



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104541148 A

(43) 申请公布日 2015.04.22

(21) 申请号 201280075178.1

(22) 申请日 2012.08.10

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2015.02.06

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2012/070520 2012.08.10

(87) PCT国际申请的公布数据
W02014/024309 JA 2014.02.13

(71) 申请人 富士通株式会社
地址 日本神奈川县

(72) 发明人 丑込道雄

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

代理人 舒艳君 李洋

(51) Int. Cl.
G01N 5/02(2006.01)

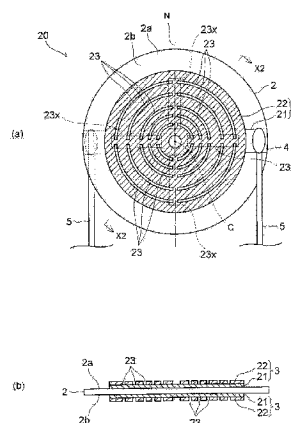
权利要求书2页 说明书14页 附图26页

(54) 发明名称

QCM 传感器及其制造方法

(57) 摘要

在QCM传感器及其制造方法中,以提高QCM传感器的灵敏度为目的。QCM传感器的特征在于,具有石英板(2)、以及分别设置于石英板(2)的一方的主面(2a)与另一方的主面(2b)的电极(3),在电极(3)设置有在俯视时具备轮廓线P的图案(23)。



1. 一种 QCM 传感器,其特征在于,具有:
石英板;以及
电极,其分别设置于所述石英板的一方的主面和另一方的主面,
在所述电极设置有在俯视时具备轮廓线的图案。
2. 根据权利要求 1 所述的 QCM 传感器,其特征在于,
所述图案是狭缝。
3. 根据权利要求 2 所述的 QCM 传感器,其特征在于,
多个所述狭缝设置成同心圆状。
4. 根据权利要求 2 所述的 QCM 传感器,其特征在于,
所述狭缝是与所述电极的中心形成同心的弧状。
5. 根据权利要求 1 所述的 QCM 传感器,其特征在于,
所述图案是开口。
6. 根据权利要求 5 所述的 QCM 传感器,其特征在于,
设置有多个所述开口。
7. 根据权利要求 1 所述的 QCM 传感器,其特征在于,
所述图案是多个岛。
8. 根据权利要求 1 所述的 QCM 传感器,其特征在于,
所述图案是槽。
9. 根据权利要求 1 所述的 QCM 传感器,其特征在于,
所述图案是凹部。
10. 根据权利要求 1 至 9 中任意一项所述的 QCM 传感器,其特征在于,
所述电极的全部的部分相互连结。
11. 根据权利要求 1 至 10 中任意一项所述的 QCM 传感器,其特征在于,
所述电极具有:
第 1 金属膜;以及
第 2 金属膜,其形成在所述第 1 金属膜上,与该第 1 金属膜相比针对腐蚀气体的反应性高。
12. 根据权利要求 1 至 11 中任意一项所述的 QCM 传感器,其特征在于,
设置于所述石英板的一方的主面的所述电极、和设置于所述石英板的另一方的主面的
所述电极在俯视时具有相同的形状的所述图案。
13. 根据权利要求 1 至 12 中任意一项所述的 QCM 传感器,其特征在于,
所述图案具有对称轴。
14. 根据权利要求 13 所述的 QCM 传感器,其特征在于,
所述对称轴位于所述电极的面内。
15. 一种 QCM 传感器的制造方法,其特征在于,
具有分别在石英板的二个主面形成电极的工序,该电极具备具有轮廓线的图案。
16. 根据权利要求 15 所述的 QCM 传感器的制造方法,其特征在于,
还具有:通过调节所述轮廓线的长度的总和与所述电极的总面积,设计具有规定的灵敏度的 QCM 传感器的工序。

17. 根据权利要求 16 所述的 QCM 传感器的制造方法, 其特征在于, 在设计所述 QCM 传感器的工序中, 通过所述电极的轮廓线与所述图案的所述轮廓线的各个的长度的总和与所述电极的总面积的比来推定所述灵敏度。

18. 根据权利要求 15 至 17 中任意一项所述的 QCM 传感器的制造方法, 其特征在于, 在所述电极形成狭缝、岛、开口、槽、以及凹部的任意一个作为所述图案。

QCM 传感器及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及 QCM 传感器及其制造方法。

背景技术

[0002] 在生活环境中大气中包含硫化氢气体等各种腐蚀气体,该腐蚀气体即使是低浓度也会腐蚀电子设备等而加速其劣化。对于把握腐蚀气体给电子设备带来的影响,监视设置有电子设备的环境中的腐蚀气体很有效。

[0003] 作为监视腐蚀气体的腐蚀传感器有 QCM 传感器。QCM 传感器具有在两个主面设有电极的石英板,在实际使用下对该电极施加规定的电压从而使石英板以固有共振频率振动。

[0004] 若因腐蚀气体的腐蚀 QCM 传感器的电极的质量加重则上述固有共振频率减少,所以能够通过测定其减少量来监视环境中所含有的腐蚀气体的大约的量。

[0005] 而且,通过提高该 QCM 传感器的灵敏度,能够在短时间测定低浓度的腐蚀气体的影响。

[0006] 专利文献 1: 日本特开平 5 - 296907 号公报

[0007] 专利文献 2: 日本特开平 8 - 228123 号公报

[0008] 专利文献 3: 日本特公平 6 - 24301 号公报

发明内容

[0009] 目的在于在 QCM 传感器及其制造方法中,提高 QCM 传感器的灵敏度。

[0010] 根据以下公开的一个观点,提供具有石英板、以及分别设置于上述石英板的一方的主面和另一方的主面的电极,在上述电极上设置有在俯视时具备轮廓线的图案的 QCM 传感器。

[0011] 根据公开的 QCM 传感器,电极由于具有轮廓线的图案而易被腐蚀,所以通过腐蚀电极的质量迅速地增加。伴随于此 QCM 传感器的共振频率也迅速地增加,所以 QCM 传感器的灵敏度提高。

附图说明

[0012] 图 1(a) 是腐蚀前的新的 QCM 传感器的俯视图,图 1(b) 是腐蚀后的 QCM 传感器的俯视图。

[0013] 图 2 是示意性地表示 QCM 传感器的电极的腐蚀的机制的剖视图。

[0014] 图 3 是沿着图 1(a) 的 X1-X1 线的剖视图。

[0015] 图 4 是 QCM 传感器的电极的周边附近的放大剖视图。

[0016] 图 5(a)、(b) 是示意性地表示 QCM 传感器的电极的周边的各离子的运动的放大剖视图。

[0017] 图 6(a) ~ (c) 是在调查中所使用的 QCM 传感器的俯视图。

- [0018] 图 7 是调查 QCM 传感器的共振频率的变化量的绝对值而得到的图。
- [0019] 图 8 是表示 QCM 传感器的电极的边缘部分与面部分的俯视图。
- [0020] 图 9 是调查 QCM 传感器的电极的腐蚀速度而得到的图。
- [0021] 图 10(a) 是本实施方式的第 1 例的 QCM 传感器的俯视图, 图 10(b) 是沿着图 10(a) 的 X2 - X2 线的剖视图。
- [0022] 图 11 是本实施方式的第 1 例的 QCM 传感器所具备的电极的放大俯视图。
- [0023] 图 12 是调查没有狭缝 23 的 QCM 传感器的共振频率的变化量是以哪种方式随时间变化而得到的图。
- [0024] 图 13 是表示本实施方式的第 1 例的 QCM 传感器所具备的图案的其他的例子的俯视图 (其 1)。
- [0025] 图 14 是表示本实施方式的第 1 例的 QCM 传感器所具备的图案的其他的例子的俯视图 (其 2)。
- [0026] 图 15(a) 是本实施方式的第 2 例的 QCM 传感器的俯视图, 图 15(b) 是沿着图 15(a) 的 X3 - X3 线的剖视图。
- [0027] 图 16 是在本实施方式的第 2 例中, 与没有狭缝的情况相比灵敏度成为 m 倍的方式设计的 QCM 传感器所具备的电极的俯视图。
- [0028] 图 17 是表示在本实施方式的第 2 例中, m 与狭缝的外径 d 的关系的图。
- [0029] 图 18 是表示本实施方式的第 2 例的 QCM 传感器所具备的图案的其他的例子的俯视图 (其 1)。
- [0030] 图 19 是表示本实施方式的第 2 例的 QCM 传感器所具备的图案的其他的例子的俯视图 (其 2)。
- [0031] 图 20 是本实施方式的第 3 例的 QCM 传感器的俯视图。
- [0032] 图 21 是在本实施方式的第 3 例中, 对电极设置了多个开口的情况下的 QCM 传感器的俯视图。
- [0033] 图 22 是表示本实施方式的 QCM 传感器的制造方法的流程图。
- [0034] 图 23(a) 是本实施方式的 QCM 传感器的制造中途的俯视图 (其 1), 图 23(b) 是沿着图 23(a) 的 X4 - X4 线的剖视图。
- [0035] 图 24(a) 是本实施方式的 QCM 传感器的制造中途的俯视图 (其 2), 图 24(b) 是沿着图 24(a) 的 X5 - X5 线的剖视图。
- [0036] 图 25(a) 是本实施方式的 QCM 传感器的制造中途的俯视图 (其 3), 图 25(b) 是沿着图 25(a) 的 X6 - X6 线的剖视图。
- [0037] 图 26(a) 是在图 24(a) 的工序中所使用的模板掩模的俯视图, 图 26(b) 是在图 25(a) 的工序中所使用的模板掩模的俯视图。
- [0038] 图 27(a)、(b) 是在使用 FIB 加工的情况下的本实施方式的 QCM 传感器的制造中途的剖视图 (其 1)。
- [0039] 图 28 是使用 FIB 加工的情况下的本实施方式的 QCM 传感器的制造中途的剖视图 (其 2)。
- [0040] 图 29 是在图 27(a) 的工序中所使用的模板掩模的俯视图。
- [0041] 图 30(a) 是对电极作为图案形成了槽的情况下的 QCM 传感器的俯视图, 图 30(b)

是沿着图 30(a) 的 X7 - X7 线的剖视图。

[0042] 图 31(a) 是对电极作为图案形成了凹部的情况下的 QCM 传感器的俯视图, 图 31(b) 是沿着图 31(a) 的 X8 - X8 线的剖视图。

具体实施方式

[0043] 在本实施方式的说明之前, 对本申请发明者所进行的研究结果进行说明。

[0044] 已知 QCM 传感器的共振频率如上所述随着电极的质量的增加而减少, 其减少量根据 Sauebrey 的式子与电极的质量的增加量成比例。若利用该情况, 则例如在共振频率为 9MHz 的 QCM 传感器中, 共振频率减少 1Hz 相应地增加 1ng 的电极的质量, 能够非常高灵敏度地测定腐蚀气体的影响。

[0045] 这里, 作为进一步提高 QCM 传感器的灵敏度的方法, 考虑了使电极的表面粗糙化的方法。根据该方法, 电极的表面与腐蚀气体的接触面积增大, 由腐蚀引起的电极的质量增加增大, 所以伴随质量增加的共振频率的变化增大从而能够实现 QCM 传感器的高灵敏度化。

[0046] 但是, 不给 QCM 传感器的其他部分带来影响地像这样仅对电极的表面选择性地粗糙化在技术上很困难。例如, 考虑到在对电极的表面粗糙化时, 对该表面进行机械式地研削, 或对该表面进行化学性地蚀刻, 但在这过程中电极的周围的石英板等也被实施研削、蚀刻, 而 QCM 传感器的特性偏离规格。

[0047] 另外, 也考虑到通过提高 QCM 传感器的基本共振频率来实现高灵敏度化。根据上述的 Sauebrey 的式子, 电极的质量增加与共振频率成比例, 所以像这样通过提高共振频率, 即使是一点点的质量增加, 共振频率也较大地变化, 能够实现 QCM 传感器的高灵敏度化。

[0048] 但是, 为了使 QCM 传感器稳定地振动必须使用与基本共振频率的大小相应的适当的振荡电路, 所以通过一个振荡电路从低频率覆盖到高频很困难。并且, 已知 QCM 传感器本共振频率越高振动的稳定性越降低, 将 30MHz 左右视为基本共振频率的上限。

[0049] 以下, 对不用如上述那样对电极的表面粗糙化, 或增大基本共振频率就能够实现高灵敏度化的 QCM 传感器进行说明。

[0050] (本实施方式)

[0051] 在本实施方式中, 如以下那样着眼于 QCM 传感器的电极的腐蚀的机制。

[0052] 图 1(a) 是腐蚀前的新的 QCM 传感器的俯视图。

[0053] 该 QCM 传感器 1 具备 AT 切石英板 2、分别形成于石英板 2 的一方的主面和另一方的主面的电极 3、以及通过导电性浆料 4 与电极 3 连接的导线 5。

[0054] 将该导线 5 固定于插头 6, 在插头 6 设置与导线 5 连接的端子 7。另外, 电极 3 的材料在本例中是银。

[0055] 像这样在新的 QCM 传感器 1 中, 电极 3 未被腐蚀而呈现具有本来的光泽的白色。

[0056] 另一方面, 图 1(b) 是腐蚀后的 QCM 传感器 1 的俯视图。

[0057] 如图 1(b) 所示, 在腐蚀后, 电极 3 由于铁锈的原因呈现黑褐色。

[0058] 而且, 若详细地观察该 QCM 传感器 1, 可知不是电极 3 整体变为黑褐色, 而是在电极 3 的周边部分向黑褐色的变色显著, 相对地在电极 3 的中心附近留有一定程度的光泽。

[0059] 因此,电极 3 的腐蚀并不是在其面内均匀地发生,而是与电极 3 的中心部分相比在其周边部分腐蚀的进行进展明显。

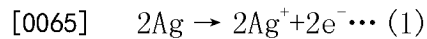
[0060] 图 2 是示意性地表示电极 3 的腐蚀的机制的剖视图。此外,在图 2 中,假定作为电极 3 的材料使用银,该银被 H_2S 气体腐蚀的情况。

[0061] 在电极 3 的表面,形成吸附大气中的水而成的水膜 10。水膜 10 的厚度因大气的湿度、吸附于电极 3 的物质、以及电极 3 的表面状态而不同,是数 nm ~ 数十 nm 左右。

[0062] 在该水膜 10 中,进行分别与以下的式 (1) ~ (5) 对应的反应 (1) ~ (5)。

[0063] 首先,电极 3 的银如下式 (1) 那样进行离子化溶解于水膜 10。

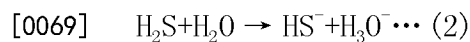
[0064] [公式 1]



[0066] 将式 (1) 的反应称为阳极反应。

[0067] 另外, H_2S 气体溶于水膜 10 如下式 (2) 那样生成 HS^- 离子。

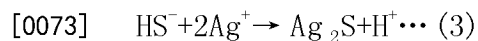
[0068] [公式 2]



[0070] 该 HS^- 离子成为腐蚀银的原因,但由 HS^- 离子引起的银的腐蚀具有下面二种路径。

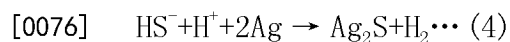
[0071] 第一个路径是 HS^- 离子与在阳极溶解的 Ag^+ 离子如下式 (3) 那样直接反应,在电极 3 上生成腐蚀产物 Ag_2S 的路径。

[0072] [公式 3]



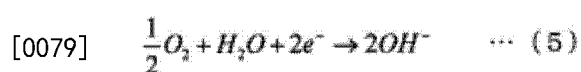
[0074] 而且,第二个路径是如下式 (4) 那样 HS^- 离子吸附于成为阳极的电极 3 的表面生成腐蚀产物 Ag_2S 的路径。

[0075] [公式 4]



[0077] 此外,阴极中的反应是大气中的 O_2 溶解于水膜 10 的反应,用下式 (5) 来表示。

[0078] [公式 5]



[0080] 通过上述的式 (3)、(4) 生成的腐蚀产物 Ag_2S 是图 1(b) 所示的电极 3 的铁锈。

[0081] 另外,通过这些式 (3)、(4) 可知,通过腐蚀生成腐蚀产物 Ag_2S 的速度,由水膜 10 中的 Ag^+ 离子和 HS^- 离子的各自的浓度、水膜 10 中的这些离子的扩散的速度等因素决定。

[0082] 这里,考虑到 QCM 传感器中的腐蚀的速度除了上述的因素以外,如以下所示还取决于由驱动中的 QCM 传感器产生的电场。

[0083] 图 3 是沿着上述的图 1(a) 的 X1-X1 线的剖视图。

[0084] 如图 3 所示,各电极 3 隔着石英板 2 相互对置,具有类似电容器的构造。

[0085] 在这样的电容器状的构造中产生的电场 E 的强度能够以如下的方式计算。

[0086] 首先,已知在 QCM 传感器 1 的基本共振频率 f_0 与石英板 2 的厚度 t 之间,下式 (6) 的关系成立。

[0087] [公式 6]

[0088]
$$f_0 = \frac{1670}{t} \quad \dots (6)$$

[0089] 这里,在 QCM 传感器 1 的基本共振频率 f_0 是下式 (7) 的值时,

[0090] [公式 7]

