



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101913552 B

(45) 授权公告日 2012. 02. 15

(21) 申请号 201010244694. 5

(22) 申请日 2010. 08. 02

(73) 专利权人 清华大学

地址 100084 北京市 100084 信箱 82 分箱清华大学专利办公室

(72) 发明人 董景新 王嫒 韩丰田 刘云峰

(74) 专利代理机构 西安智大知识产权代理事务所 61215

代理人 贾玉健

(51) Int. Cl.

H01L 21/02 (2006. 01)

B81C 1/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101279713 A, 2008. 10. 08, 全文.

US 7074635 B2, 2006. 07. 11, 全文.

US 6951824 B2, 2005. 10. 04, 全文.

崔峰等. 静电悬浮转子微陀螺及其关键技术. 《中国惯性技术学报》. 2005, 第 13 卷 (第 6

期), 第 61-67 页.

T. Murakoshi et al. Electrostatically Levitated Ring-Shaped Rotational-Gyro Accelerometer. 《Japanese Journal of Applied Physics》. 2003, 第 42 卷 (第 4B 期), 第 2468-2472 页.

韩丰田等. 基于静电悬浮转子的硅微陀螺技术. 《中国惯性技术学报》. 2008, 第 16 卷 (第 3 期), 第 339-342, 347 页.

审查员 祁恒

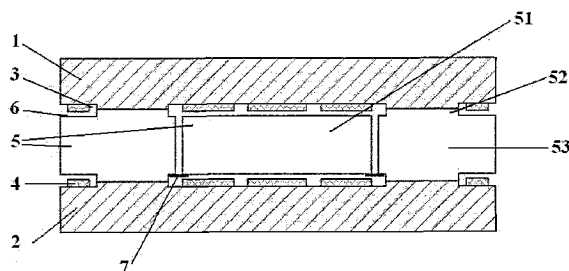
权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 4 页

(54) 发明名称

一种基于铝牺牲层工艺的悬浮微敏感结构制备方法

(57) 摘要

一种基于铝牺牲层工艺的悬浮微敏感结构制备工艺, 通过在加工过程中对三层式的悬浮微敏感结构引入牺牲层对微敏感悬浮质量块加以约束, 采用铝质薄膜将悬浮微敏感结构和体硅连接在一起, 以避免后续加工对悬浮结构的影响; 在完成后再用湿法刻蚀将牺牲层去除, 最后用清水和乙醇将刻蚀溶剂置换出, 将微其烘干; 本发明在不改变原有工艺流程的基础上有效保证了悬浮微敏感结构的完整性和可动性, 无须加大机械约束就不会引起微机械传感器性能的降低, 同时降低了工艺难度、提高了成品率, 可广泛使用于各种带有悬浮可动敏感结构的硅微器件加工。



1. 一种基于铝牺牲层工艺的悬浮微敏感结构制备方法,其特征在于,步骤如下:

步骤1:用缓冲氟氢酸 BHF 湿法分别在顶层玻璃(1)和底层玻璃(2)的表面上刻蚀出一个以上的 120 ~ 160nm 深的电极凹槽(3),每个电极凹槽(3)的外侧带有向外延伸的引线槽(60),且按照从左到右的顺序,顶层玻璃(1)和底层玻璃(2)依次对应的每对电极凹槽(3)的大小和纵向位置一致,这样的每对电极凹槽(3)构成了差动电极凹槽,然后在每个电极凹槽(3)内溅射 170 ~ 210nm 厚的钛金合金,形成一个以上的电极(41),并且在每个电极(41)的外侧面溅射出向外延伸的引线(42)进入对应的电极凹槽(3)的引线槽(60),每个引线(42)的宽度不小于 30 μm ,相邻引线(42)之间的间隔不小于 10 μm ,这样就得到了带有电极(41)的顶层玻璃(1)和带有电极(41)的底层玻璃(2),且每对差动电极凹槽(3)内的电极(41)及其引线(42)的数量、大小和位置也对应一致,该每对对应一致的电极(41)及其引线(42)构成一个差动电极(4);

步骤2:采用 n 型或 p 型、且电阻率为 0.002 ~ 0.004 $\Omega \cdot \text{cm}$ 的晶向单晶硅片(5),进行标准清洗后,采用反应离子刻蚀 RIE 或感应耦合等离子体 ICP 干法在硅片(5)底表面进行刻蚀以形成一个以上的电极引线浅槽(6),其深度为 5 ~ 10 μm ,且按照从左到右的顺序,硅片(5)底表面的电极引线浅槽(6)能依次逐一容纳底层玻璃(2)中对应的电极凹槽(3)内的引线(42),而各个相邻的电极引线浅槽(6)之间的突起平面构成了键合台面(52);其中标准清洗是先采用质量为 80% 的纯硫酸和 20% 双氧水相混合的溶液将硅片(5)清洗 3~5 分钟以去除硅片(5)上的有机物,接着对质量浓度 60% 的氨水、双氧水以及纯水按照质量比例 1 : 1 : 5 相混合,用该混合后的溶液将硅片(5)清洗 3~5 分钟以去除硅片(5)上的非金属玷污,最后用浓度 30% 的盐酸、双氧水以及纯水按照质量比例 1 : 1 : 5 相混合,用该混合后的溶液将硅片(5)清洗 3~5 分钟以去除硅片(5)上的金属玷污;

步骤3:接着对硅片(5)的底部表面以金属溅射的方式制作出一个以上的铝膜(7)作为牺牲层,这样就形成了带有铝膜(7)的硅片(5),每个铝膜(7)的厚度为 500 ~ 1000nm,所有铝膜的位置在硅片(5)的底部表面且在预设的悬浮微敏感结构(51)的边缘的纵向投影内;

步骤4:用质量为 80% 的纯硫酸和 20% 双氧水相混合的溶液将带有铝膜(7)的硅片(5)清洗 3~5 分钟以去除硅片(5)上的有机物,接着对质量浓度 60% 的氨水、双氧水以及纯水按照质量比例 1 : 1 : 5 相混合,用该混合后的溶液将带有铝膜(7)的硅片(5)清洗 3~5 分钟以去除硅片(5)上的非金属玷污,最后用质量浓度 30% 的盐酸、双氧水以及纯水按照质量比例 1 : 1 : 5 相混合,用该混合后的溶液将带有铝膜(7)的硅片(5)清洗 3~5 分钟以去除硅片(5)上的金属玷污;然后进行底层玻璃-硅静电键合,即将带有铝膜(7)的硅片(5)和带有电极(41)的底层玻璃(2)接触在一起,且按照从左到右的顺序,该硅片(5)的底表面的电极引线浅槽(6)依次逐一和该底层玻璃(2)中对应的电极凹槽(3)相对,随后在 350 ~ 450 摄氏度下施加 800 ~ 1500V 的直流电压,硅片(5)连接直流电源正极,底层玻璃(2)连接直流电源的负极,接通该直流电压 25 ~ 30 分钟后键合完毕;

步骤5:底层玻璃-硅静电键合后,采用质量浓度为 25% 的四甲基氢氧化氨 TMAH 腐蚀液将该硅片(5)的厚度从其上端均匀腐蚀减薄至 100 ~ 150 μm ,再使用质量浓度为 25% 的磷化液对该硅片(5)进行抛光,抛光时间为 3~6 分钟;

