

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101617208 B

(45) 授权公告日 2013. 03. 27

(21) 申请号 200880005713. X

(22) 申请日 2008. 03. 03

(30) 优先权数据

068570/2007 2007. 03. 16 JP

304936/2007 2007. 11. 26 JP

(85) PCT申请进入国家阶段日

2009. 08. 20

(86) PCT申请的申请数据

PCT/JP2008/053793 2008. 03. 03

(87) PCT申请的公布数据

W02008/114603 JA 2008. 09. 25

(73) 专利权人 独立行政法人产业技术综合研究所

地址 日本东京

专利权人 奥林巴斯株式会社

(72) 发明人 鲁健 池原毅 三原孝士

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127

代理人 黄纶伟

(51) Int. Cl.

G01N 5/02 (2006. 01)

B06B 1/06 (2006. 01)

G01G 3/16 (2006. 01)

G01V 9/00 (2006. 01)

H01L 41/08 (2006. 01)

H01L 41/09 (2006. 01)

H01L 41/187 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 6326563 B1, 2001. 12. 04,

US 2005/0016277 A1, 2005. 01. 27,

US 2004/0189155 A1, 2004. 09. 30,

JP 特开平 11-113920 A, 1999. 04. 27,

审查员 朱磊

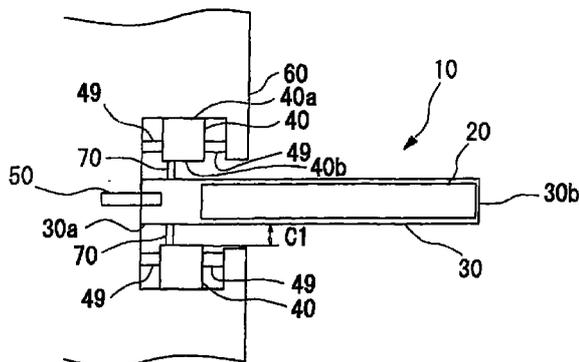
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 6 页

(54) 发明名称

检测传感器、振子

(57) 摘要

本发明的目的是提供能够实现高灵敏度化的检测传感器和振子。采用不在振子 (30) 表面上设置压电层或驱动电极等、由与振子 (30) 分开设置的致动器 (40) 来驱动振子 (30) 的方式。致动器 (40) 为悬臂状, 设于振子 (30) 的固定端 (30a) 附近。而且, 经由连接梁 (70) 将致动器 (40) 的振动传递到振子 (30)。由此, 可抑制压电层或驱动电极等对振子 (30) 振动的妨碍, 从而能够提高振子 (30) 的 Q 值, 能够使检测传感器 (10) 成为更高灵敏度的检测传感器。并且, 如果是同等的灵敏度, 则能够实现大大小于现有检测传感器的小型检测传感器 (10)。



1. 一种检测传感器,其特征在于,该检测传感器具有:
振子,其为一端部固定的梁状,并且振动特性根据具有质量的物质的附着或吸附而发生变化;
致动器,其设于所述振子附近,按照所设定的振动特性进行振动;
连接部件,其连接所述致动器和所述振子,并通过将所述致动器的振动传递到所述振子来使所述振子振动;以及
检测部,其通过检测所述振子的振动变化来检测所述物质;
其中,所述振子和所述致动器分开设置;所述致动器具有:
梁状的致动器主体,其一端部固定;
由压电材料构成的压电层,其设于所述致动器主体的表面,以使所述致动器主体产生振动;以及
驱动电极,其设于所述致动器主体的表面,对所述压电层施加电压。
2. 根据权利要求1所述的检测传感器,其特征在于,
所述检测传感器设有矫正部件,该矫正部件用于矫正由所述压电层内部存在的残留应力而引起的所述致动器主体的挠曲。
3. 根据权利要求1所述的检测传感器,其特征在于,
所述致动器和所述振子被设置成相隔比所述振子振动时在所述振子表面附近形成的边界层的厚度大的间隔。
4. 根据权利要求1所述的检测传感器,其特征在于,
所述检测部设于所述振子的固定端部附近,由检测因所述振子的振动而产生的应力变化的压电电阻元件构成。
5. 根据权利要求1所述的检测传感器,其特征在于,
当通过所述致动器在2次以上的高次振动模式下驱动所述振子时,所述连接部件在所述振子的振幅为零的节点位置或其附近与所述振子连接。
6. 根据权利要求1所述的检测传感器,其特征在于,
所述检测部检测附着在所述振子上的所述物质的量。
7. 根据权利要求1所述的检测传感器,其特征在于,
所述物质是特定的分子、或者具有特定特性或特征的多种分子。
8. 根据权利要求1所述的检测传感器,其特征在于,
所述致动器被设置在连接所述致动器主体的固定端和自由端的轴线与所述振子的轴线方向近似垂直的方向上。
9. 根据权利要求1所述的检测传感器,其特征在于,
所述致动器由所述致动器主体的固定端和自由端侧的矫正梁这三点支持。
10. 一种振子,其特征在于,该振子具有:
梁状的振子主体,其一端部固定;
致动器,其设于所述振子主体附近,按照所设定的振动特性进行振动;以及
连接部件,其连接所述致动器和所述振子主体,并通过将所述致动器的振动传递到所述振子主体来使所述振子主体振动;
其中,所述振子和所述致动器分开设置;所述致动器具有:

梁状的致动器主体,其一端部固定;

由压电材料构成的压电层,其设于所述致动器主体的表面,以使所述致动器主体产生振动;以及

驱动电极,其设于所述致动器主体的表面,对所述压电层施加电压。

检测传感器、振子

技术领域

[0001] 本发明涉及适用于进行具有质量的物质的有无检测、物质质量的检测等的检测传感器等。

背景技术

[0002] 以往,存在用于对有爆炸危险性或有害性的气体等的存在或其定量浓度进行检测的传感器。在该传感器中,通过吸附气体中包含的特定种类的分子,并检测该吸附的有无或吸附量,来检测气体等是否存在或其浓度。这种传感器设置在对气体等进行处理的设施、设备、装置等中,用于气体泄漏或气体量的控制。