[0091] $f_0 = 25 \times 10^6 [\text{Hz}] \dots (7)$

[0092] 通过式 (6) 关于厚度 t 得到下式 (8)。

[0093] [公式 8]

[0094]
$$t = \frac{1670}{25 \times 10^6} = 66.8 (\mu\text{m}) \quad \dots (8)$$

[0095] 而且,若将对各电极 3 之间施加的电压设为 5V,则石英的介电常数是 4.6,所以在各电极 3 之间,产生用公式 9 给出的电场 E。

[0096] [公式 9]

[0097]
$$E = \frac{1}{4.6} \frac{5}{66.8 \times 10^{-6}} = 16.3 \times 10^3 (\text{V/m}) \quad \dots (9)$$

[0098] 该电场 E 如图 3 所示,与电极 3 的中央部相比在其周边附近较强地产生。

[0099] 图 4 是电极 3 的周边附近的放大剖视图。

[0100] 如图 4 所示,在电极 3 的周边,通过如上述那样较强的电场 E 将较多的 HS^- 离子供给至电极 3 的表面,促进该表面的腐蚀。

[0101] 另外,图 5(a)、(b) 是示意性地表示电极 3 的周边的各离子的运动的放大剖视图。

[0102] 如图 5(a)、(b) 所示,在电极 3 的表面的水膜 10 内包含 Ag^+ 离子和 HS^- 离子,但这些离子的移动方向根据电场 E 的方向而变化,各离子被电场 E 搅乱。

[0103] 例如,在如图 5(a) 那样通过电场 E, Ag^+ 离子和 HS^- 离子分别向相互相对的方向移动的情况下,在 Ag^+ 离子与 HS^- 离子相遇时生成腐蚀产物 Ag_2S , 各离子成为电中性。

[0104] 另一方面,如图 5(b) 所示,若电场 E 的方向反转,则未生成 Ag_2S 的 Ag^+ 离子与 HS^- 离子向相互远离的方向移动,若电场 E 再次反转则如上述那样能够生成腐蚀产物 Ag_2S 。

[0105] 这样,电场 E 起到搅乱未反应的离子而促进它们的反应的作用。特别是认为,该效果在电场 E 集中的电极 3 的周边部显著,这作为一个因素产生图 1(b) 所示的腐蚀的进行的差异。

[0106] 接下来,对由这样的电场 E 引起的腐蚀的助长给 Sauebrey 的式子带来的影响进行说明。

[0107] QCM 传感器 1 的 Sauebrey 的式子通过下式 (10) 来表示。

[0108] [公式 10]

[0109]
$$\Delta f = -\frac{f_q^2 M_f}{N \rho_q S} \quad \dots (10)$$

[0110] 式 (10) 中的各值的定义如下。

[0111] Δf : 共振频率的变化量,

[0112] f_q : 基本共振频率,

[0113] ρ_q : 石英板 2 的密度,

[0114] N: 取决于石英板 2 的切割的常量,

[0115] S: 电极 3 的总面积,

[0116] M_f : 腐蚀产物的质量。

[0117] 在式 (10) 的右边, $f_q^2/(N\rho_q)$ 是由石英板 2 与基本共振频率 f_q 确定的常量, M_f/S 是电极 3 的每单位面积的腐蚀产物的质量。因此, 根据 Sauebrey 的式子, 共振频率的变化量 Δf 与电极 3 的总面积没有关系。

[0118] 本申请发明者为了确认该情况进行了以下的调查。

[0119] 图 6(a) ~ (c) 是在该调查中所使用的电极的面积不同的三个 QCM 传感器的俯视图。在该调查中, 将大致圆形的电极 3 的直径 D 为 7.0mm(图 6(a))、3.5mm(图 6(b))、2.4mm(图 6(c)) 的三个 QCM 传感器 A ~ C 置于相同环境中。此外, 该环境的温度为 23°C。

[0120] 并且, 向该环境中作为腐蚀气体添加了 H_2S 气体、 SO_2 气体、以及 NO_2 气体。环境中的这些腐蚀气体的浓度为, H_2S 气体是 0.25ppm、 SO_2 气体是 0.15ppm、 NO_2 气体是 0.13ppm。

[0121] 另外, 还向该环境中导入了湿度几乎为 0% 的干燥氮气, 但通过对上述各腐蚀气体进行湿度调节, 将环境的湿度维持在 50%。

[0122] 图 7 是表示将上述的图 6(a) ~ (c) 的各个 QCM 传感器 1 曝露于该环境中时的共振频率的变化量的绝对值的图。

[0123] 在图 7 中, 横轴表示从将各 QCM 传感器 A ~ C 曝露于上述的环境中开始的经过时间, 纵轴表示各 QCM 传感器 A ~ C 的共振频率的变化量。

[0124] 如图 7 所示, 在 QCM 传感器 A ~ C 的任意一个中, 在曝露于环境中之后共振频率的变化量急剧增加, 这是因为上述的水膜 10(参照图 2) 的形成, 在该时间下电极 3 的腐蚀仍未开始。

[0125] 电极 3 的腐蚀开始是在 0.1h 以后, 此时间中的图的斜率根据每个 QCM 传感器 A ~ C 而不同。这与根据 Sauebrey 的式子共振频率的变化量 Δf 与电极 3 的总面积没有关系的上述的结论不符。

[0126] 本申请发明者对为什么产生这样的差异以如下的方式进行了研究。

[0127] 首先, 若用 K 表示式 (10) 的右边的 $f_q^2/(N\rho_q)$, 则 Sauebrey 的式子表示为 $\Delta f = -K\Delta M$ 。其中, $\Delta M = M_f/S$ 。

[0128] 接下来, 如图 8 的俯视图所示, 将电极 3 中腐蚀的进行比其他的部分快的周边区域定义为边缘部分 I, 将其以外定义为面部分 II。

[0129] 并不对边缘部分 I 进行特别限定, 但从俯视时的电极 3 的轮廓线 P 开始测量在小于该电极 3 的膜厚的区域侵蚀显著地进行, 所以优选从轮廓线 P 向内侧进入该膜厚以上的距离 Δd 的区域设为边缘部分 I。在该例中, 将距离 Δd 为 0.1mm ~ 0.5mm 左右的区域设为边缘部分 I。

[0130] 而且, 若使用边缘部分 I 和面部分 II 进一步改写 ΔM , 则 Sauebrey 的式子能够变形为式 (11)。

[0131] [公式 11]

[0132]

$$\Delta f = K \frac{(\text{面部分II的腐蚀量}) + (\text{边缘部分I的腐蚀量})}{(\text{电极3的总面积})}$$

$$= K \left\{ (\text{电极3的每单位面积的腐蚀量}) + \frac{(\text{边缘部分I的腐蚀量})}{(\text{电极3的总面积})} \right\}$$

[0133] 此外,式(11)中的各腐蚀量表示通过腐蚀而增加的电极3的质量,其总量等于式(10)的 M_f 。

[0134] 式(11)的右边的括弧内的第1项是电极3的每单位面积的腐蚀量,该值与电极3的大小无关系。

[0135] 另一方面,相同的括弧内的第2项是考虑了与其他部分相比较腐蚀的进行快的边缘部分I的值,认为通过该项的效果如图7那样根据电极3的总面积,共振频率的变化量 Δf 成为不同的值。

[0136] 上述的第2项表示像这样边缘部分I对变化量 Δf 给予的效果。而且,该变化量 Δf 为QCM传感器对腐蚀气体是否反应到某一敏感程度的基准,能够作为QCM传感器的灵敏度来使用。

[0137] 另外,对于式(11)的第2项的分子的(边缘部分I的腐蚀量)而言,电极3的轮廓线P越长则其越多。因此,根据该第2项的类推,在本实施方式中以下式(12)中给出的比R来推定QCM传感器的灵敏度。

[0138] [公式12]

$$R = \frac{L}{S} \quad \dots (12)$$

[0140] 在式(12)中,S是电极3的总面积,L是电极3的轮廓线P的长度。

[0141] 比R是将式(11)的右边的括弧内的第2项的分子(边缘部分I的腐蚀量)置换为轮廓线P的长度L后的值,能够基于表示电极3的几何学特征的S、L直接表现灵敏度。

[0142] 这里,若对在图7的调查中所使用的三个QCM传感器A~C(图6参照)分别计算式(12)的比(L/S)则如下。

[0143] • QCM传感器A

$$[0144] \quad L/S = (7 \times 3.14) / (3.5 \times 3.5 \times 3.14) = 0.57$$

[0145] • QCM传感器B

$$[0146] \quad L/S = (3.5 \times 3.14) / (1.75 \times 1.75 \times 3.14) = 1.14$$

[0147] • QCM传感器C

$$[0148] \quad L/S = (2.4 \times 3.14) / (1.2 \times 1.2 \times 3.14) = 1.67$$

[0149] 像这样按照QCM传感器A、QCM传感器B、QCM传感器C的顺序比L/S增大,灵敏度升高,这与如图7那样按照QCM传感器A、QCM传感器B、QCM传感器C的顺序共振频率的变化量 Δf 增大的调查结果一致。

[0150] 图9是调查上述的QCM传感器A~C所具备的电极3的腐蚀速度而得到的图。

[0151] 此外,腐蚀速度是指各QCM传感器A~C的共振频率的变化量 Δf 的每单位时间的变化量。另外,图9的横轴是上述的比L/S。

[0152] 在调查时,将各 QCM 传感器 A ~ C 曝露于温度、湿度、以及腐蚀气体的浓度相同的环境中。

[0153] 如图 9 所示,比 L/S 越大腐蚀速度越快。这表示在相同的环境中,感觉越是比 L/S 较大的 QCM 传感器其环境的腐蚀性越强, QCM 传感器的灵敏度越高。

[0154] 根据以上的结果可知,为了提高 QCM 传感器的灵敏度尽量提高比 L/S 即可。

[0155] 为了提高比 L/S,优选在电极 3 上形成在俯视时具备尽可能长的轮廓线的图案,从而将容易进行腐蚀的边缘部分尽可能多地设置于电极 3。

[0156] 此外,为了提高比 L/S 也考虑到减小电极 3 的总面积 S。但是,这样的话 QCM 传感器的晶体阻抗升高而 QCM 传感器的振荡变得不稳定,所以优选如上述那样增大 L 来提高比 L/S。

[0157] 以下,对像这样提高比 L/S 来提高灵敏度的本实施方式的 QCM 传感器的例子进行说明。

[0158] (第 1 例)

[0159] 图 10(a) 是第 1 例的 QCM 传感器 20 的俯视图,图 10(b) 是沿着图 10(a) 的 X2 - X2 线的剖视图。

[0160] 在本例中,如图 10(b) 所示,在石英板 2 上按如下顺序层叠第 1 金属膜 21 和第 2 金属膜 22,由这些金属膜 21、22 形成电极 3。

[0161] 此外,电极 3 不光形成在石英板 2 的一方的主面 2a 上,还形成在石英板 2b 的另一方的主面 2b 上。

[0162] 另外,作为上述的第 1 金属膜 21 的材料,使用与第 2 金属膜 22 相比针对腐蚀气体的反应性较低的材料。在本例中作为第 1 金属膜 21 的材料使用金。

[0163] 像这样通过对腐蚀气体使用反应性较低的材料,即使第 2 金属膜 22 腐蚀尽,第 1 金属膜 21 也不腐蚀而残存在石英板 2 上。因此,仅通过第 1 金属膜 21 就能够确保电极 3 的功能,即使第 2 金属膜 22 腐蚀尽后对电极 3 施加电压也能够使 QCM 传感器 20 振动。

[0164] 另一方面,作为第 2 金属膜 22 的材料,使用与第 1 金属膜 21 相比较针对腐蚀气体的反应性较高的材料。该材料能够根据监视对象的腐蚀气体来选择,在本例中作为第 2 金属膜 22 的材料使用银。

[0165] 由此,能够通过腐蚀气体适度地腐蚀第 2 金属膜 22,良好地监视腐蚀气体。

[0166] 另外,在本例中,如图 10(a) 所示,在电极 3 的第 2 金属膜 22,作为用于提高上述的比 (L/S) 的图案设置多个狭缝 23。

[0167] 并不对狭缝 23 的平面形状进行特别限定。在该例中,将各狭缝 23 设置为与电极 3 的中心 C 形成同心的弧状。

[0168] 像这样将狭缝 23 设为弧状,从而在第 2 金属膜 21 形成没有狭缝 23 的连结部 23x。通过其连结部 23x 连结第 2 金属膜 22 的全部的部分,所以即使在进行第 2 金属膜 22 的腐蚀而金属膜 21、22 彼此的紧贴力降低的情况下,也能够减少第 2 金属膜 22 的全部从第 2 金属膜 21 剥离的危险性。

[0169] 并且,在本例中,设置于石英板 2 的一方的主面 2a 的电极 3、与设置于该石英板 2 的另一方的主面 2b 的电极 3 在俯视时具有相同的狭缝 23。像这样通过使用用于提高比 (L/S) 的图案在各电极 3 中相同,能够通过对各电极 3 施加的电压使石英板 2 稳定地振动。

[0170] 而且,为了提高振动的稳定性,优选尽可能地提高各狭缝 23 所具有的几何学的对称性。在本例中,如图 10(a) 那样各狭缝 23 在电极 3 的面内具有对称轴 N,提高了各狭缝 23 的几何学的对称性,所以如上述那样能够实现振动的稳定化。这一点在后述的第 2 例和第 3 例中也相同。

[0171] 图 11 是电极 3 的放大俯视图。

[0172] 如图 11 所示,通过设置狭缝 23 在电极 3 在俯视时形成多个轮廓线 P。由此,能够延长轮廓线 P 的长度的总和 L 从而提高式 (12) 的比 L/S, QCM 传感器 20 成为高灵敏度。

[0173] 接下来,与没有狭缝 23 的情况进行比较,计算该 QCM 传感器 20 的灵敏度提高到什么程度。此外,在该计算时,为了简单化忽略连结部 23x,各狭缝 23 为同心圆。

[0174] 另外,作为图 11 的各尺寸 $W_0 \sim W_7$ 、r 的值使用以下的值。

[0175] $W_0 = 0.1\text{mm}$ 、 $W_1 = 0.2\text{mm}$ 、 $W_2 = 0.3\text{mm}$ 、 $W_3 = 0.4\text{mm}$ 、 $W_4 = 0.6\text{mm}$ 、 $W_5 = 0.7\text{mm}$ 、 $W_6 = 0.7\text{mm}$ 。

[0176] 在该情况下,电极 3 的轮廓线 P 的总和 L 为,

[0177] $L = (0.1+0.3+0.4+0.7+0.8+1.2+1.3+1.9+2.0+2.7+2.8+3.5) \times 2 \times \pi = 35.4 \pi$ (mm)。

[0178] 另外,电极 3 中的全部的狭缝 23 的总面积 Q 为,

[0179] $Q = \{0.1^2 + (0.4^2 - 0.3^2) + (0.8^2 - 0.7^2) + (1.3^2 - 1.2^2) + (2.0^2 - 1.9^2) + (2.8^2 - 2.7^2)\} \times \pi = 1.42 \pi$ 。

[0180] 而且,电极 3 的总面积 S 为,

[0181] $S = 3.5^2 \times \pi - Q = 12.25 \pi - 1.42 \pi = 10.83 \pi$ 。

[0182] 与此相对,在没有狭缝 23 的情况下的电极 3 的总面积 S_0 为,

[0183] $S_0 = 3.5^2 \times \pi = 12.25 \pi$, 该情况下的轮廓线 P 只是电极 3 的外周,该轮廓线 P 的长度的总和 L_0 为

[0184] $L_0 = 3.5 \times 2 \times \pi = 7 \pi$ 。

[0185] 因此,本例中的电极 3 的总面积 S 为没有狭缝 23 的情况下的总面积 S_0 的约 0.88 倍 ($= S/S_0$)。并且,本例中的电极 3 的轮廓线 P 的长度的总和 L 为没有狭缝 23 的情况下的长度的总和 L_0 的约 5.1 倍 ($= L/L_0$)。

[0186] 这里,对于没有狭缝 23 的 QCM 传感器,在调查了其共振频率的变化量 Δf 的绝对值如何随时间变化后,得到了图 12 的结果。

[0187] 图 12 的纵轴表示共振频率的变化量 Δf 的绝对值。而且,其横轴表示从将 QCM 传感器曝露于含有腐蚀气体的环境中开始的经过时间。

[0188] 如图 12 所示,若经过了由于针对电极的水膜的形成而共振频率的变化量 Δf 较大的初始的时间,则电极的腐蚀开始而变化量 Δf 的增加量稍有变化。此时的每单位时间的变化量 Δf 约为 1053Hz/h。在该时刻, QCM 传感器的电极的边缘部分 I (参照图 8) 腐蚀,所以在上述的值 (1053Hz/h) 中,不光含有电极的面部分 II,还含有由边缘部分 I 的腐蚀引起的参与。

[0189] 而且,在进一步持续该调查之后,每单位时间的共振频率的变化量 Δf 大约收敛于 870Hz/h。若像这样经历较长期间将电极曝露于腐蚀气体中,则电极的边缘部分 I (参照图 8) 腐蚀尽,腐蚀的进行较慢。因此,认为上述的值 (870Hz/h) 实际上伴随着电极的面部

