



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112313507 B

(45) 授权公告日 2024. 08. 06

(21) 申请号 201980041377.2

(22) 申请日 2019.07.03

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112313507 A

(43) 申请公布日 2021.02.02

(30) 优先权数据
2018-127525 2018.07.04 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2020.12.18

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2019/026518 2019.07.03

(87) PCT国际申请的公布数据
W02020/009164 JA 2020.01.09

(73) 专利权人 株式会社村田制作所
地址 日本京都府

(72) 发明人 白木宏

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227
专利代理师 金世煜 李书慧

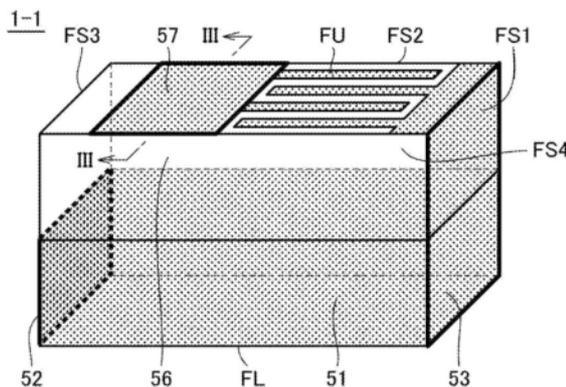
(51) Int.Cl.
G01N 27/22 (2006.01)
G01K 7/16 (2006.01)
G01N 27/12 (2006.01)
G01N 27/04 (2006.01)

(56) 对比文件
JP H01276057 A, 1989.11.06
JP S54102148 A, 1979.08.11
US 4017820 A, 1977.04.12
审查员 杨娜

权利要求书1页 说明书12页 附图13页

(54) 发明名称
复合传感器

(57) 摘要
复合传感器(1-1)是将包含感温部件的温度传感器部(56)和包含感湿部件的湿度传感器部(51)一体化而成的复合传感器。复合传感器(1-1)具备温度传感器部(56)和湿度传感器部(51)共用的第1端子(53),配置成能够在与第1端子(53)之间测定感温部件的电特性的第2端子(57),以及配置成能够在与第1端子(53)之间测定感湿部件的电特性的第3端子(52)。通过采用这样的构成,可提供能够同时测量温度和湿度且精度得到了改善的复合传感器。



1. 一种复合传感器,是将包含根据温度而电阻率发生变化的感温部件的温度传感器和包含根据湿度而静电容量或电阻率发生变化的感湿部件的湿度传感器一体化而成的复合传感器,具备:

第1端子,所述温度传感器和所述湿度传感器共用,

第2端子,配置成能够在与所述第1端子之间测定所述感温部件的电特性,以及

第3端子,配置成能够在与所述第1端子之间测定所述感湿部件的电特性,

所述感温部件层叠配置于所述感湿部件,

所述第1端子形成于沿所述复合传感器的层叠方向的面,

并且,所述复合传感器具有长方体的形状,

所述长方体包含沿所述复合传感器的层叠方向的第1~第4面,

所述第1端子形成于所述第1面,

所述第3面是与所述第1面相反侧的面,

所述第3端子形成于所述第3面。

2. 根据权利要求1所述的复合传感器,其中,所述第2端子形成于与所述层叠方向正交的面。

3. 根据权利要求1或2所述的复合传感器,其中,所述第1端子为接地端子,

在所述第1端子与所述第2端子之间连接有直流电压源,

在所述第1端子与所述第3端子之间连接有交流电压源。

4. 根据权利要求1所述的复合传感器,进一步具备与所述第1端子电连接的第1电极和与所述第3端子电连接的第2电极,

所述第1电极包含第1内部电极部,该第1内部电极部具有被所述感湿部件覆盖的第1主面和被所述感湿部件覆盖的第2主面,

所述第2电极包含第2内部电极部,该第2内部电极部具有被所述感湿部件覆盖的第3主面和被所述感湿部件覆盖的第4主面,

所述第1内部电极部和所述第2内部电极部夹持所述感湿部件而配置。

5. 根据权利要求1所述的复合传感器,其中,所述感湿部件由包含根据湿度的变化而静电容量发生变化的第1材料和介电常数与所述第1材料不同的第2材料的复合材料所形成。

6. 根据权利要求1所述的复合传感器,其中,所述感湿部件由包含根据湿度的变化而静电容量发生变化的第1材料和属于磁性体的第2材料的复合材料所形成。

7. 根据权利要求1所述的复合传感器,其中,所述感湿部件由包含根据湿度的变化而静电容量发生变化的第1材料、介电常数与所述第1材料不同的第2材料和属于磁性体的第3材料的复合材料所形成。

8. 根据权利要求5~7中任一项所述的复合传感器,其中,所述感湿部件包含第1部分和第2部分,所述第2部分配置成与所述第1部分相比更靠近所述感湿部件的主面,且所述第1材料的比例比所述第1部分高。

复合传感器

技术领域

[0001] 本发明涉及能够检知湿度和温度的复合传感器。

背景技术

[0002] 现在,湿度传感器和温度传感器正被用于打印机、空调、空气净化器、微波炉、车载品等广泛的用途。而且,随着近年来IoT(Internet of Things)技术的进化,不仅检测位置、速度等物理信息,而且检测温度、湿度、气体等化学信息的需求也正在提高。

[0003] 湿度传感器有测定湿度变化时的湿度传感器材料的电阻变化的电阻变化型和测定容量变化的容量变化型这2个方式。一般而言,电阻变化型具有结构简单这样的优点,但具有精度差、无法测定低湿度和高湿度这样的缺点。另一方面,容量变化型在0~100%RH这样的宽湿度范围中静电容量相对于湿度变化进行线性变化。因此,具有精度良好这样的优点,在广泛的用途中使用。

[0004] 作为电阻变化型湿度传感器材料,已知有 Al_2O_3 、 TiO_2 、 SiO_2 、 SnO_2 、 ZnO 、 In_2O_3 、聚合物材料(高分子电解质、导电性聚合物等)等。电阻变化型湿度传感器通过测定水吸附于这些材料时的电阻变化来测定大气中的相对湿度。在测定时,多使用桥式电路等。

[0005] 作为容量变化型的湿度传感器材料,多使用聚酰亚胺、聚酰胺酰亚胺、聚酰胺、乙酸丁酸纤维素(CAB)、聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)、巴豆酸乙烯酯、聚对苯二甲酸乙二醇酯和它们的混合物等高分子材料。容量变化型的湿度传感器通过测定水吸附于这些材料时的静电容量的变化来测定大气中的相对湿度。

[0006] 应予说明,在将湿度传感器模块化并用微电脑测定湿度时,将湿度传感器组装于LC谐振电路等来测定谐振频率,通过将谐振频率转换为静电容量来测定静电容量。LC谐振时的谐振频率 f 由 $f=1/(2\pi\sqrt{LC})$ 表示。在该式中, L 表示外部电感器的电感, C 表示湿度传感器的静电容量。由该式可知,为了降低谐振频率,需要增大湿度传感器的静电容量。通过降低谐振频率,用于检测频率的时钟频率较低即可,因此,微电脑的选择项变宽,带来湿度传感器模块的小型化·低价格化。另外,频率越低,越不易受到因寄生电容、扰动所致的噪音的影响。

[0007] 例如在国际公开第2015/022891号公报(专利文献1)中公开了3端子结构的温湿度传感器。在该传感器中,电极和线圈状的上部电极由中心部的导通孔连接。通过用Pt形成这些电极并测定因温度变化所致的Pt的电阻变化,从而制作温度传感器。另外,上部电极也兼作湿度传感器的上部电极,通过在上部电极与下部电极之间测定湿度传感器材料的容量变化,能够测定湿度。应予说明,在测定湿度时,使用形成在传感器中的电感器和电容器构成谐振电路并测定LC谐振频率变化,从而进行湿度测定。

[0008] 另外,例如在日本特开平7-280767号公报(专利文献2)中公开了在基板的单面形成湿度传感器、在另一面形成温度传感器的复合传感器。通过该构成实现了小型化,并且利用与分开配置的情况相比物理距离变近的情况,能够更准确地进行温度的湿度校正或湿度的温度校正。

- [0009] 现有技术文献
[0010] 专利文献
[0011] 专利文献1:国际公开第2015/022891号公报
[0012] 专利文献2:日本特开平7—280767号公报

发明内容

[0013] 在国际公开第2015/022891号公报(专利文献1)中公开的复合传感器中,在温度测定时测定由Pt层形成的电阻的二端子间的电阻变化。另一方面,在湿度测定时,可以通过使用三端子测定LC谐振频率变化来进行湿度测定。在该复合传感器中,由于温度测定和湿度测定中使用的Pt层的电阻的一部分(线圈部分)被共用,因此,存在无法同时测定温度和湿度这样的问题。

[0014] 在日本特开平7—280767号公报(专利文献2)所公开的复合传感器中,温度传感器与湿度传感器的物理距离与分开配置的情况相比变近,但由于在温度传感器与湿度传感器之间配置有基板,2个传感器间仍然存在物理距离。由此,湿度传感器周围的湿度和温度传感器周围的湿度并不是严格相同。而且,根据基板的热容量,特别是存在温度变化时等,大气的温度与温度传感器和湿度传感器的温度产生差的可能性高。

[0015] 并且,在日本特开平7—280767号公报(专利文献2)中,是湿度传感器的2端子、温度传感器的2端子的合计4端子的结构,所以还存在实际安装时占较大空间这样的问题。

[0016] 本发明是为了上述课题而进行的,其目的在于提供能够同时测定温度和湿度且精度得到改善的复合传感器。

[0017] 本公开的复合传感器是将包含根据温度而电阻率发生变化的感温部件的温度传感器和包含根据湿度而静电容量发生变化的感湿部件的湿度传感器一体化而成的复合传感器。复合传感器具备与温度传感器和湿度传感器共用的第1端子,配置成能够在与第1端子之间测定感温部件的电特性的第2端子,以及配置成能够在与第1端子之间测定感湿部件的电特性的第3端子。

[0018] 根据本发明,温度传感器使用第1端子和第2端子,湿度传感器使用第1端子和第3端子,能够分开施加电压,因此,能够以1个传感器同时测定温度和湿度。另外,由于温度传感器和湿度传感器成为一体结构,因此,能够更准确地进行湿度传感器的温度校正、温度传感器的湿度校正。另外,由于为一体结构,因此,与分开准备温度传感器和湿度传感器的情况相比,能够实现安装时的小型化。进而,由于为3端子结构,因此,与4端子的结构的复合传感器相比,能够减少安装面积。

