(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 119855781 A
(43)申请公布日 2025.04.18

(21)申请号 202380065641.2
(22)申请日 2023.07.13
(30)优先权数据
63/388,923 2022.07.13 US
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2025.03.12
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/CA2023/050948 2023.07.13
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2024/011328 EN 2024.01.18
(71)申请人 英属哥伦比亚大学
地址 加拿大大不列颠哥伦比亚省
(72)发明人 J·韦尔施 E·克里图
R·罗赫林
(74)专利代理机构 上海光伟律师事务所 31525
专利代理师 马飞 王枞
(51)Int.Cl.
B81C 1/00(2006.01)

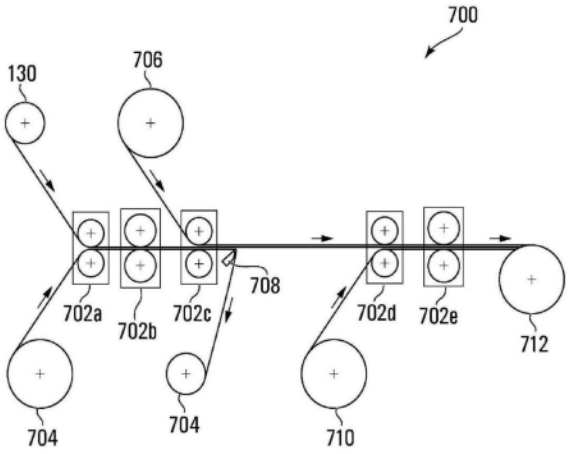
权利要求书2页 说明书11页 附图7页

(54)发明名称

微机电系统阵列的高速制造

(57)摘要

用于高速制造微机电系统(MEMS)阵列(诸如聚合物电容式微机械超声换能器(CMUT)的阵列)的方法、系统和技术。获得从其形成用于装置的腔体的一片材料,并且使物理或能量凸起突出到该材料中以形成腔体。材料的上表面和下表面分别与上部金属化膜和下部金属化膜接触并接合。上部金属化膜和下部金属化膜的金属化部分可以用作用于CMUT的电极,并且膜本身可以是CMUT的基板和膜。



CN 119855781 A

1.一种制作微机电系统装置的阵列的方法,所述方法包括:

(a)获得从其形成用于所述装置的腔体的一片材料;

(b)使物理或能量凸起突出到所述材料中,以在所述材料中形成所述腔体;

(c)分别使具有所述腔体的所述材料的上表面和下表面与上部金属化膜和下部金属化膜接触;以及

(d)分别将所述材料的所述上表面和所述下表面与所述上部金属化膜和所述下部金属化膜接合。

2.根据权利要求1所述的方法,其中,所述物理凸起突出到所述材料中,以形成所述腔体。

3.根据权利要求2所述的方法,其中,所述物理凸起包括冲孔冲头。

4.根据权利要求2所述的方法,其中,所述物理凸起包括冲头模具。

5.根据权利要求2所述的方法,其中,所述物理凸起包括旋转圆柱模具。

6.根据权利要求1所述的方法,其中,所述能量凸起突出到所述材料中,以形成所述腔体。

7.根据权利要求6所述的方法,其中,所述能量凸起包括激光。

8.根据权利要求6所述的方法,其中,所述能量凸起包括电气放电。

9.根据权利要求6所述的方法,其中,所述物理凸起包括蒸汽喷射。

10.根据权利要求1所述的方法,其中,所述材料是聚合物。

11.根据权利要求10所述的方法,其中,所述材料包括聚酰亚胺。

12.根据权利要求1所述的方法,其中,所述材料包括聚对苯二甲酸乙二醇酯。

13.根据权利要求12所述的方法,其中,所述材料是双轴取向的聚对苯二甲酸乙二醇酯,并且厚度在600nm至1.5μm之间。

14.根据权利要求1所述的方法,其中,所述材料为金属。

15.根据权利要求1所述的方法,其中,所述微机电系统装置是电容式微机械超声换能器。

16.根据权利要求14所述的方法,其中,所述微机电系统装置是聚合物电容式微机械超声换能器。

17.根据权利要求1至16中任一项所述的方法,其中,具有所述腔体的所述材料的所述上表面和所述下表面与所述上部金属化膜和所述下部金属化膜接触,使得所述上部金属化膜和所述下部金属化膜的金属化部分分别位于所述腔体中。

18.根据权利要求1至17中任一项所述的方法,其中,所述接合包括层压。

19.根据权利要求18所述的方法,其中,所述层压是使用辊式层压机在210℃与260℃之间的温度条件下执行的。

20.根据权利要求19所述的方法,其中,所述层压是在1巴与5巴之间的压力条件下执行的。

21.根据权利要求1至17中任一项所述的方法,其中,所述接合包括胶合。

22.根据权利要求1至21中任一项所述的方法,其中,所述下部金属化膜包括所述装置的柔性基板。

23.根据权利要求1至22中任一项所述的方法,其中,所述金属化膜分别包括格子图案,

并且其中,所述腔体位于所述格子图案重叠的位置处。

24.一种用于制作微机电系统装置的阵列的设备,所述设备包括:

(a)一对冲压辊,其中,所述一对冲压辊包括圆柱模具,并且被配置成接收间隔膜并使用所述圆柱模具在所述间隔膜中冲压出腔体;

(b)至少一对膜辊,其中,所述至少一对膜辊被配置成接收所冲压的间隔膜和金属化膜,并将所冲压的间隔膜压缩在所述金属化膜之间;以及

(c)一对层压辊,被配置成接收所压缩的间隔膜和所述金属化膜,并对所压缩的间隔膜和所述金属化膜进行层压。

25.根据权利要求24所述的设备,其中,所述至少一对膜辊包括第一对膜辊和第二对膜辊,其中:

(a)所述第一对膜辊被配置成接收并压缩所冲压的间隔膜以及所述金属化膜中的第一金属化膜;并且

(b)所述第二对膜辊被配置成接收经过所述第一对膜辊之后的所述间隔膜和所述金属化膜中的所述第一金属化膜,以及所述金属化膜中的第二金属化膜,并且将所冲压的间隔膜压缩在所述金属化膜之间,

其中,所述金属化膜中的所述第一金属化膜比所述金属化膜中的所述第二金属化膜厚。

26.根据权利要求25所述的设备,还包括:

(a)冲压辅助辊对,被配置成接收并压缩所述间隔膜和冲压辅助件,其中,所压缩的间隔膜和冲压辅助件被进给到所述一对冲压辊中并且进给到所述第一对膜辊中;以及

(b)硬边缘,被定位成在所述冲压辅助件离开所述第一对膜辊之后从所述间隔膜剥离所述冲压辅助件。

微机电系统阵列的高速制造

技术领域

[0001] 本公开总体上涉及微机电系统(MEMS)装置和阵列的大规模制作,并且更具体地,涉及电容式微机械超声换能器(CMUT)的大型柔性阵列。

背景技术

[0002] 就每年产生的图像而言,超声成像是世界上使用最广泛的医学成像方式。在超声成像中,由换能器发射的超声波行进穿过材料并且在与具有不同声阻抗的其他材料的界面处发生反射。反射的回波行进回到换能器,在该换能器处,这些回波被处理,以形成超声图像。超声波换能器将电能变换为声能,并且反之亦然。

[0003] CMUT是基于压电的换能器的替代技术。CMUT本质上是平行板电容器,该平行板电容器所具有的电极在该平行板电容器的底部处固定到基板,其中膜悬挂在腔体之上并且沿该腔体的边缘密封。在悬挂的膜的顶部上图案化出金属电极。当跨越电极施加电信号时,由此产生的膜的机械运动在与膜接触的介质中产生声波;这代表电能到声能的转换。聚合物CMUT(聚CMUT)实际上是其中振动膜由聚合物材料制成的CMUT。谐振频率和声功率取决于它们的直径和厚度。聚CMUT的制作通常是在洁净室中使用光刻技术来图案化并且构建装置的各层而完成的。由Gerardo、Rohling和Cretu提交的美国专利第10,509,013、10,564,132和10,598,632号公开了使用聚合物膜对超声换能器进行微制作的方法,从而降低了聚CMUT所需的操作电压,所有这些美国专利的全部内容均通过引用并入本文。

发明内容

[0004] 提供该发明内容,从而以简化的形式来介绍在下文的具体实施方式中进一步描述的一些概念。本发明内容并非旨在识别所要求保护的主题的关键特征或基本特征,也并非旨在用作确定所要求保护的主题的范围的辅助。

[0005] 根据第一方面,提供了一种制作MEMS阵列的方法,该方法包括:提供一片薄膜材料;使该材料与包括凸起的模具接触,凸起能够刺穿材料,以按照图案形成成型的腔体;使材料与上部金属化膜和下部金属化膜接触;以及通过增加能量来对膜进行层压。

