



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108802433 B

(45) 授权公告日 2020.12.22

(21) 申请号 201810215118.4

(22) 申请日 2018.03.15

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 108802433 A

(43) 申请公布日 2018.11.13

(73) 专利权人 中国科学院苏州纳米技术与纳米
仿生研究所

地址 215125 江苏省苏州市工业园区独墅
湖高教区若水路398号

专利权人 中国科学院大学

(72) 发明人 谢宇辰 徐耿钊 刘争晖 钟海舰
宋文涛 陈科蓓 张春玉 徐科

(74) 专利代理机构 上海翼胜专利商标事务所
(普通合伙) 31218

代理人 翟羽

(51) Int.Cl.

G01Q 60/24 (2010.01)

G01Q 60/38 (2010.01)

(56) 对比文件

CN 104155477 A, 2014.11.19

CN 104236748 A, 2014.12.24

CN 101120237 A, 2008.02.06

CN 104713670 A, 2015.06.17

CN 102662111 A, 2012.09.12

CN 201837405 U, 2011.05.18

CN 201535702 U, 2010.07.28

EP 3232192 A1, 2017.10.18

JP 2004093574 A, 2004.03.25

JP 2002328083 A, 2002.11.15

US 2009114024 A1, 2009.05.07

陈旂旒 等. “原子力声显微镜的原理及应
用”.《声学技术》.2014,第33卷(第6期),

V. Snitka et al.. “Ultrasonic surface
vibration investigation by atomic force
microscopy”.《Ultrasonics》.1998,第36卷

审查员 黄俞

权利要求书2页 说明书5页 附图2页

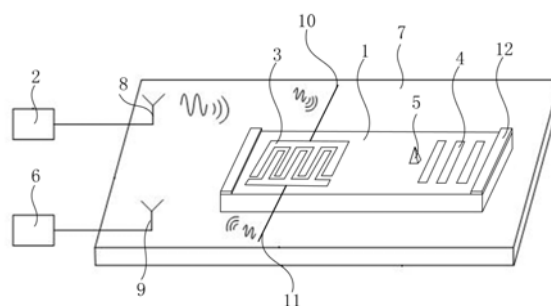
(54) 发明名称

基于声表面波的原子力显微镜探针、制备方法
及表征方法

(57) 摘要

本发明提供一种基于声表面波的原子力显
微镜探针、制备方法及表征方法,原子力显微镜
探针包括压电基底;信号发生器用于产生激励信
号;输入输出换能器设置在压电基底上,输入输
出换能器接收激励信号,并将激励信号转换为声
表面波信号;反射器设置在压电基底上,并与输
入输出换能器相对设置,反射器反射输入输出
换能器输出的声表面波信号,输入输出换能器与
反射器形成声表面波传播路径,输入输出换能
器接收反射器反射的声表面波信号,并转换为
电磁信号;针尖设置在压电基底上,并位于声
表面波传播路径上,声表面波带动所述针尖震
动;信号收集器收集所述电磁信号。优点是,在
不引入激光检测针尖振动信号前提下,可实现
对材料表面形

