



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117085455 A

(43) 申请公布日 2023. 11. 21

(21) 申请号 202311285027.5

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2019.10.28

B01D 53/04 (2006.01)

(30) 优先权数据

B01J 20/26 (2006.01)

62/752,319 2018.10.29 US

B01J 20/30 (2006.01)

62/828,367 2019.04.02 US

B01J 20/34 (2006.01)

(62) 分案原申请数据

201980080590.4 2019.10.28

(71) 申请人 亚利桑那州立大学董事会

地址 美国亚利桑那州

(72) 发明人 K·拉克纳 S·凯迪亚

V·朱达玛尼 R·佩奇

(74) 专利代理机构 北京戈程知识产权代理有限

公司 11314

专利代理师 程伟 周玉梅

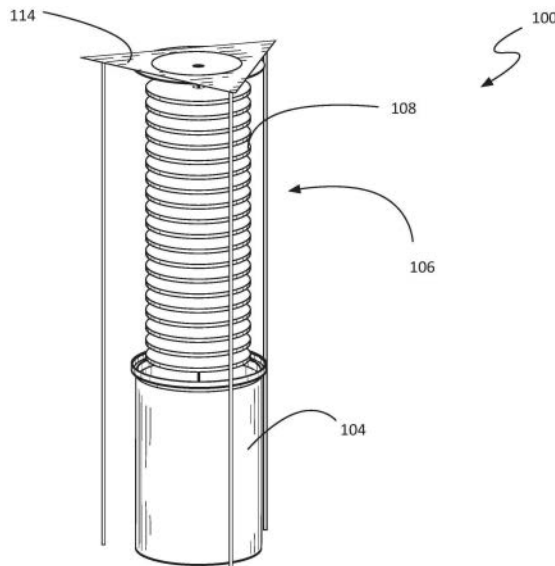
权利要求书3页 说明书17页 附图8页

(54) 发明名称

用于被动收集大气二氧化碳的装置、系统和方法

(57) 摘要

公开了一种用于被动收集大气二氧化碳的装置、系统和方法。所述装置包括具有开口的释放室和吸附剂再生系统。所述装置还包括捕获结构,该捕获结构联接至释放室,具有至少一个可折叠支撑件和多个瓦片,所述多个瓦片沿着所述可折叠支撑件间隔开。每个瓦片包括吸附剂材料。捕获结构在收集配置与释放配置之间可移动。收集配置包括捕获结构从释放室向上延伸以将捕获结构暴露于气流,并且使得吸附剂材料能够捕获大气二氧化碳。释放配置包括可折叠支撑件折叠,且多个瓦片充分封闭在释放室内部,使得吸附剂再生系统可以在多个瓦片上操作,以从吸附剂材料释放捕获的二氧化碳并形成富集气体。



1. 一种用于被动收集大气二氧化碳的装置,包括:
释放室,其包括开口和吸附剂再生系统;
捕获结构,其联接至所述释放室,并且包括至少一个可折叠支撑件和多个瓦片,所述多个瓦片由所述至少一个可折叠支撑件悬挂并沿着所述至少一个可折叠支撑件间隔开,每个瓦片包括吸附剂材料,并且所述捕获结构通过折叠至少一个可折叠支撑件能够从收集配置移动至释放配置;
盖子,其在所述捕获结构处于释放配置时覆盖所述释放室的开口;以及
产物出口,其与所述释放室的内部流体连通并配置为接收富集气体的产物流;
其中,所述收集配置包括所述捕获结构从所述释放室向上延伸以将捕获结构的至少一部分暴露于气流,并且使得多个瓦片的吸附剂材料捕获大气二氧化碳;
其中,所述释放配置包括所述捕获结构的所述至少一个可折叠支撑件折叠,所述盖子覆盖所述释放室的开口,并且所述多个瓦片充分封闭在释放室内部,使得吸附剂再生系统能够在多个瓦片上操作,以从吸附剂材料释放所捕获的二氧化碳并在释放室内形成富集气体。
2. 根据权利要求1所述的用于被动收集大气二氧化碳的装置,其中,所述吸附剂材料是水分波动吸附剂材料,所述吸附剂再生系统包括释放介质和释放介质发射器,并且所述释放介质是液态水和蒸汽中的一种。
3. 根据权利要求1所述的用于被动收集大气二氧化碳的装置,其中,所述吸附剂材料是热量波动吸附剂材料,并且所述吸附剂再生系统包括热源。
4. 根据权利要求3所述的用于被动收集大气二氧化碳的装置,其中,所述热源是配置为释放蒸汽的释放介质发射器。
5. 根据权利要求1、2、3或4所述的用于被动收集大气二氧化碳的装置,其中,所述释放室进一步包括吹扫气入口,所述吹扫气入口联接至吹扫气源并配置为将吹扫气引入释放室以取代富集气体。
6. 根据权利要求1、2或3所述的用于被动收集大气二氧化碳的装置,其进一步包括所述释放室与所述盖子之间的垫圈。
7. 根据权利要求1、2或3所述的用于被动收集大气二氧化碳的装置,其中,所述多个瓦片的每个瓦片基本上是平坦的。
8. 根据权利要求7所述的用于被动收集大气二氧化碳的装置,其中,对于所述多个瓦片的每个瓦片,所述吸附剂材料包括以大于零的角度联接至瓦片的表面的多个吸附剂表面。
9. 根据权利要求1所述的用于被动收集大气二氧化碳的装置,其中,所述多个瓦片中的每个瓦片包括孔。
10. 根据权利要求1所述的用于被动收集大气二氧化碳的装置,其中,所述多个瓦片中的每个瓦片包括上框架和下框架,所述吸附剂材料夹在所述上框架与所述下框架之间。
11. 根据权利要求1、2或3所述的用于被动收集大气二氧化碳的装置,进一步包括:
致动器,其联接至所述捕获结构;
控制系统,其通信联接至所述致动器并配置为驱动致动器,以使捕获结构在收集配置与释放配置之间移动。
12. 根据权利要求11所述的用于被动收集大气二氧化碳的装置,进一步包括:

至少一个传感器,其通信联接至所述控制系统;

其中,所述控制系统配置为基于从所述至少一个传感器接收的信号来确定至少一个环境条件,并且基于所述至少一个环境条件来自动地驱动致动器,以使捕获结构在收集配置与释放配置之间移动;

其中,所述至少一个环境条件包括温度、湿度和风速中的至少一个。

13. 根据权利要求1所述的用于被动收集大气二氧化碳的装置,进一步包括至少一个挡板。

14. 一种用于被动收集大气二氧化碳的方法,包括:

准备包括释放室和捕获结构的根据权利要求1至13中任一项所述的用于被动收集大气二氧化碳的装置,从而通过利用由控制系统驱动的致动器将捕获结构移动到收集配置来收集大气二氧化碳,所述捕获结构包括至少一个可折叠支撑件和多个瓦片,所述多个瓦片由所述至少一个可折叠支撑件悬挂并沿着所述至少一个可折叠支撑件间隔开,每个瓦片包括吸附剂材料,所述收集配置包括捕获结构从释放室向上延伸;

将捕获结构的至少一部分暴露于气流以使得多个瓦片的吸附剂材料捕获大气二氧化碳;

通过驱动致动器将捕获结构下降到释放室中而将捕获结构安置在释放配置,从而使得至少一个可折叠支撑件折叠并且多个瓦片完全位于释放室内部;

用盖子关闭释放室,从而将多个瓦片限制在释放室内部;

通过用吸附剂再生系统在吸附剂材料上操作来使多个瓦片的吸附剂材料再生,以释放所捕获的二氧化碳,并在释放室内形成富集气体;

借助用引入释放室的吹扫气取代富集气体从而通过与释放室内部流体连通的产物出口来发射富集气体的产物流。

15. 根据权利要求14所述的用于被动收集大气二氧化碳的方法,其中,所述吸附剂材料是水分波动吸附剂材料,所述吸附剂再生系统包括释放介质和释放介质发射器,并且所述释放介质是液态水和蒸汽中的一种。

16. 根据权利要求14所述的用于被动收集大气二氧化碳的方法,其中,所述吸附剂材料是热量波动吸附剂材料,并且所述吸附剂再生系统包括热源。

17. 根据权利要求16所述的用于被动收集大气二氧化碳的方法,其中,所述热源是配置为释放蒸汽的释放介质发射器。

18. 根据权利要求14、15或16所述的用于被动收集大气二氧化碳的方法,进一步包括:

基于从通信联接至控制系统的至少一个传感器接收的信号来确定用于被动收集大气二氧化碳的装置本地的至少一个环境条件;

基于所述至少一个环境条件来确定捕获结构的最佳暴露时间。

19. 根据权利要求14所述的用于被动收集大气二氧化碳的方法,其中,所述吹扫气是空气、氮气、水蒸气和蒸汽中的一种。

20. 一种用于被动收集大气二氧化碳的系统,包括:

至少一个被动收集群集,每个被动收集群集包括至少两个根据权利要求1至13中任一项所述的用于被动收集大气二氧化碳的装置,每个用于被动收集大气二氧化碳的装置包括:

释放室,其包括开口和吸附剂再生系统;

捕获结构,其联接至所述释放室并且包括至少一个可折叠支撑件和多个瓦片,所述多个瓦片由所述至少一个可折叠支撑件悬挂并沿着所述至少一个可折叠支撑件间隔开,每个瓦片包括吸附剂材料,并且所述捕获结构通过折叠至少一个可折叠支撑件能够从收集配置移动至释放配置;

盖子,其在捕获结构处于释放配置时覆盖所述释放室的开口;

致动器,其联接至所述捕获结构;以及

产物出口,其与所述释放室的内部流体连通并配置为接收富集气体的产物流;

控制系统,其通信联接至每个被动收集群集并配置为驱动致动器,以使至少一个用于被动收集大气二氧化碳的装置的捕获结构在收集配置与释放配置之间移动;

其中,相同群集内的每个用于被动收集大气二氧化碳的装置的产品出口是流体连通的;

其中,对于每个用于被动收集大气二氧化碳的装置,所述收集配置包括从释放室向上延伸的捕获结构,以将捕获结构的至少一部分暴露于气流,并且使得多个瓦片的吸附剂材料能够捕获大气二氧化碳;

其中,对于每个用于被动收集大气二氧化碳的装置,所述释放配置包括所述捕获结构的至少一个可折叠支撑件折叠,所述盖子覆盖所述释放室的开口盖子,并且所述多个瓦片充分封闭在释放室内部瓦片,使得吸附剂再生系统能够在多个瓦片上操作,以从吸附剂材料释放所捕获的二氧化碳并在释放室内形成富集气体。

21. 根据权利要求20所述的用于被动收集大气二氧化碳的系统,其中,每个群集的至少两个用于被动收集大气二氧化碳的装置共享相同的致动器。

22. 根据权利要求20或21所述的用于被动收集大气二氧化碳的系统,其中,相同群集中的每个用于被动收集大气二氧化碳的装置的释放室流体连通,使得一个收集装置的富集气体能够扫过相邻收集装置的释放室。

23. 根据权利要求20所述的用于被动收集大气二氧化碳的系统,进一步包括:

至少一个传感器,其通信联接至所述控制系统;

其中,所述控制系统配置为基于从所述至少一个传感器接收的信号来确定至少一个环境条件,并且基于所述至少一个环境条件来自动地驱动至少一个致动器,以使至少一个捕获结构在收集配置与释放配置之间移动;

其中,所述至少一个环境条件包括温度、湿度和风速中的至少一个。

24. 根据权利要求23所述的用于被动收集大气二氧化碳的系统,其中,所述控制系统配置为串联地操作用于被动收集大气二氧化碳的装置,以产生富集气体的连续产物流。

用于被动收集大气二氧化碳的装置、系统和方法

[0001] 本申请是中国专利申请号为201980080590.4,发明名称为“用于被动收集大气二氧化碳的装置、系统和方法”,申请日为2019年10月28日的进入中国的PCT专利申请的分案申请。

[0002] 相关申请的交叉引用

[0003] 本申请要求2018年10月29日提交的名称为“用于直接空气捕获的装置、系统和方法”的美国临时专利申请62/752,319的权益,并且还要求2019年4月2日提交的名称为“用于CO₂的被动空气捕获的装置、系统和方法”的美国临时专利申请62/828,367的权益,两者的全部公开内容通过此引用合并到本文中。

技术领域

[0004] 本发明的各方面总体上涉及大气二氧化碳的被动收集。

背景技术

[0005] 已经充分证实了从环境空气中去除二氧化碳的技术的必要性。除了保护、减碳过程和现场捕获工作外,还需要从大气中去除大量的二氧化碳,以避免迫在眉睫的气候变化危机。然而,这些技术仍然是较新的,并且早期的空气捕获过程需要大量的能源来运行。由于环境空气中的二氧化碳非常稀薄,大气CO₂收集器会迅速超出用于大量吸入和处理空气的紧张的能源预算。此外,传统的二氧化碳收集系统通常表现为既昂贵又易坏。传统的捕获装置还通常具有较大的初始资本成本以及较高的操作成本。

