



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110832686 A

(43)申请公布日 2020.02.21

(21)申请号 201880043606.X

(22)申请日 2018.06.28

(30)优先权数据

62/526,683 2017.06.29 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2019.12.27

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/IB2018/054830 2018.06.28

(87)PCT国际申请的公布数据

WO2019/003192 EN 2019.01.03

(71)申请人 维萨电力系统有限公司

地址 美国康涅狄格州

(72)发明人 C·C·布朗 K·B·卢克

(74)专利代理机构 北京邦信阳专利商标代理有限公司 11012

代理人 郑世奇

(51)Int.Cl.

H01M 8/2425(2016.01)

H01M 8/2485(2016.01)

H01M 8/00(2016.01)

H01M 8/0258(2016.01)

H01M 8/04089(2016.01)

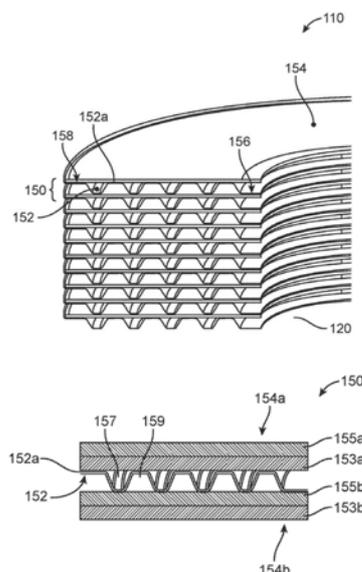
权利要求书2页 说明书14页 附图24页

(54)发明名称

用于燃料电池堆中热管理的选择性旋转流场

(57)摘要

一种电化学电池堆,包括多个电化学电池单元,每个电化学电池单元包括阴极、阳极和电解质;电化学电池堆还包括多个相连部。相连部设置在相邻的电化学电池单元之间。在每个阳极与相应相邻的相连部之间限定燃料通道,所述燃料通道具有燃料入口和出口。在每个阴极与相应相邻的相连部之间限定氧化剂通道,所述氧化剂通道具有氧化剂入口和出口。所述多个电化学电池单元和相连部包括:第一电化学电池单元、邻近于所述第一电化学电池单元的第一相连部、邻近于所述第一相连部的第二电化学电池单元、和邻近于所述第二电化学电池单元的第二相连部。所述第二相连部相对于所述第一相连部围绕所述燃料电池堆的纵向轴线旋转地偏移。



1. 一种电化学电池堆,包括:

多个电化学电池单元,每个电化学电池单元包括:阴极、阳极、和设置在所述阴极和所述阳极之间的电解质;

多个相连部,每个相连部设置在相邻的电化学电池单元之间;

其中,在每个阳极与相应相邻的相连部之间限定燃料通道,所述燃料通道具有燃料入口和燃料出口;

其中,在每个阴极与相应相邻的相连部之间限定氧化剂通道,所述氧化剂通道具有氧化剂入口和氧化剂出口;并且

其中所述多个电化学电池单元和相连部包括:第一电化学电池单元、邻近于所述第一电化学电池单元的第一相连部、邻近于所述第一相连部的第二电化学电池单元、和邻近于所述第二电化学电池单元的第二相连部,所述第二相连部相对于所述第一相连部围绕所述电化学电池堆的纵向轴线旋转地偏移。

2. 根据权利要求1所述的电化学电池堆,其中,所述第二相连部相对于所述第一相连部旋转地偏移10度至170度的范围内的角度。

3. 根据权利要求2所述的电化学电池堆,其中,所述第二相连部相对于所述第一相连部旋转地偏移约60度的角度。

4. 根据权利要求2所述的电化学电池堆,其中,所述多个相连部中的每个相连部相对于相邻的相连部旋转地偏移10度至170度之间的角度。

5. 根据权利要求1所述的电化学电池堆,其中,所述多个相连部中的每个均包括:联接至所述燃料入口的燃料入口通道,其中,所述燃料入口通道位于所述电化学电池单元的内接第一角度的弧段上,所述第一角度在2度至10度的范围内。

6. 根据权利要求5所述的电化学电池堆,其中,所述第一角度为约5度。

7. 根据权利要求1所述的电化学电池堆,其中,所述多个相连部中的每个包括:联接至所述氧化剂入口的氧化剂入口通道,其中,所述氧化剂入口通道位于所述电化学电池单元的内接第二角度的弧段上,所述第二角度在15度至30度的范围内。

8. 根据权利要求7所述的电化学电池堆,其中,所述第二角度为约20度。

9. 根据权利要求1所述的电化学电池堆,其中,所述多个相连部中的每个沿所述纵向轴线按照旋转样式旋转地偏移,所述旋转样式以每组2至10个相连部而重复。

10. 根据权利要求1所述的电化学电池堆,其中,所述多个相连部中的每个包括多个燃料通道和多个氧化剂通道,所述多个相连部中的每个包括相连部主体,所述相连部主体沿其纵向轴线限定纵向通道,所述相连部主体包括多个折皱,所述多个折皱在所述相连部主体的面对所述第一电化学电池单元的第一表面上限定所述多个燃料通道且在所述相连部主体的面对所述第二电化学电池单元的第二表面上限定多个氧化剂通道,所述多个燃料通道和所述多个氧化剂通道中的每个围绕所述纵向通道定位。

11. 根据权利要求10所述的电化学电池堆,其中,所述多个燃料通道中的每个的燃料通道基底电接触对应的第二电化学电池单元的阳极;并且所述多个氧化剂通道中的每个的氧化剂通道基底电接触对应的第一电化学电池单元的阴极。

12. 根据权利要求10所述的电化学电池堆,其中,所述多个相连部中的每个包括燃料入口通道、燃料出口通道、氧化剂入口通道和氧化剂出口通道,其中所述燃料入口通道和燃料

出口通道中的每个流体联接至所述多个相连部中的对应相连部的所述多个燃料通道中的每个,并且所述氧化剂入口通道和氧化剂出口通道中的每个流体联接至所述多个相连部中的对应相连部的所述多个氧化剂通道中的每个。

13. 根据权利要求1所述的电化学电池堆,其中,所述多个燃料电池单元中的每个中所包括的所述相连部协同地形成风箱状结构,使得所述燃料电池堆具有屈从性。

14. 一种燃料电池堆,包括:

多个燃料电池单元,每个燃料电池单元包括:阴极、阳极和设置在所述阴极和所述阳极之间的电解质;

多个相连部,每个相连部设置在相邻的燃料电池单元之间;

燃料通道,其被限定在每个阳极与相应的相邻的相连部之间,所述燃料通道具有与其流体联接的燃料入口通道和燃料出口通道;和

氧化剂通道,其被限定在每个阴极与相应的相邻的相连部之间,所述氧化剂通道具有与其流体联接的氧化剂入口通道和氧化剂出口通道;

其中,所述多个燃料电池单元和相连部包括:第一燃料电池单元、邻近于所述第一燃料电池单元的第一相连部、邻近于所述第一相连部的第二燃料电池单元、和邻近于所述第二燃料电池单元的第二相连部,对应于所述第二燃料电池单元的燃料入口通道相对于对应于所述第一燃料电池单元的燃料入口通道围绕所述燃料电池堆的纵向轴线旋转地偏移。

15. 一种燃料电池堆,包括:

多个燃料电池单元,每个燃料电池单元包括:阴极、阳极和设置在所述阴极和所述阳极之间的电解质;

多个相连部,每个相连部设置在相邻的燃料电池单元之间;

燃料通道,其被限定在每个阳极与相应的相邻的相连部之间,所述燃料通道具有与其流体联接的燃料入口通道和燃料出口通道;

氧化剂通道,其被限定在每个阴极与相应的相邻的相连部之间,所述氧化剂通道具有与其流体联接的氧化剂入口通道和氧化剂出口通道;

其中,所述多个燃料电池单元和相连部包括:第一燃料电池单元、邻近于所述第一燃料电池单元的第一相连部、邻近于所述第一相连部的第二燃料电池单元和邻近于所述第二燃料电池单元的第二相连部,对应于所述第二燃料电池单元的氧化剂入口通道相对于对应于所述第一燃料电池单元的氧化剂入口通道围绕所述燃料电池堆的纵向轴线旋转地偏移。

## 用于燃料电池堆中热管理的选择性旋转流场

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求2017年6月29日提交的、名称为“用于燃料电池堆中热管理的选择性旋转流场”的美国临时专利申请No. 62/526,683的优先权和利益,其全部的公开内容通过引用并入本文。

### 技术领域

[0003] 本公开内容涉及高温燃料电池堆和电解堆,特别是涉及固体氧化物(SOFC)和固体氧化物电解池(SOEC)堆,更特别地涉及包括热管理的高功率密度的紧凑SOFC堆。

### 背景技术

[0004] 固体氧化物燃料电池包括:电解质,其夹在阴极与阳极之间。氧气与阴极处的电子反应以形成氧离子,氧离子通过离子传导陶瓷电解质被传导至阳极。在阳极处,氧离子与可用燃料(例如氢和一氧化碳)结合以形成产物(例如水和二氧化碳),由此解放电子以产生电力。该技术当供应有适合反应物(例如水和二氧化碳)和电力时同样能够逆向运行以形成燃料气体和氧气。在此情况下,所述技术被称为固体氧化物电解池。SOFC研发已见多种方式(阳极、阴极或电解质支持的、单件陶瓷/金属相连部、平面式/管式及其变例)。所述技术商业化的主要挑战为:同时实现可市场化的价格、合理性能和实用的使用寿命。这些驱动因素紧密相关。

### 发明内容

[0005] 国际专利申请No. PCT/IB2018/053099 (2018年5月4日提交,要求2017年5月4日由本申请人提交的美国临时申请No. 62/501,633的优先权)描述了一种燃料电池堆,其具有密闭密封燃料电池单元。燃料电池堆包括:与多个相连部交替的多个固体氧化物燃料电池。每个燃料电池包括阴极、电解质、阳极、和可选的阳极支撑体。燃料电池和相连部成形而使得:当所述堆形成时纵向通道沿纵向延伸通过燃料电池堆。在一些实施方式中,燃料电池和相连部具有环形的形状,并且纵向通道是中心通道,其位于所述堆的轴向中心处。国际专利申请No. PCT/IB2018/053099 (“099申请”)在此全文(包括其与上述燃料电池堆有关的公开内容)通过引用并入本文。

[0006] 本文中所述实施方式整体上涉及被构造以实现热管理的电化学电池堆,特别是涉及包括相连部(设置在电化学电池堆的多个电化学电池单元中的每个之间)的电化学电池堆。每个相连部相对于相邻相连部旋转地偏移,以将氧化剂入口吸热扩展到更大比例的电化学电池区域中并减少多个电化学电池单元中的温差。

[0007] 在一些实施方式中,一种电化学电池堆包括:多个电化学电池单元,每个电化学电池单元包括:阴极、阳极、和设置在所述阴极和所述阳极之间的电解质。电化学电池堆还包括多个相连部,每个相连部设置在相邻的燃料电池单元之间。在每个阳极与相应相邻相连部之间限定燃料通道,所述燃料通道具有燃料入口和燃料出口。在每个阴极与相应相邻的

相连部之间限定氧化剂通道,所述氧化剂通道具有氧化剂入口和氧化剂出口。所述多个电化学电池单元和相连部包括:第一燃料电池单元、邻近于所述第一燃料电池单元的第一相连部、邻近于所述第一相连部的第二燃料电池单元、和邻近于所述第二燃料电池单元的第二相连部。所述第二相连部相对于所述第一相连部围绕所述燃料电池堆的纵向轴线旋转地偏移。

[0008] 在一些实施方式中,所述第二相连部相对于所述第一相连部旋转地偏移10度至170度的范围内的角度。在特定实施方式中,所述第二相连部相对于所述第一相连部旋转地偏移60度的角度。在一些实施方式中,所述多个相连部中的每个相连部相对于相邻的相连部旋转地偏移10度至60度的角度。在一些实施方式中,所述多个相连部中的每个均包括:流体联接至所述燃料入口的燃料入口通道,所述燃料入口通道位于所述电化学电池单元的内接第一角度的弧段上,所述第一角度在约2度至10度的范围内。在特定实施方式中,所述第一角度为约5度。在一些实施方式中,所述多个相连部中的每个包括:流体联接至所述氧化剂入口的氧化剂入口通道,所述氧化剂入口通道位于所述电化学电池单元的内接第二角度的弧段上,所述第二角度在约15度至30度的范围内。在特定实施方式中,所述第二角度为约20度。在一些实施方式中,所述多个相连部中的每个沿所述纵向轴线按照旋转样式旋转地偏移,所述旋转样式以每组2至10个相连部而重复。

[0009] 在一些实施方式中,所述多个相连部中的每个包括多个燃料通道和多个氧化剂通道。所述多个相连部中的每个包括相连部主体,所述相连部主体沿其纵向轴线限定纵向通道,所述相连部主体包括多个折皱,所述多个折皱在所述相连部主体的面对所述第一电化学电池单元的第一表面上限定所述多个燃料通道且在所述相连部主体的面对所述第二电化学电池单元的第二表面上限定多个氧化剂通道,所述多个燃料通道和所述多个氧化剂通道中的每个围绕所述纵向通道定位。在一些实施方式中,所述多个燃料通道中的每个的燃料通道基底电接触对应的第二电化学电池单元的阳极;并且所述多个氧化剂通道中的每个的氧化剂通道基底电接触对应的第一电化学电池单元的阴极。在一些实施方式中,所述多个相连部中的每个包括燃料入口通道、燃料出口通道、氧化剂入口通道和氧化剂出口通道,所述燃料入口通道和燃料出口通道中的每个流体联接至所述多个相连部中的对应相连部的所述多个燃料通道中的每个,并且所述氧化剂入口通道和氧化剂出口通道中的每个流体联接至所述多个相连部中的对应相连部的所述多个氧化剂通道中的每个。

[0010] 在另一实施方式中,一种燃料电池堆包括多个燃料电池单元,每个燃料电池单元包括阴极、阳极、和设置在所述阴极和所述阳极之间的电解质。燃料电池堆还包括多个相连部,每个相连部设置在相邻的燃料电池单元之间。在每个阳极与相应相邻的相连部之间限定燃料通道,所述燃料通道具有燃料入口通道和燃料出口通道。在每个阴极与相应相邻的相连部之间限定氧化剂通道,所述氧化剂通道具有氧化剂入口通道和氧化剂出口通道。多个燃料电池单元和相连部包括:第一燃料电池单元、邻近于所述第一燃料电池单元的第一相连部、邻近于所述第一相连部的第二燃料电池单元、和邻近于所述第二燃料电池单元的第二相连部。对应于所述第二燃料电池单元的燃料入口通道相对于对应于所述第一燃料电池单元的燃料入口通道围绕所述燃料电池堆的纵向轴线旋转地偏移。

[0011] 在另一实施方式中,一种燃料电池堆包括多个燃料电池单元,每个燃料电池单元包括阴极、阳极、和设置在所述阴极和所述阳极之间的电解质。燃料电池堆还包括多个相连

部,每个相连部设置在相邻的燃料电池单元之间。燃料通道被限定在每个阳极与相应的相邻相连部之间,所述燃料通道具有燃料入口通道和燃料出口通道。在每个阴极与相应相邻的相连部之间限定氧化剂通道,所述氧化剂通道具有氧化剂入口通道和氧化剂出口通道。多个燃料电池单元和相连部包括:第一燃料电池单元、邻近于所述第一燃料电池单元的第一相连部、邻近于所述第一相连部的第二燃料电池单元、和邻近于所述第二燃料电池单元的第二相连部。对应于所述第二燃料电池单元的氧化剂入口通道相对于对应于所述第一燃料电池单元的氧化剂入口通道围绕所述燃料电池堆的纵向轴线旋转地偏移。

[0012] 前述是本公开内容的概述,因而必要地包含简化、归纳和细节省略。因此,本领域技术人员应认识到,概述仅为例示性的,并非意在以任何方式进行限制。如权利要求书限定的本文中所述的装置和/或过程的其它方面、特征、和优点,在本文中提供的参照附图的详细描述中将变得显见。

### 附图说明

[0013] 通过下文中结合附图进行的描述和所附权利要求书,本公开内容的前述和其它特征将变得更完整显见。应理解,这些图仅图示出根据本公开内容的多个实施方案,因而被认为不限制其范围,本公开内容将以另外的特征和细节通过使用附图进行描述。

[0014] 图1A是根据实施方式的燃料电池堆(具有密闭密封燃料电池单元)的一部分的剖视立体图。

[0015] 图1B是根据实施方式的燃料电池单元(其可被包括在图1A的燃料电池堆中)的示意性例示图。

[0016] 图2A-2D是根据一些实施方式的燃料电池单元的示意性俯视图,基于内部和外部歧管设计不同组合,每图显示出燃料和氧化剂气体的不同的可能的流动路径。图2A图示出燃料电池单元具有单个燃料入口、单个燃料出口、单个氧化剂入口、单个氧化剂出口。图2B图示出燃料电池单元具有两个燃料入口、两个燃料出口、两个氧化剂入口、两个氧化剂出口。图2C图示出燃料电池单元具有单个燃料入口、单个燃料出口、两个氧化剂入口、两个氧化剂出口。图2D图示出燃料电池单元具有两个燃料入口、两个燃料出口、单个氧化剂入口、和单个氧化剂出口。

