(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 118555988 A
(43)申请公布日 2024.08.27

(21)申请号 202280081055.2
(22)申请日 2022.12.07
(30)优先权数据
63/286,903 2021.12.07 US
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2024.06.06
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2022/052175 2022.12.07
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2023/107578 EN 2023.06.15
(71)申请人 碳工程公司
地址 加拿大不列颠哥伦比亚省
(72)发明人 J·M·雷帕斯基
D·E·奥姆斯泰德
M·L·奥布莱恩
T·J·P·巴斯蒂达斯
T·E·威尔克
(74)专利代理机构 北京市柳沈律师事务所 11105
专利代理师 李真
(51)Int.Cl.
B01D 53/14(2006.01)
B01D 53/18(2006.01)

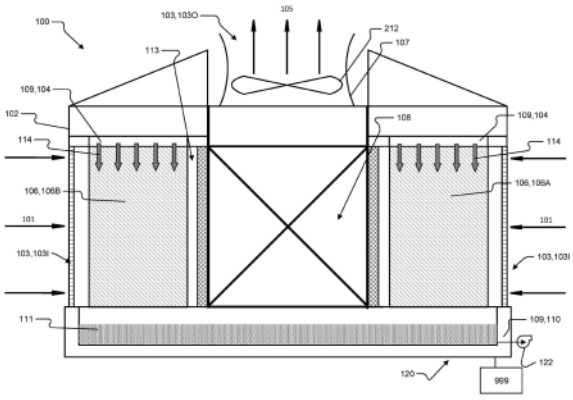
权利要求书4页 说明书32页 附图13页

(54)发明名称

捕获二氧化碳

(57)摘要

用于从稀气体混合物中捕获二氧化碳(CO_2)的穿孔填充物包括至少一个穿孔结构体和进料结构体。至少一个穿孔结构体包括如下的主体,所述主体包括界定主体的内部体积和暴露于稀气体混合物的外部表面的至少一个壁;以及如下的多个穿孔,所述多个穿孔延伸通过内部体积和外部表面之间的至少一个壁。进料结构体流体耦合至主体,并且可操作所述进料结构体以使CO_2捕获溶液通过多个穿孔流动到主体内部体积中,并且沿着外部表面流动以沿着外部表面的至少一部分形成CO_2捕获溶液的液体膜,CO_2捕获溶液的所述液体膜配置为从稀气体混合物中吸收CO_2。



CN 118555988 A

1.用于从稀气体混合物中捕获二氧化碳(CO_2)的穿孔填充物,所述穿孔填充物包含:

至少一个包含以下的穿孔结构体:

包含以下的主体:

至少一个壁,所述至少一个壁界定主体的内部体积和暴露于稀气体混合物的外部表面;以及

多个穿孔,所述多个穿孔延伸通过内部体积和外部表面之间的至少一个壁;以及

进料结构体,所述进料结构体流体耦合至主体并且可操作所述进料结构体以使CO_2捕获溶液通过多个穿孔流动到主体的内部体积中,并且沿着外部表面流动以沿着外部表面的至少一部分形成CO_2捕获溶液的液体膜,所述CO_2捕获溶液的液体膜配置为从稀气体混合物中吸收CO_2。

2.权利要求1的穿孔填充物,其中进料结构体包含至少一个进料导管,所述进料导管界定流体耦合至主体的进料导管内部体积。

3.权利要求2的穿孔填充物,其中至少一个进料导管包含至少一个导管开口,进料导管内部体积通过所述至少一个导管开口流体耦合至主体的内部体积。

4.权利要求2或权利要求3的穿孔填充物,其中主体沿着纵向轴线延伸,并且至少一个进料导管沿着横向于纵向轴线的进料导管轴线延伸。

5.权利要求4的穿孔填充物,其中:

至少一个穿孔结构体包含多个穿孔结构体;并且

多个穿孔结构体中的每一个穿孔结构体的主体具有流体耦合至进料导管内部体积的入口,多个穿孔结构体的所述入口在平行于进料导管轴线的方向间隔开。

6.权利要求5的穿孔填充物,其中多个穿孔结构体中的每一个的多个穿孔设置在相应的穿孔结构体的入口下方。

7.权利要求2至6任一项的穿孔填充物,其中至少一个进料导管具有水平取向,所述至少一个进料导管包含如下的多个进料导管穿孔,其延伸通过至少一个进料导管的至少下部。

8.权利要求2至6任一项的穿孔填充物,其中至少一个进料导管具有水平取向,并且至少一个穿孔结构体从至少一个进料导管竖直向下延伸。

9.权利要求2的穿孔填充物,其中至少一个进料导管具有竖直取向,至少一个穿孔结构体从至少一个进料导管水平延伸。

10.权利要求1至9任一项的穿孔填充物,其中多个穿孔的相邻穿孔之间的距离大于多个穿孔中的每一个的直径的2倍并且小于多个穿孔中的每一个的直径的10倍。

11.权利要求1的穿孔填充物,其中至少一个穿孔结构体以非平行角度耦合至进料结构体。

12.权利要求1至11任一项的穿孔填充物,其中多个穿孔沿着至少一个壁的整个长度设置。

13.权利要求1至12任一项的穿孔填充物,其中多个穿孔中的每一个穿孔具有小于1.5mm的最大尺寸。

14.权利要求1至13任一项的穿孔填充物,其中多个穿孔中的至少一些布置在至少一个壁上以形成包含六边形、正方形、矩形、三角形或圆形的形状。

15.权利要求1的穿孔填充物,其中至少一个穿孔结构体包括多个穿孔结构体,所述多个穿孔结构体形成如下的布置,其为六边形布置、正方形布置、矩形布置、三角形布置或圆形布置中的至少一种。

16.权利要求1的穿孔填充物,其中:

主体沿着纵向轴线延伸;并且

在垂直于纵向轴线的平面中界定的主体的横截面形状是圆的。

17.权利要求1的穿孔填充物,其中至少一个穿孔结构体包含管状物、板、球或块中的至少一种。

18.权利要求1至17任一项的穿孔填充物,其中至少一个壁的外部表面由多个结构体界定,所述多个结构体包含脊、凹坑、孔、蚀刻部分、颗粒料或纤维中的至少一种。

19.权利要求1至18任一项的穿孔填充物,其中至少一个壁的外部表面包含亲水性表面。

20.权利要求1的穿孔填充物,其中至少一个穿孔结构体包括如下的多个穿孔结构体,所述多个穿孔结构体彼此间隔开以在多个穿孔结构体中的每一个主体之间界定稀气体混合物的多个流动间隙。

21.权利要求1至20任一项的穿孔填充物,其中至少一个穿孔结构体的主体是刚性的。

22.权利要求1至20任一项的穿孔填充物,其中至少一个穿孔结构体的主体是弹性的。

23.用于从环境空气中捕获二氧化碳(CO_2)的气液接触器,所述气液接触器包含:

至少一个入口;

与至少一个入口间隔开的至少一个出口;

在至少一个入口和至少一个出口之间设置的至少一个穿孔填充物,所述至少一个穿孔填充物包含彼此间隔开的多个穿孔结构体,所述多个穿孔结构体中的每一个穿孔结构体包含:

界定内部体积和外部表面的至少一个壁;以及

延伸通过至少一个壁的多个穿孔;

一个或多个槽,所述一个或多个槽包括位于至少部分地在至少一个穿孔填充物以下的底部槽,所述一个或多个槽被配置为容纳CO_2捕获溶液;

扇,可操作所述扇以使环境空气(1)在从至少一个入口至至少一个出口的流动方向流动和(2)沿多个穿孔结构体中的每一个的外部表面流动;以及

液体分配系统,所述液体分配系统流体耦合至多个穿孔结构体中的至少一个,并且可操作所述液体分配系统以使CO_2捕获溶液通过多个穿孔结构体中的至少一个的多个穿孔流动到多个穿孔结构体中的至少一个的内部体积中,并且沿着多个穿孔结构体中的至少一个的外部表面流动,以沿着多个穿孔结构体中的至少一个的外部表面的至少一部分形成CO_2捕获溶液的液体膜,CO_2捕获溶液的所述液体膜被配置为从环境空气中吸收CO_2。

24.权利要求23的气液接触器,其中每一个穿孔结构体沿着横向于环境空气的流动方向的纵向轴线延伸。

25.权利要求23或24的气液接触器,其进一步地包含壳体,所述壳体界定至少部分地暴露于环境空气并且设置在至少一个入口和至少一个出口之间的内部,多个穿孔结构体在内部内间隔开并且形成穿孔结构体的如下的布置,穿孔结构体的所述布置为六边形布置、正

方形布置、矩形布置、三角形布置或圆形布置中的至少一种。

26.权利要求25的气液接触器,其中穿孔结构体的布置包括在平行于流动方向的方向间隔开的多个排的穿孔结构体。

27.权利要求25的气液接触器,其中穿孔结构体的布置具有在平行于流动方向的方向测量的深度,所述深度在2米和10米之间。

28.从稀气体混合物中捕获二氧化碳的方法,其包含:

使稀气体混合物在多个穿孔结构体之间并且沿着多个穿孔结构体中的至少一个的外部表面流动;以及

使在多个穿孔结构体中的至少一个内的CO_2捕获溶液流动通过多个穿孔结构体中的至少一个的穿孔,并且沿着多个穿孔结构体中的至少一个的外部表面流动,以沿着多个穿孔结构体中的至少一个的外部表面的至少一部分形成CO_2捕获溶液的液体膜并且将来自稀气体混合物的CO_2吸收到CO_2捕获溶液的液体膜中。

29.权利要求28的方法,其进一步地包含:

使CO_2捕获溶液沿着第一方向流动通过进料结构体,

其中使在多个穿孔结构体中的至少一个内的CO_2捕获溶液流动包含使在多个穿孔结构体中的至少一个内的CO_2捕获溶液沿着与横向于第一方向的第二方向流动。

30.权利要求29的方法,其中使在多个穿孔结构体中的至少一个内的CO_2捕获溶液沿着第二方向流动包含使CO_2捕获溶液向下流动。

31.权利要求29的方法,其中使在多个穿孔结构体中的至少一个内的CO_2捕获溶液沿着第二方向流动包含使CO_2捕获溶液水平流动。

32.权利要求28至31任一项的方法,其中:

使稀气体混合物流动包含使稀气体混合物沿着流动方向流动;并且

使在多个穿孔结构体中的至少一个内的CO_2捕获溶液流动包含使在多个穿孔结构体中的至少一个内的CO_2捕获溶液沿着横向于流动方向的液体方向流动。

33.权利要求28至32任一项的方法,其中多个穿孔结构体中的至少一个的穿孔沿着相应的穿孔结构体的整个长度设置。

34.权利要求28至33任一项的方法,其中多个穿孔结构体中的至少一个的外部表面包含脊、凹坑、孔、蚀刻部分、颗粒料或纤维中的至少一种。

35.权利要求28至34任一项的方法,其中使CO_2捕获溶液沿着多个穿孔结构体中的至少一个的外部表面流动包含使CO_2捕获溶液沿着多个穿孔结构体中的至少一个的亲水性外部表面流动。

36.权利要求28至35任一项的方法,其中多个穿孔结构包含一个或多个弹性穿孔结构体。

37.权利要求28至36任一项的方法,其中使在多个穿孔结构体中的至少一个内的CO_2捕获溶液流动包括用CO_2捕获溶液填充多个穿孔结构体中的至少一个的整体。

38.权利要求28至37任一项的方法,其中使CO_2捕获溶液流动包含使如下的CO_2捕获溶液流动,其具有在参考温度下大于在所述参考温度下的水的密度的密度。

39.权利要求28至38任一项的方法,其中使CO_2捕获溶液流动包含使CO_2捕获溶液以大于$0.5L/m^2s$并且小于$10L/m^2s$的液体加载速率流动。

40.用于从环境空气中捕获二氧化碳(CO_2)的直接空气捕获(DAC)系统,所述DAC系统包含:

包含以下的空气接触器:

界定内部的壳体,所述壳体包含至少一个入口和至少一个出口;

在至少一个入口和至少一个出口之间在壳体内设置的至少一个穿孔填充物,所述至少一个穿孔填充物包含间隔开的多个穿孔结构体,所述多个穿孔结构体中的每一个穿孔结构体包含:

界定内部体积和外部表面的至少一个壁;以及

延伸通过至少一个壁的多个穿孔;

一个或多个槽,所述一个或多个槽包括位于至少部分地在至少一个穿孔填充物以下的底部槽,所述一个或多个槽被配置为容纳CO_2捕获溶液;

扇,可操作所述扇以使环境空气(1)在从至少一个入口至至少一个出口的流动方向流通和(2)沿多个穿孔结构体中的每一个的外部表面流通;以及

液体分配系统,所述液体分配系统流体耦合至多个穿孔结构体中的至少一个,并且可操作所述液体分配系统以使CO_2捕获溶液通过多个穿孔结构体中的至少一个的多个穿孔流动到多个穿孔结构体中的至少一个的内部体积中,并且沿着多个穿孔结构体中的至少一个的外部表面流动,以沿着多个穿孔结构体中的至少一个的外部表面的至少一部分形成CO_2捕获溶液的液体膜,CO_2捕获溶液的所述液体膜被配置为从环境空气中吸收CO_2;以及

再生系统,所述再生系统与液体分配系统流体连通以接收来自空气接触器的CO_2捕获溶液,所述再生系统配置为使CO_2捕获溶液再生并且形成返回至空气接触器的贫CO_2液体。

捕获二氧化碳

技术领域

[0001] 本公开内容描述用于捕获二氧化碳的系统、设备和方法。

背景技术

[0002] 从大气中捕获二氧化碳(CO_2)是减少温室气体排放和减缓气候变化的一种方法。然而,许多被设计用于从排放的点源(诸如从工业设施的烟气)捕获CO_2的技术一般地在从大气中捕获CO_2方面是无效的,原因是显著地更低的CO_2浓度以及需要处理的大量的大气空气。近年来,在寻找更适合直接从大气中捕获CO_2的技术方面取得了进展。这些直接空气捕获(DAC)系统中的一些使用固体吸附剂,其中活性试剂附着于基体。这些DAC系统典型地采用循环吸附-解吸工艺,其中在固体吸附剂被CO_2饱和后,其使用湿度或热震荡来释放CO_2并且再生。

[0003] 其它DAC系统使用液体吸附剂(有时被称为溶剂)以从大气中捕获CO_2。这样的DAC系统的实例是使用扇以抽动空气穿过用包含液体吸附剂的溶液湿润的高表面积填充物的一个实例。空气中的CO_2与液体吸附剂反应以生成富CO_2溶液。富溶液被处理以生成贫溶液,并且将例如CO、CO_2或其它碳产物作为浓缩碳物流释放。

发明内容

[0004] 在实施实例中,用于从稀气体混合物中捕获二氧化碳的系统包括一个或多个穿孔结构体,每一个包括内部体积、外部表面和多个穿孔;以及至少一个流体耦合至一个或多个穿孔结构体的进料结构体。可操作至少一个进料结构体使第一流体流到一个或多个穿孔结构体的内部体积中;并且可操作一个或多个穿孔结构体的多个穿孔以使第一流体流动。

[0005] 在可与实施实例结合的方面中,一个或多个穿孔结构体以非平行角度耦合至至少一个进料结构体。

[0006] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,一个或多个穿孔结构体以垂直角度耦合至至少一个进料结构体。

[0007] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,可操作第一流体以从一个或多个穿孔结构体的第一穿孔结构体流向第二穿孔结构体。

[0008] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,设置多个穿孔的至少一个穿孔的尺寸以具有小于1.5mm的直径。

[0009] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔的第一穿孔与多个穿孔的第二穿孔间隔开至少0.5mm。

[0010] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔的子集(subset)被布置成形成外部表面上的形状的至少一部分,所述形状包括六边形、正方形、矩形、三角形或圆形。

[0011] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,一个或多个穿孔结构体以这样的布置被间隔开,所述布置为以下的至少一种:六边形、正方形、矩形、三角形或圆形。

[0012] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,一个或多个穿孔结构体包括以下的

至少一种:管状物、板、球或块。

[0013] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,一个或多个穿孔结构体包括多孔材料。

[0014] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,一个或多个穿孔结构体包括多个微结构体,所述微结构体包括脊、凹坑、孔、蚀刻部分、颗粒料或纤维中的至少一种。

[0015] 可与前述方面的任一项结合的另一方面进一步地包括至少部分地位于一个或多个穿孔结构体以下的槽。

[0016] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,可操作一个或多个穿孔结构体以使第一流体与第二流体接触以产生贫CO_2气体。

[0017] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,第一流体包括CO_2捕获溶液,并且第二流体包括负载CO_2的气体。

[0018] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,可操作多个穿孔以使CO_2捕获溶液从内部体积流动到一个或多个穿孔结构体的外部表面。

[0019] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,CO_2捕获溶液在一个或多个穿孔结构体的外部表面上形成液体膜。

[0020] 在另一实施实例中,从稀气体混合物中捕获二氧化碳的方法包括:使第一流体流动通过流体耦合至一个或多个穿孔结构体至少一个进料结构体,所述一个或多个穿孔结构体中的每一个包括内部体积、外部表面和多个穿孔;使第一流体从至少一个进料结构体流动到一个或多个穿孔结构体的内部体积中;以及使第一流体从一个或多个穿孔结构体的内部体积流动通过一个或多个穿孔结构体的多个穿孔。

[0021] 在可与实施实例结合的方面中,一个或多个穿孔结构体以非平行角度耦合至至少一个进料结构体。

[0022] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,一个或多个穿孔结构体以垂直角度耦合至至少一个进料结构体。

[0023] 可与前述方面的任一项结合的另一方面进一步包括使第一流体从一个或多个穿孔结构体的第一穿孔结构体流至第二穿孔结构体。

[0024] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,设置多个穿孔的至少一个穿孔的尺寸以具有小于1.5mm的直径。

[0025] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔的第一穿孔与多个穿孔的第二穿孔间隔开至少0.5mm。

[0026] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔的子集被布置成形成外部表面上的形状的至少一部分,所述形状包括六边形、正方形、矩形、三角形或圆形。

[0027] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,一个或多个穿孔结构体以如下的布置被间隔开,所述布置为以下的至少一种:六边形、正方形、矩形、三角形或圆形。

[0028] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,一个或多个穿孔结构体包括以下的至少一种:管状物、板、球或块。

[0029] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,一个或多个穿孔结构体包括多孔材料。

[0030] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,一个或多个穿孔结构体包括多个微

结构体,所述微结构体包括以下的至少一种:脊、凹坑、孔、蚀刻部分、颗粒料或纤维。

[0031] 可与前述方面的任一项结合的另一方面进一步地包括在至少部分地位于一个或多个穿孔结构体以下的槽中捕获第一流体的一部分。

[0032] 可与前述方面的任一项结合的另一方面进一步地包括使第一流体经由一个或多个穿孔结构体流动与第二流体接触以产生贫CO_2气体。

[0033] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,第一流体包括CO_2捕获溶液,并且第二流体包括负载CO_2的气体。

[0034] 可与前述方面的任一项结合的另一方面进一步地包括使CO_2捕获溶液从内部体积流动到一个或多个穿孔结构体的外部表面。

[0035] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,CO_2捕获溶液在一个或多个穿孔结构体的外部表面上形成液体膜。

[0036] 在另一实施实例中,用于从稀气体混合物中捕获二氧化碳(CO_2)的穿孔填充物包括至少一个穿孔结构体和进料结构体。至少一个穿孔结构体包括如下的主体,所述主体包括界定主体的内部体积和暴露于稀气体混合物的外部表面的至少一个壁;以及如下的多个穿孔,所述多个穿孔延伸通过内部体积和外部表面之间的至少一个壁。进料结构体流体耦合至主体,并且可操作所述进料结构体以使CO_2捕获溶液通过多个穿孔流动到主体内部体积中,并且沿着外部表面流动以沿着外部表面的至少一部分形成CO_2捕获溶液的液体膜,CO_2捕获溶液的所述液体膜配置为从稀气体混合物中吸收CO_2。

[0037] 在可与实施实例结合的方面中,进料结构体包括至少一个进料导管,所述进料导管界定流体耦合至主体的进料导管内部体积。

[0038] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,至少一个进料导管包括至少一个导管开口,进料导管内部体积通过所述至少一个导管开口流体耦合至主体的内部体积。

[0039] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,主体沿着纵向轴线延伸,并且至少一个进料导管沿着横向于纵向轴线的进料导管轴线延伸。

[0040] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,至少一个穿孔结构体包括多个穿孔结构体;并且多个穿孔结构体中的每一个穿孔结构体的主体具有流体耦合至进料导管内部体积的入口,多个穿孔结构体的所述入口在平行于进料导管轴线的方向间隔开。

[0041] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔结构体中的每一个的多个穿孔设置在相应的穿孔结构体的入口下方。

[0042] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,至少一个进料导管具有水平取向,所述至少一个进料导管包括如下的多个进料导管穿孔,其延伸通过至少一个进料导管的至少下部。

[0043] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,至少一个进料导管具有水平取向,并且至少一个穿孔结构体从至少一个进料导管竖直向下延伸。

[0044] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,至少一个进料导管具有竖直取向,至少一个穿孔结构体从至少一个进料导管水平延伸。

[0045] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔的相邻穿孔之间的距离大于多个穿孔中的每一个的直径的2倍并且小于多个穿孔中的每一个的直径的10倍。

[0046] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,至少一个穿孔结构体以非平行角度

耦合至进料结构体。

[0047] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔沿着至少一个壁的整个长度设置。

[0048] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔中的每一个穿孔具有小于1.5mm的最大尺寸。

[0049] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔中的至少一些布置在至少一个壁上以形成包括六边形、正方形、矩形、三角形或圆形的形状。

[0050] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,至少一个穿孔结构体包括如下的多个穿孔结构体,所述多个穿孔结构体形成如下的布置,其为六边形布置、正方形布置、矩形布置、三角形布置或圆形布置中的至少一种。

[0051] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,主体沿着纵向轴线延伸;并且在垂直于纵向轴线的平面中界定的主体的横截面形状是圆的。

[0052] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,至少一个穿孔结构体包括管状物、板、球或块中的至少一种。

[0053] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,至少一个壁的外部表面由多个结构体界定,所述多个结构体包括脊、凹坑、孔、蚀刻部分、颗粒料或纤维中的至少一种。

[0054] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,至少一个壁的外部表面包括亲水性表面。

[0055] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,至少一个穿孔结构体包括如下的多个穿孔结构体,所述多个穿孔结构体彼此间隔开以在多个穿孔结构体中的每一个主体之间界定稀气体混合物的多个流动间隙。