[0003] 并且近年来,正在广泛地进行燃料电池的开发。燃料电池使用氢,所以,在氢站、使用燃料电池的车辆或装置、设备等中,最好对是否存在氢泄漏进行监视。在这样的用途中也可应用上述传感器。

[0004] 除了上述用途以外,还考虑了将通过吸附特定种类的分子来检测吸附有无或吸附量的传感器例如应用于食物新鲜度或成分分析、及用于提供 / 维持舒适空间的环境控制、以及人体等生物体的状态检测等。

[0005] 这种传感器的方式之一是使用悬臂的方式。这是指,在悬臂上设置用于吸附特定种类分子的分子吸附膜(感应膜),根据在分子吸附膜上吸附分子时的悬臂的状态变化来检测分子的吸附。当在分子吸附膜上吸附了分子时,分子吸附膜的应力发生变化。由此,悬臂的挠曲量变化,所以可根据该变化量来检测特定种类的分子的吸附。并且,当由于分子的吸附而使分子吸附膜的质量增加时,由悬臂和分子吸附膜构成的系统的谐振频率发生变化,因此还可根据该变化来检测特定种类分子的吸附(例如,参照非专利文献1)。

[0006] 已知通过采用这种方式,能够实现将白金或钯用作氢分子吸附膜的氢检测、使用PMMA聚合物的乙醇成分检测、以及食物的气味检测等。在检测悬臂的谐振频率变化的方法中,当特定分子吸附在吸附膜上而产生微小的质量变化时,具有高振动Q值的悬臂的谐振频率极敏感地响应于该质量变化而产生变化,因此能够进行高灵敏度的检测。

[0007] 在这种现有的使用悬臂的谐振频率变化来进行气体检测的方法中,能够利用以精细加工技术制造的大小为几十~几百 μm 的悬臂来构成传感器本身。因此,能够实现传感器的小型化,并且,如上所述具有还能够提高振动Q值的特征,所以,可以说是在小型化、高灵敏度化方面良好的结构。

[0008] 在这种悬臂中,在进行检测时为了使悬臂振动(驱动),在由 SiO_2 (二氧化硅)等硅材料形成的悬臂主体的表面上设置由各种压电材料构成的压电层和由金属构成的电极层。而且,通过从电极层向压电层施加电压来使悬臂振动,并监视谐振频率的变化。

[0009] 作为形成压电层的压电材料,由包含Pb(铅)、Zr(锆)、Ti(钛)的原料形成的所谓铁电薄膜备受关注。

[0010] 【非专利文献1】

[0011] Suman Cherian, Thomas Thundat, "Determination of adsorption-induced

variation in the spring constant of a microcantilever”、Applied Physics Letter、2002 年、Vol. 80、No. 12、pp. 2219-2221

[0012] 但是,在上述这种使用振动特性根据微小质量的附着而变化的振子的传感器中,始终需要更高的灵敏度。

[0013] 这里,在悬臂表面设有由铁电薄膜构成的压电层或电极层。这些压电层或电极层本身具有衰减,使悬臂的振动能量产生损失。其结果,导致悬臂的 Q 值降低,引起传感器灵敏度的降低。在这方面,现有技术存在需要改善的地方。

发明内容

[0014] 本发明是基于这种技术课题而完成的,其目的在于,提供能够实现更高灵敏度的检测传感器、振子。

[0015] 基于该目的而完成的本发明的检测传感器的特征在于,该检测传感器具有:振子,其为一端部或两端部固定的梁状,并且振动特性根据具有质量的物质的附着或吸附而发生变化;致动器,其设于振子附近,按照所设定的振动特性进行振动;连接部件,其连接致动器和振子,并通过将致动器的振动传递到振子来使振子振动;以及检测部,其通过检测振子的振动变化来检测物质。

[0016] 在这种检测传感器中,当使致动器振动时,致动器的振动经由连接部件传递到振子,由此能够驱动振子。这样,通过与振子分开设置的致动器使振子振动,不需要像以往那样在振子的表面上设置由压电材料构成的压电层或驱动电极等。其结果是,不会阻碍振子的振动特性,能够以高振动特性来驱动振子。

[0017] 这里,致动器具有:梁状的致动器主体,其一端部或两端部固定;由压电材料构成的压电层,其设于致动器主体的表面,以使致动器主体产生振动;以及驱动电极,其设于致动器主体的表面,对压电层施加电压。即,致动器是与振子同样的悬臂式。

[0018] 但是,当在致动器主体的表面上设置压电层时,由于压电层内部存在的残留应力而使致动器主体产生挠曲。因此,优选设置用于矫正致动器主体的矫正部件。

[0019] 并且,振子在空气等流体中振动时,在振子的表面附近的流体中形成边界层。在边界层的内侧,流体大致随动于振子进行运动。当在该边界层内存在致动器等时,会阻碍振子的振动,所以,致动器和振子优选设置为相隔比该边界层的厚度大的间隔。

[0020] 检测部能够检测是否有物质附着或吸附在振子上,而且还能够检测在振子上附着的物质的量。这里,如果在振子上吸附或附着了特定的分子、或者具有特定特性或特征的多种分子,则在检测传感器中,能够检测所述特定的分子、或者具有特定特性或特征的多种分子。

[0021] 这样的检测部可以使用任意的方式,但优选使用设于振子的固定端部附近、由检测因振子振动而产生的应力变化的压电电阻元件构成的检测部。

[0022] 但是,如上所述的振子的驱动是通过将致动器的驱动力经由连接部件传递到振子来进行的。在结构上,连接部件在远离振子固定端的位置上与振子连接。于是,从致动器向振子传递的振动能量产生损失。这是因为,当在振子振幅大的位置上连接连接部件时,连接部件阻碍了振子的振动。并且,在振子振动时,振子表面上形成的压电层等也会引起能量损失。振子的振动模态越为高次,这些能量损失越显著。