发明内容

[0006] 根据一个方面,一种用于被动收集大气二氧化碳的装置包括具有开口的释放室和吸附剂再生系统。所述装置还包括捕获结构,该捕获结构联接至释放室并具有至少一个可折叠支撑件和多个瓦片,所述多个瓦片联接到至少一个可折叠支撑件并沿着所述至少一个可折叠支撑件间隔开。每个瓦片具有吸附剂材料,并且捕获结构在收集配置与释放配置之间可移动。该装置还包括盖子和产物出口,所述盖子在捕获结构处于释放配置时覆盖释放室的开口,所述产物出口与释放室的内部流体连通并配置为接收富集气体的产物流。收集配置包括捕获结构从释放室向上延伸以将捕获结构的至少一部分暴露于气流,并且使得多个瓦片的吸附剂材料能够捕获大气二氧化碳。释放配置包括捕获结构的至少一个可折叠支撑件折叠,盖子覆盖释放室的开口,并且多个瓦片充分封闭在释放室内部,使得吸附剂再生系统可以在多个瓦片上操作,以从吸附剂材料释放捕获的二氧化碳并在释放室内形成富集气体。

[0007] 具体的实施方案可以包括以下特征的一个或多个。吸附剂材料可以是水分波动吸附剂材料,吸附剂再生系统可以包括释放介质和释放介质发射器。释放介质可以是液态水和蒸汽的一种。吸附剂材料可以是热量波动吸附剂材料,并且吸附剂再生系统可以包括热源。热源可以是配置为释放蒸汽的释放介质发射器。释放室可以进一步包括吹扫气入口,该

吹扫气入口联接至吹扫气源,并且可以配置为将吹扫气引入释放室以取代富集气体。吹扫气可以是蒸汽。多个瓦片中的每个瓦片可以基本上是平坦的。对于多个瓦片中的每个瓦片,吸附剂材料可以包括以大于零的角度联接至瓦片的表面的多个吸附剂表面。多个瓦片中的每个瓦片可以包括孔。多个瓦片中的每个瓦片可以包括上框架和下框架,其中吸附剂材料夹在上框架与下框架之间。该装置还可以包括致动器和/或控制系统,所述致动器联接至捕获结构,所述控制系统通信联接至致动器并配置为驱动致动器,以使捕获结构在收集配置与释放配置之间移动。该装置可以进一步包括通信联接至控制系统的至少一个传感器。控制系统可以配置为基于从至少一个传感器接收的信号来确定至少一个环境条件,并且基于所述至少一个环境条件来自动地驱动致动器,以使捕获结构在收集配置与释放配置之间移动。至少一个环境条件可以包括温度、湿度和/或风速中的至少一个。最后,该装置可以进一步包括至少一个挡板。

[0008] 根据本发明的另一个方面,一种用于被动收集大气二氧化碳的方法包括准备具有释放室和捕获结构的被动收集装置,以通过利用由控制系统驱动的致动器将捕获结构移动为收集配置来收集大气二氧化碳。捕获结构包括至少一个可折叠支撑件和多个瓦片,所述多个瓦片联接至至少一个可折叠支撑件并沿着所述至少一个可折叠支撑件间隔开,每个瓦片具有吸附剂材料。收集配置包括捕获结构从释放室向上延伸。该方法还包括将捕获结构的至少一部分暴露于气流以使得多个瓦片的吸附剂材料能够捕获大气二氧化碳,以及通过驱动致动器将捕获结构降低到释放室中而将捕获结构安置为释放配置,从而使得至少一个可折叠支撑件折叠并且多个瓦片完全位于释放室内部。另外,该方法包括用盖子关闭释放室,将多个瓦片限制在释放室内部,以及通过用吸附剂再生系统在吸附剂材料上操作来使多个瓦片的吸附剂材料再生,以释放捕获的二氧化碳,从而在释放室内形成富集气体。最后,该方法包括通过用引入释放室的吹扫气取代富集气体而通过与释放室内部流体连通的产物出口来发射富集气体的产物流。

[0009] 具体的实施方案可以包括以下特征的一个或多个。吸附剂材料可以是水分波动吸附剂材料,吸附剂再生系统可以包括释放介质和释放介质发射器。释放介质可以是液态水和蒸汽的一种。吸附剂材料可以是热量波动吸附剂材料,并且吸附剂再生系统可以包括热源。热源可以是配置为释放蒸汽的释放介质发射器。该方法还可以包括基于从通信联接至控制系统的至少一个传感器接收的信号来确定被动收集装置本地的至少一个环境条件,和/或基于所述至少一个环境条件来确定捕获结构的最佳暴露时间。吹扫气可以是空气、氮气、水蒸气和蒸汽中的一种。

[0010] 根据本发明的又一个方面,一种用于被动收集大气二氧化碳的系统包括至少一个被动收集群集,每个被动收集群集具有至少两个被动收集装置。每个被动收集装置包括具有开口的释放室和吸附剂再生系统。每个装置还包括捕获结构,该捕获结构联接至释放室并包括至少一个可折叠支撑件和多个瓦片,所述多个瓦片联接至至少一个可折叠支撑件并沿着所述至少一个可折叠支撑件间隔开。每个瓦片包括吸附剂材料。捕获结构在收集配置与释放配置之间可移动。每个装置还包括盖子,所述盖子在捕获结构处于释放配置时覆盖释放室的开口。每个装置还包括致动器和产物出口,所述致动器联接至捕获结构,所述产物出口与释放室的内部流体连通并配置为接收富集气体的产物流。该系统进一步包括控制系统,该控制系统通信联接至每个被动收集群集并配置为驱动致动器,以使至少一个被动收

集装置的捕获结构在收集配置与释放配置之间移动。相同群集内的每个被动收集装置的产品出口是流体连通的。对于每个被动收集装置,收集配置包括从释放室向上延伸的捕获结构,以将捕获结构的至少一部分暴露于气流,并且使得多个瓦片的吸附剂材料能够捕获大气二氧化碳。对于每个被动收集装置,释放配置包括使捕获结构的至少一个可折叠支撑件折叠、盖子覆盖释放室的开口,以及多个瓦片充分封闭在释放室内部,使得吸附剂再生系统可以在多个瓦片上操作,以从吸附剂材料释放捕获的二氧化碳并在释放室内形成富集气体。

[0011] 具体的实施方案可以包括以下特征的一个或多个。每个群集的至少两个被动收集装置可以共享相同的致动器。相同群集中的每个被动收集装置的释放室可以流体连通,使得一个收集装置的富集气体可以扫过相邻收集装置的释放室。该系统可以进一步包括至少一个传感器,所述至少一个传感器通信联接至控制系统。该控制系统可以配置为基于从至少一个传感器接收的信号来确定至少一个环境条件,并且基于所述至少一个环境条件来自动地驱动至少一个致动器,以使至少一个捕获结构在收集配置与释放配置之间移动。至少一个环境条件可以包括温度、湿度和风速中的至少一个。控制系统可以配置为串联地操作被动收集装置,以产生富集气体的连续产物流。

[0012] 下面在附图和详细说明中描述这里呈现的公开的多个方面和应用。除非特别指出,本说明书和权利要求书中的词语和短语对于适用领域的普通技术人员来说是一般的、普通的和习惯的含义。发明人充分认识到,如果需要的话他们可以做出自己的定义。发明人在知道自己能够做出定义的情况下,决定在说明书和权利要求书中仅使用术语的一般和普通含义,除非他们清楚地另有说明,然后进一步明确阐述该术语的“特殊”定义并解释该术语与一般和普通含义的区别。在没有旨在应用“特殊”定义的这种明确的声明的情况下,发明人的意图和愿望是将术语的简单、一般和普通的含义应用于说明书和权利要求书的解释。

[0013] 发明者也知道英语语法的常规规则。因此,如果名词、术语或短语旨在以某种方式被进一步表征、具体化或狭隘化,那么这样的名词、术语或短语将根据英语语法的常规规则明确地包括附加的形容词、描述性术语或其他修饰语。在不使用这些形容词、描述性术语或修饰语的情况下,这样的名词、术语或短语旨在向适用领域的技术人员传达这些名词、术语或短语的上述一般和普通的英语含义。

[0014] 此外,发明人完全了解35U.S.C. §112(f)的具体规定的标准和应用。因此,在附图或权利要求书的具体实施方案或说明中使用的词语“功能”、“装置”或“步骤”并非旨在希望以某种方式指示援引35U.S.C. §112(f)的具体规定,以对发明进行定义。相反,如果试图引用35U.S.C. §112(f)的规定来定义本发明,权利要求书将具体且明确地陈述确切的短语“用于……的装置”或“用于……的步骤”,并且还将陈述词语“功能”(即,将陈述“用于执行[插入功能]的功能的装置”),而不在这些短语中陈述支持该功能的任何结构、材料或动作。因此,即使权利要求书中列举了“用于执行……功能的装置”或“用于执行……功能的步骤”,如果权利要求书还列举了任何结构、材料或动作来支持该装置或步骤,或执行所列举的功能,那么发明人的明确意图是不援引35U.S.C. §112(f)的规定。此外,即使援引35U.S.C. §112(f)的规定来定义所要求保护的方面,这意味着这些方面不仅限于优选实施方案中描述的具体结构、材料或动作,而且还包括执行如本发明的替代实施方案或形式中描述的所要

求保护的功能的任何和所有结构、材料或动作,或者公知的现有或后来研发的用于执行所要求保护的功能的等效结构、材料或动作。

[0015] 从说明书和附图以及从权利要求书中,前述和其它方面、特征和优点对于本领域普通技术人员将是显而易见的。

附图说明

[0016] 在下文中将结合所附附图描述本发明,其中相同的附图标记表示相同的元件,并且:

[0017] 图1A和图1B是用于被动收集大气二氧化碳的装置的立体图和侧视图;

[0018] 图2A是盘形收集瓦片的俯视图;

[0019] 图2B是框架收集瓦片的立体图;

[0020] 图2C是嵌板收集瓦片的立体图;

[0021] 图3A是用于被动收集大气二氧化碳的装置的侧视图,其中捕获结构处于收集配置;

[0022] 图3B是图3A所示的装置的侧视图,其中捕获结构处于释放配置;

[0023] 图4是包括多个被动收集群集的用于被动收集大气二氧化碳的系统的示意图。

具体实施方式

[0024] 本发明及其各方面和实施方案不限于本文公开的特定材料类型、组件、方法或其它示例。设想本领域中已知的许多附加材料类型、组件、方法和过程被用于本发明的具体实施方案。因此,例如,尽管公开了具体实施方案,但这些实施方案和实施组件可以包括与预期操作一致的本领域中对于这些系统和实施组件已知的任何组件、模型、类型、材料、版本、数量和/或类似物。

[0025] 本文中使用的词语“示例性”、“示例”或其各种形式用于表示用作示例、实例或说明。本文中描述为“示例性”或“示例”的任何方面或设计不一定被解释为比其它方面或设计优选或有利。此外,仅出于清楚和理解的目的提供示例,并且不意味着以任何方式限制或限定所公开的主题或本公开的相关部分。应当理解的是,可以提出不同范围的大量附加或替代示例,但出于简洁的目的而省略了这些示例。

[0026] 虽然本公开包括许多不同形式的多个实施方案,但是在附图中示出并将在本文中详细描述具体的实施方案,同时理解本发明将被认为是所公开的方法和系统的原理的示例,并且不旨在将所公开的概念的广泛的方面限制于所示的实施方案。

[0027] 已经充分证实了从环境空气中去除二氧化碳的技术的必要性。然而,这些技术仍然是较新的,并且早期的空气捕获过程需要大量的能源来运行。由于空气中的CO₂非常稀薄(按体积计为百万分之400),CO₂收集器不可以投入大量的能源来吸入大量空气。加热或冷却空气、干燥空气,或者显著地改变气压将超过任何合理的能源预算。此外,传统的收集系统倾向于表现为既昂贵又易坏。传统的捕获装置通常具有较大的初始资本成本以及较高的操作成本。此外,传统的捕获装置有时更适合于特定的环境,而在其他环境中不起作用。

[0028] 本文设想的是用于从自然气流或风中被动收集大气二氧化碳的装置、系统和方法,同时采用简化的设计,该简化的设计是耐用的、节能的,并能够适于在各种条件下使用,

并且单独地或组合地具有各种吸附剂材料,包括对真空、热量和/或水分波动敏感的材料。在一些实施方案中,这些装置可以被组织成群集和系统,并且可以提供连续的CO₂捕获,以及供应CO₂富集气体的连续流,这将在下面进行更详细地讨论。在其它实施方案中,这些装置可以作为单独的单元安装和操作。此外,在一些实施方案中,可以自动地或半自动地实现本文所设想的一些装置、系统和方法,从而适应变化的环境状况,以提高功效和效率。

[0029] 图1A和图1B是用于被动收集大气二氧化碳102的装置100(在下文中称为“被动收集装置”、“收集装置”或仅称为“装置”)的非限制性示例的立体图和侧视图。具体地,图1A是立体图,图1B是侧视图。

[0030] 根据各种实施方案,收集装置100包括:捕获结构106,其配置为将吸附剂材料110暴露于环境空气;释放室104(或再生室),所述捕获结构106可以通过开口116放置在所述释放室104(或再生室)中;盖子114,其用于密封或以其他方式将捕获结构106封闭在释放室104内;向所述释放室104(单独地或共同地)引入热量和/水分以使吸附剂材料110再生并释放所捕获的CO₂的装置;以及通过产物出口118从室内提取CO₂富集气体的装置。