[0056] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,至少一个穿孔结构体的主体是刚性的。

[0057] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,至少一个穿孔结构体的主体是弹性的。

[0058] 在另一实施实例中,用于从环境空气中捕获二氧化碳(CO_2)的气液接触器包括至少一个入口、与至少一个入口间隔开的至少一个出口、设置在至少一个入口和至少一个出口之间的至少一个穿孔填充物、一个或多个配置为容纳CO_2捕获溶液的槽、扇和液体分配系统。至少一个穿孔填充物包括多个彼此间隔开的穿孔结构体。多个穿孔结构体中的每一个穿孔结构体包括界定内部体积和外部表面的至少一个壁,以及延伸通过至少一个壁的多个穿孔。一个或多个槽包括位于至少部分地在至少一个穿孔填充物以下的底部槽。可操作扇以使环境空气(1)在从至少一个入口到至少一个出口的流动方向流动以及(2)沿着多个穿孔结构体中的每一个的外部表面流动。液体分配系统流体耦合至多个穿孔结构体中的至少一个,并且可操作所述液体分配系统以使CO_2捕获溶液通过多个穿孔结构体中的至少一个的多个穿孔流动到多个穿孔结构体中的至少一个的内部体积中,并且沿着多个穿孔结构体中的至少一个的外部表面流动,以沿着多个穿孔结构体中的至少一个的外部表面的至少一部分形成CO_2捕获溶液的液体膜。CO_2捕获溶液的液体膜配置为从环境空气中吸收CO_2。

[0059] 在可与实施实例结合的方面中,每一个穿孔结构体沿着横向于环境空气的流动方向的纵向轴线延伸。

[0060] 可与前述方面的任一项结合的另一方面进一步地包括壳体,所述壳体界定至少部分地暴露于环境空气并且设置在至少一个入口和至少一个出口之间的内部,多个穿孔结构体在内部内间隔开并且形成穿孔结构体的如下的布置,穿孔结构体的所述布置为六边形布置、正方形布置、矩形布置、三角形布置或圆形布置中的至少一种。

[0061] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,穿孔结构体的布置包括在平行于流动方向的方向间隔开的多个排的穿孔结构体。

[0062] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,穿孔结构体的布置具有在平行于流动方向的方向测量的深度,所述深度在2米和10米之间。

[0063] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,穿孔填充物包括流体耦合至多个穿孔结构体中的至少一个的进料结构体,并且可操作所述进料结构体以使CO_2捕获溶液通过多个穿孔结构体中的至少一个的多个穿孔流动到多个穿孔结构体中的至少一个的内部体积中,并且沿着多个穿孔结构体中的至少一个的外部表面流动,以沿着外部表面的至少一部分形成CO_2捕获溶液的液体膜。

[0064] 在可与实施实例结合的方面中,进料结构体包括至少一个进料导管,所述进料导管界定流体耦合至多个穿孔结构体中的至少一个的进料导管内部体积。

[0065] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,至少一个进料导管包括至少一个导管开口,进料导管内部体积通过所述至少一个导管开口流体耦合至多个穿孔结构体中的至少一个的内部体积。

[0066] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,主体沿着纵向轴线延伸,并且至少一个进料导管沿着横向于纵向轴线的进料导管轴线延伸。

[0067] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔结构体中的每一个穿孔结构体的主体具有流体耦合至进料导管内部体积的入口,多个穿孔结构体的所述入口在平行于进料导管轴线的方向间隔开。

[0068] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔结构体中的每一个的多个穿孔设置在相应的穿孔结构体的入口下方。

[0069] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,至少一个进料导管具有水平取向,所述至少一个进料导管包括如下的多个进料导管穿孔,其延伸通过至少一个进料导管的至少下部。

[0070] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,至少一个进料导管具有水平取向,并且多个穿孔结构体中的至少一个穿孔结构体从至少一个进料导管竖直向下延伸。

[0071] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,至少一个进料导管具有竖直取向,多个穿孔结构体中的至少一个穿孔结构体从至少一个进料导管水平延伸。

[0072] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔结构体中的至少一个的多个穿孔的相邻穿孔之间的距离大于多个穿孔中的每一个的直径的2倍并且小于多个穿孔中的每一个的直径的10倍。

[0073] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔结构体中的至少一个以非平行角度耦合至进料结构体。

[0074] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔结构体中的至少一个的多个穿孔沿着至少一个壁的整个长度设置。

[0075] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔结构体中的至少一个的多个穿孔中的每一个穿孔具有小于1.5mm的最大尺寸。

[0076] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔结构体中的至少一个的多个穿孔的至少一些布置在相应的穿孔结构体的至少一个壁上以形成包括六边形、正方形、矩形、三角形或圆形的形状。

[0077] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔结构体形成如下的布置,其为六边形布置、正方形布置、矩形布置、三角形布置或圆形布置中的至少一种。

[0078] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔结构体中的至少一个的主体沿着纵向轴线延伸;并且在垂直于纵向轴线的平面中界定的主体的横截面形状是圆的。

[0079] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔结构体中的至少一个包括管状物、板、球或块中的至少一个。

[0080] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔结构体中的至少一个的至少一个壁的外部表面由多个结构体界定,所述多个结构体包括脊、凹坑、孔、蚀刻部分、颗粒料或纤维中的至少一种。

[0081] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔结构体中的至少一个的至少一个壁的外部表面包括亲水性表面。

[0082] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔结构体彼此间隔开以在多个穿孔结构体中的每一个主体之间界定稀气体混合物的多个流动间隙。

[0083] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔结构体中的至少一个的主体是刚性的。

[0084] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔结构体中的至少一个的主体是弹性的。

[0085] 在另一实施实例中,从稀气体混合物中捕获二氧化碳的方法包括:使稀气体混合物在多个穿孔结构体之间并且沿着多个穿孔结构体中的至少一个的外部表面流动;以及使在多个穿孔结构体中的至少一个内的CO_2捕获溶液流动通过多个穿孔结构体中的至少一个的穿孔,并且沿着多个穿孔结构体中的至少一个的外部表面流动,以沿着多个穿孔结构体中的至少一个的外部表面的至少一部分形成CO_2捕获溶液的液体膜并且将来自稀气体混合物的CO_2吸收到CO_2捕获溶液的液体膜中。

[0086] 可与实施实例结合的方面进一步地包括使CO_2捕获溶液沿着第一方向流动通过进料结构体,其中使在多个穿孔结构体中的至少一个内的CO_2捕获溶液流动包括使在多个穿孔结构体中的至少一个内的CO_2捕获溶液沿着与横向于第一方向的第二方向流动。

[0087] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,使在多个穿孔结构体中的至少一个内的CO_2捕获溶液沿着第二方向流动包括使CO_2捕获溶液向下流动。

[0088] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,使在多个穿孔结构体中的至少一个内的CO_2捕获溶液沿着第二方向流动包括使CO_2捕获溶液水平流动。

[0089] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,使稀气体混合物流动包括使稀气体混合物沿着流动方向流动;并且使在多个穿孔结构体中的至少一个内的CO_2捕获溶液流动包括使在多个穿孔结构体中的至少一个内的CO_2捕获溶液沿着横向于流动方向的液体方向流动。

[0090] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔结构体中的至少一个的穿孔沿着相应的穿孔结构体的整个长度设置。

[0091] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔结构体中的至少一个的外部表面包括脊、凹坑、孔、蚀刻部分、颗粒料或纤维中的至少一种。

[0092] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,使CO_2捕获溶液沿着多个穿孔结构体中的至少一个的外部表面流动包括使CO_2捕获溶液沿着多个穿孔结构体中的至少一个的亲水性外部表面流动。

[0093] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔结构体包括一个或多个弹性穿孔结构体。

[0094] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,使在多个穿孔结构体中的至少一个内的CO_2捕获溶液流动包括用CO_2捕获溶液填充多个穿孔结构体中的至少一个的整体。

[0095] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,使CO_2捕获溶液流动包括使如下的CO_2捕获溶液流动,其具有在参考温度下大于在所述参考温度下的水的密度的密度。

[0096] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,使CO_2捕获溶液流动包括使CO_2捕获溶液以大于0.5L/m^2s并且小于10L/m^2s的液体加载速率流动。

[0097] 在另一实施实例中,用于从环境空气中捕获二氧化碳(CO_2)的直接空气捕获(DAC)系统包括空气接触器和再生系统。空气接触器包括壳体、至少一个穿孔填充物、一个或多个配置为容纳CO_2捕获溶液的槽、扇和液体分配系统。壳体界定内部并且包括至少一个入口和至少一个出口。至少一个穿孔填充物设置在壳体中在至少一个入口和至少一个出口之间,至少一个穿孔填充物包括间隔开的多个穿孔结构体。多个穿孔结构体中的每一个穿孔结构体包括界定内部体积和外部表面的至少一个壁,以及延伸通过至少一个壁的多个穿孔。一个或多个槽包括位于至少部分地在至少一个穿孔填充物以下的底部槽。可操作扇以使环境空气(1)在从至少一个入口到至少一个出口的流动方向流通以及(2)沿着多个穿孔结构体中的每一个的外部表面流通。液体分配系统流体耦合至多个穿孔结构体中的至少一个,并且可操作所述液体分配系统以使CO_2捕获溶液通过多个穿孔结构体中的至少一个的多个穿孔流动到多个穿孔结构体中的至少一个的内部体积中,并且沿着多个穿孔结构体中的至少一个的外部表面流动以沿着多个穿孔结构体中的至少一个的外部表面的至少一部分形成CO_2捕获溶液的液体膜,CO_2捕获溶液的液体膜配置为从环境空气中吸收CO_2。再生系统与液体分配系统流体连通以接收来自空气接触器的CO_2捕获溶液,所述再生系统配置为使CO_2捕获溶液再生并且形成返回至空气接触器的贫CO_2液体。

[0098] 在可与实施实例结合的方面中,每一个穿孔结构体沿着横向于环境空气的流动方向的纵向轴线延伸。

[0099] 可与前述方面的任一项结合的另一方面进一步地包括壳体,所述壳体界定至少部分地暴露于环境空气并且设置在至少一个入口和至少一个出口之间的内部,多个穿孔结构体在内部内间隔开并且形成穿孔结构体的如下的布置,穿孔结构体的所述布置为六边形布置、正方形布置、矩形布置、三角形布置或圆形布置中的至少一种。

[0100] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,穿孔结构体的布置包括在平行于流动方向的方向间隔开的多个排的穿孔结构体。

[0101] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,穿孔结构体的布置具有在平行于流

动方向的方向测量的深度,所述深度在2米和10米之间。

[0102] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,穿孔填充物包括流体耦合至多个穿孔结构体中的至少一个的进料结构体,并且可操作所述进料结构体以使CO_2捕获溶液通过多个穿孔结构体中的至少一个的多个穿孔流动到多个穿孔结构体中的至少一个的内部体积中,并且沿着多个穿孔结构体中的至少一个的外部表面流动,以沿着外部表面的至少一部分形成CO_2捕获溶液的液体膜。

[0103] 在可与实施实例结合的方面中,进料结构体包括至少一个进料导管,所述进料导管界定流体耦合至多个穿孔结构体中的至少一个的进料导管内部体积。

[0104] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,至少一个进料导管包括至少一个导管开口,进料导管内部体积通过所述至少一个导管开口流体耦合至多个穿孔结构体中的至少一个的内部体积。

[0105] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,主体沿着纵向轴线延伸,并且至少一个进料导管沿着横向于纵向轴线的进料导管轴线延伸。

[0106] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔结构体中的每一个穿孔结构体的主体具有流体耦合至进料导管内部体积的入口,多个穿孔结构体的所述入口在平行于进料导管轴线的方向间隔开。

[0107] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔结构体中的每一个的多个穿孔设置在相应的穿孔结构体的入口下方。

[0108] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,至少一个进料导管具有水平取向,所述至少一个进料导管包括如下的多个进料导管穿孔,其延伸通过至少一个进料导管的至少下部。

[0109] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,至少一个进料导管具有水平取向,并且多个穿孔结构体中的至少一个穿孔结构体从至少一个进料导管竖直向下延伸。

[0110] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,至少一个进料导管具有竖直取向,多个穿孔结构体中的至少一个穿孔结构体从至少一个进料导管水平延伸。

[0111] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔结构体中的至少一个的多个穿孔的相邻穿孔之间的距离大于多个穿孔中的每一个的直径的2倍并且小于多个穿孔中的每一个的直径的10倍。

[0112] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔结构体中的至少一个以非平行角度耦合至进料结构体。

[0113] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔结构体中的至少一个的多个穿孔沿着至少一个壁的整个长度设置。

[0114] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔结构体中的至少一个的多个穿孔中的每一个穿孔具有小于1.5mm的最大尺寸。

[0115] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔结构体中的至少一个的多个穿孔的至少一些布置在相应的穿孔结构体的至少一个壁上以形成包括六边形、正方形、矩形、三角形或圆形的形状。

[0116] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔结构体形成如下的布置,其为六边形布置、正方形布置、矩形布置、三角形布置或圆形布置中的至少一种。

[0117] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔结构体中的至少一个的主体沿着纵向轴线延伸;并且在垂直于纵向轴线的平面中界定的主体的横截面形状是圆的。

[0118] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔结构体中的至少一个包括管状物、板、球或块中的至少一个。

[0119] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔结构体中的至少一个的至少一个壁的外部表面由多个结构体界定,所述多个结构体包括脊、凹坑、孔、蚀刻部分、颗粒料或纤维中的至少一种。

[0120] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔结构体中的至少一个的至少一个壁的外部表面包括亲水性表面。

[0121] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔结构体彼此间隔开以在多个穿孔结构体中的每一个主体之间界定稀气体混合物的多个流动间隙。

[0122] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔结构体中的至少一个的主体是刚性的。

[0123] 在可与前述方面的任一项结合的另一方面中,多个穿孔结构体中的至少一个的主体是弹性的。

[0124] 在实施实例中,用于从稀气体混合物中捕获二氧化碳(CO_2)的穿孔填充物包括:包括如下的主体的至少一个穿孔结构体,所述主体具有界定主体的内部体积的至少一个壁,所述至少一个壁界定内部表面和外部表面;以及多个穿孔,所述多个穿孔延伸通过内部表面和外部表面之间的至少一个壁;以及进料结构体,所述进料结构体流体耦合至主体并且可操作所述进料结构体以使CO_2捕获溶液流动通过多个穿孔以沿着内部表面的至少一部分形成CO_2捕获溶液的液体膜,所述CO_2捕获溶液的液体膜配置为从稀气体混合物中吸收CO_2。

[0125] 根据本公开内容的用于捕获二氧化碳的系统和方法的实施方式可包括下列特征的一个、一些或全部例如,具有本发明所述特征的填充物是专门为商业的DAC应用而设计的,并且由此具有减少空气体积、填充物深度、液体流量和空气接触器占用面积中的至少一个的能力,而不会显著牺牲CO_2摄取性能。反映出良好性能的DAC填充物的设计标准包括:低静压设计、在整个填充高度均匀分配液体的能力、低污染能力、空气接触效率的增加、更低的材料要求、更大填充物尺寸的效率效果和可制造性。

[0126] 本公开内容中描述的主题的一个或多个实施方式的细节在附图和下面的描述中阐述。主题的其它特征、方面和优点将从说明书、附图和权利要求书中变得明晰。

附图说明

[0127] 图1显示气液接触器的实例。

[0128] 图2A显示气液接触器的另一实例。

[0129] 图2B显示气液接触器的另一实例。

[0130] 图3显示气液接触器的另一实例。

[0131] 图4显示用于本公开内容的气液接触器的穿孔填充物的实例特征。

[0132] 图5显示用于本公开内容的气液接触器的穿孔填充物的实例。

[0133] 图6显示用于本公开内容的气液接触器的穿孔填充物的实例。

[0134] 图7显示用于本公开内容的气液接触器的穿孔填充物的实例。

[0135] 图8显示用于本公开内容的气液接触器的穿孔填充物的实例。

[0136] 图9显示用于本公开内容的气液接触器的穿孔填充物的实例。

[0137] 图10显示用于本公开内容的气液接触器的穿孔填充物的实例。

[0138] 图11显示用于本公开内容的气液接触器的穿孔填充物的实例。

[0139] 图12显示用于本公开内容的气液接触器的穿孔填充物的实例。

[0140] 图13显示用于本公开内容的气液接触器的穿孔填充物的实例。

[0141] 图14A显示用于本公开内容的气液接触器的穿孔填充物的实例特征。

[0142] 图14B是显示液体和表面之间的接触角的示意图。

[0143] 图14C是显示液体和表面之间的表观接触角和实际接触角的示意图。

[0144] 图14D是图14A的特征的圆圈部分的放大视图。

[0145] 图14E是图14A的特征的圆圈部分的放大视图。

[0146] 图14F是图14A的特征的圆圈部分的放大视图。

[0147] 图15是具有本文公开的气液接触器的直接空气捕获系统的示意图。

[0148] 图16是用于从稀气体混合物中捕获二氧化碳(CO_2)的方法的示意流程图。

[0149] 图17是用于本公开内容的气液接触器的控制系统(或控制器)的示意图。

具体实施方式

[0150] 参考图1,本公开内容描述了用气液接触器100从大气(即环境空气或大气空气)或从含有稀浓度的CO_2的另外的流体源捕获二氧化碳(CO_2)的系统和方法。大气中CO_2的浓度是稀的,因为其目前在400-420百万分之一(“ppm”)或大约0.04-0.042%v/v,并且小于1%v/v的范围内。这些大气CO_2的浓度比点源(诸如烟气)排放中的CO_2浓度低至少一个数量级,其中点源排放可具有在5-15%v/v范围的CO_2的浓度,其取决于排放的源。在一些实施方式中,操作气液接触器100通过摄入环境空气作为负载CO_2的空气101的流,并且通过处理负载CO_2的空气101使得经由吸收将负载CO_2的空气101中存在的CO_2传递到CO_2捕获溶液114(例如,CO_2吸附剂),以捕获在环境空气中存在的稀CO_2。负载CO_2的空气101中一些或全部的CO_2被移除,并且经处理的负载CO_2的空气101随后通过气液接触器100作为贫CO_2气体105(或,低CO_2空气)的流排出。在以这种方式操作以处理大气空气时,气液接触器100有时可在本文中称为“空气接触器”,因为其有利于将CO_2从大气空气中吸收到CO_2捕获溶液114中。相比于主要作用是在水和大气空气之间传递热量的水冷却塔,气液接触器100的主要作用是实现从大气空气到CO_2捕获溶液114的CO_2的质量传递。在以这种方式操作时,气液接触器100可作为直接空气捕获(DAC)系统1200的一部分(部件)使用,这在下面参考图15更详细地描述。

[0151] 在一些实施方式中,并且参考图1,CO_2捕获溶液114是苛性溶液。在一些实施方式中,CO_2捕获溶液114具有10或更高的pH。在一些实施方式中,CO_2捕获溶液114具有大约14的pH。CO_2捕获溶液114的非限制性实例包括水性碱性溶液(例如,KOH、NaOH或其组合)、水性氨基酸盐溶液、胺的非水性溶液、水性碳酸盐和/或碳酸氢盐溶液、苯氧化物/苯氧化物盐、离子液体、非水性溶剂或其组合。在某些情况下,CO_2捕获溶液114可包括增加CO_2摄取的速率的促进剂和/或添加剂。促进剂的非限制性实例包括碳酸酐酶、胺(伯胺、仲胺、叔胺)和硼酸。添加剂的非限制性实例包括氯化物、硫酸盐、乙酸盐、磷酸盐、表面活性剂。

[0152] 在一些实施方式中,在给定的参考温度下,CO_2捕获溶液114的密度大于在相同参

考温度下的水的密度。在相当的参考温度下,在一些实施方式中,CO_2捕获溶液114的密度比水的密度大至少10%。在一些实施方式中,在相当的参考温度下,CO_2捕获溶液114的密度比水的密度大大约10%。CO_2捕获溶液114的密度和粘度可变化,这取决于CO_2捕获溶液114的组成(组合物,成分)和温度。例如,在20℃至0℃的温度下,CO_2捕获溶液114或负载CO_2的捕获溶液111(参见下文)可包含1M KOH和0.5M K_2CO_3,并且可具有1115-1119kg/m^3范围的密度和1.3-2.3mPa.s范围的粘度。在另外的实例中,在20℃至0℃的温度下,CO_2捕获溶液114或负载CO_2的捕获溶液111可包含2M KOH和1M K_2CO_3,并且可具有1260-1266kg/m^3范围的密度和1.8-3.1mPa.s范围的粘度。相比之下,水在20℃下具有998kg/m^3的密度和1mPa.s的粘度。

[0153] 在一些实施方式中,并且参考图1,通过将负载CO_2的空气101与CO_2捕获溶液114在气液接触器100中接触来捕获来自负载CO_2的空气101的CO_2。使来自负载CO_2的空气101的CO_2与碱性CO_2捕获溶液114(例如)反应可形成负载CO_2的捕获溶液111。在CO_2捕获溶液114包含碱性氢氧化物的构型中,通过与所述碱性氢氧化物反应以形成富碳酸盐捕获溶液(例如,K_2CO_3、Na_2CO_3或其组合)来吸收CO_2。负载CO_2的捕获溶液111可包括富碳酸盐捕获溶液,并且因此有时在本文中称为“富碳酸盐捕获溶液111”。可处理负载CO_2的捕获溶液111以收取所捕获的CO_2供下游使用,并且以使用于在CO_2捕获溶液114中的碱性氢氧化物再生。在某些情况下,收取的CO_2可被输送到井下,并且被隔离在地质构造、地下储器、碳汇等中。在某些情况下,可通过如下将收取的CO_2用于增强油收取率,将收取的CO_2注射到一个或多个井筒中以增强来自储集层(reservoir)的烃(碳氢化合物)的产量。在一些实施方式中,可将收取的CO_2进料至下游的燃料合成系统,所述下游的燃料合成系统可包括合成气生成反应器。

[0154] 负载CO_2的捕获溶液111还可以以较小的量包括其它组分,诸如氢氧根离子、碱金属氢氧化物(例如,KOH、NaOH)、水和杂质。例如,富碳酸盐捕获溶液111可包含0.4M至6M之间的K_2CO_3和1M至10M之间的KOH。在另一实施方式中,富碳酸盐捕获溶液111可包含水性Na_2CO_3-NaOH混合物。在一些实施方式中,富碳酸盐捕获溶液111可包含K_2CO_3和Na_2CO_3的混合物。

