



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114858315 A

(43) 申请公布日 2022.08.05

(21) 申请号 202210366868.8

(22) 申请日 2022.04.08

(71) 申请人 武汉大学

地址 430072 湖北省武汉市武昌区珞珈山
街道八一路299号

(72) 发明人 李辉 张云帆 唐舞阳 申胜男

(74) 专利代理机构 武汉科皓知识产权代理事务
所(特殊普通合伙) 42222

专利代理师 杨宏伟

(51) Int. Cl.

G01L 1/14 (2006.01)

B41M 5/00 (2006.01)

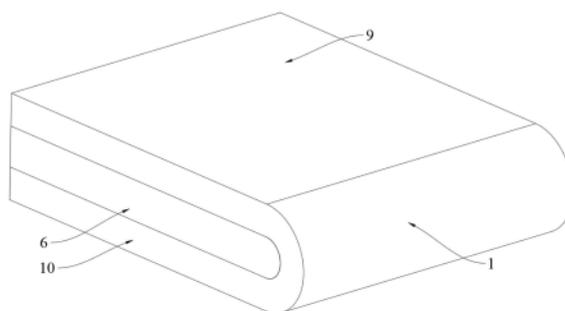
权利要求书1页 说明书5页 附图5页

(54) 发明名称

一种压力传感电子皮肤及其制造工艺

(57) 摘要

本发明公开了一种压力传感电子皮肤及其制造工艺,首先在下层柔性基底上表面通过喷墨打印技术打印电路结构,电路结构包括两个电容极板、分别环绕在每个电容极板四周的电感线圈和将两个电感线圈相连的寄生电路;之后在干燥后的电路结构及其四周的柔性基底上制备电介质层;在电介质层完全固化之前,将三层结构的柔性基底对折,使得两个电容极板刚好平行相对并与两个电容极板之间的电介质层一起构成电容器,两个电感线圈、寄生电路和折叠后形成的电容器一起构成LC电路,固化后完成压力传感电子皮肤的制造。本发明工艺简单,制造成本低廉,制备的压力传感电子皮肤能够实现无源化的柔性压力检测;监测可靠且灵敏度高。



1. 一种压力传感电子皮肤制造工艺,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1、准备下层的柔性基底,所述柔性基底采用柔韧性和延展性的缘性材料制成;

步骤2、在下层柔性基底上表面通过喷墨打印技术打印电路结构,所述电路结构包括两个电容极板、分别环绕在每个电容极板四周的电感线圈和将两个电感线圈相连的寄生电路;

步骤3、将打印好电路结构的柔性基底干燥后备用;

步骤4、在干燥后的电路结构及其四周的柔性基底上制备电介质层,得到三层结构;

步骤5、在电介质层完全固化之前,将三层结构的柔性基底对折,使得两个电容极板刚好平行相对并与两个电容极板之间的电介质层一起构成电容器,两个电感线圈、寄生电路和折叠后形成的电容器一起构成LC电路,固化后完成压力传感电子皮肤的制造。

2. 根据权利要求1所述的压力传感电子皮肤制造工艺,其特征在于:步骤1中,所述柔性基底采用聚酰亚胺制成。

3. 根据权利要求1所述的压力传感电子皮肤制造工艺,其特征在于:步骤2中,所述电路结构为对称电路,使得步骤5中折叠后两电容极板上下正对。

4. 根据权利要求1所述的压力传感电子皮肤制造工艺,其特征在于:步骤2中,在喷墨打印电路结构之前根据喷墨打印墨水种类对柔性基底上表面进行亲疏水调控处理。

5. 根据权利要求1所述的压力传感电子皮肤制造工艺,其特征在于:步骤2中,在喷墨打印电路结构之前采用紫外灯照射基底柔性基底一段时间。

6. 根据权利要求1所述的压力传感电子皮肤制造工艺,其特征在于:步骤3中,打印好电路结构的柔性基底在真空干燥箱中高温干燥固化电路。

7. 根据权利要求1所述的压力传感电子皮肤制造工艺,其特征在于:打印好电路结构的厚度为微米级。

8. 根据权利要求1所述的压力传感电子皮肤制造工艺,其特征在于:步骤4中,所述电介质层为采用延展性好、电阻率高、介电常数大的柔性材料制成。

9. 根据权利要求8所述的压力传感电子皮肤制造工艺,其特征在于:步骤4中,所述电介质层采用聚二甲基硅氧烷,采用喷墨打印技术制备。

10. 一种压力传感电子皮肤,其特征在于,采用权利要求1-9任意一项所述的制造工艺所制造。

一种压力传感电子皮肤及其制造工艺

技术领域

[0001] 本发明属于仿生技术领域,涉及一种仿生皮肤,具体涉及一种压力传感电子皮肤制造工艺及其制造工艺。

背景技术

[0002] 皮肤是人体最大的器官,是人类用于感知外界环境的直接渠道之一。电子皮肤就是一类借助柔性电子技术,制造像人体皮肤那样具备优良感知性能的新型电子器件。它可以将来自外界的各方面刺激(如压力、温度、湿度的变化)转化为可监测的电学信号,以协助人工智能感知外界环境变化。随着柔性电子技术以及人工智能技术的发展,电子皮肤结构的设计、制造以及其灵敏度研究日益成为研究热点。