[0031] 在本说明书和随后的权利要求书的上下文中,释放室104是在其内释放所捕获的二氧化碳以用于随后的封存、精制或应用。释放室104具有至少一个开口,即开口116,通过所述开口116,释放室104接收捕获的二氧化碳和捕获二氧化碳的材料(例如捕获结构106及其吸附剂材料110等)。

[0032] 释放室104可以由耐用材料来构造,所述耐用材料适合于采用收集装置100的外部环境以及其操作固有的内部环境(例如吸附剂再生系统306的性质等)两者。

[0033] 根据各种实施方案,释放室104包括所有必要的设备或结构,以完成用于收集二氧化碳的吸附剂材料的再生,所述释放室104可以包括(但不限于)以下步骤中的一些或全部:将液体引入室、从室排出液体、推动吹扫气通过室、排空室、加热室、将蒸汽或水滴注入室。例如,一些实施方案可以包括管道支撑结构,该管道支撑结构使得能够将热量、气体、液体等引入释放室104,以及从释放室104中去除热量、气体、液体,这是执行再生任务所必需的。下面将参考图3B对捕获结构106的再生进行更详细地讨论。

[0034] 在一些实施方案中,释放室104包括内部流动系统,该内部流动系统包括风扇或鼓风机以产生再循环气流。在其它实施方案中,释放室104可以包括气体再循环系统,其中室104内的流动通过泵入室104并返回到外部再循环系统的气体驱动。下面将参考图4进行讨论的被动收集系统和/或群集中,多个收集装置100可以共享单个气体再循环系统,或者可以结合单独的内部系统采用共享系统。

[0035] 在本说明书和随后的权利要求的上下文中,捕获结构106是在其上或其中捕获大气CO₂的结构或结构的集合。如图所示,捕获结构106由多个瓦片108组成,所述多个瓦片108联接至一个或多个可折叠支撑件112并沿着所述一个或多个可折叠支撑件112间隔开。瓦片108包括负责捕获二氧化碳的一个或多个吸附剂材料110。下面将进一步讨论吸附剂材料110。在一些实施方案中,吸附剂材料110可以布置在瓦片108的一个或多个表面上,而在其他实施方案中,108本身可以由吸附剂材料110构成。如将要讨论的,在吸附剂材料110再生时(例如,在释放室104内应用吸附剂再生系统306时等),所述吸附剂材料110释放捕获的CO₂。

[0036] 如图所示,当捕获结构106“展开”,暴露于大气以收集二氧化碳时,瓦片108沿着一

个或多个可折叠支撑件112悬挂,使得空气可以从任何方向在瓦片108之间流动。当用于从可能变换方向的自然气流和风中捕获CO₂时,这样的布置是有利的。此外,尽管本文中设想的基于瓦片的结构是在被动气流中使用的情況下描述的,但是应当理解,所述结构也可以与被驱动的气流一起使用。

[0037] 图1A和图1B示出的非限制性示例是高的且是圆柱形的,并利用圆形瓦片。在一些实施方案中,装置和/或瓦片108可以具有大致圆形的截面,这对于在气流可以来自任何方向的条件用于被动空气捕获是有利的。在其它实施方案中,装置和/或瓦片108可以具有非圆形截面。下面将参考图2A、图2B和图2C对各种瓦片108形状进行更详细地讨论。

[0038] 如图所示,捕获结构106可以包括堆叠的瓦片108。根据各种实施方案,捕获结构106堆叠的范围可以从几个(5到10个)瓦片108到大量(>1000)。具体实施方案使用50至200瓦片之间的堆叠。

[0039] 瓦片108由一个或多个可折叠支撑件112支撑,当被提升时,可折叠支撑件112使得瓦片在重力作用下自由地垂下,从而空气可以穿过瓦片108之间的间隙。在许多实施方案中,当捕获结构106在释放室104内折叠时,瓦片108彼此靠在一起,当瓦片108在室104内静止时,利用小提升器来保持瓦片108之间的较小间隙。

[0040] 除了收集大气二氧化碳之外,捕获结构106能够在适合于收集大气二氧化碳的布置(例如收集配置)与能够将捕获的CO₂释放到释放室104中的布置(例如释放配置)之间移动。将参考图3A和图3B对收集和释放配置进行讨论。

[0041] 如前所述,瓦片108联接至一个或多个可折叠支撑件112并沿着一个或多个可折叠支撑件112间隔开。例如,图1A和图1B示出了具有贯穿瓦片108的中心轴线的单个可折叠支撑件112的非限制性示例。可折叠支撑件112的示例包括但不限于细绳、线或链。在一个实施方案中,每个瓦片108可以连接至上面的瓦片,从而承载所述瓦片下面的所有瓦片108的重量。在另一个实施方案中,可折叠支撑件112是连续的,并且设计为承载瓦片108的所有重量,而瓦片108结构设计为仅承载其自身的重量。为了给出这种支撑系统的具体示例,考虑由长绳或链形成的多个窄的、长的梯状物,并且实心杆用作梯级。这些梯状物可以是窄的,例如1cm宽,或者可以是几厘米宽。通过在瓦片108的边缘周围均匀地布置至少三个这样的梯状物,每个瓦片108可以被钩在单个梯级上。梯状物结构将支撑所有瓦片108的重量,而单个瓦片108将只需支撑其自身的重量。通过增加梯状物的数量,包括梯状物侧部的线的厚度可以做得更细,从而使梯状物更易折叠。有利地,如果梯状物的数量大于三个,则可以在维护期间去除和更换单个梯状物,同时捕获结构106处于打开/收集配置。

[0042] 在另一个实施方案中,瓦片108可以通过伸缩管或刚性杆支撑,所述伸缩管或刚性杆以与瓦片108相切的之字形图案折叠,从而产生从底部瓦片108突出到上面的瓦片108的开放空间中的“狗骨”形状。在这种设计中,可能需要使锚固在不同位置处的连续瓦片108偏移几度,从而为狗骨的长度腾出空间,使其不与上面瓦片108相干涉。

[0043] 在又一个实施方案中,可折叠支撑件112可以是围绕瓦片108的中心的孔的锥形形状。当堆叠时,瓦片108彼此靠在一起,并且随着锥体稍微移开而延长瓦片108的距离。这样的设计自然有助于当瓦片108变为堆叠时瓦片108的自动定心。如果锥体被截去顶端并因此在顶部开口,则它们将产生穿过折叠的瓦片108堆中间的竖直开放通道,这可以有助于在瓦片108的再生期间引导气流。本领域技术人员将认识到存在其它的可折叠配置。

[0044] 根据各种实施方案,收集装置100的瓦片108在处于收集配置或阶段时彼此分离,并且在再生或释放阶段时堆叠在彼此顶部。作为一种选择,瓦片108的敏感部分可以通过缓冲结构(例如衬垫或缘)来保护,使其不接触其它瓦片108。可以用帮助引导气流来增强收集和/或提高产量的方式来构造缓冲。

[0045] 当自由悬挂时限制堆叠瓦片108的运动(例如,以防止损坏、优化吸附剂暴露等)可能是有利的。限制运动的一种方式,当被升起时,将悬挂的堆叠牵制在引导件之间。一个示例将是一组竖直杆,所述竖直杆也可以给予升降结构以结构支撑。三个这样的杆将已经足以限制瓦片108的侧向运动。另一个实施方案可以具有沿着中心孔通过引导件连接的瓦片108,所述中心孔防止瓦片108的相对运动。如果瓦片108和盖子114是环形的,那么引导件也可以在瓦片108的内部上延伸。用于限制瓦片108运动的另一个选择是将底部瓦片108系至释放室104的底部。

[0046] 根据各种实施方案,瓦片108可以联接至盖子114的底部,并且当装置100打开至收集配置时,盖子114与瓦片108一起被拉起。在其它实施方案中,盖子114可以通过滑动或通过像门一样铰接而侧向打开。然后,升降机构将联接至捕获结构106顶部上的固定装置,以在没有盖子114的情况下升起捕获结构106。在升降机构将在多个装置100中共享的收集装置100的群集中,这种设计将特别引人关注。作为一种选择,一旦捕获结构106被完全升起,就可以将所述捕获结构106附接至某种形式的支撑结构。

[0047] 根据各种实施方案,被动收集装置100可以与可通过各种手段再生的广泛范围的吸附剂材料110一起使用,包括固体吸附剂和液体吸附剂。吸附剂可以由无机材料或有机材料制成,也可以是复合材料。吸附剂可以是以化学或物理方式结合CO₂的材料,即所述吸附剂可以是吸收剂。吸附剂还可以是将二氧化碳结合在内部表面(例如,内部多孔结构)或纤维表面上的吸附剂。吸附剂可以在水分波动(moisture swing)、热量波动(thermal swing)、真空波动(vacuum swing)或这些方法的组合中再生。以上对不同吸附剂的讨论旨在举例说明各种选择,而不是提供穷尽的描述。本领域技术人员能够提供的其它基于吸附剂的技术可以适于在装置100中使用。

[0048] 在一个实施方案中,被动收集装置100可以采用能够通过液体清洗而再生的吸附剂材料110,液体清洗从释放室104将CO₂作为清洗液的一部分带走。液体可以在释放室104内对其CO₂进行除气,或者液体可以被输送到释放室104外部,在所述释放室104外部,所述液体将经受进一步处理以释放CO₂。例如,被动收集装置100可以使用温和的碳酸盐水,该温和的碳酸盐水被水分波动吸附剂转化为碳酸氢盐水,然后该碳酸氢盐水可以经受其自身的各种再生方案,包括可能利用电化学再生。

[0049] 作为具体示例,吸附剂材料110可以是许多阴离子交换树脂中的一种,这些阴离子交换树脂在干燥时对CO₂具有强亲和性,而在湿润时会失去这种亲和性。而这些都是强碱交换树脂,例如具有附着在苯乙烯结构上的季铵离子的聚苯乙烯。在任何情况下,接近室温将树脂上的相对湿度从20%改变到100%,树脂上的平衡分压在任何装载情况下改变500倍。其它实施方案可以围绕吸附剂110设计,所述吸附剂110通过加热、真空抽吸或用另一种化学品再生而再生。

[0050] 吸附剂110可以对单个吸着物有选择性,或与相互合作或竞争的多个吸着物相互作用。吸附剂110可以自动催化其自身的吸收。作为具体示例,一些实施方案可以采用可以

通过水分来控制对CO₂的亲合性的吸附剂。在一些情况下,水分的存在会增加CO₂与吸附剂的结合,而在其他情况下则会减少CO₂与吸附剂的结合。一类特殊的吸附剂,被称为水分波动吸附剂,在干燥条件下结合CO₂,而当变得湿润时再释放CO₂。一些水分波动吸附剂,例如具有季铵离子的聚苯乙烯,对相对湿度反应强烈。这意味着,周围空气温度升高的影响增加了吸附剂对CO₂的装载,这是因为相关的相对湿度的降低使吸附的吉布斯自由能降低的幅度大于温度升高使吸附的吉布斯自由能增加的幅度。然而,如果在恒定的相对湿度(例如100%相对湿度)或湿润条件下发生变暖,则加热吸附剂将使CO₂脱离吸附剂。因此,水分波动吸附剂可以单独与水分一起使用,或者与水分(例如液态水、雾或其他液滴形式、蒸气等)、温度和压力的组合一起使用。在一些实施方案中,可以利用基于根据环境条件的效率来选择再生路径的算法,优化这种多用途吸附剂的使用,这将在下面进行进一步讨论。

[0051] 利用水分波动吸附剂的一些实施方案可以采用液态水进行再生,而其他实施方案可以使用蒸汽。每种再生介质具有其自身的优点和缺点。液态水能够被快速吸收,但是容易将诸如盐的杂质引入吸附剂和系统,特别是如果水来源于地下水供应。蒸汽有利地可以用于提供加热以及水分。然而,如果在低压系统中操作,蒸汽可能会传递太多的热量,并且可能难以去除。一些实施方案可以利用蒸汽(其在低分压下被称为水蒸气)和液态水两者。在没有水分波动的实施方案中,或者在采用反向水分波动的实施方案中,液态水不会比仅利用蒸汽提供任何益处。

[0052] 在一些实施方案中使用的加热-水分-真空设计比传统装置提供了许多优点。具体地,这样的设计将使得基于水分波动的CO₂捕获装置能够应用于各种气候,甚至包括那些经历高湿度水平和/或较冷天气的气候。利用水分波动吸附剂的所设想的装置100会在相对寒冷和潮湿的气候中特别有用。然而,尽管以下对设想的收集装置100的各种实施方案的讨论是在基于加热水分的再生系统的情况下进行的,应当理解的是,本文讨论的结构和方法可以适用于其它类型和形式的吸附剂110,并且在关闭或密封的释放室104中进行适当的再生步骤。