步骤6:采用反应离子刻蚀或感应耦合等离子体干法在该硅片(5)的上表面进行刻蚀

以形成一个以上的电极引线浅槽 (6), 其深度为 $5 \sim 10 \mu\text{m}$, 且按照从左到右的顺序, 硅片 (5) 上表面的电极引线浅槽 (6) 能依次逐一容纳顶层玻璃 (1) 中对应的电极凹槽 (3) 内的引线 (42), 而各个相邻的电极引线浅槽 (6) 之间的突起平面构成了键合台面 (52); 其中标准清洗是先采用质量为 80% 的纯硫酸和 20% 双氧水相混合的溶液将硅片 (5) 清洗 3-5 分钟以去除硅片 (5) 上的有机物, 接着对质量浓度 60% 的氨水、双氧水以及纯水按照质量比例 1 : 1 : 5 相混合, 用该混合后的溶液将硅片 (5) 清洗 3-5 分钟以去除硅片 (5) 上的非金属玷污, 最后用质量浓度 30% 的盐酸、双氧水以及纯水按照质量比例 1 : 1 : 5 相混合, 用该混合后的溶液将硅片 (5) 清洗 3-5 分钟以去除硅片 (5) 上的金属玷污;

步骤 7: 接着采用感应耦合等离子体 ICP 干法, 分别沿着预设的悬浮微敏感结构 (51) 的边缘及底层玻璃 (2) 的外侧带有向外延伸的引线槽 (60) 的电极凹槽 (3) 的边缘将该硅片 (5) 纵向刻透且不穿透铝膜 (7) 而形成悬浮微敏感结构 (51) 和导通硅 (54), 硅片的其它部分为体硅 (53), 该体硅 (53) 通过铝膜 (7) 和悬浮微敏感结构 (51) 相连接, 另外在体硅 (53) 的侧面横向刻透出沟槽 (8), 这样形成了带有悬浮微敏感结构 (51) 和导通硅 (54) 的底层玻璃-硅片组合片;

步骤 8: 对该底层玻璃-硅片组合片先用质量为 80% 的纯硫酸和 20% 双氧水相混合的溶液清洗 3-5 分钟以去除其上的有机物, 接着对质量浓度 60% 的氨水、双氧水以及纯水按照质量比例 1 : 1 : 5 相混合, 用该混合后的溶液将该底层玻璃-硅片组合片清洗 3-5 分钟以去除其上的非金属玷污, 最后用质量浓度 30% 的盐酸、双氧水以及纯水按照质量比例 1 : 1 : 5 相混合, 用该混合后的溶液将该底层玻璃-硅片组合片清洗 3-5 分钟以去除其上的金属玷污; 然后进行顶层玻璃-硅静电键合, 即将该底层玻璃-硅片组合片和带有电极 (41) 的顶层玻璃 (1) 接触在一起, 且按照从左到右的顺序, 该硅片 (5) 上表面的电极引线浅槽 (6) 依次逐一和该顶层玻璃 (1) 中对应的电极凹槽 (3) 相对, 随后在 $350 \sim 450$ 摄氏度下施加 $800 \sim 1500\text{V}$ 的直流电压, 体硅 (53) 连接直流电源正极, 顶层玻璃 (1) 连接直流电源的负极, 接通该直流电压 25 ~ 30 分钟后键合完毕得到三层式组合片;

步骤 9: 将该三层式组合片浸入铝刻蚀剂中, 加以超声波清洗 20 ~ 30 分钟, 去除掉作为牺牲层的铝膜 (7), 该铝刻蚀剂由质量浓度为 85% 的磷酸、质量浓度为 70% 的硝酸、乙酸以及水分别按照体积百分比 $10 \sim 30\%$ 、 $0.5 \sim 2\%$ 、 $5 \sim 10\%$ 以及 $60 \sim 80\%$ 的比例混合配比而成;

步骤 10: 随即将该三层式组合片从铝刻蚀剂中取出, 在超声波环境中将其用清水清洗 20 ~ 30 分钟, 置换出成悬浮微敏感结构 (51)、导通硅 (54) 以及体硅 (53) 结构内部残留的反应物及铝刻蚀剂, 再在超声波环境中将其用乙醇清洗 10 ~ 30 分钟置换出清水, 这样就完成了基于铝牺牲层工艺的悬浮微敏感结构的制备。

一种基于铝牺牲层工艺的悬浮微敏感结构制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及微硅器件加工的制备工艺领域,具体涉及一种基于铝牺牲层工艺的悬浮微敏感结构制备方法。

背景技术

[0002] 微硅机电加工工艺是近年来随着集成电路工艺发展起来的微机电系统 MEMS 主流技术。微硅器件是采用微机电系统的微电子和微机械加工技术制造出来的,它具有体积小、重量轻、成本低、功耗低、可靠性高、适于批量化生产、易于集成和可实现智能化的特点。同时,在微米量级的特征尺寸使得它可以完成某些传统机械传感器所不能实现的功能,这样微机电系统的微电子和微机械加工技术越来越成为微硅器件制备工艺的主要发展方向。

[0003] 使用微机电系统的微电子和微机械加工技术加工的微硅器件方法中,玻璃-硅-玻璃三层式平板结构是其加工的微机械传感器的一种典型结构,即在硅微机械器件中通常含有一个感知加速度或力的悬浮质量块,这个微敏感悬浮质量块一般是从体硅上刻蚀而出,限于我国现有的体硅加工工艺,在加工过程中由于悬浮质量块没有或只有很小的机械约束,微敏感悬浮质量块很容易在后续的清洗、加工过程中引起结构畸变,或从硅腔中进出,造成器件特性劣化或破坏。解决此问题有两种方法:在设计过程中加大微敏感悬浮结构的机械约束和引入在加工结束后再将其去除的牺牲层。但是对于加大机械约束必然会引起微机械传感器性能的降低,同时由于玻璃-硅-玻璃三明治式结构内部空间狭小、结构相对较封闭,目前针对该种结构的牺牲层技术并不成熟,现在一些技术曾尝试引入二氧化硅牺牲层,但由于在去除牺牲层时对体硅有一定的损伤,大大增加了微硅器件的加工难度,致使微机械传感器普遍面临着加工难度大、加工成本高、成品率低等问题。

发明内容

[0004] 为了克服上述现有技术存在的不足,本发明的目的在于提供一种基于铝牺牲层工艺的悬浮微敏感结构制备工艺,通过在加工过程中对玻璃-硅-玻璃三层式的悬浮微敏感结构引入牺牲层对微敏感悬浮质量块加以约束,采用铝质薄膜将悬浮微敏感结构和体硅连接在一起,以避免后续加工对悬浮结构的影响,在完成后再用湿法刻蚀将牺牲层去除,最后用清水和乙醇将刻蚀溶剂置换出,将微其烘干;本方法在不改变原有工艺流程的基础上有效保证了悬浮微敏感结构的完整性和可动性,无须加大机械约束就不会引起微机械传感器性能的降低,同时降低了工艺难度、提高了成品率,可广泛使用于各种带有悬浮可动敏感结构的硅微器件加工。

[0005] 为了达到上述目的,本发明所采用的技术方案是:

[0006] 一种基于铝牺牲层工艺的悬浮微敏感结构制备方法,步骤如下:

[0007] 步骤 1:用缓冲氟氢酸 BHF 湿法分别在顶层玻璃 1 和底层玻璃 2 的表面上刻蚀出一个以上的 120 ~ 160nm 深的电极凹槽 3,每个电极凹槽 3 的外侧带有向外延伸的引线槽 60,且按照从左到右的顺序,顶层玻璃 1 和底层玻璃 2 依次对应的每对电极凹槽 3 的大小和

纵向位置一致,这样的每对电极凹槽 3 构成了差动电极凹槽,然后在每个电极凹槽 3 内溅射 170 ~ 210nm 厚的钛金合金,形成一个以上的电极 41,并且在每个电极 41 的外侧面溅射出向外延伸的引线 42 进入对应的电极凹槽 3 的引线槽 60,每个引线 42 的宽度不小于 30 μm ,相邻引线 42 之间的间隔不小于 10 μm ,这样就得到了带有电极 41 的顶层玻璃 1 和带有电极 41 的底层玻璃 2,且每对差动电极凹槽 3 内的电极 41 及其引线 42 的数量、大小和位置也对应一致,该每对对应一致的电极 41 及其引线 42 构成一个差动电极 4;