[0023] 进而,在 2 次以上的高次振动模式下驱动振子的情况下,存在振子的振幅为零的节点。因此,优选在该节点位置或其附近将连接部件与振子连接。由此,能够在所述特定的振动模式下驱动振子等,还能够抑制能量损失。

[0024] 本发明的振子的特征在于,该振子具有:梁状的振子主体,其一端部或两端部固定;致动器,其设于振子主体附近,按照所设定的振动特性进行振动;以及连接部件,其连接致动器和振子主体,并通过将致动器的振动传递到振子主体来使振子主体振动。

[0025] 这种振子除了用于所述检测传感器以外,还能够用于通过监视振子的振动特性的变化而实现的各种用途。

[0026] 根据本发明,可通过不在振子表面上设置压电层或驱动电极等、且由与振子分开设置的致动器来驱动振子的方式,来抑制压电层或驱动电极等对振子振动的妨碍。其结果,能够使振子和使用该振子的检测传感器成为高灵敏度的传感器。并且,如果是同等的灵敏度,则能够实现大大小于现有检测传感器的小型检测传感器和振子。

附图说明

[0027] 图 1 是示出本发明第一实施方式的检测传感器的结构的平面图。

[0028] 图 2 是示出振子和致动器的立体图。

[0029] 图 3 是致动器的剖视图。

[0030] 图 4 是示出通过本实施方式的结构使振子振动时的振动状况的图。

[0031] 图 5 是示出在 1 次模态、2 次模态下振动时的仿真结果的图。

[0032] 图 6 是示出在 3 次模态、4 次模态下振动时的仿真结果的图。

[0033] 图 7 是示出对致动器施加驱动力时的静态变形的仿真结果的图。

[0034] 图 8 是示出本发明第二实施方式的检测传感器的结构的平面图。

[0035] 图 9 是示出通过第二实施方式的结构使振子在 2 次模态、3 次模态、4 次模态下振动时的仿真结果的图。

[0036] 标号说明

[0037] 10:检测传感器;20:吸附部;30:振子;30a:固定端;30b:自由端;40:致动器;40a:固定端;40b:自由端;43、46:电极层;44:压电层;49:矫正梁;50:检测部;51:检测用压电电阻元件;52:基准用压电电阻元件;60:基板;70:连接梁(连接部件)。

具体实施方式

[0038] [第一实施方式]

[0039] 下面,根据附图所示的实施方式来详细说明本发明。

[0040] 图 1 和图 2 是用于说明本实施方式的检测传感器 10 的结构的图。

[0041] 如该图 1 和图 2 所示,检测传感器 10 通过吸附作为检测对象的特定种类的分子(以下简称为分子),从而进行气体或气味等是否存在(产生)、或其浓度的检测。该检测传感器 10 由以下部分构成:具有用于吸附分子的吸附部 20 的振子 30、驱动振子 30 的致动器 40、以及检测分子在吸附部 20 上的吸附的检测部 50。利用 MEMS 技术将这些振子 30、致动器 40、检测部 50 形成在由硅材料构成的基板 60 上。

[0042] 振子 30 是一端为固定端 30a、另一端为自由端 30b 的悬臂梁状的悬臂式。该振子

30 平面视为长方形状,由构成基板 60 的硅材料、尤其优选单晶硅形成。当列举振子 30 的尺寸的一例时,优选厚度为 $2 \sim 5 \mu\text{m}$,长度为 $100 \sim 1000 \mu\text{m}$,宽度为 $30 \sim 300 \mu\text{m}$ 。

[0043] 在振子 30 的上表面形成有吸附部 20。这里,为了提高形成吸附部 20 的材料相对于振子 30 表面的附着性,优选在振子 30 的表面上形成 Au(金)膜。

[0044] 吸附部 20 可通过由无机材料或有机材料构成的膜形成。作为构成吸附部 20 的无机材料,代表性地是二氧化钛 (TiO_2),为了提高吸附效率,优选使二氧化钛成为多孔状。而且,优选以覆盖振子 30 的上表面的方式来形成该吸附部 20。作为构成吸附部 20 的有机材料,有聚丙烯酸、聚苯乙烯、聚丙烯酰胺、聚二甲基硅氧烷、聚氯乙烯、聚甲基丙烯酸甲酯等所有高分子等。在该吸附部 20 中能够仅吸附特定种类的分子、对于分子具有选择性,可认为该选择性是由形成高分子的官能团、交联状态等各种要素所决定的。

[0045] 如图 2 所示,驱动振子 30 的致动器 40 设于振子 30 的固定端 30a 附近。致动器 40 与振子 30 同样,是一端为固定端 40a、另一端为自由端 40b 的悬臂状。这里,致动器 40 被设置成,连接固定端 40a 和自由端 40b 的轴线和与振子 30 的轴线方向大致垂直的方向一致。

[0046] 如图 3 所示,致动器 40 如下形成:在由硅材料、优选单晶硅或 SiO_2 构成的基材 41 上,依次层叠由 Ti 构成的粘合层 42、由 Pt(铂)构成的电极层 43、由压电材料构成的压电层 44、由 Ti 构成的粘合层 45、由 Pt 构成的电极层 46、由 Ti 构成的粘合层 47、由 SiO_2 构成的表面保护层 48。另外,在由单晶硅形成基材 41 的情况下具有导电性,所以,优选在基材 41 的表面上形成 SiO_2 膜而使其具有绝缘性。并且,粘合层 42、45、47 用于分别提高基材 41 与电极层 43、压电层 44 与电极层 46、电极层 46 与表面保护层 48 的粘合性。

[0047] 作为形成压电层 44 的压电材料,由包含 Pb、Zr、Ti 的原料形成的所谓铁电薄膜备受关注。更详细地讲,压电层 44 由包含 Pb、Zr、Ti 的材料(以下有时将其称为 PZT 材料)形成,在其结晶状态下,例如形成为 $500\text{nm} \sim 2 \mu\text{m}$ 左右的厚度。该压电层 44 例如可通过使每一层为 $100 \sim 130\text{nm}$ 的薄膜层叠多层来实现上述厚度。