[0053] 一旦捕获结构106完全充满捕获的二氧化碳,就将被移入释放室104,在所述释放室104中将回收CO₂并再生吸附剂材料110,为进一步收集做准备。根据各种实施方案,捕获的CO₂的收集和吸附剂材料110的再生是通过在开口116上放置盖子114而将释放室104关闭之后完成的。根据各种实施方案,盖子114(和捕获结构106)可以通过某种形式的致动器120降低到开口116上(并且捕获结构下降到室104中)。在本说明书和所附权利要求的上下文中,致动器120是能够影响运动的任何装置,并且可以包括但不限于电机、活塞、液压装置、螺杆驱动器、升降机、辊子以及本领域已知的其他装置。作为一种选择,致动器120可以通过盖子114或通过一些其它结构直接联接至捕获结构106。在一些实施方案中,致动器120还可以联接至释放室104。根据各种实施方案,盖子114配置为与释放室104配合,从而形成关闭的室。在一些实施方案中,盖子可以与释放室104形成气密密封。

[0054] 如图所示,被动收集装置100还包括产物出口118。产物出口118使得释放室104的内部与释放室104外部的一些结构(例如储存装置、升级系统、另一个释放室104等)之间能够流体连通,从而能够收集富集CO₂的产物流(例如,CO₂与其他材料的比率比环境空气中存在的CO₂的比率更高)。在一些实施方案中,产物出口118可以配置为用于气态产物流,而在其他实施方案中,所述产物出口118可以配置为排放液体产物流(例如,盐水中捕获的CO₂)

等)。

[0055] 尽管术语瓦片108源自一种平坦的瓦片108的可能设计,重要的是应当注意,在本发明的上下文中,术语瓦片108旨在能够涵盖更宽范围的几何形状。在一些实施方案中,瓦片108完全由吸附剂材料制成,而在其他实施方案中,瓦片108由将吸附剂材料110保持在适当位置的结构材料制成。例如,在一些实施方案中,可以通过湿润瓦片108的结构表面来使用液体吸附剂(例如离子液体)。作为具体示例,泡沫材料可以与液体吸附剂结合使用。

[0056] 在一些实施方案中,瓦片108可以具有圆形截面(沿着堆叠的中心轴线)。在其它实施方案中,可以采用其它形状,包括但不限于近似圆形(例如高阶多边形)、三角形、矩形、正方形、六边形、星形、环形等。虽然圆形截面会适合于在具有不可预测的风向的环境中使用,但其它实施方案中,在具有主导风向的情况下可以采用更椭圆形的瓦片108。

[0057] 图2A、图2B和图2C示出了各种瓦片108几何形状的非限制性示例的示意图。图2A示出了具有水分波动吸附剂材料220的盘形瓦片200的非限制性示例的俯视图。如图所示,盘形瓦片200包括中心孔202,可折叠支撑件112可以穿过所述中心孔202并联接至每个瓦片108,和/或空气可以流过所述中心孔202。

[0058] 在一些实施方案中,瓦片108可以从诸如盖子114的结构悬挂,同时暴露于风,并且在降低到释放室104中时彼此靠在一起。根据各种实施方案,当堆叠处于其折叠形式时,瓦片108可以包括设计为承载上方瓦片108的重量的加强的衬垫、缘或唇部。这些衬垫还可以在竖直方向上比瓦片108(例如吸附剂等)的更易坏部分延伸的更远,使得瓦片108之间的物理接触被限制在设计为承载该重量的位置。在一些实施方案中,除了可以有铺设在瓦片108上的吸附剂之外,瓦片108(无论是圆形的还是有角的)可以具有从瓦片108悬挂的吸附剂/树脂。

[0059] 可以基于当地地理和天气状况调整瓦片108的机构和悬挂瓦片108的机构。例如,在大风地区中,瓦片108可以实质上更坚固,并且可以与室104完全分离以最好地确保支撑。在一些实施方案中,可以存在支撑结构,该支撑结构在大风期间折叠或隐藏,从而将有时易坏的瓦片108拉入遮蔽处。用于提升和降低瓦片108的支撑结构选项的多样性仅仅反映了对于可以放置在世界各地几乎任何地方的装置可能存在的各种需求。

[0060] 在一些实施方案中,瓦片108可以基本上是平坦的,而不考虑在堆叠中使用的任何缘或衬垫。在其它实施方案中,瓦片108可以是非平坦的,例如碗形或头盔形。在另一些实施方案中,瓦片108可以包括框架,该框架可以封闭或以其他方式固定吸附剂材料110。

[0061] 图2B示出了包括上框架206、下框架208和中心孔202的有框架瓦片204的非限制性示例的立体图。根据各种实施方案,这两个框架可以彼此联接以封闭或夹持吸附剂材料110,或者配置为保持吸附剂材料110的材料(例如,保持液体吸附剂的泡沫材料等),从而将所述材料保持在适当位置,同时仍然使得所述材料暴露于气流。这样的瓦片108与那些原本作为瓦片构造材料太易坏的吸附剂材料110一起使用是有益的,否则所述吸附剂材料110用作瓦片构造材料太易坏,所述材料110在湿润状态与干燥状态之间循环时经受不可忽略的尺寸变化(例如膨胀、收缩等),或者如果其放置在诸如图2A的盘形瓦片200的固体瓦片上时,其必须容纳在将有限地暴露于空气的材料中。

[0062] 图2C是包括多个吸附剂表面212的嵌板瓦片210的非限制性示例的立体图,所述吸附剂表面212由热量波动吸附剂材料218制成。在一些实施方案中,瓦片108可以高度构造为

促使气体与其表面接触。瓦片108可以包括槽或通道,所述槽或通道产生从瓦片108的顶部到底部的气体流动路径,以促进与瓦片108的吸附剂材料110紧密接触的气体流动。

[0063] 在一些实施方案中,瓦片108可以是一个大的吸附剂结构。在其它实施方案中,包括图2C所示的非限制性示例,吸附剂材料110可以分割为片或表面212,所述片或表面212单独地附接嵌板瓦片210的表面214。一个这样的瓦片可以是六边形的,例如图2C所示的瓦片,或者瓦片108的表面的铺瓦具有三角形表面212。

[0064] 为了使空气混合最大化,瓦片108的表面可以是多样的和粗糙的,并且相邻的瓦片108可以在附近具有不同的结构。例如,如果瓦片108由多个不同的瓦片制成,则在彼此之上的沿竖直方向的表面不需要相同或不需以相同的方式定向。在一些实施方案中,吸附剂表面212可以相对于瓦片210的表面214成角度,从而形成角度216。

[0065] 在一些实施方案中,瓦片108可以在其上安装有三角形(或一些其它凸起形状)的凸起的吸附剂和挡板,所述吸附剂和挡板增加暴露并且还引起湍流以增强捕获。

[0066] 图3A和图3B是收集装置100的非限制性示例的侧视图,其中捕获结构106分别处于收集配置300和释放配置312。释放室104的一部分已被去除,以示出释放室104的内部,所述释放室104包括吸附剂再生系统306。

[0067] 图3A示出了捕获结构106是收集配置300,该收集配置300包括从释放室104向上延伸的捕获结构106,从而将捕获结构106的至少一部分302暴露于气流304。根据各种实施方案,环境空气通过以下方法与捕获结构106的吸附剂材料110接触:通过自然空气运动(例如风)、通过诱导的流动(例如热引导流动、或通过由通道自然流动获得的压降诱导的流动)、通过由鼓风机、风扇或其它机械系统诱导的流动、或通过这些的组合或本领域已知的其它方法。

[0068] 如图所示,收集装置100包括吸附剂再生系统306。在本说明书和随后的权利要求书的上下文中,吸附剂再生系统306是产生、提供、引导或促进介质或能量的系统,所述介质或能量需要用于释放捕获的CO₂并且使吸附剂材料110再生以为另外的CO₂收集做准备。在一些实施方案中,吸附剂再生系统306可以包括释放介质发射器308,该释放介质发射器308向释放室104排放适合于所使用的吸附剂材料110的释放介质(例如,雾、液态水、蒸汽、其它化学品等)。在其它实施方案中,吸附剂再生系统306可以包括热源310(例如,用于热量波动吸附剂材料)。在另一些实施方案中,包括图3A所示的非限制性示例,吸附剂再生系统306可以包括释放介质发射器308(或多个发射器)以及一个或多个热源310。作为具体示例,一些实施方案可以采用释放介质发射器308,该释放介质发射器308配置为向释放室104排放蒸汽,从而提供水分和热量,并且促进水分波动和/或热量波动吸附剂材料的使用。在另一些实施方案中,热源310可以辐射由蒸汽提供的热量,其中蒸汽可选地被释放到室中(例如,可以配置成为一些吸附剂材料提供热量而不提供水分)。

[0069] 图3B示出了图3A的收集装置100,其中捕获结构106处于释放配置312。在本说明书和随后的权利要求书的上下文中,释放配置312包括捕获结构106(例如,多个瓦片108以及一个或多个可折叠支撑件112)被封闭在释放室104内,以期待吸附剂材料110的再生和所捕获的二氧化碳314的收集。如上所述,释放配置312可进一步包括盖子114,该盖子114联接至释放室104、与释放室104配合或密封至释放室104,使得室104充分关闭,从而可以完成再生和收集。

[0070] 当捕获结构106或捕获结构106的一部分充满CO₂并且已经移动到释放室104中时,吸附剂材料110再生以将捕获的CO₂ 314释放到释放室104中。如前所述,这种再生和释放是通过吸附剂再生系统140完成的。

[0071] 以下对被动收集装置100的再生或释放阶段的讨论是在对热量和水分敏感的吸附剂材料的情况下进行的。然而,本领域技术人员应当清楚的是,被动收集装置100、其捕获结构106和释放室104可以适于与上述吸附剂的任何一种及其相关联的再生过程一起使用。由于热量和/或一些形式的液体的引入是许多不同吸附剂的再生的共同元素,在热量和水分的情况下进行讨论也是对利用其它吸附剂的其它实施方案的示例说明。这种讨论不应被解释为是限制性的。

[0072] 再生系统306将热量、压力变化和/或化学品(包括水)的组合施加至吸附剂材料110,以使所述吸附剂材料110恢复到其初始状态并释放CO₂。在不同的实施方案中,富集CO₂的中间产物可以处于不同的压力和温度,并且CO₂也可以仅是中间产物流的一部分。

[0073] 根据各种实施方案,密封释放室104可以填充有空气、氮气或其它吹扫气322,所述空气、氮气或其它吹扫气322可以从吹扫气源320通过吹扫气入口318提供。室104也可以被排空,或部分排空,以便去除大部分背景气体。在一些实施方案中,释放室104可以在再生之前被排空或以其他方式做准备。吸附剂材料110在开放空气中装填CO₂,并且在吸附剂材料110已经暴露于水分和/或热量或与化学品接触之后在释放室104内释放CO₂。结果,可以在排空或其他准备步骤期间使CO₂损失最小化,这是因为排空或这些其它步骤发生在引入热量和水分之前。

[0074] 如前所述,根据各种实施方案,吸附剂110响应于热量和/或水分的施加而释放捕获的CO₂。可以从各种来源获得热量。热量的质量可能很低,这是因为在大多数应用中,热源的温度可能远低于100℃。热源可以包括但不限于地热、在一些其它应用中应用了更高温度的地热之后遗留的废弃地热、来自发电厂和其它能源消耗者的余热、太阳热以及从冷却太阳能板收集的热量。例如,可以通过在释放室104周围包括设计为捕获太阳热的室来施加太阳热。

[0075] 在一些实施方案中,由与被动收集装置100输出(例如,产物流326)结合使用的CO₂压缩系统产生的废热可以被重新用于加热释放室104。在其它实施方案中,可以通过输送作为能够在室104内冷凝的水蒸气的水分来引入热量。在其它实施方案中,可以通过热交换器来传递热量。在一些实施方案中,热量和水分的来源可以来自于室104外部的设备。在其它实施方案中,热源可以内置在释放室104中。室可以具有冷凝水以及富集气体324的产物流326的出口点。富集CO₂的气体324作为产物流326被从室中去除,为进一步的处理做准备。

[0076] 在本说明书的上下文中,释放介质316是刺激CO₂从吸附剂材料110释放的材料或物质。在水分波动吸附剂材料220的情况下,释放介质316可以是液态水或蒸汽。在其它实施方案中,释放介质316可以是能够与该特定的吸附剂材料110共存的任何其它溶液或物质。此外,在本说明书和随后的权利要求书的上下文中,释放介质发射器210是配置为促进释放介质316和装载CO₂的吸附剂材料110相互作用的装置。示例性释放介质发射器210包括但不限于雾器、喷嘴、烟雾发生器、液体喷射器、吸附剂通过的释放介质的贮存器、蒸汽喷嘴等。

[0077] 使用蒸汽作为释放介质316比其它释放介质316具有某些优点,这是因为除了水分波动吸附剂之外,蒸汽还可以与一些热量波动吸附剂材料一起使用。蒸汽向吸附剂传递热

量,另外抑制水提取。

[0078] 在释放介质316采取液体形式的实施方案中,或者当通过发射器210施加时或者在施加之后(例如,蒸汽在冷却时冷凝成液态水等),吸附剂再生系统306可以进一步包括一个或多个液体提取器313,该液体提取器313是配置为收集液体释放介质316并在所述液体释放介质316刺激CO₂释放之后将所述液体释放介质316从室104去除、或者用于处置、立即再利用、调整以备再利用(例如,去除杂质等),或者作为CO₂储存介质的装置和/或结构。另外,利用水蒸气作为释放介质316的实施方案还可以包括一个或多个液体提取器313,用于去除室内冷凝产生的液态水。

