



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112033526 B

(45) 授权公告日 2023. 01. 24

(21) 申请号 202010794499.3

(22) 申请日 2020.08.10

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 112033526 A

(43) 申请公布日 2020.12.04

(73) 专利权人 无锡韦感半导体有限公司  
地址 214000 江苏省无锡市新吴区菱湖大道111号无锡软件园天鹅座C栋5楼

(72) 发明人 何政达 万蔡辛 杨吉升 刘新华

(74) 专利代理机构 北京成创同维知识产权代理有限公司 11449

专利代理师 刘静 李秀霞

(51) Int. Cl.

G01H 11/06 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 110631685 A, 2019.12.31

CN 200983677 Y, 2007.11.28

CN 108666412 A, 2018.10.16

审查员 毕重连

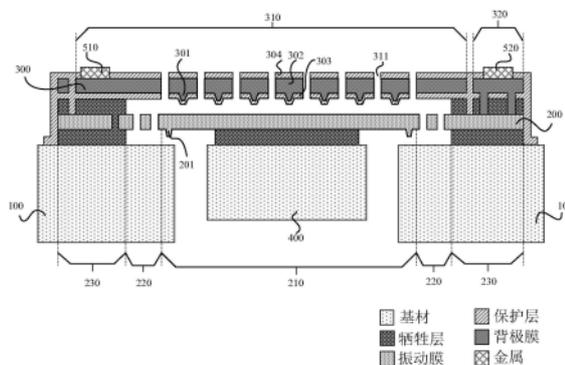
权利要求书3页 说明书12页 附图10页

(54) 发明名称

振动传感器及其制造方法

(57) 摘要

本发明公开了振动传感器及其制造方法,该振动传感器包括:衬底;固定膜,支撑在衬底上;振动膜,支撑在衬底上且设置于衬底和固定膜之间,振动膜和固定膜之间分离设置以形成电容;质量块,设置在振动膜的表面上;其中,振动膜和衬底之间以及振动膜和固定膜之间设置有抗粘黏结构,抗粘黏结构用于使振动膜避免粘黏在固定膜或衬底上。本发明提供的振动传感器可靠性较高。



1. 一种振动传感器,其特征在于,包括:

衬底;

固定膜,支撑在所述衬底上;

振动膜,支撑在所述衬底上且设置于所述衬底和所述固定膜之间,所述振动膜和所述固定膜之间分离设置以形成电容;

质量块,设置在所述振动膜的下表面上;

其中,所述振动膜和所述衬底之间以及所述振动膜和所述固定膜之间设置有抗粘黏结构,所述抗粘黏结构用于使所述振动膜避免粘黏在所述固定膜或所述衬底上;

所述振动膜包括:振动膜结构,中心位置的下表面上连接所述质量块;弹簧结构,为经微加工形成的膜层扭曲式的螺旋状弹簧,和所述振动膜结构连接且相对于所述振动膜结构对称设置;支撑结构,和所述弹簧结构连接且相对于所述振动膜结构对称设置,以及所述支撑结构固定在所述衬底上以使所述衬底支撑所述振动膜;

所述固定膜和所述振动膜采用导电材料,所述固定膜包括:感测区域,和所述振动膜的振动膜结构至少部分相对设置,且表面上贴合有第一电极,以通过所述第一电极将所述固定膜的电性导出;传导区域,与所述振动膜之间进行电性连接,且表面上贴合有第二电极,以通过所述第二电极将所述振动膜的电性导出;其中,所述感测区域和所述传导区域通过绝缘性的保护层隔开,所述保护层贯穿到所述振动膜上表面。

2. 根据权利要求1所述的振动传感器,其特征在于,

所述抗粘黏结构包括抗粘黏的凸块;

所述振动膜和所述衬底之间设置有多个所述凸块,且多个所述凸块在所述振动膜和所述衬底相对的面之间分散设置;

以及,所述振动膜和所述固定膜之间分散设置有多个所述凸块,且多个所述凸块在所述振动膜和所述固定膜相对的面之间分散设置。

3. 根据权利要求2所述的振动传感器,其特征在于,

所述振动膜和所述衬底之间的所述凸块设置在以下至少一个位置上:所述振动膜上与所述固定膜相对的表面,所述固定膜上与所述振动膜相对的表面;

所述振动膜和所述衬底之间的所述凸块设置在以下至少一个位置上:所述振动膜上与所述衬底相对的表面,所述衬底上与所述振动膜相对的表面。

4. 根据权利要求1所述的振动传感器,其特征在于,所述振动膜结构上还设置有至少一个通气孔,每个所述通气孔贯穿所述振动膜结构。

5. 根据权利要求4所述的振动传感器,其特征在于,

所述感测区域包括至少一个通孔,每个所述通孔贯穿所述固定膜;

所述振动传感器的以下至少一个位置设置有疏水绝缘性的保护层:所述固定膜顶部、所述固定膜底部、所述通孔侧壁、所述固定膜和所述振动膜形成的膜层结构侧壁。

6. 根据权利要求4所述的振动传感器,其特征在于,

所述衬底的中间区域为中空结构,且所述中空结构位于所述振动膜结构的下方;

所述质量块设置在所述振动膜结构的下表面且位于所述中空结构中。

7. 根据权利要求6所述的振动传感器,其特征在于,

所述质量块采用疏水性的硅基材;

和/或,所述质量块直接地贴合在所述振动膜结构的下表面。

8. 一种振动传感器的制造方法,其特征在于,包括:

在衬底上方形成采用导电材料的振动膜;

在所述振动膜上方形成采用导电材料的固定膜,所述固定膜与所述振动膜之间分离设置以形成电容;

形成质量块,所述质量块位于所述振动膜的下表面上;形成抗粘黏结构,所述抗粘黏结构位于所述振动膜和所述衬底之间以及所述振动膜和所述固定膜之间,所述抗粘黏结构用于使所述振动膜避免粘黏在所述固定膜或所述衬底上;

其中,所述振动膜包括:振动膜结构,中心位置的下表面上连接所述质量块;弹簧结构,为经微加工形成的膜层扭曲式的螺旋状弹簧,和所述振动膜结构连接且相对于所述振动膜结构对称设置;支撑结构,和所述弹簧结构连接且相对于所述振动膜结构对称设置,以及所述支撑结构固定在所述衬底上以使所述衬底支撑所述振动膜;

所述固定膜包括:感测区域,和所述振动膜的振动膜结构至少部分相对设置,且表面上贴合有第一电极,以通过所述第一电极将所述固定膜的电性导出;传导区域,与所述振动膜之间进行电性连接,且表面上贴合有第二电极,以通过所述第二电极将所述振动膜的电性导出;其中,所述感测区域和所述传导区域通过绝缘性的保护层隔开,所述保护层贯穿到所述振动膜上表面。

9. 根据权利要求8所述的振动传感器的制造方法,其特征在于,形成抗粘黏结构,包括:

对衬底上表面的第一牺牲层进行微加工,形成第一孔洞;

在所述第一牺牲层上形成第一生长层,所述第一生长层包括所述振动膜以及嵌入所述第一孔洞而形成的抗粘黏凸块;以及,

对所述振动膜上表面的第二牺牲层进行微加工,形成第二孔洞;

在所述第二牺牲层上形成第二生长层,所述第二生长层包括所述固定膜以及嵌入所述第二孔洞而形成的抗粘黏凸块。

10. 根据权利要求8所述的振动传感器的制造方法,其特征在于,形成质量块,包括:

在基材背面的边缘位置对称地形成第二遮罩层,并在所述第二遮罩层的背面和所述基材上预设所述质量块的区域形成间隔的第一遮罩层;

在所述基材背面进行首次蚀刻,以在消耗掉所述第一遮罩层的同时蚀刻所述第一遮罩层之间的间隔区域而形成所述质量块的横截图形区域;

在所述基材背面进行再次蚀刻,以蚀刻所述基材背面的未遮罩区域而定义出所述质量块的厚度并切断所述质量块与所述基材的连接。

11. 根据权利要求8所述的振动传感器的制造方法,其特征在于,形成质量块,包括:

在基材背面的边缘位置对称地形成第二遮罩层,并在所述第二遮罩层的背面和所述基材上预设所述质量块的区域形成间隔的第一遮罩层;

在所述基材背面进行首次蚀刻,以蚀刻所述第一遮罩层之间的间隔区域而形成所述质量块的横截图形区域;

在所述基材背面进行再次蚀刻,以消耗掉所述第一遮罩层;

在所述基材背面进行三次蚀刻,以蚀刻所述基材背面的未遮罩区域而定义出所述质量块的厚度并切断所述质量块与所述基材的连接。

12. 根据权利要求8所述的振动传感器的制造方法,其特征在于,形成质量块,包括:

在基材背面的边缘位置对称地形成第二遮罩层;

在所述基材背面进行首次蚀刻,以在所述基材背面的未遮罩区域蚀刻掉一个剖面呈梯形的区域而定义出所述质量块的厚度,所述梯形较短平行边平行所述振动膜且作为蚀刻分界线而定义所述质量块底部;

在所述第二遮罩层和所述质量块底部上形成间隔的第一遮罩层;

在所述基材背面进行再次蚀刻,以蚀刻所述基材背面的未遮罩区域而形成所述质量块的横截图形区域并切断所述质量块与所述基材的连结;

去除所述第二遮罩层以露出已形成的所述质量块。

13. 根据权利要求8所述的振动传感器的制造方法,其特征在于,形成质量块,包括形成以下任意一种结构的质量块:圆柱、三角柱、六角柱、方柱、空心圆柱、空心方柱、十字柱、六角星柱、蜂巢阵列、圆柱阵列。

## 振动传感器及其制造方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及检测设备的技术领域,更具体地,涉及一种振动传感器及其制造方法。

### 背景技术

[0002] 振动传感器是一种测量振动的设备,能将接收到的振动信息按一定规律变换为电信号或其他所需形式的信号而输出。目前的振动传感器多为电容式惯性传感器,该类传感器基于弹簧连接的质量块(Proof Mass)敏感于振动的惯性特性而将感测到的振动位移量转换为电容讯号输出,其典型结构为侧面连接质量块的梳齿结构(Comb Structure)。

[0003] 参照图1,梳齿结构100包括固定梳齿110、活动梳齿120以及和活动梳齿120连接的质量块130,质量块130受外界振动而带动活动梳齿120产生相对于固定梳齿110的位移量,从而造成活动梳齿120和固定梳齿110之间电容的变化,实现了振动位移量向电容讯号的转换。其中,固定梳齿110和活动梳齿120包括阵列形式(Comb Structure Array)排布的多个梳齿,以增加平板电容的感测面积;固定梳齿110和活动梳齿120之间的梳齿间隙需要够小( $\text{Gap} < 5\mu\text{m}$ ),以增加感测电容并借此提高振动传感器的感度。随着低频振动感测应用的出现,梳齿结构100中质量块130有了增大的需求,质量块130连带固定梳齿110和活动梳齿120由面型微加工(Surface Micromachining)制作的二维结构演变为体型微加工(Bulk Micromachining)制作的三维微结构。

