(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 120035462 A
(43)申请公布日 2025.05.23

(21)申请号 202380072703.2
(22)申请日 2023.10.17
(30)优先权数据
2022-166997 2022.10.18 JP
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2025.04.14
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2023/037601 2023.10.17
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2024/085162 JA 2024.04.25
(71)申请人 住友电气工业株式会社
地址 日本大阪府
(72)发明人 马场将人 前田彻 平井慧
(74)专利代理机构 北京聿宏知识产权代理有限公司 11372
专利代理师 吴大建 霍玉娟
(51)Int.Cl.
B01D 53/14(2006.01)
B01D 53/18(2006.01)
C01B 32/50(2006.01)

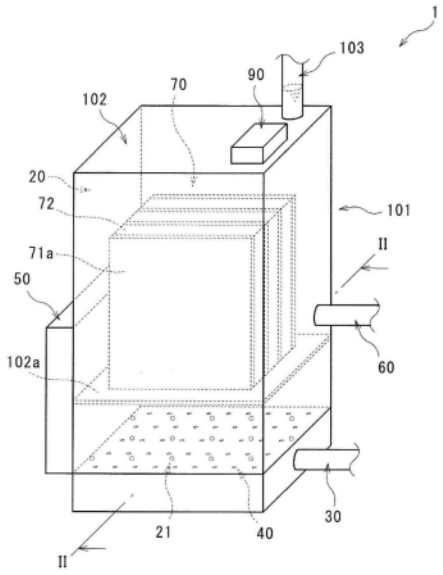
权利要求书2页 说明书19页 附图4页

(54)发明名称

二氧化碳捕捉模块、二氧化碳捕捉用洗涤器、二氧化碳捕捉装置及二氧化碳捕捉方法

(57)摘要

本发明的一个方式所涉及的二氧化碳捕捉模块具备:二氧化碳捕捉材料、以覆盖上述二氧化碳捕捉材料的方式与上述二氧化碳捕捉材料接触的溶液、和向上述溶液供给二氧化碳的供给部,上述二氧化碳捕捉材料以铁或铁化合物为主成分。



CN 120035462 A

1.一种二氧化碳捕捉模块,其中,

所述二氧化碳捕捉模块具备:

二氧化碳捕捉材料;

溶液,以覆盖所述二氧化碳捕捉材料的方式与所述二氧化碳捕捉材料接触;以及

供给部,向所述溶液供给二氧化碳,

所述二氧化碳捕捉材料以铁或铁化合物为主成分。

2.根据权利要求1所述的二氧化碳捕捉模块,其中,所述溶液的pH及所述二氧化碳捕捉材料的电位在电位-pH图中被控制在2价铁离子或2价氢氧化铁稳定的范围。

3.根据权利要求1或2所述的二氧化碳捕捉模块,其中,所述溶液包含pH缓冲剂。

4.根据权利要求1至3中任一项所述的二氧化碳捕捉模块,其中,所述二氧化碳捕捉模块具备向所述溶液供给酸性物质、还原剂、金属离子螯合剂及助洗剂中的至少一种的溶液调整机构。

5.根据权利要求1至4中任一项所述的二氧化碳捕捉模块,其中,所述二氧化碳捕捉模块具备对所述二氧化碳捕捉材料施加电压的电压施加机构。

6.根据权利要求1至5中任一项所述的二氧化碳捕捉模块,其中,所述二氧化碳捕捉模块具备促进所述溶液中的溶解氧的脱气的脱气促进机构。

7.根据权利要求1至6中任一项所述的二氧化碳捕捉模块,其中,所述溶液包含用于促进从所述二氧化碳捕捉材料溶出的铁离子的碳酸化的碳酸化促进剂。

8.根据权利要求1至7中任一项所述的二氧化碳捕捉模块,其中,所述二氧化碳捕捉模块具备促进所述二氧化碳向所述溶液的溶解的溶解促进机构。

9.根据权利要求1至8中任一项所述的二氧化碳捕捉模块,其中,所述溶液包含促进所述二氧化碳向所述溶液的溶解的溶解促进剂。

10.根据权利要求1至9中任一项所述的二氧化碳捕捉模块,其中,所述溶液中的所述二氧化碳的溶解速度为所述二氧化碳捕捉材料的碳酸化速度以下。

11.根据权利要求1至10中任一项所述的二氧化碳捕捉模块,其中,

所述二氧化碳捕捉模块具备多个所述二氧化碳捕捉材料,

多个所述二氧化碳捕捉材料的平均粒径为5nm以上且500μm以下。

12.根据权利要求11所述的二氧化碳捕捉模块,其中,

所述二氧化碳捕捉模块具备使多个所述二氧化碳捕捉材料在所述溶液中分散的分散机构,

所述分散机构将多个所述二氧化碳捕捉材料的平均粒径维持在5nm以上且500μm以下。

13.根据权利要求1至12中任一项所述的二氧化碳捕捉模块,其中,所述二氧化碳捕捉模块具备在所述二氧化碳捕捉材料的活性降低时显示该活性的降低的显示机构。

14.根据权利要求1至13中任一项所述的二氧化碳捕捉模块,其中,

所述二氧化碳捕捉模块具备多个所述二氧化碳捕捉材料,

所述二氧化碳捕捉模块具备向多个所述二氧化碳捕捉材料散布所述溶液的散布机构。

15.根据权利要求14所述的二氧化碳捕捉模块,其中,所述二氧化碳捕捉模块具备容纳多个所述二氧化碳捕捉材料的容纳部。

16.根据权利要求1至15中任一项所述的二氧化碳捕捉模块,其中,所述二氧化碳捕捉

模块具备配置有所述二氧化碳捕捉材料的多孔质的支承体。

17.根据权利要求16所述的二氧化碳捕捉模块,其中,

所述支承体为多孔质颗粒,

配置有所述二氧化碳捕捉材料的状态下的所述多孔质颗粒的平均粒径为10mm以下。

18.根据权利要求16所述的二氧化碳捕捉模块,其中,

所述支承体为多孔质丝或多孔质片,

在所述支承体上配置有多个所述二氧化碳捕捉材料。

19.根据权利要求16至18中任一项所述的二氧化碳捕捉模块,其中,

所述二氧化碳捕捉模块具备多个所述支承体,

多个所述支承体相互隔开间隔而配置。

20.一种二氧化碳捕捉用洗涤器,其中,

所述二氧化碳捕捉用洗涤器具备权利要求1至19中任一项所述的二氧化碳捕捉模块,

所述二氧化碳捕捉用洗涤器将所述溶液散布于所述二氧化碳捕捉材料。

21.一种二氧化碳捕捉装置,其中,

所述二氧化碳捕捉装置具备:

权利要求1至19中任一项所述的二氧化碳捕捉模块;以及

储存所述溶液的储存槽,

所述二氧化碳捕捉材料浸渍于所述溶液中。

22.一种二氧化碳捕捉方法,其中,所述二氧化碳捕捉方法具备使碳酸根离子或碳酸氢根离子与被溶液覆盖的二氧化碳捕捉材料接触的工序,所述二氧化碳捕捉材料以铁或铁化合物为主成分。

二氧化碳捕捉模块、二氧化碳捕捉用洗涤器、二氧化碳捕捉装置及二氧化碳捕捉方法

技术领域

[0001] 本发明涉及二氧化碳捕捉模块、二氧化碳捕捉用洗涤器、二氧化碳捕捉装置及二氧化碳捕捉方法。本申请主张基于2022年10月18日的日本申请的日本特愿2022-166997号的优先权,引用上述日本申请中记载的全部记载内容。

背景技术

[0002] 为了在工业设备、居住空间等中回收二氧化碳,研究了应用能够捕捉二氧化碳的材料(以下也称为“二氧化碳捕捉材料”)(参照专利文献1)。

[0003] 现有技术文献

[0004] 专利文献

[0005] 专利文献1:日本特开2007-031169号公报

[0006] 专利文献2:日本特开2007-075773号公报

发明内容

[0007] 本发明的一个方式所涉及的二氧化碳捕捉模块具备:二氧化碳捕捉材料、以覆盖上述二氧化碳捕捉材料的方式与上述二氧化碳捕捉材料接触的溶液、和向上述溶液供给二氧化碳的供给部,上述二氧化碳捕捉材料以铁或铁化合物为主成分。

附图说明

[0008] 图1是本发明的一个实施方式涉及的二氧化碳捕捉模块及具备该二氧化碳捕捉模块的二氧化碳捕捉装置的示意性立体图。

[0009] 图2是图1的二氧化碳捕捉装置的示意性的II-II线剖视图。

[0010] 图3是表示图1的二氧化碳捕捉模块中的支承体的变形例的示意性剖视图。

[0011] 图4是示出图1的二氧化碳捕捉模块中的支承体的与图3不同的变形例的示意性剖视图。

[0012] 图5是表示与本发明的图1不同的方式所涉及的二氧化碳捕捉模块及具备该二氧化碳捕捉模块的二氧化碳捕捉装置的示意性立体图。

[0013] 图6是表示与本发明的图1及图5不同的方式所涉及的二氧化碳捕捉模块及具备该二氧化碳捕捉模块的二氧化碳捕捉用洗涤器的示意图。

[0014] 图7是表示本发明的一个实施方式所涉及的二氧化碳捕捉方法的流程图。

具体实施方式

[0015] [本发明所要解决的课题]

[0016] 专利文献1中记载了通过对金属体等施加机械冲击、供给水和二氧化碳来捕捉碳酸盐的方法。专利文献2中记载了通过使一定以下的粒径的金属、水和二氧化碳接触而生成

碳酸盐的二氧化碳的捕捉方法。然而,若在通常的工业设备、居住空间等中使用专利文献1及专利文献2所记载的技术,则金属容易暴露于大气中的氧气中。因此,由于金属的氧化等,二氧化碳的捕捉效率恐怕会降低。

[0017] 本发明是基于上述情况而完成的,其目的在于提供一种二氧化碳的捕捉效率优异的二氧化碳捕捉模块。

[0018] [本发明的效果]

[0019] 本发明的一个方式所涉及的二氧化碳捕捉模块的二氧化碳的捕捉效率优异。

[0020] [本发明的实施方式的说明]

[0021] 首先列举本发明的实施方式进行说明。

[0022] (1)本发明的一个方式所涉及的二氧化碳捕捉模块具备:二氧化碳捕捉材料、以覆盖上述二氧化碳捕捉材料的方式与上述二氧化碳捕捉材料接触的溶液、和向上述溶液供给二氧化碳的供给部,上述二氧化碳捕捉材料以铁或铁化合物为主成分。