[0017] 图3是根据一个实施方式的燃料电池堆的阵列的立体图。

[0018] 图4A和4B是根据两个不同实施方式的燃料电池堆的阵列的立体图。

[0019] 图5A和5B是图4A和4B中所示阵列的基底部分的立体图,显示出阵列的燃料和氧化剂的入口和出口。

[0020] 图6是根据一个实施方式的相连部的剖视立体图。

[0021] 图7A和7B分别是图6中所示相连部的俯视图和仰视图。图7A显示出相连部的俯视燃料侧。图7B显示出相连部的仰视氧化剂侧。

[0022] 图8是根据一个实施方式的燃料电池堆(具有风箱状结构)的示意性剖视图。

[0023] 图9A-9C是根据三个不同实施方式的燃料电池堆的一部分的俯视剖视图,其显示出柱位于所述堆的纵向通道中。

[0024] 图10是燃料电池单元和相连部的俯视示意图,其显示出燃料入口( $\alpha$ )和氧化剂入口( $\beta$ )的近似角度的示例。

[0025] 图11是燃料电池单元俯视示意图,显示出燃料电池单元(其具有单个燃料入口、单个燃料出口、单个氧化剂入口、单个氧化剂出口)的流动轴线。

[0026] 图12A-12F显示出图11中所示五个燃料电池单元和相连部的示例,其中,根据一个实施方式,所有五个相连部相对于彼此围绕燃料电池堆的纵向轴线旋转地偏移。图12A-12E单独显示出每个燃料电池单元,图12F的剖切立体图显示出图12A-12E的所有五个相连部的燃料入口半体结构。

[0027] 图13显示出燃料电池堆的示例,其具有五个燃料电池单元和对应相连部,每个具有单个燃料入口、单个燃料出口、两个氧化剂入口、两个氧化剂出口,其中根据一个实施方式,所有五个相连部相对于彼此围绕燃料电池堆的纵向轴线旋转地偏移。

[0028] 图14显示出燃料电池堆的示例,其具有五个燃料电池单元和对应相连部,每个具有单个燃料入口、单个燃料出口、两个氧化剂入口、两个氧化剂出口,其中根据一个实施方式,所有五个相连部相对于彼此围绕燃料电池堆的纵向轴线旋转地偏移。

[0029] 图15显示出燃料电池堆(其包括各燃料电池单元相对于彼此围绕燃料电池堆的纵向轴线旋转地偏移,周期为5)的热计算流体力学(CFD)模型。

[0030] 图16显示出包含旋转偏移各层(周期为2)的堆的操作,在电解模式中按 $2\text{A}/\text{cm}^2$ 操作超过1200小时。

[0031] 图17显示出包含旋转偏移各层(周期为5)的堆的操作,在燃料电池模式中按 $0.25\text{A}/\text{cm}^2$ 操作超过1000小时。

[0032] 图18显示出包含旋转偏移各层(周期为5)的堆的操作,在电解模式中按 $1\text{A}/\text{cm}^2$ 操作超过1900小时。

[0033] 在以下详细描述中参照附图。在图中,相似的附图标记典型地标示相似的部件,除非在上下文中另行规定。在详细描述、附图和权利要求书中的例示性实施方案并非意在限制性的。在不背离在此呈现主题的精神或范围的情况下,可采用其它实施方案并可进行其它变化。应易于理解,本公开内容的各方面(如本文中总体所述和在图中所示)可按照广泛多种不同构造而布置、替代、组合和设计,所有这些显然是可想到的且形成本公开内容的一部分。

### 具体实施方式

[0034] 本文中所述实施方式通常涉及对于热管理构造的电化学电池堆,特别是包括相连部(设置在电化学电池堆的多个电化学电池单元中的每个之间)的电化学电池堆。每个相连部相对于相邻相连部旋转地偏移,以将氧化剂入口吸热扩展到更大比例的电化学电池区域中并减少多个电化学电池单元中的温差。

[0035] 为了减少电化学电池堆(在本文中也称为“堆”)成本,已奉行减少堆材料含量的策略。结果形成的堆平台实现每生产kW的材料含量和体积减少,作为成本节约策略。不过,这在电池和堆内施加以相对较高的热负荷(每单位体积和单位质量的热量),因而需要用于热管理的新策略。图1-10显示出在

[0036] '099申请中所述的堆设计。

[0037] 图1A是根据实施方式的燃料电池堆110的一部分的剖视立体图。根据实施方式,燃料电池堆110包括:多个燃料电池单元150的堆,更特别地为密闭密封燃料电池单元110。燃

料电池堆110包括：多个固体氧化物燃料电池单元150，其与多个相连部152交替。例如，图1B显示燃料电池单元150（其可被包括在燃料电池堆110中）的示意性例示图。每个燃料电池单元150包括：第一电化学电池154a，其包括第一燃料电极153a（例如阳极）和第一氧化剂电极155a（例如阴极），并可包括介于第一燃料电极153a与第一氧化剂电极155a之间的电解质。第二电化学电池154b也包括：第二燃料电极153b和第二氧化剂电极155b，并且还可包括介于第二燃料电极153a与第二氧化剂电极155a之间的电解质。在一些实施方式中，每个阳极可选地包括阳极支撑体。在一些实施方式中，燃料电池堆110可按照逆向流程操作，即，作为电解池堆。在这样的实施方式中，电化学电池154a/b的燃料电极153a/b可包括阴极，而电化学电池154a/b的氧化剂电极155a/b可包括阳极。

[0038] 相连部152介于第一电化学电池154a与第二电化学电池154b之间。相连部152包括的相连部主体152a限定沿其纵向轴线的纵向通道120（例如，燃料电池堆110的纵向轴线，使纵向通道120可跨越燃料电池堆110）。相连部主体152a包括多个折皱，所述多个折皱限定：在相连部主体152a的面对第一电化学电池154a的第一表面上的多个燃料通道157、和在相连部主体的面对第二电化学电池154b的第二表面上多个氧化剂通道159。多个燃料通道157和多个氧化剂通道159中的每个可围绕纵向通道120定位，例如，对称地和/或以环形构造定位。多个燃料通道157中的每个的燃料通道基底可电接触第二氧化剂电极155b，而多个氧化剂通道159中的每个的氧化剂通道基底可电接触第一燃料电极153a。

[0039] 例如，电化学电池154a/b和相连部152成形而使得：当燃料电池堆110形成时，纵向通道120沿纵向延伸通过燃料电池堆110。在图1A的实施方式中，电化学电池154a/b和相连部152具有环形形状，纵向通道120是位于燃料电池堆110的轴向中心处的中心通道。虽然被描述为具有环形形状，不过燃料电池堆110可具有任意其它适合形状，例如胚珠形、六边形、正方形或非正方形、或者任意其它形状，只要纵向通道120沿纵向延伸通过燃料电池堆110即可。进一步地，虽然纵向通道120被描述为沿燃料电池堆110的几何中心延伸，但在其它实施方式中，纵向通道120可以与燃料电池堆110的几何中心错开，只要纵向通道120不重叠于燃料电池堆110的外边缘即可。

[0040] 电化学电池154a/b在内、外周边处交替密封于每个相连部152，如图1A和1B中所示。这形成了密闭密封而又在单元电池级别下柔顺的结构，以减少热应力聚积的可能性。

[0041] 一种气体（燃料或氧化剂）经纵向通道120接纳到和提取自燃料电池单元150，而另一气体在燃料电池堆110的外周边处接纳到和提取自燃料电池单元150。在特定实施方式中，燃料从纵向通道120接纳和提取，而氧化剂在燃料电池堆110的外周边处接纳和提取。密闭电池-相连部的密封防止气体混合。例如，如图1A中所示，外密封构件158可位于第一表面（接近于第一电化学电池154a）上的相连部152的外周边上，内密封构件156可位于第二表面（接近于第二电化学电池154b）上的相连部152的围绕纵向通道120的内周边上。外密封构件158可使得多个燃料通道157或多个氧化剂通道159中的一种流体密封于燃料电池堆110的外周边外的空间，而内密封构件156可使得多个燃料通道157或多个氧化剂通道159中的另一种流体密封于纵向通道120。特别地，如图1A中所示，外密封构件158使燃料通道157流体密封于外周边外的空间，而内密封构件156使氧化剂通道159流体密封于纵向通道120。

[0042] 通过避免渗漏（将导致燃料和氧化剂混合和燃烧），获得多个优点，包括：(i) 减少系统反应物的损失；(ii) 减少堆上的热负载（特别是可损坏堆部件的局部加热）；(iii) 减少

氧化剂侧上的蒸汽形成(其减少铬挥发和运输,可为氧化剂电极的重要劣化机制);(iv)减少加热和冷却过程中的横向渗漏(允许保护性掩盖气体用量更少)。

[0043] 燃料电池堆110例如可包括:20~400个燃料电池单元150,仅限于成品堆的高宽比(高度相对于直径或宽度),其中,过大的高宽比可导致制造和封装困难。在各个实施方式中,高宽比可在4:1至5:1的范围内,不过较短的堆可用于特定应用和用于研发目的。多个燃料电池单元150可竖直堆叠为塔,其中具有中间的金属相连部152。

[0044] 每个燃料电池堆具有约50W~20kW的功率范围(例如0.5kW~20kW,1kW~15kW,或5kW~10kW,包括它们之间的所有范围和值),根据操作条件和堆尺寸而定。在一个实施方式中,所述堆具有约7kW的功率范围。小至约50W的实用堆可通过减少电池数目和调节操作条件而制造。

[0045] 本文中所述的燃料电池堆110或任意其它电化学电池堆利用适合几何形状改善热控制电化学电池堆的能力,而同时提供电池设计而减小在电池制造过程中和此后在堆操作过程中引入的机械应力。这两个优点允许减薄相连部152和电池,而不会不利于其结构。

[0046] 相连部152的厚度可在0.05~0.7mm的范围内(例如在0.075~0.4mm或0.08~0.15mm的范围内,包括它们之间的所有范围和值)。电化学电池单元厚度可在0.2~0.4mm范围内。在特定实施方式中,所述厚度可在0.25~0.35mm范围内。在这种设计的堆(包括0.12mm的相连部152和0.3mm的电池)中已表明一年以上的操作。这约为典型SOFC堆设计中使用的相连部中材料厚度的1/10和电池厚度的1/2。当端板、压缩系统、和所有其它部件被包括而形成完整堆时,在一个实施方式中提出的堆重量被确证为传统堆重量的约1/10(基于每个活性区域而言)。

[0047] 换言之,电化学电池堆的材料量减少,显著地减少。所述设计不要求使用任何特异材料,并在多个区域中相对于传统电化学电池堆而言简化了材料要求。压缩系统可由于负载降低而简化,如下文中更详细所述。歧管也可以由于密封要求降低而简化,也如下文中更详细所述。这种减少的材料量降低电化学电池堆的固有成本。虽然每kW部件计数增多,不过部件自动化适应性也增大,这由于使用较小部件、每层更少不同部件、没有要求操作者干预的大容差所致。这样,较少材料量的成本优点可胜过最多的总部件数目。

[0048] 燃料入口/出口密封体和氧化剂入口/出口密封体

[0049] 燃料进出分离和氧化剂进出分离,通过浮动歧管实现,歧管分离于堆核芯并通过柔顺的密封体(其可压缩并允许堆核芯与歧管之间的相对运动)而密封于堆核芯。这允许堆核芯由于热致载荷而独立于歧管发生膨胀和弯曲,这防止或减少在总体结构中的热致机械应力,由此保护各个部件。例如,陶瓷电池在应力过大时易于碎裂。柔顺密封体密封在相同气流的入口与出口之间。换言之,柔顺密封体使燃料入口和燃料出口分离,并使氧化剂入口和氧化剂出口分离。优选地,柔顺密封体在任意位置不会密封在燃料与氧化剂气体之间。高温陶瓷柔顺密封体已知具有渗漏,这样的渗漏可能是可接受的,这是因为其不会引起燃烧而且只要渗漏率较低(例如总流的约5%以下)则将对总效率仅有微小影响。这允许有利地使用外部歧管设计方式以提供成本、重量和体积优点。

[0050] 入口气体分离于围绕堆周边的出口气体,通过片金属歧管结构实现,歧管结构将柔顺密封体压缩到堆核芯上(堆核芯是指:重复堆部件(电池、相连部、密封体、以及端板)的组件)。金属气体分离部件可被涂覆以介电涂层以针对堆与歧管的短接进行保护。

[0051] 环形电池设计使从电池发热区域的任意部分到堆的外表面的传导路径保持最短，这有助于保持所述堆的热控制。图2A-2D是根据各种实施方式的燃料电池单元250a/b/c/d的示意性俯视图，基于内部和外部歧管设计不同组合，每图显示出燃料和氧化剂气体的不同的可能的流动路径。图2A图示出燃料电池单元具有单个燃料入口、单个燃料出口、单个氧化剂入口、单个氧化剂出口。图2B图示出燃料电池单元具有两个燃料入口、两个燃料出口、两个氧化剂入口、两个氧化剂出口。图2C图示出燃料电池单元具有单个燃料入口、单个燃料出口、两个氧化剂入口、两个氧化剂出口。图2D图示出燃料电池单元具有两个燃料入口、两个燃料出口、单个氧化剂入口、单个氧化剂出口。这些示例显示出可能的布局，不过所述设计可适配于任意数量的燃料和空气入口（其对于特定应用而言可能是所希望的），以例如通过具有更长或更短流动路径而减小操作压降。

[0052] 例如，每个燃料电池单元250a/b/c中包括的相连部（例如相连部152）的相连部主体（例如相连部主体152a）可以限定：至少一个燃料入口通道和至少一个流体出口通道，其被流体联接至多个燃料通道（例如燃料通道157）中的每个。相连部主体可进一步限定：至少一个氧化剂入口通道和至少一个氧化剂出口通道，其被流体联接至多个氧化剂通道（例如氧化剂通道159）中的每个。至少一个燃料入口通道和至少一个燃料出口通道可流体联接至纵向通道，以从纵向通道第一部分接收燃料和将用后燃料排出到纵向通道第二部分中。外密封构件（例如外密封构件158）可使多个燃料通道流体密封于外周边外的空间。另外，至少一个氧化剂入口通道和至少一个氧化剂出口通道可流体联接至相连部的外周边，以从第一部分接收氧化剂，并将用后氧化剂从外周边外的空间的第二部分排出。内密封构件（例如内密封构件156）可使多个氧化剂通道流体密封于纵向通道。

#### [0053] 模块阵列

[0054] 对于更大系统，各堆将按模块阵列部署，例如，按20~250kW或更大阵列部署（如图3的阵列100或图4A中所示阵列200中所示），或者按40~500kW阵列部署（如图4B的阵列300中所示）。更大系统可由多个阵列构成。堆设计由于其集成压缩系统、直接螺栓连接于集成气体连接部、对环境的短传导路径、和高电压-低电流输出而使其自身特别适合于阵列布局。通过简化或消除堆-模块接口，所述堆具有简化更大系统设计的潜力。堆阵列的两个实施方式（基于图1A的堆110）描述如下。各堆可根据应用而阵列布置为不同封装尺寸。可行的尺寸范围从单个堆（~1.2kW）至15x 15或更大的堆阵列（250kW）。作为一示例，10x 10的100kW封装体将测定约为0.6m x 0.6m x 0.3m（113L），包括压缩、电流收集和输送，其可与内燃机竞争。

[0055] 图3是根据一个实施方式的燃料电池堆10的阵列100的立体图。在此实施方式中，燃料从燃料电池堆110的基底馈给和提取，而氧化剂气体（例如空气）被接纳到堆上方的容纳空间中，并从燃料电池堆110的基底提取。空气通常具有较高对流热容量，因而可用作冷却燃料电池堆110的主要媒介。空气以相对较低温度被接纳到燃料电池堆110（或堆阵列）的上方，冷却燃料电池堆110上方区域。弹簧压缩和电流收集可集成到此区部中，其中冷却器温度允许使用更少特异材料和/或使用更少总材料，而同时保持适当的强度和电流承载能力。

[0056] 堆冷却是大型SOFC堆的关键问题，可通过加热氧化剂流而实现。不同于直接对流冷却，多级入口方式允许比氧化剂（例如空气）直接接纳到燃料电池堆110核芯时所允许的

大得多的温度增加。通过适合尺寸,可实现200摄氏度量级(例如为150~250摄氏度)的入口温度,不同于传统堆的600摄氏度。这种大温度容差能够实现更低的空气流速和更小的预热负载,从而简化和增大包括阵列100的电化学电池组件(例如燃料电池组件或电解电池组件)各部件的平衡效率。

