



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104054201 A

(43) 申请公布日 2014. 09. 17

(21) 申请号 201280052490. 9

H01M 8/10 (2006. 01)

(22) 申请日 2012. 10. 24

H01M 4/90 (2006. 01)

(30) 优先权数据

1118288. 8 2011. 10. 24 GB

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2014. 04. 24

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/GB2012/052636 2012. 10. 24

(87) PCT国际申请的公布数据

W02013/061054 EN 2013. 05. 02

(71) 申请人 庄信万丰燃料电池有限公司

地址 英国伦敦

(72) 发明人 R·L·欧马雷 N·M·佩尔莫国洛夫

M·I·派驰

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专

利商标事务所 11038

代理人 陈晰

(51) Int. Cl.

H01M 4/92 (2006. 01)

权利要求书1页 说明书6页 附图4页

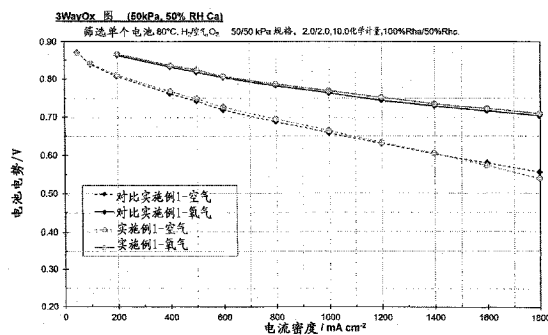
(54) 发明名称

离子导电膜

(57) 摘要

公开了离子导电膜,其包括第一层和第二层,其中第一层包含全氟磺酸聚合物并且第二层包含磺化烃类聚合物,其特征在于离子导电膜具有 $5\mu\text{m}$ 到 $50\mu\text{m}$ 的总厚度,并且第二层具有 $2\mu\text{m}$ 或更小的总厚度。

单个电池性能数据



1. 离子导电膜,包括第一层和第二层,其中所述第一层包含全氟磺酸聚合物并且所述第二层包含磺化烃类聚合物,其特征在于所述离子导电膜的总厚度为 $5\mu\text{m}$ 到 $50\mu\text{m}$,并且所述第二层总厚度为 $2\mu\text{m}$ 或更小。
2. 根据权利要求 1 的离子导电膜,其进一步包含含磺化烃类聚合物的第三层,其中所述第一层被夹在所述第二层和第三层之间。
3. 根据权利要求 2 的离子导电膜,其中所述第三层的总厚度为 $2\mu\text{m}$ 或更小。
4. 根据前述任一权利要求的离子导电膜,其中所述第二层包含磺化烃类聚合物和全氟磺酸聚合物的混合物。
5. 根据权利要求 2-4 中任一项的离子导电膜,其中所述第三层包含磺化烃类聚合物和全氟磺酸聚合物的混合物。
6. 催化剂涂覆的膜,其包括根据权利要求 1-5 中任一项的离子导电膜以及沉积在所述离子导电膜的至少一个侧上的电催化剂层。
7. 膜电极组件,其包括根据权利要求 1-5 中任一项的离子导电膜。
8. 膜电极组件,其包括根据权利要求 6 的催化剂涂覆的膜。

离子导电膜

[0001] 本发明涉及新的离子导电膜,其适用于电化学器件,例如燃料电池中。

[0002] 燃料电池是电化学电池,其包括两个被电解质分隔的电极。将诸如氢或碳氢化合物(如甲醇或乙醇)的燃料提供给阳极,而将氧化剂(例如氧气或空气)提供给阴极。电化学反应在电极处发生并且燃料和氧化剂的化学能被转化为电能和热。电解质被用来促进阳极处燃料的电化学氧化以及阴极处氧的电化学还原。

[0003] 在氢或碳氢化合物燃料质子交换膜燃料电池(PEMFC)中,电解质是电绝缘和质子导电的固体聚合物膜。质子在阳极处产生,穿过膜传送到阴极,在那里与氧结合形成水。最广泛用于烃类的燃料为甲醇,并且 PEMFC 的该变体通常是指直接甲醇燃料电池(DMFC)。