[0079] 液体提取器313包括室104底部处的排水件,该排水件可以通过泵联接至释放介质贮存器。收集的液态水可以通过泵返回到贮存器以重复使用,从而降低操作收集装置100的总体水需求,并且使其可用于水资源利用量减少的环境中。

[0080] 在一些实施方案中,产物流326可以通过用引入释放室104内部的吹扫气322取代富集气体324来形成。在一些实施方案中,吹扫气322是大气空气,而在其他实施方案中,吹扫气322是另一种容易获得的气体。

[0081] 一些实施方案可以采用蒸汽作为吹扫气322,这可以提供某些优点。蒸汽的使用为再生室内的温度操控提供了途径。泵入蒸汽可以提高温度,而泵出蒸汽则可以故意冷却室及其内容物。此外,使用诸如蒸汽(其在低分压下被称为水蒸气)的水饱和的吹扫气将有利地防止水分波动吸附剂释放水,这可以提高装置100的总体效率。

[0082] 如上所述,在一些实施方案中,可以将捕获的CO₂ 314从吸附剂110释放到具有足够碱度以储存CO₂的水溶液中。示例是碳酸钠或碳酸钾溶液,所述碳酸钠或碳酸钾溶液可以具有与溶液中的几个百分点的CO₂相平衡的含量丰富的碳酸氢盐。实际上,与材料110接触的溶液驱动水分波动,但随后包含CO₂。

[0083] 作为具体示例,在利用阴离子交换树脂的实施方案中,季铵离子形成强碱性树脂,其中正离子固定至聚合物基质上,而负离子,氢氧化物(OH⁻)自由移动。当干燥的树脂装载二氧化碳时,氢氧离子变成碳酸氢盐(OH⁻+CO₂→HCO₃⁻)。一旦装载,树脂被封闭在释放室104中,在该释放室104中树脂被湿润。湿润的树脂释放CO₂并卸载形成碳酸盐(2HCO₃⁻→CO₃²⁻+CO₂+H₂O)。离子水合驱使CO₂亲和(CO₃²⁻+H₂O、HCO₃⁻+OH⁻),同时通过水含量来驱使平衡。然后,可以从室104去除装载CO₂的液体,用于在其他地方处理,或继续储存。

[0084] 在一些实施方案中,可以在释放CO₂之前从室104去除空气,以提高气体流包含CO₂的占比。可选项可以包括应用真空以及热量和/或水分。此外,可以以H₂O或其它物质,或者以含有添加剂的H₂O的形式引入水分。

[0085] 在一些实施方案中,释放室104可以在再生或释放阶段期间至少被部分地排空。在这些实施方案中,变得重要的是盖子114与释放室104之间的密封使泄漏到内部的气体减到最少。为此,在盖子114与室104的顶部之间可以有垫圈315。将垫圈315附接至盖子114的底部可以有助于保护盖子免受污垢积聚。在一些实施方案中,通过使围绕盖子114的边缘具有缘(rim)进一步改善了密封,从而当盖子114关闭时,围绕盖子114的边缘存在有狭窄的槽沟。该槽沟可以充满水,这将有效地防止空气进入关闭的室104,并且可以容易地检测泄漏。由于液体的流动阻力比空气的流动阻力大得多,将很大程度地阻止流入室104的残余流动。

[0086] 在吸附剂110再生期间,CO₂分压升高到高于外界水平。在释放室104基本上排空的

实施方案中,存在的水蒸气可以作为吹扫气322。这又意味着,为了使气体从一个室104流动到另一个室,需要调节从吹扫气322进入的通道到吹扫气退出的通道的温度(以及伴随吹扫气的水蒸气压)。至少,温度变化必须补偿在再生过程中发生的CO₂的压力增加。

[0087] 在一些实施方案中,例如释放室104具有竖直排列的鼓的形状的那些实施方案中,组合的流动形态可以使气体沿着捕获结构的中心的开口(例如,盘形瓦片200的孔202等)轴向地发出,沿着室104的圆柱形壁的环形区域返回,并且在室104中的每个水平高度处使气流从中心径向地流向外圆环域中的流。在这样的实施方案中,竖直部分中的流动呈现出非常小的流动阻力,而径向连接主导流动阻抗。因此,每个高度呈现相同的压降,从而将经历相似的流速。可以通过在内部流动圆柱体周围和通过环形域的外部流动路径周围制造具有小开口的壁来保持对流动的阻抗。其它选择包括沿着轴向移动通过室104的主要部分并通过吸附剂堆叠材料与室104的壁之间的环形间隙而返回的流动。

[0088] 在一些实施方案中,释放的CO₂可以聚集为流过释放室104的气体流。可以通过机械方式使气体在吸附剂上再循环。该气体可以以水蒸气和二氧化碳为主,或者包含空气的大部分成分,所述气体还可以包括纯氮,或者选择作为吹扫气322的任何其它气体。此外,通过室的气流可以由泵、风扇或鼓风机以及另一个风扇控制,所述泵、风扇或鼓风机将加热的空气引入吸附剂,所述另一个风扇从室提取CO₂富集空气。

[0089] 在一些实施方案中,机械驱动的加热气体流流过吸附剂,并且在水分和热量的帮助下,以显著超过环境空气中的分压从吸附剂中诱导CO₂的释放。较高的分压是最理想的。根据各种实施方案,在类似室中已经实现的压力范围为0.1kPa至8kPa。

[0090] 在CO₂已经从室104内的捕获结构106的吸附剂材料110释放之后,CO₂混合以形成富集气体324。根据各种实施方案,富集气体324随后通过产物出口118作为产物流326从室104中去除。在一些实施方案中,产物出口118可以是阀,而在其他实施方案中,产物出口118可以包括泵。产物出口118与释放室104的内部流体连通。

[0091] 如图所示,收集装置100进一步包括控制系统328。根据各种实施方案,控制系统328负责收集装置100的循环操作。在本说明书和随后的权利要求书的上下文中,控制系统328是能够执行一系列预定义指令以使收集装置100以循环方式操作的装置,从而从大气中捕获CO₂并将捕获的CO₂释放在释放室104中。示例包括但不限于嵌入式系统、传统的计算机系统、移动设备等。控制系统328与提供信息(例如传感器等)或执行动作(例如致动器120、吸附剂再生系统306等)的各种组件通信联接。在一些实施方案中,控制系统328可以负责附加功能。在一些实施方案中,控制系统328可以为收集装置100提供自动化,使得所述收集装置100能够在无人看管的情况下操作。

[0092] 收集装置100可以进一步包括联接至处理器的一个或多个传感器330(例如CO₂传感器、湿度传感器、温度传感器、气流传感器、光传感器等),所述处理器配置有用于装置100的有效操作的算法。被动收集装置100可以进一步包括致动器120或执行机械工作的其它装置,用于提升和降低捕获结构106。被动收集装置100还可以包括用于远程监控和操作的通信设备。在一些实施方案中,被动收集装置100可以配置为自动操作,从而根据需要适应环境条件332。可以直接、经由电池或从可再生能源(例如,太阳能、风能或热电)供应电力。

[0093] 根据各种实施方案,可以利用传感器330执行一个或多个测量,其中通过控制系统328观察信号334。这些测量可以包括但不限于风速和其它天气数据、室内部和室外部两者

的湿度、时间、CO₂脱气百分比、室104的内部温度、流速(以检测阻塞)、组件的操作故障和/或操作期间的不稳定性、外部和内部温度等。利用该信息,控制系统328可以配置为响应于检测到的环境条件或内部条件来执行一个或多个操作。这些操作可以包括但不限于,由于大风或过量水分而降低瓦片108的指令、提升或降低瓦片108以改变暴露时间的定时指令、启动、停止、增大或减小流速、根据装载的CO₂延长或缩短释放室104的时间等。

[0094] 在一些实施方案中,被动收集装置100可以配置为调节热量和水分的输送,以适应特定的情况或环境条件332,例如温度336、湿度338和/或风速340。例如,在沙漠中炎热干燥的白天,可以优化装置100的性能而不使用额外的热量,而在相对湿度增加的夜间时段,加热在释放室104中再循环的气体会是有利的。在一些实施方案中,可以通过将人工智能应用到控制系统中来增强收集和/或释放期间的这种调节。

[0095] 被动收集装置100的一些实施方案可以采用为产生来自吸附剂110的最佳响应而研发的算法。这些算法设计为以有效的方式结合加热和水分应用。这些算法优化了性能与操作成本之间的平衡,使得水和热量被部署为以最优速率和最优分压来优化CO₂输送。根据各种实施方案,优化可以考虑环境温度、吸附剂110的装载状态、天气状况、热量和水的成本以及其他相关参数。在一些实施方案中,室104中CO₂释放的温度可以被设定成提高为超过环境温度。最佳温度取决于环境状况和所讨论的材料的耐热性,也可能受到可用热量成本的影响。在具体实施方案中,范围在环境温度与150°C之间,但可能优选地在45°C与50°C之间的范围内操作,这取决于吸附剂。对于许多吸附剂来说,这个温度范围还是足够的,并且热量成本相对较小。吸附剂110一旦水饱和并升温,就会将CO₂释放到释放室104的受限容积中。

[0096] 根据各种实施方案,控制系统328可以进一步包括人工智能系统317(AIS, artificial intelligence system)或由所述人工智能系统317指示,所述人工智能系统317(AIS)观察装置100的性能并以迭代方式调整其性能,以使输出最大化,并且学习最优化,其将随天气状况和装置100的物理状态而不同。该AIS 317将提高效率、降低能源成本并减少维护。例如,联接至装置100的控制系统328的AIS 317可以“学习”某些警报不是紧要的,并且将调整和提供对特定警报的操作的通知。减小需要做出响应的警报将是减少操作成本的主要因素。

[0097] 控制系统328可以利用配置为控制一个或多个操作或特性的软件,包括但不限于以液体/雾/蒸汽形式添加水的速率、内部温度、吹扫气的流速、将产物气体抽出的泵送速率、暴露于空气的定时、处于释放室104内的时间等。软件可以配置为优化各种特性,例如产量、水消耗和/或能量消耗。

[0098] 自动化系统可以进一步包括但不限于,风/天气测量和响应、CO₂收集监控、捕获结构106和/或支撑结构108的自动定时运动、水和空气控制系统、温度测量与控制、内部流动测量、与其它系统的功能匹配的定时控制等。

[0099] 在一些实施方案中,被动收集装置100可以进一步包括一系列挡板以改变气流和/或保护装置100的各个方面。在本说明书和随后的权利要求书的上下文中,挡板是具有至少一个表面的结构,所述表面至少部分地阻碍气流,从而能够重新定向或聚集气流。一些挡板还可以至少部分地遮挡光线,并且可以用于遮蔽敏感的吸附剂材料。示例包括但不限于帆、壁、鳍片、翼状物等。一些挡板可以是刚性的,而其他挡板可以是柔性的,或者包括安装在刚

性框架上的柔性表面。一些实施方案可以使用挡板来引入或增强局部气流的湍流,以增加吸附剂材料的暴露。

[0100] 根据各种实施方案,挡板可以在各种情况下使用。在一些实施方案中,一个或多个挡板可用于捕获装置100的外部。例如,参见图4所示的挡板408,下面将对此进行进一步讨论。在其它实施方案中,一个或多个挡板可以在捕获装置100内实施,或作为捕获装置100的一部分实施。例如,在一个实施方案中,瓦片108可以在中心孔202上方和周围具有一个或多个挡板,以促进和/或控制气流。在另一个实施方案中,挡板可以使用在瓦片108上,以保护吸附剂材料110不暴露于有害的紫外线。另外,挡板可以使用在瓦片108上,使得当捕获结构106处于收集配置300时,空气湍流增加,并且将气流引导到吸附剂110处。

[0101] 在一些实施方案中,挡板可以是铰接的,并且可以进一步是机械化的和以编程方式可移动的,以响应于不同的环境条件。在一些实施方案中,在室104内的底部和沿着侧面可以有挡板,以增强气流和水分分布。然而,在其它实施方案中,被动收集装置100可以完全不采用挡板。

[0102] 被动收集装置100可以是独立的,或者所述被动收集装置100可以是更大的空气捕获系统的主干,例如,由两个或多个集成的收集装置100组成的被动收集群集402,或者包括至少一个群集402的被动收集系统400。完整的被动收集系统400可以围绕两个收集装置100构建,或者可以包括数千个收集装置100的复杂互连网络。在一个实施方案中,5到20个收集装置100的互连系统组成被动收集群集402,而在其他实施方案中,群集402可以简单地是协调工作的两个装置100。在一些实施方案中,被动收集群集402可以是包括自含式系统的撬装模块,但也可以是现场安装的。