[0057] 每个燃料电池堆110除了空气入口输送和外隔离以外可自给。本文中所述封装解决方案通过在多个燃料电池堆110之间共享空气入口和外隔离壳体提供效率。在一些实施方式中,燃料电池组件(例如图4A的燃料电池组件20)可以包括以下的重复单元:(1)单元电池(电池+相连部):~8W,~0.8V;(2)燃料电池堆(数百个电池+歧管、压缩部等等):~1200W,160~250V;(3)阵列(可变,多至200个以上的堆、封闭体、隔离体,等等):~20~250以上kW,kV范围;(4)模块(可变,可公路运输尺寸的阵列结构):1MW以上,kV范围。在其它实施方式中,燃料电池组件(例如图4B的燃料电池组件40)可包括以下重复单元:(1)单元电池(电池+相连部):~20W,~0.8V;(2)堆(数百个电池+歧管、压缩部,等等):7,000W,160~350V;(3)40~350以上kW,kV范围;(4)模块(可变,可公路运输尺寸的阵列结构):1MW以上,kV范围。

[0058] 在较大动力设施(~10kW以上)中,模块式方式提供额外益处。第一,堆电压足够高而使其可按并联或串并联电构造连接。这提供自动负载切换。任何性能劣化的堆将自动使其电流负载切换到与其电并联的堆。较大的多堆阵列中的堆的完全损失将具有极少负面影响。第二,失效堆可被更换,而不干扰其它堆,且成本相对较低。如果具有相对较少堆的传统系统在单个弱点情况下可能需要移除和整修大型的难以管理的堆,则在小堆阵列中,可通过仅更换弱点堆而修复局部弱点,实现更小的装置和更快且更低成本的过程。

[0059] 图4A和4B是根据两个不同实施方式的包括电化学电池堆阵列的电化学电池组件的立体图。这些实施方式类似于图3的实施方式,其区别在于,所有气体服务(包括入口空气)从底部馈给。这减小堆阵列顶部处的复杂度,可为初始组装和维护带来优点。其还提供集成到系统中的易行性上的优点,并提供在入流和出流空气流之间额外传热的潜力。如本文中所述,图4A和4B的电化学电池组件包括具有燃料电池堆阵列的燃料电池组件。在其它实施方式中,图4A和4B的电化学电池组件可逆向流程操作以作为电解电池组件(包括电解电池堆阵列)操作。

[0060] 图4A显示出根据实施方式的燃料电池组件20。燃料电池组件20包括:壳体21,其具有壳体基底30。燃料电池堆(例如电化学电池堆110)阵列200设置在壳体基底30上。阵列200包括燃料电池堆的6×6阵列(40kW以上的阵列),其中所有气体服务从底部进行。图4B显示出根据另一实施方式的燃料电池组件40。燃料电池组件40包括:壳体41,其具有壳体基底50,燃料电池堆(例如燃料电池堆110)阵列300位于壳体基底50上。阵列300包括8×5阵列(280kW以上的阵列),其中所有气体服务从底部进行。在这些布局中,壳体基底30、50包括换热功能并对所有燃料电池堆均匀地分配和收集气体。图5A是图4A中所示燃料电池组件20的基底部分的立体图,显示出阵列的燃料和氧化剂的入口和出口。两个堆已在图4A的左侧上省略,从而可见其中两个氧化剂预热管。

[0061] 如图5A中所示,电化学电池组件20包括:燃料入口22,燃料出口24,氧化剂入口26,氧化剂出口28,其通过壳体基底30流体联接至电化学电池堆的阵列200。壳体基底30还限定至少一个换热通道34,换热通道34被构造以在通过燃料入口22进入壳体基底30中的燃料与

通过燃料出口24离开壳体基底30的用后燃料之间提供换热。多个堆接口32(例如通孔)用于燃料和氧化剂在阵列200与壳体基底30之间流通,一个或多个气体分配通道36也可被设置在壳体基底30中。另外,燃料旁路入口29通过壳体基底32流体联接至电化学电池堆阵列200,使得燃料旁路入口29绕过所述至少一个换热通道。这样,燃料入口22和燃料旁路入口29提供双燃料入口,其中燃料旁路入口29直接导入到燃料电池堆阵列200中,燃料入口22行进通过换热和重整区段。这些双入口是可选的,不过提供堆入口温度和堆内重整的额外可控性。

[0062] 图5B是图4B中所示燃料电池组件40的基底部分的立体图,显示出燃料入口42,燃料出口44,氧化剂入口46,氧化剂出口48,其流体联接至阵列300。在这些实施方式中,壳体基底50的上部分56包括燃料流入和燃料流出换热,还可包括燃料重整区段。多个堆接口52也设置在壳体基底50中。如4B中所示的燃料电池组件40不具有双入口。在这些实施方式中,冷空气入口从底部进入堆热区。

#### [0063] 相连部设计

[0064] 图6是根据实施方式的相连部452的剖视立体图。相连部452包括的相连部主体452a限定多个燃料通道457和多个氧化剂通道459。在图6中,燃料侧在顶部。燃料通道457同时形成与电池氧化剂电极的电接触区域。氧化剂通道459同时形成与电池燃料电极的电接触区域。燃料通道457通过相连部452的顶侧上的肋分离,而氧化剂通道459通过相连部452的底侧上的肋分离,即,燃料侧肋形成氧化剂通道459,反之亦然。图7A和7B分别是图11中所示相连部452的俯视图和仰视图,其具有所述的在其几何中心穿过的纵向通道420。图7A显示出俯视的相连部燃料侧,显示出流体联接至每个燃料通道457的燃料入口通道463(或燃料出口通道,取决于流动方向)。图7B显示出仰视的相连部氧化剂侧,显示出氧化剂入口通道465(或氧化剂出口通道,取决于流动方向)。图7A和7B显示出有效活性区域,通过相连部452的各个用于燃料侧的通道457(图7A)和459氧化剂侧(图7B)馈给。相连部452上覆盖的扁平半圆形区域表示暴露于每个相连部通道457、459的电池活性区域。每个活性区域相关于位置和尺寸而且相关于每个通道457、459。相连部452被设计以提供沿每个通道457、459的流动,通道457、459成比例于由所述通道457、459对应作用的活性区域。这在保持尺寸和间隔限制(提供适合的从两种电池电极的电流收集)的情况下实现。任何几何形状改变影响相连部452两侧的流特征和电特征。可选地,接触间层可加到每个电池与每个相连部452之间以辅助电接触。

[0065] 在图7A和7B中所示的示例中,外密封构件458在此示例中是在外周边上的燃料密封构件(图7A)。内密封构件456在此示例中是在内周边上的氧化剂密封构件(图7B),围绕燃料电池堆的纵向通道420。燃料密封构件与氧化剂密封构件在空间上的分离以及折皱相连部设计提供必要的屈从性,而不增大所述堆的周长或厚度。当然,在氧化剂流动通过纵向通道420的实施方式中,内密封构件456将用作燃料密封体,而外密封构件458将用作氧化剂密封体。

[0066] 相连部452的基底材料在0.1mm厚(例如0.07~0.13mm厚)的量级。这是可行的,因为电池活性区域低,而且因为电池上任意点到边缘的距离相对较小,这使得堆温度便于控制。对于较大堆或者距离较大的情况,相连部厚度必须增大以具有足够热导率以保持所述堆和电池温度的控制。

### [0067] 内部密封设计

[0068] 内部密封体(处于相连部452与电池之间并使燃料气体分离于氧化剂气体)可实现为阵列100、200或300中包括的电化学电池堆中的玻璃陶瓷密封体。它们的位置可在内直径与外直径之间以产生风箱状结构的方式交替,所述风箱状结构可见于图8中的示意性剖视图(其显示出包括燃料电池堆410的电化学电池堆的示意性例示图,燃料电池堆410包括相连部452并被压缩在顶板440与底板460之间)中。换言之,燃料电池堆410中包括的多个相连部452协同形成风箱状结构而使得燃料电池堆410具有屈从性。相连部452可在0.1mm厚的量级。薄材料联接于产生流场的折皱,使相连部452易于释放层内应力。这形成防止应力逐层积聚的结实结构。如图8中所示,优选地,不使用另外的分离器或金属部件,以提供应力释放功能。也就是说,燃料电池堆410的风箱状结构通过电池454、外密封体458、相连部452、内密封体456交替而形成。

[0069] 除内密封体456和外密封体458以外,边缘密封构件461可设置在电化学电池454(例如电化学电池单元(例如燃料电池单元或电解池单元)中包括的第一电化学电池和第二电化学电池中的每个)的与相连部452的外周边接近的外边缘或者电化学电池454的与纵向通道420接近的内边缘中的至少一个上。例如,电池阳极支撑体的边缘典型地是多孔的。在图8中所示实施方式中,边缘密封构件461设置在电化学电池454的外边缘上,以在燃料气体与氧化剂气体之间提供额外的密封。

### [0070] 柱设计

[0071] 柱可被用作供气体(燃料或氧化剂)穿过纵向通道至电化学电池的歧管。所述柱可位于纵向通道中,并被构造使气体入口(从纵向通道进入电化学电池中)分离于气体出口(从电化学电池进入纵向通道中)。所述柱可通过陶瓷料浆、膏、毛絮、或它们的组合而密封就位,以在入口流与出口流之间提供柔顺密封。所述柱可为加工金属、多件式片金属、钎焊体、或陶瓷,其具有形成垂直通道供柔顺密封材料添加其中的特征。

[0072] 图9A-9C是根据三个不同实施方式的燃料电池堆510的一部分的俯视剖视图,显示出各个柱位于堆510的纵向通道520中。在这些实施方式中,纵向通道520是沿堆510的轴向中心延伸的中心通道,因而通道内的所述柱称为“中心柱”。不过,在其它实施方式中,所述柱可位于与堆510的中心错开的通道中。在此实施方式中,还假定燃料气体通过纵向通道420。图9A显示出根据一个实施方式的圆形柱530a。柱530在其周边上限定非对称定位的深槽以限定:被构造以接收燃料的柱入口532a、和被构造以接收用后燃料并将其排出电化学电池堆510的柱出口534a。柱入口532a和柱出口534a通过密封腔536a而相互流体隔离。图9B显示出根据另一实施方式的柱530b,其设置在纵向通道520中。柱530b包括两个并行的板,将纵向通道520分为柱入口532b、柱出口534b、密封腔536,将柱入口532b流体隔离于柱出口534b。在图9A和9B的实施方式中,柱530a/b(为中心柱)包括一个燃料入口端口和一个燃料出口端口。

[0073] 图9C显示出:柱组件530c包括彼此相反定位的两个燃料入口板531c。两个燃料出口板537c垂直于燃料入口板531c而定位,以限定彼此相反的两个柱出口534c。在图9C的实施方式中,柱534c包括中心通道533c,例如,燃料入口端口通过具有多个开口535c的燃料入口板531c而分离于两个侧柱通道532c(例如侧燃料端口)。燃料流入中心通道533c中,然后经开口535c流入侧柱通道532c中。此实施方式的中心柱组件530c具有两个柱出口534c(其

包括燃料出口端口)。密封构件539c(例如陶瓷填堵材料)插入密封腔536c中,以使入口燃料分离于出口燃料。这种密封体不需要密闭,因为渗漏路径不会引起燃料和空气结合。而是,经过此密封体的渗漏的影响是减少燃料流动通过所述堆本身。适度的渗漏(至多总流量的2%)将不会对堆性能具有显著影响。甚至适度渗漏可能对任意系统特征没有可察觉的影响,这是因为,固体氧化物燃料电池系统典型地以过剩燃料操作以从燃料电极扫除反应产物(H<sub>2</sub>O、CO<sub>2</sub>,等等)。

[0074] 柱530c中所用的密封构件539c材料可被设计为略微柔顺以允许结构内的热应力消散。由于屈从性要求,密封构件539c不会刚性结合到电池层,而且其并不密闭。不过,其可被设计为同时为柔顺的其具有足够少的渗漏而使得燃料优选地将围绕相连部流动,而非通过密封体渗漏。

#### [0075] 热管理

[0076] 上述的燃料电池堆的紧凑设计在电池和堆内施加以相对较高的热负荷(每单位体积和单位质量的热量),因而用于热管理的新策略是所希望的。例如,如图10中所示,燃料入口通道663a可位于电化学电池单元650的内接第一角度 $\alpha$ (在2~10度的范围内)的弧段上。燃料出口通道663b也可内接第一角度 $\alpha$ 。在一些实施方式中,对于电池层的燃料入口通道663a位于切片上,使得第一角度 $\alpha$ 约占整个电池弧(360°)的约5°,燃料出口通道663b也是如此。在一些实施方式中,氧化剂入口通道665a和/或氧化剂出口通道665b位于电化学电池单元650的内接第二角度 $\beta$ (在约15~30度的范围内)的弧段上。在特定实施方式中,第二角度 $\beta$ 为电池弧的约20°。

[0077] 在氧化剂侧上,冷空气可流动到所述堆以进行热管理,不过,冷却主要将发生在入口近处,此处可占总电池区域的10%以下。

[0078] 在燃料侧上,内部重整可对燃料电池堆提供另外的冷却。在内部重整燃料电池时,重整催化剂安置在燃料电池堆内以允许直接使用烃燃料,例如,管线天然气(CH<sub>4</sub>),液化天然气(LNG),液化石油气(LPG),生物气体,含甲烷的煤气,等等,而不需要昂贵复杂的外部重整设备。在内部重整器中,燃料电池产生的水和热量由重整反应使用,由重整反应产生的氢气用于燃料电池中。由燃料电池反应产生的热量为吸热重整反应供热。这样,内部重整用于冷却燃料电池堆。当使用直接内部重整(DIR)时,重整催化剂位于燃料电池的活性阳极隔室内,在燃料入口处。重整是快速反应但不是瞬时反应。在实践中,由重整反应施加的吸热集中在对于电池的燃料入口的周围,并扩展到电池中的一些流距离。重整吸热的准确渗透距离和面积根据堆的几何形状和操作条件而变化。通常,重整吸热主要在燃料入口周围发生,冷却影响主要在电池区域的最前的2~20%内发生。

[0079] 在本申请中所述的一个思路是:将重整和空气入口吸热扩展到更大比例的电池区域中(在通过所有燃料电池单元的整个堆入口投影中),以减少电池中的温差。减少电池中的温差对于堆的鲁棒性(减小电池或密封体开裂风险)、电池性能(更均匀的温度允许更高效的电池操作)、和更长使用寿命(通过扩散冷却防止热点,减小燃料电池单元材料的局部劣化速率)而言是重要的。

[0080] 图11-14显示出根据各个实施方式的构造,可解决上述问题。用于这些实施方式中的整体策略是:策略性地旋转燃料电池堆内的相邻的相连部。例如,燃料电池堆中包括的多个电化学电池单元和相连部可以包括:第一燃料电池单元,第一相连部(邻近于第一燃料电

池单元),第二燃料电池单元(邻近于第一相连部),第二相连部(邻近于第二燃料电池单元),第二相连部相对于第一相连部围绕燃料电池堆的纵向轴线旋转地偏移。此策略特别适合于环形和圆形的电池设计,不过也可用于周期性旋转对称的其它形状。

[0081] 图11是燃料电池单元750a和对应相连部的俯视图,显示出燃料电池单元(具有单个燃料入口、单个燃料出口、单个氧化剂入口、单个氧化剂出口)的流动轴线。

[0082] 图12A-12E显示出图11中所示的五个燃料电池单元750a/b/c/d/e和对应相连部的示例,其中根据一个实施方式,所有五个燃料电池单元相对于彼此围绕燃料电池堆的纵向轴线旋转地偏移。在各个实施方式中,第二相连部(例如燃料电池单元750b中包括的相连部)可相对于第一相连部(例如燃料电池单元750a中包括的相连部)旋转地偏移一角度(在 $10\sim 170$ 度的范围)。在图12A-12E中所述实施方式中,每个相连部相对于两个相邻的燃料电池单元(例如燃料电池单元750b具有与其相邻的燃料电池单元750a和750c)均旋转地偏移至少约 $60^\circ$ 。这样,与每个燃料电池单元对应的燃料入口通道和氧化剂入口通道同样地相对于与相邻的燃料电池单元对应的燃料入口通道和氧化剂入口通道均旋转地偏移至少约 $60^\circ$ 。

[0083] 已知的是,热量在相邻电池之间相对良好地竖直分布,在大约六个电池中具有典型的有用传送(不过,这可取决于设计细节和操作条件)。在图12A-12E中所示实施方式中,重整区域在任意层 $5n$ (燃料电池单元750a)上在约 $205^\circ\sim 215^\circ$ 的弧区中,在层 $5n+1$ (燃料电池单元750b)上在 $265^\circ\sim 275^\circ$ 的区域中, $5n+2$ (燃料电池单元750c)为 $325^\circ\sim 335^\circ$ , $5n+3$ (燃料电池单元750c)为 $235^\circ\sim 245^\circ$ , $5n+4$ (燃料电池单元750d)为 $295^\circ\sim 305^\circ$ 。这种样式将对所述堆中的每组五个相邻燃料电池单元重复。这样,并不是使所有重整在竖直通过所述堆的约 $10^\circ$ 带内进行,而是使重整吸热扩散到 $130^\circ$ 中。氧化剂入口通道类似地分布。

