



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116093389 A

(43) 申请公布日 2023. 05. 09

(21) 申请号 202211361699.5

(22) 申请日 2022.11.02

(30) 优先权数据

17/519,996 2021.11.05 US

(71) 申请人 博隆能源股份有限公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 T·阿姆斯特朗 J·雷尔斯巴克

(74) 专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限
责任公司 11287

专利代理师 张世俊

(51) Int. Cl.

H01M 8/1253 (2016.01)

C25B 1/04 (2021.01)

C25B 9/17 (2021.01)

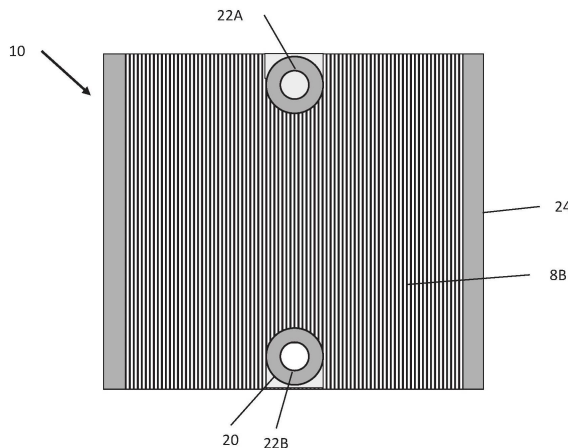
权利要求书2页 说明书6页 附图7页

(54) 发明名称

包含耐电解空气侧电极的固体氧化物电解槽电池

(57) 摘要

一种固体氧化物电解槽电池SOEC包含: 固体氧化物电解质; 燃料侧电极, 其安置在所述电解质的燃料侧上; 及空气侧电极, 其安置在所述电解质的空气侧上。所述空气侧电极包含: 势垒层, 其安置在所述电解质的所述空气侧上且包含第一掺杂氧化铈材料; 及功能层, 其安置在所述势垒层上且包含导电材料及第二掺杂氧化铈材料。



1. 一种固体氧化物电解槽电池SOEC,其包括:
 固体氧化物电解质;
 燃料侧电极,其安置在所述电解质的燃料侧上;及
 空气侧电极,其安置在所述电解质的空气侧上,所述空气侧电极包括:
 势垒层,其安置在所述电解质的所述空气侧上且包括第一掺杂氧化铈材料;及
 功能层,其安置在所述势垒层上且包括导电材料及第二掺杂氧化铈材料。
2. 根据权利要求1所述的SOEC,其中所述第一及第二掺杂氧化铈材料独立地选自钐掺杂氧化铈SDC材料及钆掺杂氧化铈GDC材料。
3. 根据权利要求2所述的SOEC,其中:
 所述势垒层包括所述SDC材料;且
 所述SDC材料由式 $Ce_{1-x}Sm_xO_{2-d}$ 表示,其中x是在从0.1到0.3的范围内,且d是在从0到0.2的范围内。
4. 根据权利要求3所述的SOEC,其中所述功能层包括所述SDC材料。
5. 根据权利要求3所述的SOEC,其中:
 所述功能层包括所述GDC材料;且
 所述GDC材料由式 $Ce_{1-y}Gd_yO_{2-d}$ 表示,其中y是在从0.1到0.3的范围内,且d是在从0到0.2的范围内。
6. 根据权利要求3所述的SOEC,其中所述SDC材料包括 $Ce_{0.8}Sm_{0.2}O_{2-d}$ 、 $Ce_{0.9}Sm_{0.1}O_{2-d}$ 或 $Ce_{0.7}Sm_{0.3}O_{2-d}$,其中d是在从0到0.1的范围内。
7. 根据权利要求2所述的SOEC,其中:
 所述势垒层包括所述GDC材料;且
 所述GDC材料由式 $Ce_{1-y}Gd_yO_{2-d}$ 表示,其中y是在从0.1到0.3的范围内,且d是在从0到0.2的范围内。
8. 根据权利要求7所述的SOEC,其中所述功能层包括所述GDC材料。
9. 根据权利要求7所述的SOEC,其中:
 所述功能层包括所述SDC材料;且
 所述SDC材料由式 $Ce_{1-x}Sm_xO_{2-d}$ 表示,其中x是在从0.1到0.3的范围内,且d是在从0到0.2的范围内。
10. 根据权利要求7所述的SOEC,其中所述GDC材料包括 $Ce_{0.9}Gd_{0.1}O_{2-d}$ 、 $Ce_{0.8}Gd_{0.2}O_{2-d}$ 或 $Ce_{0.7}Gd_{0.3}O_{2-d}$,其中d是在从0到0.1的范围内。
11. 根据权利要求2所述的SOEC,其中所述导电材料包括由式 $(La_{1-z}Sr_z)_qMnO_{3-d}$ 表示的镧锶锰酸盐LSM,其中z是在0.1到0.4的范围内,q是在从0.94到1的范围内,且d是在0到0.2的范围内。
12. 根据权利要求11所述的SOEC,其中所述LSM包括 $La_{0.8}Sr_{0.2}MnO_{3-d}$ 或 $(La_{0.8}Sr_{0.2})_{0.98}MnO_{3-d}$,其中d是在从0到0.1的范围内。
13. 根据权利要求2所述的SOEC,其中所述导电材料包括由式 $(La_xSr_{1-x})_yCo_zFe_{1-z}O_{3-\delta}$ 表示的镧锶钴铁氧体LSCF,其中x是在从0.4到0.8的范围内,y是在从0.94到1.0的范围内,z是在从0.01到0.99的范围内,且 δ 是在从0到0.1的范围内的平衡缺氧量。
14. 根据权利要求13所述的SOEC,其中所述LSCF包括 $La_{0.58}Sr_{0.4}Co_{0.2}Fe_{0.8}O_{3-\delta}$ 。

15. 根据权利要求13所述的SOEC,其中所述LSCF包括 $(\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4})_{0.98}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$ 。

16. 根据权利要求13所述的SOEC,其中所述LSCF包括 $(\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4})_{0.95}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$ 。

17. 根据权利要求2所述的SOEC,其中:

所述功能层包括至少10重量百分比(wt.%)的所述导电材料及至少10wt.%的所述第二掺杂氧化铈材料;且

所述势垒层包括至少95原子百分比的所述SDC材料或所述GDC材料中的至少一者。

18. 根据权利要求1所述的SOEC,其中:

所述空气侧电极进一步包括位于所述功能层上的导电接触层;且

所述SOEC包括经配置以在燃料电池模式及电解模式中交替地操作的固体氧化物再生燃料电池。

19. 根据权利要求1所述的SOEC,其中:

所述固体氧化物电解质包括稳定氧化锆材料;且

所述燃料侧电极包括金属陶瓷,所述金属陶瓷包括含镍相及含掺杂氧化铈相。

20. 一种固体氧化物电解槽电池SOEC堆叠,其包括:

