



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104792649 A

(43) 申请公布日 2015. 07. 22

(21) 申请号 201510229861. 1

(22) 申请日 2015. 05. 07

(71) 申请人 谭亮

地址 410081 湖南省长沙市岳麓区麓山路  
36 号

申请人 罗弋群 刘同

(72) 发明人 谭亮 罗弋群 刘同

(74) 专利代理机构 北京国智京通知识产权代理  
有限公司 11501

代理人 焦丽

(51) Int. Cl.

G01N 5/00(2006. 01)

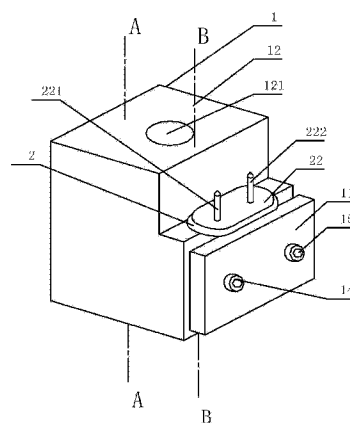
权利要求书2页 说明书6页 附图6页

### (54) 发明名称

一种单面触液式石英晶体微天平检测装置

### (57) 摘要

本发明属于传感检测技术领域,具体涉及一种单面触液式石英晶体微天平检测装置,包括检测池和石英晶片传感器,所述检测池包括封盖、盛液池、环形垫圈 I、环形垫圈 II,所述封盖中心设置有圆柱形凹槽,所述圆柱形凹槽两侧分别设置有第一封盖通孔和第二封盖通孔;所述盛液池为 L 型结构,所述盛液池上设置有进样孔和传感接触孔,所述进样孔和传感接触孔为相互垂直并连通的圆柱形通孔,所述盛液池的传感接触孔两侧分别设置有左螺纹口和右螺纹口。本发明的一种单面触液式石英晶体微天平检测装置,设计合理,结构简单,尺寸小,耗液量少,传感器可拆卸并重复使用,且稳定性能较高。



1. 一种单面触液式石英晶体微天平检测装置,包括检测池和石英晶片传感器,其特征在于,所述石英晶片传感器包括石英晶片、底架,所述石英晶片上设置有正面电极和反面电极,所述底架上设置有左电极杆和右电极杆,所述左电极杆与所述正面电极连接,所述右电极杆与所述反面电极连接;所述检测池包括封盖、盛液池、环形垫圈 I、环形垫圈 II;

所述封盖中心设置有圆柱形凹槽,所述圆柱形凹槽两侧分别设置有第一封盖通孔和第二封盖通孔;

所述盛液池为 L 型结构,所述盛液池上设置有进样孔和传感接触孔,所述进样孔和所述传感接触孔为相互垂直并连通的圆柱形通孔,所述盛液池的传感接触孔两侧分别设置有左螺纹口和右螺纹口;

所述盛液池的传感接触孔一侧与所述封盖活动连接,所述盛液池的传感接触孔与所述封盖之间设置有石英晶片,所述石英晶片与所述封盖之间设置有环形垫圈 I,所述环形垫圈 I 设置在所述封盖中心的圆柱形凹槽上,所述石英晶片与所述传感接触孔之间设置有环形垫圈 II。

2. 根据权利要求 1 所述的一种单面触液式石英晶体微天平检测装置,其特征在于,所述封盖为长度 25 ~ 35mm、宽度 10 ~ 20mm、高度 3 ~ 5mm 的长方体结构,所述第一封盖通孔和第二封盖通孔直径均为 2 ~ 4mm,所述圆柱形凹槽直径为 5 ~ 15mm、深度为 1 ~ 2mm,所述第一封盖通孔、圆柱形凹槽、第二封盖通孔的圆心在同一直线上。

3. 根据权利要求 2 所述的一种单面触液式石英晶体微天平检测装置,其特征在于,所述封盖为长度 30mm、宽度 15mm、高度 4mm 的长方体结构,所述第一封盖通孔和第二封盖通孔直径均为 3mm,所述圆柱形凹槽直径为 10mm、深度为 1mm。

4. 根据权利要求 1 所述的一种单面触液式石英晶体微天平检测装置,其特征在于,所述盛液池的进样孔直径为 5 ~ 15mm,深度为 20 ~ 30mm,所述传感接触孔直径为 4 ~ 10mm,深度为 8 ~ 20mm。

5. 根据权利要求 1 所述的一种单面触液式石英晶体微天平检测装置,其特征在于,所述盛液池的左螺纹口和右螺纹口直径均为 2 ~ 4mm,所述左螺纹口、传感接触孔、右螺纹口的圆心在同一直线上。

6. 根据权利要求 1 所述的一种单面触液式石英晶体微天平检测装置,其特征在于,所述封盖和所述盛液池通过第一螺丝杆和第二螺丝杆固定在一起,所述第一螺丝杆依次穿过相互连通的第一封盖通孔和左螺纹口,所述第二螺丝杆依次穿过相互连通的第二封盖通孔和右螺纹口,使得所述盛液池、环形垫圈 II、石英晶片、环形垫圈 I、封盖固定在一起。

7. 根据权利要求 6 所述的一种单面触液式石英晶体微天平检测装置,其特征在于,所述环形垫圈 I 和环形垫圈 II 为硅胶 O 型圈,外径为 10mm,线径为 1.9mm;所述第一螺丝杆和所述第二螺丝杆为不锈钢内六角螺丝,规格 M3×10mm。

8. 根据权利要求 1 所述的一种单面触液式石英晶体微天平检测装置,其特征在于,所述盛液池的传感接触孔设置有圆柱形的出样口,所述出样口直径大于所述传感接触孔直径,所述环形垫圈 II 设置在所述出样口上,所述石英晶片为圆形结构,所述石英晶片与所述出样口通过所述环形垫圈 II 扣合连接。

