(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 118201704 A
(43)申请公布日 2024.06.14

(21)申请号 202280072180.7
(22)申请日 2022.10.25
(30)优先权数据
21206103.0 2021.11.02 EP
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2024.04.26
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2022/079789 2022.10.25
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2023/078735 EN 2023.05.11
(71)申请人 安特卫普大学
地址 比利时安特卫普
(72)发明人 A·博加特斯 F·吉拉德-萨洪 G·特伦切夫
(74)专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127
专利代理师 张志华 师玮
(51)Int.Cl.
B01J 19/08(2006.01)
B01J 8/00(2006.01)
B01J 8/02(2006.01)
C10K 1/00(2006.01)

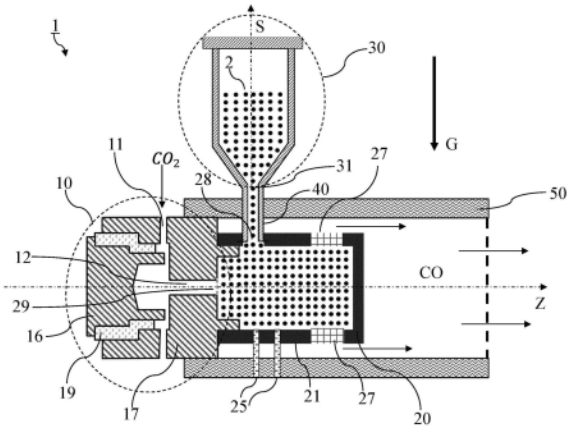
权利要求书4页 说明书20页 附图13页

(54)发明名称

气体转化装置和方法

(57)摘要

本公开涉及一种气体转化装置,其包括等离子体反应器和配置成接收从等离子体反应器排出的转化的和未转化的原料气的气流的室。室包括:供应通过部,用于用固体反应物材料填充所述室以形成固体反应物材料的固定床;和至少一个排气窗口,用于排出生成气。气体转化装置还包括用于储存固体反应物材料的筒仓和将筒仓的底部开口与室的供应通过部连接的连接管。筒仓和连接管配置成使得当装置运行并且室中的固体反应物材料要被耗尽时,引起固体反应物材料从筒仓到室的流动,以便维持室填充有固体反应物材料,并且其中,固体反应物材料从筒仓到室的流动是由重力或至少部分地由重力引起的。本公开还涉及一种气体转化方法。



CN 118201704 A

1.一种气体转化装置,所述装置包括:

a)等离子体反应器,所述等离子体反应器用于产生等离子体,所述等离子体反应器包括:一个或更多个气体入口,所述气体入口配置成将原料气引入所述等离子体反应器;和气体出口,所述气体出口用于从所述等离子体反应器排出转化的和未转化的原料气的气流;

其特征在于,所述装置还包括:

b)室,所述室联接到所述等离子体反应器,其中,所述室配置成保持固体反应物材料的固定床并且接收通过所述等离子体反应器的气体出口排出的转化的和未转化的原料气的所述气流,并且其中,所述室还包括:供应通过部,所述供应通过部用于用固体反应物材料填充所述室,以便形成固体反应物材料的固定床;和至少一个排气窗口,所述排气窗口用于从所述室排出生成气;

c)筒仓,所述筒仓用于储存一堆固体反应物材料,并且其中,所述筒仓包括具有底部开口的底侧,所述底部开口用于从所述筒仓排出固体反应物材料;以及

d)连接管,所述连接管将所述筒仓的底部开口与所述室的供应通过部连接,并且其中,所述筒仓和所述连接管配置成使得当所述装置运行并且所述室中的固体反应物材料要被耗尽时,引起固体反应物材料从所述筒仓到所述室的流动,以便维持所述室填充有固体反应物材料,并且其中,固体反应物材料从所述筒仓到所述室的所述流动是由重力或至少部分地由重力引起的。

2.根据权利要求1所述的装置,其中,所述等离子体反应器包括穿过所述等离子体反应器的所述至少一个气体出口的中心反应器轴线Z,并且其中,所述室沿着所述中心反应器轴线从第一端延伸到第二端。

3.根据权利要求2所述的装置,其中,所述室的第一端包括轴向进入开口,并且其中,所述等离子体反应器的气体出口面向所述室的所述轴向进入开口。

4.根据权利要求2或3所述的装置,其中,所述室包括在所述第一端和所述第二端之间延伸的至少一个周向壁,并且其中,所述供应通过部是穿过所述周向壁形成的,优选地,所述周向壁由以下材料中的任一种或其组合制成:不锈钢、铜、黄铜、石英。

5.根据权利要求4所述的装置,其中,所述至少一个排气是穿过所述室的周向壁形成的,或者替代地,所述至少一个排气是穿过所述室的端部处的轴向端壁形成的。

6.根据权利要求2至5中任一项所述的装置,其中,所述筒仓沿着中心筒仓轴线S从所述底侧延伸到所述筒仓的上侧,并且其中,所述中心筒仓轴线S基本上垂直于所述中心反应器轴线Z。

7.根据权利要求6所述的装置,其中,所述连接管是平行于所述中心筒仓轴线S定向的直管。

8.根据权利要求2至5中任一项所述的装置,其中,所述筒仓沿着中心筒仓轴线S从所述底侧延伸到所述筒仓的上侧,并且其中,所述中心筒仓轴线S基本上平行于所述等离子体反应器的中心反应器轴线Z。

9.根据权利要求8所述的装置,其中,所述连接管包括至少一个直管部分,其中,所述直管部分的中心轴线相对于所述中心反应器轴线Z以30°至60°之间的角度定向。

10.根据权利要求1至5中任一项所述的装置,其中,所述筒仓沿着中心筒仓轴线S从所述底侧延伸到所述筒仓的上侧,并且其中,所述筒仓定向成使得所述中心筒仓轴线S与重力

轴线(G)之间的角度φ在0°≤φ≤45°的范围内,优选地在0°≤φ≤30°的范围内,更优选地在0°≤φ≤10°的范围内。

11.根据权利要求2至5中任一项所述的装置,其中,所述装置配置成使得当运行时,所述中心反应器轴线Z基本上垂直于重力轴线G,并且其中,所述筒仓沿着中心筒仓轴线S从所述底侧延伸到所述筒仓的上侧,并且其中,所述中心筒仓轴线S与所述中心反应器轴线Z之间的角度β在45°≤β≤90°的范围内,优选地在60°≤β≤90°的范围内,更优选在80°≤β≤90°的范围内。

12.根据权利要求2至5中任一项所述的装置,其中,所述装置配置成使得当运行时,所述中心反应器轴线Z基本上平行于重力轴线G,并且其中,所述筒仓沿着中心筒仓轴线S从所述底侧延伸到所述筒仓的上侧,并且其中,所述中心筒仓轴线S与所述中心反应器轴线Z之间的角度β在0°≤β≤45°的范围内,优选地在0°≤β≤30°的范围内,更优选在0°≤β≤10°的范围内。

13.根据前述权利要求中任一项所述的装置,其中,所述室包括一个或更多个端口,所述端口配置成安装用于测量所述室内的温度的热电偶。

14.根据前述权利要求中任一项所述的装置,所述装置包括主气体输送管,所述主气体输送管用于进一步输送从所述室排出的所述生成气。

15.根据前述权利要求中任一项所述的装置,所述装置包括网,所述网配置成避免固体反应物材料进入所述等离子体反应器。

16.根据前述权利要求中任一项所述的装置,其中,所述筒仓的周向壁的一部分具有以下任一种形状:圆锥体、圆柱体、立方体、平截头体、棱锥体、棱柱体或其任何组合。

17.根据前述权利要求中任一项所述的装置,其中,所述连接管从第一管端延伸到第二管端,并且其中,所述第一管端联接到所述筒仓的底部开口且所述第二管端联接到所述室的供应通过部。

18.根据前述权利要求中任一项所述的装置,其中,所述筒仓包括刺激装置,所述刺激装置配置成刺激所述筒仓内的固体反应物材料的质量流动,优选地,所述刺激装置是以下中的任一个或其组合:旋转机构、平移机构或振动机构。

19.根据权利要求18所述的装置,其中,所述刺激装置包括布置在所述筒仓内的一个或更多个振动或旋转销。

20.根据前述权利要求中任一项所述的装置,其中,所述筒仓由以下材料中的任一种或其组合制成:黄铜、铜、钢、玻璃、塑料。

21.根据前述权利要求中任一项所述的装置,其中,所述等离子体反应器包括至少第一电极和与所述第一电极电绝缘的第二电极,并且其中,穿过所述第二电极形成的壁开口形成所述等离子体室的所述气体出口,优选地,所述第一电极是高压阴极,并且所述第二电极是接地阳极。

22.根据前述权利要求中任一项所述的装置,所述装置还包括用于排出耗尽的反应物材料的端口,所述耗尽的反应物材料例如为耗尽的碳颗粒,所述端口优选地位于所述室的下部或底部,并且优选地,所述装置包括用于所述端口的封闭装置或构件。

23.根据前述权利要求中任一项所述的装置,所述装置还包括:

氧气传感器,所述氧气传感器布置在所述主气体输送管中,用于测量氧气浓度;以及

控制器,所述控制器用于控制所述固体反应物材料从所述筒仓到所述室的所述流动并用于控制耗尽的反应物材料从所述室的移除,所述控制器优选地适于至少基于所述主气体输送管中的氧气浓度来控制固体反应物材料从所述筒仓到所述室的所述流动和所述耗尽的反应物材料从所述室的移除。

24.根据权利要求23所述的装置,其中,所述控制器适于在所述氧气浓度超过预定阈值时触发固体反应物材料从所述筒仓到所述室的流动和耗尽的反应物材料从所述室的移除。

25.根据权利要求23所述的装置,其中,所述控制器适于触发固体反应物材料从所述筒仓到所述室的流动和耗尽的反应物材料从所述室的移除,以便将所述氧气浓度保持在预定范围内。

26.根据前述权利要求中任一项所述的装置,其中,所述室配置成允许进行混合所述室中的反应物材料的过程。

27.根据权利要求26所述的装置,其中,所述室包括混合装置或混合设备,所述混合装置或混合设备布置成并适于混合所述室中的反应物材料,所述反应物材料诸如为碳颗粒。

28.根据权利要求27所述的装置,其中,所述混合设备包括布置在所述室中的至少一个或多个振动或旋转销。

29.根据权利要求27所述的装置,其中,所述混合设备包括布置在所述室内的螺杆或螺旋式螺杆传送器,所述螺杆或螺旋式螺杆传送器优选地具有平行于所述室的轴线的纵向轴线。

30.根据权利要求27所述的装置,其中,所述室以可旋转的方式安装,优选地沿着与所述室的纵向轴线相对应的轴线安装。

31.根据权利要求26至30中任一项所述的装置,其中,混合过程是连续的。

32.根据权利要求26至30中任一项所述的装置,其中,混合过程是根据预定的混合时间表或由测量值控制的混合时间表进行的。

33.根据前述权利要求22至32中任一项所述的装置,所述装置还包括用于朝向用于排出所述室中的耗尽的反应物材料的所述端口推进所述反应物材料的装置或设备。

34.根据权利要求33所述的装置,其中,用于推进的所述装置包括布置在所述室中的螺杆或螺旋式螺杆传送器。

35.一种气体转化方法,该方法包括:

提供用于产生等离子体的等离子体反应器,其中,所述等离子体反应器包括:一个或更多个气体入口,所述气体入口配置成将原料气引入所述等离子体反应器;和气体出口,所述气体出口用于从所述等离子体反应器排出转化的和未转化的原料气的气流;

提供能用固体反应物材料填充的室;

将所述室联接到所述等离子体反应器,使得通过所述等离子体反应器的气体出口排出的转化和未转化的原料气的气流能通过所述室的进入开口被接收在所述室中;

将一堆固定反应物材料储存在筒仓中;

使用连接管将所述筒仓的底部开口与所述室中的用于供应反应物材料的供应通过部连接;

相对于所述室定位所述筒仓和所述连接管,使得所述固体反应物材料能通过重力或至少部分地通过重力从所述筒仓流动通过所述连接管到达所述室;

用固体反应物材料填充所述室以在所述室内形成固体反应物材料的固定床;

将原料气引入所述等离子体反应器;

使所述等离子体反应器运行以形成等离子体并产生由所述室接收的转化的和未转化的原料气的气流,使得转化的和/或未转化的原料气能够与固体反应物材料的固定床相互作用;

在所述等离子体反应器运行期间,维持所述筒仓通过所述连接管与所述室连接,使得如果所述室中的固体反应物材料要被耗尽,则引起固体反应物材料从所述筒仓到所述室的流动以维持所述室填充有固体反应物材料,并且其中,反应物材料从所述筒仓到所述室的所述流动是由重力或至少部分地由重力引起的;

从所述室排出生成气。

36.根据权利要求35所述的方法,其中,反应物材料是碳,并且其中,所述方法还包括:在将碳储存在所述筒仓中之前,预处理碳以从碳中除去含氢和/或含氧官能团,优选地,所述预处理包括将碳置于填充有惰性气体的炉中。

37.根据权利要求1至34中任一项所述的装置或根据权利要求35或36所述的方法,其中,固体反应物材料选自:粉末材料、颗粒材料、块状材料、球丸材料。

38.根据权利要求1至34中任一项所述的装置或根据权利要求35或36所述的方法,其中,固体反应物材料是碳,优选呈碳球丸或碳颗粒的形式,并且其中,原料气至少包含CO_2,并且其中,从所述室中排出的生成气至少包含CO。

39.根据权利要求1至34中任一项所述的装置或根据权利要求35至38中任一项所述的方法,其中,所述等离子体反应器是以下中的任一个:典型的滑动弧等离子体反应器、旋转滑动弧等离子体反应器、涡流稳定的滑动弧等离子体反应器、双涡流等离子体反应器、微波等离子体反应器、电感耦合等离子体(ICP)反应器、电容耦合等离子体(CCP)反应器或大气压辉光放电等离子体反应器。

40.根据权利要求1至34中任一项所述的装置或根据权利要求35至38中任一项所述的方法,其中,所述等离子体反应器是温等离子体反应器,所述温等离子体反应器配置成使得在运行时产生等离子体,其中,气体温度等于或大于1000开氏度,优选地大于1500开氏度,更优选地大于2000开氏度,优选地,所述气体温度低于5000开氏度。

气体转化装置和方法

技术领域

[0001] 本公开涉及一种气体转化装置,该装置包括等离子体反应器,其中,当在操作时,形成等离子体。等离子体反应器包括:一个或更多个气体入口,所述气体入口用于将原料气引入等离子体反应器;和气体出口,所述气体出口用于从等离子体反应器排出已转化和未转化的原料气的气流。