[0084] 图12F的剖切立体图显示出图12A-12E的所有五个相连部的燃料入口通道半体结构。如图12F中所示,燃料电池单元750a/b/c/d/e中包括的多个相连部中每个相连部的燃料入口通道763a/b/c/d/e相对于相邻相连部的燃料入口通道763a/b/c/d/e旋转地偏移。

[0085] 在一些实施方式中,多个相连部(例如包括在燃料电池单元750a/b/c/d/e中的相连部)中的每个可沿纵向轴线按照旋转样式旋转地偏移,旋转样式在每组2~10个相连部之后重复。例如,相连部的各个实施方式显示在图13和14中。这些实施方式均具有两个氧化剂入口(左、右)和两个氧化剂出口(顶、底),其不同于图11和12所示实施方式中的单个入口和单个出口。在图13的实施方式中,燃料入口和燃料出口分别在左、右。在图14的实施方式中,燃料入口和燃料出口分别在顶、底。图12-14一起显示出相同思路的三个不同功能实施方案,每个具有周期性为5(也就是说,相连部的旋转构造以每组5个相邻燃料电池单元而重复)。不过,除此以外的任何周期性将提供散热益处。例如,所述堆可以具有2至10之间、或2至8之间、或4至6之间的旋转样式或周期性。

[0086] 如前所述,本文中所述实施方式特别适用于环形或圆形燃料电池单元,这是因为,以此方式,各实施方式可对每层利用相同的重复部分(相连部和燃料电池单元)实施。也就是说,所述堆内的所有燃料电池单元可为相同的,所有相连部可为相同的。所述堆可通过以下方式制造:在制造所述堆时,每个燃料电池单元相对于最近者旋转。不过,在其它实施方式中,相连部可为任意其它形状,并被特别制造为使得:与第一燃料电池单元对应的氧化剂入口相对于与相邻的第二燃料电池单元对应的氧化剂入口围绕燃料电池堆的纵向轴线旋

转地偏移,和/或使得:与第一燃料电池单元对应的燃料入口相对于与相邻的第二燃料电池单元对应的燃料入口围绕燃料电池堆的纵向轴线旋转地偏移。

[0087] 图15显示出燃料电池堆(其包括各燃料电池单元相对于彼此围绕燃料电池堆的纵向轴线旋转地偏移,周期为5)的热计算流体力学(CFD)模型。此模型显示出,竖直热传导与选择性旋转相连部的策略相结合,有利于均衡重整和冷空气入口的温度影响,即使(在此模型情况下)约300°C的入口空气(低于堆出口温度)存在直接冲突。

[0088] 图16显示出包含旋转偏移各层(周期为2)的堆的操作,其在电解模式中按 $2\text{A}/\text{cm}^2$ 操作超过1200小时。这种堆不仅具有比传统堆显著更高的容积功率密度和热负载,而且还在激进的重度放热电解条件下操作。由于选择性旋转的流场与热条件的最终平滑化的集成,其能够以整体热稳定性操作。图17显示出包含旋转偏移各层(周期为5)的堆的操作,在燃料电池模式中按 $0.25\text{A}/\text{cm}^2$ 操作超过1000小时,表现出热负载在典型燃料电池应用中预计的范围内。这种堆的稳定性和高性能水平(高电压)显示出通过流场选择性旋转实现的热平滑化的益处。图18显示出包含旋转偏移各层(周期为5)的堆的操作,其在电解模式中按 $1\text{A}/\text{cm}^2$ 操作超过1900小时。这再次显示出:在这种略微吸热的操作条件下实现的稳定性和高性能。

[0089] 在所有情况下,应理解,上述布置仅例示出表现本发明应用的多种可行的特定实施方式。多种不同的其它布置(包括不同的下方样式周期,在单堆内变化的样式周期,交替的下方几何形状,和流构造)可根据本文中所述思路原理在不背离本发明精神和范围的情况下容易地实现。

[0090] 如本文中所示,表述“近似”、“约”、“大致”和类似表述意在具有宽泛的含义,与本公开内容的主题所述领域的普通技术人员公知和认可用法相一致。阅读本公开内容的本领域技术人员应理解,这些表述意在允许对所述的和要求保护的特定特征进行描述,而不是将这些特征的范围限制到所提供的精确数字范围。相应地,这些表述将被解读为表示:所述的和要求保护的主题的非实质性或无关紧要的修改和改变被认为处于如所附权利要求书限定的本发明的范围内。

[0091] 如本文中所述的表述“联接”、“连接”和类似物是指:将两个构件直接或间接地相互衔接。这种衔接可为静止的(例如持久的)或可动的(例如可移除的或可松脱的)。这种衔接可通过两个构件或者两个构件以及任意额外中间构件(相互集成形成为一体)实现,或者通过两个构件或者两个构件及任意额外中间构件(相互附接)实现。

[0092] 本文中提及的元件的位置(例如顶、底、上、下等等)仅用于描述图中各个元件的取向。应注意,各个元件的取向可根据其它示例性实施方式而不同,这样的变例意在由本公开内容涵盖。

[0093] 重要的是,应注意,各个示例性实施方式的结构和布置仅为例示性的。虽然在本公开内容中仅详细描述一些实施方式,不过,阅读本公开内容的本领域技术人员将易于认识到,在实质上背离本文中所述主题的新颖教导和优点的情况下,多种修改是可行的(例如,各个元件的尺寸、尺度、结构、形状和比例、参数值、安装结构、材料使用、颜色、取向等的变化)。例如,被显示为集成形成的元件可由多个部件或元件构成,元件的位置可相反或另行变化,各分立元件的性质或数量可改变或变化。任意过程或方法步骤的顺序或次序可根据可替代实施方式而变化或重新排序。在不背离本发明的范围的情况下,也可在各个示