[0023] 该二氧化碳捕捉模块能够使溶解有二氧化碳的上述溶液以覆盖上述二氧化碳捕捉材料的方式与所述二氧化碳捕捉剂充分接触。此时,溶解的二氧化碳的一部分变化为碳酸根离子或碳酸氢根离子(以下,将碳酸根离子和碳酸氢根离子统称为“碳酸根离子等”)。因此,上述二氧化碳捕捉材料能够容易地捕捉溶解于上述溶液中的碳酸根离子等。通过使上述溶液与上述二氧化碳捕捉材料充分接触,容易抑制上述二氧化碳捕捉材料因氧化等而变质。因此,该二氧化碳捕捉模块的二氧化碳的捕捉效率优异。通过上述二氧化碳捕捉材料以铁或铁化合物为主成分,作为与碳酸根离子等键合的离子,从上述二氧化碳捕捉材料(更详细而言,二氧化碳捕捉材料中所含的铁或铁化合物)溶出2价铁离子。上述二氧化碳捕捉材料与上述溶液充分接触,因此容易抑制2价铁离子氧化成3价铁离子、变化成氧化铁。由此,上述二氧化碳捕捉材料能够更容易地捕捉碳酸根离子等。更具体而言,2价铁离子通过与碳酸根离子等键合而生成碳酸铁或碳酸氢铁(以下,也将碳酸铁和碳酸氢铁统称为“碳酸铁等”)。碳酸铁等可以附着于上述二氧化碳捕捉材料,或者在上述溶液中沉淀或浮游。“主成分”是指材料中的含量为50质量%以上。从上述二氧化碳捕捉材料中所含的铁或铁化合物溶出的铁离子也构成上述二氧化碳捕捉材料。

[0024] (2)上述(1)中,上述溶液的pH和上述二氧化碳捕捉材料的电位可以控制在电位-pH图中2价铁离子或2价氢氧化铁稳定的范围。这样,通过将上述溶液的pH和上述二氧化碳捕捉材料的电位控制在电位-pH图中2价铁离子或2价氢氧化铁稳定的范围,上述溶液中的化学平衡容易以增大2价铁离子的比率的方式转移。因此,能够进一步提高二氧化碳的捕捉效率。“电位-pH图”是指25℃的上述溶液中的铁的电位-pH图。

[0025] (3)上述(1)或(2)中,上述溶液可以包含pH缓冲剂。通过上述溶液包含pH缓冲剂,容易维持上述溶液中的2价铁离子的比率增大的状态。因此,能够容易地维持二氧化碳的捕捉效率。

[0026] (4)在上述(1)至(3)中任一项中,可以具备向上述溶液供给酸性物质、还原剂、金属离子螯合剂及助洗剂中的至少一种的溶液调整机构。通过具备溶液调整机构,容易维持上述溶液中的2价铁离子的比率增大的状态。因此,能够容易地维持二氧化碳的捕捉效率。

[0027] (5)上述(1)至(4)中任一项中,可以具备对上述二氧化碳捕捉材料施加电压的电压施加机构。通过具备电压施加机构,容易维持上述溶液中的2价铁离子的比率增大的状

态。因此,能够容易地维持二氧化碳的捕捉效率。

[0028] (6)在上述(1)至(5)中任一项中,可以具备促进上述溶液中的溶解氧的脱气的脱气促进机构。通过具备脱气促进机构,由上述溶液中的溶解氧引起的氧化作用降低,容易维持上述溶液中的2价铁离子的比率增大的状态。因此,能够容易地维持二氧化碳的捕捉效率。

[0029] (7)在上述(1)至(6)中任一项中,上述溶液可以包含用于促进从上述二氧化碳捕捉材料溶出的铁离子的碳酸化的碳酸化促进剂。通过使上述溶液包含碳酸化促进剂,能够提高该二氧化碳捕捉模块对二氧化碳的捕捉效率。

[0030] (8)在上述(1)至(7)中任一项中,可以具备促进上述二氧化碳在上述溶液中的溶解的溶解促进机构。在上述溶液中,例如在2价铁离子能够稳定存在的pH等条件下,上述溶液中的碳酸根离子等容易变少。另一方面,通过具备溶解促进机构,能够增大上述溶液中的碳酸根离子等。因此,能够进一步提高二氧化碳的捕捉效率。

[0031] (9)在上述(1)至(8)中任一项中,上述溶液可以包含促进上述二氧化碳在上述溶液中的溶解的溶解促进剂。通过上述溶液包含溶解促进剂,容易增大上述溶液中的二氧化碳量。因此,能够进一步提高二氧化碳的捕捉效率。

[0032] (10)上述(1)至(9)中任一项中,上述溶液中的上述二氧化碳的溶解速度可以为上述二氧化碳捕捉材料的碳酸化速度以下。通过使上述溶液中的上述二氧化碳的溶解速度为上述二氧化碳捕捉材料的碳酸化速度以下,能够通过上述二氧化碳捕捉材料更可靠地捕捉从上述供给部供给的二氧化碳。

[0033] (11)在上述(1)至(10)的任一项中,可以具备多个上述二氧化碳捕捉材料,上述多个二氧化碳捕捉材料的平均粒径为5nm以上且500μm以下。通过使上述多个二氧化碳捕捉材料的平均粒径为上述下限以上,能够增大上述二氧化碳捕捉材料与上述溶液的接触面积。通过使上述平均粒径为上述上限以下,能够使上述二氧化碳捕捉材料的分散变得容易。因此,能够进一步提高二氧化碳的捕捉效率。

[0034] (12)在上述(11)中,可以具备使上述多个二氧化碳捕捉材料在上述溶液中分散的分散机构,上述分散机构将上述多个二氧化碳捕捉材料的平均粒径维持在5nm以上且500μm以下。通过具备使上述多个二氧化碳捕捉材料在上述溶液中分散的分散机构,能够抑制上述二氧化碳捕捉材料凝集,并且能够容易地维持上述二氧化碳捕捉材料的适当的粒径。

[0035] (13)在上述(1)至(12)的任一项中,可以具备在上述二氧化碳捕捉材料的活性降低时显示该活性的降低的显示机构。通过具备显示上述二氧化碳捕捉材料的活性降低的显示机构,容易控制上述溶液的环境以维持二氧化碳的捕捉效率。

[0036] (14)在上述(1)至(13)的任一项中,也可以具备多个上述二氧化碳捕捉材料,具备向上述多个二氧化碳捕捉材料散布上述溶液的散布机构。通过具备向上述多个二氧化碳捕捉材料散布上述溶液的散布机构,能够使上述溶液与上述多个二氧化碳捕捉材料均匀地接触。由此,容易提高二氧化碳的捕捉效率。

[0037] (15)在上述(14)中,可以具备容纳上述多个二氧化碳捕捉材料的容纳部。通过具备容纳上述多个二氧化碳捕捉材料的容纳部,容易以与容纳于预定的位置的多个二氧化碳捕捉材料均匀接触的方式供给上述溶液。

[0038] (16)在上述(1)至(15)的任一项中,可以具备配置上述二氧化碳捕捉材料的多孔

质的支承体。通过具备配置有上述二氧化碳捕捉材料的多孔质的支承体,容易稳定地保持上述二氧化碳捕捉材料。

[0039] (17)在上述(16)中,上述支承体为多孔质颗粒,配置有上述二氧化碳捕捉材料的状态下的上述多孔质颗粒的平均粒径可以为10mm以下。通过使上述多孔质颗粒的平均粒径为上述上限以下,实现体系整体的均匀化,从而容易提高上述二氧化碳捕捉材料对碳酸根离子等的捕捉效率。作为上述多孔质颗粒的平均粒径的下限,可以为1.0×10^{-5}mm。

[0040] (18)在上述(16)中,上述支承体可以为多孔质丝或多孔质片,在上述支承体上配置有多个上述二氧化碳捕捉材料。上述支承体为多孔质丝或多孔质片,在上述支承体上配置有上述多个二氧化碳捕捉材料,由此能够使碳酸根离子等容易且可靠地与上述多个二氧化碳捕捉材料接触。

[0041] (19)在上述(16)至(18)的任一项中,也可以具备多个上述支承体,上述多个支承体相互隔开间隔地配置。通过将上述多个支承体相互隔开间隔而配置,能够容易且稳定地将上述多个二氧化碳捕捉材料保持在容易与碳酸根离子等接触的状态。

[0042] (20)本发明的另一方式所涉及的二氧化碳捕捉用洗涤器具备上述(1)至(19)中任一项的二氧化碳捕捉模块,将上述溶液散布于上述二氧化碳捕捉材料。

[0043] 该二氧化碳捕捉用洗涤器具备该二氧化碳捕捉模块,因此二氧化碳的捕捉效率优异。

[0044] (21)本发明的另一方式所涉及的二氧化碳捕捉装置具备上述(1)至(19)中任一项的二氧化碳捕捉模块和储存上述溶液的储存槽,上述二氧化碳捕捉材料浸渍于上述溶液中。

[0045] 该二氧化碳捕捉装置具备该二氧化碳捕捉模块,上述二氧化碳捕捉材料浸渍于上述溶液中,因此二氧化碳的捕捉效率优异。

[0046] (22)本发明的另一方式所涉及的二氧化碳捕捉方法具备使碳酸根离子或碳酸氢根离子与被溶液覆盖的二氧化碳捕捉材料接触的工序,上述二氧化碳捕捉材料以铁或铁化合物为主成分。

[0047] 该二氧化碳捕捉方法中,上述溶液以覆盖上述二氧化碳捕捉材料的方式与上述二氧化碳捕捉材料充分接触,因此上述二氧化碳捕捉材料能够容易地捕捉溶解于上述溶液中的碳酸根离子等。通过使上述溶液与上述二氧化碳捕捉材料充分接触,容易抑制上述二氧化碳捕捉材料因氧化等而变质。因此,该二氧化碳捕捉方法的二氧化碳的捕捉效率优异。上述二氧化碳捕捉材料以铁或铁化合物为主成分,因此能够更容易地捕捉碳酸根离子等。

[0048] 在本发明中,“以覆盖二氧化碳捕捉材料的方式与二氧化碳捕捉材料接触的溶液”只要是二氧化碳捕捉材料成为被溶液覆盖的状态即可,并不限定于二氧化碳捕捉材料始终被溶液覆盖的构成。只要二氧化碳捕捉材料成为部分地被溶液覆盖的状态即可,并不限定于二氧化碳捕捉材料的整体被溶液覆盖的构成。二氧化碳捕捉材料可以与布等用于传递溶液的构件接触,也可以以被通过该构件传递的溶液覆盖的方式设置。“供给部”所供给的二氧化碳的形态并不限定于气体,也可为溶解于溶液中的状态。即,供给部可以以例如碳酸根离子或碳酸氢根离子的形态供给二氧化碳。“粒径”是指二次颗粒中的粒径。在不构成二次颗粒的情况下,是指一次颗粒的粒径。“平均粒径”是指依据JIS-Z-8819-2:2001计算的体积基准累积分布成为50%的值即中值粒径(D50)。

[0049] [本发明的实施方式的细节]

[0050] 以下,适当参照附图对本发明的实施方式进行详细说明。在以下的说明中,有时将二氧化碳捕捉材料简称为捕捉材料,将二氧化碳捕捉模块简称为捕捉模块,将二氧化碳捕捉用洗涤器简称为捕捉用洗涤器,将二氧化碳捕捉装置简称为捕捉装置,将二氧化碳捕捉单元简称为捕捉单元。