[0003] 目前,基于金属和半导体材料的传统电子皮肤由于柔韧性欠缺、可穿戴性差,已经难以满足实际使用中对延展性、便携性的需求。即使通过更换材料可使其初步具备一定的延展性,也会由于制造工艺(如MEMS光刻、溅射、蒸镀、刻蚀、封装等)成本高昂、制造步骤繁琐且制造时间周期长而难以大规模批量生产。同时,理论设计与器件制造之间缺乏直接性反馈,难以直接通过设计对器件性能进行定向优化。不仅如此,很多电子皮肤需要人为提供外部电源,给应用场景施加了严格限制,不利于实用推广。

[0004] 因此,目前正需要一种具备优良弯曲延展性能、无源无线、设计制造成本低廉且能大规模批量制造的压力传感电子皮肤,满足人工智能对外界压力感知的需求。

发明内容

[0005] 针对应用于机器人各关节处的人造皮肤所面临的延展性差、需要外接电源、制造成本高等问题,本发明提出了一种由柔性、无内置电源、无线信息传输的微压力传感器所集成的压力传感电子皮肤,可以实现对机器人各关节处压力变化的动态监测,协助机器人感知外界压力变化并获取压力信息,从而使机器人与环境交互系统、感知系统、控制系统三者有机相连。

[0006] 为了解决上述技术问题,本发明采用的技术方案如下:

[0007] 本发明提供一种压力传感电子皮肤,包括柔性下基底、柔性上基底和上下基底之间的LC电路,所述柔性下基底和柔性上基底由一个柔性基底对折而成,所述LC电路由分别设于上下基底上的电容极板、环绕电容极板的电感线圈、将两个电感线圈相连的寄生电路和设于两个电容极板之间的电介质层组成。本发明压力传感电子皮肤配合外部非接触式的矢量网络分析仪分析LC电路的谐振频率,即可对作用于皮肤表面的压力进行测量,实现无源式压力感应测量。

[0008] 针对不同类型机器人的不同运动关节,本发明中的压力传感电子皮肤可根据具体关节尺寸、实际不同压力工况来改变其中柔性压力传感器(LC电路)的尺寸、形状,而不影响功能实现。压力传感电子皮肤贴合在机器人关节表面,其传感器的制造材料具有良好的延展性。

[0009] 本发明还可以根据需要在柔性下基底、柔性上基底之间制备多个LC电路,以实现
对压力传感电子皮肤上分布式多点压力感知测量。

[0010] 目前的仿生机器人已经不像传统机器人那样只会简单地模拟人或机器的某个动
作,很多其他自主动作如奔跑、跳跃、上下楼等不同步态都已纳入在设计之中。不仅如此,很
多人无法实地探测而需要借助机器人完成的工况,如高危场合、狭小空间的压力探测等,
都应根据需求相应地调整设计框架。贴附在机器人关节表面的柔性微压力传感器可以感知
外界压力,压力的上下波动会改变传感器中电容极板间的距离,从而改变电容值,即实现了
从物理信号到电信号的转变。然后通过外部矢量网络分析仪感应传感器中LC电路的谐振频
率变化,进而分析出外加压力的变化,实现对外界压力的动态实时监测。通过压力信息的反
馈,可助于施加后续控制命令,或对设计、算法等环节进行优化。

[0011] 本发明还提供一种压力传感电子皮肤制造工艺,其特征在于,包括以下步骤:

[0012] 步骤1、准备下层的柔性基底,所述柔性基底采用柔韧性和延展性的缘性材料制
成;

[0013] 步骤2、在下层柔性基底上表面通过喷墨打印技术打印电路结构,所述电路结构包
括两个电容极板、分别环绕在每个电容极板四周的电感线圈和将两个电感线圈相连的寄生
电路;

[0014] 步骤3、将打印好电路结构的柔性基底干燥后备用;

[0015] 步骤4、在干燥后的电路结构及其四周的柔性基底上制备电介质层,得到三层结
构;

[0016] 步骤5、在电介质层完全固化之前,将三层结构的柔性基底对折,使得两个电容极
板刚好平行相对并与两个电容极板之间的电介质层一起构成电容器,两个电感线圈、寄生
电路和折叠后形成的电容器一起构成LC电路,固化后完成压力传感电子皮肤的制造。

[0017] 通过此工艺方法可以实现压力传感电子皮肤的多层电路立体联通,实现Z轴方向
上的压力检测。

[0018] 在本发明的制备步骤中,使用全喷墨打印技术直接在柔性基底上打印微型电路,
不需要传统MEMS工艺,工艺流程简单,操作简便,无溅射污染且成本低廉,适用于批量制造。
不仅如此,由于设计图纸可直接由CAD软件绘制,电路中电感、电容的设计参数均可调,可满
足各类不同压力测试工况的需求。所选用基底材料具备良好的柔韧性、延展性、电绝缘性,
能够满足各类个性化安装需求。所选用的介电材料具备良好介电性质,满足制造电容器的
需求。整个柔性微压力传感器能随着压力波动实时反馈出电信号的波动,监测可靠且灵敏
度高。