[0004] 然而,小尺寸(梳齿宽度小于 $10\mu\text{m}$ ,梳齿间隙小于 $5\mu\text{m}$ )、大深宽比(梳齿长度与宽度之比大于20)和高密度的三维梳齿结构(Bulk Comb Structure)对微机电系统(Micro-Electro-Mechanical System,简称MEMS)的体型微制程工艺提出了很高的挑战。若体型微制程工艺未最优化,则三维梳齿结构会产生侧壁过薄(Silicon Curving)、侧壁爪痕(Silicon Scratch)、底部硅草(Silicon Grass)、底壁刻痕(Silicon footing)以及如图2所示的侧壁硅屑(Silicon Residue)、梳齿凹陷(Hollow fingers)、球化偏差(Spherical deviation)、平行误差(Parallel deviation)、微型加载(Microloading effect)以及水平和垂直的边缘扇形化(Horizontal scalloping和Vertical scalloping)等微结构缺陷,经跌落、冲击、长时通电等可靠性测试发现:这些微结构缺陷常常会导致三维梳齿结构出现图3所示的梳臂断裂、梳齿破损和微粒阻塞等机械可靠度失效现象以及结构黏附(Stiction)等电能可靠度失效现象。

### 发明内容

[0005] 为了解决上述现有技术存在的问题,本发明提供一种振动传感器及其制造方法。

[0006] 根据本发明的第一方面,提供了一种振动传感器,包括:

[0007] 衬底;

[0008] 固定膜,支撑在所述衬底上;

[0009] 振动膜,支撑在所述衬底上且设置于所述衬底和所述固定膜之间,所述振动膜和所述固定膜之间分离设置以形成电容;

- [0010] 质量块,设置在所述振动膜的下表面上;
- [0011] 其中,所述振动膜和所述衬底之间以及所述振动膜和所述固定膜之间设置有抗粘黏结构,所述抗粘黏结构用于使所述振动膜避免粘黏在所述固定膜或所述衬底上。
- [0012] 可选地,所述抗粘黏结构包括抗粘黏的凸块;
- [0013] 所述振动膜和所述衬底之间设置有多个所述凸块,且多个所述凸块在所述振动膜和所述衬底相对的面之间分散设置;
- [0014] 以及,所述振动膜和所述固定膜之间分散设置有多个所述凸块,且多个所述凸块在所述振动膜和所述固定膜相对的面之间分散设置。
- [0015] 可选地,所述振动膜和所述衬底之间的所述凸块设置在以下至少一个位置上:所述振动膜上与所述固定膜相对的表面,所述固定膜上与所述振动膜相对的表面;
- [0016] 所述振动膜和所述衬底之间的所述凸块设置在以下至少一个位置上:所述振动膜上与所述衬底相对的表面,所述衬底上与所述振动膜相对的表面。
- [0017] 可选地,所述振动膜包括:
- [0018] 振动膜结构,中心位置的下表面上连接所述质量块;
- [0019] 弹簧结构,和所述振动膜结构连接且相对于所述振动膜结构对称设置;
- [0020] 支撑结构,和所述弹簧结构连接且相对于所述振动膜结构对称设置,以及所述支撑结构固定在所述衬底上以使所述衬底支撑所述振动膜。
- [0021] 可选地,所述振动膜包括:
- [0022] 振动膜结构,中心位置的下表面上连接所述质量块;
- [0023] 支撑结构,和所述振动膜结构连接,以及所述支撑结构固定在所述衬底上以使所述衬底支撑所述振动膜;
- [0024] 其中,所述振动膜结构上还设置有至少一个通气孔,每个所述通气孔贯穿所述振动膜结构。
- [0025] 可选地,所述固定膜包括:
- [0026] 感测区域,和所述振动膜结构至少部分相对设置,且表面上贴合有第一电极,以通过所述第一电极将所述固定膜的电性导出;
- [0027] 传导区域,与所述振动膜之间进行电性连接,且表面上贴合有第二电极,以通过所述第二电极将所述振动膜的电性导出;
- [0028] 其中,所述感测区域和所述传导区域之间通过绝缘性的保护层隔开。
- [0029] 可选地,所述感测区域包括至少一个通孔,每个所述通孔贯穿所述固定膜;
- [0030] 所述振动传感器的以下至少一个位置设置有疏水绝缘性的保护层:所述固定膜顶部、所述固定膜底部、所述通孔侧壁、所述固定膜和所述振动膜形成的膜层结构侧壁。
- [0031] 可选地,所述衬底的中间区域为中空结构,且所述中空结构位于所述振动膜结构的下方;
- [0032] 所述质量块设置在所述振动膜结构的下表面且位于所述中空结构中。
- [0033] 可选地,所述质量块采用疏水性的硅基材;
- [0034] 和/或,所述质量块直接地贴合在所述振动膜结构的下表面。
- [0035] 根据本发明的第二方面,提供了一种振动传感器的制造方法,包括:
- [0036] 在衬底上方形成振动膜;

- [0037] 在所述振动膜上方形成固定膜,所述固定膜与所述振动膜之间分离设置以形成电容;
- [0038] 形成质量块,所述质量块位于所述振动膜的下表面上;
- [0039] 形成抗粘黏结构,所述抗粘黏结构位于所述振动膜和所述衬底之间以及所述振动膜和所述固定膜之间,所述抗粘黏结构用于使所述振动膜避免粘黏在所述固定膜或所述衬底上。
- [0040] 可选地,形成抗粘黏结构,包括:
- [0041] 对衬底上表面的第一牺牲层进行微加工,形成第一孔洞;
- [0042] 在所述第一牺牲层上形成第一生长层,所述第一生长层包括所述振动膜以及嵌入所述第一孔洞而形成的抗粘黏凸块;以及,
- [0043] 对所述振动膜上表面的第二牺牲层进行微加工,形成第二孔洞;
- [0044] 在所述第二牺牲层上形成第二生长层,所述第二生长层包括所述固定膜以及嵌入所述第二孔洞而形成的抗粘黏凸块。
- [0045] 可选地,形成质量块,包括:
- [0046] 在基材背面的边缘位置对称地形成第二遮罩层,并在所述第二遮罩层的背面和所述基材上预设所述质量块的区域形成间隔的第一遮罩层;
- [0047] 在所述基材背面进行首次蚀刻,以在消耗掉所述第一遮罩层的同时蚀刻所述第一遮罩层之间的间隔区域而形成所述质量块的横截图形区域;
- [0048] 在所述基材背面进行再次蚀刻,以蚀刻所述基材背面的未遮罩区域而定义出所述质量块的厚度并切断所述质量块与所述基材的连接。
- [0049] 可选地,形成质量块,包括:
- [0050] 在基材背面的边缘位置对称地形成第二遮罩层,并在所述第二遮罩层的背面和所述基材上预设所述质量块的区域形成间隔的第一遮罩层;
- [0051] 在所述基材背面进行首次蚀刻,以蚀刻所述第一遮罩层之间的间隔区域而形成所述质量块的横截图形区域;
- [0052] 在所述基材背面进行再次蚀刻,以消耗掉所述第一遮罩层;
- [0053] 在所述基材背面进行三次蚀刻,以蚀刻所述基材背面的未遮罩区域而定义出所述质量块的厚度并切断所述质量块与所述基材的连接。
- [0054] 可选地,形成质量块,包括:
- [0055] 在基材背面的边缘位置对称地形成第二遮罩层;
- [0056] 在所述基材背面进行首次蚀刻,以在所述基材背面的未遮罩区域蚀刻掉一个剖面呈梯形的区域而定义出所述质量块的厚度,所述梯形较短平行边平行所述振动膜且作为蚀刻分界线而定义所述质量块底部;
- [0057] 在所述第二遮罩层和所述质量块底部上形成第一遮罩层;
- [0058] 在所述基材背面进行再次蚀刻,以蚀刻所述基材背面的未遮罩区域而形成所述质量块的横截图形区域并切断所述质量块与所述基材的连接;
- [0059] 去除所述第二遮罩层以露出已形成的所述质量块。
- [0060] 可选地,形成质量块,包括形成以下任意一种结构的质量块:圆柱、三角柱、六角柱、方柱、空心圆柱、空心方柱、十字柱、六星柱、蜂巢阵列、圆柱阵列。

[0061] 本发明的有益效果是：

[0062] (1) 振动传感器采用振动膜和固定膜这一双薄膜的平板电容感测架构，这样不仅规避了梳齿式电容感测架构之微结构缺陷对振动传感器使用上所可能造成的潜在可靠度隐患；而且鉴于面型硅微加工技术在半导体制造品质方面已有保证，因而振动传感器在晶圆厂生产的可制作性得到提高。

[0063] (2) 振动传感器采用双薄膜的平板电容感测架构，其中，振动膜和衬底之间以及振动膜和固定膜之间设置有抗粘黏结构，此设计将规避振动传感器在结构释放后黏附 (Stiction) 与实际使用中黏附 (In-use Stiction) 而导致的失效风险，从而提升了振动传感器的可靠性。

[0064] (3) 振动传感器的双薄膜平板电容感测架构，其中固定膜上下或侧壁皆为疏水绝缘保护材料，这将使得振动传感器在湿气环境中使用也不存在水气吸附和微粒异物附着而失效的风险，让固定膜性能更加稳定，提升了振动传感器性能一致性与可靠性。

[0065] (4) 振动传感器的双薄膜平板电容感测架构，电容感测机制是基于双薄膜平板垂直整合在质量块上方的上下垂直架构，相较于梳齿结构中两感测梳齿平铺于质量块一侧的架构来说，在相同的质量块面积需求下，本设计无需占用质量块周围的面积，将更节省振动传感器在芯片上占用的有效面积，拥有小型化的优势，更有利于振动传感器整合进有较大轻薄短小需求的穿戴式装置或手机产品中。

[0066] (5) 振动传感器的双薄膜平板电容感测架构是完全兼容于微机电麦克风等声音传感器的制程工艺，两者的差异仅来自于振动膜下表面设置有质量块，这后续经由搭配组合可以兼顾振动感测应用与声音感测应用。

## 附图说明

[0067] 通过以下参照附图对本发明实施例的描述，本发明的上述以及其他目的、特征和优点将更为清楚。

[0068] 图1示出现有技术中一种振动传感器的结构示意图；

[0069] 图2示出现有振动传感器的结构缺陷；

[0070] 图3示出现有振动传感器的使用缺陷；

[0071] 图4示出本发明第一种振动传感器的剖面示意图；

[0072] 图5示出本发明第二种振动传感器的剖面示意图；

[0073] 图6示出本发明第三种振动传感器的剖面示意图；

[0074] 图7示出本发明第四种振动传感器的剖面示意图；

[0075] 图8示出本发明双薄膜平板电容感测架构一部分制造阶段的剖面示意图；

[0076] 图9示出本发明双薄膜平板电容感测架构另一部分制造阶段的剖面示意图；

[0077] 图10示出本发明质量块的第一种制造方法中各阶段的剖面示意图；

[0078] 图11示出本发明质量块的第二种制造方法中各阶段的剖面示意图；

[0079] 图12示出本发明质量块的第三种制造方法中各阶段的剖面示意图；

[0080] 图13示出本发明质量块可选结构的示意图。

## 具体实施方式

[0081] 以下将参照附图更详细地描述本发明。在各个附图中，相同的元件采用类似的附图标记来表示。为了清楚起见，附图中的各个部分没有按比例绘制。此外，在图中可能未示出某些公知的部分。