[0051] [第一实施方式]

[0052] 图1及图2的二氧化碳捕捉模块101具备二氧化碳捕捉材料10、以覆盖二氧化碳捕捉材料10的方式与二氧化碳捕捉材料10接触的溶液20、和向溶液20供给二氧化碳的供给部30。如图1及图2所示,捕捉模块101配置于二氧化碳捕捉装置1。

[0053] 捕捉模块101的捕捉材料10、溶液20及供给部30配置于容器中。更详细而言,捕捉材料10及溶液20容纳于容器中,供给部30设置成能够向容器内供给二氧化碳。作为容器,例如可列举后述的储存槽102。由供给部30供给至溶液20的二氧化碳溶解于溶液20。溶解于溶液20的二氧化碳被捕捉材料10捕捉。

[0054] 捕捉模块101能够使溶解有二氧化碳的溶液20以覆盖捕捉材料10的方式与捕捉材料10充分接触。此时,溶解的二氧化碳的一部分变为碳酸根离子等。因此,捕捉材料10能够容易地捕捉溶解在溶液20中的碳酸根离子等。通过溶液20与捕捉材料10充分接触,容易抑制捕捉材料10的氧化等导致的变质。因此,捕捉模块101的二氧化碳的捕捉效率优异。

[0055] 捕捉模块101及捕捉装置1例如用于在生产设备、居住空间、办公室等中捕捉或回收二氧化碳。捕捉模块101以及捕捉装置1的大小根据使用场所、目的而适当设定。以下,对捕捉模块101以及具备捕捉模块101的捕捉装置1进行详细说明。

[0056] <二氧化碳捕捉模块>

[0057] 捕捉模块101通过使溶解有二氧化碳的溶液20以覆盖捕捉材料10的方式与捕捉材料10充分接触,利用捕捉材料10捕捉在溶液20中生成的碳酸根离子等。捕捉模块(101)具备:溶解促进机构(40),促进二氧化碳向溶液(20)的溶解;分散机构(50),使多个捕捉材料(10)在溶液(20)中分散;溶液调整机构(60),向溶液(20)供给酸性物质、还原剂、金属离子螯合剂及助洗剂中的至少一种;显示机构(90),显示捕捉材料(10)的活性的降低;以及多孔质的支承体(71a),配置有捕捉材料(10)。

[0058] (二氧化碳捕捉材料)

[0059] 捕捉材料10为颗粒状,更详细而言为粉末状。捕捉材料10以铁或铁化合物为主成分。作为以铁为主成分的捕捉材料10,可列举铁和铁合金。铁合金也可以是除了铁元素以外还包含例如锰元素、铬元素、钼元素、铝元素、铜元素、锌元素、镍元素等的金属。作为铁化合物,可列举氢氧化铁(II)、六氰基铁(II)酸铁(II)等。捕捉材料10通过以铁或铁化合物为主成分,能够更容易地捕捉溶液20中的碳酸根离子等。捕捉模块101中,作为捕捉材料10,可以仅具有上述的铁、铁合金和铁化合物中的一种,也可以具有两种以上。

[0060] 如果捕捉材料10以铁或铁化合物为主成分,则2价铁离子在溶液20中溶出,与溶液20中的碳酸根离子等如下述式(1)或下述式(2)那样反应。在从捕捉材料10溶出的2价铁离子生成氢氧化铁(II)的情况下,电离的2价铁离子也与溶液20中的碳酸根离子等如下述式(1)或下述式(2)那样反应。在下述式(1)及下述式(2)中,aq表示水合状态。

[0061] $Fe^{2+}(aq)+CO_3^{2-}(aq)=FeCO_3(aq)$ ・・・(1)

[0062] $Fe^{2+}(aq)+2HCO_3^-(aq)=Fe(HCO_3)_2(aq)$ ・・(2)

[0063] 在本实施方式中,捕捉材料10通过生成碳酸铁或碳酸氢铁,能够捕捉溶液20中的碳酸根离子等。捕捉材料10所捕捉的二氧化碳能够通过捕捉材料10的清洗、溶液20的过滤等来回收。

[0064] 在捕捉材料10为铁合金的情况下,作为铁合金中的铁元素的含量的下限,从确保铁离子向溶液20中的溶出量的观点出发,可以为50质量%,也可以为60质量%,还可以为70质量%。作为铁合金中的铁元素的含量的上限,例如可以设为99.99质量%。在捕捉材料10以铁化合物为主成分的情况下,作为捕捉材料10中的铁化合物的含量的下限,从确保铁离子向溶液20中的溶出量的观点出发,可以为50质量%,也可以为60质量%,还可以为70质量%。作为捕捉材料10中的铁化合物的含量的上限,例如能够设为99.99质量%。

[0065] 作为多个捕捉材料10的平均粒径的下限,从增大捕捉材料10与溶液20的接触面积的观点出发,可以为5nm,也可以为10nm,还可以为15nm。作为平均粒径的上限,从使捕捉材料10容易分散的观点出发,可以为500μm,也可以为200μm,还可以为100μm。作为平均粒径,可以为5nm以上且500μm以下,也可以为10nm以上且200μm以下,还可以为15nm以上且100μm以下。

[0066] (支承体)

[0067] 在支承体71a配置有多个捕捉材料10。捕捉模块101通过具备支承体71a,能够稳定地保持捕捉材料10。根据该构成,在二氧化碳例如作为碳酸铁附着于捕捉材料10的情况下,能够容易地回收并清洗。

[0068] 在图1及图2中,支承体71a为多孔质片。在图1及图2中,在一张多孔质片上配置有多个捕捉材料10。通过支承体71a为多孔质片,能够使碳酸根离子等容易且可靠地与捕捉材料10接触。在一片多孔质片上隔开间隔地配置有多个捕捉材料10。通过支承体71a为多孔质片,能够将多个捕捉材料10相互隔开间隔且容易地配置。其结果是,容易抑制捕捉材料10的凝集,提高捕捉材料10对碳酸根离子等的捕捉效果。

[0069] 作为支承体71a,例如可列举布、无纺布片、织物片、海绵片、日本纸等的纤维素纤维片、碳纤维片、氧化铝制等的陶瓷纤维片、铜制、不锈钢制等的金属纤维片。为了防止后述的溶液20引起的变质和侵蚀,支承体71a可以实施镀金、树脂涂布等表面处理。

[0070] 捕捉材料10可以配置在支承体71a的表面,也可以配置在支承体71a的内部。捕捉材料10也可以将支承体71a作为载体,担载于支承体71a的表面或孔部。

[0071] 支承体不限定于多孔质片,例如可以为多孔质颗粒,也可以为多孔质丝。以下,参照图3及图4,对捕捉材料10配置于多孔质颗粒或多孔质丝的构成进行说明。即使在配置于多孔质颗粒或多孔质丝的情况下,捕捉材料10也可以配置于支承体71b、71c的表面,也可以配置于支承体71b、71c的内部。也可以将支承体71b、71c作为载体,担载于支承体71b、71c的表面或孔部。

[0072] 图3的支承体71b为多孔质颗粒。在图3中,在一个多孔质颗粒上配置有多个捕捉材料10。更详细而言,在一个多孔质颗粒上隔开间隔地配置有多个捕捉材料10。通过这样配置,容易抑制捕捉材料10的凝集,提高捕捉材料10对碳酸根离子等的捕捉效果。

[0073] 作为多孔质颗粒,例如可列举硅胶、吸水聚合物、活性炭颗粒、多孔质玻璃、多孔质金属颗粒。为了防止后述的溶液20引起的变质及侵蚀,多孔质颗粒可以实施镀金、树脂涂布

等表面处理。作为多孔质颗粒的平均粒径的下限,从容易配置捕捉材料10的观点出发,可以是捕捉材料10的平均粒径的2倍,也可以是5倍,还可以是10倍。作为多孔质颗粒的平均粒径的下限,可以为1.0×10^{-5}mm,也可以为2.5×10^{-5}mm,还可以为5.0×10^{-4}mm。作为多孔质颗粒的平均粒径的上限,从通过实现体系整体的均匀化而容易提高捕捉材料10对碳酸根离子等的捕捉效率的观点出发,可以为10mm。作为多孔质颗粒的平均粒径的上限,可以是捕捉材料10的平均粒径的200倍,也可以是100倍,还可以是50倍。作为多孔质颗粒的平均粒径,可以是捕捉材料10的平均粒径的2倍以上且200倍以下,也可以是5倍以上且100倍以下,还可以是10倍以上且50倍以下。作为多孔质颗粒的平均粒径,可以为1.0×10^{-5}mm以上且10mm以下,也可以为2.5×10^{-5}mm以上且10mm以下,还可以为5.0×10^{-4}mm以上且10mm以下。

[0074] 图4的支承体71c为多孔质丝。在图4中,在一个多孔质丝上配置有多个捕捉材料10。通过支承体71c为多孔质丝,能够使碳酸根离子等容易且可靠地与多个捕捉材料10接触。在一个多孔质丝上隔开间隔地配置有多个捕捉材料10。通过支承体71c为多孔质丝,能够将多个捕捉材料10相互隔开间隔且容易地配置。其结果是,容易抑制捕捉材料10的凝集,提高捕捉材料10对碳酸根离子等的捕捉效果。

[0075] 作为多孔质丝,只要具有多个孔就没有特别限定,例如可以使用具有纤维状骨架的中空丝膜。

[0076] 作为支承体71a、71b、71c的平均细孔径的下限,从确保透气性的观点出发或从容易担载捕捉材料10的观点出发,可以是捕捉材料10的平均粒径的等倍,也可以是3倍,还可以是5倍,还可以是10倍。作为支承体71a、71b、71c的平均细孔径的上限,没有特别限定,例如可以为捕捉材料10的平均粒径的100倍。“平均细孔径”由依据JIS-Z-8830-2:2013通过气体吸附法求出的BET比表面积和细孔容积算出。

[0077] 捕捉模块101中的支承体的个数没有特别限定,可以是一个,也可以是多个。在捕捉模块101具有多个支承体的情况下,作为支承体,可以是多孔质片、多孔质颗粒以及多孔质丝中的任一种,也可以组合使用多孔质片、多孔质颗粒以及多孔质丝中的两种以上。

[0078] 在捕捉模块101具有多个支承体的情况下,多个支承体也可以相互隔开间隔地配置。通过这样构成,能够以容易与碳酸根离子等接触的状态容易且稳定地保持多个捕捉材料10。

[0079] 如图1及图2所示,在多个支承体71a相互隔开间隔地配置的情况下,这些支承体71a也可以夹着间隔件72配置。在图1及图2中,多个支承体71a在其厚度方向上与间隔件72交替地配置。多个支承体71a使片面与间隔件72接触,并且与间隔件72交替地配置。多个支承体71a也可以与间隔件72固定。在捕捉模块101中,多个捕捉材料10、多个支承体71a及多个间隔件72作为整体构成捕捉单元70。