[0008] 步骤 2:采用 n 型或 p 型、且电阻率为 0.002 ~ 0.004 $\Omega \cdot \text{cm}$ 的晶向单晶硅片 5,进行标准清洗后,采用反应离子刻蚀 RIE 或感应耦合等离子体 ICP 干法在硅片 5 底表面进行刻蚀以形成一个以上的电极引线浅槽 6,其深度为 5 ~ 10 μm ,且按照从左到右的顺序,硅片 5 底表面的电极引线浅槽 6 能依次逐一容纳底层玻璃 2 中对应的电极凹槽 3 内的引线 42,而各个相邻的电极引线浅槽 6 之间的突起平面构成了键合台面 52;其中标准清洗是先采用质量为 80% 的纯硫酸和 20% 双氧水相混合的溶液将硅片 5 清洗 3-5 分钟以去除硅片 5 上的有机物,接着对质量浓度 60% 的氨水、双氧水以及纯水按照质量比例 1 : 1 : 5 相混合,用该混合后的溶液将硅片 5 清洗 3-5 分钟以去除硅片 5 上的非金属玷污,最后用质量浓度 30% 的盐酸、双氧水以及纯水按照质量比例 1 : 1 : 5 相混合,用该混合后的溶液将硅片 5 清洗 3-5 分钟以去除硅片 5 上的金属玷污;

[0009] 步骤 3:接着对硅片 5 的底部表面以金属溅射的方式制作出一个以上的铝膜 7 作为牺牲层,这样就形成了带有铝膜 7 的硅片 5,每个铝膜 7 的厚度为 500 ~ 1000nm,所有铝膜的位置在硅片 5 的底部表面且在预设的悬浮微敏感结构 51 的边缘的纵向投影内;

[0010] 步骤 4:用质量为 80% 的纯硫酸和 20% 双氧水相混合的溶液将带有铝膜 7 的硅片 5 清洗 3-5 分钟以去除硅片 5 上的有机物,接着对质量浓度 60% 的氨水、双氧水以及纯水按照质量比例 1 : 1 : 5 相混合,用该混合后的溶液将带有铝膜 7 的硅片 5 清洗 3-5 分钟以去除硅片 5 上的非金属玷污,最后用质量浓度 30% 的盐酸、双氧水以及纯水按照质量比例 1 : 1 : 5 相混合,用该混合后的溶液将带有铝膜 7 的硅片 5 清洗 3-5 分钟以去除硅片 5 上的金属玷污;然后进行底层玻璃-硅静电键合,即将带有铝膜 7 的硅片 5 和带有电极 41 的底层玻璃 2 接触在一起,且按照从左到右的顺序,该硅片 5 的底表面的电极引线浅槽 6 依次逐一和该底层玻璃 2 中对应的电极凹槽 3 相对,随后在 350 ~ 450 摄氏度下施加 800 ~ 1500V 的直流电压,硅片 5 连接直流电源正极,底层玻璃 2 连接直流电源的负极,接通该直流电压 25 ~ 30 分钟后键合完毕;

[0011] 步骤 5:底层玻璃-硅静电键合后,采用质量浓度为 25% 的四甲基氢氧化氨 TMAH 腐蚀液将该硅片 5 的厚度从其上端均匀腐蚀减薄至 100 ~ 150 μm ,再使用质量浓度为 25% 的磷化液对该硅片 5 进行抛光,抛光时间为 3-6 分钟;

[0012] 步骤 6:采用反应离子刻蚀 (RIE) 或感应耦合等离子体 (ICP) 干法在该硅片 5 的上表面进行刻蚀以形成一个以上的电极引线浅槽 6,其深度为 5 ~ 10 μm ,且按照从左到右的顺序,硅片 5 上表面的电极引线浅槽 6 能依次逐一容纳顶层玻璃 1 中对应的电极凹槽 3 内的引线 42,而各个相邻的电极引线浅槽 6 之间的突起平面构成了键合台面 52;其中标准清洗是先采用质量为 80% 的纯硫酸和 20% 双氧水相混合的溶液将硅片 5 清洗 3-5 分钟以去除硅片 5 上的有机物,接着对质量浓度 60% 的氨水、双氧水以及纯水按照质量比例 1 : 1 : 5 相混合,用该混合后的溶液将硅片 5 清洗 3-5 分钟以去除硅片 5 上的非金属玷污,最后用质

量浓度 30% 的盐酸、双氧水以及纯水按照质量比例 1 : 1 : 5 相混合,用该混合后的溶液将硅片 5 清洗 3-5 分钟以去除硅片 5 上的金属玷污;

[0013] 步骤 7:接着采用感应耦合等离子体 ICP 干法,分别沿着预设的悬浮微敏感结构 51 的边缘及底层玻璃 2 的外侧带有向外延伸的引线槽 60 的电极凹槽 3 的边缘将该硅片 5 纵向刻透且不穿透铝膜 7 而形成悬浮微敏感结构 51 和导通硅 54,硅片的其它部分为体硅 53,该体硅 53 通过铝膜 7 和悬浮微敏感结构 51 相连接,另外在体硅 53 的侧面横向刻透出沟槽 8,这样形成了带有悬浮微敏感结构 51 和导通硅 54 的底层玻璃-硅片组合片;

[0014] 步骤 8:对该底层玻璃-硅片组合片先用质量为 80% 的纯硫酸和 20% 双氧水相混合的溶液清洗 3-5 分钟以去除其上的有机物,接着对质量浓度 60% 的氨水、双氧水以及纯水按照质量比例 1 : 1 : 5 相混合,用该混合后的溶液将该底层玻璃-硅片组合片清洗 3-5 分钟以去除其上的非金属玷污,最后用质量浓度 30% 的盐酸、双氧水以及纯水按照质量比例 1 : 1 : 5 相混合,用该混合后的溶液将该底层玻璃-硅片组合片清洗 3-5 分钟以去除其上的金属玷污;然后进行顶层玻璃-硅静电键合,即将该底层玻璃-硅片组合片和带有电极 41 的顶层玻璃 1 接触在一起,且按照从左到右的顺序,该硅片 5 上表面的电极引线浅槽 6 依次逐一和该顶层玻璃 1 中对应的电极凹槽 3 相对,随后在 350 ~ 450 摄氏度下施加 800 ~ 1500V 的直流电压,体硅 53 连接直流电源正极,顶层玻璃 1 连接直流电源的负极,接通该直流电压 25 ~ 30 分钟后键合完毕得到三层式组合片;

[0015] 步骤 9:将该三层式组合片浸入铝刻蚀剂中,加以超声波清洗 20 ~ 30 分钟,去除掉作为牺牲层的铝膜 7,该铝刻蚀剂由质量浓度为 85% 的磷酸、质量浓度为 70% 的硝酸、乙酸以及水分别按照体积百分比 10 ~ 30%、0.5 ~ 2%、5 ~ 10% 以及 60 ~ 80% 的比例混合配比而成;

[0016] 步骤 10:随即将该三层式组合片从铝刻蚀剂中取出,在超声波环境中将其用清水清洗 20 ~ 30 分钟,置换出成悬浮微敏感结构 51、导通硅 54 以及体硅 53 结构内部残留的反应物及铝刻蚀剂,再在超声波环境中将其用乙醇清洗 10 ~ 30 分钟置换出清水,这样就完成了基于铝牺牲层工艺的悬浮微敏感结构的制备。