[0019] 与现有的技术相比,本发明实现的更有益的效果是:

[0020] 应用于机器人关节处的实况压力监测,直接贴合在检测部位处。通过该器件可以
检测机器人的不同步态、机械臂所承受压力等,将外界环境变化产生的压力变化转换成电
信号的变化,缩小了传统固态传感器因不能完全贴合而产生的检测误差,同时优良的弯曲
延展性能也可帮助提升检测精度。

[0021] 该压力传感电子皮肤器件封装过程简易,无需经历传统半导体封装的激光开槽、
等离子清洗、塑封等繁琐的步骤。

[0022] 该压力传感电子皮肤器件无内部电源,能在一定程度提升便携性能;电信号无线

传输,能在一定程度上实现实时动态监测。

[0023] 该压力传感电子皮肤器件的设计图纸直接在计算机上CAD中完成,电容板的间距、正对面积,电感线圈的匝数、线宽、形状、尺寸大小等参数均可调,能满足各类工况需求。可使用喷墨打印技术阵列式地打印多个电路结构,以便形成阵列式的传感器元件,设计制造成本低,十分适合批量加工制造。

附图说明

[0024] 图1为本发明实施例中压力传感电子皮肤的简化三维结构图。

[0025] 图2为本发明实施例中制备压力传感电子皮肤的步骤1中柔性基底示意图,其中图2(a)为柔性基底俯视图,图2(b)为图2(a)A-A剖视图。

[0026] 图3为本发明实施例中制备压力传感电子皮肤的步骤2中柔性基底上制备电路结构示意图,其中图3(a)为俯视图,图3(b)为剖视图。

[0027] 图4为本发明实施例中制备压力传感电子皮肤的步骤4中柔性基底的电路结构上制备电介质层示意图,其中图4(a)为俯视图,图4(b)为剖视图。

[0028] 图5为本发明实施例中制备压力传感电子皮肤的步骤5中将三层结构的柔性基底对折形成五层结构得到压力传感电子皮肤示意图,其中图5(a)为俯视图,图5(b)为剖视图。

[0029] 图6为图1中局部剖切示意图。

[0030] 图7为图1中去掉柔性基底和电介质层后LCD电路示意图。

[0031] 附图标记:1-柔性基底,2-电感线圈,3-电容极板,4-寄生电路,5-电路结构,6-电介质层,7-电容器上极板,8-电容器下极板,9-柔性上基底,10-柔性下基底。

具体实施方式

[0032] 下面结合附图和实施例对本发明的实施方式作进一步详细描述。以下实施例用于说明本发明,但不能用来限制本发明的范围。

[0033] 下面结合附图对本发明装置进行详细的说明。

[0034] 如图1、图6、图7所示,本发明提供一种压力传感电子皮肤,包括柔性下基底10、柔性上基底9和上下基底之间的LC电路,所述柔性下基底10和柔性上基底9由一个柔性基底1对折而成,所述LC电路由分别设于上下基底上的电容极板3、环绕电容极板3的电感线圈2、将两个电感线圈2相连的寄生电路4和设于两个电容极板3之间的电介质层6组成,其中柔性下基底10上表面的为电容器下极板8,中柔性上基底9下表面的为电容器上极板7。本发明压力传感电子皮肤配合外部非接触式的矢量网络分析仪分析LC电路的谐振频率,即可对作用于皮肤表面的压力进行测量,实现无源式压力感应测量。

[0035] 本发明测量压力的原理如下:

[0036] 将本发明压力传感电子皮肤根据需要制成相应尺寸,贴合在骨骼表面,当外界压力压力传感电子皮肤上时,压力的上下波动会改变传感器中电容极板3间的距离,从而改变电容器的电容值,即实现了从物理信号到电信号的转变。然后通过外部矢量网络分析仪感应传感器中LC电路的谐振频率变化,进而分析出外加压力的变化,实现对外界压力的动态实时监测。通过压力信息的反馈,可助于施加后续控制命令,或对设计、算法等环节进行优化。

[0037] 如图2至图5所示,本发明还提供一种压力传感电子皮肤的制造工艺,包括以下步骤:

[0038] 步骤1、如图2所示,准备下层的柔性基底1,所述柔性基底1采用柔韧性和延展性的缘性材料制成;

[0039] 步骤2、如图3所示,在下层柔性基底1上表面通过喷墨打印技术打印电路结构5,所述电路结构5包括两个电容极板3、分别环绕在每个电容极板3四周的电感线圈2和将两个电感线圈2相连的寄生电路4;

[0040] 步骤3、将打印好电路结构5的柔性基底1干燥后备用;通过干燥使喷墨打印的墨水(主要是纳米金属材料 and 溶剂的混合物)中的溶剂挥发,仅留存纳米金属材料,便于后续制造。

[0041] 步骤4、如图4所示,在干燥后的电路结构5及其四周的柔性基底1上制备电介质层6,得到三层结构;