貌高空间分辨测量。



1. 一种基于声表面波的原子力显微镜探针,其特征在于,包括:
 - 一压电基底;
 - 一信号发生器,用于产生激励信号;
 - 一输入输出换能器,设置在所述压电基底上,所述输入输出换能器接收所述激励信号,并将所述激励信号转换为声表面波信号;
 - 一反射器,设置在所述压电基底上,并与所述输入输出换能器相对设置,所述反射器反射输入输出换能器输出的声表面波信号,所述输入输出换能器与所述反射器之间形成一声表面波传播路径,所述输入输出换能器接收所述反射器反射的声表面波信号,并将其转换为电磁信号;
 - 一针尖,设置在所述压电基底上,并位于所述声表面波传播路径上,声表面波带动所述针尖震动;
 - 一信号收集器,收集所述电磁信号。
2. 根据权利要求1所述的基于声表面波的原子力显微镜探针,其特征在于,所述原子力显微镜探针还包括一底座,所述压电基底设置在所述底座上。
3. 根据权利要求1所述的基于声表面波的原子力显微镜探针,其特征在于,所述原子力显微镜探针还包括一与所述信号发生器连接的第一天线,所述信号发生器产生的激励信号通过所述第一天线传输。
4. 根据权利要求3所述的基于声表面波的原子力显微镜探针,其特征在于,所述原子力显微镜探针还包括一与所述信号收集器连接的第二天线,所述第二天线接收所述输入输出换能器传输的电磁信号。
5. 根据权利要求1所述的基于声表面波的原子力显微镜探针,其特征在于,所述输入输出换能器分别与一第三天线及一第四天线连接,所述第三天线接收所述激励信号,所述第四天线发射所述电磁信号。
6. 根据权利要求1所述的基于声表面波的原子力显微镜探针,其特征在于,在所述压电基底上,在所述输入输出换能器及所述反射器的外侧分别设置有吸声挡条。
7. 根据权利要求1所述的基于声表面波的原子力显微镜探针,其特征在于,所述反射器为反射栅电极。
8. 根据权利要求1所述的基于声表面波的原子力显微镜探针,其特征在于,所述针尖的曲率半径小于10nm,高度小于1mm。
9. 一种权利要求1所述的原子力显微镜探针的制备方法,其特征在于,所述方法包括如下步骤:
 - 提供一压电基底;
 - 在所述压电基底上形成输入输出换能器及反射器,所述输入输出换能器与所述反射器之间形成一声表面波传播路径;
 - 将一针尖固定在所述压电基底上,且所述针尖位于所述声表面波传播路径上;
 - 提供一信号发生器,用于产生激励信号,所述输入输出换能器接收所述激励信号,并将所述激励信号转换为声表面波信号,所述反射器反射输入输出换能器输出的声表面波信号,所述输入输出换能器接收所述反射器反射的声表面波信号,并将其转换为电磁信号;
 - 提供一信号收集器,收集所述电磁信号。

10. 根据权利要求9所述的制备方法, 其特征在于, 使用聚焦离子束刻蚀手段将金刚石材料制成针尖。

11. 根据权利要求9所述的制备方法, 其特征在于, 在所述压电基底上, 在所述输入输出换能器及所述反射器的外侧分别涂布吸声材料, 形成吸声挡条。

12. 一种采用权利要求1所述的原子力显微镜探针表征样品表面形貌的方法, 其特征在于, 所述方法包括: 在声表面波传播路径上, 声表面波带动所述针尖振动, 针尖与待检测样品表面的分子间作用力会引起输入输出换能器接收到的声表面波信号频率和相位的变化, 使得所述信号收集器收集的电磁信号发生变化, 从而实现对于样品表面形貌的表征。

基于声表面波的原子力显微镜探针、制备方法及表征方法

技术领域

[0001] 本发明涉及原子力显微镜检测领域,尤其涉及一种基于声表面波的原子力显微镜探针、制备方法及表征方法。

背景技术

[0002] 随着纳米科学的发展和纳米技术的广泛应用,扫描探针显微镜在其中所扮演的角色越来越重要,扫描探针显微镜可以对样品表面进行三维的高分辨率、实时、实空间的形貌再现,已经成为人们研究纳米世界不可缺少的重要手段。

[0003] 原子力显微镜作为扫描探针显微镜家族的重要分支,克服了扫描隧道显微镜对于导电样品的限制,可以对绝缘样品表面进行成像。其中非接触的轻敲模式的原子力显微镜,以针尖振动的振幅或频率的变化来探测针尖与样品间原子力的相互作用,进而实现对针尖样品间距离的稳定控制,因为其不与样品直接接触、容易避免划伤样品,获得了广泛应用。