例性实施方式的设计、操作条件和布置方面进行其它替代、修改、改变和省略。例如，穿孔导流板可在不形成死区的情况下进一步优化以实现增大停留时间的意图。

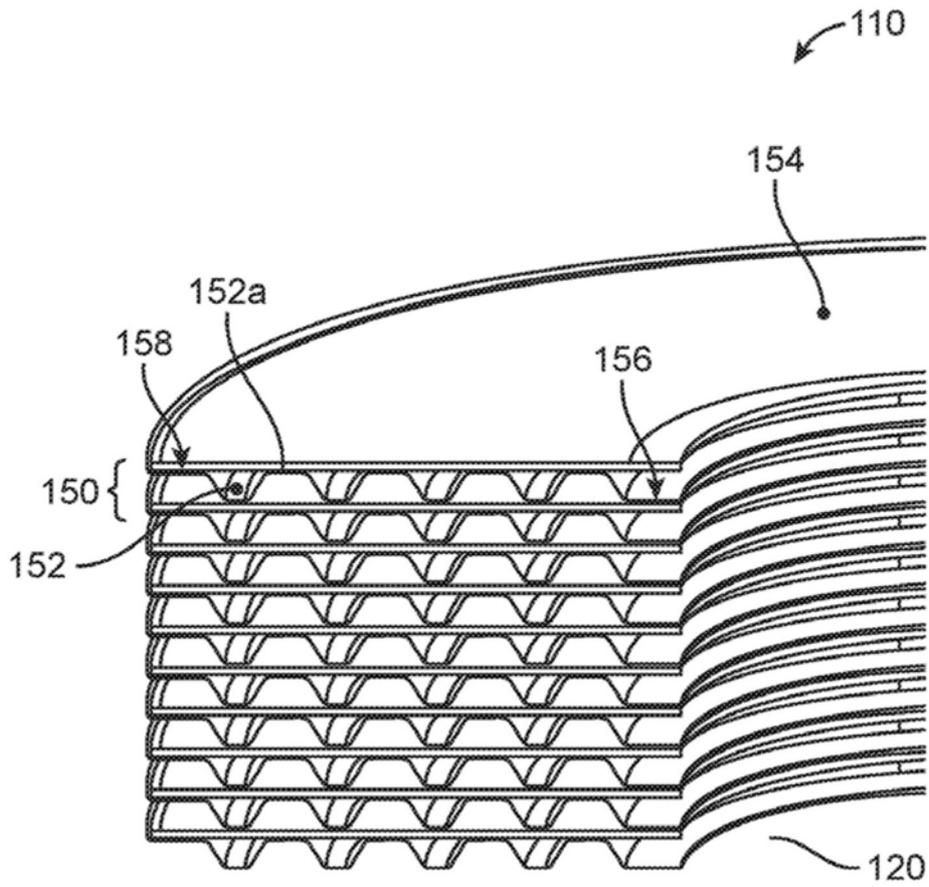


图1A

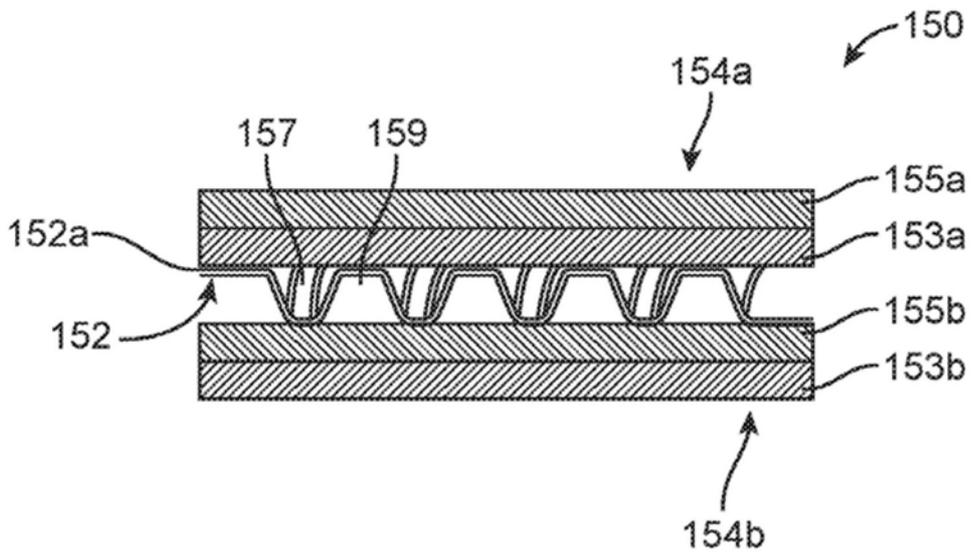


图1B

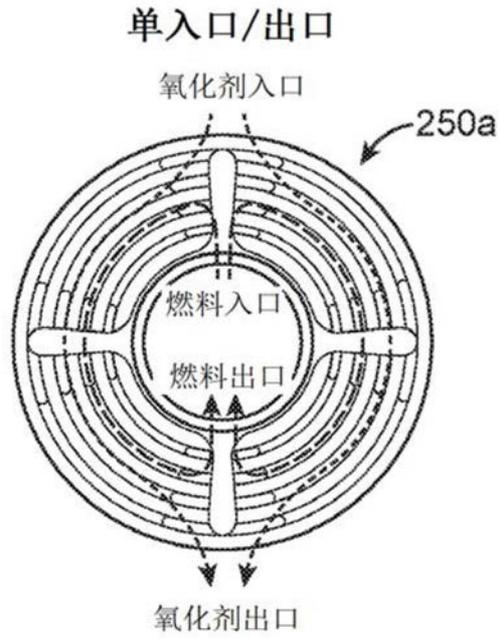


图2A

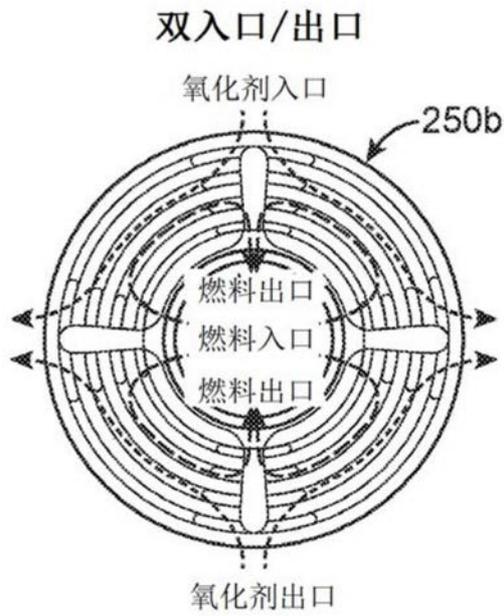


图2B

双氧化剂入口/出口  
单燃料入口/出口

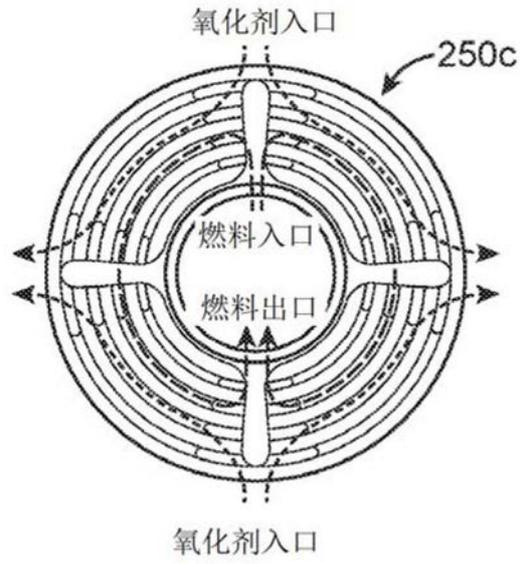


图2C

双燃料入口/出口  
单氧化剂入口/出口

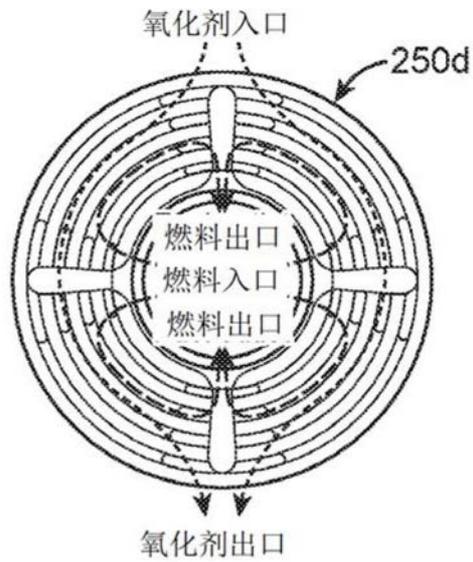


图2D

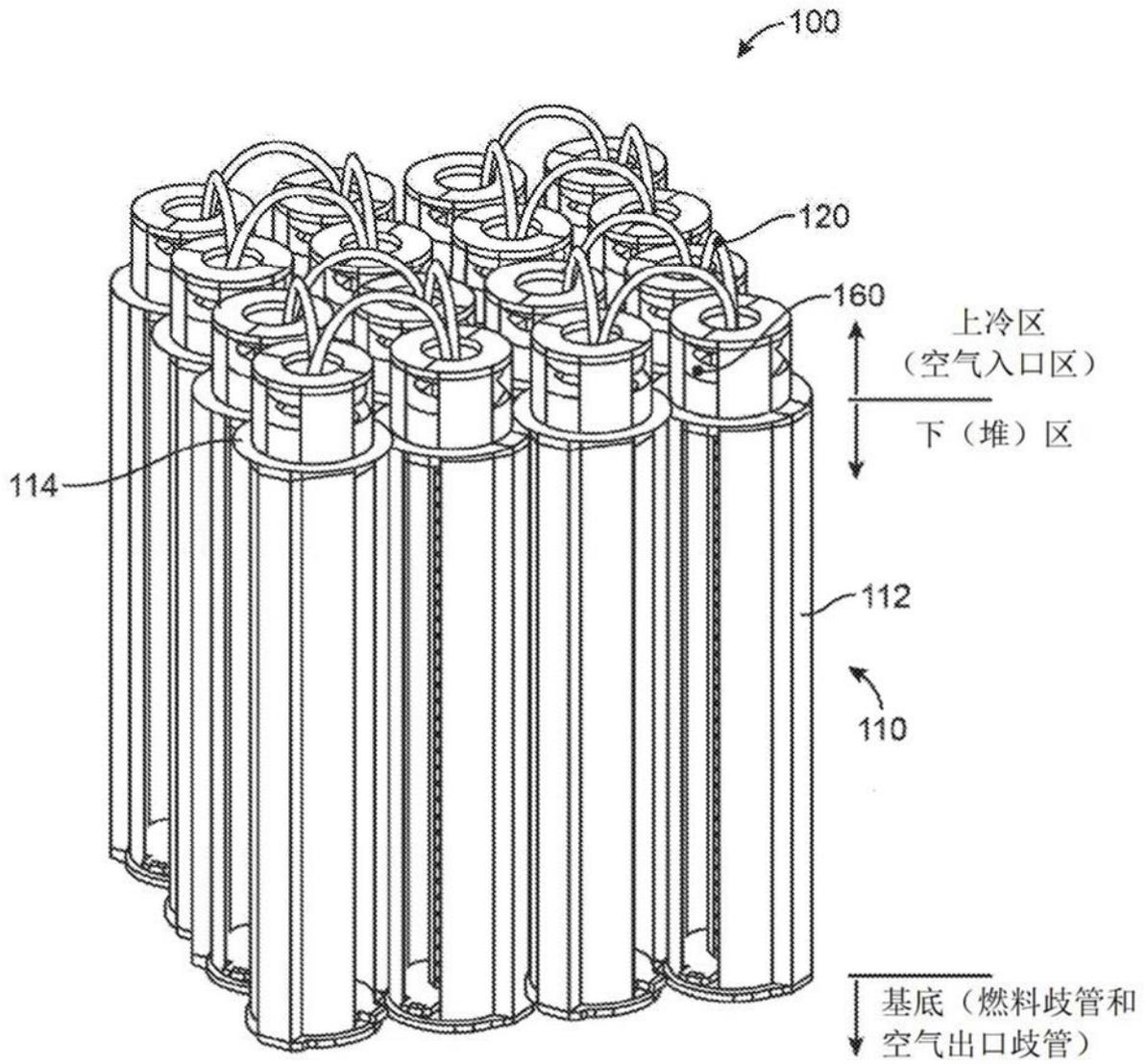