背景技术

[0002] 用于基于等离子体的气体转化的等离子体反应器对各种化学反应应用来说正获得增加的兴趣。

[0003] 使用等离子体反应器的潜在益处的示例是减少地球大气中的CO_2水平,即通过将CO_2转化成增值化学品或可再生燃料。实际上,利用等离子体反应器,CO_2可以直接分裂成CO和O_2,并且CO可以用作化学原料用于生产增值化学品或可再生燃料,如例如由Snoeckx和Bogaerts在Chem.Soc.Rev.2017,46,5805中所讨论的。

[0004] 据报道,滑动弧等离子体反应器的CO_2转化率高达8.6%。尽管用等离子体反应器将CO_2转化为CO的这些结果表明是有前途的,但是为了使等离子体反应器技术对于大规模应用在商业上变得有吸引力,仍然需要进一步的改进。重要的是获得较高的转化率,理想地为100%,并且通常以焦耳每摩尔原料气表示的能量消耗(也称为能量成本)应尽可能低。

[0005] 此外,为了直接适用于工业应用,理想地需要不含O_2的排气,即排气应当仅包含纯CO。实际上,当CO_2分解时,也产生原子氧,并且原子氧将负责不希望的逆反应,即通过与CO重新组合成CO_2,这降低净转化率和能量效率。此外,通过两个O原子重组形成的O_2可与CO重组为CO_2。因此,O和O_2都是不期望的物质,这些物质需要被物理或化学消灭以避免逆反应并降低下游的分离成本。

[0006] 因此,存在改进基于等离子体反应器的气体转化装置的空间。

发明内容

[0007] 本发明的目的是提供一种气体转化装置,其中,当与现有技术的气体转化装置相比时,生成气中的氧水平降低。更具体地,本发明的目的是提供一种用于将CO_2转化为CO的装置,其中,当与现有技术的气体转化装置相比时,O_2排放水平大大降低。优选地,O_2排放水平低于5%,更优选低于1%。本发明的另一个目的是提供一种气体转化装置,其中,当与用于基于等离子体的气体转化的现有技术等离子体反应器相比时,生成气(例如CO)的产率增加和/或能量成本降低。

[0008] 本发明由所附独立权利要求限定。从属权利要求限定了有利的实施例。

[0009] 根据本发明的第一方面,提供一种气体转化装置,其包括用于产生等离子体的等离子体反应器和联接到所述等离子体反应器的室。

[0010] 等离子体反应器包括:一个或更多个气体入口,所述气体入口配置成将原料气引入等离子体反应器;和气体出口,所述气体出口用于从等离子体反应器排出转化的和未转

化的原料气的气流。该室配置成接收通过等离子体反应器的气体出口排出的转化的和未转化的原料气的气流，并且该室进一步配置成保持固体反应物材料的固定床。该室还包括供应通过部28，所述供应通过部用于用固体反应物材料填充所述室以形成固体反应物材料的固定床。该室包括至少一个排气窗口，所述排气窗口用于从所述室排出生成气。

[0011] 根据本公开的气体转化装置的特征在于，它包括用于储存一堆固体反应物材料的筒仓，并且其中，所述筒仓包括具有底部开口的底侧，所述底部开口用于从所述筒仓排出固体反应物材料，并且它包括连接管，所述连接管将所述筒仓的底部开口与所述室的供应通过部连接。所述筒仓和所述连接管配置成使得当所述装置运行并且所述室中的固体反应物材料要被耗尽时，引起固体反应物材料从所述筒仓到所述室的流动，以便维持所述室填充有固体反应物材料，并且其中，固体反应物材料从所述筒仓到所述室的流动是由重力或至少部分地由重力引起的。

[0012] 有利地，使用根据本公开的装置，气体转化在两个阶段中进行：在等离子体反应器内的第一转化阶段期间，原料气由于原料气与等离子体的相互作用而分解；并且在填充有反应物材料的室内的第二阶段期间，离开等离子体反应器的气体可进一步与反应物材料的固定床相互作用。这样，提高了例如CO_2到CO的气体转化的总效率，并大大降低了从室中排出的生成气的氧气水平。

[0013] 有利地，利用根据本发明的装置，当固体反应物材料耗尽时，以对应于耗尽速率的速率自动供应新鲜固体反应物材料。

[0014] 有利地，根据本公开的气体转化装置可以连续模式运行，而不需要停止运行以用反应物材料再填充等离子体室。

[0015] 通常，等离子体反应器包括穿过至少一个气体出口的中心反应器轴线，并且室沿着中心反应器轴线从第一端延伸到第二端。

[0016] 在实施例中，室的第一端包括轴向进入开口，并且其中，等离子体反应器的气体出口面向室的轴向进入开口，使得当装置运行时，离开等离子体反应器的转化的和未转化的原料气进入室。

[0017] 在实施例中，筒仓沿着中心筒仓轴线从底侧延伸到筒仓的上侧。

[0018] 在实施例中，筒仓定向成使得中心筒仓轴线与重力轴线之间的角度φ在$0° \leqslant \varphi \leqslant 45°$范围内，优选地在$0° \leqslant \varphi \leqslant 30°$的范围内，更优选地在$0° \leqslant \varphi \leqslant 10°$的范围内。

[0019] 在实施例中，其中，中心反应器轴线基本上垂直于重力轴线，并且其中，中心筒仓轴线与中心反应器轴线之间的角度β在$45° \leqslant \beta \leqslant 90°$的范围内，优选在$60° \leqslant \beta \leqslant 90°$的范围内，更优选在$80° \leqslant \beta \leqslant 90°$的范围内。

[0020] 在实施例中，其中，$\beta = 90°$，连接管是平行于中心筒仓轴线定向的直管。

[0021] 在实施例中，其中，中心反应器轴线基本上平行于重力轴线，并且其中，中心筒仓轴线与中心反应器轴线之间的角度β在$0° \leqslant \beta \leqslant 45°$的范围内，优选地在$0° \leqslant \beta \leqslant 30°$的范围内，更优选地在$0° \leqslant \beta \leqslant 10°$的范围内。

[0022] 在实施例中，筒仓包括刺激装置，所述刺激装置配置成刺激筒仓内的固体反应物材料的质量流动，优选地，刺激装置是以下中的任一个或其组合：旋转机构、平移机构或振动机构。根据优选实施例，刺激装置包括布置在筒仓内的一个或更多个振动或旋转销、板或其他机械主体。

[0023] 在实施例中,连接管从第一管端延伸到第二管端,并且其中,第一管端联接到筒仓的底部开口,并且第二管端联接到室的供应通过部。

[0024] 在实施例中,根据本公开的装置包括主气体输送管,所述主气体输送管用于进一步输送从室排出的生成气。

[0025] 在一些实施例中,本公开的装置包括网,所述网配置成避免固体反应物材料进入等离子体反应器。

[0026] 在优选的实施例中,根据本公开的装置还包括用于排出耗尽的反应物材料的端口,所述耗尽的反应物材料例如为耗尽的碳颗粒,所述端口优选地位于室的下部或最下部或底部,并且优选地包括用于端口的封闭装置或构件。

[0027] 在优选的实施例中,根据本公开的装置还包括:氧气传感器,所述氧气传感器布置在主气体输送管中,布置在反应物材料的下游,用于测量生成气的氧气浓度;和控制器,所述控制器用于控制固体反应物材料从筒仓到室的流动和用于控制耗尽的反应物材料从室的移除。控制器优选地适于仅基于或至少基于反应物材料下游的主气体输送管中的氧气浓度来控制固体反应物材料从筒仓到室的流动和耗尽的反应物材料从室的移除。

[0028] 根据优选的实施例,控制器适于或配置成当氧气浓度超过预定阈值时触发固体反应物材料从筒仓到室的流动和耗尽的反应物材料从室的移除。

[0029] 根据优选的实施例,控制器适于或配置成触发固体反应物材料从筒仓到室的流动和耗尽的反应物材料从室的移除,以便将氧气浓度保持在预定阈值以下。

[0030] 根据优选的实施例,控制器适于或配置成触发固体反应物材料从筒仓到室的流动和耗尽的反应物材料从室的移除,以便将氧气浓度保持在预定范围内。

[0031] 根据优选的实施例,控制器还配置成控制以下中的一个或更多个或任何组合:用于排出反应物材料的端口的封闭构件(如果存在的话);和/或筒仓中的刺激设备或刺激装置(如果存在的话);和/或室中的混合和/或推进装置或设备(如果存在的话),优选地仅基于或至少基于由氧气传感器测量的氧气浓度进行控制。

[0032] 根据优选的实施例,室配置成允许进行混合室中的反应物材料的过程。

[0033] 根据优选的实施例,包括混合装置或混合设备,所述混合装置或混合设备布置并适于混合室中的反应物材料,所述反应物材料诸如为碳颗粒。这提供了这样的优点,即室中的反应物颗粒被重新安排并在取向上随机改变,这可能使相应的反应物颗粒或球丸的另外的较少耗尽或未耗尽的部分暴露于气流,从而改善了装置的性能并延长了反应物颗粒的寿命。

[0034] 根据优选的实施例,混合设备包括布置在室中的至少一个或多个振动或旋转销、板或其他机械主体。

[0035] 根据优选的实施例,混合设备包括布置在室中的螺杆或螺旋式螺杆传送器,螺杆或螺旋式螺杆传送器优选地具有平行于室的纵向轴线的纵向轴线。

[0036] 根据优选的实施例,室以可旋转的方式安装,优选地沿着与室的纵向轴线相对应的轴线安装。

[0037] 根据优选的实施例,混合过程是连续的。

[0038] 根据优选的实施例,混合过程是根据预定的混合时间表或由测量控制的混合时间表进行的。例如,一旦氧气浓度升高到预定阈值以上,持续预定的时间段,或者只要氧气浓

度基本上没有低于所述预定阈值或低于第二预定阈值,就可以发生混合。替代地,混合可以以预定的规则时间间隔进行预定的时间段。替代地,混合可以预定的规则时间间隔进行基于氧气浓度测量的时间段。例如,以规则时间间隔,只要相应的氧气浓度基本上没有低于所述预定阈值或低于第二预定阈值,就可以发生混合。

[0039] 在优选的实施例中,根据本公开的装置还包括用于朝向用于排出室中的耗尽的反应物材料的端口推进或驱动反应物材料的装置或设备。例如,用于推进的装置可以包括布置在室中的螺杆或螺旋式螺杆传送器。所述螺杆或螺旋螺旋式螺杆传送器的纵向轴线优选地对应于室的纵向轴线。根据优选的实施例,耗尽的反应物材料的移除与用来自筒仓的新鲜的未耗尽的反应物颗粒再填充同时发生。

[0040] 根据本公开的第二方面,提供了一种气体转化方法。

[0041] 该方法包括:

[0042] ■提供用于产生等离子体的等离子体反应器,其中,所述等离子体反应器包括:一个或更多个气体入口,所述气体入口配置成将原料气引入所述等离子体反应器中;和气体出口,所述气体出口用于从所述等离子体反应器排出转化的和未转化的原料气的气流;

[0043] ■提供能用固体反应物材料填充的室;

[0044] ■将所述室联接到所述等离子体反应器,使得通过所述等离子体反应器的气体出口排出的转化的和未转化的原料气的气流能通过所述室的进入开口部接收在所述室中;

[0045] ■将一堆固体反应物材料储存在筒仓中;

[0046] ■使用连接管将所述筒仓的底部开口与所述室中的用于供应反应物材料的供应通过部连接;

[0047] ■相对于所述室定位所述筒仓和所述连接管,使得所述固体反应物材料能通过重力或至少部分地通过重力从所述筒仓流动通过所述连接管到达所述室;

[0048] ■用固体反应物材料填充所述室以在所述室内形成固体反应物材料的固定床;

[0049] ■将原料气引入所述等离子体反应器中;

[0050] ■使所述等离子体反应器运行以形成等离子体并产生由所述室接收的转化的和未转化的原料气的气流,使得所述转化的和/或未转化的原料气能够与固体反应物材料的固定床相互作用;

[0051] ■在所述等离子体反应器运行期间,维持所述筒仓通过所述连接管与所述室连接,使得如果所述室中的固体反应物材料要被耗尽,则引起固体反应物材料从所述筒仓到所述室的流动以维持所述室填充有固体反应物材料,并且其中,反应物材料从所述筒仓到所述室的流动式通过重力或至少部分地通过重力引起的;

[0052] ■从所述室排出生成气。

[0053] 在实施例中,等离子体反应器是温等离子体反应器,所述温等离子体反应器配置成使得在运行时产生等离子体,其中,气体温度等于或大于1000开氏度,优选地大于1500开氏度,更优选地大于2000开氏度,优选地,所述气体温度低于5000开氏度。

[0054] 在实施例中,等离子体反应器是以下中的任一个:典型的滑动弧等离子体反应器、旋转滑动弧等离子体反应器、涡流稳定的滑动弧等离子体反应器、双涡流等离子体反应器、微波等离子体反应器、电感耦合等离子体反应器、电容耦合等离子体反应器或大气压辉光放电等离子体反应器。

[0055] 在实施例中,所述固体反应物材料选自:粉末材料、颗粒材料、块状材料、球丸材料。

[0056] 以上针对第一方面描述的特征和实施例也旨在针对第二方面进行公开(作必要的修正),反之亦然。

附图说明

[0057] 将通过示例并参考附图更详细地解释本公开的这些和其他方面,其中:

[0058] 图1示意性地示出了根据本公开的气体转化装置的第一实施例的剖视图;

[0059] 图2示意性地示示了根据本公开的气体转化装置的第二实施例的剖视图;

[0060] 图3示意性地示出了根据本公开的气体转化装置的第三实施例的剖视图;

[0061] 图4示意性地示示了根据本公开的室的剖视图,该室用于形成固体反应物材料的固定床;

[0062] 图5a和图5b示意性地示出了根据本公开的筒仓的两个实施例的剖视图;

[0063] 图6示出了用根据本公开的气体转化装置获得的作为时间的函数的氧气浓度(曲线A)以及用不具有包含碳床的室的现有技术装置获得的作为时间的函数的氧气浓度(曲线B);

[0064] 图7示意性地示出了根据本公开的气体转化装置的实施例的剖视图,其中,等离子体反应器是2D GA等离子体反应器;

[0065] 图8示意性地示出了根据本公开的气体转化装置的实施例的剖视图,其中,等离子体反应器是微波等离子体反应器;

