

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2020 年 3 月 26 日 (26.03.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/056835 A1

- (51) 国际专利分类号:
H03H 9/02 (2006.01) **H03H 9/17** (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2018/110929
- (22) 国际申请日: 2018 年 10 月 19 日 (19.10.2018)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201811102525.0 2018 年 9 月 20 日 (20.09.2018) CN
- (71) 申请人: 天津大学 (TIANJIN UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国天津市南开区卫津路 92 号, Tianjin 300072 (CN)。
- (72) 发明人: 庞慰(PANG, Wei); 中国天津市南开区卫津路 92 号, Tianjin 300072 (CN)。 孙新(SUN, Xin); 中国天津市南开区卫津路 92 号, Tianjin 300072 (CN)。
- (74) 代理人: 北京汉智嘉成知识产权代理有限公司(CHINA SMART INTELLECTUAL PROPERTY LTD.); 中国北京市东城区建国门内大街 18 号恒基中心办二 4 层 417, Beijing 100005 (CN)。
- (81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,

(54) Title: FLEXIBLE SINGLE-CRYSTAL LAMB WAVE RESONATOR, AND PRODUCTION METHOD THEREFOR

(54) 发明名称: 柔性单晶兰姆波谐振器及其形成方法



图 2

- S1 Provide a hard substrate
S2 Form a sacrificial layer on the hard substrate
S3 Form a single-crystal thin film layer on the sacrificial layer
S4 Divide the single-crystal thin film layer into a device region, a surrounding region, a window region, and an anchor structure, and then form an interdigital electrode on the device region
S5 Perform etching to remove the window region, and retain the device region, the anchor structure, and the surrounding region
S6 Release the sacrificial layer below the window region, the anchor structure, and the device region
S7 Bond the device region and the interdigital electrode by a stamp, and then disconnect the anchor structure
S8 Provide a flexible substrate having a top cavity
S9 Transfer the device region and the interdigital electrode over the flexible substrate by the stamp and cover the top cavity in alignment therewith

(57) Abstract: The present invention provides a flexible single-crystal Lamb wave resonator, and a production method therefor. The method comprises: providing a hard substrate; forming a sacrificial layer on the hard substrate; forming a single-crystal thin film layer on the sacrificial layer; dividing the single-crystal thin film layer into a device region, a surrounding region, a window region, and an anchor structure, wherein the window region is configured to separate the device region from the surrounding region and the anchor structure is configured to connect the device region and the surrounding region, and then forming an interdigital electrode on the device region; performing etching to remove the window region, and retaining the device region, the anchor structure, and the surrounding region; releasing the sacrificial layer below the window region, the anchor structure, and the device region, so that the device region and the interdigital electrode are suspended on the hard substrate under the action of the anchor structure; bonding the device region

SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

- (84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM,
AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG,
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

- 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

and the interdigital electrode by means of a stamp, and then disconnecting the anchor structure to separate the device region and the interdigital electrode from the hard substrate; providing a flexible substrate having a top cavity; transferring the device region and the interdigital electrode over the flexible substrate by means of the stamp and covering the top cavity in alignment therewith.

(57) 摘要: 本发明提供一种柔性单晶兰姆波谐振器及其形成方法。该方法包括: 提供硬质基底; 在硬质基底之上形成牺牲层; 在牺牲层之上形成单晶薄膜层; 将单晶薄膜层划分为器件区、周围区、窗口区和锚结构, 窗口区用于将器件区和周围区隔开, 锚结构用于连接器件区和周围区, 然后在器件区之上形成叉指电极; 刻蚀去除窗口区, 保留器件区、锚结构和周围区; 释放去除窗口区、锚结构和器件区下方的牺牲层, 以使器件区和叉指电极在锚结构的作用下悬于硬质基底上; 利用印章粘附器件区和叉指电极, 然后断开锚结构从而使器件区和叉指电极脱离硬质基底; 提供具有顶部空腔的柔性基底; 利用印章将器件区和叉指电极转移至柔性基底之上并且覆盖对准顶部空腔。

柔性单晶兰姆波谐振器及其形成方法

5 技术领域

本发明涉及半导体技术领域，特别地涉及一种柔性单晶兰姆波谐振器及其形成方法。

背景技术

10 包括物联网和 5G 领域新的应用对谐振器的功耗和带宽提出了更高的要求，以铌酸锂、钽酸锂等单晶材料为压电薄膜的兰姆波谐振器同时具备高 K_t^2 和高 Q 值，可以满足下一代可重构和多频宽带滤波的要求。超低功耗唤醒接收机（Ultra-low power Wake-Up Receivers）也是单晶兰姆波谐振器的一大研究热点。传统的兰姆波谐振器都是基于硬
15 质基底的，这使得柔性电子领域（例如柔性谐振器，滤波器，振荡器，传感器）的需求依旧无法满足，所以急需研制出一种柔性兰姆波谐振器。

现有的制备柔性器件的方法大致分两步：首先在硬质基底上制备
20 器件，然后通过印章转移的方法把器件从硬质基底转移到柔性基底。以常规压电材料（AlN 或者 ZnO）的柔性薄膜腔声谐振滤波器（Film Bulk Acoustic Resonator，简称 FBAR）器件为例，具体制造工艺为：（1）提供硅基底，在硅基底顶表面沉积 SiO_2 材料作为牺牲层，然后通过定义出器件区，仅仅保留器件区下面沉积的 SiO_2 ，其余区域的 SiO_2 去除；
25 （2）然后在牺牲层上依次形成底电极层、压电层（即 AlN 或者 ZnO）和顶电极，此时如图 1 所示；（3）由于仅在器件区保留牺牲层、其他区域不保留牺牲层，通过释放工艺使得器件下方悬空，再在与基底相连接处设置锚点结构使得器件主体单独分离出来，器件周围的压电层都去除；（4）利用印章压上去把器件主体粘起来，再转移到其他柔性
30 基底上。

然而，单晶铌酸锂压电层的器件却无法采用类似的工艺来制造。由于常规的溅射、化学气相沉积、外延生长适用于多晶薄膜，但不适用于高质量铌酸锂、钽酸锂单晶薄膜的生产。目前获取高质量单晶薄膜比较成熟的方法是通过晶体离子切片技术生产铌酸锂、钽酸锂单晶薄膜然后再键合到硅片上。若如图 1 所示先在硬质基底上形成了对应器件区的图形化的牺牲层，上面很难键合单晶铌酸锂薄膜。另外，晶体离子切片技术无法控制应力，使得制备的单晶薄膜存在残余应力，在释放空腔工艺后，残余应力会使得单晶薄膜会发生弯曲或产生裂纹降低器件性能，甚至直接发生断裂导致器件报废。最后，由于干法刻蚀硅基底顶部的过程中，由于干法刻蚀的各向同性，释放出的空腔底部会凹凸不平，容易导致后续转移时器件损坏。

发明内容

有鉴于此，本发明提供一种柔性单晶兰姆波谐振器及其形成方法。

本发明第一方面提出的柔性单晶兰姆波谐振器的形成方法，包括：提供硬质基底；在所述硬质基底之上形成牺牲层；在所述牺牲层之上形成单晶薄膜层；将所述单晶薄膜层划分为器件区、周围区、窗口区和锚结构，所述窗口区用于将所述器件区和所述周围区隔开，所述锚结构用于连接所述器件区和所述周围区，然后在所述器件区之上形成叉指电极；刻蚀去除所述窗口区，保留所述器件区、锚结构和周围区；释放去除所述窗口区、锚结构和器件区下方的牺牲层，以使所述器件区和所述叉指电极在所述锚结构的作用下悬于所述硬质基底上；利用印章粘附所述器件区和所述叉指电极，然后断开所述锚结构从而使所述器件区和所述叉指电极脱离所述硬质基底；提供具有顶部空腔的柔性基底；利用所述印章将所述器件区和所述叉指电极转移至所述柔性基底之上并且覆盖对准所述顶部空腔。

