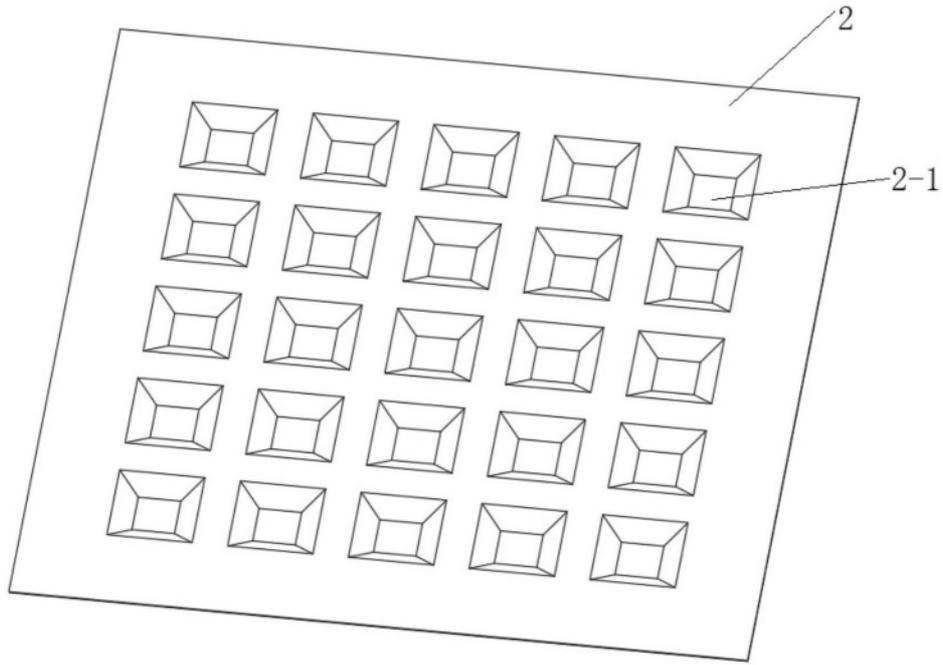


图5

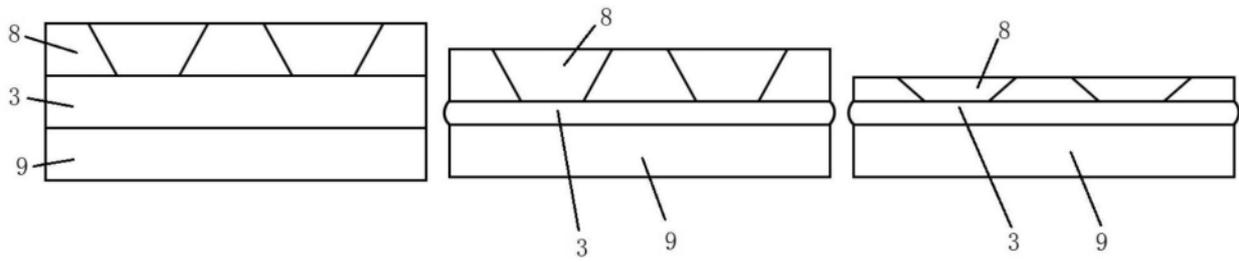


图6

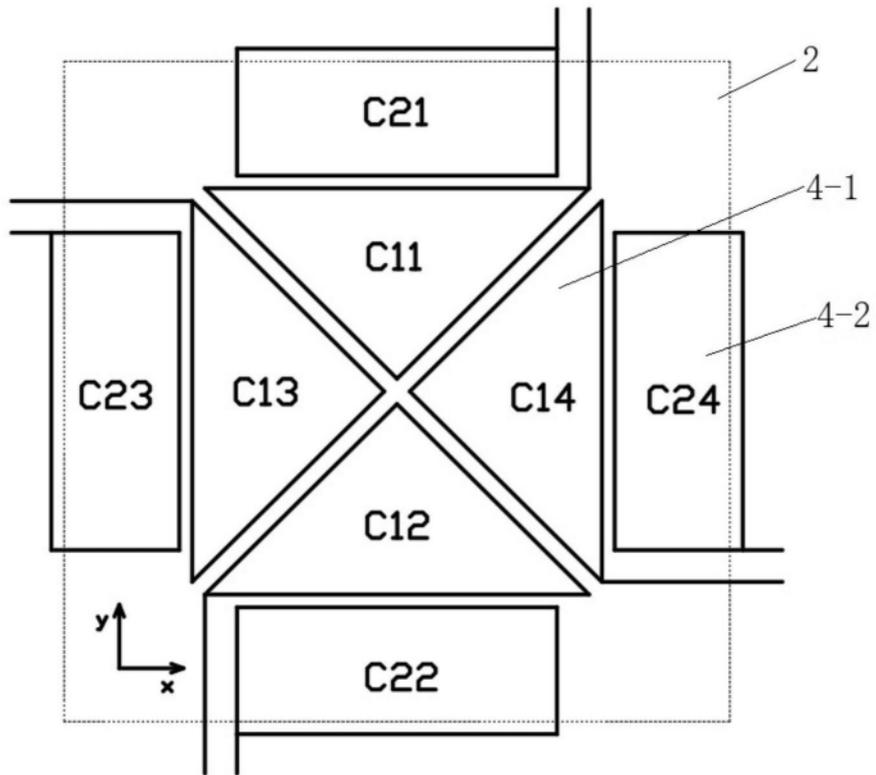


图7

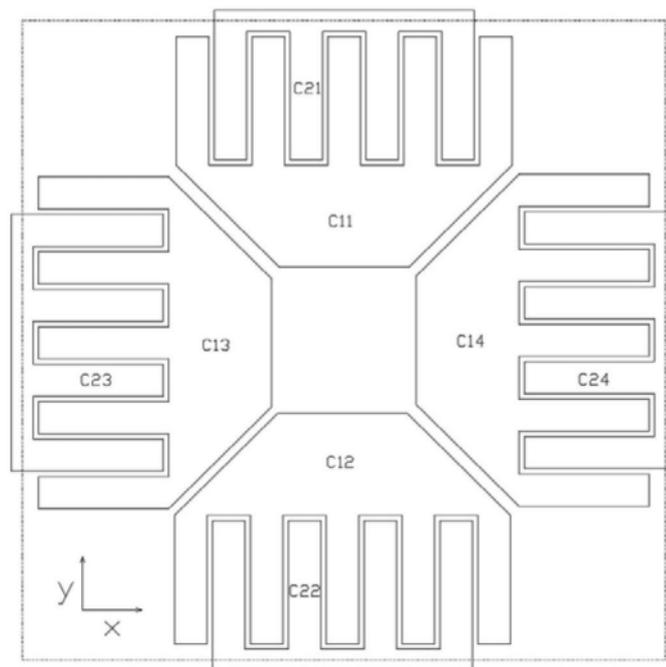


图8