[0080] 间隔件72例如为板状。间隔件72以其板面与支承体71a接触的状态与支承体71a交替地配置。间隔件72是多孔质体。间隔件72为多孔质体,从而构成碳酸根离子等到达捕捉材料10的通路。作为间隔件72,例如可列举网状体及海绵体。作为间隔件72,并不限定于板状,也可以是仅与支承体71a的一部分接触的棒状构件等。捕捉模块101通过具备间隔件72,容易将多个支承体71a相互保持间隔并且高密度地配置。

[0081] (供给部)

[0082] 供给部30向溶液20供给包含二氧化碳的气体。供给部30通过向储存有溶液20的后

述的储存槽102供给包含二氧化碳的气体,从而向溶液20供给二氧化碳。供给部30例如包括能够从储存槽102的下部向储存槽102内供给二氧化碳的供给管。

[0083] (溶液)

[0084] 溶液20始终覆盖多个捕捉材料10。在捕捉模块101中,多个捕捉材料10浸渍在溶液20中,更详细而言,捕捉单元70浸渍在溶液20中。

[0085] 溶液20的pH及捕捉材料10的电位可以控制在电位-pH图中2价铁离子或2价氢氧化铁稳定的范围。溶液20的pH和捕捉材料10的电位可以控制为使溶液20中的2价铁离子或2价氢氧化铁的含量增大。从通过式(1)或式(2)更容易生成碳酸铁等的观点出发,溶液20的pH和捕捉材料10的电位可以控制在电位-pH图中2价铁离子稳定的范围。作为控制溶液20的pH的方法,可列举后述的pH缓冲材料、在溶液20中显示酸性的盐等。作为控制捕捉材料10的电位的方法,可列举对捕捉材料10施加电压等。作为溶液20中的pH的计测手段,可列举后述的显示机构90等,作为捕捉材料10的电位的计测手段,可列举ORP计等。

[0086] 在电位-pH图中,2价铁离子稳定的范围是指溶液20的pH满足-2以上且9.5以下,且捕捉材料10的电位(E(V vs.SHE))满足下述式(3)、下述式(4)和下述式(5)的范围。

[0087] $E<-0\cdot218pH+1.67(4\leqslant pH\leqslant9.5)$ ・・・(3)

[0088] $E<0.8(-2\leqslant pH\leqslant4)$ ・・・(4)

[0089] $E>-0.6(-2\leqslant pH\leqslant9.5)$ ・・・(5)

[0090] 在电位-pH图中,2价的氢氧化铁稳定的范围是指溶液20的pH满足9.5以上且16以下,且捕捉材料10的电位(E(V vs.SHE))满足下述式(6)及下述式(7)的范围。

[0091] $E<-0.0615pH+0.285$ ・・・(6)

[0092] $E>-0.0615pH-0.0154$ ・・・(7)

[0093] 作为溶液20的pH的上限,从容易使溶液20中的2价铁离子增大的观点出发,可以为6.0,可以为5.0,可以为4.0,可以为3.0,可以为2.5,可以为2.0,可以为1.5。作为溶液20的pH的下限,没有特别限定,例如可以为0.0。

[0094] 为了停止捕捉模块101的使用,回收溶解于溶液20中的化合物(例如,碳酸根离子等)等,也可以将捕捉材料10的电位和溶液20的pH暂时控制在电位-pH图中2价铁离子或2价氢氧化铁稳定的范围外,或者将溶液20的pH暂时控制在溶液20的pH的范围外。

[0095] 溶液20包含作为溶剂的水。溶液20可以包含促进二氧化碳在溶液20中的溶解的溶解促进剂,也可以包含pH缓冲材料,为了减小溶液20的pH,可以包含在溶液20中显示酸性的盐,也可以包含用于促进从捕捉材料10溶出的铁离子的碳酸化的碳酸化促进剂21。

[0096] 从供给部30向溶液20供给包含二氧化碳的气体。在溶液20中,产生由下述式(8)和下述式(9)表示的化学平衡,生成碳酸根离子(CO_3^{2-})或碳酸氢根离子(HCO_3^-)。在下述式(8)及下述式(9)中,aq表示水合状态。

[0097] $CO_2(aq)=H^+(aq)+HCO_3^-(aq)$ ・・・(8)

[0098] $HCO_3^-(aq)=H^+(aq)+CO_3^{2-}(aq)$ ・・・(9)

[0099] 〔溶解促进剂〕

[0100] 作为溶解促进剂,例如可列举碳酸脱水酶。碳酸脱水酶在式(8)中促进碳酸氢根离子(HCO_3^-)的生成。通过溶液20包含溶解促进剂,容易增大溶液20中的碳酸根离子等的量。因此,能够进一步提高二氧化碳的捕捉效率。

[0101] [pH缓冲剂]

[0102] pH缓冲剂(缓冲液)容易将溶液20的pH维持在所希望的值。作为pH缓冲材料,可列举酒石酸钠、乙酸钠、硼酸钠、柠檬酸钠、氯化铵、磷酸钠等。通过溶液20包含pH缓冲剂,在溶液20中容易维持2价铁离子或2价氢氧化铁增大的状态。因此,能够容易地维持二氧化碳的捕捉效率。

[0103] [盐]

[0104] 作为在溶液20中显示酸性的盐、即溶解于溶液20而显示酸性的盐,可列举硫酸氢钠、硫酸氢铵、磷酸二氢钠、硫酸铁(II)、氯化铁(II)等。通过溶液20包含上述盐,能够容易地减小溶液20的pH。由此,2价铁离子容易从捕捉材料10溶出到溶液20中。即,容易维持捕捉材料10捕捉碳酸根离子等的活性。

[0105] [碳酸化促进剂]

[0106] 在本实施方式中,碳酸化促进剂21为颗粒状。碳酸化促进剂21以碳酸铁或碳酸氢铁为主成分。碳酸化促进剂21可以成为用于将铁离子碳酸化的晶种。通过以碳酸化促进剂21为晶种使碳酸铁等晶体生长,促进从捕捉材料10溶出的铁离子对碳酸根离子等的捕捉。碳酸化促进剂21通过成为晶种,能够抑制捕捉材料10被碳酸铁等包覆以及与此相伴的捕捉材料10的活性的降低。

[0107] 碳酸化促进剂21也可以与捕捉材料10隔开间隔地配置。通过这样配置碳酸化促进剂21,能够容易地回收以碳酸化促进剂21为晶种的碳酸铁等。在捕捉材料10未被碳酸铁等包覆的情况下,能够不回收捕捉材料10而选择性地回收以碳酸化促进剂21为晶种的碳酸铁等。

[0108] 如图1所示,在本实施方式中,碳酸化促进剂21夹着设置于后述的储存槽102的多孔质膜102a,与捕捉材料10和支承体71a隔开间隔地配置。通过夹着多孔质膜102a配置碳酸化促进剂21,容易维持碳酸化促进剂21与捕捉材料10的间隔。多孔质膜102a也可以构成为抑制碳酸铁等的通过,使碳酸根离子等通过。由此,更容易抑制捕捉材料10的活性的降低,并且促进碳酸根离子等向捕捉材料10的供给。

[0109] (溶解促进机构)

[0110] 溶解促进机构40促进二氧化碳在溶液20中的溶解。捕捉模块101通过具备溶解促进机构40,容易增大溶液20中的二氧化碳量。因此,能够进一步提高二氧化碳的捕捉效率。

[0111] 作为溶解促进机构40,例如可列举能够在溶液20中产生纳米气泡、微米气泡等细微气泡的气泡产生装置(鼓泡装置)、能够在溶液20中产生空化气泡的超声波产生装置、能够降低溶液20的水温且提高二氧化碳的分压的温度压力控制装置。

[0112] 在图1及图2中,作为溶解促进机构40,具备气泡产生装置。气泡产生装置配置于从供给部30至储存槽102的二氧化碳的流路。气泡产生装置将包含二氧化碳的气体细微气泡化并供给至溶液20。

[0113] 作为细微气泡的气泡直径的上限,从作为捕捉模块101整体增大二氧化碳与溶液20的接触面积的观点出发,可以为1.0μm,也可以为0.8μm,还可以为0.6μm。作为上述气泡直径的下限,没有特别限定,例如可以设为0.005μm。作为上述气泡直径,可以为0.005μm以上且1.0μm以下,可以为0.005μm以上且0.8μm以下,可以为0.005μm以上且0.6μm以下。“气泡直径”是指从气泡产生装置喷出的时刻的直径。

[0114] 作为从供给部30供给到储存槽102内的气体中的二氧化碳的分压的下限,从提高捕捉材料10对碳酸根离子等的捕捉效率的观点出发,可以为4.0×10^{-5}MPa,也可以为6.0×10^{-5}MPa,还可以为8.0×10^{-5}MPa。作为上述分压的上限,没有特别限定,例如可以设为1.0×10^{-1}MPa。作为上述分压,可以为4.0×10^{-5}MPa以上且1.0×10^{-1}MPa以下,可以为6.0×10^{-5}MPa以上且1.0×10^{-1}MPa以下,可以为8.0×10^{-5}MPa以上且1.0×10^{-1}MPa以下。在溶解促进机构40为温度压力控制装置的情况下,溶解促进机构40可以将二氧化碳的分压控制在上述范围内。

[0115] 在溶解促进机构40为温度压力控制装置的情况下,作为由溶解促进机构40控制的溶液20的温度的上限,从使溶液20的处理容易的观点出发,可以为99℃,也可以为95℃。作为上述温度的下限,从提高捕捉材料10对碳酸根离子等的捕捉效率的观点出发,可以为25℃,可以为50℃,可以为70℃,也可以为90℃。作为上述温度,可以为25℃以上且99℃以下,可以为50℃以上且99℃以下,可以为70℃以上且99℃以下,可以为90℃以上且99℃以下,可以为90℃以上且95℃以下。

[0116] (分散机构)

[0117] 分散机构50使多个捕捉材料10在溶液20中分散。分散机构50维持多个捕捉材料10的平均粒径。作为由分散机构50维持的多个捕捉材料10的平均粒径的下限,可以是5nm,也可以是10nm,还可以是15nm。作为由分散机构50维持的多个捕捉材料10的平均粒径的上限,可以为500μm,也可以为200μm,还可以为100μm。作为平均粒径,可以为5nm以上且500μm以下,也可以为10nm以上且200μm以下,还可以为15nm以上且100μm以下。捕捉模块101通过具备分散机构50,能够抑制捕捉材料10凝集,并且能够容易地维持捕捉材料10的适当的粒径。

[0118] 分散机构50在多个捕捉材料10容易凝集的情况下特别有效地发挥功能。例如在支承体71a、71b、71c上未配置多个捕捉材料10的情况下,有时捕捉材料10的凝集会暂时发生。在该情况下,通过在向溶液20供给二氧化碳时利用分散机构50使多个捕捉材料10分散,能够容易地维持捕捉材料10的适当的粒径。在捕捉材料10配置于多孔质颗粒的情况下,通过具备分散机构50,能够使多孔质颗粒彼此分散于溶液20中,容易地维持多孔质颗粒的适当的粒径。通过捕捉模块101具备分散机构50,能够实现包含溶液20的系统整体的均匀化,以使捕捉材料10容易捕捉二氧化碳。