[0155] 通过在CO_2捕获溶液114中引入添加剂诸如促进剂物质可改进从负载CO_2的空气101中捕获CO_2以形成碳酸盐的捕获动力学。用于用碳酸盐促进CO_2捕获的促进剂的非限制性实例包括碳酸酐酶、胺(伯胺、仲胺、叔胺)、两性离子氨基酸和硼酸。通过气液接触器100生产的所得的富碳酸盐捕获溶液111包括碳酸盐和碳酸氢盐,并且也包括所述促进剂。这样的富含碳酸盐的捕获溶液111的实例组合物可包括K_2CO_3/$KHCO_3$和促进剂。得自这样的CO_2捕获溶液114的富碳酸盐捕获溶液111可具有11-13的范围内的pH,并且可几乎不具有来自CO_2捕获溶液114的残余氢氧化物。在一些情况下,可使用不被认为是促进剂的添加剂以改进CO_2捕获溶液114中CO_2的摄取。

[0156] 参考图1,气液接触器100包括壳体102。壳体102界定气液接触器100的主体部分并且向其提供结构。壳体102包括外部结构或壁,其部分地包封互连的结构构件的任何组合。互连的结构构件向气液接触器100提供结构支撑和稳定性,并且提供在壳体102内用于支撑气液接触器100的组件的主体。所述互连的结构构件可包括但不限于壁、面板、梁、框架等。壳体102也可包括其它组件,诸如包层、面板等,其有助于封闭壳体102的部件并且界定壳体102的包封。壳体102至少部分地包封并且界定壳体102的内部113。壳体102的内部113是如下的内部体积或内部空间,气液接触器100的组件位于所述内部体积或内部空间中。壳体

102还包括允许气体进出气液接触器100的开口103。例如,并且参考图1,所述壳体102具有一个或多个入口103I。在图1的实施方式中,一个或多个入口103I由开口103形成,使得(一个或多个)入口103I可在本文中称为一个或多个入口开口103I,负载CO_2的空气101通过所述一个或多个入口开口103I进入壳体102的内部113。壳体102具有一个或多个出口1030。在图1的实施方式中,一个或多个出口1030由所述开口103形成,使得出口1030可在本文中称为一个或多个出口开口1030,贫CO_2气体105通过所述一个或多个出口开口1030离开壳体102的内部113。在图1的气液接触器100的实施实例中,壳体102界定两个入口103I和一个出口1030。出口1030可以由气液接触器100的组件界定。例如,在图1的气液接触器100的实施方式中,气液接触器100具有带有直立取向的扇堆叠体107。扇堆叠体107有助于排出贫CO_2气体105,并且出口1030沿着扇堆叠体107放置。在这样的实施方式中,负载CO_2的空气101通过一个或两个入口103I沿着基本上水平的方向进入壳体102的内部113,并且贫CO_2气体105通过出口1030沿着基本竖直的方向离开内部113。出口1030位置在扇堆叠体107的上部末端处。在没有扇堆叠体107的气液接触器100的实施方式中,出口1030位置可在别处。对于壳体102的入口和出口103I、1030的其它构型是可能的。

[0157] 壳体102至少部分地包封并且保护位于壳体102的内部113中的气液接触器100的组件。这样的组件的一个实例是一个或多个填充物106,其由壳体102保护免受周围大气的影响。如在图1中可看到的,一个或多个填充物106,其有时在本文中集体地称为“填充料106”或“填充物106”,位置在内部113内定位于邻近一个或多个入口103I。在该位置,一个或多个填充物106接收经由一个或多个入口103I进入内部113的负载CO_2的空气101。一个或多个填充物106的作用是增加存在于负载CO_2的空气101中的CO_2向捕获溶液114的流的转移,因为一个或多个填充物106为捕获溶液114分散提供了大的表面积,从而增加负载CO_2的空气101和捕获溶液114之间的反应性面积。捕获溶液114将负载CO_2的空气101转化为贫CO_2的气体105,所述贫CO_2的气体105从气液接触器100的一个或多个出口1030排出。填充物106接收CO_2捕获溶液114并且促进将在负载CO_2的空气101中存在的CO_2吸收到填充物106上的CO_2捕获溶液114中,如下文更详细地描述。

[0158] 参考图1,填充物106的一种可能的布置包括两个或更多个填充物段106A、106B。每个填充物段106A、106B位于邻近入口103I之一且在入口103I之一的下游。填充物段106A、106B在壳体102内彼此间隔开。将填充物段106A、106B间隔开所沿着的方向平行于负载CO_2的空气101通过填充物段106A、106B流动所沿着的方向。在填充物段106A、106B和/或壳体102的一个或多个结构构件之间界定的空间或体积是空腔108。空腔108的两侧是填充物段106A、106B。空腔108是壳体102内的如下的空隙或空间,气体(例如贫CO_2的气体105)向填充物段106A、106B的下游流动至其中,并且贫CO_2气体105自其中通过出口1030从壳体102流出。空腔108是壳体102的内部113的一部分。空腔108的体积小于内部113的体积。在一些实施方式中,壳体102的内部113的体积大约等于填充物段106A、106B和空腔108的组合的体积。参考图1,填充物106沿着与空腔108相同的水平设置(放置),或沿着与空腔108相同的水平面的更低的平面设置。在负载CO_2的空气101流动通过填充物段106A、106B后,贫CO_2的气体105流动通过空腔108,随后排出到周边环境中。在气液接触器100的其它实施方式中,空腔是不存在的,如下文更详细地描述。

[0159] 在图1的气液接触器100的实施实例中,负载CO_2的空气101通过两个入口103I沿着

基本上水平的方向进入壳体102的内部113。负载CO_2的空气101随后沿着基本上水平的方向流动通过填充物段106A、106B,其中在负载CO_2的空气101中存在的CO_2接触在填充物段106A、106B上存在的CO_2捕获溶液114和/或以基本上向下的方向流过填充物段106A、106B的CO_2捕获溶液114。CO_2被CO_2捕获溶液114吸收以形成负载CO_2的捕获溶液111。负载CO_2的捕获溶液111向下流出填充物段106A、106B,并且通过填充物段106A、106B处理的负载CO_2的空气101作为贫CO_2气体105离开填充物段106A、106B。来自两个填充物段106A、106B的贫CO_2气体105在空腔108中汇聚,并且随后在竖直向上的方向通过出口1030从空腔108流出。

[0160] 在图1的填充物106的实施实例中,每个填充物段106A、106B具有基本等于壳体102的高度的相应的填充物段高度。在一些实施方式中,填充物段106A、106B的高度基本上等于入口103I的高度。为填充物106提供与壳体102的高度和入口103I的高度基本上相同的高度可有助于防止或降低负载CO_2的空气101绕过填充物106的能力(例如围绕填充物106流动),从而有助于确保通过填充物106处理最大可能体积的负载CO_2的空气101。“基本上等于”或“基本上相同”理解为高度在值上是大约相等的,其中任何差异相比于总体高度尺寸都是极小的,其中所述差异可得自制造公差、包装安装要求和/或为允许密封物、挡板或其它特征在尺寸方面的调整。对于填充物106的其它构型是可能的。例如,在另一实施方式中,填充物段106A、106B的高度小于壳体102的高度,并且填充物段106A、106B和壳体102之间的任何间隙都使用合适的技术密封。

[0161] 填充物106可由任何合适的材料制成,或具有任何合适的构型,以实现本文所赋予填充物106的作用。填充物106的一些或全部可由PVC制成,其是相对较轻的、可塑的、能够负担得起的,并且耐受许多化学品造成的降解。填充物106被布置、构造、处理或配置为促进液体CO_2捕获溶液114扩散为填充物106的表面上的薄膜,其可使液体CO_2捕获溶液114最大地暴露于负载CO_2的空气101中存在的CO_2,如下文更详细地描述。这样的“膜类型的”填充物填充料一般地与DAC系统更相容,因为其具有对于每单元体积的填充料空间更有效的质量传递的能力。例如,膜类型的填充料提供相对较高的比表面积与体积的比(以m^2/m^3计的“比表面积”)。高比表面积不仅对于使CO_2暴露于CO_2捕获溶液114的表面来说是重要的,而且其还具有成本和结构意义。填充物106可界定空气行进深度(例如,填充深度),其代表负载CO_2的空气101随着其流动通过填充物106时所穿越的距离。空气行进深度可在2-10米的范围内。填充物106可在竖直方向上分段、或包括如下的多个填充物段,所述多个填充物段以其间空间最小或其间竖直间隙最小的方式以一个在另一个之上的方式放置。每个填充物段106A、106B可包括多个填充物部分,所述多个填充物部分布置在彼此之上和/或沿着空气行进深度在最小的间隔内放置。

[0162] 参考图1,气液接触器100具有、包括液体分配系统120的组件,或者在功能上关联至液体分配系统120。液体分配系统120运行以将CO_2捕获溶液114和/或负载CO_2的捕获溶液111移动、收集和分配至如本文描述的填充物106。液体分配系统120的特征的至少一些由壳体102支撑。在图1的实施实例中,由壳体102提供的支撑(体)包括结构支撑(体),其中液体分配系统120的组件在结构上由壳体102支撑,使得由这些组件生成的负载由壳体102的结构构件支撑。液体分配系统120的特征的一些或全部可为气液接触器100的一部分(部件),或者是DAC系统1200的一部分(部件)(参见图15)。

[0163] 参考图1,液体分配系统120包括一个或多个槽109。每个槽109是配置为接收CO_2捕

获溶液114和负载CO_2的捕获溶液111中的一者或两者并且保持其体积的储器，从而用作CO_2捕获溶液114和/或负载CO_2的捕获溶液111的源。每个槽109可具有任何构型或由任何适合实现本说明书中赋予其的作用的材料制成。例如，一个或多个所述槽109可为开顶式的、或部分或完全被覆盖的。

[0164] 液体分配系统120的槽109包括一个或多个顶部槽104和一个或多个底部槽110。顶部槽104由壳体102支撑。在一些实施方式中，顶部槽由壳体102的一部分形成。顶部槽104配置为至少部分地包封或储存CO_2捕获溶液114。参考图1，顶部槽104各自位于至少部分地在填充物106以上。参考图1，顶部槽104位于内部113以上、特别地在入口103I以上。当(至少暂时地)储存在顶部槽104中时，CO_2捕获溶液114放置为(例如，通过泵送或重力流动或两者)向下流通，通过填充物106并且最终到底部槽110中。当CO_2捕获溶液114流通通过填充物106时，负载CO_2的空气101流通通过填充物106以接触CO_2捕获溶液114，流通通过空腔108，并且作为贫CO_2的气体105流通至周边环境。通过使负载CO_2的空气101和液体CO_2捕获溶液114接触形成工艺物流，其中所述工艺物流是或包括这样的负载CO_2的捕获溶液111，其具有被CO_2捕获溶液114从负载CO_2的空气101中吸收的CO_2。顶部槽104可各自具有用于在填充物106上方分配CO_2捕获溶液114的任何合适的形式或特征。在图1的气液接触器100的实施实例中，所述槽109包括两个顶部槽104。每个顶部槽104位于填充物段106A、106B中的一个以上，以将CO_2捕获溶液114分配到相应的填充物段106A、106B。图1的顶部槽104彼此流体隔离(例如两个顶部槽104之间没有流体连通)。顶部槽104的其它构型和数量是可能的。

[0165] 参考图1，一个或多个底部槽110位于与顶部槽104相对的气液接触器100的底部处。如在图1中可看到的，底部槽110位于填充物106以下和壳体102以下。特别地，底部槽110位于内部113以下。底部槽110的作用是工艺物流(例如负载CO_2的捕获溶液111)的收集罐。负载CO_2的捕获溶液111(其包括吸收的CO_2，以及未反应的CO_2捕获溶液114)收集在底部槽110中，并且可随后被泵送或移出底部槽110以用于进一步处理。例如，可将在底部槽110中收集的液体的至少一部分处理并且随后泵送以进行在填充物106上方的再分配来用于CO_2捕获。在另一可能的实施方式中，将在底部槽110中收集的液体的一些或全部在不经处理的情况下泵送至顶部槽104，以进行在填充物106上方的再分配来捕获CO_2。底部槽110可与遏制性结构体相容并且防止各种CO_2捕获溶液114的损失，所述各种CO_2捕获溶液114中的许多种具有腐蚀的、苛性的或高pH的性质。在一些方面，底部槽110可用对苛性引起的腐蚀或降解有耐受性的一种或多种的材料来做衬里或被涂覆。在气液接触器100的一些实施方式中，可将组件保持在容纳CO_2捕获溶液114的底部槽110之外。此外，气液接触器100可被设计为将大多数或所有结构部件保持在气液接触器100的可湿化区域(例如，与CO_2捕获溶液114接触的气液接触器100的任何部分)之外。气液接触器100的可湿化区域的实例包括支撑填充物106的组件。图1描绘单个底部槽110。然而，底部槽110的其它构型和数量是可能的。

[0166] 参考图1，CO_2捕获溶液114以基本上垂直于或横向于这样的平均化方向流过填充物106，负载CO_2的空气101沿着所述平均化方向流动通过填充物106，这也称为“错流”构型。在另一可能的实施方式中，CO_2捕获溶液114以与这样的平均化方向相反的方向流过填充物106，负载CO_2的空气101沿着所述平均化方向流动通过填充物106，这也称为“对流”构型。在另一可能的实施方式中，CO_2捕获溶液114以与负载CO_2的空气101通过填充物106流通所沿着的方向平行的方向流过填充物106，这也称为“并流”构型。在另一可能的构型中，CO_2捕获溶

液114根据错流、对流和并流构型的一个或多个的组合的构型流过填充物106。

[0167] 气液接触器100可包括位于顶部槽104和底部槽110之间的填充物106内的支撑体。例如,填充物106可包括用于填充物106的特定部分诸如用于填充物106的上部部分的附加支撑体,使得填充物106的另一部分(例如,填充物106的底部部分)上不负有负载(例如,干燥时填充物106的部分的重量加上在填充物106的该部分上存留的CO_2捕获溶液114的液体的重量)。在一些方面,填充物106可不包括支撑体。槽109可包括位于填充物106的顶部和底部之间的位置处(例如,在顶部槽104和底部槽110之间)的一个或多个再分配槽,以将CO_2捕获溶液114再分配在剩余的填充物段上方。在实例方面,再分配槽可位于填充物106中。再分配槽可将填充物106分成至少顶部段和底部段。可将CO_2捕获溶液114从底部槽110泵送到该再分配槽中。替代地,可将来自顶部槽104的在顶部填充物段上方分配的CO_2捕获溶液114收集在再分配槽中,并且随后分配到位于再分配槽下面的底部填充物段上。在一些方面,至少一个结构支撑体可放置在填充物106的填充物段之间。

[0168] 液体分配系统120可包括以任何合适的布置而流体耦合的任何合适的元件,诸如管、(一个或多个)堰、(一个或多个)泵、(一个或多个)阀门、(一个或多个)歧管等,以实现本文中赋予液体分配系统120的功能。这样的元件的一个非限制性实例是一个或多个泵122,其实例示于图1。泵122的作用是将在压力下的液体(诸如CO_2捕获溶液114或负载CO_2的捕获溶液111)从其源移动至其被使用的地方。泵122的这样的功能的一些非限制性实例包括将CO_2捕获溶液114移动到顶部槽104,并且移动来自底部槽110的CO_2捕获溶液114和/或负载CO_2的捕获溶液111,以在填充物106上方再分配或进行处理。因此,泵122可用于向气液接触器100移动液体、从气液接触器100移动液体和在气液接触器100内移动液体。

[0169] 控制系统(例如,示于图1的控制系统999)可用于通过液体分配系统120的泵122控制流体的流动(流量)。例如,可使用控制系统来控制泵122,以将CO_2捕获溶液114从底部槽110泵送至顶部槽104。还可控制泵122,使得向液体分配系统120提供恒定的流动速度,无论整个气液接触器100中液体流动如何变化。

[0170] 泵122可有助于以相对较低的液体流速将CO_2捕获溶液114在填充物106上方分配,这可有助于降低与泵送或移动CO_2捕获溶液114相关的成本。进一步地,流过填充物106的CO_2捕获溶液114的低液体流速可导致负载CO_2的空气101在其流动通过填充物106时的更低的压降,这降低了用于移动负载CO_2的空气101穿过填充物106的装置(例如,下文描述的扇212)的能量需求。泵122可配置为在填充物106上生成CO_2捕获溶液114的间歇或脉冲流动,这可允许使用相对较低的液体流量(流速)来间歇湿润填充物106。在填充物106上方喷洒的、流动(流过)的或分配的CO_2捕获溶液114收集在底部槽110中,并且随后可通过泵122移动回至顶部槽104、或被送到下游以进行处理。

[0171] 气液接触器100中的液体工艺物流、以及在与气液接触器100流体耦合的任何下游工艺内的工艺物流,可使用一个或多个流量控制系统(例如,控制系统999)来进行流动。流量控制系统可包括一个或多个流动泵(流量泵;包括泵122或除了泵422之外)、扇、鼓风机或用于移动所述工艺物流的固体输送机、使所述工艺物流在其中流动通过的一个或多个流管以及用于调节通过管的物流流量(流动)的一个或多个阀。本文描述的构型的每一个可包括耦合至能够控制至少一种液体流速的相应的泵的至少一个变频驱动器(VFD)。在一些实施方式中,液体流速由至少一个流量(流动)控制阀控制。

[0172] 在一些实施方式中,可以手动操作流量控制系统。例如,在流量控制系统中,操作员可为每个泵或传递装置设置流速,并且设置阀门的开启或关闭位置,以调节通过管的工艺物流的流量。在操作员为分配在整个系统中的所有流量控制系统设置了流速和阀门的开启或关闭位置后,流量控制系统就可以在恒定的流动条件(状况)下,例如恒定的体积速率或其它流动条件下使物流流动。为了改变所述流动条件,操作员可手动地操作流量控制系统,例如,通过改变泵流速或阀门开启或关闭位置。

[0173] 在一些实施方式中,流量控制系统可自动地操作。例如,流量控制系统可连接到计算机或控制系统(例如,控制系统999)来操作流量控制系统。控制系统可包括存储可通过一个或多个处理器执行的指令(诸如流量控制指令和其它指令)的计算机可读介质以进行操作(诸如流量控制操作)。操作员使用控制系统可为分配在整个设施中的所有流量控制系统设置流速和阀门开启或关闭位置。在这样的实施方式中,操作员可通过经由控制系统来提供输入而手动地改变流动条件。还有,在这样的实施方式中,控制系统可自动地(即,在不进行手动干预的情况下)控制一个或多个流量控制系统,例如,使用连接到控制系统的反馈系统。例如,传感器(诸如压力传感器、温度传感器或其它传感器)可连接到工艺物流流动通过的管。传感器可监测并且向控制系统提供所述工艺物流的流动条件(诸如压力、温度或其它流动条件)。作为对超过阈值(诸如阈值压力值、阈值温度值或其它阈值值)的流动条件的反应,控制系统可自动地执行操作。例如,如果管中的压力或温度分别超过阈值压力值或阈值温度值,控制系统可以向泵提供信号以降低流速、提供打开阀门以释放压力的信号、提供关闭工艺物流的流的信号、或提供其它信号。

[0174] 气液接触器100具有气体流通装置,其作用是将气体流移动或流通到气液接触器100中或将气体流移动或流通出气液接触器100。在图1的气液接触器的实施方式中,气液接触器100的气体流通装置为扇212。扇212的作用为使气体(如环境空气)流通,使得负载CO_2的空气101因扇212而流动至气液接触器100中,并且使得贫CO_2气体105因扇212而从气液接触器100中排出。因此,扇212的作用为以本文描述的方式使负载CO_2的空气101和贫CO_2气体105流通。参考图1,扇212可绕由扇轴界定的扇轴线旋转。在图1中所描绘的扇212的实施方式中,扇轴线具有直立或竖直的取向。对于轴和对于扇轴线的其它取向是可能的,如下文更详细地描述。参考图1,扇212位于界定出口1030的扇堆叠体107的末端的下游,并且作用是引起贫CO_2气体105流动通过所述出口1030。在另一可能的构型中,扇212位于别处,在扇堆叠体107的在竖直方向上相对的末端和出口1030的上游之间,使得扇212使贫CO_2气体105流动通过出口1030。扇212围绕扇轴线的旋转造成气体流通到入口103I中并且通过所述气液接触器100。例如,在图1的气液接触器的实施方式中,扇212的旋转造成负载CO_2的空气101被抽到气液接触器100中,并且造成贫CO_2气体105从气液接触器100排出。

[0175] 气液接触器100的其它构型是可能的,现更详细地描述其中的一些。

[0176] 参考图2A,气液接触器100a可具有直立的主体和沿着底部部分的空气入口2103,负载CO_2的空气101通过所述空气入口2103被接纳到气液接触器100a中。扇2112旋转以在向上的方向抽动负载CO_2的空气101通过入口2110以接触填充物段2106。在图2A的构型中,气液接触器100a具有仅一个填充物段2106,并且可因此称为“单隔腔”气液接触器100a。CO_2捕获溶液114在所述填充物2106内通过例如重力流、均匀流或层流等向下流通,并且最终流动至一个或多个底部槽2110中。当CO_2捕获溶液114通过所述填充物2106并且在其上方流通

时,负载CO_2的空气101向上流动(例如,通过所述扇2112的作用)通过填充物2106,以接触CO_2捕获溶液114。因此,图2A中CO_2捕获溶液114通过填充物2106的流动与负载CO_2的空气101通过填充物2106的流动是对流的(或相对流动的)。负载CO_2的空气101内的CO_2的一部分被转移到CO_2捕获溶液114(例如,被CO_2捕获溶液114吸收),并且扇2112将贫CO_2气体105从气液接触器100a移出至周围环境。富CO_2溶液流动到至少一个底部槽2110中。

[0177] 参考图2B,气液接触器100b具有直立的主体和沿着直立侧面部分的入口3103,负载CO_2的空气101通过所述入口3103被接纳到气液接触器100b中。扇3112围绕水平扇轴线旋转,以在基本上水平的方向通过入口3103抽动负载CO_2的空气101以接触填充物3106的段。在图2B的构型中,气液接触器100b具有仅一个填充物3106的段,并且可因此称为“单隔腔”气液接触器100b。CO_2捕获溶液114在填充物3106内通过例如重力流、均匀流或层流等向下流通,并且最终流动至一个或多个底部槽3110中。当CO_2捕获溶液114流通通过填充物3106时,负载CO_2的空气101基本上水平地流动(例如,通过扇3112的作用)通过填充物3106,从而以接触CO_2捕获溶液114。因此,图2B中CO_2捕获溶液114通过填充物3106的流动基本上垂直于负载CO_2的空气101通过填充物3106的流动。所述流动的这样的构型可称为“错流”构型。负载CO_2的空气101内的CO_2的一部分被转移到CO_2捕获溶液114,并且扇3112将贫CO_2气体105从气液接触器100b移出到周围环境。富CO_2溶液流动到至少一个底部槽3110中。