[0006] 可以在没有化学废物的情况下执行该方法。

[0007] 能量可以来自热量和/或压力。

[0008] 材料的成分可以为聚合物的、金属的或包括聚酰亚胺。

[0009] MEMS装置可以为聚CMUT和/或CMUT,或者具有类似悬挂膜结构的其他装置(例如,压力传感器)。

[0010] 根据额外的方面,提供了一种通过前述方法制成的MEMS装置;通过前述方法制成的CMUT;通过前述方法制成的聚CMUT,该聚CMUT不具有夹置电极并且通过完全机械手段制作;以及用于根据前述方法对MEMS装置进行成形的方法。

[0011] 根据另一方面,提供了一种制作微机电系统装置的阵列的方法,该方法包括:获得用于形成装置的腔体的一片材料;使物理或能量凸起突出到材料中,以在材料中形成腔体;

分别使具有腔体的材料的上表面和下表面与上部金属化膜和下部金属化膜接触;以及将材料的上表面和下表面分别与上部金属化膜和下部金属化膜接合。

[0012] 物理凸起可以突出到材料中,以形成腔体。

[0013] 物理凸起可以包括冲孔冲头。

[0014] 物理凸起可以包括冲头模具。

[0015] 物理凸起可以包括旋转圆柱模具。

[0016] 能量凸起可以突出到材料中,以形成腔体。

[0017] 能量凸起可以包括激光。

[0018] 能量凸起可以包括电气放电。

[0019] 物理凸起可以包括蒸汽喷射。

[0020] 材料可以为聚合物。

[0021] 材料可以包括聚酰亚胺。

[0022] 材料可以包括聚对苯二甲酸乙二醇酯。

[0023] 材料可以为双轴取向的聚对苯二甲酸乙二醇酯并且厚度在600nm至1.5μm之间。

[0024] 材料可以为金属的。

[0025] MEMS装置可以为电容式微机械超声换能器,诸如聚合物电容式微机械超声换能器。

[0026] 具有腔体的材料的上表面及下表面可以与上部金属化膜和下部金属化膜接触,使得上部金属化膜和下部金属化膜的金属化部分分别位于腔体中。

[0027] 接合可以包括层压。

[0028] 层压可以使用辊式层压机在至少230℃的温度下执行。

[0029] 层压可以在至少1巴的压力下执行。

[0030] 层压可以在大约3巴的压力和大约243℃的温度下执行。

[0031] 接合可以包括胶合。

[0032] 下部金属化膜可以包括装置的柔性基板。

[0033] 金属化膜可以分别包括格子图案,并且腔体可以位于格子图案重叠的位置处。

[0034] 根据另一个方面,提供了一种用于制作微机电系统装置的阵列的设备,该设备包括:一对冲压辊,其中,该对冲压辊包括圆柱模具并且被配置成接收间隔膜并使用圆柱模具在间隔膜中冲压出腔体;至少一对膜辊,其中,该至少一对膜辊被配置成接收冲压的间隔膜和金属化膜并将冲压的间隔膜压缩在金属化膜之间;以及一对层压辊,被配置成接收压缩的间隔膜和金属化膜并对压缩的间隔膜和金属化膜进行层压。

[0035] 至少一对膜辊可以包括第一对膜辊和第二对膜辊,其中:第一对膜辊被配置成接收并压缩冲压的间隔膜和金属化膜中的第一金属化膜;并且第二对膜辊被配置成接收经过第一对膜辊之后的间隔膜和金属化膜中的第一金属化膜,以及金属化膜中的第二金属化膜,并且将冲压的间隔膜压缩在金属化膜之间,其中,金属化膜中的第一金属化膜比金属化膜中的第二金属化膜更厚。

[0036] 该设备还可以包括:冲压辅助辊对,被配置成接收并压缩间隔膜和冲压辅助件,其中,压缩的间隔膜和压缩的冲压辅助件被进给到该对冲压辊中并且进给到第一对膜辊中;以及硬边缘,被定位成在冲压辅助件离开第一对膜辊之后从间隔膜剥离该冲压辅助件。

[0037] 本发明内容不一定描述所有方面的整个范围。其他方面、特征和优点对于审阅具体实施方式的以下描述之后的本领域普通技术人员而言将是显而易见的。

附图说明

[0038] 结合附图,根据以下详细描述,本公开的其他特征和优点将变得显而易见,其中:

[0039] 图1是带阴影的截面图,该图以截面示出了单个聚CMUT元件,该截面示出了膜、电极、聚合物层、绝缘体和基板的部件层;

[0040] 图2A是根据示例性实施方式的聚CMUT的另一种实施方式的带阴影的图,其相比于图1的聚CMUT具有更少层并且是图2B所示的装置的叠层;

[0041] 图2B描绘了根据示例性实施方式的四腔体装置与电极在对准到金属化聚酰胺膜并在235℃下层压在一起并且在辊式层压机中施加压力之后的叠层;

[0042] 图3是根据示例性实施方式的用于冲压和金属蒸发的示例性掩模的两个视图的照片再现;

[0043] 图4A是根据示例性实施方式的在激光多普勒测振仪(LDV)中测量的在120V DC和60V AC下聚CMUT膜的位移量值的图形再现,并且图4B是对应聚CMUT单元在10倍放大倍数下的照片再现,其中,两个电极和腔体的较大轮廓是可见的;

[0044] 图5A是根据示例性实施方式的成形聚CMUT腔体的一种图案的图示;

[0045] 图5B至图5D是根据示例性实施方式的以卷对卷设定制造的MEMS装置的示例性第一片和示例性第二片的图片;

[0046] 图6描绘了根据示例性实施方式的辊对,该辊对包括用于冲压间隔膜以制备成形聚CMUT腔体的阵列的模具;以及

[0047] 图7描绘了根据示例性实施方式的用于制备成形聚CMUT腔体的阵列的卷对卷制造设备。

具体实施方式

[0048] 使用传统方法制造CMUT的阵列是艰苦的。现有技术水平中的一个当前限制是对CMUT生产的最大速度的限制。另一个限制是需要在多件制作装备上进行多个制作步骤,其中,在这些不同的多件装备之间手动输送材料。这些装备包括湿台、掩模对准器、离子蚀刻机、干燥器、熔炉和蒸发器。CMUT制造的另一个限制是可以使用传统制作技术制成的CMUT换能器阵列的最大尺寸,其直径通常为几厘米并且不足以满足需要米长阵列的应用。传统制造方法的另一个限制是所需液体和气体化学品(诸如光刻胶、酸、碱和显影剂)的类型和数量,这些液体和气体化学品中许多是有毒的且难以处置。因此,期望一种克服这些限制中的一个或多个限制的制造CMUT的方法。

[0049] 本公开针对用于制作CMUT和其他MEMS装置的新方法、系统和技术,这些新方法、系统和技术利用层中的腔体来容纳机电耦合。虽然CMUT是下方示例性实施方式的焦点,但是本公开也考虑了具有这些类型的腔体的其他类型的MEMS装置,诸如加速度计、压力传感器、扬声器以及陀螺仪。在至少一些实施方式中,通过机械冲压超薄膜并且将这些超薄膜层压在先前金属化的膜之间来产生腔体。在理想情况下,益处是避免任何湿化学处理并且消除上文描述的关于传统微制作方法和装备的最大尺寸局限。至少一些实施方式还允许做出可

变的折衷,其中,冲压结构的精度与制作的速度和规模成反比。

[0050] 在至少一些实施方式中,必须克服多个技术问题才能实现这一点。例如,所使用的腔体小(处于毫米或更小的量级),并且冲压模具被制作来冲压这些腔体。这意味着工具及工具制造的精度将在小于1/100毫米以下的范围内。

[0051] 另一个因素是间隔膜的质量和厚度。例如,正如上文提到的,它非常薄但结构仍然足够稳定以在制作步骤期间进行处理。如果膜被损坏或模具的切割边缘有缺陷,则膜将撕裂并且制造将失败。

[0052] 在本公开中,下列术语具有以下含义:

[0053] (a)“基于聚合物的电容式微机械超声换能器”或“聚CMUT”是一种分层式超声装置,该分层式超声装置具有聚合物膜,该聚合物膜包含悬挂在腔体上方的嵌入式上部电极。聚CMUT的示例可例如在由Gerardo、Rohling和Cretu所著的美国专利第10,598,632号中找到。与传统的非基于聚合物的CMUT相比,在聚CMUT中,顶部电极可以嵌入两个聚合物层内,其中,底层比顶层薄。结合形成足够薄的CMUT腔体,该结构允许CMUT达到MHz操作区域,而不需要不可接受的高操作电压。聚CMUT元件可以例如通过由Cretu等人所著的美国专利第10,598,632号中所公开的方法形成。