分 II 的腐蚀。

[0190] 根据图 12 的结果可知,在每单位时间的共振频率的变化量 Δf 中,边缘部分 I 的参与为 183Hz/h ($= 1053\text{Hz/h} - 870\text{Hz/h}$)。

[0191] 若使用该结果,则在将本例的 QCM 传感器 20 置于与图 12 相同的环境内的情况下,该 QCM 传感器 20 的每单位时间的共振频率的变化量为,

[0192] $(S/S_0) \times 870\text{Hz/h} + (L/L_0) \times 183\text{Hz/h} = 0.88 \times 870\text{Hz/h} + 5.1 \times 183\text{Hz/h} = 1698.9\text{Hz/h}$ 。

[0193] 这表示与没有狭缝 23 的情况相比较灵敏度约为 2 倍 ($= 1698.9/870$)。另外,该灵敏度相当于基本共振频率为 35MHz 的 QCM 传感器所具有的灵敏度。

[0194] 综上所述,根据本例,作为具备轮廓线 P 的图案将狭缝 23 设置于电极 3,从而能够增大表示 QCM 传感器 20 的灵敏度的比 (L/S)。

[0195] 由此,在电极 3 中增大易被腐蚀的边缘部分,即使是微量的腐蚀气体也增大伴随腐蚀的电极 3 的质量变化,能够实现 QCM 传感器 20 的高灵敏度化。

[0196] 并且,根据该 QCM 传感器 20,无需为了实现高灵敏度化而对电极 3 的表面粗糙化,或提高基本共振频率。

[0197] 并且,若设置如狭缝 23 那样的图案,则如上述那样能够用比 (L/S) 来表示 QCM 传感器 20 的灵敏度。因此,能够通过轮廓线 P 的长度的总和 L、电极 3 的总面积 S 来控制灵敏度, QCM 传感器 20 的灵敏度的控制变得容易。

[0198] 此外,用于提高比 (L/S) 的图案的形状并不限于上述,也可以采用如下的各种形状的图案。

[0199] 图 13 以及图 14 是表示设置于 QCM 传感器 20 的图案的其他的例子的俯视图。此外,在图 13 以及图 14 中,对于与在图 10(a)、(b) 中说明的要素相同的要素,标注与这些图中的符号相同的符号,在以下省略其说明。

[0200] 在图 13 的例子中,作为图案设置与电极 3 的中心 C 成同心的半圆弧状的多个狭缝 23。在该情况下,也设置连结部 23x,从而能够防止进行了腐蚀的第 2 金属膜 22 剥离。

[0201] 另一方面,在图 14 的例子中,第 2 金属膜 22 具有多个圆形的岛 22c,该各个岛通过连结部 23x 连结。在该情况下,各岛 22c 为用于提高比 (L/S) 的图案,能够通过各岛 22c 的轮廓线 P 的长度的总和 L 来控制 QCM 传感器 20 的灵敏度。

[0202] (第 2 例)

[0203] 图 15(a) 是第 2 例的 QCM 传感器 30 的俯视图,图 15(b) 是沿着图 15(a) 的 X3 — X3 线的剖视图。此外,在图 15(a)、(b) 中,对于与在图 10(a)、(b) 中说明的要素相同的要素,标注与这些图中的符号相同的符号,在以下省略其说明。

[0204] 如图 15(a) 所示,在本例中,作为用于提高比 (L/S) 的图案将设置于电极 3 的狭缝 23 作成环状。此外,在本例中,未设置用于连结第 2 金属膜 22 的各部的连结部 23x (参照图 10(a))。

[0205] 并未对该 QCM 传感器 30 的各尺寸进行特别限定,但在该例中将狭缝 23 的宽度 W_0 设为 1mm ,将从电极 3 的外周到狭缝 23 的间隔 W_7 设为 1mm ,将电极 3 的直径 D 设为 7mm 。

[0206] 通过像这样设置狭缝 23,能够与第 1 例相同地,通过狭缝 23 的轮廓线 P 的长度的总和 L 来提高 QCM 传感器 30 的灵敏度,并且能够简单地控制该灵敏度。

[0207] 接下来,计算 QCM 传感器 30 的灵敏度通过狭缝 23 提高到什么程度。

[0208] 首先,狭缝 23 与电极 3 的各个轮廓线 P 的长度的总和 L 为,

[0209] $3 \times \pi + 5 \times \pi + 7 \times \pi = 15 \times \pi$ (mm)。

[0210] 另外,该狭缝 23 的总面积 ΔS 为,

[0211] $\Delta S = 2.5^2 \times \pi + 1.5^2 \times \pi = 4 \times \pi$ (mm²),

[0212] 所以电极 3 的总面积为

[0213] $S = 3.5^2 \times \pi - 4 \times \pi$,

[0214] 表示 QCM 传感器 20 的灵敏度的比 (L/S) 为,

[0215] $L/S = (15 \times \pi) / (3.5^2 \times \pi - 4 \times \pi) = 1.8$ 。

[0216] 另一方面,在未形成狭缝 23 的情况下,电极 3 的轮廓线 P 的长度的总和 L 为 7π ,电极 3 的总面积 S 为 $3.5^2 \times \pi$,所以表示灵敏度的比 (L/S) 为,

[0217] $L/S = 7 \pi / 3.5^2 \times \pi = 0.57$ 。

[0218] 因此,若设置狭缝 23,则与没有狭缝 23 的情况相比较 QCM 传感器 30 的灵敏度为 3.2 倍 ($= 1.8/0.57$)。

[0219] 这样,即使在本例中,也能够实现 QCM 传感器的高灵敏度化。

[0220] 这里,如上述那样未设置狭缝 23 的情况下的比 (L/S) 为 0.57,所以在制造与没有狭缝 23 的情况相比较灵敏度为 m 倍的 QCM 传感器 30 时,该 QCM 传感器 30 的比 (L/S) 满足下式 (13) 即可。

[0221] [公式 13]

$$[0222] \quad \frac{L}{S} = 0.57m \quad \dots (13)$$

[0223] 图 16 是像这样设计为灵敏度为 m 倍的 QCM 传感器 30 所具备的电极 3 的俯视图。

[0224] 在图 16 中,将狭缝 23 的外径设为 d。此外,除此以外的尺寸与在图 15(a) 中说明的相同,狭缝 23 的宽度 W_0 为 1mm,电极 3 的直径 D 为 7mm。

[0225] 此时,狭缝 23 与电极 3 的各个轮廓线的长度的总和 L 为 $2(d-1)\pi + 2d\pi + 7\pi$ 。另外,电极 3 的总面积 S 为 $3.5^2\pi - d^2\pi + (d-1)^2\pi$ 。

[0226] 若将这些 L 和 S 代入式 (13),则得到下式 (14)。

[0227] [公式 14]

$$[0228] \quad \frac{2(d-1)\pi + 2d\pi + 7\pi}{3.5^2\pi - d^2\pi + (d-1)^2\pi} = m \times 0.57 \quad \dots (14)$$

[0229] 若对式 (14) 求解 d,则得到下式 (15)。

[0230] [公式 15]

$$[0231] \quad d = \frac{7.5525m - 5}{1.14m + 4} \quad \dots (15)$$

[0232] 图 17 是表示式 (15) 中的 m 与外径 d 的关系的图。

[0233] 通过利用图 17 的图或者式 (15),能够决定为了具有没有狭缝 23 的情况下的 m 倍的灵敏度所需要的外径 d。

[0234] 如以上说明的那样,根据本例能够实现 QCM 传感器 30 的高灵敏度化,并且根据式 (15)、图 17 的图能够简单地决定用于得到规定的灵敏度的狭缝 23 的外径 d,QCM 传感器 30

的设计变得容易。

[0235] 此外,在本例中作为用于提高上述的比(L/S)的图案设置了狭缝23,但图案的形状并不限于上述,也可以采用如下的各种形状图案。

[0236] 图18以及图19是设置于QCM传感器30的图案的其他的例子的俯视图。此外,在图18以及图19中,对于与在图15(a)、(b)中说明的要素相同的要素标注与这些图中的符号相同的符号,在以下省略其说明。

[0237] 在图18的例子中,作为图案将多个环状的狭缝23设置为同心圆状。此外,各狭缝23与电极3的中心C成同心。

[0238] 另外,在图19的例子中,在第2金属膜22作为图案设置圆形的多个独立的岛22c。

[0239] 在图18和图19的任意一个中,能够通过狭缝23、岛22c等图案和电极3的各个轮廓线P来提高QCM传感器30的灵敏度。

[0240] (第3例)

[0241] 在上述的第1例与第2例中,层叠第1金属膜21和第2金属膜22来形成电极3。

[0242] 如已叙述的那样,针对腐蚀气体的反应性较低的第1金属膜21即使在第2金属膜22腐蚀尽之后也确保电极3的功能,承担使QCM传感器振动的作用。

[0243] 其中,在第2金属膜22腐蚀尽之后不需要使用QCM传感器的情况下,也可以以如下方式省去第1金属膜22,仅利用第2金属膜22来形成电极3。

[0244] 图20是本例的QCM传感器40的俯视图。此外,在图20中,对于与在图10(a)、(b)中说明的要素相同的要素标注与它们中的符号相同的符号,在以下省略其说明。

[0245] 在图20的例子中,在石英板2上作为电极3直接形成第2金属膜22。第2金属膜22的材料根据监视对象的腐蚀气体来选择,例如能够将银、铜作为其材料来使用。

[0246] 另外,在电极3作为用于提高比(L/S)的图案设置开口22x。通过像这样设置开口22x,与没有开口22x的情况相比较,电极3与开口22x的各个轮廓线P的长度的总和L延长,能够增大表示QCM传感器40的灵敏度的比(L/S)。

[0247] 并且,电极3的全部的部分相互连结,所以即使进行电极3的腐蚀而电极3与石英板2的紧贴力降低,也能够减少电极3全部从石英板2剥离的危险性。

[0248] 另一方面,图21是设置有多个开口22x的情况下的本例的QCM传感器40的俯视图。

[0249] 通过像这样设置多个开口22x,上述的轮廓线P的长度的总和L比图20中的长度还长,能够实现QCM传感器40的进一步的高灵敏度化。

[0250] 另外,在该情况下电极3的全部的部分也相互连结,所以能够抑制伴随着腐蚀的进行的电极3的剥离。

[0251] (制造方法)

[0252] 接下来,对本实施方式的QCM传感器的制造方法进行说明。

[0253] 如上述那样在本实施方式中具有第1~3例的QCM传感器,但在以下作为它们的代表对第1例的QCM传感器的制造方法进行说明。

[0254] 图22是表示本实施方式的QCM传感器的制造方法的流程图。

[0255] 在图22的最初的步骤S1中,通过调节轮廓线P的长度的总和L与电极3的总面积S,来设计具有规定的灵敏度的QCM传感器。

[0256] 其灵敏度如式 (12) 那样,通过总和 L 与总面积 S 的比 (L/S) 来推定。

[0257] 此外,若过分延长总和 L 则电极 3 中的腐蚀的进行加快而 QCM 传感器的寿命变短,所以优选考虑到腐蚀气体的浓度等测定环境的条件,保持寿命与灵敏度的平衡来决定总和 L。

[0258] 在下一步骤 S2 中,实际制作具有在步骤 S1 中求出的总和 L 和总面积 S 的 QCM 传感器。

[0259] 图 23(a)、图 24(a)、以及图 25(a) 是本实施方式的 QCM 传感器的制造中途的俯视图,图 23(b)、图 24(b)、以及图 25(b) 是其俯视图。

[0260] 首先,如图 23(a) 所示,在石英板 2 上,利用蒸镀法等形成图案化为大致圆形的第 1 金属膜 21。

[0261] 如已叙述的那样,作为第 1 金属膜 21 的材料可以使用针对腐蚀气体的反应性较低的材料。在该例中,作为第 1 金属膜 21 形成厚度约为 $0.1\ \mu\text{m}$ 的金膜。

[0262] 此外,图 23(b) 是沿着图 23(a) 的 X4 — X4 线的剖视图。

[0263] 如图 23(b) 所示,第 1 金属膜 21 被分别形成在石英板 2 的一方的主面 2a 与另一方的主面 2b 上。

[0264] 接下来,如图 24(a) 所示,通过利用蒸镀法在第 1 金属膜 21 上形成银膜或者铜膜来形成连结部 23x。

[0265] 在该蒸镀法中,使用图 26(a) 的俯视图所示的模板掩模 50,通过该模板掩模 50 的开口 50a 使银原子、铜原子堆积到第 1 金属膜 21 上,如图 24(a) 那样形成被整形的连结部 23x。

[0266] 此外,图 24(b) 是沿着图 24(a) 的 X5 — X5 线的剖视图。

[0267] 接下来,如图 25(a) 所示,通过利用蒸镀法在第 1 金属膜 21 上再次形成银膜或者铜膜,形成具备狭缝 23 的第 2 金属膜 22。

[0268] 图 26(b) 是在本工序中所使用的模板掩模 51 的俯视图。在该模板掩模 51 设置有开口 51a,通过该开口 51a 银原子、铜原子堆积到第 1 金属膜 21 上,能够形成如图 25(a) 那样被整形的第 2 金属膜 22。

[0269] 此外,图 25(b) 是沿着图 25(a) 的 X6 — X6 线的剖视图。

[0270] 通过以上,完成与图 13 所示的相同的 QCM 传感器 20 的基本构造。

[0271] 此外,在上述的例子中使用模板掩模 50、51 (参照图 26) 来对第 2 金属膜 22 进行图案化,但也可以以如下的方式通过 FIB (Focus Ion Beam: 聚焦离子束) 加工来对第 2 金属膜 22 进行图案化。

[0272] 图 27 ~ 图 28 是使用 FIB 加工的情况下的本实施方式的 QCM 传感器的制造中途的剖视图。

[0273] 首先,如已叙述的图 23(a) 那样在石英板 2 上形成第 1 金属膜 21 之后,如图 27(a) 所示,在第 1 金属膜 21 上通过蒸镀法作为第 2 金属膜 22 将银膜或者铜膜形成为约为 $0.1\ \mu\text{m}$ 的厚度。

[0274] 图 29 是在本工序中所使用的模板掩模 52 的俯视图。在模板掩模 52 设置有圆形的开口 52a,通过该开口 52a 银原子、铜原子堆积到第 1 金属膜 21 上,从而如图 27(a) 那样形成被整形为圆形的第 2 金属膜 22。

[0275] 接下来,如图 27(b) 所示,对第 2 金属膜 22 照射通过 FIB 加工装置生成的镓离子束等离子束 IB。被照射了离子束 IB 的部分的第 2 金属膜 22 蒸发,由此在第 2 金属膜 22 形成狭缝 23。

[0276] 通过这样的 FIB 加工,如图 28 所示,能够得到具备多个狭缝 23 的 QCM 传感器 20 的基本构造。

[0277] 此外,在上述对已叙述的第 1 例的 QCM 传感器 20 的制造方法进行了说明,但第 2 例、第 3 例的 QCM 传感器也可以以与上述相同的方式制造。

[0278] 例如,在制造第 2 例的 QCM 传感器 30(参照图 15(a)) 时,也可以与图 24 ~ 图 25 的工序相同地利用使用模板掩模的蒸镀法,在第 1 金属膜 21 上形成没有连结部 23x 的第 2 金属膜 22。

[0279] 另外,在制造第 3 例的 QCM 传感器 40(参照图 20) 时,也可以省去图 23 的工序,通过图 24 ~ 图 25 的工序在石英板 2 上直接形成第 2 金属膜 22。

[0280] (其他实施方式)

[0281] 在上述的本实施方式中,作为提高比 (L/S) 的图案形成了狭缝、开口。但图案并不限于此,也可以在电极 3 作为图案形成槽、凹部。

[0282] 图 30(a) 是在电极 3 作为图案形成了环状的槽 22y 的情况下的 QCM 传感器的俯视图,图 30(b) 是沿着图 30(a) 的 X7 - X7 线的剖视图。

[0283] 另一方面,图 31(a) 是在电极 3 作为图案形成了俯视时圆形的凹部 22z 的情况下的 QCM 传感器的俯视图,图 31(b) 是沿着图 31(a) 的 X8 - X8 线的剖视图。

[0284] 此外,在图 30 以及图 31 中,对于与上述的图 20 以及图 21 中的要素相同的要素,标注与它们中的符号相同的符号,在以下省略其说明。

[0285] 如图 30(a)、图 31(a) 那样的槽 22y、凹部 22z 在俯视时也具有轮廓线,所以能够提高比 (L/S) 从而实现 QCM 传感器的高灵敏度化。此外,这些槽 22y、凹部 22z 可以通过将第 2 金属膜 22 蚀刻到其中途的深度来形成。