9. 根据权利要求 8 所述的一种单面触液式石英晶体微天平检测装置,其特征在于,所述出样口直径、所述封盖的圆柱形凹槽直径、所述环形垫圈 I 和环形垫圈 II 最外圆直径均

相同。

10. 根据权利要求 8 所述的一种单面触液式石英晶体微天平检测装置,其特征在于,所述出样口直径为 10mm、深度为 1mm。

## 一种单面触液式石英晶体微天平检测装置

### 技术领域

[0001] 本发明属于传感检测技术领域,具体涉及一种单面触液式石英晶体微天平检测装置。

### 背景技术

[0002] 石英晶体微天平 QCM(Quartz Crystal Microbalance),作为微质量传感器具有结构简单、成本低、灵敏度高、测量精度可以达到纳克量级的优点,被广泛应用于化学、物理、生物、医学和表面科学等领域中,用以进行气体、液体的成分分析以及微质量的测量、薄膜厚度的检测等。根据需要,还可以在金属电极上有选择地镀膜,进一步拓宽其应用。例如,若在电极表面加一层具有选择性的吸附膜,可用来探测气体的化学成分或监测化学反应的进行情况。随着生物科学的蓬勃发展,QCM 作为细胞、DNA、免疫传感器在生物领域的应用有着广阔前景,QCM 具有在线跟踪检测微观过程的变化、获取丰富的在线信息等优点,是其他方法无法比拟的。这项技术以其简便、快捷、灵敏度高、在线跟踪等优势,与其他技术结合成为微观过程与作用机理研究和微量、痕量物质的检测等方面十分有效的手段,获得了广泛应用。

[0003] 在 QCM 分析中,单面触液式检测为常见的检测方式,一般需要使用一个结构可靠的检测装置并将电极有效固定。由于该电极具有一定的尺寸(通常石英片直径 $>12\text{mm}$ ),检测装置的尺寸不能太小,一次实验需消耗几十毫升的溶液,这不利于分析成本较高的生化检测。另外,用硅橡胶固定的石英晶片电极几乎不能拆卸重复使用(石英晶片较薄,易脆裂)。因此,发明出一种载液量少、可拆卸型单面触液式 QCM 检测装置成为本领域技术人员亟待解决的技术问题。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的之一是为了解决由于石英晶体微天平检测装置的尺寸较大造成实验中溶液浪费较大、石英晶片传感器几乎不能拆卸和重复使用等问题,提供一种结构简单、耗液量少、传感器可方便拆卸、且稳定性能较高的单面触液式石英晶体微天平检测装置,实现了对 QCM 检测装置的小型化改造,并保证了检测过程的稳定性与可靠性,可完成对微量或痕量化学小分子、生物大分子等的检测。

[0005] 为达到上述技术效果,本发明的技术方案包括:

[0006] 一种单面触液式石英晶体微天平检测装置,包括检测池和石英晶片传感器,所述石英晶片传感器包括石英晶片、底架,所述石英晶片上设置有正面电极和反面电极,所述底架上设置有左电极杆和右电极杆,所述左电极杆与所述正面电极连接,所述右电极杆与所述反面电极连接;所述检测池包括封盖、盛液池、环形垫圈 I、环形垫圈 II;

[0007] 所述封盖中心设置有圆柱形凹槽,所述圆柱形凹槽两侧分别设置有第一封盖通孔和第二封盖通孔;

[0008] 所述盛液池为 L 型结构,所述盛液池上设置有进样孔和传感接触孔,所述进样孔

和所述传感接触孔为相互垂直并连通的圆柱形通孔,所述盛液池的传感接触孔两侧分别设置有左螺纹口和右螺纹口;

[0009] 所述盛液池的传感接触孔一侧与所述封盖活动连接,所述盛液池的传感接触孔与所述封盖之间设置有石英晶片,所述石英晶片与所述封盖之间设置有环形垫圈 I,所述环形垫圈 I 设置在所述封盖中心的圆柱形凹槽上,所述石英晶片与所述传感接触孔之间设置有环形垫圈 II。

[0010] 所述封盖为长度 25 ~ 35mm、宽度 10 ~ 20mm、高度 3 ~ 5mm 的长方体结构,所述第一封盖通孔和第二封盖通孔直径均为 2 ~ 4mm,所述圆柱形凹槽直径为 5 ~ 15mm、深度为 1 ~ 2mm,所述第一封盖通孔、圆柱形凹槽、第二封盖通孔的圆心在同一直线上。

[0011] 优选地,所述封盖为长度 30mm、宽度 15mm、高度 4mm 的长方体结构,所述第一封盖通孔和第二封盖通孔直径均为 3mm,所述圆柱形凹槽直径为 10mm、深度为 1mm。

[0012] 所述盛液池的进样孔直径为 5 ~ 15mm,深度为 20 ~ 30mm,所述传感接触孔直径为 4 ~ 10mm,深度为 8 ~ 20mm。

[0013] 优选地,所述盛液池的进样孔直径为 10mm,深度为 25mm,所述传感接触孔直径为 7mm,深度为 12mm。

[0014] 所述盛液池的左螺纹口和右螺纹口直径均为 2 ~ 4mm,所述左螺纹口、传感接触孔、右螺纹口的圆心在同一直线上。

[0015] 所述封盖和所述盛液池通过第一螺丝杆和第二螺丝杆固定在一起,所述第一螺丝杆依次穿过相互连通的第一封盖通孔和左螺纹口,所述第二螺丝杆依次穿过相互连通的第二封盖通孔和右螺纹口,使得所述盛液池、环形垫圈 II、石英晶片、环形垫圈 I、封盖固定在一起。