[0066] 图9示意性地示出了根据本公开的气体转化装置的实施例的剖视图,其中,等离子体反应器是APGD等离子体反应器。

[0067] 图10示意性地示出了基于第三实施例的本公开的第四实施例。

[0068] 图11是提供示出相对于第三实施例添加到第四实施例的特征的优点的数据的图。

[0069] 图12至图15示意性地示出了本公开的实施例的优选特征的特征。

[0070] 附图既不是按比例绘制的,也不是成比例的。通常,相同的部件在图中由相同的附图标记表示。

具体实施方式

[0071] 将根据特定实施例来描述本公开,所述特定实施例说明本公开而不应被解释为限制。本领域技术人员将理解,本公开不受具体示出和/或描述的内容的限制,并且可以根据本公开的总体教导开发替代或修改的实施例。所描述的附图仅是示意性的而非限制性的。

[0072] 动词“包括”以及相应的动词变化的使用并不排除除了所述元件之外的元件的存在。在元件之前使用冠词“一”、“一个”或“该”并不排除多个这种元件的存在。

[0073] 此外,说明书和权利要求书中的术语“第一”、“第二”等用于区分相似的元件,而不一定用于描述时间上、空间上、等级上或以任何其他方式的顺序。应当理解,如此使用的术语在适当的情况下是可互换的,并且本文描述的本公开的实施例能够以不同于本文描述或示出的其他顺序操作。

[0074] 在整个说明书中提及“一个实施例”或“实施例”意味着结合实施例描述的特定特

征、结构或特性包括在本公开的一个或更多个实施例中。因此,在本说明书中各处出现的短语“在一个实施例中”或“在实施例中”不一定都指相同的实施例,而是可以指相同的实施例。此外,在一个或更多个实施例中,特定特征、结构或特性可以以任何合适的方式组合,这对于本领域的普通技术人员从本公开中将是显而易见的。

[0075] 当词语“基本上”用于基本上平行或基本上垂直时,它必须被解释为在1°内平行或垂直。

[0076] 当使用词语“重力轴线”时,它必须被解释为指示地球重力方向的轴线。

[0077] 当使用词语“原料气”时,它必须被解释为用于气体转化装置的输入气体。原料气至少包含待转化的气体,例如CO_2。

[0078] 当使用词语“生成气”时,它必须被解释为用于气体转化装置的输出气体。生成气包含由气体转化装置内的气体转化产生的所有气体物质。生成气还包括未转化的原料气。例如,生成气可包含由CO_2的转化产生的CO。

[0079] 气体转化装置——概要

[0080] 参考图1、图2、图3、图7、图8和图9,示出了根据本公开的气体转化装置1的示例性实施例的截面。

[0081] 根据本公开的气体转化装置1包括用于产生等离子体的等离子体反应器10。通常,等离子体反应器包括:一个或更多个气体入口11,其配置成将原料气引入等离子体反应器10;和气体出口12,其用于从等离子体反应器10排出转化的和未转化的原料气的气流。

[0082] 气体出口必须被解释为位于等离子体反应器的壁中的孔口或孔,所述孔口或孔配置成将转化的和未转化的气体抽出等离子体反应器。在实施例中,气体出口可以例如具有圆形横截面。

[0083] 原料气包括需要转化的气体。例如,在实施例中,原料气包含需要转化为CO的CO_2。在实施例中,原料气除了待转化的气体之外还包含额外的载气,例如惰性气体或可能有助于转化的另一种气体。

[0084] 转化的原料气必须理解为分解的原料气。转化的原料气包括所有物质,其中,原料气由于等离子体与原料气相互作用而分解。转化的原料气包括例如气体分子或原子。由于不是所有的原料气都在等离子体反应器中转化,所以离开等离子体反应器的气体中的一部分是未转化的原料气。

[0085] 在实施例中,等离子体反应器例如是配置用于CO_2转化的等离子体反应器,因此在这些实施例中,原料气至少包含CO_2。通过气体出口12离开等离子体反应器的转化的原料气包含例如由CO_2分裂成CO和O而产生的CO和O,并且转化的原料气可进一步包含例如通过两个O原子重组形成的O_2。

[0086] 通常,如图1至图3和图7至图9所示,等离子体反应器10包括穿过等离子体反应器10的至少一个气体出口12的中心反应器轴线Z。措辞“穿过”必须被解释为交叉或穿越。在其中气体出口12具有圆形横截面形状的实施例中,中心反应器轴线Z在中心穿过气体出口。下面进一步讨论等离子体反应器的详细实施例。

[0087] 本公开的气体转化装置1的特征在于它还包括室20,所述室配置成接收通过等离子体反应器10的气体出口12排出的转化的和未转化的原料气的气流。

[0088] 典型地,室20包括用于用固体反应物材料2填充所述室的供应通过部28,以便在所

述室内形成固体反应物材料的固定床。换句话说,室20必须被解释为反应室,其中,当等离子体反应器运行时,从等离子体反应器排出的转化的和未转化的原料气可以与固体反应物材料的固定床反应。这样,形成了使用两个气体转化阶段的气体转化装置:在第一阶段中,在等离子体反应器中发生气体转化,并且在第二阶段中,离开等离子体反应器的气体可以进一步与室中的固体反应物材料反应。

[0089] 室20配置成保持固体反应物材料的固定床,因此它至少包括用于支撑或容纳固体反应物材料的壁。

[0090] 如图1至图3和图7至图9所示,室20包括至少一个用于从室中排出生成气的排气窗口27。

[0091] 生成气必须被解释为气体转化装置的输出气体。生成气包含由等离子体反应器中的气体转化与在室20中发生的其他气体相互作用的组合所产生的所有气体物质。因此,生成气包含由从等离子体室排出的转化的和/或未转化的原料气与固体反应物材料2的固定床的相互作用产生的气体。生成气还包含从等离子体反应器中排出的未进一步与反应物材料的固定床反应的转化的和/或未转化的原料气。

[0092] 如图1至图3和图7至图9进一步所示,本公开的气体转化装置1还包括用于储存一堆固体反应物材料2的筒仓30。筒仓包括具有用于从筒仓排出固体反应物材料的底部开口31的底侧,连接管40将筒仓的底部开口31与室的供应通过部28连接。这样,固体反应物材料可以通过连接管从筒仓输送到室。

[0093] 通常,如图1至图3和图7至图9所示,连接管40从第一管端延伸到第二管端,并且其中,第一管端联接到筒仓的底部开口31,而第二管端联接到室的供应通过部28。

[0094] 在实施例中,连接管40的第一管端包括与室的供应通过部28的内螺纹配合的外螺纹,使得连接管能够可移除地联接到室。

[0095] 在实施例中,连接管40的第二管端焊接到筒仓30的底部开口31。在其他实施例中,第二管端包括螺纹,该螺纹配置成将连接管40可移除地联接到筒仓30的底部开口31。

[0096] 本公开的装置的特征在于筒仓30和连接管40配置成使得固体反应物材料可以通过重力或至少部分地通过重力从筒仓30流到室20。更确切地说,当气体转化装置运行且固体反应物材料在室中要被耗尽时,诱发固体反应物材料从筒仓到室的流动,使得室保持填充有固体反应物材料。固体反应物材料从筒仓到室的流动由重力或至少部分地由重力引起。

[0097] 实际上,通过限定筒仓的几何形状以及筒仓相对于室的取向,从筒仓到室的流动由重力或至少部分地由重力引起。在图1至图3和图7至图9中,示出了重力轴线G,该重力轴线表示重力的方向。

[0098] 在气体转化装置1运行期间,室20中的固体反应物材料2要被耗尽,因此需要连续供应新的固体反应物材料。通过经由连接管40将反应物材料从筒仓30连续供应到室20,气体转化装置1可以连续模式运行,而不需要停止运行以用固体反应物材料2再填充等离子体室20。

[0099] 通常,固体反应物材料选自:粉末材料、颗粒材料、块状材料、球丸材料。

[0100] 在实施例中,例如其中气体转化装置是用于CO_2转化的装置,固体反应物材料是碳,优选呈碳球丸或碳颗粒的形式。球丸的例子是活性炭球丸。

[0101] 在实施例中,固体反应物材料是生物炭。生物炭是从生物质的热解获得的并且通常是相当便宜的可再生能源。

[0102] 在实施例中,气体转化装置包括网,该网配置成避免包含在室20中的固体反应物材料进入等离子体反应器10。通常,网位于等离子体反应器10的气体出口12处。网例如由金属、石英、陶瓷或适于承受等离子体反应器的高温的任何其他材料制成。网孔设计成小于固体反应物材料的颗粒或颗粒(或球丸)的尺寸。根据反应器相对于室的取向和位置,可以不需要网或格栅。这例如是竖直倒置或水平安装的气体转化装置的情况。竖直倒置的气体转化装置必须被解释为这样的装置,其中,室位于等离子体反应器下方,使得室中的固体反应物颗粒在指向远离等离子体反应器的方向上受到重力,使得室中的颗粒不会由于重力而通过等离子体反应器的气体出口开口落下。

[0103] 气体转化装置1通常包括主气体输送管50,该主气体输送管50配置在通过室的至少一个排气窗口27排出生成气之后进一步输送生成气。

[0104] 在例如图3所示的实施例中,输送管可以轴向地联接到室20。这种联接可以例如通过螺钉或焊接制成。

[0105] 在其他实施方式中,例如如图1所示,输送管50的端部完全围绕室20,输送管的端部联接到等离子体反应器10。因此,在这些实施例中,输送管50还至少部分地形成转化装置的外部排气主体。输送管与等离子体反应器的这种联接可以例如通过螺钉或通过焊接实现。在图1所示的该实施例中,穿过输送管50形成开口,使得连接管40可穿过该开口,并在穿过室的供应通过部28之后到达室20。在图1所示的实施例中,输送管的端部连接到等离子体反应器的阳极17。

[0106] 用于形成固体反应物材料的床的室

[0107] 参考图4,示意性地示出了用于形成固体反应物材料的固定床的室20的实施例的示例的截面。

[0108] 通常,室20沿着中心轴线从第一端延伸到第二端,并且第一端包括轴向进入开口22。通常,室的中心轴线对应于等离子体反应器的中心反应器轴线Z。当组装等离子体反应器10和室20以形成气体转化装置1时,等离子体反应器的气体出口12面向室20的轴向进入开口。

[0109] 在图1至图4和图7至图9中,室20的壁被涂成黑色。优选地,室20的壁由以下材料中的任一种或其组合制成:不锈钢、铜、黄铜、石英。

[0110] 在实施例中,如例如在图1至图4上示意性示出的,室的壁是普通壁。在其他实施例中,壁可以是形成篮型室的网状壁。选择篮型室的网中的开口,使得反应物材料可以包含在室内。

[0111] 在图4所示的实施例中,室20包括在第一端和第二端之间延伸的周向壁21,并且供应通过部28对应于穿过周向壁21形成的开口。

[0112] 在图2至图4所示的实施例中,排气27穿过室的轴向端壁而形成。在其他实施例中,例如如图1所示,排气27穿过室20的周向壁21而形成。排气必须被解释为室中用于排出生成气的开口。

[0113] 在实施例中,排气包括网,该网配置成避免固体反应物材料与生成气一起从该室中逸出。

[0114] 在实施例中,如图1至图4所示,室20包括一个或更多个端口25,该端口配置成安装用于在气体转化装置运行时测量在室内的温度的热电偶。温度测量允许控制或调节等离子体反应器。

[0115] 为了将室20联接到等离子体反应器10,不同的选择是可能的。

[0116] 在实施例中,室20可以例如焊接到等离子体反应器10。

[0117] 在其他实施例中,室20可移除地联接到等离子体反应器10。例如,室20的轴向进入开口22可以包括与等离子体反应器的主体的一部分的外螺纹配合的内螺纹,使得室可以可移除地旋拧到等离子体反应器。

[0118] 在实施例中,等离子体反应器的电极部分包括与室的轴向进入开口22的内螺纹配合的外螺纹,从而允许通过将室旋拧到电极17而将室联接到等离子体反应器。

[0119] 在另外的实施例中,室20用螺钉拧紧到等离子体反应器10。

[0120] 筒仓——示例性实施例

[0121] 用于储存反应物材料的筒仓30可具有各种形状。在实施例中,筒仓的周向壁的至少一部分具有以下任何形状:圆锥体、圆柱体、立方体、平截头体、棱锥体、棱柱体或其任何组合。

[0122] 通常,筒仓30由以下材料中的任一种或其组合制成:黄铜、铜、钢、玻璃、塑料。

[0123] 筒仓30被定向成使得固体经受重力并且固体颗粒可以通过筒仓的底部开口31从筒仓中落下。例如,从底侧延伸到筒仓的上侧的中心筒仓轴线S可以与重力轴线G平行,如图5a和图5b示意性地示出的。

[0124] 为了确保固体反应物材料的流动可以通过重力从筒仓引导到室,筒仓定向成使得中心筒仓轴线S与重力轴线G之间的角度φ在0°≤φ≤45°的范围内,优选地在0°≤φ≤30°的范围内,更优选地在0°≤φ≤10°的范围内。在图1至图3和图7至图9所示的示例中,角度φ为0°,即,筒仓的中心筒仓轴线S与重力轴线G平行。

[0125] 参考图5a和图5b,示出了根据本公开的筒仓30的实施例的示例,其中,筒仓包括圆锥形底部。在这些示例中,中心筒仓轴线S与重力轴线G平行。

[0126] 根据筒仓的几何形状,可以产生固体反应物材料的不同类型的流动。在实施例中,如图5a和图5b所示,筒仓包括具有锥角α的圆锥形底部。根据锥体的陡度,筒仓内的反应物材料的流动可以不同。对于陡坡,即如图5b所示的大角度α,固体材料将在筒仓内基本上一层一层地落下,并且黑色箭头指示流动方向。另一方面,对于较不陡峭的流动,即小角度α或没有锥形部分的筒仓,在筒仓内产生所谓的漏斗流动,其中,从顶部到底部形成漏斗,并且颗粒通过漏斗从顶部到底部落下。在图5a中,箭头表示颗粒流动的方向。对于漏斗流动型筒仓,通过底部开口31从筒仓落下的颗粒是源自筒仓中不同高度水平的更多混合颗粒。锥形部分的角度α可以例如作为反应物材料的所需质量流量的函数来确定,锥形部分的角度α越大,质量流量越大。

[0127] 在另外的实施例中,筒仓30包括配置成刺激筒仓内的反应物材料的质量流的刺激装置。在实施例中,刺激装置包括旋转机构,例如在筒仓内旋转的旋转螺杆或螺旋传送器。在其他实施例中,刺激装置包括振动机构,例如振动板。在另外的实施例中,筒仓包括旋转和振动机构的组合。在另外的实施例中,刺激装置包括平移机构。在其他实施例中,刺激装置包括可移动带。在实施例中,刺激装置可以是旋转、平移或振动机构的任意组合。

[0128] 刺激装置有助于将筒仓中的颗粒带到有利的位置,以通过筒仓的底部开口在重力作用下落下。特别地,如果筒仓是部分空的,则颗粒可能在筒仓内被堵塞,并且可能需要在筒仓内移动颗粒,使得颗粒被带到筒仓的底部开口的前方并且可以通过重力落下。