[0017] 通过该方法在底层玻璃-硅静电键合后,在硅片 5 上加工出悬浮微敏感结构 51 之前,引入作为牺牲层的铝膜 7 就能将后续加工出来的悬浮微敏感结构 51 和体硅 53 连在一起,一方面防止在刻蚀过程中悬浮微敏感结构 51 脱落,另一方面在进行顶层玻璃-硅静电键合过程中提供一个和键合产生的静电力方向相反的弹性力,使悬浮微敏感结构 51 在键合过程中不被吸在顶层玻璃 1 上。加上最后用铝刻蚀剂可轻易去除作为牺牲层的铝膜 7。另外铝刻蚀剂中的硝酸将铝氧化成三氧化二铝,然后磷酸将其溶解成磷酸盐,乙酸主要用于降低腐蚀液表面张力,增大铝膜表面和腐蚀液的浸润,提高腐蚀的均匀性,起到缓冲作用,本方案在不改变原有工艺流程的基础上有效保证了悬浮微敏感结构 51 的完整性和可动性,无须加大机械约束就不会引起微机械传感器性能的降低,同时降低了工艺难度、提高了成品率,可广泛使用于各种带有悬浮可动敏感结构的硅微器件加工。

附图说明

[0018] 图 1 是本发明步骤 1 中的顶层玻璃和底层玻璃的状态示意图。

[0019] 图 2 是本发明步骤 1 中的顶层玻璃的一个电极凹槽的结构示意图。

- [0020] 图 3 是本发明步骤 1 中的底层玻璃的一个电极凹槽的结构示意图。
- [0021] 图 4 是本发明步骤 3 中的硅片的结构示意图。
- [0022] 图 5 是本发明步骤 7 中的形成悬浮微敏感结构的状态示意图。
- [0023] 图 6 是本发明步骤 7 中的带有铝膜的局部仰视结构示意图。
- [0024] 图 7 是本发明步骤 7 中的带有悬浮微敏感结构的局部俯视结构示意图。
- [0025] 图 8 是本发明完成了基于铝牺牲层工艺的悬浮微敏感结构的制备的状态示意图。

具体实施方式

[0026] 下面结合实施例对本发明作更详细的说明。

[0027] 实施例 1：

[0028] 本实施例的基于铝牺牲层工艺的悬浮微敏感结构制备方法，步骤如下：

[0029] 步骤 1：用缓冲氟氢酸 BHF 湿法分别在顶层玻璃 1 和底层玻璃 2 的表面上刻蚀出三个 120nm 深的电极凹槽 3，每个电极凹槽 3 的外侧带有向外延伸的引线槽 60，且按照从左到右的顺序，顶层玻璃 1 和底层玻璃 2 依次对应的每对电极凹槽 3 的大小和纵向位置一致，这样的每对电极凹槽 3 构成了差动电极凹槽，然后在每个电极凹槽 3 内溅射 170nm 厚的钛金合金，形成四个电极 41，并且在每个电极 41 的外侧面溅射出向外延伸的引线 42 进入对应的电极凹槽 3 的引线槽 60，每个引线 42 的宽度为 $35\mu\text{m}$ ，相邻引线 42 之间的间隔为 $15\mu\text{m}$ ，这样就得到了带有电极 41 的顶层玻璃 1 和带有电极 41 的底层玻璃 2，且每对差动电极凹槽 3 内的电极 41 及其引线 42 的数量、大小和位置也对应一致，该每对对应一致的电极 41 及其引线 42 构成一个差动电极 4 如图 1、图 2 和图 3 所示；

[0030] 步骤 2：采用 n 型且电阻率为 $0.002\Omega\cdot\text{cm}$ 的晶向单晶硅片 5，进行标准清洗后，采用反应离子刻蚀 RIE 法在硅片 5 底表面进行刻蚀以形成三个电极引线浅槽 6，其深度为 $5\mu\text{m}$ ，且按照从左到右的顺序，硅片 5 底表面的电极引线浅槽 6 能依次逐一容纳底层玻璃 2 中对应的电极凹槽 3 内的引线 42，而各个相邻的电极引线浅槽 6 之间的突起平面构成了键合台面 52；其中标准清洗是先采用质量为 80% 的纯硫酸和 20% 双氧水相混合的溶液将硅片 5 清洗 3 分钟以去除硅片 5 上的有机物，接着对质量浓度 60% 的氨水、双氧水以及纯水按照质量比例 1：1：5 相混合，用该混合后的溶液将硅片 5 清洗 3 分钟以去除硅片 5 上的非金属玷污，最后用质量浓度 30% 的盐酸、双氧水以及纯水按照质量比例 1：1：5 相混合，用该混合后的溶液将硅片 5 清洗 3 分钟以去除硅片 5 上的金属玷污；

[0031] 步骤 3：接着对硅片 5 的底部表面以金属溅射的方式制作出四个铝膜 7 作为牺牲层，这样就形成了带有铝膜 7 的硅片 5，每个铝膜 7 的厚度为 500nm，所有铝膜的位置在硅片 5 的底部表面且在预设的悬浮微敏感结构 51 的边缘的纵向投影内如图 4 所示；

[0032] 步骤 4：用质量为 80% 的纯硫酸和 20% 双氧水相混合的溶液将带有铝膜 7 的硅片 5 清洗 3 分钟以去除硅片 5 上的有机物，接着对质量浓度 60% 的氨水、双氧水以及纯水按照质量比例 1：1：5 相混合，用该混合后的溶液将带有铝膜 7 的硅片 5 清洗 3 分钟以去除硅片 5 上的非金属玷污，最后用质量浓度 30% 的盐酸、双氧水以及纯水按照质量比例 1：1：5 相混合，用该混合后的溶液将带有铝膜 7 的硅片 5 清洗 3 分钟以去除硅片 5 上的金属玷污；然后进行底层玻璃-硅静电键合，即将带有铝膜 7 的硅片 5 和带有电极 41 的底层玻璃 2 接触在一起，且按照从左到右的顺序，该硅片 5 的底表面的电极引线浅槽 6 依次逐

一和该底层玻璃 2 中对应的电极凹槽 3 相对,随后在 350 摄氏度下施加 800V 的直流电压,硅片 5 连接直流电源正极,底层玻璃 2 连接直流电源的负极,接通该直流电压 25 分钟后键合完毕;

[0033] 步骤 5:底层玻璃-硅静电键合后,采用质量浓度为 25%的四甲基氢氧化氨 TMAH 腐蚀液将该硅片 5 的厚度从其上端均匀腐蚀减薄至 100 μm ,再使用质量浓度为 25%的磷化液对该硅片 5 进行抛光,抛光时间为 3 分钟;

[0034] 步骤 6:采用反应离子刻蚀 RIE 法在该硅片 5 的上表面进行刻蚀以形成一个以上的电极引线浅槽 6,其深度为 5 μm ,且按照从左到右的顺序,硅片 5 上表面的电极引线浅槽 6 能依次逐一容纳顶层玻璃 1 中对应的电极凹槽 3 内的引线 42,而各个相邻的电极引线浅槽 6 之间的突起平面构成了键合台面 52;其中标准清洗是先采用质量为 80%的纯硫酸和 20%双氧水相混合的溶液将硅片 5 清洗 3 分钟以去除硅片 5 上的有机物,接着对质量浓度 60%的氨水、双氧水以及纯水按照质量比例 1 : 1 : 5 相混合,用该混合后的溶液将硅片 5 清洗 3 分钟以去除硅片 5 上的非金属玷污,最后用质量浓度 30%的盐酸、双氧水以及纯水按照质量比例 1 : 1 : 5 相混合,用该混合后的溶液将硅片 5 清洗 3 分钟以去除硅片 5 上的金属玷污;

[0035] 步骤 7:接着采用感应耦合等离子体 ICP 干法,分别沿着预设的悬浮微敏感结构 51 的边缘及底层玻璃 2 的外侧带有向外延伸的引线槽 60 的电极凹槽 3 的边缘将该硅片 5 纵向刻透且不穿透铝膜 7 而形成悬浮微敏感结构 51 和导通硅 54,硅片的其它部分为体硅 53,该体硅 53 通过铝膜 7 和悬浮微敏感结构 51 相连接,另外在体硅 53 的侧面横向刻透出沟槽 8,这样形成了带有悬浮微敏感结构 51 和导通硅 54 的底层玻璃-硅片组合片如图 5、图 6 及图 7 所示;

