



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104793015 B

(45)授权公告日 2018.04.27

(21)申请号 201510056072.2

G01L 9/06(2006.01)

(22)申请日 2015.02.03

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104793015 A

CN 103674355 A, 2014.03.26,

CN 104316725 A, 2015.01.28,

CN 101881676 A, 2010.11.10,

CN 101329361 A, 2008.12.24,

CN 104058361 A, 2014.09.24,

JP 2008049438 A, 2008.03.06,

JP 4335545 B2, 2009.09.30,

US 5943555 A, 1999.08.24,

CN 102476786 A, 2012.05.30,

(43)申请公布日 2015.07.22

(73)专利权人 中国科学院上海微系统与信息技术研究所

地址 200050 上海市长宁区长宁路865号

(72)发明人 王家畴 李昕欣

Yeh W C. Novel TPMS Sensing Chip With Pressure Sensor Embedded in Accelerometer.《Actuators and Microsystems2013》.2013, 第1759-1762页.

(74)专利代理机构 上海光华专利事务所(普通合伙) 31219

代理人 余明伟

审查员 伊慧贞

(51)Int. Cl.

G01P 15/12(2006.01)

G01L 1/18(2006.01)

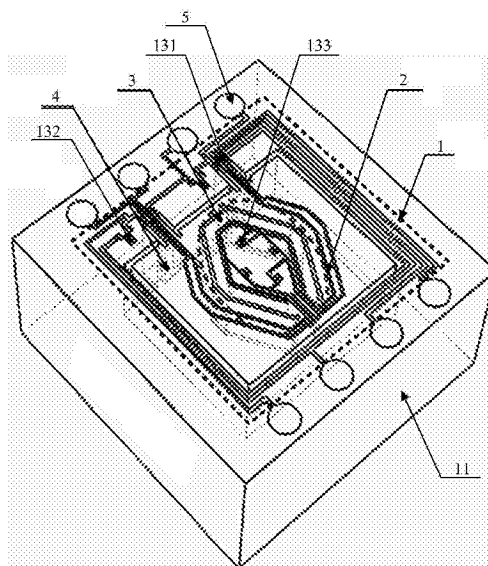
权利要求书2页 说明书9页 附图9页

(54)发明名称

加速度计内嵌压力传感器的单硅片复合传感器结构及方法

(57)摘要

本发明涉及一种加速度计内嵌压力传感器的单硅片复合传感器的单硅片复合传感器结构及方法,所述复合传感器结构包括一块单晶硅基片和均集成在单晶硅基片上的加速度传感器及压力传感器;加速度传感器与压力传感器集成于单晶硅基片的同一表面,且压力传感器悬浮在加速度传感器的质量块的中心位置,压力参考腔体直接埋在质量块内部。本发明的加速度和压力复合传感器大大降低了芯片尺寸,减少了制作成本,且与IC工艺兼容可实现大批量制作;同时,将所述压力传感器直接悬浮在质量块的中心位置,即最大程度地缩小了芯片尺寸,又有效地消除了加速度传感器与压力传感器之间检测信号的相互串扰,大大提高了复合传感器的检测精度。



1. 一种加速度计内嵌压力传感器的单硅片复合传感器结构,其特征在于,包括:一块单晶硅基片和均集成在所述单晶硅基片上的加速度传感器及压力传感器;所述加速度传感器与压力传感器集成于所述单晶硅基片的同一表面;

所述加速度传感器包括:质量块,与所述质量块连接的悬臂梁,位于所述悬臂梁上的第一应力敏感电阻,位于所述单晶硅基片表面的参考电阻,位于所述质量块与悬臂梁周围及下方的所述单晶硅基片内的运动间隙;所述质量块为单晶硅质量块,且所述质量块的厚度大于所述悬臂梁的厚度,所述第一应力敏感电阻与所述参考电阻连接成加速度检测电路;所述悬臂梁的上表面和所述质量块的上表面均与所述单晶硅基片正面为同一平面,所述悬臂梁的下表面和所述质量块的下表面均埋入在所述单晶硅基片内部;

所述压力传感器嵌入在所述质量块的中心位置,包括:压力敏感薄膜,多个位于所述压力敏感薄膜上的第二应力敏感电阻,以及位于所述压力敏感薄膜下方埋入在所述质量块内的压力参考腔体;所述多个第二应力敏感电阻连接成压力检测电路;

其中,在沿所述压力传感器周边的质量块内设有微槽,所述微槽将所述压力传感器隔离为悬浮在所述质量块中心位置的悬浮结构,所述悬浮结构的根部与所述质量块的末端中心位置相连接。

2. 根据权利要求1所述加速度计内嵌压力传感器的单硅片复合传感器结构,其特征在于:所述单晶硅基片为(111)晶面的单晶硅基片。

3. 根据权利要求1所述加速度计内嵌压力传感器的单硅片复合传感器结构,其特征在于:所述悬浮结构为六边形。

4. 根据权利要求1所述加速度计内嵌压力传感器的单硅片复合传感器结构,其特征在于:所述悬浮结构的厚度与所述质量块的厚度相同。

5. 根据权利要求1所述加速度计内嵌压力传感器的单硅片复合传感器结构,其特征在于:所述压力敏感薄膜、所述悬浮结构及所述质量块的上表面位于同一平面。

6. 根据权利要求1所述加速度计内嵌压力传感器的单硅片复合传感器结构,其特征在于:所述加速度传感器设有两根所述悬臂梁以及两个分别位于两根所述悬臂梁上的第一应力敏感电阻,并且设有两个所述参考电阻;两个所述参考电阻与两个所述第一应力敏感电阻连接成惠斯顿半桥检测电路。

7. 根据权利要求1所述加速度计内嵌压力传感器的单硅片复合传感器结构,其特征在于:所述压力传感器设有四个第二应力敏感电阻,分别两两相对的以所述压力敏感薄膜的中心呈中心对称分布,且分别位于所述压力敏感薄膜的两条相互垂直的对称轴上;四个所述第二应力敏感电阻连接成惠斯顿全桥检测电路。

8. 一种加速度计内嵌压力传感器的单硅片复合传感器结构的制作方法,其特征在于,包括以下步骤:

提供一单晶硅基片,在所述单晶硅基片正面分别制作加速度传感器和压力传感器的检测电阻;

在所述单晶硅基片上制作压力参考腔体及压力敏感薄膜;

在所述单晶硅基片上制作双悬臂梁、质量块及悬浮结构;

在所述单晶硅基片正面已制作的所述悬臂梁上表面重新刻蚀出所述悬臂梁的宽度和厚度;

将所述悬臂梁减薄至所需的厚度；
制作引线孔和铝引线，并进行合金化工艺。

9. 根据权利要求8所述的加速度计内嵌压力传感器的单硅片复合传感器结构的制作方法，其特征在于，在所述单晶硅基片上制作压力参考腔体及压力敏感薄膜包括以下步骤：

利用硅深度反应离子刻蚀工艺在所述单晶硅基片正面制作第一释放窗口，所述第一释放窗口勾勒出所需压力敏感薄膜及压力参考腔体的轮廓；

在所述第一释放窗口内沉积钝化材料作为钝化保护层；利用反应离子刻蚀工艺剥离所述第一释放窗口底部的钝化材料，然后再利用硅深度反应离子刻蚀工艺继续向下刻蚀；

通过所述第一释放窗口利用湿法刻蚀工艺横向腐蚀单晶硅基片，从而制作嵌入在单晶硅基片内的压力参考腔体，释放位于所述压力参考腔体上方的压力敏感薄膜。

10. 根据权利要求9所述的加速度计内嵌压力传感器的单硅片复合传感器结构的制作方法，其特征在于，在释放所述压力参考腔体及所述压力敏感薄膜以后，还包括一沉积低压力多晶硅填堵所述第一释放窗口，并去除位于所述单晶硅基片表面的多余的所述低压力多晶硅的步骤。

11. 根据权利要求8所述的加速度计内嵌压力传感器的单硅片复合传感器结构的制作方法，其特征在于，在所述单晶硅基片上制作双悬臂梁、质量块及悬浮结构包括以下步骤：

利用硅深度反应离子刻蚀技术在所述单晶硅基片正面制作第二释放窗口，所述第二释放窗口勾勒出所需加速度传感器的双悬臂梁、质量块，以及位于所述质量块中心位置的悬浮结构的轮廓；