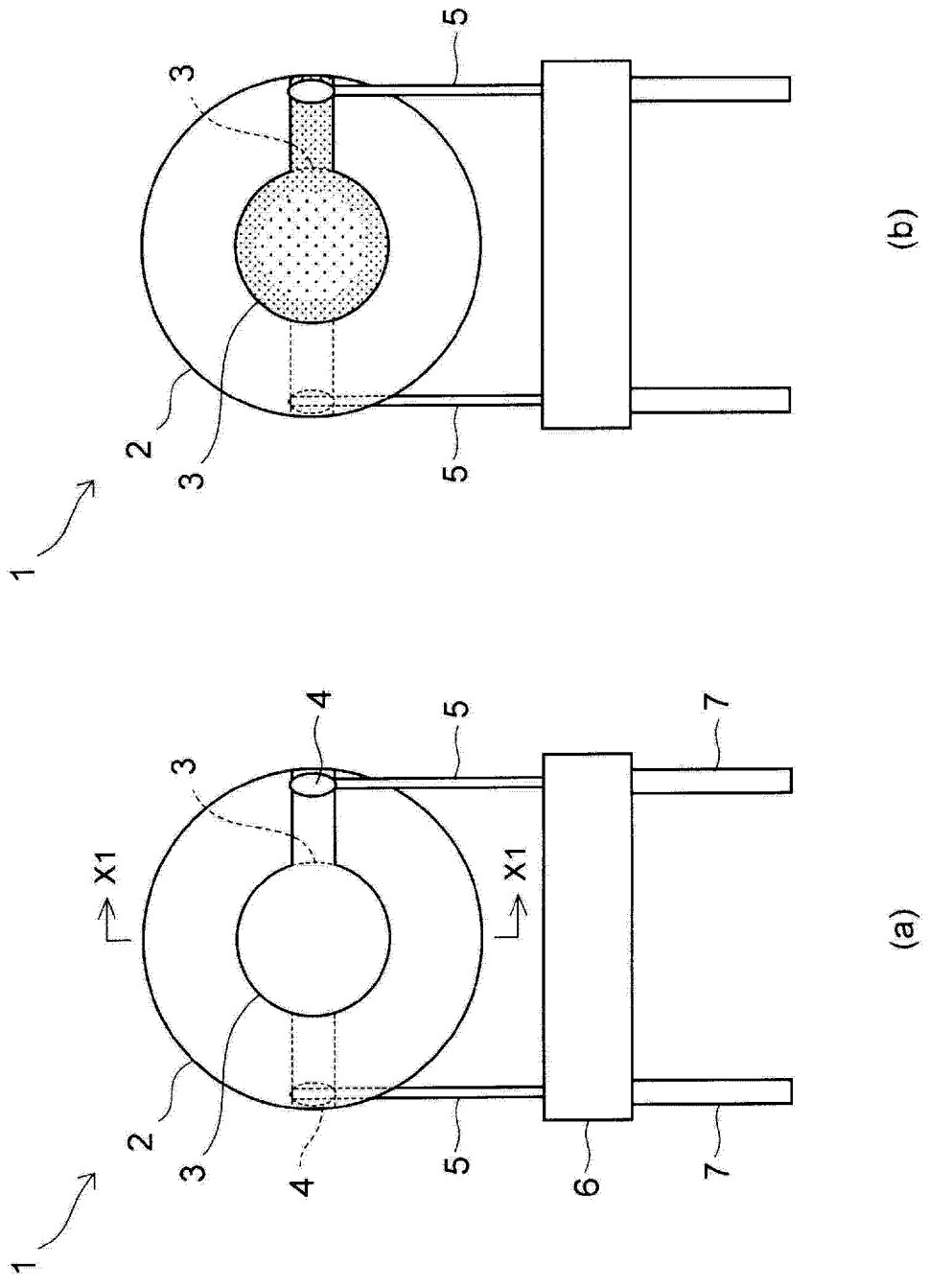


图 1

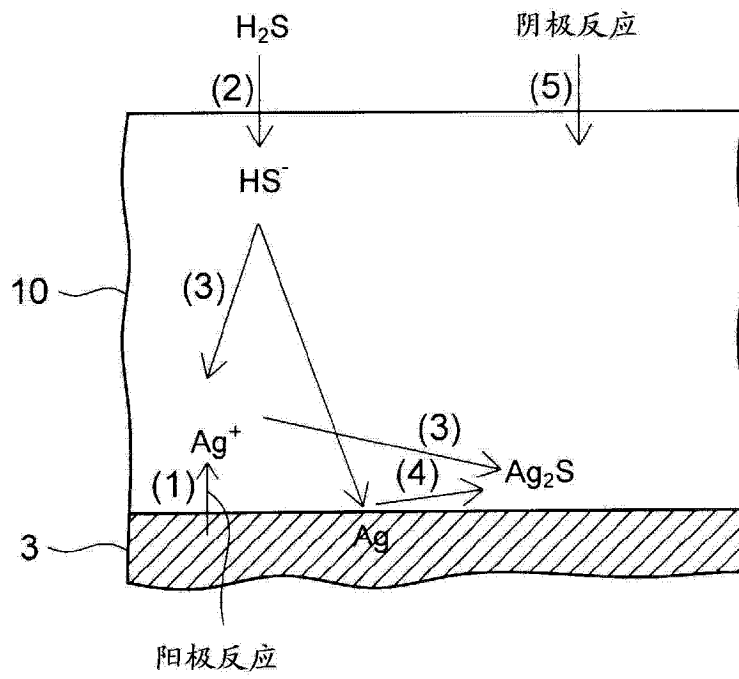


图 2

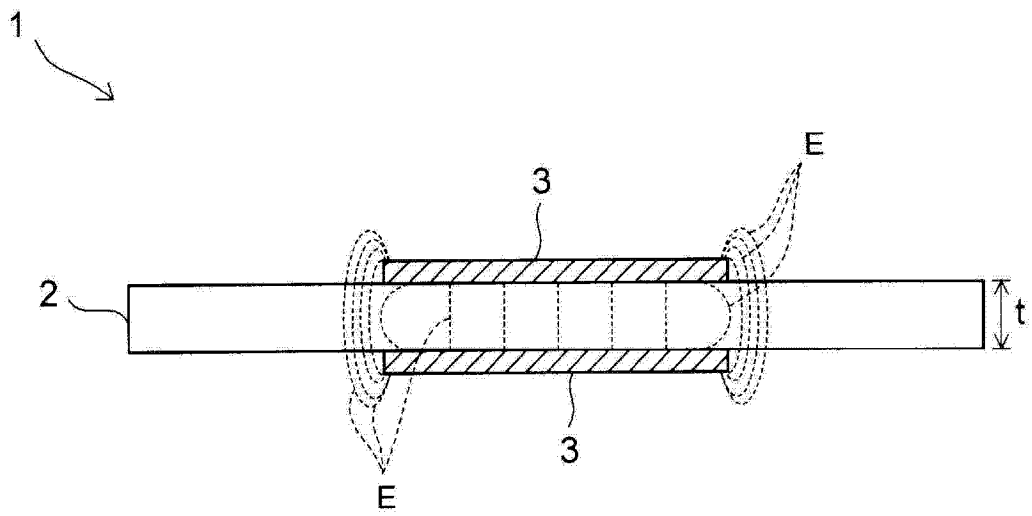


图 3

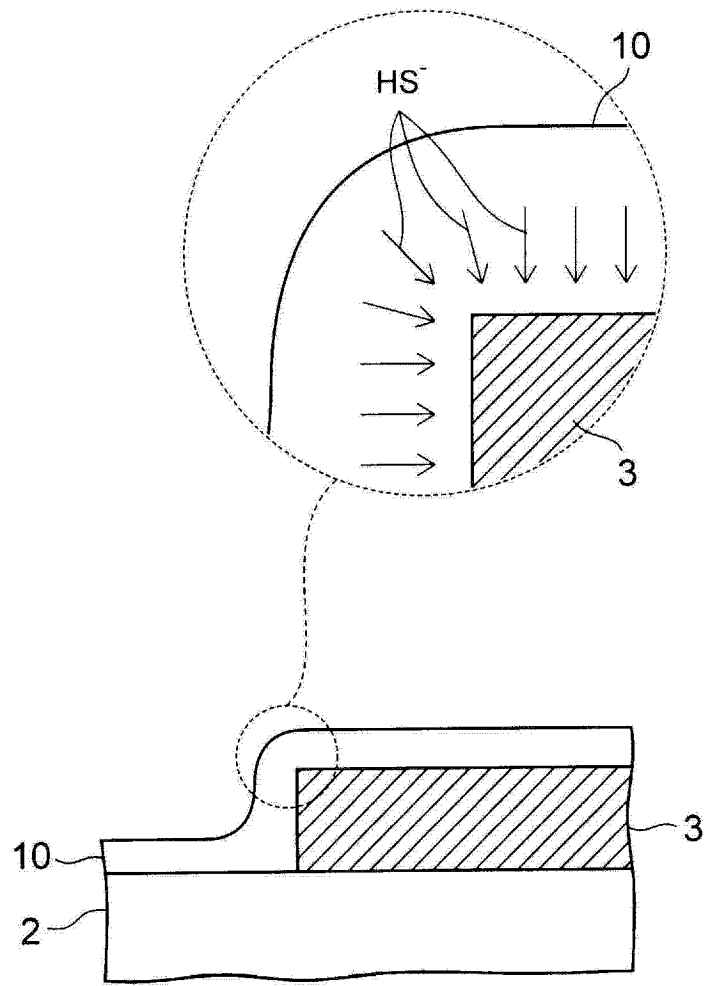


图 4

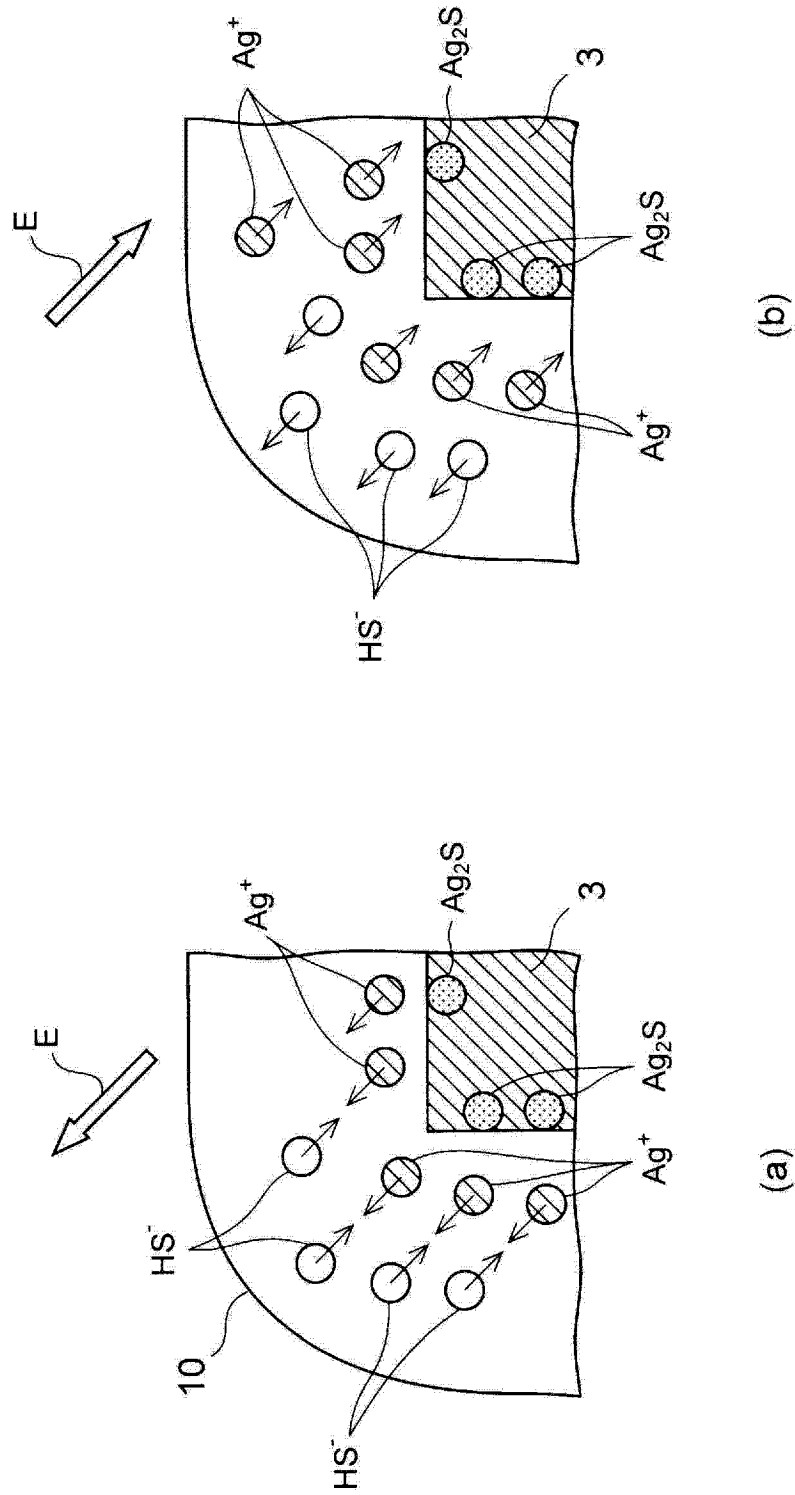


图 5

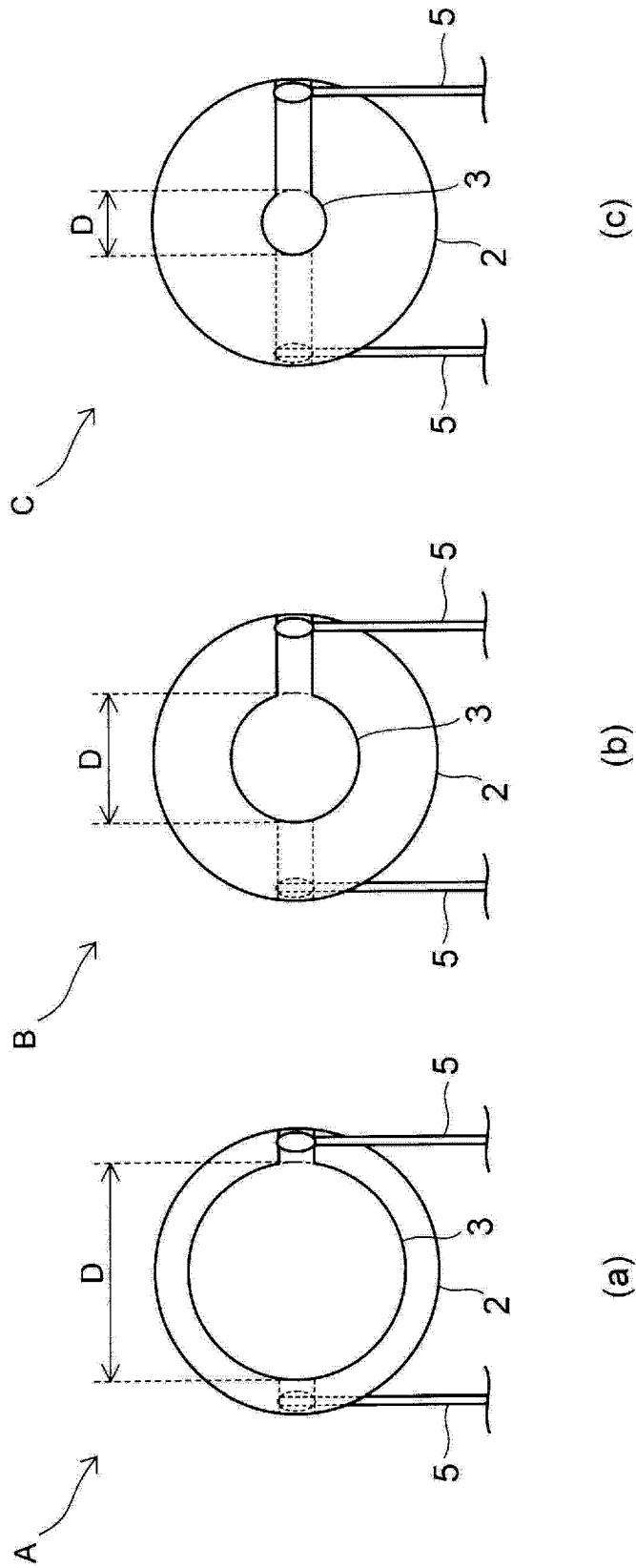


图 6