图3

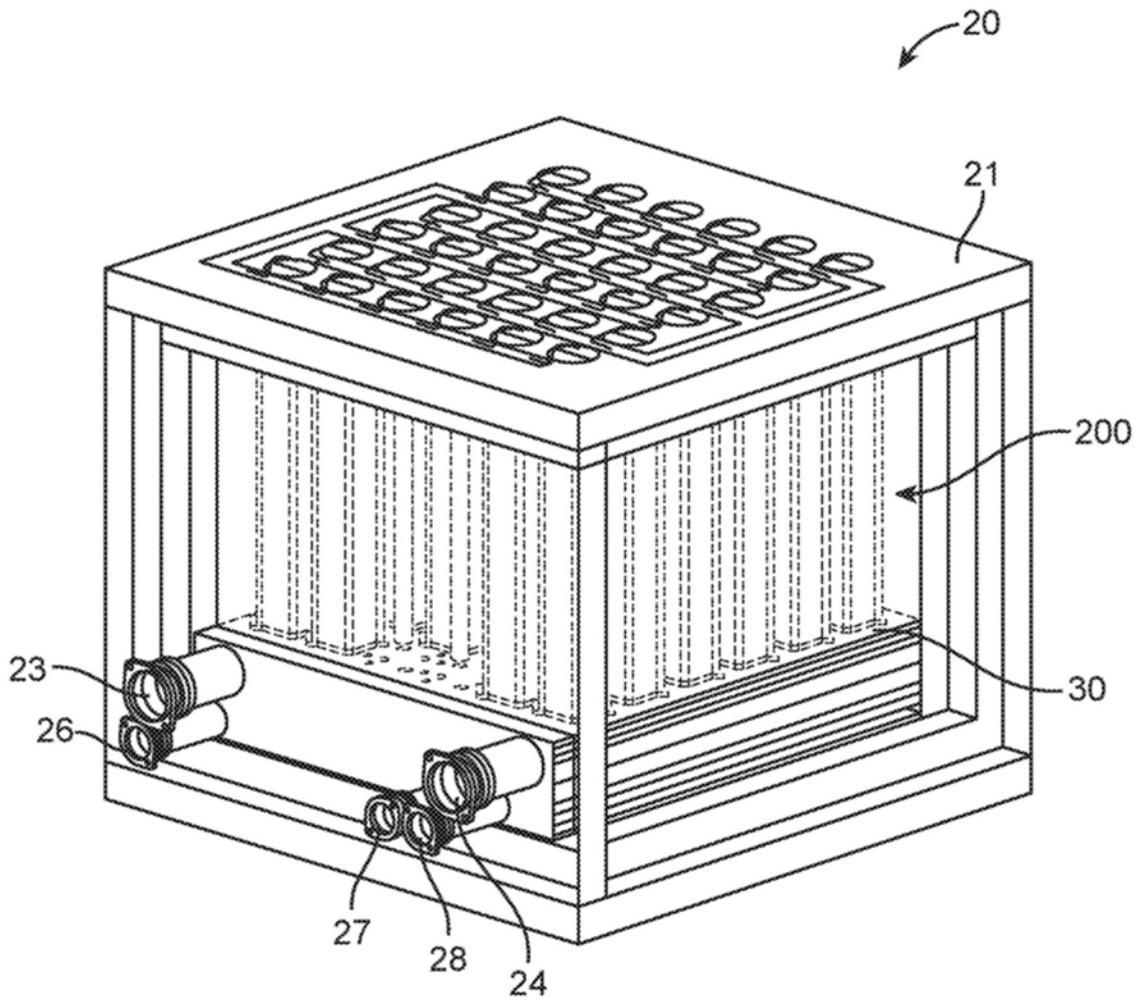


图4A

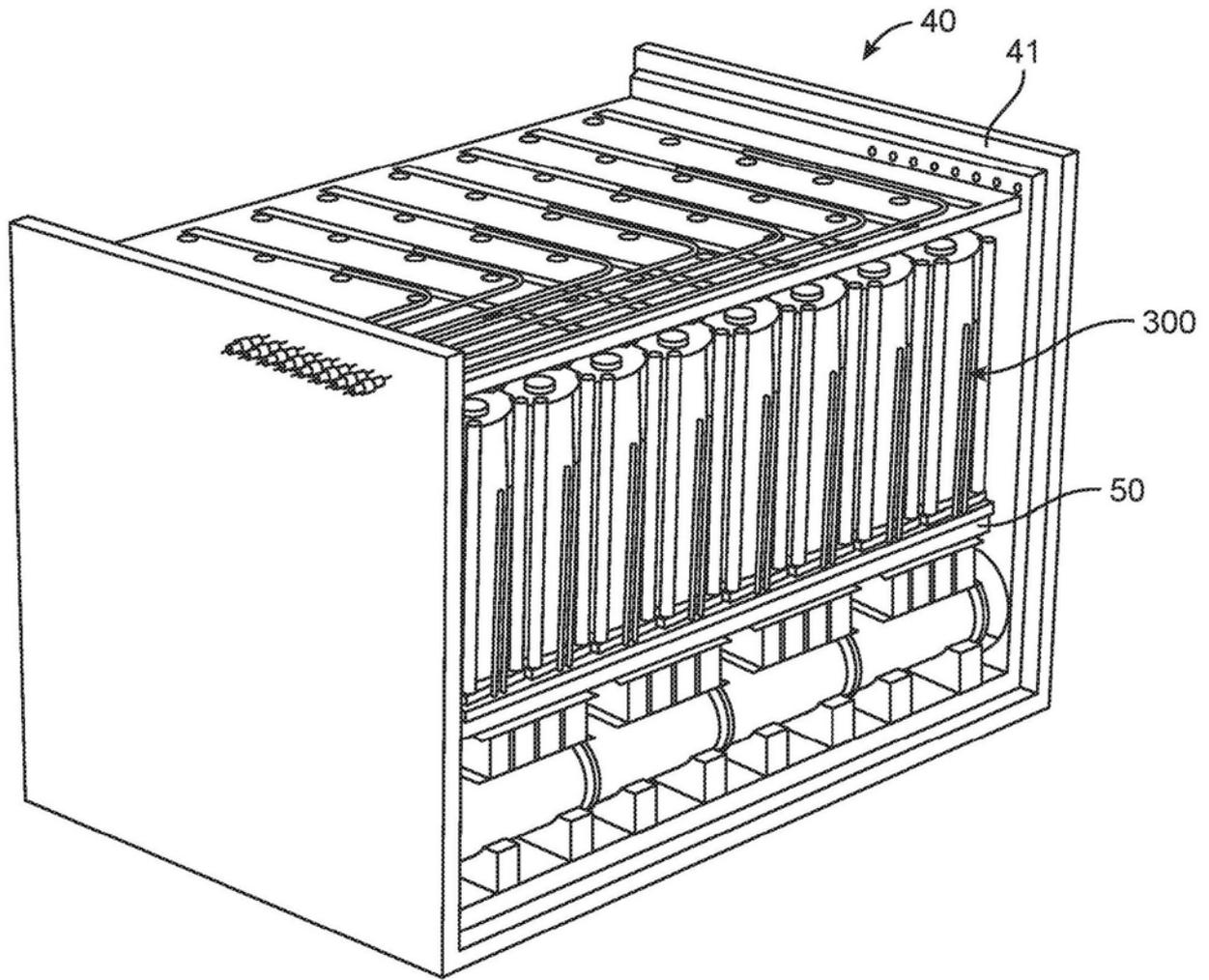


图4B

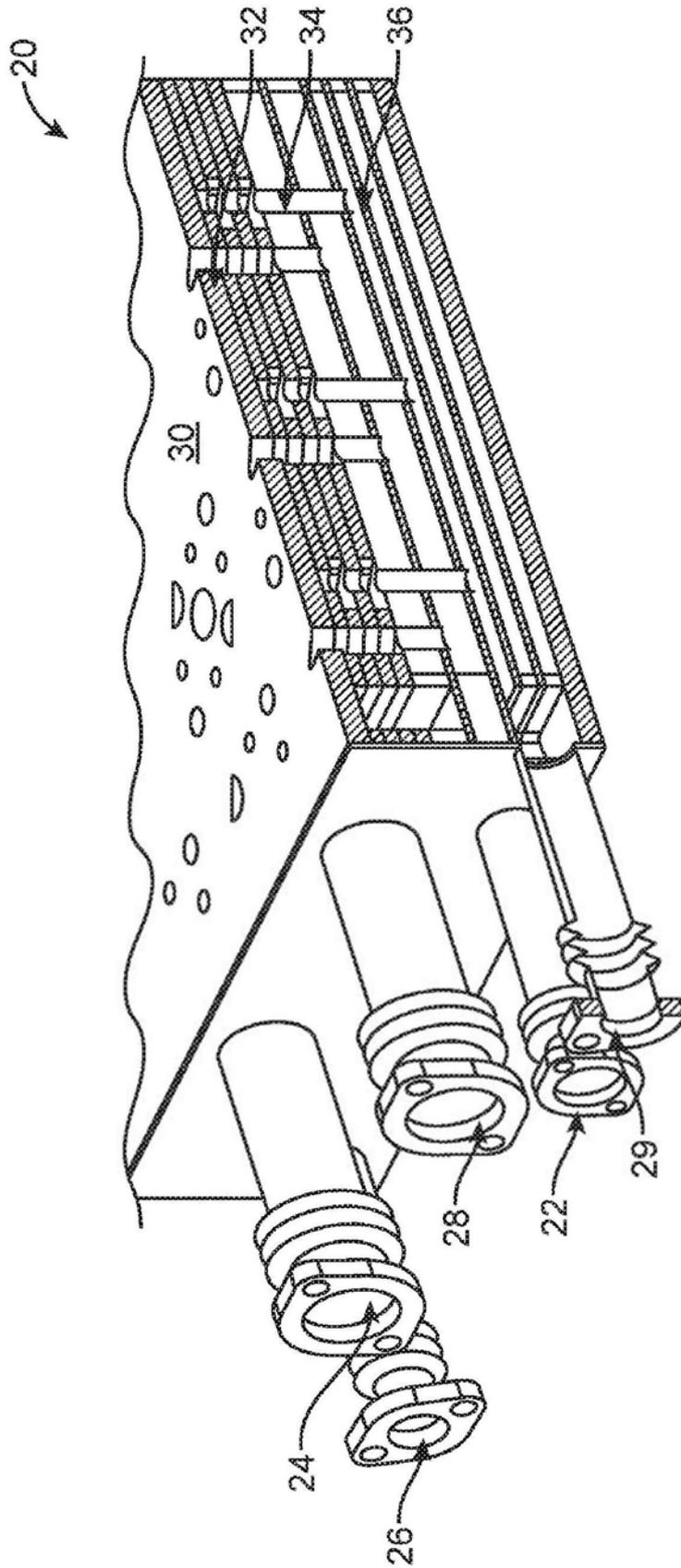


图5A

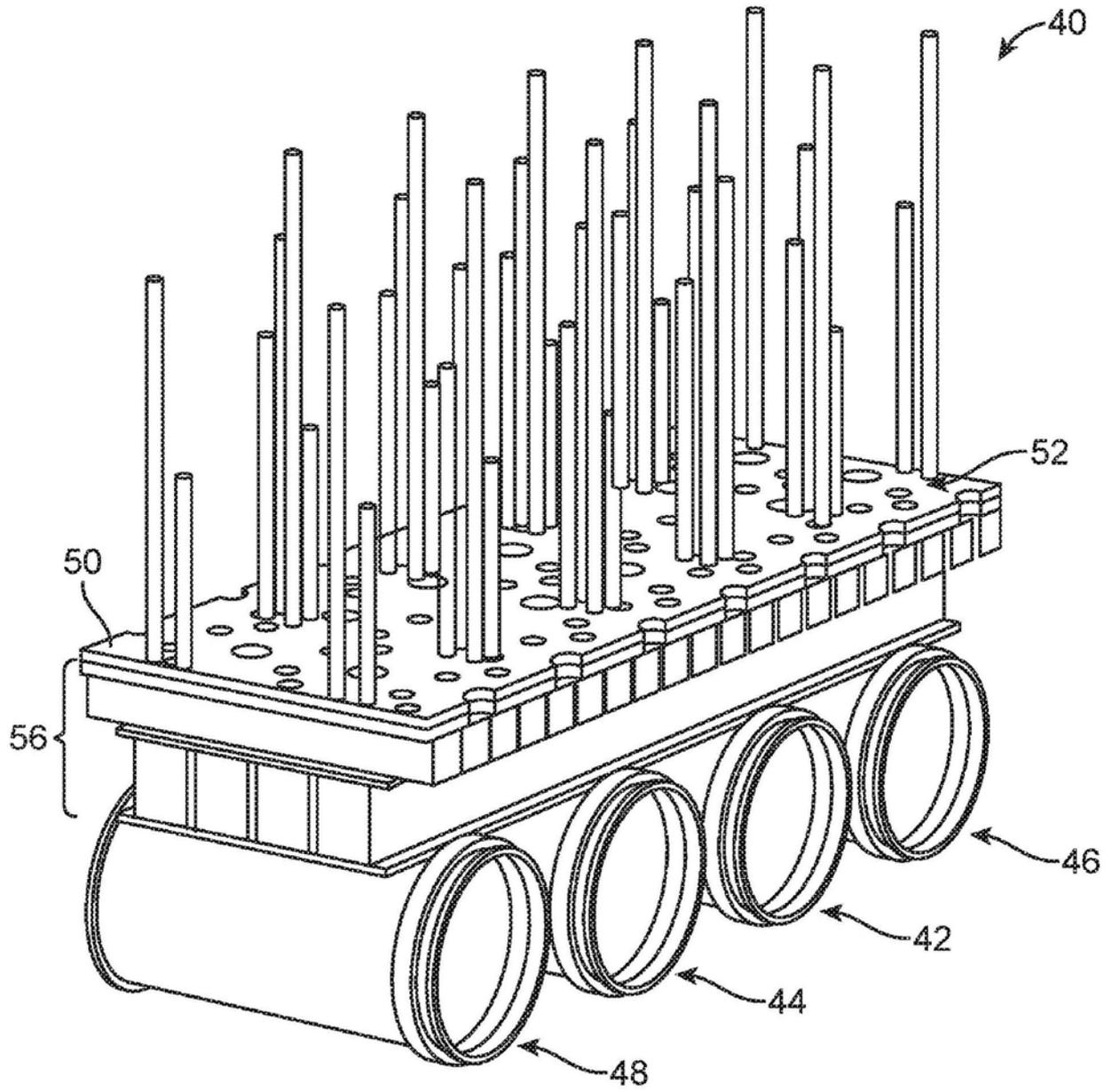


图5B

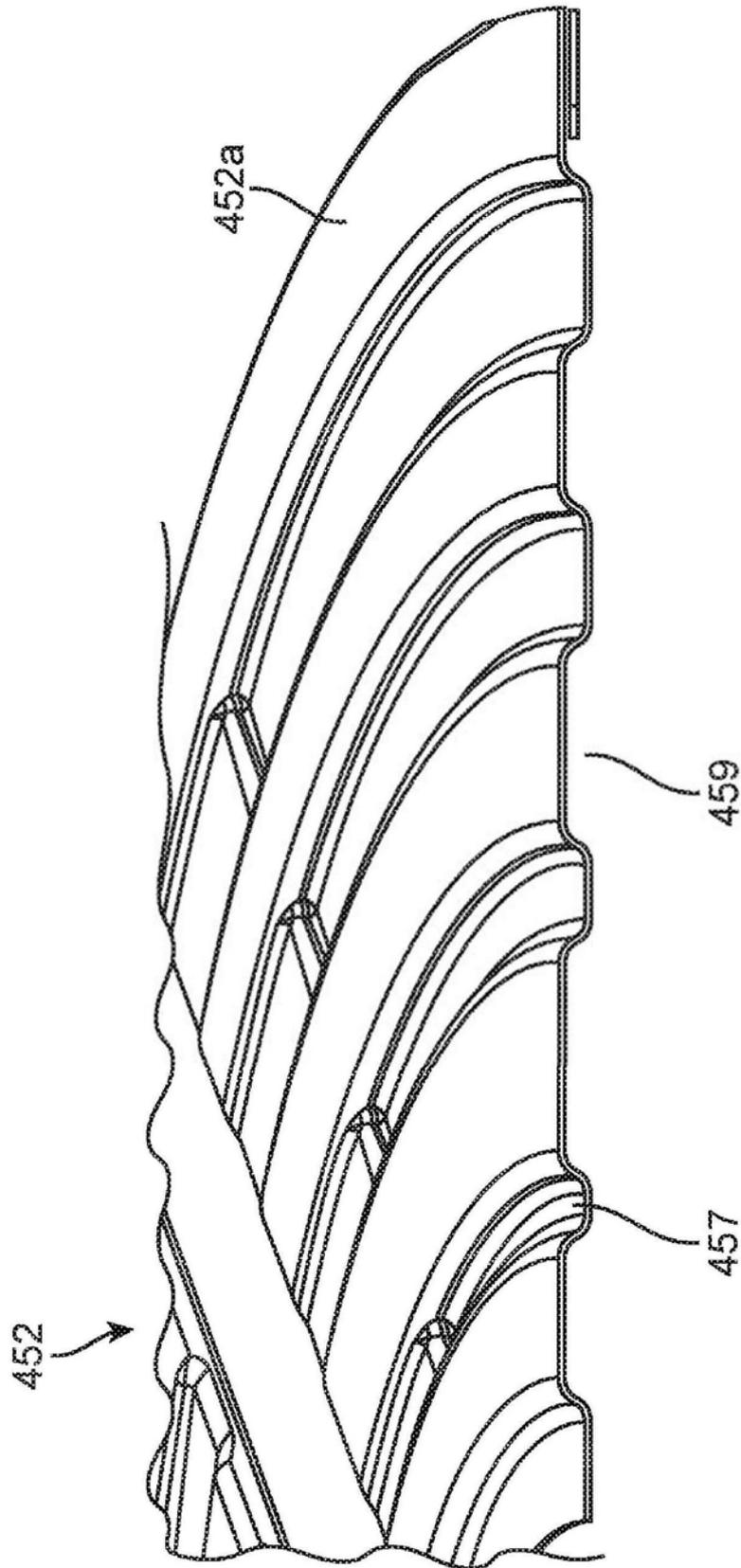


图6

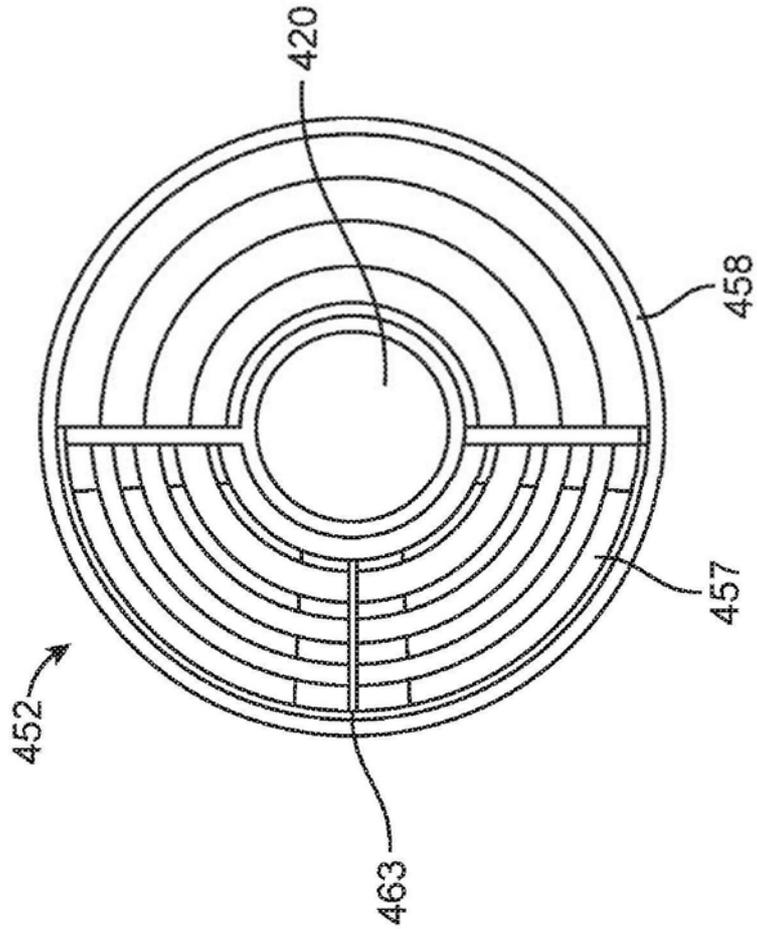


图7A

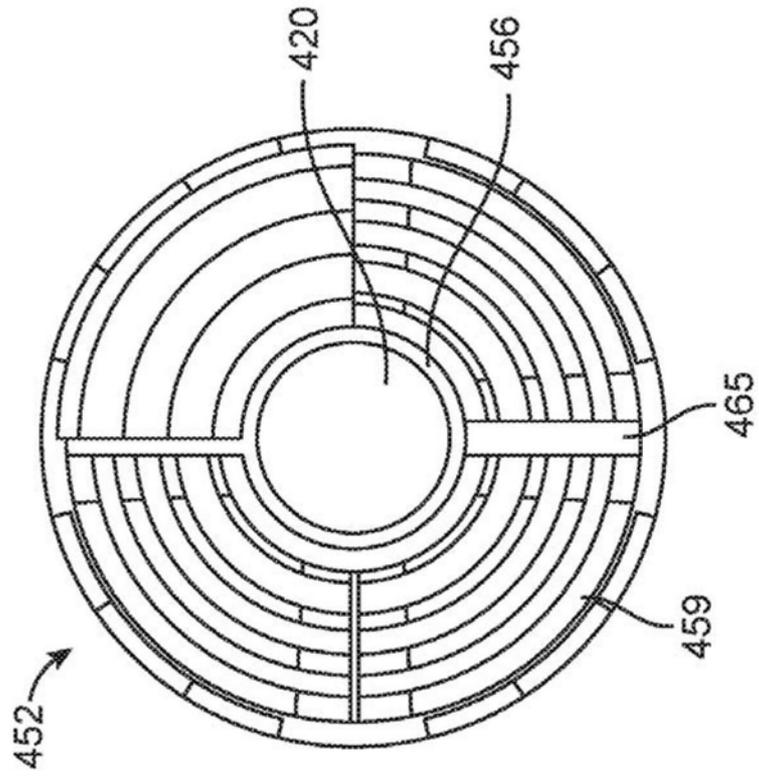


图7B

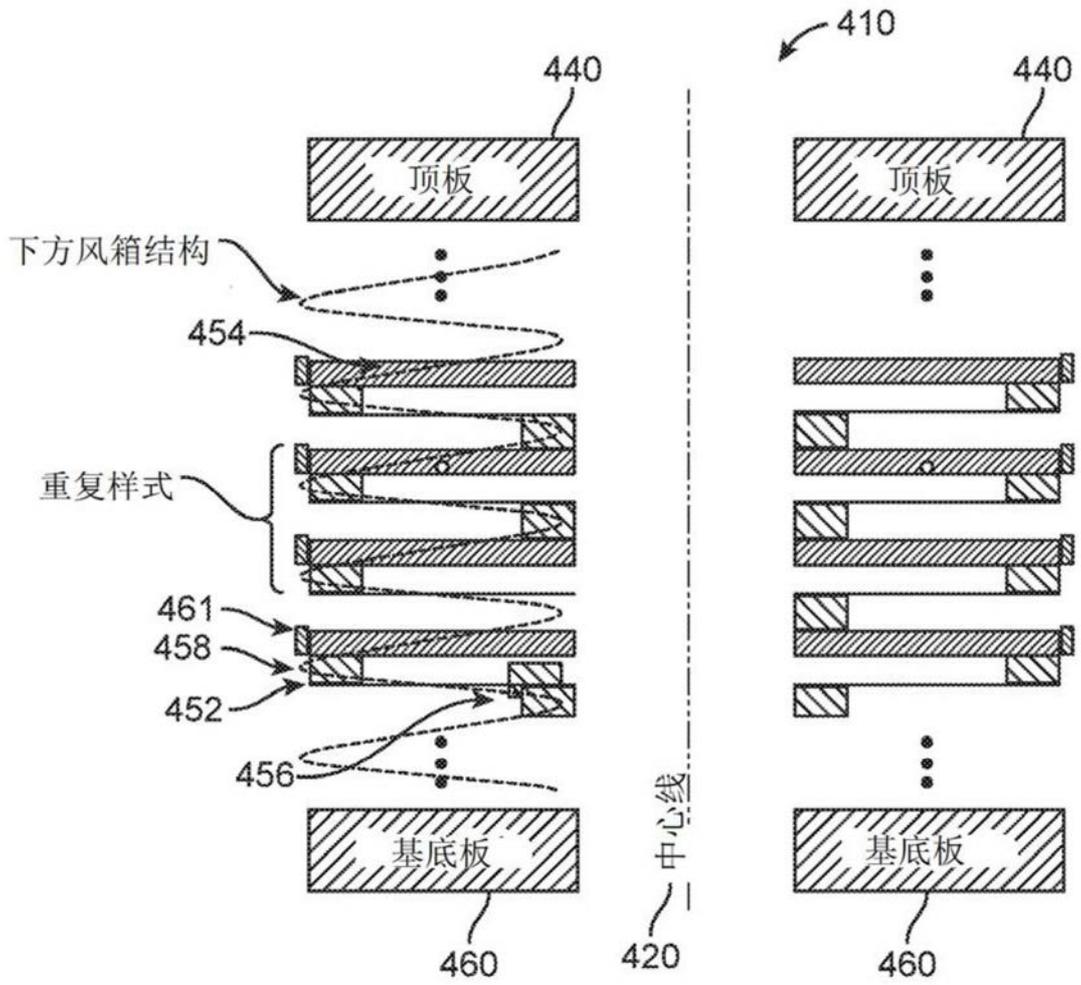


图8

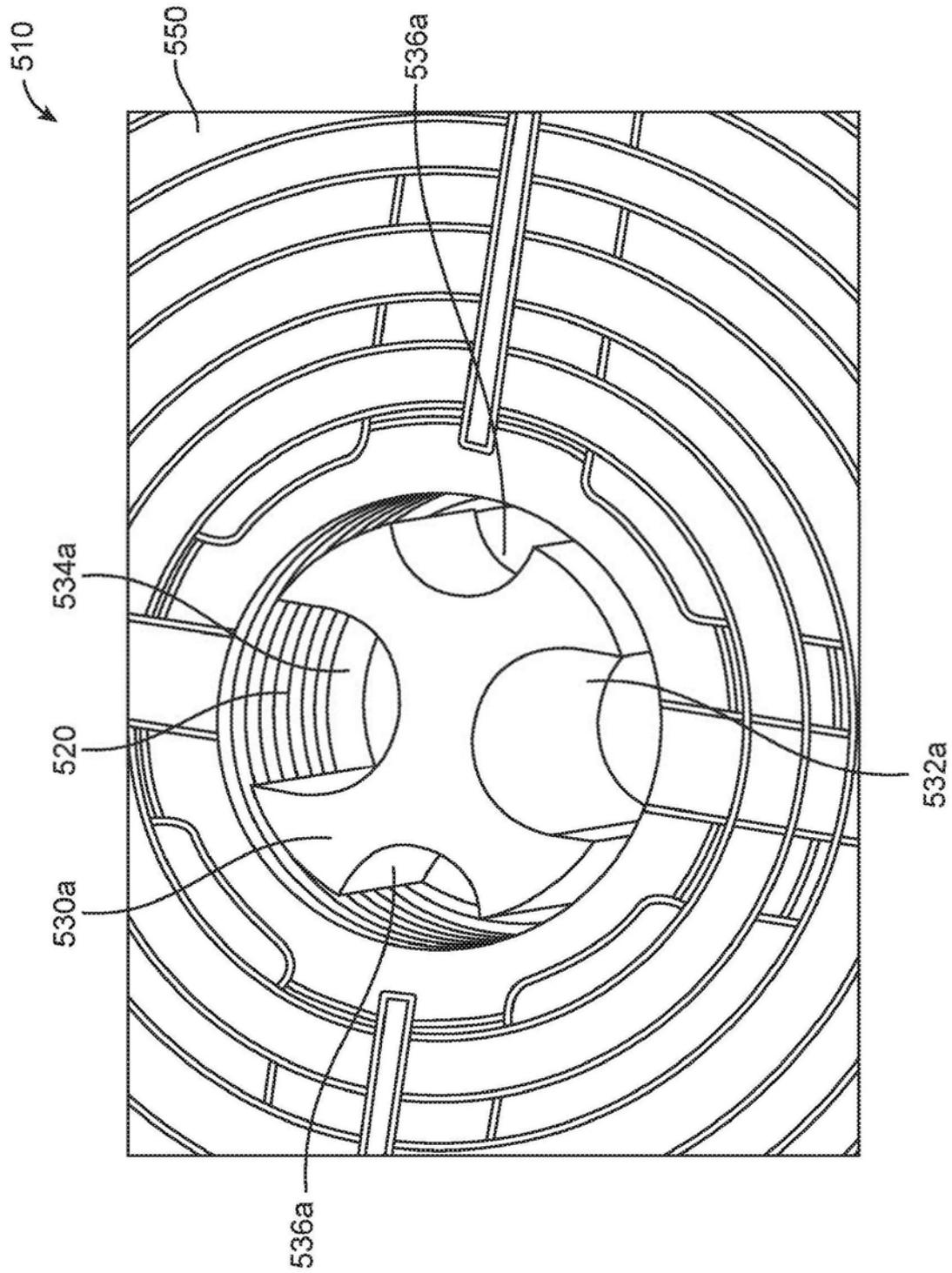