[0036] 步骤 8:对该底层玻璃-硅片组合片先用质量为 80%的纯硫酸和 20%双氧水相混合的溶液清洗 3 分钟以去除其上的有机物,接着对浓度 60%的氨水、双氧水以及纯水按照质量比例 1 : 1 : 5 相混合,用该混合后的溶液将该底层玻璃-硅片组合片清洗 3 分钟以去除其上的非金属玷污,最后用质量浓度 30%的盐酸、双氧水以及纯水按照质量比例 1 : 1 : 5 相混合,用该混合后的溶液将该底层玻璃-硅片组合片清洗 3 分钟以去除其上的金属玷污;然后进行顶层玻璃-硅静电键合,即将该底层玻璃-硅片组合片和带有电极 41 的顶层玻璃 1 接触在一起,且按照从左到右的顺序,该硅片 5 上表面的电极引线浅槽 6 依次逐一和该顶层玻璃 1 中对应的电极凹槽 3 相对,随后在 350 摄氏度下施加 800V 的直流电压,体硅 53 连接直流电源正极,顶层玻璃 1 连接直流电源的负极,接通该直流电压 25 分钟后键合完毕得到三层式组合片;

[0037] 步骤 9:将该三层式组合片浸入铝刻蚀剂中,加以超声波清洗 20 分钟,去除掉作为牺牲层的铝膜 7,该铝刻蚀剂由质量浓度为 85%的磷酸、质量浓度为 70%的硝酸、乙酸以及水分别按照体积百分比 10%、0.5%、9.5%以及 80%的比例混合配比而成;

[0038] 步骤 10:随即将该三层式组合片从铝刻蚀剂中取出,在超声波环境中将其用清水清洗 20 分钟,置换出成悬浮微敏感结构 51、导通硅 54 以及体硅 53 结构内部残留的反应物及铝刻蚀剂,再在超声波环境中将其用乙醇清洗 10 分钟置换出清水,这样就完成了基于铝牺牲层工艺的悬浮微敏感结构的制备如图 8 所示。

[0039] 实施例 2:

[0040] 本实施例的基于铝牺牲层工艺的悬浮微敏感结构制备方法,步骤如下:

[0041] 步骤1:用缓冲氟氢酸BHF湿法分别在顶层玻璃1和底层玻璃2的表面上刻蚀出三个140nm深的电极凹槽3,每个电极凹槽3的外侧带有向外延伸的引线槽60,且按照从左到右的顺序,顶层玻璃1和底层玻璃2依次对应的每对电极凹槽3的大小和纵向位置一致,这样的每对电极凹槽3构成了差动电极凹槽,然后在每个电极凹槽3内溅射190nm厚的钛金合金,形成四个电极41,并且在每个电极41的外侧面溅射出向外延伸的引线42进入对应的电极凹槽3的引线槽60,每个引线42的宽度为 $40\mu\text{m}$,相邻引线42之间的间隔为 $20\mu\text{m}$,这样就得到了带有电极41的顶层玻璃1和带有电极41的底层玻璃2,且每对差动电极凹槽3内的电极41及其引线42的数量、大小和位置也对应一致,该每对对应一致的电极41及其引线42构成一个差动电极4如图1、图2和图3所示;

[0042] 步骤2:采用n型且电阻率为 $0.002\Omega\cdot\text{cm}$ 的晶向单晶硅片5,进行标准清洗后,采用感应耦合等离子体ICP干法在硅片5底表面进行刻蚀以形成三个电极引线浅槽6,其深度为 $7\mu\text{m}$,且按照从左到右的顺序,硅片5底表面的电极引线浅槽6能依次逐一容纳底层玻璃2中对应的电极凹槽3内的引线42,而各个相邻的电极引线浅槽6之间的突起平面构成了键合台面52;其中标准清洗是先采用质量为80%的纯硫酸和20%双氧水相混合的溶液将硅片5清洗4分钟以去除硅片5上的有机物,接着对浓度60%的氨水、双氧水以及纯水按照质量比例1:1:5相混合,用该混合后的溶液将硅片5清洗4分钟以去除硅片5上的非金属玷污,最后用质量浓度30%的盐酸、双氧水以及纯水按照质量比例1:1:5相混合,用该混合后的溶液将硅片5清洗4分钟以去除硅片5上的金属玷污;

[0043] 步骤3:接着对硅片5的底部表面以金属溅射的方式制作出四个铝膜7作为牺牲层,这样就形成了带有铝膜7的硅片5,每个铝膜7的厚度为700nm,所有铝膜的位置在硅片5的底部表面且在预设的悬浮微敏感结构51的边缘的纵向投影内如图4所示;

[0044] 步骤4:用质量为80%的纯硫酸和20%双氧水相混合的溶液将带有铝膜7的硅片5清洗4分钟以去除硅片5上的有机物,接着对质量浓度60%的氨水、双氧水以及纯水按照质量比例1:1:5相混合,用该混合后的溶液将带有铝膜7的硅片5清洗4分钟以去除硅片5上的非金属玷污,最后用质量浓度30%的盐酸、双氧水以及纯水按照质量比例1:1:5相混合,用该混合后的溶液将带有铝膜7的硅片5清洗4分钟以去除硅片5上的金属玷污;然后进行底层玻璃-硅静电键合,即将带有铝膜7的硅片5和带有电极41的底层玻璃2接触在一起,且按照从左到右的顺序,该硅片5的底表面的电极引线浅槽6依次逐一和该底层玻璃2中对应的电极凹槽3相对,随后在400摄氏度下施加1000V的直流电压,硅片5连接直流电源正极,底层玻璃2连接直流电源的负极,接通该直流电压28分钟后键合完毕;

[0045] 步骤5:底层玻璃-硅静电键合后,采用质量浓度为25%的四甲基氢氧化氨TMAH腐蚀液将该硅片5的厚度从其上端均匀腐蚀减薄至 $100\mu\text{m}$,再使用质量浓度为25%的磷化液对该硅片5进行抛光,抛光时间为5分钟;

[0046] 步骤6:采用反应离子刻蚀RIE法在该硅片5的上表面进行刻蚀以形成一个以上的电极引线浅槽6,其深度为 $8\mu\text{m}$,且按照从左到右的顺序,硅片5上表面的电极引线浅槽6能依次逐一容纳顶层玻璃1中对应的电极凹槽3内的引线42,而各个相邻的电极引线浅槽6之间的突起平面构成了键合台面52;其中标准清洗是先采用质量为80%的纯硫酸和20%

双氧水相混合的溶液将硅片 5 清洗 4 分钟以去除硅片 5 上的有机物,接着对质量浓度 60% 的氨水、双氧水以及纯水按照质量比例 1 : 1 : 5 相混合,用该混合后的溶液将硅片 5 清洗 4 分钟以去除硅片 5 上的非金属玷污,最后用质量浓度 30% 的盐酸、双氧水以及纯水按照质量比例 1 : 1 : 5 相混合,用该混合后的溶液将硅片 5 清洗 4 分钟以去除硅片 5 上的金属玷污;

[0047] 步骤 7 :接着采用感应耦合等离子体 ICP 干法,分别沿着预设的悬浮微敏感结构 51 的边缘及底层玻璃 2 的外侧带有向外延伸的引线槽 60 的电极凹槽 3 的边缘将该硅片 5 纵向刻透且不穿透铝膜 7 而形成悬浮微敏感结构 51 和导通硅 54,硅片的其它部分为体硅 53,该体硅 53 通过铝膜 7 和悬浮微敏感结构 51 相连接,另外在体硅 53 的侧面横向刻透出沟槽 8,这样形成了带有悬浮微敏感结构 51 和导通硅 54 的底层玻璃-硅片组合片如图 5、图 6 及图 7 所示;