[0103] 图4是包括多个被动收集群集402的用于被动收集大气二氧化碳的系统400的示意图。在本说明书的上下文中,被动收集系统400是收集装置100的组合,或者是具有相关联的硬件、连接、用于内部处理和附加设备的控制系统和软件、以及对收集装置100的输出进行后续处理的控制系统和软件等的单个收集装置。为了区分系统400与群集402,系统400由至少一个群集402组成,但群集402由至少两个装置100组成。此外,被动收集系统400是特别紧密地连接并组织在一个或多个群集402中的一组收集装置100。例如,他们可以在单一的撬装集装箱化的子系统中进行配合。术语系统和群集的使用是部分重叠的。被动收集群集402通常比被动收集系统400更紧密地连接。

[0104] 收集装置可以互连到被动收集系统400中,所述被动收集系统400通过协调再生可以产生几乎连续的产物流406。可以通过将产物气体从几乎为空的单元扫过仍然显示较高装载的单元来增强这种连续的产物流406。例如,在一个实施方案中,群集402中的收集装置100a可以几乎是空的,将其产物气体扫入具有更高装载的(在相同的群集402中的)相邻收集装置100b。装置100a和100b彼此流体连通(例如,装置100b与装置100a的产物出口118流体连通),并且在某种意义上共享吹扫气源。

[0105] 被动收集系统400或群集402的使用可以提供连续的产物流406,所述产物流406是灵活的并且可以调整以适应变化的天气和气候状况。在一些实施方案中,系统400和/或群集402可以包括控制系统404,该控制系统404可以取代单独装置100的控制系统328或与所述单独装置100的控制系统328一起操作。控制系统404可以配置为串联地操作多个装置,以使得这样的系统400能够连续操作,从而能够有效地将CO₂从环境空气中典型的百万分之

400提升到范围从1%至10%的百分之几。本文所设想的系统和方法的优点在于它们可以使能量成本最小化,并且在变化的条件下最佳地操作。应当注意的是,群集402或系统400的控制系统404可以执行单独装置100的控制系统328所设想的所有操作和测量,如上所述。

[0106] 在一些实施方案中,被动收集系统400的单独的收集装置100可以通过各种装置保持就位并以如下方式互连,这种方式使得来自一个被动收集装置100的富集气体324通过一系列再生的收集装置100。气体处理、水、蒸汽或动力处理连接可以根据需要在收集装置100的全部或子集合之间切换。作为一种选择,收集装置100可以组织在单独的收集装置100、收集装置100的群集402、群集的群集、群集的系统等的层级结构中。

[0107] 被动收集系统400可以包括使吹扫气流过收集装置100的处理单元系统,或者可选地包括使收集装置100排空并将CO₂从收集装置100抽出的处理单元系统。这些处理单元可以包括管道、泵、风扇、阀门、传感器、致动器、控制软件以及收集装置100的互连所必需的其它组件。此外,被动收集系统400可以包括管道和阀门系统,以将水输送到收集装置100,以回收废水,和/或回收和再循环水。

[0108] 一些被动收集系统400和/或群集402可以包括共享资源。例如,如图4所示,在一些实施方案中,多个被动收集装置100可以共享相同的致动器120,以使它们各自的捕获结构106在收集配置300和释放配置312之间移动。可以利用机械装置(如齿轮、臂、滑轮和/或本领域已知的任何其它机械装置)在多个装置100之间共享致动器120。

[0109] 在一些实施方案中,被动收集系统400可以包括用于将释放介质316输送到多个收集装置100的共享系统,而在其他实施方案中,每个被动收集装置100可以具有其自己的介质来源。被动收集系统400还可以包括将多个收集装置100保持在适当位置的支撑结构。支撑结构可以包括但不限于地基、用于举起上部结构以提升和降低捕获结构106的帐篷状结构、抵抗阳光的保护结构,以及以各种方式引导风通过系统的嵌板。

[0110] 如图4所示,在一些实施方案中,被动收集系统400可以进一步包括一个或多个挡板408以重新定向气流,使其更多地暴露于捕获装置100的吸附剂材料。在一些实施方案中,这些挡板408可以是铰接的,并且可以配置为调整以适应环境条件的变化(例如,风向、太阳在天空中的位置、天气等)。本领域技术人员将认识到,还可以以相同的方式在单独的捕获装置100的情况下采用挡板408。

[0111] 另外,一些被动收集系统400和/或群集402可以采用自动化系统。自动化系统可以包括但不限于,风/天气测量和响应、CO₂收集监控、瓦片108和盖子的自动定时运动、水和空气控制系统、温度测量与控制、内部流动测量、与相同的系统或群集中的其它收集装置100的功能匹配的定时控制、放气(blow down)控制、以及本文所设想的用于单独的装置100的任何其它自动操作。

[0112] 根据一个实施方案,以下讨论旨在举例说明而不是限制采用对热量和水分敏感的吸附剂瓦片108的被动收集装置100的操作。被动收集装置100的工作循环从关闭位置开始,其中所有吸附剂瓦片108在释放室104内部并且没有CO₂。(在本文中,没有是指稀薄;吸附剂上可能有残余的CO₂,或者即使在完全没有的状态下,吸附剂也含有作为例如碳酸盐的CO₂,如果吸附剂波动在碳酸盐与碳酸氢盐之间的话。)盖子被致动器120拉起,从而将所有瓦片108从瓦片108彼此靠在一起的室移动至所有瓦片108从至少一个可折叠支撑件112悬挂的收集配置300。当盖子114到达最顶部位置时,所有吸附剂瓦片108暴露于空气运动。瓦片108

之间存在间隙,使得空气可以流经所有瓦片108,从而开始捕获阶段。基于气候状况和吸附剂选择,CO₂捕获阶段的暴露时间可以不同。在水分波动的情况下,瓦片108将释放一些水分并结合CO₂。对于那些在再生期间暴露于水分的其他吸附剂而言可能是相同的。将吸附剂暴露于水分(例如以温和蒸汽的形式)的一个原因是防止吸附剂以巨大的能量消耗来卸载水分。这与水分波动不同,水分的存在本身就会刺激CO₂的释放。

[0113] 暴露后,盖子114再次下降。一旦盖子关闭释放室104,收集就开始。在水分波动吸附剂的示例中,吸附剂瓦片108结合足够的水分以使CO₂释放。室中的空气现在富集有CO₂,所述CO₂通过产物出口118退出。一旦瓦片108被清空,瓦片108将再次提升,并且由于吸附剂110干燥,吸附剂110将再次开始从空气中收集CO₂的循环。凝结的水被泵回散热器或者被排出。为了避免产物流326中CO₂浓度的逐渐下降,可以将多个收集装置100组合在一起,其中来自几乎空的被动收集装置100的吹扫气进入仍然具有更高CO₂平衡浓度的被动收集装置100。以这种方式输送的产物流326的浓度接近于几乎装满的树脂的产物流326的浓度。

[0114] 在一些实施方案中,装置100或收集装置100的群集402可以被提升到其他设备之上。这样做是为了减少占地面积和土地使用和/或是为了加强收集,这是因为在一些地形中,在更高处收集将增大气流。

[0115] 在一些实施方案中,被动收集系统400可以包括用于引导风的嵌板。这些嵌板或帆状结构的目的是将风引导到被动收集装置100或引导风离开被动收集装置100,以便增加被动收集装置100相对于风速的操作范围。在低风速下,空气将被汇集到被动收集装置100,在高风速下,空气将偏离开。所述嵌板还可以在系统400或群集402的外部与单个收集装置100一起使用。

[0116] 根据各种实施方案,被动收集系统400还包括为收集装置100供电和管理收集装置100的电气、传感器和控制系统。一些被动收集系统400还包括用于改进产物流326的质量的升级系统。在一些实施方案中,被动收集系统400可以配置为输送CO₂浓度范围从0.1%至95%或更高的干燥的CO₂/空气混合物。一些被动收集系统400可以采用将CO₂结合到第二吸附剂的系统,从所述第二吸附剂可以产生纯CO₂。其它被动收集系统400可以使用这样的系统,该系统从相当于几乎纯CO₂和水蒸气的低压流开始,然后干燥和压缩所述低压流,以便产生CO₂的纯浓缩流。在其它被动收集系统400中,可以使用将CO₂溶解到碳酸盐/碳酸氢盐溶液中的系统。一些被动收集系统400可以利用多个系统来升级系统输出。然而,本领域技术人员应当清楚的是,收集装置100和系统400被设计为从大气收集CO₂,并且将所述CO₂呈现为对下游应用有用的形式。所述收集装置100和系统400不受吸附剂材料的选择或预期的下游应用的限制。

[0117] 在上述示例、实施方案和实施参考示例的情况下,本领域普通技术人员应当理解,其它被动收集装置、系统和方法以及示例可以与所提供的被动收集装置、系统和方法以及示例混用或者替代所提供的被动收集装置、系统和方法以及示例。在以上说明书涉及被动收集装置、系统和方法的具体实施方案处,显而易见的是,在不脱离其精神的情况下可以进行多种修改,并且这些实施方案和实现方式也可以应用于其它二氧化碳收集装置、系统和方法。相应地,所公开的主题旨在包含落入本发明的精神和范围以及本领域普通技术人员知识的所有这样的改变、修改和变化。