图9A

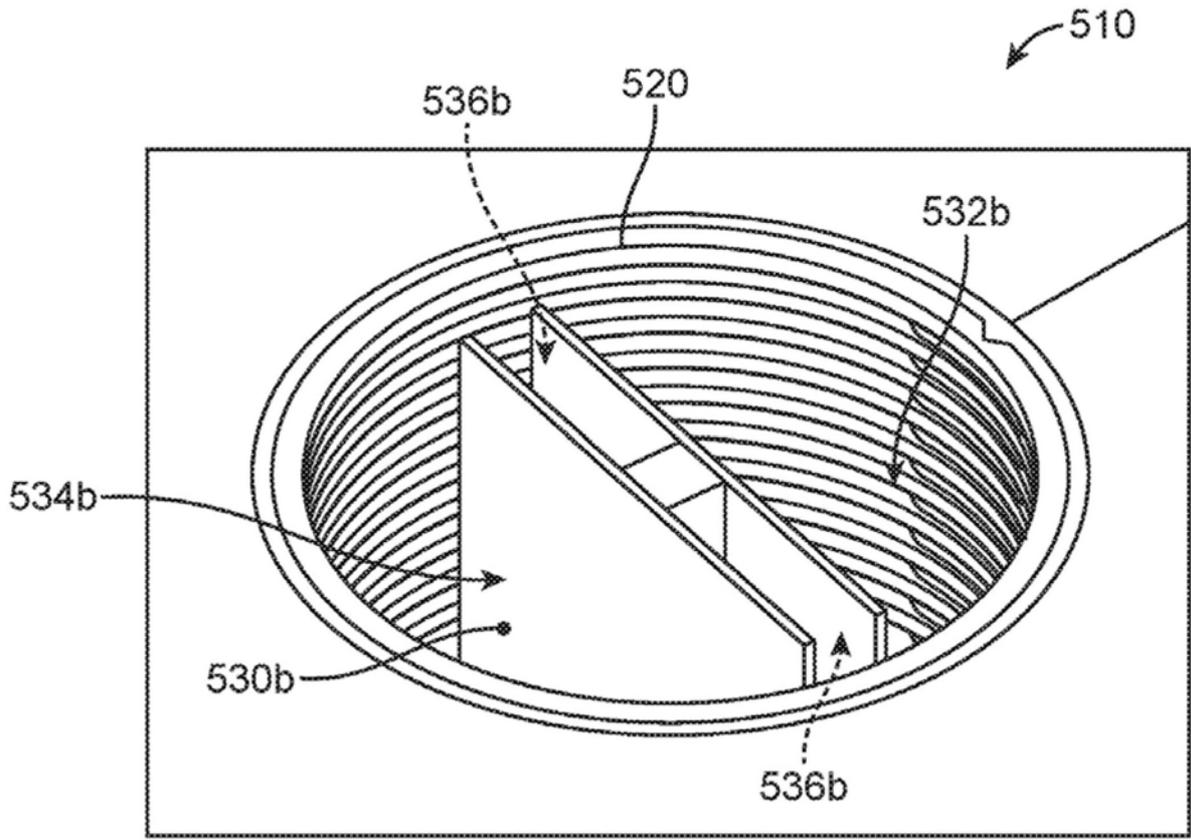


图9B

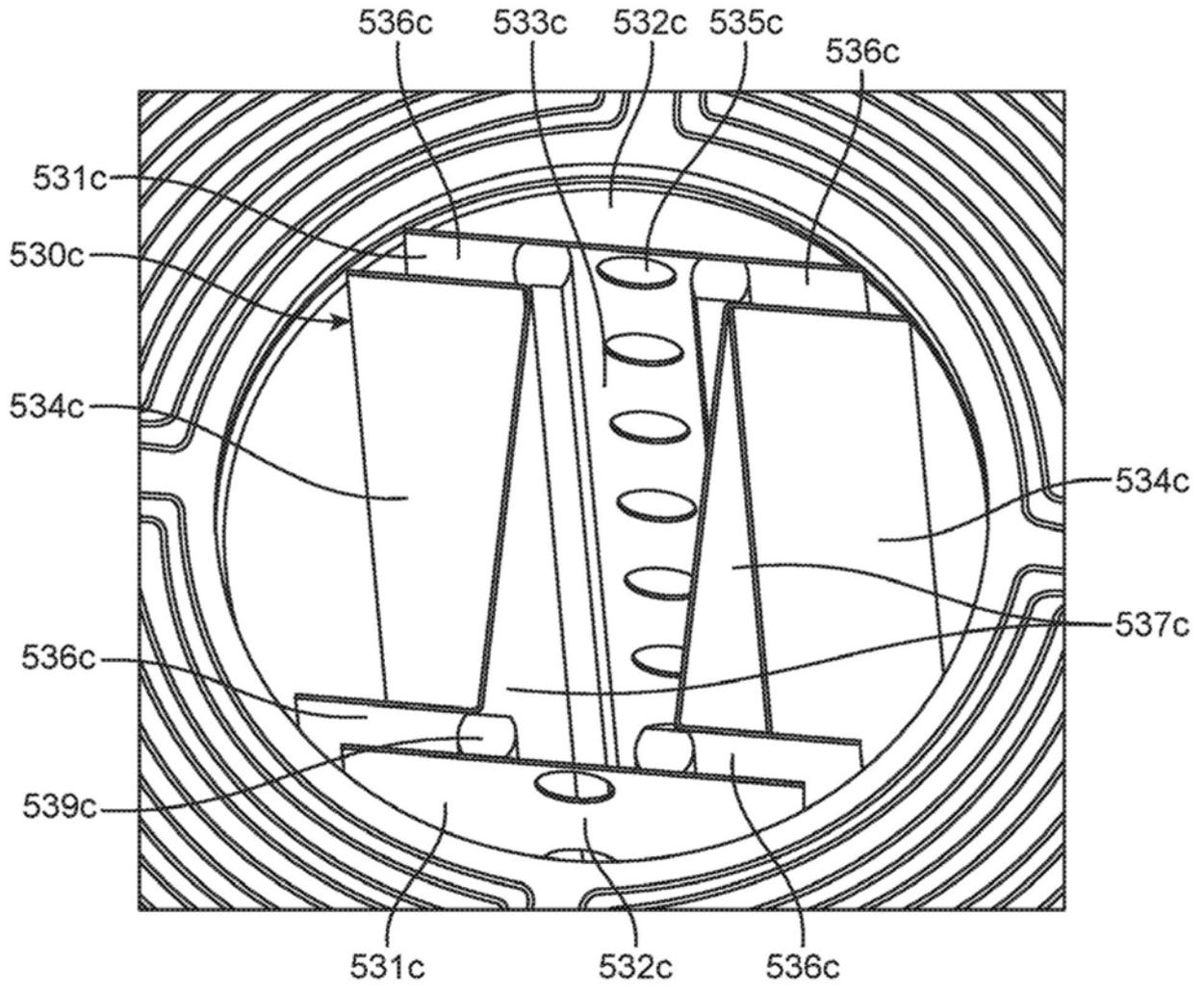


图9C

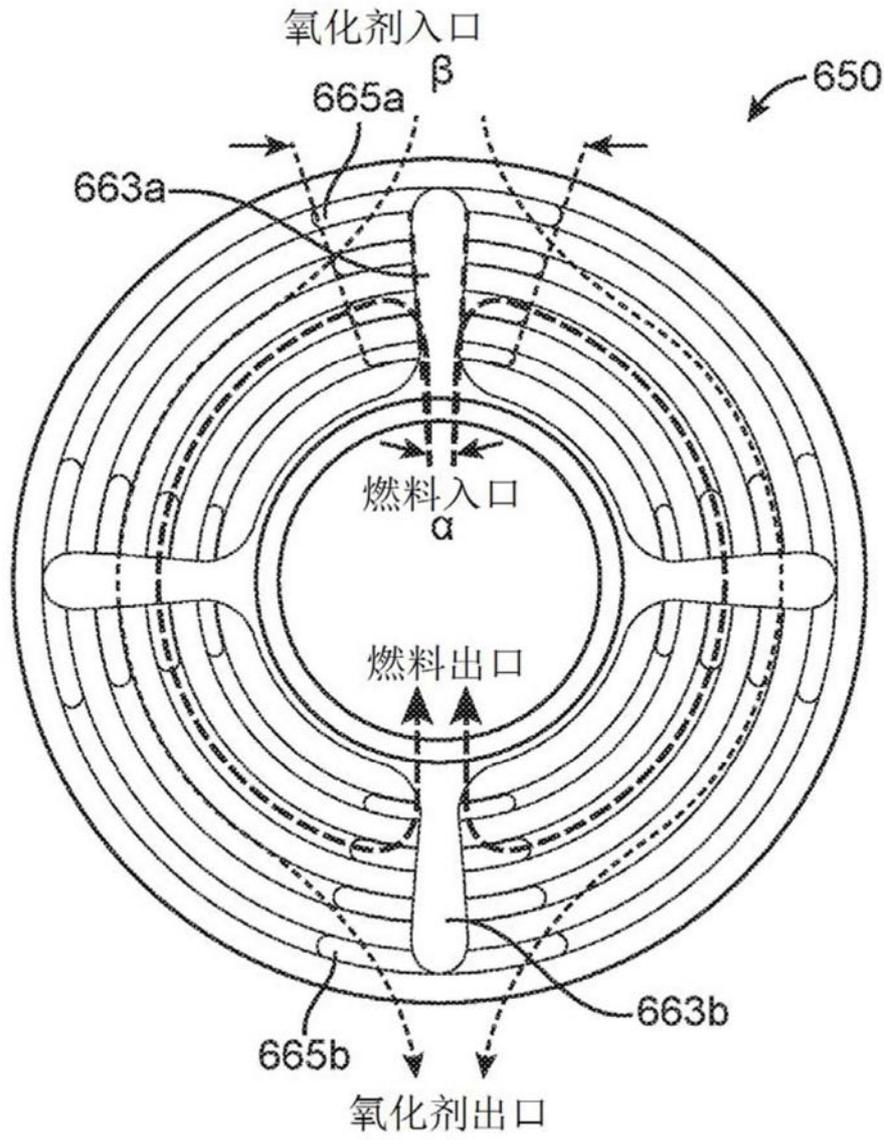


图10

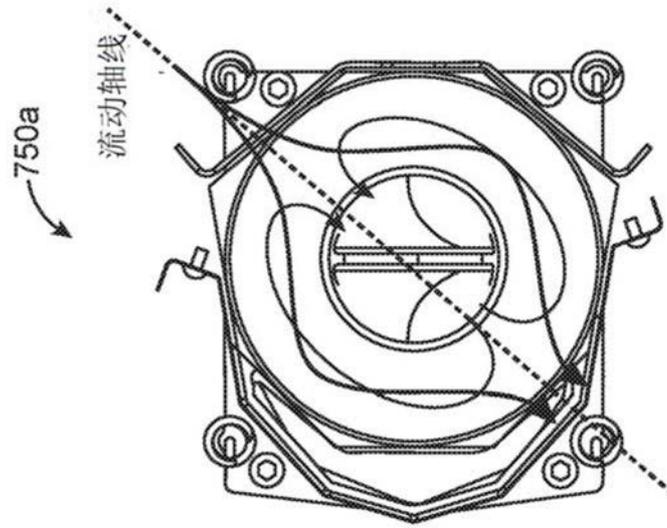


图11

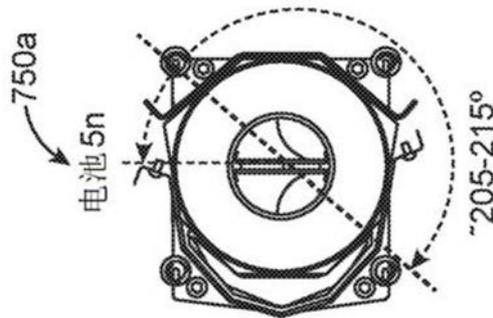


图12A

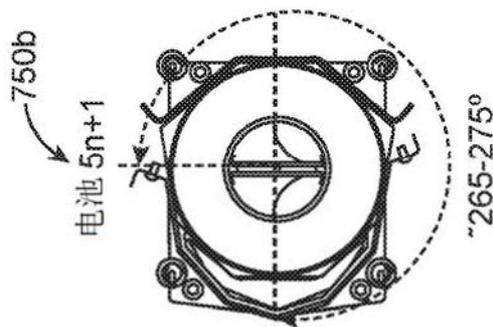


图12B

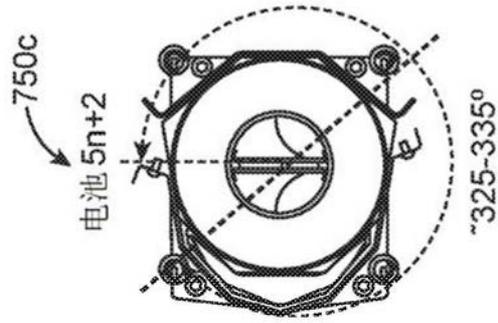


图12C

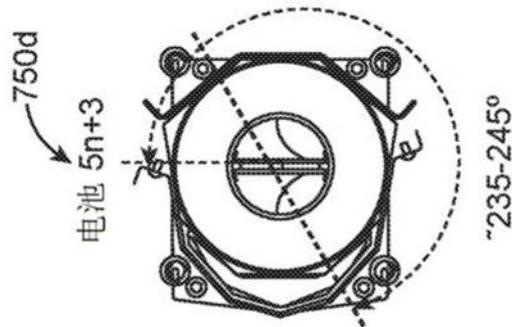


图12D