附图说明

- [0019] 图1是表示实施方式1的复合传感器的构成的立体图。
[0020] 图2是表示实施方式1的复合传感器的湿度传感器部的电极形成面的顶视图。
[0021] 图3是图1的III—III截面的截面图。
[0022] 图4是复合传感器的等效电路。
[0023] 图5是表示使湿度传感器和温度传感器一体化而成的传感器元件的变形例的图。
[0024] 图6是表示用感湿部件覆盖电极时的截面的截面图。

- [0025] 图7是用于对使电极层叠的例子即传感器元件(3-2)的电极进行说明的图。
- [0026] 图8是使电极层叠的例子即传感器元件(3-2)的截面图。
- [0027] 图9是对传感器元件(1-1)、(3-1)、(3-2)的特性进行比较示出的图。
- [0028] 图10是表示使湿度传感器部为层叠结构的复合传感器的第1例的截面图。
- [0029] 图11是表示使湿度传感器部为层叠结构的复合传感器的第2例的截面图。
- [0030] 图12是表示电极的层叠配置的第1例的图。
- [0031] 图13是表示电极的层叠配置的第2例的图。
- [0032] 图14是表示电极的层叠配置的第3例的图。
- [0033] 图15是表示形成于同一平面的平板状的对置电极的例子图。
- [0034] 图16是表示形成于同一平面的梳齿状的对置电极的例子图。
- [0035] 图17是表示形成于同一平面的蜿蜒(蛇行)状的对置电极的例子图。
- [0036] 图18是表示形成于不同的层的平板状的对置电极的例子图。
- [0037] 图19是表示形成于不同的层的梳齿状的对置电极的例子图。
- [0038] 图20是表示形成于不同的层的蜿蜒状的的对置电极的例子图。
- [0039] 图21是表示实施方式4中使用的平面线圈电极的一个例子图。
- [0040] 图22是表示在元件内部形成有三维线圈的状态的图。
- [0041] 图23是将传感器元件(4-1)、(4-2)、(4-3)的特性并排示出的图。
- [0042] 图24是将传感器元件(5-1)、(5-2)、(5-3)的特性并排示出的图。
- [0043] 图25是将传感器元件(5-4)、(5-5)、(5-6)的特性并排示出的图。
- [0044] 图26是将传感器元件(6-1)、(6-2)、(6-3)的特性并排示出的图。
- [0045] 图27是将传感器元件(7-1)、(7-2)、(7-3)的特性并排示出的图。
- [0046] 图28是用于对实施方式8的层叠有湿度传感器部的线圈电极的形状进行说明的图。
- [0047] 图29是将传感器元件(6-3)、(8-1)、(9-1)的特性并排示出的图。
- [0048] 图30是比较例的复合传感器的等效电路图。

具体实施方式

[0049] 以下,参照附图对研究例和本发明的实施方式进行比较说明。应予说明,对图中的相同或相当部分表述相同符号,不重复其说明。

[0050] [实施方式1]

[0051] 图1是表示实施方式1的复合传感器的构成的立体图。图2是表示实施方式1的复合传感器的湿度传感器部的电极形成面的顶视图。图3是图1的III-III截面的截面图。

[0052] 图1所示的复合传感器1-1是将包含感温部件的温度传感器部56和包含感湿部件的湿度传感器部51一体化的复合传感器。复合传感器1-1具备温度传感器部56和湿度传感器部51共用的第1端子53,配置成能够在与第1端子53之间测定感温部件的电特性的第2端子57,以及配置成能够在与第1端子53之间测定感湿部件的电特性的第3端子52。

[0053] 优选温度传感器部56的感温部件层叠配置于湿度传感器部51的感湿部件。如果将与复合传感器的层叠方向交叉的面设为上表面FU和下表面FL、将沿着复合传感器的层叠方向的面设为侧面FS1~FS4,则第1端子53形成于侧面FS1。

[0054] 更优选复合传感器1—1具有长方体的形状。长方体的侧面包含第1~第4侧面FS1~FS4,第1端子53形成于第1侧面FS1,第3侧面FS3为与第1侧面FS1相反侧的侧面,第3端子52形成于第3侧面FS3。优选第2端子57形成于与复合传感器的层叠方向正交的上表面FU。

[0055] 在实施方式1中,使静电容量变化型的湿度传感器部51与温度传感器部56以将各自的GND端子共同化的3端子结构进行一体化。作为静电容量变化型的湿度传感器部51的感湿部件2,例如可以使用聚酰亚胺、聚酰胺酰亚胺、聚酰胺、乙酸丁酸纤维素(CAB)、聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)、巴豆酸乙烯酯、聚对苯二甲酸乙二醇酯和它们的混合物等。如图3所示,通过在感湿部件2的表面形成图2所示的电极E1、E2,能够利用分别连接于电极E1、E2的端子52、53测定感湿部件2的容量变化。

[0056] 应予说明,在将如图3所示使电极E1、E2作为形成于感湿部件2的表面的外部电极的复合传感器1—1,向印刷配线基板进行表面安装的情况下,例如优选将图1的第2侧面FS2作为印刷配线基板侧进行安装,不使形成于上表面FU和下表面FL的梳齿形电极成为基板侧。

[0057] 温度传感器部56可以使用NTC热敏电阻器、测温电阻体(Pt、PtCo、Ni、Cu等)、热电偶、热电型温度传感器、半导体温度传感器(二极管、晶体管、IC等)等一般已知的感温部件。可以利用端子57和端子53测定这些感温部件的电特性。在图1中,以端子57与端子53之间的电阻值变低的方式在端子57与端子53之间形成梳齿形的电极图案,以便即使在感温部件的电阻率高的情况下也容易进行测定。应予说明,未必需要梳齿形的电极图案,端子57与端子53之间也可以露出未形成电极图案的感温部件的表面。

[0058] 图4是复合传感器的等效电路。参照图1、图4,端子T1对应于与温度传感器部56和湿度传感器部51共用的第1端子53。端子T2对应于配置成能够在与第1端子53之间测定感温部件的电特性的第2端子57。端子T3对应于配置成能够在与第1端子53之间测定感湿部件的电特性的第3端子52。

[0059] 参照图4,第1端子T1是连接于GND的接地端子,在第1端子T1与第2端子T2之间连接有直流电压源VSDC,在第1端子T1与第3端子T3之间连接有交流电压源VSAC。应予说明,虽然未图示,但在第2端子与直流电压源VSDC之间以及第3端子与交流电压源VSAC之间各自连接有电阻测定电路、容量测定电路。

[0060] 电阻R是感温部件的等效电阻。容量C是感湿部件的等效容量。可以在端子T1—T2间测定温度,同时可以在端子T1—T3间测定湿度。

[0061] 图30是比较例的复合传感器的等效电路图。该比较例的复合传感器是国际公开第2015/022891号公报(专利文献1)中公开的复合传感器。在图30的电路构成中,将在湿度测定时形成于端子PA—PB间的LC谐振电路,在放大器的输出与接地节点之间进行连接,观测谐振频率的变化而测定湿度。另一方面,在温度测定时,通过测定端子PA—PB间的电阻变化来测量温度。因此,在图30的电路构成中,无法同时测定温度和湿度。

[0062] 与此相对,在本实施方式中,通过采用图4所示的电路构成,能够对温度传感器和湿度传感器各自施加电压,因此,能够同时测定温度和湿度。

[0063] 另外,由于温度传感器和湿度传感器为一体结构,因此,在连接有温度传感器和湿度传感器的检测电路中,能够更准确地进行湿度传感器的温度校正、温度传感器的湿度校正。

[0064] 另外,由于使温度传感器和湿度传感器为一体结构,因此,与分开准备2个传感器的情况相比,在安装时能够小型化。另外,即使在同样地一体化的情况下,在本实施方式中,由于是共用有GND端子的3端子结构,因此,与不具有共用端子的4端子结构相比,能够减小安装面积。

[0065] 接着,对使用聚酰亚胺作为感湿材料、使用 NiMn_2O_4 的NTC热敏电阻器作为感温材料的具体例进行说明。

[0066] 作为聚酰亚胺的原料,使用聚酰胺酸溶解于N-甲基-2-吡咯烷酮(NMP)溶剂的聚酰亚胺清漆。使用 $100\mu\text{m}$ 厚的刮刀将聚酰亚胺清漆涂布在PET膜上,一边在 60°C 的温度下使其干燥一边使片移动,由此在PET膜上形成聚酰亚胺的前体。应予说明,在使用 $100\mu\text{m}$ 厚的刮刀的情况下,该时刻的片的厚度约为 $20\mu\text{m}$ (煅烧后约 $15\mu\text{m}$)。在想进一步减薄片的厚度的情况下,只要减薄刮刀的厚度即可。例如,在使用 $50\mu\text{m}$ 的刮刀厚的情况下,能够形成 $10\mu\text{m}$ 厚(煅烧后约 $7.5\mu\text{m}$)的聚酰亚胺前体片。

[0067] 将该片切割后,将Ag膏丝网印刷成图2所示的梳齿形状,在聚酰亚胺前体片上形成电极E1、E2。通过使在此印刷的图案为平板状、梳齿状、蜿蜒状,能够改变电极E1、E2的形状。印刷后,利用干燥机在 60°C 进行5分钟干燥。应予说明,在此,印刷使用Ag膏,但通过使用想要使用的材料的膏作为电极,能够改变电极材料的种类。另外,也可以使用溅射法或蒸镀法等薄膜形成工艺来制作电极。

[0068] 在如此制作的聚酰亚胺前体片的表面中的与印刷了电极的面相反的一侧,通过气溶胶沉积法(AD法)在室温下成膜使用金属掩模进行了图案化的 $3\mu\text{m}$ 厚的NTC热敏电阻器用 NiMn_2O_4 厚膜。作为该NTC热敏电阻器用电极,通过溅射形成NiCr/蒙乃尔合金/Ag电极。

[0069] 在该状态将片切割成目标复合传感器的尺寸后,在空气气氛下在 350°C 进行1小时的煅烧。在煅烧后的试样形成Ag的布线电极,然后进一步在 100°C 进行煅烧,由此能够得到图1、图3所示的传感器元件(1-1)。

