



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114502952 A

(43) 申请公布日 2022. 05. 13

(21) 申请号 202080069641.6

(22) 申请日 2020.10.08

(30) 优先权数据

2019-186455 2019.10.10 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2022.04.01

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2020/038182 2020.10.08

(87) PCT国际申请的公布数据

W02021/070913 JA 2021.04.15

(71) 申请人 国立大学法人香川大学

地址 日本香川县

(72) 发明人 下川房男 石田一马

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
72002

专利代理师 高迪

(51) Int.Cl.

G01N 27/414 (2006.01)

G01N 27/416 (2006.01)

G01N 27/06 (2006.01)

A01G 7/00 (2006.01)

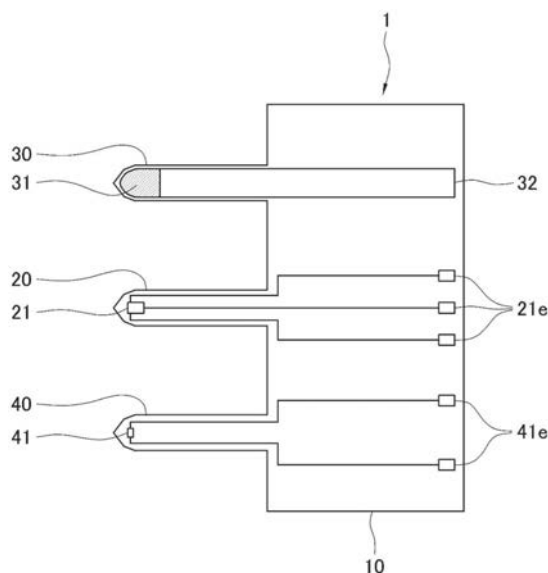
权利要求书2页 说明书15页 附图14页

(54) 发明名称

维管束汁液测量传感器

(57) 摘要

提供能够直接测定植物的维管束汁液的pH的维管束汁液测量传感器。维管束汁液测量传感器(1)具备:设有由离子敏感场效应晶体管构成的指示电极(21)的指示电极探头(20);参照电极探头(30),设有固体参照电极(31),该固体参照电极(31)包括导电体形成的基层、形成于基层的表面的氯化银层以及形成于氯化银层的表面的氯化物层;以及对指示电极探头(20)以及参照电极探头(30)以相互平行排列的状态进行支承的支承部(10)。通过将指示电极探头(20)以及参照电极探头(30)刺入植物,能够测定植物的维管束汁液的pH。



1. 一种维管束汁液测量传感器,其特征在于,具备:
指示电极探头,设有由离子敏感场效应晶体管构成的指示电极;
参照电极探头,设有固体参照电极,该固体参照电极包括由导电体形成的基层、形成于该基层的表面的氯化银层以及形成于该氯化银层的表面的氯化物层;以及
支承部,对所述指示电极探头以及所述参照电极探头以相互平行排列的状态进行支承。
2. 根据权利要求1所述的维管束汁液测量传感器,其特征在于,
所述氯化物层通过将玻璃糊剂与氯化钾以1:0.05~0.25的重量比混合并固化而成。
3. 根据权利要求1或2所述的维管束汁液测量传感器,其特征在于,
具备设有温度传感器的温度探头,
所述温度探头被支承于所述支承部。
4. 根据权利要求1所述的维管束汁液测量传感器,其特征在于,
具备电导率探头,该电导率探头设有由隔开规定的间隔地配置的一对电极构成的电导率电极对,
所述电导率探头被支承于所述支承部。
5. 根据权利要求4所述的维管束汁液测量传感器,其特征在于,
所述电导率电极对的电导池常数是 $500\sim 2,000\text{m}^{-1}$ 。
6. 根据权利要求4或5所述的维管束汁液测量传感器,其特征在于,
所述一对电极各自由覆盖形成于探头表面的凸部的金属层构成。
7. 根据权利要求4至6中任一项所述的维管束汁液测量传感器,其特征在于,
所述一对电极沿所述电导率探头的宽度方向排列而配置。
8. 根据权利要求4至6中任一项所述的维管束汁液测量传感器,其特征在于,
所述一对电极沿所述电导率探头的轴向排列而配置。
9. 根据权利要求4至8中任一项所述的维管束汁液测量传感器,其特征在于,
具备设有温度传感器的温度探头,
所述温度探头被支承于所述支承部。
10. 根据权利要求4所述的维管束汁液测量传感器,其特征在于,
所述指示电极、所述固体参照电极以及所述电导率电极对在向植物刺入的刺入方向上配置于相同的位置。
11. 根据权利要求4所述的维管束汁液测量传感器,其特征在于,
所述指示电极以及所述固体参照电极与所述电导率电极对在向植物刺入的刺入方向上配置于不同的位置,
在将所述指示电极以及所述固体参照电极配置于所述植物的筛管的状态下,所述电导率电极对被配置于该植物的导管。
12. 根据权利要求1或4所述的维管束汁液测量传感器,其特征在于,具备:
带加热器的温度探头,设有温度传感器与加热器;以及
温度探头,设有温度传感器,
所述带加热器的温度探头以及所述温度探头被支承于所述支承部。
13. 根据权利要求12所述的维管束汁液测量传感器,其特征在于,

具备两个所述温度探头，
两个所述温度探头设于将所述带加热器的温度探头夹着的位置。

维管束汁液测量传感器

技术领域

[0001] 本发明涉及维管束汁液测量传感器。更详细地说,本发明涉及在植物的维管束汁液的pH等的测定中使用的维管束汁液测量传感器。

背景技术

[0002] 在作物、果树的生产中,从生产率的观点出发,期望配合于植物的生长状态而在适当的时期进行灌水与养分补给。但是,在很多农业现场中,现状是基于无降雨天数等,根据经验和直觉进行灌水与养分补给。这种依赖于经验的方法需要熟练,花费工夫和时间。另外,由于成为基准的指标是个人的经验,因此谁都难以简便地实施。

[0003] 近年来,智慧农业等将信息技术导入农业的动向变得活发。期待通过信息技术,不依赖于人,而基于植物的生物学信息进行最佳的生产。

[0004] 例如非专利文献1中公开了对土壤的pH进行测定。土壤的pH用于确认作物的状态、完好性。另外,在非专利文献2中公开了对土壤的电导率进行测定。能够根据电导率推断土壤所含的营养成分的浓度。

[0005] 现有技术文献

[0006] 非专利文献

[0007] 非专利文献1:二川等,“半导体型pHセンサによる低水分量土壤リアルタイムpH計測に関する研究”(“与基于半导体型pH传感器的低水分量土壤实时pH测量相关的研究”),电气学会论文志E,Vol.138 No.9pp.417-422、2018年

[0008] 非专利文献2:川岛等,“插入型農業用センサを利用したトマト培地のEC測定”(“利用了插入型农业用传感器的西红柿培养基的EC测定”),电气学会论文志E,Vol.131 No.6pp.211-217、2011年

发明内容

[0009] 发明将要解决的课题

[0010] 在目前状况下,一般如非专利文献1、2所公开那样对土壤的pH以及电导率进行测定等,监视围绕植物的环境。但是,如果能够直接测定植物的生物体信息,就能够使作物、果树的生产更加优化。

[0011] 另外,水分与营养物质的平衡对于植物的生长很重要。例如若与水分相比营养物质过多,则植物不会获取水分,成为肥料烧伤。因此,测定植物的水分动态也很重要。

[0012] 本发明鉴于上述情况,目的是以下(1)~(3)中的某一个或者多个。

[0013] (1) 提供能够直接测定植物的维管束汁液的pH的维管束汁液测量传感器。

[0014] (2) 提供能够直接测定植物的维管束汁液的电导率的维管束汁液测量传感器。

[0015] (3) 提供能够直接测定植物的维管束汁液的动态的维管束汁液测量传感器。

[0016] 用于解决课题的手段

[0017] 第一方式的维管束汁液测量传感器的特征在于,具备:指示电极探头,设有由离子

敏感场效应晶体管构成的指示电极；参照电极探头，设有固体参照电极，该固体参照电极包括由导电体形成的基层、形成于该基层的表面的氯化银层以及形成于该氯化银层的表面的氯化物层；以及支承部，对所述指示电极探头以及所述参照电极探头以相互平行排列的状态进行支承。

[0018] 第二方式的维管束汁液测量传感器的特征在于，在第一方式中，所述氯化物层通过将玻璃糊剂与氯化钾以1:0.05~0.25的重量比混合并固化而成。

[0019] 第三方式的维管束汁液测量传感器的特征在于，在第一或者第二方式中，具备设有温度传感器的温度探头，所述温度探头被支承于所述支承部。

[0020] 第四方式的维管束汁液测量传感器的特征在于，在第一方式中，具备电导率探头，该电导率探头设有由隔开规定的间隔地配置的一对电极构成的电导率电极对，所述电导率探头被支承于所述支承部。

[0021] 第五方式的维管束汁液测量传感器的特征在于，在第四方式中，所述电导率电极对的电导池常数是 $500\sim 2,000\text{m}^{-1}$ 。

[0022] 第六方式的维管束汁液测量传感器的特征在于，在第四或者第五方式中，所述一对电极各自自由覆盖形成于探头表面的凸部的金属层构成。

[0023] 第七方式的维管束汁液测量传感器的特征在于，在第四~第六方式的任一方式中，所述一对电极沿所述电导率探头的宽度方向排列而配置。

[0024] 第八方式的维管束汁液测量传感器的特征在于，在第四~第六方式的任一方式中，所述一对电极沿所述电导率探头的轴向排列而配置。

[0025] 第九方式的维管束汁液测量传感器的特征在于，在第四~第八方式的任一方式中，具备设有温度传感器的温度探头，所述温度探头被支承于所述支承部。

[0026] 第十方式的维管束汁液测量传感器的特征在于，在第四方式中，所述指示电极、所述固体参照电极以及所述电导率电极对在向植物刺入的刺入方向上配置于相同的位置。

[0027] 第十一方式的维管束汁液测量传感器的特征在于，在第四方式中，所述指示电极以及所述固体参照电极与所述电导率电极对在向植物刺入的刺入方向上配置于不同的位置，在将所述指示电极以及所述固体参照电极配置于所述植物的筛管的状态下，所述电导率电极对被配置于该植物的导管。

[0028] 第十二方式的维管束汁液测量传感器的特征在于，在第一或者第四方式中，具备：带加热器的温度探头，设有温度传感器与加热器；以及温度探头，设有温度传感器，所述带加热器的温度探头以及所述温度探头被支承于所述支承部。

[0029] 第十三方式的维管束汁液测量传感器的特征在于，在第十二方式中，具备两个所述温度探头，两个所述温度探头设于将所述带加热器的温度探头夹着的位置。

[0030] 发明效果

[0031] 根据第一方式，通过将指示电极探头以及参照电极探头刺入植物，能够测定植物的维管束汁液的pH。

[0032] 根据第二方式，通过将玻璃糊剂与氯化钾以1:0.05~0.25的重量比混合，可获得密合性良好、玻璃糊剂难以溶解的氯化物层。

[0033] 根据第三方式，通过基于由温度探头测定的维管束汁液的温度进行pH测定值的温度补偿，能够高精度地测定维管束汁液的pH。

- [0034] 根据第四方式,通过将电导率探头刺入植物,能够测定植物的维管束汁液的电导率。
- [0035] 根据第五方式,电导率电极对的电导池常数为 $500\sim 2,000\text{m}^{-1}$,因此能够高精度地测定维管束汁液的电导率。
- [0036] 根据第六方式,通过将电极设为立体形状,能够扩大电极表面积。由此,能够使电导率电极对成为能够插入植物的尺寸,并且减小电导池常数。
- [0037] 根据第七方式,一对电极沿电导率探头的宽度方向排列地配置,因此能够使将电导率探头刺入植物时的阻力相对较小。
- [0038] 根据第八方式,一对电极沿电导率探头的轴向排列地配置,因此在将电导率探头刺入植物时,成为一对电极的间隙沿着维管束的状态,维管束汁液容易通过。
- [0039] 根据第九方式,通过基于由温度探头测定的维管束汁液的温度进行电导率测定值的温度补偿,能够高精度地测定维管束汁液的电导率。
- [0040] 根据第十方式,指示电极、固体参照电极以及电导率电极对在向植物刺入的刺入方向上配置于相同的位置,因此能够同时测定植物的筛管汁液或者导管汁液的pH以及电导率。
- [0041] 根据第十一方式,由于指示电极以及固体参照电极配置于筛管,电导率电极对配置于导管,因此能够测定筛管汁液的pH并且测定导管汁液的电导率。
- [0042] 根据第十二方式,能够根据设于带加热器的温度探头以及温度探头的温度传感器的测定值求出维管束汁液的流量。
- [0043] 根据第十三方式,通过比较由两个温度探头测定出的温度,能够确定维管束汁液的流动的方向。