[0048] 步骤 8 :对该底层玻璃-硅片组合片先用质量为 80% 的纯硫酸和 20% 双氧水相混合的溶液清洗 4 分钟以去除其上的有机物,接着对浓度 60% 的氨水、双氧水以及纯水按照质量比例 1 : 1 : 5 相混合,用该混合后的溶液将该底层玻璃-硅片组合片清洗 4 分钟以去除其上的非金属玷污,最后用质量浓度 30% 的盐酸、双氧水以及纯水按照质量比例 1 : 1 : 5 相混合,用该混合后的溶液将该底层玻璃-硅片组合片清洗 4 分钟以去除其上的金属玷污;然后进行顶层玻璃-硅静电键合,即将该底层玻璃-硅片组合片和带有电极 41 的顶层玻璃 1 接触在一起,且按照从左到右的顺序,该硅片 5 上表面的电极引线浅槽 6 依次逐一和该顶层玻璃 1 中对应的电极凹槽 3 相对,随后在 400 摄氏度下施加 1000V 的直流电压,体硅 53 连接直流电源正极,顶层玻璃 1 连接直流电源的负极,接通该直流电压 28 分钟后键合完毕得到三层式组合片;

[0049] 步骤 9 :将该三层式组合片浸入铝刻蚀剂中,加以超声波清洗 20 分钟,去除掉作为牺牲层的铝膜 7,该铝刻蚀剂由质量浓度为 85% 的磷酸、质量浓度为 70% 的硝酸、乙酸以及水分别按照体积百分比 15%、0.5%、4.5% 以及 80% 的比例混合配比而成;

[0050] 步骤 10 :随即将该三层式组合片从铝刻蚀剂中取出,在超声波环境中将其用清水清洗 20 分钟,置换出成悬浮微敏感结构 51、导通硅 54 以及体硅 53 结构内部残留的反应物及铝刻蚀剂,再在超声波环境中将其用乙醇清洗 10 分钟置换出清水,这样就完成了基于铝牺牲层工艺的悬浮微敏感结构的制备如图 8 所示。

[0051] 实施例 3 :

[0052] 本实施例的基于铝牺牲层工艺的悬浮微敏感结构制备方法,步骤如下:

[0053] 步骤 1 :用缓冲氟氢酸 BHF 湿法分别在顶层玻璃 1 和底层玻璃 2 的表面上刻蚀出三个 155nm 深的电极凹槽 3,每个电极凹槽 3 的外侧带有向外延伸的引线槽 60,且按照从左到右的顺序,顶层玻璃 1 和底层玻璃 2 依次对应的每对电极凹槽 3 的大小和纵向位置一致,这样的每对电极凹槽 3 构成了差动电极凹槽,然后在每个电极凹槽 3 内溅射 205nm 厚的钛金合金,形成四个电极 41,并且在每个电极 41 的外侧面溅射出向外延伸的引线 42 进入对应的电极凹槽 3 的引线槽 60,每个引线 42 的宽度为 45 μ m,相邻引线 42 之间的间隔为 25 μ m,这样就得到了带有电极 41 的顶层玻璃 1 和带有电极 41 的底层玻璃 2,且每对差动电极凹槽 3 内的电极 41 及其引线 42 的数量、大小和位置也对应一致,该每对对应一致的电极 41 及其引线 42 构成一个差动电极 4 如图 1、图 2 和图 3 所示;

[0054] 步骤2:采用n型且电阻率为 $0.003\Omega\cdot\text{cm}$ 的晶向单晶硅片5,进行标准清洗后,采用感应耦合等离子体ICP干法在硅片5底表面进行刻蚀以形成三个电极引线浅槽6,其深度为 $9\mu\text{m}$,且按照从左到右的顺序,硅片5底表面的电极引线浅槽6能依次逐一容纳底层玻璃2中对应的电极凹槽3内的引线42,而各个相邻的电极引线浅槽6之间的突起平面构成了键合台面52;其中标准清洗是先采用质量为80%的纯硫酸和20%双氧水相混合的溶液将硅片5清洗5分钟以去除硅片5上的有机物,接着对质量浓度60%的氨水、双氧水以及纯水按照质量比例1:1:5相混合,用该混合后的溶液将硅片5清洗5分钟以去除硅片5上的非金属玷污,最后用对质量质量浓度30%的盐酸、双氧水以及纯水按照质量比例1:1:5相混合,用该混合后的溶液将硅片5清洗5分钟以去除硅片5上的金属玷污;

[0055] 步骤3:接着对硅片5的底部表面以金属溅射的方式制作出四个铝膜7作为牺牲层,这样就形成了带有铝膜7的硅片5,每个铝膜7的厚度为900nm,所有铝膜的位置在硅片5的底部表面且在预设的悬浮微敏感结构51的边缘的纵向投影内如图4所示;

[0056] 步骤4:用质量为80%的纯硫酸和20%双氧水相混合的溶液将带有铝膜7的硅片5清洗4分钟以去除硅片5上的有机物,接着对质量浓度60%的氨水、双氧水以及纯水按照质量比例1:1:5相混合,用该混合后的溶液将带有铝膜7的硅片5清洗4分钟以去除硅片5上的非金属玷污,最后用质量浓度30%的盐酸、双氧水以及纯水按照质量比例1:1:5相混合,用该混合后的溶液将带有铝膜7的硅片5清洗4分钟以去除硅片5上的金属玷污;然后进行底层玻璃-硅静电键合,即将带有铝膜7的硅片5和带有电极41的底层玻璃2接触在一起,且按照从左到右的顺序,该硅片5的底表面的电极引线浅槽6依次逐一和该底层玻璃2中对应的电极凹槽3相对,随后在420摄氏度下施加1300V的直流电压,硅片5连接直流电源正极,底层玻璃2连接直流电源的负极,接通该直流电压29分钟后键合完毕;

[0057] 步骤5:底层玻璃-硅静电键合后,采用质量浓度为25%的四甲基氢氧化氨TMAH腐蚀液将该硅片5的厚度从其上端均匀腐蚀减薄至 $100\mu\text{m}$,再使用质量浓度为25%的磷化液对该硅片5进行抛光,抛光时间为6分钟;

[0058] 步骤6:采用反应离子刻蚀RIE法在该硅片5的上表面进行刻蚀以形成一个以上的电极引线浅槽6,其深度为 $8\mu\text{m}$,且按照从左到右的顺序,硅片5上表面的电极引线浅槽6能依次逐一容纳顶层玻璃1中对应的电极凹槽3内的引线42,而各个相邻的电极引线浅槽6之间的突起平面构成了键合台面52;其中标准清洗是先采用质量为80%的纯硫酸和20%双氧水相混合的溶液将硅片5清洗4分钟以去除硅片5上的有机物,接着对质量浓度60%的氨水、双氧水以及纯水按照质量比例1:1:5相混合,用该混合后的溶液将硅片5清洗4分钟以去除硅片5上的非金属玷污,最后用质量浓度30%的盐酸、双氧水以及纯水按照质量比例1:1:5相混合,用该混合后的溶液将硅片5清洗4分钟以去除硅片5上的金属玷污;

[0059] 步骤7:接着采用感应耦合等离子体ICP干法,分别沿着预设的悬浮微敏感结构51的边缘及底层玻璃2的外侧带有向外延伸的引线槽60的电极凹槽3的边缘将该硅片5纵向刻透且不穿透铝膜7而形成悬浮微敏感结构51和导通硅54,硅片的其它部分为体硅53,该体硅53通过铝膜7和悬浮微敏感结构51相连接,另外在体硅53的侧面横向刻透出沟槽8,这样形成了带有悬浮微敏感结构51和导通硅54的底层玻璃-硅片组合片如图5、图6及