[0004] 当前主流的轻敲模式原子力显微镜的探针或以硅悬臂或以石英晶振音叉的一臂作为传感器,均以其整体的体振动来反映针尖受力的情况。其中硅悬臂探针采用光杠杆的方式检测针尖与表面分子间作用力的变化,在测量过程中会引入光和热,使其在低温和超高真空测试时受到限制,同时硅悬臂探针的弹性系数低、工作振幅较大(可达到几十甚至百纳米),使得其空间分辨能力无法与扫描隧道显微镜相比拟。近年来发展起来的qPlus探针技术,使用石英音叉粘接针尖代替硅悬臂探针,借助石英材料高弹性常数的特点,使得针尖可以在亚埃振幅下稳定工作,实现了对材料表面亚分子级分辨,甚至亚原子级分辨率,但该探针工作时需要很小的激振电压(往往不超过1 mV)激励音叉振动才能获得小的针尖振幅,非常容易受到外界的电磁干扰,同时音叉自身及线路中的寄生电容也会影响到测量结果。此外qPlus探针在制备过程中多用到手工制备,制备过程中的针尖和音叉粘接等人为因素对最终制备好的探针的品质影响较大。

[0005] 综上所述,进一步提高这种原子力显微镜在真空、低温等各种条件下使用的性能和易用性,需要研制新型的探针,既不用借助激光杠杆探测针尖振动,又能稳定维持针尖以很小的振幅和高品质因子振动,并减少各种外界干扰和人为因素的影响。

[0006] 声表面波(surface acoustic wave, SAW)是一种能量局域在固体表面传播的机械波。声表面波由于能量主要集中在固体材料表面一个波长的深度范围内,因此对固体表面性质的变化非常敏感;例如当声表面波传播路径的固体表面压力发生改变时,声表面波的传播速度、衰减率就会发生变化,反映在声表面波器件的工作频率、幅值和相位的变化。因此,声表面波器件也广泛应用于高灵敏度传感器。

发明内容

[0007] 本发明所要解决的技术问题是,提供一种基于声表面波的原子力显微镜探针、制备方法及表征方法,其能够在不引入激光检测针尖振动信号的前提下,可用于实现对于材料表面形貌的高空间分辨测量,并可用于极端环境的测试。

[0008] 为了解决上述问题,本发明提供了一种基于声表面波的原子力显微镜探针,包括:一压电基底;一信号发生器,用于产生激励信号;一输入输出换能器,设置在所述压电基底上,所述输入输出换能器接收所述激励信号,并将所述激励信号转换为声表面波信号;一反射器,设置在所述压电基底上,并与所述输入输出换能器相对设置,所述反射器反射输入输出换能器输出的声表面波信号,所述输入输出换能器与所述反射器之间形成一声表面波传播路径,所述输入输出换能器接收所述反射器反射的声表面波信号,并将其转换为电磁信号;一针尖,设置在所述压电基底上,并位于所述声表面波传播路径上,声表面波带动所述针尖震动;一信号收集器,收集所述电磁信号。