[0048] 作为这种材料,例如可以使用 Pb 钙钛矿二组分/三组分铁电陶瓷、非铅钙钛矿结构铁电陶瓷、 BaTiO_3 (钛酸钡)陶瓷、 KNbO_3 (铌酸钾)- NaNbO_3 铁电陶瓷、 $(\text{Bi}_{1/2}\text{Na}_{1/2})\text{TiO}_3$ 铁电陶瓷、钨青铜型铁电陶瓷、 $(\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x)_2\text{NaNb}_5\text{O}_{15}$ [BSNN]、 $\text{BaNa}_{1-x}\text{Bi}_{x/3}\text{Nb}_5\text{O}_{15}$ [BNBN]、铋层状结构铁电体和粒子配向型铁电陶瓷、铋层状结构铁电体(BLSF)等。

[0049] 并且,除了 PZT 材料以外,压电层 44 也可以使用 ZnO (氧化锌)、 AlN (氮化铝)等。

[0050] 当从电源对电极层 43、46 施加具有规定频率的电信号时,压电层 44 产生位移,由此,这种致动器 40 以所述频率进行振动。

[0051] 这里,致动器 40 的自由端 40b 隔着规定的间隙 C1 与振子 30 对置。在致动器 40 或振子 30 振动时,在致动器 40 或振子 30 的表面附近,由于在与致动器 40 或振子 30 接触的氛围气(空气)之间产生的摩擦,而存在边界层。优选所述间隙 C1 设定为比边界层的厚度大,由此,致动器 40 和振子 30 的动作不会由于边界层而相互影响。

[0052] 在致动器 40 的侧部设有矫正梁 49。矫正梁 49 一端与致动器 40 连接,另一端与基板 60 等连接。由于在压电层 44 内残留的应力等,有时致动器 40 从制造阶段开始产生挠曲。因此,利用矫正梁 49 将致动器 40 与基板 60 等连接,从而抑制致动器 40 的挠曲。

[0053] 另外,在挠曲量是即使致动器 40 产生挠曲也没有问题的情况下、或可抑制致动器 40 的挠曲的情况下,也可省略该矫正梁 49。

[0054] 在致动器 40 的自由端 40b 和振子 30 之间设有连接它们的连接梁（连接部件）70。通过该连接梁 70，将由致动器 40 的振动所引起的自由端 40b 的位移传递到振子 30。结果，振子 30 以与致动器 40 相同的频率进行振动。

[0055] 这样，振子 30 由与振子 30 分开设置的致动器 40 来驱动。此时，当在振子 30 上的吸附部 20 上附着了具有质量的物质时，受该质量的影响，振子 30 的振动频率发生变化。

[0056] 这里，连接梁 70 相对于振子 30 的连接位置可以是任意的，但是，优选将连接梁 70 设置在振子 30 的接近固定端 30a 的一侧。当连接梁 70 在远离固定端 30a 的位置与振子 30 连接时，振子 30 的大振幅传递到连接梁 70，振子 30 的能量损失增大。即，振子 30 的 Q 值降低，检测灵敏度降低。

[0057] 检测部 50 对由于在吸附部 20 上附着了具有质量的物质而引起的振子 30 的振动频率变化进行检测。

[0058] 作为检测部 50 可以使用任意方式，但是优选使用压电电阻检测方式。如图 2 所示，在振子 30 的固定端 30a 附近配置检测用压电电阻元件 51。此外，还在未作用基于振子 30 振动的应力的位置上配置基准用压电电阻元件 52。而且，通过未图示的处理电路，对检测用压电电阻元件 51 和基准用压电电阻元件 52 的检测值进行比较，从而对振子 30 的振动频率变化进行检测。由此，能够测定是否有分子被吸附到吸附部 20 上或其吸附量。

[0059] 这里，使用有限元分析程序 ANSYS（商品名）对上述结构方式中的振子 30 的动作进行分析。其结果，如图 4、图 5、图 6 所示，确认了通过致动器 40 能够在 1 次～4 次的振动模态下驱动振子 30。

[0060] 这里，图 7 是对致动器 40 施加静态驱动力时的致动器 40 和振子 30 的动作的分析结果。另外，致动器 40 和振子 30 的动作利用 S1～S9 这 9 个阶段的位移来示出（S1 最小，S9 最大，颜色越深位移越大。）。如该图 7 所示可知，随着从固定端 30a 到自由端 30b，振子 30 的位移增大。另一方面，致动器 40 是悬臂式，其中央部附近的位移变大。这表示，由于致动器 40 由固定端 40a 和自由端 40b 侧的矫正梁 49 这三点支承，因此不对振子 30 施加极大的变形就能够驱动振动。另外，还表示由于致动器 40 的残留应力而引起的变形难以影响振子 30。

[0061] 这样，通过不在振子 30 的表面上设置压电层或驱动电极等、利用与振子 30 分开设置的致动器 40 来驱动振子 30，可以抑制压电层或驱动电极等对振子 30 振动的妨碍，能够提高振子 30 的 Q 值，能够使检测传感器 10 成为更高灵敏度的检测传感器。并且，如果是同等的灵敏度，则能够实现大大小于现有检测传感器的小型检测传感器 10。

[0062] 【实施例 1】

[0063] 这里，在本发明的驱动方式的振子 30 和以往的驱动方式的振子中，进行 1 次振动模态下的 Q 值比较。

[0064] 这里，以往的驱动方式的振子在 SiO₂ 基材上依次层叠 Ti 层（粘合层）、Pt 层（电极层）、PZT 材料层（压电层）、Ti 层（粘合层）、Pt 层（电极层）、Ti 层（粘合层）、SiO₂ 层（表面保护层）。与此相对，本发明的驱动方式的振子 30 由单晶硅形成。关于这些振子，在宽度为 90 μm、厚度为 3.4 μm、3.7 μm、4.1 μm、长度为 150 μm、200 μm、250 μm 的情况下，计算 Q 值。表 1 示出其结果。