图 7 所示；

[0060] 步骤 8 :对该底层玻璃-硅片组合片先用质量为 80% 的纯硫酸和 20% 双氧水相混合的溶液清洗 4 分钟以去除其上的有机物,接着对质量浓度 60% 的氨水、双氧水以及纯水按照质量比例 1 : 1 : 5 相混合,用该混合后的溶液将该底层玻璃-硅片组合片清洗 4 分钟以去除其上的非金属玷污,最后用质量浓度 30% 的盐酸、双氧水以及纯水按照质量比例 1 : 1 : 5 相混合,用该混合后的溶液将该底层玻璃-硅片组合片清洗 4 分钟以去除其上的金属玷污;然后进行顶层玻璃-硅静电键合,即将该底层玻璃-硅片组合片和带有电极 41 的顶层玻璃 1 接触在一起,且按照从左到右的顺序,该硅片 5 上表面的电极引线浅槽 6 依次逐一和该顶层玻璃 1 中对应的电极凹槽 3 相对,随后在 400 摄氏度下施加 1000V 的直流电压,体硅 53 连接直流电源正极,顶层玻璃 1 连接直流电源的负极,接通该直流电压 28 分钟后键合完毕得到三层式组合片;

[0061] 步骤 9 :将该三层式组合片浸入铝刻蚀剂中,加以超声波清洗 20 分钟,去除掉作为牺牲层的铝膜 7,该铝刻蚀剂由质量浓度为 85% 的磷酸、质量浓度为 70% 的硝酸、乙酸以及水分别按照体积百分比 15%、0.5%、4.5% 以及 80% 的比例混合配比而成;

[0062] 步骤 10 :随即将该三层式组合片从铝刻蚀剂中取出,在超声波环境中将其用清水清洗 20 分钟,置换出成悬浮微敏感结构 51、导通硅 54 以及体硅 53 结构内部残留的反应物及铝刻蚀剂,再在超声波环境中将其用乙醇清洗 10 分钟置换出清水,这样就完成了基于铝牺牲层工艺的悬浮微敏感结构的制备如图 8 所示。

[0063] 通过实施例 1、实施例 2 以及实施例 3 的基于铝牺牲层工艺的悬浮微敏感结构制备方法,其在底层玻璃-硅静电键合后,在硅片 5 上加工出悬浮微敏感结构 51 之前,引入作为牺牲层的铝膜 7 就能将后续加工出来的悬浮微敏感结构 51 和体硅 53 连在一起,一方面防止在刻蚀过程中悬浮微敏感结构 51 脱落,另一方面在进行顶层玻璃-硅静电键合过程中提供一个和键合产生的静电力方向相反的弹性力,使悬浮微敏感结构 51 在键合过程中不被吸在顶层玻璃 1 上。加上最后用铝刻蚀剂可轻易去除作为牺牲层的铝膜 7。另外铝刻蚀剂中的硝酸将铝氧化成三氧化二铝,然后磷酸将其溶解成磷酸盐,乙酸主要用于降低腐蚀液表面张力,增大铝膜表面和腐蚀液的浸润,提高腐蚀的均匀性,起到缓冲作用,本方案在不改变原有工艺流程的基础上有效保证了悬浮微敏感结构 51 的完整性和可动性,无须加大机械约束就不会引起微机械传感器性能的降低,同时降低了工艺难度、提高了成品率,可广泛使用于各种带有悬浮可动敏感结构的硅微器件加工。