[0070] 如此制作的NTC热敏电阻器在 $25^\circ\text{C}/50^\circ\text{C}$ 的B常数在 3450K 、 25°C 的电阻率 ρ 为 $2.6\text{k}\Omega\text{cm}$ 。应予说明,通过在制作NTC热敏电阻器时的原料使用最佳的原料,能够形成任意组成的NTC热敏电阻器。上面虽然以 NiMn_2O_4 为例进行了说明,但本实施方式的NTC热敏电阻器并不限定于 NiMn_2O_4 ,只要是一般作为NTC热敏电阻器利用的原料则均可以使用。而且,NTC热敏电阻器厚膜的成膜方法只要是在聚酰亚胺的玻璃化转变温度(约 450°C)以下进行成膜的方法即可,并不限定于AD法。

[0071] 如此形成的湿度传感器部分的静电容量为 0.809pF 。

[0072] 应予说明,与湿度传感器一体化的温度传感器可以为使用Pt的电阻变化的温度传感器。图5是表示使湿度传感器与温度传感器一体化的传感器元件的变形例的图。Pt温度传感器部66的制作与湿度传感器部61制作的工艺并行进行。与上述方法同样地形成聚酰亚胺前体片,在与印刷了湿度传感器用电极的面相反的侧印刷Pt膏,进行温度传感器部66的图案化。将该片以成为目标尺寸的方式切割,在空气气氛下在 350°C 进行1小时的煅烧,由此能够得到图5所示的传感器元件(1-2)。对该Pt温度传感器部66的 $25^\circ\text{C}\sim 85^\circ\text{C}$ 的温度系数进行了测定,结果为 3800ppm/K ,得到了与一般的Pt温度传感器同等的特性。应予说明,Pt温度传感器部66的形成可以通过蒸镀法、溅射法等一般的薄膜或厚膜形成方法进行。

[0073] [实施方式2]

[0074] 在实施方式1中,作为湿度传感器,使用容量变化型的湿度传感器,但在实施方式2中,使电阻变化型的湿度传感器与温度传感器以将各自的GND共用化的3端子结构进行一体化。作为电阻变化型湿度传感器材料,可以使用已知的 Al_2O_3 、 TiO_2 、 SiO_2 、 SnO_2 、 ZnO 、 In_2O_3 、聚合物材料(高分子电解质、导电性聚合物等)等。

[0075] 作为一个例子,对电阻变化型湿度传感器的感湿材料使用添加Na的 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{Na}$ (添加Na的氧化铝),使用NTC热敏电阻器作为温度传感器时的制作方法进行说明。

[0076] 首先,使氧化铝粉末、硝酸钠、粘合剂、增塑剂、消泡剂、湿润剂以Na添加量相对于氧化铝成为2wt%的方式分散于水,制作浆料。使用该浆料,利用100 μm 的刮刀一边在60 $^\circ\text{C}$ 的温度进行干燥一边使片移动,由此在PET膜上制作添加Na的氧化铝前体片。在该片上印刷与传感器元件(1-1)相同图案(图2)的Ag电极,从PET膜剥离。然后,在片的与印刷了电极的面相反的一侧,利用气溶胶沉积法(AD法),在室温下成膜使用金属掩模进行了图案化的3 μm 厚的NTC热敏电阻器用 NiMn_2O_4 厚膜。作为该NTC热敏电阻器用的电极,通过溅射形成NiCr/蒙乃尔合金/Ag电极。在该状态下将片切割成目标复合传感器的尺寸后,在900 $^\circ\text{C}$ 进行2小时煅烧,由此制作使用添加Na的氧化铝的湿度传感器,得到传感器元件(2-1)。通过这样的方法制作的湿度传感器在湿度变化为10%RH~90%RH时,电阻从925k Ωcm 变为19k Ωcm ,约变48倍。

[0077] [实施方式3]

[0078] 实施方式3的特征在于,作为湿度传感器,使用静电容量型湿度传感器作为湿度传感器,并且,作为湿度传感器用的电极,具有被感湿部件覆盖的内部电极。内部电极的形状为平板状、梳齿状、蜿蜒状等形状。另外,也可以将这些电极以任意的组合形成为多层。

[0079] 内部电极由于没有露出部分,因此,能够减少结露对湿度测定结果造成影响。另外,因位于电极周围的感湿部件的比例增加,能够高灵敏度地测定湿度。

[0080] 在湿度传感器材料的内部配置有电极的情况下,能够减少因大气中的腐蚀气体所致的电极腐蚀对湿度测定结果造成的影响。通过依据JIS K7126的方法分别测定作为腐蚀性气体的代表性的 SO_2 、 NH_3 、 H_2S 透过感湿部件的气体透过度。在感湿部件为15 μm 厚的聚酰亚胺片的情况下, SO_2 、 NH_3 、 H_2S 的气体透过度分别为 $2.39 \times 10^{-13} \text{mol}/(\text{s} \cdot \text{m}^2/\text{Pa})$ 、 $1.26 \times 10^{-13} \text{mol}/(\text{s} \cdot \text{m}^2/\text{Pa})$ 、 $5.02 \times 10^{-14} \text{mol}/(\text{s} \cdot \text{m}^2/\text{Pa})$ 。考虑在外部电极的情况下电极直接暴露于腐蚀性气体,因此,可知通过为内部电极,对各个腐蚀性气体具有一定的气体透过抑制效果。因此,可知与电极被直接开放到大气的情况相比,对气体腐蚀的耐性提高。

[0081] 图6是表示用感湿部件覆盖电极时的截面的截面图。图6所示的传感器元件(3-1)具有在图3所示的传感器元件(1-1)的电极E1、E2表面层叠有15 μm 厚的聚酰亚胺的层的结构。

[0082] 对传感器元件(3-1)的制作方法进行说明。通过与实施方式1相同的方法制作聚酰亚胺前体片,将其层叠于实施方式1的电极印刷完毕的片(梳齿电极/聚酰亚胺/NTC热敏电阻器)的梳齿电极侧,以200MPa的压力进行压接。然后,在空气气氛下在350 $^\circ\text{C}$ 进行1小时煅烧后,将片切割成复合传感器的尺寸,由此能够制作传感器元件(3-1)。传感器元件(3-1)中的湿度传感器的静电容量为1.366pF,可知与传感器元件(1-1)的情况的0.809pF相比,静电容量变大。

[0083] 图7是用于对使电极层叠的例子即传感器元件(3-2)的电极进行说明的图。图8是

使电极层叠的例子即传感器元件(3-2)的截面图。如图7、图8所示,通过将湿度传感器部分的聚酰亚胺2D、2E、2F…和梳齿电极E1、E2层叠,能够进一步增大静电容量。该层叠了电极的传感器元件(3-2)中,将传感器元件(3-1)中使用的聚酰亚胺前体片的层叠片数设为73片。除最上部的片以外,印刷了与传感器元件(1-1)相同的形状的梳齿电极。如此制作的传感器元件(3-2)的静电容量为103.822pF。

[0084] 图9是将传感器元件(1-1)、(3-1)、(3-2)的特性进行比较示出的图。在传感器元件(3-1)、传感器元件(3-2)中,调查使相对湿度从10%RH到90%进行变化时的静电容量的变化,结果可知传感器元件(3-1)为55.2%,传感器元件(3-2)为51.8%,与传感器元件(1-1)的27.3%相比,可得到高的灵敏度。

[0085] 图10是表示使湿度传感器部为层叠结构的复合传感器的第1例的截面图。图10所示的传感器元件中,使图1的传感器元件(1-1)的湿度传感器部51设为层叠型的湿度传感器。在湿度传感器部51中,将形成有电极E1的聚酰亚胺片和形成有电极E2的聚酰亚胺片交替层叠。在湿度传感器部51形成有端子52、53。通过测量端子52与端子53之间的静电容量,能够检测湿度。

[0086] 在湿度传感器部51上配置有由NTC热敏电阻器构成的温度传感器部56。

[0087] 图11是表示使湿度传感器部为层叠结构的复合传感器的第2例的截面图。图11所示的传感器元件使图5的传感器元件(1-2)的湿度传感器部61为层叠型的湿度传感器。在湿度传感器部61中,将形成有电极E1的聚酰亚胺片和形成有电极E2的聚酰亚胺片交替层叠。在湿度传感器部61形成有端子62、63。通过测量端子62与端子63之间的静电容量,能够检测湿度。

[0088] 应予说明,虽然以图10所示的结构中使用的温度传感器材料作为NTC热敏电阻器,使图11所示的结构中使用的温度传感器材料作为Pt,但图10所示的结构也可以使用Pt温度传感器,图11所示的结构也可以使用NTC热敏电阻器。

[0089] 图10所示的湿度传感器部51和图11所示的湿度传感器部61形成为与一般的层叠陶瓷电容器相同的形状。在实施方式3的湿度传感器部中,也可以采用与层叠陶瓷电容器同样的各种内部电极的配置。内部电极的配置方式有很大的自由度。图12是表示电极的层叠配置的第1例的图。图13是表示电极的层叠配置的第2例的图。图14是表示电极的层叠配置的第3例的图。

[0090] 例如,湿度传感器部可以采用一般层叠陶瓷电容器中已知那样的图12~图14所示的内部电极结构。图12所示的配置是最典型的电极配置。图13所示的配置是将电极E1、E2在中央部分交替层叠的电极配置。此时,在形成有与端子T1的电极E1的层与电极E1空出间隙地形成有与端子T2导通的对电极,在形成有与端子T2导通的电极E2的层与电极E2空出间隙地形成有与端子T1导通的对电极。在图14所示的配置中,在电极E1、E2之间配置有电极E3。该配置的传感器元件的等效电路是将由电极E1和E3形成的平行平板电容器与由电极E2和E3形成的平行平板电容器串联连接的电路。在如图10~图14所示的湿度传感器中,感湿部件2包含彼此以至少一部分相接的方式依次重叠配置的多个感湿层,第1电极E1的多个电极部与多个感湿层交替层叠而配置。另外,第2电极E2的多个电极部也与多个感湿层交替层叠而配置。