在所述第二释放窗口内沉积钝化材料作为钝化保护层；利用反应离子刻蚀工艺剥离所述第二释放窗口底部的钝化材料，然后再利用硅深度反应离子刻蚀工艺继续向下刻蚀；

通过所述第二释放窗口利用湿法刻蚀工艺横向腐蚀单晶硅基片，释放所述悬臂梁、质量块及悬浮结构；所述悬浮结构包括已加工好的所述压力敏感薄膜及所述压力参考腔体。

12. 根据权利要求8所述的加速度计内嵌压力传感器的单硅片复合传感器结构的制作方法，其特征在于，将所述悬臂梁减薄至所需的厚度包括以下步骤：

利用硅深度反应离子刻蚀技术在所述单晶硅基片正面已释放的所述悬臂梁上表面重新制作第三释放窗口，所述第三释放窗口定义出所述悬臂梁的宽度及厚度；

在所述第三释放窗口内沉积钝化材料作为钝化保护层；利用反应离子刻蚀工艺剥离所述第三释放窗口底部的钝化材料，然后再利用硅深度反应离子刻蚀工艺继续向下刻蚀；

通过所述第三释放窗口利用湿法刻蚀工艺将所述悬臂梁的厚度减薄至所需厚度。

加速度计内嵌压力传感器的单硅片复合传感器结构及方法

技术领域

[0001] 本发明属于硅微机械传感器技术领域,涉及一种加速度计内嵌压力传感器的单硅片复合传感器结构及方法。

背景技术

[0002] 随着MEMS技术的不断进步,MEMS复合传感器以其芯片结构尺寸更小、制作成本更低、性能更出众和后续安装应用成本更低的等优势在各行各业得到了广泛应用,例如:汽车电子、航空航天、电子消费类产品、生物医学等等。为此,大量科研工作者和各大MEMS产品开发公司投入大量的科研能力来开发不同类型的复合传感器芯片以满足不断增长的市场需求。目前,复合传感器最为显著的应用如智能手机中的十轴Compos复合传感器芯片、汽车胎压监测系统用TPMS复合传感器。

[0003] 传统的复合传感器芯片结构多以单层或多层键合结构为主,通常采用双面微机械制作工艺、键合工艺、Cavity-SOI工艺、表面微机械制作工艺以及CMOS-MEMS技术等加工制作。例如,传统的加速度和压力复合传感器采用硅-玻璃结构方式,通过硅片背面两步各向异性湿法刻蚀方法分别形成压力薄膜和质量块,然后利用硅-硅键合或硅-玻璃键合来密封压力传感器的压力参考腔体,形成加速度传感器质量块的运动间隙以及形成传感器芯片基座,最后再利用硅片正面干法刻蚀释放加速度传感器可动结构,[Xu J B,Zhao Y L,Jiang Z D et al.A monolithic silicon multi-sensor for measuring three-axis acceleration,pressure and temperature,Journal of Mechanical Science and Technology,2008,22:731-739]。这种双面体硅工艺和键合技术制作的复合传感器结构尺寸很大,工艺很复杂,制作成本很高。此外,不同键合材料之间的热膨胀系数不同以及键合过程中所引入的残余应力都会恶化传感器的输出稳定性,尤其在温度环境比较恶劣的条件下。为了改进上述不足,中科院上海微系统所的王权等研制出一种基于表面微机械加工工艺制作的加速度和压力单片复合传感器芯片。这种复合传感器中的压力传感器采用低压化学气相沉积(LPCVD)的低应力氮化硅薄膜作为压力敏感薄膜,通过湿法腐蚀释放牺牲层来形成压力参考腔体和敏感薄膜结构,压力检测电阻采用多晶硅硼源掺杂在氮化硅薄膜上方形成P型压敏检测电阻。此外,加速度检测方式主要采用热对流原理实现,[Wang Q,Li X X,Li T,Bao M M,et al.A novel monolithically integrated pressure,accelerometer and temperature composite sensor,Transducers 2009,Denver,CO,USA.2009:1118-1121]。这种表面微机械加工的复合传感器虽然克服的体硅微机械工艺制作复合传感器所存在的不足,但是受LPCVD沉积工艺的限制,压力敏感薄膜的厚度不可能太厚,最多很难超过3微米,因此这种压力传感器只适应于小量程范围的压力检测,且多晶硅压阻系数远小于单晶硅压阻系数导致了压力传感器检测灵敏度不会太高。此外,表面微机械制作的复合传感器还可能发生台阶覆盖失效(Step-coverage)和腐蚀牺牲层过程中产生的薄膜粘附失效,这些不确定因素都大大提高了工艺的复杂程度,降低了成品率。为了解决上述不足,中科院上海微系统所的王家畴等人研制出一种基于单硅片单面体硅微机械工艺制作的加速

度和压力单片复合传感器芯片。这种复合传感器结构首次采用体硅微机械工艺制作出表面微机械效果的三维立体结构,解决了传统表面微机械制作复合传感器的种种不足,具有结构尺寸小、成本低、工艺与IC Foundry兼容等特点,[Wang J C,Xia X Y,Li,X X, Monolithic integration of pressure plus acceleration composite TPMS sensors with a single-sided micromachining technology, Journal of Microelectromechanical System, 2012, 21: 284-293]。

[0004] 到目前为止,传统的加速度和压力复合传感器芯片尺寸虽然已经从尺寸很大的多片键合结构发展到了芯片尺寸较小的单硅片单面复合传感器结构,但是这些复合传感器中各个检测单元均采用Side-by-Side的集成方式,这种集成方式会占用大量的芯片空间,限制了复合传感器芯片尺寸的进一步减小,进一步降低成本。为了解决这一问题,台湾国立清华大学方为伦等研制出一款PinG (Pressure sensor embedded into accelerometer) 复合传感器芯片[W. Yeh, C. Chan, J. Hsieh, C. Hu, F. Hsu, W. Fang, Novel TPMS sensing chip with pressure sensor embedded in accelerometer, Transducers 2013, Barcelona, June 16-20, 2013, pp. 1759-1762]。这种复合传感器结构通过采用价格昂贵的Cavity-SOI工艺、双面微机械加工技术以及硅-玻璃阳极键合工艺制作完成。通过将压力传感器集成到加速度传感器的质量块中,将复合传感器芯片的尺寸压缩到的极限。但是这种结构存在以下几点不足:(1)制作工艺异常复杂,工艺无法与IC工艺兼容且制作成本很高;(2)采用硅-玻璃键合结构,键合过程中所引入的残余应力和不同键合材料之间的热膨胀系数匹配失调,都使得传感器输出很不稳定,尤其在温度环境变化比较大的情况下;(3)复合传感器中加速度传感器对压力传感器的输出信号串扰很大,严重影响到了压力传感器的检测精度。

[0005] 鉴于此,本发明提出了一种新的基于单硅片的加速度和压力传感器集成芯片结构及方法。

发明内容

[0006] 本发明主要解决的技术问题在于提供一种加速度计内嵌压力传感器的单硅片复合传感器结构及方法,以解决传统复合传感器芯片结构尺寸大、成本高、制作工艺复杂等问题。实现了单片复合传感器的小型化、低成本、高性能与大批量生产。本发明可广泛应用于航空航天、汽车电子、消费类电子等领域,对于促进我国MEMS多功能复合传感器器件小型化发展,提高MEMS器件在国际上的竞争力具有举足轻重的作用。

[0007] 为了解决上述技术问题,本发明提供一种加速度计内嵌压力传感器的单硅片复合传感器结构,所述加速度计内嵌压力传感器的单硅片复合传感器结构包括:

[0008] 一块单晶硅基片和均集成在所述单晶硅基片上的加速度传感器及压力传感器;所述加速度传感器与压力传感器集成于所述单晶硅基片的同一表面;

[0009] 所述加速度传感器包括:质量块,与所述质量块连接的悬臂梁,位于所述悬臂梁上的第一应力敏感电阻,位于所述单晶硅基片表面的参考电阻,位于所述质量块与悬臂梁周围及下方的所述单晶硅基片内的运动间隙;所述第一应力敏感电阻与所述参考电阻连接成加速度检测电路;

[0010] 所述压力传感器嵌入在所述质量块的中心位置,包括:压力敏感薄膜,多个位于所述压力敏感薄膜上的第二应力敏感电阻,以及位于所述压力敏感薄膜下方埋入在所述质量

块内的压力参考腔体;所述多个第二应力敏感电阻连接成压力检测电路;

[0011] 其中,在沿所述压力传感器周边的质量块内设有微槽,所述微槽将所述压力传感器隔离为悬浮在所述质量块中心位置的悬浮结构,所述悬浮结构的根部与所述质量块的末端中心位置相连接。

[0012] 作为本发明的优选方案,所述单晶硅基片为(111)晶面的单晶硅基片。

[0013] 作为本发明的优选方案,所述悬浮结构为六边形。

[0014] 作为本发明的优选方案,所述悬浮结构的厚度与所述质量块的厚度相同。

[0015] 作为本发明的优选方案,所述压力敏感薄膜、所述悬浮结构及所述质量块的上表面位于同一平面。

[0016] 作为本发明的优选方案,所述加速度传感器设有两根所述悬臂梁以及两个分别位于两根所述悬臂梁上的第一应力敏感电阻,并且设有两个所述参考电阻;两个所述参考电阻与两个所述第一应力敏感电阻连接成惠斯顿半桥检测电路。