可选地，在形成所述牺牲层的步骤之后并且在形成所述单晶薄膜

层的步骤之前，还包括：在形成所述单晶薄膜层的步骤之前，还包括：形成位于所述单晶薄膜层之下的金属层；在刻蚀去除所述窗口区，保留所述器件区、锚结构和周围区的步骤之后，还包括：去除所述窗口区下方的所述金属层，并且保留所述器件区下方的底电极金属层作为底电极；；在利用印章粘附所述器件区和所述叉指电极的步骤同时，粘附所述底电极；在利用所述印章将所述器件区和所述叉指电极转移至所述柔性基底之上并且覆盖对准所述顶部空腔的步骤同时，转移所述底电极至所述柔性基底之上并且覆盖对准所述顶部空腔。

可选地，在形成单晶薄膜层的步骤之后，还包括：在所述器件区之上、所述叉指电极附近形成空气反射栅。

可选地，所述牺牲层的材料为二氧化硅或者苯并环丁烯。

可选地，所述牺牲层的厚度为 $0.1\mu\text{m}$ 至 $10\mu\text{m}$ 。

可选地，所述单晶薄膜层的材料为铌酸锂或者钽酸锂。

可选地，所述单晶薄膜层的厚度为 $0.1\mu\text{m}$ 至 $2\mu\text{m}$ 。

可选地，所述锚结构包括多个断点结构。

可选地，所述印章包括压提部和粘附部，其中所述压提部位于所述粘附部之上，所述粘附部横截面尺寸大于所述器件区尺寸并且小于所述周围区的内尺寸，所述压提部横截面尺寸大于所述粘附部横截面尺寸。

可选地，所述柔性单晶谐振器的频率范围在 20MHz-2GHz。

本发明的柔性单晶兰姆波谐振器的形成方法，至少具有如下优点：

(1) 锚结构使得器件区域的压电薄膜与其他部分的压电薄膜连接，保证器件区域在释放工艺中不会漂走；同时锚结构还承载释放空腔工艺后压电薄膜残余应力的释放。(2) 在刚性基底与单晶薄膜层之间引入了可以牺牲层，该牺牲层能够通过释放工艺使得在硬质基底上的器件区悬空，而且保证器件区下方是一个平整的平面，这保证用软印章压印转移时器件区不会因为下方平面不平整而损坏，提高转移成功率。

本发明第二方面提出的柔性单晶兰姆波谐振器，该柔性单晶兰姆波谐振器是通过本发明所述的方法得到的。

附图说明

附图用于更好地理解本发明，不构成对本发明的不当限定。其中：

图 1 是现有的常规压电材料柔性器件在未释放空腔工艺之前的结构示意图；

图 2 是本发明实施例的柔性单晶兰姆波谐振器的形成方法的流程示意图；

图 3 是本发明实施例的铌酸锂单晶薄膜层的材料电子衍射图；

图 4 至图 13 是本发明实施例之一的柔性单晶兰姆波谐振器的形成方法的过程示意图；

图 14 至图 16 是本发明实施例之二的柔性单晶兰姆波谐振器的形成方法的过程示意图。

具体实施方式

下面详细描述本发明的实施例，所述实施例的示例在附图中示出，其中自始至终相同或类似的标号表示相同或类似的元件或具有相同或类似功能的元件。下面通过参考附图描述的实施例是示例性的，旨在用于解释本发明，而不能理解为对本发明的限制。

在本发明的描述中，需要理解的是，术语“中心”、“纵向”、“横向”、“长度”、“宽度”、“厚度”、“上”、“下”、“前”、

“后”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”“内”、“外”、“顺时针”、“逆时针”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系，仅是为了便于描述本发明和简化描述，而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对本发明的限制。

此外，术语“第一”、“第二”仅用于描述目的，而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此，限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括一个或者更多个该特征。在本发明的描述中，“多个”的含义是两个或两个以上，除非另有明确具体的限定。

在本发明中，除非另有明确的规定和限定，术语“安装”、“相连”、“连接”、“固定”等术语应做广义理解，例如，可以是固定连接，也可以是可拆卸连接，或一体地连接；可以是机械连接，也可以是电连接；可以是直接相连，也可以通过中间媒介间接相连，可以是两个元件内部的连通。对于本领域的普通技术人员而言，可以根据具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

在本发明中，除非另有明确的规定和限定，第一特征在第二特征之“上”或之“下”可以包括第一和第二特征直接接触，也可以包括第一和第二特征不是直接接触而是通过它们之间的另外的特征接触。而且，第一特征在第二特征“之上”、“上方”和“上面”包括第一特征在第二特征正上方和斜上方，或仅仅表示第一特征水平高度高于第二特征。第一特征在第二特征“之下”、“下方”和“下面”包括第一特征在第二特征正下方和斜下方，或仅仅表示第一特征水平高度小于第二特征。

本发明旨在提出带空腔柔性衬底的单晶兰姆波谐振器及其形成方法。带空腔柔性衬底的单晶兰姆波谐振器具有单晶谐振器的高性能的

同时还具有柔性器件可弯曲的特性，使得其具有更广泛的应用领域和非常好的应用前景，柔性衬底的兰姆波谐振器与传统谐振器比较所具有的优势如表 1 所示。

5 表 1 传统兰姆波谐振器与柔性衬底的单晶兰姆波谐振器对比表

技术指标	传统兰姆波谐振器	柔性衬底的单晶兰姆波谐振器
压电材料	AlN, ZnO 等	LiNO ₃ , LiTaO ₃ , AlN, ZnO 等
基底材料	硅/蓝宝石等	PET/PI 等
压电薄膜生产工艺	溅射/化学气相沉积	单晶生长后减薄/MOCVD
晶体种类	多晶	单晶
位错密度	$>10^{12}$ 个/cm ²	$<10^{12}$ 个/cm ²
材料声波损耗	高	低
材料机电耦合系数	中等	高
谐振器机电耦合系数	较低 (<3%)	高 (>20%)
滤波器相对带宽 (FBW)	窄	宽
滤波器插入损耗 (IL)	大	小
弯曲性	不可弯曲	可弯曲
应用领域	传统电子领域	传统电子领域+柔性电子领域

图 2 是本发明实施例的柔性单晶兰姆波谐振器的形成方法的流程示意图。如图 2 所示，该方法包括如下步骤：

步骤 S1：提供硬质基底。

10 步骤 S2：在硬质基底之上形成牺牲层。

步骤 S3：在牺牲层之上形成单晶薄膜层。

步骤 S4：将单晶薄膜层划分为器件区、周围区、窗口区和锚结构，窗口区用于将器件区和周围区隔开，锚结构用于连接器件区和周围区，然后在器件区之上形成叉指电极。

15 步骤 S5：刻蚀去除窗口区，保留器件区、锚结构和周围区。

步骤 S6：释放去除窗口区、锚结构和器件区下方的牺牲层，以使器件区和叉指电极在锚结构的作用下悬于硬质基底上。

步骤 S7：利用印章粘附器件区和叉指电极，然后断开锚结构从而使器件区和叉指电极脱离硬质基底。

20 步骤 S8：提供具有顶部空腔的柔性基底。

步骤 S9：利用印章将器件区和叉指电极转移至柔性基底之上并且

覆盖对准顶部空腔。

由上可知，本发明实施例的柔性单晶兰姆波谐振器的形成方法，至少具有如下优点：（1）锚结构使得器件区压电薄膜与周围区压电薄膜连接，保证器件区在释放工艺中不会漂走，同时锚结构还用于承载释放空腔工艺后压电薄膜残余应力释放。（2）在刚性基底与单晶薄膜层之间引入了可以牺牲层，该牺牲层能够通过释放工艺去除，从而使得器件区在硬质基底上悬空，同时保证器件区下方是平整平面，继而保证用印章压印转移时器件区不会因为下方平面不平整而损坏，提高转移成功率。

在本发明实施例的柔性单晶兰姆波谐振器的形成方法中，在形成所述单晶薄膜层的步骤之前，还包括：形成位于所述单晶薄膜层之下的金属层；在刻蚀去除所述窗口区，保留所述器件区、锚结构和周围区的步骤之后，还包括：去除所述窗口区下方的所述金属层，并且保留所述器件区下方的底电极金属层作为底电极；在利用印章粘附器件区和叉指电极的步骤同时，粘附底电极；在利用印章将器件区和叉指电极转移至柔性基底之上并且覆盖对准顶部空腔的步骤同时，转移底电极至柔性基底之上并且覆盖对准顶部空腔。该实施例中，底电极的存在能够提高谐振器性能。