[0091] 如此,通过将内部电极形成为多层,能够进一步增大湿度传感器部的静电容量。此

时,也可以将各种内部电极形状组合。以下,示出几个内部电极形状的例子。

[0092] 图15是表示形成于同一平面的平板状的对置电极的例子。图16是表示形成于同一平面的梳齿状的对置电极的例子。图17是表示形成于同一平面的蜿蜒(蛇行)状的对置电极的例子。

[0093] 图18是表示形成于不同的层的平板状的对置电极的例子。图19是表示形成于不同的层的梳齿状的对置电极的例子。图20是表示形成于不同的层的蜿蜒状的对置电极的例子。

[0094] 通过将图15~图20所示的各种内部电极形状组合,能够制作具有高静电容量、快响应速度和恢复速度的湿度传感器。例如,可以在湿度传感器部的中央部配置平板状的电极,在湿度传感器部的外侧配置梳齿电极状、蜿蜒状的电极等。

[0095] 作为代表对于图15和图18的具有内部电极的湿度传感器部的特征进行说明。湿度传感器部1和11具备与第1端子T1电连接的第1电极E1和与第3端子T3电连接的第2电极E2。第1电极E1包含第1内部电极部E1A,该第1内部电极部E1A包含被感湿部件2覆盖的第1主面S1和被感湿部件2覆盖的第2主面S2。第2电极E2包含第2内部电极部E2A,该第2内部电极部E2A包含被感湿部件2覆盖的第3主面S3和被感湿部件2覆盖的第4主面S4。第1内部电极部E1A包含与第2内部电极部E2A的至少一部分夹持感湿部件2并对置的部分。如此,通过使复合传感器具备在感湿部件2埋设有第1电极E1和第2电极E2的湿度传感器部,湿度的检测灵敏度变良好,并且保护电极免受腐蚀性气体,湿度传感器部的可靠性提高。

[0096] 应予说明,在使用根据湿度而电阻率发生变化的感湿部件的电阻变化型湿度传感器的情况下,将制作了如传感器元件(3-1)那样使电极为内部电极的结构传感器元件设为传感器元件(3-3)。在传感器元件(3-3)中,通过使湿度从10%RH到90%RH变化,电阻值从619k Ω cm变化约75倍至8.3k Ω cm。考虑到传感器元件(2-1)中电阻变化为约48倍,可知通过采用使用内部电极的结构,在传感器元件(3-3)中,湿度传感器部的灵敏度提高。

[0097] [实施方式4]

[0098] 在实施方式4中,作为静电容量型湿度传感器用的电极,在湿度传感器材料内部具有内部电极,使该内部电极的形状为线圈状。另外,作为内部电极,可以使用将平板状、梳齿状、蜿蜒状等电极形状的电极组合而成的电极,也可以将这些电极形成为多层。

[0099] 根据实施方式4,能够增大湿度传感器的L成分,因此,即使不在外部使用电感器,也能够使湿度测定用的谐振电路谐振。

[0100] 作为一个例子,对平面线圈状的电极的情况进行说明。图21是表示实施方式4中使用的平面线圈电极的一个例子的图。示出了在纵 \times 横为1.2mm \times 2.0mm的尺寸中,具有L/S(线/空间)为100 μ m/100 μ m的平面线圈状的上部电极和平面线圈状的下部电极通过中心部的导通孔连接的结构传感器元件(4-1)。

[0101] 传感器元件(4-1)可以通过以下的方法制作。通过与实施方式1同样的方法制作聚酰亚胺前体片。使用激光打孔机在聚酰亚胺前体片打开导通孔。打开导通孔后,将Ag膏灌注导通孔,在60 $^{\circ}$ C使其干燥后,通过印刷在两面形成线圈状的Ag电极E11A、E11B。在每次单面印刷时,在60 $^{\circ}$ C进行干燥。然后,在片单面通过气溶胶沉积法(AD法)在室温下成膜使用金属掩模进行了图案化的10 μ m厚的NTC热敏电阻器用NiMn₂O₄厚膜。作为该NTC热敏电阻器用的电极,通过溅射形成NiCr/蒙乃尔合金/Ag电极。将片切割成目标尺寸后,在空气气氛下在

350°C进行1小时煅烧。在煅烧后的试样形成Ag的布线电极后,在100°C进一步进行煅烧,由此目标复合传感器元件的制作完成。本申请发明人通过实验对传感器元件(4-1)的谐振频率进行了确认,结果为6.907GHz。

[0102] 将在传感器元件(4-1)的外部电极上进一步层叠15 μm 厚的聚酰亚胺而成的传感器元件设为传感器元件(4-2)。传感器元件(4-2)可以通过如下操作制作:将传感器元件(4-1)的制作过程中的电极印刷后的聚酰亚胺前体片层叠在未印刷电极的聚酰亚胺片上,以200MPa的压力进行压接后,在空气气氛下在350°C进行1小时煅烧。本申请发明人通过实验对该结构的谐振频率进行确认,结果为5.559GHz,与传感器元件(4-1)相比,能够降低谐振频率。

[0103] 而且,如一般的芯片电感器那样,如果在元件内部形成三维线圈,则能够进一步降低谐振频率。图22是表示在元件内部形成有三维线圈的状态的图。将采用图22的三维线圈的元件设为传感器元件(4-3)。传感器元件(4-3)与传感器元件(4-1)、传感器元件(4-2)的情况同样地,通过在聚酰亚胺前体片打开导通孔,灌注Ag电极膏,进行Ag电极印刷,使它们合计层叠73片而得到。本申请发明人通过实验对如此制作的传感器元件(4-3)的谐振频率进行了确认,结果为0.715GHz。图23是将传感器元件(4-1)、(4-2)、(4-3)的特性并排示出的图。可知,在传感器元件(4-3)与传感器元件(4-1)、传感器元件(4-2)相比,大幅降低了谐振频率。因此,能够使用时钟频率低的低速的微电脑来测定湿度测定所需的谐振频率。

[0104] [实施方式5]

[0105] 在实施方式5中,在复合传感器的构成中,作为湿度传感器部的感湿部件,使用湿度传感器材料与介电常数与湿度传感器材料不同的材料的复合材料。介电常数不同的材料与湿度传感器材料相比,比介电常数高。作为湿度传感器材料,例如可以使用聚酰亚胺、聚酰胺酰亚胺、聚酰胺、乙酸丁酸纤维素(CAB)、聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)、巴豆酸乙烯酯、聚对苯二甲酸乙二醇酯和它们的混合物等。另外,作为相对介电常数高的材料,可以使用BaTiO₃、Pb(Zr,Ti)O₃、(K,Na)NbO₃、CaCu₃Ti₄O₁₂等陶瓷电介质材料等。另外,复合材料的各成分可以将湿度传感器材料和电介质材料均匀混合,也可以不均匀混合,还可以局部存在。

[0106] 通过使用如此比介电常数高的材料与湿度传感器材料的复合材料,能够增大湿度传感器部的静电容量。

[0107] 作为湿度传感器材料与比介电常数高的材料的复合材料的例子,对聚酰亚胺与作为强电介质材料的BaTiO₃的复合材料进行了研究。将与上述聚酰亚胺清漆相同的聚酰亚胺清漆作为聚酰亚胺原料,将BaTiO₃的粉末按照以体积比计聚酰亚胺:BaTiO₃成为1:1的方式将聚酰亚胺清漆和BaTiO₃混合。将混合而得的物质作为复合片制作原料,以与实施方式1相同的方法、条件进行片成型、电极印刷、层叠、压接、煅烧,由此能够制作使用聚酰亚胺与BaTiO₃的复合片的湿度传感器。

[0108] 将以聚酰亚胺与BaTiO₃的复合片制作与实施方式1和实施方式3中说明的传感器元件(1-1)、(3-1)、(3-2)相同的结构的传感器元件分别设为传感器元件(5-1)、(5-2)、(5-3)。

[0109] 图24是将传感器元件(5-1)、(5-2)、(5-3)的特性并排示出的图。传感器元件(5-1)、(5-2)、(5-3)的湿度传感器部的静电容量为6.760pF、13.810pF、1.209nF。可知,

它们与仅使用聚酰亚胺的感湿部件的情况相比,成为约8.35~11.65倍的静电容量。

[0110] 作为复合材料的其它例子,对聚酰亚胺与不是强电介质但显示高介电常数的 $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ 以体积比计为5:1的复合材料也同样地进行研究。

[0111] 将以聚酰亚胺/ $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ 复合片制作与实施方式1和实施方式3中说明的传感器元件(1-1)、(3-1)、(3-2)相同的结构的传感器元件分别设为传感器元件(5-4)、(5-5)、(5-6)。

[0112] 图25是将传感器元件(5-4)、(5-5)、(5-6)的特性并排示出的图。传感器元件(5-4)、(5-5)、(5-6)的湿度传感器部的静电容量为31.595pF、66.081pF、5.873nF。可知,它们与仅使用聚酰亚胺的情况相比,成为约39.05~56.57倍的静电容量。

[0113] [实施方式6]

[0114] 在实施方式6中,对使用湿度传感器材料与相对磁导率比湿度传感器材料高的材料的复合材料的感湿部件进行了研究。作为相对磁导率高的材料,可以使用各种铁氧体(尖晶石铁氧体、六方晶铁氧体、石榴石铁氧体等)、各种陶瓷磁性体材料(氧化铁等)、坡莫合金、各种不锈钢、各种金属磁性体材料(FePt、PtCo、FeCo、Ni、Fe等)等。另外,复合材料的各成分可以将湿度传感器材料和磁性体材料均匀地混合,也可以不均匀地混合,还可以局部存在。

[0115] 通过使用如此相对磁导率高的材料与湿度传感器材料的复合材料,能够增大湿度传感器部的电感。因此,不需要使用复合传感器构成LC发振电路时的外部电感器。

[0116] 作为湿度传感器材料与相对磁导率 μ_r 高的材料的复合材料的例子,对聚酰亚胺与相对磁导率 μ_r 为1300的铁氧体材料的复合材料进行了研究。将与上述聚酰亚胺清漆相同的聚酰亚胺清漆作为聚酰亚胺原料,将铁氧体材料的粉末按照以体积比计聚酰亚胺:铁氧体材料成为1:1的方式将聚酰亚胺清漆和铁氧体材料混合。将混合而得的物质作为复合片制作原料,以与实施方式1的传感器元件(1-1)制作时相同的方法、条件进行片成型、电极印刷、层叠、压接、煅烧,由此制作使用聚酰亚胺与铁氧体材料的复合片的湿度传感器。将以聚酰亚胺与铁氧体材料的复合片制作与实施方式4所示的传感器元件(4-1)、(4-2)、(4-3)相同的结构而得的结构设为传感器元件(6-1)、(6-2)、(6-3)。