[0082] 在下文中描述了本发明的许多特定的细节，例如器件的结构、材料、尺寸、处理工艺和技术，以便更清楚地理解本发明。但正如本领域的技术人员能够理解的那样，可以不按照这些特定的细节来实现本发明。

[0083] 图4所示为本发明第一实施例中一种振动传感器的剖面图。参照图4，该振动传感器包括：衬底100、振动膜200、固定膜300和质量块400，其中，固定膜300支撑在衬底100上；振动膜200支撑在衬底100上且设置于衬底100和固定膜300之间，振动膜200和固定膜300之间分离设置以形成电容；质量块400设置在振动膜200的下表面上。

[0084] 上述衬底100和质量块400可以采用单晶硅或SOI (Silicon-On-Insulator, 即绝缘衬底上的硅) 之类的绝缘基材；振动膜200和固定膜300可以采用多晶硅之类的导电材料。当有振动讯号时，振动膜200或质量块400直接接收振动讯号而发生振动，从而振动膜200和质量块400同步产生振动，振动膜200与固定膜300的间距产生变化，进而造成振动膜200与固定膜300之间的电容发生变化，藉由量测电容变化则可以感测振动模态。

[0085] 振动传感器的此双薄膜平板电容感测架构，不仅规避了梳齿式微结构缺陷对振动传感器使用上所可能造成的潜在可靠度隐患；而且鉴于面型硅微加工技术在半导体制造品质方面已有保证，因而振动传感器在晶圆厂生产的可制作性得到提高。此外，振动传感器的该双薄膜平板电容感测架构完全兼容于微机电麦克风等声音传感器的制程工艺，两者的差异仅来自于振动膜200表面设置有质量块400，这后续经由搭配组合可以兼顾振动感测应用与声音感测应用。

[0086] 进一步，上述振动膜200和衬底100之间设置有多个抗粘黏的凸块201，且多个凸块201在振动膜200和衬底100相对的面之间分散设置以有效规避振动膜200和衬底100之间粘黏而导致的失效风险，其中，振动膜200和衬底100之间的多个凸块201，可以基于对制程工艺限制以及凸块工艺实现性的考量而设置在振动膜200上与衬底100相对的表面(如图4所示)，当然不排除在一些情况下通过较复杂的制程工艺设置在衬底100上与振动膜200相对的表面。以及，振动膜200和固定膜300之间分散设置有多个抗粘黏的凸块301，且多个凸块301在振动膜200和固定膜300相对的面之间分散设置以有效规避振动膜200和固定膜300之间粘黏而导致的失效风险，其中，振动膜200和固定膜300之间的多个凸块301，可以基于对制程工艺限制以及凸块工艺实现性的考量而设置在固定膜300上与振动膜200相对的表面(如图4所示)，当然不排除在一些情况下通过较复杂的制程工艺设置在振动膜200上与固定膜300相对的表面。振动膜200和衬底100之间的凸块201以及振动膜200和固定膜300之间的凸块301皆为抗粘黏结构，具体地，凸块201和凸块301可以通过表层贴设氮化硅之类的疏水绝缘材料而达抗粘附效果，从而有效规避振动传感器在结构释放后黏附(Stiction)与实际使用中黏附(In-use Stiction)而导致的失效风险，从而提升了振动传感器的可靠性。

[0087] 可选地，振动膜200包括：振动膜结构210，中心位置的下表面上连接质量块400；弹簧结构220，和振动膜结构210连接且相对于振动膜结构210对称设置；支撑结构230，和弹簧结构220连接且相对于振动膜结构210对称设置，以及支撑结构230固定在衬底100上以使衬

底100支撑振动膜200。此振动膜200通过设置弹簧结构220,能够在振动传感器的结构释放后敏感振动讯号,从而更加敏感地感测振动讯号。需要说明的是,图4所示为振动膜200的剖面图,因而弹簧结构220在图4所示的剖面结构不连续,实际上,弹簧结构220可以是膜层扭曲而形成的螺旋状弹簧。

[0088] 可选地,衬底100为环状的中空结构或平行基材构成的中空结构,且中空结构位于振动膜结构210的下方,质量块400设置在振动膜结构210的下表面且位于中空结构中,这样振动传感器的电容感测机制是基于双薄膜平板垂直整合在质量块400上方的上下垂直架构,相较于梳齿结构中两感测梳齿平铺于质量块一侧的架构来说,在相同的质量块面积需求下,本设计无需占用质量块周围的面积,将更节省振动传感器在芯片上占用的有效面积,拥有小型化的优势,更有利于振动传感器整合进有较大轻薄短小需求的穿戴式装置或手机产品中。

[0089] 可选地,固定膜300包括:感测区域310,和振动膜结构210至少部分相对设置,且表面上贴合有第一电极510,以通过第一电极510将固定膜300的电性导出;传导区域320,和感测区域310之间通过绝缘性的保护层隔开,以及,传导区域320与振动膜200之间进行电性连接且表面上贴合有第二电极520,以通过第二电极520将振动膜200的电性导出,这样,上下垂直设置的双薄膜实现了电性的分别导出但是两互相之间电性独立而不会短路。其中,感测区域310未和传导区域320连接的边缘位置以及传导区域320未和感测区域310连接的边缘位置可以支撑在支撑结构230上,以使得衬底100间接支撑固定膜300。

[0090] 上述固定膜300可以是单由背极膜302形成的一个单层结构,也可以是背极膜302底部贴设第一保护层303而形成的一个双层结构,亦或是背极膜302底部和顶部分别贴设第一保护层303和第二保护层304而形成的一个三层结构(如图4所示),其中,背极膜302可以采用多晶硅之类的导电材料,第一保护层303和第二保护层304可以皆采用氮化硅之类的疏水绝缘材料,这样能够规避水气吸附、微粒异物附着或双模接触性电性短路等失效风险,从而达到提升振动传感器可靠性的目的。

[0091] 进一步,在振动膜200和固定膜300完整释放后,可以增加一道制程工艺来做SAM(Self-assembled monolayer,自组装单分子膜)疏水材料表面处理,以在固定膜300和振动膜200形成的膜层结构侧壁上设置疏水绝缘性的保护层,具体地,该保护层可以从衬底100过渡到固定膜300,整片保护层从下到上依次覆盖了衬底100顶部的部分区域、衬底100和振动膜200之间的牺牲层侧壁、振动膜200的膜层截面、振动膜200和固定膜300之间的牺牲层侧壁、固定膜300的膜层截面,这将使得振动传感器的侧壁得到较好的保护,以规避振动传感器侧壁上水气吸附、微粒异物附着等造成的结构受损等问题。

[0092] 在振动传感器制作过程中为了方便将振动膜200和固定膜300之间的牺牲层去除,以使得振动膜200和固定膜300完整释放后振动膜200能够有效振动,感测区域310包括至少一个通孔311,每个通孔311贯穿固定膜300。基于此,图5示出了本发明第一实施例中另一种振动传感器的剖面图。参照图5,该种振动传感器与图4所示振动传感器的不同之处在于:通孔311的侧壁上也设置有疏水绝缘性的保护层305,如此结构的优点是让导电性的背极膜302完全包覆于疏水绝缘保护层内,这将规避振动传感器制程后与使用中的黏附(In-Use Stiction)失效,使得振动传感器在湿气环境中使用也不存在水气吸附和微粒异物附着而失效的风险,让固定膜300性能更加稳定,提升了振动传感器性能一致性与可靠性。需要说

明的是,图5所示振动传感器剖面结构中感测区域310被通孔311划分为多个独立的区域,而实际上通孔311只是感测区域310内的一个较小的孔,通孔311并没有将感测区域310分割为完全相互分离的多个区域。

[0093] 图6所示为本发明第一实施例中振动传感器的第三种剖面图。参照图6,该种振动传感器与图4所示振动传感器的不同之处在于:振动膜200的结构包括:振动膜结构210,中心位置的表面上连接质量块400;支撑结构230,和振动膜结构210连接且相对于振动膜结构210对称设置,以及支撑结构230固定在衬底100上以使衬底100支撑振动膜200;其中,振动膜结构210上还设置有至少一个通气孔202,每个通气孔202贯穿振动膜结构210。该结构使得振动膜200更坚固,从而更能抵抗跌落冲击的影响,提升了振动传感器的可靠性。

[0094] 图7所示为本发明第一实施例中振动传感器的第四种剖面图。参照图7,该种振动传感器与图4所示振动传感器的不同之处在于:质量块400直接地贴合在振动膜结构210的下表面,而图4所示质量块400是通过贴合在第一牺牲层(上表面贴合在振动膜结构210下表面)下表面而间接地设置在振动膜结构210的下表面。图7所示结构的优点是:规避了第一牺牲层压应力导致的振动膜200与质量块400之间的应力不匹配(振动膜200会因第一牺牲层压应力产生张应力,而质量块400除上表面与第一牺牲层接合外其余边界悬空无束缚故可以微形变来抵消第一牺牲层压应力而产生的受应力干扰)影响,从而有利于进一步提高振动传感器的感测精度。并且,此结构中可以让振动膜200和质量块400皆为疏水性材料,从而减少在湿气环境使用中第一牺牲层(多采用氧化硅材质)吸湿后对振动传感器性能一致性与可靠度的影响。

[0095] 本发明第二实施例提供了上述振动传感器的制造方法,图8至图12示出了振动传感器在制造过程中各阶段的剖面示意图。下面将图4至图7与图8至图12相结合,详细描述本发明第一实施例中振动传感器的制造方法。

[0096] 振动传感器的制造方法,整体上包括:采用面型硅微加工技术制作双薄膜平板电容感测架构和采用体型硅微加工技术制作质量块400。

[0097] (一)双薄膜平板电容感测架构的制作过程如下:

[0098] 如图8中的(a)图所示,提供一块单晶硅或SOI之类的绝缘性基材,该基材后续经体型硅微加工后形成衬底100和质量块400。

[0099] 如图8中的(b)图所示,在基材的上表面形成第一牺牲层610,所述第一牺牲层610经微加工后有第一孔洞611,其中,第一孔洞611后续供形成如图4所示的凸块201;第一牺牲层610可以采用氧化硅,后续通过湿法(例如采用:BOE,全称Buffered Oxide Etch,即缓冲氧化物刻蚀液;HF,即氢氟酸)与干法蚀刻(例如采用vHF,即氢氟酸蒸汽)即可去除。