[0129] 在实施例中,筒仓30包括位于筒仓的上侧的盖32,如图5a和图5b示意性地示出。通过移除盖,可以用固体反应物材料再填充筒仓。在实施例中,盖包括石英窗口,从而允许视觉监测留在筒仓中的固体反应物材料的量。

[0130] 气体转化装置——几何形状

[0131] 进一步讨论等离子体转化装置的多个示例性实施例,其中,固体反应物材料可以通过重力或至少部分地通过重力从筒仓30流到室20。

[0132] 筒仓30相对于等离子体反应器10的中心反应器轴线Z的取向可以根据实施例而变化。而且,等离子体反应器的中心反应器轴线Z相对于重力轴线G的取向可以根据实施例而变化。

[0133] 等离子体转化装置的第一几何形状是水平几何形状,其中,该装置配置成使得当运行时,中心反应器轴线Z基本上垂直于重力轴线G。该水平几何形状对应于图1、图3和图7至图9中所示的实施例的几何形状。如上所述,基本上垂直必须被解释为使得等离子体反应器的中心反应器轴线Z和重力轴线G在1°内垂直。

[0134] 对于具有这种水平几何形状的气体转化装置的实施例,中心筒仓轴线S相对于中心反应器轴线Z形成角度β,并且该角度β通常在45°≤β≤90°的范围内,优选在60°≤β≤90°的范围内,更优选在80°≤β≤90°的范围内。以此方式,当气体转化装置运行时,筒仓中的颗粒经受重力并且通过筒仓的底部开口31并进一步经由连接管40朝向室20下落。

[0135] 在图1和图3所示的实施例中,角度β为90°,因此筒仓的中心筒仓轴线S与重力轴线G平行。

[0136] 在实施例中,如图1和图3进一步所示,连接管40是平行于中心筒仓轴线S定向的直管。以这种方式,固体颗粒可以通过重力从筒仓的底侧直接经由直管落入室20中。这样,由于在连接管40中没有弯曲,所以减小了颗粒卡在连接管中并由此阻碍颗粒从筒仓流到室的风险。

[0137] 气体转化装置的第二几何形状是竖直几何形状,其中,该装置配置成使得当运行作时,等离子体反应器的中心反应器轴线Z基本上平行于重力轴线G。该竖直几何形状通过图2所示的实施例来说明。基本上平行必须被解释为中心反应器轴线Z和重力轴线G在1°内平行。

[0138] 对于具有这种竖直几何形状的气体转化装置的实施例,筒仓的中心筒仓轴线S与等离子体反应器的中心反应器轴线Z之间的角度β通常在以下范围内:0°≤β≤45°,优选地在0°≤β≤30°的范围内,更优选地在0°≤β≤10°的范围内。对于这种几何形状,筒仓中的颗粒经受重力并且通过筒仓的底部开口31朝向室20下落。角度β越小,颗粒越好地从筒仓落下。在图2所示的实施例中,β=0°,因此筒仓的中心筒仓轴线S与等离子体反应器的中心反应器轴线Z平行。

[0139] 在具有这种竖直几何形状的实施例中,连接管40包括至少一个直管部分,其中,直管部分的中心轴线相对于中心反应器轴线Z以30°和60°之间的角度定向。

[0140] 等离子体反应器——示例性实施例

[0141] 本领域中存在各种类型的等离子体反应器,例如建议用于CO_2转化的等离子体反应器,并且本公开不限于特定类型的等离子体反应器。不同类型的现有技术等离子体反应器的示例例如由Bogaerts和Centi在Front.Energy Res.,8,111(2020)中发表的“Plasma technology for CO_2 conversion:A personal perspective on prospects and gaps”中公开的。

[0142] 根据本公开的等离子体反应器也被命名为大气压等离子体反应器,因为它们通常在大气压下运行,但是原则上它们可以在几毫巴至一巴以上的压力范围内运行。在其最简单的形式中,气体放电等离子体是通过在位于气体中的两个电极之间施加电势差而产生的,所述气体又称为原料气,使得供给气体可以完全或部分电离。电势差原则上可以是:直流(DC);交流(AC),范围从50Hz(kHz以上)到MHz(射频;RF);或脉冲。此外,电能也可以以其他方式提供,例如通过线圈(感应耦合等离子体;ICP)或微波(MW)。下面更详细地进一步讨论根据本公开的不同类型的等离子体反应器的实施例。

[0143] 这些等离子体反应器也被称为温等离子体反应器,因为这些等离子体反应器配置成使得当运行时产生等离子体,其中,气体温度等于或大于1000开氏度,优选地大于1500开氏度,更优选地大于2000开氏度,优选地气体温度低于5000开氏度。如下所述,当原料气包含例如CO_2时,这些高温允许在填充有碳球丸的室中发生特定的反应,例如氧气转化为CO或通过逆向布氏反应CO_2转化为CO。

[0144] 存在可以产生这种温等离子体的不同类型的等离子体反应器。在实施例中,等离子体反应器为例如以下等离子体反应器类型的非限制性列表中的任一个:典型的滑动弧(GA)等离子体反应器、旋转滑动弧(RGA)等离子体反应器、涡流稳定的滑动弧等离子体反应器、双涡流等离子体反应器、微波(MW)等离子体反应器、电感耦合等离子体(ICP)反应器、电容耦合等离子体(CCP)反应器或大气压辉光放电等离子体反应器(APGD)。

[0145] 将更详细地讨论适用于根据本公开的气体转化的用于气体转化的多种不同类型的等离子体反应器,其中,使用包括反应物材料的固体床的室。

[0146] 滑动电弧等离子体反应器

[0147] 第一种类型的等离子体反应器是滑动弧(GA)等离子体反应器。GA放电是瞬时型电弧放电。可以在二维(2D)GA和三维(3D)GA等离子体反应器之间进行区分。2D GA也被称为典型的滑动弧等离子体反应器。

[0148] 这些GA等离子体反应器的共同之处在于,它们包括第一电极、与第一电极电绝缘的第二电极以及配置成维持第一电极和第二电极之间的高电压的电源。高压通常在kV范围内。

[0149] 在典型的2D GA等离子体反应器中,如图7所示,在两个平的发散电极16,17之间形成放电电弧61。电弧在最短的电极间距处开始,并且在沿着电极流动的气体喷射的影响下,电弧61朝向更大的电极间距“滑动”,直到它熄灭并且在最短的电极间距处产生新的电弧。如图7所示,图7中以黑色着色的等离子体室20包括固体反应物材料2的固定床并联接到2D GA等离子体反应器10。箭头表示通过反应器的气体流动:原料气轴向地通过等离子体反应器10的气体入口11进入,并且气体轴向地通过出口开口12离开等离子体反应器,其中,它被接收在室20中。在GA等离子体反应器运行期间,筒仓30提供反应物材料的连续供应。生成气最终通过室20中的排气窗口27离开室20。

[0150] 3D GA放电等离子体反应器的示例是3D滑动弧等离子管(GAP)和旋转滑动弧(RGA)反应器。一种类型的3D等离子体反应器也称为涡流稳定等离子体反应器。可以在正向涡流(FVF)等离子体反应器和反向涡流(RVF)等离子体反应器之间进行区分。

[0151] 参考图1至图3,示出了气体转化装置,其中,等离子体反应器是3D滑动弧等离子管,更准确地说是反向涡流等离子管。3D GAP 10包括作为阴极的第一电极16和作为阳极的第二电极17。这两个电极例如由不锈钢制成,并且第一电极和第二电极分别连接到DC电流源型电源和地。电极由绝缘体19(例如聚四氟乙烯)绝缘。

[0152] 对于GAP反应器10,原料气,例如CO_2,作为相对于中心反应器轴线Z的漩涡气流引入,这导致电弧开始滑动。GAP 10的气体出口12是穿过第二阳极电极17的中心开口。

[0153] 在反向涡流等离子管中,气体首先在远离气体出口12的方向上在外涡流中流动,随后气体将在朝向气体出口12的方向上在具有较小直径的反向内涡流中回流。因此,当等离子管10形成电弧时,由于反向涡流,电弧被推离反应器,通过阳极开口,直接朝向碳床。

[0154] 3D GA等离子体反应器的另一个示例是本领域已知的所谓的双涡流等离子管DVP。在该实施例中,第一电极和第二电极是等离子体反应器的由电绝缘体电隔离的壁部分,并且其中,电弧在两个方向上是细长的。双涡流等离子管10包括位于相对侧上的第一气体出口和第二气体出口,并且填充有反应物材料的第一室和第二室可以分别联接到第一气体出口和第二气体出口。

[0155] 微波等离子体反应器

[0156] 第二种类型的等离子体反应器是微波(MW)等离子体反应器,其中,通过向气体施加微波(即频率在300MHz和10GHz之间的电磁辐射)而不使用电极来产生等离子体。存在不同类型的MW等离子体,例如腔感应等离子体、自由膨胀大气等离子体炬、电子回旋共振等离子体和表面波放电。

[0157] 图8中示出了包括MW等离子体反应器10和具有碳床2的室20的气体转化装置1的实施例的示例。等离子体反应器10通常包括具有气体入口11的石英管18,例如图8所示的轴向气体入口。石英管18对于MW辐射是透明的并且与矩形波导70相交。传送到微波等离子体反应器10的微波功率启动石英管内的等离子体60。包括具有反应物材料2的碳床的室20与MW等离子体反应器10联接,转化的和未转化的原料气通过石英管的气体出口12离开MW等离子体反应器并进入室20。在MW等离子体反应器运行期间,筒仓30提供反应物材料的连续供应。

[0158] 大气压辉光放电反应器

[0159] 第三种类型的等离子体反应器是所谓的大气压辉光放电(APGD)反应器。图9示意性地示出了包括基本APGD反应器的气体转化装置1。APGD反应器包括沿中心反应器轴线Z延伸的销型阴极16和形成阳极17的具有孔的轴向板。APGD通常包括石英管18,其中,原料气经由气体入口轴向进入。转化的和未转化的气体经由气体出口12流出石英管18并进入包括具有固体反应物材料2的床的室20。在APGD等离子体反应器运行期间,筒仓30提供反应物材料2的连续供应。

[0160] 气体转化方法

[0161] 根据本发明的另一方面,提供了一种气体转化方法。在实施例中,所述方法是用于将CO_2转化成CO的方法,因此,其中,原料气包含CO_2,并且其中,生成气包含CO。

[0162] 根据本公开的气体转化方法包括以下步骤:

[0163] ■提供用于产生等离子体的等离子体反应器10,其中,等离子体反应器包括:一个或更多个气体入口11,该气体入口配置成将原料气引入所述等离子体反应器10;和气体出口12,该气体出口用于从等离子体反应器10排出转化的和未转化的原料气的气流;

[0164] ■提供能用固体反应物材料(2)填充的室20;

[0165] ■将室20联接到等离子体反应器,使得通过等离子体反应器10的气体出口12排出的转化的和未转化的原料气的气流能通过室的进入开口接收在室中;

[0166] ■将一堆固体反应物材料储存在筒仓30中;

[0167] ■使用连接管40将筒仓的底部开口31与室20中的用于供应反应物材料的供应通过部28连接;

[0168] ■相对于室20定位筒仓30和连接管40,使得固体反应物材料能通过重力或至少部分地通过重力从筒仓30流动通过连接管40到达室20;

[0169] ■用固体反应物材料填充室30以在室内形成固体反应物材料的固定床;

[0170] ■将原料气引入等离子体反应器10;

[0171] ■使等离子体反应器运行以形成等离子体并产生由室20接收的转化的和未转化的原料气的气流,使得转化的和/或未转化的原料气能够与反应物材料的固定床相互作用;

[0172] ■在等离子体反应器运行期间,维持筒仓30通过连接管40与室连接,使得如果室中的固体反应物材料要被耗尽,则引起固体反应物材料从筒仓到室的流动以维持室30填充有反应物材料,并且其中,反应物材料从筒仓到室的流动是由重力或至少部分地由重力引起的;

[0173] ■从室中排出生成气。

[0174] 在用于将CO_2转化成CO的实施例中,原料气至少包含CO_2并且固体反应物材料是碳,优选地,如上所述,呈碳球丸或碳颗粒的形式。

[0175] 在用于将CO_2转化成CO的实施例中,当等离子体反应器运行时,由室接收的转化的原料气除了CO分子之外还包含O原子和/或O_2分子,并且其中,当被接收在室中时,O原子和/或O_2分子通过以下反应与碳床的固体碳$C_{(s)}$反应:

[0176] $O+C_{(s)} \rightarrow CO$

[0177] $O_2+2C_{(s)} \rightarrow 2CO$

[0178] 这样,通过在等离子体反应器运行期间提供从筒仓向室的碳反应物材料流,O和/或O_2被连续地转化成CO,使得从室排出的最终生成气基本上不含氧,并且最终生成气基本上是纯CO。这避免了随后处理生成气和例如从CO中除去氧的大的分离成本。

[0179] 在排出的生成气中观察到的氧气浓度作为时间的函数绘制在图6中。实线A用根据本公开的气体转化装置获得,即该装置包括填充有固定碳床的室,虚线B在不使用包含碳床的室的情况下获得。当不使用具有固定碳床的室时,在激发等离子体后,立即观察到氧气浓度的强烈增加,并达到高达3.5%的浓度水平,如图6中的曲线B所示。相反,当使用根据本公开的装置时(该装置包括具有固定碳床的室),在激发等离子体之后,仅观察到氧水平的小的瞬时升高,直到达到最大值,随后由于氧水平与固体碳的反应而氧水平降低。如图6中的曲线A所示,使用根据本公开的装置和方法,产品中的氧气浓度水平保持低于0.5%。因此,当与没有具有碳床的室的现有技术的标准等离子体反应器相比时,这是强烈的降低,在现有技术的标准等离子体反应器中,在该示例中,氧气浓度达到高达约3.5%的水平。

[0180] 在用于将CO_2转化为CO的实施例中，当等离子体反应器运行且未转化的CO_2气体被接收在室中时，CO_2气体通过逆向布氏反应与碳床反应：

[0181] $CO_2+C_{(s)}\rightarrow 2CO$

[0182] 实际上，当等离子体反应器10运行时，等离子体将通过等离子体反应器的气体出口与碳床接触，因此碳床受益于等离子体的高温，取决于等离子体反应器的类型，该高温可高达3000开氏度。这些高温促进逆向布氏反应的发生，该逆向布氏反应需要至少700开氏度的温度。