附图说明

- [0044] 图1是第一实施方式的维管束汁液测量传感器的俯视图。
- [0045] 图2是第一实施方式的维管束汁液测量传感器的侧视图。
- [0046] 图3是固体参照电极的纵剖面图。
- [0047] 图4是第一实施方式的维管束汁液测量传感器的使用状态说明图。
- [0048] 图5是表示pH测定原理的示意图。
- [0049] 图6是第二实施方式的维管束汁液测量传感器的俯视图。
- [0050] 图7是电导率电极对的立体图。
- [0051] 图8是其他方式的电导率电极对的立体图。
- [0052] 图9是第二实施方式的维管束汁液测量传感器的使用状态说明图。
- [0053] 图10是表示电导池常数K与电导率的测定范围的关系的图表。
- [0054] 图11是第三实施方式的维管束汁液测量传感器的俯视图。
- [0055] 图12是第四实施方式的维管束汁液测量传感器的俯视图。
- [0056] 图13的图(A)是表示试料1的输出电位的时间变化的图表。图(B)是表示试料2的输出电位的时间变化的图表。
- [0057] 图14是表示离子敏感场效应晶体管的栅极—源极间电压 V_{gs} 与漏极电流 I_d 的关系的图表。

[0058] 图15是表示氯化钾水溶液的浓度与电导率测定值的关系的图表。

[0059] 图16是表示气候室内的光量与通过传感器测定出的电导率的时间变化的图表。

具体实施方式

[0060] 接着,基于附图对本发明的实施方式进行说明。

[0061] (第一实施方式)

[0062] 本发明的第一实施方式的维管束汁液测量传感器1能够安装于植物的新枝末端、果柄等植物细部。维管束汁液测量传感器1具有测定植物细部中的维管束汁液的pH的功能。

[0063] (维管束汁液测量传感器)

[0064] 首先,对维管束汁液测量传感器1的构成进行说明。

[0065] 如图1所示,维管束汁液测量传感器1具备支承部10。在支承部10设有指示电极探头20、参照电极探头30以及温度探头40。指示电极探头20以及参照电极探头30成对地使用于维管束汁液的pH测定。温度探头40使用于维管束汁液的温度测定。维管束汁液的温度使用于pH测定值的温度补偿。因而,在无需温度补偿等情况下,也可以不在维管束汁液测量传感器1设置温度探头40。

[0066] 探头20、30、40在将它们在同一平面内平行排列的状态下,其基端支承于支承部10。探头20、30、40的排列顺不被特别限定。通过将探头20、30、40刺入植物,在植物上设置维管束汁液测量传感器1。

[0067] 支承部10以及探头20、30、40通过加工半导体基板而形成。作为半导体基板,可列举硅基板、SOI(绝缘硅,Silicon on Insulator)基板等。在半导体基板的加工中,除了光刻法、蚀刻之外,还可采用溅射法、蒸镀法等使用了薄膜形成的MEMS技术。

[0068] • 支承部

[0069] 支承部10是支承探头20、30、40的部件。支承部10是俯视时为长方形的板材,在一个长边部支承有所有探头20、30、40。支承部10只要长度方向的长度具有能够以规定的间隔配置所有探头20、30、40的长度即可。支承部10的短边方向的长度不被特别限定。

[0070] • 探头

[0071] 各探头20、30、40为棒状的部件,以悬臂梁状设于支承部10的缘(长边部)。各探头20、30、40的前端部优选的是形成为三角形等尖锐的形状。只要探头20、30、40的前端部为尖锐的形状,就能够减小将探头20、30、40插入植物细部时的插入阻力。由此,能够将探头20、30、40顺畅地刺入作为植物细部的茎等。另外,能够防止在将探头20、30、40刺入植物细部时探头20、30、40的前端部破损。

[0072] 各探头20、30、40形成为能够刺入植物的新枝末端、果柄等茎径或者轴径为几mm左右的植物细部而配置的尺寸。各探头20、30、40的长度(在轴向上从基端到前端的长度)形成为在刺入植物细部而设置的状态下可将其前端部配置于植物细部的导管或者筛管的尺寸。例如各探头20、30、40的长度为50~1,000 μm 。

[0073] 各探头20、30、40的宽度不被特别限定,例如为50~300 μm 。探头20、30、40的宽度越短,越能够减小对植物带来的损坏(损伤)。

[0074] 如图2所示,各探头20、30、40通过去除半导体基板SS的下部而形成成为比支承部10的厚度薄。各探头20、30、40的厚度设定为比成为测定对象的植物的筛管以及导管的宽度

短。各探头20、30、40的厚度取决于成为测定对象的植物的种类以及茎的粗细,例如为50~300 μm 。如果厚度为50 μm 以上,则强度充分,在将探头20、30、40插入植物的茎等或拔出时没有折断的隐患。另外,虽然也取决于植物的种类,但导管以及筛管的粗细为100~400 μm 左右,因此只要厚度为300 μm 以下,则即使将探头20、30、40刺入导管或者筛管,也能够抑制堵塞它们。

[0075] 具有这种形状的探头20、30、40例如按照以下的顺序形成。对半导体基板SS进行探头形状的光刻法,通过ICP-RIE等干式蚀刻去除不需要的部分而形成探头形状的原形。接着,从背面蚀刻半导体基板SS,以使探头20、30、40成为悬臂梁状。在该工序中,可使用ICP-RIE等干式蚀刻。从背面蚀刻半导体基板SS,并在探头20、30、40分离的阶段结束蚀刻。由此,能够形成悬臂梁状的探头20、30、40。

[0076] • 指示电极探头

[0077] 如图1所示,在指示电极探头20的前端部设有指示电极21。指示电极21由离子敏感场效应晶体管(ISFET)构成。离子敏感场效应晶体管没有通常的场效应晶体管(FET)的栅极氧化膜上的金属电极部,取而代之形成有电介质等离子感应膜。

[0078] 在支承部10的上表面配设有经由布线连接于指示电极21的三个电极焊盘21e。三个电极焊盘21e分别连接于离子敏感场效应晶体管的栅极电极、源极电极以及漏极电极。

[0079] 离子敏感场效应晶体管例如通过以下的顺序形成。在半导体基板上通过扩散工序等形成源极以及漏极的埋入层(n^+)。接着,通过溅射法、蒸镀法等形成与这些埋入层连接的金属电极。接着,在它们的上部,通过溅射法等形成 SiO_2 、 TaO_x 等介电膜所构成的离子感应膜(栅极氧化膜)。另外,电极焊盘21e以及布线例如通过用溅射法、蒸镀法等半导体基板上堆积A1薄膜而形成。

[0080] • 参照电极探头

[0081] 在参照电极探头30的前端部设有固体参照电极31。固体参照电极31具有图3所示的构成。即,固体参照电极31具有依次层叠有基层32、氯化银层33以及氯化物层34的构成。另外,基层32延长至支承部10,也构成了固体参照电极31的读出用的布线(参照图1)。

[0082] 基层32是由导体形成的薄膜,形成于构成参照电极探头30的半导体基板SS的表面。作为基层32的原材料,优选使用Au、Al等金属。基层32例如通过用溅射法、蒸镀法等半导体基板SS上堆积金属薄膜而形成。

[0083] 氯化银层33是 AgCl 薄膜,形成于基层32的表面。氯化银层33例如通过将氯化银墨涂敷于基层32的表面并使其干燥而形成。氯化银墨是将氯化银晶体的细颗粒分散在溶剂中而成的。

[0084] 氯化物层34形成于氯化银层33的表面。氯化物层34是利用固化材料固化氯化物而形成的层。作为氯化物,能够使用氯化钾、氯化钠等。固化材料只要是化学性稳定、pH为中性、在固化的状态下为多孔质体、且具有电绝缘性的材料即可。作为这种固化材料,可列举玻璃糊剂、陶瓷的多孔质材料、聚酰亚胺等高分子材料、由聚酰亚胺与二氧化硅构成的纳米复合物的多孔体材料等。

[0085] 在作为氯化物使用氯化钾、作为固化材料使用玻璃糊剂的情况下,氯化物层34通过将氯化钾粉末与玻璃糊剂混合并固化而形成。玻璃糊剂是玻璃粉末与载体的混合物。通过将氯化钾粉末与玻璃糊剂以规定的比例混合,将混合物涂敷于氯化银层33的表面,之后

进行烧制,从而形成氯化物层34。

[0086] 这里,优选的是将玻璃糊剂与氯化钾的重量比设为相对于玻璃糊剂为1而氯化钾为0.05~0.25。通过将玻璃糊剂与氯化钾以1:0.05~0.25的重量比混合,可获得密合性良好、玻璃糊剂难以溶解的氯化物层34。另外,更优选的是将玻璃糊剂与氯化钾的重量比设为相对于玻璃糊剂为1而氯化钾为0.05~0.10。这样,固体参照电极31的输出电位稳定。

[0087] • 温度探头

[0088] 如图1所示,在温度探头40的前端部设有温度传感器41。温度传感器41具有感知温度的功能,只要是能够配设在温度探头40的前端部的大小,就不被特别限定。作为温度传感器41,能够采用pn结二极管、热电偶、测温电阻体等。另外,在支承部10的上表面配设有经由布线连接于温度传感器41的两个电极焊盘41e。

[0089] pn结二极管能够使用氧化扩散炉形成在半导体基板上。具体而言,在半导体基板上形成扩散用孔(p型)之后,形成n扩散(n型)。接着,进行pn结二极管的接触形成与电极焊盘41e以及布线的形成。具体而言,通过用溅射法、蒸镀法等半导体基板上堆积Al薄膜,进行接触形成与电极焊盘41e以及布线的形成。另外,热电偶以及测温电阻体能够通过薄膜技术形成在半导体基板上。

[0090] 在作为温度传感器41采用了pn结二极管的情况下,按照以下的顺序进行温度测定。已知二极管的正向特性根据温度变化,若在二极管中流过一定的电流,则电压伴随着温度变化而变化。在两个电极焊盘41e,41e之间连接恒流源。利用恒流源向作为pn结二极管的温度传感器41正向供给恒定电流,利用电压计测定温度传感器41的阳极—阴极间的电压。可以根据利用电压计测定出的电压计算温度。

[0091] (测定方法)

[0092] 接着,对由维管束汁液测量传感器1进行的维管束汁液的pH的测定方法进行说明。

[0093] • 安装

[0094] 首先,在成为测定对象的植物的新枝末端、果柄等安装维管束汁液测量传感器1。具体而言,如图4所示,将维管束汁液测量传感器1的所有探头20、30、40刺入植物而安装。此时,沿植物的导管XY以及筛管PH配置探头20、30、40。

[0095] 若将探头20、30、40刺入植物,则探头20、30、40的前端部通过植物的皮层C0,达到筛管PH。进而,若较深地刺入,则探头20、30、40的前端部达到导管XY,接着达到髓PI。在测定筛管汁液的pH的情况下,将探头20、30、40的前端部配置于筛管PH。在测定导管汁液的pH的情况下,将探头20、30、40的前端部配置于导管XY。

[0096] • pH测定

[0097] 如图4所示,如果将指示电极探头20以及参照电极探头30的前端部配置于筛管PH,则指示电极21以及固体参照电极31与共同的筛管汁液接触。

[0098] 在图5中示意地示出pH测定原理。作为指示电极21的ISFET具有与MOSFET相似的构造。ISFET具有将MOSFET的栅极电极置换为离子感应膜的构造,经由溶液施加栅极偏压。硅(Si)的 n^+ 型— p^+ 型— n^+ 型间的电阻为 $7.0M\Omega$ 这样非常高,通常只流过微量的电流。若溶液接触栅极部分,则由于溶液内的氢离子(H^+),离子感应膜带正电。利用双电层,带电的离子感应膜将硅内部的电子(e^-)吸引到栅极附近,因此产生界面电位。界面电位根据溶液的离子浓度而变化。因此,如果将界面电位作为漏极电流—栅极电压特性(I_d-V_{gs} 特性)的 V_{th} 偏