[0042] 步骤5、在电介质层6完全固化之前,将三层结构的柔性基底1对折形成五层结构,使得两个电容极板3刚好平行相对并与两个电容极板3之间的电介质层6一起构成电容器,两个电感线圈2、寄生电路4和折叠后形成的电容器一起构成LC电路,固化后完成压力传感电子皮肤的制造。

[0043] 作为一种优选实施例,步骤1中,所述柔性基底1采用延展性好、高绝缘性,且还耐高温、介电损耗低的柔性材料制成,柔性基底1厚度为0.5-2mm,最优为1mm。

[0044] 进一步优选,所使用的柔性材料为含碳的有机高分子材料,如聚亚酰胺(PI),它具备优良的,综合性能十分优异,基本可以满足各种复杂的工况需求。

[0045] 作为一种优选实施例,步骤2中,所述电路结构5为对称电路,两端的电容极板3和电感线圈2关于中间的寄生电路4,使得步骤5中折叠后两电容极板3上下正对。

[0046] 本实施例中,所述寄生电路4为连接两个电感线圈2的导电引线。

[0047] 作为一种优选实施例,步骤2中,本发明喷墨打印采用的墨水为纳米导电墨水,具体为金属纳米材料导电墨水(金属纳米材料和溶剂的混合物),比如导电银墨水。

[0048] 作为一种优选实施例,步骤2中,在喷墨打印电路结构5之前根据喷墨打印墨水种类对柔性基底1上表面进行亲疏水调控处理。此工作的目的是利于喷墨打印的墨水与柔性基底1间的结合更为稳定,避免产生打印线路紊乱、打印墨滴间相互串扰等问题,影响线路成型质量。

[0049] 作为一种优选实施例,步骤2中,在喷墨打印电路结构5之前采用紫外灯照射基底柔性基底1一段时间,一般为40-60s,最优的为55s。

[0050] 作为一种优选实施例,步骤3中,打印好电路结构5的柔性基底1在真空干燥箱中高温干燥固化电路。通过真空干燥提高导电墨水中溶剂挥发速度,加快电路结构5成型。

[0051] 作为一种优选实施例,打印好电路结构5的厚度为微米级,最优为20微米左右,采用该级别厚度既满足电路需求,又不会对电介质层6造成影响。

[0052] 作为一种优选实施例,步骤4中,所述电介质层6为采用延展性好、电阻率高、介电常数大的柔性介电材料制成。

[0053] 作为一种优选实施例,步骤4中,所述电介质层6采用聚二甲基硅氧烷,采用喷墨打印技术制备。当然也可以采用旋涂的方式将聚二甲基硅氧烷涂覆在电路结构5表面制备电

介质层6。

[0054] 需要说明的是,电容器的电容值不仅由介电材料的介电常数、电容极板3的正对面积有关,还与两电容极板3间的相对距离大小有关,即电介质层6的厚度。可通过控制打印层数来控制电介质层6的厚度。在喷墨打印电介质层6过程中,应当正确选择打印喷头以避免生成卫星墨滴,从而影响打印质量。在完成电介质层6的制备之后,需要静置一段时间使得PDMS初步具备一定的固化性质,方便后续折叠封装。

[0055] 本发明的优势:

[0056] 本发明设计的压力传感电子皮肤器件无需内部电源、无需传输导线。本发明主要应用于机器人关节处的压力监测,机器人感知到的压力波动会转化为LC电路谐振频率波动,实现了物理信号到电信号的转变,随后外接矢量网络分析仪,可以保证高灵敏、实时性显示。

[0057] 本发明设计的压力传感电子皮肤器件制造过程使用全喷墨打印技术,可随时根据实际情况调整设计参数,反馈直接、操作简单、方便快捷。且还能实现阵列式打印,打印成本低,从而大大缩短制造周期,提高制造效率。

[0058] 本发明设计的压力传感电子皮肤器件封装简易,避免了传统半导体封装中各类成本高昂的操作。立体化的层次结构,实现了Z轴方向上的压力检测。

[0059] 本发明设计的柔性压力传感电子皮肤器件应用于机器人关节处,优于传统的有线式压力传感电子皮肤器件。由于制备材料具有优良延展性且设计参数动态可调,因而适配不同尺寸的机器人关节、不同的实测场景、且便携性大大提高。

[0060] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明技术原理的前提下,还可以做出若干技术改进和变形,这些改进和变形也应该视为本发明的保护范围。