[0183] 通常，等离子体反应器还产生等离子体余辉，该等离子体余辉主要沿等离子体室的中心反应器轴线延伸，并进一步有助于为发生逆向布氏反应提供最佳温度条件。

[0184] 观察到碳反应物材料中的杂质可能对气体转化率具有有害影响。例如，由杂质产生的氢分子可导致水分子的形成。

[0185] 因此，在实施例中，气体转化方法包括预处理碳的另一步骤，即在将碳储存在筒仓中之前，以便从碳中除去含氢和/或含氧官能团。

[0186] 在实施例中，碳的预处理包括将碳置于充满惰性气体的炉中。

[0187] 图10示意性地示出了本公开的第四实施例，其类似于第三实施例。其与第三实施例的不同之处在于，明确地提供了用于排出耗尽的反应物材料2的端口23。端口23布置在室20的下或最下(例如底)部或区域。可选地，它可以包括可以逐渐地或在打开和关闭位置之间打开的封闭构件或闸门。此外，它包括氧气传感器3，用于测量固体反应物材料下游(优选地，在主气体输送管50中)的生成气的氧气浓度。传感器必须定位成离室20足够远，使得气体温度已经冷却并被包含在装置运行期间可接受的温度范围内。氧气传感器3产生氧气水平测量值。控制器至少使用这些测量值来控制反应物材料2从筒仓30到室20的流动以及通过用于排出的端口23从室20去除耗尽的反应物材料2，优选地通过控制以下中的一个、一部分或全部来进行：刺激装置33、混合装置241、端口23、推进装置242。

[0188] 图11是提供说明相对于第三实施例添加到第四实施例的特征的优点的数据的图。该图示出了生成气中的氧气浓度(Y轴)随时间(X轴)的典型演变。它表明，在氧气浓度相对稳定和恒定的一定时间段之后，浓度开始快速增加(虚线包围的区域)。这是由于室20中的反应物材料2的耗尽和/或活性位点的饱和。当氧气浓度太高时，气体转化装置1的功能受到损害。使用与控制器通信的氧气传感器3允许用来自筒仓30的新的反应物材料替换耗尽的反应物材料，所述控制器又控制所述刺激装置33和/或混合装置241和/或端口23和/或推进装置242。结果，可以控制反应物材料下游的生成气中的氧气浓度。

[0189] 图12和图13示意性地示出了本公开的实施例的优选特征。

[0190] 图12示意性地示出了其中室20包括混合装置或混合设备241的实施例，混合装置或混合设备241布置成并适于混合室20中的反应物材料2例如碳颗粒。这些可以应用于所有优选实施例。混合设备包括布置在室20中的至少一个或多个振动或旋转销241。

[0191] 替代地或与之组合地，混合设备241包括布置在室中的螺杆或螺旋式螺杆输送机241，242，该螺杆或螺旋式螺杆输送机优选地具有平行于室的轴线的纵向轴线。这种螺旋或螺旋式螺杆输送机通常具有如图15中关于推进器装置242所述的推进器功能。

[0192] 图13示出了室以可旋转的方式安装，优选地沿着与室的纵向轴线相对应的轴线安装。通过旋转该室，可以混合反应物。

[0193] 图14示出了可应用于所有优选实施例的筒仓30的优选实施例,筒仓包括刺激设备33,刺激设备包括布置在筒仓30内的一个或更多个振动或旋转销。一个或更多个振动或旋转销33可以由现有技术的驱动机构致动,例如机械地或电子地或电磁地。

[0194] 图15示意性地示出了可以应用于所有优选实施例的本公开的优选实施例的部件。已经提供了用于朝向用于排出耗尽的反应物材料2的端口23推进耗尽的反应物材料2的装置或设备242。用于推进的装置242包括布置在室20中的螺杆或螺旋式螺杆传送器。在一些实施例中,用于推进的装置242可以对应于用于混合的装置241。优选地,用于推进的装置242和用于混合的装置241的功能由控制器控制。优选地,控制器至少基于由布置在主气体输送管50中在反应物材料2下游的氧气传感器3提供的氧气浓度(氧气测量值)来控制用于混合的装置241和/或用于推进的装置242。

[0195] 总之,根据本公开,例如可以要求保护以下各项目:

[0196] 1.一种气体转化装置,该装置包括:a)等离子体反应器,该等离子体反应器用于产生等离子体,所述等离子体反应器包括:一个或更多个气体入口,所述气体入口配置成将原料气引入所述等离子体反应器;和气体出口,所述气体出口用于从所述等离子体反应器排出转化的和未转化的原料气的气流,其特征在于,所述装置还包括:b)室,所述室联接到所述等离子体反应器,其中,所述室配置成保持固体反应物材料的固定床并且接收通过所述等离子体反应器的气体出口排出的转化的和未转化的原料气的气流,并且其中,所述室还包括:供应通过部,所述供应通过部用于用固体反应物材料填充所述室,以便形成固体反应物材料的固定床;和至少一个排气窗口,所述排气窗口用于从所述室排出生成气;c)筒仓,所述筒仓用于储存一堆固体反应物材料,并且其中,所述筒仓包括具有底部开口的底侧,所述底部开口用于从所述筒仓排出固体反应物材料;以及d)连接管,所述连接管将所述筒仓的底部开口与所述室的供应通过部连接,并且其中,所述筒仓和所述连接管配置成使得当所述装置运行并且所述室中的固体反应物材料要被耗尽时,引起固体反应物材料从所述筒仓到所述室的流动,以便维持所述室填充有固体反应物材料,并且其中,固体反应物材料从所述筒仓到所述室的所述流动是由重力或至少部分地由重力引起的。

[0197] 2.根据项目1所述的装置,其中,所述等离子体反应器包括穿过所述等离子体反应器的所述至少一个气体出口的中心反应器轴线Z,并且其中,所述室沿着所述中心反应器轴线从第一端延伸到第二端。

[0198] 3.根据项目2所述的装置,其中,所述室的所述第一端包括轴向进入开口,并且其中,所述等离子体反应器的气体出口面向所述室的轴向进入开口。

[0199] 4.根据项目2或3所述的装置,其中,所述室包括在所述第一端和所述第二端之间延伸的至少一个周向壁,并且其中,所述供应通过部是通过所述周向壁形成的,优选地,所述周向壁由以下材料中的任一种或其组合制成:不锈钢、铜、黄铜、石英。

[0200] 5.根据项目4所述的装置,其中,所述至少一个排气是穿过所述室的周向壁进行的,或替代地,其中,所述至少一个排气是穿过所述室的端部处的轴向端壁形成的。

[0201] 6.根据项目2至5中任一项所述的装置,其中,所述筒仓沿着中心筒仓轴线S从所述底侧延伸到所述筒仓的上侧,并且其中,所述中心筒仓轴线S基本上垂直于所述中心反应器轴线Z。

[0202] 7.根据项目6所述的装置,其中,所述连接管是平行于所述中心筒仓轴线S定向的

直管。

[0203] 8.根据项目2至5中任一项所述的装置,其中,所述筒仓沿着中心筒仓轴线S从所述底侧延伸到所述筒仓的上侧,并且其中,所述中心筒仓轴线S基本上平行于所述等离子体反应器的中心反应器轴线Z。

[0204] 9.根据项目8所述的装置,其中,所述连接管包括至少一个直管部分,其中,所述直管部分的中心轴线相对于所述中心反应器轴线Z以30°至60°之间的角度取向。

[0205] 10.根据项目1至5中任一项所述的装置,其中,所述筒仓沿着中心筒仓轴线S从所述底侧延伸到所述筒仓的上侧,并且其中,所述筒仓定向成使得所述中心筒仓轴线S与重力轴线(G)之间的角度φ在0°≤φ≤45°的范围内,优选地在0°≤φ≤30°的范围内,更优选地在0°≤φ≤10°的范围内。

[0206] 11.根据项目2至5中任一项所述的装置,其中,所述装置配置成使得当运行时,所述中心反应器轴线Z基本上垂直于重力轴线G,并且其中,所述筒仓沿着中心筒仓轴线S从所述底侧延伸到所述筒仓的上侧,并且其中,所述中心筒仓轴线S与所述中心反应器轴线Z之间的角度β在45°≤β≤90°的范围内,优选地在60°≤β≤90°的范围内,更优选在80°≤β≤90°的范围内。

[0207] 12.根据项目2至5中任一项所述的装置,其中,所述装置配置成使得当运行时,所述中心反应器轴线Z基本上平行于重力轴线G,并且其中,所述筒仓沿着中心筒仓轴线S从所述底侧延伸到所述筒仓的上侧,并且其中,所述中心筒仓轴线S与所述中心反应器轴线Z之间的角度β在0°≤β≤45°的范围内,优选地在0°≤β≤30°的范围内,更优选在0°≤β≤10°的范围内。

[0208] 13.根据前述项目中任一项所述的装置,其中,所述室包含一个或更多个端口,所述端口配置成安装用于测量所述室内的温度的热电偶。

[0209] 14.根据前述项目中任一项所述的装置,所述装置包括主气体输送管,所述主气体输送管用于进一步输送从所述室排出的所述生成气。

[0210] 15.根据前述项目中任一项所述的装置,所述装置包括网,所述网配置成避免固体反应物材料进入所述等离子体反应器。

[0211] 16.根据前述项目中任一项所述的装置,其中,所述筒仓的周向壁的一部分具有以下任一种形状:圆锥体、圆柱体、立方体、平截头体、棱锥体、棱柱体或其任何组合。

[0212] 17.根据前述项目中任一项所述的装置,其中,所述连接管从第一管端延伸到第二管端,并且其中,所述第一管端联接到所述筒仓的底部开口且所述第二管端联接到所述室的供应通过部。

[0213] 18.根据前述项目中任一项所述的装置,其中,所述筒仓包括刺激装置,所述刺激装置配置成刺激所述筒仓内的固体反应物材料的质量流动,优选地,所述刺激装置是以下中的任一个其组合:旋转机构、平移机构或振动机构。

[0214] 19.根据项目18所述的装置,其中,所述刺激装置包括布置在筒仓内的一个或更多个振动或旋转销。

[0215] 20.根据前述项目中任一项所述的装置,其中,所述筒仓由以下材料中的任一种或其组合制成:黄铜、铜、钢、玻璃、塑料。

[0216] 21.根据前述项目中任一项所述的装置,其中,所述等离子体反应器包括至少第一

电极和与所述第一电极电绝缘的第二电极,并且其中,穿过所述第二电极形成的壁开口形成所述等离子体室的气体出口,优选地,所述第一电极是高压阴极,并且所述第二电极是接地阳极。

[0217] 22.根据前述项目中任一项所述的装置,所述装置还包括用于排出耗尽的反应物材料的端口,所述耗尽的反应物材料例如为耗尽的碳颗粒,所述端口优选地位于所述室的下部或底部,并且优选地,所述装置包括用于所述端口的封闭装置或构件。

[0218] 23.根据前述项目中任一项所述的装置,所述装置还包括:

[0219] 氧气传感器,所述氧气传感器布置在所述主气体输送管中,用于测量氧气浓度;以及

[0220] 控制器,所述控制器用于控制所述固体反应物材料从所述筒仓到所述室的所述流动并用于控制耗尽的反应物材料从所述室的移除,所述控制器优选地适于至少基于所述主气体输送管中的氧气浓度来控制固体反应物材料从所述筒仓到所述室的所述流动和所述耗尽的反应物材料从所述室的移除。

[0221] 24.根据项目23所述的装置,其中,所述控制器适于在所述氧气浓度超过预定阈值时触发固体反应物材料从所述筒仓到所述室的流动和耗尽的反应物材料从所述室的移除。

[0222] 25.根据项目23所述的装置,其中,所述控制器适于触发固体反应物材料从所述筒仓到所述室的流动和耗尽的反应物材料从所述室的移除,以便将所述氧气浓度保持在预定范围内或低于预定阈值。

[0223] 26.根据前述项目中任一项所述的装置,其中,所述室配置成允许进行混合所述室中的反应物材料的过程。

[0224] 27.根据项目26所述的装置,其中,所述室包括混合装置或混合设备,所述混合装置或混合设备布置成并适于混合所述室中的反应物材料,所述反应物材料诸如为碳颗粒。

[0225] 28.根据项目27所述的装置,其中,所述混合设备包括布置在所述室中的至少一个或多个振动或旋转销。

[0226] 29.根据项目27所述的装置,其中,所述混合设备包括布置在所述室中的螺杆或螺旋式螺杆传送器,所述螺杆或螺旋式螺杆传送器优选地具有平行于所述室的轴线的纵向轴线。

[0227] 30.根据项目27所述的装置,其中,所述室以可旋转的方式安装,优选地沿着与所述室的纵向轴线相对应的轴线安装。

[0228] 31.根据项目26至30中任一项所述的装置,其中,混合过程是连续的。

[0229] 32.根据项目26至30中任一项所述的装置,其中,混合过程是根据预定的混合时间表或由测量值控制的混合时间表进行的。

[0230] 33.根据前述项目22至32中任一项所述的装置,所述装置还包括用于朝向用于排出所述室中的耗尽的反应物材料的所述端口推进所述反应物材料的装置或设备。

[0231] 34.根据项目33所述的装置,其中,用于推进的所述装置包括布置在所述室中的螺杆或螺旋式螺杆传送器。

[0232] 35.一种气体转化方法,该方法包括:

[0233] 提供用于产生等离子体的等离子体反应器,其中,所述等离子体反应器包括:一个或更多个气体入口,所述气体入口配置成将原料气引入所述等离子体反应器;和气体出口,

所述气体出口用于从所述等离子体反应器排出转化的和未转化的原料气的气流;

[0234] 提供能用固体反应物材料填充的室;

[0235] 将所述室联接到所述等离子体反应器,使得通过所述等离子体反应器的气体出口排出的转化和未转化的原料气的气流能通过所述室的进入开口被接收在所述室中;

[0236] 将一堆固定反应物材料储存在筒仓中;

[0237] 使用连接管将所述筒仓的底部开口与所述室中的用于供应反应物材料的供应通过部连接;

[0238] 相对于所述室定位所述筒仓和所述连接管,使得所述固体反应物材料能通过重力或至少部分地通过重力从所述筒仓流动通过所述连接管到达所述室;

[0239] 用固体反应物材料填充所述室以在所述室内形成固体反应物材料的固定床;

[0240] 将原料气引入所述等离子体反应器;

[0241] 使所述等离子体反应器运行以形成等离子体并产生由所述室接收的转化的和未转化的原料气的气流,使得转化的和/或未转化的原料气能够与固体反应物材料的固定床相互作用;

[0242] 在所述等离子体反应器运行期间,维持所述筒仓通过所述连接管与所述室连接,使得如果所述室中的固体反应物材料要被耗尽,则引起固体反应物材料从所述筒仓到所述室的流动以维持所述室填充有固体反应物材料,并且其中,反应物材料从所述筒仓到所述室的所述流动是由重力或至少部分地由重力引起的;