移而检测,则能够测定离子浓度。

[0099] • 温度补偿

[0100] 已知由离子敏感场效应晶体管获得的pH的测定值取决于温度。这是因为,单位pH的电动势根据溶液的温度而变化。因此,优选的是对pH测定值进行温度补偿。如果将温度探头40的前端部配置于筛管PH,则温度传感器41与筛管汁液接触。因此,能够利用温度传感器41测定筛管汁液的温度。基于由温度探头40测定的筛管汁液的温度进行pH测定值的温度补偿。由此,能够高精度地测定筛管汁液的pH。

[0101] 如以上那样,能够通过维管束汁液测量传感器1测定筛管汁液的pH。筛管汁液中包含通过光合作用生成的蔗糖等营养物质。通过测定筛管汁液的pH,能够将筛管汁液所含的营养物质定量化。由此,能够掌握植物的健康状态。

[0102] 另外,如果将探头20、30、40的前端部配置于导管XY,则能够测定导管汁液的pH。由于筛管汁液中包含蔗糖等光合作用产物,因此与导管汁液相比,pH更高。具体而言,一般来说,相对于导管汁液的pH约为6,筛管汁液的pH约为7.5~8。基于由指示电极探头20以及参照电极探头30测定出的pH,能够判断探头20、30、40的前端部配置于筛管PH还是配置于导管XY。基于此,能够调整探头20、30、40的刺入量。

[0103] (第二实施方式)

[0104] 接着,对本发明的第二实施方式的维管束汁液测量传感器2进行说明。维管束汁液测量传感器2具有除了测定维管束汁液的pH之外还测定电导率的功能。

[0105] (维管束汁液测量传感器)

[0106] 如图6所示,本实施方式的维管束汁液测量传感器2在第一实施方式的维管束汁液测量传感器1中追加了电导率探头50。其余的构成与第一实施方式相同,因此对同一部件标注相同的附图标记而省略说明。

[0107] 电导率探头50使用于维管束汁液的电导率的测定。由温度探头40测定出的维管束汁液的温度使用于电导率测定值的温度补偿。因而,在无需温度补偿等情况下,也可以不在维管束汁液测量传感器2设置温度探头40。

[0108] • 电导率探头

[0109] 电导率探头50在与其他探头20、30、40一同在同一平面内平行排列的状态下,其基端支承于支承部10。探头20、30、40、50的排列顺序不被特别限定。另外,电导率探头50具有与其他探头20、30、40相同的形状、尺寸。

[0110] 在电导率探头50的前端部设有电导率电极对51。电导率电极对51由隔开规定的间隔地配置的一对电极52、52构成。电导率电极对51用于测定存在于电极52、52间的维管束汁液的电导率。电极52只要是能够配设在电导率探头50的前端部的大小,就不被特别限定。例如能够将A1薄膜用作电极52。

[0111] 在支承部10的上表面配设有经由布线连接于两个电极52的两个电极焊盘52e。电导率能够通过交流两电极法测定。即,在一对电极52、52所对应的一对电极焊盘52e,52e之间以串联的方式连接有交流电源与电流计。利用交流电源向电极52、52间供给电流,利用电流计测定流经电极52、52间的电流。基于欧姆定律,根据由电流计测定的电流,计算电极52、52间的电阻,根据电阻求出电导率。

[0112] 然而,一般来说,作为土壤的电导率,适合植物的培育的范围是0.1~1.5mS/cm。若

土壤的电导率为2.0~5.0mS/cm,则对植物产生障碍。另外,推测植物中的维管束汁液的电导率与土壤的电导率为相同程度或比其大。为了测定维管束汁液的电导率,优选的是电导率的测定范围包含0.1~14mS/cm。

[0113] 在交流两电极法中,电导率由式(1)表示。

[0114] [式1]

$$[0115] \quad \sigma = \frac{K}{R} \quad (1)$$

[0116] 这里, σ 是电导率[S/m], K 是电导池常数[m⁻¹], R 是电极间的电阻[Ω]。

[0117] 电导率 σ 是将电导池常数 K 除以作为测定值的电阻 R 而求出的。因此,交流两电极法的电导率的测定范围取决于电极对的电导池常数 K 。

[0118] 在图10的图表中示出电导池常数 K 与电导率的测定范围的一般关系。根据图10的图表可知,即使电导池常数 K 为10,000m⁻¹,理论上也可以测定维管束汁液的电导率。但是,电导池常数 K 越大,由于极化的影响,误差越大。反过来说,越是减小电导池常数 K ,越能够高精度地测定电导率。为了高精度地测定维管束汁液的电导率,优选的是将电导率电极对51的电导池常数 K 设为500~2,000m⁻¹,更优选的是设为500~1,000m⁻¹。

[0119] 电导池常数 K 如式(2)所示,通过将电极间距离 L 除以电极表面积 S 而求出。

[0120] [式2]

$$[0121] \quad K = \frac{L}{S} \quad (2)$$

[0122] 为了将电导池常数 K 设为500~2,000m⁻¹这样的相对较小的值,需要增大电极表面积 S 。但是,将设于面积较小的电导率探头50的前端部的电极52保持平面电极地增大表面积存在界限。

[0123] 因此,如图7所示,优选的是将电极52设为立体形状。即,将一对电极52、52各自设为由覆盖形成于探头表面50S的凸部53的金属层构成的结构即可。如果将形成于探头表面50S的凸部53设为立方体,则能够由除了底面的5个面构成电极52,相应地能够增大表面积。如此,通过将电极52设为立体形状,能够扩大电极表面积。由此,能够使电导率电极对51成为能够插入植物的尺寸,并且减小电导池常数 K 。

[0124] 这种立体形状的电极52例如能够按照以下的顺序形成。在半导体基板上形成保护电极部分的掩模图案,通过干式蚀刻形成成为立体电极的基础的凸部53。接着,在凸部53的表面形成氧化膜。接着,利用金属薄膜使覆盖凸部53的表面的金属层与布线以及电极焊盘52e图案化。

[0125] 另外,在图7所示的例子中,一对电极52、52沿电导率探头50的宽度方向排列地配置。如此,能够使将电导率探头50刺入植物时的阻力相对较小。取代于此,如图8所示,也可以将一对电极52、52沿电导率探头50的轴向排列地配置。如此,电极52、52的间隙沿电导率探头50的宽度方向配置。因此,在将电导率探头50刺入植物时,成为电极52、52的间隙沿着维管束的状态,维管束汁液容易通过。

[0126] (测定方法)

[0127] 接着,对由维管束汁液测量传感器2进行的维管束汁液的电导率的测定方法进行

说明。

[0128] 如图9所示,关于维管束汁液测量传感器2,将所有探头20、30、40、50刺入植物而安装。在测定筛管汁液的电导率的情况下,将探头20、30、40、50的前端部配置于筛管PH。在测定导管汁液的电导率的情况下,将探头20、30、40、50的前端部配置于导管XY。

[0129] 如图9所示,如果将电导率探头50的前端部配置于导管XY,则电导率电极对51将会与导管汁液接触。因此,能够利用电导率电极对51测定导管汁液的电导率。

[0130] 由电导率电极对51获得的电导率测定值取决于温度。一般来说,电导率测定值每1℃变化1~3%。因此,优选的是对电导率测定值进行温度补偿。如果将温度探头40的前端部配置于导管XY,则温度传感器41与导管汁液接触。因此,能够利用温度传感器41测定导管汁液的温度。基于由温度探头40测定的导管汁液的温度进行电导率测定值的温度补偿。由此,能够高精度地测定导管汁液的电导率。

[0131] 电导率测定值的温度补偿例如按以下的顺序进行。即,基于式(3),将电导率测定值转换为基准温度25℃下的电导率 σ_{25} [S/m]。这里, α 是温度系数, T 是测定对象液的温度[℃], σ 是电导率测定值[S/m]。

[0132] [式3]

$$[0133] \quad \sigma_{25} = \alpha |25 - T| \sigma \quad (3)$$

[0134] 温度系数 α 根据式(4)求出。这里, T_1 是25℃以及 T_2 以外的温度[℃], T_2 是25℃以及 T_1 以外的温度[℃], σ_1 是 T_1 下的电导率测定值[S/m], σ_2 是 T_2 下的电导率测定值[S/m]。

[0135] [式4]

$$[0136] \quad \alpha = \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)}{[\sigma_2(T_1 - 25) - \sigma_1(T_2 - 25)]} \quad (4)$$

[0137] 如以上那样,能够利用维管束汁液测量传感器2测定导管汁液的电导率。散布在土壤中的肥料被微生物分解为硝酸态氮等盐分。另外,盐分浓度与电导率具有正的相关性。因此,通过测定导管汁液的电导率,能够将获取到植物中的营养物质量化。

[0138] 另外,如果将电导率探头50的前端部配置于筛管pH,则能够测定筛管汁液的电导率。导管汁液中包含硝酸态氮等盐分,因此具有与其他部分(皮层CO、筛管PH、髓PI等)所含的水分相比、电导率更高的性质。利用这一点,能够判断探头50的前端部配置于筛管PH还是配置于导管XY。基于此,能够调整探头20、30、40、50的刺入量。

[0139] 本实施方式的维管束汁液测量传感器2的所有探头20、30、40、50的长度大致相同。而且,设于这些探头20、30、40、50的前端部的指示电极21、固体参照电极31、温度传感器41以及电导率电极对51在向成为测定对象的植物刺入的刺入方向(各探头20、30、40、50的轴向)上配置于大致相同的位置。因此,既能够将这些元件21、31、41、51同时配置于筛管PH,也能够同时配置于导管XY。

[0140] 由于元件21、31、41、51在向植物刺入的刺入方向上配置于相同位置,因此能够同时测定植物的筛管汁液或者导管汁液的pH以及电导率。认为维管束汁液的pH以及电导率分别具有适合植物培育的范围。若维管束汁液的pH脱离适当的范围,则植物容易患病。另外,若维管束汁液的电导率脱离适当的范围,则对植物的生长产生不良影响。通过同时测定维管束汁液的pH与电导率,能够定量地监视植物的健康状态。

[0141] 用温度探头40测定出的维管束汁液的温度既可用于电导率测定值的温度补偿,也

可用于pH测定值的温度补偿。

[0142] 另外,也可以将维管束汁液测量传感器2设为仅具有电导率探头50、或者仅具有电导率探头50以及温度探头40的构成,而不设置指示电极探头20以及参照电极探头30。即使是这种构成的维管束汁液测量传感器2,也能够测定维管束汁液的电导率。

[0143] (第三实施方式)

[0144] 接着,对本发明的第三实施方式的维管束汁液测量传感器3进行说明。

[0145] 如图11所示,本实施方式的维管束汁液测量传感器3是对于第二实施方式的维管束汁液测量传感器2,使电导率探头50比指示电极探头20以及参照电极探头30长。

[0146] 具体而言,电导率探头50的长度设定为比指示电极探头20以及参照电极探头30的长度长出成为测定对象的植物的筛管PH的中心与导管XY的中心的距离的量。该长度之差取决于成为测定对象的植物的种类以及茎的粗细,例如为50~300 μm 。

[0147] 在探头20、30、50的前端部分别配设有指示电极21、固体参照电极31、电导率电极对51。因此,指示电极21以及固体参照电极31与电导率电极对51在向植物刺入的刺入方向上配置于不同的位置。而且,电导率电极对51配置为,与指示电极21以及固体参照电极31相比,到达植物的更深的位置。

[0148] 如果将探头20、30、50刺入植物,成为将电导率电极对51配置于导管XY的状态,则指示电极21以及固体参照电极31配置于筛管PH。换言之,电导率电极对51与指示电极21以及固体参照电极31之间的距离设定为,在将电导率电极对51配置于导管XY的状态下,指示电极21以及固体参照电极31配置于筛管PH。

[0149] 维管束汁液测量传感器3由于具有这种构成,因此能够测定筛管汁液的pH并且测定导管汁液的电导率。

[0150] (第四实施方式)

[0151] 接着,对本发明的第四实施方式的维管束汁液测量传感器4进行说明。维管束汁液测量传感器4具有除了维管束汁液的pH、电导率之外还测定水分动态的功能。

[0152] (维管束汁液测量传感器)