[0178] 参考图3,气液接触器100c具有直立的主体和沿着直立侧面部分的入口4103,负载CO_2的空气101通过所述入口4103被接纳到气液接触器100c中。图3的气液接触器100c没有扇或其它气体流动装置。气液接触器100c暴露于优势风向,使得大气空气(包括负载CO_2的空气101)在基本上水平的方向被吹动通过入口4103以接触填充物4106的段。在图3的构型中,气液接触器100c具有仅一个填充物4106的段,并且可因此称为“单隔腔”气液接触器100c。CO_2捕获溶液114在填充物4106内通过例如重力流、均匀流或层流等向下流通,并且最终流动至一个或多个底部槽4110中。当CO_2捕获溶液114流通通过填充物4106时,负载CO_2的空气101通过风而基本上水平地被吹动通过填充物4106,从而以接触CO_2捕获溶液114。因此,图3中CO_2捕获溶液114通过填充物4106的流动基本上垂直于负载CO_2的空气101通过填充物4106的流动。所述流动的这样的构型可称为“错流”构型。负载CO_2的空气101内的CO_2的一部分被转移到CO_2捕获溶液114,并且贫CO_2气体105从气液接触器100c被吹出至周围环境。富CO_2溶液流动到至少一个底部槽4110中。因此,在至少图3的气液接触器100c的构型中,不需要扇或其它气体流动装置来使气体流流通通过填充物4106。示于图2A至3的图1的气液接触器100的特征的描述,以及优势和功能的特征的一个(一种)、一些或全部将所作的一切必要修改应用于图2A至3的特征。

[0179] 对于本文公开的气液接触器100、100a、100b、100c,填充物106、2106、3106、4106的不同构型是可能的。填充物106、2106、3106、4106的一个实例包括或为穿孔填充物。穿孔填充物可包括如下的穿孔结构体,所述穿孔结构体允许CO_2捕获溶液114流动(例如,渗流)通过穿孔结构体中的穿孔并且在填充物106、2106、3106、4106的表面上形成液体膜。CO_2捕获溶液114的液体膜可接触负载CO_2的空气101以产生贫CO_2气体105。穿孔填充物可通过允许CO_2捕获溶液114渗流通过穿孔而有利于填充物表面的湿润,使得液滴可聚结以在暴露于负载CO_2的空气101的填充物106、2106、3106、4106的表面上形成液体膜,其中液体膜由表面张力维持。

[0180] 图4显示穿孔结构体900的实例，在本文公开的气液接触器100、100a、100b、100c的任何一个中，所述穿孔结构体900可用于穿孔填充物构型中以从负载CO_2的空气101中捕获CO_2。穿孔结构体900包括主体908，其界定穿孔结构体900的本体的一部分并且为其提供结构(体)。穿孔结构体900是伸长的，其中主体908沿着纵向轴线901延伸。主体908的长度(其沿着纵向轴线901界定)大于主体的任何其它维度(例如宽度、直径、厚度等)。换句话说，主体908的长度大于宽度。穿孔结构体900是部分或完全中空的，其中主体908具有界定主体908的内部体积902的一个或多个壁903。一个或多个壁903可具有任何构型，以界定任何形状或尺寸的内部体积902。例如，在图4的穿孔结构体900的构型中，主体908具有一个管状壁903以形成圆柱形或管状穿孔结构体900，其中壁903界定并且限制圆柱形内部体积902。在图4中，穿孔结构体900可呈穿孔管的形式。在穿孔结构体900的其它圆形或非圆形构型中(其实例在下文更详细地描述)，主体908具有界定内部体积902的任何所需形状的多个壁903。无论壁903的形状或壁903的数量如何，壁903都形成对内部体积902和周围环境之间的流体交换(例如，负载CO_2的空气101的流动)的部分屏障。

[0181] 参考图4，主体908的横截面形状(以及由此穿孔结构体900的横截面形状)可相对于主体908的平面909来界定，所述平面909垂直于纵向轴线901。主体908的横截面形状位于平面909内，并且在图4中为圆形。在其它实施方式中，横截面形状可为规则的或不规则的，以及多边形的。穿孔结构体900可具有沿着其长度或沿着另外的维度变化的横截面形状。横截面形状沿着其长度变化的穿孔结构体900的实例是锥形穿孔结构体900，其中横截面形状的面积沿着穿孔结构体900的长度增加或减小。穿孔结构体900的横截面形状的另一实例是由这样的壁903形成的横截面形状，其具有界定多个点、峰、谷或其它变化的不规则形状。穿孔结构体900在图4中示为围绕纵向轴线901界定的旋转主体。在其它实施方式中，穿孔结构体900的形状不是相对于纵向轴线界定的。例如，穿孔结构体900可为在一个或多个平面壁上穿孔的面板(平面)的形式。在另一实例中，穿孔结构体900可为块。穿孔结构体900的其它可能的和非限制性的形状或形式包括管状物、板和球。应当理解，穿孔结构体900可具有任何合适的形状或形式。

[0182] 参考图4，壁903界定一个或多个外部表面906。外部表面906面向穿孔结构体900的外部环境，并且由此形成穿孔结构体900的最外部表面的一些或全部。壁903包括面向主体908的内部体积902的内部表面907。壁903的厚度可定义为外部表面906和内部表面907之间的距离。外部表面906暴露于围绕穿孔结构体900流动的负载CO_2的空气101，如下文更详细地描述。穿孔结构体900的外部表面906的形状、尺寸、纹理、数量和构型可变化，并且取决于壁903的构型。外部表面906可由壁903的结构体或其上的结构界定，如下文更详细地解释。

[0183] 穿孔结构体900包括多个穿孔904。每个穿孔904都是在内部表面907和外部表面906之间延伸通过壁903的孔洞或通孔。穿孔904单独地或共同地允许在内部体积902和环绕穿孔结构体900的环境之间的流体(例如，气体和液体)交换。设置穿孔904的尺寸并且布置所述穿孔904以允许CO_2捕获溶液114从内部体积902渗流到外部表面906，使得在外部表面906上形成CO_2捕获溶液114的液体膜。可设置穿孔904的尺寸、将其布置和/或塑形以有利于形成液体膜。在穿孔为圆的(例如圆形或椭圆形)的实施方式中，可设置穿孔904的尺寸以具有小于0.1mm至10mm的范围内的直径。在穿孔为圆形的实施方式中，可设置穿孔904的尺寸以具有0.5mm至5mm的范围内的直径。例如，具有约1mm的直径的穿孔904可形成所述液体膜。

在一些实施方式中,穿孔904具有变化的直径,其中第一组的穿孔904具有第一直径,并且至少一个其它组的穿孔904具有不同于第一直径的第二直径。穿孔904也可具有其它形状。用于穿孔904的不同形状的非限制性实例包括规则和不规则形状以及多边形形状(例如三角形、正方形、五边形等)。对于穿孔904的这样的不同形状,给定穿孔904的最大尺寸(例如宽度)可在0.1mm至10mm的范围内。

[0184] 可将穿孔904间隔开以有利于形成液体膜。穿孔间隔的特征在于节距(例如,中心到中心的孔间隔)。在穿孔为圆形的实施方式中,节距可在穿孔直径的1.0到10倍的范围内。在穿孔为圆形的实施方式中,节距可在穿孔直径的1.25到5倍的范围内。在穿孔为圆形的实施方式中,节距可在穿孔直径的2到10倍的范围内。例如,穿孔904可彼此间隔至少0.5mm,以有利于形成液体膜。在一些实施方式中,穿孔904可以格状布置而彼此间隔开。例如,穿孔904可以六边形、正方形或它们的组合的方式间隔开。

[0185] 穿孔904的有效间隔可取决于多种因素,其包括穿孔904的尺寸、穿孔结构体900的取向或布置、维持用于穿孔结构体900的材料的结构完整性、CO_2捕获溶液114的表面张力和粘度、或气体/液体相的压降和速度。在一些实施方式中,可将穿孔904的尺寸或间隔设置在小于典型的液体液滴的特征尺寸的量级上以使得能够形成CO_2捕获溶液114的液体膜。例如,可设置穿孔904的尺寸或间隔以通过毛细作用或CO_2捕获溶液114的表面张力来增加湿润的表面积。在一些实施方式中,可将穿孔904的尺寸或间距设置在大于典型的液体液滴的特征尺寸的量级上以能够实现膜破裂和液滴分散。在一些实施方式中,穿孔结构体900可进一步地包括形成外部表面906的一部分的其它结构体,如下文更详细地解释。这些结构体连同穿孔904一起可使得能够形成CO_2捕获溶液114的液体膜。

[0186] 给定穿孔结构体900的穿孔904的数量、图案/布置和范围(extent,长度)可变化。例如,在图4的穿孔结构体900的实施方式中,穿孔904沿着壁903的整个长度设置,使得整个穿孔结构体900都被穿孔。在其它可能的实施方式中,其实例示于图10,穿孔结构体5900仅沿着其长度部分地穿孔,其中穿孔904仅沿着主体5908的长度的一部分存在。穿孔结构体5900具有直立取向并且仅沿着其主体5908的上部穿孔。在穿孔结构体5900的这样的构型中,CO_2捕获溶液114配置为流动到内部体积5902中,并且渗流通过在主体5908的上部的穿孔904。这就沿着主体5908的上部形成了CO_2捕获溶液114的液体膜,并且液体膜由于重力而从主体5908的上部流动到未穿孔的下部,使得可沿着穿孔结构体5900的整个长度形成CO_2捕获溶液114的液体膜。在穿孔结构体的另一可能的实施方式中,穿孔904仅存在于穿孔结构体的穿孔段中,其中穿孔段与穿孔结构体的非穿孔段相邻且交替。穿孔904可布置在外部壁903上以形成图案或形状。图案或形状可包括以下非限制性实例:六边形、正方形、矩形、三角形或圆形。穿孔904的任何合适的构型都是可能的,并且穿孔的构型可基于以下选择:穿孔904的尺寸、穿孔结构体900的取向或布置、维持用于穿孔结构体900的材料的结构完整性、CO_2捕获溶液114的表面张力和粘度、或气体/液体相的压降和速度。类似地,穿孔904的构型可在单个穿孔结构体内变化,并且它们可相等或不相等地间隔开,以实现CO_2捕获溶液114的液体膜沿着外部表面906的期望的流动。

[0187] 图5显示穿孔填充物1000的实例,其可构成本文公开的气液接触器100、100a、100b、100c中使用的填充物106、2106、3106、4106的一些或全部。图5的穿孔填充物1000包括多个穿孔结构体1002。

[0188] 参考图5,穿孔结构体1002彼此间隔开并且形成穿孔结构体1002的排列物1009。在图5中,穿孔结构体1002在如下的方向间隔开,所述方向平行于负载CO_2的空气101流动通过穿孔填充物1000的流动方向D。穿孔结构体1002还可在其它方向彼此间隔开,诸如以横向于流动方向D(即,垂直于图5的页面)的方向。每一个穿孔结构体1002均具有其自己的外部壁1903,所述外部壁1903是与相邻的穿孔结构体1002的外部壁1903分开的结构体。每一个穿孔结构体1002均具有其自己的穿孔904,所述穿孔904是与相邻的穿孔结构体1002的穿孔904分开的。穿孔填充物1000具有在相邻穿孔结构体1002之间界定的流动间隙1012。流动间隙1012构成内部113的体积(穿孔填充物1000位于其中)的一部分,并且与空腔108流体连通。负载CO_2的空气101通过流动间隙1012并且在穿孔结构体1002之间流动,从而允许负载CO_2的空气101中的CO_2被穿孔结构体1002的外部表面1906上的CO_2捕获溶液114的液体膜1007吸收。

[0189] 参考图5的穿孔填充物1000,穿孔结构体1002在竖直方向上取向。穿孔结构体1002的该取向允许CO_2捕获溶液114填充每一个穿孔结构体1002。在穿孔填充物1000的稳定状态操作中,穿孔结构体1002填充有CO_2捕获溶液114并且沿着外部表面1906产生液体膜1007。在穿孔填充物1000的初始、启动或脉冲流操作中,穿孔结构体1002同时地、相继地或以两者组合的方式填充有CO_2捕获溶液114。穿孔结构体1002的竖直取向允许CO_2捕获溶液114的液体膜1007由于重力而沿着穿孔结构体1002的外部表面1906向下流动。穿孔结构体1002因而被取向使得CO_2捕获溶液114的平均流动方向沿着穿孔结构体1002的纵向轴线1901。

[0190] 参考图5,穿孔填充物1000包括一个或多个进料结构体1004。进料结构体1004流体耦合至穿孔结构体1002,使得CO_2捕获溶液114可从进料结构体1004流动到每一个穿孔结构体1002的内部体积1902。当CO_2捕获溶液114流动通过穿孔填充物1000时,可操作进料结构体1004以使CO_2捕获溶液114(例如,通过泵送或重力流或两者)流动通过每一个穿孔结构体1002的主体1903并且通过其穿孔904。由此导致CO_2捕获溶液114通过穿孔904渗流离开内部体积1902,并且渗流到穿孔结构体1002的外部表面1906上。进料结构体1004与液体分配系统120的一个或多个特征诸如槽109、管和(一个或多个)泵122中的一个或多个流体连通,以在CO_2捕获溶液114流动到穿孔结构体1002之前接收CO_2捕获溶液114。

[0191] 随后,CO_2捕获溶液114在外部表面1906上形成CO_2捕获溶液114的液体膜1007。导致液体膜1007形成的流体动力学可变化。例如,在一种可能的构型中,当CO_2捕获溶液114的液滴从外部表面1906上的穿孔904出现并且开始聚结成液体膜1007时,液体膜1007开始形成。液体膜1007基本保持静态(例如,不沿着外部表面1906流动),直到CO_2捕获溶液114到液体膜1007中的积聚足以使CO_2捕获溶液114沿着外部表面1906流动。因为外部表面1906的表面张力的缘故,流动的CO_2捕获溶液114保持为液体膜1007。在图5的在竖直方向上取向的穿孔结构体1002的构型中,液体膜1007由于重力而沿着穿孔结构体1002的外部表面1906向下流动。在实施方式中,液体膜1007沿着给定穿孔结构体1002的外部表面1906的范围是连续的,因为液体膜1007沿着所述范围是不间断的。在其它可能的实施方式中,液体膜1007沿着给定穿孔结构体1002的外部表面1906的范围是不连续的,因为可存在所述范围的这样的部分,在其上不存在液体膜1007。

[0192] 液体膜1007的暴露的表面是在外部表面1906之间流动的负载CO_2的空气101与CO_2捕获溶液114之间的气液界面。来自负载CO_2的空气101的CO_2被吸收到液体膜1007中,以形成

负载CO_2的捕获溶液111和贫CO_2气体105。贫CO_2气体105从穿孔填充物1000排出，并且负载CO_2的捕获溶液111可包括在与未反应的CO_2捕获溶液114的混合溶液中。CO_2捕获溶液114和负载CO_2的捕获溶液111的溶液沿着外部表面1906(在图5中在向下的方向)作为液体膜1007流动。液体膜1007最终在穿孔结构体1002的下端处破裂，并且形成溶液的液滴，所述液滴收集在底部槽1010中。从底部槽1010中，可如上文所描述将溶液处理。液体膜1007可具有任何合适的性质，其可类似于上文描述的CO_2捕获溶液114的那些。液体膜1007的厚度可沿着穿孔结构体1002的范围变化。

[0193] 因此，本文公开的穿孔结构体(例如，穿孔结构体900、1002)允许形成CO_2捕获溶液114的液体膜1007。因此，本文公开的穿孔填充物(例如，穿孔填充物1000)通过允许CO_2捕获溶液114渗流通过穿孔而有利于填充物表面的湿润，使得液滴可聚结以形成由表面张力维持的液体膜1007。本文公开的穿孔填充物(例如，穿孔填充物1000)允许在所有填充物表面上形成液体膜1007，而无论穿孔结构体的取向如何，因为CO_2捕获溶液114通过穿孔由其内向其外渗流。由于连续液体膜1007的形成，本文公开的穿孔填充物因此可适用于在穿孔填充物的大部分(如果不是全部的话)表面积上增加CO_2从环境空气向CO_2捕获溶液114的有效的质量传递。

[0194] 进料结构体1004可具有不同的构型以实现本文中归于其的功能。例如，并且参考图5，进料结构体1004流体耦合至每一个穿孔结构体1002的主体1903。图5的实施方式中，进料结构体1004直接流体耦合至每一个穿孔结构体1002的主体1903，使得CO_2捕获溶液114从进料结构体1004直接流动到穿孔结构体1002的内部体积1902。在其它实施方式中，其实例描述在下文中，进料结构体1004间接耦合至穿孔结构体1002。进料结构体1004包括一个或多个进料管或进料导管1005。进料导管1005是伸长的、至少部分地中空的主体，其具有一个或多个包封进料导管内部体积1011的壁。进料导管内部体积1011通过进料导管1005的壁中的一个或多个导管开口1013与每个主体1903的内部体积1902流体连通。进料导管1005配置为将CO_2捕获溶液114相继地(例如，通过完全填充一个穿孔结构体1002，随后填充下一个穿孔结构体1002)或同时地(例如，通过基本同时填充所有穿孔结构体1002)对每一个穿孔结构体1002进料。进料导管1005与液体分配系统120的一个或多个特征诸如槽109、管和(一个或多个)泵122中的一个或多个流体连通，以在CO_2捕获溶液114流动到穿孔结构体1002之前接收CO_2捕获溶液114。

[0195] 在图5的进料结构体1004中，进料导管1005是固体主体，其沿着其外部表面不形成CO_2捕获溶液114的液体膜1007。在进料结构体4004的其他构型中，其实例示于图9，一个或多个进料导管4005是至少部分地穿孔的。参考图9，进料导管4005具有水平取向和进料导管穿孔4007，所述进料导管穿孔4007延伸通过进料导管4005的至少下部。这样的穿孔进料导管4005允许CO_2捕获溶液114流动或渗流通过进料导管4005以在进料导管4005的水平延伸的外部表面上形成液体膜1007，从而在穿孔结构体1002之间提供更多湿润的表面积，其可参与从负载CO_2的空气101中吸收CO_2。如果需要，进料导管穿孔4007也可存在于于进料导管4005的上部处。

[0196] 参考图5，进料导管1005是界定进料导管轴线1015的伸长主体。穿孔结构体1002以非平行角度耦合至进料导管1005。进料导管轴线1015横向于各穿孔结构体1002的纵向轴线1901。“横向”理解为进料导管轴线1015垂直于第一平面，并且纵向轴线1901垂直于与第一

平面相交且不平行的第二平面。在图5的穿孔填充物1000中,第一平面和第二平面彼此垂直,使得穿孔结构体1002垂直于进料导管1005。因此,CO_2捕获溶液144沿着第一方向流动通过进料导管1005,并且随后沿着横向于第一方向的第二方向在穿孔结构体1002内流动。CO_2捕获溶液114在穿孔结构体1002内沿着横向于流动方向D的液体方向流动。在进料导管1005和穿孔结构体1002之间的关系的另一可能的构型中,进料导管和纵向轴线1015、1901是平行的,并且进料导管1005具有对穿孔结构体1002进料的支化的端部。参考图5,每一个穿孔结构体1002在平行于进料导管轴线1015的方向与相邻的穿孔结构体1002间隔开。类似地,穿孔结构体1002的入口1017(其流体耦合至进料导管内部体积1011)在平行于进料导管轴线1015的方向彼此间隔开。在图5的穿孔填充物1000中,每一个穿孔结构体1002与其入口1017相对的末端被封闭,使得CO_2捕获溶液114可填充每一个穿孔结构体1002的内部体积1902并且生成CO_2捕获溶液114渗流通过穿孔904并且到外部表面1906上所需的静水压力。因此,CO_2捕获溶液114通过穿孔904的流动或渗流可由压力差驱动。在本文公开的穿孔填充物的其它构型中,其实例描述在下文中,穿孔结构体在与其入口相对的末端处是至少部分地开放的。在图5的穿孔填充物1000中,穿孔结构体1002具有竖直的取向,并且穿孔904设置在穿孔结构体1002的入口1017下方。因此,入口1017直接位于穿孔904以上,并且与穿孔904竖直地对齐。上文提供的穿孔结构体900、5900的描述,以及优势、特征和功能的一个(一种)、一些或全部将所作的一切必要修改应用于图5的穿孔结构体1002。

[0197] 图6显示穿孔填充物1100的另一实例,所述穿孔填充物1100可构成本文公开的气液接触器100、100a、100b、100c中使用的填充物106、2106、3106、4106的一些或全部。图6的穿孔填充物1100包括多个穿孔结构体1102。上文提供的穿孔结构体900、5900、1002的描述,以及优势、特征和功能的一个(一种)、一些或全部将所作的一切必要修改应用于图6的穿孔结构体1102。上文提供的穿孔填充物1000的描述,以及优势、特征和功能的一个(一种)、一些或全部将所作的一切必要修改应用于图6的穿孔填充物1100。

[0198] 参考图6,穿孔结构体1102彼此间隔开并且形成穿孔结构体1102的排列物1109。在图6中,穿孔结构体1102在如下的方向间隔开,所述方向垂直于负载CO_2的空气101流动通过穿孔填充物1100的流动方向D,其中流动方向D进入到图6的页面中。穿孔结构体1102还可在其它方向彼此间隔开,诸如在平行于流动方向D(即,进入到图6的页面中)的方向。穿孔结构体1102在水平方向上取向。穿孔结构体1102的该取向允许沿着穿孔结构体1102的外部表面1106形成CO_2捕获溶液114的液体膜1007,原因是内部体积2902中积聚的CO_2捕获溶液114和外部表面1106之间的压力差。穿孔结构体1102由此取向使得CO_2捕获溶液114的平均流动方向沿着穿孔结构体1102的纵向轴线2901。在图6的水平取向的穿孔结构体1102的构型中,液体膜1007沿着外部表面1106的上部、下部和侧部形成,直到足够的CO_2捕获溶液114积聚在外部表面1106的下部以形成CO_2捕获溶液114和负载CO_2的捕获溶液111的溶液的液滴。液体膜1007最终沿着外部表面1106的下部破裂,并且形成溶液的液滴,所述液滴收集在底部槽1110中。液体膜1007的厚度可沿着穿孔结构体1102的范围变化。