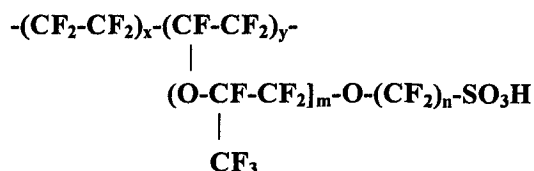
[0004] PEMFC 的主要部件被称为膜电极组件(MEA)且基本上由五层组成。中间层是聚合物离子导电膜。在离子导电膜的任一侧具有电催化层,其包含为特定电解反应而设计的电催化剂。最后,邻接每个电催化层都有气体扩散层。气体扩散层必须允许反应物到达电催化层并且必须传导电化学反应产生的电流。因此,气体扩散层必须是多孔的和导电的。

[0005] MEA 可用多种方法构造。电催化层可被用于气体扩散层以形成气体扩散电极。两个气体扩散电极可被放置在离子导电膜的任一侧并且层压在一起以形成五层的 MEA。供选择地,电催化层可被用到离子导电膜的两个表面以形成涂覆催化剂的离子导电膜。随后,气体扩散层被用到涂覆催化剂的离子导电膜的两个表面。最后,MEA 可由一侧涂覆电催化层层的离子导电膜,邻接电催化层的气体扩散层,以及在离子导电膜的另一侧的气体扩散电极形成。

[0006] 典型的数十个或数百个 MEA 被要求为大多数应用提供足够的电力,因此多个 MEA 被组装以形成燃料电池堆。流场板(field flow plates)被用来分隔 MEA。流场板执行多个功能:为 MEA 提供反应物,移出产物,提供电连接和提供物理支持。

[0007] 用于 PEMFC 和 DMFC 中的传统的离子导电膜通常由全氟化磺酸(PFSA)离聚物形成,并且由这些离聚物形成的膜市售商品名为 **Nafion[®]** (E. I. DuPont de Nemours and Co.), **Aciplex[®]** (Asahi Kasei) 和 **Flemion[®]** (Asahi Glass KK)。这种基于 PFSA 的离子导电膜适于由具有侧链的聚合物形成,该侧链通过醚键连接到聚合物主链。PFSA 离聚物的典型结构如下所示。

[0008]



[0009] PFSA 离聚物的典型结构

[0010] PFSA 离子导电膜可包括增强部以提供改进的机械特性,例如增加的抗撕裂性以及减小因水化作用或脱水作用而产生的尺寸变化。优选的增强部可基于但不限于氟聚合物,例如 US6254978、EP0814897 以及 US6110330 所描述的聚四氟乙烯(PTFE),或者是聚偏二氟

乙烯 (PVDF), 或者其他可选材料如 PEEK 或聚乙烯的微孔网或纤维。

[0011] 由于 PEMFC 采用了非常薄的离子交换膜, 很大程度上最小化了其离子阻力并由此最大化了燃料电池的性能, 因此在一定程度上, 反应气体 H_2 和 O_2 穿过膜 (所谓气体穿透 (cross over)) 的渗透通常是不可避免的。气体穿透以及随后的气体穿透的催化化学反应对膜寿命有着不利影响。受到广泛认同的是, 过氧化氢 (H_2O_2) 和相关基团如过氧化氢基 ($HO_2 \cdot$) 和羟基 ($HO \cdot$) 通过穿透气体在 PEMFC 电极的催化或非催化的碳表面上的反应而产生。这些氧化基类冲击膜的离子交换膜组分, 导致断链、分解和官能团的丢失。 O_2 或 H_2 的气体穿透是膜化学降解的最基本的影响机制。这种化学降解 (其可或不可与机械和热学降解结合), 导致膜变薄并且形成针孔, 这又反过来进一步加速了气体穿透。这种降解的影响可以包括从单个电池的导电性的损失和随后的性能损失 (中度化学降解的情形下) 到最终堆栈的失效。反应气体穿透至对置电极可由于寄生反应导致电极去极化而进一步降低电池性能。最后, 反应气体的穿透导致燃料电池电效率的直接损失, 因为尽管反应物被消耗, 但电功却没有被捕获。为了进一步改进 PEMFC 膜的功能性并降低材料成本, 更薄的膜已成为近期燃料电池发展的焦点。该膜厚度的降低会导致气体穿透的直接增加, 因此明显存在对减少气体穿透, 并且特别是氢气从阳极到阴极的穿透, 而不牺牲 PEMFC 的性能的需求。