[0153] 如图12所示,本实施方式的维管束汁液测量传感器4是对于第二实施方式的维管束汁液测量传感器2,将温度探头40设为第一温度探头40A与第二温度探头40B这两个、并追加了带加热器的温度探头60。其余的构成与第二实施方式相同,因此对同一部件标注相同的附图标记而省略说明。

[0154] 第一、第二温度探头40A、40B与带加热器的温度探头60成组地使用于维管束汁液的动态的测定。由第一温度探头40A或者第二温度探头40B测定出的维管束汁液的温度也使用于pH测定值以及电导率测定值的温度补偿。

[0155] 第一、第二温度探头40A、40B以及带加热器的温度探头60在与其他探头20、30、50一同在同一平面内平行排列的状态下,其基端支承于支承部10。第一、第二温度探头40A、40B设于隔着带加热器的温度探头60的位置。另外,第一、第二温度探头40A、40B以及带加热器的温度探头60具有与其他探头20、30、50相同的形状、尺寸。

[0156] • 温度探头

[0157] 第一、第二温度探头40A、40B分别具有与第一实施方式的温度探头40相同的构成。即,第一、第二温度探头40A、40B分别在前端部设有温度传感器41。能够利用温度传感器41

测定维管束汁液的温度。

[0158] • 带加热器的温度探头

[0159] 在带加热器的温度探头60的前端部设有温度传感器61。作为温度传感器61,能够采用与温度探头40的温度传感器41相同的温度传感器。在支承部10的上表面配设有经由布线连接于温度传感器61的两个电极焊盘61e。能够通过于温度探头40的温度传感器41相同的方法,利用温度传感器61测定温度。

[0160] 另外,在带加热器的温度探头60设有加热器62。加热器62只要能够向带加热器的温度探头60供给热量即可,其位置并不限定于前端部。加热器62只要是能够配设在带加热器的温度探头60的大小,就不被特别限定。例如能够将使用氧化扩散炉形成的pn结二极管用作加热器62。另外,也可以通过溅射法、蒸镀法等形成Pt(铂)、NiCr(镍铬合金)、或者ITO(铟锡氧化材料)的薄膜,加工成规定的形状,从而形成加热器62。

[0161] 在支承部10的上表面配设有经由布线连接于加热器62的两个电极焊盘62e。在两个电极焊盘62e、62e之间连接直流恒压源。利用直流恒压源向作为pn结二极管的加热器62正向供给恒定电压。通过在加热器62中流过电流,能够产生热量。

[0162] (测定方法)

[0163] 接着,对由维管束汁液测量传感器4进行的维管束汁液的动态的测定方法进行说明。

[0164] 如图12所示,关于维管束汁液测量传感器4,将所有探头20、30、40A、40B、50、60刺入植物而安装。在测定筛管汁液的动态的情况下,将第一、第二温度探头40A、40B以及带加热器的温度探头60的前端部配置于筛管PH。在测定导管汁液的动态的情况下,将第一、第二温度探头40A、40B以及带加热器的温度探头60的前端部配置于导管XY。

[0165] 以下,以测定筛管汁液的动态的情况为例进行说明。

[0166] 首先,使设于带加热器的温度探头60的加热器62工作。如果使加热器62工作,则从加热器62供给的热能供给到带加热器的温度探头60。供给到带加热器的温度探头60的热能从带加热器的温度探头60的表面释放到流经筛管PH内的筛管汁液。

[0167] 通过温度传感器41、41、61测定此时的第一、第二温度探头40A、40B以及带加热器的温度探头60的温度。然后,比较第一温度探头40A与第二温度探头40B的温度,确定筛管流的方向。

[0168] 第一、第二温度探头40A、40B设于隔着带加热器的温度探头60的位置。在筛管汁液从植物的末端朝向根部流动的情况下,位于根部侧的第二温度探头40B被由带加热器的温度探头60升温的筛管汁液加热,与末端侧的第一温度探头40A相比,温度变高。

[0169] 相反,在筛管汁液从植物的根部朝向末端流动的情况下,位于末端侧的第一温度探头40A被由带加热器的温度探头60升温的筛管汁液加热,与根部侧的第二温度探头40B相比,温度变高。

[0170] 即,能够确定筛管流的方向是从温度较低的温度探头40A或者40B朝向温度较高的温度探头40B或者40A的方向。

[0171] 一般来说,导管流是从植物的根部朝向末端的方向,但是不能从植物的外形上掌握筛管流的方向。但是,根据维管束汁液测量传感器4,能够确定筛管流的方向。

[0172] 接着,根据由第一、第二温度探头40A、40B以及带加热器的温度探头60测定的温

度,基于Granier法测定筛管汁液的流量。这里,基于第一、第二温度探头40A、40B中的温度较低的温度探头40A或者40B与带加热器的温度探头60的温度差来计算。温度较低的温度探头40A或者40B配置于比带加热器的温度探头60靠筛管流的上游侧。

[0173] 例如在筛管汁液的流量多(流速快)的情况下,带加热器的温度探头60的附近的筛管汁液成为始终被置换为新的筛管汁液的状态。因此,如果使向带加热器的温度探头60供给的热能一定,则带加热器的温度探头60的温度变低。另一方面,在筛管汁液的流量较少(流速慢)的情况下,带加热器的温度探头60的附近的筛管汁液成为滞留的状态。因此,如果使向带加热器的温度探头60供给的热能一定,则带加热器的温度探头60的温度变高。

[0174] 因而,能够根据温度探头40A或者40B与带加热器的温度探头60之间的温度差 ΔT 求出筛管汁液的流速。具体而言,如式(5)所示,温度差 ΔT 成为流速 u 的函数。基于该函数,能够根据温度差 ΔT 计算流速 u 。

[0175] [式5]

$$[0176] \quad u = \frac{1}{\alpha} \left\{ \frac{\Delta T(0) - \Delta T(u)}{\Delta T(u)} \right\}^{\frac{1}{\beta}} \quad (5)$$

[0177] 这里, u 是平均流速[m/s], $\Delta T(u)$ 是平均流速为 u 时的温度探头40与带加热器的温度探头60的温度差[°C], $\Delta T(0)$ 是 ΔT 的最大温度[°C], α 与 β 是根据观测数据获得的系数。

[0178] 另外,基于式(6),能够根据流速 u 计算流量 F 。

[0179] [式6]

$$[0180] \quad F = u \times S \quad (6)$$

[0181] 这里, F 是流量[m³/s], S 是导管或者筛管的截面面积[m²]。

[0182] 另外,如果将第一、第二温度探头40A、40B以及带加热器的温度探头60的前端部配置于植物的导管XY,则能够与导管流的方向一同求出导管汁液的流速以及流量。另外,维管束汁液测量传感器4也可以通过热脉冲法测定维管束汁液的流量。

[0183] 本实施方式的维管束汁液测量传感器4能够与维管束汁液的流量一同测定维管束汁液的pH以及电导率。即,能够同时测定植物的水分动态与营养物质动态。在植物的培育中,水分与营养物质的平衡很重要。例如若相对于水分营养物质过多,则会产生养分过度所引起的肥料烧伤。通过同时测定植物的水分动态与营养物质动态,能够保持水分与营养物质的平衡。

[0184] 通过由半导体基板形成维管束汁液测量传感器4,能够使维管束汁液测量传感器4小型化,能够使探头20、30、40A、40B、50、60细微化。因此,即使将维管束汁液测量传感器4设置于植物,也能够减小给植物造成的损坏(损伤),能够长时间设置。能够长时间监视植物的水分动态、营养物质动态,能够配合于植物的生长状态在适当的时期进行灌水与养分补给。其结果,可实现作物、果树等的收获量的增大。同时,由于包含病害的生长不良减少,能够实现果树栽培的高品质(果实糖度高)、稳定生产(品质齐全)等高附加价值的栽培。

[0185] 另外,也可以将设于维管束汁液测量传感器4的温度探头40设为一个。即使这种构成,也能够测定维管束汁液的流量。另外,也可以不在维管束汁液测量传感器4设置电导率探头50。即,也可以将维管束汁液测量传感器4设为pH测定用的指示电极探头20以及参比电极探头30与水分动态测定用的第一、第二温度探头40A、40B以及带加热器的温度探头60的

组合。也可以不在维管束汁液测量传感器4设置指示电极探头20以及参照电极探头30。即，也可以将维管束汁液测量传感器4设为电导率测定用的电导率探头50与水分动态测定用的第一、第二温度探头40A、40B以及带加热器的温度探头60的组合。

[0186] 实施例

[0187] (pH测定)

[0188] • 固体参照电极的表面形状评价

[0189] 在玻璃片上形成固体参照电极。这里，将固体参照电极设为基层、氯化银层、氯化物层的层叠构造。在玻璃片上形成金薄膜而作为基层。在基层的表面涂敷氯化银墨并使其干燥而作为氯化银层。将氯化钾粉末与玻璃糊剂混合，将混合物涂敷于氯化银层的表面之后进行烧制(500℃,60分)，从而形成氯化物层。

[0190] 将玻璃糊剂与氯化钾的重量比设为1:1、0.75、0.50、0.25的4种模式，以各模式制作出试料。然后，观察各试料的表面形状。

[0191] 在将玻璃糊剂与氯化钾的重量比设为1:1的情况下以及1:0.75的情况下，观察到氯化物层的剥离、裂纹。在将玻璃糊剂与氯化钾的重量比设为1:0.50的情况下以及1:0.25的情况下，未看到外观上的不良。

[0192] 根据以上，确认了氯化钾相对于玻璃糊剂的比率越小，氯化物层的密合性越高。具体而言，如果相对于玻璃糊剂1设为氯化钾0.50以下，则可获得足够的密合性。

[0193] • 固体参照电极的材料稳定性评价

[0194] 对于上述获得的各试料评价材料稳定性。将固体参照电极与金属电极在纯水浸渍18小时之后，利用SEM以及显微镜进行外观观察并评价。

[0195] 其结果，在将玻璃糊剂与氯化钾的重量比设为1:1、0.75、0.50的情况下，观察到玻璃糊剂的溶解。在将玻璃糊剂与氯化钾的重量比设为1:0.25的情况下，未观察到玻璃糊剂的溶解。由此，确认了如果相对于玻璃糊剂1设为氯化钾0.25以下，则能够抑制玻璃糊剂的溶解。

[0196] 根据以上，确认了如果相对于玻璃糊剂1设为氯化钾0.25以下，则可获得密合性良好、玻璃糊剂难以溶解的氯化物层。

[0197] • 固体参照电极的输出电位评价

[0198] 接着，在硅基板上形成固体参照电极。固体参照电极以与上述相同的顺序形成。将玻璃糊剂与氯化钾的重量比设为1:0.25、0.10这两种模式，以各模式制作出试料。以将玻璃糊剂与氯化钾的重量比设为1:0.25的试料作为试料1，以将玻璃糊剂与氯化钾的重量比设为1:0.10的试料作为试料2。

[0199] 对于试料1、2评价输出电位。评价通过将固体参照电极与金属电极浸入纯水并将电极间的电位测定24小时来进行。将试料1的输出电位的时间变化表示在图13的(A)中。将试料2的输出电位的时间变化表示在图13的(B)中。

[0200] 若比较试料1与试料2，则相对于试料1可被观察到输出电位的漂移，试料2几乎看不到输出电位的漂移。由此，确认了如果相对于玻璃糊剂1设为氯化钾0.10以下，则固体参照电极的输出电位稳定。

[0201] • pH测定评价

[0202] 加工硅基板而制作出具有指示电极探头与参照电极探头的维管束汁液测量传感

器。在指示电极探头的前端部,作为指示电极设有离子敏感场效应晶体管。另外,在参照电极探头的前端部设有固体参照电极。固体参照电极以与上述相同的顺序形成。这里,将玻璃糊剂与氯化钾的重量比设为1:0.10。将该维管束汁液测量传感器设为实施例1。

[0203] 将实施例1的指示电极与固体参照电极浸入pH标准液(pH:4.01、6.86、9.18),在暗室中进行pH测定。图14中示出离子敏感场效应晶体管的栅极—源极间电压 V_{gs} 与漏极电流 I_d 的关系。

[0204] 根据图14可知, I_d-V_{gs} 特性依赖于pH而变化。由此,可确认能够通过实施例1的指示电极与固体参照电极测定pH。另外,在将传感器灵敏度作为1单位pH的 V_{gs} 的变化而求出时,为29mV/pH。