[0199] 参考图6,进料结构体1104流体耦合至每一个穿孔结构体1102的主体2903。图6的实施方式中,进料结构体1104直接流体耦合至每一个穿孔结构体1102的主体2903,使得CO_2捕获溶液114从进料结构体1104直接流动到穿孔结构体1102的内部体积2902。进料导管2005与液体分配系统120的一个或多个特征诸如槽109、管和(一个或多个)泵122中的一个

或多个流体连通，以在CO_2捕获溶液114流动到穿孔结构体1102之前接收CO_2捕获溶液114。

[0200] 参考图6，穿孔结构体1102以非平行角度耦合至进料导管2005。进料导管轴线1115横向于每一个穿孔结构体1102的纵向轴线2901。在图6的穿孔填充物1100中，穿孔结构体1102垂直于进料导管2005。参考图6，每一个穿孔结构体1102在平行于进料导管轴线1115的方向与相邻的穿孔结构体1102间隔开。在图6的穿孔填充物1100中，每一个穿孔结构体1102的与其入口1128相对的末端被封闭，使得CO_2捕获溶液114可填充每一个穿孔结构体1102的内部体积2902并且生成CO_2捕获溶液114渗流通过穿孔904并且到外部表面1106上所需的静水压力。因此，CO_2捕获溶液114通过穿孔904的流动或渗流可由压力差驱动。在图6的穿孔填充物1100中，穿孔结构体1102具有水平的取向，并且穿孔904与穿孔结构体1102的入口1128水平地间隔开。因此，穿孔904与进料导管2005水平地间隔开。

[0201] 参考图6，进料导管2005配置为对每一个穿孔结构体1102进料CO_2捕获溶液114。在穿孔填充物1100的稳定状态操作中，穿孔结构体1102填充有CO_2捕获溶液114并且沿着外部表面1106产生液体膜1007。在穿孔填充物1100的初始、启动或脉冲流操作中，用CO_2捕获溶液114同时地(例如，通过基本同时填充所有穿孔结构体1102)、相继地(例如，通过至少部分地填充一个穿孔结构体1102，随后填充下一个穿孔结构体1102)或两者组合地填充穿孔结构体1102。在图6的实施方式中，CO_2捕获溶液114可从进料结构体1104的顶部进料(例如，通过重力或泵送)。在一些实施方式中，CO_2捕获溶液114可从进料结构体1104的底部泵送。CO_2捕获溶液114可从上部穿孔结构体1102流动或滴落到下部穿孔结构体1102。这可为有益的，因为下部穿孔结构体1102的顶部被滴落的CO_2捕获溶液114湿润，这可以增加其可湿润性并且由此增加其从负载CO_2的空气101中捕获CO_2的效率。

[0202] 进料结构体1004、1104的其他构型是可能的。例如，在进料结构体1004、1104的另一可能的构型中，进料结构体1004、1104不具有进料导管1005。在这样的构型中，进料结构体1004、1104可为或者可包括槽诸如顶部槽104或流体歧管。穿孔结构体1002、1102可直接流体耦合至这样的进料结构体1004、1104以接收CO_2捕获溶液114。在进料结构体1004的另一可能的构型中，进料导管1005、2005仅向穿孔结构体1002、1102中的一些进料，并且CO_2捕获溶液114从经进料的穿孔结构体1002、1102流动至其它穿孔结构体1002、1102。在一些情形中，穿孔结构体1002、1102耦合至多于一个的进料结构体1004、1104。在穿孔填充物1000、1100的可能的构型中，穿孔结构体1002、1102是同时竖直和水平取向的。尽管在一些图中显示为圆柱形桶，但是穿孔结构体900、1002、1102和进料结构体1004、1104可呈板、球、块、管状物或其组合的形式。

[0203] 图5和6的穿孔填充物1000、1100可以错流构型、并流构型和对流构型中的任一种在本文所公开的气液接触器100、100a、100b、100c中实现。在错流构型中，负载CO_2的空气101的流动方向D基本上垂直于CO_2捕获溶液114流动通过穿孔填充物1000、1100的方向。在一些情形中，穿孔填充物1000、1100可以对流构型实现。在对流构型中，负载CO_2的空气101的流动方向D基本上平行于CO_2捕获溶液114流动通过穿孔填充物1000、1100的方向，并且流动方向D朝着进料结构体1004、1104。结构完整性可为穿孔填充物1000、1100的总体设计中的考量，并且可受多种设计因素的影响，例如穿孔结构体的(一个或多个)直径和(一个或多个)长度、穿孔结构体的构造的(一种或多种)材料、穿孔的(一个或多个)尺寸和布置以及间隔、以及操作条件(例如压力、温度)。通过添加支撑体或结构构件也可影响结构完整性。在

一些情形中,可减小额定的穿孔直径和/或可增加穿孔间隔以改进结构稳定性。

[0204] 图7显示穿孔填充物2000的另一实例,其可构成本文公开的气液接触器100、100a、100b、100c中使用的填充物106、2106、3106、4106中的一些或全部。图7的穿孔填充物2000包括多个穿孔结构体2002。上文提供的穿孔结构体900、5900、1002、1102的描述,以及优势、特征和功能中的一个(一种)、一些或全部将所作的一切必要修改应用于图7的穿孔结构体2002。上文提供的穿孔填充物1000、1100的描述,以及优势、特征和功能中的一个(一种)、一些或全部将所作的一切必要修改应用于图7的穿孔填充物2000。

[0205] 参考图7,穿孔结构体2002彼此间隔开并且形成穿孔结构体2002的排列物2009。在图7中,穿孔结构体2002在如下的方向间隔开,所述方向平行于负载CO_2的空气101流动通过穿孔填充物2000的流动方向D。穿孔结构体2002还在其它方向彼此间隔开,诸如在垂直于流动方向D的方向(即,平行于进料结构体2004的多个进料导管2005的进料导管轴线2015)。穿孔结构体2002在竖直方向上取向,并且直接位于气液接触器的底部槽2010以上,使得CO_2捕获溶液114和负载CO_2的捕获溶液111的溶液可收集在底部槽2010中。多个进料导管2005从进料结构体2004的进料歧管2007垂直地延伸。多个穿孔结构体2002从每个进料导管2005垂直地并且竖直地向下延伸。每一个穿孔结构体2002的纵向轴线2001横向(例如,垂直)于负载CO_2的空气101的流动方向D。

[0206] 参考图7,穿孔结构体2002的排列物2009包括穿孔结构体2002的排2011。每排2011含有由单个进料导管2005进料的多个穿孔结构体2002。排2011中的穿孔结构体2002在平行于排2011的进料导管2005的进料导管轴线2015的方向彼此间隔开。排2011在平行于流动方向D的方向彼此间隔开。排2011的间隔以及每排2011内的穿孔结构体2002的间隔形成了穿孔填充物2000的穿孔结构体2002之间的流动间隙2012。排列物2009的深度2013是在平行于流动方向D的方向测量的。深度2013可变化。深度2013的值的非限制性实例在2米和10米之间。排列物2009的深度2013可等于或小于在本文公开的气液接触器100、100a、100b、100c中通过填充物106、2106、3106、4106的空气行进深度(例如填充物深度)。

[0207] 图8显示穿孔填充物3000的另一实例,其可构成本文公开的气液接触器100、100a、100b、100c中使用的填充物106、2106、3106、4106中的一些或全部。图8的穿孔填充物3000包括多个穿孔结构体3002。上文提供的穿孔结构体900、5900、1002、1102、2002的描述,以及优势、特征和功能中的一个(一种)、一些或全部将所作的一切必要修改应用于图8的穿孔结构体3002。上文提供的穿孔填充物1000、1100、2000的描述,以及优势、特征和功能的一个(一种)、一些或全部将所作中的一切必要修改应用于图8的穿孔填充物3000。

[0208] 参考图8,穿孔结构体3002彼此间隔开并且形成穿孔结构体3002的排列物3009。在图8中,穿孔结构体3002在如下的方向间隔开,所述方向平行于负载CO_2的空气101流动通过穿孔填充物3000的流动方向D。穿孔结构体3002还在其它方向彼此间隔开,诸如在垂直于流动方向D的方向(即,竖直地在图8的页面中,其也平行于进料结构体3004的多个进料导管3005的进料导管轴线3015)。穿孔结构体3002在水平方向上取向,其中一些位于一个或多个其它穿孔结构体3002以上,并且全部直接位于气液接触器的底部槽3010以上,使得CO_2捕获溶液114和负载CO_2的捕获溶液111的溶液可收集在底部槽3010中。多个进料导管3005从进料结构体3004的进料歧管3007垂直地延伸。多个穿孔结构体3002从每个进料导管3005垂直地并且水平地向下延伸。每一个穿孔结构体3002的纵向轴线3001横向(例如,垂直)于负载

CO_2的空气101的流动方向D。

[0209] 参考图8,穿孔结构体3002的排列物3009包括穿孔结构体3002的排3011。在图8的穿孔填充物3000中,每排3011含有多个穿孔结构体3002,所述穿孔结构体3002的每一个由不同的进料导管3005进料。排3011在平行于进料导管3005的进料导管轴线3015的方向彼此间隔开。每排3011中的穿孔结构体3002在平行于流动方向D的方向彼此间隔开。排3011的间隔以及每排3011内的穿孔结构体3002的间隔形成了穿孔填充物3000的穿孔结构体3002之间的流动间隙3012。排列物3009的深度3013是在平行于流动方向D的方向测量的。深度3013可变化。深度3013的值的非限制性实例在2米和10米之间。排列物3009的深度3013可等于或小于在本文公开的气液接触器100、100a、100b、100c中通过填充物106、2106、3106、4106的空气行进深度(例如填充物深度)。

[0210] 图11显示穿孔填充物6000的另一实例,其可构成本文公开的气液接触器100、100a、100b、100c中使用的填充物106、2106、3106、4106中的一些或全部。图11的穿孔填充物6000包括多个穿孔结构体6002。上文提供的穿孔结构体900、5900、1002、1102、2002、3002的描述,以及优势、特征和功能中的一个(一种)、一些或全部将所作的一切必要修改应用于图11的穿孔结构体6002。上文提供的穿孔填充物1000、1100、2000、3000的描述,以及优势、特征和功能中的一个(一种)、一些或全部将所作的一切必要修改应用于图11的穿孔填充物6000。

[0211] 参考图11,穿孔结构体6002彼此间隔开并且形成穿孔结构体6002的排列物6009。在图11中,穿孔结构体6002在如下的方向间隔开,所述方向垂直于负载CO_2的空气101流动通过穿孔填充物6000的流动方向D。在图11中,穿孔结构体6002在垂直于流动方向D的方向等距地间隔开。在其它可能的实施方式中,穿孔结构体6002之间的间隔是变化的。穿孔结构体6002呈板或块的形式,其具有延伸通过穿孔结构体6002的一个或多个平面壁的穿孔904。单个进料导管6005相对于沿着流动方向D界定的穿孔结构体6002的范围垂直地延伸。

[0212] 图12显示穿孔填充物7000的另一实例,其可构成本文公开的气液接触器100、100a、100b、100c中使用的填充物106、2106、3106、4106中的一些或全部。图12的穿孔填充物7000包括单个穿孔结构体7002。上文提供的穿孔结构体900、5900、1002、1102、2002、3002、6002的描述,以及优势、特征和功能中的一个(一种)、一些或全部将所作的一切必要修改应用于图12的穿孔结构体7002。上文提供的穿孔填充物1000、1100、2000、3000、6000的描述,以及优势、特征和功能中的一个(一种)、一些或全部将所作的一切必要修改应用于图12的穿孔填充物7000。

[0213] 参考图12,单个穿孔结构体7002包括通过支撑体7006相互连接的穿孔结构体段7004。穿孔结构体段7004彼此间隔开并且形成穿孔结构体7002的排列物7009。在图12中,穿孔结构体段7004在如下的方向间隔开,所述方向垂直于负载CO_2的空气101流动通过穿孔填充物7000的流动方向D。穿孔结构体段7004呈板或块的形式,其具有延伸通过穿孔结构体段7004的一个或多个平面壁的穿孔904。单个进料导管7005相对于沿着流动方向D界定的穿孔结构体段7004的范围垂直地延伸。图12的实施方式中的支撑体7006具有穿孔904,并且因此有助于如下的穿孔填充物7000的表面积,所述穿孔填充物7000可被CO_2捕获溶液114湿润以与来自负载CO_2的空气101的CO_2进行质量传递。支撑体7006可在负载CO_2的空气101通过穿孔填充物7000的流动中引入更多湍流,这也可改进CO_2从负载CO_2的空气101到CO_2捕获溶液114

的质量传递。

[0214] 在至少一些实施方式中，穿孔填充物可允许在穿孔结构体内发生CO_2从负载CO_2的空气101到CO_2捕获溶液114的一些或全部质量传递。在一些实施方式中，将稀气体混合物提供至穿孔结构体的内部体积，并且CO_2捕获溶液114通过穿孔904从外部表面流动或渗流到内部体积中。在这样的实施方式中，稀气体混合物中的CO_2被转移(例如，吸收)至内部体积的捕获溶液。在一些实施方式中，进料结构体将负载CO_2的空气101提供至穿孔结构体的内部体积。CO_2捕获溶液114可在穿孔结构体的外部表面上流动，并且流动(例如，渗流)通过穿孔904以在穿孔结构体的内部表面上形成液体膜，在此处所述CO_2捕获溶液114接触第二流体负载CO_2的空气101。在这样的情形中，在内部体积中产生贫CO_2气体105。贫CO_2气体105和CO_2捕获溶液114可例如通过至少一个出口抽出而离开穿孔结构体的内部体积。

[0215] 图13提供了穿孔填充物8000的实例，其中在穿孔结构体8002内发生CO_2从负载CO_2的空气101至CO_2捕获溶液114的质量传递。图13显示穿孔填充物8000的另一实例，所述穿孔填充物8000可构成本文公开的气液接触器100、100a、100b、100c中使用的填充物106、2106、3106、4106的一些或全部。图13的穿孔填充物8000包括多个穿孔结构体8002。上文提供的穿孔结构体900、5900、1002、1102、2002、3002、6002、7002的描述，以及优势、特征和功能中的一个(一种)、一些或全部将所作的一切必要修改应用于图13的穿孔结构体8002。上文提供的穿孔填充物1000、1100、2000、3000、6000、7000的描述，以及优势、特征和功能中的一个(一种)、一些或全部将所作的一切必要修改应用于图13的穿孔填充物8000。

[0216] 参考图13，穿孔结构体8002彼此间隔开并且形成穿孔结构体8002的排列物8009。在图13中，将穿孔结构体8002浸没在CO_2捕获溶液114的储器8011中，并且由此沉浸在CO_2捕集液114中。储器8011可为穿孔填充物8000的进料结构体的组件。穿孔结构体8002具有水平取向，并且从与空气进料导管8006流体连的通入口8004延伸。空气进料导管8006将负载CO_2的空气101供给至穿孔结构体8002。穿孔结构体8002具有与出口导管8010流体连通的出口8008。图13的穿孔结构体8002在其两个末端处都是开放的。出口导管8010有助于将贫CO_2气体105排气或排放至大气，并且还收集CO_2捕获溶液114和负载CO_2的捕获溶液111的溶液。溶液流下出口导管810，以如上所述进行处理。

[0217] 参考图13，穿孔结构体8002在竖直方向间隔开。穿孔结构体8002具有多个穿孔904。穿孔904可仅沿着穿孔结构体8002的上部存在，使得穿孔结构体8002的下部是未穿孔的。替代地，穿孔结构体8002的上部和下部均可具有穿孔904。

[0218] 储器8011中的CO_2捕获溶液114和穿孔结构体8002的内部体积8001之间的压力差导致CO_2捕获溶液114渗流到内部体积8001中，沿着穿孔结构体8002的内部表面8013形成液体膜1007。液体膜1007的表面是在沿着内部表面8013流动的负载CO_2的空气101与CO_2捕获溶液114之间的气液界面。CO_2从负载CO_2的空气101吸收到液体膜1007中，以形成CO_2捕获溶液114和负载CO_2的捕获溶液111的溶液，并且以形成贫CO_2气体105，所述贫CO_2气体105从出口导管8010排出。溶液最终流动通过内部体积8001并且流动到出口导管8010中。可选择储器8011内的CO_2捕获溶液114的液位，以产生如下的静水压力，其足以导致CO_2捕获溶液114渗流到穿孔结构体8002中，但不足以导致穿孔结构体8002在自身上塌陷。因此，在图13的穿孔填充物8000中，在穿孔结构体8002内发生CO_2从负载CO_2的空气101至CO_2捕获溶液114的质量传递。

[0219] 本文所公开的穿孔结构体的排列物(诸如排列物1009、1109、2009、3009、6009、7009和8009)可将穿孔结构体定位在任何合适的构型中。非限制性实例包括六边形、正方形、矩形、三角形、圆形、交错的或其组合的穿孔结构体的排列(布置)。

[0220] 穿孔结构体(诸如本文公开的穿孔结构体900、5900、1002、1102、2002、3002、6002、7002、8002)可包括在界定穿孔结构体的外部表面的壁上的结构体,这可有利于形成CO_2捕获溶液114的液体膜1007并且增加质量传递面积。这些结构体允许调整表面粗糙度,并且可用于调整CO_2捕获溶液114在穿孔结构体的表面上的接触角以增加湿润的表面积。可利用穿孔结构体的表面的形状以调整表观接触角θ_A。

[0221] 差的湿润性和疏水性(例如倾向于排斥液体或不与液体混合)通常与高的接触角θ相关。接触角θ定义为液固界面308和液气界面309之间的角度,其通过溶液114测量,如图14B所示。接触角θ可影响在穿孔结构体的表面上流动的CO_2捕获溶液114的流动状态。例如,高的接触角θ(例如,大于70度并且小于150度)可导致沿着表面的细流(rivulet flow)和低的湿润级分s(例如,湿润的表面面积),这可减少可用于从负载CO_2的空气101至CO_2捕获溶液114的质量传递的可用的表面的气液界面面积。相比之下,低的接触角θ(例如大于20度并且小于50度)可导致沿着穿孔结构体的表面的液体膜流动和高的湿润级分s。参考图14C,表观接触角θ_A是表观固体表面305(相对于实际固体表面906)和液气界面309之间的角度。实际接触角θ_y是实际固体表面906和液气界面309之间的角度。

[0222] 结构体可影响CO_2捕获溶液114在表面上的‘宏观’流动,并且可影响CO_2捕获溶液114在表面上的接触角θ。结构体可包括诸如波纹、管状物、沟槽、人字形或通道的图案,所述图案影响液体薄膜1007沿着外部表面向后、向前或直线移动的趋势,这取决于穿孔结构体的刚度和空气速度。结构体可为如下的小尺度的图案或结构体,其可减小表观接触角θ_A并且使液体膜1007能够流动。

[0223] 参考图14A和14D,穿孔结构体900的壁903包括多个结构体1405。结构体1405可以任何规则或不规则的排列或图案设置在壁903上。结构体1405和壁903共同界定穿孔结构体900的外部表面906。结构体1405的非限制性实例包括脊、凹坑、孔、蚀刻部分、颗粒料或纤维。在一些实施方式中,穿孔结构体900可包括孔或为多孔材料。多孔材料可为无定形的或非均匀的,并且包括可具有特征尺寸(例如,约1mm)的凹槽或凹陷。多孔材料可通过增加穿孔结构体900的可湿润的表面积来允许形成更大的液体膜1007。

[0224] 穿孔结构体900的结构体1405可为非常小尺度的特征,其通过表观接触角θ_A(相对于实际接触角θ_y)的效果来改进CO_2捕获溶液114的湿润。结构体1405的尺寸可为毫米的尺度的。在结构体1405包括脊的构型中,这些可用于获得低的表观接触角θ_A。在一些实施方式中,脊可具有小于10mm的宽度。例如,可在1mm至2mm之间设置脊的尺寸。与没有这些结构体1405的表面906相比,脊可用于获得CO_2捕获溶液114更好的湿润。

[0225] 一些结构体1405可以从壁903突出。在一些实施方式中,从壁903突出的结构体1405可包括不同于壁903的材料的材料。例如,结构体1405可包括在制造期间引入到壁903的颗粒料或纤维,以增加最初光滑的外部表面906的表面粗糙度。向穿孔结构体添加纤维可获得类似于玻璃纤维片材的纹理。一些结构体1405可凹陷到壁903中。例如,结构体1405可包括如下的凹坑、蚀刻部分、孔、穿孔、或其组合,其可被引入以增加最初光滑的外部表面906的表面粗糙度。对于从例如0L/m^2s至10L/m^2s范围的CO_2捕获溶液114的液体加载流速,可

选择这些结构体1405的尺寸、间隔和形状以降低表观接触角θ_A(例如,至50度或更小)。在一些情形中,结构体14054配置为对于从0.5L/m^2s至2.5L/m^2s范围的低的液体加载率而降低接触角。

[0226] 参考图14A和14E,穿孔结构体900的壁903包括多个结构体1407。壁903可为波纹状的,或者包括形成波纹状外部表面906的结构体。例如,结构体1407可为形成具有峰1409和谷1411的横截面形状的脊。实例结构体1407包括具有梯形和/或三角形形状的脊。脊也可形成其它横截面形状。穿孔结构体900的结构体1407的其它实例包括通道或沟槽。在一些实施方式中,结构体1407可包括比结构体1405的尺寸更大的尺寸。

[0227] 参考图14A和14F,穿孔结构体900的壁903包括亲水性表面1415。由于穿孔结构体900的表面906的湿润的面积确定了CO_2捕获溶液114暴露于空气中的CO_2的量,并且亲水性表面1415增加了对于给定体积的CO_2捕获溶液114的湿润面积,因此亲水性材料可用于穿孔结构体900的表面906。用于形成亲水性表面1415的亲水性涂层(涂料)例如增加了表面能并且降低了接触角。亲水性表面1415可得自如下的表面处理,使材料暴露以改变其表面上的键,也可以实现类似的结果。通过展示出亲水性性质而不是疏水性性质,穿孔结构体可能够增加液体CO_2捕获溶液114和流动穿过穿孔结构体900的表面906的负载CO_2的空气101的流之间的接触。反映良好性能的亲水性表面1415的设计标准可包括但不限于:低静压设计、在整个穿孔结构体900的范围均等地分配液体的能力、低结垢能力、空气接触效率的增加、更低的材料要求和可制造性。亲水性表面1415可例如通过施加涂层来形成。与涂层不同或除了涂层之外,还可通过将外部表面906暴露于一些表面处理来形成亲水性表面1415,这可导致表面906处的键发生变化以提高亲水性。这样的表面处理的实例是等离子、火焰和电晕处理,以及一些用氧化剂进行的化学处理。表面处理的一些实例可为机械处理,诸如喷珠(bead-blasting)和压花。可直接对外部表面906应用表面处理。在一些情形中,表面处理可应用于外部表面906上的涂层,特别地如果涂层对表面处理是响应性的(例如,接触角被减小以及涂层的亲水性性质改进)。与涂层和表面处理不同或除了涂层和表面处理之外,亲水性表面1415还可由被选择用以改进亲水性的壁903的材料组合物形成。例如,特定的PVC树脂和/或乙烯基化合物可具有比用于形成可商购获得的冷却塔填充物的一些热塑性塑料(例如丙烯酸类(acrylic,亚克力)、聚酯、聚丙烯、聚苯乙烯、尼龙和Teflon™)更高的表面能和提高的可湿润性。