[0117] 图26是将传感器元件(6-1)、(6-2)、(6-3)的特性并排示出的图。传感器元件(6-1)、(6-2)、(6-3)的谐振频率分别为3.677GHz、0.427GHz、39.812MHz。可知它们与仅使用聚酰亚胺的感湿部件的情况相比,频率变低约46.76%~94.54%。

[0118] [实施方式7]

[0119] 在实施方式7中,对实施方式5(湿度传感器材料与电介质材料的复合体)与实施方式6(湿度传感器材料与磁性体材料的复合体)的组合进行研究。即,将湿度传感器材料、介电常数比湿度传感器材料高的电介质材料与磁性体材料的复合材料用于湿度传感器部的感湿部件。

[0120] 通过使用这样的复合材料,能够同时增大湿度传感器部的静电容量和电感。另外,不需要使用复合传感器构成LC发振电路时的外部电感器。

[0121] 与实施方式5和实施方式6同样地,通过将湿度传感器材料和电介质材料、磁性体材料混合而制作复合片。

[0122] 例如,对以聚酰亚胺: BaTiO_3 :铁氧体材料(相对磁导率 μ_r 为1300)的体积比成为2:

1:1的方式将聚酰亚胺清漆、BaTiO₃粉末、铁氧体材料粉末混合的情况进行说明。将通过与实施方式4同样的方法以聚酰亚胺、BaTiO₃与铁氧体材料的复合片制作与传感器元件(4-1)、(4-2)、(4-3)相同的结构而得的结构设为传感器元件(7-1)、(7-2)、(7-3)。

[0123] 图27是将传感器元件(7-1)、(7-2)、(7-3)的特性并排示出的图。传感器元件(7-1)、(7-2)、(7-3)的湿度传感器部的谐振频率分别为2.239GHz、0.309GHz、28.151MHz。可知,它们与仅使用聚酰亚胺的感湿部件的情况相比,谐振频率变低约67.58%~96.08%。

[0124] [实施方式8]

[0125] 虽然通过增多电介质、磁性体材料的量而具有使静电容量、电感变大这样的优点,但由于这些材料对湿度不响应,因此,也具有对湿度变化的灵敏度变差这样的缺点。因此,在实施方式8中,在湿度传感器部的元件的中心部分提高电介质、磁性体的比例,另一方面,在湿度传感器部的元件的表面附近提高聚酰亚胺的比例。

[0126] 应予说明,湿度传感器材料的比例的分布只要满足上述要件,则可以以均匀、不均匀、局部存在等任何方式分布。

[0127] 如果如此提高表面部的湿度传感器材料的浓度,则能够增大因湿度所致的静电容量变化,因此,能够大幅保持静电容量、电感并且提高对湿度的灵敏度。

[0128] 图28是用于对实施方式8的层叠有湿度传感器部的线圈电极的形状进行说明的图。将实施方式6中说明的传感器元件(6-3)的构成中使73层层叠的片中从表面起的2层为聚酰亚胺100%、使中心的71层为聚酰亚胺:铁氧体材料(相对磁导率 μ_r 为1300)混合比以计体积比为1:1的复合片的情况设为传感器元件(8-1)。

[0129] 应予说明,在传感器元件(8-1)中,由聚酰亚胺片夹持的表面的电极为与传感器元件(1-1)相同的梳齿电极。传感器元件(8-1)的谐振频率为42.193MHz。该谐振频率虽然稍微高于传感器元件(6-3)的谐振频率39.812MHz,但因从10%RH到90%RH的湿度变化所致的谐振频率变化为23.28%。可知该变化率大于传感器元件(6-3)时的20.66%。因此,可知与实施方式6的情况相比,能够增大对湿度的灵敏度。

[0130] 应予说明,传感器元件(8-1)与传感器元件(6-3)相比,虽然中心部分的材料组成相同,但通过增加中心部分的铁氧体材料的比例,能够降低谐振频率。另外,通过增加表面的聚酰亚胺的比例、厚度,虽然谐振频率变高,但能够增加对湿度的灵敏度。

[0131] [实施方式9]

[0132] 实施方式8的复合传感器的特征在于,湿度传感器部的感湿部件包含第1部分和第2部分,该第2部分配置成与第1部分相比更靠近湿度传感器部的主面(外表面),且湿度传感器材料(聚酰亚胺等)的比例比第1部分高。

[0133] 实施方式9的复合传感器与实施方式8的复合传感器的构成相比,虽然在湿度传感器部的元件表面使湿度传感器材料的比例为100%这一点相同,但在元件内部使湿度传感器材料的比例为0%这一点上不同。该比例是能够提高静电容量、电感并且增大因湿度变化所致的静电容量变化的最佳例。

[0134] 通过使表面的片的湿度传感器材料的比例为100%,根据表面的片的静电容量变化,可得到足够大的灵敏度。

[0135] 作为例子,对图28所示的传感器元件(8-1)中使中心部为100%铁氧体材料(相对

磁导率 μ_r 为1300)的传感器元件(9-1)的制作方法进行说明。此时,由于中心部与一般的芯片电感器结构相同,因此,能够直接使用一般的制作工艺。

[0136] 将铁氧体材料粉末、粘合剂、增塑剂、消泡剂、湿润剂溶解于水,进行搅拌、脱泡,将得到的物质设为用于片成型的浆料。将该浆料一边使用100 μm 的刮刀在60 $^{\circ}\text{C}$ 的温度进行干燥一边使片移动,由此在PET膜上制作铁氧体片。在该片印刷Ag电极后,将片层叠71片后,以200MPa的压力进行压接。然后,通过在900 $^{\circ}\text{C}$ 进行2小时煅烧,得到铁氧体层叠片L1~L71。

[0137] 在该铁氧体层叠片L1~L71旋涂上述的聚酰亚胺清漆后,在130 $^{\circ}\text{C}$ 进行干燥。然后,配置印刷了Ag的梳齿电极图案的片L72,在片L72的上部进一步旋涂聚酰亚胺清漆,在130 $^{\circ}\text{C}$ 进行干燥。然后,与实施方式1同样地通过AD法在层叠片的L1侧形成 NiMn_2O_4 的NTC热敏电阻器和电极。通过这样的方法形成聚酰亚胺前体/Ag电极/聚酰亚胺前体/铁氧体层叠片/NTC热敏电阻器的结构。在该状态下在空气气氛下在350 $^{\circ}\text{C}$ 进行1小时煅烧,然后切割成目标大小,由此能够制作传感器元件(9-1)。

[0138] 图29是将传感器元件(6-3)、(8-1)、(9-1)的特性并排示出的图。如图29所示,可知传感器元件(9-1)的谐振频率为9.560MHz,比传感器元件(8-1)的谐振频率低。另外,因从10%RH到90%RH的湿度变化所致的谐振频率的变化率为10.85%。其虽然与传感器元件(8-1)相比,变化率变小,但为约1.1MHz的频率变化,非常大。因此,通过采用传感器元件(9-1)的结构,能够大幅降低谐振频率并且得到足够大的频率变化。

[0139] 如以上说明所示,实施方式1~9的复合传感器在温度传感器部使用第1端子和第2端子,在湿度传感器部使用第1端子和第3端子,能够分开施加电压,因此,能够以1个传感器进行温度和湿度的同时测定。另外,由于温度传感器和湿度传感器为一体结构,因此,能够更准确地进行湿度传感器的温度校正、温度传感器的湿度校正。另外,由于为一体结构,因此,与分开准备温度传感器和湿度传感器的情况相比,安装时能够小型化进而,由于为3端子结构,因此,与4端子结构的复合传感器相比,能够减少安装面积。

[0140] 本次公开的实施方式在全部方面是例示,不应被认为是限制性的。本发明的范围并不是上述的说明而是由权利要求书表示,意欲包含与权利要求书均等的含义和范围内的全部变更。

[0141] 符号说明

[0142] 1-1复合传感器,2感湿部件,2D、2E、2F聚酰亚胺,1、11、51、61湿度传感器部,52、53、57、62、63、T1、T2、T3端子,56、66温度传感器部,E1、E2、E3、E11A、E11B电极,FL下表面,FS1~FS4第1~第4侧面,FU上表面,L1~L71铁氧体层叠片。