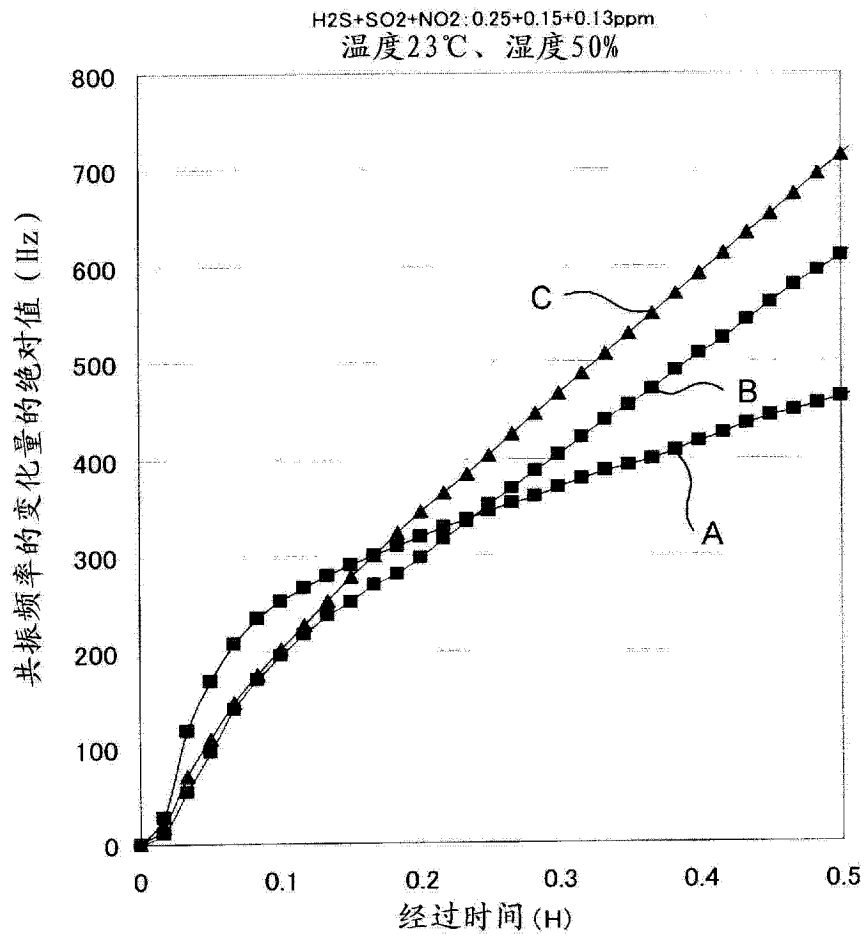


图 7

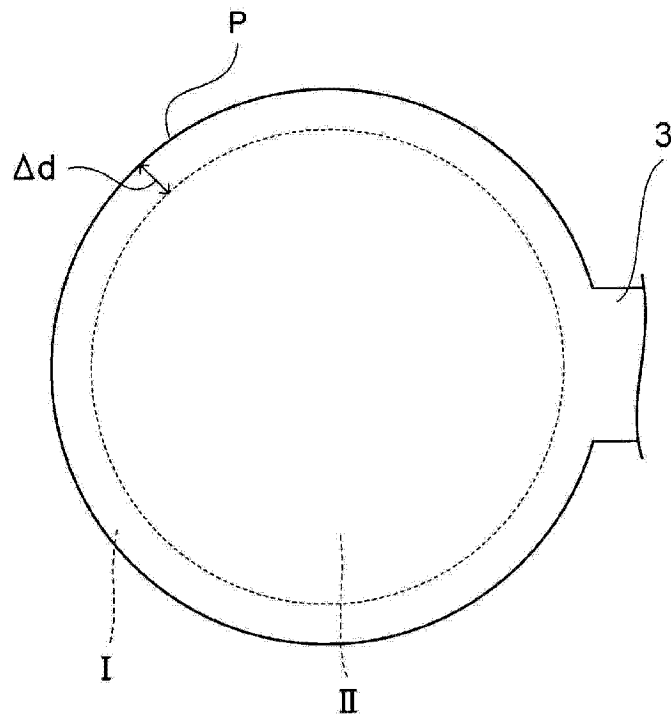


图 8

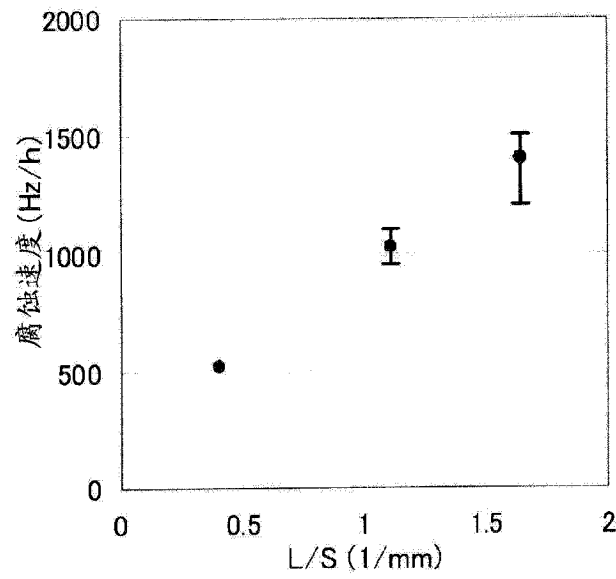


图 9

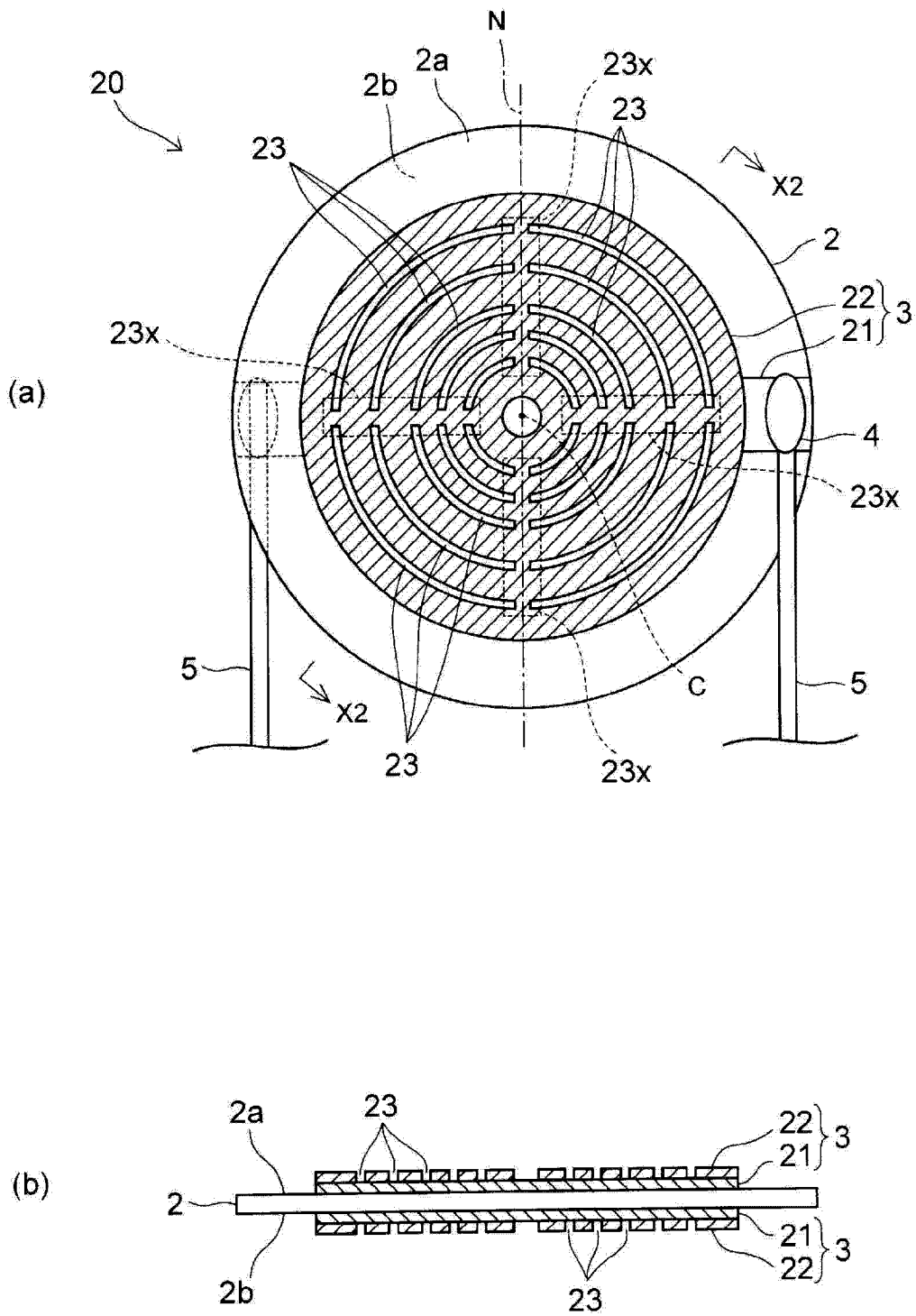


图 10

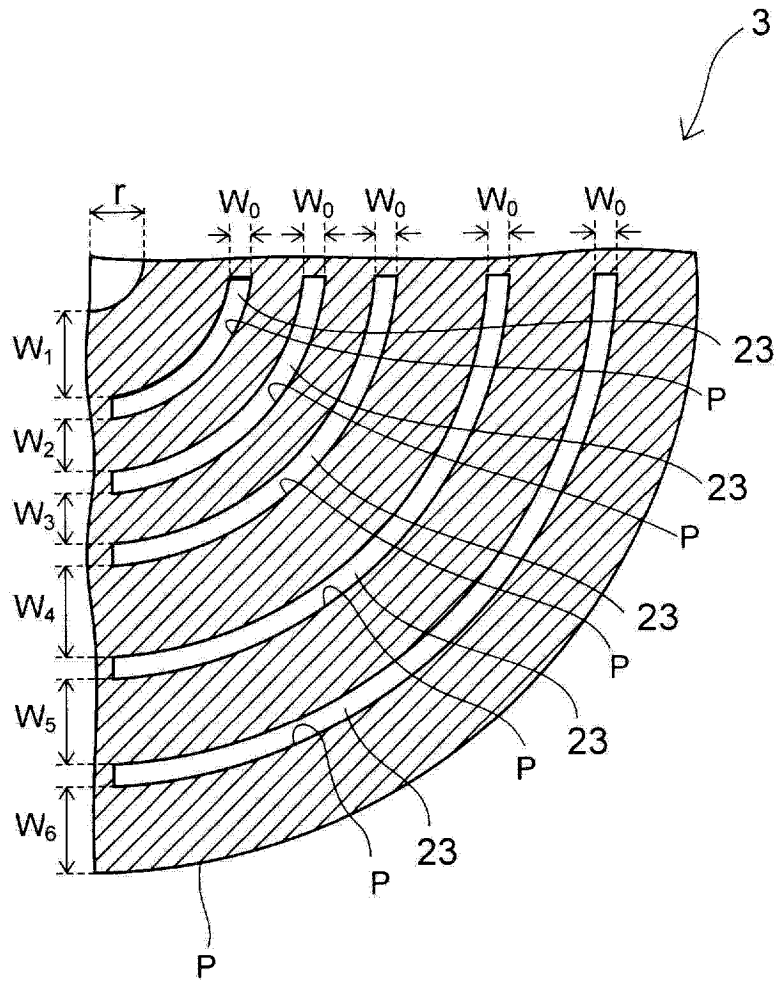


图 11

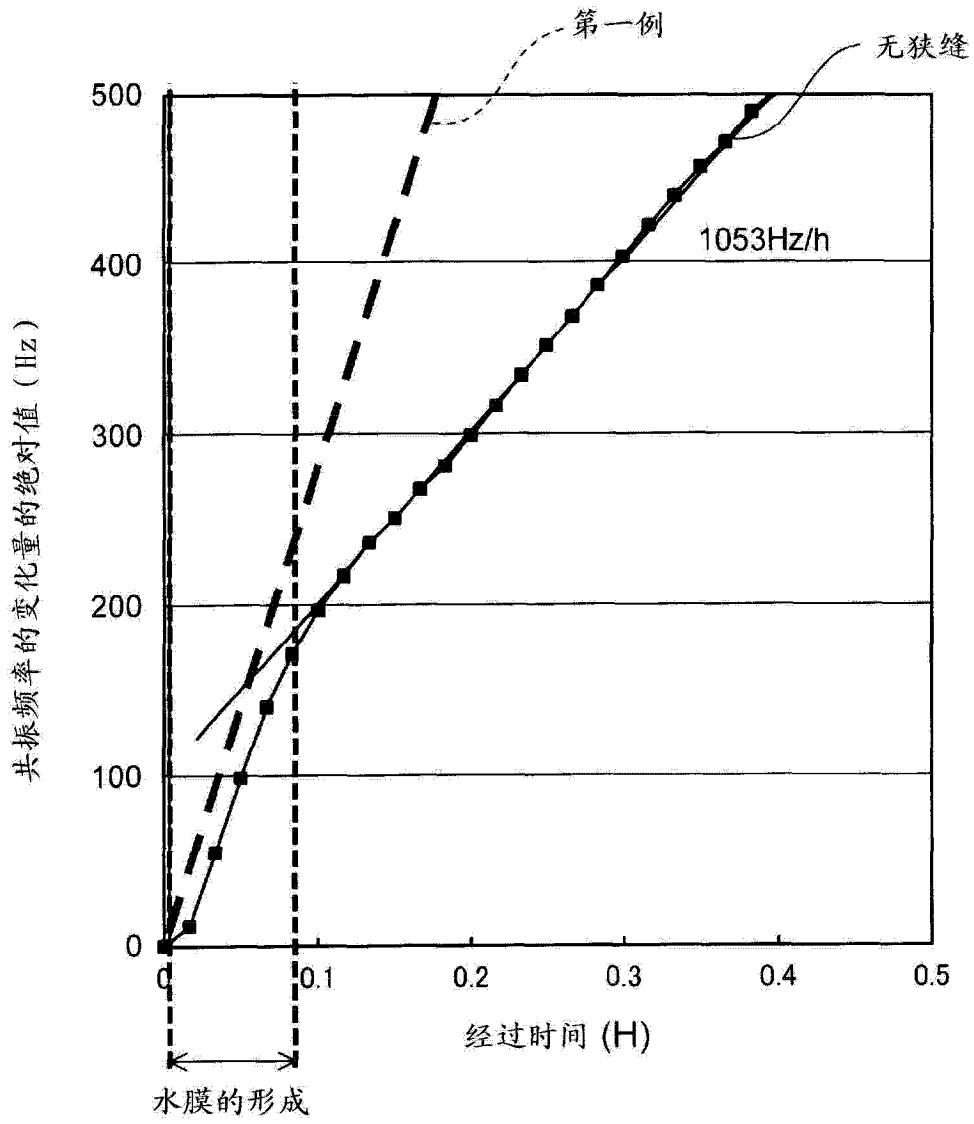


图 12

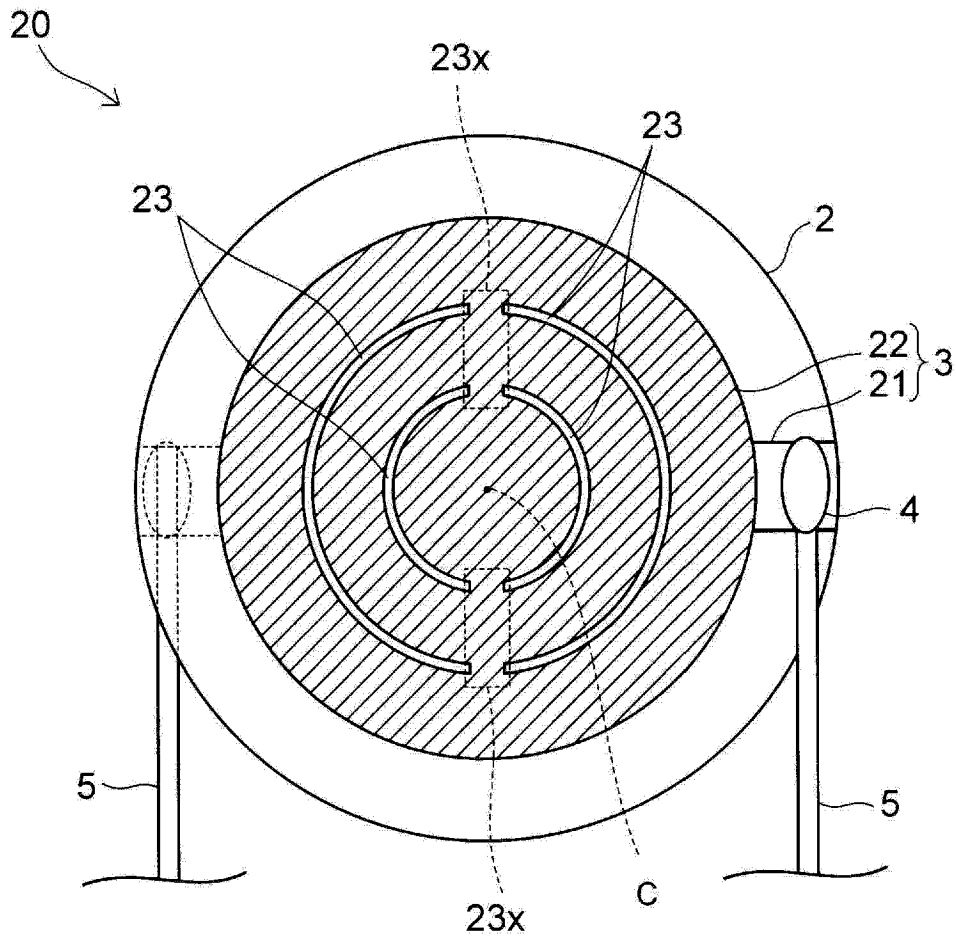