[0017] 作为本发明的优选方案,所述压力传感器设有四个第二应力敏感电阻,分别两两相对的以所述压力敏感薄膜的中心呈中心对称分布,且分别位于所述压力敏感薄膜的两条相互垂直的对称轴上;四个所述第二应力敏感电阻连接成惠斯顿全桥检测电路。

[0018] 此外,本发明还提供一种上述加速度计内嵌压力传感器的单硅片复合传感器结构的制作方法,包括以下步骤:

[0019] 提供一单晶硅基片,在所述单晶硅基片正面分别制作加速度传感器和压力传感器的检测电阻;

[0020] 在所述单晶硅基片上制作压力参考腔体及压力敏感薄膜;

[0021] 在所述单晶硅基片上制作双悬臂梁、质量块及悬浮结构;

[0022] 在所述单晶硅基片正面已制作的所述悬臂梁上表面重新刻蚀出所述悬臂梁的宽度和厚度;

[0023] 将所述悬臂梁减薄至所需的厚度;

[0024] 制作引线孔和铝引线,并进行合金化工艺。

[0025] 作为本发明的优选方案,在所述单晶硅基片正面制作压力参考腔体及压力敏感薄膜包括以下步骤:

[0026] 利用硅深度反应离子刻蚀工艺在所述单晶硅基片正面制作第一释放窗口,所述第一释放窗口勾勒出所需压力敏感薄膜及压力参考腔体的轮廓;

[0027] 在所述第一释放窗口内沉积钝化材料作为钝化保护层;利用反应离子刻蚀工艺剥离所述第一释放窗口底部的钝化材料,然后再利用硅深度反应离子刻蚀工艺继续向下刻蚀;

[0028] 通过所述第一释放窗口利用湿法刻蚀工艺横向腐蚀单晶硅基片,从而制作嵌入在单晶硅基片内的压力参考腔体,释放位于所述压力参考腔体上方的压力敏感薄膜。

[0029] 作为本发明的优选方案,在释放所述压力参考腔体及所述压力敏感薄膜以后,还包括一沉积低压力多晶硅填堵所述第一释放窗口,并去除位于所述单晶硅基片表面的多余的所述低压力多晶硅的步骤。

[0030] 作为本发明的优选方案,在所述单晶硅基片上制作双悬臂梁、质量块及悬浮结构包括以下步骤:

[0031] 利用硅深度反应离子刻蚀技术在所述单晶硅基片正面制作第二释放窗口,所述第二释放窗口勾勒出所需加速度传感器的双悬臂梁、质量块,以及位于所述质量块中心位置的悬浮结构的轮廓;

[0032] 在所述第二释放窗口内沉积钝化材料作为钝化保护层;利用反应离子刻蚀工艺剥离所述第二释放窗口底部的钝化材料,然后再利用硅深度反应离子刻蚀工艺继续向下刻蚀;

[0033] 通过所述第二释放窗口利用湿法刻蚀工艺横向腐蚀单晶硅基片,释放所述悬臂梁、质量块及悬浮结构;所述悬浮结构包括已加工好的所述压力敏感薄膜及所述压力参考腔体。

[0034] 作为本发明的优选方案,将所述悬臂梁减薄至所需的厚度包括以下步骤:

[0035] 利用硅深度反应离子刻蚀技术在所述单晶硅基片正面已释放的所述悬臂梁上表面重新制作第三释放窗口,所述第三释放窗口定义出所述悬臂梁的宽度及厚度;

[0036] 在所述第三释放窗口内沉积钝化材料作为钝化保护层;利用反应离子刻蚀工艺剥离所述第三释放窗口底部的钝化材料,然后再利用硅深度反应离子刻蚀工艺继续向下刻蚀;

[0037] 通过所述第三释放窗口利用湿法刻蚀工艺将所述悬臂梁的厚度减薄至所需厚度。

[0038] 相较于现有技术,本发明的有益效果在于:本发明的加速度和压力复合传感器仅是通过在一块普通的(111)单晶硅基片的同一面进行体硅微机械工艺制作而成,避免了传统双面对准/曝光和键合工艺,大大降低了芯片尺寸,减少了制作成本,且与IC工艺兼容可实现大批量制作;同时,将所述压力传感器直接嵌入在所述加速度传感器的质量块的中心位置,并将所述压力传感器四周挖空使得所述压力传感器悬浮在质量块的中心位置,即最大程度地缩小了芯片尺寸,又有效地消除了加速度传感器与压力传感器之间检测信号的相互串扰,大大提高了复合传感器的检测精度,最大程度缩小了芯片尺寸。

附图说明

[0039] 图1显示为本发明的加速度计内嵌压力传感器的单硅片复合传感器结构的三维结构示意图。

[0040] 图2显示为本发明的加速度计内嵌压力传感器的单硅片复合传感器结构的三维结构截面示意图。

[0041] 图3显示为本发明的加速度计内嵌压力传感器的单硅片复合传感器结构的截面示意图。

[0042] 图4显示为本发明的加速度计内嵌压力传感器的单硅片复合传感器结构的实物SEM扫描电镜图。

[0043] 图5显示为本发明的加速度计内嵌压力传感器的单硅片复合传感器中的悬臂梁的局部放大SEM图。

[0044] 图6显示为本发明的加速度计内嵌压力传感器的单硅片复合传感器中的压力传感器的局部放大SEM图。

[0045] 图7显示为本发明的加速度计内嵌压力传感器的单硅片复合传感器的制作方法的流程示意图。

[0046] 图8a~8f显示为本发明的加速度计内嵌压力传感器的单硅片复合传感器结构的制作工艺流程图,其中,图8a制作检测电阻;图8b制作压力敏感薄膜及其压力参考腔体;图8c干法刻蚀定义悬臂梁、质量块及悬浮结构的厚度;图8d湿法刻蚀释放悬臂梁、质量块及悬浮结构;图8e减薄悬臂梁厚度;图8f制作引线孔与铝引线。

[0047] 图9显示为本发明的加速度计内嵌压力传感器的单硅片复合传感器在外部加速度作用下加速度传感器和压力传感器的输出曲线。

[0048] 图10显示为本发明的加速度计内嵌压力传感器的单硅片复合传感器在外部压力作用下压力传感器和加速度传感器的输出曲线。

[0049] 元件标号说明

[0050]	1	加速度传感器
[0051]	2	压力传感器
[0052]	3	悬浮结构
[0053]	4	质量块
[0054]	5	引线焊盘
[0055]	6	微槽
[0056]	7	压力敏感薄膜
[0057]	8	压力参考腔体
[0058]	9	运动间隙
[0059]	10	悬臂梁
[0060]	11	单晶硅基片
[0061]	12	二氧化硅层
[0062]	13	检测电阻
[0063]	131	第一应力敏感电阻
[0064]	132	参考电阻
[0065]	133	第二应力敏感电阻
[0066]	14	氮化硅层
[0067]	15	TEOS层
[0068]	16	第二释放窗口
[0069]	17	铝引线

具体实施方式

[0070] 以下通过特定的具体实例说明本发明的实施方式,本领域技术人员可由本说明书所揭露的内容轻易地了解本发明的其他优点与功效。本发明还可以通过另外不同的具体实施方式加以实施或应用,本说明书中的各项细节也可以基于不同观点与应用,在没有背离本发明的精神下进行各种修饰或改变。

[0071] 请参阅图1至图10。需要说明的是,本实施例中所提供的图示仅以示意方式说明本发明的基本构想,虽图示中仅显示与本发明中有关的组件而非按照实际实施时的组件数目、形状及尺寸绘制,其实际实施时各组件的型态、数量及比例可为一种随意的改变,且其组件布局型态也可能更为复杂。

[0072] 请参阅图1至图6,本发明提供一种加速度计内嵌压力传感器的单硅片复合传感器结构,所述加速度计内嵌压力传感器的单硅片复合传感器至少包括:一块单晶硅基片11和均集成在所述单晶硅基片11上的加速度传感器1及压力传感器2;所述加速度传感器1与压力传感器2集成于所述单晶硅基片11的同一表面。

[0073] 其中,所述加速度传感器1包括:质量块4,与所述质量块4连接的悬臂梁10,位于所述悬臂梁10上的第一应力敏感电阻131,位于所述单晶硅基片11表面的参考电阻132,位于所述质量块4与悬臂梁10周围及下方的所述单晶硅基片11内的运动间隙9,所述运动间隙9包括位于所述质量块4与悬臂梁10四周嵌入在所述单晶硅基片11内的运动间隙,还包括位于所述质量块4与悬臂梁10下方埋入在所述单晶硅基片11内的运动间隙;所述第一应力敏感电阻131与所述参考电阻132连接成加速度检测电路。