[0065] 【表 1】

[0066]

| 振子的宽度 | 振子的厚度 | 振子的长度 | Q 值 (1 次模态) | |
|------------------|-------------------|-------------------|-------------|-------|
| | | | 本发明的振子 | 以往的振子 |
| 90 μm | 3.4 μm | 150 μm | 423 | 268 |
| | | 200 μm | 315 | 160 |
| | | 250 μm | 250 | 144 |
| | 3.7 μm | 150 μm | 481 | 335 |
| | | 200 μm | 358 | 243 |
| | | 250 μm | 285 | 228 |
| | 4.1 μm | 150 μm | 560 | 445 |
| | | 200 μm | 419 | 301 |
| | | 250 μm | 333 | 290 |

[0067] 如表 1 所示,可以确认,与在 SiO_2 基材上以 PZT 材料为主形成多层膜的以往驱动方式的振子相比,本发明的驱动方式的振子 30 的 1 次振动模态下的 Q 值大幅提高。因此,在更高次的振动模态中,能够期待更高的 Q 值。

[0068] [第二实施方式]

[0069] 接着,示出检测传感器 10 的其它方式。这里,示出振子 30 在 2 次以上的高次振动模态下动作的情况的例子。

[0070] 另外,以下所示的第二实施方式的检测传感器 10 相对于上述第一实施方式所示的检测传感器 10,不同点仅在于利用连接梁 70 连接振子 30 和致动器 40 的位置,所以仅仅对不同点进行说明,关于与上述第一实施方式共同的结构,省略其说明。

[0071] 如图 8 所示,振子 30 是一端为固定端 30a、另一端为自由端 30b 的悬臂梁状的悬臂式。驱动振子 30 的致动器 40 分别设置在振子 30 的两侧。

[0072] 在致动器 40 的自由端 40b 和振子 30 之间设有连接它们的连接梁 70。连接梁 70 在与致动器 40 所驱动的振子 30 中产生的振动模态的次数相对应的位置处与振子 30 连接。即,在图 4 所示的通过在规定振动模态下由致动器 40 进行驱动而在振子 30 中产生的振动的节点(振幅为零的位置)处,将连接梁 70 与振子 30 连接。

[0073] 节点如下确定。

[0074] 一端为固定端、另一端为自由端的梁状振子的振动模态由下式 $U_i(x)$ 来表示。

$$[0075] \quad U_i(x) = B_i \cdot \sin\left[\{(2i-1) \cdot \pi/2L\} \cdot x\right]$$

[0076] 这里, x 是振子在长度方向上的任意位置与固定端之间的距离, $U_i(x)$ 是 x 位置处的 Z 方向的位移量, L 是振子的全长, i 是振动模态的次数, B_i 是振动模态的次数 i 中的常数。

[0077] 而且,在节点处 $U_i(x) = 0$ 。就是 $\sin\left[\{(2i-1) \cdot \pi/2L\} \cdot x\right] = 0$ 。因此, $\{(2i-1) \cdot \pi/2L\} \cdot x = 0, \pi, 2\pi, 3\pi, \dots$ (其中, $x < L$)。

[0078] 在设次数 i 为 1、2、3、4 的情况下, $U_i(x) = 0$ 如下所示。

[0079] $i = 1$ 的情况 : $x = 0$

[0080] $i = 2$ 的情况 : $x = 0, 2L/3$

[0081] $i = 3$ 的情况 : $x = 0, 2L/5, 4L/5$

[0082] $i = 4$ 的情况 : $x = 0, 2L/7, 4L/7, 6L/7$

[0083] 这里,连接梁 70 不能与振子 30 的固定端 30a 连接,所以与连接梁 70 连接的节点如下所示。

[0084] $i = 2$ 的情况 : $x = 2L/3$

[0085] $i = 3$ 的情况 : $x = 2L/5, 4L/5$

[0086] $i = 4$ 的情况 : $x = 2L/7, 4L/7, 6L/7$

[0087] 其中,对于振子 30 连接到连接梁 70 上的节点,最好选择靠近振子 30 的固定端 30a 一侧的节点。这是因为,当连接梁 70 在远离固定端 30a 的位置处与振子 30 连接时,振子 30 的大的振幅传递到连接梁 70,振子 30 的能量损失增大。

[0088] 通过该连接梁 70,由于致动器 40 的振动而引起的自由端 40b 的位移被传递到振子 30。结果,振子 30 以与致动器 40 相同的频率进行振动。

[0089] 这样,振子 30 由与振子 30 分开设置的致动器 40 驱动。此时,当在振子 30 上的吸附上附着了具有质量的物质时,受该质量的影响,振子 30 的振动频率变化。

[0090] 当在振子 30 中产生的振动的节点处将连接梁 70 与振子 30 连接时,能够以小的振幅高效地驱动振子 30。并且,连接梁 70 不会阻碍振子 30 的振动,从而能够抑制能量损失。由此,振子 30 的 Q 值提高,检测灵敏度提高。

[0091] 这里,使用有限元分析程序 ANSYS 对如上所述在节点处驱动振子 30 时的振子 30 的动作进行分析。其结果,如图 9(a) ~ (c) 所示可确认,在把连接梁 70 连接到振子 30 的节点处的情况下,也能够通过致动器 40 在 2 次 ~ 4 次的振动模式下驱动振子 30。

[0092] 另外,在上述各实施方式中,例示并说明了检测传感器 10 的结构,但是,例如致动器 40 的形状或朝向、连接梁 70 的位置、宽度或长度、检测部 50 的结构等,也可适当变更为例示结构以外的结构。