在本发明实施例的柔性单晶兰姆波谐振器的形成方法中，在形成单晶薄膜层的步骤之后，还可以包括：在器件区之上、叉指电极附近形成空气反射栅。空气反射栅的存在可以提高器件的性能。

在本发明实施例的柔性单晶兰姆波谐振器的形成方法中，牺牲层的材料可以为二氧化硅或者苯并环丁烯（Benzocyclobutene，简称 BCB）。

在本发明实施例的柔性单晶兰姆波谐振器的形成方法中，牺牲层的厚度可以为 $0.1\mu\text{m}$ 至 $10\mu\text{m}$ 。若牺牲层的厚度小于 $0.1\mu\text{m}$ ，则单晶薄

膜难以键合到牺牲层上；若牺牲层的厚度高于 $10\mu\text{m}$ ，则不利于后续释放工艺将其去除。

5 在本发明实施例的柔性单晶兰姆波谐振器的形成方法中，单晶薄膜层的材料可以为铌酸锂或者钽酸锂。

在本发明实施例的柔性单晶兰姆波谐振器的形成方法中，单晶薄膜层的厚度可以为 $0.1\mu\text{m}$ 至 $2\mu\text{m}$ 。若单晶薄膜层的厚度小于 $0.1\mu\text{m}$ ，则制造工艺难度太大，而且太薄后续转移步骤极易使器件损坏；若
10 单晶薄膜层的厚度大于 $2\mu\text{m}$ ，则会使器件柔性变差。

在本发明实施例的柔性单晶兰姆波谐振器的形成方法中，锚结构可以包括多个断点结构。多个断点结构可以使得锚结构将器件区和周围区轻微连接起来，保障了锚结构在受到外力断裂时的断口整齐，方便分离同时释放掉应力。优选地，锚结构通常设计为细长形状，例如
15 长宽比大于 10:1。

在本发明实施例的柔性单晶兰姆波谐振器的形成方法中，印章可以包括压提部和粘附部。其中压提部位于粘附部之上。粘附部横截面尺寸大于器件区尺寸并且小于周围区的内尺寸。压提部横截面尺寸大于粘附部横截面尺寸。与现有的普通柱状印章相比，普通柱体印章较大，容易把器件区域之外的电极层和压电层一同粘下来，这会大大增加器件损坏率。本发明实施例的印章形状的底表面与器件区大小相匹配，因此释放窗口不用开得太宽，单位面积内能制造更多器件，可以
20 提高单晶压电材料的利用率，增加经济效益。
25

在本发明实施例的柔性单晶兰姆波谐振器的形成方法中，柔性单晶谐振器的频率范围在 20MHz-2GHz。

30 本发明还提出了柔性单晶兰姆波谐振器，本发明的柔性单晶兰姆

波谐振器是通过本发明公开的方法得到的。

为使本领域技术人员更好地理解，下面结合说明书附图详细陈述本发明实施例的柔性单晶兰姆波谐振器的形成方法的具体过程。

5

实施例 1

提供厚度约为 400 μm 的硅材料的硬质基底 101，接着通过化学气相沉积工艺在硬质基底 101 之上形成厚度为 0.1-10 μm （优选 1 μm ）的二氧化硅材料的牺牲层 102，然后通过离子切片工艺在牺牲层 102 之上键合厚度为 0.1-2 μm （优选 0.7 μm ）的铌酸锂材料的单晶薄膜层 103。

10

15

20

需要解释的是，离子切片工艺具体是指在在供体铌酸锂晶片正面注入 He^+ 离子，使得 He^+ 离子注入到铌酸锂晶片的某一深度中并形成一个 He^+ 离子层，然后通过加热退火工艺使得 He^+ 形成 He 分子气泡，从而将薄膜层剥离下来。最后利用化学机械抛光（CMP）工艺将铌酸锂薄膜层减薄到指定厚度 0.1-2 μm （优选 0.7 μm ）。该工艺得到的单晶薄膜层 103 的材料电子衍射图如图 3 所示。使用透射电子显微镜，利用电子衍射研究压电薄膜的晶格排列。布拉格衍射强度是晶格周期性排列的直接结果，周期性越好，排列越整齐，布拉格衍射强度越大。图 3 中倒易晶格清晰，没有非晶环的出现，且衍射图显示的是六边形格子图案，表明铌酸锂薄膜为单晶结构。

至此，加工得到的三层材料结构如图 4 所示。

25

30

提供器件版图如图 5 所示，版图中单晶薄膜层 103 划分为器件区 103A、周围区 103B、窗口区 103C 和锚结构 103D。窗口区 103B 将器件区 103A 和周围区 103B 隔开，锚结构 103D 连接器件区 103A 和周围区 103B。窗口区 103C 的大小需合理设置，避免原料浪费。锚结构 103D 通常设置为细长形状，优选地在锚结构 103D 上设置若干个断点结构，如图 6 所示。

接着在单晶薄膜层 103 之上形成多个叉指电极 104。叉指电极的数量不定，可以是交替排列的设置信号端（S）和接地端（G），如图 7 所示。叉指电极 104 用于产生横向电场激励谐振器工作。

5

此外，还可以在单晶薄膜层 103 的器件区 103A 之上、叉指电极 104 附近形成空气反射栅 105，如图 5 所示。该空气反射栅 105 可以使声波传到反射栅处得到反射，提高谐振器性能。

10

刻蚀去除单晶薄膜层的窗口区 103C。然后采用释放工艺去除掉牺牲层，即用氢氟酸溶液浸泡或放入气态氢氟酸机台以去除牺牲层 102 以得到空腔。需要说明的是虽然氟化氢 HF 最初腐蚀的是窗口区 103C 下方的二氧化硅，但腐蚀过程中 HF 可以慢慢扩散，逐步地将器件区 103A 下方的二氧化硅也释放干净，同时锚结构 103D 承担了单晶薄膜残余应力的释放，避免了器件区 103A 因为残余应力释放而出现裂纹。至此，器件区 103A 下方形成了空腔，器件结构如图 8a 和图 8b 所示。具体地，图 8a 为未经过锚结构的器件切面视图，其对应图 5 所示版图的水平方向切面图；图 8b 为经过锚结构的器件切面视图，其对应图 5 所示版图的垂直方向切面图。需要说明的是出于简便，图 8a 和图 8b 中仅示出了叉指电极 104，省略了空气反射栅。由图 8a 和图 8b 可知，器件区 103A 悬于硬质基底 101 上方，并且依靠锚结构 103D 与周围区 103B 连接。硬质基底 101 顶部是平整光滑的。

15

20

25

提供转移印章，该转移印章的切面图如图 9a 所示，俯视图如图 9b 所示。转移印章包括上方的压提部 A 和下方的粘附部 B。粘附部 A 横截面尺寸需要略大于器件区 103A 并且小于周围区 103B 的内尺寸，这样可以保证有效地粘附器件区同时又不会过多地粘附到周围区上。压提部 B 横截面尺寸大于粘附部 A 横截面尺寸，这样更加方便机械臂夹持转移印章进行转移。

30

需要说明的是，整个印章转移过程中，叉指电极 104 以及结构空气反射栅 105 始终位于器件区 103A 之上。由于叉指电极 104 以及结构空气反射栅 105 的厚度比较薄，因此在下文的部分说明书附图中进行省略、不再示出。

5

如图 10 所示，将转移印章与器件区 103A 对准后施加向下的压力，器件区 103A 粘附在转移印章上，同时释放了单晶薄膜生长应力，避免了器件区 103A 因为应力残余而出现裂纹。硬质基底 101 顶部平整，所以器件区 103A 被按压至硬质基底 101 顶部时，也能保持完好无损。

10

如图 11 所示，提拉转移印章，锚结构 103D 受到力而断开，从而将器件区 103A 脱离了原有的硬质基底 101。

15

提供具有顶部空腔的柔性基底 106。然后如图 12a 至图 12c 所示，利用转移印章将器件区 103A 转移至柔性基底 106 之上并且覆盖对准顶部空腔。最终形成的器件如图 13 所示。