[0074] 所述压力传感器2嵌入在所述质量块4的中心位置,所述压力传感器2包括:压力敏感薄膜7,多个位于所述压力敏感薄膜7上的第二应力敏感电阻133,以及位于所述压力敏感薄膜7下方且埋入在所述质量块4内的压力参考腔体8;所述多个第二应力敏感电阻133连接成压力检测电路。

[0075] 在沿所述压力传感器2周边的所述质量块4内设有微槽6,所述微槽6与位于所述质量块4下方的所述运动间隙9相连通,将所述压力传感器2隔离为悬浮在所述质量块4中心位置的悬浮结构3,所述悬浮结构3的根部与所述质量块4的末端中心位置相连接。所述压力传感器2悬浮在质量块4的中心位置,使得加速度载荷所导致的所述悬臂梁10及所述质量块4上的应力被隔绝在所述悬浮结构3的根部,无法传递给所述压力传感器2中的所述压力敏感薄膜7,从而有效地消除了加速度传感器1与压力传感器2之间检测信号的相互串扰,大大提高了复合传感器的检测精度。

[0076] 具体的,所述悬浮结构3的形状为六边形,所述悬浮结构3的厚度与所述质量块4的厚度相同,且所述压力敏感薄膜7、所述悬浮结构3及所述质量块4的上表面位于同一平面。

[0077] 具体的,所述单晶硅基片为(111)晶面的单晶硅基片,所述第一应力敏感电阻131和所述第二应力敏感电阻133均为单晶硅应力敏感电阻;单晶硅应力敏感电阻相对于多晶硅压敏电阻具有更高的灵敏度。

[0078] 具体的,所述加速度传感器采用双悬臂梁和质量块的结构,即设有两根所述悬臂梁10以及两个分别位于两根所述悬臂梁10上的第一应力敏感电阻131,并且设有两个分别位于所述悬臂梁10外侧的所述单晶硅基片11上的参考电阻132。更为具体的,两根所述悬臂梁10互相平行,均沿<211>晶向分布,且以所述悬浮结构3的对称轴呈轴对称分布;所述第一应力敏感电阻131位于所述悬臂梁10的根部应力最大位置处。当所述加速度传感器1受到外部加速度作用时,所述两根悬臂梁10在外力作用下产生弹性形变,相应地,位于所述悬臂梁10上表面根部位置的所述第一应力敏感电阻131受拉(或受压),根据压阻效应,所述第一应力敏感电阻131的阻值相应增大(或减小),通过与两个所述参考电阻132组成惠斯顿半桥检测电路实现对外部加速度检测,所述惠斯顿半桥检测电路通过引线焊盘5与外部测试机台相连接。

[0079] 具体的,所述压力传感器2根据所述压力敏感薄膜7内的应力分布,充分利用电阻条的纵向压阻效应设计压阻排布方式,优选地,本实施例中,所述压力传感器2内的所述压力敏感薄膜7上设有四个第二应力敏感电阻133,分别两两相对的以所述压力敏感薄膜7的

中心呈中心对称分布,且分别位于所述压力敏感薄膜7的两条相互垂直的对称轴上,即分布在其上下左右位置。当外部压力作用在所述压力敏感薄膜7上时,所述压力敏感薄膜7发生弹性形变,根据压阻效应,上下位置两个所述第二应力敏感电阻133由于受到拉应力,阻值增大,左右两个所述第二应力敏感电阻133受到压应力,阻值减小,这四个所述第二应力敏感电阻133阻值相等,组成惠斯顿全桥检测电路,实现对外部压力检测,所述惠斯顿全桥检测电路通过引线焊盘5与外部测试机台相连接。

[0080] 所述单硅片加速度和压力复合传感器结构中所述悬臂梁10、质量块4、压力敏感薄膜7、微槽6及悬浮结构的尺寸可以根据实际需要进行设定,在一个实施例中,所述悬臂梁10的长度为120 μm ,宽度为42 μm ,厚度为10 μm ;所述质量块4的长度为600 μm ,宽度为700 μm ,厚度为50 μm ;所述压力敏感薄膜7的长度为350 μm ,宽度为56 μm ,厚度为8 μm ;所述微槽6的宽度为8 μm ;所述悬浮结构3的厚度为50 μm 。以上各结构的尺寸仅为示例,本发明中各结构的尺寸并不仅限于上述尺寸。

[0081] 请参阅图7及图8a至图8f,本发明还提供一种加速度计内嵌压力传感器的单硅片复合传感器结构的制作方法,具体包括以下步骤:

[0082] S1:提供一单晶硅基片11,在所述单晶硅基片11正面分别制作加速度传感器和压力传感器的检测电阻13;

[0083] S2:在所述单晶硅基片11上制作压力参考腔体8及压力敏感薄膜7;

[0084] S3:在所述单晶硅基片11上制作双悬臂梁10、质量块4及悬浮结构3;

[0085] S4:在所述单晶硅基片11正面已制作的所述悬臂梁10上表面重新刻蚀出所述悬臂梁10的宽度和厚度;

[0086] S5:将所述悬臂梁10减薄至所需的厚度;

[0087] S6:制作引线孔和铝引线17,并进行合金化工艺。

[0088] 执行S1步骤,请参阅图7中的S1步骤及图8a,提供一单晶硅基片11,在所述单晶硅基片11正面分别制作加速度传感器和压力传感器的检测电阻13。

[0089] 具体的,所述单晶硅基片11为(111)晶面的单晶硅基片,且所述单晶硅基片11单面抛光,厚度为450 μm ,轴偏切为 $00 \pm 0.1^\circ$ 。

[0090] 具体的,所述检测电阻13包括位于所述加速度传感器上的第一应力敏感电阻和参考电阻,以及位于所述应力传感器上的第二应力敏感电阻。

[0091] 具体的,在所述单晶硅基片11正面分别制作加速度传感器和压力传感器的检测电阻13的具体方法为:在所述单晶硅基片11正面热氧一层0.2 μm 后的二氧化硅层12,然后涂覆光刻胶并光刻所述检测电阻13图形;使用缓冲氧化硅腐蚀液(BOE)腐蚀掉位于所述检测电阻13上方的所述二氧化硅层12以后,以光刻胶和所述二氧化硅层12为阻挡掩膜,采用B离子注入工艺制作所述检测电阻13;然后使用等离子灰化设备去除所述光刻胶,并将得到的结构进行Drive-in退火处理。

[0092] 执行S2步骤,请参阅图7的S2步骤及图8b,在所述单晶硅基片11上制作压力参考腔体8及压力敏感薄膜7。

[0093] 具体的,在所述单晶硅基片正面制作压力参考腔体及压力敏感薄膜包括以下步骤:

[0094] S21:利用硅深度反应离子刻蚀工艺在所述单晶硅基片11正面沿<211>晶向制作第

一释放窗口,所述第一释放窗口勾勒出所需压力敏感薄膜7及压力参考腔体8的轮廓;

[0095] S22:在所述第一释放窗口内沉积厚度为 $0.4\mu\text{m}$ 的TEOS (tetraethyl-orthosilicate,四乙氧基硅烷)钝化材料作为钝化保护层;利用反应离子刻蚀工艺剥离所述第一释放窗口底部的钝化材料,然后再利用硅深度反应离子刻蚀工艺继续向下刻蚀出 $10\mu\text{m}$ 深的牺牲间隙;

[0096] S23:通过所述第一释放窗口利用湿法刻蚀工艺横向腐蚀所述单晶硅基片11,从而制作嵌入在所述单晶硅基片11内的压力参考腔体8,释放位于所述压力参考腔体8上方的压力敏感薄膜7。

[0097] 具体的,在执行S23步骤以后,还包括沉积厚度为 $4\mu\text{m}$ 的低压力多晶硅填堵所述第一释放窗口,并采用硅深度反应离子刻蚀工艺去除位于所述单晶硅基片表面的多余的所述低压力多晶硅的步骤。

[0098] 执行S3步骤,请参阅图7中的S3步骤及图8c至图8d,在所述单晶硅基片11上制作双悬臂梁10、质量块4及悬浮结构3。

[0099] 具体的,在所述单晶硅基片上制作双悬臂梁、质量块及悬浮结构包括以下步骤:

[0100] S31:在所述单晶硅基片11的表面依次沉积一层 $0.2\mu\text{m}$ 的低应力氮化硅层14和一层 $0.8\mu\text{m}$ 的TEOS层15,利用硅深度反应离子刻蚀技术在所述单晶硅基片11正面制作第二释放窗口16,所述第二释放窗口16勾勒出所需加速度传感器的双悬臂梁10、质量块4,以及位于所述质量块4中心位置的悬浮结构3的轮廓,其中,所述第二释放窗口16的厚度为 $50\mu\text{m}$,所述悬臂梁10的宽度为 $60\mu\text{m}$,所述悬浮结构3的形状为六边形;