[0228] 穿孔结构体900的壁903可以任意组合的方式包括结构体1405、结构体1407和亲水性表面1415以界定外部表面906。例如,结构体1405可叠加在结构体1407上,以增加湿润的表面积。穿孔结构体900可包括影响CO_2捕获溶液114以特定方向流动的趋势的较大的形状(结构体1407的实例),以及能够形成CO_2捕获溶液114的液体膜1007的结构体1405。因此,结构体1407、结构体1405和/或亲水性涂层可独立地或彼此相组合地使用,以增加穿孔结构体900的湿润的表面积。多个结构体1407和结构体1405可适用于改进对于如下的DAC应用的质量传递,其中CO_2捕获溶液114以例如从0L/m^2s至10L/m^2s范围的液体加载流速被分配,并且分配至具有例如2-10米的填充物深度的穿孔填充物。在一些情形中,结构体1407和结构体1405适用于0.5L/m^2s至2.5L/m^2s的液体加载速率。在一些情形中,用如下的速率增强材料涂覆穿孔结构体900的表面可为有利的,所述速率增强材料包括通过固定化方法而稳定在固体支撑体上的速率增强添加剂,例如促进剂或催化剂。例如,结构体1405、结构体1407或壁

903的光滑表面中的至少一个可涂覆有速率增强材料。

[0229] 本文公开的穿孔结构体(诸如穿孔结构体900、5900、1002、1102、2002、3002、6002、7002、8002)可由刚性材料构造。在一些实施方式中,穿孔结构体可包含PVC、聚乙烯、陶瓷、金属、塑料、钢或其组合。类似地,进料结构体及其特征可以由刚性材料制成,所述刚性材料诸如PVC、聚乙烯、陶瓷、金属、塑料、钢或其组合。在其它实施方式中,本文公开的穿孔结构体(诸如穿孔结构体900、5900、1002、1102、2002、3002、6002、7002、8002)可为柔性的或弹性的。穿孔结构体可包括如下的柔性材料,其使得所述穿孔结构体响应于CO_2捕获溶液114和负载CO_2的空气101的流动而变形。在一种实施方式中,穿孔结构体的主体是可扩展的,使得它们在填充有CO_2捕获溶液114时膨胀并且变得具有刚性,并且在排空CO_2捕获溶液114时缩小并且变得具有柔性。在其它实施方式中,本文公开的穿孔结构体(诸如穿孔结构体900、5900、1002、1102、2002、3002、6002、7002、8002)是多孔材料,诸如海绵状材料,其允许CO_2捕获溶液114至少部分地由于毛细作用而流动通过穿孔904。

[0230] 参考图15,根据用于气液接触器100、100a、100b和100c一种可能的且非限制性实例,具有本文公开的穿孔填充物1000、1100、2000、3000、6000、7000、8000的气液接触器100、100a、100b、100c是用于直接从大气空气中捕获CO_2的直接空气捕获(DAC)系统1200的一部分(部件)。气液接触器100、100a、100b、100c使用CO_2捕获溶液114吸收来自大气空气1202的CO_2中的一些,以形成富CO_2溶液1208。CO_2捕获溶液114可需要从富CO_2的捕获溶液1208再生,这可在DAC系统1200的再生系统1230中进行。再生系统1230的作用是处理富CO_2的捕获溶液1208(例如,失效的捕获溶液)以收取和/或浓缩在富CO_2的捕获溶液1208中负载的CO_2含量。

[0231] 富CO_2溶液1208(例如负载CO_2的捕获溶液111)从气液接触器100、100a、100b、100c流动至DAC系统1200的颗粒(pellet)反应器1210。将氢氧化钙1224的浆料注射到颗粒反应器1210中。在颗粒反应器中发生富CO_2溶液1208和氢氧化钙1224之间的反应。Ca^{2+}与CO_3^{2-}在颗粒反应器1210中发生反应,以形成碳酸钙固体和水性碱性溶液作为CO_2捕获溶液114(诸如氢氧化物),从而使CO_2捕获溶液114再生。例如,富CO_2溶液1208中的碳酸钾可与氢氧化钙发生反应以形成碳酸钙和氢氧化钾,从而使包括氢氧化钾的CO_2捕获溶液114再生。

[0232] 在颗粒反应器1210中富CO_2溶液与$Ca(OH)_2$的反应导致碳酸钙($CaCO_3$)沉淀到的碳酸钙颗粒(particle)上。碳酸钙固体的进一步处理(其包括但不限于过滤、脱水或干燥)可发生在将碳酸钙固体输送到下游处理单元之前。碳酸钙固体的物流1214从颗粒反应器1210运输到DAC系统1200的煅烧炉1216。煅烧炉1216可通过煅烧炉1216中的燃料源的氧燃烧来煅烧来自颗粒反应器1210的碳酸钙物流1214以产生气态CO_2物流1218和氧化钙(CaO)1220物流。处理气态CO_2物流1220以进行封存或其它用途,从而去除来自气液接触器100、100a、100b、100c中处理的大气空气1202中CO_2的一些。氧化钙(CaO)物流1220在DAC系统1200的熟化器1222中用水熟化,以产生提供给颗粒反应器1210的氢氧化钙1224浆料。DAC系统1200可包括多个气液接触器100、100a、100b、100c,其中每个气液接触器100、100a、100b、100c形成气液接触器100、100a、100b、100c的连串件/集合体的基元件(cell)。

[0233] 在一些实施方式中,CO_2捕获溶液114可使用不同的再生系统进行再生。再生系统1230可为气液接触器100、100a、100b、100c的一部分或与其是分离(独立,分开)的。在实例性再生系统1230中,富CO_2溶液1208可流动至包括基元电池(cell)组的电化学系统,所述基元电池组可包括一组或多组的一个或多个膜状物和一组或多组的电极。电化学系统可通过

向包括富CO_2溶液1208的电解质施加电位来从富CO_2溶液1208再生CO_2捕获溶液114。电位差导致离子交换,从而形成回收的$CO_2$1218并且使CO_2捕获溶液114再生。在实例性再生系统1230中,富CO_2溶液1208可流动至如下的热汽提塔,所述热汽提塔采用蒸汽以从富CO_2溶液1208中脱附CO_2,从而形成回收的CO_2物流1218并且使CO_2捕获溶液(例如,贫CO_2液体)再生。

[0234] 再生系统1230可包括液体分配管、固体传送装备、过滤系统、中间体组件(如存储容器)和/或协同地发挥使负载CO_2的捕获溶液114再生的作用的组件的集合体。再生系统1230还包括使液体流至和流出再生系统1230的泵。

[0235] 参考图16,公开了用于从稀气体混合物中捕获二氧化碳(CO_2)的方法1500。在1501处,方法1500包括使稀气体混合物(例如,负载CO_2的空气101)在多个穿孔结构体(例如,穿孔结构体900、5900、1002、1102、2002、3002、6002、7002、8002)之间并且沿着穿孔结构体的外部表面906流动。在1502处,方法1500包括使CO_2捕获溶液114流动。在1502处使CO_2捕获溶液114流动包括在1503处使CO_2捕获溶液114在穿孔结构体内流动。在1502处使CO_2捕获溶液114流动包括在1504处使CO_2捕获溶液114流动通过穿孔结构体的穿孔904。在1502处使CO_2捕获溶液114流动包括在1505处使CO_2捕获溶液114沿着外部表面906流动以沿着外部表面906的至少一部分形成CO_2捕获溶液114的液体膜1007,并且以将来自稀气体混合物的CO_2吸收到CO_2捕获溶液114的液体膜1007中。

[0236] 图17是气液接触器(诸如本文公开的气液接触器100、100a、100b、100c)的控制系统(或控制器)1600的示意图。系统1600可用于与先前描述的计算机实现方法的任何一个相关联的所描述的操作,例如作为控制系统999或本文描述的其它控制器或作为控制系统999或本文描述的其它控制器的一部分。

[0237] 系统1600旨在包括各种形式的数字计算机,诸如手提电脑、台式电脑、工作站、个人数字助理、服务器、刀片服务器、大型主机和其它合适的计算机。系统1600还可包括移动装置,诸如个人数字助理、移动电话、智能手机和其它类似的计算装置。此外,系统可包括便携式存储介质,诸如Universal Serial Bus(USB)闪存驱动器。例如,USB闪存驱动器可存储操作系统和其它应用程序。USB闪存驱动器可包括输入/输出组件,诸如可插到另外的计算装置的USB端口中的无线发射器或USB连接器。

[0238] 系统1600包括处理器1610、存储器1620、储存装置1630和输入/输出装置1640。组件1610、1620、1630和1640的每一个使用系统总线1650相互连接。处理器1610能够处理用于在系统1600内执行的指令。处理器可使用多个架构中的任何一个来设计。例如,处理器1610可为CISC(Complex Instruction Set Computers)处理器、RISC(Reduced Instruction Set Computer)处理器或MISC(Minimal Instruction Set Computer)处理器。

[0239] 在一个实施方式中,处理器1610是单线程处理器。在一些实施方式中,处理器1610是多线程处理器。处理器1610能够处理存储在存储器1620中或存储在储存装置1630上的指令,以在输入/输出装置1640上显示用于用户界面的图形信息。

[0240] 存储器1620在系统1600内存储信息。在一个实施方式中,存储器1620是计算机可读介质。在一个实施方式中,存储器1620是易失性存储器单元。在一些实施方式中,存储器1620是非易失性存储器单元。

[0241] 储存装置1630能够为系统1600提供大容量存储。在一个实施方式中,储存装置1630是计算机可读介质。在各种不同的实施方式中,储存装置1630可为软盘装置、硬盘装

置、光盘装置或磁带装置。

[0242] 输入/输出装置1640为系统1600提供输入/输出操作。在一个实施方式中,输入/输出装置1640包括键盘和/或指向装置。在一些实施方式中,输入/输出装置1640包括用于显示图形用户界面的显示单元。

[0243] 某些所描述的特征可在数字电子电路、或在计算机硬件、固件、软件或在它们的组合中实现。设备可在有形地体现在信息载体中的计算机程序产品中实现,例如,在用于通过可编程处理器执行的机器可读储存装置中实现;以及方法步骤可通过执行指令的程序的可编程处理器来进行,以通过在输入数据和生成的输出上操作来运行所描述的实施方式的功能。所描述的特征可以有利地在可编程系统上可执行的一个或多个计算机程序中实现,该可编程系统包括耦合用于从数据存储系统、至少一个输入装置和至少一个输出装置接收数据和指令,并且向数据存储系统、至少一个输入装置和至少一个输出装置传输数据和指令的至少一个可编程处理器。计算机程序是如下的一组指令,所述指令可在计算机中直接或间接地使用以进行某种活动或引起某种结果。计算机程序可以任何形式的编程语言包括编译或解释语言编写,并且其可以任何形式包括作为独立程序或作为模块、组件、子程序或适合在计算环境中使用的其它单元展开。举例而言,用于执行指令的程序的合适的处理器包括通用微处理器和专用微处理器两者,以及任何种类的计算机的单一处理器或多个处理器中的一个。一般地,处理器将从只读存储器或随机访问存储器或两者接收指令和数据。计算机的必要元件是用于执行指令的处理器和用于存储指令和数据的一个或多个存储器。一般地,计算机还将包括一个或多个用于存储数据文件的大容量存储设备,或运行耦合以与至一个或多个用于存储数据文件的大容量存储设备进行通信;这样的装置包括磁盘,诸如内部硬盘和可移动盘;磁光盘;和光盘。适用于有形地体现计算机程序指令和数据的储存装置包括所有形式的非易失性存储器,举例而言,其包括半导体储存装置诸如EPROM、EEPROM和闪存装置;磁盘诸如内部硬盘和可移动盘;磁光盘;以及CD-ROM和DVD-ROM盘。处理器和存储器可补充有ASIC(专用集成电路)或并入在ASIC中。

[0244] 为了提供与用户的交互,特征可以在计算机上实现,计算机具有用于向用户显示信息的显示装置诸如CRT(阴极射线管)或LCD(液晶显示器)监视器和键盘和指向装置诸如鼠标或轨迹球,用户通过键盘和指向装置可以向计算机提供输入。此外,这样的活动可以通过触摸屏平板显示器和其它适当的机制来实现。

[0245] 特征可以在控制系统中实现,控制系统包括后端组件,诸如数据服务器,或包括中间件组件,诸如应用程序服务器或互联网服务器,或包括前端组件,诸如具有图形用户界面或互联网浏览器的客户端计算机,或其任何结合物。系统的组件可以通过数字数据通信的任何形式或介质(诸如通信网络)进行连接。通信网络的实例包括局域网(“LAN”)、广域网(“WAN”)、点对点网络(具有特设(ad-hoc)或静态成员)、网格计算基础设施和互联网。

[0246] 本公开内容的多个实施方式已描述。然而,会理解,可在不脱离本公开内容的精神和范围的情况下进行各种修改。相应地,其它实施方式在以下权利要求的范围内。鉴于本描述,对于本领域技术人员来说,各种方面的进一步修改和替代实施方式将是显而易见的。相应地,本描述仅被解释为仅说明性的。应理解,本文所示和描述的形式被视为实施方式的实例。可用元件和材料替代本文所示和描述的那些,部件和工艺可逆转,并且某些特征可独立地利用,所有这些对于本领域技术人员在具有本描述的好处后将是显而易见的。可在不偏

离如在以下权利要求中描述的精神和范围的情况下对本文所描述的元件进行改变。

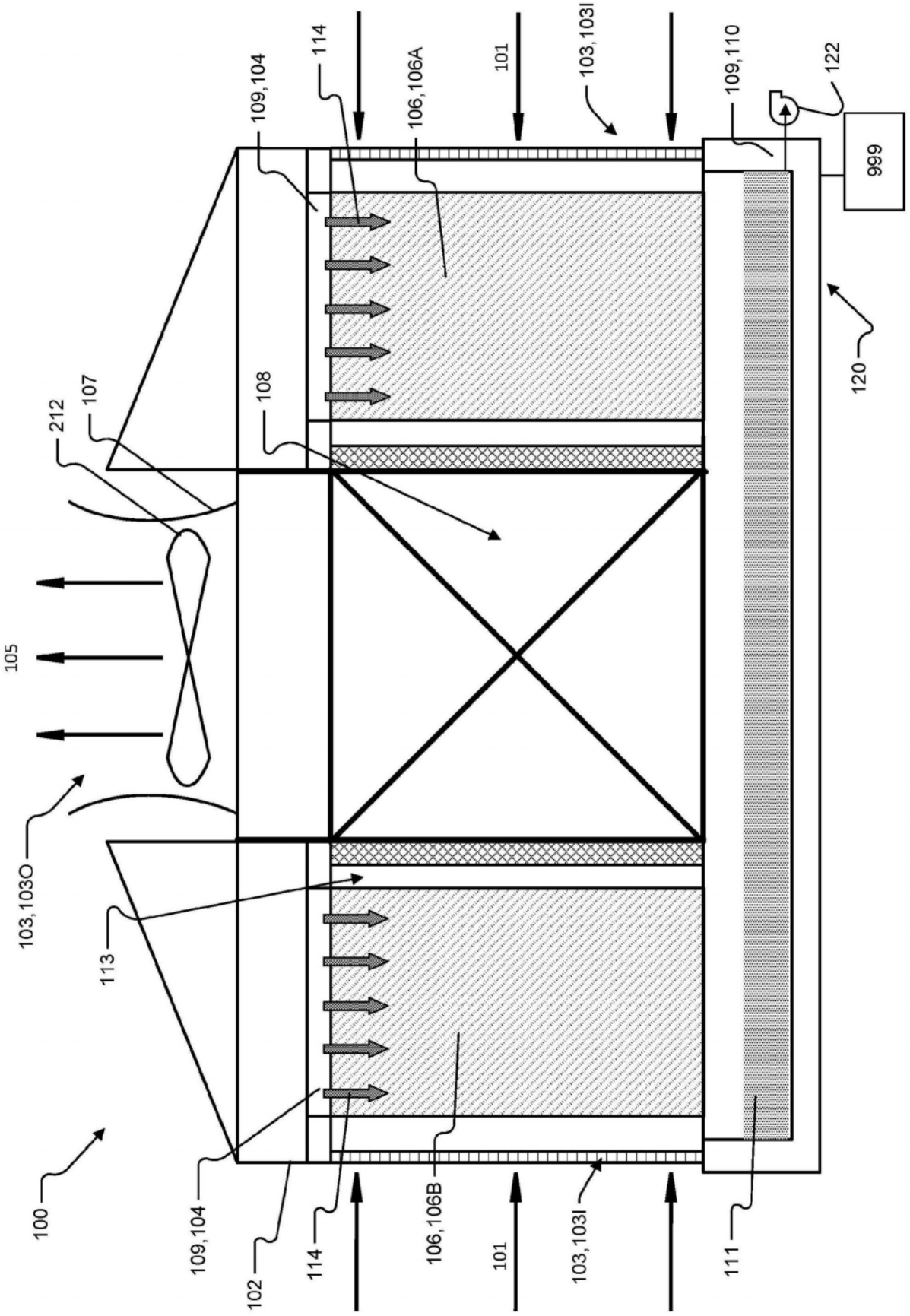

109,104
114
106,106A
101
103,103I
109,110
122
999
120
212
107
108
105
103,103O
113
100
109,104
102
114
106,106B
101
103,103I
111