实施例 2

20

首先，由下至上依次形成如图 14 所示的四层结构，包括硬质基层 101、牺牲层 102、金属层 107（厚度约 $0.1\mu\text{m}$ ）和单晶薄膜层 103。然后，参照实施例 1 中的步骤进行单晶薄膜区域划分、刻蚀窗口，释放空腔。释放工艺去除牺牲层 102 的二氧化硅后的器件结构如图 15 所示，器件区 103A 下方形成了底电极 107'。继续参照实施例 1 中的步骤进行印章转移，将谐振器结构从硬质基底转移到带顶部空腔的柔性基底上。最终得到的器件如图 16 所示。

25

30

上述具体实施方式，并不构成对本发明保护范围的限制。本领域技术人员应该明白的是，取决于设计要求和因素，可以发生各种各样的修改、组合、子组合和替代。任何在本发明的精神和原则之内所作的修改、等同替换和改进等，均应包含在本发明保护范围之内。

权 利 要 求 书

1. 一种柔性单晶兰姆波谐振器的形成方法，其特征在于，包括：
提供硬质基底；

5 在所述硬质基底之上形成牺牲层；

在所述牺牲层之上形成单晶薄膜层；

将所述单晶薄膜层划分为器件区、周围区、窗口区和锚结构，所述窗口区用于将所述器件区和所述周围区隔开，所述锚结构用于连接所述器件区和所述周围区，然后在所述器件区之上形成叉指电极；

10 刻蚀去除所述窗口区，保留所述器件区、锚结构和周围区；

释放去除所述窗口区、锚结构和器件区下方的牺牲层，以使所述器件区和所述叉指电极在所述锚结构的作用下悬于所述硬质基底上；

利用印章粘附所述器件区和所述叉指电极，然后断开所述锚结构从而使所述器件区和所述叉指电极脱离所述硬质基底；

15 提供具有顶部空腔的柔性基底；

利用所述印章将所述器件区和所述叉指电极转移至所述柔性基底之上并且覆盖对准所述顶部空腔。

2. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，

20 在形成所述单晶薄膜层的步骤之前，还包括：形成位于所述单晶薄膜层之下的金属层；

在刻蚀去除所述窗口区，保留所述器件区、锚结构和周围区的步骤之后，还包括：去除所述窗口区下方的所述金属层，并且保留所述器件区下方的底电极金属层作为底电极；

25 在利用印章粘附所述器件区和所述叉指电极的步骤同时，粘附所述底电极；

在利用所述印章将所述器件区和所述叉指电极转移至所述柔性基底之上并且覆盖对准所述顶部空腔的步骤同时，转移所述底电极至所述柔性基底之上并且覆盖对准所述顶部空腔。

30

3.根据权利要求 1 或 2 所述的方法，其特征在于，在形成单晶薄膜层的步骤之后，还包括：在所述器件区之上、所述叉指电极附近形成空气反射栅。

5 4.根据权利要求 1 或 2 所述的方法，其特征在于，所述牺牲层的材料为二氧化硅或者苯并环丁烯。

5. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法，其特征在于，所述牺牲层的厚度为 $0.1\mu\text{m}$ 至 $10\mu\text{m}$ 。

10

6. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法，其特征在于，所述单晶薄膜层的材料为铈酸锂或者钽酸锂。

15

7. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法，其特征在于，所述单晶薄膜层的厚度为 $0.1\mu\text{m}$ 至 $2\mu\text{m}$ 。

8. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法，其特征在于，所述锚结构包括多个断点结构。

20

9. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法，其特征在于，所述印章包括压提部和粘附部，其中所述压提部位于所述粘附部之上，所述粘附部横截面尺寸大于所述器件区尺寸并且小于所述周围区的内尺寸，所述压提部横截面尺寸大于所述粘附部横截面尺寸。

25

10. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法，其特征在于，所述柔性单晶谐振器的频率范围在 20MHz-2GHz。