[0101] S32:在所述第二释放窗口16内依次沉积一层 $0.2\mu\text{m}$ 的氮化硅层14和一层 $0.2\mu\text{m}$ 的TEOS层作为钝化保护层;利用反应离子刻蚀工艺剥离所述第二释放窗口16底部的钝化保护层,而所述第二释放窗口16垂直侧壁的钝化保护层不被刻蚀,然后再利用硅深度反应离子刻蚀工艺继续向下刻蚀 $10\mu\text{m}$;

[0102] S33:通过所述第二释放窗口16利用 80°C ,浓度为25%的TMAH(四甲基氢氧化铵)腐蚀溶液横向腐蚀所述单晶硅基片11,释放厚度为 $50\mu\text{m}$ 的所述悬臂梁10、质量块4及悬浮结构3,然后硅片表面及其结构图形侧壁多余的所述TEOS层15和所述氮化硅层14分别采用BOE(缓冲氧化刻蚀剂)和磷酸腐蚀液腐蚀掉。

[0103] 执行S4步骤,请参阅图7中的S4步骤,在所述单晶硅基片11正面已制作的所述悬臂梁10上表面重新刻蚀出所述悬臂梁10的宽度和厚度。

[0104] 具体的,在所述单晶硅基片11表面沉积一层 $0.8\mu\text{m}$ 后的TEOS钝化保护层,然后使用硅深度反应离子刻蚀技术重新定义所述悬臂梁10的宽度为 $42\mu\text{m}$,厚度为 $10\mu\text{m}$ 。

[0105] 执行S5步骤,请参阅图7中的S5步骤及图8e,将所述悬臂梁10减薄至所需的厚度。

[0106] 具体的,将所述悬臂梁10减薄至所需的厚度包括以下步骤:

[0107] S51:利用硅深度反应离子刻蚀技术在所述单晶硅基片正面已释放的所述悬臂梁上表面重新制作第三释放窗口,所述第三释放窗口定义出所述悬臂梁10的宽度及厚度;

[0108] S52:在所述第三释放窗口内沉积TEOS层作为钝化保护层;利用反应离子刻蚀工艺剥离所述第三释放窗口底部的钝化保护层,然后再利用硅深度反应离子刻蚀工艺继续向下刻蚀 $40\mu\text{m}$;至此,所述悬臂梁10的垂直侧壁被分为两部分:上半部为所述悬臂梁10的厚度为 $10\mu\text{m}$,且侧壁有TEOS层保护,下半部为牺牲间隙 $40\mu\text{m}$,侧壁为裸露的单晶硅。

[0109] S53:通过所述第三释放窗口利用TMAH溶液在所述悬臂梁10下半部侧壁沿<110>减薄所述悬臂梁10的厚度,以将所述悬臂梁的厚度减薄至所需厚度;所述悬臂梁10侧壁及所述单晶硅基片11表面多余的所述TEOS层被腐蚀去除。

[0110] 执行S6步骤,请参阅图7的S6步骤及图8f,制作引线孔和铝引线17,并进行合金化工艺。

[0111] 具体的,采用干法、湿法或干法湿法相结合的刻蚀工艺制作所述引线孔,在所述引线孔制好后,在所述单晶硅基片11上溅射一层0.8 μm 后的Al金属层;然后光刻并腐蚀出所述Al引线17,完成检测电阻和引线焊盘之间的金属线互连;最后去除光刻胶后进行Al合金化。

[0112] 图9为所述加速度计内嵌压力传感器的单硅片复合传感器在外部加速度作用下加速度传感器和压力传感器的输出曲线,图中所述压力传感器的输出非常小,可以忽略不计;图10为所述加速度计内嵌压力传感器的单硅片复合传感器在外部压力作用下压力传感器和加速度传感器的输出曲线,图中所述加速度传感器的输出几乎为零,可以忽略不计。由图9和图10可见,本发明有效地解决了加速度传感器与压力传感器之间检测信号的相互串扰的问题。

[0113] 综上所述,本发明提供一种加速度计内嵌压力传感器的单硅片复合传感器及方法,本发明的加速度和压力复合传感器仅是通过在一块普通的(111)单晶硅基片的同一面进行体硅微机械工艺制作而成,避免了传统双面对准/曝光和键合工艺,大大降低了芯片尺寸,减少了制作成本,且与IC工艺兼容可实现大批量制作;同时,将所述压力传感器直接嵌入在所述加速度传感器的质量块的中心位置,并将所述压力传感器四周挖空使得所述压力传感器悬浮在质量块的中心位置,即最大程度地缩小了芯片尺寸,又有效地消除了加速度传感器与压力传感器之间检测信号的相互串扰,大大提高了复合传感器的检测精度。

[0114] 上述实施例仅例示性说明本发明的原理及其功效,而非用于限制本发明。任何熟悉此技术的人士皆可在不违背本发明的精神及范畴下,对上述实施例进行修饰或改变。因此,举凡所属技术领域中具有通常知识者在未脱离本发明所揭示的精神与技术思想下所完成的一切等效修饰或改变,仍应由本发明的权利要求所涵盖。