[0012] 在 DMFC 中, 存在降低未反应甲醇通过 MEA 的固体聚合物膜从阳极到阴极的穿透, 而不降低燃料电池的电效率或功率密度的需求。这需要通过提高燃料的效率, 并且避免 MEA 的性能因为甲醇和甲醇在阴极产生的电氧化产物对阴极的损害而降低。

[0013] 因此本发明的一个目的在于, 提供用于氢燃料 PEMFC 和 DMFC 中的改进的离子导电膜, 其表现为降低反应物穿透, 但具有可与现有技术的 PFSA 膜相比的性能。

[0014] 于是, 本发明提供了包括第一层和第二层的离子导电膜, 其中第一层包含全氟磺酸聚合物并且第二层包含磺化烃类聚合物, 其特征在于离子导电膜具有 $5 \mu m$ 到 $50 \mu m$ 的总厚度, 并且第二层具有 $2 \mu m$ 或更小的总厚度。适当地, 第二层具有小于 $2 \mu m$ 的总厚度。

[0015] 在本发明的一个实施方案中, 离子导电膜进一步包含含有磺化烃类聚合物的第三层, 其中第一层被夹在第二层和第三层之间。适当地, 第三层的总厚度为 $2 \mu m$ 或更小。适当地, 第三层总厚度小于 $2 \mu m$ 。

[0016] 在本发明的又一方面, 第二层和第三层 (如果存在) 包含磺化烃类聚合物和全氟磺酸聚合物的混合物。这两种聚合物的混合物可在第二层和第三层中是均匀或非均匀的, 以使得在层之间的界面和 / 或膜的外表面具有丰富的全氟磺酸聚合物。

[0017] 全氟磺酸聚合物具有前述提及的结构, 并且包括市售商品名为 **Nafion[®]** (E. I. DuPont de Nemours and Co.)、**Aciplex[®]** (Asahi Kasei) 和 **Flemion[®]** (Asahi Glass KK) 的聚合物。

[0018] 磺酸烃类聚合物包括那些基于聚亚芳基的聚合物, 包括聚醚砜 (例如聚亚芳砜 (PSU, **Udel[®]**))、聚亚芳醚砜 (PES, **Victrex[®]**) 以及聚醚酮 (例如聚亚芳醚醚酮 (PEEK, **Victrex[®]**)、聚亚芳醚醚酮酮 (PEEKK, **Hostatec[®]**)、聚亚芳醚酮醚酮酮 (PEKEKK, **Ultrapec[®]**) 以及聚亚芳醚酮 (PEK, **Victrex[®]**))。适当地, 烃类聚合物为磺化磺化聚亚芳醚砜或磺化聚亚芳醚酮。

[0019] 如果存在第三层, 那么磺化烃类聚合物在第二层和第三层中可相同或不同, 在一

个优选的实施方案中,第二层和第三层中的磺化烃类聚合物相同。

[0020] 离子导电膜具有小于或等于 $50\text{ }\mu\text{m}$ 的厚度,适当地小于或等于 $30\text{ }\mu\text{m}$,更适当地小于或等于 $25\text{ }\mu\text{m}$,且适当地小于或等于 $20\text{ }\mu\text{m}$ 。适当地,离子导电膜的最小厚度为 $5\text{ }\mu\text{m}$ 。实际厚度取决于其最终用途,并且离子导电膜合适的厚度对本领域技术人员来说会是容易获得的。