11. 一种柔性单晶兰姆波谐振器，其特征在于，该柔性单晶兰姆波谐振器是通过权利要求 1 至 10 中任一项所述的方法得到的。

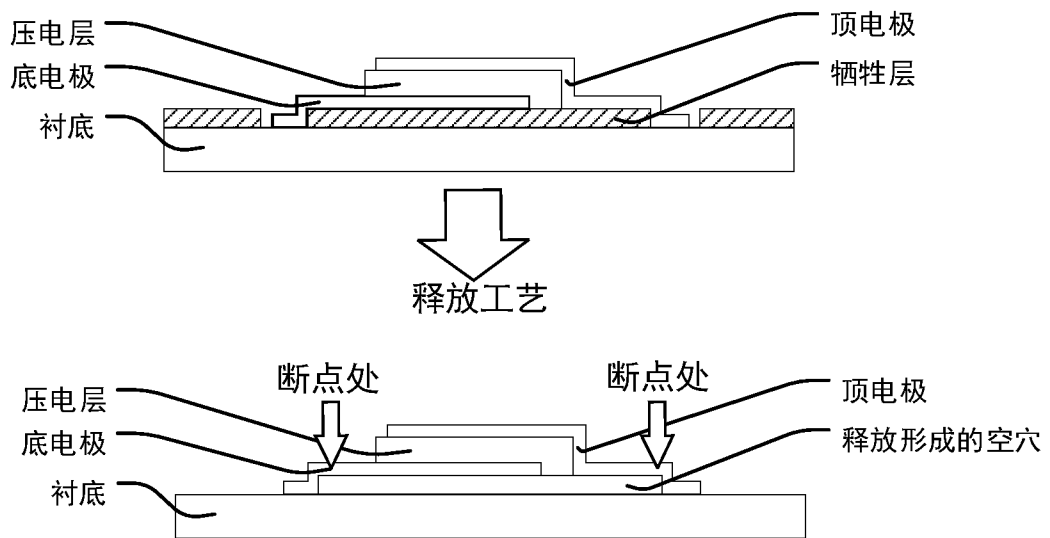


图 1

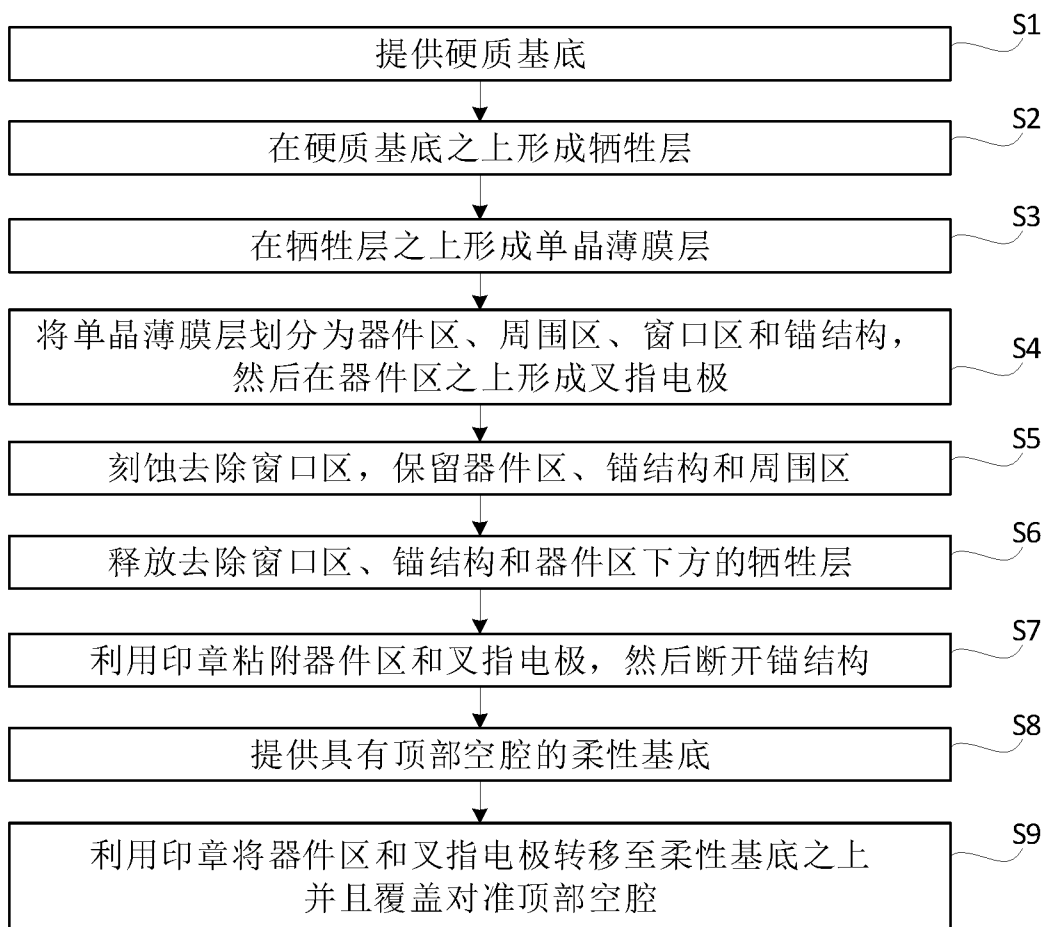


图 2

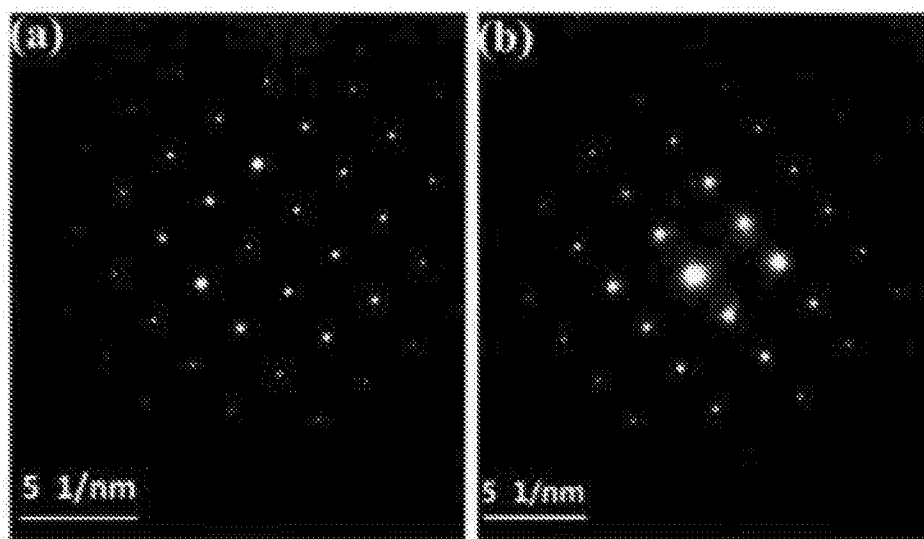


图 3

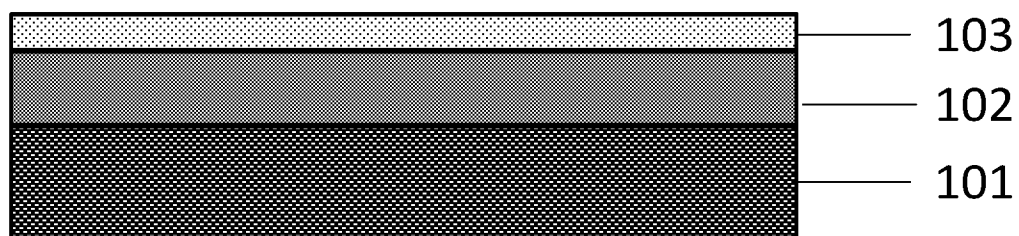


图 4

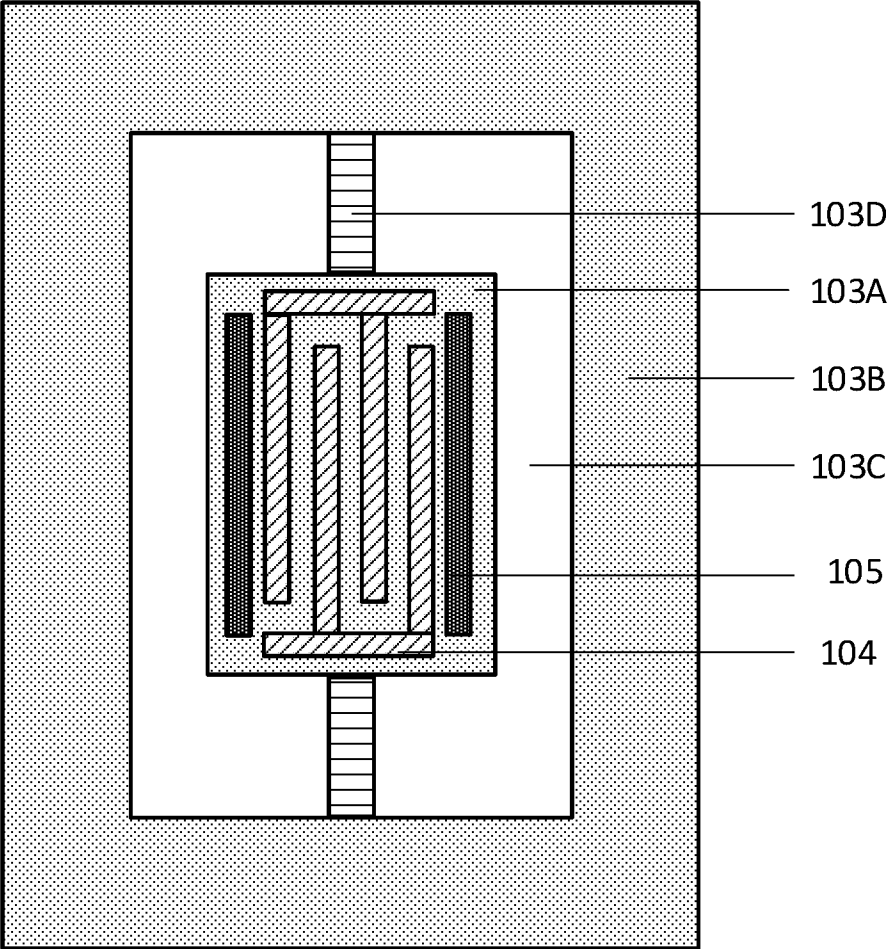


图 5

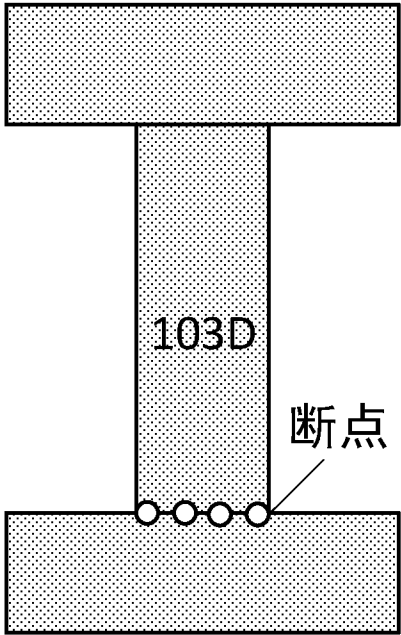


图 6

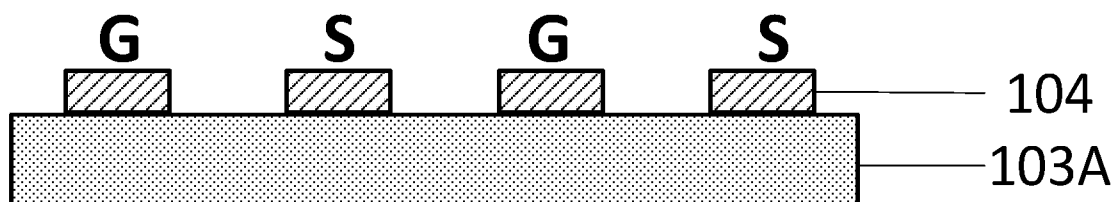


图 7

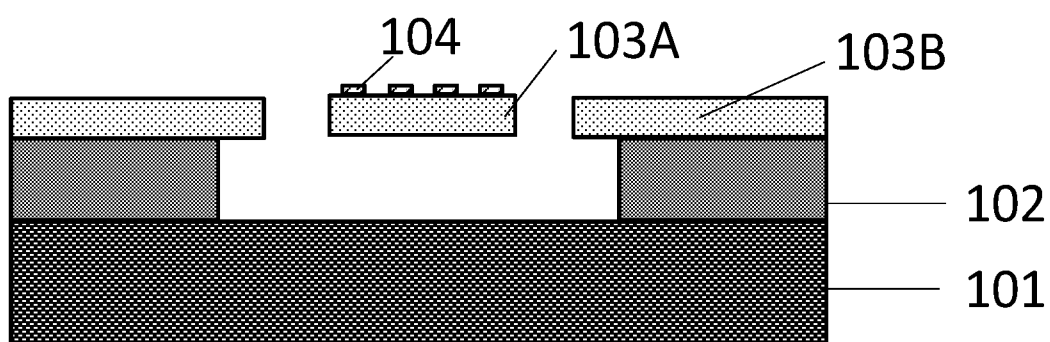


图 8a

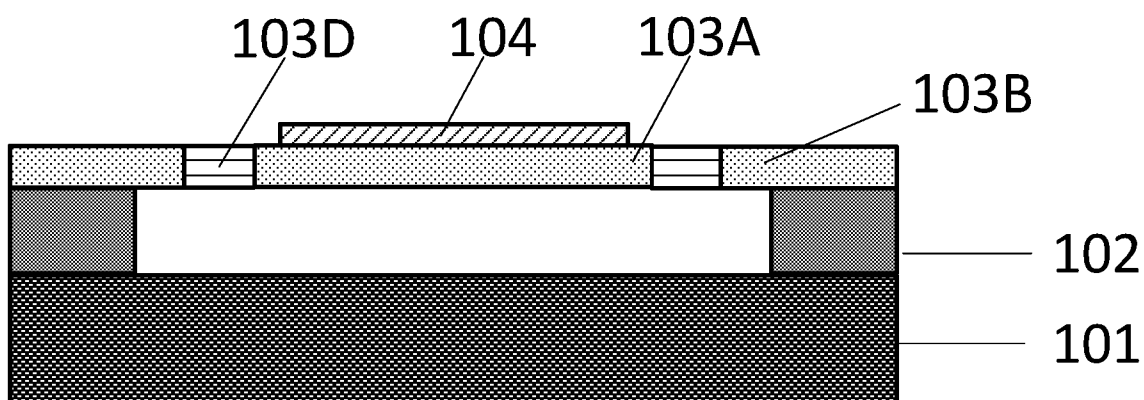


图 8b

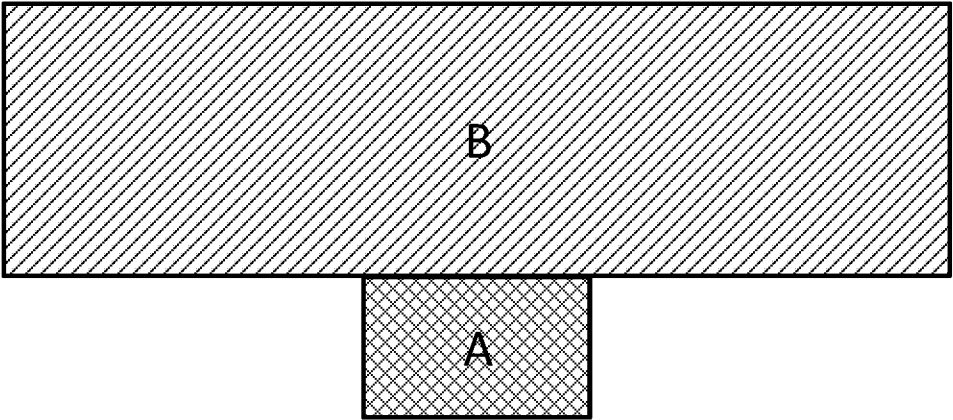


图 9a

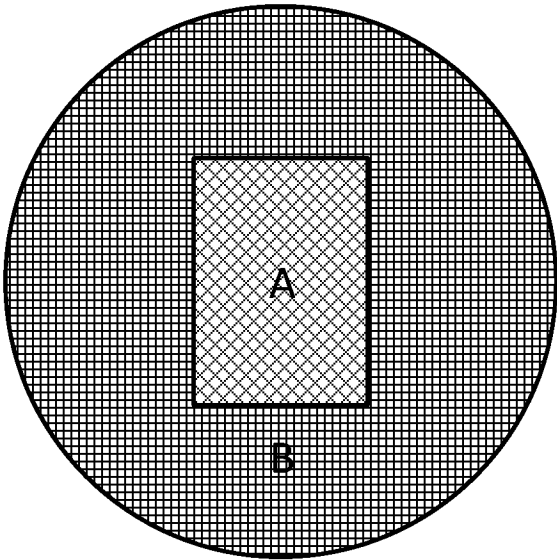


图 9b

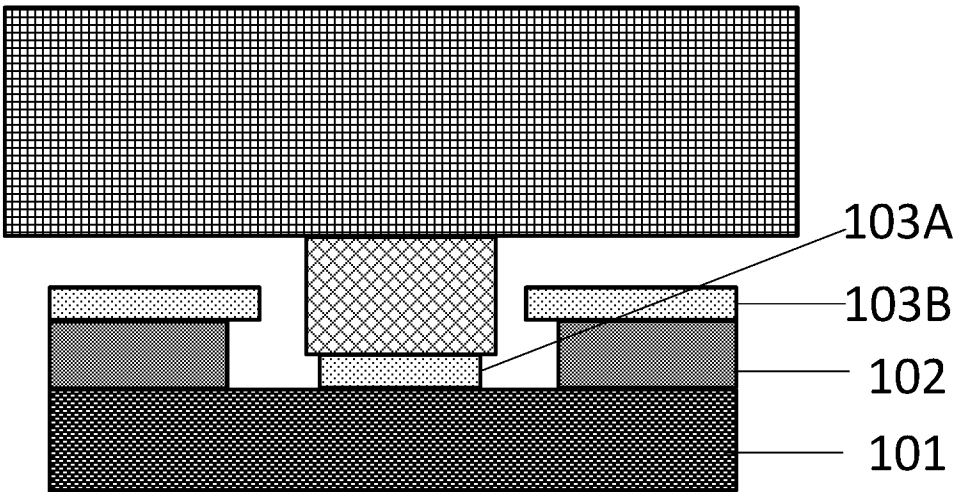


图 10

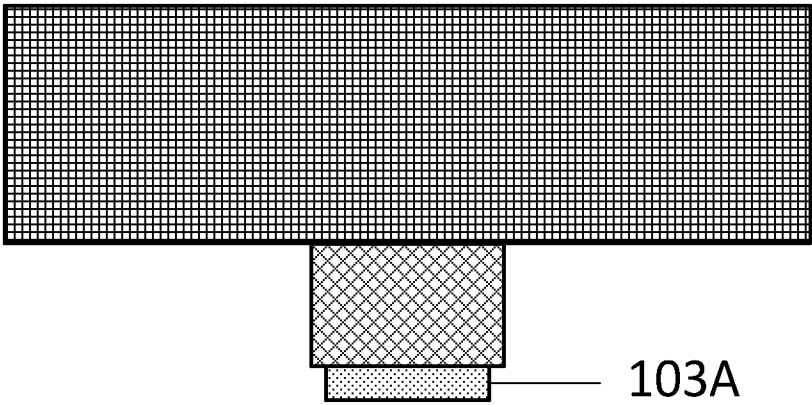


图 11

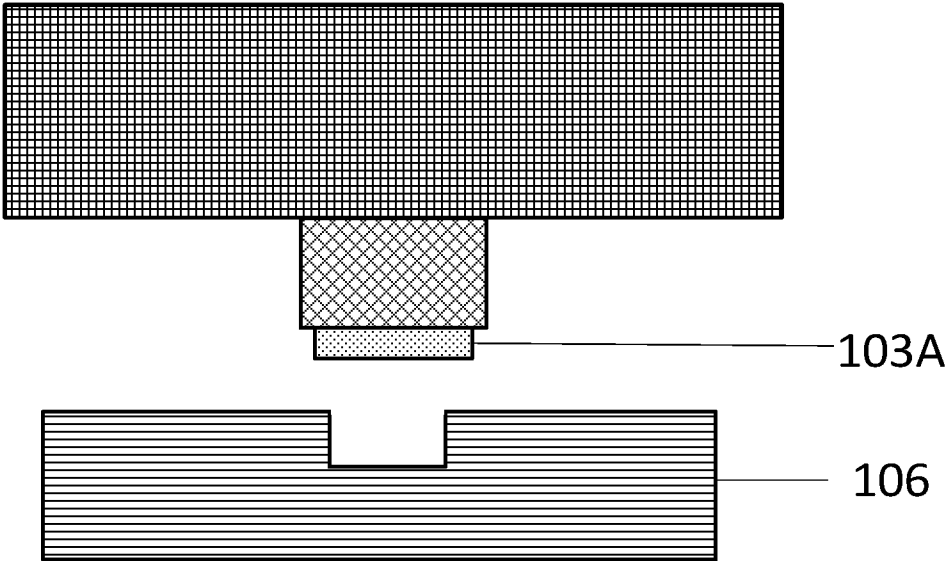


图 12a

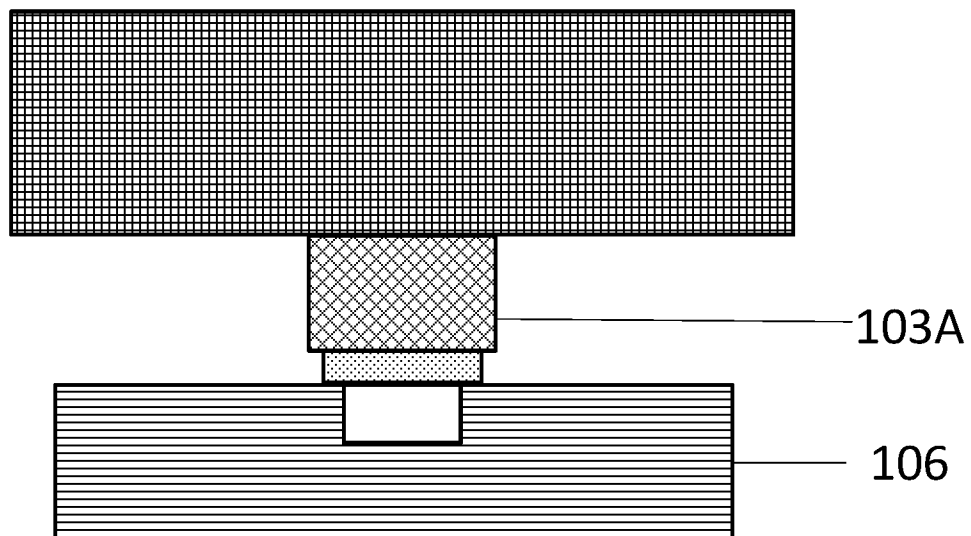


图 12b

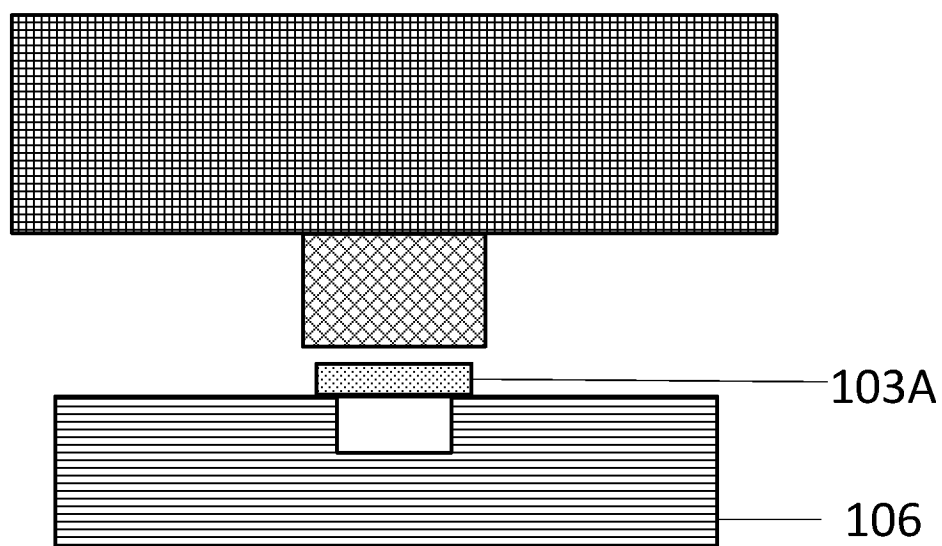


图 12c

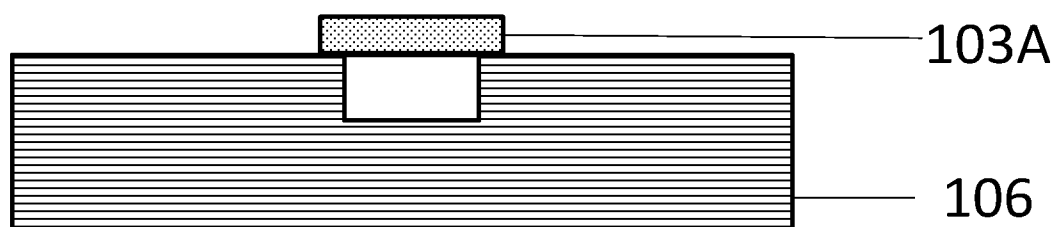


图 13

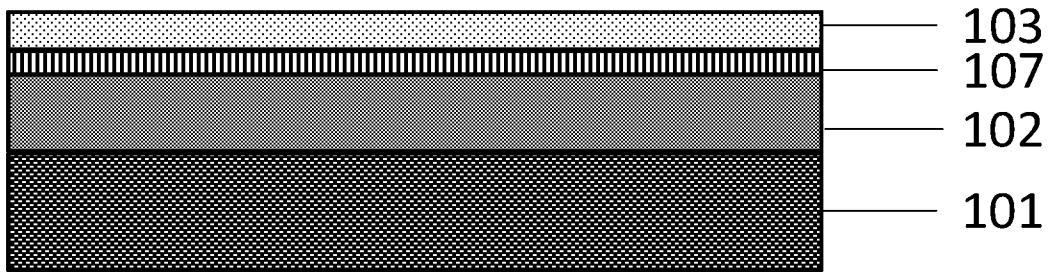


图 14

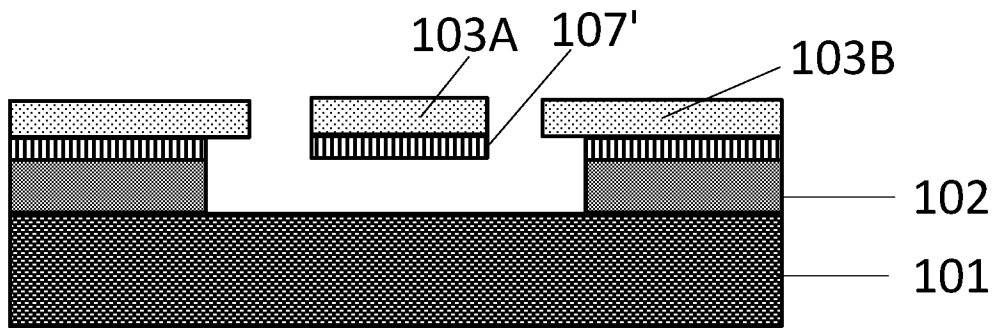


图 15

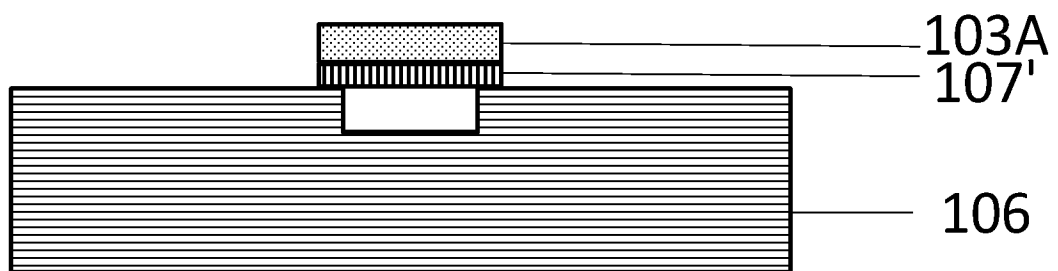


图 16

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2018/110929

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H03H 9/02(2006.01)i; H03H 9/17(2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC																										
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H03H Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) CNABS; DWPI; SIOPABS; CNKI: 兰姆波, 谐振器, 衬底, 基底, 牺牲, 电极, 柔性, 软性, 挠性, lamb, wave, flex+, resonator, sacrific+, transfer, substrate, electrode																										
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 5px;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">Category*</th> <th style="width: 70%;">Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th style="width: 20%;">Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">A</td> <td>CN 103532513 A (TAIYO YUDEN CO., LTD.) 22 January 2014 (2014-01-22) description, paragraphs [0035]-[0138], and figures 1-18</td> <td style="text-align: center;">1-11</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">A</td> <td>CN 107231138 A (HANGZHOU SAPPLAND MICROELECTRONICS TECHNOLOGY CO., LTD.) 03 October 2017 (2017-10-03) entire document</td> <td style="text-align: center;">1-11</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">A</td> <td>JP 2005057707 A (SONY CORPORATION) 03 March 2005 (2005-03-03) entire document</td> <td style="text-align: center;">1-11</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">A</td> <td>CN 103312286 A (TAIYO YUDEN CO., LTD.) 18 September 2013 (2013-09-18) entire document</td> <td style="text-align: center;">1-11</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">A</td> <td>US 2006228657 A1 (BIOSCALE, INC.) 12 October 2006 (2006-10-12) entire document</td> <td style="text-align: center;">1-11</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">A</td> <td>CN 103378817 A (TAIYO YUDEN CO., LTD.) 30 October 2013 (2013-10-30) entire document</td> <td style="text-align: center;">1-11</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">A</td> <td>CN 106788306 A (HANGZHOU SAPPLAND MICROELECTRONICS TECHNOLOGY CO., LTD.) 31 May 2017 (2017-05-31) entire document</td> <td style="text-align: center;">1-11</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	A	CN 103532513 A (TAIYO YUDEN CO., LTD.) 22 January 2014 (2014-01-22) description, paragraphs [0035]-[0138], and figures 1-18	1-11	A	CN 107231138 A (HANGZHOU SAPPLAND MICROELECTRONICS TECHNOLOGY CO., LTD.) 03 October 2017 (2017-10-03) entire document	1-11	A	JP 2005057707 A (SONY CORPORATION) 03 March 2005 (2005-03-03) entire document	1-11	A	CN 103312286 A (TAIYO YUDEN CO., LTD.) 18 September 2013 (2013-09-18) entire document	1-11	A	US 2006228657 A1 (BIOSCALE, INC.) 12 October 2006 (2006-10-12) entire document	1-11	A	CN 103378817 A (TAIYO YUDEN CO., LTD.) 30 October 2013 (2013-10-30) entire document	1-11	A	CN 106788306 A (HANGZHOU SAPPLAND MICROELECTRONICS TECHNOLOGY CO., LTD.) 31 May 2017 (2017-05-31) entire document	1-11
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.																								
A	CN 103532513 A (TAIYO YUDEN CO., LTD.) 22 January 2014 (2014-01-22) description, paragraphs [0035]-[0138], and figures 1-18	1-11																								
A	CN 107231138 A (HANGZHOU SAPPLAND MICROELECTRONICS TECHNOLOGY CO., LTD.) 03 October 2017 (2017-10-03) entire document	1-11																								
A	JP 2005057707 A (SONY CORPORATION) 03 March 2005 (2005-03-03) entire document	1-11																								