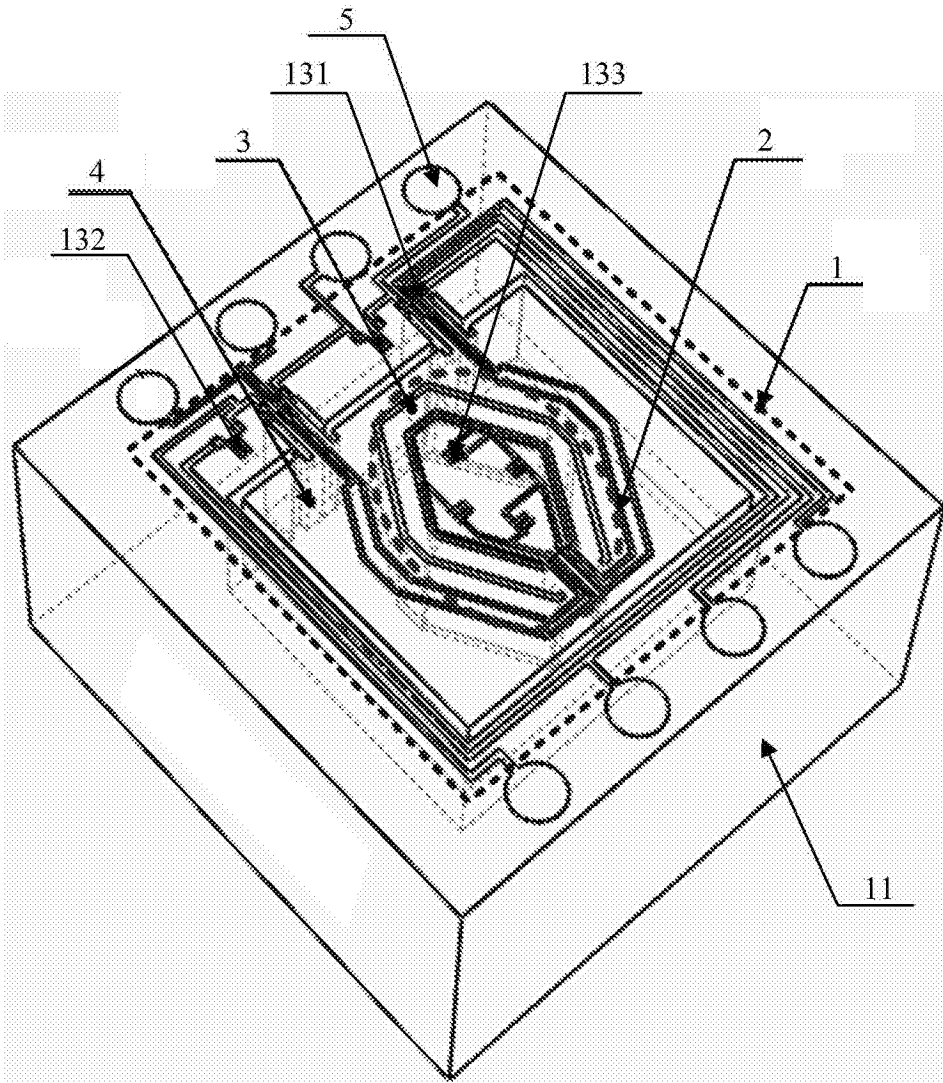


图1

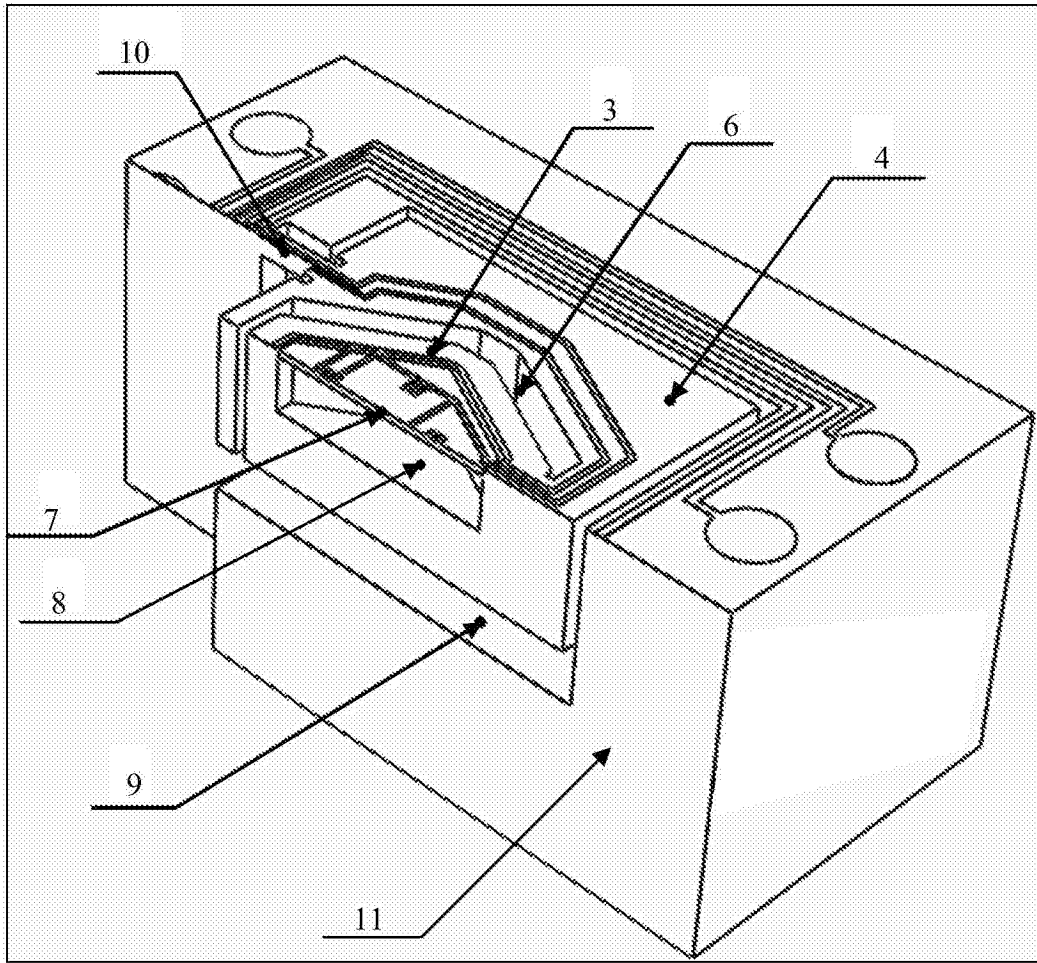


图2

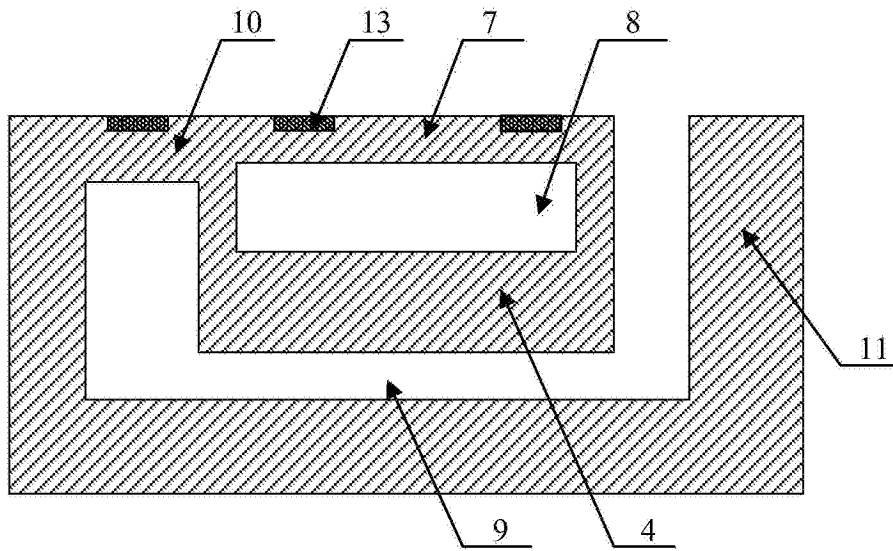


图3

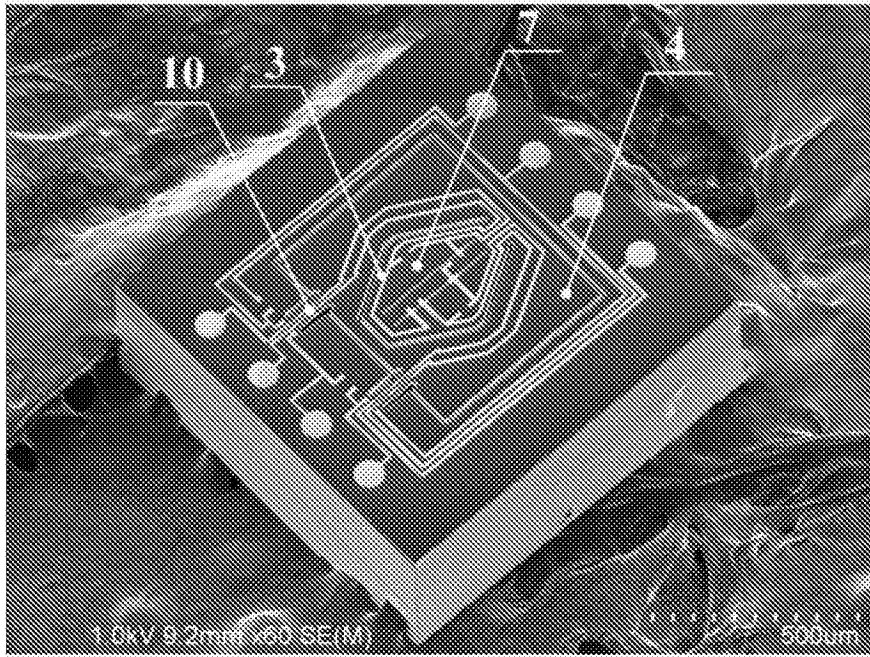


图4

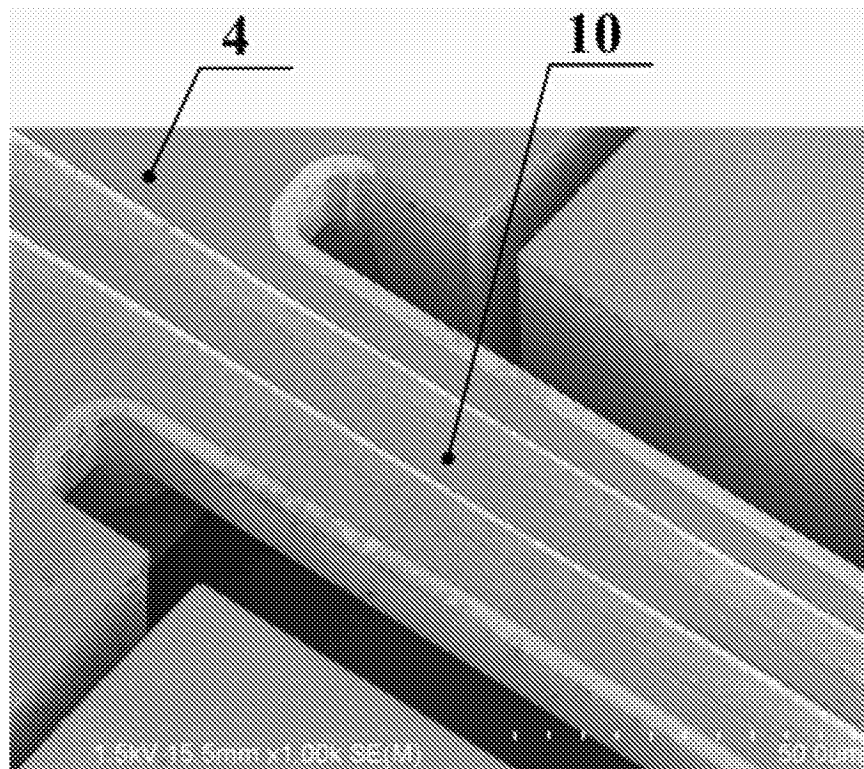


图5