[0016] 所述环形垫圈 I 和环形垫圈 II 为硅胶 O 型圈,外径为 10mm,线径为 1.9mm;所述第一螺丝杆和所述第二螺丝杆为不锈钢内六角螺丝,规格 M310mm。

[0017] 所述盛液池的传感接触孔设置有圆柱形的出样口,所述出样口直径大于所述传感接触孔直径,所述环形垫圈 II 设置在所述出样口上,所述石英晶片为圆形结构,所述石英晶片与所述出样口通过所述环形垫圈 II 扣合连接。

[0018] 所述出样口直径、所述封盖的圆柱形凹槽直径、所述环形垫圈 I 和环形垫圈 II 最外圆直径均相同。

[0019] 所述出样口直径为 10mm、深度为 1mm。

[0020] 本发明的有益效果包括:

[0021] 1、本发明的一种单面触液式石英晶体微天平检测装置,设计合理,结构简单,尺寸小,耗液量少,传感器可拆卸并重复使用,且稳定性能较高。

[0022] 2、本发明一种单面触液式石英晶体微天平检测装置的载液体积 1.5mL,约为已报道检测装置载液体积 (50mL) 的 3%,可大大减少试剂的使用量,避免了对检测溶液造成的不必须要的浪费,实现了对 QCM 检测装置的小型化改造,并保证了检测过程的稳定性与可靠性,可完成对微量或痕量化学小分子、生物大分子等的检测。

[0023] 3、本发明的一种单面触液式石英晶体微天平检测装置,盛液池为 L 型结构,盛液池顶部设置有进样孔,侧面设置有传感接触孔,所述进样孔和传感接触孔为相互垂直并连通的圆柱形通孔,传感接触孔的一侧与封盖活动连接,传感接触孔和封盖之间设置有石英

晶片,实现了传感器方便拆卸,在用于液体检测时,将液体从进样孔加入,待检测溶液通过两个相互垂直并联通的圆柱形通孔,使得石英晶片可单面接触待检测溶液,进行微观过程的检测。

[0024] 4、本发明的一种单面触液式石英晶体微天平检测装置,在盛液池的传感接触孔前端设置有圆柱形的出样口,出样口直径大于所述传感接触孔直径,通过设置环形垫圈使石英晶片与传感接触孔密封扣合,有效地实现了石英晶片单面接触待检测溶液,保证了检测过程的稳定性与可靠性。

## 附图说明

[0025] 图 1 所示为本发明一种单面触液式石英晶体微天平检测装置立体图。

[0026] 图 2 所示为本发明沿图 1 中 A-B 线的断面图。

[0027] 图 3 所示为与本发明检测池配套使用的石英晶片传感器立体图。

[0028] 图 4 所示为本发明封盖立体图。

[0029] 图 5 所示为本发明盛液池立体图。

[0030] 图 6 所示为本发明图 5 所示盛液池俯视图。

[0031] 图 7 所示为本发明图 6 所示盛液池 A-A 截面图。

[0032] 图 8 所示为本发明图 6 所示盛液池 B-B 截面图。

[0033] 图 9 所示为本发明实施例中谐振频移 ( $\Delta f_0$ ) 随时间的变化曲线图。

[0034] 图 10 所示为本发明实施例中动态电阻差 ( $\Delta R_1$ ) 随时间的变化曲线图。

[0035] 图示:1- 检测池、11- 封盖、112- 圆柱形凹槽、113- 第一封盖通孔、114- 第二封盖通孔、12- 盛液池、121- 进样孔、122- 传感接触孔、123- 出样口、124- 左螺纹口、125- 右螺纹口、126- 左凹槽、127- 右凹槽、13- 环形垫圈 I、131- 环形垫圈 II、14- 第一螺丝杆、15- 第二螺丝杆、2- 石英晶片传感器、21- 石英晶片、211- 正面电极、212- 反面电极、22- 底架、221- 左电极杆、222- 右电极杆。

## 具体实施方式

[0036] 下文将结合具体附图详细描述本发明具体实施例。应当注意的是,下述实施例中描述的技术特征或者技术特征的组合不应当被认为是孤立的,它们可以被相互组合从而达到更好的技术效果。在下述实施例的附图中,各附图所出现的相同标号代表相同的特征或者部件,可应用于不同实施例中。

[0037] 实施例 1

[0038] 如图 1、2 和 3 所示本发明一种单面触液式石英晶体微天平检测装置结构示意图,一种单面触液式石英晶体微天平检测装置,包括检测池 1 和石英晶片传感器 2,所述检测池包括封盖 11、盛液池 12、环形垫圈 I 13、环形垫圈 II 131;

[0039] 如图 3 所示,所述石英晶片传感器 2 包括石英晶片 21 和底架 22,所述石英晶片 21 上设置有正面电极 211 和反面电极 212,所述底架上设置有左电极杆 221 和右电极杆 222,所述左电极杆 221 和右电极杆 222 通过金属丝与导电胶分别连接所述正面电极 211 和反面电极 212;

[0040] 如图 4 所示,所述封盖 11 中心设置有圆柱形凹槽 112,所述圆柱形凹槽 112 两侧分

别设置有第一封盖通孔 113 和第二封盖通孔 114；

[0041] 如图 5、6、7 和 8 所示，所述盛液池 12 为 L 型结构，所述盛液池 12 上设置有进样孔 121 和传感接触孔 122，所述进样孔 121 和传感接触孔 122 为相互垂直并连通的圆柱形通孔，所述盛液池 12 的传感接触孔 122 两侧分别设置有左螺纹口 124 和右螺纹口 125；