图1

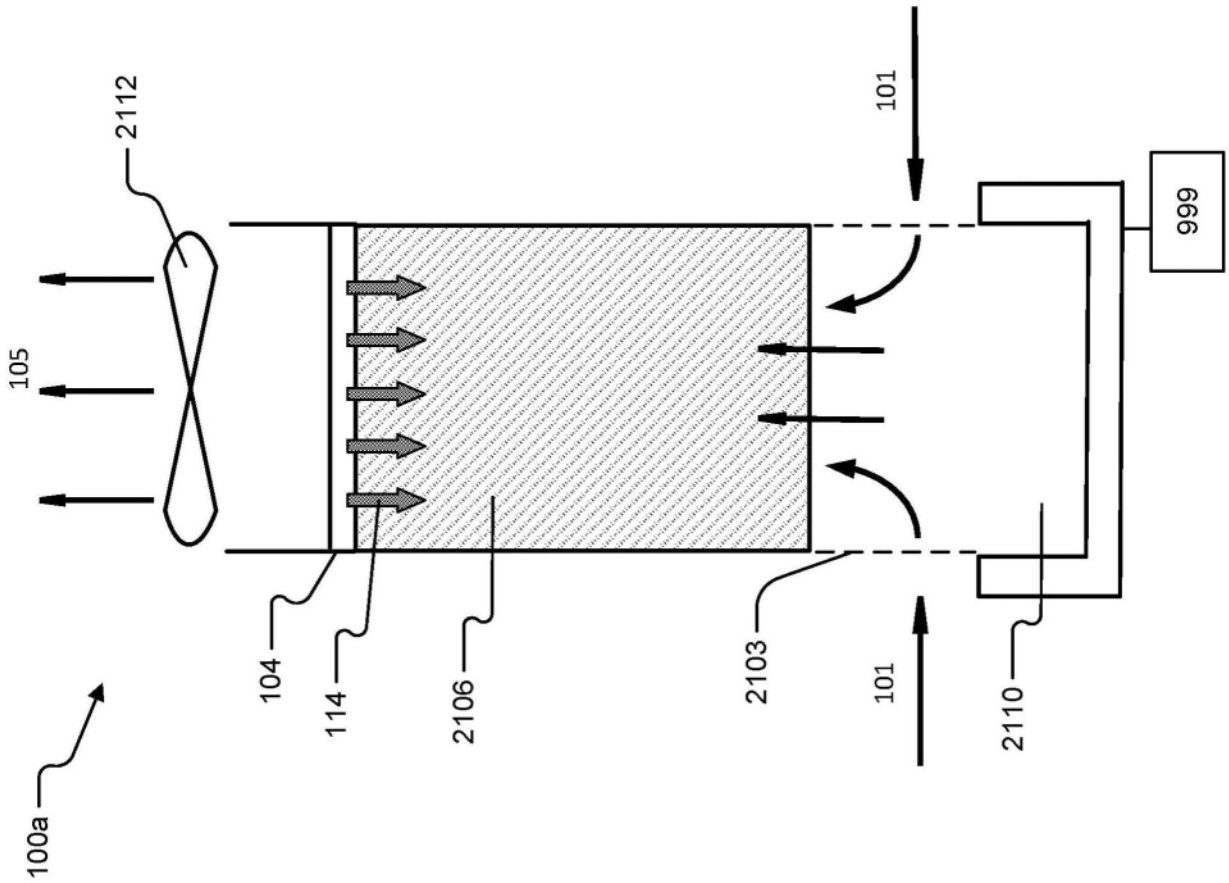


图2A

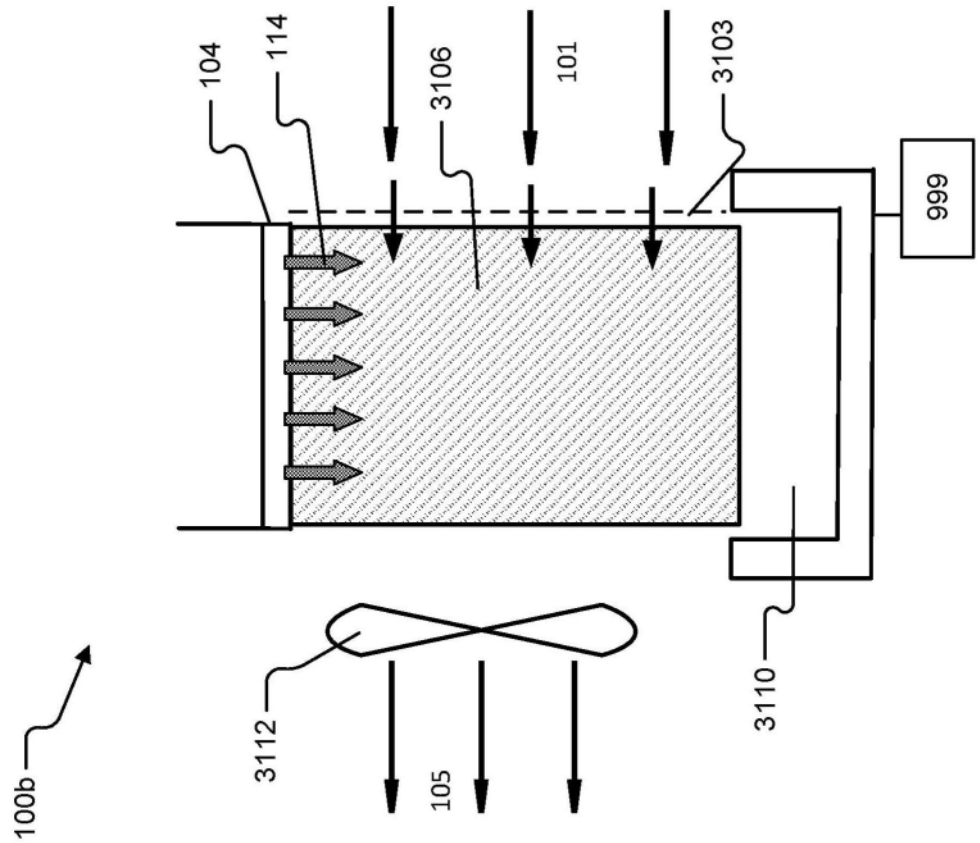


图2B

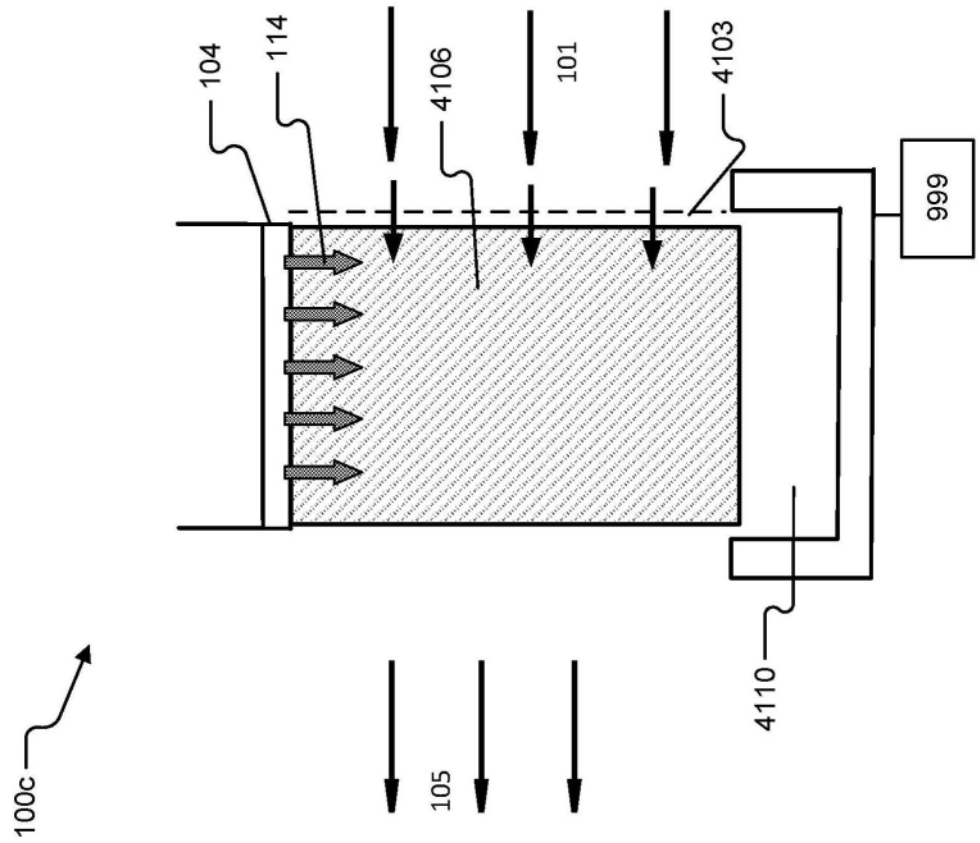

104
114
4106
101
4103
999
4110
100c
105

图3

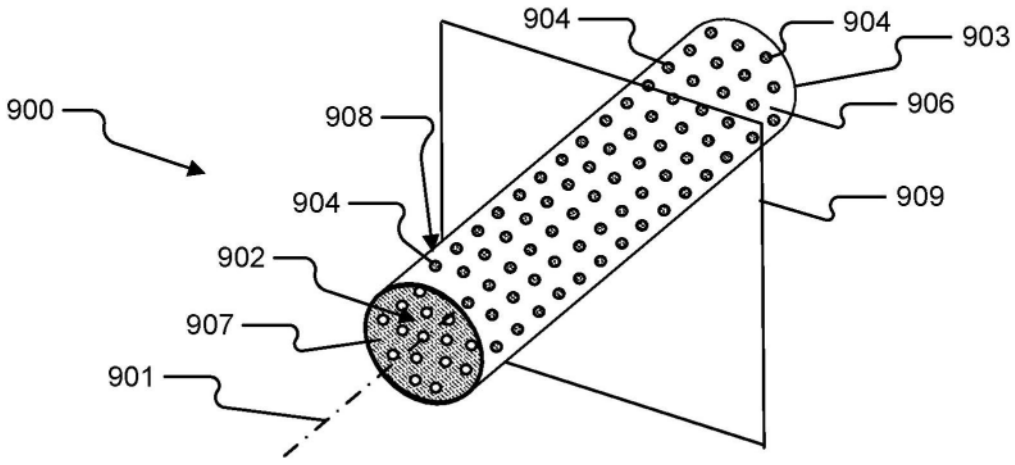

900
908
904
902
907
901
904
904
903
906
909

图4

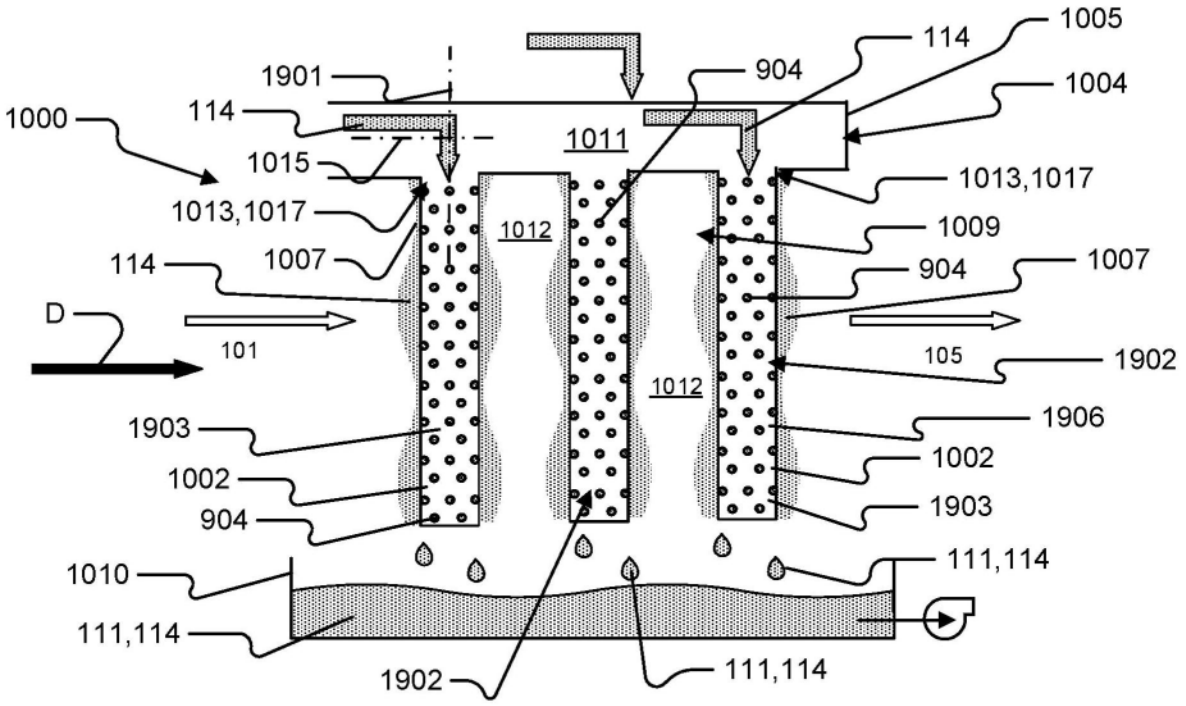

1005
114
1004
904
1901
114
1000
1011
1015
1013,1017
1009
1012
1007
904
114
1007
D
101
105
1902
1012
1906
1903
1002
1002
904
1903
111,114
1010
111,114
1902
111,114