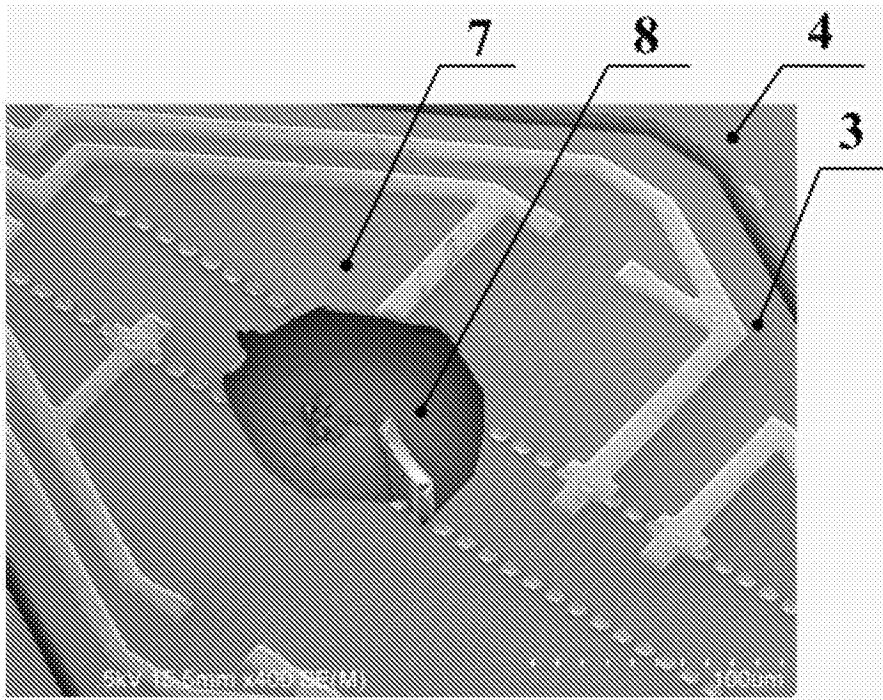


图6

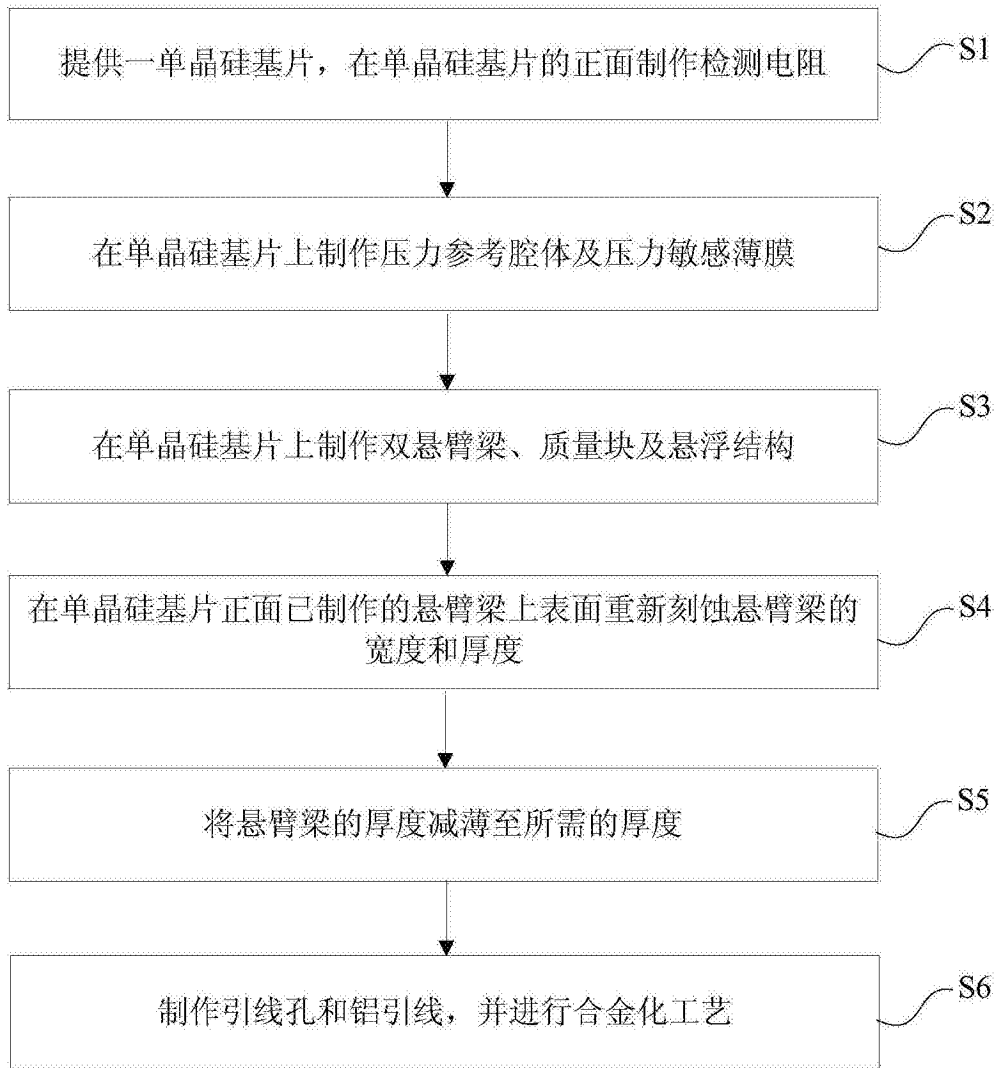


图7

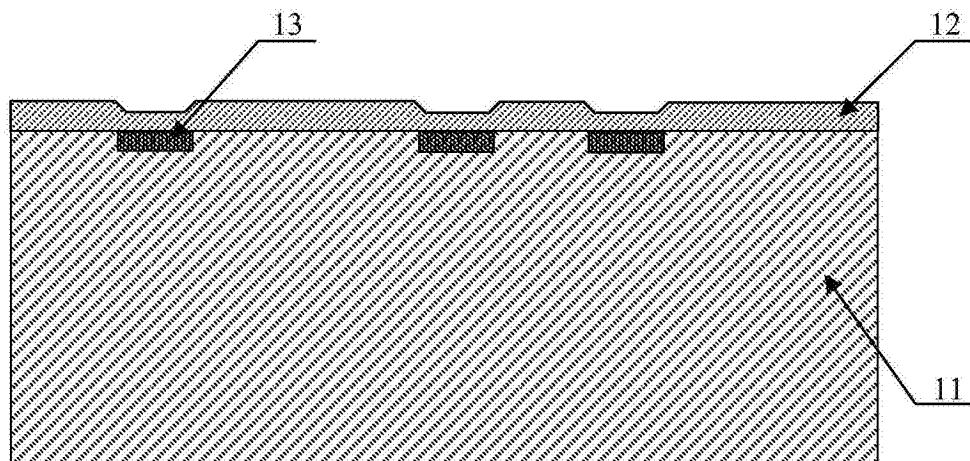


图8a

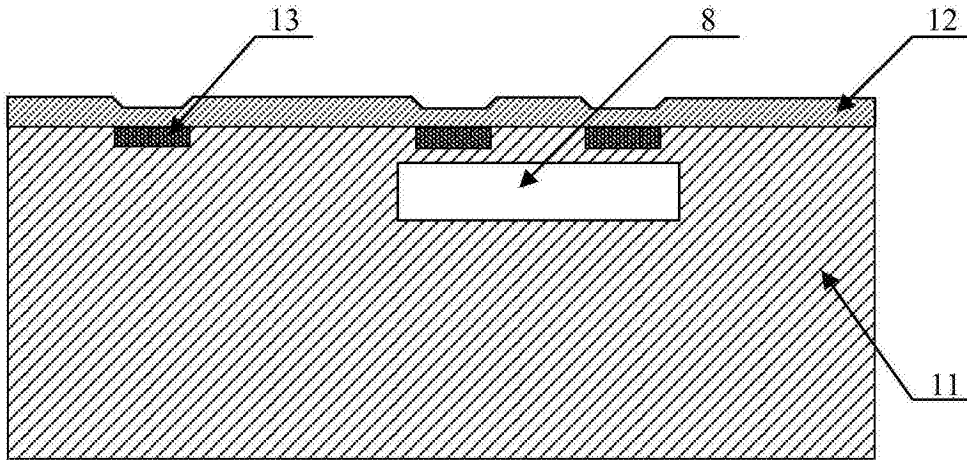


图8b

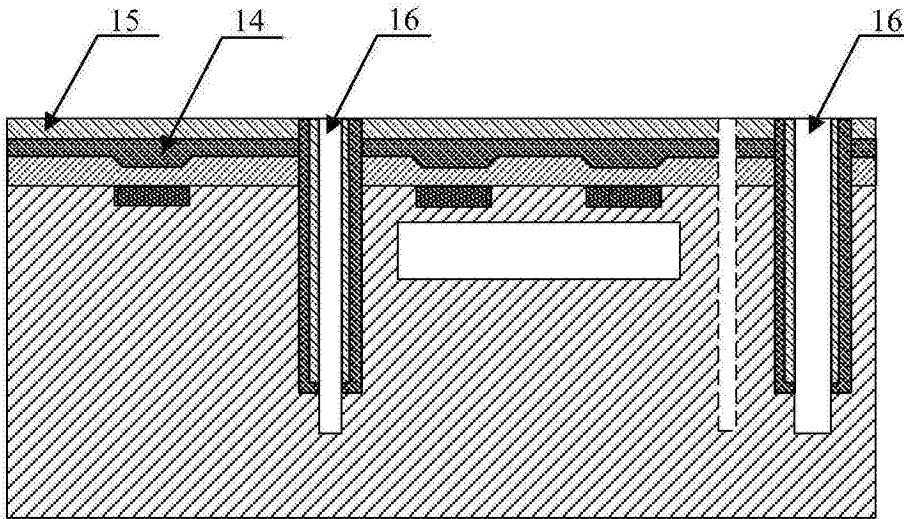


图8c