[0243] 从所述室排出生成气。

[0244] 36.根据项目35所述的方法,其中,反应物材料是碳,并且其中,所述方法还包括:在将碳储存在所述筒仓中之前,预处理碳以从碳中除去含氢和/或含氧官能团,优选地,所述预处理包括将碳置于填充有惰性气体的炉中。

[0245] 37.根据项目1至34中任一项所述的装置或根据项目35或36所述的方法,其中固体反应物材料选自:粉末材料、颗粒材料、块状材料、球丸材料。

[0246] 38.根据项目1至34中任一项所述的装置或根据项目35或36所述的方法,其中,固体反应物材料是碳,优选呈碳球丸或碳颗粒的形式,并且其中,原料气至少包含CO_2,并且其中,从所述室中排出的生成气至少包含CO。

[0247] 39.根据项目1至34中任一项所述的装置或根据项目35至38中任一项所述的方法,其中,所述等离子体反应器是以下中的任一个:典型的滑动弧等离子体反应器、旋转滑动弧等离子体反应器、涡流稳定的滑动弧等离子体反应器、双涡流等离子体反应器、微波等离子体反应器、电感耦合等离子体(ICP)反应器、电容耦合等离子体(CCP)反应器或大气压辉光放电等离子体反应器。

[0248] 40.根据项目1至34中任一项所述的装置或根据项目35至38中任一项所述的方法,其中,所述等离子体反应器是温等离子体反应器,所述温等离子体反应器配置成使得在运行时产生等离子体,其中,气体温度等于或大于1000开氏度,优选地大于1500开氏度,更优选地大于2000开氏度,优选地,气体温度低于5000开氏度。

[0249] 附图标记

[0250]

1	气体转化装置
2	固体反应物材料
3	氧气传感器
10	等离子体反应器
11	等离子体反应器的气体入口
12	等离子体反应器的气体出口
16	第一电极
17	第二电极
18	石英管
19	绝缘体
20	室
21	室的周向壁
22	室的轴向进入开口
23	用于排出反应物颗粒的端口
241	混合设备或装置
242	推进设备或装置
25	用于安装热电偶的端口
27	排气窗口
28	供应通过部

[0251]

29	网
30	筒仓
31	筒仓的底部开口
32	筒仓的盖
33	振动或旋转销
40	连接管
50	主气体输送管
60	等离子体
61	电弧
70	波导
S	中心筒仓轴线
Z	中心反应器轴线