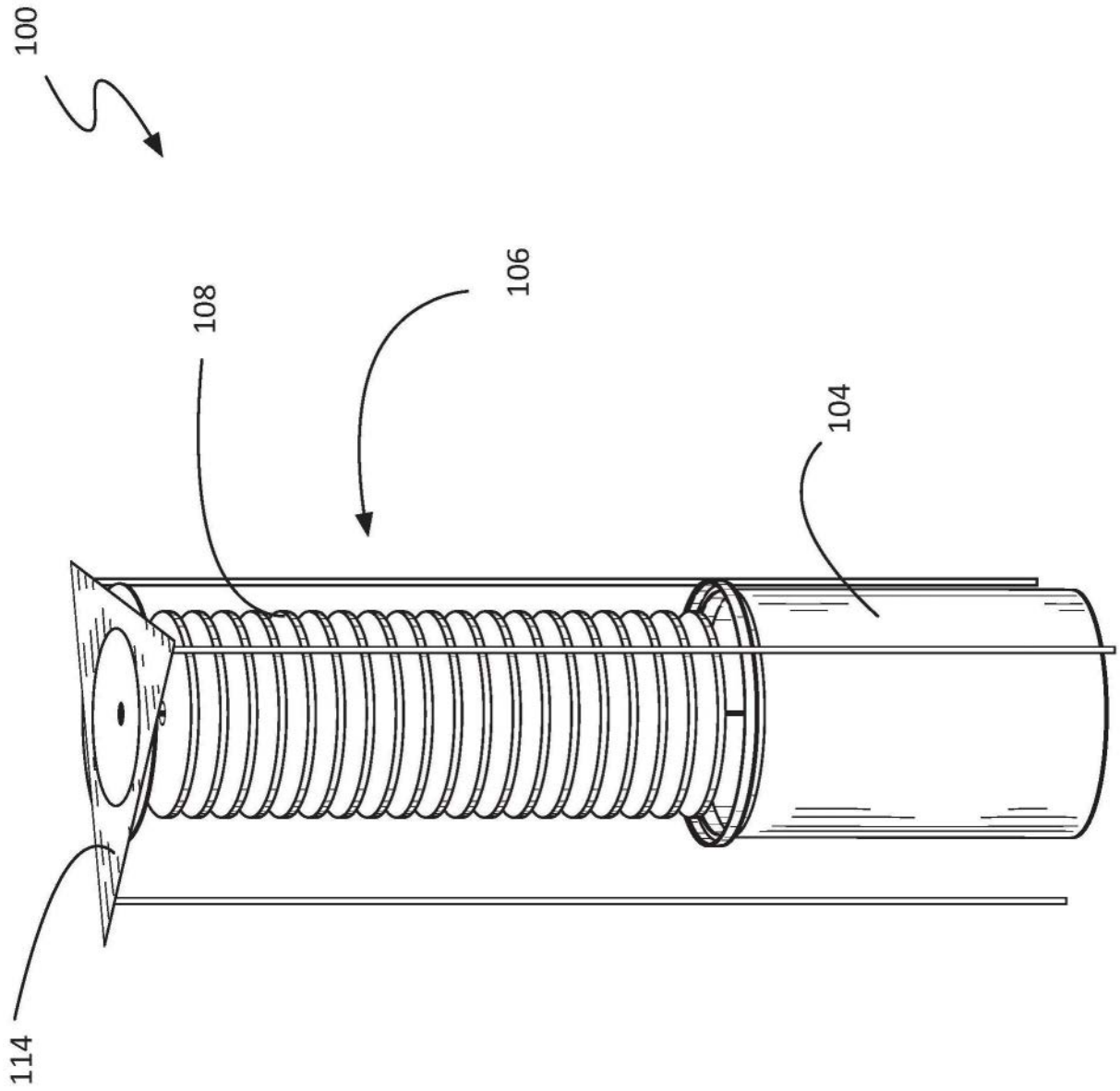


图1A

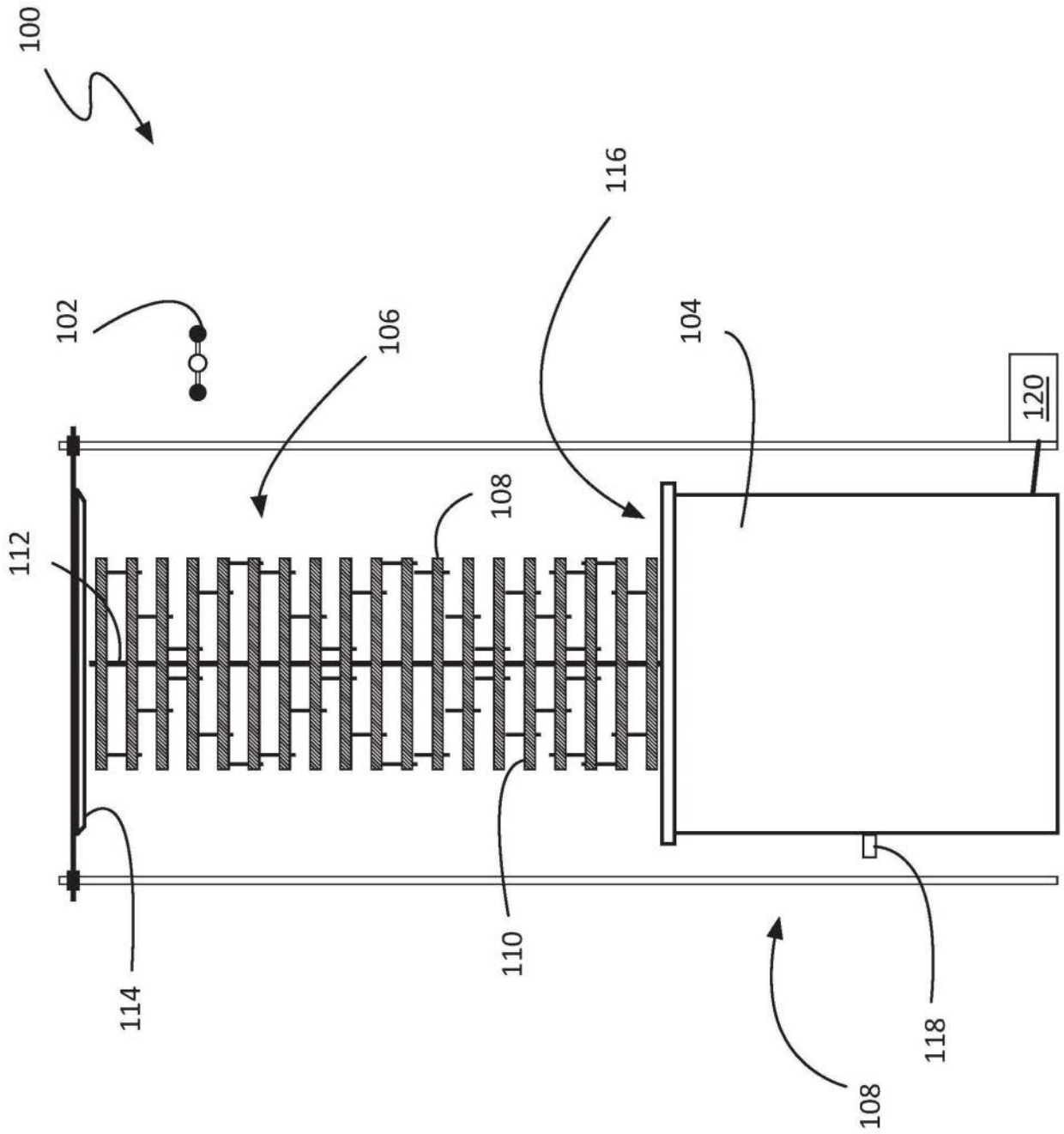


图1B

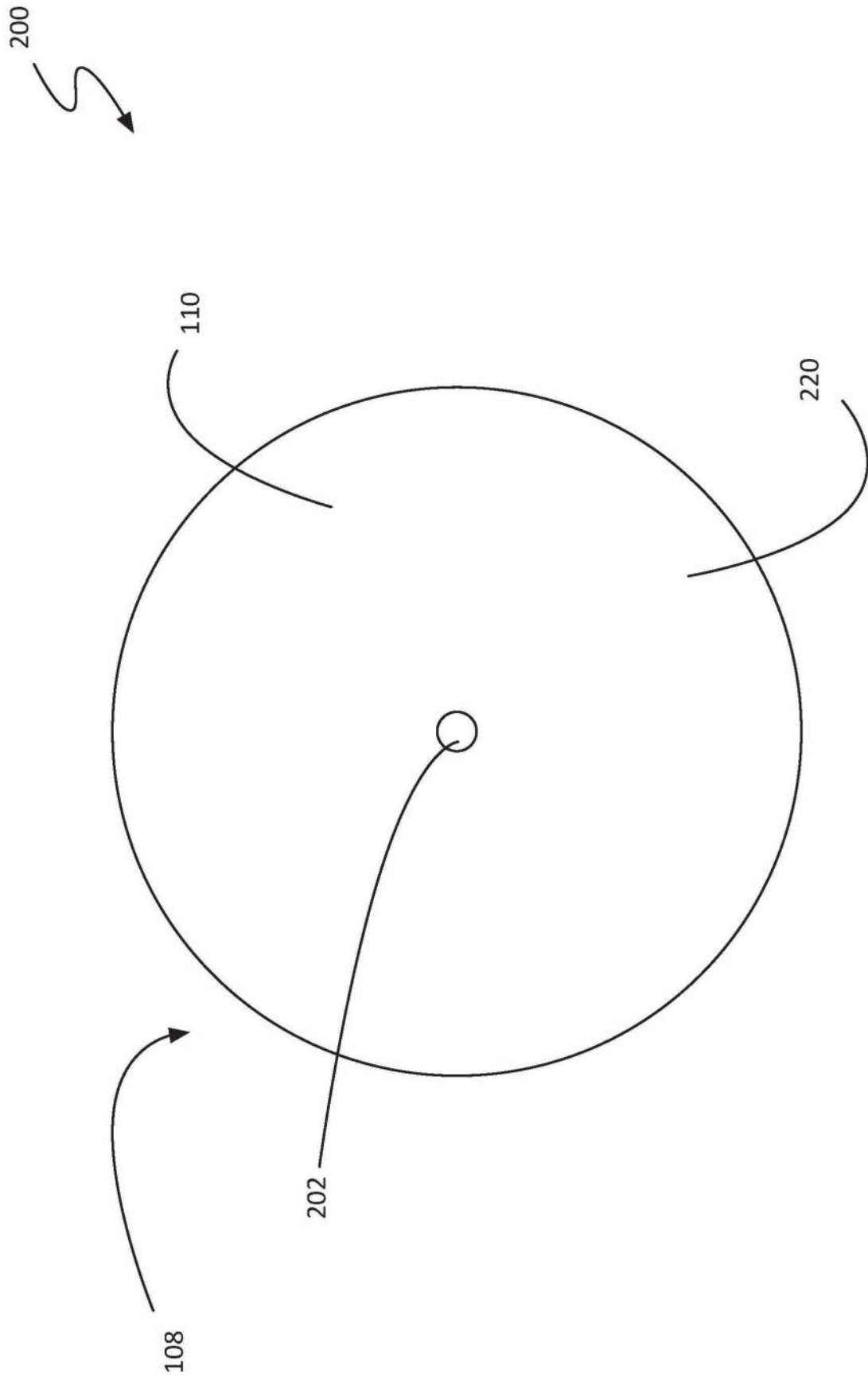


图2A

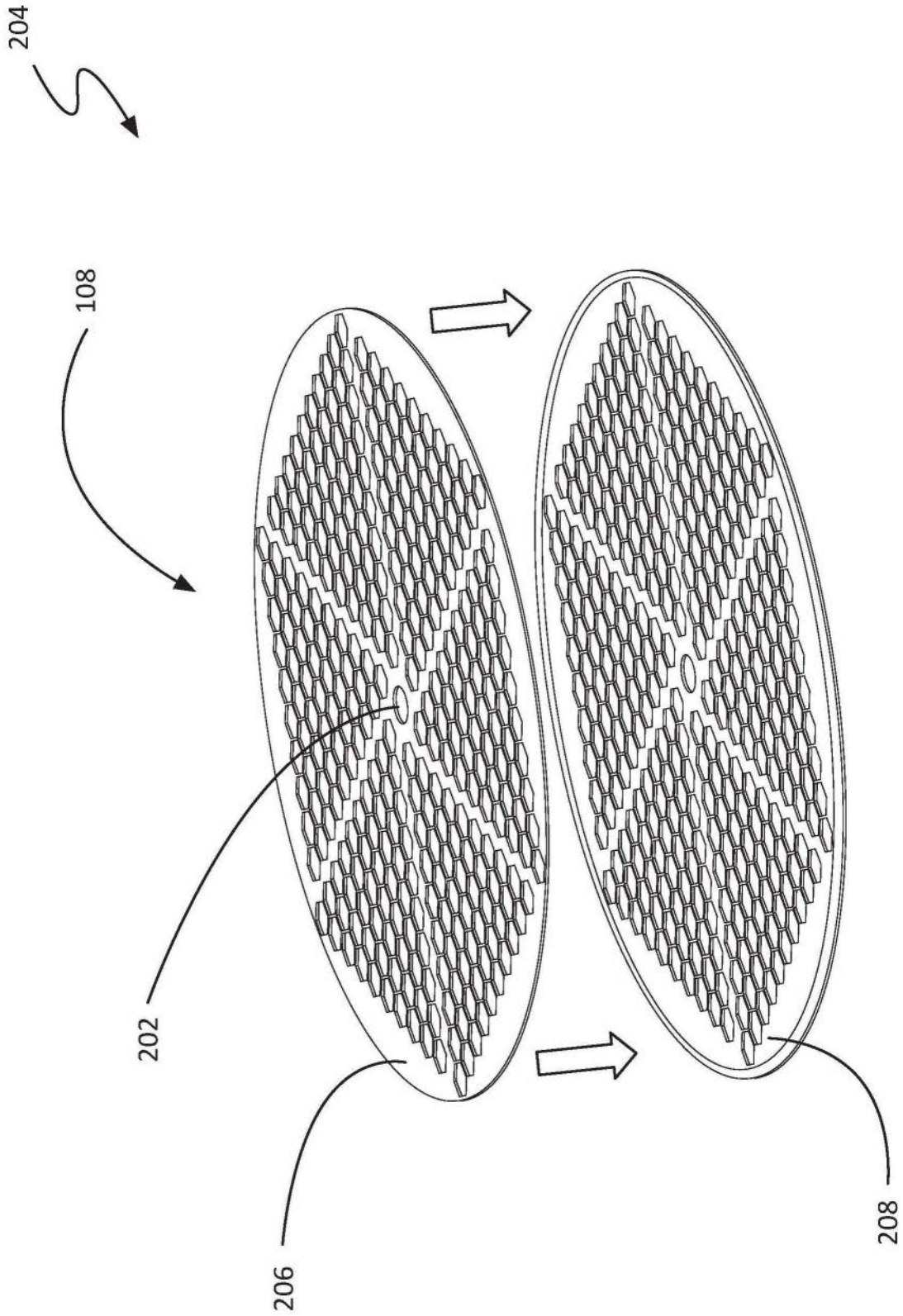


图2B