[0100] 如图8中的(c)图所示,在第一牺牲层610上形成第一生长层620,第一生长层620包括振动膜200以及嵌入第一孔洞611而形成的抗粘黏凸块201,其中,振动膜200经微加工后,可以形成如图4所示的弹簧结构220,也可以形成如图6所示的通气孔202。

[0101] 如图8中的(d)图所示,在振动膜200上表面形成层叠的第二牺牲层630与电性绝缘的第一保护层303,其中,所述第二牺牲层630经微加工后有第二孔洞631和导电孔632,第二孔洞631经第一保护层303沉积后续供形成如图4所示的凸块301,导电孔632内不沉积第一保护层303且后续供振动膜200的电性导出;第二牺牲层630同样可以采用氧化硅,后续通过湿法与干法蚀刻即可去除。

[0102] 如图9中的(a)图所示,在所述第一保护层303上形成一导电背极膜302,其中,第二孔洞631经第一保护层303沉积后再沉积背极膜302而形成如图4所示的凸块301,导电孔632内沉积导电背极膜302以和振动膜200连接。此导电背极膜302经微加工后在边缘内侧有导通孔(VIA Hole)322,导通孔322贯穿到振动膜200上表面,这样后续导通孔322内沉积第二保护层304后,不仅和背极膜302底部及顶部的保护层相结合密封所述背极膜302,达到电性阻隔的作用;还能够防止第二牺牲层630的边缘被掏空,达到增强结构稳定性的作用。

[0103] 如图9中(b)图所示,在所述背极膜302上形成第二保护层304,所述第二保护层304向导通孔322内沉积,并且还可以从下到上依次覆盖了基材顶部的部分区域、第一牺牲层610侧壁、振动膜200的膜层截面、第二牺牲层630侧壁、固定膜300的膜层截面。固定膜300上后续经微加工有通孔311,通孔311贯穿到第二牺牲层630上表面以方便后续通入蚀刻液而让第二牺牲层630以及第一牺牲层610去除。

[0104] 如图9中(c)图所示,在导通孔322所围背极膜302的部分上表面蚀刻掉所述第二保护层304并贴设金属层以形成第一电极510,以及在导电孔632连接的背极膜302的部分上表面蚀刻掉所述第二保护层304并贴设金属层以形成第二电极520,所述第一电极510和第二电极520可以采用金和铝等金属材料,这两个电极让振动膜200和固定膜300的电性分别导出但是电性上互相独立而不短路。

[0105] 需要说明的是,上述所形成的固定膜300为背极膜302底部和顶部分别贴设第一保护层302和第二保护层304而形成的一个三层结构。若固定膜300为背极膜302底部贴设第一保护层303而形成的一个双层结构,则可以在图9(b)图所示制造阶段中省略在背极膜302上形成第二保护层304的步骤;若固定膜300为背极膜302形成的一个单层结构,则可以在图8(d)图所示制造过程中省略在第二牺牲层上沉积第一保护层303的步骤,并且在图9(b)图所示制造阶段中省略在背极膜302上形成第二保护层304的步骤。需要注意的是,无论固定膜300是单层结构还是复合层结构,第二牺牲层630形成后,接下来是在第二牺牲层上形成包括固定膜300以及嵌入第二孔洞631的凸块301在内的第二生长层。

[0106] 对于图5所示振动传感器,由于通孔311侧壁上也设置有保护层,因而在制造过程中与图4所示振动传感器的不同之处在于:背极膜302先蚀刻出来通孔311,然后再在背极膜302上形成第二保护层304,其中,第二保护层304沉积在通孔311内;接下来,通过选择性蚀刻第二保护层304将通孔311中的第二保护层304打开以露出第二牺牲层630,但是通孔311侧壁上保持贴有保护层。

[0107] 对于图7所示振动传感器,在制造过程中与图4所示振动传感器的不同之处在于:通过选择性蚀刻第一牺牲层610,让第一牺牲层610上打开供振动膜200部分下沉的区域,这样振动膜200后续沉积形成时可与基材接合,即使得后续基材上形成的质量块400可以垂直整合在振动膜200下沉区域的下表面,实现了质量块400和振动膜200下表面的直接连接。

[0108] (二)质量块400在基材内蚀刻而产生,质量块400的制作过程可以有如下三种方法:

[0109] (1)方法一

[0110] 如图10中的(a)图所示,经沉积与选择性蚀刻在基材背面的边缘位置对称地形成第二遮罩层,其中,第二遮罩层可以采用氧化硅材质。

[0111] 如图10中的(b)图所示,再经沉积与选择性蚀刻在第二遮罩层的背面和基材上预

设质量块400的区域形成间隔的第一遮罩层,其中,第一遮罩层同样可以采用氧化硅材质或是光刻胶材质。

[0112] 如图10中的(c)图所示,在基材背面进行首次蚀刻,以在消耗掉第一遮罩层的同时蚀刻第一遮罩层之间的间隔区域(即未被第一遮罩层和第二遮罩层遮罩的区域)而形成质量块400的横截图形区域(位于xy平面内的图形区域);

[0113] 如图10中的(d)图所示,在基材背面进行再次蚀刻,以蚀刻基材背面的未遮罩区域(包括第一遮罩层原遮罩区域以及间隔区域中位于第一牺牲层610下方的未被蚀刻的部分)而定义出质量块400的厚度并切断质量块400与基材的连结。

[0114] 需要说明的是,上述第一遮罩层在xy平面上遮罩的截面区域即为最后质量块400在xy平面上的截面图形;第一遮罩层的厚度决定了质量块400的厚度,具体地,第一遮罩层的厚度依照基材和第一遮罩层的蚀刻选择比(Etching rate)适当匹配设计。例如,在基材采用硅材质,第一遮罩层采用氧化硅材质的情况下,第一遮罩层的厚度根据硅与氧化硅的蚀刻选择比进行适当匹配设计。最后使得第一遮罩层消耗掉的同时第一遮罩层之间的间隔区域只剩下厚为 $d_2$ 的基材,继而在图10中(d)图的处理过程中间隔区域内厚为 $d_2$ 的基材被蚀刻的同时第一遮罩层原遮罩区域也蚀刻了厚为 $d_2$ 的基材,这样间隔区域内基材被蚀刻而停止于第一牺牲层610,质量块厚度定义出为 $d_0 = d_1 - d_2$ ,其中, $d_1$ 为基材的厚度。

[0115] 质量块400的该种制作方法中,蚀刻可以采用感应耦合等离子蚀刻(ICP)和深反应离子蚀刻(DRIE)等干法蚀刻。非等向性干法蚀刻的精度控制误差(tolerance control of etching-depth)会随蚀刻深度增大而增大,并会受蚀刻区域的开口比例(Opening ratio)和蚀刻深宽比(Aspect Ratio)的影响。目前,在硅基材晶圆级尺寸下(一般6吋晶圆厚度为525um,8吋晶圆厚度为725um),蚀刻深度若小于500um,则晶圆中间区域和外围区域的蚀刻深度精度控制误差能够小于30微米。另外,第一遮罩层材料和基材材料对干法蚀刻的蚀刻选择比也会是蚀刻深度误差的来源。

[0116] 因此,对于xy平面上的厚度尺寸(即图10中(d)图所示的 $d_0$ )小于100微米的质量块400来说,体积误差有机会达到40%以上(质量块400的体积一致性<60%);但是,在蚀刻深度小于100微米(etching depth<100um)的情况下,质量块400在xy平面上的厚度尺寸若大于300微米,则质量块400的体积误差可以小于20%(质量块400的体积一致性>80%),相应地,此振动传感器可以降低感测频率带宽到4KHz以下而达到感度集中度+/-3dB的范围。

[0117] 应当理解的是,质量块400的该种制作方法不仅仅能制作立方体型的三维质量块400,还能通过第一遮罩层的形状改变和更多段干法蚀刻组合的基材加工过程而制作出更复杂的质量块400。该方法的制程工艺较为简单。

[0118] (2) 方法二

[0119] 如图11中的(a)图所示,经沉积与选择性蚀刻在基材背面的边缘位置对称地形成第二遮罩层,并通过黄光微影旋涂工艺在第二遮罩层的背面和基材上预设质量块的区域形成间隔的第一遮罩层,其中,第二遮罩层可以采用氧化硅材质,第一遮罩层可以采用氧化硅材质或光刻胶。

[0120] 如图11中的(b)图所示,在基材背面进行首次蚀刻,以蚀刻第一遮罩层之间的间隔区域(即未被第一遮罩层和第二遮罩层遮罩的区域)而形成质量块400的横截图形区域(位于xy平面内的图形区域);

[0121] 如图11中的(c)图所示,在基材背面进行再次蚀刻,以消耗掉第一遮罩层;

[0122] 如图11中的(d)图所示,在基材背面进行三次蚀刻,以蚀刻基材背面的未遮罩区域(包括第一遮罩层原遮罩区域以及间隔区域中位于第一牺牲层610下方的未被蚀刻的部分)而定义出质量块400的厚度并切断质量块400与基材的连结。

[0123] 需要说明的是,上述第一遮罩层在xy平面上遮罩的截面区域即为最后质量块400在xy平面上的截面图形;第一遮罩层原遮罩区域在三次蚀刻中蚀刻的厚度 $d_3$ 决定了质量块400的厚度 $d_0$ ,质量块400的厚度 $d_0=d_1-d_3$ ,其中, $d_1$ 为基材的厚度。

[0124] 需要注意的是,三次蚀刻后质量块400与基材的连结会被切断以完整定义出独立的质量块400,因而,首次蚀刻后第一遮罩层间隔区域的残余厚度 $d_4$ 要小于第一遮罩层原遮罩区域在三次蚀刻中蚀刻的厚度 $d_3$ ,这样能够避免第一遮罩层间隔区域内最后有基材蚀刻不尽或是有残留基材渣。

[0125] 质量块400的该种制作方法中,蚀刻可以采用感应耦合等离子蚀刻(ICP)和深反应离子蚀刻(DRIE)等干法蚀刻。非等向性干法蚀刻的精度控制误差(tolerance control of etching-depth)会随蚀刻深度增大而增大,并会受蚀刻区域的开口比例(Opening ratio)和蚀刻深宽比(Aspect Ratio)的影响。目前,在硅基材晶圆级尺寸下(一般6吋晶圆厚度为525um,8吋晶圆厚度为725um),蚀刻深度若小于500um,则晶圆中间区域和外围区域的蚀刻深度精度控制误差能够小于30微米。因此,对于xy平面上的厚度尺寸(即图11中(d)图所示的 $d_0$ )小于100微米的质量块400厚度来说,体积误差有机会达到30%以上(质量块400的体积一致性<70%);但是,在蚀刻深度小于100微米(etching depth<100um)的情况下,质量块400在xy平面上的厚度尺寸若大于300微米,则质量块400的体积误差可以小于10%(质量块400的体积一致性>90%),相应地,此振动传感器可以降低感测频率带宽到4KHz以下而达到感度集中度+/-1dB的范围。