[0009] 在一实施例中,所述原子力显微镜探针还包括一底座,所述压电基底设置在所述底座上。

[0010] 在一实施例中,所述原子力显微镜探针还包括一与所述信号发生器连接的第一天线,所述信号发生器产生的激励信号通过所述第一天线传输。

[0011] 在一实施例中,所述原子力显微镜探针还包括一与所述信号收集器连接的第二天线,所述第二天线接收所述输入输出换能器传输的电磁信号。

[0012] 在一实施例中,所述输入输出换能器分别与一第三天线及一第四天线连接,所述第三天线接收所述激励信号,所述第四天线发射所述电磁信号。

[0013] 在一实施例中,在所述压电基底上,在所述输入输出换能器及所述反射器的外侧分别设置有吸声挡条。

[0014] 在一实施例中,所述发射器为反射栅电极。

[0015] 在一实施例中,所述针尖的曲率半径小于10nm,高度小于1mm。

[0016] 本发明还提供一种上述原子力显微镜探针的制备方法,所述方法包括如下步骤:提供一压电基底;在所述压电基底上形成输入输出换能器及反射器,所述输入输出换能器与所述反射器之间形成一声表面波传播路径;将一针尖固定在所述压电基底上,且所述针尖位于所述声表面波传播路径上;提供一信号发生器,用于产生激励信号,所述输入输出换能器接收所述激励信号,并将所述激励信号转换为声表面波信号,所述反射器反射输入输出换能器输出的声表面波信号,所述输入输出换能器接收所述反射器反射的声表面波信号,并将其转换为电磁信号;提供一信号收集器,收集所述电磁信号。

[0017] 在一实施例中,使用聚焦离子束刻蚀手段将金刚石材料制成针尖。

[0018] 在一实施例中,在所述压电基底上,在所述输入输出换能器及所述反射器的外侧分别涂布吸声材料,形成吸声挡条。

[0019] 本发明还提供一种采用上述的原子力显微镜探针表征样品表面形貌的方法,所述方法是:在声表面波传播路径上,声表面波带动所述针尖振动,针尖与待检测样品表面的分子间作用力会引起输入输出换能器接收到的声表面波信号频率和相位的变化,使得所述信号收集器收集的电磁信号发生变化,从而实现对于样品表面形貌的表征。

[0020] 本发明的优点在于,该探针采用无源检测的方式获得针尖的振动信号,不需要引入传统硅悬臂探针的光杠杆结构,适用于极端环境的测试;整个探针的制备流程更系统规范,避免了人为因素对于制备探针品质的影响。

附图说明

- [0021] 图1是基于声表面波的原子力显微镜探针的一个实施例的结构示意图；
[0022] 图2是基于声表面波的原子力显微镜探针的工作示意图；
[0023] 图3A是现有的原子力显微镜探针体振动模式示意图；
[0024] 图3B是本发明原子力显微镜探针声表面波微区振动模式示意图。

具体实施方式

[0025] 下面结合附图对本发明提供的基于声表面波的原子力显微镜探针、制备方法及表征方法的具体实施方式做详细说明。

[0026] 图1是基于声表面波的原子力显微镜探针的一个实施例的结构示意图。请参阅图1,所述原子力显微镜探针包括一压电基底1、一信号发生器2、一输入输出换能器3、一反射器4、一针尖5及一信号收集器6。

[0027] 所述压电基底1能够产生压电效应及逆压电效应。所述压电基底1选自于铌酸锂、石英晶体、III-V族化合物、II-VI族化合物以及其他压电材料中的一种或几种。进一步,所述原子力显微镜探针还包括一底座7,所述压电基底1设置在所述底座7上。

[0028] 所述信号发生器2用于产生激励信号。所述信号发生器2包括但不限于电磁脉冲振荡器,所述激励信号包括但不限于电磁信号。所述信号发生器2可以设置在所述底座7上,也可以单独设置。进一步,所述原子力显微镜探针还包括一与所述信号发生器2连接的第一天线8。所述信号发生器2产生的激励信号通过所述第一天线8传输。其中,所述第一天线8可设置在所述底座7上。

[0029] 所述输入输出换能器3设置在所述压电基底1上。所述输入输出换能器3接收所述激励信号,并将所述激励信号转换为声表面波信号。所述输入输出换能器3包括但不限于叉指换能器。所述输入输出换能器能够利用逆压电效应将激励信号转换为声表面波信号,同时也能够利用压电效应将声表面波信号转换为电磁信号。

[0030] 所述反射器4设置在所述压电基底1上,并与所述输入输出换能器3相对设置。所述反射器4反射输入输出换能器3输出的声表面波信号。其中,所述反射器4可以为反射栅电极。所述输入输出换能器3与所述反射器4之间形成一声表面波传播路径。所述输入输出换能器3接收所述反射器4反射的声表面波信号,并将其转换为电磁信号。