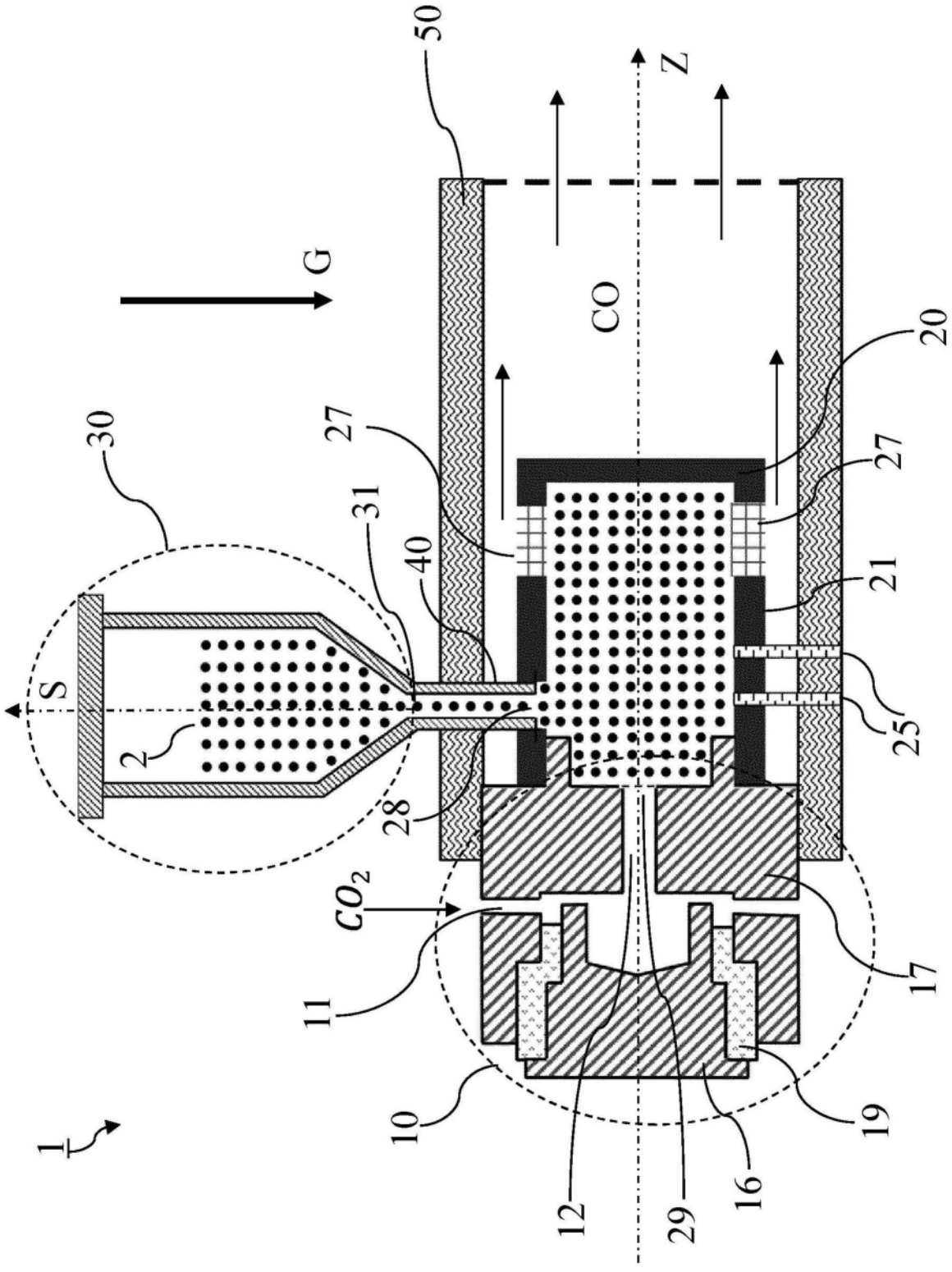


图1

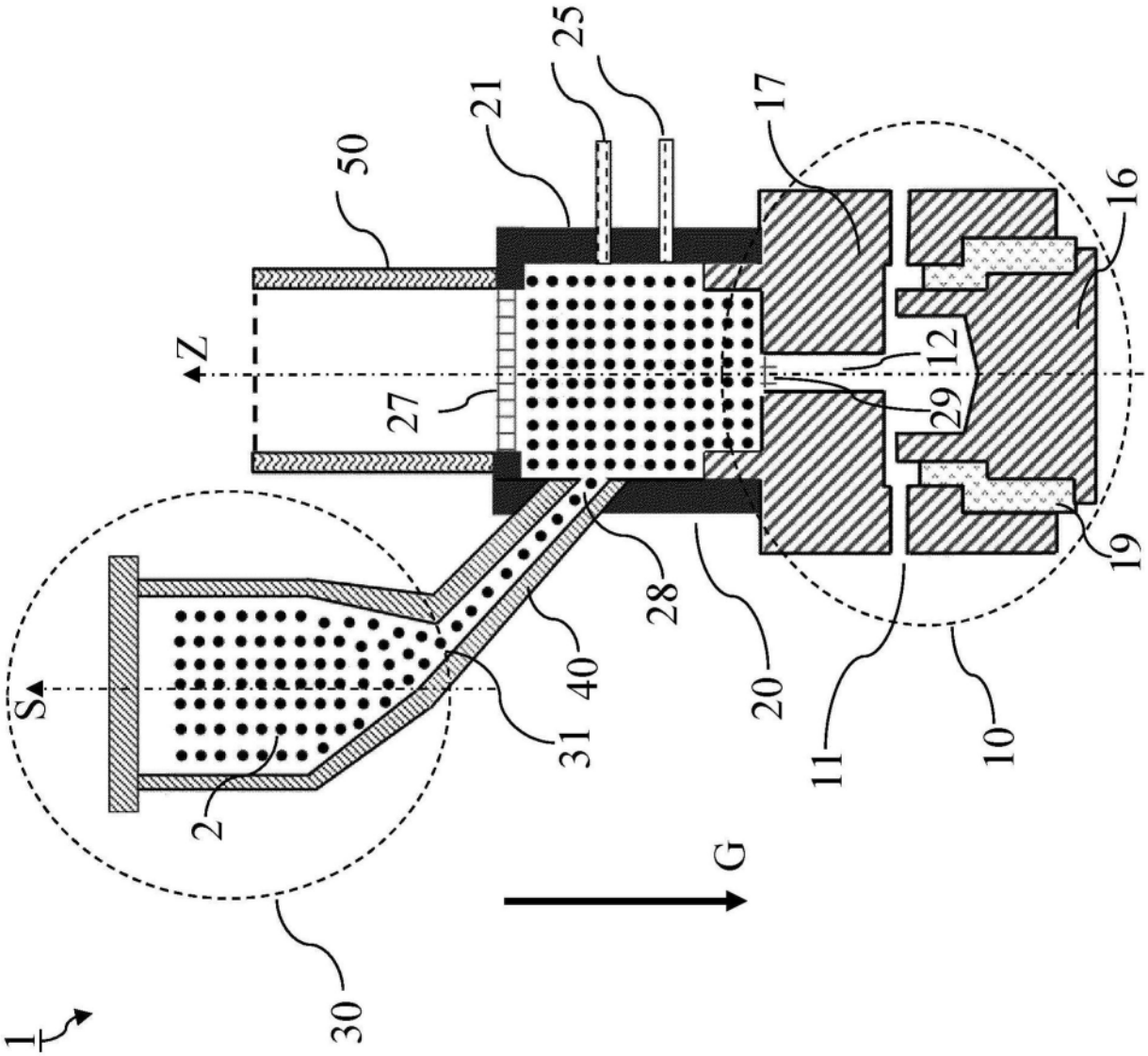


图2

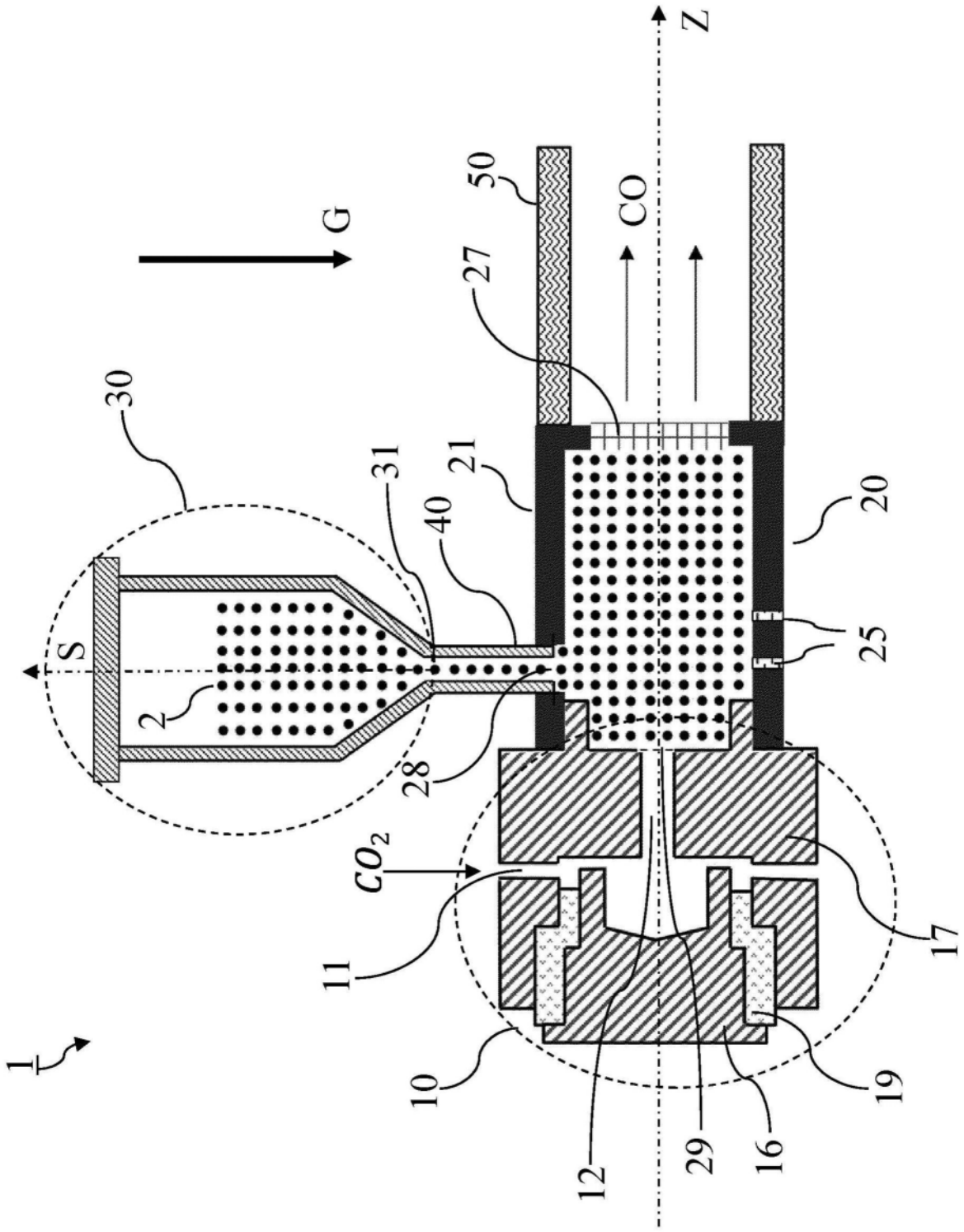


图3

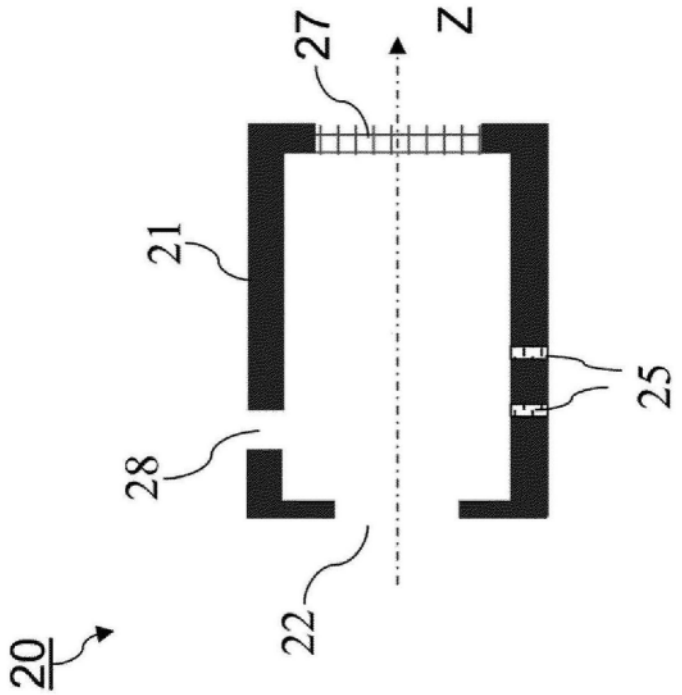


图4

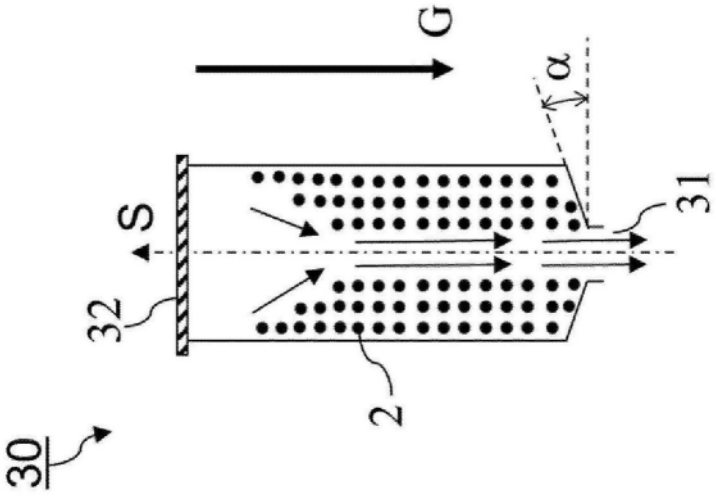


图5A

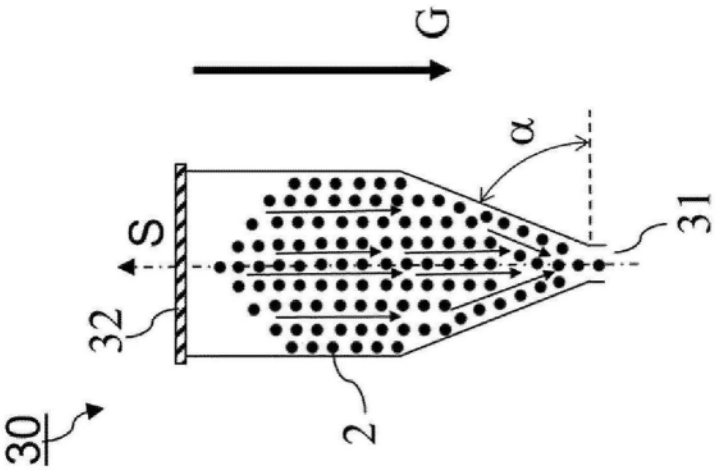


图5B

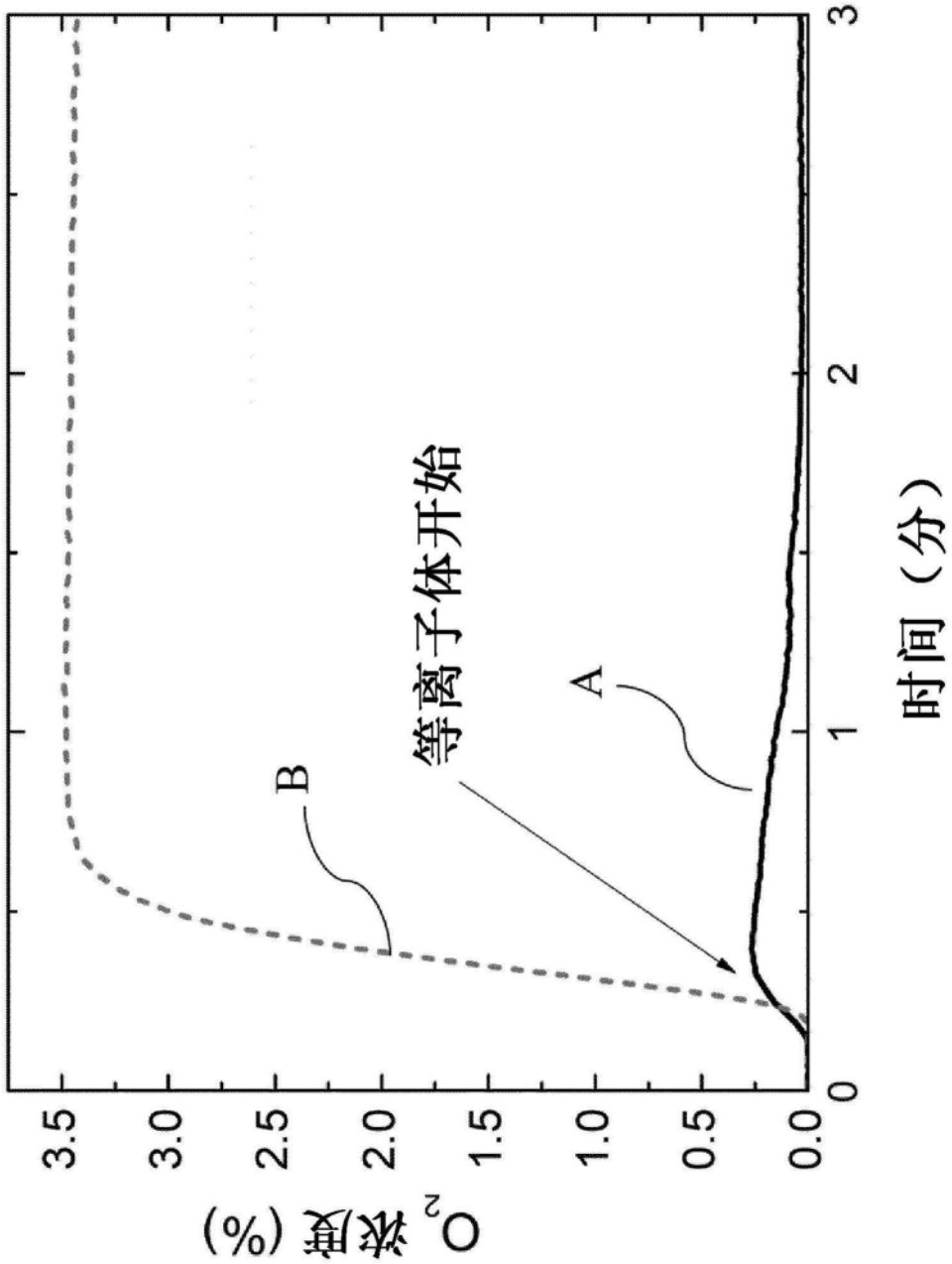


图6

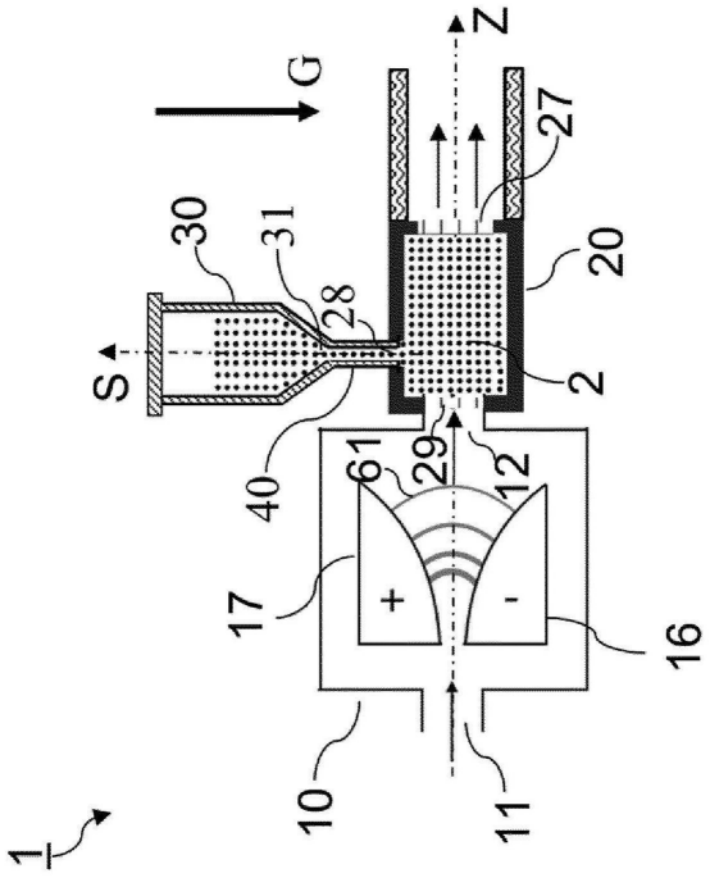


图7

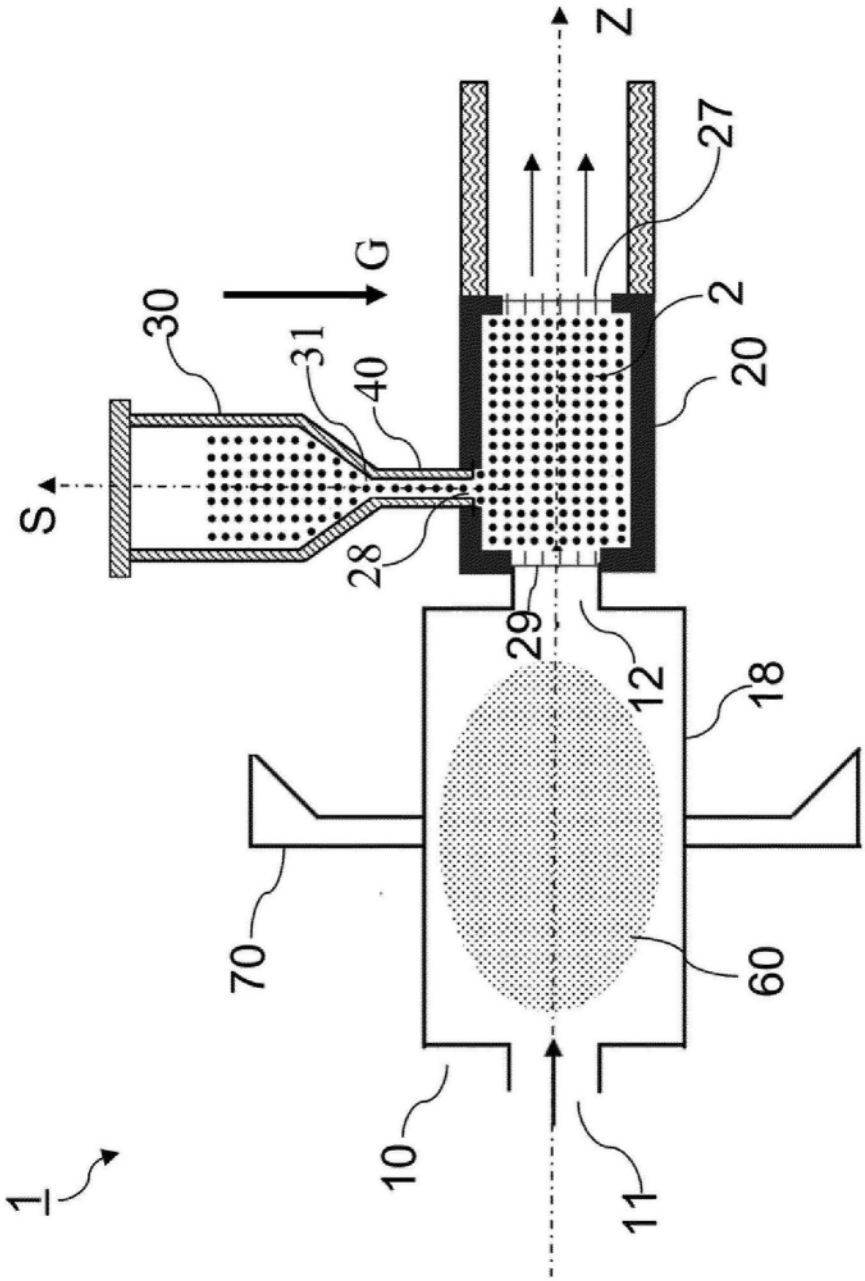


图8

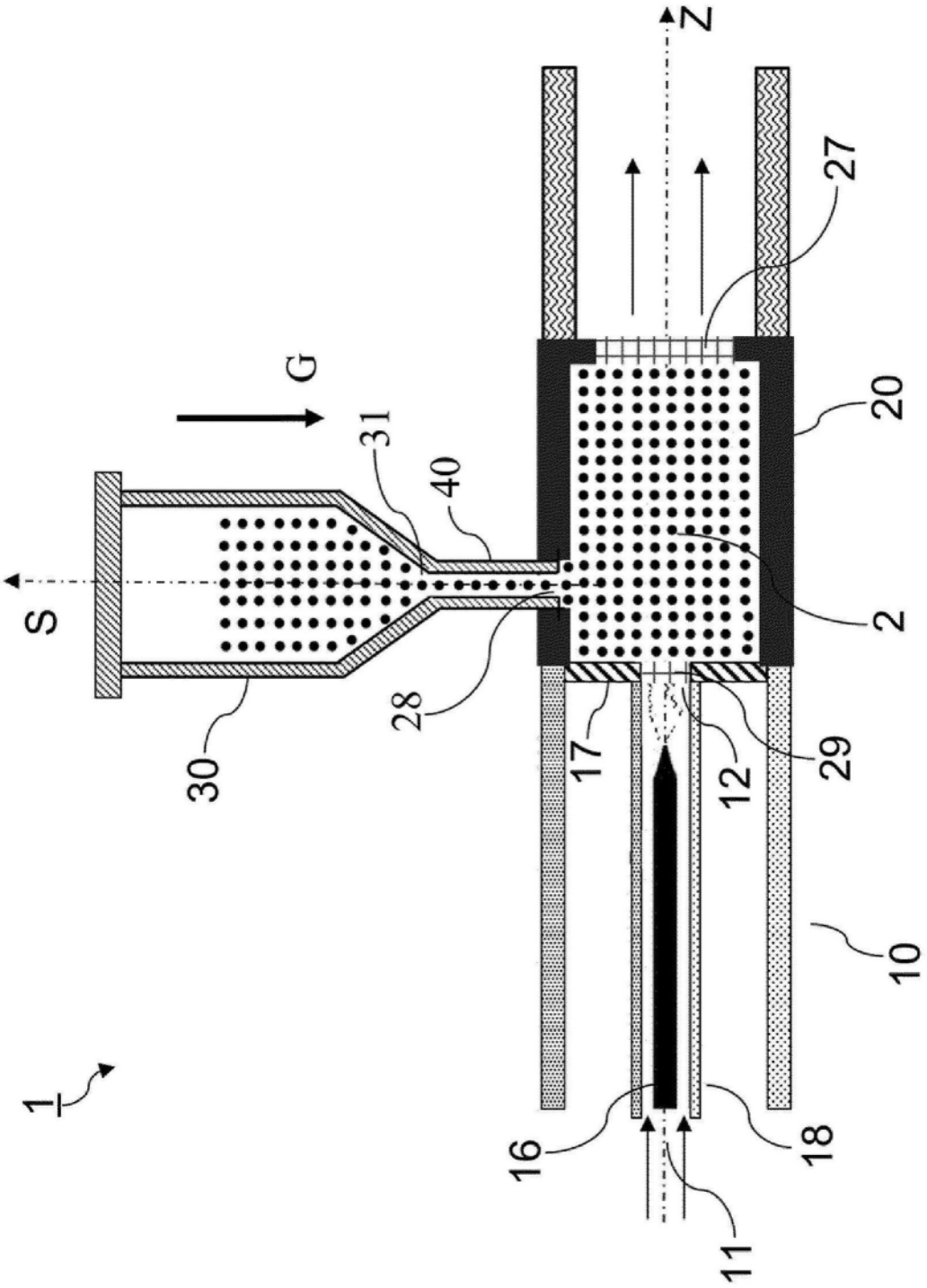