[0093] 除此之外,只要不脱离本发明的主旨,可以对上述实施方式所列举的结构进行取舍选择,或适当变更为其它结构。

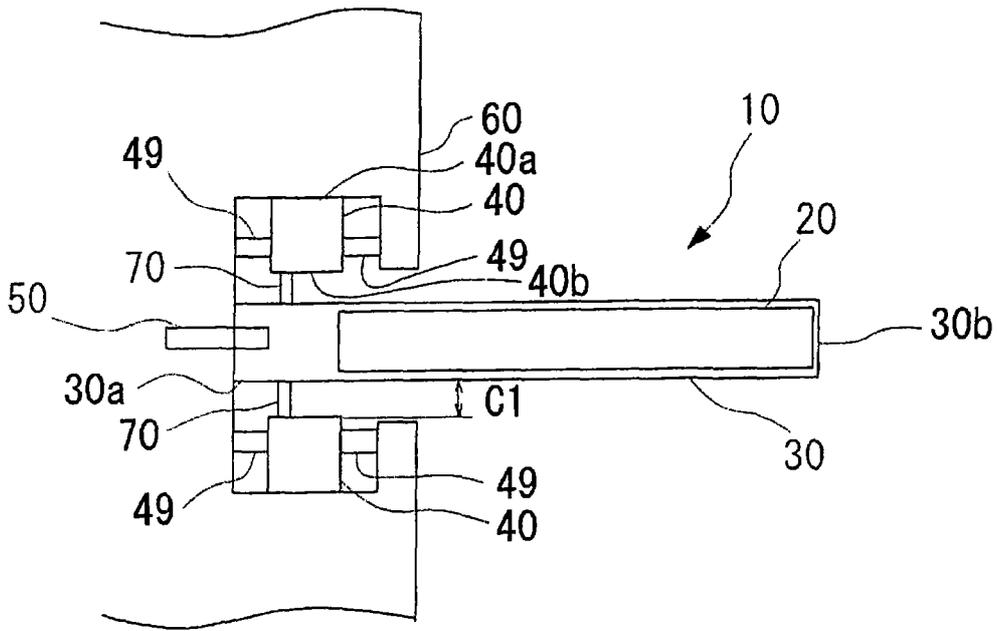


图 1

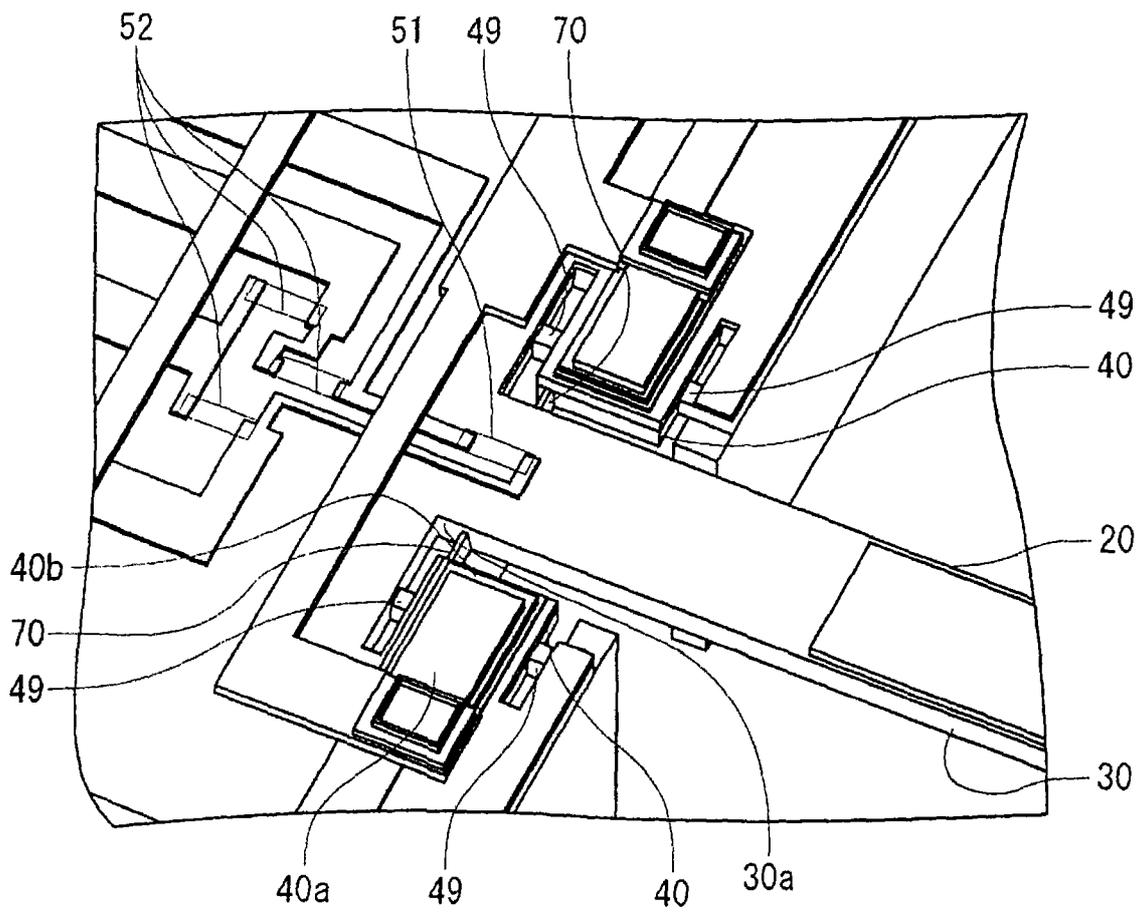


图 2

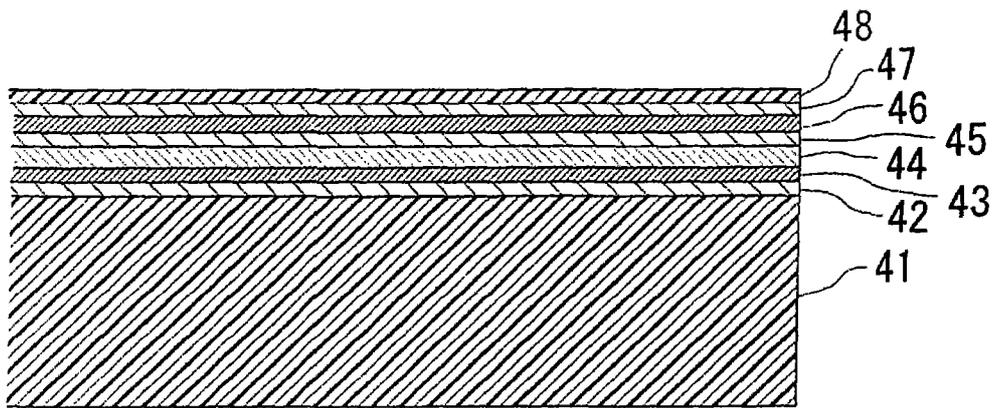


图 3

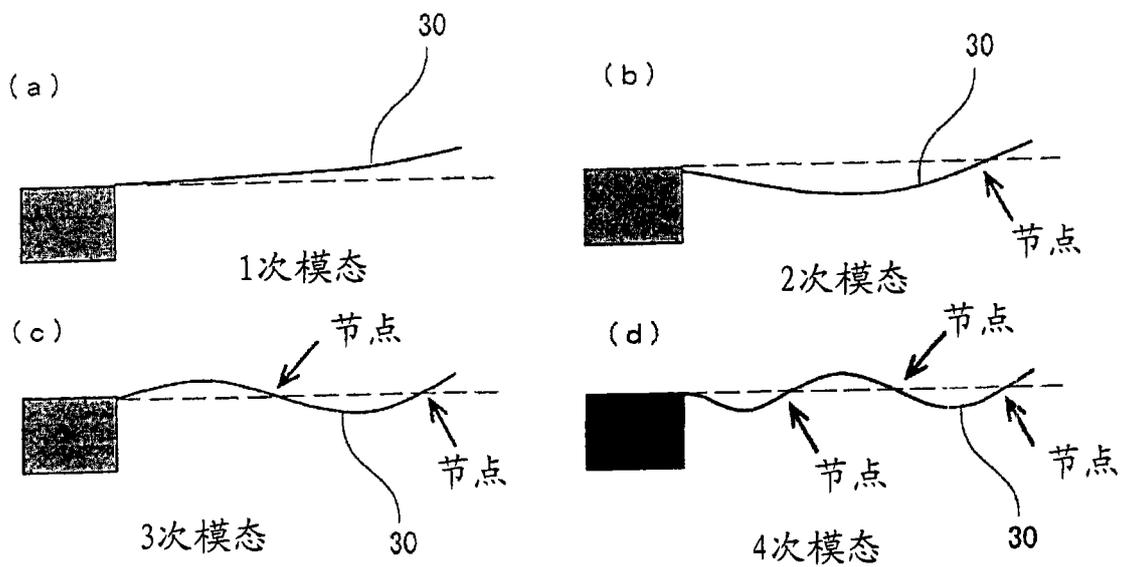