图5

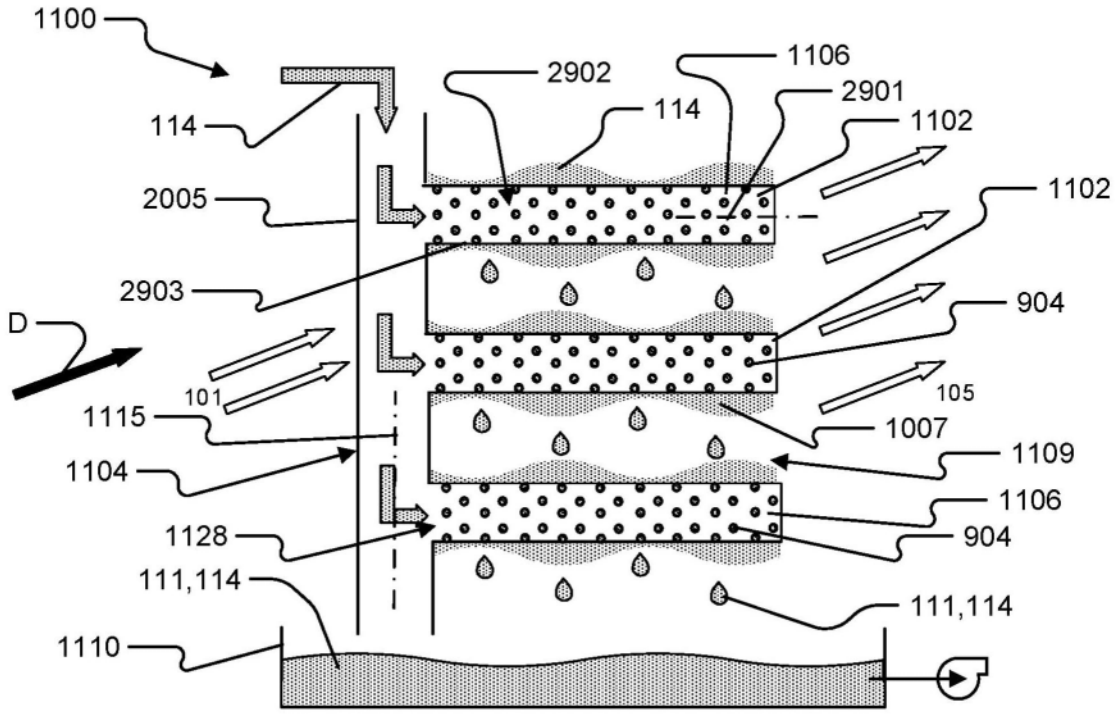

1100
1106
2902
2901
114
114
1102
2005
1102
2903
904
D
101
105
1115
1007
1109
1104
1106
1128
904
111,114
111,114
1110

图6

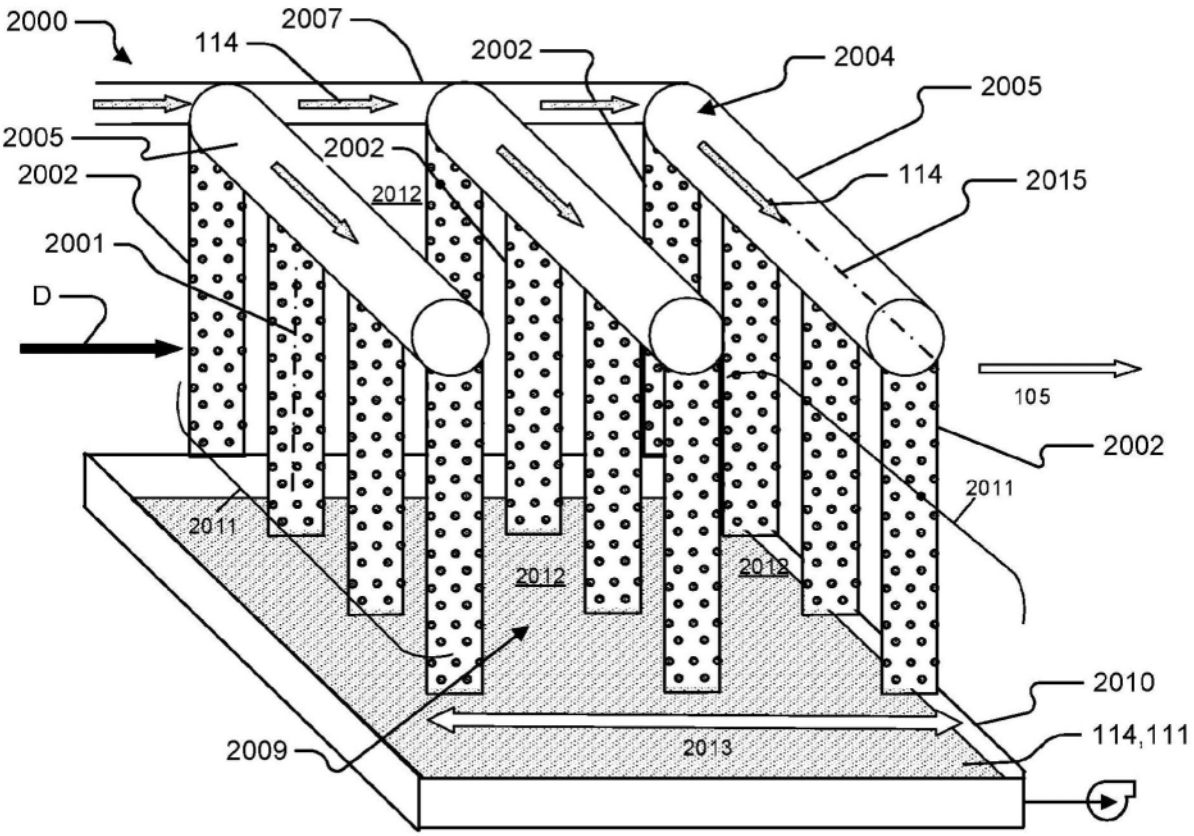

2000
114
2007
2002
2004
2005
2005
2002
2012
2002
114
2015
2001
D
105
2002
2011
2011
2012
2012
2010
2009
2013
114,111

图7

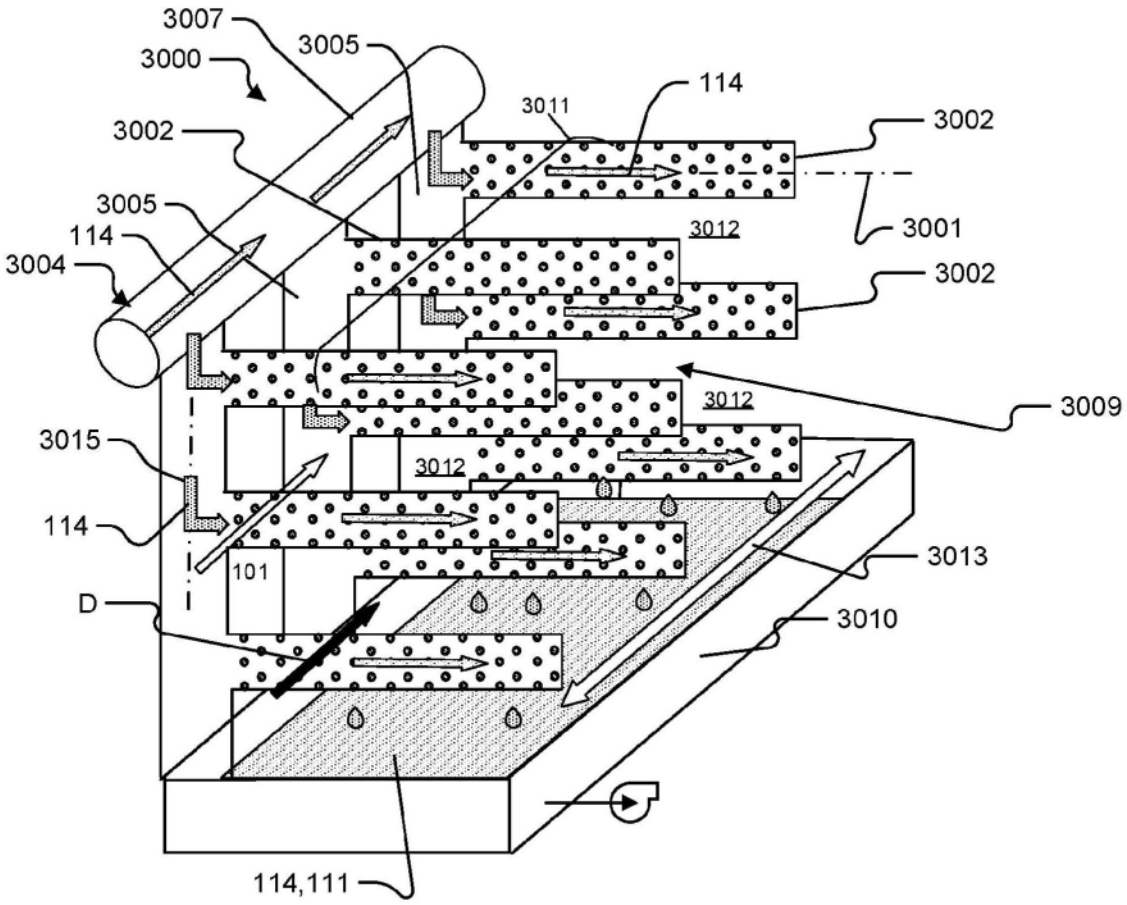

3007
3005
3000
3002
3005
114
3004
3011
114
3002
3001
3012
3002
3012
3009
3015
3012
114
101
D
3013
3010
114,111

图8

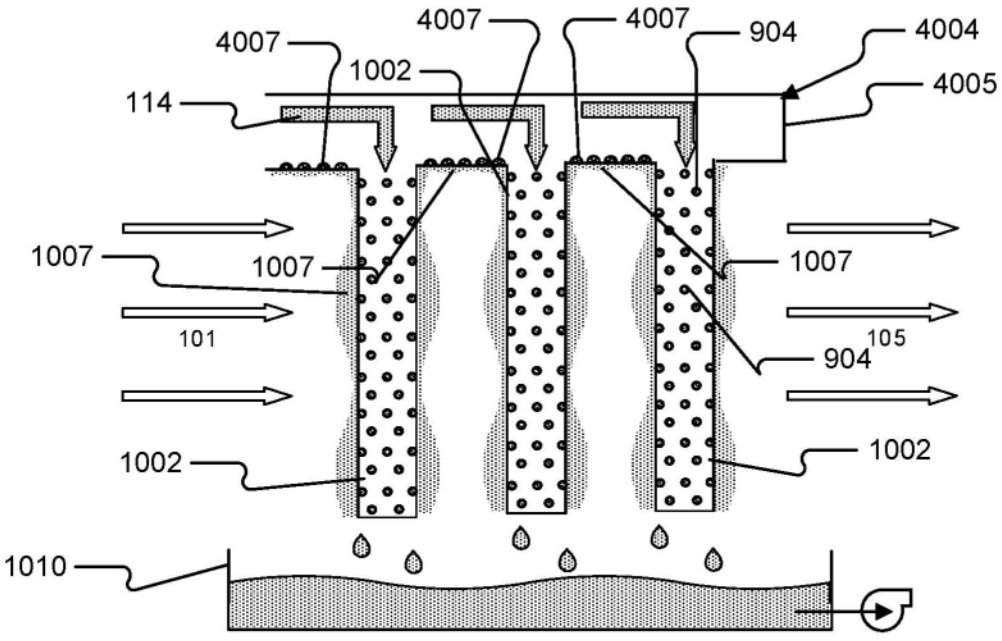

4007
4007
4007
904
4004
1002
4005
114
1007
1007
1007
101
105
904
1002
1002
1010

图9

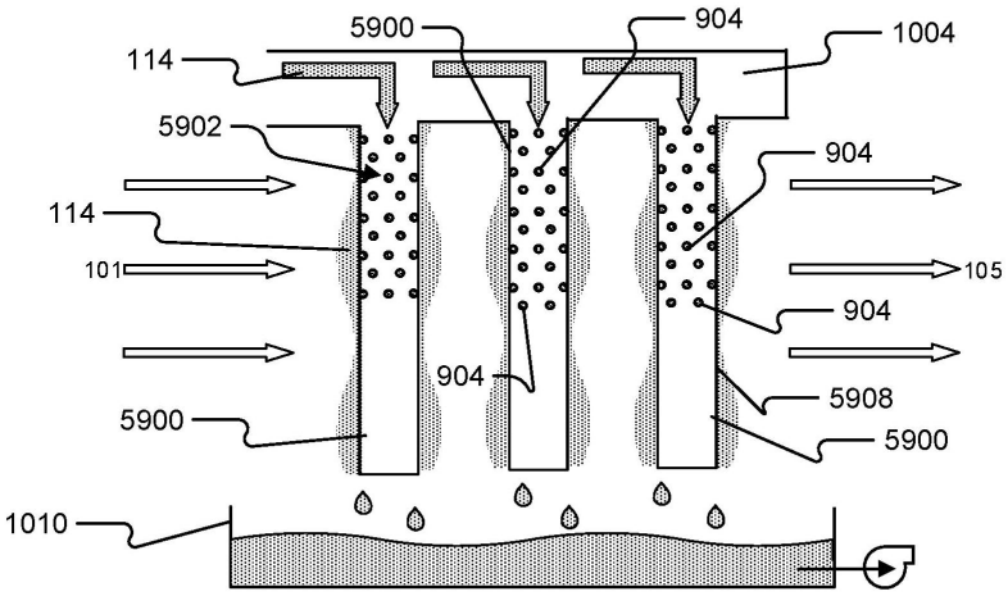

5900
904
1004
114
5902
904
114
101
105
904
904
5908
5900
5900
1010

图10

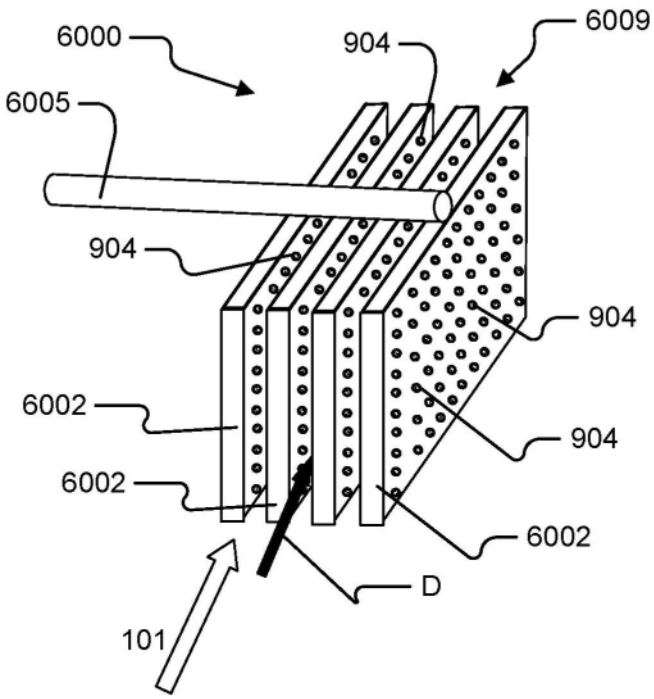

6000
904
6009
6005
904
904
6002
904
6002
6002
D
101

图11

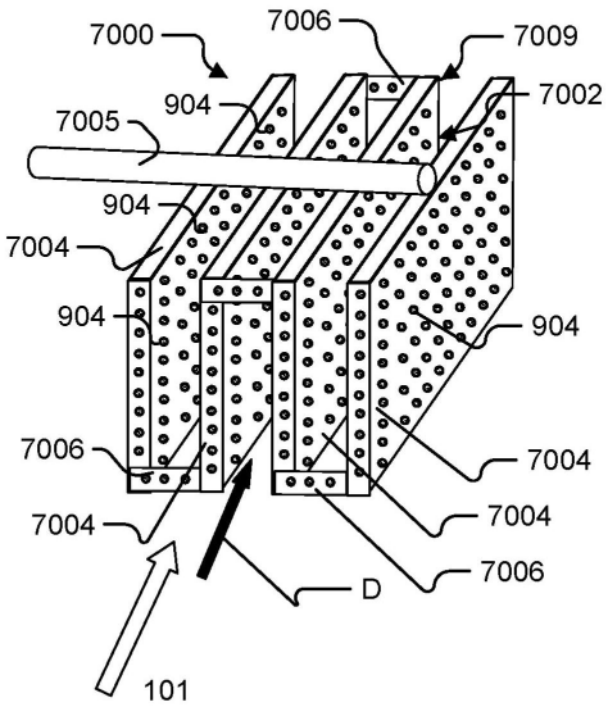

7000
7006
7009
904
7002
7005
904
7004
904
904
7006
7004
7004
7004
7006
D
101

图12

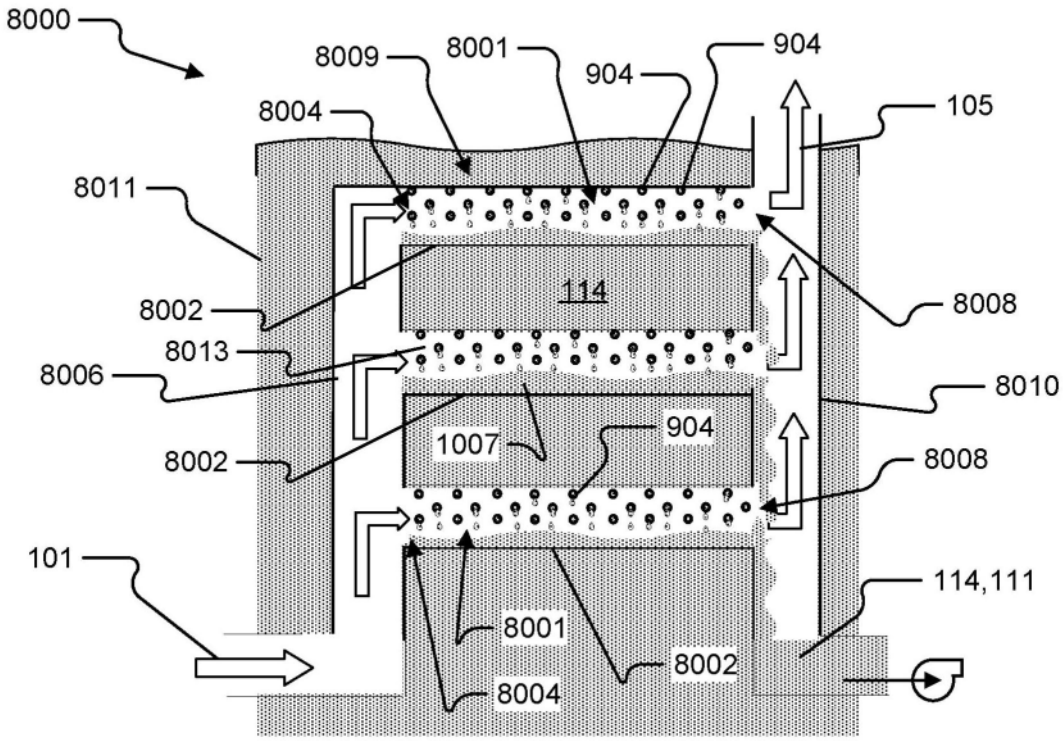

8000
8009
8001
904
904
8004
105
8011
114
8008
8002
8013
8006
8010
1007
904
8002
8008
101
114,111
8001
8002
8004

图13

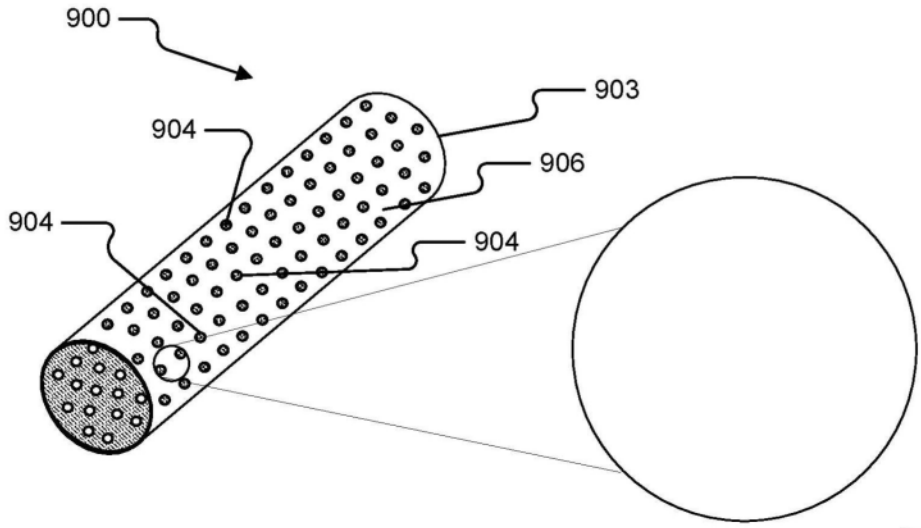


图 14A

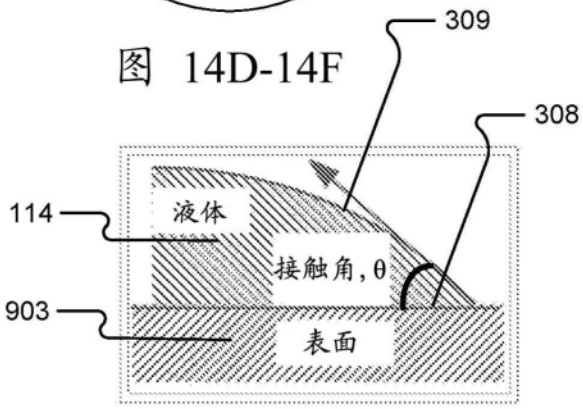


图 14B

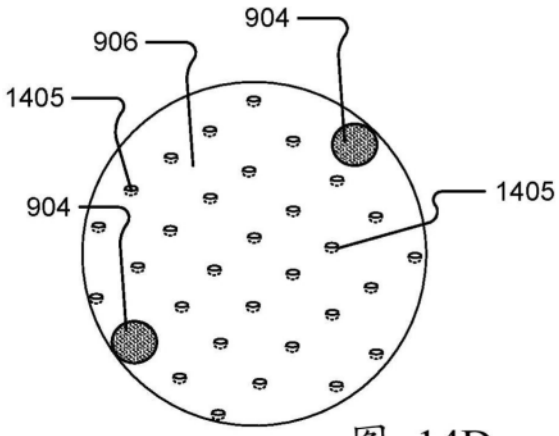


图 14D

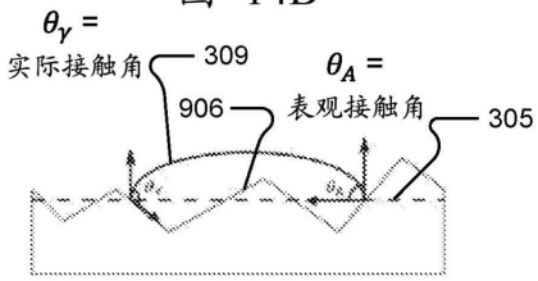


图 14C

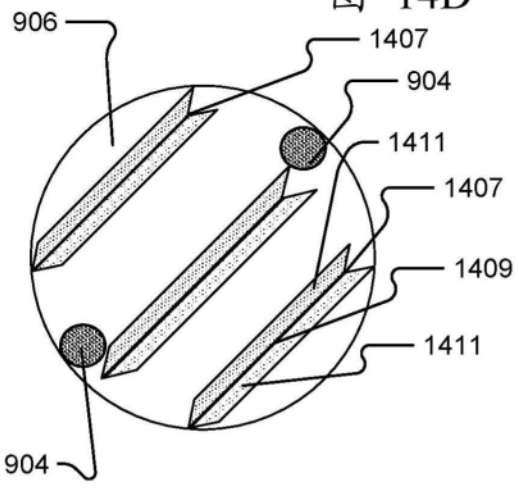


图 14E

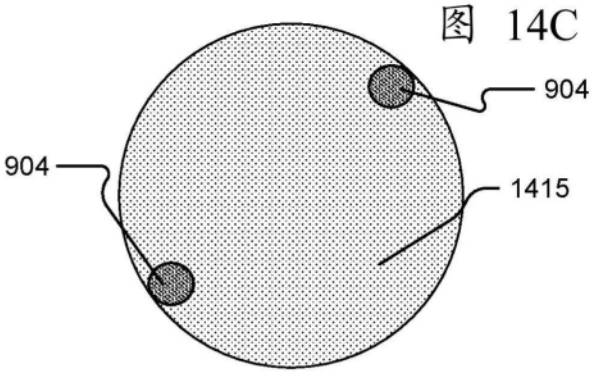


图 14F

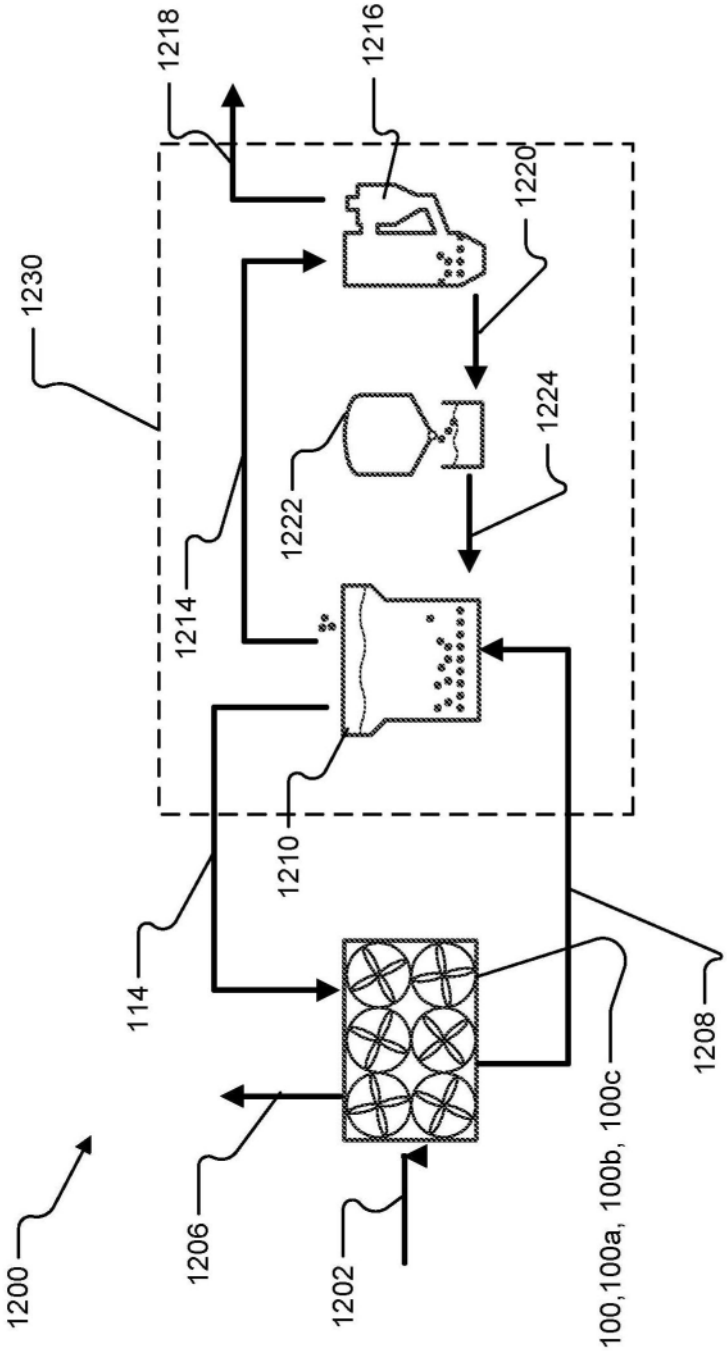

1218
1216
1220
1230
1224
1222
1214
1210
114
1208
1206
1202
100,100a, 100b, 100c
1200

图15

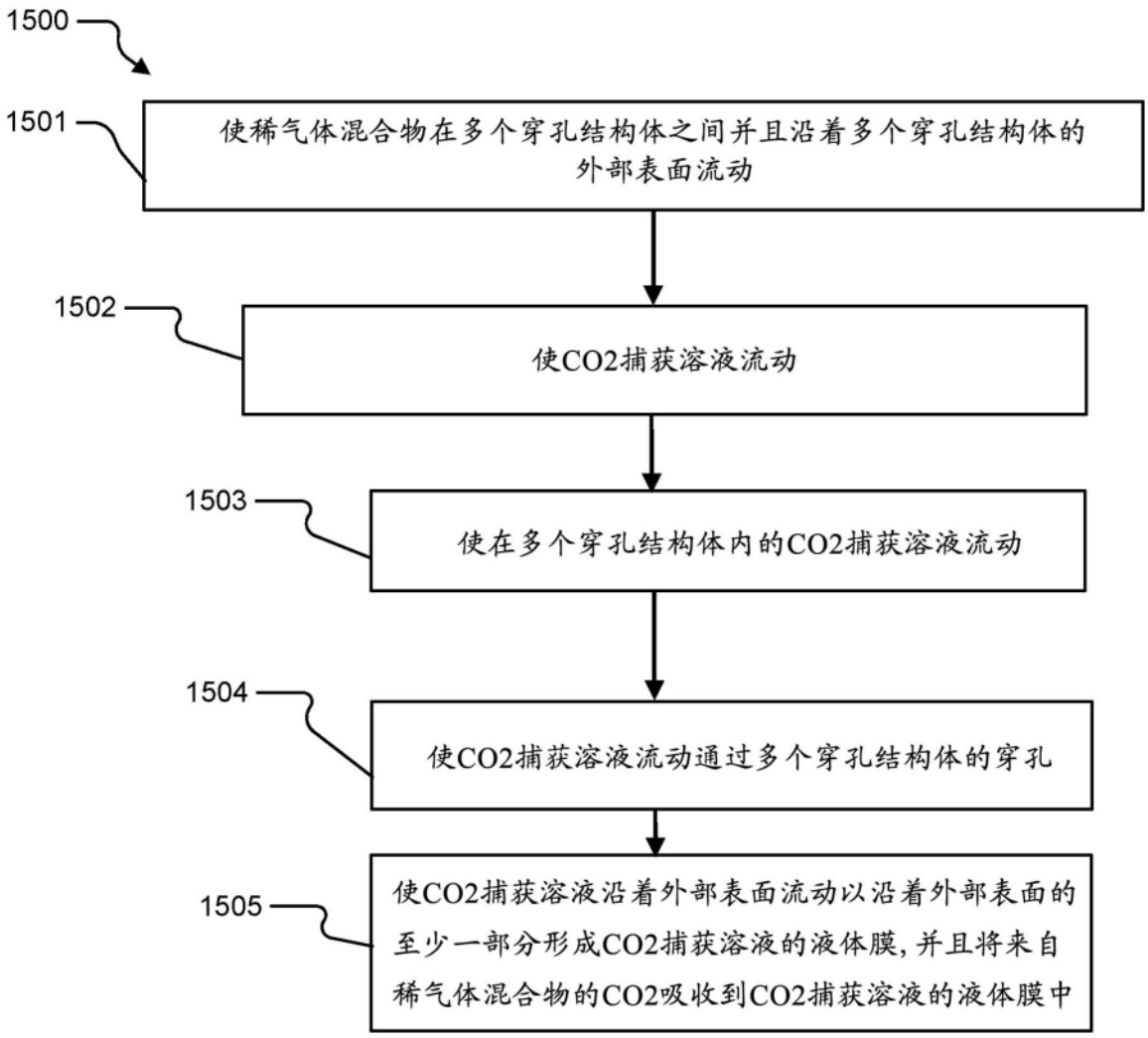

1500
1501
使稀气体混合物在多个穿孔结构体之间并且沿着多个穿孔结构体的外部表面流动
1502
使CO2捕获溶液流动
1503
使在多个穿孔结构体内的CO2捕获溶液流动
1504
使CO2捕获溶液流动通过多个穿孔结构体的穿孔
1505
使CO2捕获溶液沿着外部表面流动以沿着外部表面的至少一部分形成CO2捕获溶液的液体膜，并且将来自稀气体混合物的CO2吸收到CO2捕获溶液的液体膜中

图16

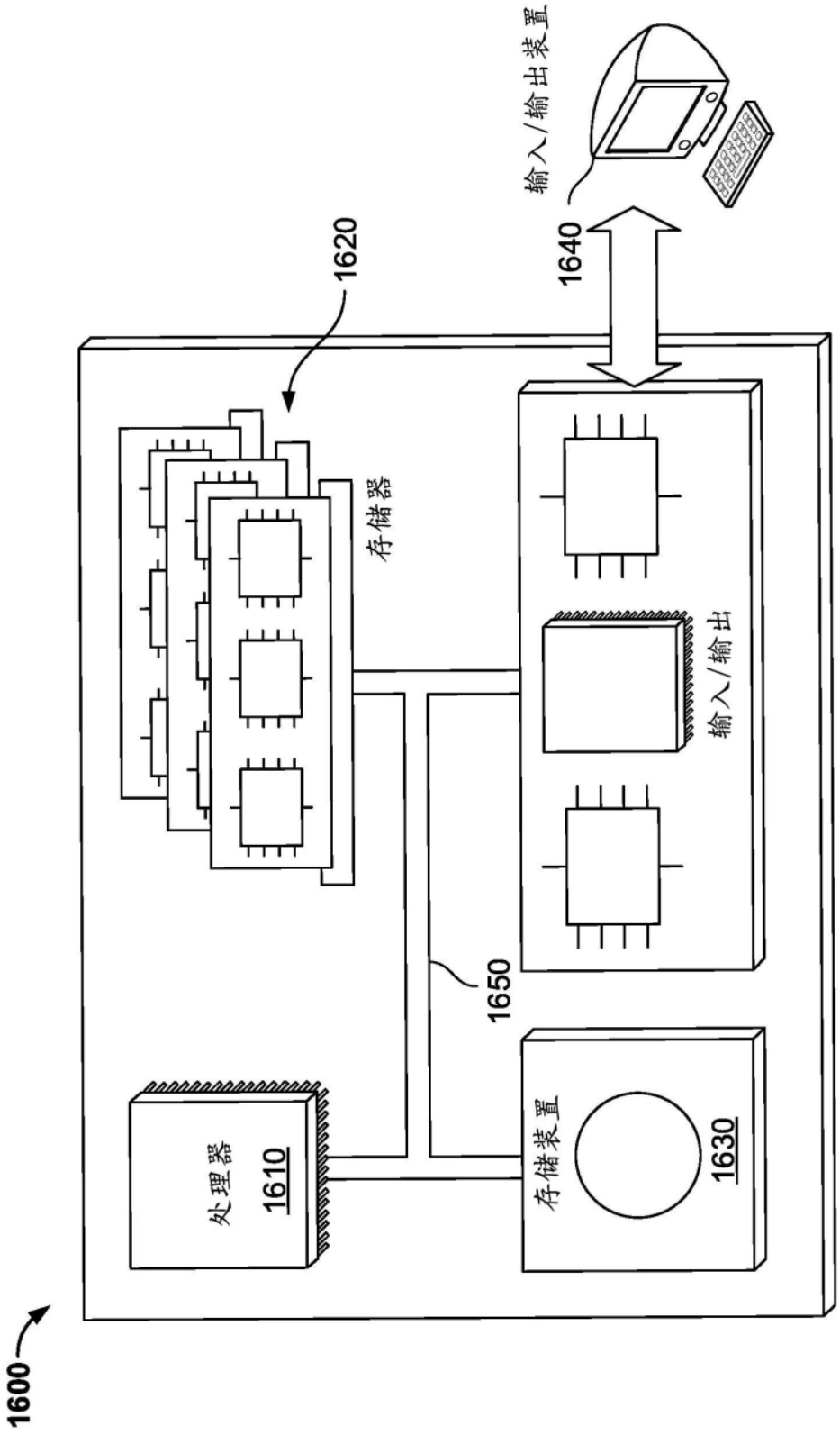


图16