[0042] 如图 2 和图 5 所示，所述盛液池 12 的传感接触孔 122 一侧与所述封盖 11 活动连接，所述盛液池 12 的传感接触孔 122 与所述封盖 11 之间设置有石英晶片 21，所述石英晶片 21 与所述传感接触孔 122 之间设置有环形垫圈 II131，所述石英晶片 21 与所述封盖 11 之间设置有环形垫圈 I13，所述环形垫圈 I13 设置在所述封盖 11 的圆柱形凹槽 112 上。

[0043] 如图 1、4 和 5 所示，所述封盖 11 和所述盛液池 12 通过第一螺丝杆 14 和第二螺丝杆 15 固定在一起，所述第一螺丝杆 14 依次穿过相互连通的第一封盖通孔 113 和左螺纹口 124，所述第二螺丝杆 15 依次穿过相互连通的第二封盖通孔 114 和右螺纹口 125，使得所述盛液池 12、环形垫圈 II131、石英晶片 21、环形垫圈 I13、封盖 11 固定在一起。

[0044] 所述封盖 11 为长度 25 ~ 35mm、宽度 10 ~ 20mm、高度 3 ~ 5mm 的长方体结构，所述第一封盖通孔 113 和第二封盖通孔 114 直径均为 2 ~ 4mm，所述圆柱形凹槽 112 直径为 5 ~ 15mm、深度为 1 ~ 2mm，所述第一封盖通孔 113、圆柱形凹槽 112、第二封盖通孔 114 的圆心在同一直线上。

[0045] 优选地，所述封盖 11 为长度 30mm、宽度 15mm、高度 4mm 的长方体结构，所述第一封盖通孔 113 和第二封盖通孔 114 直径为 3mm，所述圆柱形凹槽 112 直径为 10mm、深度为 1mm。

[0046] 如图 1 和图 5 ~ 8 所示，所述盛液池 12 的传感接触孔 122 设置有圆柱形的出样口 123，所述出样口 123 直径大于所述传感接触孔 122 直径，所述石英晶片 21 为圆形结构，所述石英晶片 21 通过环形垫圈 II131 与所述出样口 123 密封扣合，有效的实现了石英晶体 21 单面接触待检测溶液，保证了检测过程的稳定性与可靠性。所述出样口 123 所在的侧面设置有左凹槽 126 和右凹槽 127，所述底架 22 上设置有左电极杆 221 与右电极杆 222，分别连接石英晶片 21 两面的正面电极 211 与反面电极 212，所述左电极杆 221 和右电极杆 222 的下段部分比石英晶片 21 厚，所述左凹槽 126 和右凹槽 127 用来分别容纳左电极杆 221 和右电极杆 222 的下段部分，避免本发明盛液池 12 中的待测液漏出，保证了盛液池 12—环形垫圈 II131—石英晶片 21—环形垫圈 I13—封盖 11 的密封扣合。

[0047] 所述出样口 123 直径为 10mm、深度为 1mm。

[0048] 所述出样口 123 直径、所述封盖的圆柱形凹槽 112 直径、所述环形垫圈 II131 和环形垫圈 I13 的最外圆直径均相同。

[0049] 所述盛液池 12 的进样孔 121 直径为 5 ~ 15mm，深度为 20 ~ 30mm，所述传感接触孔 122 直径为 4 ~ 10mm，深度为 8 ~ 20mm。

[0050] 优选地，所述盛液池 12 的进样孔 121 直径为 10mm，深度为 25mm，所述传感接触孔 122 直径为 7mm，深度为 12mm。

[0051] 所述盛液池 12 的左螺纹口 124 和右螺纹口 125 直径均为 2 ~ 4mm，所述左螺纹口 124、出样口 123、右螺纹口 125 的的圆心在同一直线上。

[0052] 所述环形垫圈 I 和环形垫圈 II 为硅胶 O 型圈，外径 10mm，线径 1.9mm；所述第一螺丝杆 14 和所述第二螺丝杆 15 为不锈钢内六角螺丝，规格 M3×10mm。

[0053] 在用于液体检测时，将液体从进样孔 121 加入，待检测溶液浸没传感接触孔 122，

通过出样口 123 石英晶体 21 可单面接触待检测溶液,进行微观反应过程的检测。

[0054] 本发明的一种单面触液式石英晶体微天平检测装置,设计合理,结构简单,尺寸小,耗液量少,传感器可拆卸并重复使用,且稳定性能较高,避免了对检测溶液造成的不必须浪费,实现了对 QCM 检测装置的小型化改造,可完成对微量或痕量化学小分子、生物大分子等的检测,并保证了检测过程的稳定性与可靠性

[0055] 实施例 2 利用实施例 1 所述的检测装置进行实时监测牛血清白蛋白 (BSA) 在 QCM 裸金电极表面的吸附及  $\text{Cu}^{2+}$  的键合与沉淀反应