[0119] 作为分散机构50,能够使用使溶液20产生水流的机构,能够使用超声波产生装置、搅拌装置等(在图1中图示超声波产生装置)。作为分散机构50,也可以使用通过磁力诱导、划分及固定(固定于特定的位置)捕捉材料10的装置。作为这样的装置,例如可列举磁分离装置。

[0120] (溶液调整机构)

[0121] 溶液调整机构60例如在溶液20的pH上升时,向溶液20供给酸性物质。作为酸性物质,可列举上述盐及溶解有该盐的溶液。作为溶液调节机构60开始供给酸性物质的溶液20的pH的上限,可以为6.0,可以为5.0,可以为4.0,也可以为3.0。通过溶液调整机构60,更容易维持溶液20中的2价铁离子增大的状态。因此,能够更容易地维持二氧化碳的捕捉效率。溶液调整机构60也可基于后述的显示机构90的显示来控制酸性物质的供给的开始及结束。

[0122] 溶液调整机构60为了抑制溶液20中的2价铁离子的氧化,可以供给还原剂、金属离子螯合剂和及助洗剂中的至少一种。作为还原剂,可以列举儿茶素、绿原酸等多酚类。作为

金属离子螯合剂,可列举柠檬酸、葡萄糖酸等。助洗剂可以用作清洗助剂。作为助洗剂,可以列举碳酸盐、硅酸盐、铝硅酸盐、硫酸盐、羧甲基纤维素(CMC)等。

[0123] (显示机构)

[0124] 显示机构90在捕捉材料10的活性降低时显示该活性的降低。捕捉模块101通过具备显示机构90,容易控制溶液20的环境以维持二氧化碳的捕捉效率。

[0125] 在捕捉模块101中,溶液20的pH与捕捉材料10的活性相关。例如在pH上升到4以上的情况下,由于从捕捉材料10溶出的2价铁离子减少,捕捉材料10的活性有可能降低。显示机构90可以包含pH指示剂,也可以包含pH计。更具体而言,显示机构90可以包含向溶液20供给的pH指示剂,也可以包含能够测定溶液20的pH的pH计。通过利用pH指示剂或pH计显示溶液20的pH,能够显示捕捉材料10的活性的降低。

[0126] [pH指示剂]

[0127] 作为pH指示剂,可以使用能够显示捕捉材料10的活性降低的指示剂,例如可列举百里酚蓝、甲基橙、甲基红、溴甲酚紫、溴百里酚蓝(BTB)、酚红、中性红。

[0128] 在捕捉模块101中,溶液20中的二氧化碳的溶解速度可以为捕捉材料10的碳酸化速度以下。通过这样构成,能够通过捕捉材料10更可靠地捕捉从供给部30供给的二氧化碳。从该观点出发,作为从溶液20释放的气体(更具体而言,从后述的脱气促进机构103排出的气体)中的二氧化碳的含量[ppm]相对于从供给部30供给的气体中的二氧化碳的含量[ppm]之比的上限,可以为0.8,也可以为0.6,还可以为0.4。作为上述比的下限,没有特别限定,例如可以设为0.1。作为上述比,可以为0.1以上且0.8以下,可以为0.1以上且0.6以下,也可以为0.1以上且0.4以下。

[0129] <二氧化碳捕捉装置>

[0130] 捕捉装置1具备捕捉模块101和储存溶液20的储存槽102。捕捉装置1具备排出从溶液20释放的气体的脱气促进机构103。在捕捉装置1中,捕捉材料10浸渍在溶液20中。

[0131] 捕捉装置1具备捕捉模块101,捕捉材料10浸渍于溶液20中,因此二氧化碳的捕捉效率优异。

[0132] (储存槽)

[0133] 储存槽102的形状根据捕捉模块101的形状适当设定。储存槽102设置为能够在储存有溶液20的状态下将捕捉单元70整体浸渍于溶液20中。在本实施方式中,储存槽102具有用于与捕捉材料10和支承体71a(捕捉单元70)隔开间隔地配置碳酸化促进剂21的多孔质膜102a。

[0134] 〔多孔质膜〕

[0135] 如图1所示,多孔质膜102a例如在储存槽102内将碳酸化促进剂21与捕捉材料10和支承体71a上下隔开。也可以是碳酸化促进剂21配置于比多孔质膜102a靠下侧,捕捉材料10和支承体71a配置于比多孔质膜102a靠上侧。通过多孔质膜102a将碳酸化促进剂21与捕捉材料10和支承体71a隔开,能够容易地回收以碳酸化促进剂21为晶种的碳酸铁等。

[0136] 多孔质膜102a也可以构成为抑制碳酸铁等的通过,使碳酸根离子等通过。通过多孔质膜102a抑制碳酸铁等的通过,能够抑制以碳酸化促进剂21为晶种的碳酸铁等包覆于捕捉材料10,因此能够进一步抑制捕捉材料10的活性的降低。通过多孔质膜102a使碳酸根离子等通过,容易促进碳酸根离子等向捕捉材料10的供给。

[0137] 作为多孔质膜102a的平均细孔径的下限,从使碳酸根离子等通过的观点出发,可以为0.38nm,可以为0.50nm,也可以为1.00nm。作为上述平均细孔径的上限,从抑制碳酸铁等的通过的观点出发,可以为20nm,可以为15nm,也可以为10nm。

[0138] (脱气促进机构)

[0139] 脱气促进机构103配置于储存槽102的上部。脱气促进机构103将在溶液20中上升而从溶液20的液面释放的气体排出到捕捉装置1之外。脱气促进机构103将上述气体排出到捕捉装置1之外,以降低与溶液20接触的气体的压力。通过降低与溶液20接触的气体的压力,脱气促进机构103使溶液20的溶解氧的含量降低。由此,溶液20中的溶解氧的氧化作用降低,容易维持溶液20中的2价铁离子的比率增大的状态。

[0140] 脱气促进机构103也可以代替降低与溶液20接触的气体的压力,而以降低上述气体中的氧的分压的方式吹入氧以外的气体。作为这样的气体,例如可列举氮气。

[0141] [第二实施方式]

[0142] 图5的二氧化碳捕捉模块201具备二氧化碳捕捉材料210、以覆盖二氧化碳捕捉材料210的方式与二氧化碳捕捉材料210接触的溶液20、和向溶液20供给二氧化碳的供给部30。如图5所示,捕捉模块201配置于二氧化碳捕捉装置2。

[0143] 捕捉模块201能够使溶解有二氧化碳的溶液20以覆盖捕捉材料210的方式与捕捉材料210充分接触。溶解的二氧化碳的一部分变为碳酸根离子等。捕捉材料210能够容易地捕捉溶解在溶液20中的碳酸根离子等。通过溶液20与捕捉材料210充分接触,容易抑制捕捉材料210的氧化等引起的变质。捕捉模块201具备后述的电压施加机构280,因此能够促进离子从捕捉材料210溶出,并且能够容易地控制捕捉材料210的电位。因此,捕捉模块201的二氧化碳的捕捉效率优异。

[0144] <二氧化碳捕捉模块>

[0145] 捕捉模块201通过使溶解有二氧化碳的溶液20以覆盖捕捉材料210的方式与捕捉材料210充分接触,利用捕捉材料10捕捉在溶液20中生成的碳酸根离子等。捕捉模块201具备:溶解促进机构40,促进二氧化碳向溶液20的溶解;溶液调整机构60,向溶液20供给酸性物质、还原剂、金属离子螯合剂和助洗剂中的至少一种;显示机构90,显示捕捉材料10的活性的降低;以及电压施加机构280,对捕捉材料210施加电压。在本实施方式中,溶液20、供给部30、溶解促进机构40、溶液调整机构60以及显示机构90能够与第一实施方式相同。捕捉装置2除了捕捉模块201以外,可以与第一实施方式相同。以下,对捕捉材料210和电压施加机构280进行说明。

[0146] (二氧化碳捕捉材料)

[0147] 捕捉材料210是以铁或铁合金为主成分的板状构件。关于铁或铁合金,能够设为与第一实施方式相同,因此省略说明。

[0148] (电压施加机构)

[0149] 电压施加机构280具有与捕捉材料210的板面对置的板状的对电极281、以及与捕捉材料210和对电极281连接的电压施加部282。捕捉材料210和对电极281隔开间隔配置。作为对电极281的材质,例如可列举铂。电压施加部282与捕捉材料210和对电极281例如通过被绝缘包覆的导线等连接。电压施加机构280例如通过对捕捉材料210施加正电压,促进2价铁离子从捕捉材料210向溶液20溶出。

[0150] 电压施加机构280对捕捉材料210施加的电压的方向及其大小根据溶液20的pH适当设定。上述电压的方向及其大小也可以控制成捕捉材料210的电位满足式(3)至式(5)、或式(6)及式(7)。

[0151] 电压施加机构280也可以在捕捉材料210和对电极281中施加了负电压的一侧进行控制,以使溶液20中所含的铁离子还原(阴极还原)。由此,能够降低溶液20中的3价铁离子的含量,并且增大2价铁离子的含量。

[0152] [第三实施方式]

[0153] 图6的二氧化碳捕捉模块301具备二氧化碳捕捉材料、以覆盖二氧化碳捕捉材料的方式与二氧化碳捕捉材料接触的溶液20、和向溶液20供给二氧化碳的供给部330。在图6中,捕捉模块301配置于二氧化碳捕捉用洗涤器3。

[0154] 捕捉模块301能够使溶解有二氧化碳的溶液20以覆盖捕捉材料的方式与捕捉材料充分接触。溶解的二氧化碳的一部分变为碳酸根离子等。因此,捕捉材料能够容易地捕捉溶解于溶液20中的碳酸根离子等。通过溶液20与捕捉材料充分接触,容易抑制捕捉材料的氧化等导致的变质。因此,捕捉模块301的二氧化碳的捕捉效率优异。

[0155] 捕捉模块301及捕捉用洗涤器3的大小根据使用场所或目的适当设定。以下,对捕捉模块301及具备捕捉模块301的捕捉用洗涤器3进行详细说明。

[0156] <二氧化碳捕捉模块>

[0157] 捕捉模块301通过使溶解有二氧化碳的溶液20以覆盖捕捉材料的方式与捕捉材料接触,利用捕捉材料捕捉在溶液20中生成的碳酸根离子等。捕捉模块301具备多个捕捉材料。捕捉模块301具备容纳多个捕捉材料的容纳部340和向多个捕捉材料散布溶液20的散布机构350。

[0158] 捕捉模块301的捕捉材料、溶液20及供给部330配置于容器。捕捉材料以容纳于容纳部340的状态配置于容器内,溶液20通过散布机构350散布于容器内,供给部330设置为能够向容器内供给二氧化碳。作为容器,例如可列举后述的壳体303。

[0159] (二氧化碳捕捉材料)