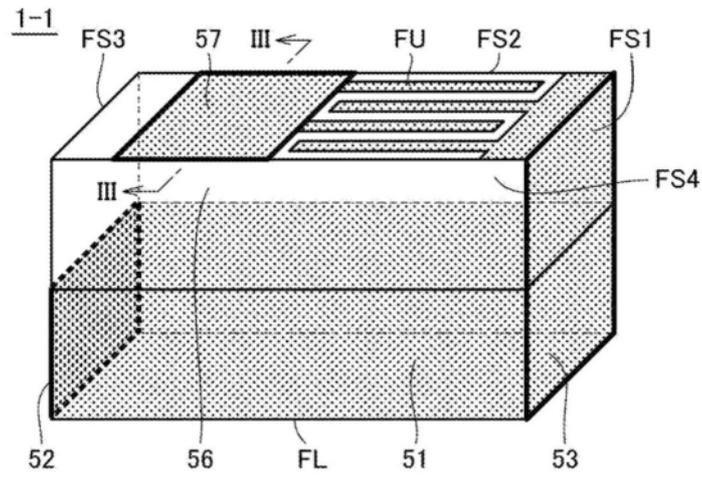


图1

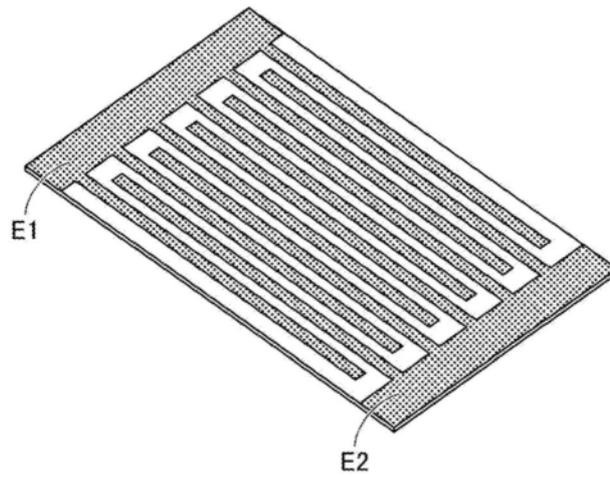


图2

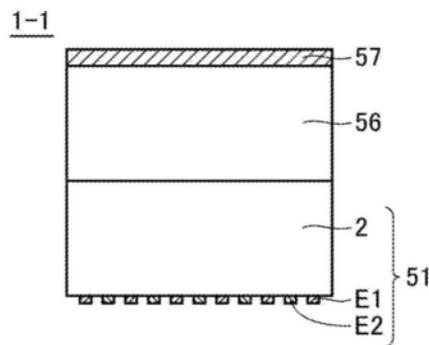


图3

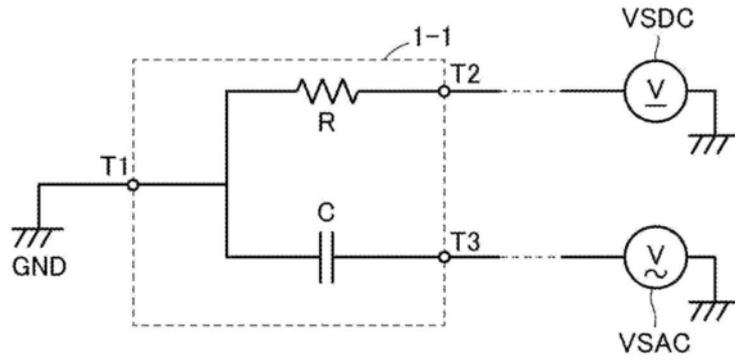


图4

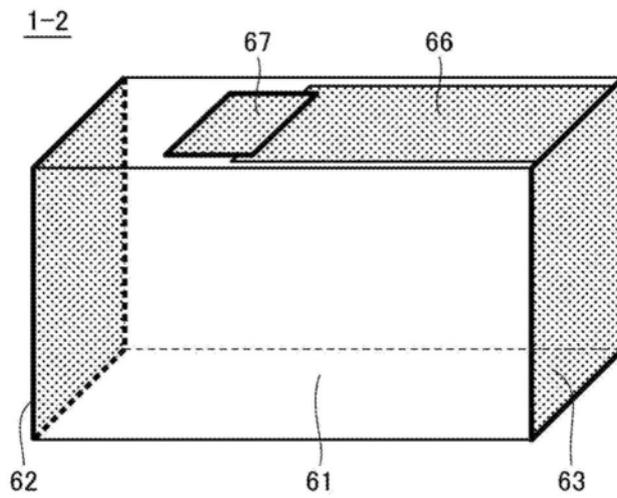


图5

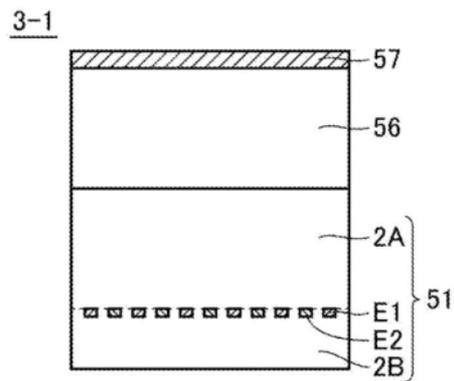


图6

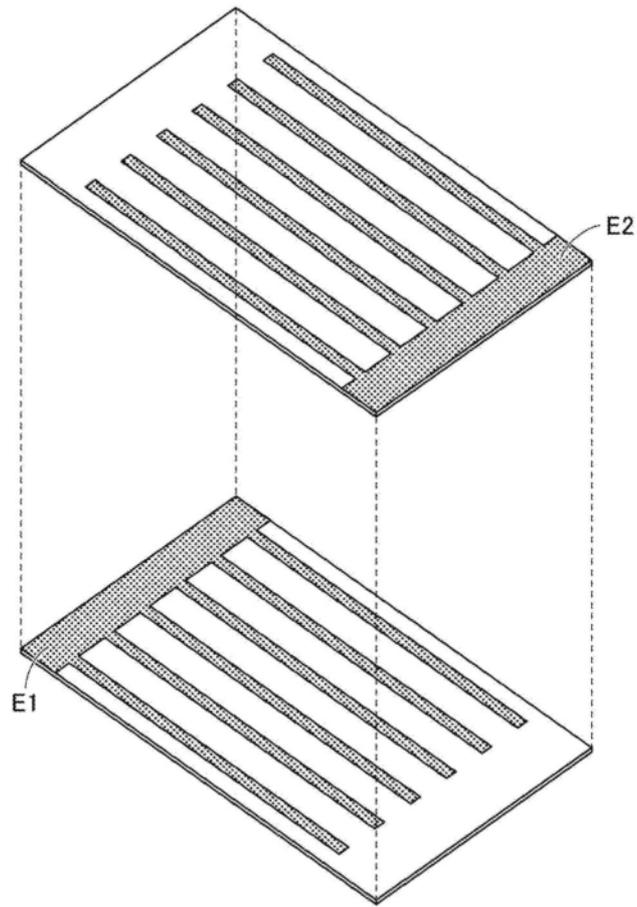


图7

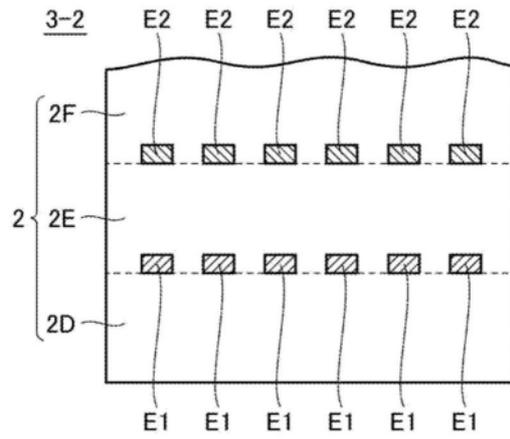


图8

梳齿电极的情况的静电容量和灵敏度

传感器元件	1-1	3-1	3-2
10%RH	0.809pF	1.366pF	103.822pF
90%RH	1.030pF	2.120pF	157.602pF
变化率	27.3%	55.2%	51.8%