[0054] (b)“微机电系统”或“MEMS”是微型机电装置,诸如聚CMUT。在至少一些实施方式中,这些装置包括微型传感器和微型致动器。压电材料可以用于调整MEMS装置的谐振频率,这可以影响这些装置的性能。例如,压电材料可能影响MEMS装置(诸如加速度计、能量采集器或应变仪)的性能。

[0055] (c)术语“间隔膜”指的是材料片,该材料片用于为CMUT或MEMS阵列形成成型的腔体并且是通过手工和/或在自动化系统中冲压/穿孔的。用于制造聚CMUT的是聚酰亚胺(例如Kapton™)、聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)(其中一示例是Mylar™)以及用于电极的金。其他间隔膜可以包括例如纸、壳聚糖、聚苯乙烯(PS)或其他适合用作薄膜的材料,这些材料适合诸如通过层压而接合到MEMS装置的基板和膜层。

[0056] (d)如本文中所使用的术语“冲压”指的是通过将包括凸起的模具压入该间隔膜中来去除间隔膜的部分。

[0057] (e)“低功率”或“无源功率”指的是使用电磁场进行的无线功率传输,这通常以与聚CMUT元件的谐振频率匹配的频率执行。

[0058] (f)“阵列”指的是以一维(1-D)排列并排对准的一组聚CMUT元件,并排定位的多个线性阵列(1.5-D)或聚CMUT元件的二维阵列(2-D阵列,也被称为“矩阵阵列”)彼此通信并且能够通过有线通信或无线信号与用户接口进行通信(一旦连接或激活)。

[0059] (g)术语“成型的腔体”是在聚CMUT制造期间以压印或其他方式(例如使用激光)在间隔膜中形成的穿孔。它们可以被成形为圆形、多边形或其他封闭轮廓形状,例如,以适应期望的CMUT或MEMS周长。

[0060] (h)“包括凸起的模具”是具有能够对间隔膜进行穿孔的硬凸起的固体材料。包括凸起的模具的示例是卷对卷设定中的旋转圆柱模具、冲孔冲头以及手动或自动皮革冲头模具。凸起可以为金属、矿物或聚合物、或者这些元素中的两种或三种的组合。在其他实施方式中,一个或多个激光器可以用于对间隔膜进行穿孔。无论使用什么来对间隔膜进行穿孔,结果都是在间隔膜中形成成型的腔体。在又一些其他实施方式中,可以使用用于蒸发或蒸

汽喷射的构件在间隔膜中形成成型的腔体。例如,在至少一些实施方式中,可以经由通过电气放电或激光的蒸发(即,通过区段的热蒸发)在间隔膜中产生孔洞。更一般来讲,“包括穿孔构件的模具”包括具有用于选择性地对间隔膜进行穿孔的构件的固体材料,在各种实施方式中,这些构件包括凸起、激光器、用于蒸发的构件、蒸汽喷射等。

[0061] (i)“光声成像”或“PA成像”是一种生物医学成像方式,其中,非电离激光脉冲被传递到生物组织中。一些传递的能量将被吸收并且转换为热量,从而引起瞬态热弹性膨胀,并且因此引起宽带(即MHz)超声波发射。基于PZT技术的经典压电(PZT)超声成像换能器的典型接收频率响应的带宽不足以完全保留光声信号中包含的全部信息。CMUT在接收时表现出更高的灵敏度和显著更宽的频率响应二者,这使得它们在与PA成像应用关联时比PZT超声更有效。

[0062] 功率

[0063] 聚CMUT的膜中捕获的电荷充当内置DC偏置。因此,在至少一些实施方式中,聚CMUT可以用作在接收声信号并且将该声信号转换成电信号期间的无源装置(即,没有外部电源施加到聚CMUT)。可替代地,可以将各种振幅的激励电压施加到聚CMUT。例如,在一些实施方式中,相对低的激励电压可能就足够了(例如,$10V_{DC}+12V_{AC}$);而在一些其他实施方式中,可能需要更高的电压,诸如当使用相对厚的间隔膜130时,会产生相对厚的腔体170。

[0064] 在一些实施方式中,无线通信还包括无线功率传输,其中,由来自电源的电力驱动的发送器装置生成时变电磁场,该电磁场穿过空间将功率发送到接收器装置,该接收器装置从场提取功率并且将其提供给电力负载。无线功率传输的示例包括电感耦合、谐振电感耦合、电容耦合、磁动力耦合、声耦合以及使用微波和光波的功率传输。耦合可以为近场耦合或中间耦合。在电磁能的上下文中,传输的能量可以为频率在KHz至MHz范围内的电磁波、微波、X射线和光波,诸如太阳能和激光。这些波可以使用天线或其他耦合装置产生。例如,波可以包括生成的电磁能以执行同步磁谐振成像或X射线成像。可以传输的其他类型的能量包括来自声波和表面波的动能以及来自热量的热能。耦合器可以在外部附接到聚CMUT元件或直接嵌入聚CMUT元件中。使用无线电力传输的优点是增加便利性和安全性,并且减小聚CMUT元件的尺寸、重量、成本和复杂性;当聚CMUT元件包括可穿戴贴片的一部分时,这可能是特别有益的。例如,轻质贴片对于穿戴者来说可能是无妨碍的,并且贴片可以植入或嵌入患者体内,在该患者体内,由于担心感染而禁止患者体内使用电线。

[0065] 聚CMUT可以在柔性基板上制造,以用于可穿戴应用。这对于硅基CMUT来说可能很困难,因为它们需要刚性基板,并且当使用陶瓷压电材料制造基板时不可能制造柔性基板。

[0066] 之前的研究要么集中在使用光刻的卷对卷MEMS工艺,要么集中在固态装置制作,如美国专利第8,779,650号。这些参考文献重点在于:通过选择性硬化先前沉积的软层来使用湿法或干法蚀刻工艺和紫外线敏感化学品。相反,本文描述的方法、系统和技术可以完全是机械的,并且不涉及任何蚀刻或固化来形成CMUT的功能形状。

[0067] 聚CMUT部件阵列的制造

[0068] 图1描绘了包括示例性聚CMUT 100的MEMS装置。聚CMUT包括四个主要部件:基板160;图1中的间隔膜130,包括PET;顶部电极120和底部电极150,在图1中各自由铝制成;以及膜110。图1还描绘了聚CMUT 100中的腔体170;同时该腔体在图1中被描绘为聚CMUT 100的一部分。在图1中,间隔膜130夹置在顶部电极120与丙烯酸酯绝缘体140的底层之间,其

中,底部铝电极150位于丙烯酸酯绝缘体140的底侧与基板160上方之间。例如,基板160可以为100μm的聚酰亚胺膜。实际上,基板160可以为任何柔性膜,诸如铝箔、纸或其他聚合物。任何柔性膜都可以用作基板160,尽管在至少一些实施方式中,基板160具有与膜110相同或更大的厚度或者具有比膜110强的机械强度。基板160还可以粘附到间隔膜130,或者如果存在诸如丙烯酸酯绝缘体140的另一层,则粘附到该另一层。柔性膜到间隔膜130的粘附可以通过层压、胶合或其他适合的方法来实现。为了产生功能性装置,基板160可以本身是导电的或者涂布有导电材料。为了减小寄生电容和电阻,可以例如,通过类似在油掩模上溅射的工艺对导电层进行图案化。如果需要,导电层可以通过例如丙烯酸酯绝缘,这是Steiner GmbH为电容器箔提供的一种工艺,或者通过一种或多种其他适合的绝缘体,诸如二氧化硅。

[0069] 在图1中,首先,基板160形式的底部膜和膜110形式的顶部膜可以按照所得装置所需的图案被金属化,其示例性应用在下面进行描述。这可以通过丝网印刷矿物油掩模并且溅射所选择的电极材料从而对其进行图案化来完成。此后,超薄聚合物或金属膜形式的间隔膜被冲压以产生电极120和140所使用的成型的腔体(这些成型的腔体有效地充当电容器的板),以便于移动或振动。成型的腔体中的每一者的宽度可以小至200μm,彼此之间的距离小于1mm。然后将膜与基板160和顶部膜对准并层压在一起,该层压仅通过热量和压力或者使用超薄的聚合物胶层。

[0070] 整个工艺可以通过分步竖直冲压完成,也可以在卷对卷冲压和层压机中组合完成。所得装置的性质通过腔体170的膜厚度和宽度来管理。例如,为了将操作电压保持在实用水平,间隔膜130优选地尽可能薄。例如,在聚CMUT 100的至少一些实施方式中,两个电极120、150之间的距离不超过1μm,从而使得聚CMUT 100的操作电压低于230伏。间隔膜130还粘附至基板160和膜110层。在图1中,间隔膜130经由绝缘层140间接粘附到基板160;然而,如关于图2所示和如下文所讨论的,间隔膜130也可以直接接合到基板160。如果使用胶层,则它们优选地极薄。在一个示例中,可以使用热量和压力将用作间隔膜130的超薄PET层压至用作基板160和膜110的聚酰胺膜。