图9

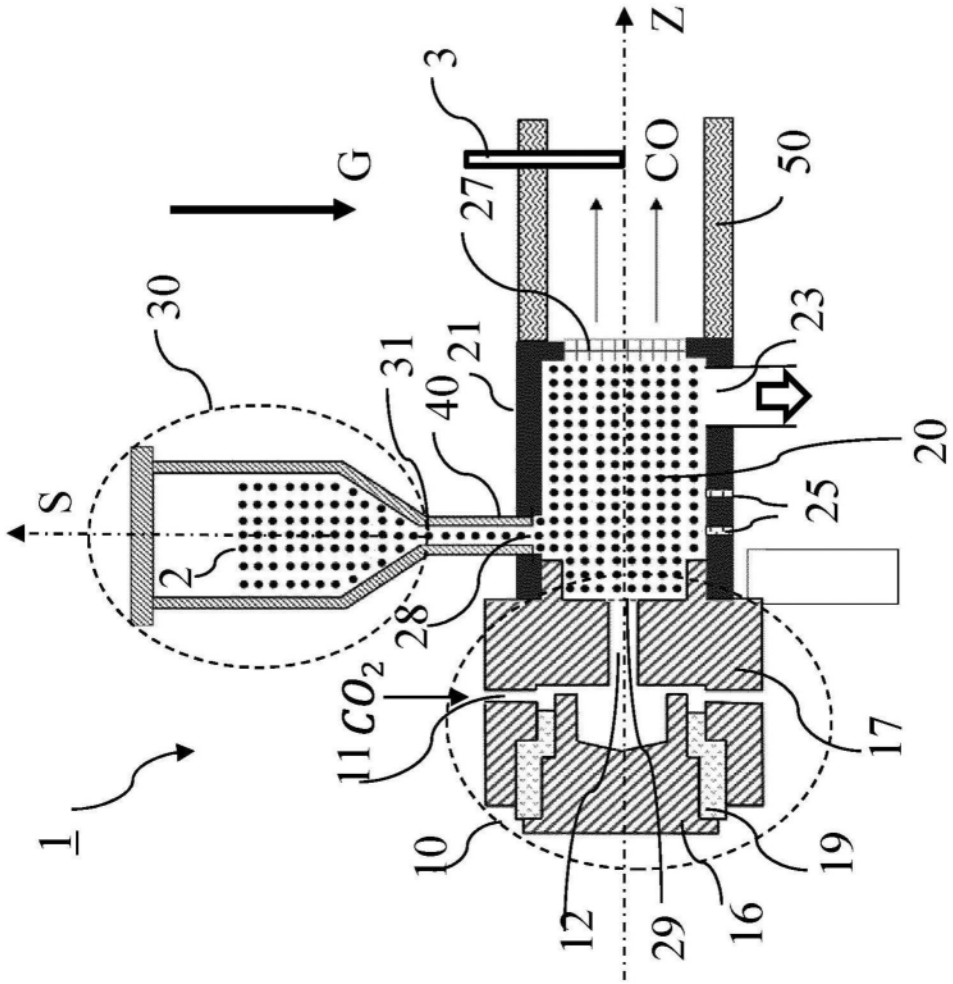

Z
3
G
CO
50
27
30
23
31
21
40
20
S
25
2
28
CO_2
11
17
1
10
19
12
29
16

图10

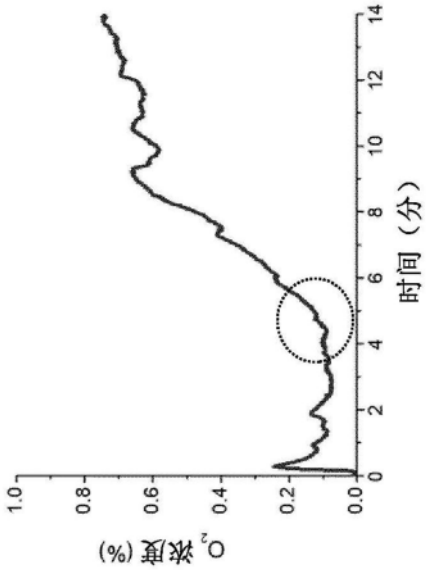

O_2 浓度 (%)
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
0
2
4
6
8
10
12
14
时间（分）

图11

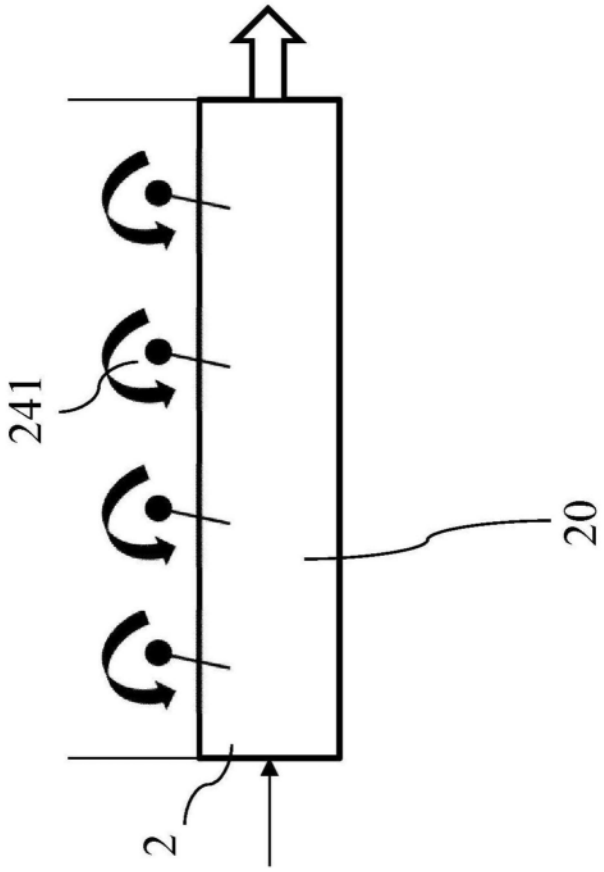


图12

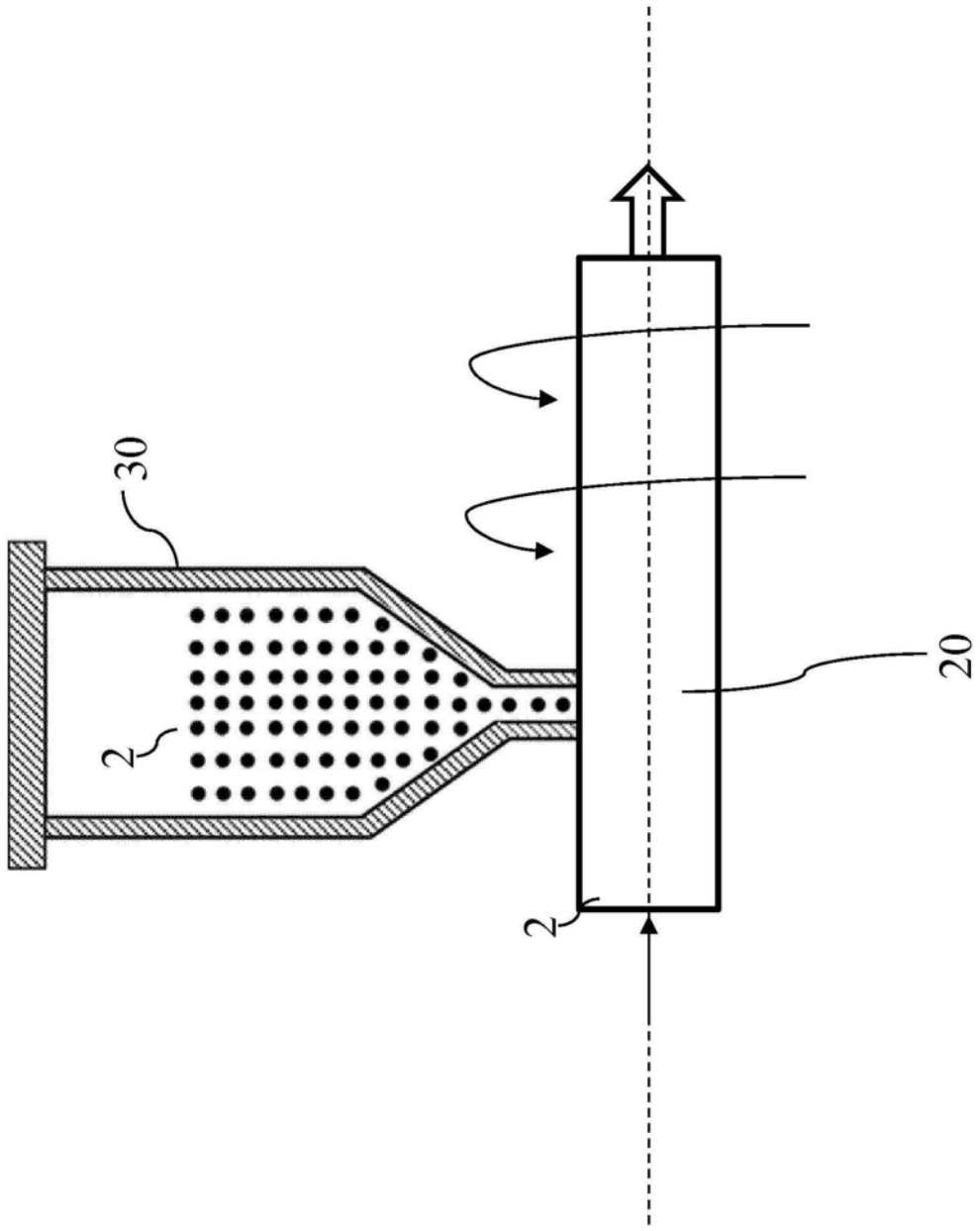


图13

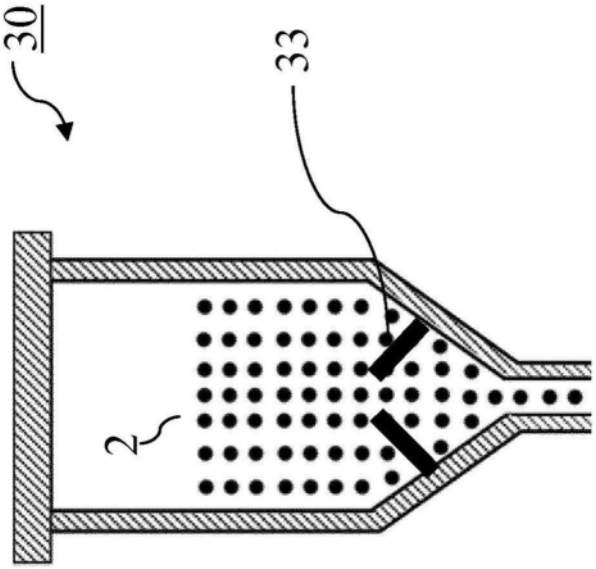


图14

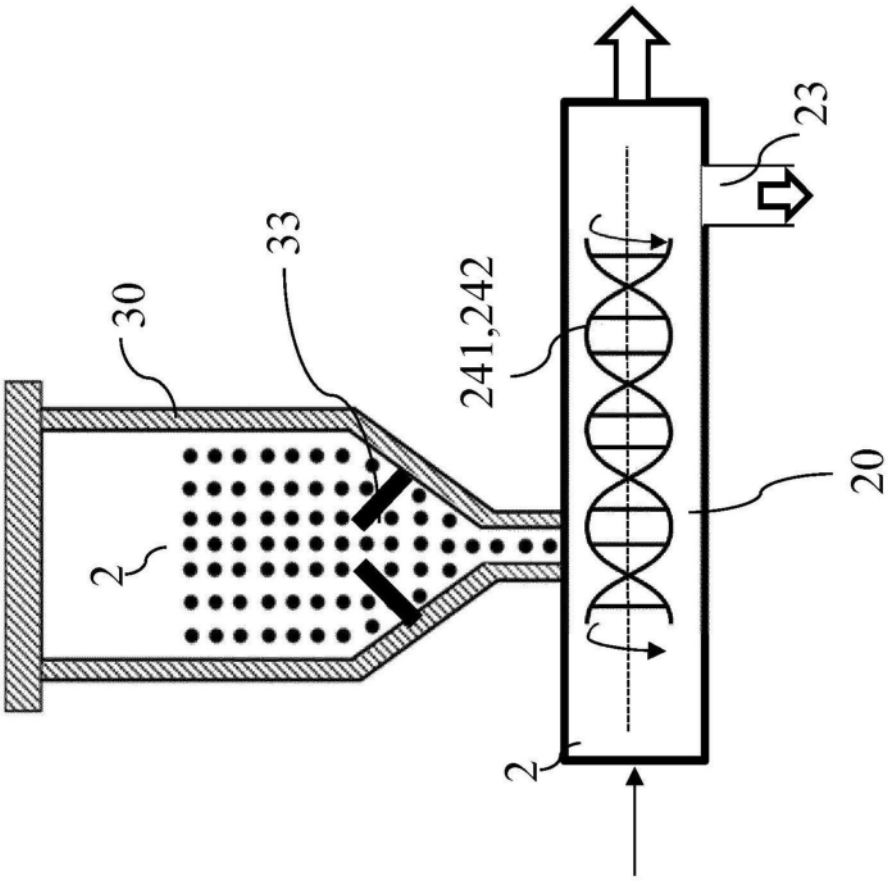


图15