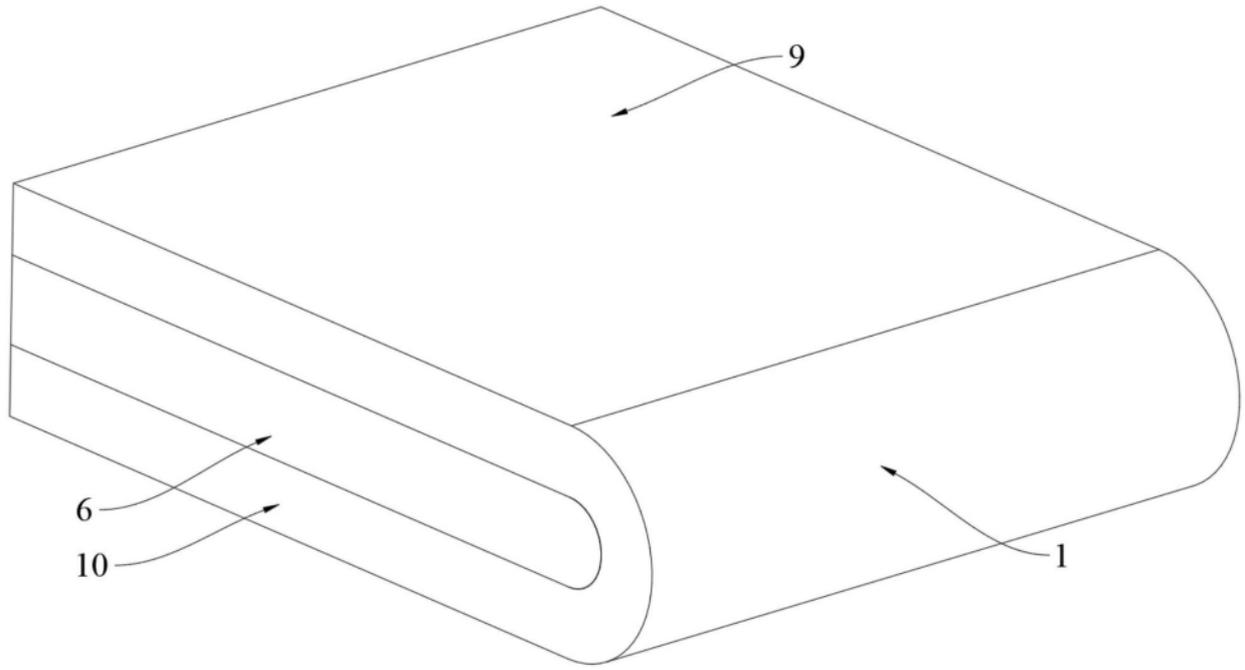


图1

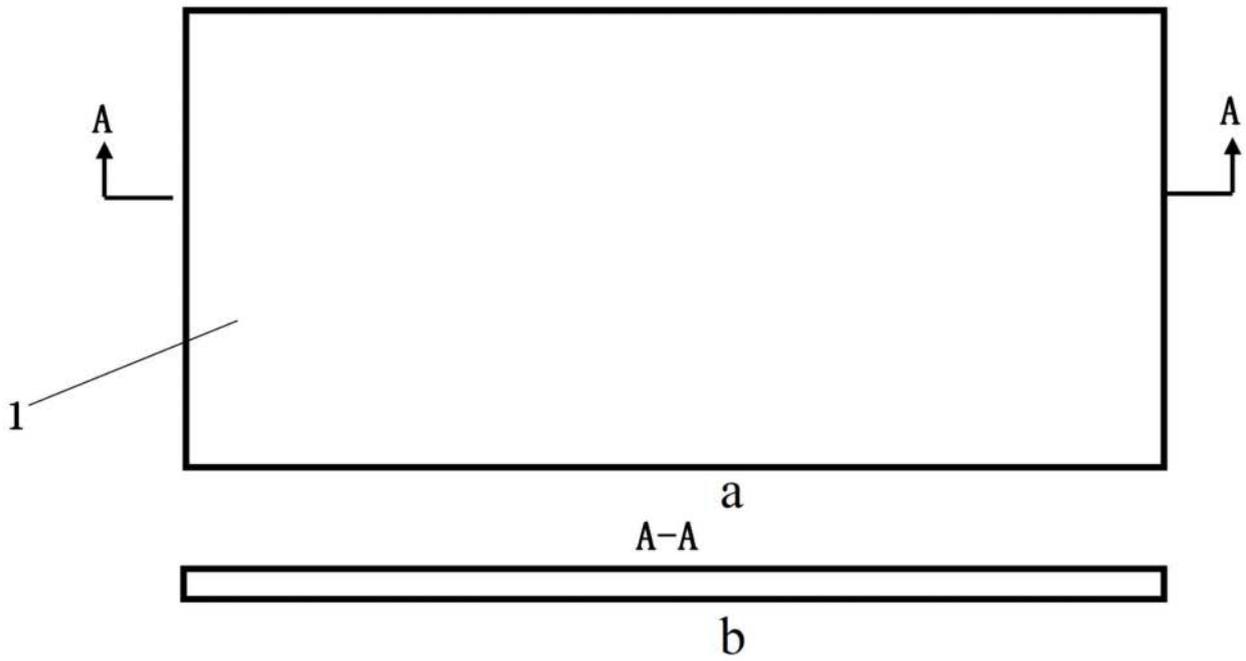