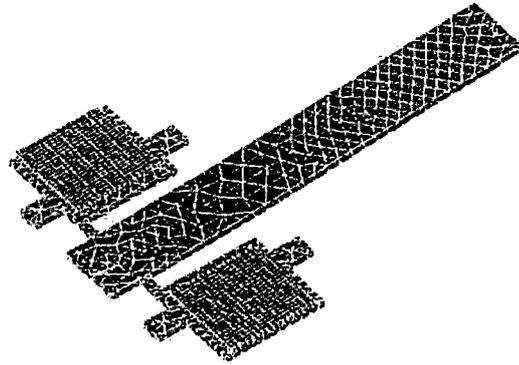


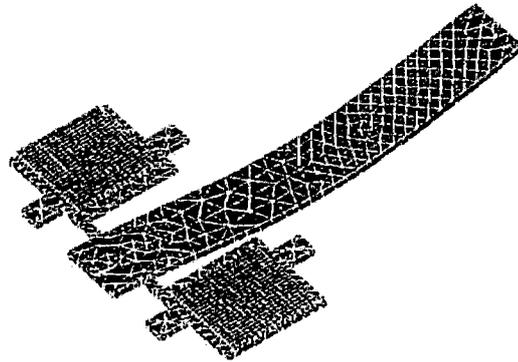
图 4

(a)



1次模态

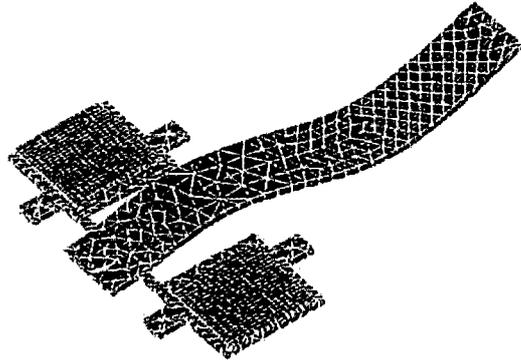
(b)



2次模态

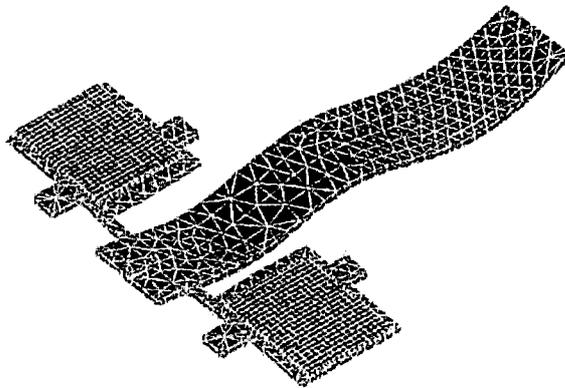
图 5

(a)



3次模态

(b)