[0021] 每个第二层以及如果存在的第三层的厚度适当地是小于第一层的厚度。第二层以及如果存在的第三层每个各自的厚度为 $2\text{ }\mu\text{m}$ 或更小,适当地为小于 $2\text{ }\mu\text{m}$,更合适地为小于 $1\text{ }\mu\text{m}$,优选小于 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 。

[0022] 本发明的离子导电膜可通过施加磺化烃类层到预先准备的全氟磺酸膜一侧或两侧,使用的方法包括但不限于喷涂,涂覆以及刮涂。可选地,膜可随后由从合适的聚合物分散体或溶液流延层而制备。在这种情况下,第二层及如果存在的第三层包括磺化烃类聚合物和全氟磺酸聚合物的混合物,需要可相容两种聚合物的溶剂体系,本领域技术人员具备选择这种溶剂体系的能力。

[0023] 在本发明的再一方面,并且特别为了 PEMFC 的应用,离子导电膜进一步包含过氧化氢分解催化剂和/或基团清除剂,如进一步详细描述在 W02009/109780 中一样,将其引入本文作为参考。过氧化氢分解催化剂可嵌在第一、第二层和/或第三层中,其位于第一/第二和/或第一/第三层的界面处,或者作为第二和/或第三层的外表面上的涂层。

[0024] 在本发明进一步的实施方案中,离子导电膜进一步包含至少一种增强材料,例如,含氟聚合物的微孔网或纤维,如 US6254978、EP0814897 和 US6110330 中所描述的 PTFE,或者聚偏二氟乙烯 (PVDF),或可替换的材料如 PEEK 或聚乙烯。适当地,增强材料为 PTFE。在一个实施方案中,增强材料位于第一层中。在第二实施方案中,增强材料横跨第一/第二和/或第一/第三层之间的界面延伸进入到第二和/或第三层中。在该第二实施方案中,增强材料可延伸至离子导电膜的一个或两个外表面,或者可选地,不延伸至离子导电膜的一个或两个外表面,使得在离子导电膜的一个或两个外表面上,离子导电膜不被增强。为制造增强的离子导电膜,增强材料在干燥并形成固体薄膜之前,被部分地埋入第一层。一旦第一层干燥,第二层和第三层(如果存在)就被流延到第一层的一个或两个表面上,以使得增强材料也嵌入第二和/或第三层中。在增强材料没有延伸至离子导电膜的一个或两个外表面的情况下,对第二和/或第三层进行充分流延,以使得一旦干燥,其会根据需要延伸到增强材料之外。

[0025] 本发明的离子导电膜可被用于需要离子导电特别是质子导电的膜的电化学器件中。于是,本发明的进一步方面提供包括如前所述离子导电膜的电化学器件。可选地,提供了如前所述的离子导电膜在电化学器件中的用途。在本发明的一个优选实施方案中,离子导电膜被用于燃料电池,例如 PEMFC(包括 DMFC)和优选的氢燃料 PEMFC。由此,本发明进一步提供涂覆有催化剂的离子导电膜,其包括根据本发明的离子导电膜以及沉积在离子导电膜的至少一侧的电催化层。在一个实施方案中,催化剂涂覆的离子导电膜结构具有电催化层沉积在离子导电膜的两侧的电催化层。如果本发明的离子导电膜仅具有存在的第二层而没有第三层,那么第二层可邻接阳极电催化剂或邻接阴极电催化剂,并且无论是邻接阳极电催化剂或邻接阴极电催化剂,其也可辅助电池的水管理,此外帮助减少反应物穿透。

[0026] 电催化剂层包括电催化剂,其可被精细分为金属粉末(金属黑),或者可以是被负载的催化剂,其中小的金属颗粒分散在导电碳颗粒载体上。电催化剂金属(原金属)适当地选自