[0205] (电导率测定)

[0206] 加工硅基板而制作出具有电导率探头的维管束汁液测量传感器。在电导率探头的前端部设有电导率电极对。将作为电导率电极对由一对平面电极构成的电极作为实施例2。平面电极的大小为横55 μm ,纵100 μm 。将作为电导率电极对由一对立体电极构成的电极作为实施例3。立体电极立方体,其大小为横55 μm ,纵100 μm ,高50 μm 。

[0207] • 电导池常数

[0208] 分别对实施例2、3测定电导率电极对的电导池常数。测定中使用了被调整为电导率1.41mS/cm的KCl标准液。将电导率探头浸渍于KCl标准液,根据电极间的电流以及电压的测定值求出标准液的电阻值。另外,将1.41mS/cm代入所述式(1)的 σ ,将求出的电阻值代入R而求出电导池常数K。根据10次测定的平均值确定电导池常数。

[0209] 具有平面电极的实施例2的电导率电极对的电导池常数为4,659 m^{-1} 。具有立体电极的实施例3的电导率电极对的电导池常数为1,258 m^{-1} 。由此确认了通过使电极成为立体形状,能够减小电导率电极对的电导池常数。

[0210] • 电导率测定

[0211] 使用实施例3测定氯化钾溶液的电导率。在测定中使用了浓度按每0.01mol/L不同的氯化钾溶液。测定出各浓度的氯化钾溶液的电导率。另外,使用市售的传感器(HORIBA公司制LAQUAtwin B-771),同样测定出氯化钾溶液的电导率。

[0212] 图15中示出氯化钾水溶液的浓度与电导率测定值的关系。在实施例3中获得的电导率的测定值与通过市售的传感器获得的测定值非常一致。至少在电导率为0~12mS/cm的范围内,实施例3与市售传感器之间几乎没有测定值的差异。由此可确认实施例3至少在0~12mS/cm的范围内能够高精度地测定电导率。

[0213] (使用了植物的试验)

[0214] 加工硅基板而制作出具有电导率探头以及温度探头的维管束汁液测量传感器。首先,按与上述相同的顺序使用KCl标准液测定电导率电极对的电导池常数。接着,将电导率探头以及温度探头刺入在花盆生长的黄瓜的茎而安装传感器。将黄瓜连同花盆放入气候室,设定为温度25 $^{\circ}\text{C}$ 、湿度70%、二氧化碳浓度500ppm。根据实际时间改变气候室内的光量。与此同时,利用传感器进行电导率的测定。

[0215] 图16中示出气候室内的光量与由传感器测定出的电导率的时间变化。根据图16的图表可知,若光量增加,则电导率变高,若光量减少,则电导率降低。伴随着光量的增加,植物从土壤吸收的硝态氮的量变多。认为通过传感器测定出的电导率根据植物的硝态氮吸收

量而变化。

[0216] 另外,利用市售的传感器测定了从花盆出来的水的电导率时,为1.78mS/cm。由本传感器测定出的电导率的最大值是1.75mS/cm,为与土壤的电导率大致相同的值。根据以上,确认了可通过本传感器测定植物的营养物质动态。