[0126] 应当理解的是,质量块400的该种制作方法不仅仅能制作立方体型的三维质量块400,还能通过第一遮罩层的形状改变和更多段干法蚀刻组合的基材加工过程而制作出更复杂的质量块400。

[0127] (3) 方法三

[0128] 如图12中的(a)图所示,经沉积与选择性蚀刻在基材背面的边缘位置对称地形成第二遮罩层,并通过湿法蚀刻(例如,采用KOH,即氢氧化钾溶液;或者,采用TMAH,即四甲基氢氧化铵溶液)在基材背面进行首次蚀刻,以在基材背面的未遮罩区域蚀刻掉一个剖面呈梯形的区域而定义出质量块的厚度 $d_0$ ,梯形较短平行边P1P2平行振动膜200且作为蚀刻分界线而定义质量块400的底部。其中,第二遮罩层的材质采用氧化硅或氮化硅。

[0129] 如图12中的(b)图所示,在第二遮罩层和质量块400的底部(即梯形较短平行边P1P2)上通过黄光微影喷涂工艺形成间隔的第一遮罩层,其中,第一遮罩层为光刻胶。

[0130] 如图12中的(c)图所示,在基材背面进行再次蚀刻,以蚀刻基材背面的未遮罩区域而形成质量块400在xy平面上的横截面图形区域并切断质量块400与基材的连结。此步骤中,第一遮罩层之间的间隔区域蚀刻停止于第一牺牲层610上。

[0131] 如图12中的(d)图所示,去除第二遮罩层以露出已形成的质量块。

[0132] 需要说明的是,上述第一遮罩层在xy平面上遮罩的截面区域即为最后质量块400在xy平面上的截面图形;首次蚀刻掉的基材厚度 $d_5$ 决定质量块400的厚度,质量块400的厚

度 $d_0 = d_1 - d_5$ ,其中, $d_1$ 为基材的厚度。

[0133] 应当理解的是,上述第一遮罩层和第二遮罩层的内边缘与梯形区域的梯形较长边两边缘分别相切于直线 $L_1$ 和直线 $L_2$ 。

[0134] 质量块400的该种制作方法中,图12中(a)图这一阶段的处理过程对于质量块400的体积一致性具有决定性作用。由于此非等向性蚀刻(anisotropic etching)对硅片晶格 $\langle 710 \rangle$ 与 $\langle 720 \rangle$ 这两蚀刻方向的蚀刻率存在差异但是保有蚀刻均匀稳定的特殊性,因而,经由湿法蚀刻的微蚀刻深度均匀性在晶圆级尺寸下可以控制的很好,其蚀刻深度的精度误差控制(etching-depth tolerance control)在小于5微米的范围内。基于此,在晶圆级尺寸下,对于xy平面上的厚度尺寸(即图12中(a)图所示的 $d_0$ )小于100微米的质量块400来说,体积误差皆可以控制在小于5%的范围内(质量块400的体积一致性 $>95\%$ );若质量块400在xy平面上的厚度尺寸若大于300微米,则质量块400的体积误差始终维持在小于5微米的范围内,因此质量块400的体积一致性可以进一步提升到大于98%,相应地,此振动传感器可以降低感测频率带宽至4KHz以下而达到感度集中度 $\pm 0.5\text{dB}$ 的范围。

[0135] 进一步,在质量块400的制作过程中,经设计而搭配多段干法蚀刻组合的微基材加工工艺或者是经设计而搭配多段湿法与干法组合的微基材加工工艺,将制作出结构较为复杂的质量块400。具体地,质量块400的结构包括如图13所示的任意一种:圆柱、三角柱、六角柱、方柱、空心圆柱、空心方柱、十字柱、六星柱、蜂巢阵列、圆柱阵列。需要说明的是,对于空心圆柱这一结构,若实心部分的内壁所围柱体和外壁所围柱体共轴,则亦称空心环柱;对于圆柱阵列的质量块400来说,多个圆柱之间具有连接结构以便多个圆柱皆与振动膜200共振。应当理解的是,质量块400的结构包括图13所示的任意一种结构,但不局限于这些结构。

[0136] (三)最后,采用湿法(例如采用:BOE,全称Buffered Oxide Etch,即缓冲氧化物刻蚀液;HF,即氢氟酸)与干法(vapor HF,即氢氟酸蒸汽)蚀刻去除第二牺牲层630、第一牺牲层610以及基材背面的第二遮罩层,使得振动膜200与固定膜300结构释放而形成振动传感器。

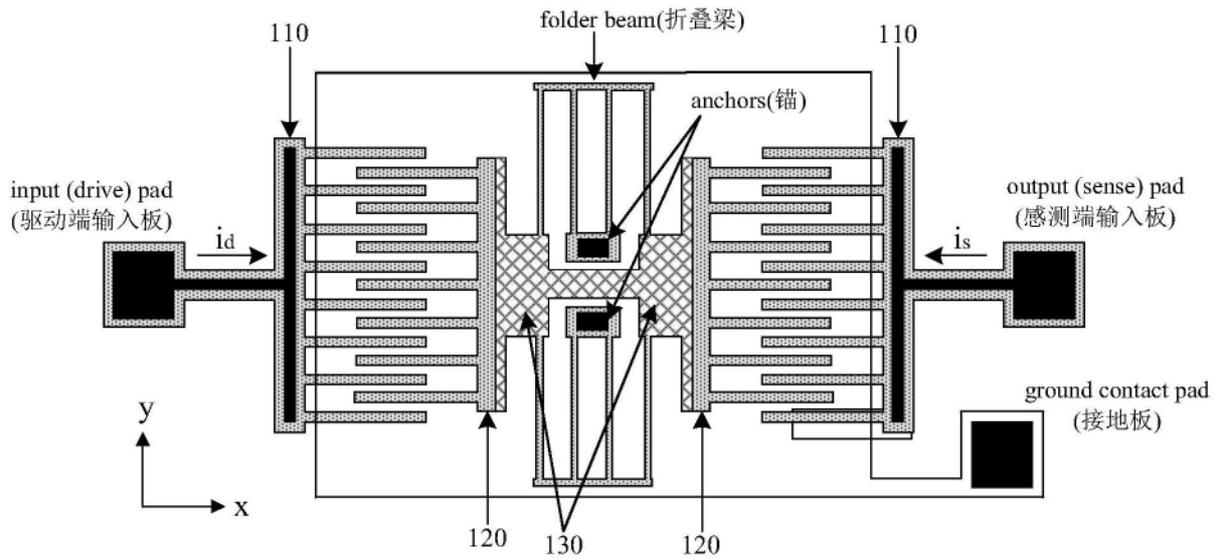
[0137] 以上所述的振动传感器的制造方法,在不同振动频率带宽需求上,能够制作厚薄可调整的惯性质量块400以满足低频到高频的振动感测需求;在感度集中度需求上,能够在晶圆级尺寸下制作出高一致性的质量块400,从而使振动传感器的振动输出稳定也提高了振动传感器的精度,并满足了晶圆级振动传感器大批量制造生产的特性。

[0138] 应当说明的是,在本文中,诸如第一和第二等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来,而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且,术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含,从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素,而且还包括没有明确列出的其他要素,或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下,由语句“包括一个……”限定的要素,并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

[0139] 应当理解,在上述描述部件的结构时,当将一层、一个区域称为位于另一层、另一个区域“上面”或“上方”时,若将部件翻转,该一层、一个区域将位于另一层、另一个区域“下面”或“下方”

[0140] 依照本发明的实施例如上文所述,这些实施例并没有详尽叙述所有的细节,也不

限制该发明仅为所述的具体实施例。显然,根据以上描述,可作很多的修改和变化。本说明书选取并具体描述这些实施例,是为了更好地解释本发明的原理和实际应用,从而使所属技术领域技术人员能很好地利用本发明以及在本发明基础上的修改使用。本发明仅受权利要求书及其全部范围和等效物的限制。