互连件;及

根据权利要求1所述的多个SOEC,其通过所述互连件分离,

其中所述SOEC堆叠经配置以在燃料电池模式及电解模式中交替地操作。

包含耐电解空气侧电极的固体氧化物电解槽电池

技术领域

[0001] 本公开大体上涉及固体氧化物电解槽电池,且具体来说,涉及包含耐电解空气侧电极的电解槽电池。

背景技术

[0002] 固体氧化物可逆燃料电池(SORFC)系统可在燃料电池模式中操作以通过氧化燃料来发电。SORFC系统也可在电解模式中操作以通过电解水来产生氢气。然而,现有技术的SORFC可能由于电解过程期间可能发生的电池电压增加而遭受空气侧电极退化。

发明内容

[0003] 根据各个实施例,一种固体氧化物电解槽电池(SOEC)包括:固体氧化物电解质;燃料侧电极,其安置在所述电解质的燃料侧上;及空气侧电极,其安置在所述电解质的空气侧上。所述空气侧电极包括:势垒层,其安置在所述电解质的所述空气侧上且包括第一掺杂氧化铈材料;及功能层,其安置在所述势垒层上且包括导电材料及第二掺杂氧化铈材料。

附图说明

[0004] 图1A是根据本公开的各个实施例的SOEC堆叠的透视图。

[0005] 图1B是图1A的堆叠的一部分的横截面视图。

[0006] 图2A是根据本公开的各个实施例的互连件的空气侧的平面视图。

[0007] 图2B是图2A的互连件的燃料侧的平面视图。

[0008] 图3A是根据本公开的各个实施例的SOEC电池的空气侧的平面视图。

[0009] 图3B是图3A的SOEC电池的燃料侧的平面视图。

[0010] 图4是展示空气电极层离的照片。

[0011] 图5是根据本公开的各个实施例的包含耐电解SOEC电池的SOEC堆叠的横截面视图。

[0012] 图6A是展示根据本公开的各个实施例的SOEC电池的空气电极的退化速率的图表。

[0013] 图6B是展示比较性SOEC电池的退化速率的图表。

具体实施方式

[0014] 将参考附图详细地描述各个实施例。贯穿所述附图将尽可能使用相同参考数字来指代相同或类似部件。对特定实例及实施方案的引用是用于说明性目的,且并不意在限制本发明或权利要求书的范围。

[0015] 将理解,当一元件或层被称为“在另一元件或层上”或“连接到另一元件或层”时,所述元件可直接在所述另一元件或层上或直接连接到所述另一元件或层,或可存在中介元件或层。相反,当一元件被称为“直接在另一元件或层上”或“直接连接到另一元件或层”时,不存在中介元件或层。将理解,出于本公开的目的,“X、Y及Z中的至少一者”可被解释为仅X、

仅Y、仅Z,或两个或更多个项目X、Y及Z的任何组合(例如,XYZ、XYY、YZ、ZZ)。

[0016] 在提供值范围的情况下,应理解,除非上下文另有明确地规定,否则那个范围的上限与下限之间的每一中介值到下限单位的十分之一及那个所陈述范围内的任何其它所陈述值或中介值被涵盖在本发明内。这些较小范围的上限及下限可独立地包含在所述较小范围内,也被涵盖在本发明内,服从在所陈述范围内的任何特定排除的限制。在所陈述范围包含所述限制中的一者或两者的情况下,排除那些所包含限制中的任一者或两者的范围也被包含在本发明中。还将理解,术语“约”可指例如5到10%的微小测量误差。另外,如本文中所使用的重量百分比(wt.%)及原子百分比(at.%)分别是指对应组合物的总重量的百分比或原子总数的百分比。

[0017] 例如“此后”、“接着”、“接下来”等的词语不一定意在限制步骤的顺序;这些词语可用来引导读者了解方法的描述。此外,例如使用冠词“一”、“一个”或“所述”对呈单数形式的权利要求元件的任何引用不应被解释为将所述元件限于单数形式。

[0018] 如本文中所使用,术语“电解槽电池堆叠”表示可任选地共享共同进水口及排放通道或立管的多个堆叠式电解槽电池。如本文中所使用,“电解槽电池堆叠”包含不同电实体,所述电实体含有直接连接到电力调节设备及所述堆叠的电力(即,电)输入的两个端板,或包括含有提供电输入的端子板的电解槽电池柱的一部分。

[0019] 图1A是根据本公开的各个实施例的电解槽电池堆叠100的透视图,且图1B是所述堆叠100的一部分的截面视图。参考图1A及1B,堆叠100可为包含通过互连件10分离的固体氧化物电解槽电池1的固体氧化物电解槽电池(SOEC)堆叠。参考图1B,每一电解槽电池1包括空气侧电极3、固体氧化物电解质5及燃料侧电极7。

[0020] 电解槽电池堆叠通常由呈平面元件、管道或其它几何形状的形式多个电解槽电池1构成。尽管图1A中的电解槽电池堆叠100是竖直定向的,但电解槽电池堆叠也可水平定向或沿任何其它方向定向。例如,水可通过形成在每一互连件10及电解槽电池1中的水导管22(例如,水立管开口)提供,而氧气可从所述堆叠的在互连件10的空气侧肋之间的侧提供。

[0021] 每一互连件10电连接堆叠100中的邻近电解槽电池1。特定来说,互连件10可将一个电解槽电池1的燃料侧电极7电连接到邻近电解槽电池1的空气侧电极3。图1B展示下电解槽电池1位于两个互连件10之间。Ni网(未展示)可用来将互连件10电连接到邻近电解槽电池1的燃料侧电极7。

[0022] 每一互连件10包含至少部分地界定燃料通道8A的燃料侧肋12A及至少部分地界定氧化剂(例如,空气)通道8B的空气侧肋12B。互连件10可操作为分离器,其将流动到所述堆叠中的一个电池1的燃料侧电极的水与从所述堆叠中的邻近电池1的空气侧电极流动的氧气分离。在堆叠100的任一端处,可存在空气端板或燃料端板(未展示)。

[0023] 每一互连件10可由导电材料制成或可含有导电材料,例如金属合金(例如,铬铁合金),所述导电材料具有与电池中的固体氧化物电解质的热膨胀系数类似的热膨胀系数(例如,相差0到10%)。例如,互连件10可包括金属(例如,铬铁合金,例如4到6重量百分比的铁(例如,5wt.%的铁)、任选地1或更小重量百分比的钇及余量的铬合金),且可将一个电解槽电池1的燃料侧电极7电连接到邻近电解槽电池1的空气侧电极3。

[0024] 图2A是根据本公开的各个实施例的互连件10的空气侧的俯视图,且图2B是互连件10的燃料侧的俯视图。参考图1B及2A,空气侧包含从互连件10的相对的第一及第二边缘延

伸的空气通道8B。氧气从邻近电解槽电池1的空气侧电极3流过空气通道8B。环形密封件20可环绕互连件10的燃料孔22A、22B,以防止水接触空气侧电极3。条形外围密封件24位于互连件10的空气侧的外围部分上。密封件20、24可由玻璃或玻璃陶瓷材料形成。外围部分可为不包含肋或通道的升高平台。外围区的表面可与肋12B的顶部共面。