[0031] 所述针尖5设置在所述压电基底1上,并位于所述声表面波传播路径上。当在声表面波传播路径上有声表面波传输时,所述针尖5被该声表面波带动震动。在采用该原子力显微镜探针对样品形貌进行采集时,所述针尖5朝向该样品。针尖与样品表面会产生分子间作用力,针尖与样品表面的分子间作用力会引起接收信号频率和相位的变化,从而实现对于材料表面形貌的表征。所述针尖5包括但不限于通过将钨丝和铂铱丝等金属电化学腐蚀获得的针尖、通过机械手段碾碎金刚石,氮化镓等材料获得的尖锐颗粒针尖及使用聚焦离子束(Focused Ion Beam, FIB)手段制成的探针。优选地,所述针尖5的曲率半径小于10nm,高度小于1mm,其优点在于,小曲率半径保证针尖足够尖锐,提高空间分辨能力,长度较短保证针尖在振动时呈垂直振动,不会引入其他振动模式。

[0032] 所述信号收集器6收集所述电磁信号。所述信号收集器6包括但不限于信号读写器。所述信号收集器6可以设置在所述底座7上,也可以单独设置。被所述反射器4反射

回来的声表面波被输入输出换能器3转换为电磁信号,该电磁信号被所述信号收集器6收集并进行处理。进一步,所述原子力显微镜探针还包括一与所述信号收集器6连接的第二天线9。所述第二天线9接收所述输入输出换能器传输的电磁信号,并将其传输给信号收集器6。其中,所述第二天线9可设置在所述底座7上。

[0033] 进一步,所述输入输出换能器3分别与一第三天线10及一第四天线11连接,所述第三天线10接收所述信号发生器2发射的激励信号,并通过输入输出换能器3将该激励信号转换为声表面波信号。被所述反射器4反射回来的声表面波被输入输出换能器3转换为电磁信号,所述第四天线11发射所述电磁信号,所述信号收集器6收集所述第四天线11发射的电磁信号。

[0034] 进一步,在所述压电基底1上,在所述输入输出换能器3及所述反射器4的外侧分别设置有吸声挡条12。所述吸声挡条12可由聚酰亚胺制成,其能够对声信号传播过程中产生的一些虚假信号进行抑制。

[0035] 进一步,可以采用高弹性常数压电材料作为压电基底,使得原子力显微镜探针的品质因子很高,振幅很小,灵敏度高,大大提高了针尖对于表面测量的分辨率。

[0036] 图2是基于声表面波的原子力显微镜探针的工作示意图。请参阅图1及图2。采用上述的原子力显微镜探针表征样品表面形貌的方法是:

[0037] (1)将针尖5朝向待检测样品13;

[0038] (2)所述信号发生器2产生激励信号;

[0039] (3)所述输入输出换能器3将该激励信号转换为声表面波信号,所述声表面波信号沿所述压电基底1传输向反射器4;

[0040] (4)反射器4反射该声表面波信号,输入输出换能器3接收反射器4反射回的声表面波信号,并将其转换为电磁信号;

[0041] (5)所述信号收集器6收集电磁信号,在声表面波传播路径上,声表面波带动针尖5振动,针尖5与待检测样品13表面的分子间作用力会引起输入输出换能器3接收到的声表面波信号频率和相位的变化,使得所述信号收集器6收集的电磁信号发生变化。针尖5与待测样品13表面分子间作用力的力梯度关系反映了针尖样品间的距离,而力梯度与测量过程产生的偏移频率呈对应关系,信号收集器6收集到频率变化的电磁信号反映了样品表面的起伏,从而实现对于样品表面形貌的表征。