[0027] (i) 铂族金属(铂、钯、铑、钌、铱和锇),或

[0028] (ii) 金或银。

[0029] 原金属可以与一种或多种其他贵金属如钌,或贱金属如钼、钨、钴、铬、镍、铁、铜或它们的氧化物混合或成合金。优选地,原金属是铂。如果电催化剂是负载型催化剂,那么碳载体材料上的原金属颗粒的负载的范围适当地为 5-90wt%,优选为 5-75wt%。

[0030] 电催化剂层可以适当地包含其他组分,例如离子导电聚合物,包含其以改进层内的离子导电性。离子导电聚合物通常在溶液或分散液中,并且与电催化剂一起混合以形成随后形成电催化剂层的墨。离子导电聚合物可以是全氟磺酸聚合物或烃类聚合物或者前述的混合物。在一个实施方案中,电催化剂层可进一步包含如前所述的一种或多种过氧化氢分解催化剂和/或一种或多种基团清除剂。制备包含这些组分的电催化剂层的制备路径将为本领域技术人员所知。

[0031] 本发明的还一方面在于,提供包括如前所述的离子导电膜或涂覆有催化剂的离子导电膜的 MEA。该 MEA 可通过多种方法制成,包括但不限于:

[0032] (i) 本发明的离子导电膜可被夹在两个气体扩散电极之间(一个阳极和一个阴极);

[0033] (ii) 本发明的涂覆有催化剂的离子导电膜仅用催化剂涂覆在一个侧面上,并且夹在气体扩散层和气体扩散电极之间,该气体扩散层接触涂覆有催化剂层的离子导电膜的该侧面;或者

[0034] (iii) 本发明的涂有催化剂的离子导电膜涂覆催化剂层的两面,并且夹在两个气体扩散层之间。

[0035] 阳极和阴极气体扩散层适当地基于传统非织造碳纤维气体扩散基片,例如刚性薄片碳纤维纸(如可从日本 Toray 工业公司获得的 TGP-H 系列碳纤维纸)或者卷好状(roll-good)碳纤维纸(例如可从德国 Freudenberg FCCT KG 获得的 H2315 系列;从德国 SGL Technologies GmbH 获得的 **Sigracet®** 系列;从美国 Ballard Material Products 获得的 **AvCarb®** 系列;或者可从台湾 CeTech 有限公司获得的 NOS 系列),或者基于非织造碳纤维布基片(如可从意大利 S. p. A. 的 SAATI Group 获得的 SCCG 系列碳布;或者可从台湾 CeTech 有限公司获得的 WOS 系列)。对于许多 PEMFC 应用而言,非织造碳纤维纸或织造碳纤维布基片通常用疏水性聚合物处理和/或使用微孔层改性,所述微孔层包含嵌入基片或涂覆在平面表面上的颗粒材料,或者两者的结合,以形成气体扩散层。颗粒材料通常为炭黑以及如聚四氟乙烯(PTFE)的聚合物的混合物。气体扩散层厚度适当地在 100 与 300 μm 之间。优选地,在与电催化剂层接触的气体扩散层的表面上存在颗粒材料(如炭黑和 PTFE)层。

[0036] MEA 可进一步包含密封和/或增强 MEA 边缘区域的组件,例如 W02005/020356 所描述的。MEA 通过本领域技术人员所知的常规方法来组装。

[0037] 本发明的再一方面提供了燃料电池,其包括如前描述的离子导电膜、涂覆有催化剂的离子导电膜或 MEA。

[0038] 本发明的离子导电膜现将通过参考附图进行更详细地描述。

[0039] 图 1 是本发明的离子导电膜的示意图,其包括第一 PFSA 层和第二磺化烃层。

[0040] 图 2 是本发明离子导电膜的示意图,其包括第一 PFSA 层,第二磺化烃层和第三磺化烃层。

[0041] 图 1a、1b、1c 每个显示的离子导电膜 (1) 包括第一离子导电 PFSA 层 (2) 和第二离子导电磺化烃层 (3)。图 1a 显示的离子导电膜 (1) 没有增强。图 1b 示出的离子导电膜 (1) 具有设置在横跨第一离子导电 PFSA 层 (2) 和第二离子导电磺化烃层 (3) 的界面上的增强材料 (5)。增强材料 (5) 没有延伸到离子导电膜 (1) 的外表面。图 1c 显示的离子导电膜 (1) 也具有增强材料 (5),其设置在横跨第一离子导电 PFSA 层 (2) 和第二离子导电磺化烃层 (3) 的界面上。增强材料 (5) 延伸整个离子导电膜。同样在本发明的范围内,离子导电膜 (1) 与图 1b 和 1c 的类似,其中增强部没有延伸到外表面之一,而是延伸到第二外表面。