图9

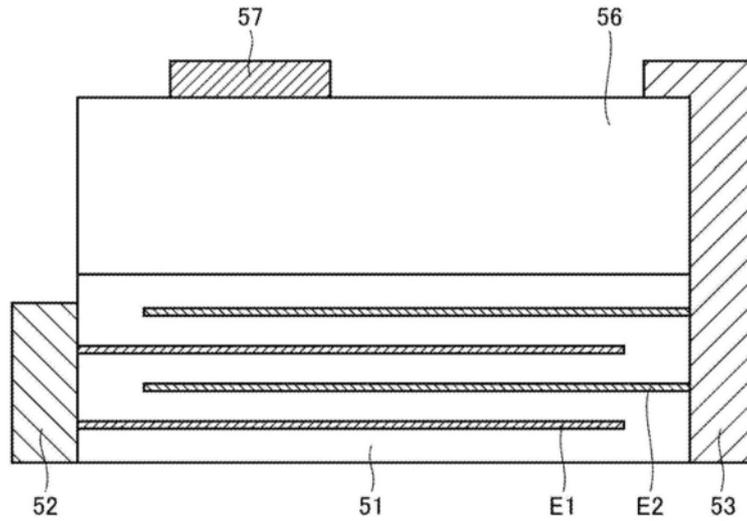


图10

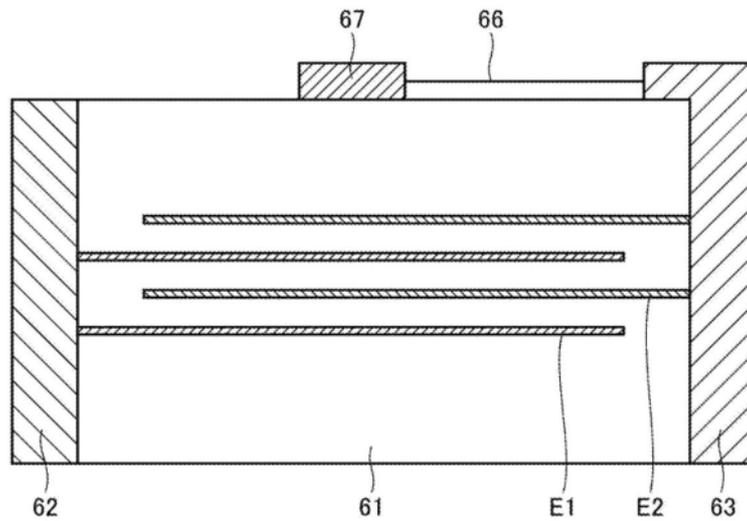


图11

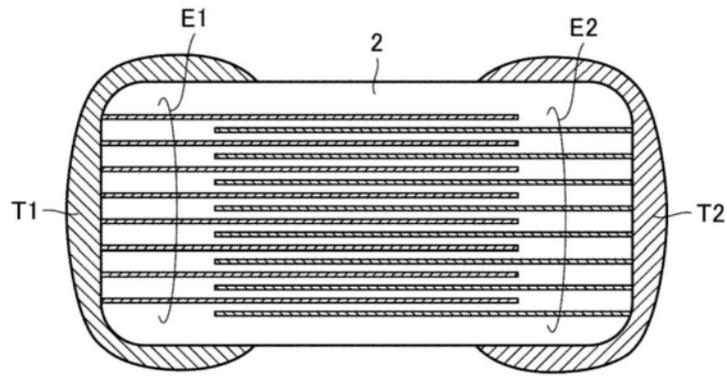


图12

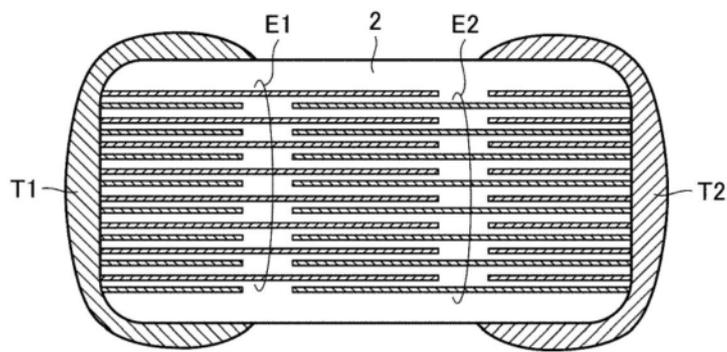


图13

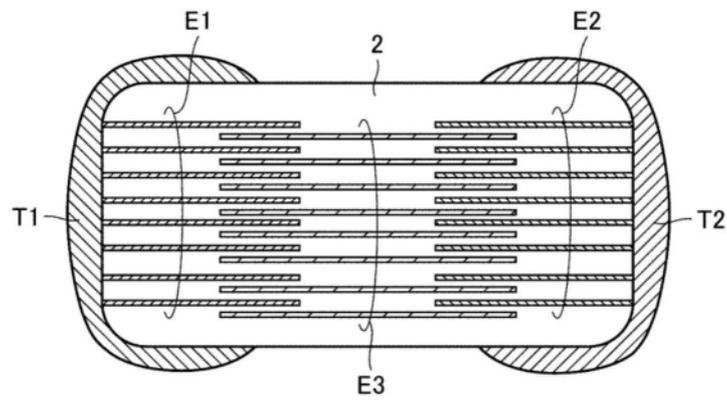


图14

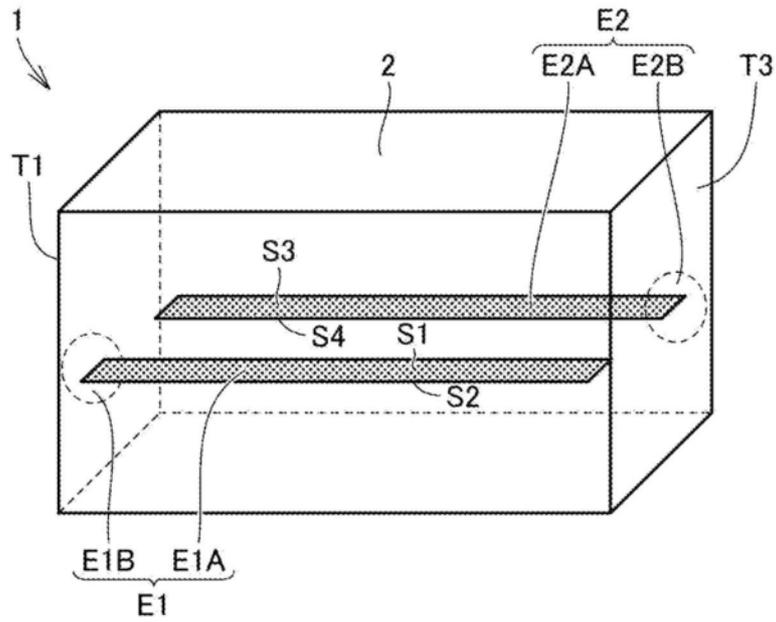


图15

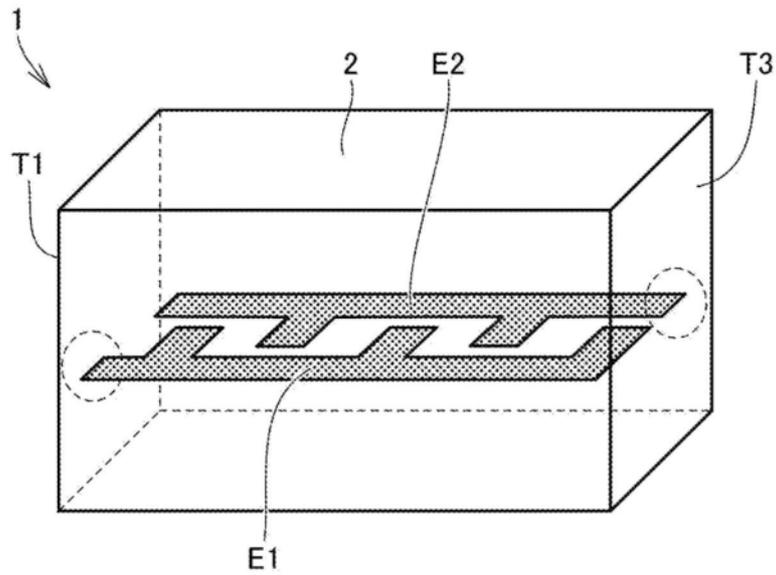


图16

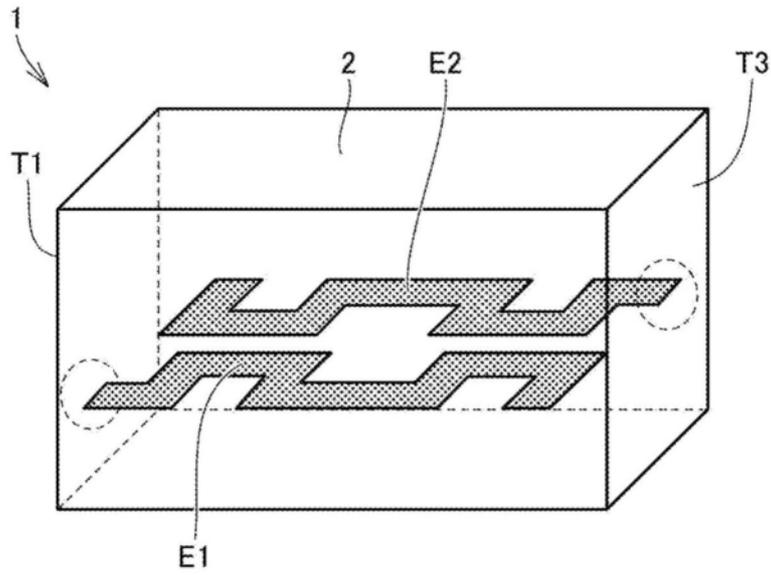


图17

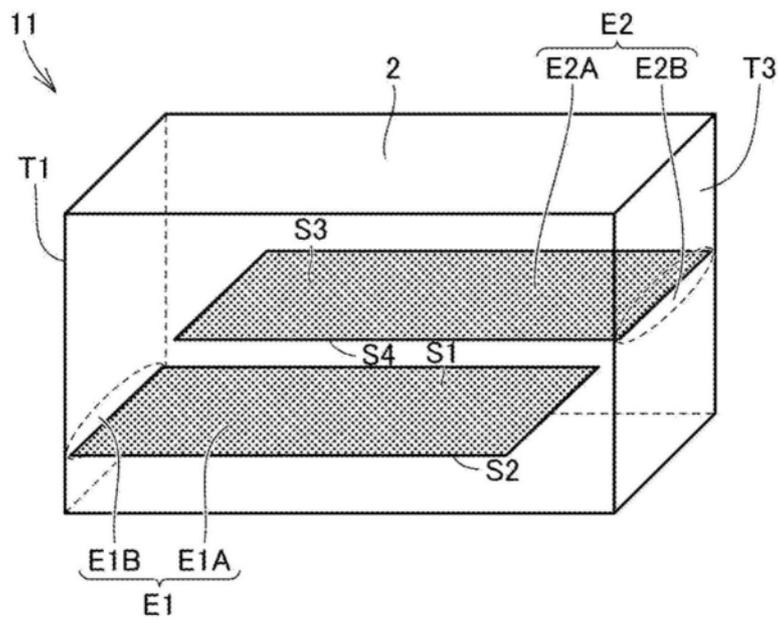


图18

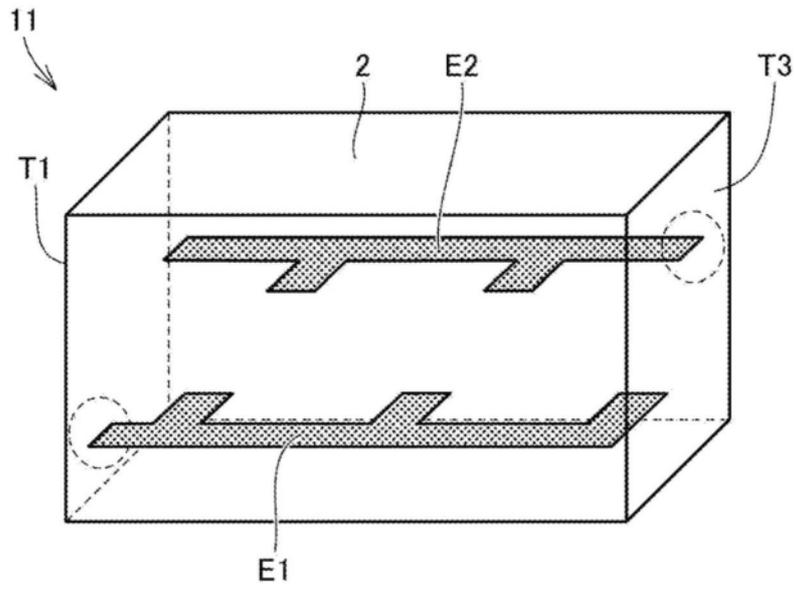


图19

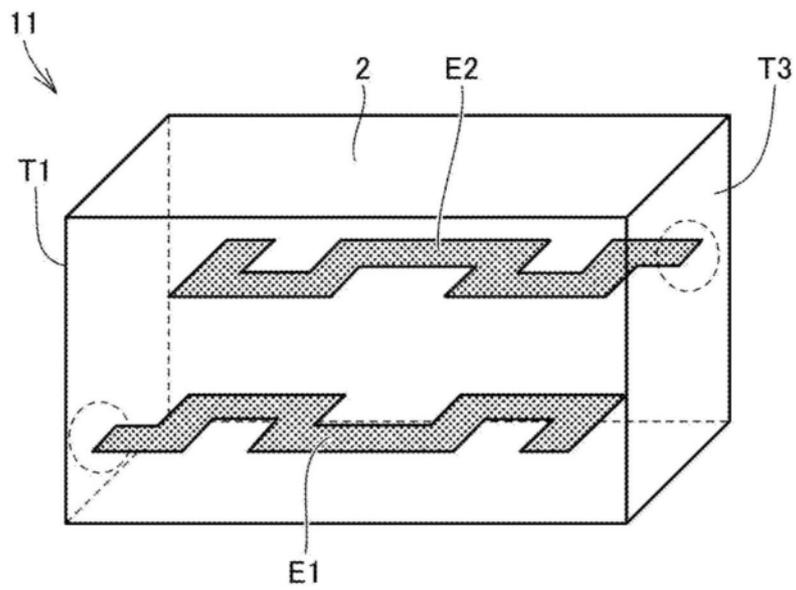


图20

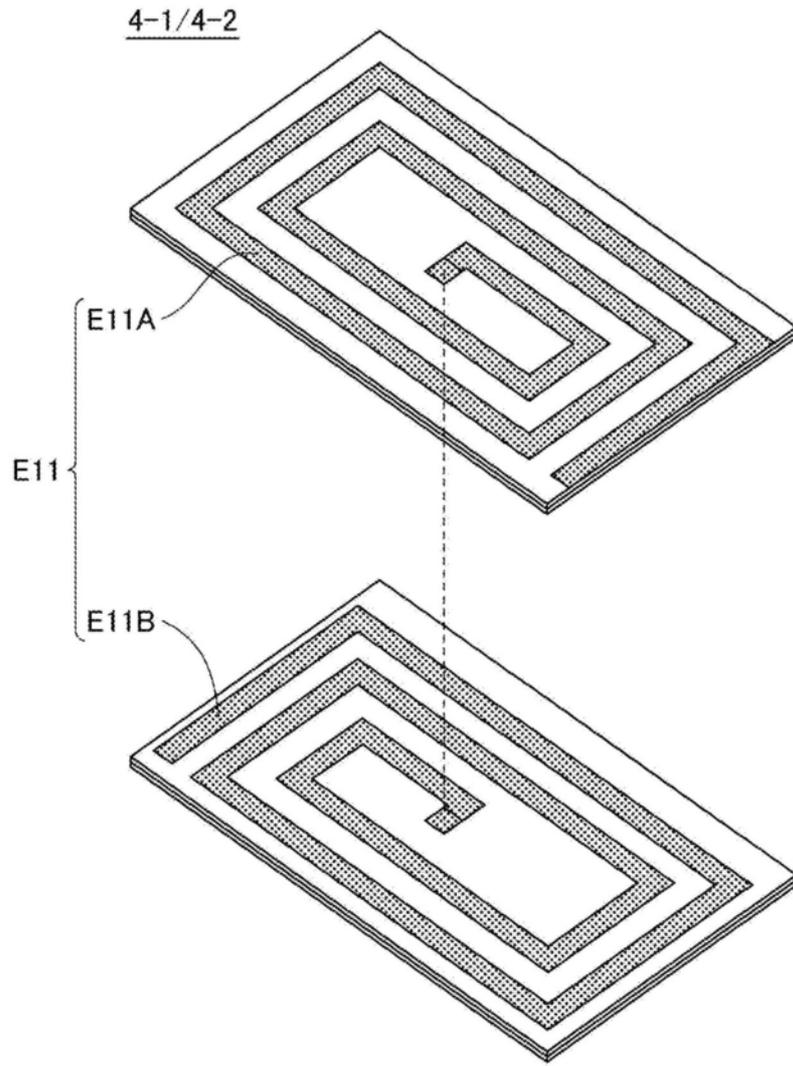


图21

4-3

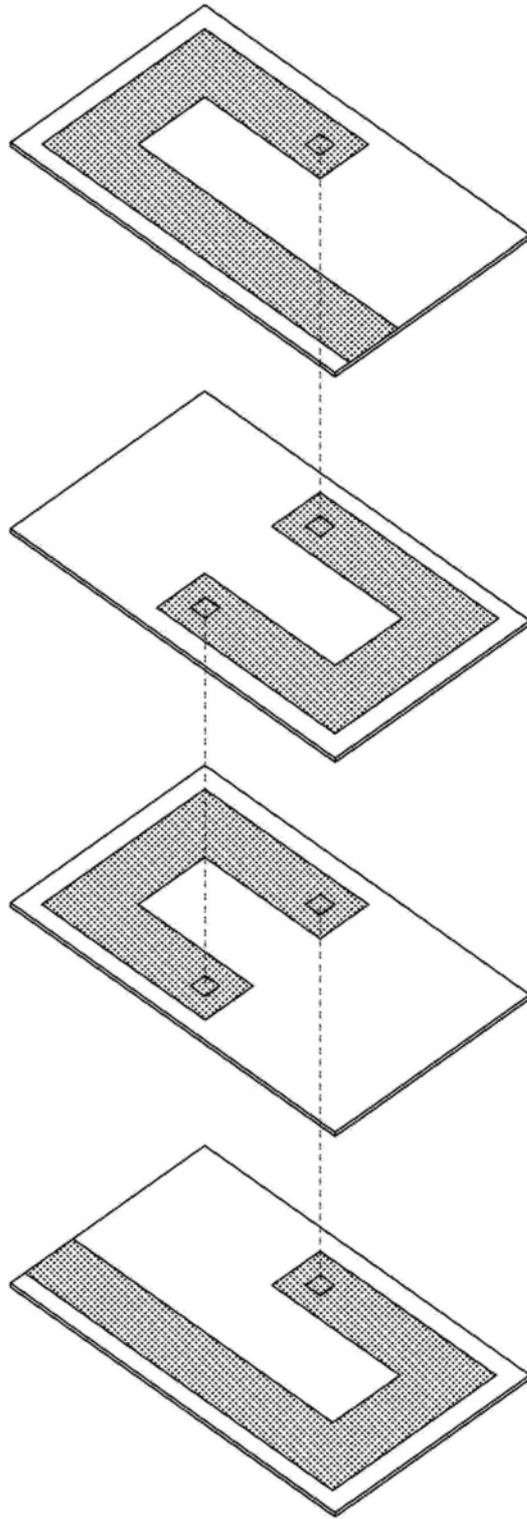


图22

平面线圈电极的情况的谐振频率

传感器元件	4-1	4-2	4-3
10%RH	6.907GHz	5.559GHz	0.715GHz

图23

聚酰亚胺+BaTiO₃复合体的情况的静电容量

传感器元件	5-1	5-2	5-3