图 13

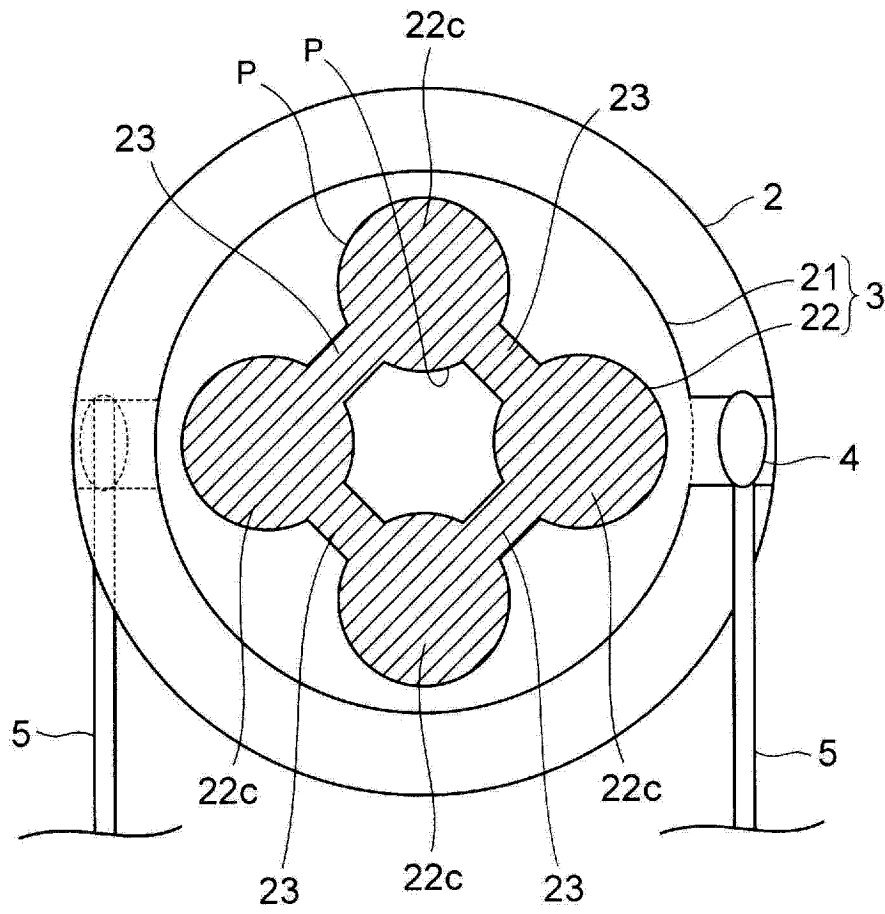


图 14

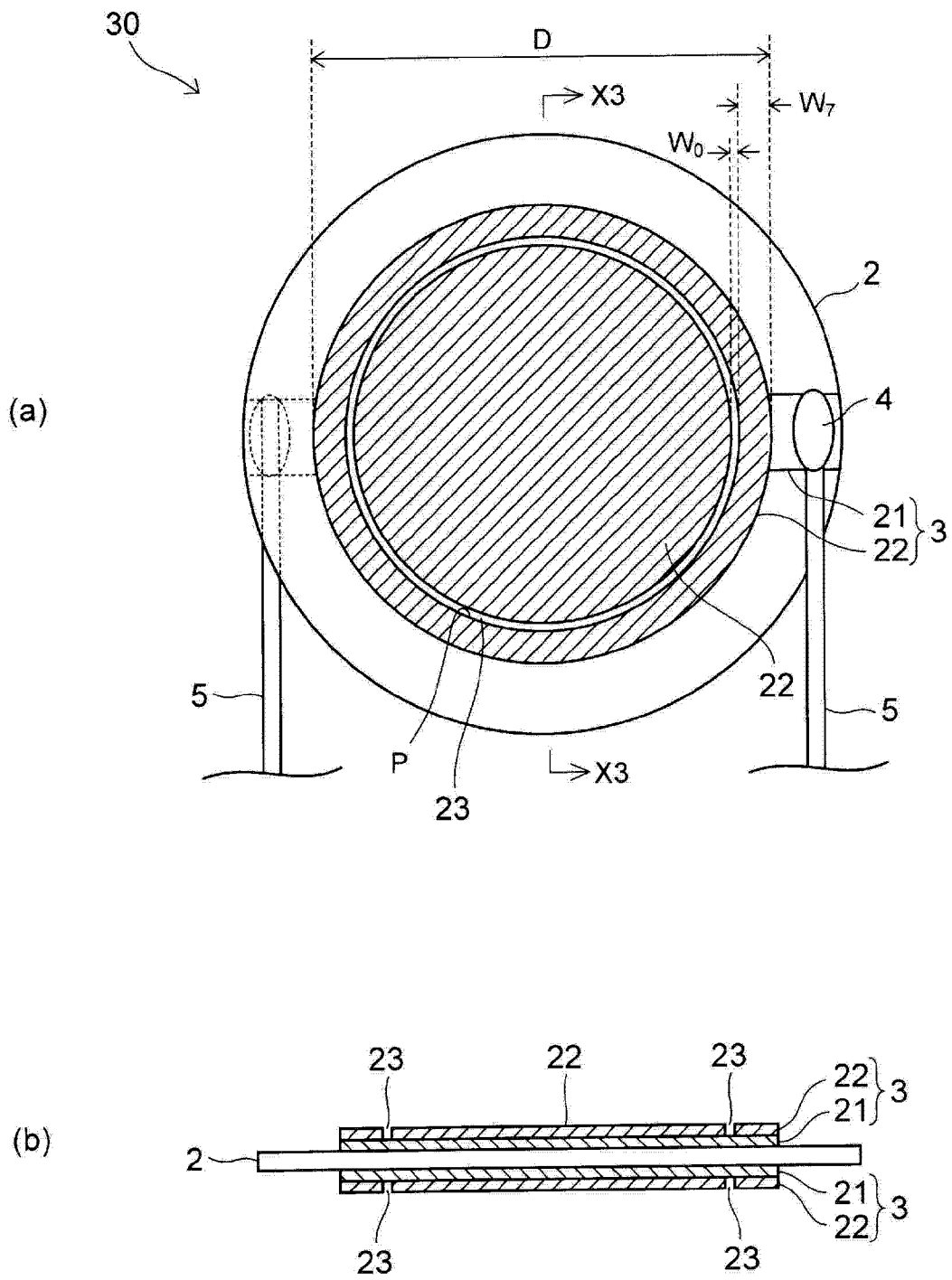


图 15

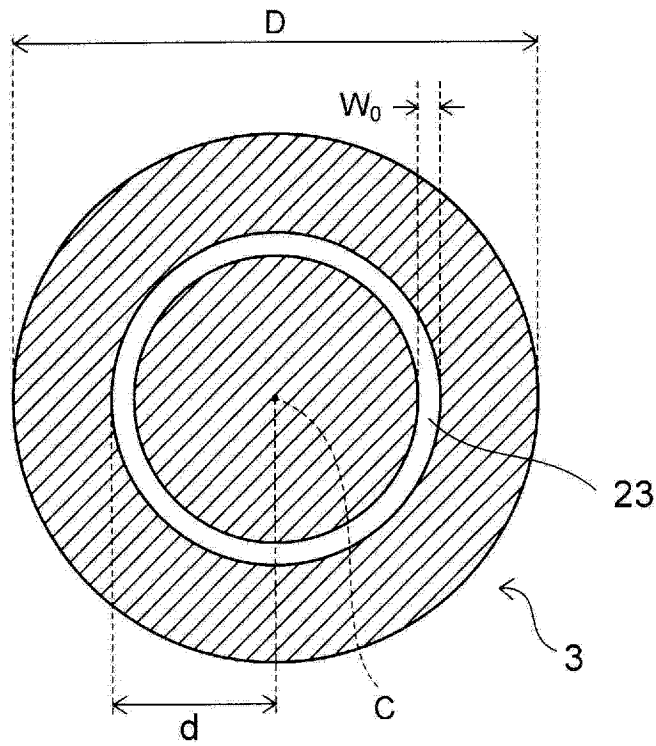


图 16

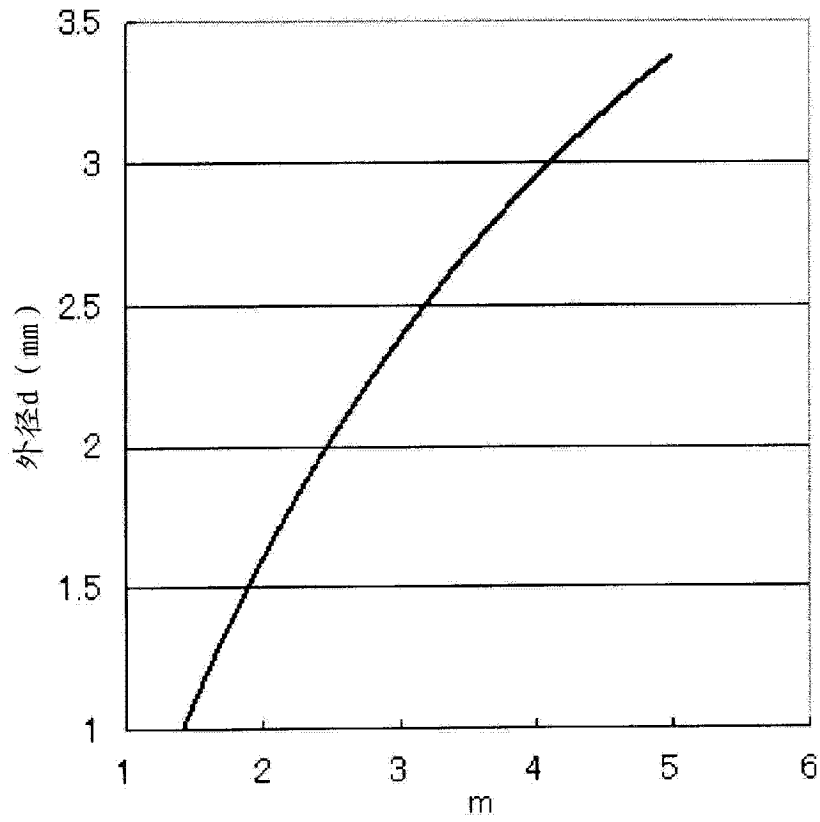


图 17

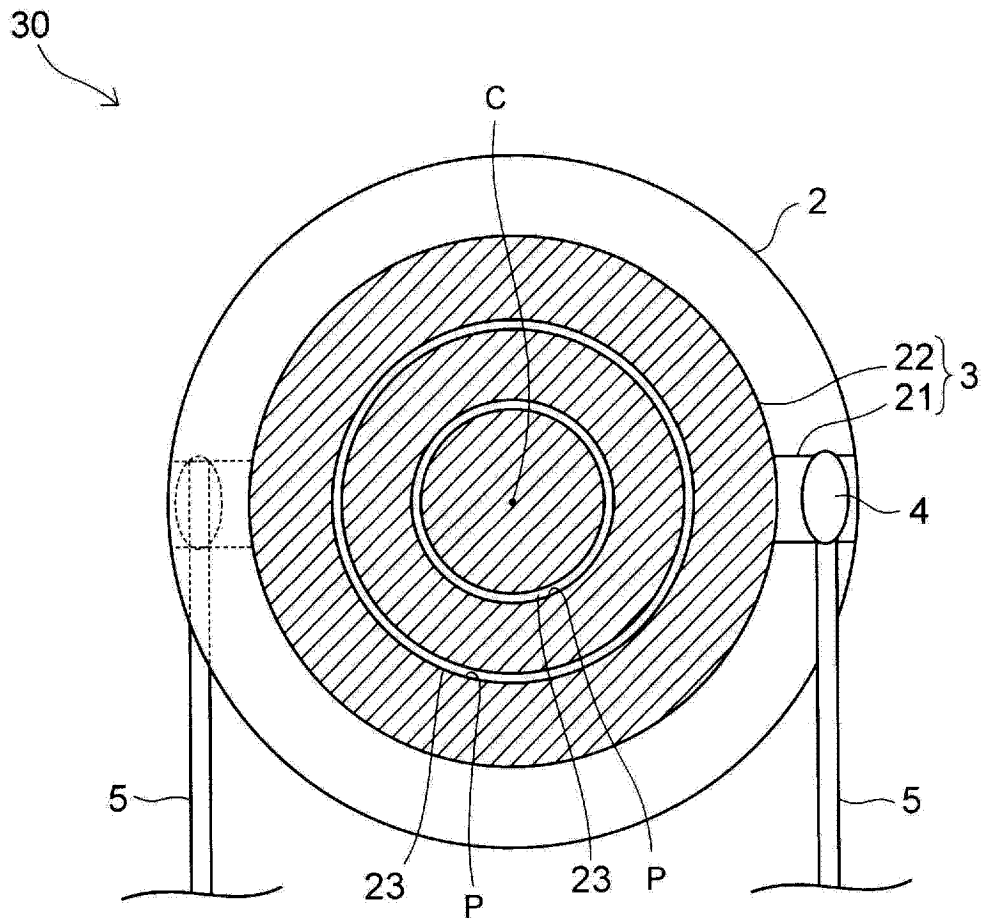


图 18

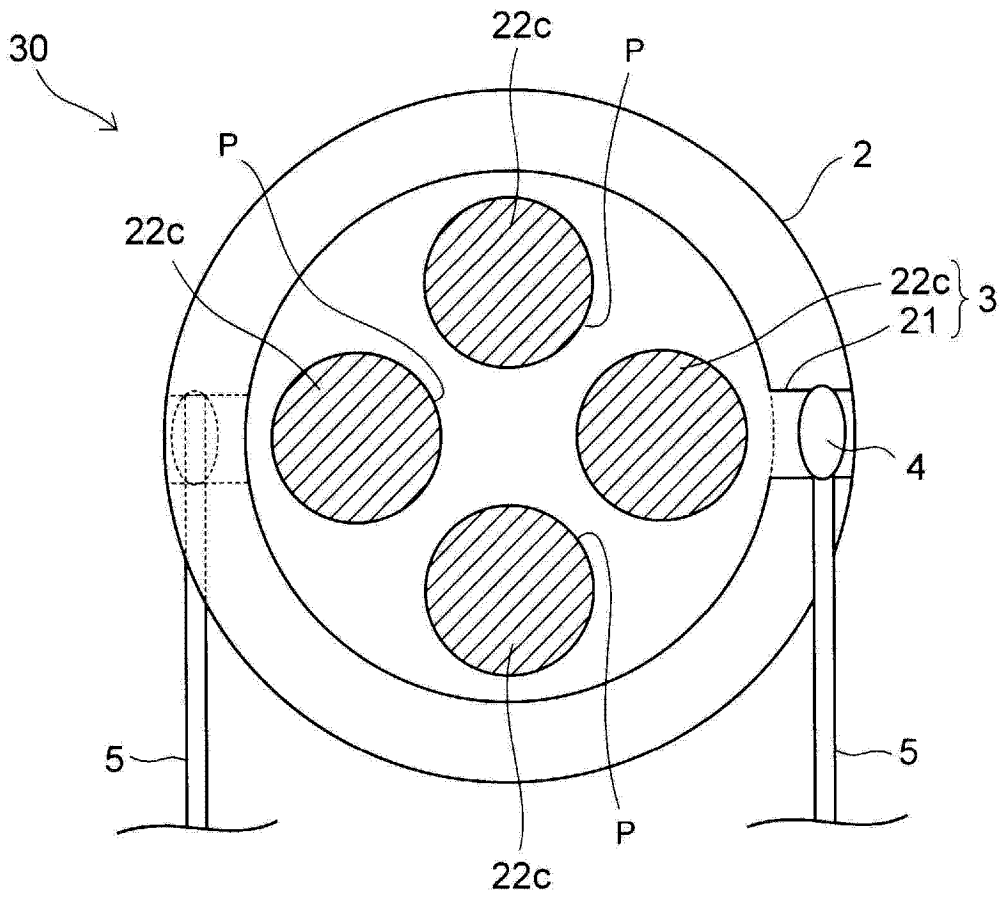