100

图1

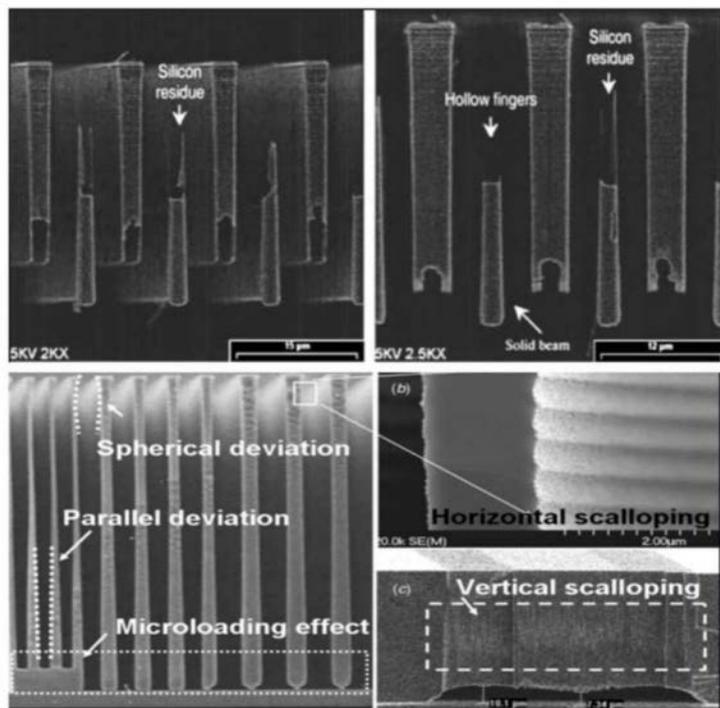


图2

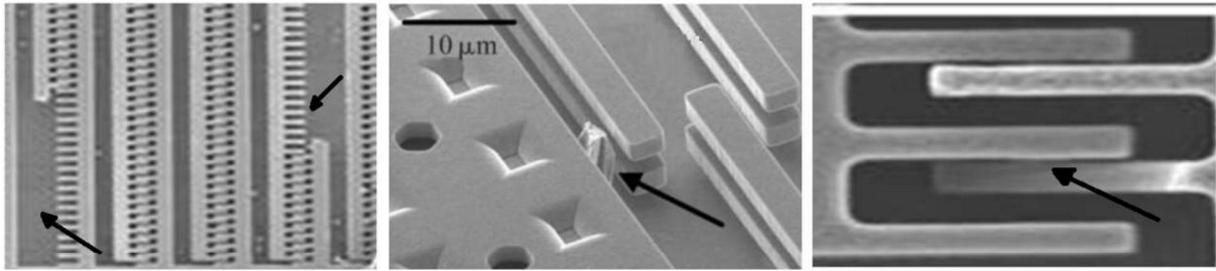


图3

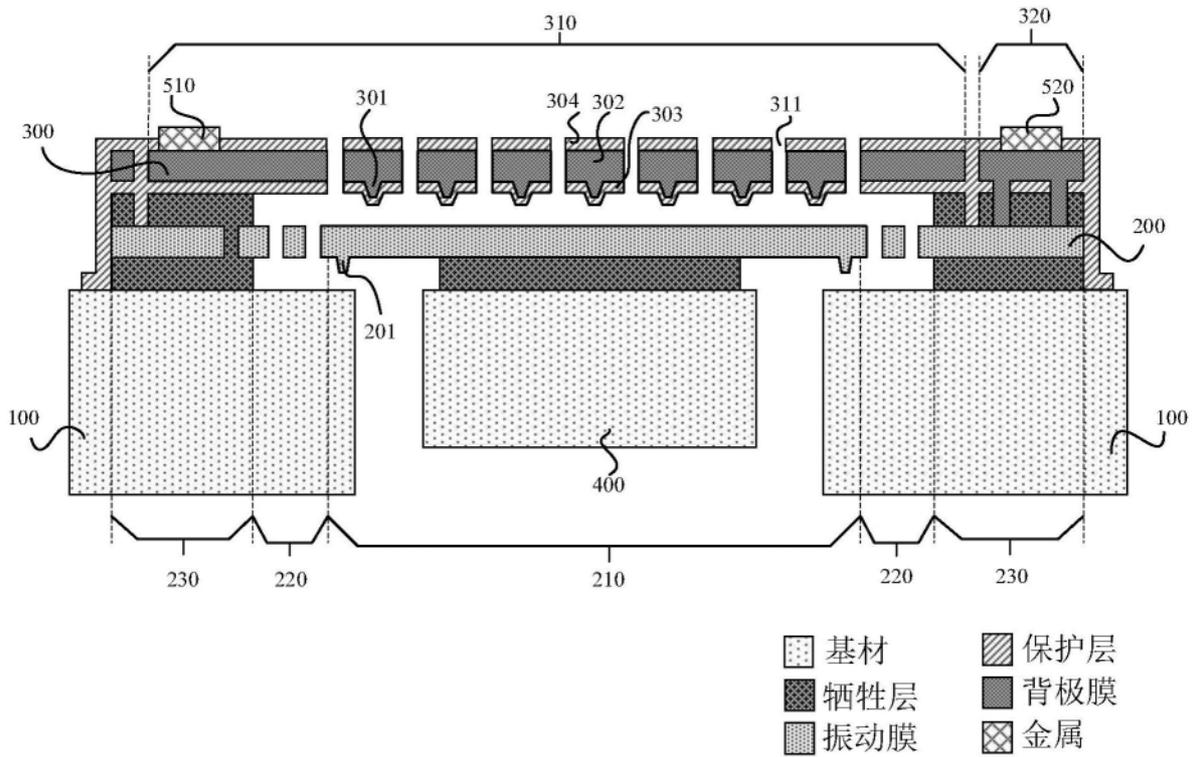
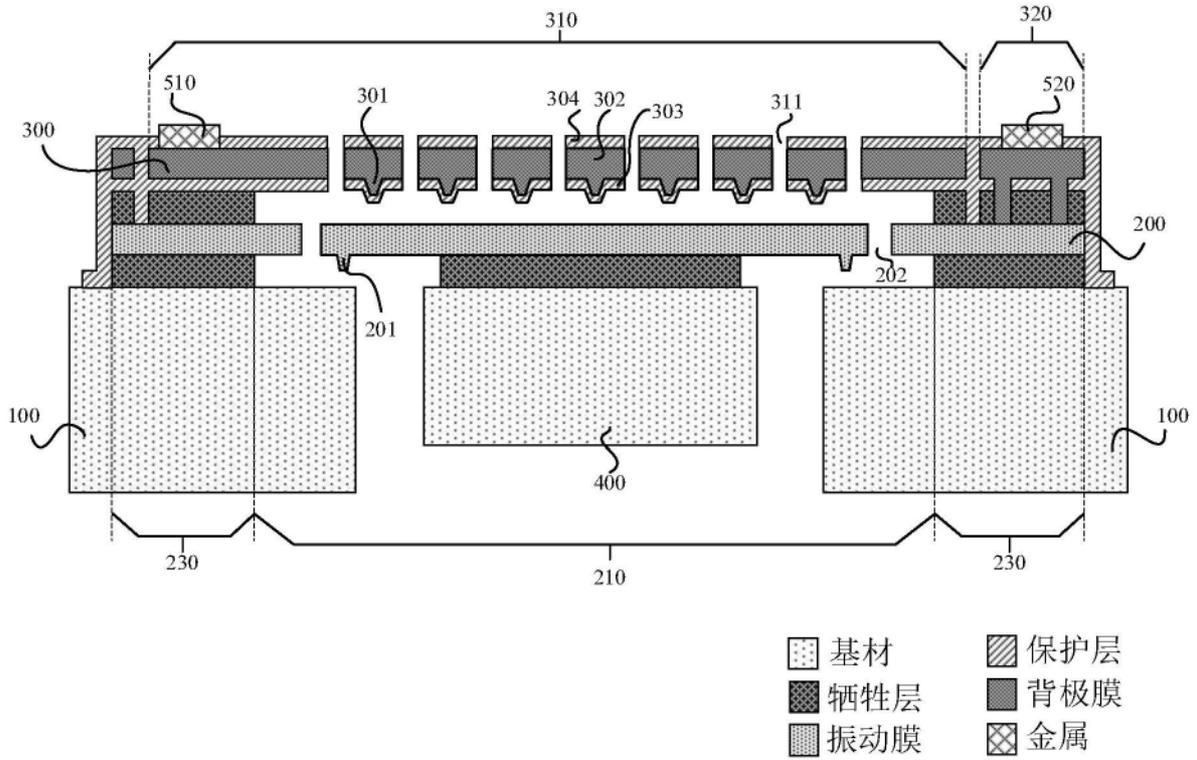
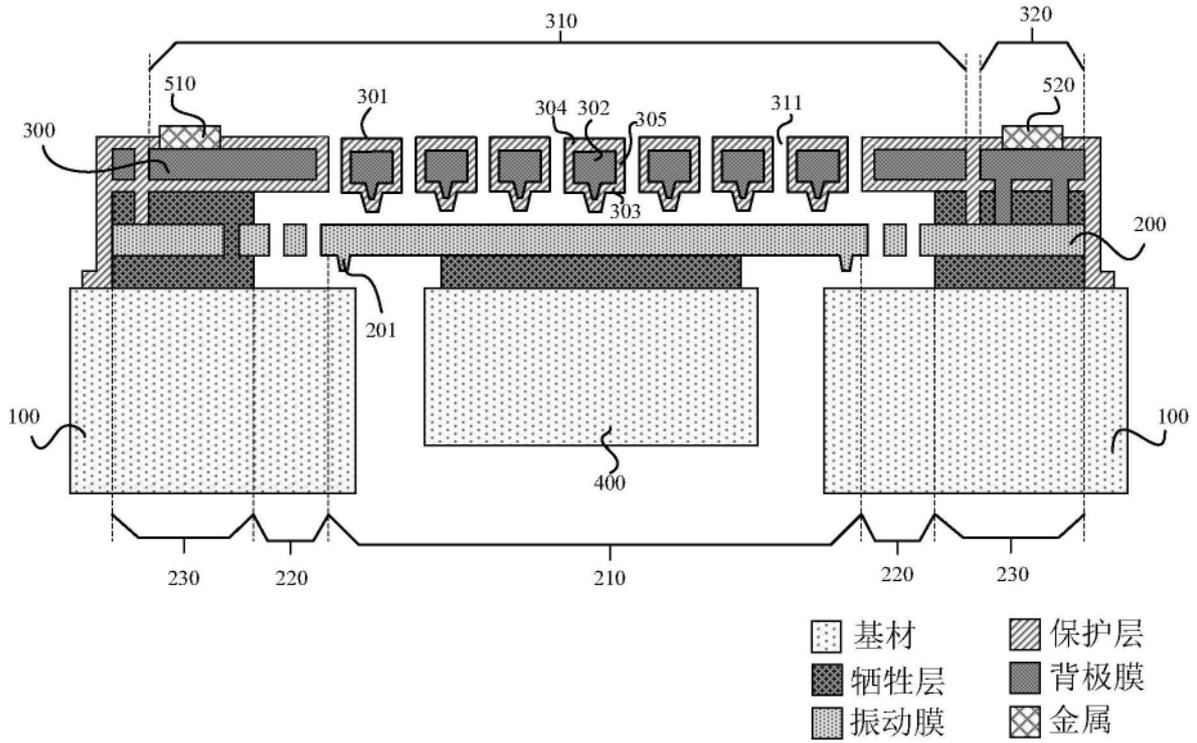