[0025] 参考图1B及2B,互连件10的燃料侧可包含燃料通道8A及燃料歧管28。水从燃料孔22A中的一者(例如,形成燃料入口立管的部分的入口燃料孔)流入邻近歧管28,通过燃料通道8A,且到邻近电解槽电池1的燃料侧电极7。过量的水可流入另一燃料歧管28且接着流进出口燃料孔22B。框架密封件26安置在互连件10的燃料侧的外围区上。外围区可为不包含肋或通道的升高平台。外围区的表面可与肋12A的顶部共面。

[0026] 图3A是根据本公开的各个实施例的电解槽电池1的空气侧的平面视图,且图3B是电解槽电池1的燃料侧的平面视图。参考图1A、2A、3A及3B,电解槽电池1可包含入口燃料孔22A、出口燃料孔22B、电解质5及空气侧电极3。空气侧电极3可安置在电解质5的空气侧上。燃料侧电极7可安置在电解质5的相对燃料(例如,水)侧上。

[0027] 燃料孔22A、22B可延伸穿过电解质5且可经布置以当组装在电解槽电池堆叠100中时与互连件10的燃料孔22A、22B重叠。空气侧电极3可印刷在电解质5上以免当组装在电解槽电池堆叠100中时与环形密封件20及外围密封件24重叠。燃料侧电极7可具有与空气侧电极3类似的形状。燃料侧电极7可经安置以免当组装在堆叠100中时与框架密封件26重叠。换句话说,电极3及7可从电解质5的边缘凹陷,使得电解质5的对应边缘区可直接接触对应密封件20、24、26。

[0028] 在一个实施例中,电解槽电池堆叠100仅可在电解模式中操作。因此,电解槽电池堆叠100不在燃料电池模式中操作以从分别提供到燃料侧及空气侧电极的燃料及空气发电。替代地,电解槽电池堆叠100可包括固体氧化物再生(即,可逆)燃料电池(SORFC)堆叠。SORFC可在燃料电池(FC)模式(例如,发电模式)中操作,以便从分别提供到燃料侧及空气侧电极的燃料及空气发电,且可在电解槽电池(EC)模式(例如,电解模式)中操作,以便从提供到燃料侧电极7的水产生氢气及氧气。在FC模式中,氧离子从SORFC的空气侧(例如,阴极)电极3输送到燃料侧(例如,阳极)电极7以氧化燃料(例如,氢气及/或碳氢燃料,例如天然气)并发电。在EC模式中,正电势施加到电池的空气侧,且氧离子从燃料侧电极7处的水通过电解质5输送到空气侧电极3。因此,水在燃料侧电极7处电解成氢气且在空气侧电极3处电解成氧气。

[0029] SORFC的空气侧电极3及燃料侧电极7在FC模式期间分别操作为阴极及阳极,且在EC模式期间分别操作为阳极及阴极(即,FC模式阴极是EC模式阳极,且FC模式阳极是EC模式阴极)。因此,本文中所描述的SORFC可被称为具有空气侧电极及燃料侧电极。

[0030] 在EC模式期间,燃料流中的水经还原($\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{O}_2^- + \text{H}_2$)以形成 H_2 气体及 O_2^- 离子, O_2^- 离子被输送通过固体电解质,且接着在空气侧电极上被氧化(O_2^- 氧化成 O_2)以产生分子氧。由于使用空气及湿燃料(例如,氢气及/或重整天然气)操作的SORFC的开路电压可从约0.9到1.0V(取决于水含量),在EC模式中施加到空气侧电极的正电压将电池电压增加到从约1.1到1.3V的典型操作电压。在恒定电流模式中,如果电池退化,那么电池电压可能随时间增加,这可能由欧姆源及电极极化两者造成。

[0031] 最先进的固体氧化物电解槽电池及SORFC遇到的主要障碍之一是空气电极在高电

流密度下的层离。层离的程度随着电流密度及氧化物离子输送通量而增加。不希望受特定理论的束缚,据信层离可能由电解质/阴极界面处的氧气析出引起,这可导致造成空气电极层离的高电压。

[0032] 图4是展示在高电流密度下以电解模式长时间操作固体氧化物电解槽电池之后的空气电极3层离的照片。如图4中所展示,空气侧电极3可与下伏电解质5分离,如由它们之间的黑色区域所指示。

[0033] 图5是根据本公开的各个实施例的包含耐电解固体氧化物电解槽电池502的电解槽电池堆叠500的横截面视图。电解槽电池堆叠500与图1A到3B的堆叠100类似。因此,将仅详细地论述它们之间的差异。

[0034] 参考图5,电解槽电池堆叠500可包含安置在互连件10之间的至少一个电解槽电池502。电解槽电池502可仅在电解模式中操作(例如,所述电池可包括固体氧化物电解槽电池(SOEC)),或可在燃料电池及电解模式两者中操作(例如,电解槽电池502可包括SORFC)。电解槽电池502包含固体氧化物电解质5、安置在电解质5的空气侧上的空气侧电极3及安置在电解质5的燃料侧上的燃料侧电极7。在燃料电池模式中,空气可通过空气通道8B提供到空气侧电极3,且在燃料电池模式中,燃料可通过燃料通道8A提供到燃料侧电极7,而在电解模式中,水可通过燃料通道8A提供到燃料侧电极7。

[0035] 各种材料可用于固体氧化物电解质5、燃料侧电极7及空气侧电极3。在各个实施例中,电解质5可包含离子导电材料或相,例如稳定氧化锆,例如氧化钐稳定氧化锆(SSZ)、氧化钇稳定氧化锆(YSZ)、氧化钐-氧化钇稳定氧化锆(SCSZ)、氧化钐-氧化钇-氧化钇稳定氧化锆(SCYSZ)、氧化钐-氧化钇-氧化钇稳定氧化锆(SCYbSZ)或类似物。替代地,电解质5可包括另一离子导电材料,例如掺杂氧化钇,例如氧化钐掺杂氧化钇(SDC)、氧化钇掺杂氧化钇(GDC)或氧化钇掺杂氧化钇(YDC)。在一些实施例中,电解质5可包括由下式表示的材料: $(ZrO_2)_{1-w-x-z}(Sc_2O_3)_w(CeO_2)_x(Y_2O_3)_a(Yb_2O_3)_b$,其中 $0.09 \leq w \leq 0.11$, $0 < x \leq 0.0125$, $a+b=z$,且 $0.0025 \leq z \leq 0.0125$ 。在一些实施例中,电解质5可包括 $(ZrO_2)_{0.88}(Sc_2O_3)_{0.1}(CeO_2)_{0.01}(Yb_2O_3)_{0.01}$ 或 $(ZrO_2)_{0.88}(Sc_2O_3)_{0.1}(CeO_2)_{0.01}(Y_2O_3)_{0.01}$ 。替代地,电解质5可包括 $(ZrO_2)_{0.89}(Sc_2O_3)_{0.1}(CeO_2)_{0.01}$ 。