[0071] 为了产生功能性MEMS装置,该装置优选具有移动的空间。在聚CMUT 100的情况下,膜110悬挂在腔体170之上。对于大多数MEMS装置来说,该腔体170还决定装置的性质,如谐振频率或灵敏度。就图1而言,成型的腔体由间隔膜130冲压而成。这可以完全手工完成,通过竖直冲压机完成,或者在较大区域的卷对卷设定中完成。为了形成成型的腔体,可以通过包括凸起的模具对间隔膜进行穿孔,诸如通过由卷对卷层压机的冲压区段冲压,以便一次性为多个MEMS装置产生包括多个成型的腔体的阵列。

[0072] 在产生成型的腔体之后,膜110、间隔膜130和基板160形式的三个膜彼此对准并且堆叠,使得电极120和150形式的导电层如图1所示放置。在至少一些实施方式中,然后通过两个辊在大约3巴的压力和243℃的温度下对它们进行加热和压制。这层压了膜,同时仍然确保膜110悬挂在腔体170之上。在以卷对卷设定完成该工艺的至少一些实施方式中,从连续膜切割最终装置。

[0073] 层压温度和压力相对于彼此成反比(即,增大压力会降低所需温度)。一般来讲,层压可以在1巴的压力和243℃的温度至5巴的压力和210℃的温度下执行,其中,温度随着压力的增大而降低。压力应保持足够低,以免压缩间隔膜130而使得腔体170封闭。

[0074] 图5A示出了可以形成在例如基板160或膜110上的金属格子图案500的示例。

[0075] 图6的照片再现600中示出了腔体直径为0.8mm且腔体170之间的距离为5mm的冲压间隔膜130和用于卷对卷机器中的冲压模具。图6的冲压模具包括旋转圆柱模具,并且可以用在以下关于图7描述的系统中。

[0076] 图5B至图5D描绘了以卷对卷设定制造的MEMS装置的示例性的第一片502和第二片504的图片,如上文所述,其包括一对金属格子图案500。图5B描绘了第一片502的正面立体图;图5C描绘了第一片502的俯视平面图;并且图5D描绘了第二片504的顶侧。MEMS装置的第一片502可以从第二片504切割下来。

[0077] 具体地,如图5B和图5C所示,分别示出了装置的第一片502的俯视平面图和仰视平面图,制作的装置包括:膜110,其已经被金属化以形成顶部电极120和电耦合到顶部电极120的接合焊盘;以及柔性基板160,其已经被金属化以形成底部电极150和电耦合到底部电极150的接合焊盘。用于装置的腔体170位于顶部电极120和底部电极150的交叉点506处(即,电极120和150重叠的地方)并且因此在图5B和图5C中不可见。

[0078] 通过使用重叠胶带/贴片进行组装,可以进一步扩大制造的阵列的尺寸。这是一种用于按照规则图案(一乘二、二乘四、四乘四等)设置在柔性基板160上的聚CMUT单元阵列的模块化组装的方法。在该方法中,柔性胶带或贴片用作机械基板160,以用于在其顶表面上制作换能器阵列,而底侧可以被特殊处理以具有粘性。为了确保在顶表面上制作的成排单元之间的电气互连性,每排在贴片/胶带的两个边缘处都有相关联的接合焊盘(电气互连表面)。与制作柔性PCB中所使用的通孔机制类似的通孔机制将顶表面上的边缘接合焊盘电连接到胶带/贴片的底表面上图案化的边缘接合焊盘。顶部和底部的边缘接合焊盘组是对准的。

[0079] 当胶带被制成用于包裹圆柱形表面(诸如具有限定周长的管道)时,换能器单元的连续行之间的距离(设置在横向于胶带边缘的方向上[即,沿着圆柱形表面轴向延伸的连续行])优选地使得圆柱体的直径对应于围绕其圆周设置的整数个行。然后,下一卷胶带将使下一组换能器行与前一组对准,并且通过将前一胶带的顶部边缘接合焊盘与下一卷胶带的底部边缘接合焊盘重叠来提供电气互连。

[0080] 在至少一些实施方式中,为了确保更好的自对准,胶带结构具有浮雕对准锁定图案,诸如沟槽和楔形物,以例如强制并且稳定换能器之间的连接的对准。

[0081] 在其他实施方式中,上文描述的接合焊盘的对准也用于各种形状和尺寸的柔性贴片、带、箔、织物和聚CMUT阵列的成形形状。

[0082] 图7描绘了根据示例性实施方式的示例性系统700,该系统可以用于使用卷对卷层压机来制造MEMS装置。该系统包括多对辊:冲压辅助辊对702a、一对冲压辊702b、第一对膜辊702c、第二对膜辊702d和一对层压辊702e。该对层压辊702e包括卷对卷层压机的一部分。

[0083] 将图7中为PET(诸如Mylar^{TM})的间隔膜130与冲压辅助件704一起拉入冲压辅助件辊对702a中。冲压辅助件704可以为相对厚的PET层,例如,在冲压之后间隔膜130的冲压出的部分粘附到该层。间隔膜130被拉入第一辊对702a中并且与冲压辅助件704一起被压缩。将压缩的间隔膜130和冲压辅助件704拉入一对冲压辊702b中,在该对冲压辊中,包括凸起的模具(诸如图6的旋转圆柱模具)用于实际冲压间隔膜130以产生如上文所述的腔体170。间隔膜130和冲压辅助件704二者在图6中均可见,其中,冲压辅助件704比间隔膜130更宽。将冲压的间隔膜130和冲压辅助件704拉入第一对膜辊702c中并且利用将用作基板160和底

部电极150的金属化膜706对其进行压缩。例如,金属化膜706可以为聚酰亚胺层。当离开第一对膜辊702c时,使用硬边缘708将冲压辅助件704从间隔膜130和金属化膜706剥离以促进分离。

[0084] 将冲压的间隔膜130和金属化膜706拉入第二对膜辊702d中并且利用将用作膜110和顶部电极120的另一金属化膜710对其进行压缩,使得间隔膜130夹置在金属化膜706、710之间。例如,金属化膜710可以为相对薄的聚酰亚胺层(例如,从3μm到25μm(包括该值)的任意值)。当用于基板160的另一金属化膜706由相同材料制成时,在至少一些实施方式中,其至少与用于膜110的金属化膜710一样厚,并且最高达两倍厚。这是为了确保基板160具有至少与膜110一样的机械强度。在用于基板160的膜706比用于膜110的膜710的机械强度更强的实施方式中,用于基板160的膜706可以比用于膜110的膜710薄,同时仍然使得基板160至少与膜110一样坚固。

[0085] 离开第二对膜辊702d的三个膜706、130和710被进给到一对层压辊702e中并且被层压在一起形成MEMS装置的成品膜712,诸如图5B至图5D所描绘的。

[0086] 图7描绘了第一对膜辊和第二对膜辊702c、702d。在至少一些其他实施方式中,这些辊702c、702d可以利用单个辊代替,该单个辊接收金属化膜706和710二者并且将该二者压靠在冲压的间隔膜130上。另外或者可替代地,当使用两对膜辊702c、702d时,膜706、710中的较厚的膜可以通过第二对膜辊702d而不是第一对膜辊702c进给,如图7所示。

[0087] 应用于产品

[0088] 远程控制。功耗是一个主要挑战,因为许多物联网(IoT)装置都是电池供电的,并且需要在现场具有较长的使用寿命。关闭装置会减少电池寿命的消耗,但在需要时不能提供感应,因此需要一种节能的方式来报警和接通IoT装置。这意味着装置需要可以接通/关断IoT装置的唤醒接收器。超声波在执行该任务方面具有多种优点。它可以使用非常短波长的信号,并且因此比使用无线电信号的类似报警接收器小得多,同时以极低的功率和更宽的范围(即能够从更大的角度距离接收信号)进行操作。这样的基于超声波的接收器监听低振幅超声波信号,该信号可以唯一地映射到装置,指示该装置应何时接通。在至少一些实施方式中,它只需要一纳瓦的信号功率,这对宝贵的电池能量储备的消耗很小。此外,这样的超声波信号的范围由于无法通过声学不透明表面(诸如墙壁)传播而自然受到局限,因此它可以被限制在房间内部,例如,这具有宝贵的隐私优点。该技术可以延伸到简单的唤醒信号之外,并且包括发送和接收其他信息,诸如编码的密码或其他信息。另一个优点是超声波频率不干扰政府监管机构所规定的用于IoT通信的严格控制的电磁频率范围。

[0089] 聚CMUT套筒。在至少一些实施方式中,聚CMUT阵列可以制作在可延展的基板上,使得其表现得像弹性织物。当聚CMUT与目标材料之间需要紧密配合时,诸如当聚CMUT包括套在管道上的套筒的一部分时,这是有用的。