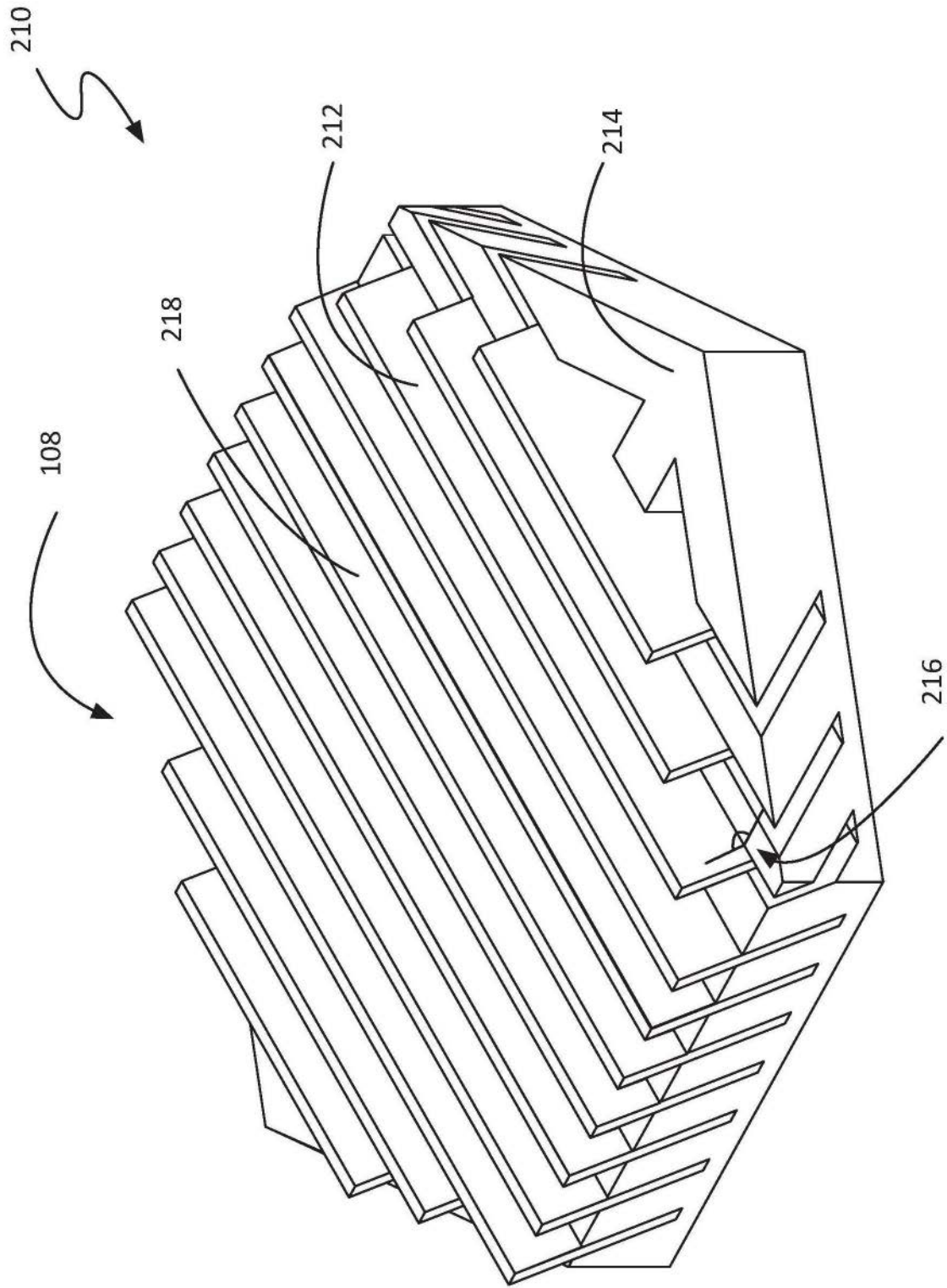


图2C

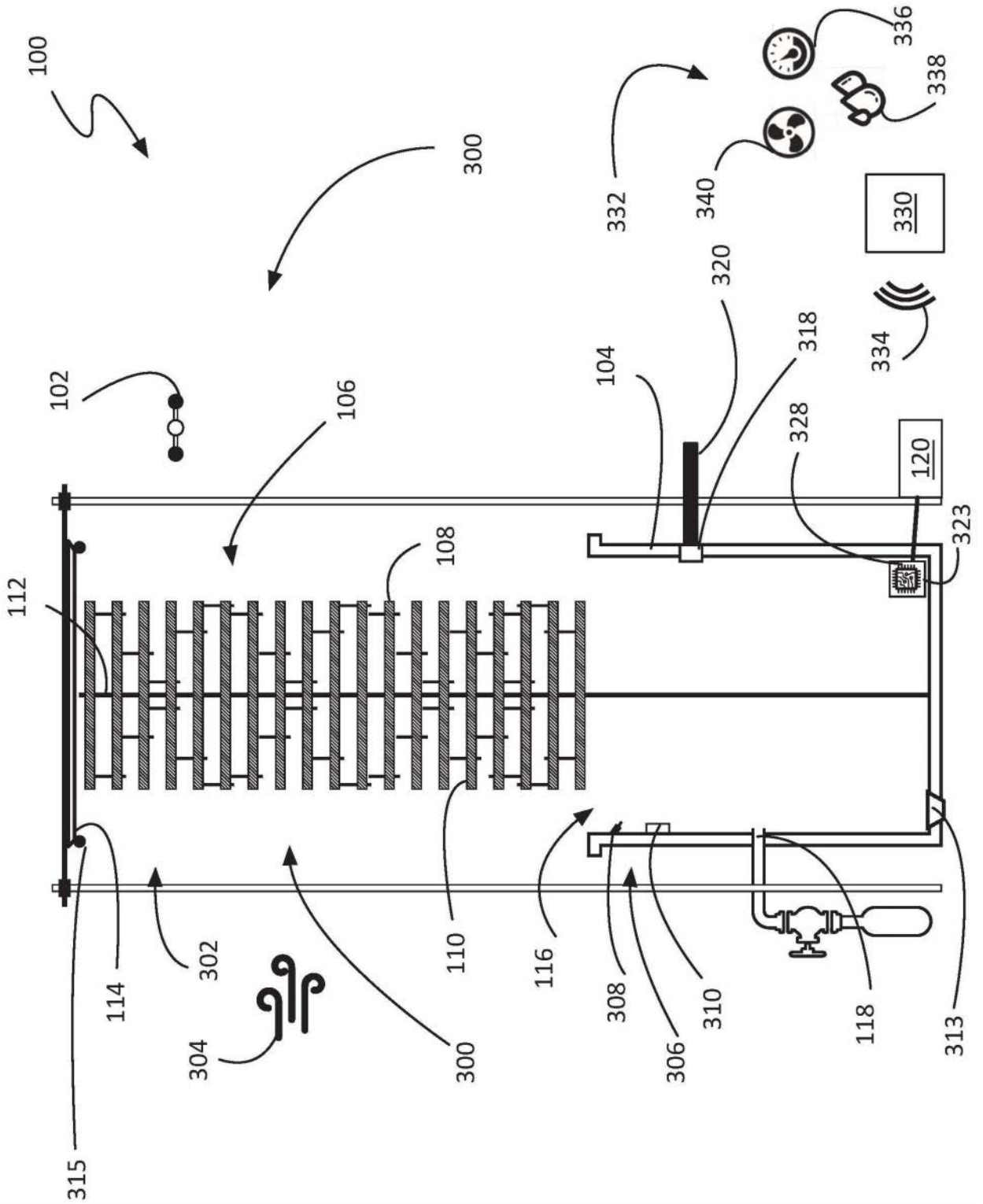


图3A

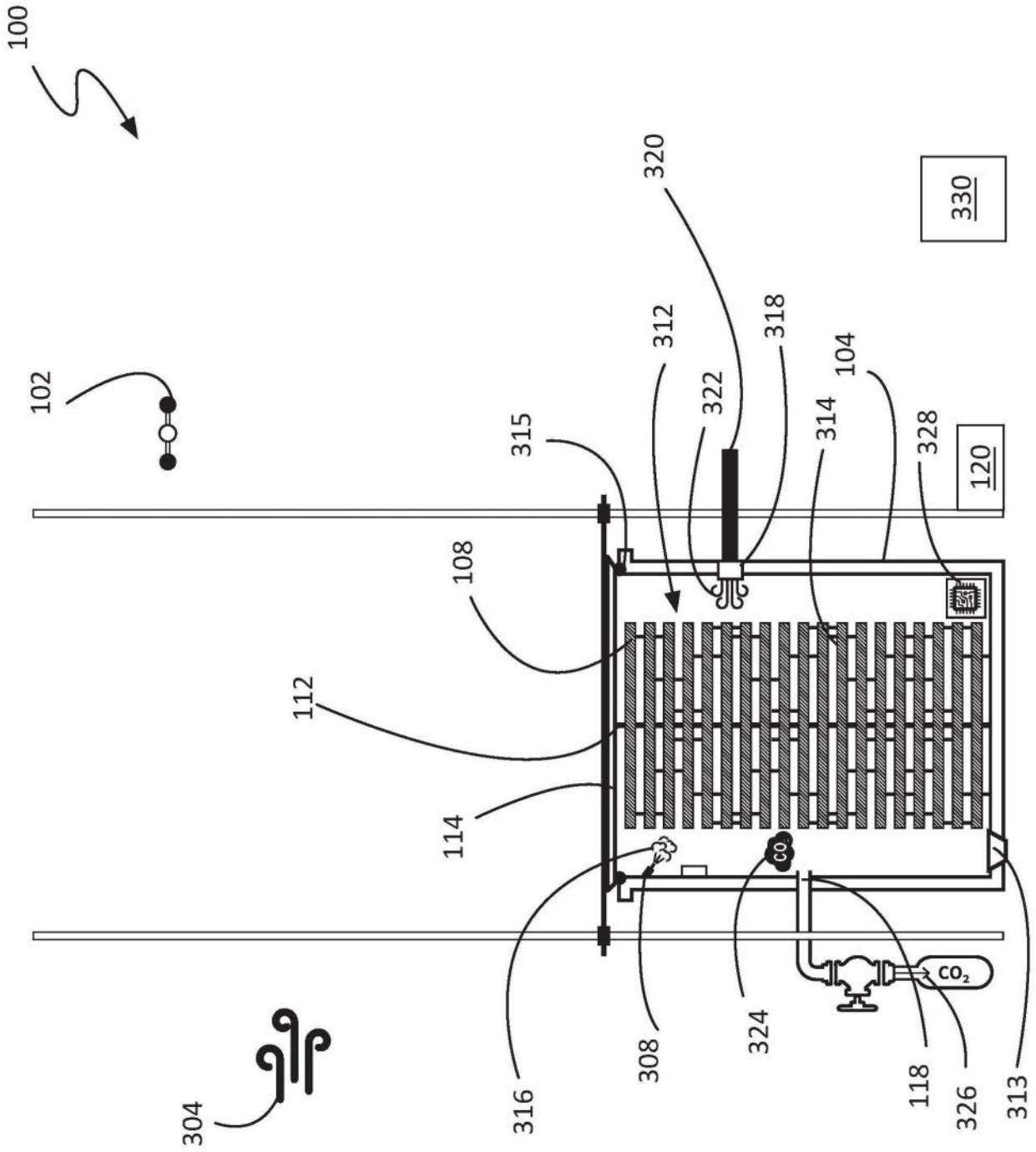


图3B

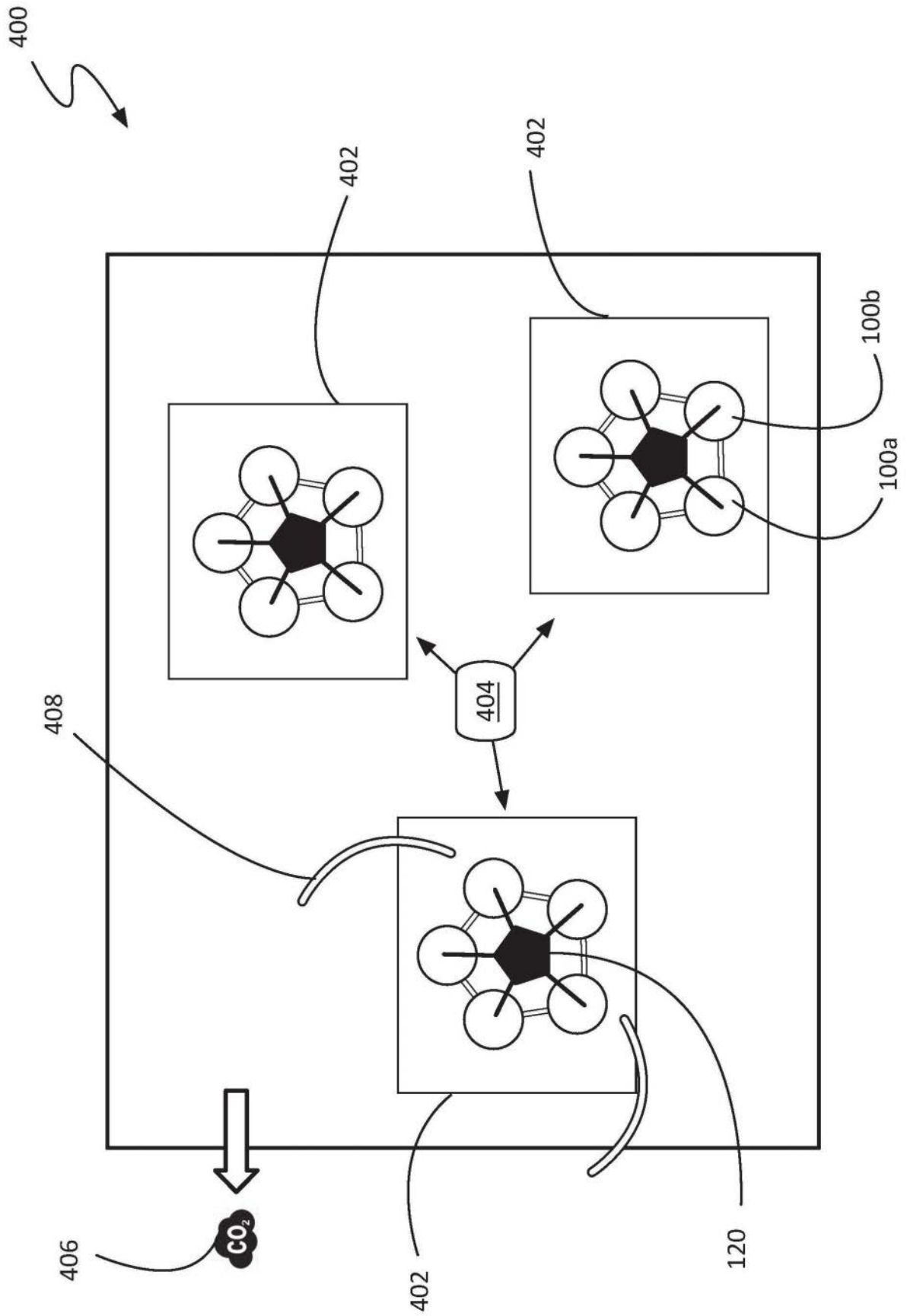


图4