[0036] 燃料侧电极7可包括金属陶瓷层,所述金属陶瓷层包括含金属相及陶瓷相。含金属相可包含操作为电子导体的金属催化剂,例如镍(Ni)、钴(Co)、铜(Cu)、其合金等。金属催化剂可呈金属态或可呈氧化物态。例如,金属催化剂在其呈氧化状态时形成金属氧化物。因此,燃料侧电极7可在电解槽电池1的操作之前在还原气氛中退火,以将氧化金属催化剂还原成金属态。

[0037] 含金属相可完全由呈还原状态的镍组成。这种含镍相可在其呈氧化状态时形成氧化镍。因此,燃料侧电极7优选地在操作之前在还原气氛中退火以将氧化镍还原成镍。

[0038] 燃料侧电极7的陶瓷相可包含但不限于氧化钇掺杂氧化钇(GDC)、氧化钐掺杂氧化钇(SDC)、氧化钇掺杂氧化钇(YDC)、氧化钐稳定氧化锆(SSZ)、氧化钐-氧化钇-氧化钇稳定氧化锆(YbCSSZ)或类似物。在YbCSSZ中,氧化钐可以等于9到11mol%,例如10mol%的量存在,氧化钇可以大于0(例如,至少0.5mol%)且等于或小于2.5mol%,例如1mol%的量存在,且氧化钐及氧化钇中的至少一者可以大于0且等于或小于2.5mol%,例如1mol%的量存在,如在第8,580,456号美国专利中所公开,所述专利以引用的方式并入本文中。

[0039] 此外,如果期望,那么可在燃料侧电极7上方放置额外接触层或集电器层。例如,可在燃料侧电极7上形成Ni或氧化镍阳极接触层。

[0040] 空气侧电极3可包含直接安置在电解质5的空气侧上的势垒层30、安置在势垒层30上的功能层32及安置在功能层32上的任选集电器层34。因此,功能层32位于势垒层30与集电器层34之间。

[0041] 势垒层30可烧结到电解质5的空气侧。势垒层30可包括掺杂氧化铈材料、基本上由掺杂氧化铈材料组成,或由掺杂氧化铈材料组成。例如,所述势垒层可包括基于势垒层30的总重量从约95重量百分比(wt.%)到约100wt.%的掺杂氧化铈材料。掺杂氧化铈材料可包含钐掺杂氧化铈(SDC)及/或钆掺杂氧化铈(GDC)。

[0042] SDC可由下式表示: $Ce_{1-x}Sm_xO_{2-d}$,其中x是在0.1到0.3的范围内。例如,特定SDC材料可由下式表示: $Ce_{0.8}Sm_{0.2}O_{2-d}$ 、 $Ce_{0.9}Sm_{0.1}O_{2-d}$ 及 $Ce_{0.7}Sm_{0.3}O_{2-d}$,其中d是在从0到0.2,例如从0到0.1的范围内。

[0043] GDC可由式 $Ce_{1-x}Gd_xO_{2-d}$ 表示,其中x是在从0.1到0.3的范围内且d是在从0到0.2,例如从0到0.1的范围内。例如,特定GDC材料可由下式表示: $Ce_{0.9}Gd_{0.1}O_{2-d}$ 、 $Ce_{0.8}Gd_{0.2}O_{2-d}$ 及 $Ce_{0.7}Gd_{0.3}O_{2-d}$,其中d是在从0到0.2,例如从0到0.1的范围内。

[0044] 功能层32可包含导电材料及掺杂氧化铈材料的混合物。导电材料可包括导电钙钛矿材料,例如镧锶锰酸盐(LSM)、镧锶钴铁氧体(LSCF)、镧锶钴酸盐(LSC)、镧锶钴锰酸盐(LSCM)、镧锶铁氧体(LSF)、 $La_{0.85}Sr_{0.15}Cr_{0.9}Ni_{0.1}O_3$ (LSCN)、其组合或类似物。在一些实施例中,导电材料可优选地包括LSM及/或LSCF。替代地,导电材料可包括金属,例如铂。例如,功能层32可包含从约10wt.%到约90wt.%的上述导电材料,及从约10wt.%到约90wt.%的掺杂氧化铈材料。

[0045] 在各个实施例中,功能层可包含LSM作为导电材料。LSM可由下式表示: $(La_{1-z}Sr_z)_qMnO_{3-d}$,其中z是在从0.1到0.4的范围内,q是在从0.94到1,例如0.96到1的范围内,且d是在从0到0.2的范围内。例如,LSM可包括 $La_{0.8}Sr_{0.2}MnO_{3-d}$ 或A位点缺陷型LSM,例如 $(La_{0.8}Sr_{0.2})_{0.98}MnO_{3-d}$,其中d是在从0到0.1的范围内。

[0046] 在一些实施例中,功能层可包含LSCF作为导电材料。LSCF可由下式表示: $(La_xSr_{1-x})_yCo_zFe_{1-z}O_{3-\delta}$,其中x是在从0.4到0.8的范围内,y是在从0.94到1.0的范围内,z是在从0.01到0.99的范围内,且 δ 是在从0到0.1的范围内的平衡缺氧量。例如,LSCF可包括 $La_{0.58}Sr_{0.4}Co_{0.2}Fe_{0.8}O_{3-\delta}$ 、 $(La_{0.6}Sr_{0.4})_{0.98}Co_{0.2}Fe_{0.8}O_{3-\delta}$ 或 $(La_{0.6}Sr_{0.4})_{0.95}Co_{0.2}Fe_{0.8}O_{3-\delta}$,其中 δ 是平衡缺氧量。

[0047] 势垒层30及功能层32可包含相同的掺杂氧化铈材料或不同的掺杂氧化铈材料。例如,势垒层30可包含GDC且功能层32可包含LSM及GDC,或LSM及SDC。在其它实施例中,势垒层30可包含SDC且功能层32可包含LSM及SDC,或LSM及GDC。在其它实施例中,势垒层可包含SDC且功能层可包含LSCF及SDC,或LSCF及GDC。

[0048] 虽然不希望受特定理论的束缚,但据信势垒层30的氧化铈相的混合氧化物离子及电子传导降低势垒层30与功能层32之间的界面处的超电势。超电势的降低可抑制空气侧电极3从电解质5层离。

[0049] 集电器层34可包含导电材料,例如导电金属氧化物,例如LSM。然而,也可使用其它导电钙钛矿(例如LSC、LSCM、LSCF、LSF、LSCN等)或金属(例如铂)。

[0050] 图6A是展示实施例SOEC堆叠中的第一实施例SOEC电池及第二实施例SOEC电池在寿命开始与17个电流操作循环之间的电压变化的图表。图6B是展示在类似条件下的比较性SOEC堆叠中的比较性SOEC电池在寿命开始与17个电流操作循环之间的电压变化的图表。两个图中的y轴是以伏特为单位的电压变化,且x轴是相应堆叠中的SOEC电池的编号。

[0051] 参考图6A及6B,第一及第二实施例SOEC电池具有类似配置,不同之处在于第一实施例SOEC电池含有SDC势垒层30及GDC/LSM阴极功能层32,而第二实施例SOEC电池含有SDC势垒层30及SDC/LSM阴极功能层32。比较性SOEC电池不包含势垒层30及包括YSZ/LSM的阴极功能层。