图4



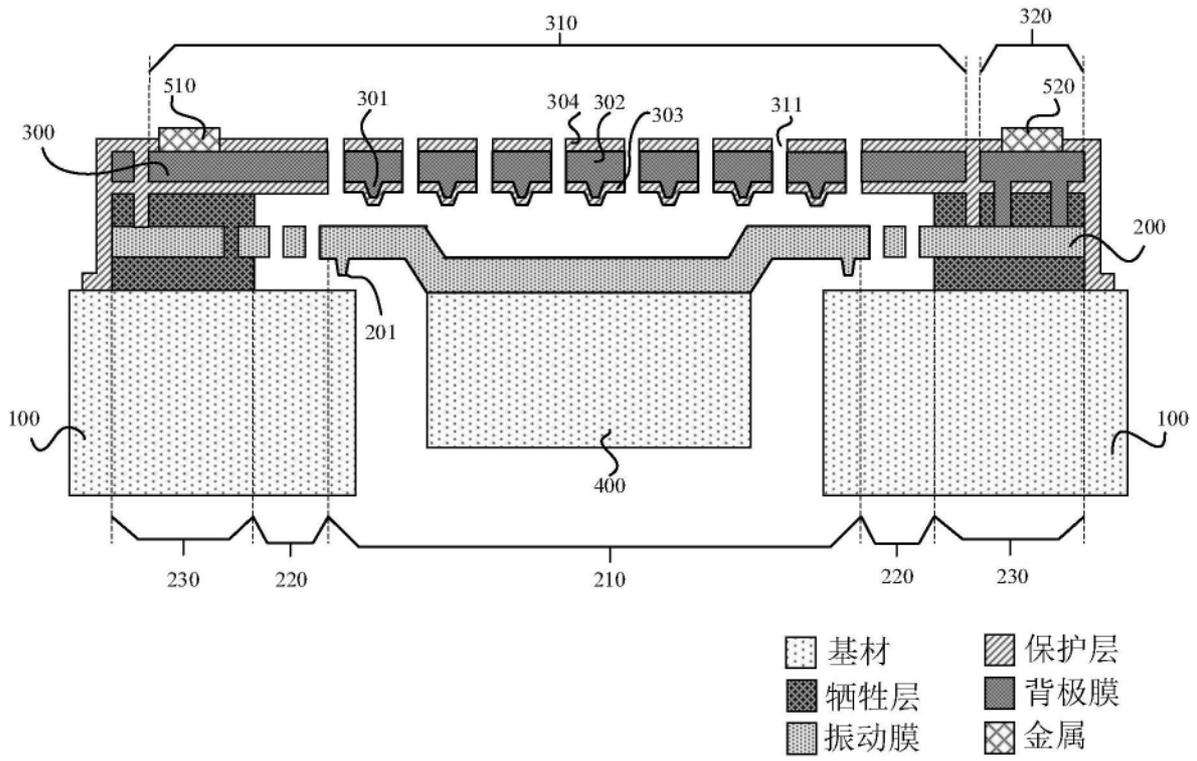


图7

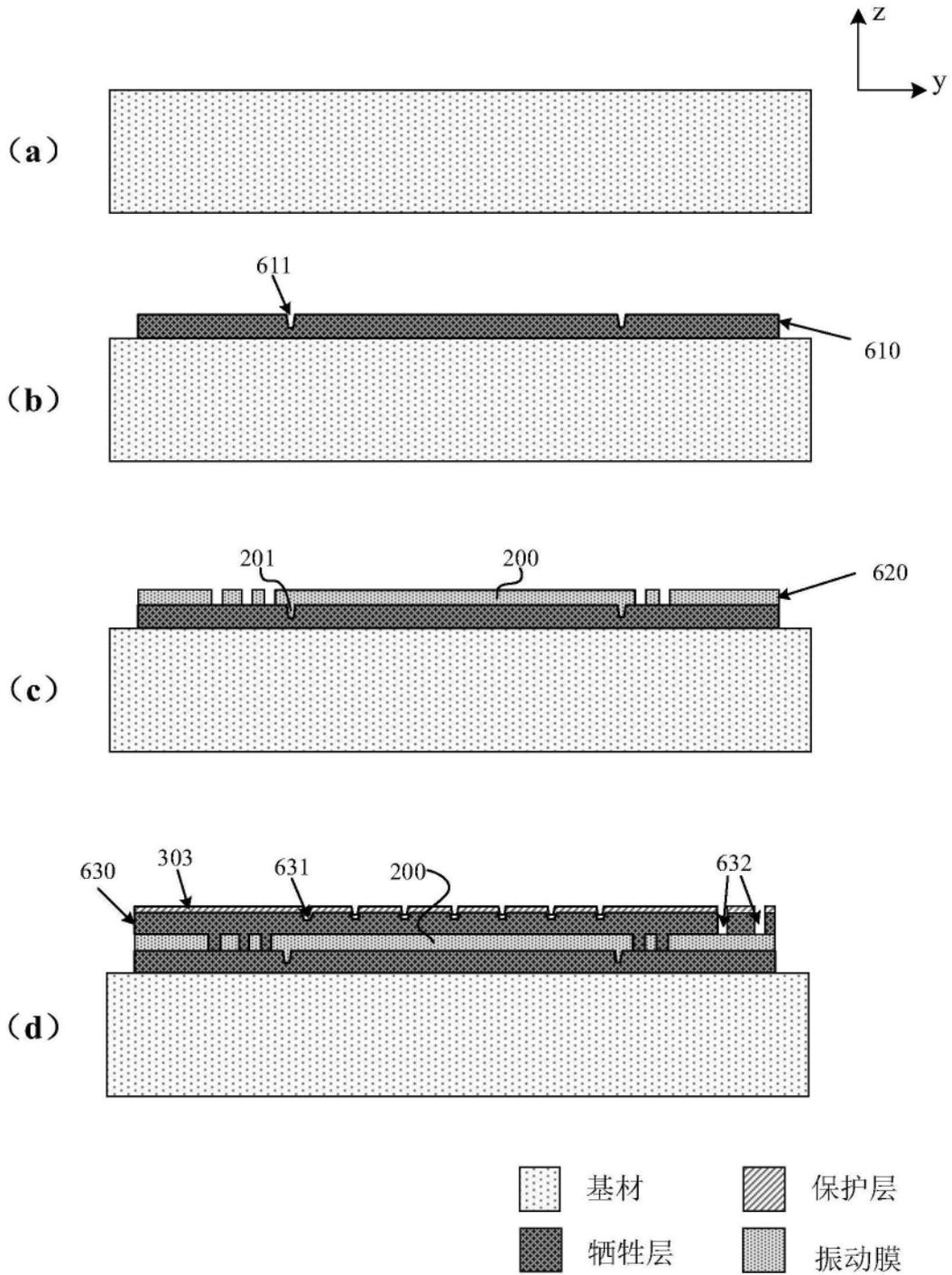


图8

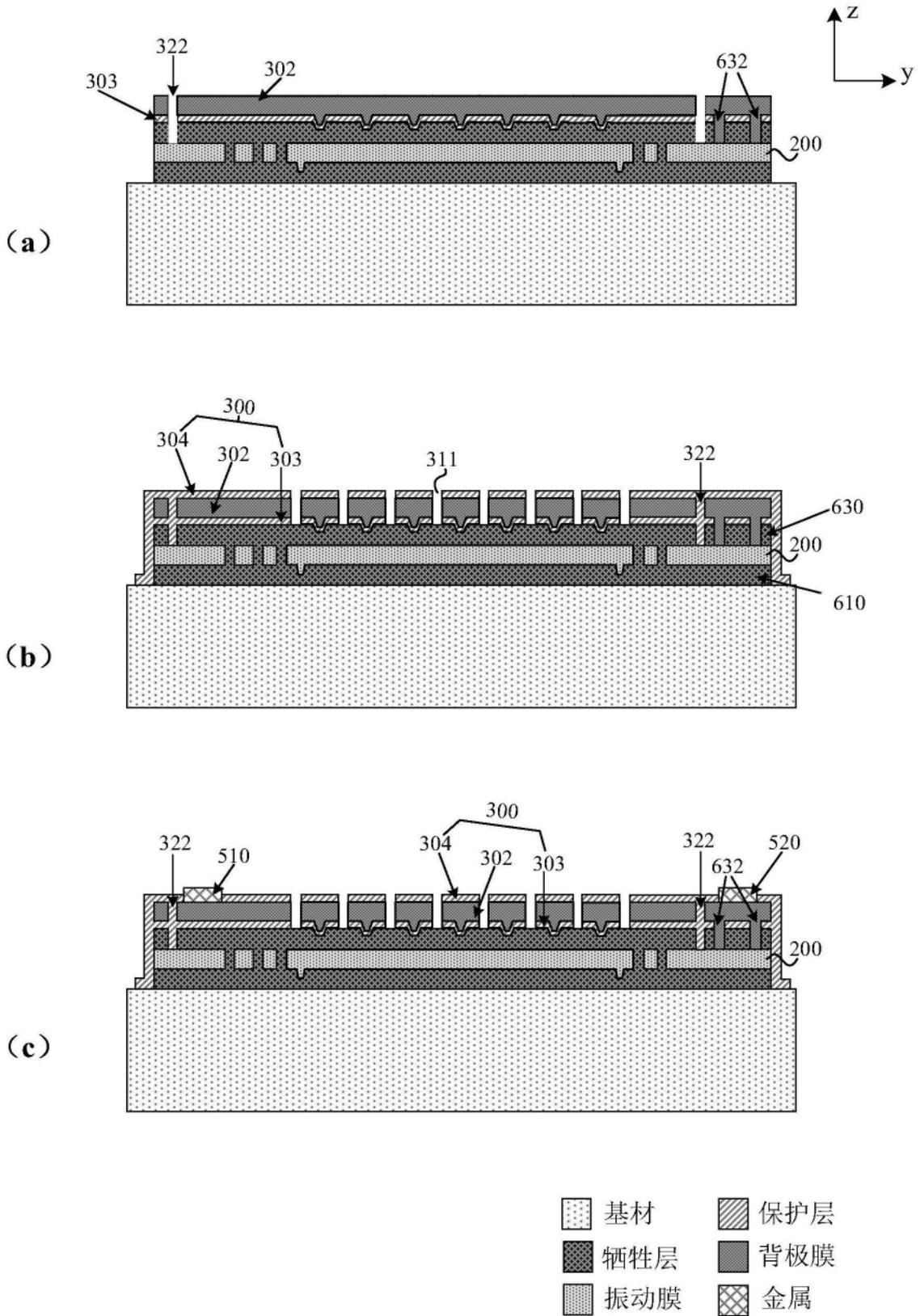


图9