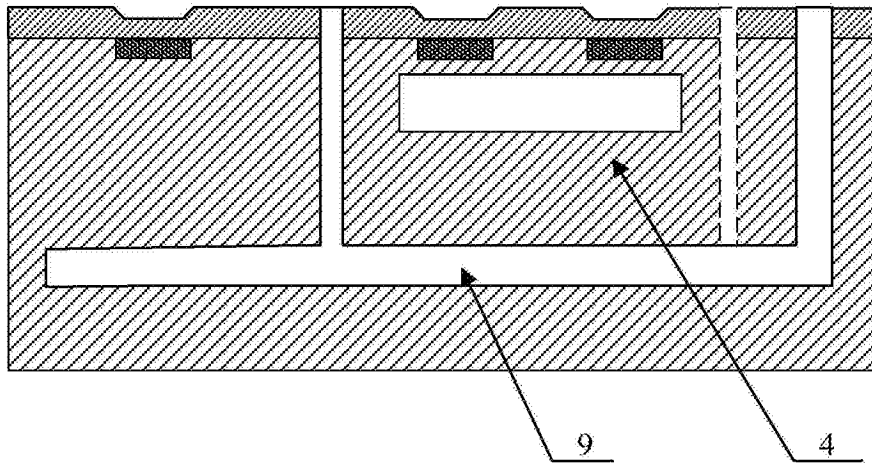


图8d

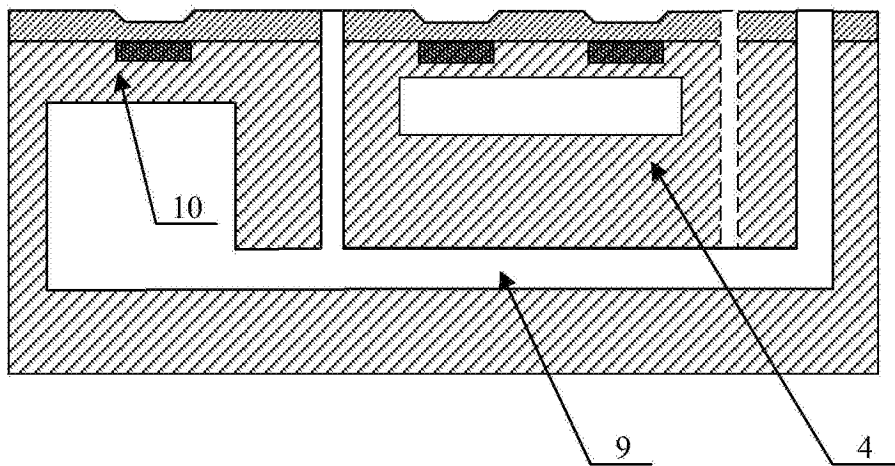


图8e

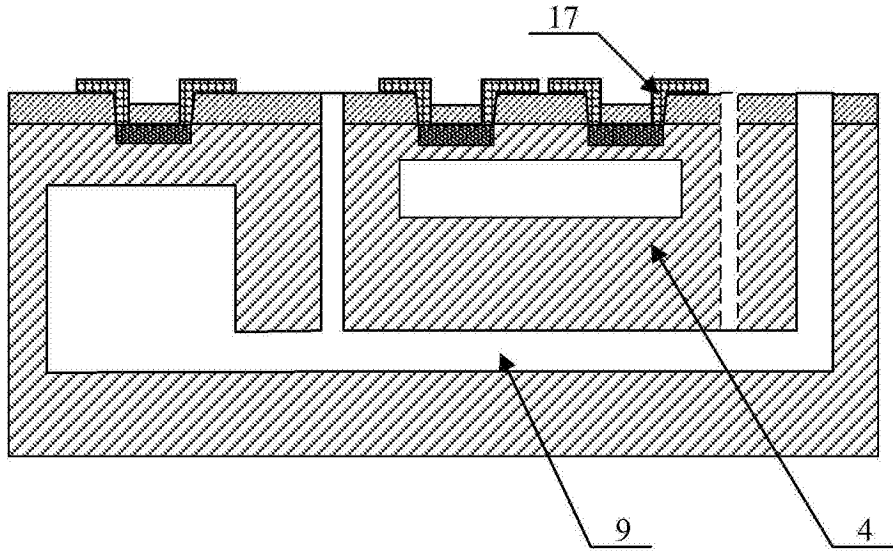


图8f

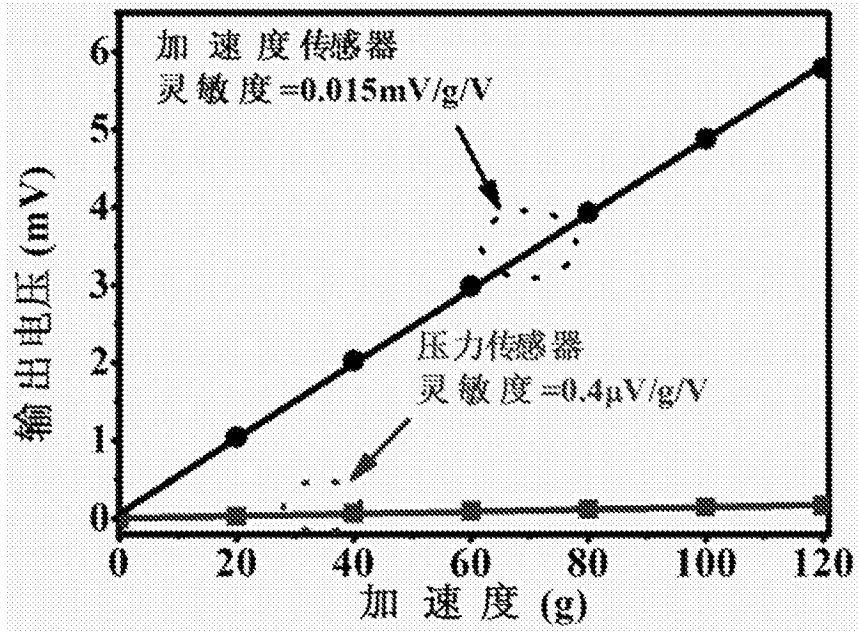


图9

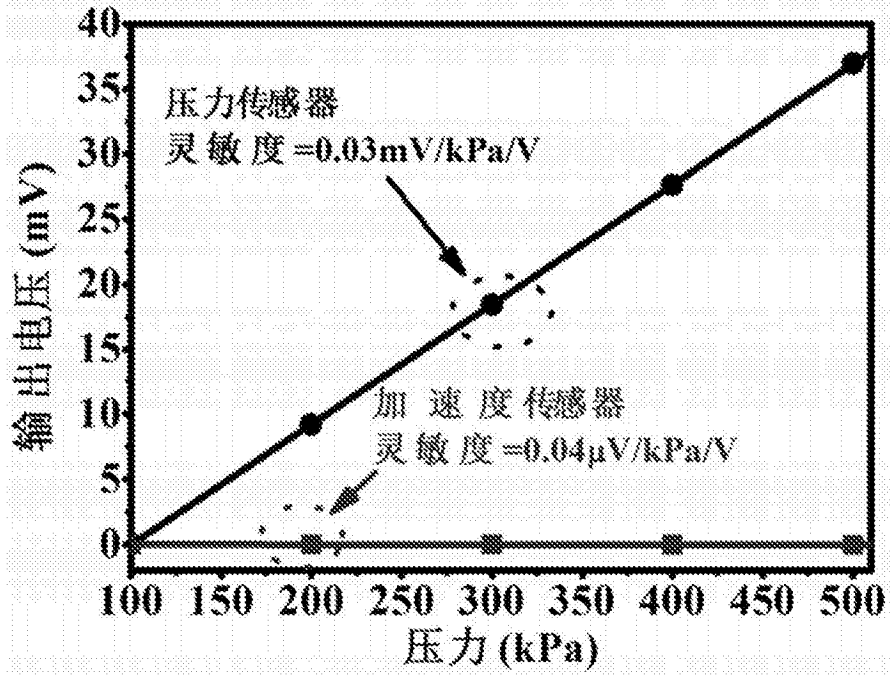


图10