[0217] 附图标记说明

[0218] 1、2、3、4 维管束汁液测量传感器

[0219] 10 支承部

[0220] 20 指示电极探头

[0221] 21 指示电极

[0222] 30 参照电极探头

[0223] 31 固体参照电极

[0224] 32 基层

[0225] 33 氯化银层

[0226] 34 氯化物层

[0227] 40 温度探头

[0228] 41 温度传感器

[0229] 50 电导率探头

[0230] 51 电导率电极对

[0231] 52 电极

[0232] 60 带加热器的温度探头

[0233] 61 温度传感器

[0234] 62 加热器

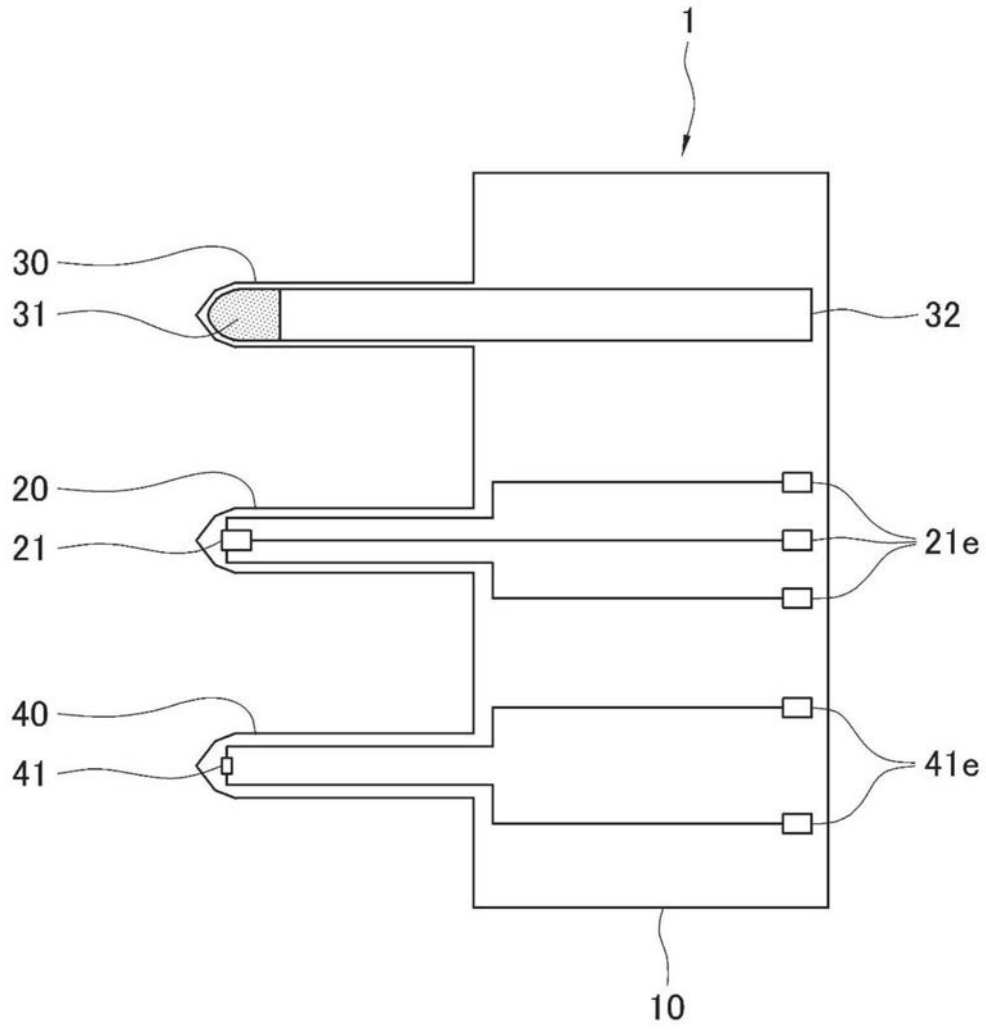


图1