[0090] 结构完整性测试。在又一些实施方式中,透明聚CMUT阵列用于材料的非破坏性测试(NDT)。通常,X射线成像用于材料检查,但所使用的剂量含有很大比例的电离辐射,这在某些情况下会对测试样本造成内部损坏。X射线透明的聚CMUT阵列可以另外或者作为另一种选择替代地用于获得图像,诸如由超声与X射线成像的组合产生的混合图像,以潜在地减小所需的X射线能量的量。

[0091] 管道监测。在一些实施方式中,在现场放置管道时,可以将CMUT阵列安装在管道的

区段上。可替代地,它可以在制造管道时安装在管道的区段上,以便更好地与管道集成并且保护聚CMUT阵列免受损坏。至少一些实施方式对于以NDT形式实时监测地下管道是有用的。

[0092] 水力学测试。聚CMUT可以在一些实施方式中制作在弹性基板上,使得其可以在正常操作期间随着液压软管的变形而变形。基板的电气互连和灵活性可以根据待包裹管道的直径和长度进行定制。

[0093] 飞机机翼NDT。在一些实施方式中,提供了一种可滚动的聚CMUT阵列,其可以围绕轮子的周边安装,这使得该阵列能够快速滚动到飞机机翼上。然后,与机翼接触的聚CMUT可以用于执行超声成像。例如,聚CMUT可以包括柔性织物的一部分,

[0094] 例如,如果需要使用大型聚CMUT换能器阵列来检查飞机机翼或其他飞机,则可以暂时将包括聚CMUT阵列的大型膜附接到机翼以进行检查。永久监测解决方案可以包括,例如,将换能器结合在机身内部,以保护换能器免受物理磨损和环境暴露。

[0095] 可穿戴聚CMUT阵列。在另一实施方式中,根据本文描述的实施方式制成的聚CMUT阵列用于人类或动物组织。由此形成的用于医疗或农业应用的柔性或刚性阵列对于在发生事故时提供关于现场伤害的信息是有用的。例如,紧急救援人员可以将伤者包裹在织物中,并且对受害者的骨折和软组织损伤进行成像,然后再开始将受害者运送到医疗机构。这种做法可以包括检查腿部、手臂、肋骨和脊柱是否骨折,以及检查颅骨是否受到冲击损伤。

[0096] 用于伤口的绷带。在至少一些实施方式中,聚CMUT阵列被制作成绷带,用于在愈合期间遮盖伤口。为此,使用柔性基板使得该柔性基板可以更好地贴合组织。这种聚CMUT阵列绷带还能够监测组织修复并且向修复下方的组织输送能量,以提高愈合过程的速度。在另一实施方式中,聚CMUT阵列绷带用于使组织中的流体成穴(cavitate)以支持清创。

[0097] 诊断仪器。在其他实施方式中,透明聚CMUT阵列的混合集成将X射线、超声波、光声学、弹性成像和/或其组合结合在单个系统中。

[0098] 化学和生物传感。通过对聚CMUT元件的膜进行功能化,可穿戴聚CMUT贴片可以用于化学和生物传感。功能化的膜对改变膜的质量负载的化学或生物物质的存在敏感。例如,聚CMUT元件的谐振频率取决于膜的材料性质(例如质量、刚度和粘度),这类似于鼓。在存在旨在“被感测”的具体化学或生物物质的情况下,功能化的膜可以吸收一些材料,并且其物理性质相应地发生改变。材料性质的改变可以通过例如谐振频率的频率、带宽或振幅的改变来检测。具体而言,已知谐振频率的改变与膜的质量的相对改变成比例。

[0099] 心脏监测器。根据至少一些实施方式,贴片用作将超声脉冲聚焦在朝向心脏的皮肤上的发射器和记录反射波的麦克风。该贴片用作在20至60KHz范围内进行操作的机载脉冲多普勒超声系统。例如,示例性贴片尺寸范围从5乘5cm至10乘10cm。

[0100] 血压监测器。在某些实施方式中,聚CMUT可穿戴阵列使用超声多普勒流量测量来非侵入性地确定患者群体的血压。可以使用以下描述的聚CMUT测量血压,并且与侵入性动脉导管或示波法Terumo Elemano™血压监测仪进行比较。要使用聚CMUT测量血压,需要在袖带放气期间由包括聚CMUT阵列的织物贴片记录桡动脉中的血流速度。将S形曲线拟合到预处理的速度信号,并且确定收缩压和平均动脉压。应用包括妊娠期先兆子痫监测和心脏病患者的动态血压监测。

[0101] 经颅聚焦超声(FUS)与静脉循环微泡相结合可以暂时并且选择性地增加血脑屏障的通透性,以使靶向药物输送到中枢神经系统。这种方法可以用于患有脑肿瘤、早期阿尔茨

海默病和肌萎缩侧索硬化症的患者。至少一些实施方式解决的挑战是:为了广泛临床采用FUS介导的血脑屏障通透性,需要开发用于实时治疗监测和控制的系统和方法,以确保在整个过程中都保持安全且有效的声暴露水平。

[0102] 可以合并到以上应用中的发送器和接收器电子装置(有时被称为收发器)可以从例如Verasonics™、US4US™、Interson™以及Texas Instruments™商业获得。

[0103] 通过参考以下实施例将更容易理解至少一些实施方式,给出这些实施例是为了说明各种实施方式。

[0104] 实施例1

[0105] 工作的聚CMUT是通过全机械工艺产生的。首先,将聚酰胺金属化以产生所需的电极。使用0.5毫米皮革冲头竖直地冲压薄的(900nm厚)Mylar™膜;该膜充当图1的间隔膜130。皮革冲压模具用于在原型中产生成型的腔体。更一般来讲,Mylar膜可以为厚度在600nm至1.5μm的范围内的任何通用的双轴取向的聚对苯二甲酸乙二醇酯膜。

[0106] 图3显示了冲压的900nm的Mylar膜130以显示机械冲压这样的薄膜的可行性。在进行冲压并且设定以供使用之后,该掩模用作用于冲压和金属蒸发的模板。

[0107] 然后将冲压的膜与金属化的聚酰胺膜对准,并且在235℃的温度下结合压力在辊式层压机中层压在一起。图2B中示出了所得的叠层和四腔体装置300。

[0108] 图2A示出了所产生的原型200的精确叠层,其中,隔离膜130是Mylar™形式的PET。在该实施方式中,原型200缺少图1的绝缘层140。然而,该原型包括:腔体170,其通过冲压间隔膜130而形成;膜110,其由Kapton™制成,该膜被金属化并且其金属化部分形成顶部电极120;以及基板160,其由Kapton™制成,该基板被金属化并且其金属化部分形成底部电极150。

[0109] 然后可以将这些层连接到具有120V DC和60V AC的偏置三通(bias tee),并且使用LDV进行扫描以找到谐振频率,并且由此确认制作的成功。

[0110] 在图4的右侧,根据实施方式制造的单个腔体170被示出在10倍显微镜下。两个电极和腔体170的较大轮廓都是可见的,并且所得的左侧LDV扫描400揭示了谐振频率大约为230kHz。在120V DC和60V AC下,膜以不同频率的位移量值显示了约230kHz的谐振频率,并且证明了工作原型的制作。测量是在LDV中完成的。

[0111] 实施例2

[0112] 该实施例是针对一种新颖的MEMS制作方法,该方法使用聚CMUT作为示例性MEMS装置。为了使用这种完全机械制作方法,使用了三个主要部件。前两个部件是两个厚度相同或不同的膜,这些膜可以是一种均质的材料,也可以是获得的几种材料的层压体;这些膜用于膜110和基板160。为了构建聚CMUT,首先将这些膜金属化以形成电极120和150。对于所描述的原型,在该原型中,膜分别包括25μm和100μm厚的Kapton™,这些膜利用100nm的金进行金属化。金属化可以为共形的或图案化的,这取决于装置的架构。第三部件是非常薄的间隔膜130,其充当间隔膜。在聚CMUT的该实施例中,该间隔膜130是Mylar™的薄层(900nm)。然后对该间隔膜130进行冲压以产生允许聚CMUT膜移动所需的成型的腔体。将所得膜层压在一起。在聚CMUT的情况下,层压机将辊加热至到230°,并且压力为1巴,从而实现永久层压。该工艺的参数变化取决于所使用的材料和所得装置的期望特性。在一个示例中,金属化的基板和膜通过添加一层非常薄的丙烯酸酯或SiO_2或类似绝缘体来绝缘。这可以利用用于电极的两