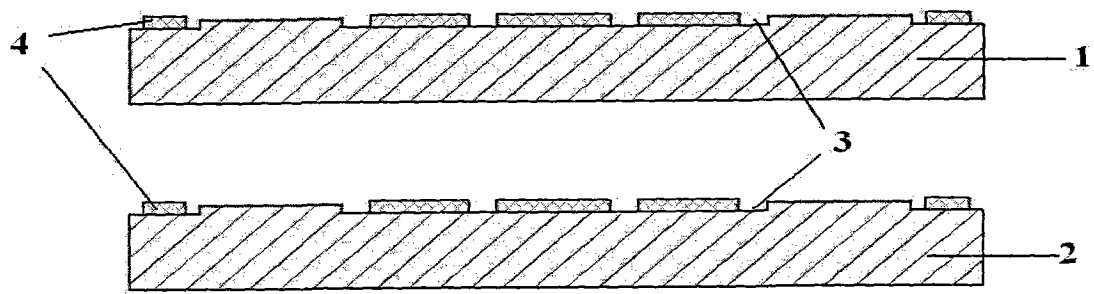


图 1

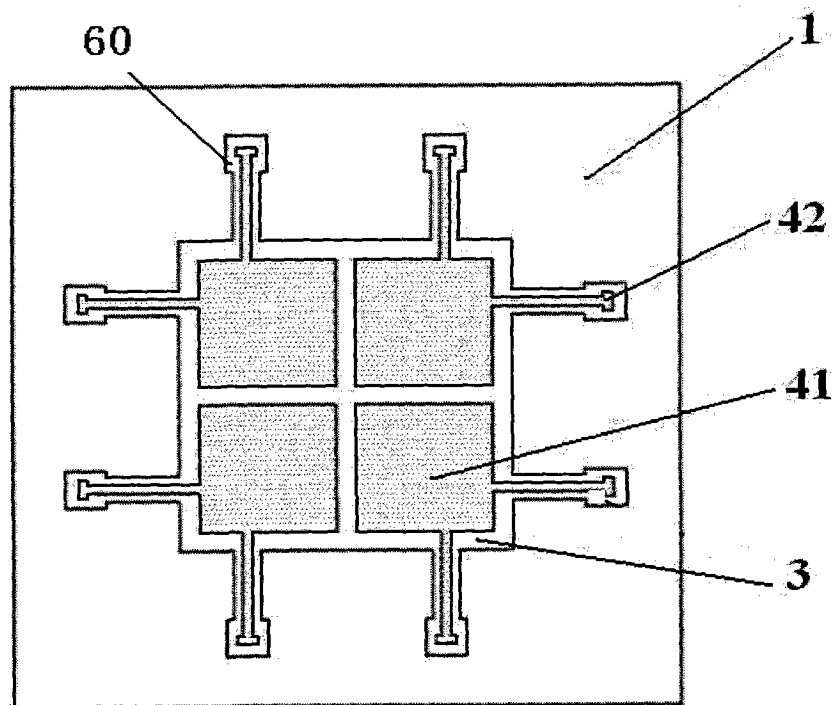


图 2

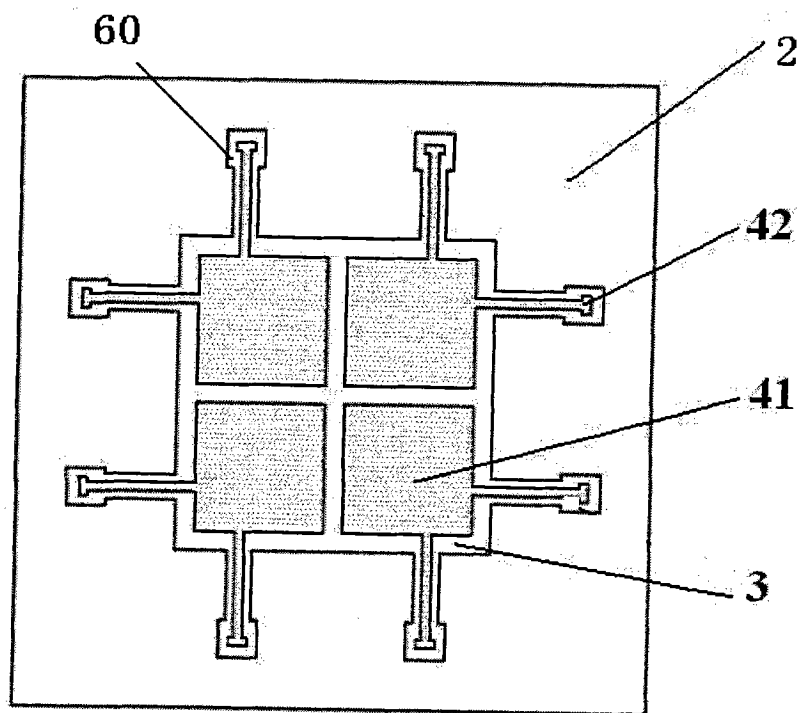


图 3

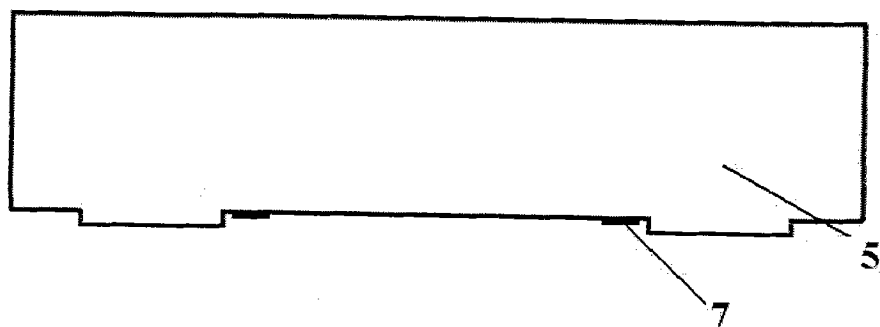


图 4

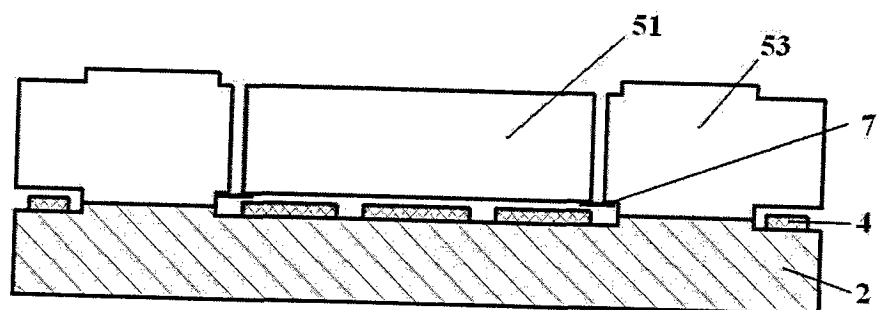


图 5

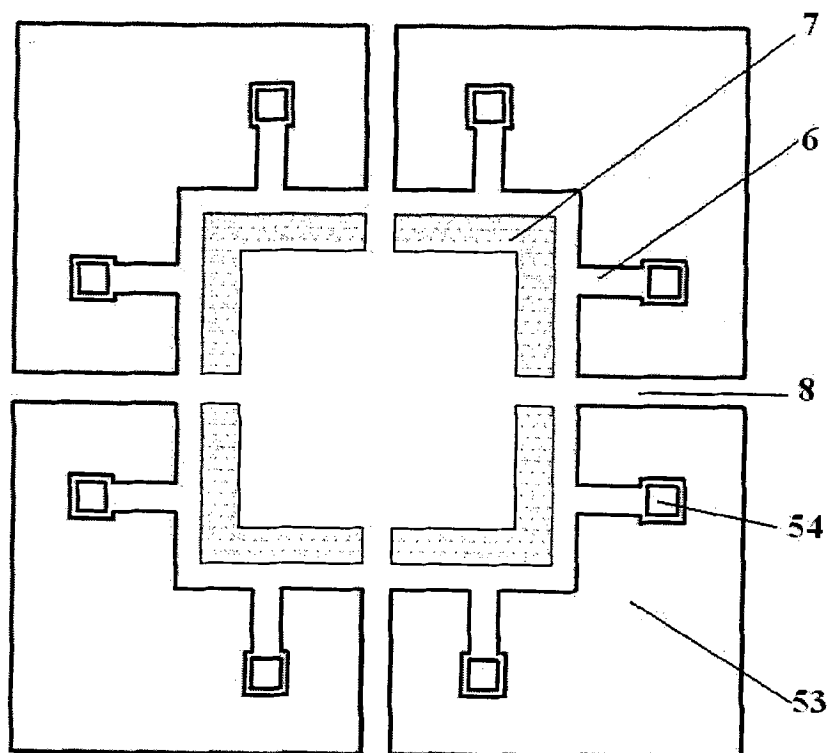


图 6

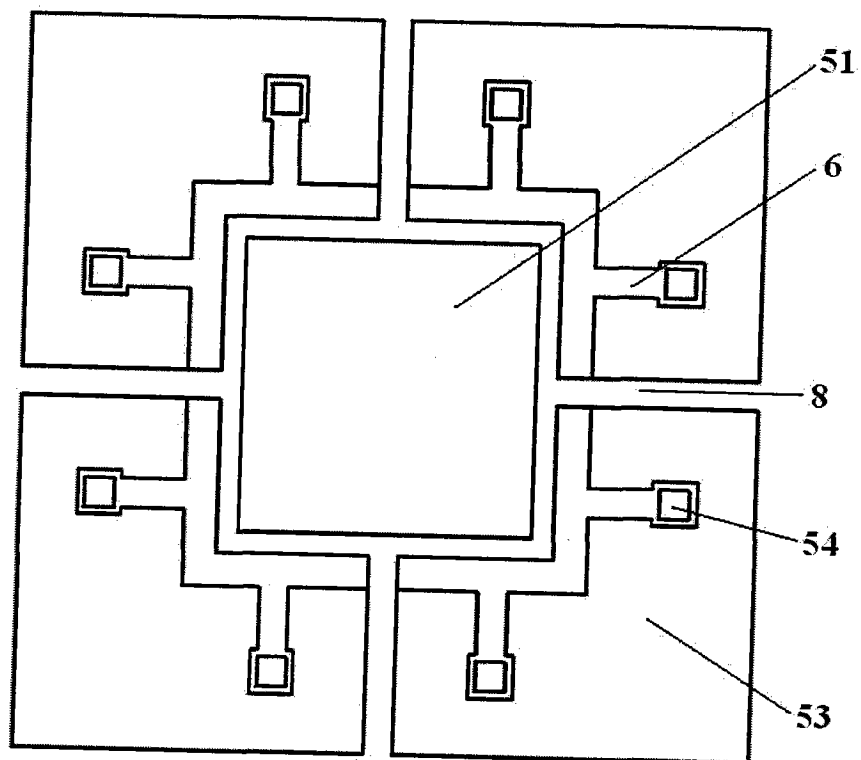


图 7

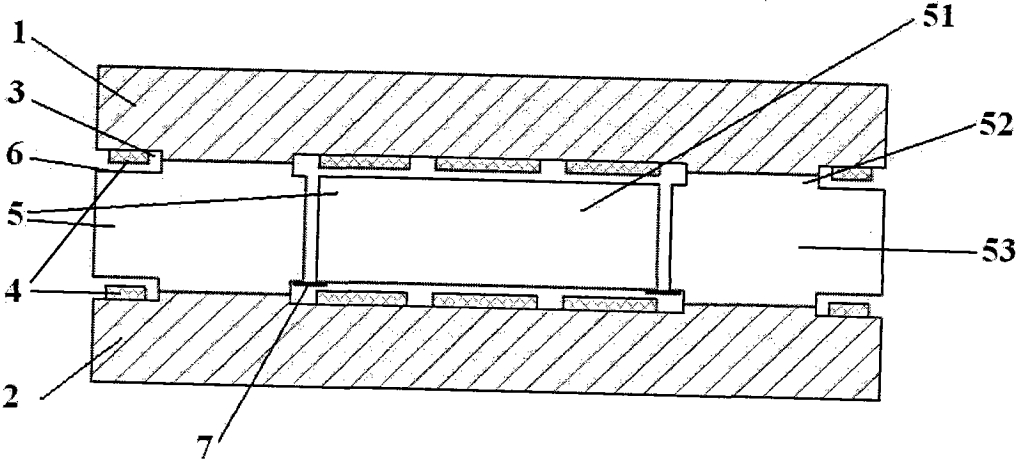


图 8