[0052] 参考图6A及6B,较高的电池电压差指示较高的电池超电势,及因此较高的阴极退化。如在图表中可看出,比较性SOEC电池经历更高的电池电压差(及因此电池超电势增加),而实施例电池展现显著更低的电池电压差。因此,掺杂氧化铈基势垒层及阴极功能层材料提供对电池超电势的出乎意料的改进保护,这有望减少层离及/或总体阴极退化。

[0053] 尽管前文涉及特定优选实施例,但将理解,本发明不限于此。所属领域的一般技术人员将想到,可对所公开实施例进行各种修改且此类修改意在落入本发明的范围内。本文中所引用的所有公开案、专利申请案及专利的全文以引入的方式并入本文中。

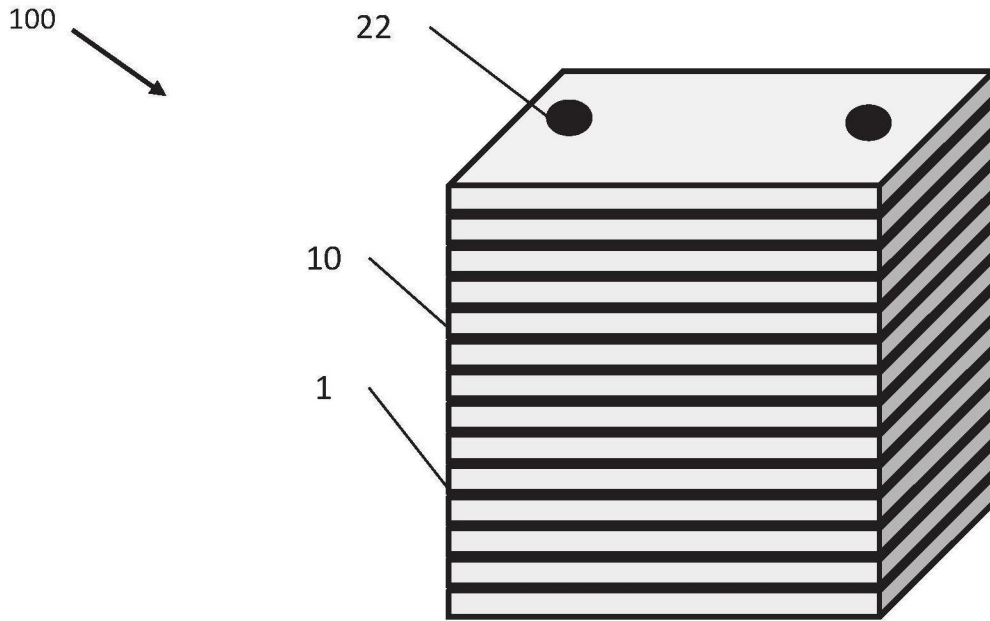


图1A

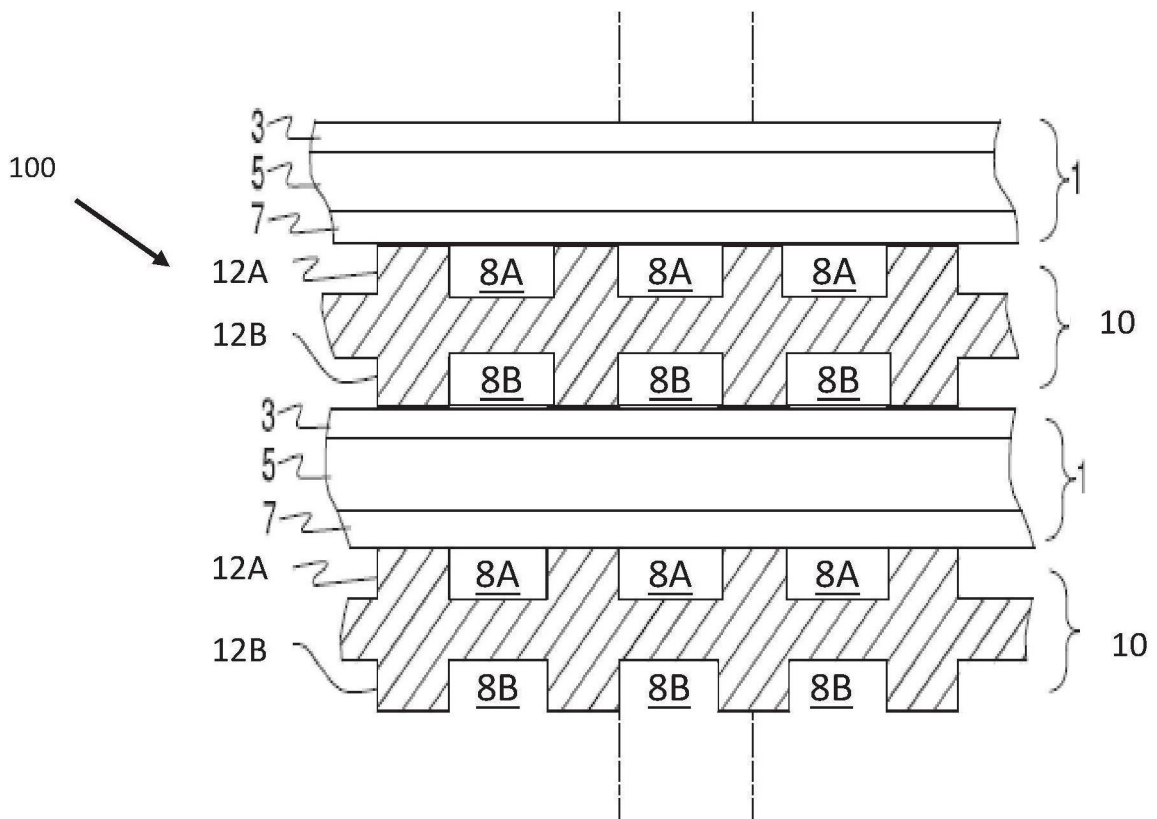


图1B