[0042] 图3A是现有的原子力显微镜探针体振动模式示意图,探针由悬梁臂和针尖组成,工作时悬梁臂带动针尖振动,图3B是本发明原子力显微镜探针声表面波微区振动模式示意图,针尖安装于压电基底表面,工作时通过压电基底的声表面波带动针尖在小范围的微区振动,从图3A及图3B中可以看出,在原子力显微镜探针体振动模式中,探针通过悬臂梁的振动而带动其振动,该状态下的振幅范围在几十至百纳米,使得其空间分辨能力有限,在本发明原子力显微镜探针声表面波微区振动模式中,探针仅需依靠声表面波带动其振动,声表面波带动针尖振动的振幅可控至亚埃量级,有效提高探针空间分辨能力。

[0043] 本发明原子力显微镜探针不依靠器件整体的体振动,而仅依靠振动局域于表面附近的声表面波带动其振动,通过声表面波器件的高灵敏度感知针尖与样品之间的作用力,最终实现表面测量,这样制成的探针不会引入激光的影响,使用无源探测信号的方式使得该探针可适用于极端环境的测试,制备过程中也避免了很多人为因素对于探针品质的影

响,同时可以选择弹性常数更高的材料作为压电基底,使得制成的探针品质因子更高,进一步提高探针的空间分辨率。

[0044] 本发明还提供一种上述原子力显微镜探针的制备方法,所述方法包括如下步骤。

[0045] 提供一压电基底1。

[0046] 在所述压电基底1上形成输入输出换能器3及反射器4。所述输入输出换能器3与所述反射器4之间形成一声表面波传播路径。其中,形成输入输出换能器3及反射器4的方法包括但不限于掩膜法。

[0047] 将一针尖5固定在所述压电基底1上,且所述针尖5位于所述声表面波传播路径上。其中,可使用聚焦离子束(FIB)刻蚀手段将金刚石材料制成针尖5。

[0048] 提供一信号发生器2,用于产生激励信号,所述输入输出换能器接收所述激励信号,并将所述激励信号转换为声表面波信号,所述反射器反射输入输出换能器输出的声表面波信号,所述输入输出换能器接收所述反射器反射的声表面波信号,并将其转换为电磁信号。

[0049] 提供一信号收集器6,收集所述电磁信号。

[0050] 在一实施例中,在所述输入输出换能器及所述反射器的外侧分别涂布吸声材料,形成吸声挡条12。

[0051] 本发明还列举了原子力显微镜探针的一实施例的制备方法,请参考下述说明。

[0052] (1)在压电基底1表面蒸镀金属薄膜,旋涂光刻胶,然后通过光刻方法在金属薄膜表面形成光刻胶图形,接着利用干法刻蚀的方法将光刻胶未覆盖的金属膜表面去除,最后通过丙酮去除覆盖金属膜的光刻胶,从而形成输入输出换能器3和反射器4。

[0053] (2)使用聚焦离子束(FIB)刻蚀手段将金刚石材料制成的针尖5,并将针尖5固定于输入输出换能器3和反射器4之间,针尖的曲率半径小于10nm,长度小于1mm。