个金属化膜中的一者或两者来完成。

[0113] 在本公开中,词语“包括”以非限制性意义使用,以意味着包括该词后面的项,但不排除未特别提及的项。应理解,在包括或可以包括特定特征或变量或参数的实施方式中,替代性实施方式可以由这样的特征或变量或参数组成,或基本上由这样的特征或变量或参数组成。通过不定冠词“一(a)”对元件的引用并不排除存在多于一个元件的可能性,除非上下文明确要求存在一个且只有一个元件。

[0114] 在本公开中,通过端点对数值范围的表述包括该范围内包含的所有数字,包括所有完整数、所有整数和所有小数中间值(例如,1至5包括1、1.5、2、2.75、3、3.80、4和5等)。在本公开中,单数形式“一个(an)”和“该(the)”包括复数引用,除非内容另有明确规定。因此,例如,对含有“一个化合物”的组合物的引用包括两个或更多个化合物的混合物。

[0115] 在本公开中,术语“或(or)”一般在其包括“和/或”的意义上被采用,除非内容另有明确规定。

[0116] 预期的是,本说明书中讨论的任何方面或实施方式的任何部分可以与本说明书中讨论的任何其他方面或实施方式的任何部分实现或组合,只要这样的实现方式或组合不是使用互斥的部分来执行。

[0117] 虽然上文已经描述了示例性实施方式并且在附图中示出了示例性实施方式,但是对于本领域技术人员来说将显而易见的是,可以在不背离本公开的情况下进行修改。这些修改被认为是包括在本公开的范围内的可能变体。