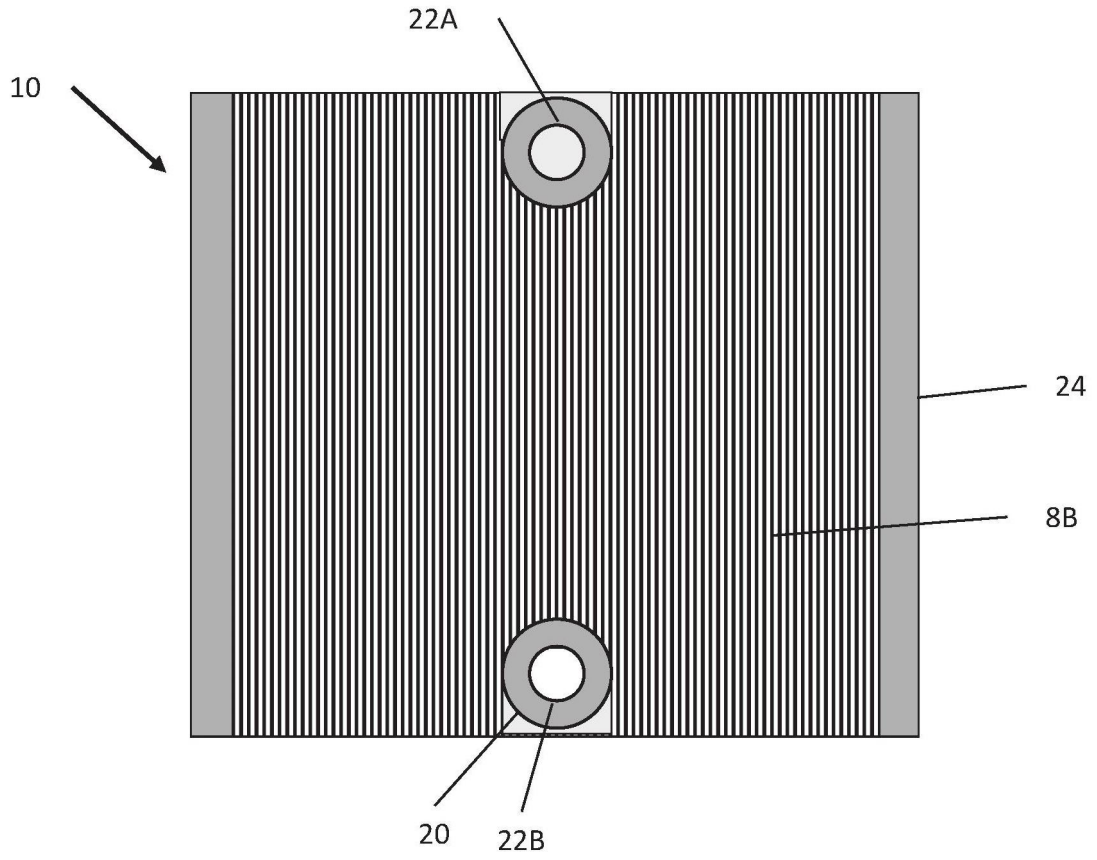


图2A

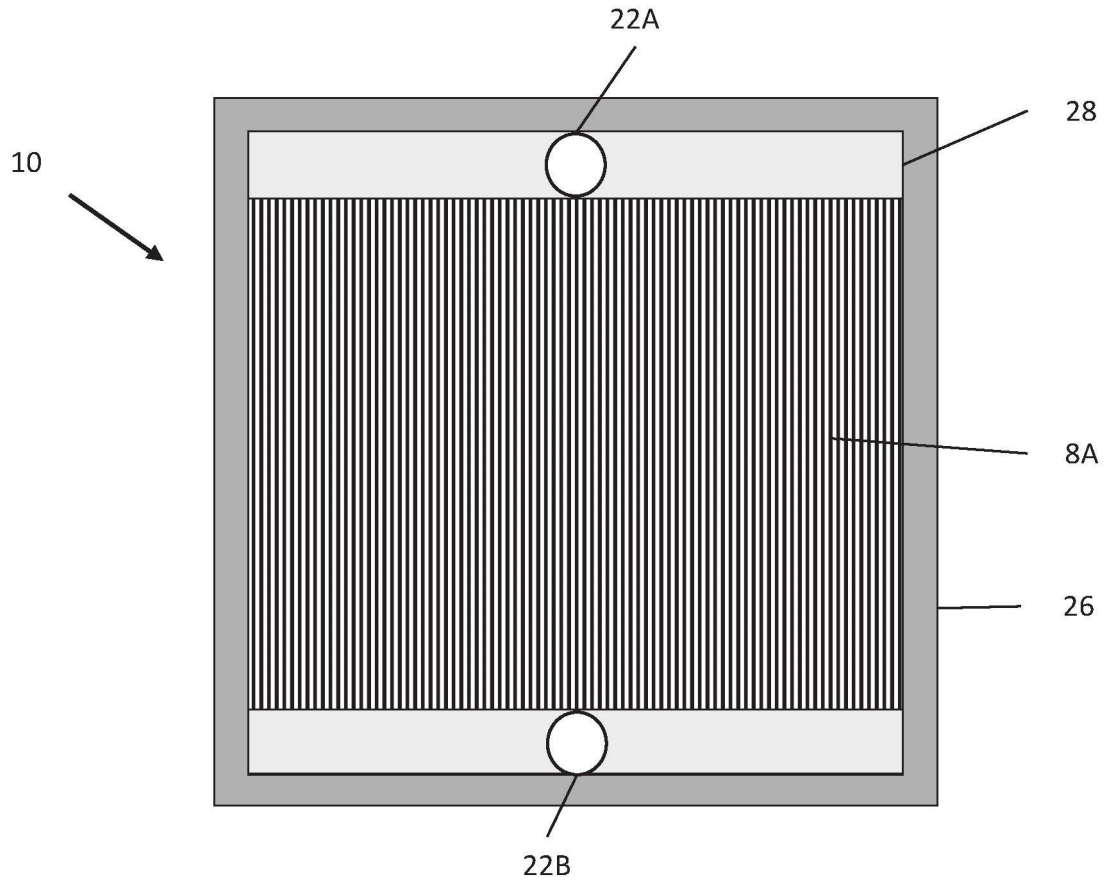


图2B

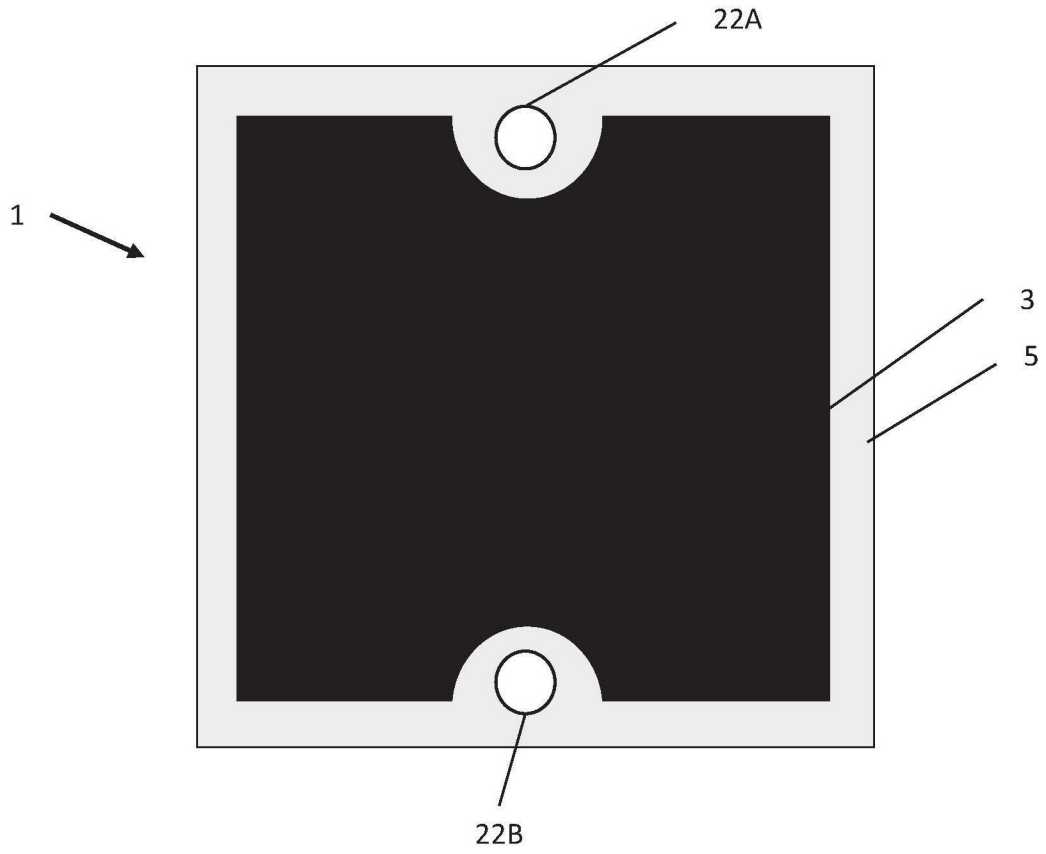


图3A

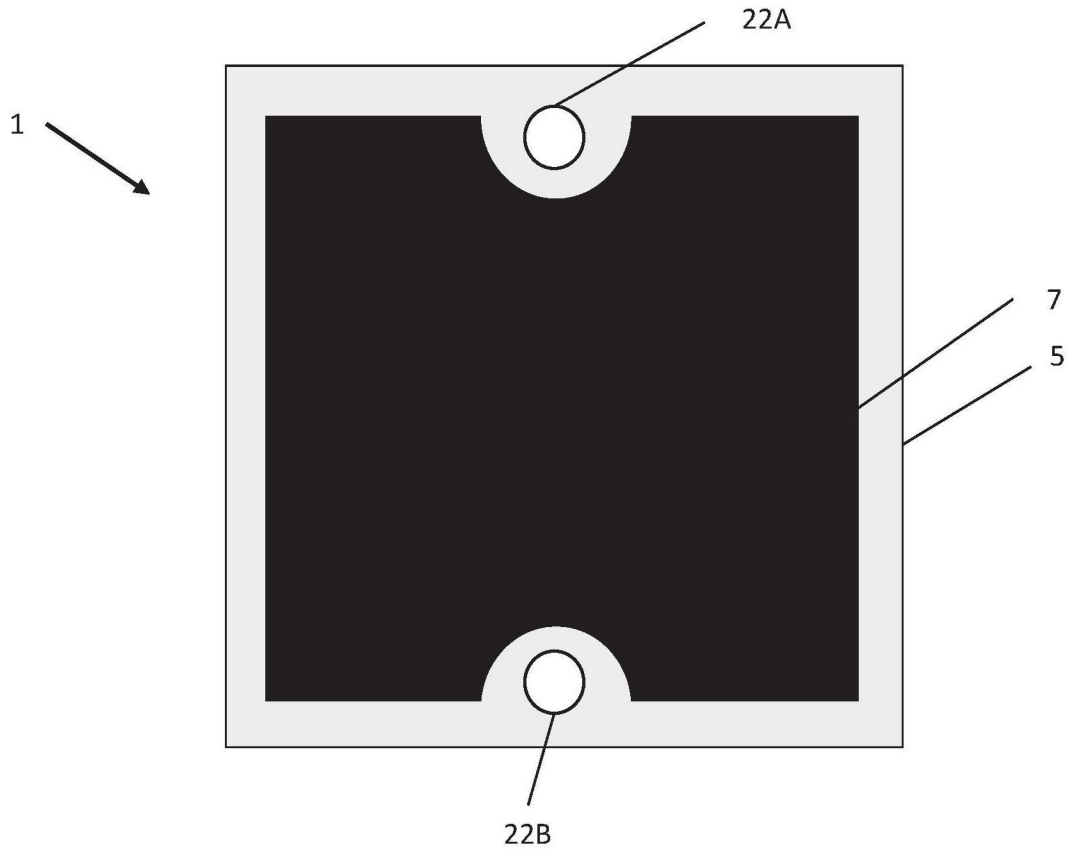


图3B