[0054] (3)在压电基底1两侧涂抹聚酰亚胺作为吸声挡条12。

[0055] (4)将压电基底1固定在底座7上,该底座7上末端有第一天线8及第二天线9。

[0056] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

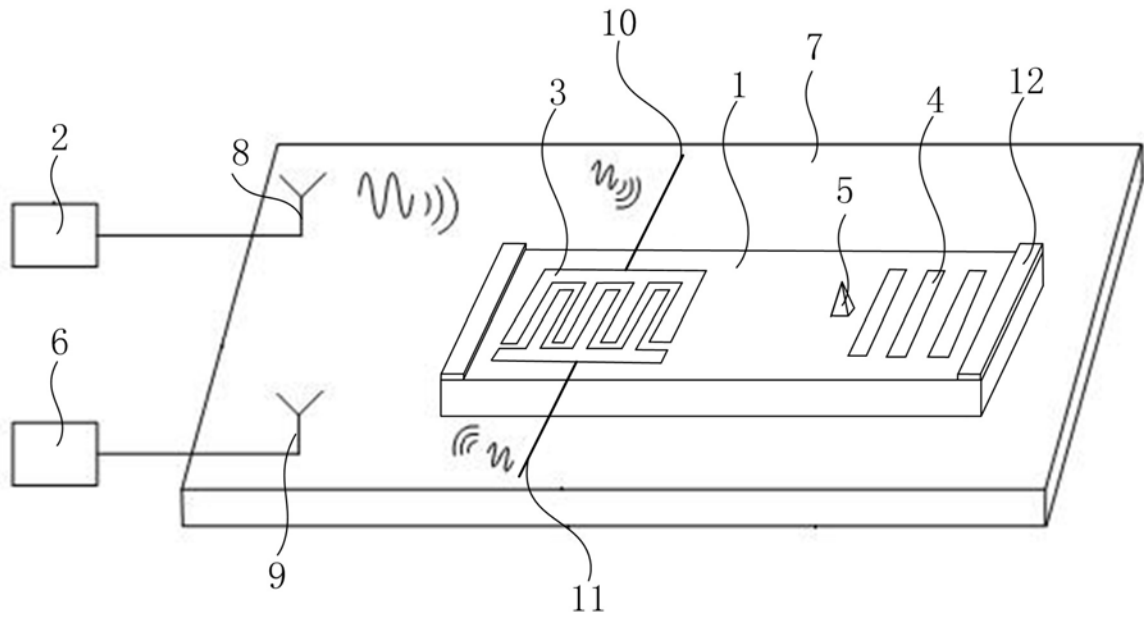


图1

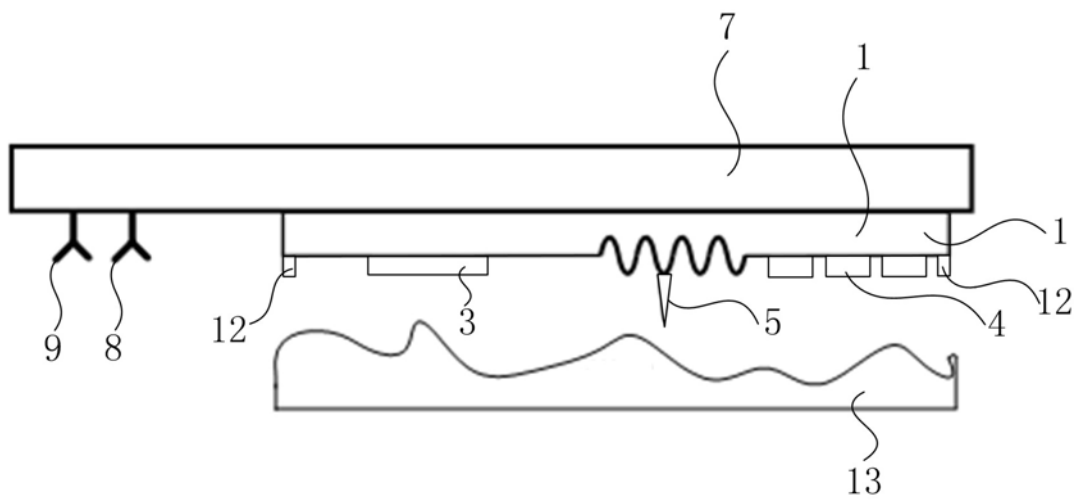


图2



图3A

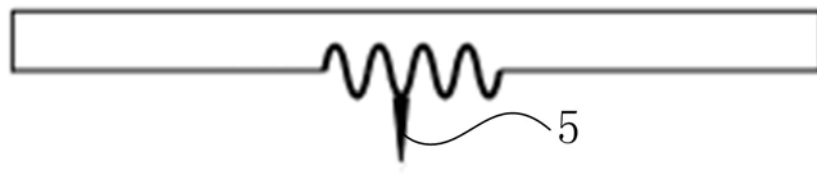


图3B