图2

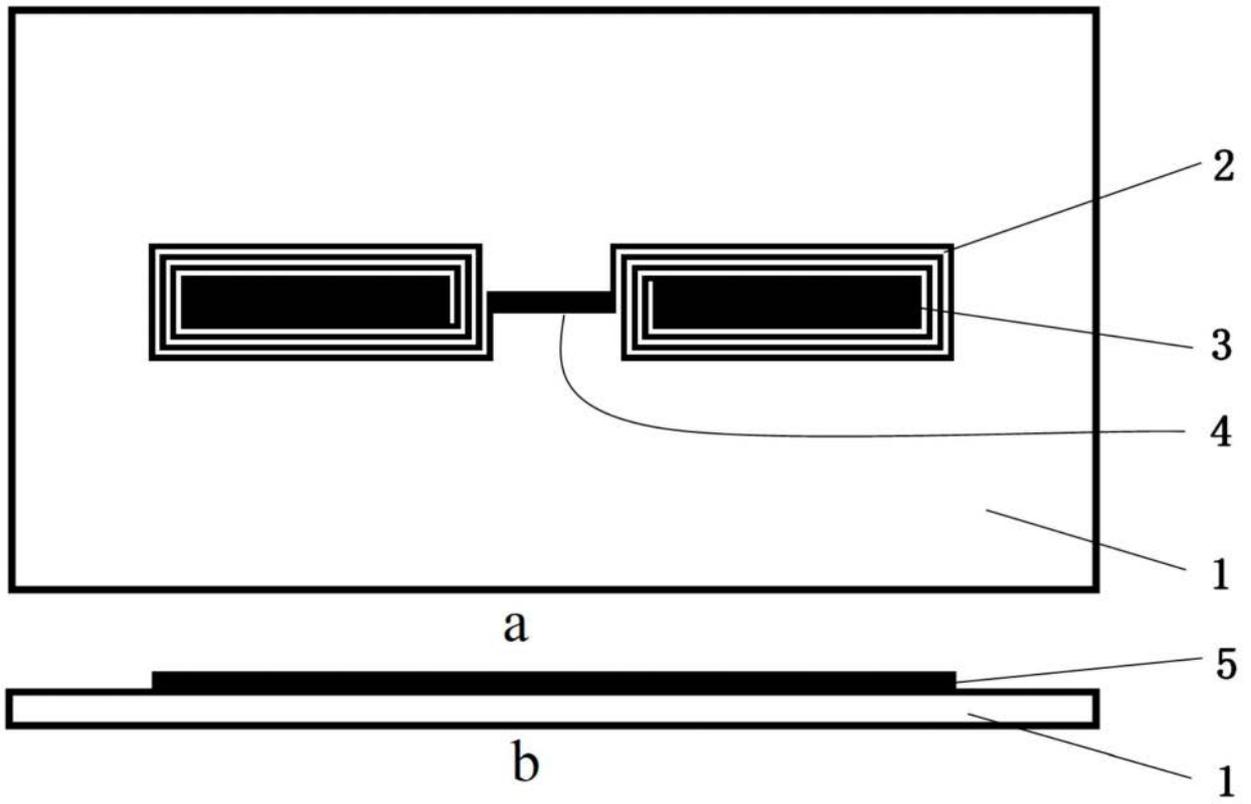


图3

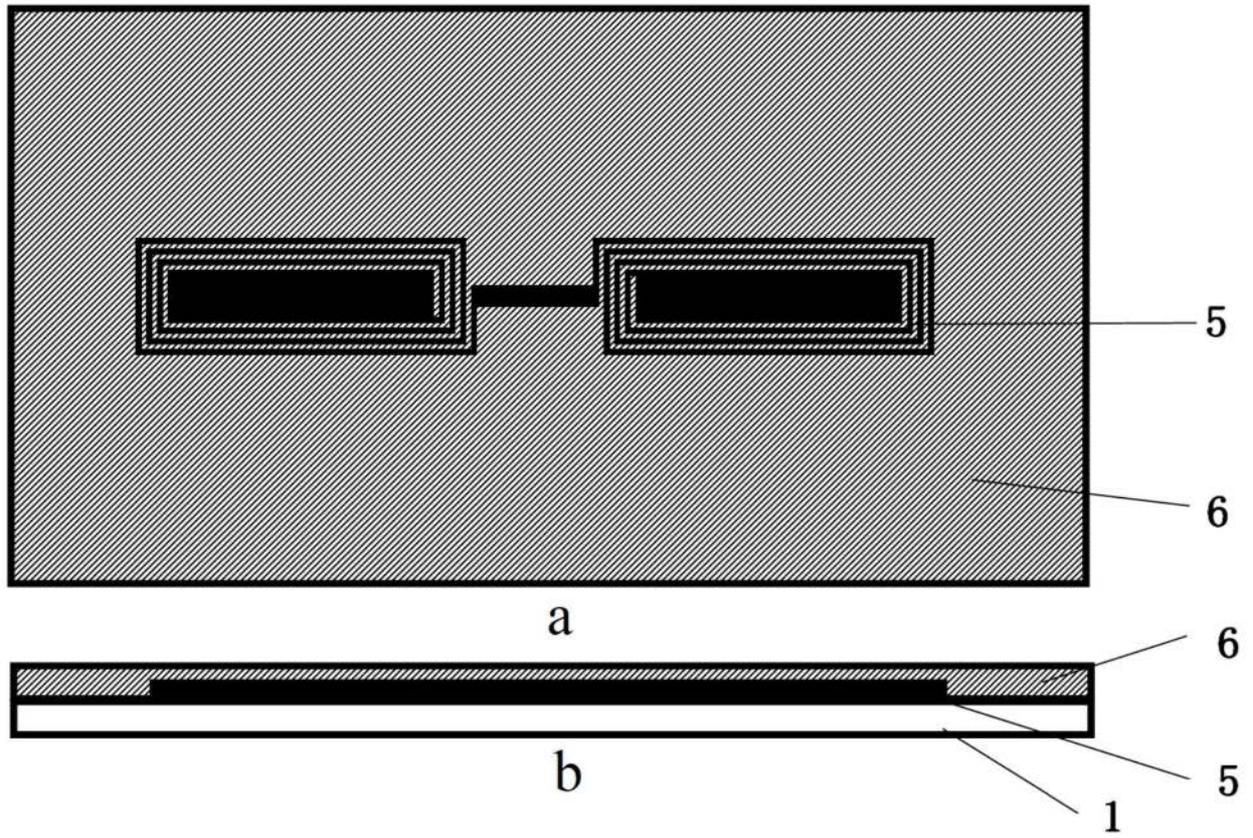