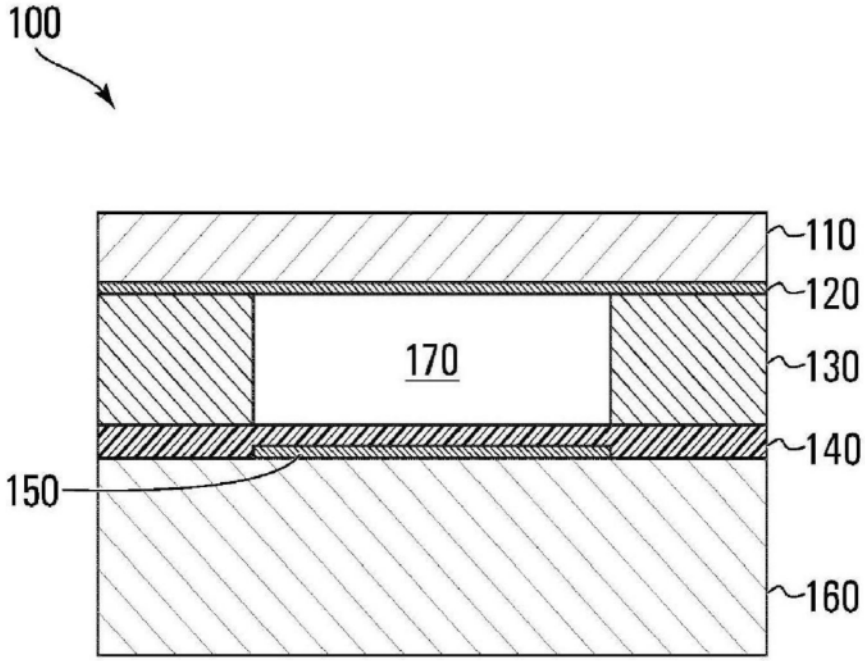


图1

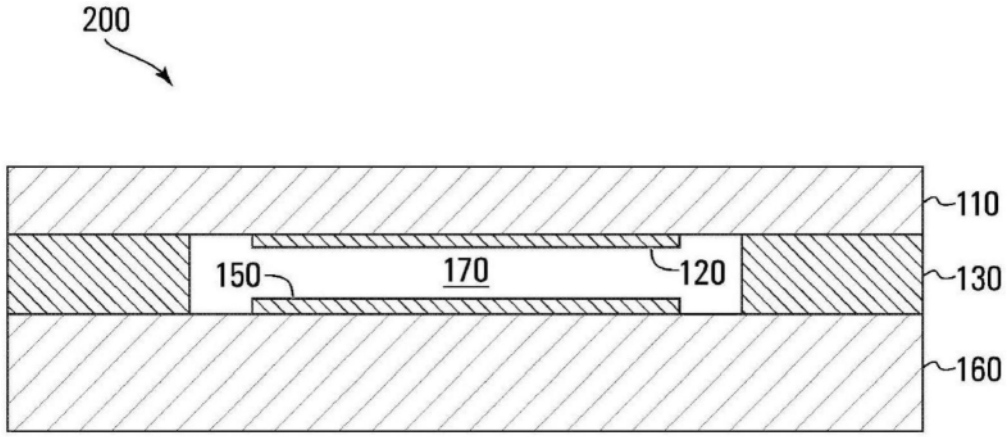


图2A

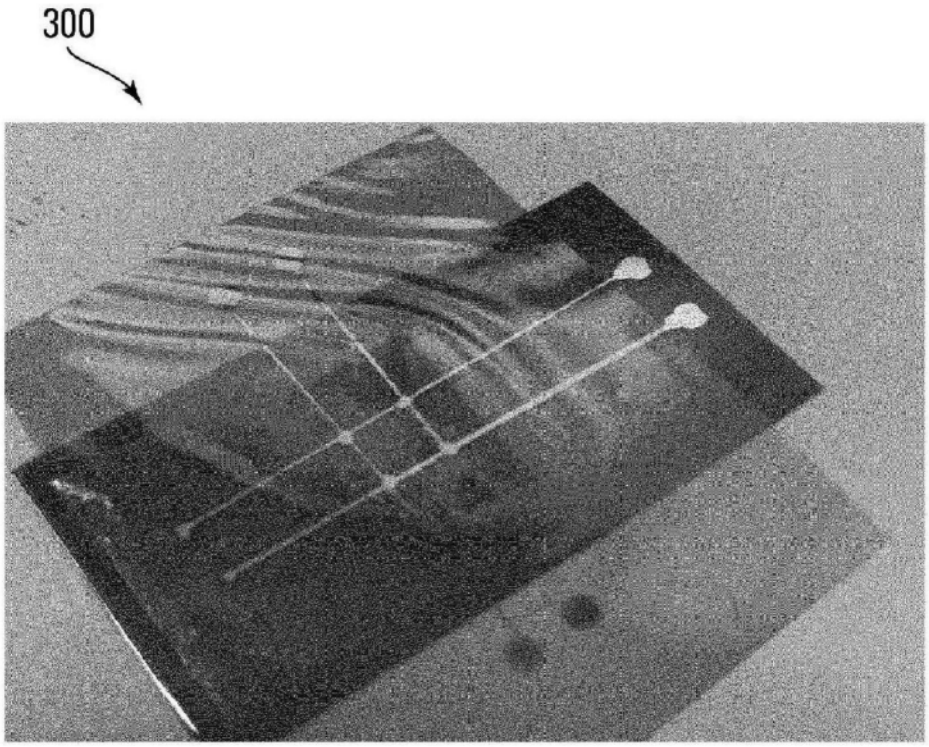


图2B

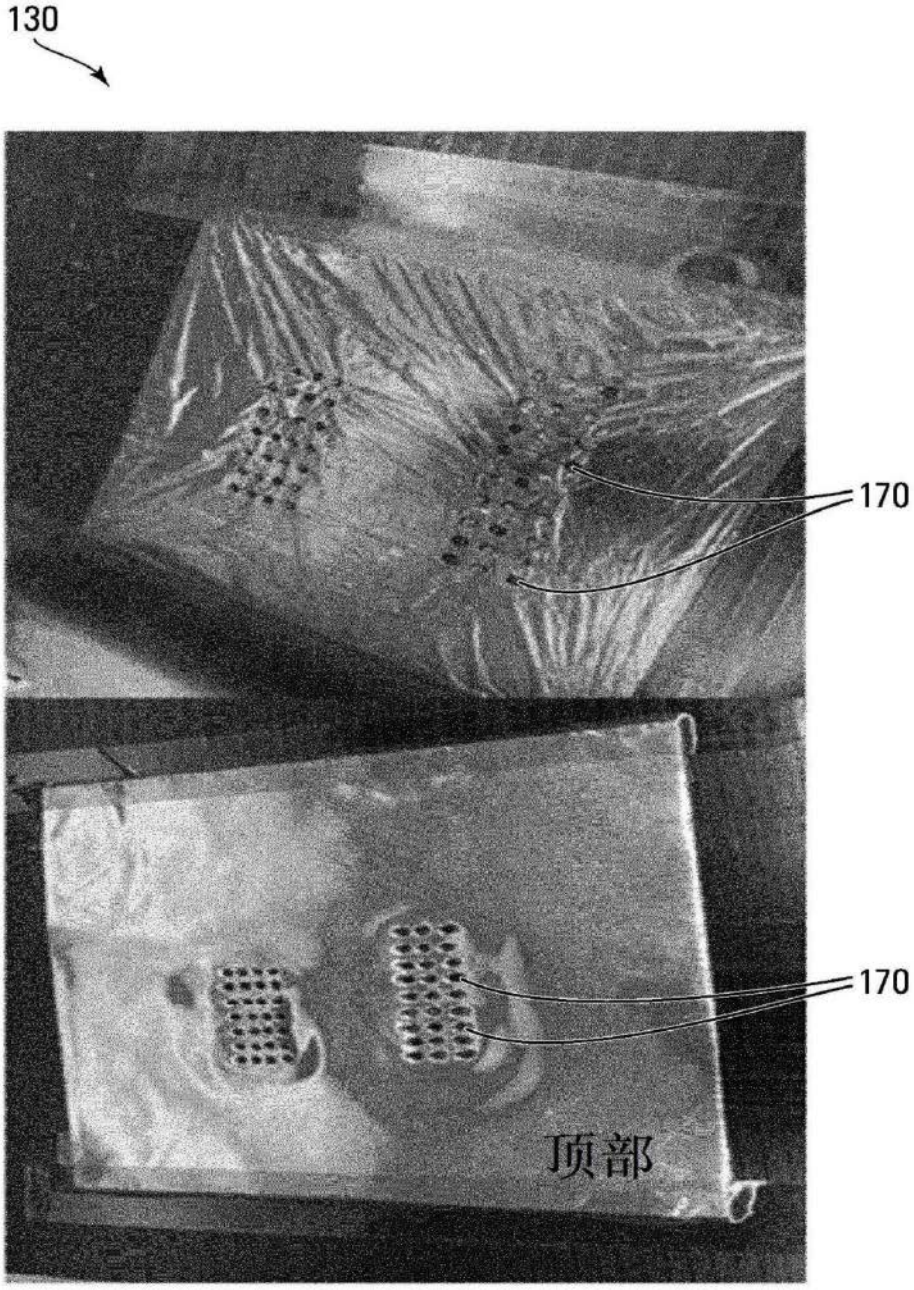


图3

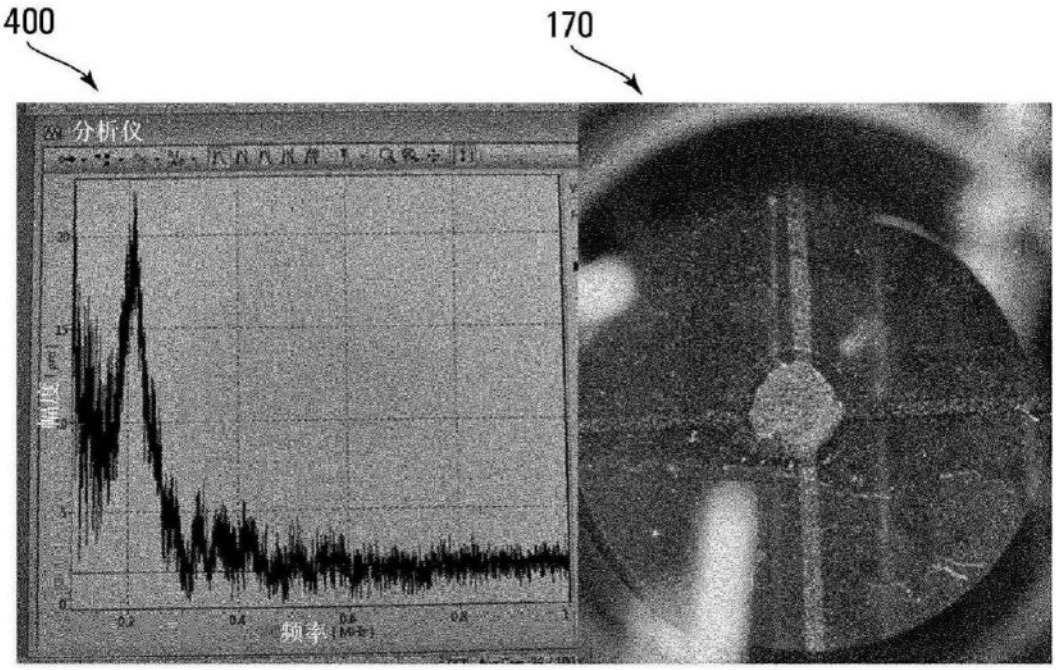


图4

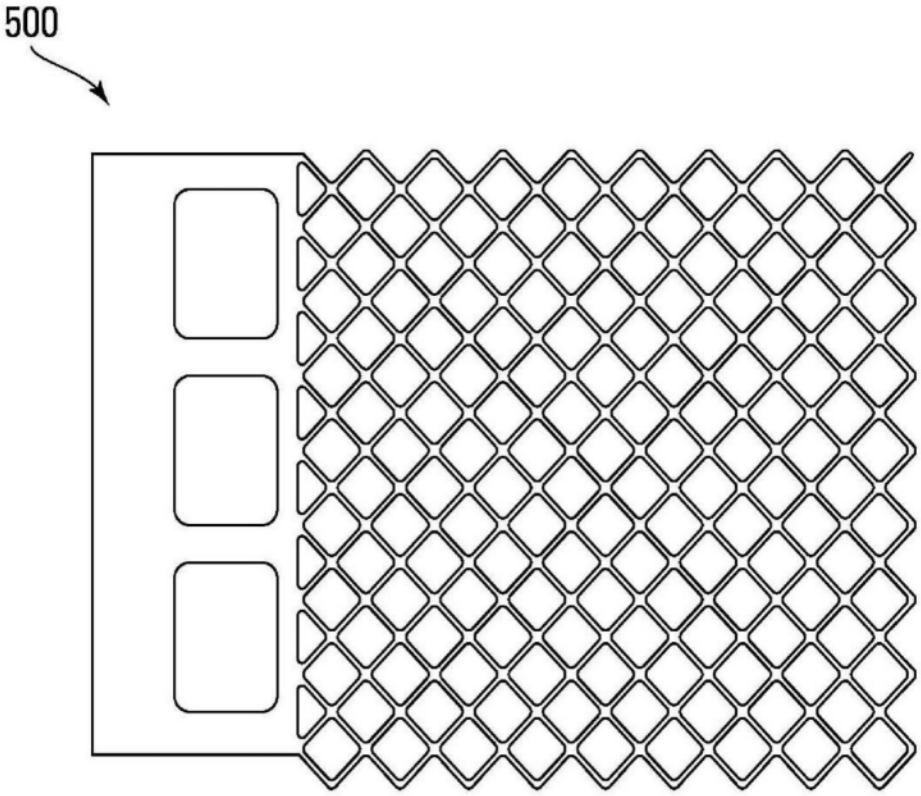