4次模态

图 6

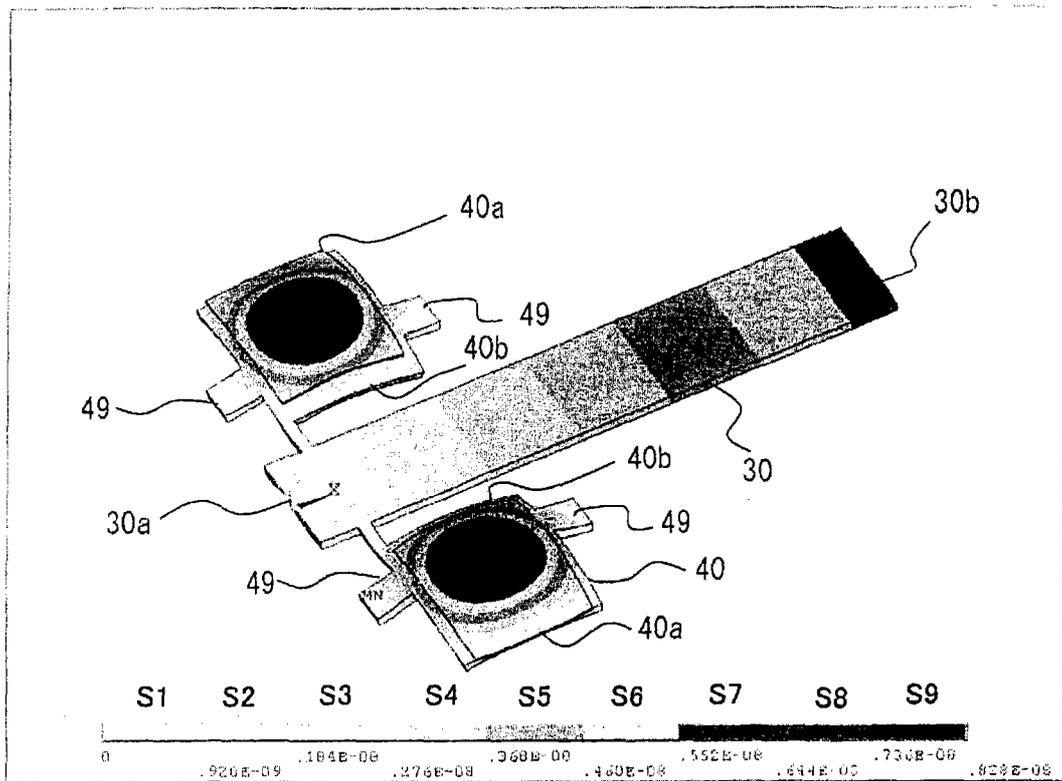


图 7

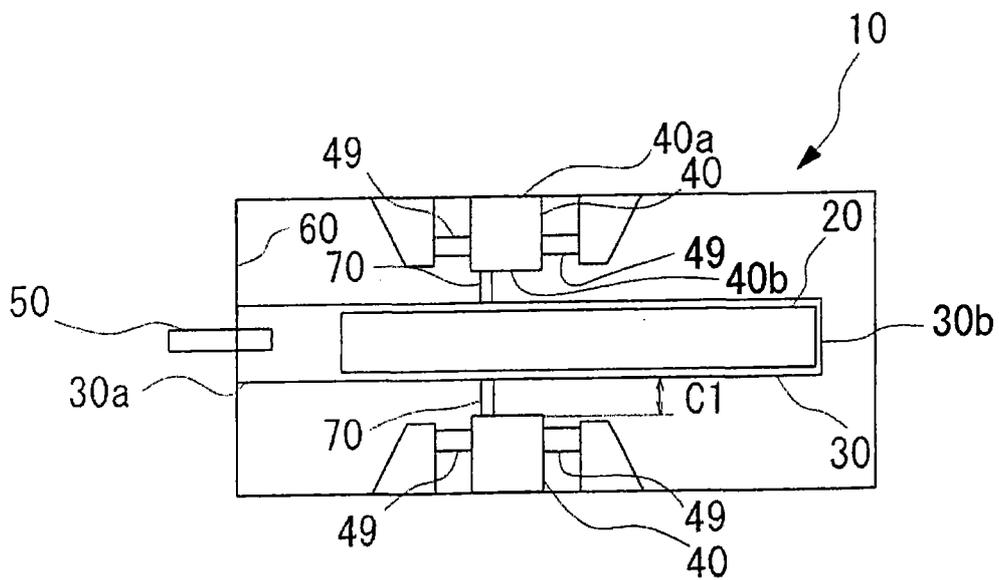
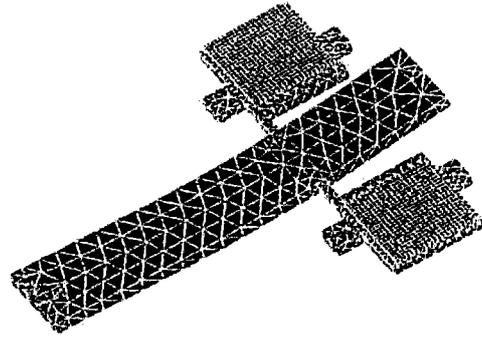


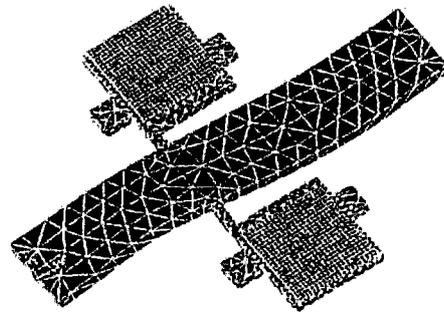
图 8

(a)



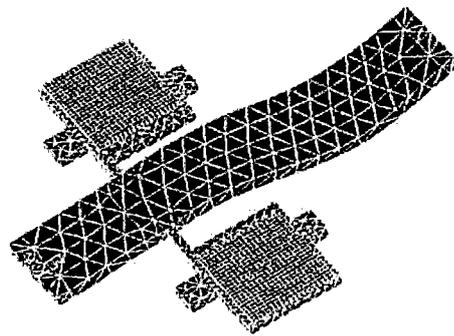
2次模态

(b)



3次模态

(c)



4次模态

图 9