图4

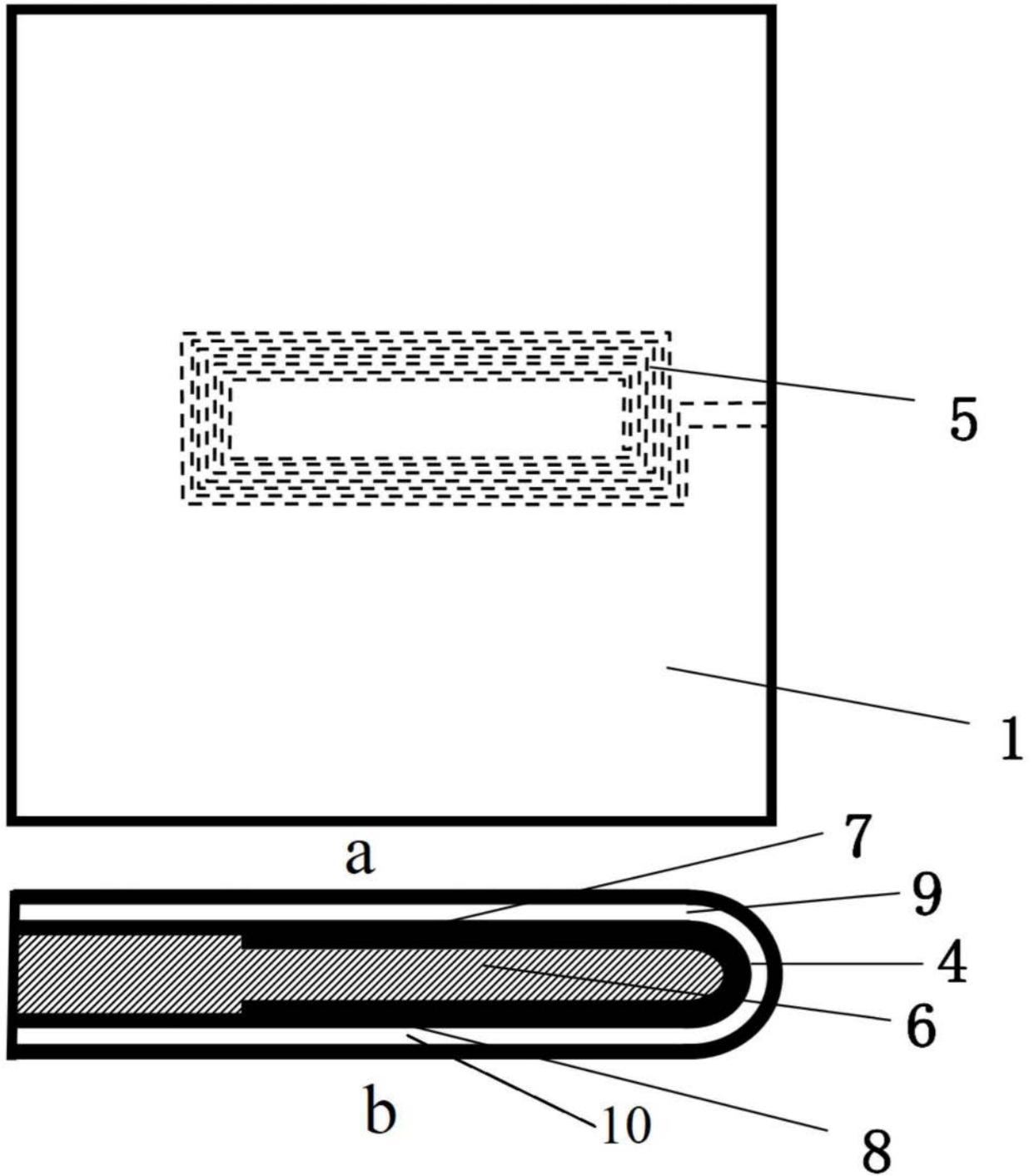


图5