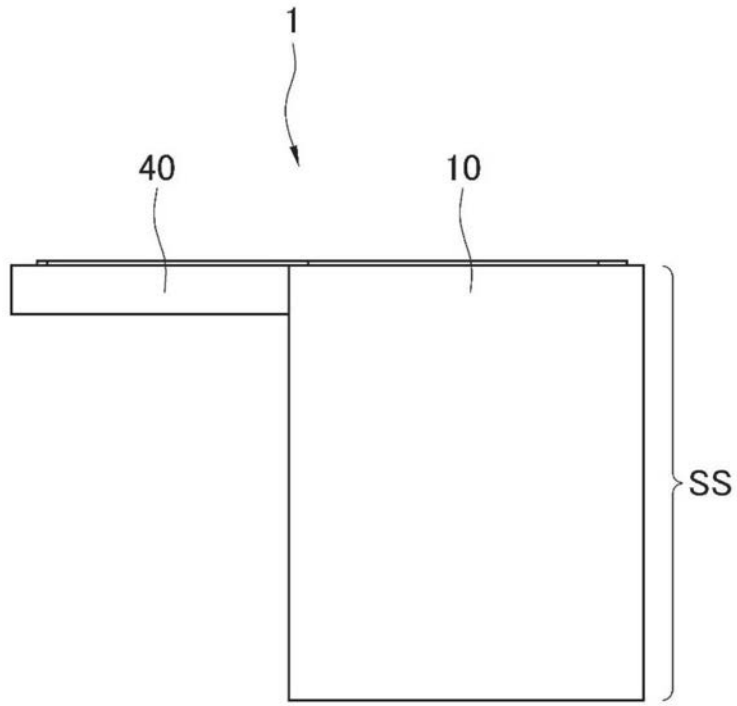


图2

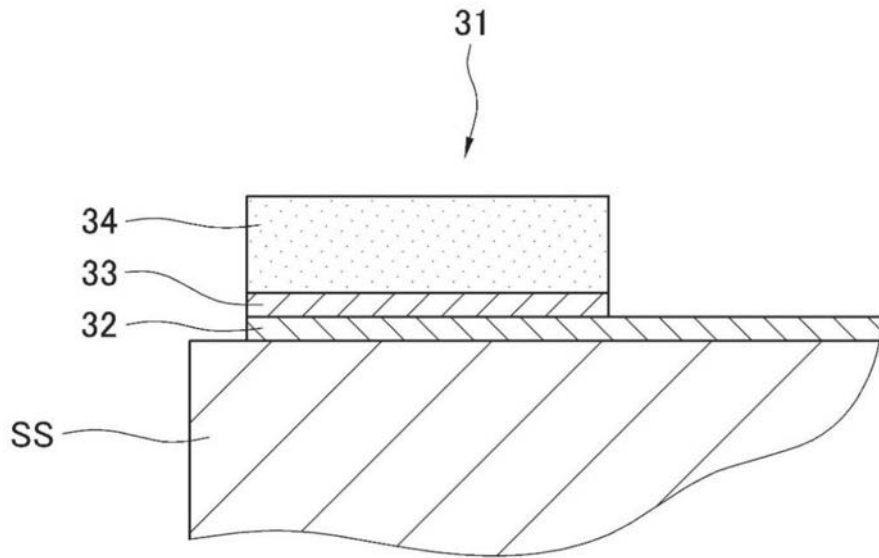


图3

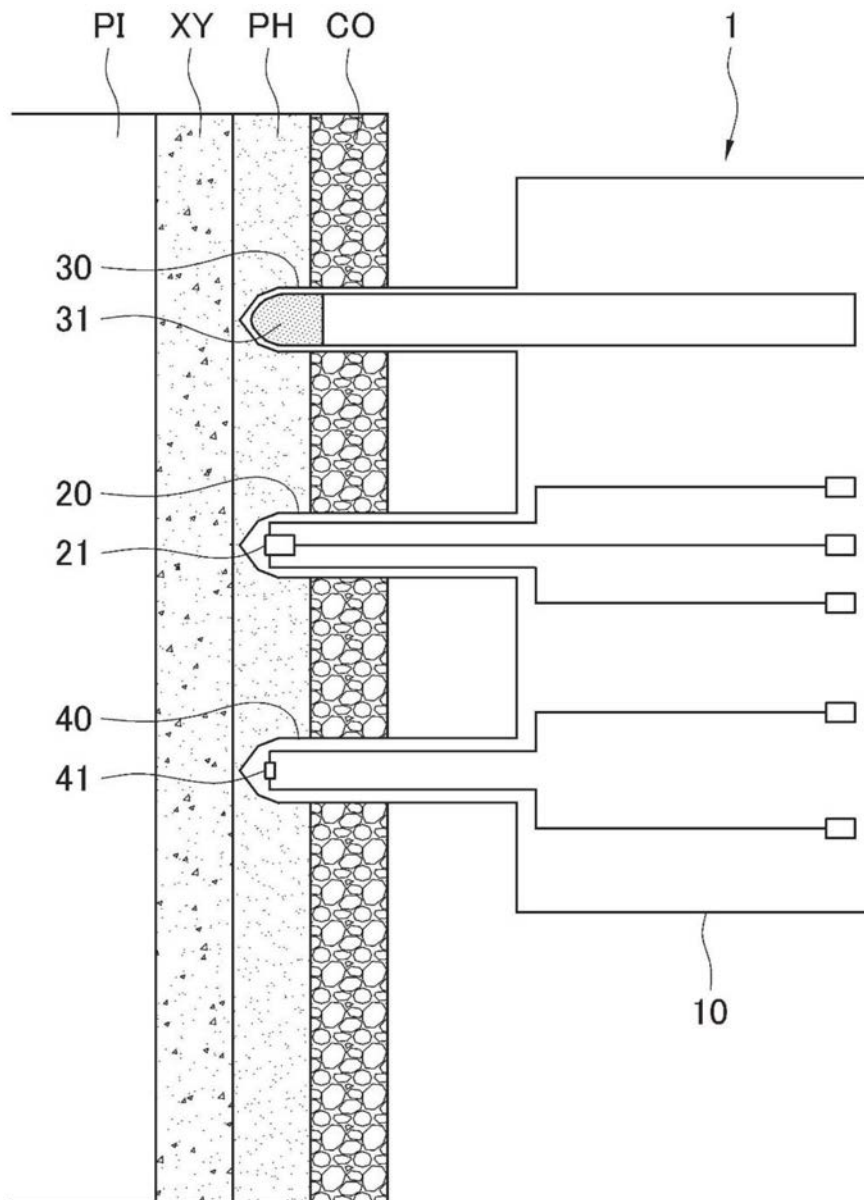


图4

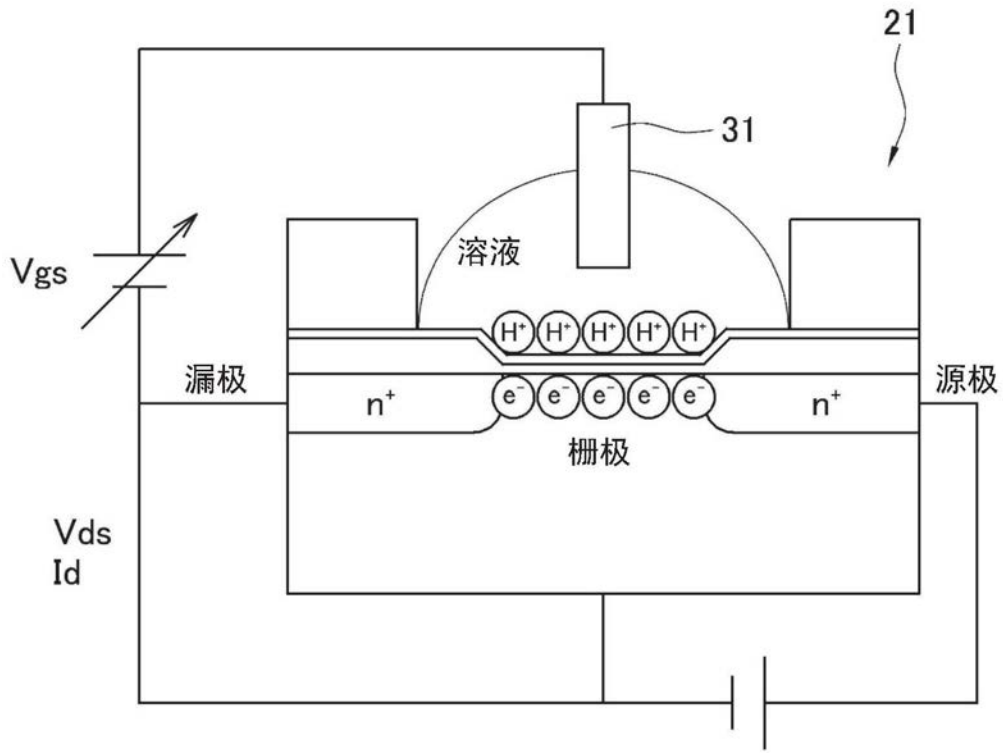


图5

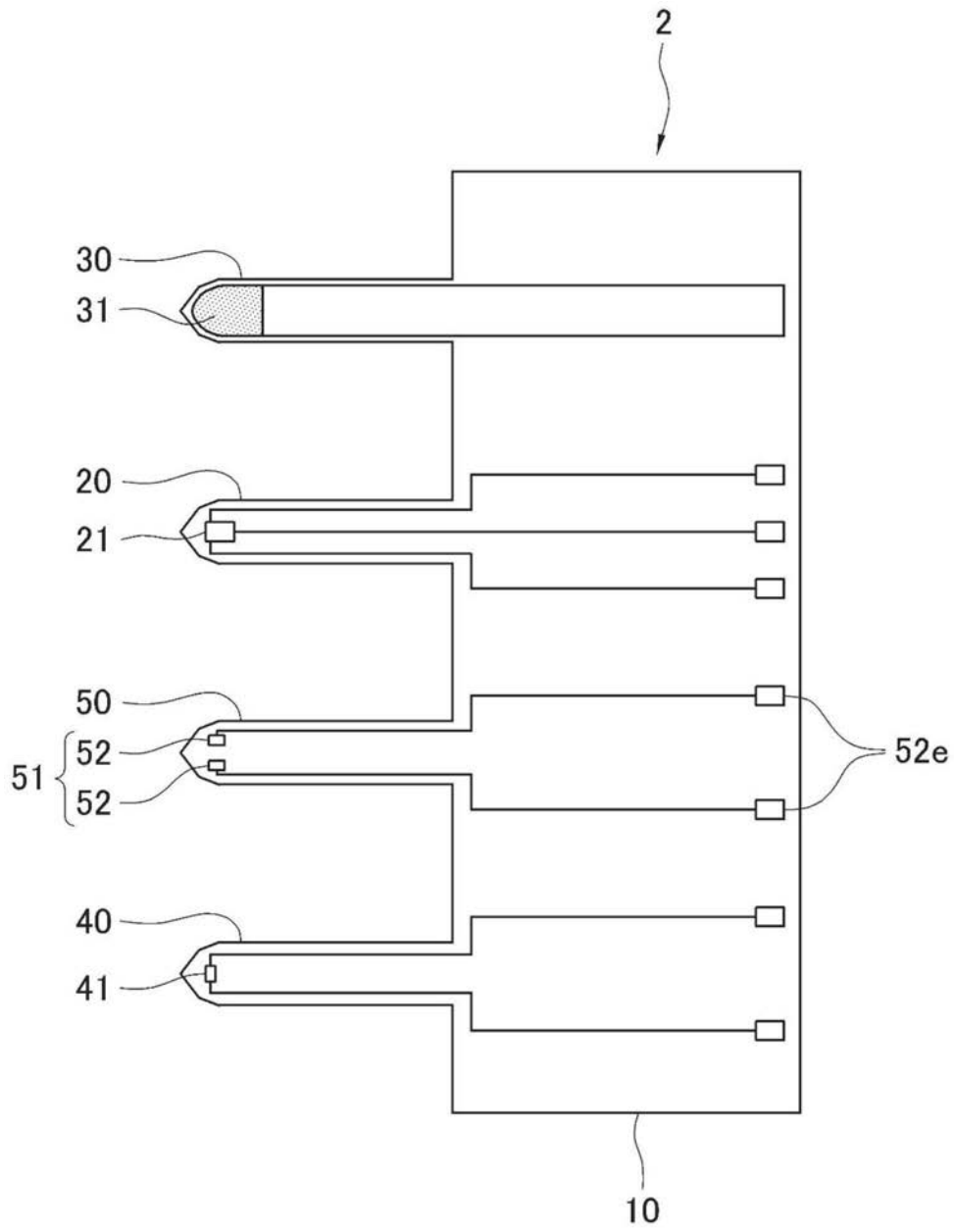


图6

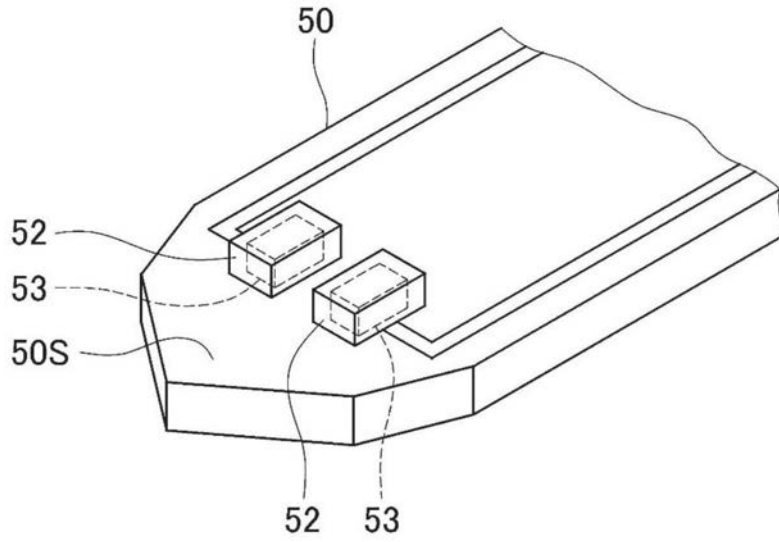


图7

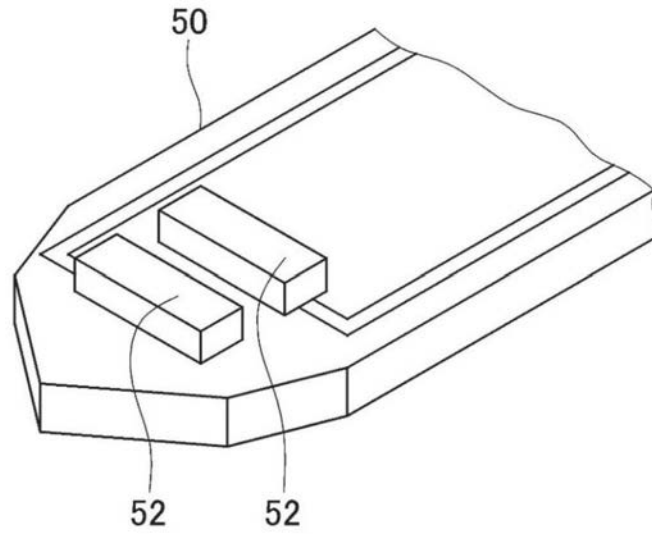


图8

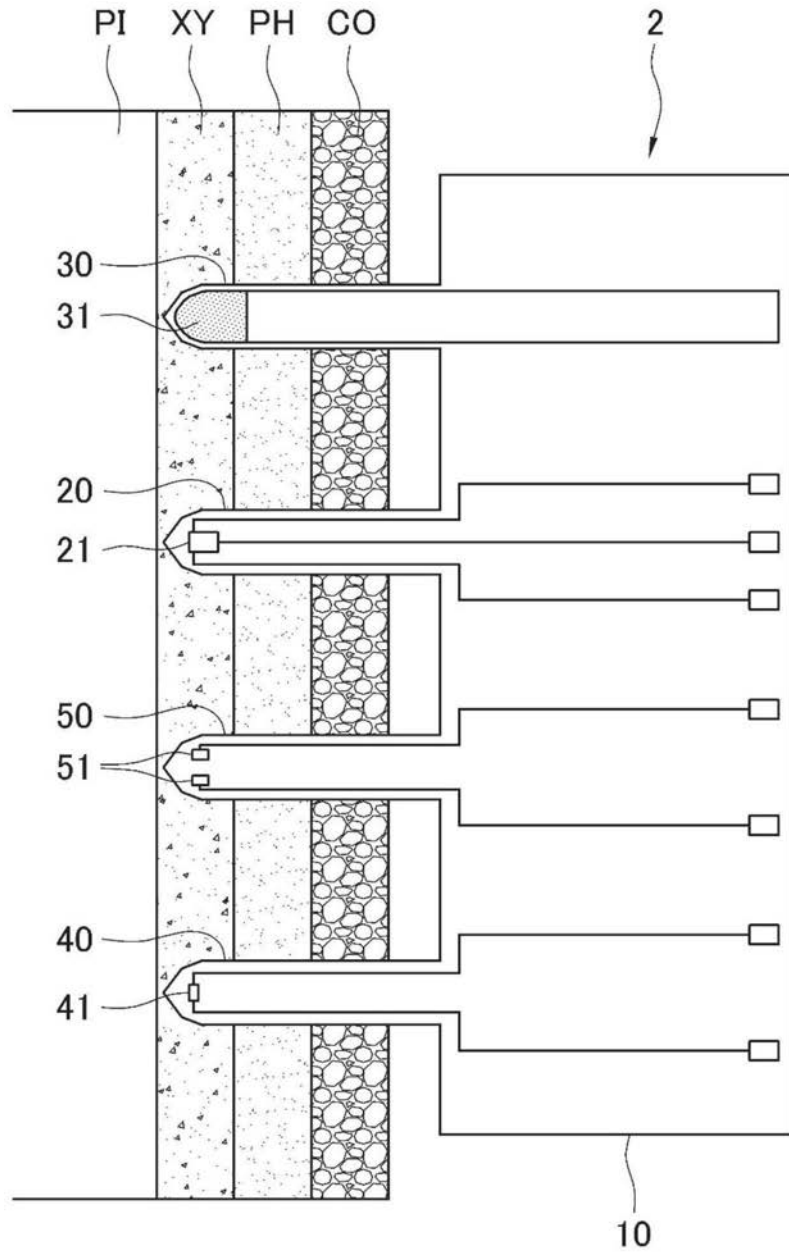