[0160] 作为捕捉模块301中的捕捉材料,能够使用与第一实施方式中的捕捉材料10相同的材料。在捕捉模块301中,捕捉材料也可以与第一实施方式中的捕捉材料10同样地配置于支承体71a、71b、71c。捕捉模块301也可以与第一实施方式同样地具备多个支承体71a、71b、71c。多个支承体71a、71b、71c也可以相互隔开间隔地配置,此时,也可以与第一实施方式同样地在支承体71a、71b、71c之间配置间隔件。在捕捉模块301中,多个捕捉材料、多个支承体及上述间隔件作为整体构成二氧化碳捕捉单元。

[0161] (溶液)

[0162] 溶液20由散布机构350散布,从而以连续覆盖多个捕捉材料的方式与多个捕捉材料接触。作为捕捉模块301中的溶液20,能够使用与第一实施方式中的溶液20相同的溶液。即,溶液20可以包含促进二氧化碳在溶液20中的溶解的溶解促进剂,也可以包含pH缓冲剂,也可以包含在溶液20中显示酸性的盐,也可以包含用于促进从捕捉材料溶出的铁离子的碳酸化的碳酸化促进剂。

[0163] (容纳部)

[0164] 容纳部340是容纳多个捕捉材料的容器。容纳部340容纳捕捉单元整体。储存部340

具有供溶液20通过的多个开口。容纳部340具有多个开口,这些多个开口成为用于使由散布机构350从上方散布的溶液20以覆盖多个捕捉材料的方式与多个捕捉材料接触并通过多个捕捉材料从下方流出的流路。捕捉模块301通过具备容纳部340,容易以与容纳于预定的位置的多个捕捉材料均匀接触的方式供给溶液20。

[0165] (散布机构)

[0166] 散布机构350配置于比容纳部340靠上方的位置。散布机构350从上方向容纳部340散布溶液20。散布机构350以将溶液20均匀地散布于容纳部340的方式设置。捕捉模块301通过散布机构350使溶液20与多个捕捉材料均匀地接触,从而容易提高二氧化碳的捕捉效率。由散布机构350散布的溶液20与从供给部330供给并向后述的脱气促进机构304移动的二氧化碳以表面积大的液滴的状态接触。因此,容易进一步提高二氧化碳的捕捉效率。此外,根据捕捉模块301,由散布机构350散布的溶液20不会滞留于容纳部340。因此,容易将溶液20控制为适当的pH。

[0167] (供给部)

[0168] 供给部330向容纳部340供给包含二氧化碳的气体。在图6中,供给部330设置为从下方向容纳部340供给包含二氧化碳的气体。捕捉模块301具有由散布机构350散布的溶液20通过容纳部340向下方落下的流路。供给部330从容纳部340的下方向该流路内供给包含二氧化碳的气体。供给部330以供给至上述流路内的二氧化碳在容纳部340内溶解于溶液20的方式设置。供给部330也可以设置为用二氧化碳充满上述流路内。

[0169] 供给部330向上述流路内喷出包含二氧化碳的气体。作为从供给部330供给的气体中的二氧化碳的分压的下限,从使二氧化碳均匀地溶解于由散布机构350散布的溶液20的观点出发,可以为0.005MPa,也可以为0.010MPa。作为上述分压的上限,从捕捉模块301的操作性的观点出发,例如能够设为0.99MPa。作为上述分压,可以为0.005MPa以上且0.99MPa以下,也可以为0.010MPa以上且0.99MPa以下。

[0170] <二氧化碳捕捉用洗涤器>

[0171] 捕捉用洗涤器3是湿式洗涤器。捕捉用洗涤器3具备捕捉模块301,将溶液20散布于捕捉材料。捕捉用洗涤器3具备:壳体303,配置有捕捉模块301;脱气促进机构304,排出壳体303内的气体;及泵305,将从容纳部340流出的溶液20循环至散布机构350。

[0172] 由于捕捉用洗涤器3具备捕捉模块301,因此二氧化碳的捕捉效率优异。

[0173] (壳体)

[0174] 壳体303具有上下延伸的筒状部、和配置于筒状部的下方的储存部。筒状部例如为圆筒状。在筒状部的上部配置有散布机构350。在筒状部的比散布机构350靠下侧的位置配置有容纳部340。容纳部340以在筒状部的轴向的一部分堵塞筒状部的内部空间的方式设置。在筒状部的比容纳部340靠下方的周壁连接有供给部330。筒状部的内部空间中的比散布机构350靠下侧的区域构成溶液20的流路。

[0175] 储存部与筒状部的下端部连续地设置。储存部储存由散布机构350散布并通过了容纳部340的溶液20。在储存于储存部的溶液20中可以溶解有二氧化碳。

[0176] 在储存部连接有供水机构306以及排水机构307。供水机构306和排水机构307为了调节储存于储存部的溶液20的pH,可以向储存部供给溶液20,或者排出储存于储存部的溶液20。供水机构306也可以设置为溶液调整机构。也可以在储存部设置显示机构。

[0177] (脱气促进机构)

[0178] 脱气促进机构304配置于比容纳部340靠上方的位置。脱气促进机构304例如配置于上述筒状部的顶部。关于脱气促进机构304的功能,能够设为与第一实施方式所涉及的脱气促进机构103相同,因此省略说明。

[0179] (泵)

[0180] 泵305将储存于储存部的溶液20抽上来,使其在散布机构350中循环。

[0181] [第四实施方式]

[0182] [二氧化碳捕捉方法]

[0183] 图7的二氧化碳捕捉方法具备使碳酸根离子或碳酸氢根离子与被溶液覆盖的二氧化碳捕捉材料接触的工序(以下也称为“接触工序S2”)。二氧化碳捕捉方法具备使二氧化碳溶解于溶液的工序(以下,也称为“溶解工序S1”)。

[0184] 二氧化碳捕捉方法中,溶液以覆盖捕捉材料的方式与捕捉材料充分接触,因此捕捉材料能够容易地捕捉溶解于溶液中的碳酸根离子等。通过上述溶液与捕捉材料充分接触,容易抑制捕捉材料的氧化等导致的变质。因此,二氧化碳捕捉方法的二氧化碳的捕捉效率优异。

[0185] 二氧化碳捕捉方法可以使用捕捉模块101、捕捉模块201或捕捉模块301来进行。以下,对二氧化碳捕捉方法进行详细说明。

[0186] (溶解工序)

[0187] 溶解工序S1通过从捕捉模块101、201的供给部30向溶液20供给包含二氧化碳的气体来进行。或者,溶解工序S1通过从供给部330向由捕捉模块301的散布机构350散布的溶液20供给包含二氧化碳的气体来进行。

[0188] 在溶解工序S1中,可以通过溶解促进机构40促进二氧化碳在溶液20中的溶解。在溶解工序S1中,也可以通过分散机构50使多个捕捉材料在溶液20中分散。在溶解工序S1中,可以通过溶液调整机构60向溶液20供给酸性物质、还原剂、金属离子螯合剂和助洗剂中的至少一种,也可以通过显示机构90显示捕捉材料的活性的降低。溶液20可以包含碳酸化促进剂21。如果是使用第二实施方式中记载的捕捉模块201的情况,则也可以对捕捉材料210施加正电压。

[0189] (接触工序)

[0190] 在接触工序S2中,通过使捕捉材料与碳酸根离子等接触,使捕捉材料捕捉碳酸根离子等。更具体而言,通过使从捕捉材料溶出的2价铁离子与碳酸根离子等键合,捕捉碳酸根离子等。在接触工序S2中,使在溶液20中生成的碳酸根离子等与浸渍在溶液20中的捕捉材料10接触。或者,在接触工序S2中,使包含碳酸根离子等的溶液20通过捕捉模块301的容纳部340,从而使碳酸根离子等与多个捕捉材料10接触。

[0191] 在二氧化碳捕捉方法中,作为使一个捕捉材料捕捉碳酸根离子等的步骤,依次进行溶解工序S1和接触工序S2。作为捕捉模块101、201、301整体,能够并行地进行溶解工序S1和接触工序S2。此时,溶液20中的二氧化碳的溶解速度可以为捕捉材料10的碳酸化速度以下。

[0192] 二氧化碳捕捉方法可以在接触工序S2后具备回收捕捉到碳酸根离子等的捕捉材料的工序(也称为“回收工序”)。

[0193] [其他实施方式]

[0194] 应该认为本发明的实施方式在所有方面都是例示而非限制性的。本发明的范围并不限定于上述实施方式所涉及的构成,由权利要求书示出,意图包含与权利要求书等同的含义和范围内的全部变更。

[0195] 捕捉模块也可以配置于上述实施方式所记载的捕捉装置及捕捉用洗涤器以外的装置。

[0196] 捕捉材料的配置方式不限于上述实施方式所记载的构成。例如,捕捉材料也可以不配置于支承体。捕捉材料也可以以配置于多孔质颗粒的状态进一步配置于其他支承体。

[0197] 在上述实施方式中,捕捉材料为颗粒状或板状,但本发明的构成不限于此。捕捉材料例如可以是块状,在该情况下,从使处理容易的观点出发,捕捉材料可以是收容于30cm见方的大小。

[0198] 溶液可以包含乳化剂(表面活性剂)。通过这样使溶液包含乳化剂,乳化剂吸附于捕捉材料而形成胶束,因此能够抑制捕捉材料凝集,并且能够容易地维持捕捉材料的适当的粒径。

[0199] 作为乳化剂的HLB值的下限,从充分抑制捕捉材料的凝集的观点出发,可以为4,也可以为6。作为乳化剂的HLB值的上限,没有特别限定,例如可以设为20。作为乳化剂的HLB值,可以为4以上且20以下,也可以为6以上且20以下。

[0200] 作为由乳化剂形成的胶束的Zeta电位的绝对值的下限,从保持上述胶束的稳定性的观点出发,可以为20mV,也可以为25mV。作为胶束的Zeta电位的绝对值的上限,没有特别限定,例如可以设为40mV。作为胶束的Zeta电位的绝对值,可以为20mV以上且40mV以下,也可以为25mV以上且40mV以下。

[0201] 在上述实施方式中,使用水作为溶液的溶剂,但本发明并不限定于此。作为溶剂,例如可以使用有机溶剂。

[0202] 溶解促进机构及分散机构中的一者或两者在能够利用捕捉材料适当地捕捉二氧化碳的情况下可以省略。溶液也可以为不含溶解促进剂和pH缓冲剂中的一者或两者的构成。捕捉模块只要是能够防止捕捉材料的活性降低的情况或能够预测活性降低的情况等,也可以不具备显示机构及溶液调整机构。

[0203] 在上述实施方式中,作为碳酸化促进剂使用了颗粒状的碳酸化促进剂,但碳酸化促进剂不限于颗粒状。碳酸化促进剂例如可以为包含碳酸铁等的淤渣、溶液。碳酸化促进剂可以是晶体结构与碳酸铁等类似的颗粒、多孔质材料。

[0204] 在上述实施方式中,记载了碳酸化促进剂夹着多孔质膜与捕捉材料隔开配置的情况,但碳酸化促进剂例如也可以与捕捉材料隔开间隔地配置于支承体。在捕捉模块具有多个支承体的情况下,也可以具有仅配置碳酸化促进剂的支承体和仅配置捕捉材料的支承体。