图 19

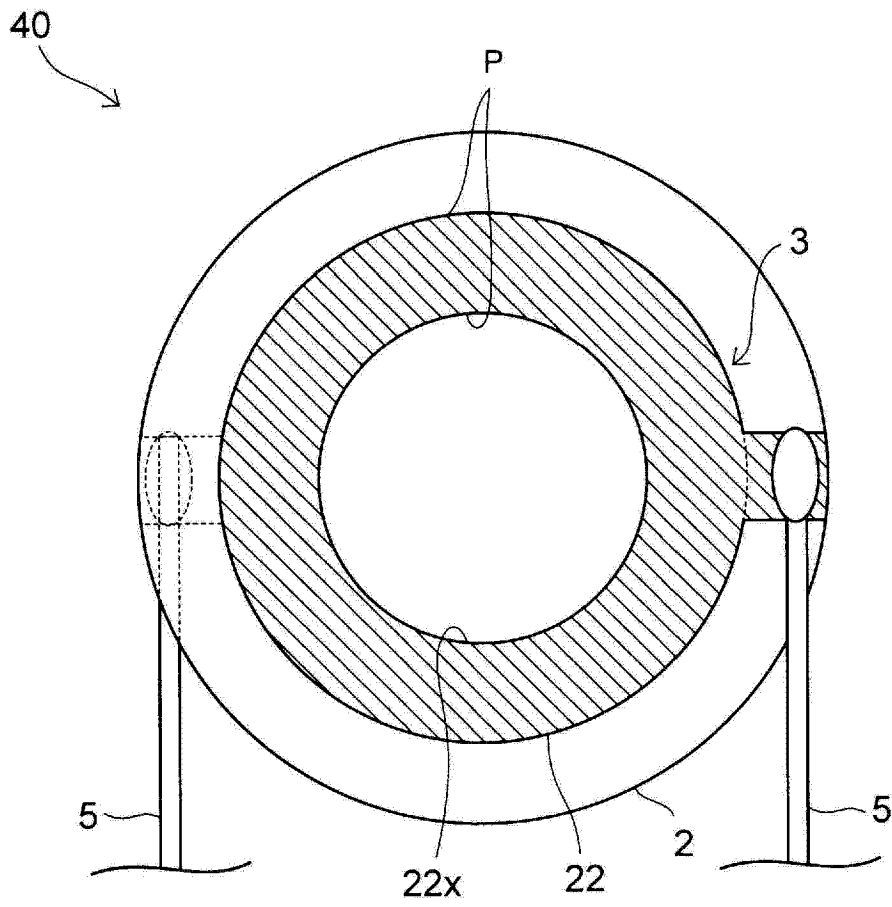


图 20

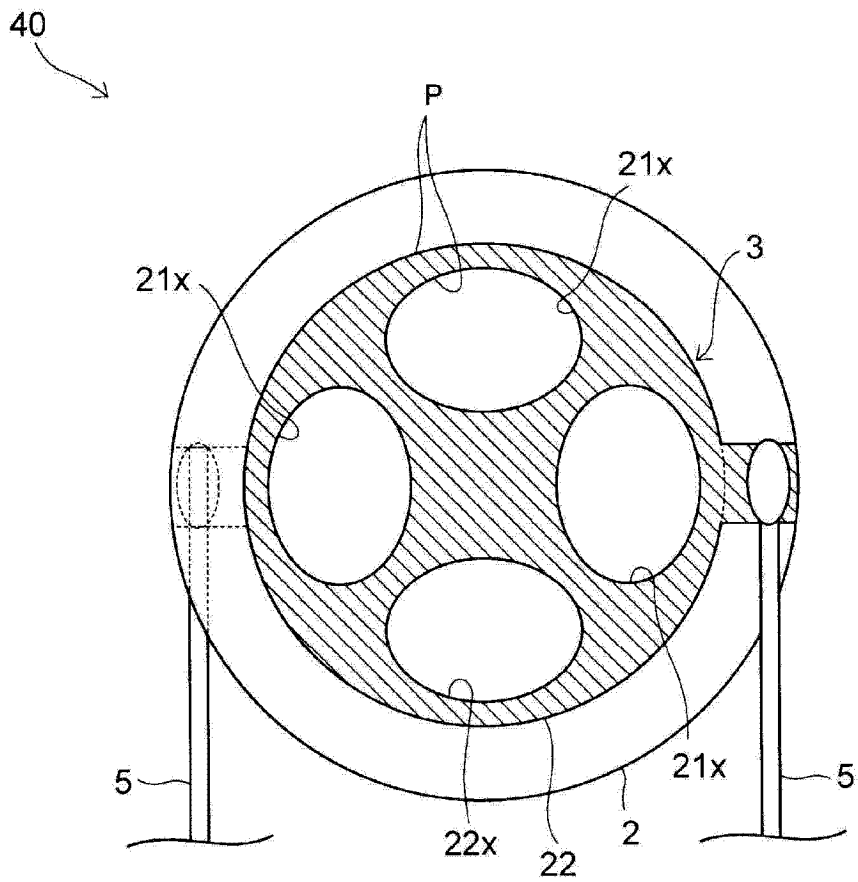


图 21

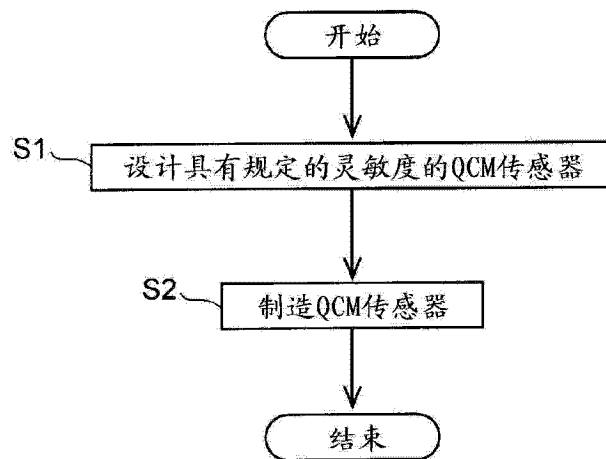


图 22

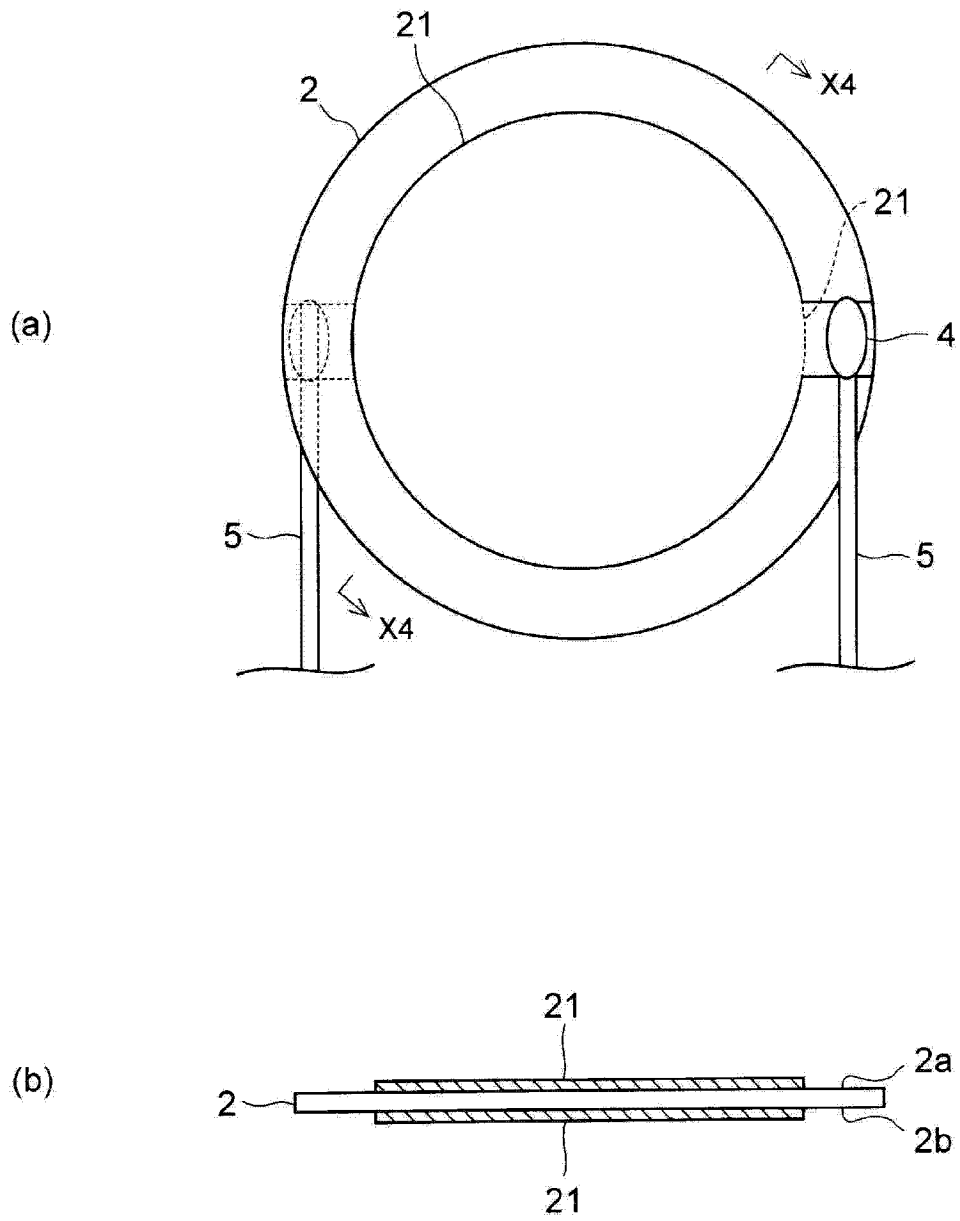


图 23

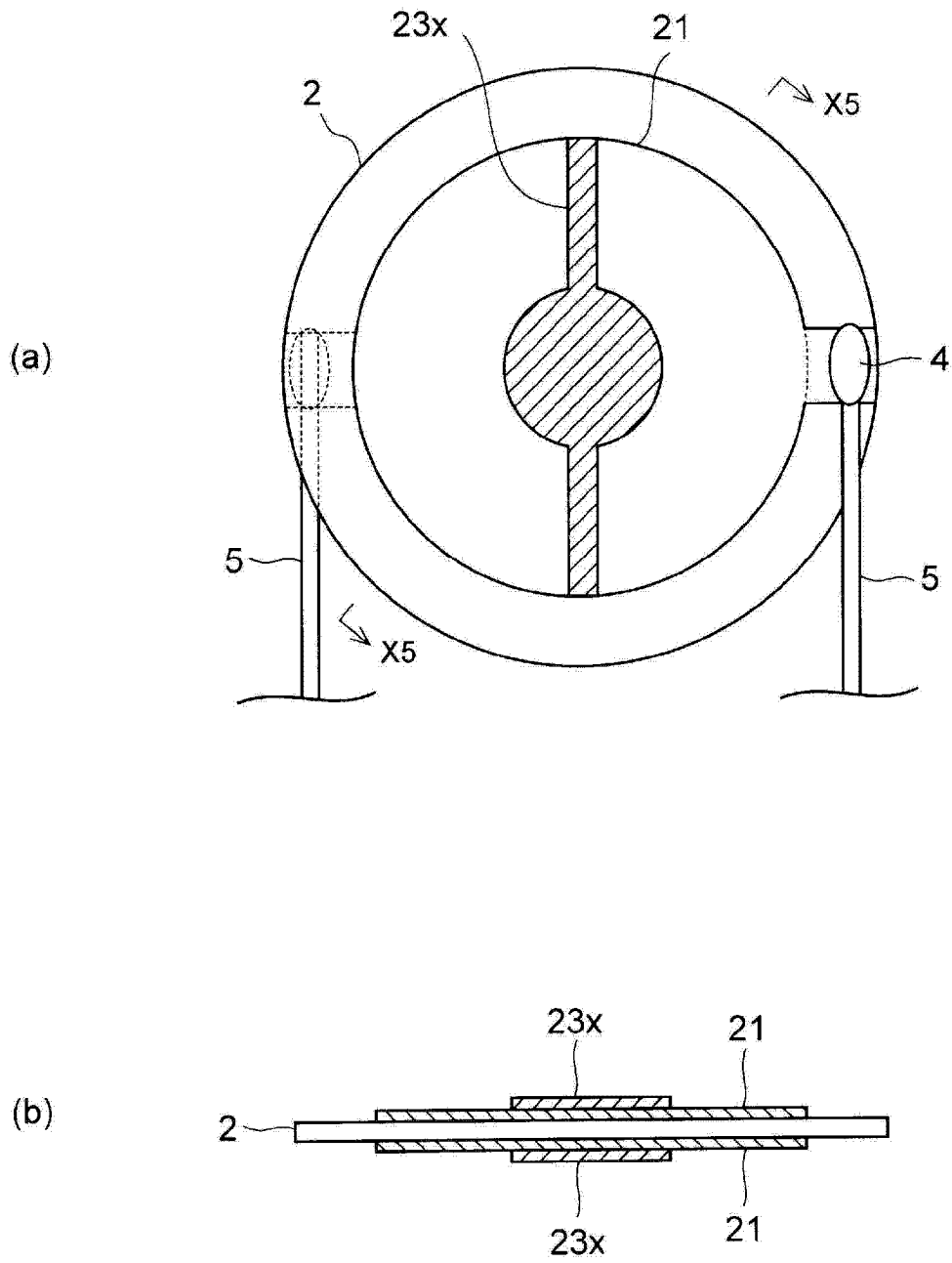


图 24

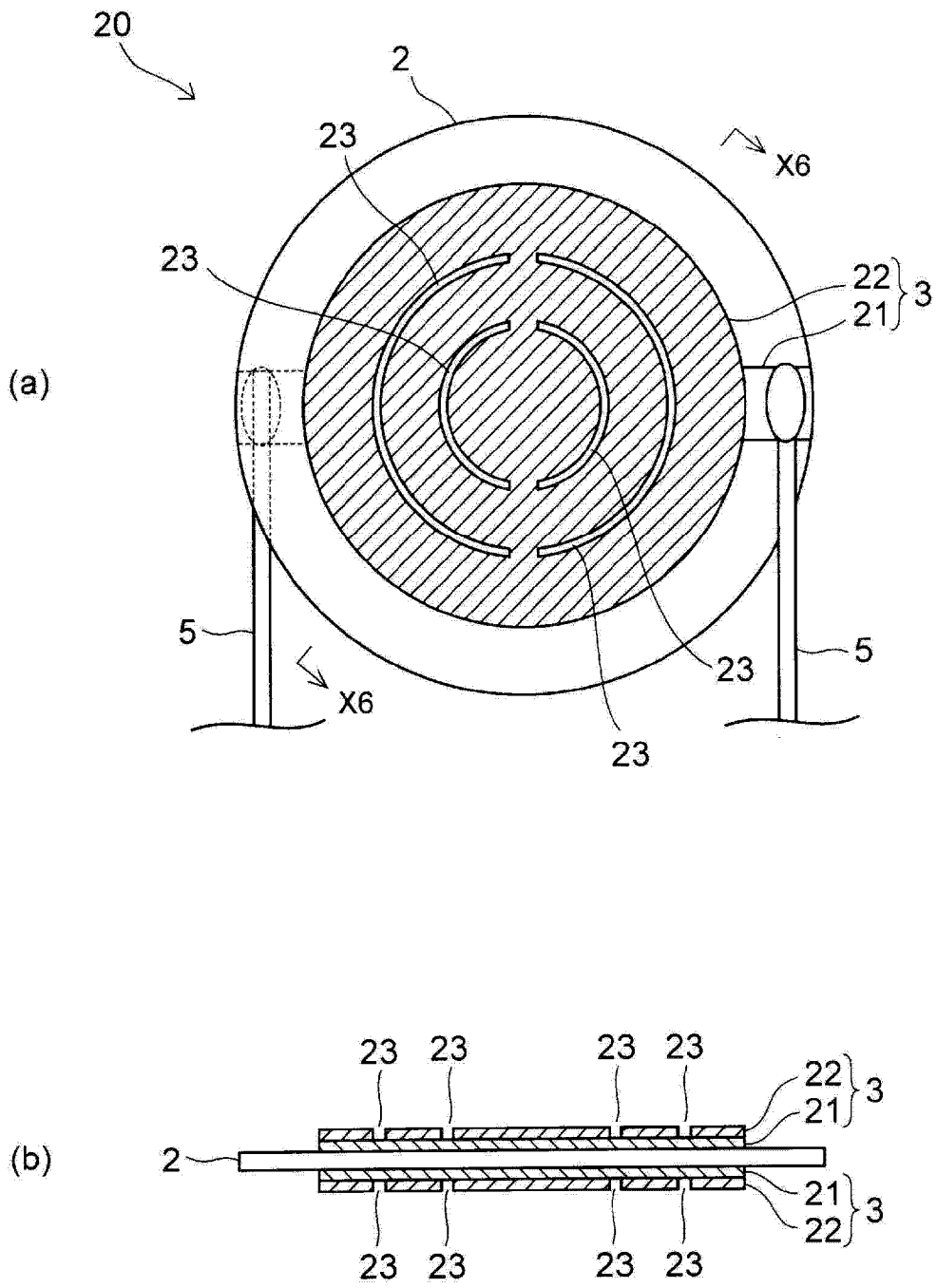