[0056] 利用所述发明进行实时监测牛血清白蛋白 (BSA) 在 QCM 裸金电极表面的吸附及  $\text{Cu}^{2+}$  的键合与沉淀反应。依次将所述环形垫圈 II131、石英晶片 21、环形垫圈 I13、封盖 11 安装在所述盛液池 12 的传感接触孔 122 的出样口 123 一侧,将所述第一螺丝杆 14 和第二螺丝杆 15 分别穿过所述第一封盖通孔 113 与第二封盖通孔 114,旋入所述盛液池 12 上左螺纹口 124 和右螺纹口 125 内,保证所述石英晶片 21 的密封扣合。通过所述盛液池 12 上的进样孔 121 慢慢注入 1.4mL pH 7.0PBS (磷酸缓冲溶液),使溶液浸没所述传感接触孔 122,所述石英晶片 21 上正面电极 211 完全与溶液接触,不留气泡。往所述进样孔 121 加入磁力搅拌子,将组装好的所述单面接触液式石英晶体微天平检测装置设置在磁力搅拌器上,接通电源,通过磁力搅拌子的旋转均匀搅拌溶液。打开 QCM 的电源,将 QCM 连接线的液相端和气相端分别接在所述左电极杆 221 与右电极杆 222 上,打开计算机内的 QCM 运行程序,实时监测谐振频移 ( $\Delta f_0$ ) 与动态电阻差 ( $\Delta R_1$ ) 随时间的变化。待  $\Delta f_0$  与  $\Delta R_1$  数值趋于稳定,通过微量注射器往所述进样孔 121 小心注入  $100\ \mu\text{L}\ 3\text{mg}\times\text{mL}^{-1}$  的 BSA 水溶液 (BSA 的终浓度为  $200\ \mu\text{g}\times\text{mL}^{-1}$ ),实时监测 BSA 在 QCM 裸金电极表面吸附过程中  $\Delta f_0$  与  $\Delta R_1$  的变化。从加入 BSA 的瞬间开始计时,37 分钟后 (此时  $\Delta f_0$  与  $\Delta R_1$  的变化基本趋向稳定),通过微量注射器往所述进样孔 121 小心注入  $100\ \mu\text{L}\ 0.05\text{mol}\times\text{L}^{-1}$  的  $\text{CuSO}_4$  水溶液 ( $\text{Cu}^{2+}$  终浓度为  $3\text{mmol}\times\text{L}^{-1}$ ),实时监测加入  $\text{Cu}^{2+}$  后溶液  $\Delta f_0$  与  $\Delta R_1$  的变化。

[0057] 向本发明实施例 1 所述的单面触液式石英晶体微天平检测装置中,从进样口加入 BSA,测定谐振频移 ( $\Delta f_0$ ) 随时间的变化及动态电阻差 ( $\Delta R_1$ ) 随时间的变化,并制定谐振频移 ( $\Delta f_0$ ) 随时间的变化曲线图及动态电阻差 ( $\Delta R_1$ ) 随时间的变化曲线图,结果见图 9 和图 10。

[0058] 由图 9 和图 10 所示的数据可知,加入 BSA 后,谐振频移 ( $\Delta f_0$ ) 随时间的增长迅速下降,5min 后曲线出现拐点,  $\Delta f_0$  的下降程度放缓并趋于平台,而动态电阻的变化差 ( $\Delta R_1$ ) 几乎为零,说明频移信号是由 BSA 吸附引起的质量效应所控制的。往溶液中继续加入  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\Delta f_0$  值继续下降,7min 后下降程度放缓;与此对应的是,  $\Delta R_1$  值经历了一个迅速上升后逐渐趋于平台的过程。加入  $\text{Cu}^{2+}$  后  $\Delta f_0$  约为  $-96\text{Hz}$ ,  $\Delta R_1$  约为  $2.5$ ,  $-\Delta f_0/\Delta R_1 = 38.4\text{Hz}\times\Omega^{-1}$ 。  $\Delta R_1$  的上升表明溶液界面粘 - 密度的变化,频率下降是由于质量效应和粘 - 密度效应共同作用的结果。对于一个处在液相中的  $9\text{MHz}$  晶体,粘密度变化导致的  $-\Delta f_0/\Delta R_1$  斜率的理论值应为  $10.66\text{Hz}\times\Omega^{-1}$ 。上述实验结果表明,加入的  $\text{Cu}^{2+}$  能与 BSA 发生键合产生沉淀,大量的  $\text{Cu}^{2+}$ -BSA 复合物粘附于电极表面,质量效应是主导压电信号变化的主要因素。由此可见,本发明的一种单面触液式石英晶体微天平检测装置,可有效实现 QCM 的液相检测,检测灵敏度较高,实现了对 QCM 检测装置的小型化改造,避免了对检测溶液造成的不必须浪费。

[0059] 上述详细说明是针对发明的可行实施例的具体说明,该实施例并非用以限制本发



明的专利范围,凡未脱离本发明的等效实施或变更,均应当包含于本发明的专利范围内。

[0060] 另外,本领域技术人员还可在本发明权利要求公开的范围和精神内做其它形式和细节上的各种修改、添加和替换。当然,这些依据本发明精神所做的各种修改、添加和替换等变化,都应包含在本发明所要求保护的范围之内。