[0205] 实施例

[0206] 以下,通过实施例更具体地说明本发明,但本发明并不限定于以下的实施例。

[0207] [No.1]

[0208] 按照以下的步骤制作包含二氧化碳捕捉模块的装置,向该装置注入CO_2气体。

[0209] 在从鼓泡装置(水制作(株式会社)制、产品名:水制作装置S)的活性炭盒取出活性

炭而形成的空间中容纳被无纺布包裹的20g粉末状的二氧化碳捕捉材料。作为二氧化碳捕捉材料,使用高压缩性雾化纯铁粉((株式会社)神户制钢所制、产品编号:Atmel(注册商标)300M)。二氧化碳捕捉材料的平均粒径为80μm。然后,将该鼓泡装置配置在水槽(宽度100mm、进深100mm、高度150mm)中。将该水槽配置于立方体形状的反应容器内。

[0210] 以鼓泡装置完全浸渍的方式向水槽供给溶液。溶液为蒸馏水。在鼓泡装置上连接气泵(AS ONE(株式会社)制、产品编号:SA-1200S)。在反应容器中配置CO_2传感器(新COSMOS电机(株式会社)制、产品编号:XP-3340II),始终监视CO_2浓度。向反应容器中注入CO_2气体,在CO_2浓度达到95体积%的时刻停止CO_2气体的注入。即,在反应容器内形成95体积%的CO_2和5体积%的空气的混合气氛。在该状态下将反应容器放置一定时间。

[0211] [No.2]

[0212] 除了在鼓泡装置中未容纳二氧化碳捕捉材料以外,按照与No.1同样的步骤制作装置,注入CO_2气体。

[0213] [No.3]

[0214] 除了在蒸馏水中以成为0.2质量%的含量的方式添加柠檬酸以外,按照与No.1同样的步骤制作装置,注入CO_2气体。

[0215] [No.4]

[0216] 在鼓泡装置中不容纳二氧化碳捕捉材料,在蒸馏水中以达到0.2质量%的含量的方式添加柠檬酸,除此之外,按照与No.1同样的步骤制作装置,注入CO_2气体。

[0217] [No.5]

[0218] 除了在蒸馏水中以成为2.0质量%的含量的方式添加柠檬酸以外,按照与No.1同样的步骤制作装置,注入CO_2气体。

[0219] [No.6]

[0220] 除了在蒸馏水中以成为10.0质量%的含量的方式添加柠檬酸以外,按照与No.1同样的步骤制作装置,注入CO_2气体。

[0221] [No.7]

[0222] 除了在蒸馏水中以成为30.0质量%的含量的方式添加柠檬酸以外,按照与No.1同样的步骤制作装置,注入CO_2气体。

[0223] [No.8]

[0224] 在No.8中,使用了在No.6中由CO_2传感器计测的反应容器内的CO_2的含量成为0体积%后的装置。在该装置中,在溶液中未残留铁粉,在鼓泡装置中追加20g与No.1同样的二氧化碳捕捉材料(铁粉),以与No.1同样的步骤注入CO_2气体。

[0225] [No.9]

[0226] 在No.9中,使用在No.8中由CO_2传感器计测的反应容器内的CO_2的含量成为0体积%后的装置。在该装置中,在溶液中未残留铁粉,在鼓泡装置中追加20g与No.1同样的二氧化碳捕捉材料(铁粉),以与No.1同样的步骤注入CO_2气体。

[0227] [No.10]

[0228] 除了在反应容器内形成60体积%的CO_2和40体积%的空气的混合气氛以外,按照与No.5同样的步骤制作装置,注入CO_2气体。

[0229] [No.11]

[0230] 除了在反应容器内形成15体积%的CO_2和85体积%的空气的混合气氛以外,按照与No.5同样的步骤制作装置,注入CO_2气体。

[0231] [评价]

[0232] 算出No.1至No.11的装置中的CO_2的减少量[g]相对于二氧化碳捕捉材料的质量[kg]之比作为"CO_2捕捉效率"。表1中示出No.1至No.11的装置的CO_2捕捉效率。表1中示出各个装置的溶液的pH和氧的含量。No.9的溶液的pH是指实验结束时(即,CO_2浓度成为0体积%的时刻)的值,除此以外的pH是指实验开始时的值。在表1中用"-"表示的部位意味着不存在数据。CO_2捕捉效率的列中的"-"意味着在该时刻CO_2浓度已经成为0体积%。各装置的溶液中的二氧化碳捕捉材料(铁粉)的电位(V vs.SHE)推定为0.0V至0.4V。

[0233] [表1]

[0234]

	铁粉的有无	溶液的pH	氧的含量[体积%]	200分钟后的CO_2捕捉效率[g/kg]	1000分钟后的CO_2捕捉效率[g/kg]	2000分钟后的CO_2捕捉效率[g/kg]
No.1	有	3.8-4.1	1.05	40	120	190
No.2	无	3.8-4.1	1.05	40	60	75
No.3	有	2.8	1.05	60	200	-
No.4	无	2.8	1.05	0	0	5
No.5	有	2.2	1.05	140	620	-
No.6	有	1.8	1.05	500	-	-
No.7	有	1.4	1.05	660	-	-
No.8	有	-	1.05	460	-	-
No.9	有	2.7	1.05	360	-	-
No.10	有	2.2	8.40	140	-	-
No.11	有	2.2	17.85	280	-	-

[0235] 具有二氧化碳捕捉材料(铁粉)的No.1的CO_2捕捉效率在200分钟后的时刻与不具有二氧化碳捕捉材料的No.2同等,但随着时间经过显示出比No.2高的CO_2捕捉效率。No.1的CO_2捕捉效率始终高于不具有二氧化碳捕捉材料的No.4。

[0236] 根据No.1、No.3、No.5至No.7的比较,溶液的pH越小,CO_2捕捉效率越高。推测溶液的pH为1.4的No.7与溶液的pH为3.8-4.1的No.1相比,CO_2捕捉效率高16.5倍。

[0237] 根据No.6、No.8和No.9的比较,启示了通过在溶液中消耗铁粉,pH的值能够上升,以及与此相伴,CO_2捕捉效率能够降低。但是,No.9依然维持高的CO_2捕捉效率,与No.6相比,显示出70%左右的CO_2捕捉效率。

[0238] 由No.5、No.10和No.11所示,溶液的pH低于3.0时,溶液接触的气体的氧浓度大时,也能够维持CO_2捕捉效率。认为其主要原因在于,若溶液的pH小,则溶液中2价铁离子容易稳定。

[0239] 由以上可知,通过与二氧化碳捕捉材料以被溶液覆盖的方式接触,显示出高的CO_2捕捉效率;通过调整溶液的pH,能够提高CO_2捕捉效率;以及在容易暴露于氧气中的通常的工业设备、居住空间等中也能够维持CO_2捕捉效率。

[0240] 附图标记说明

[0241] 1、2:二氧化碳捕捉装置;

[0242] 3:二氧化碳捕捉用洗涤器;

[0243] 10、210:二氧化碳捕捉材料;

[0244] 20:溶液;

[0245] 21:碳酸化促进剂;

[0246] 30、330:供给部;

[0247] 40:溶解促进机构;

[0248] 50:分散机构(超声波产生装置);

[0249] 60:溶液调整机构;

[0250] 70:二氧化碳捕捉单元;

[0251] 71a、71b、71c:支承体;

[0252] 72:间隔件;

[0253] 90:显示机构(pH指示剂或pH计);

[0254] 280:电压施加机构;

[0255] 281:对电极;

[0256] 282:电压施加部;

[0257] 101、201、301:二氧化碳捕获模块;

[0258] 102:储存槽;

[0259] 102a:多孔质膜;

[0260] 103、304:脱气促进机构;

[0261] 303:壳体;

[0262] 305:泵;

[0263] 306:供水机构;

[0264] 307:排水机构;

[0265] 340:容纳部;