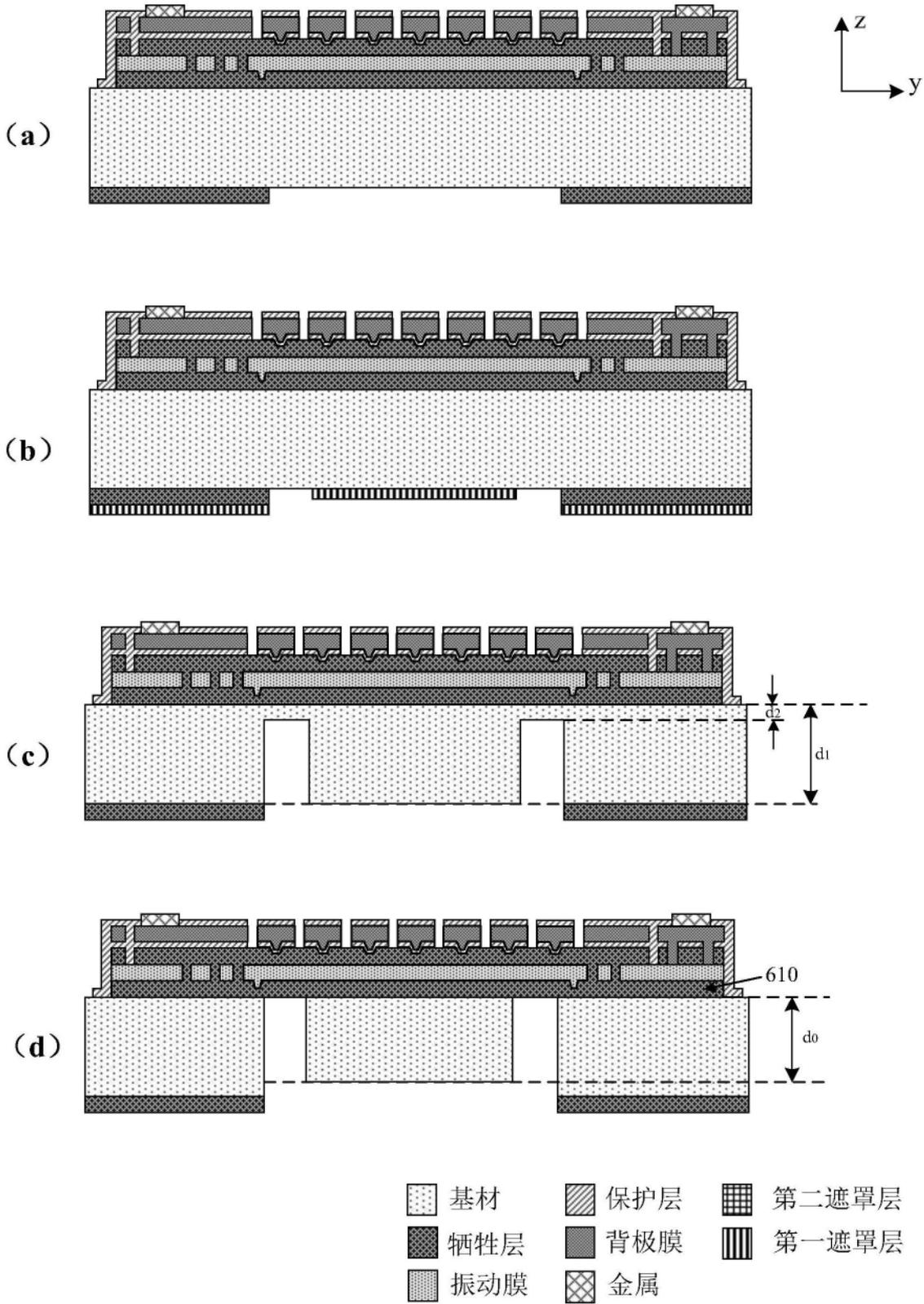


图10

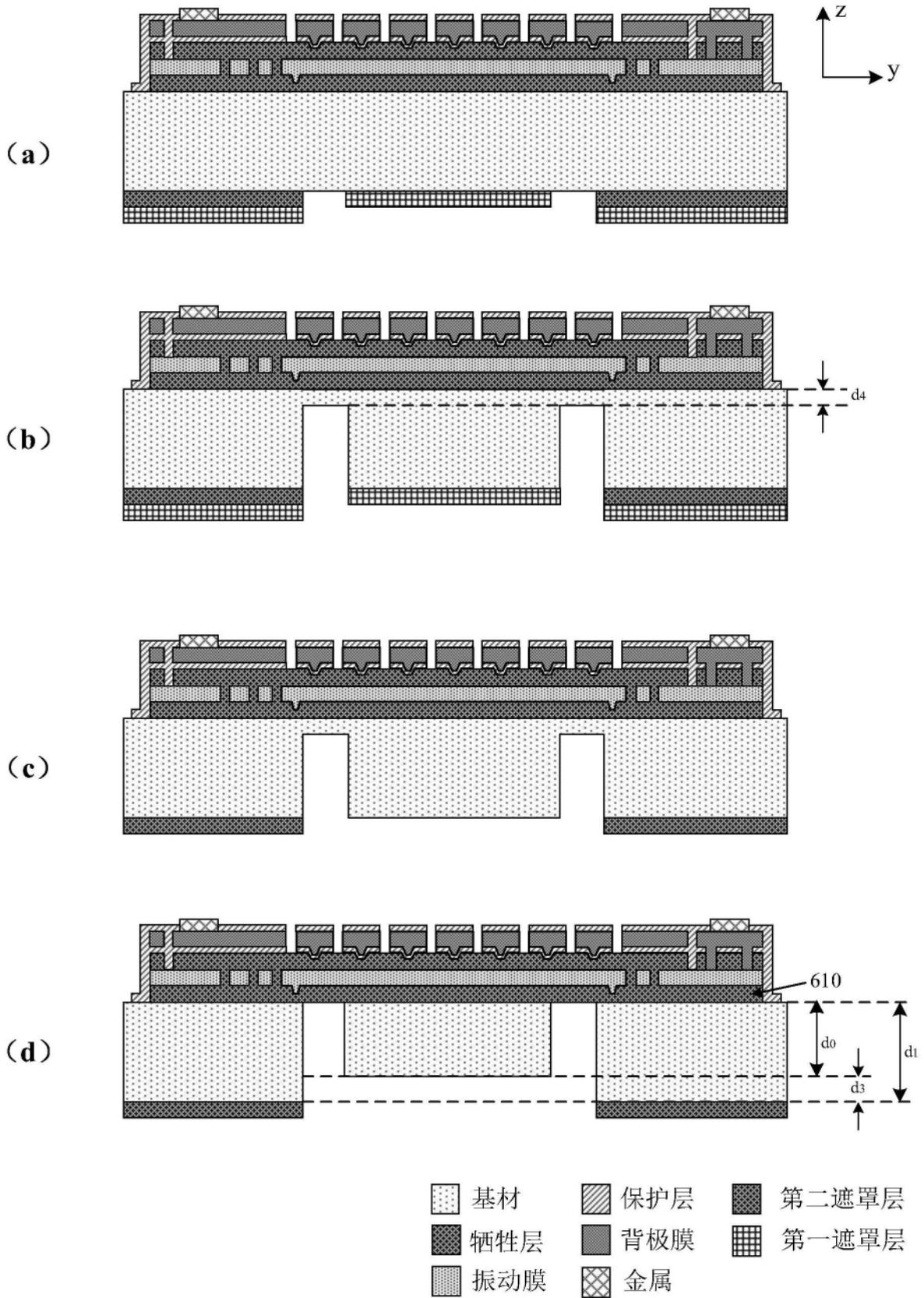


图11

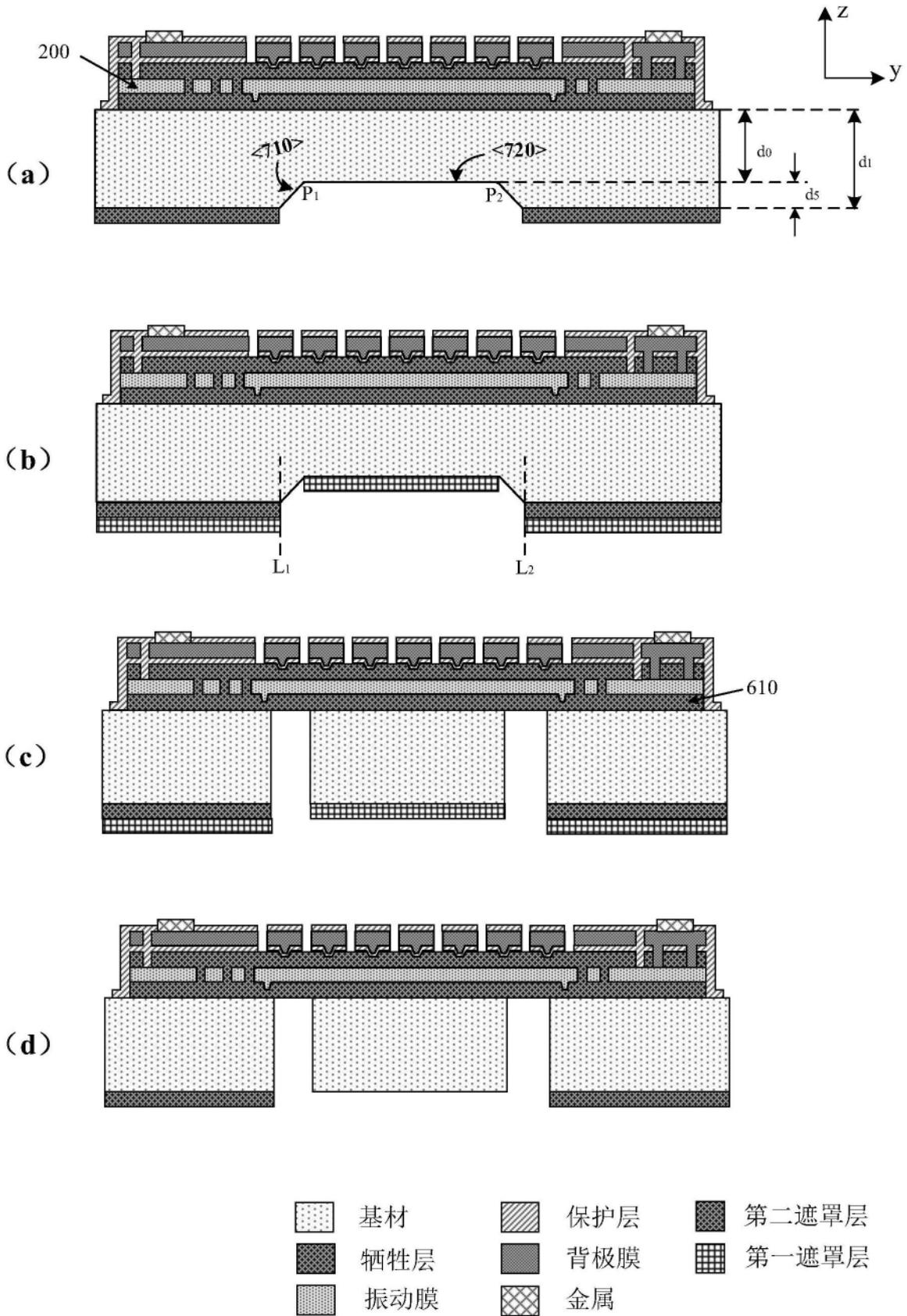


图12

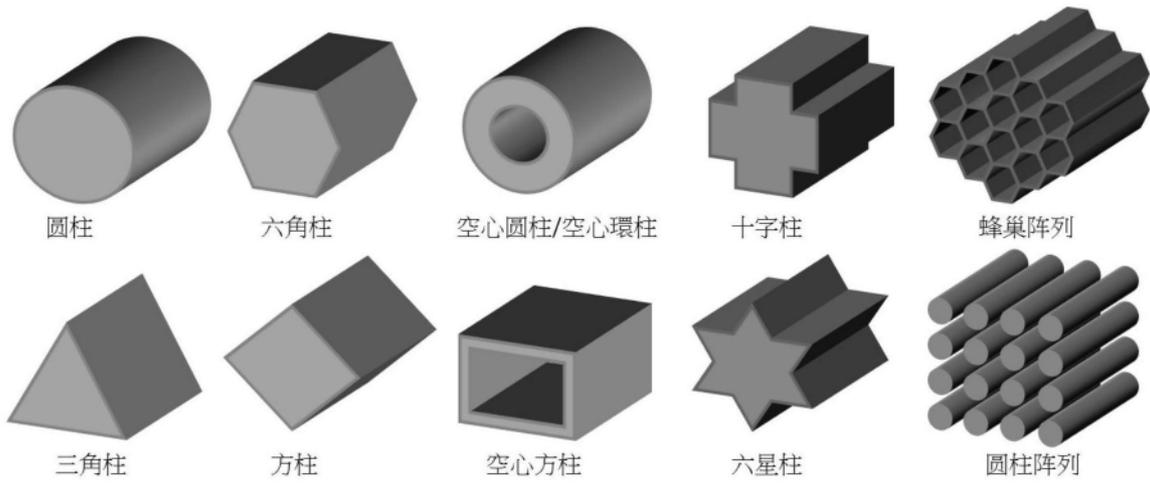


图13