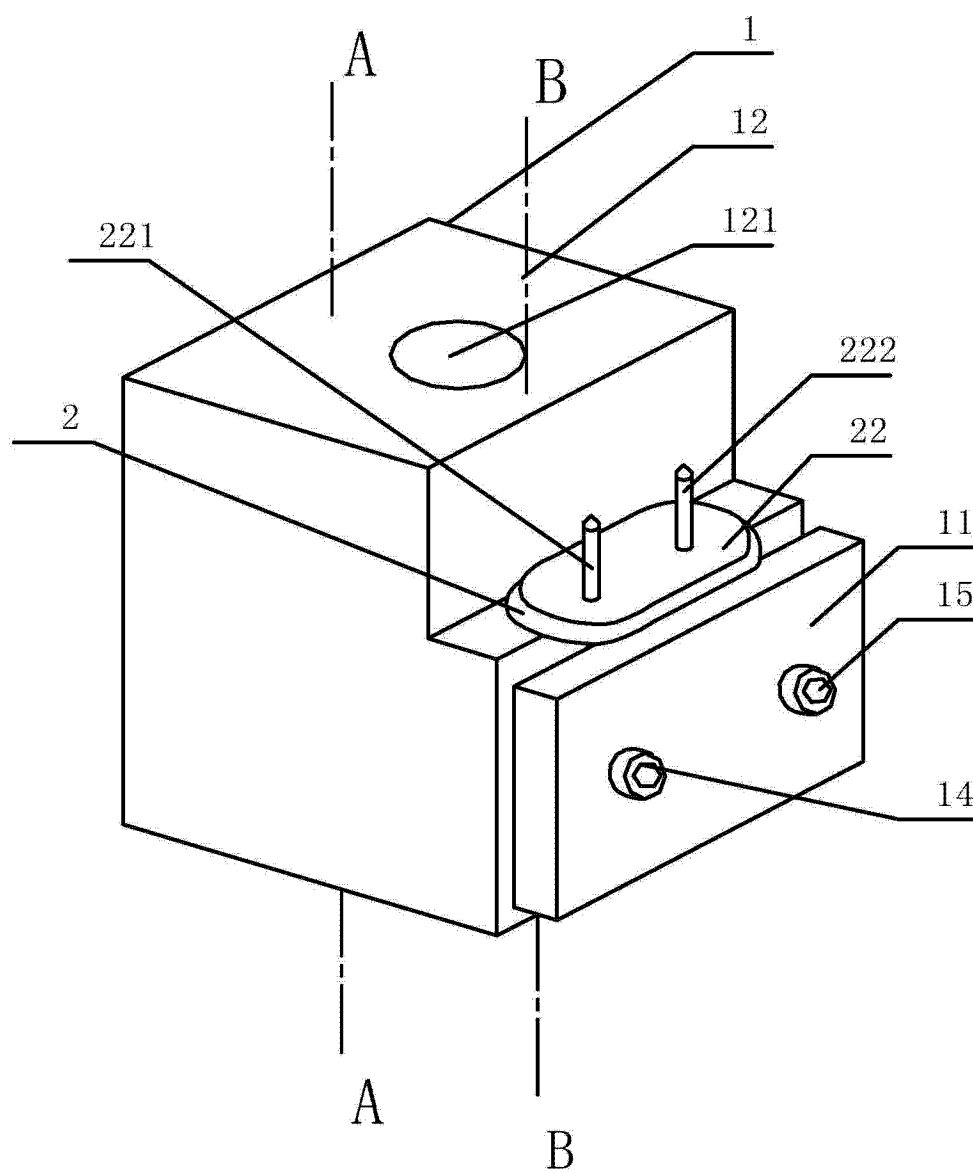


图 1

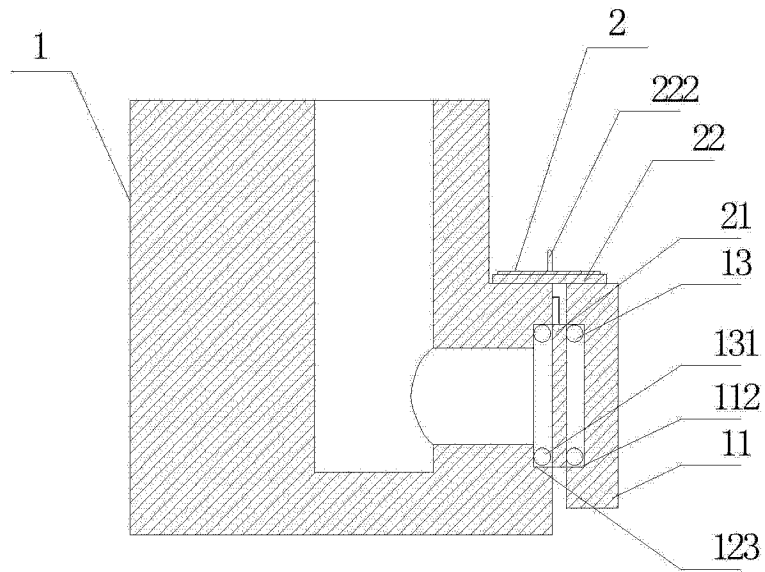


图 2

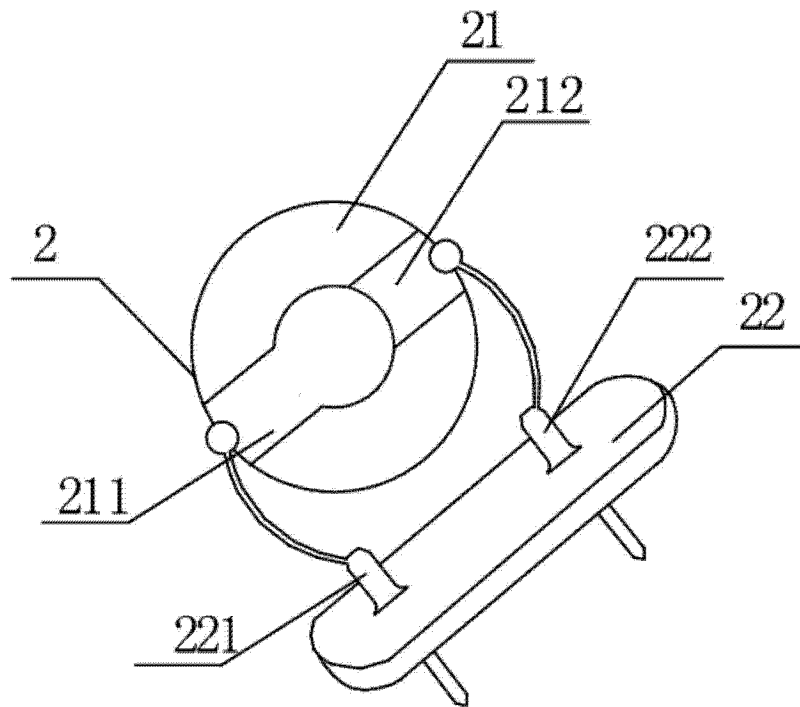


图 3