[0266] 350:散布机构。

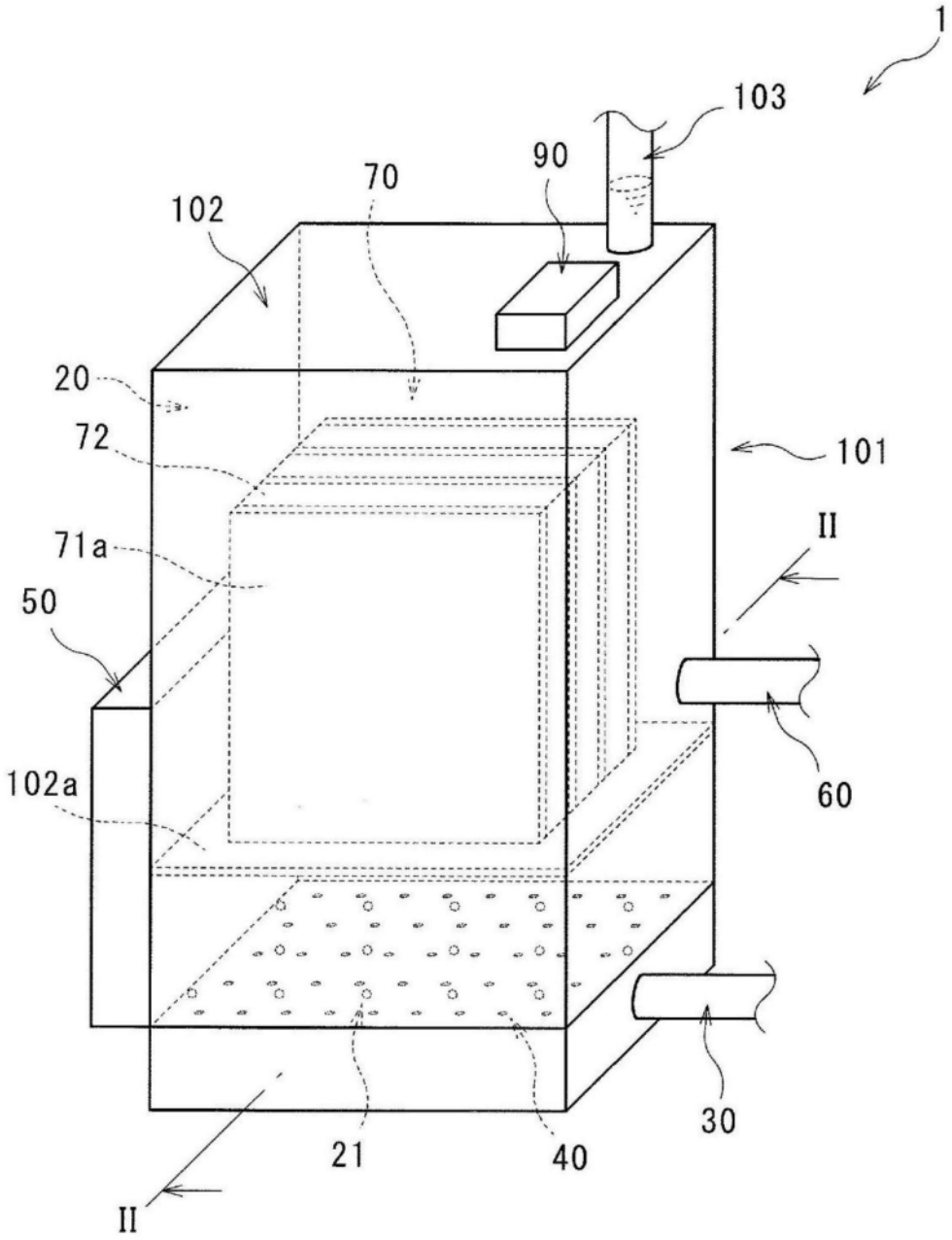


图1

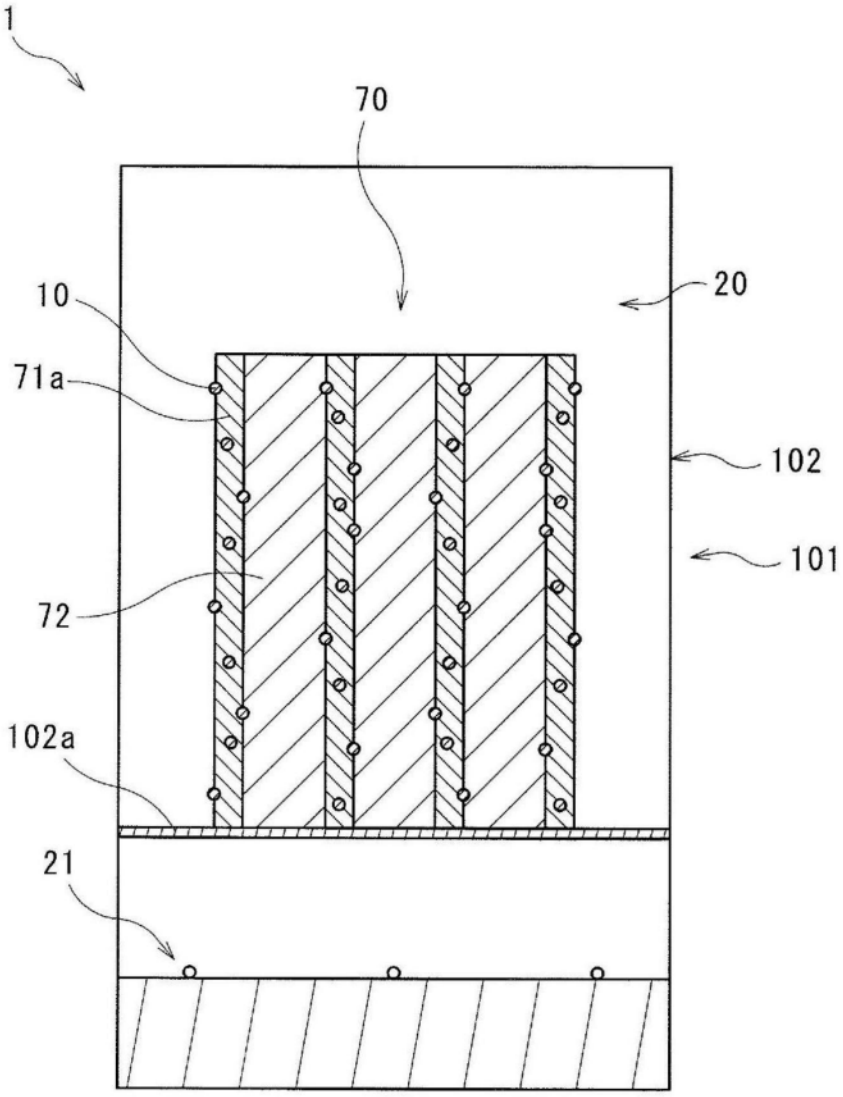


图2

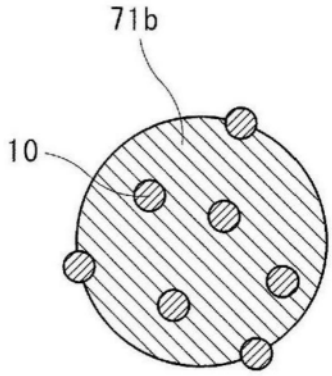


图3

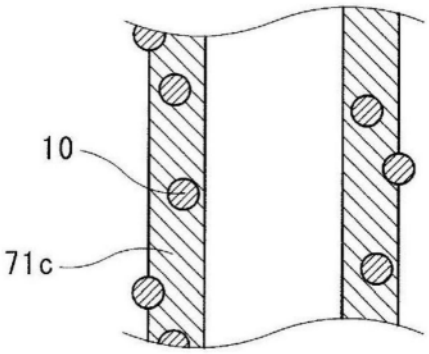


图4

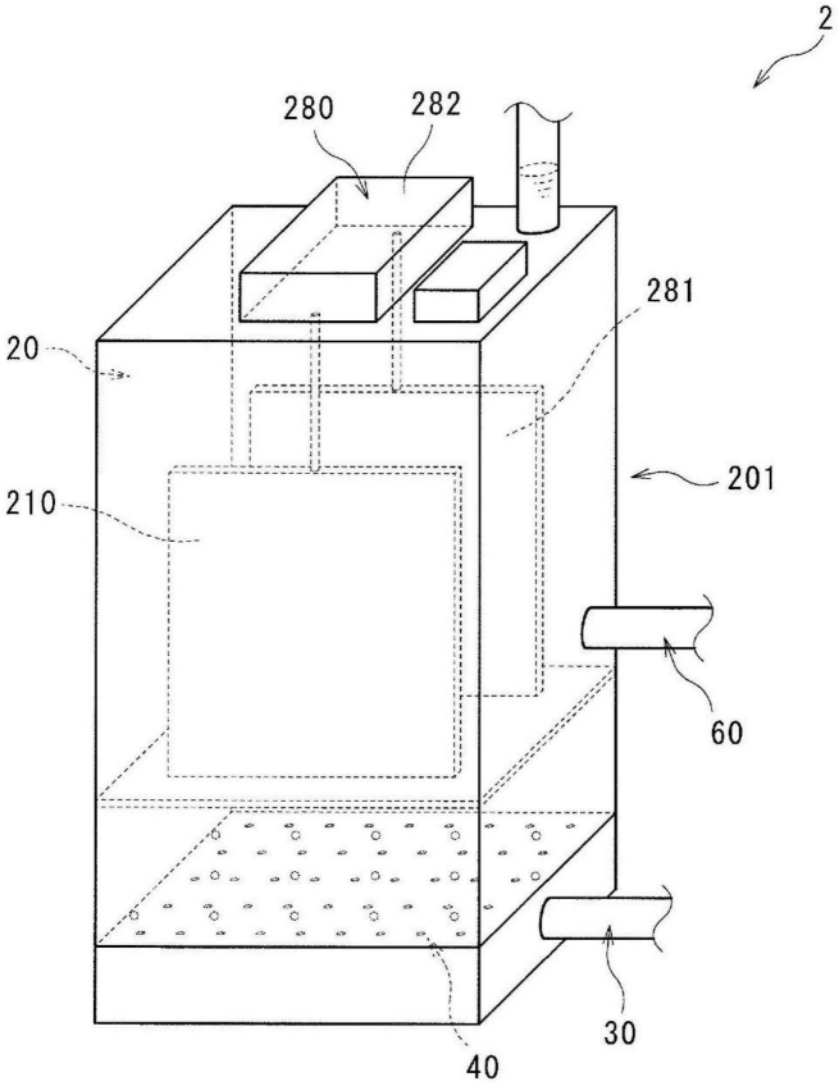


图5

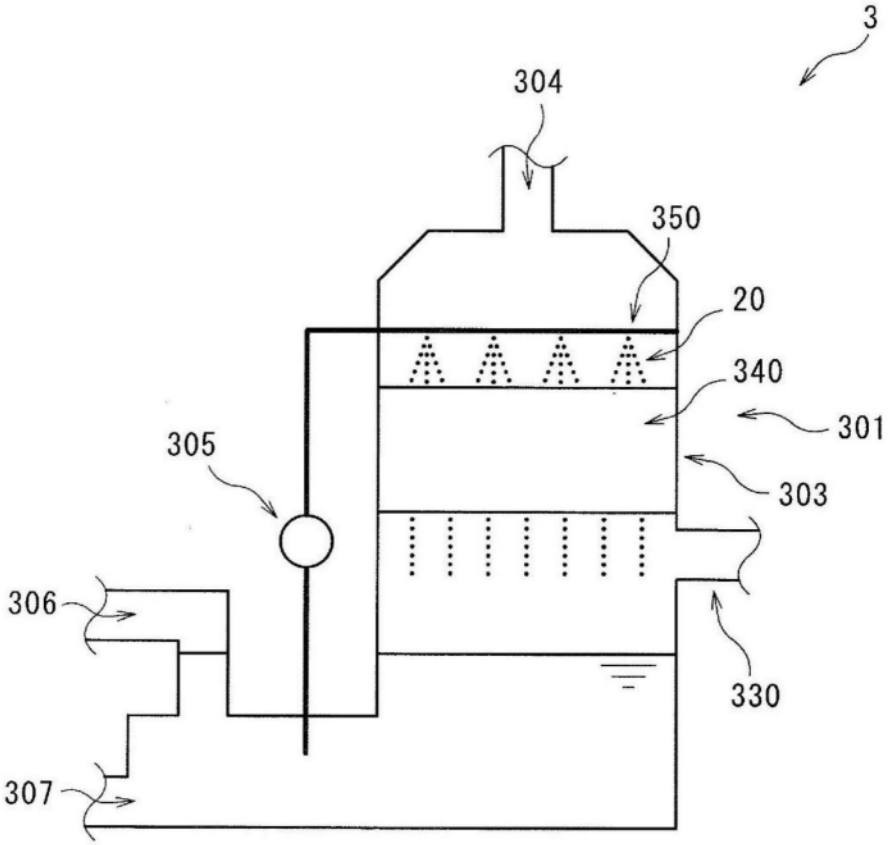


图6

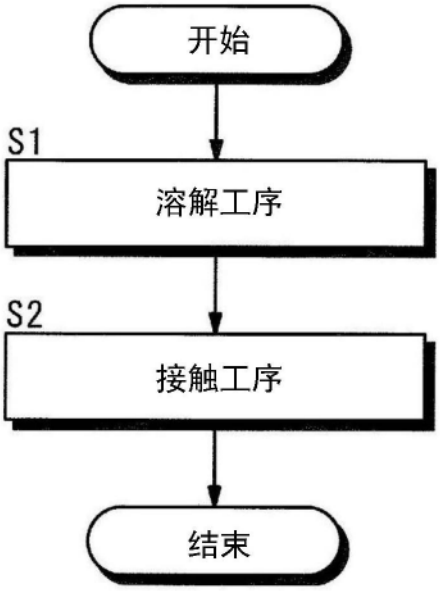


图7