聚酰亚胺	0.809pF	1.366pF	103.822pF
聚酰亚胺+BaTiO ₃	6.760pF	13.810pF	1209.336pF
变化率	8.35倍	10.11倍	11.65倍

图24

聚酰亚胺+CaCu₃Ti₄O₁₂TiO₃复合体的情况的静电容量

传感器元件	5-4	5-5	5-6
聚酰亚胺	0.809pF	1.366pF	103.822pF
聚酰亚胺+CaCu ₃ Ti ₄ O ₁₂	31.595pF	66.081pF	5873.430pF
变化率	39.05倍	48.38倍	56.57倍

图25

聚酰亚胺+铁氧体复合体的情况的谐振频率

传感器元件	6-1	6-2	6-3
聚酰亚胺	6.907GHz	5.559GHz	0.715GHz
聚酰亚胺+铁氧体	3.677GHz	0.427GHz	0.039GHz
变化率	46.76%	92.32%	94.54%

图26

聚酰亚胺+BaTiO₃+铁氧体复合体的情况的谐振频率

传感器元件	7-1	7-2	7-3
聚酰亚胺	6.907GHz	5.559GHz	0.715GHz
聚酰亚胺+BT+铁氧体	2.239GHz	0.309GHz	0.028GHz
变化率	67.58%	94.44%	96.08%

图27

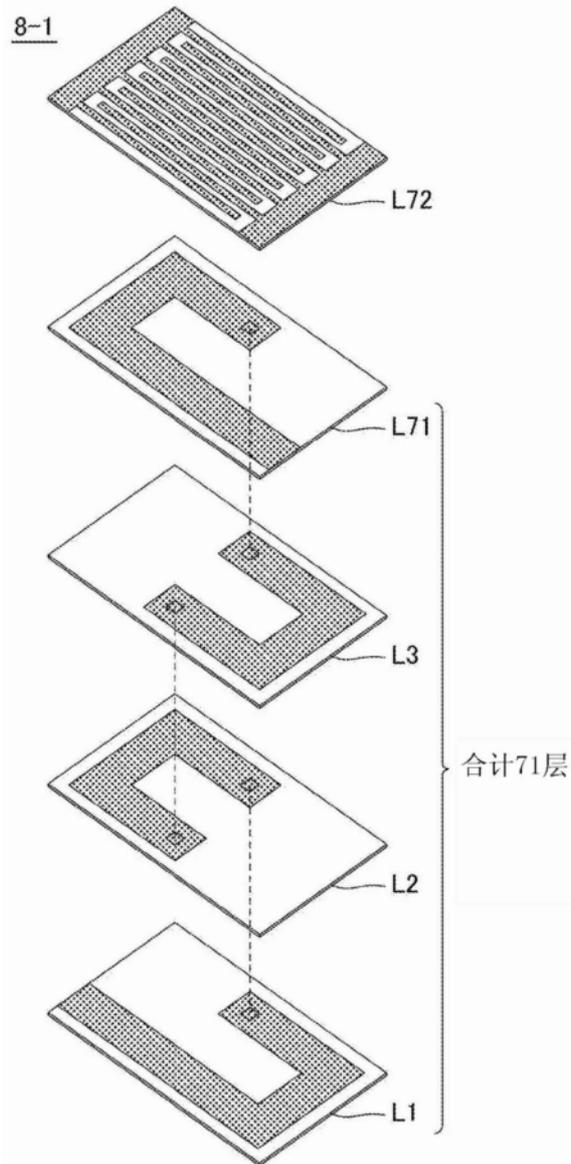


图28

存在材料浓度分布时的谐振频率、灵敏度

传感器元件	6-3	8-1	9-1
谐振频率	39.812MHz	42.193MHz	9.560MHz
谐振频率变化率 (10%RH→90%RH)	20.66%	23.28%	10.85%

图29

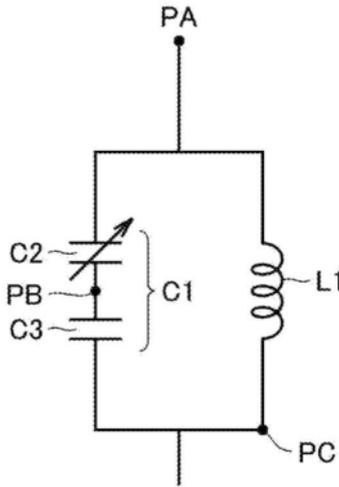


图30