图9

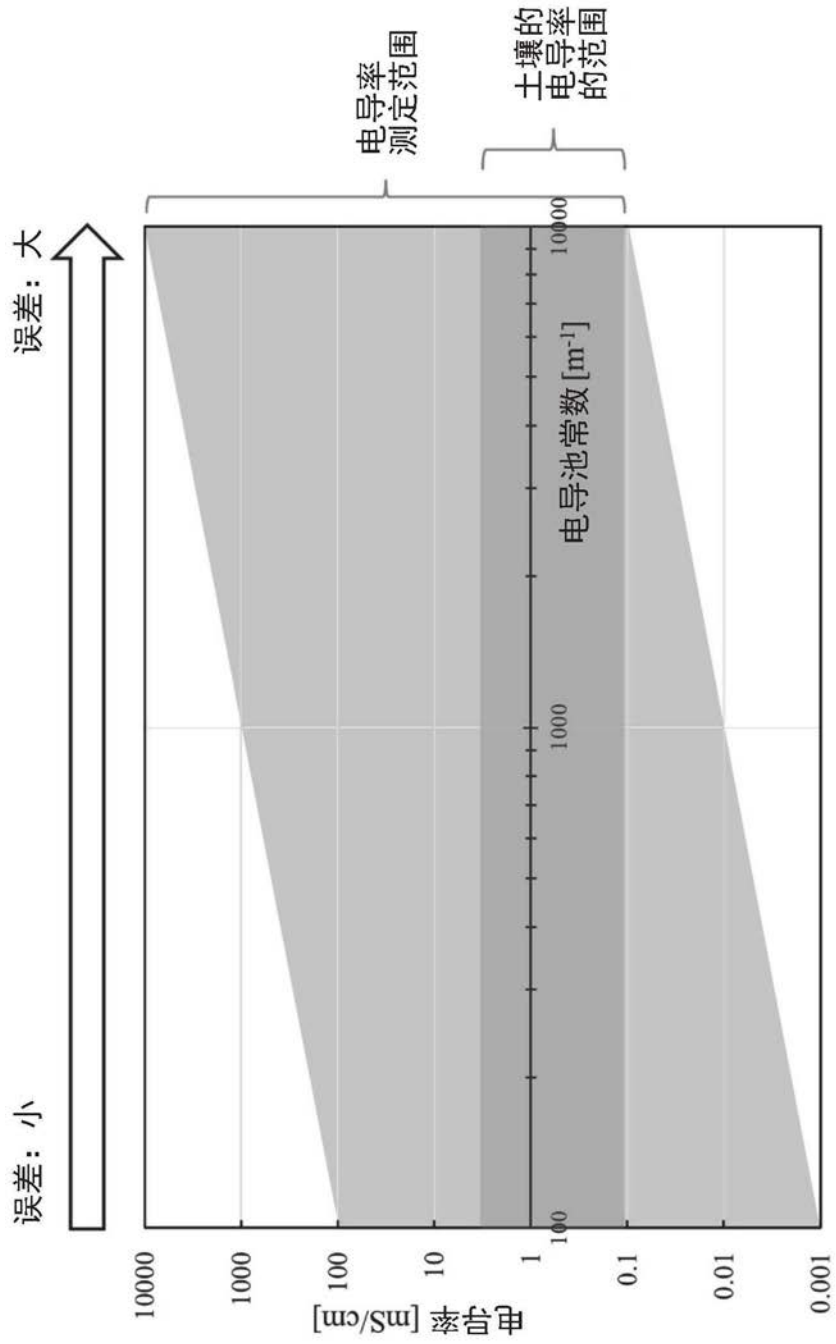


图10

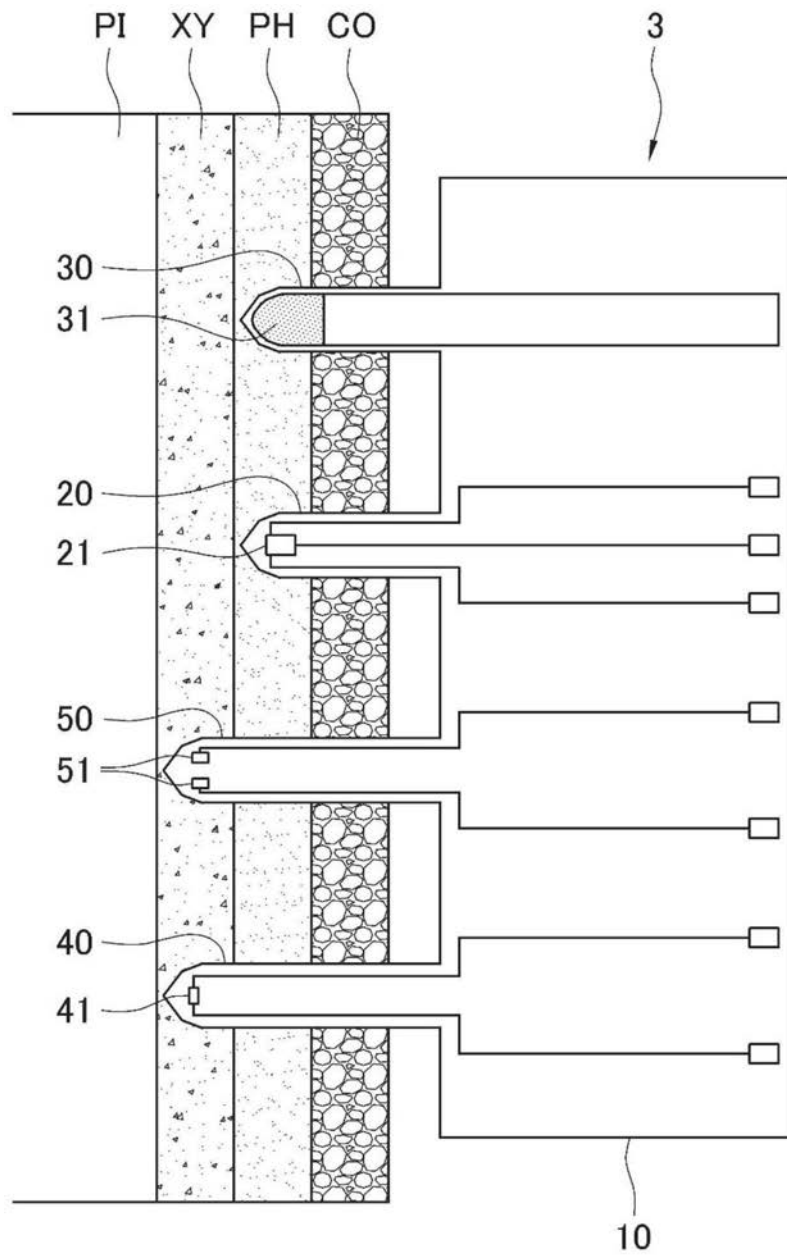


图11

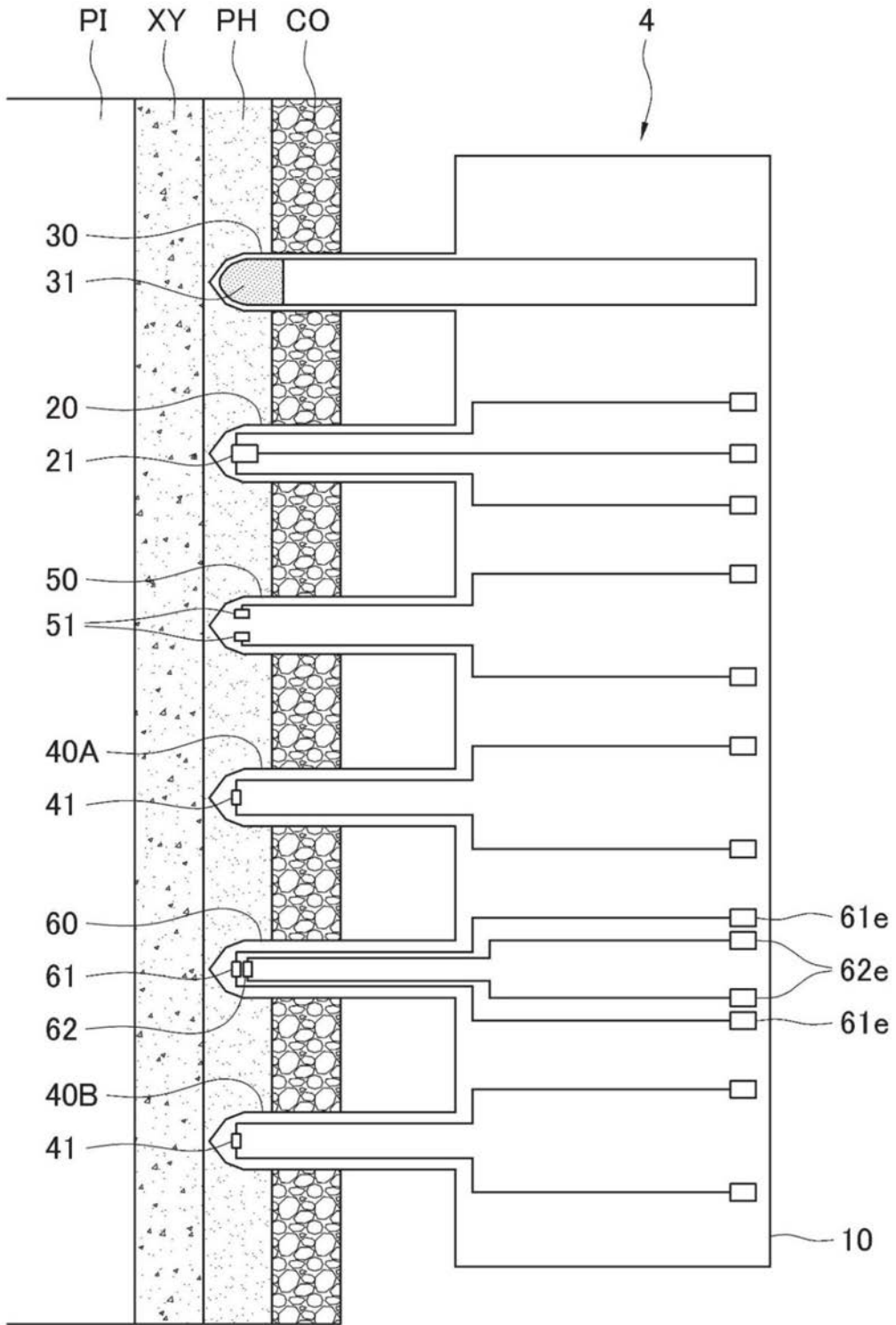


图12

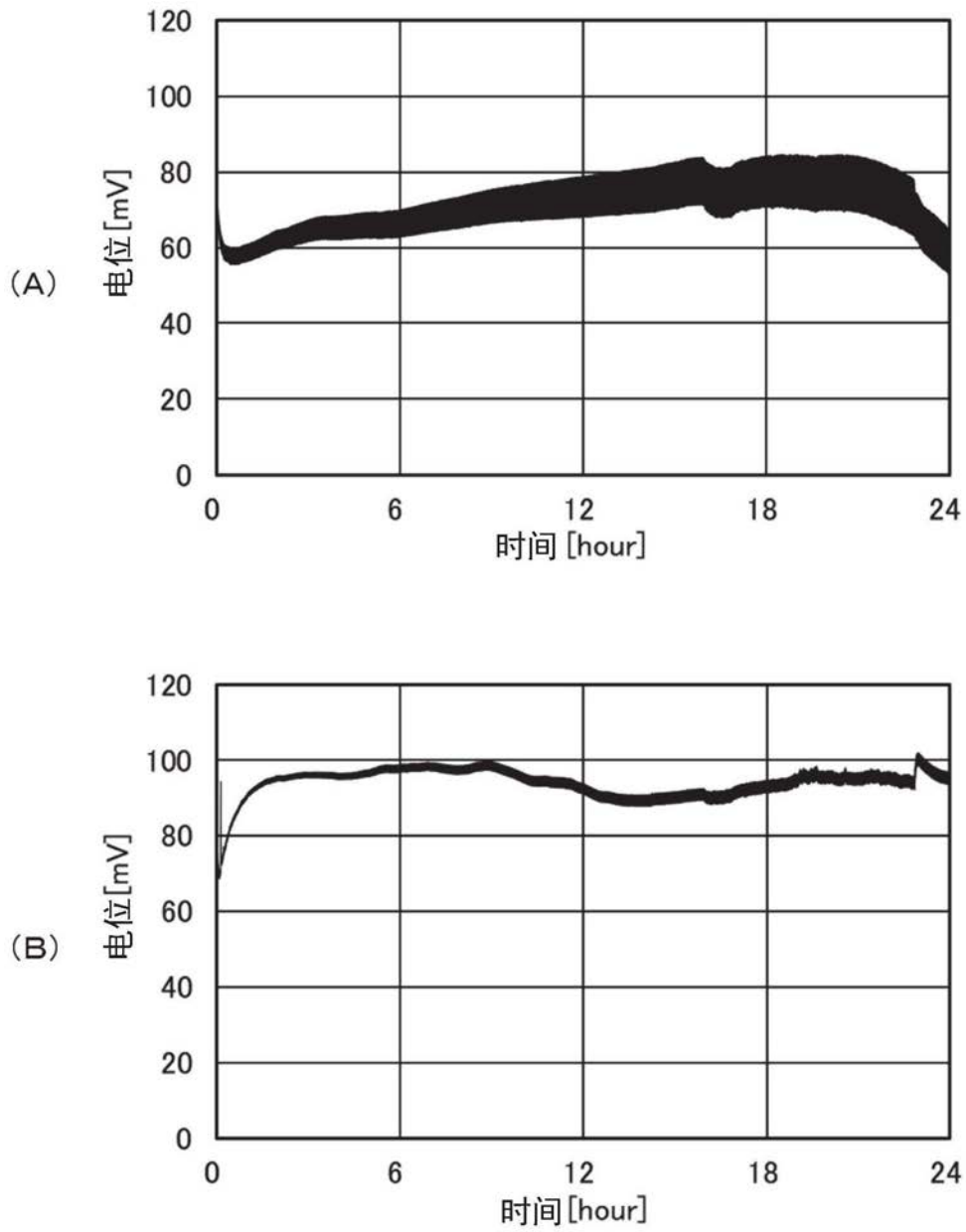


图13

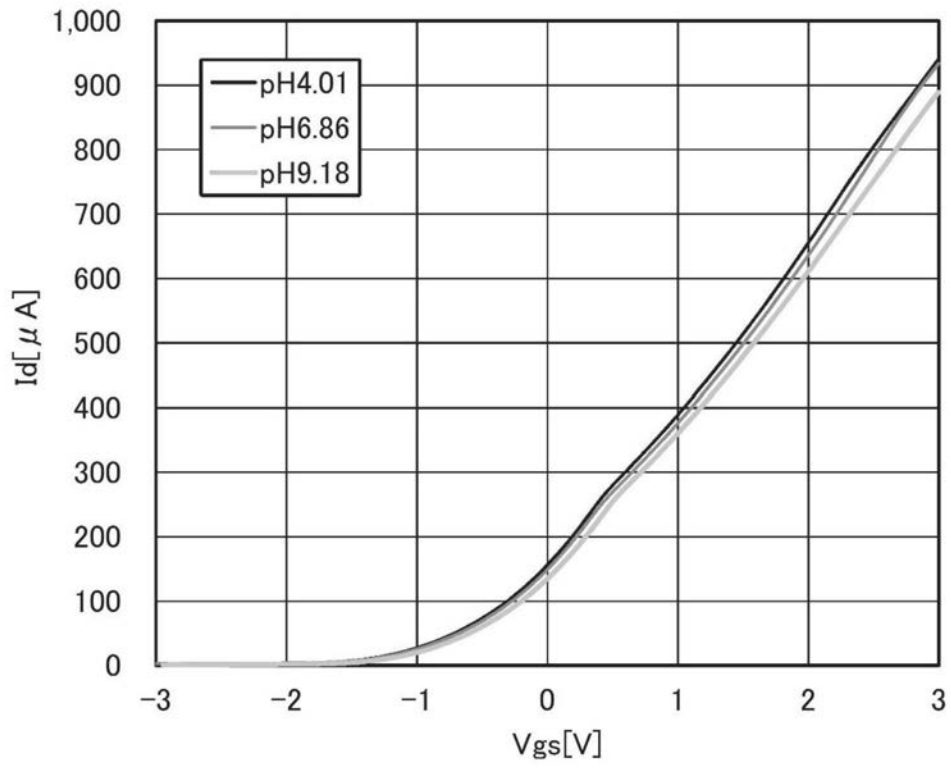


图14

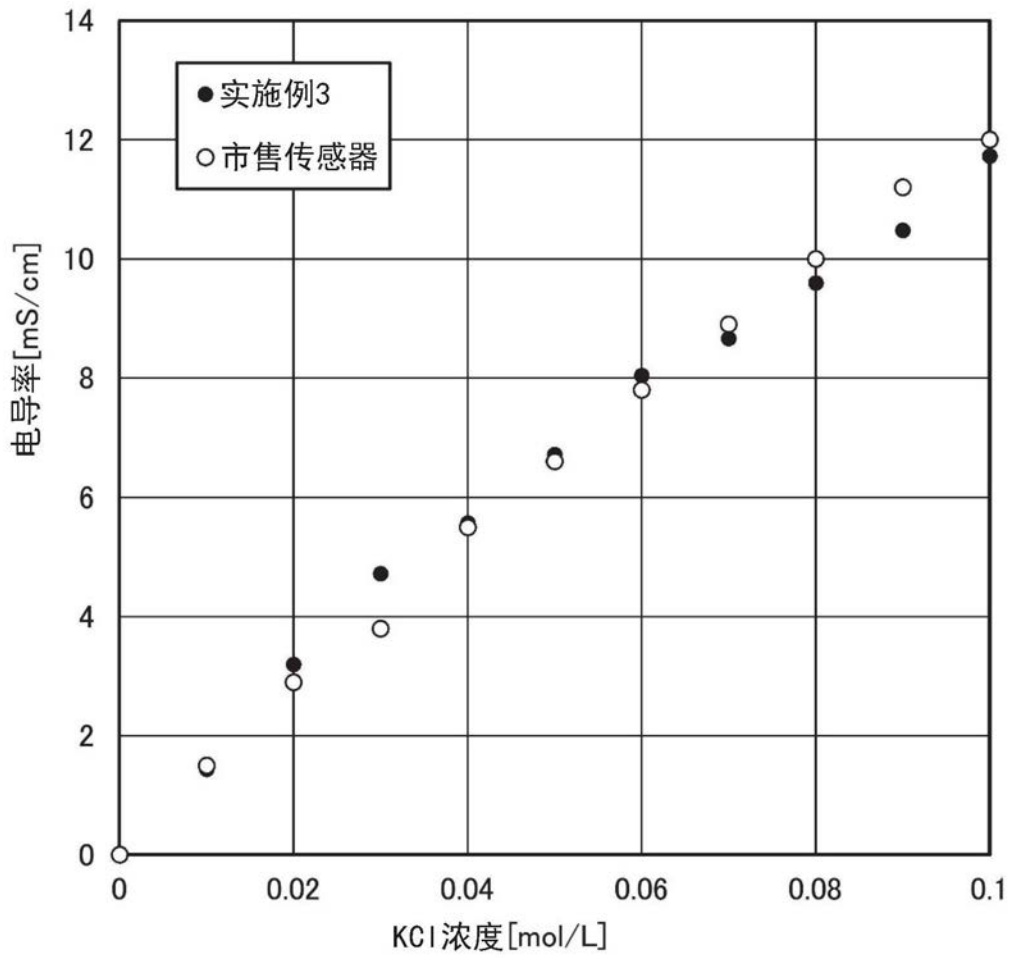


图15

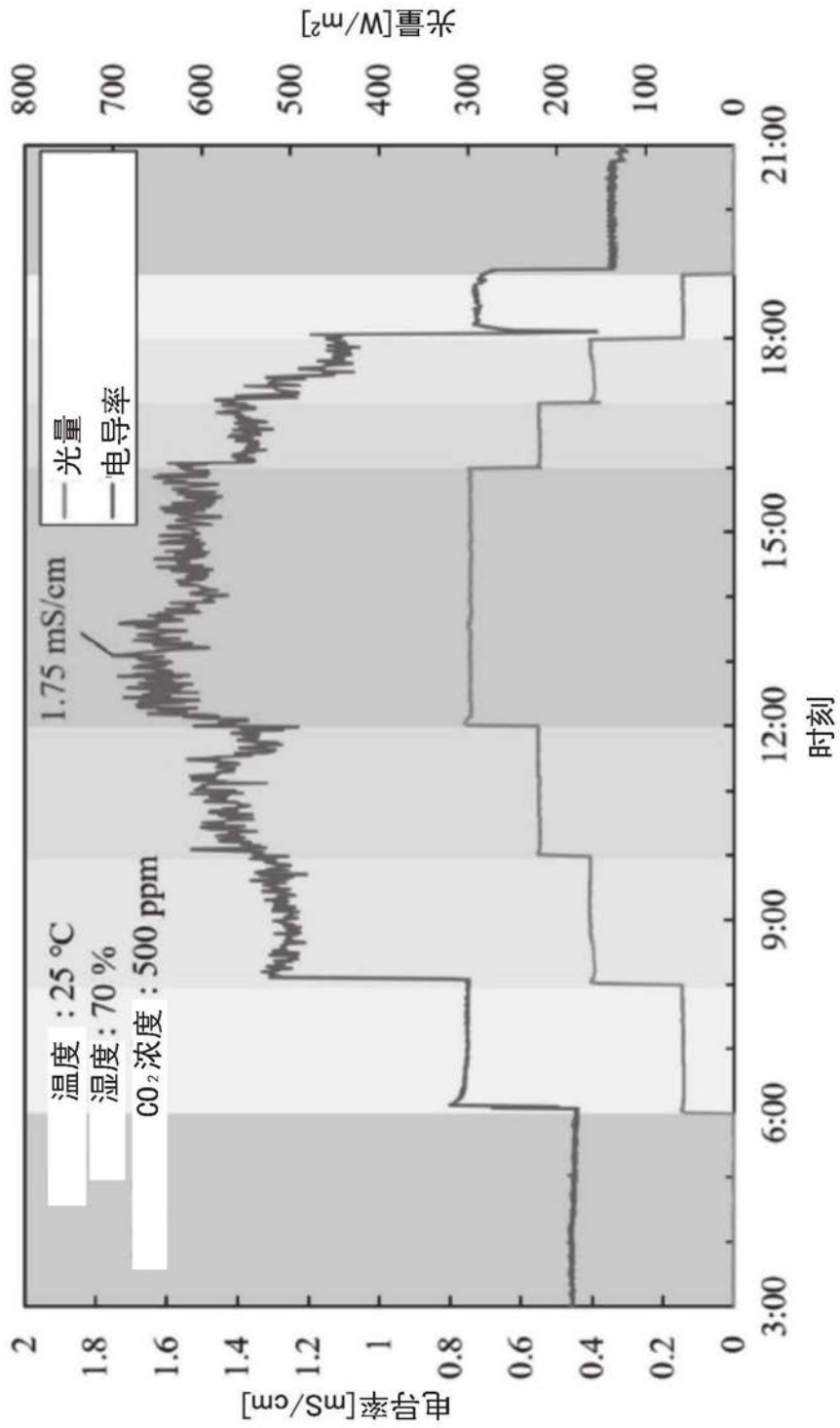


图16