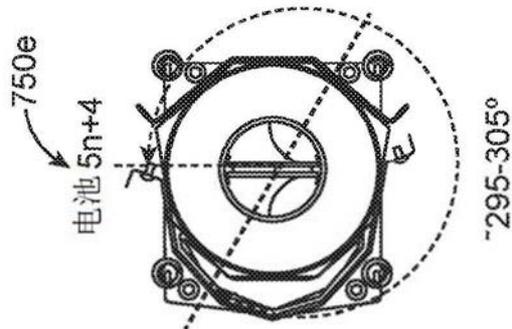


图12E

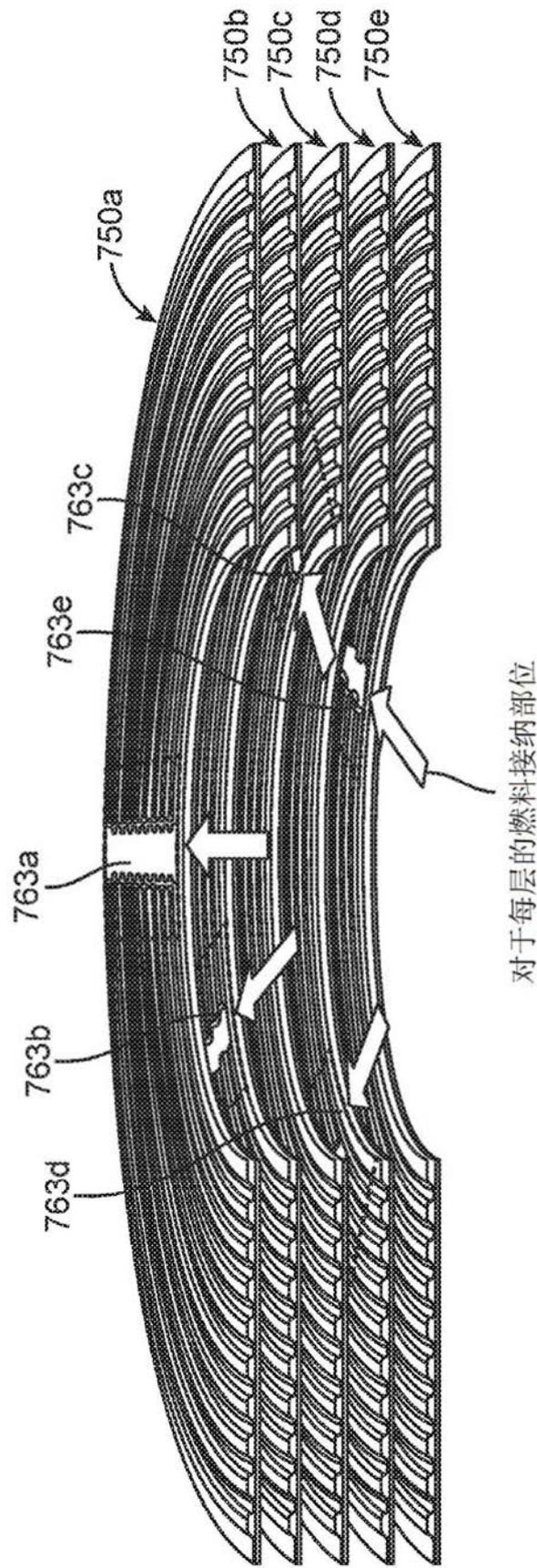


图12F

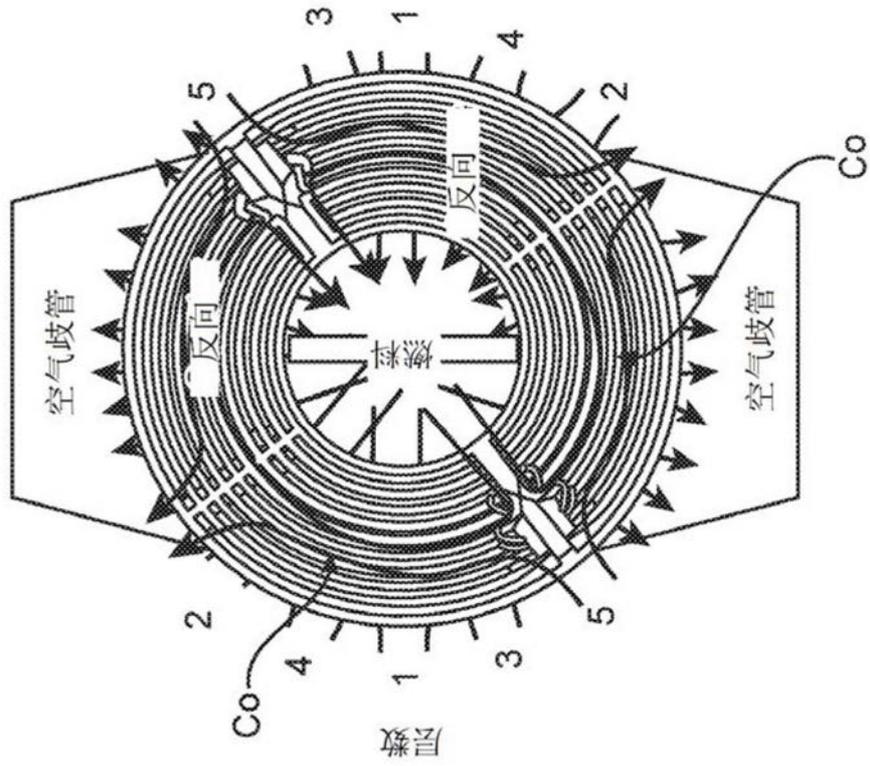


图13

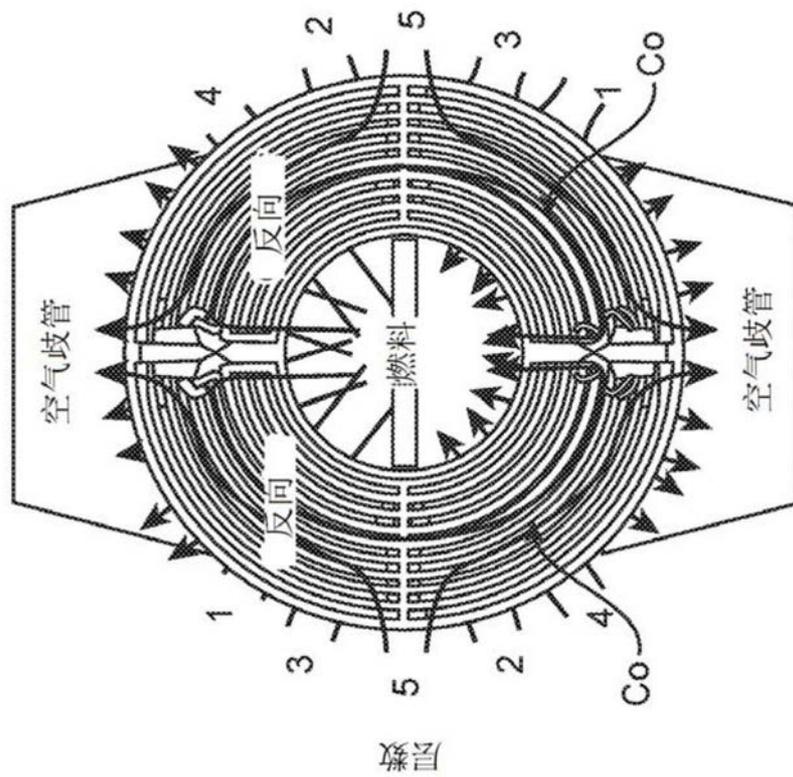


图14

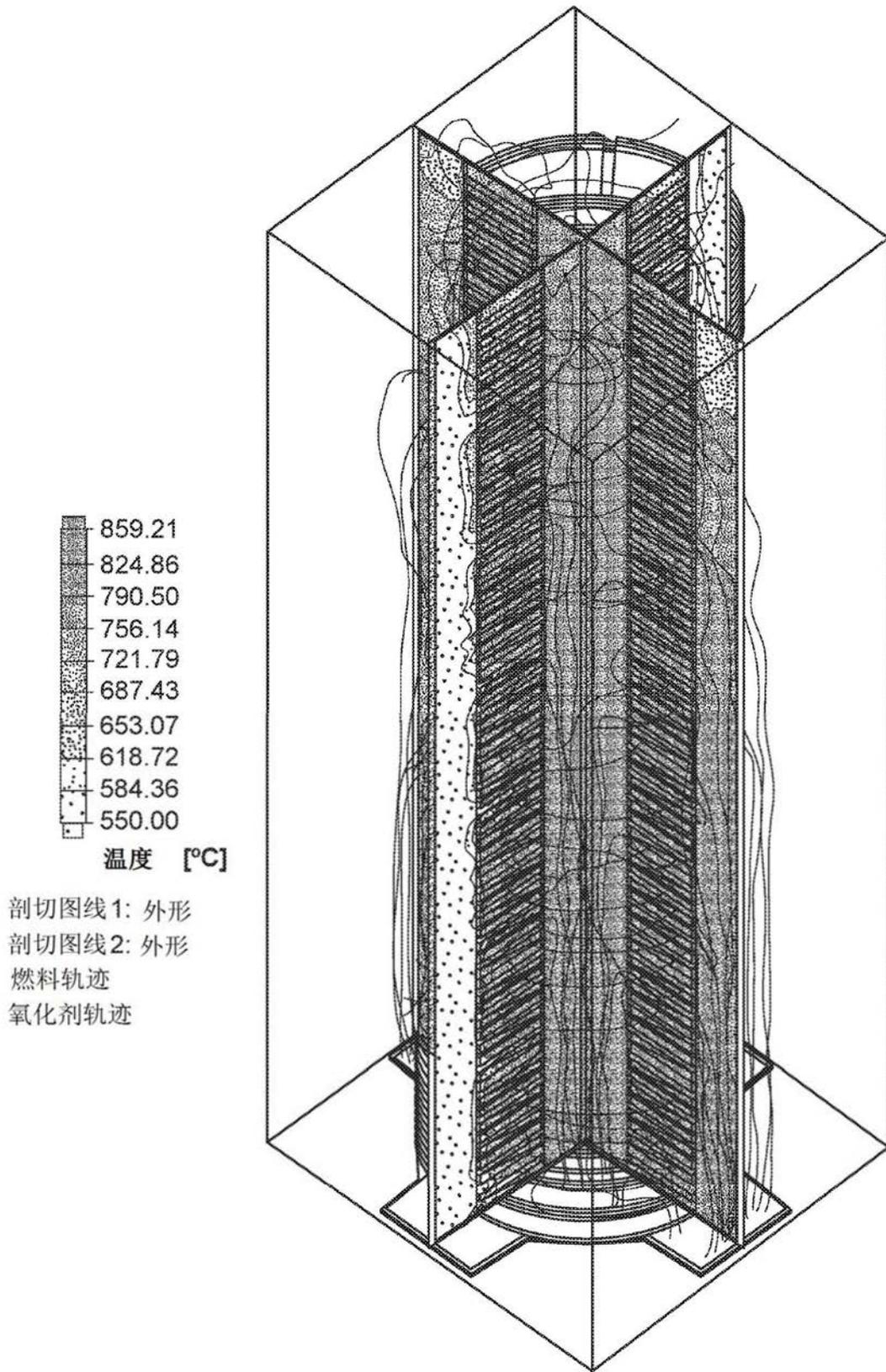


图15

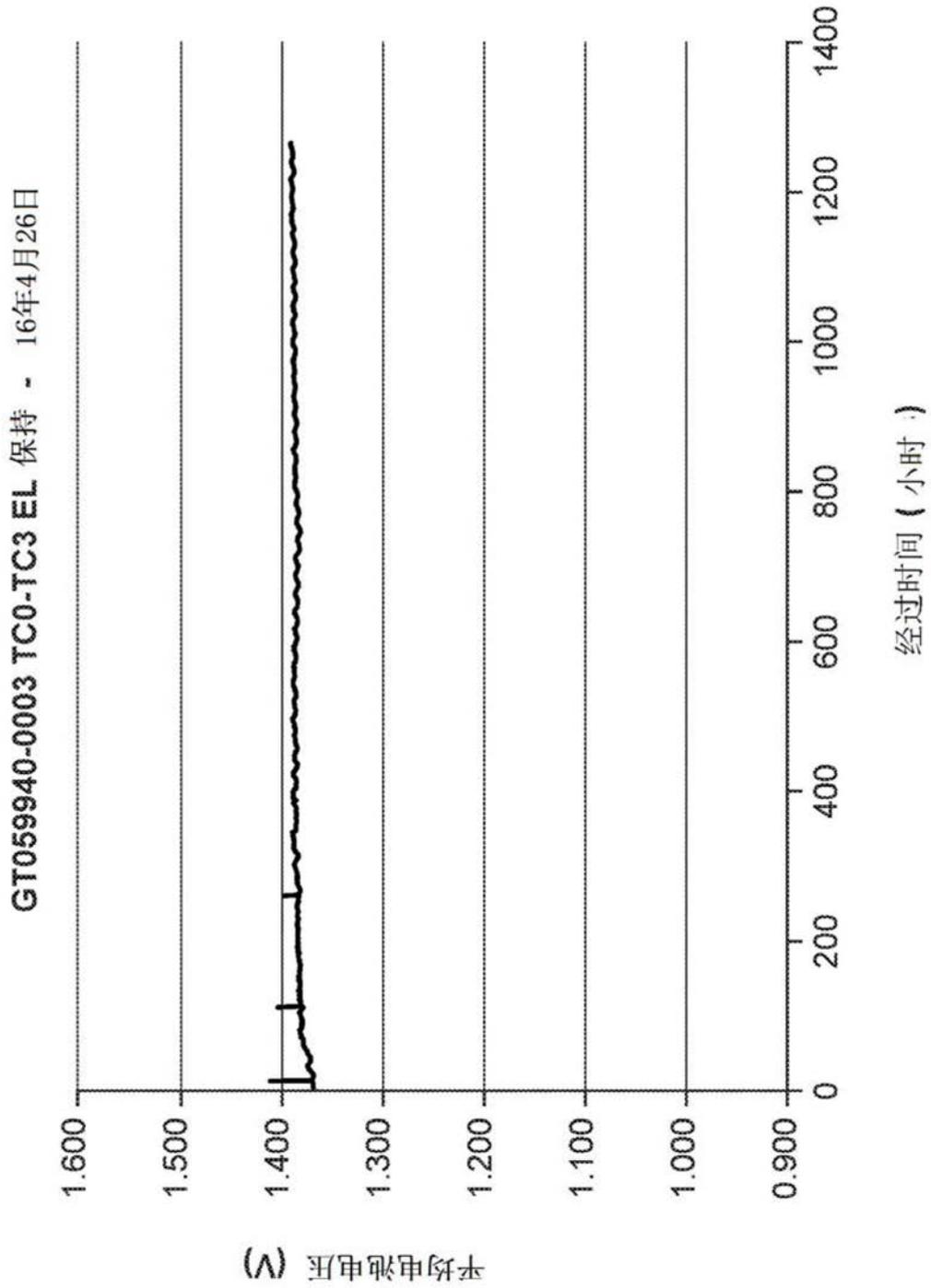


图16

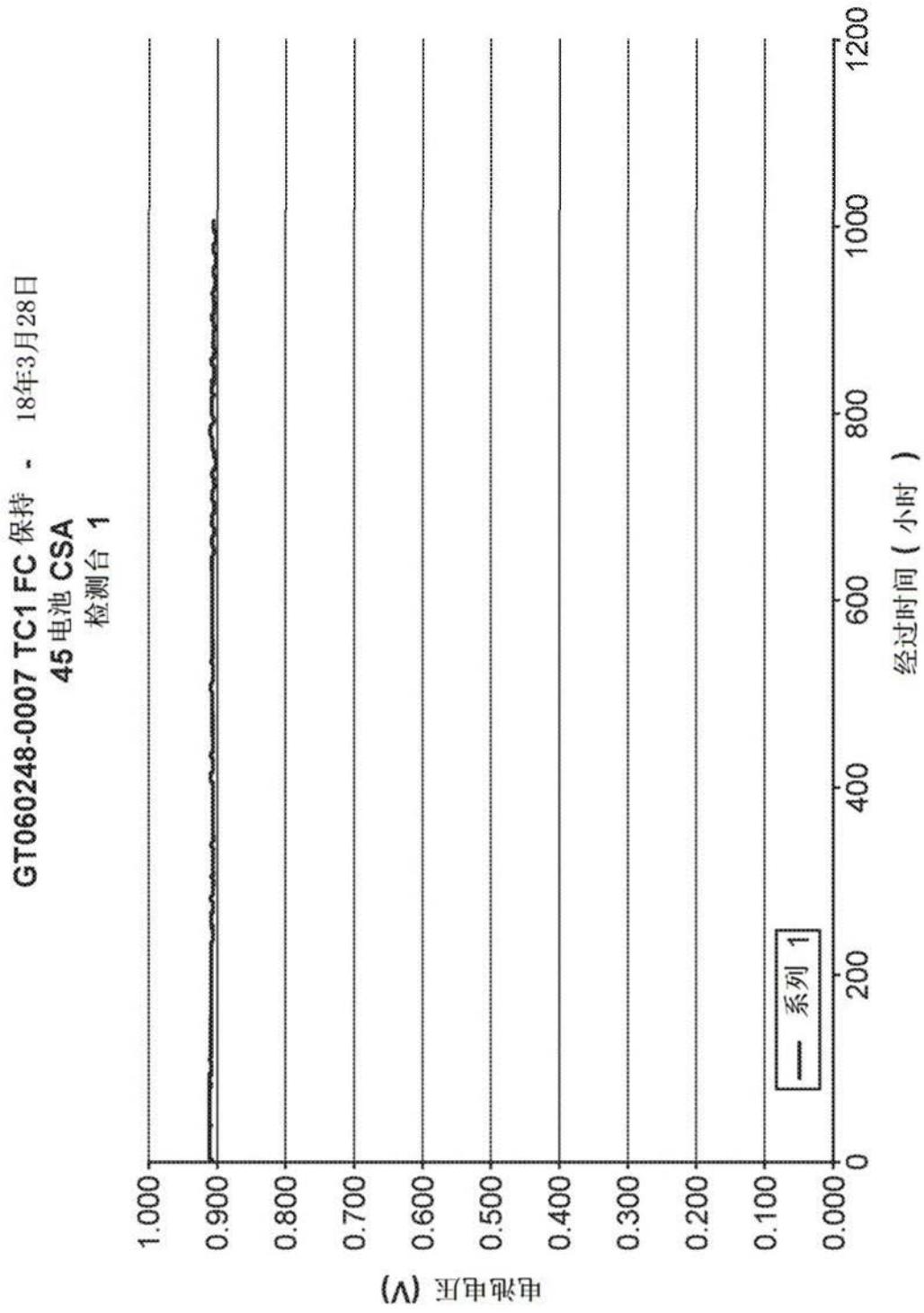


图17

GT060248-0006 TC0-TC1 EL 保持 - 18年2月14日  
45 电池 CSA, 检测台 2

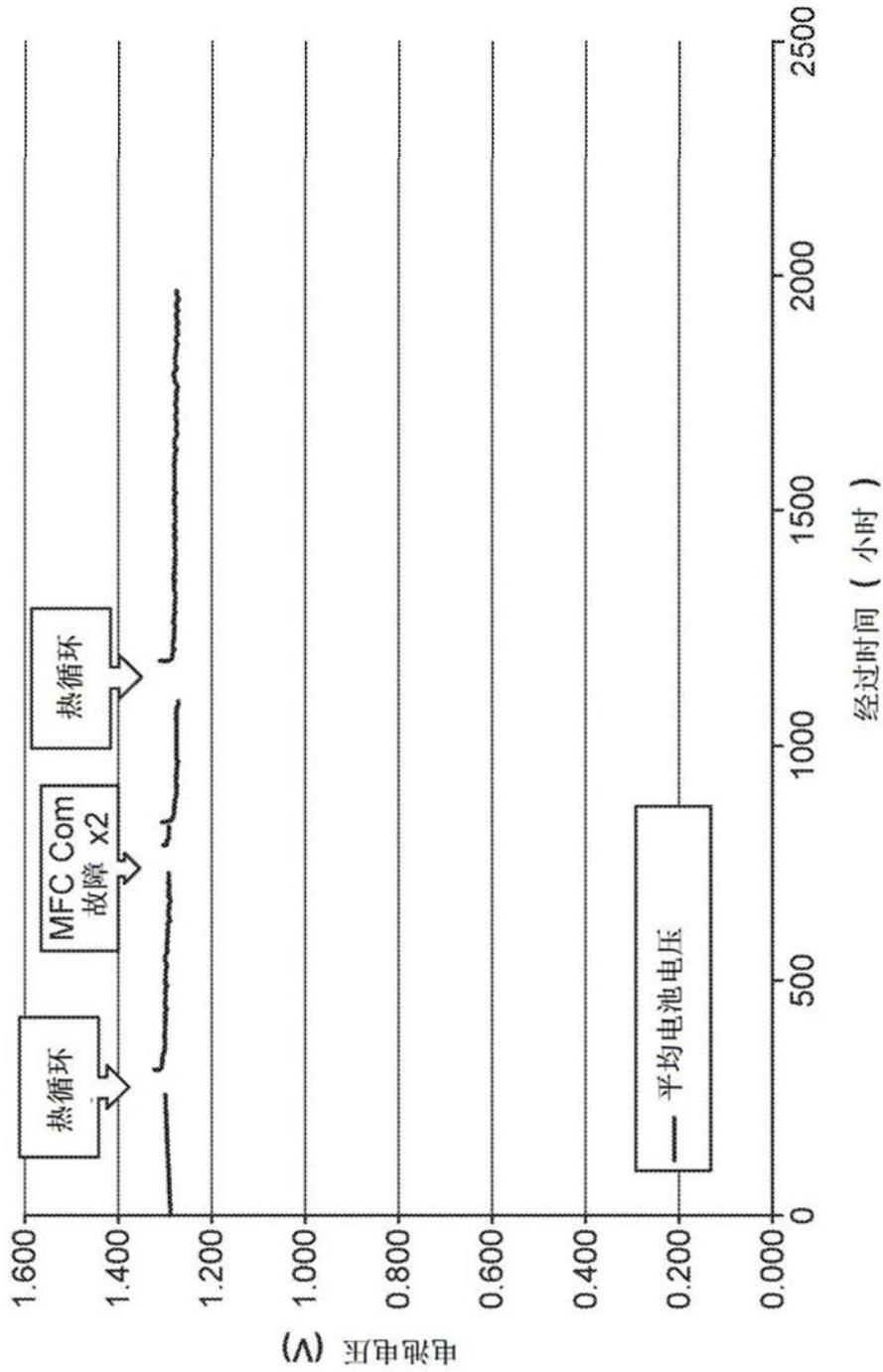


图18