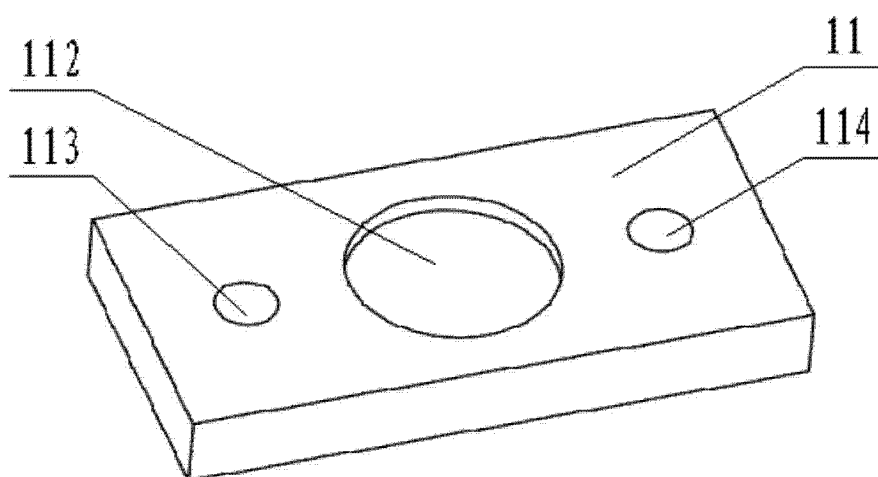


图 4

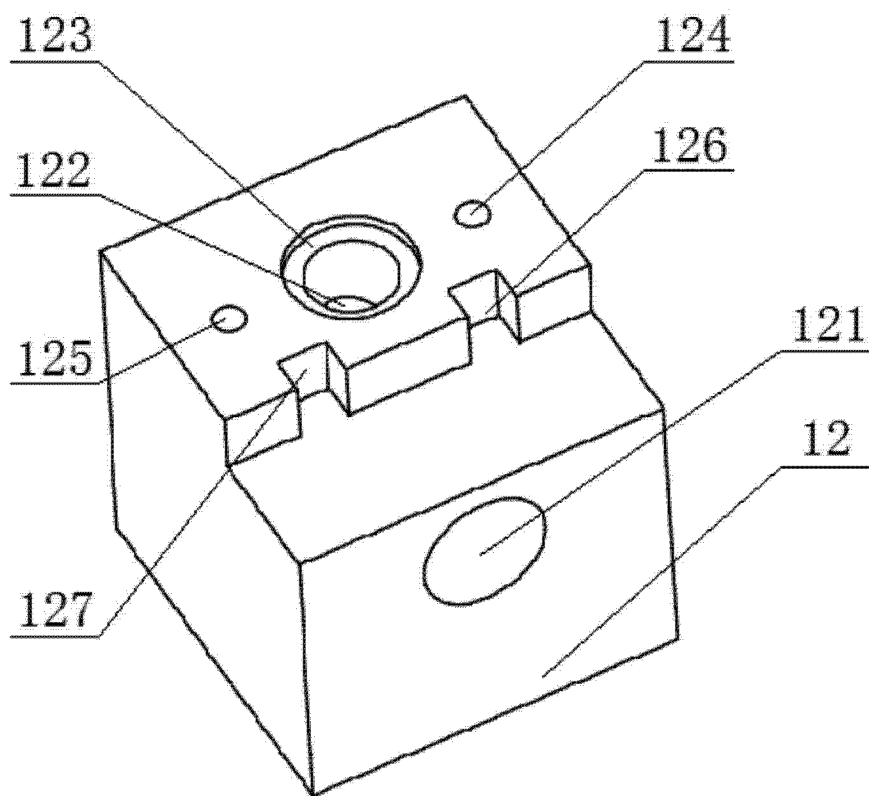


图 5

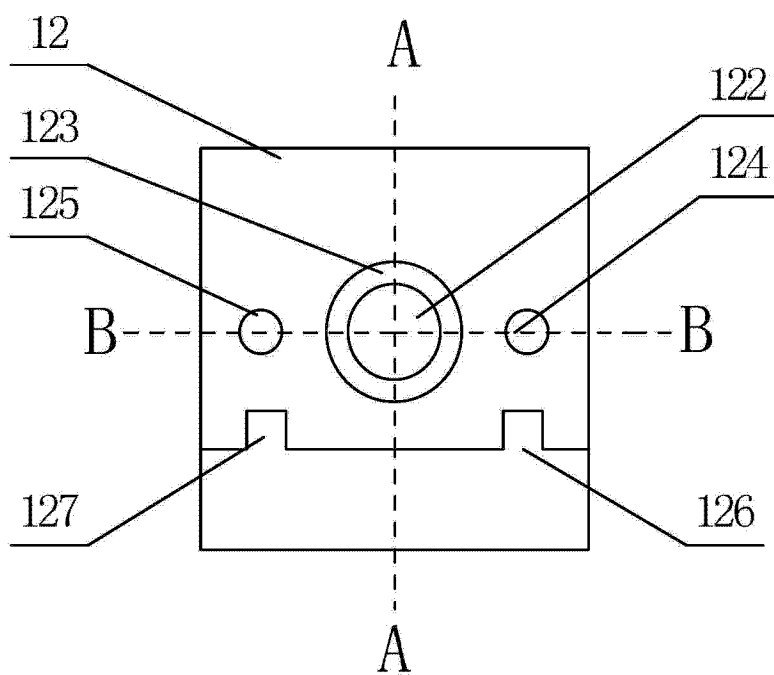


图 6

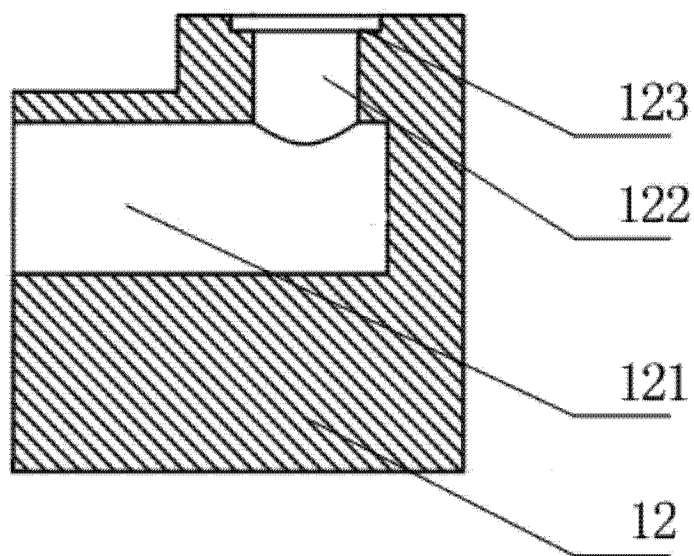