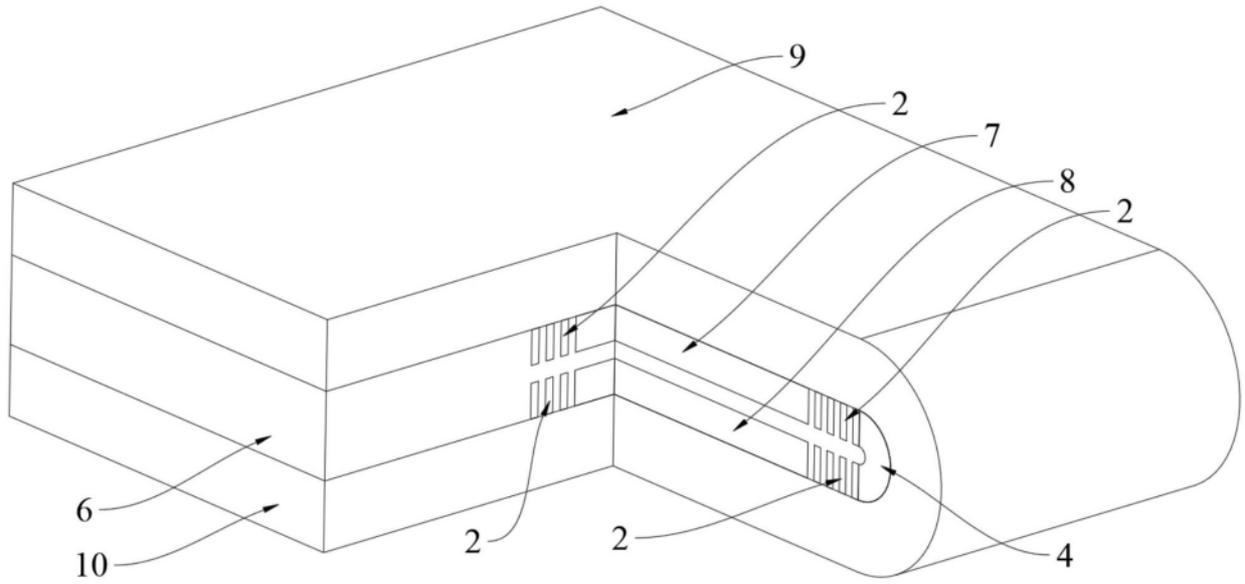


图6

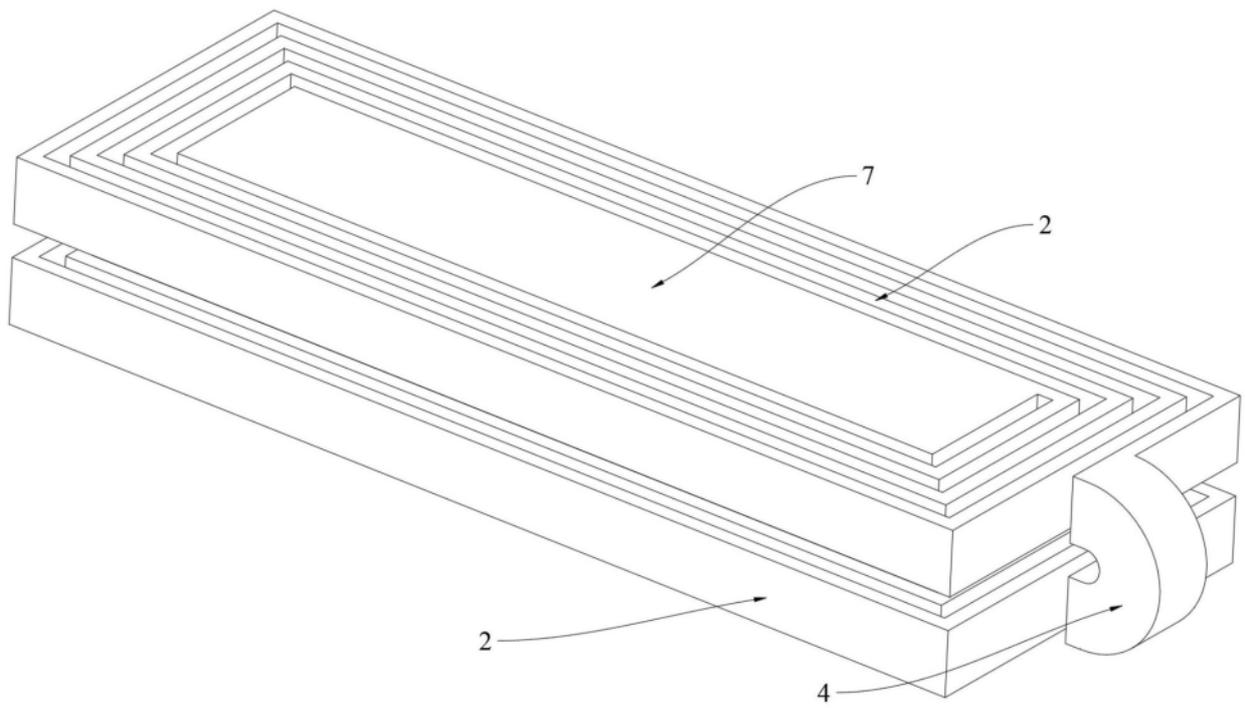


图7