图5A

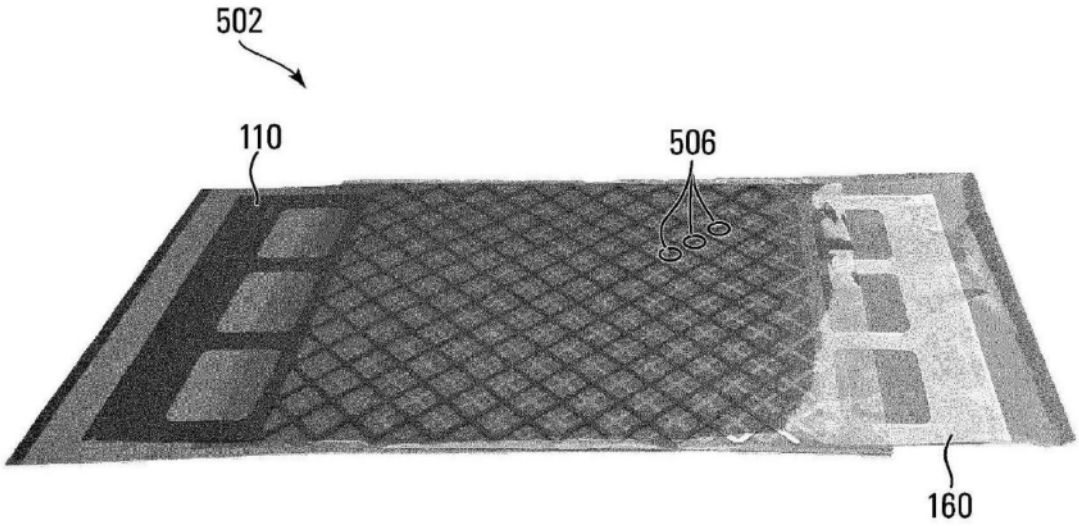


图5B

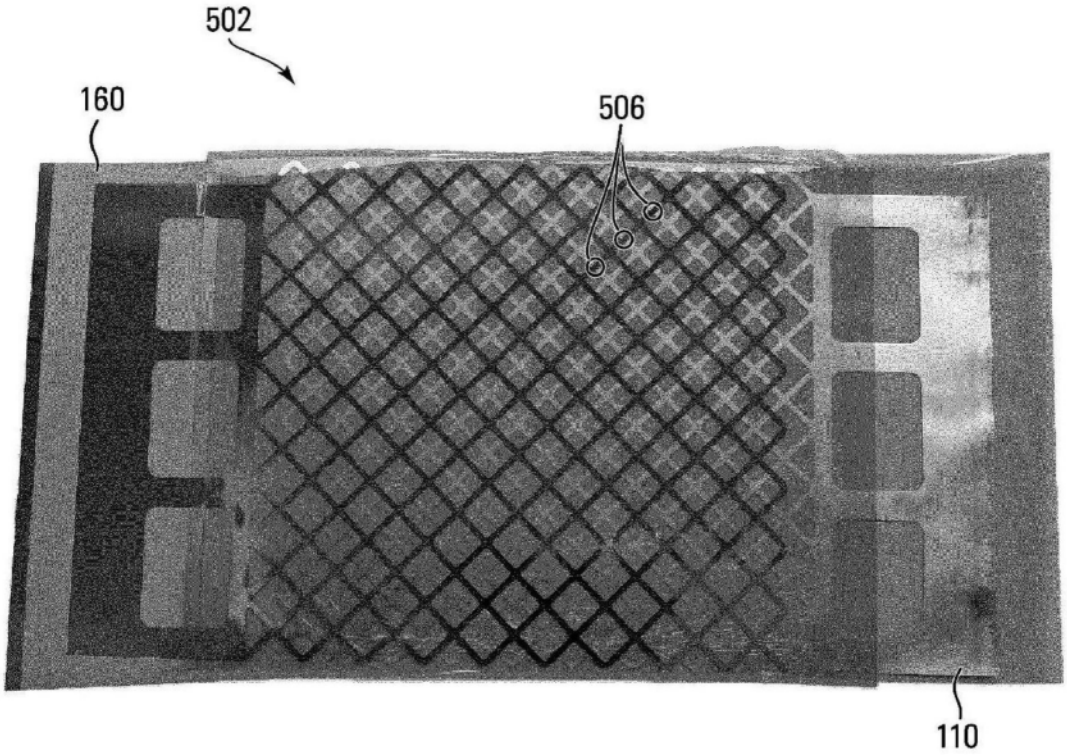


图5C

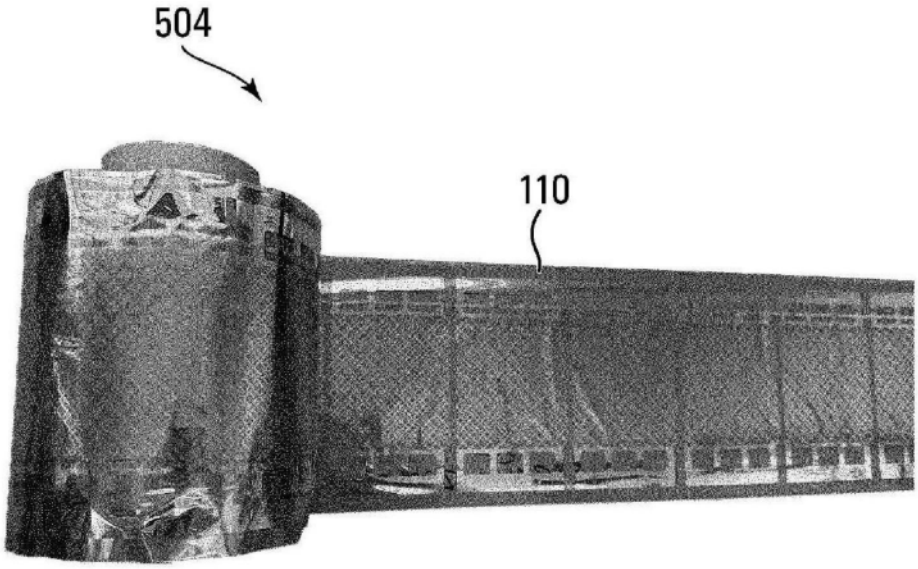


图5D

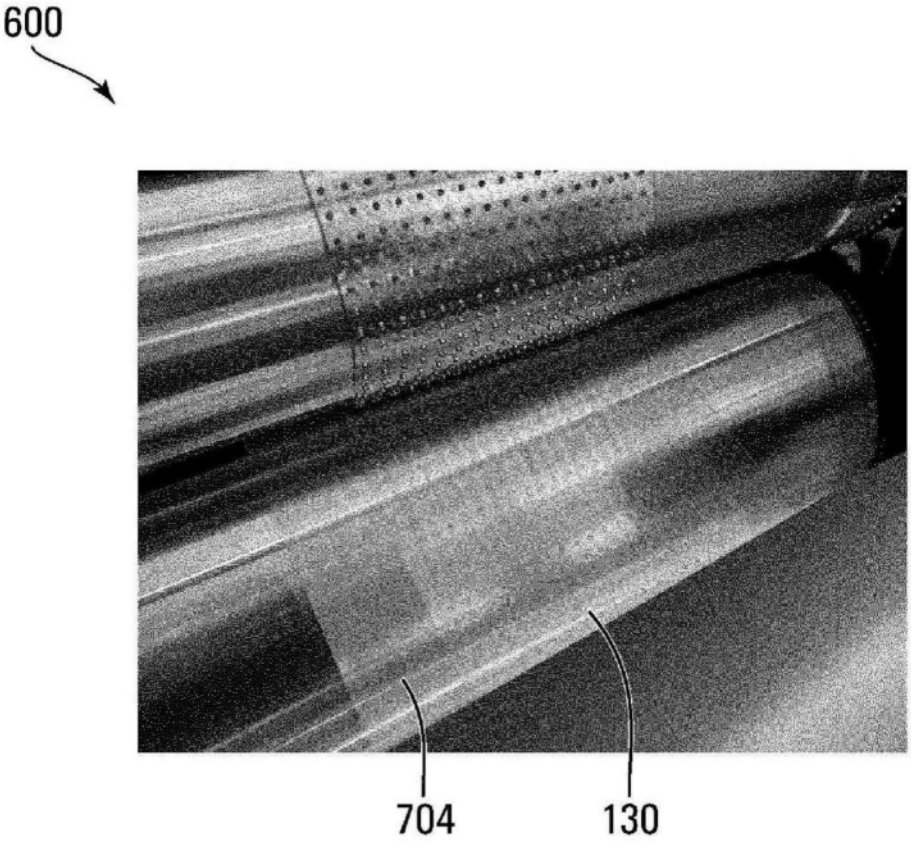


图6

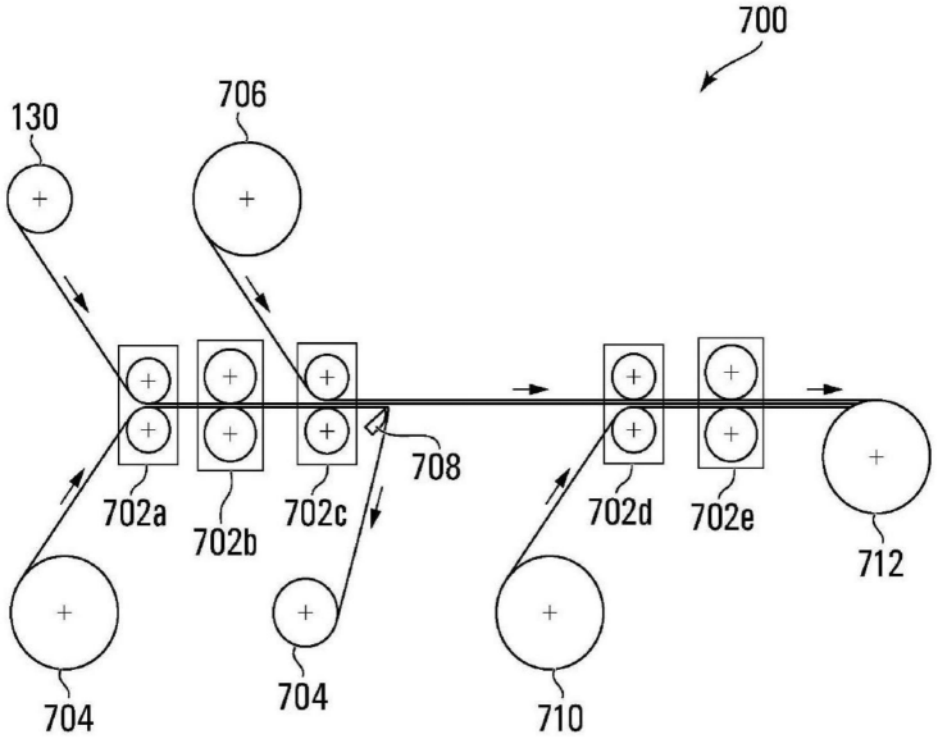


图7