图 25

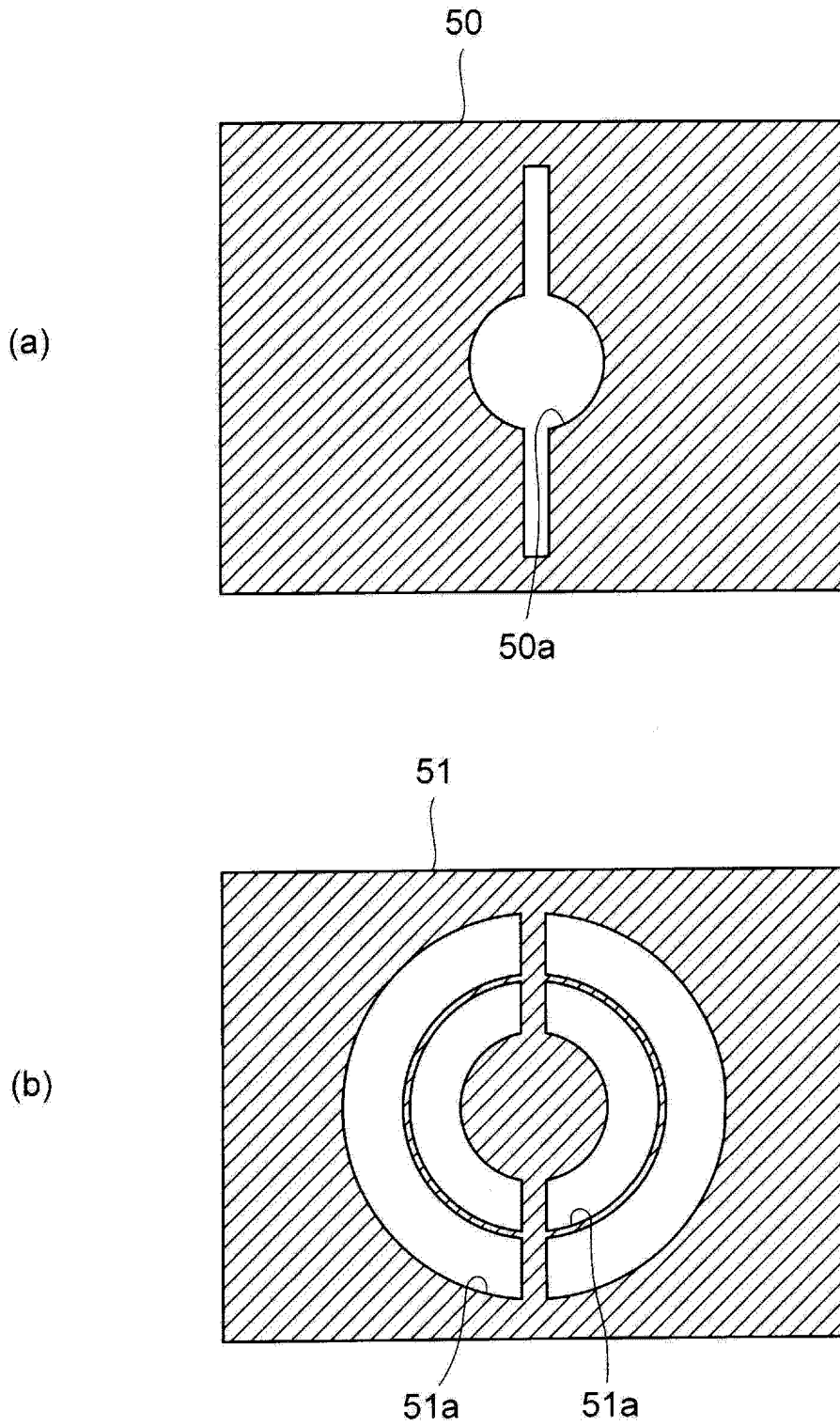


图 26

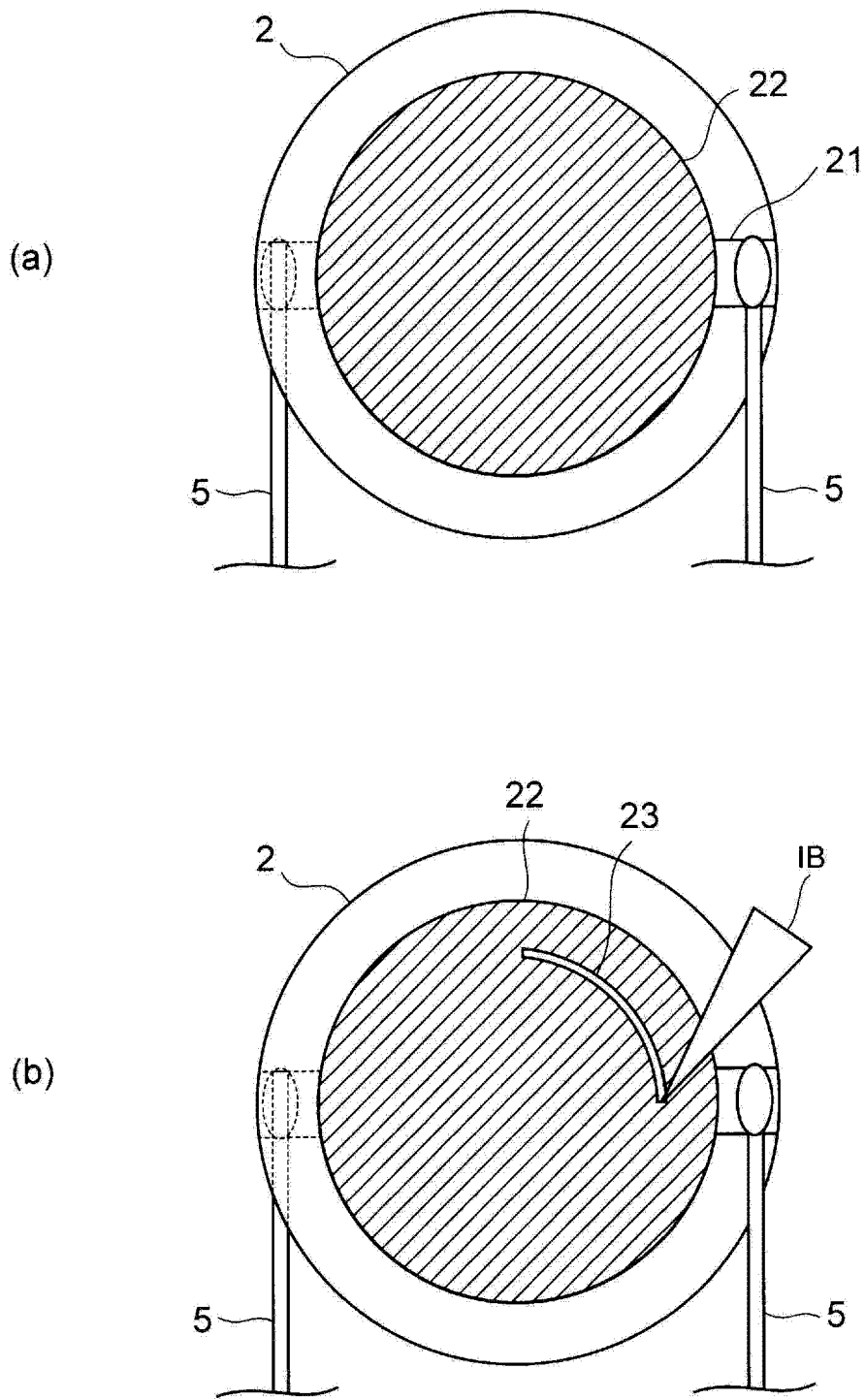


图 27

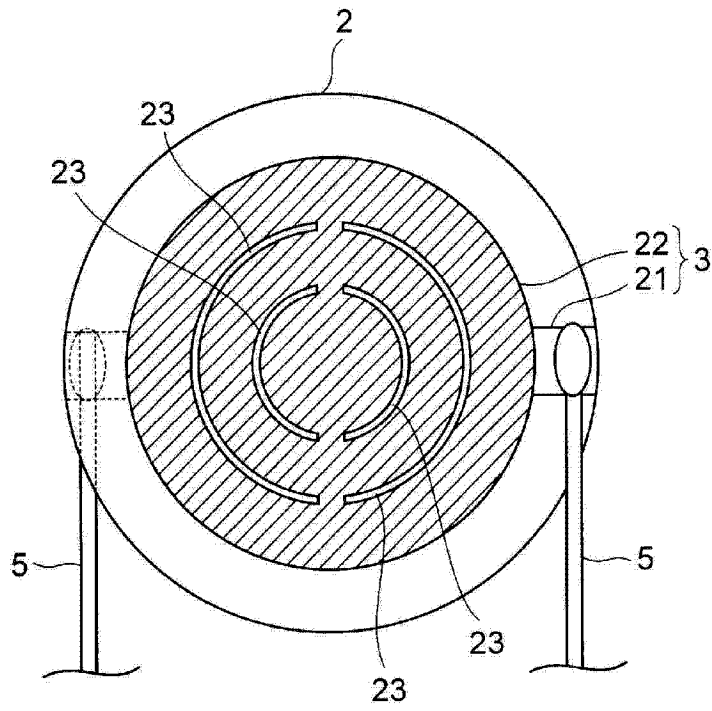


图 28

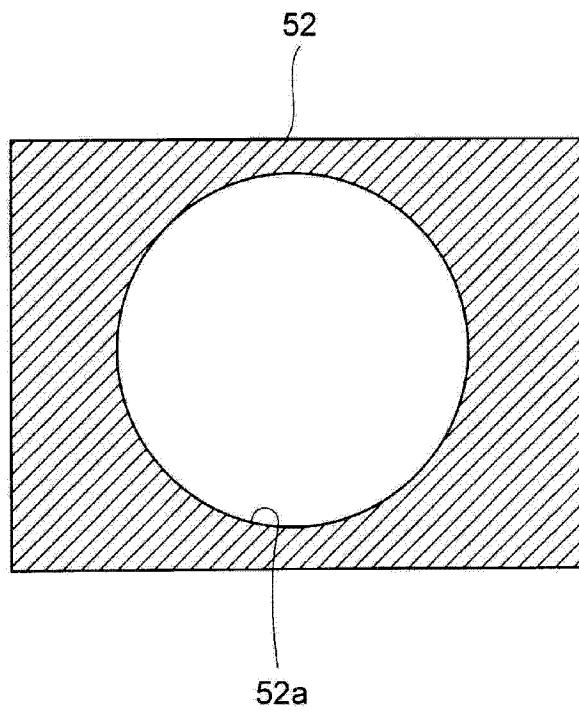


图 29

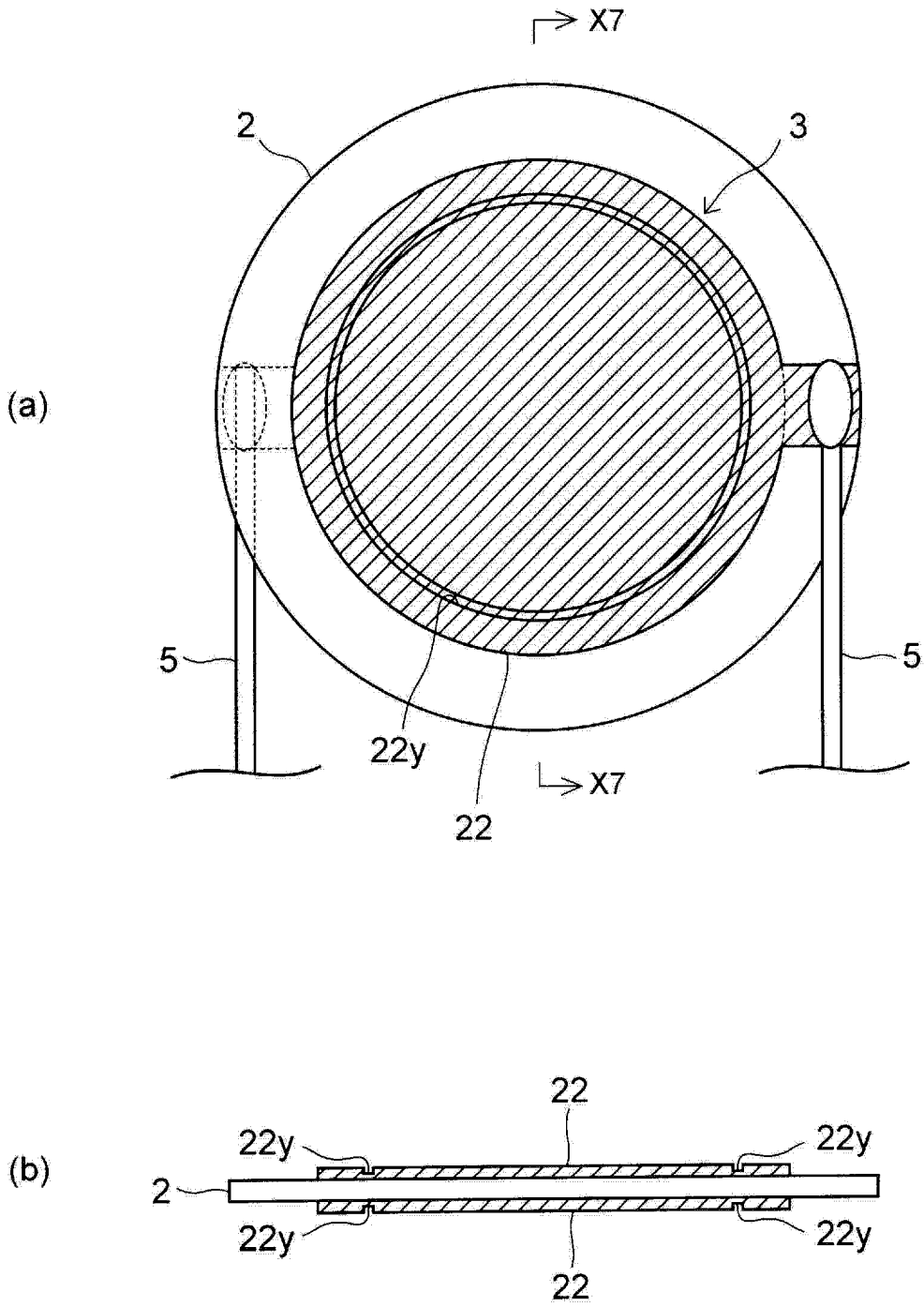


图 30

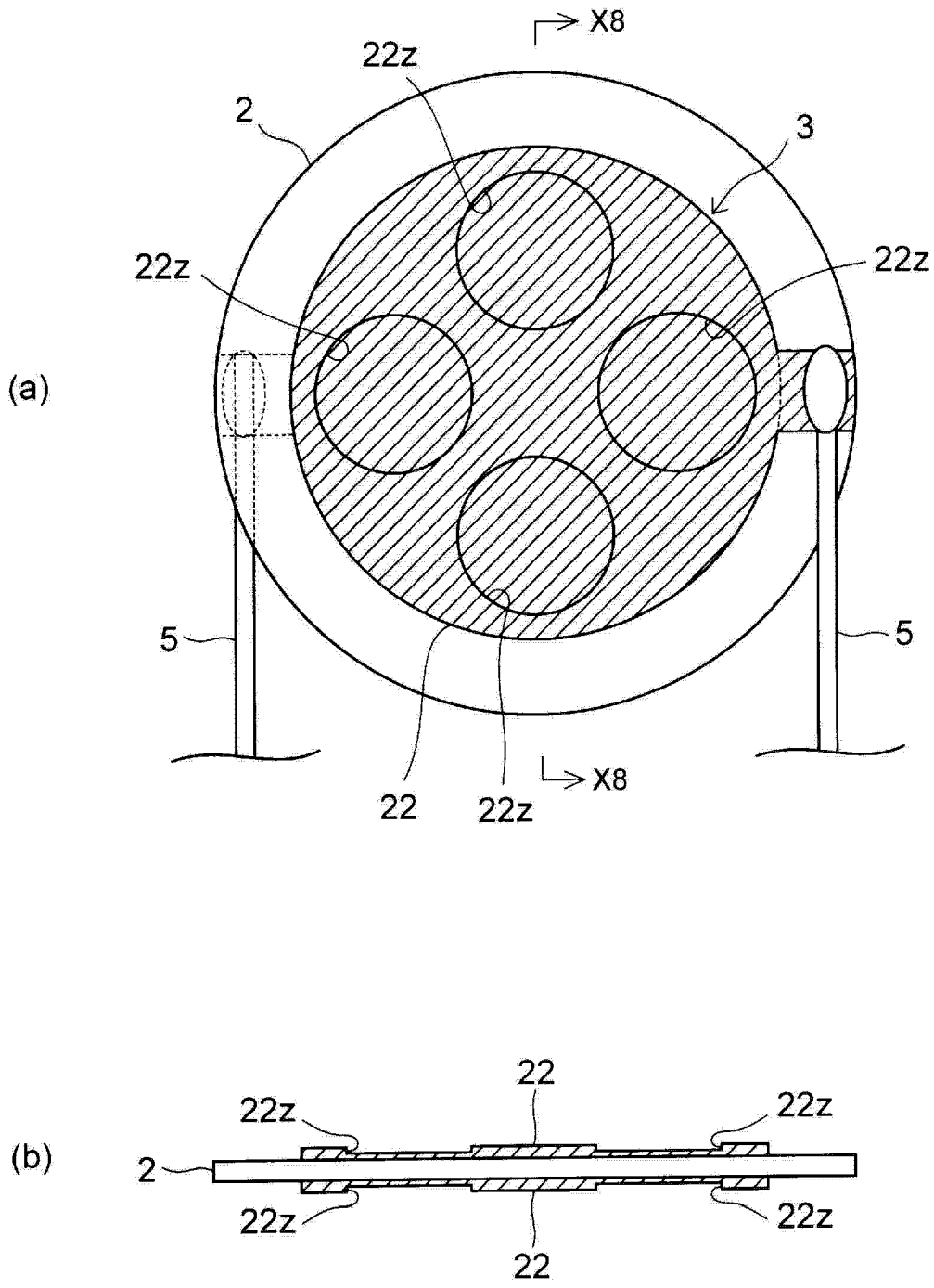


图 31