图 7

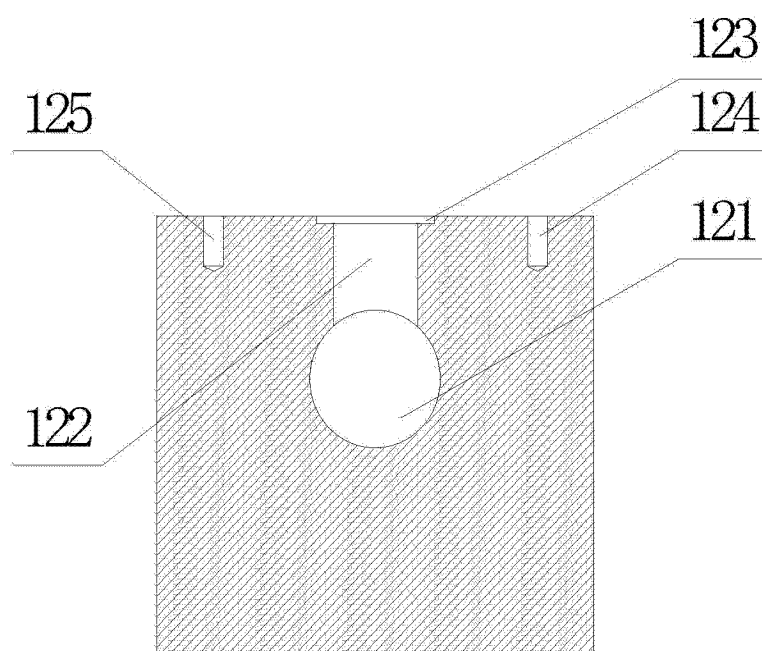


图 8

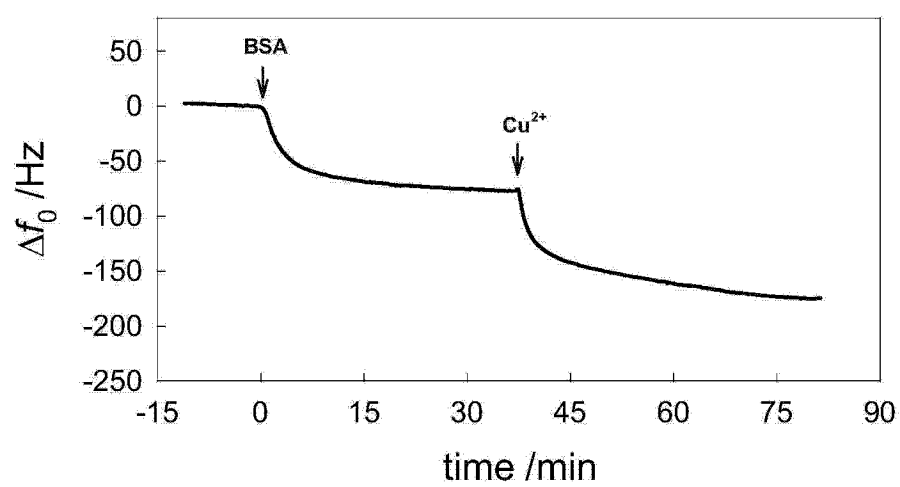


图 9

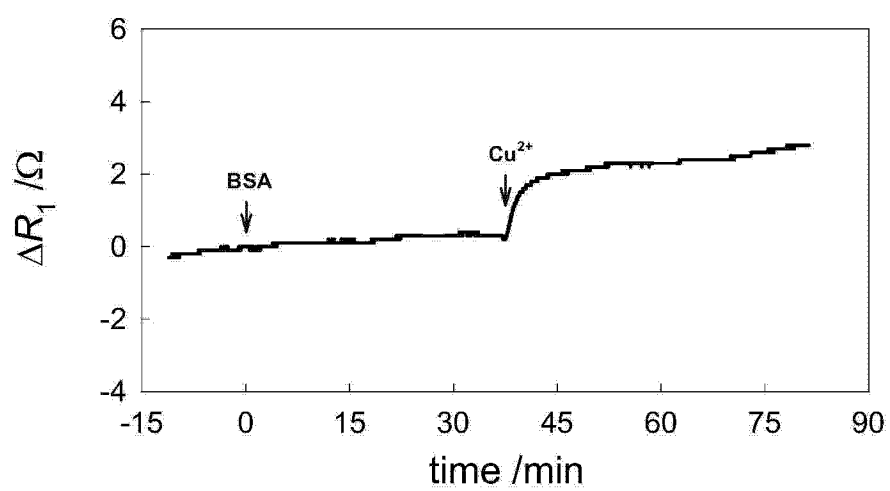


图 10