A	CN 103312286 A (TAIYO YUDEN CO., LTD.) 18 September 2013 (2013-09-18) entire document	1-11																								
A	US 2006228657 A1 (BIOSCALE, INC.) 12 October 2006 (2006-10-12) entire document	1-11																								
A	CN 103378817 A (TAIYO YUDEN CO., LTD.) 30 October 2013 (2013-10-30) entire document	1-11																								
A	CN 106788306 A (HANGZHOU SAPPLAND MICROELECTRONICS TECHNOLOGY CO., LTD.) 31 May 2017 (2017-05-31) entire document	1-11																								
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.																										
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> * Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family </td> </tr> </table>			* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family																						
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family																									
Date of the actual completion of the international search 22 April 2019		Date of mailing of the international search report 17 May 2019																								
Name and mailing address of the ISA/CN China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088 China Facsimile No. (86-10)62019451		Authorized officer Telephone No.																								

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2018/110929

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	103532513	A	22 January 2014	US	2014009032	A1	09 January 2014
				JP	2014013991	A	23 January 2014
				US	9634226	B2	25 April 2017
				JP	6092535	B2	08 March 2017
CN	107231138	A	03 October 2017	None			
JP	2005057707	A	03 March 2005	None			
CN	103312286	A	18 September 2013	US	9112134	B2	18 August 2015
				JP	2013214954	A	17 October 2013
				US	2013234805	A1	12 September 2013
US	2006228657	A1	12 October 2006	KR	20080007552	A	22 January 2008
				WO	2006107961	A2	12 October 2006
				WO	2006107961	A3	12 April 2007
				EP	1872474	A2	02 January 2008
				KR	101245296	B1	19 March 2013
				US	8536037	B2	17 September 2013
				JP	5078873	B2	21 November 2012
				JP	2008536395	A	04 September 2008
				US	2014037504	A1	06 February 2014
				US	9164051	B2	20 October 2015
CN	103378817	A	30 October 2013	US	2013271238	A1	17 October 2013
				JP	2013223025	A	28 October 2013
CN	106788306	A	31 May 2017	None			