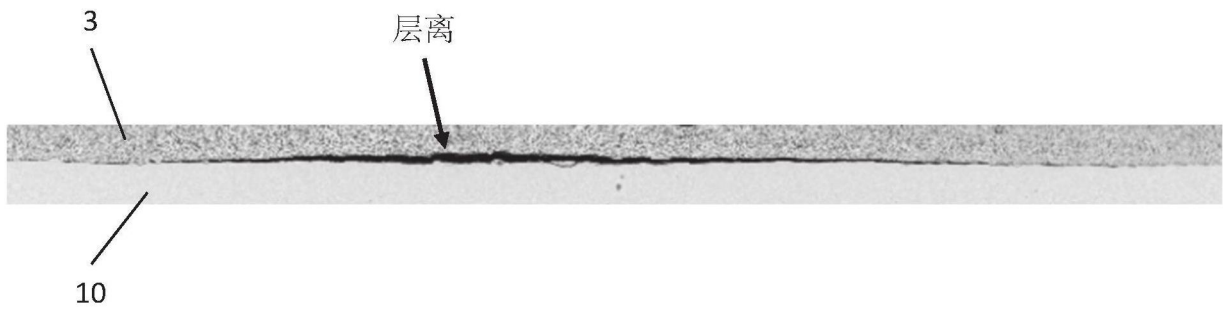


图4

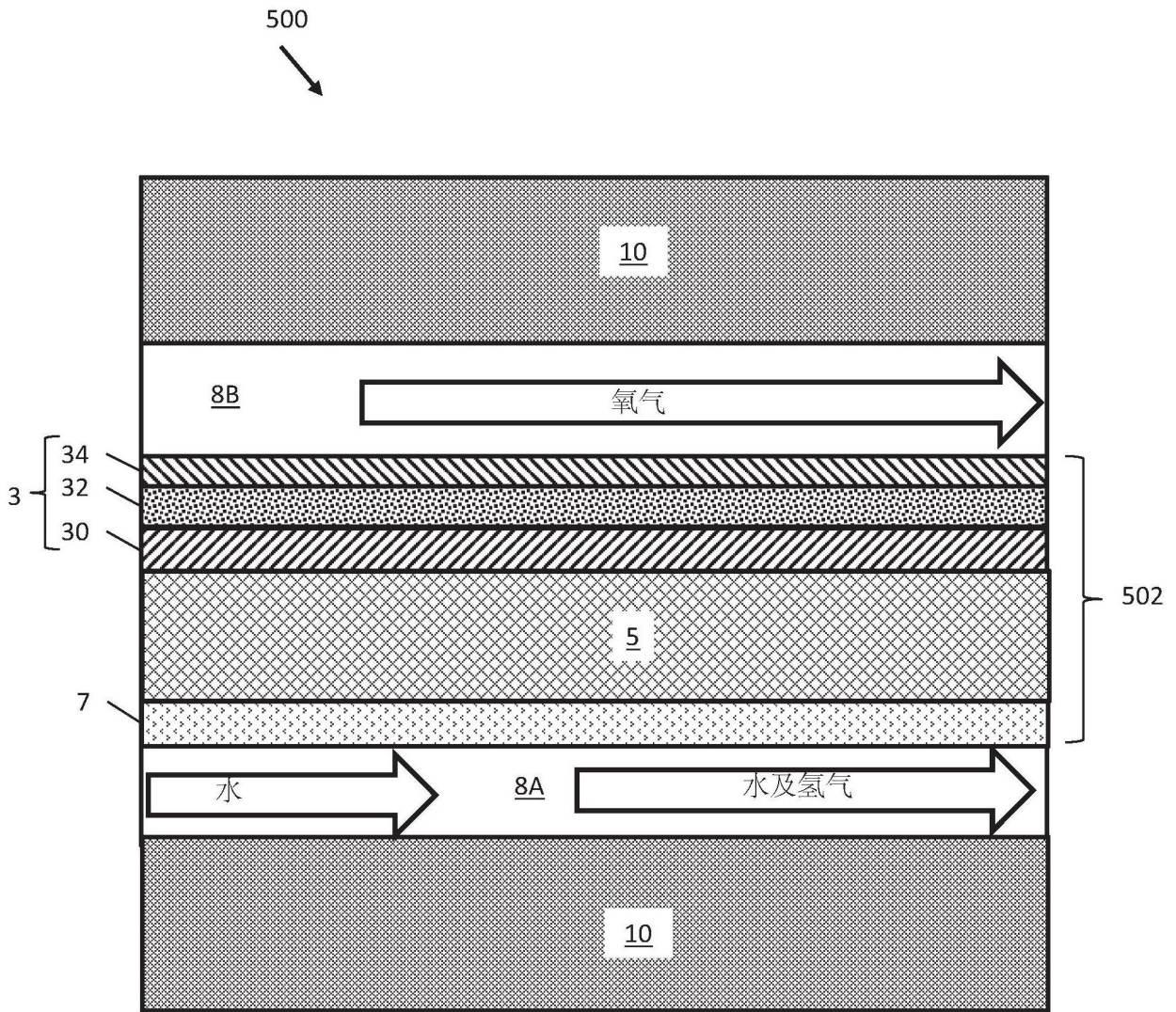


图5

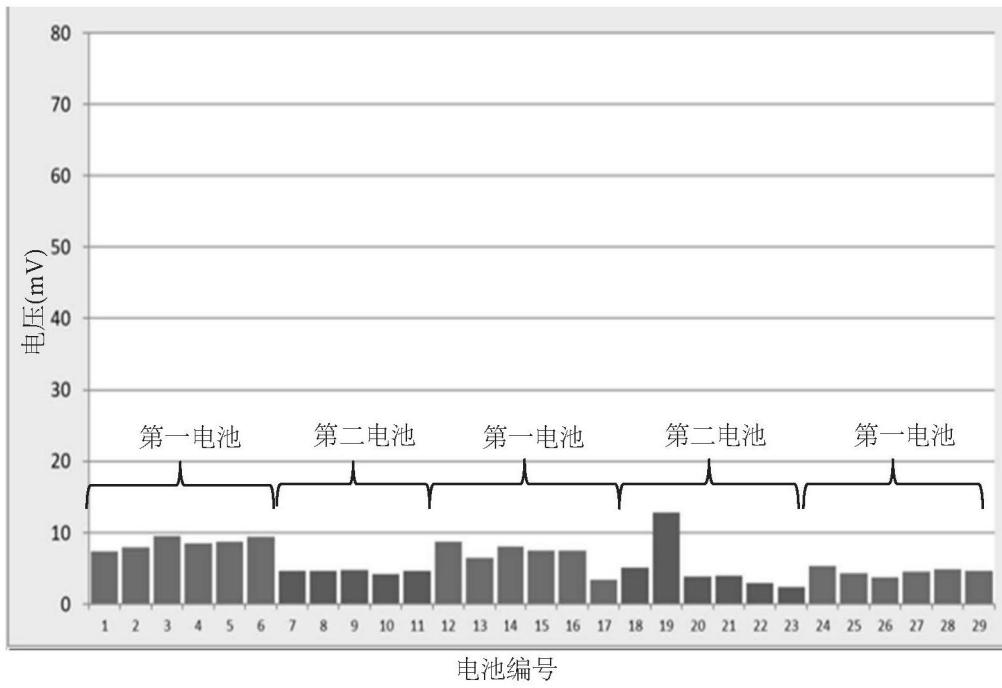


图6A

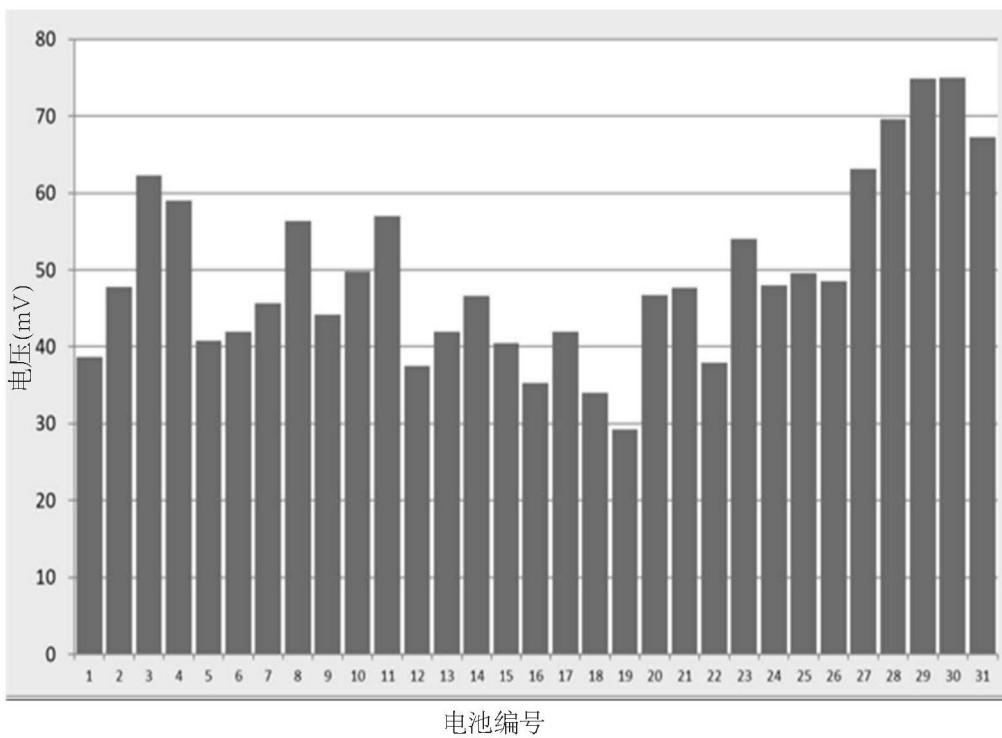


图6B