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2018/110929

A. 主题的分类 H03H 9/02 (2006.01) i; H03H 9/17 (2006.01) i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类		
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) H03H 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用)) CNABS; DWPI; SIOPABS; CNKI: 兰姆波, 谐振器, 衬底, 基底, 牺牲, 电极, 柔性, 软性, 挠性, lamb, wave, flex+, resonator, sacrific+, transfer, substrate, electrode		
C. 相关文件		
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 103532513 A (太阳诱电株式会社) 2014年 1月 22日 (2014 - 01 - 22) 说明书第[0035]-[0138]段, 图1-18	1-11
A	CN 107231138 A (杭州左蓝微电子科技有限公司) 2017年 10月 3日 (2017 - 10 - 03) 全文	1-11
A	JP 2005057707 A (SONY CORP) 2005年 3月 3日 (2005 - 03 - 03) 全文	1-11
A	CN 103312286 A (太阳诱电株式会社) 2013年 9月 18日 (2013 - 09 - 18) 全文	1-11
A	US 2006228657 A1 (BIOSCALE INC) 2006年 10月 12日 (2006 - 10 - 12) 全文	1-11
A	CN 103378817 A (太阳诱电株式会社) 2013年 10月 30日 (2013 - 10 - 30) 全文	1-11
A	CN 106788306 A (杭州左蓝微电子科技有限公司) 2017年 5月 31日 (2017 - 05 - 31) 全文	1-11
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。		
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件		
国际检索实际完成的日期		国际检索报告邮寄日期
2019年 4月 22日		2019年 5月 17日
ISA/CN的名称和邮寄地址		受权官员
中国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088		黄金卫
传真号 (86-10)62019451		电话号码 86-(010)-62411017

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2018/110929

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	103532513	A	2014年 1月 22日	US	2014009032	A1	2014年 1月 9日
				JP	2014013991	A	2014年 1月 23日
				US	9634226	B2	2017年 4月 25日
				JP	6092535	B2	2017年 3月 8日
CN	107231138	A	2017年 10月 3日	无			
JP	2005057707	A	2005年 3月 3日	无			
CN	103312286	A	2013年 9月 18日	US	9112134	B2	2015年 8月 18日
				JP	2013214954	A	2013年 10月 17日
				US	2013234805	A1	2013年 9月 12日
US	2006228657	A1	2006年 10月 12日	KR	20080007552	A	2008年 1月 22日
				WO	2006107961	A2	2006年 10月 12日
				WO	2006107961	A3	2007年 4月 12日
				EP	1872474	A2	2008年 1月 2日
				KR	101245296	B1	2013年 3月 19日
				US	8536037	B2	2013年 9月 17日
				JP	5078873	B2	2012年 11月 21日
				JP	2008536395	A	2008年 9月 4日
				US	2014037504	A1	2014年 2月 6日
				US	9164051	B2	2015年 10月 20日
CN	103378817	A	2013年 10月 30日	US	2013271238	A1	2013年 10月 17日
				JP	2013223025	A	2013年 10月 28日
CN	106788306	A	2017年 5月 31日	无			