[0042] 图 2a、2b 和 2c 每个显示的离子导电膜 (1) 包括第一离子导电 PFSA 层 (2),第二离子导电磺化烃层 (3) 和第三离子导电磺化烃层 (4)。在图 2a 中,离子导电磺化烃层 (3) 和 (4) 整体包括磺化烃离聚物。在图 2b 中,离子导电磺化烃层 (3) 和 (4) 每个都包含 PFSA 和磺化烃离聚物的共混物。PFSA/磺化烃组合物均匀遍及每个层 (3) 和 (4)。在图 2c 中,离子导电磺化烃层 (3) 和 (4) 包含 PFSA 和磺化烃离聚物的共混物,其具有梯度,以使得在 (i) 第一离子导电 PFSA 层 (2) 的界面和 / 或 (ii) 离子导电膜 (1) 的外表面存在 PFSA 组分的富集。离子导电磺化烃类物质的这种梯度可以是在离子导电层 (3) 和 / 或 (4) 的一面或双面上。

[0043] 对本领域技术人员还显而易见的是,离子导电膜,其中第二 (3) 和第三 (4) 层之一具有 PFSA/磺化烃类物质的共混物,该共混物或者具有遍布层中均匀组成(如关于图 2b 的描述)或者具有梯度(如关于图 2c 的描述),并且第二 (3) 和第三 (4) 层中的另外一层仅为磺化烃类物质,或者具有与另一层不同的混合组分 / 梯度,以上这些都在本发明的范围内。类似地,图 1a、1b 和 1c 中的第二离子导电磺化烃层 (3) 可包括参考图 2 描述的 PFSA/磺化烃类物质的共混物。

[0044] 图 2a、2b 和 2c 的结构可为:(i) 如图 1a 所示,不具备增强材料;(ii) 具有增强结构,其设置成横跨第一离子导电 PFSA 层 (2)、第二离子导电磺化烃类层 (3) 和第三离子导电磺化烃类层 (4) 之间的一个或两个界面,其中增强材料不延伸到离子导电膜的外表面,如图 1b 所示;(iii) 具有增强结构,其设置成横跨在第一离子导电 PFSA 层 (1)、第二离子导电磺化烃层 (3) 和第三离子导电磺化烃层 (4) 之间的一个或两个界面,其中增强材料完全延伸到离子导电膜的外表面,如图 1c;或者 (iv) 具有增强结构,其延伸到一个外表面,但不延伸到第二外表面。

[0045] 实施例 1

[0046] 制备本发明的离子导电膜

[0047] 磺化聚亚芳醚酮共聚物使用行星磨机进行研磨、溶解在丙酮 /THF/ 水 (6/3/1) 中并且过滤得到 1.24% 的溶液。该溶液使用自动喷涂机喷涂到 17 μm 的增强 PFSA 膜上,固定在约 45 $^{\circ}\text{C}$ 的真空床上。最终的膜呈现为在一个表面上形成的略透明烃类聚合物层。SEM 显示烃层的厚度为 2 μm ,并且增强材料只存在于 PFSA (第一) 层中。

[0048] MEA 的制备

[0049] 通过在阳极 ($< 0.1\text{mg}/\text{cm}^2\text{Pt}$; 60 % Pt/Ketjen EC300J 炭黑 /150 % 水状 Nafion) 和阴极 ($0.4\text{mg}/\text{cm}^2\text{Pt}$; 60 % Pt/Ketjen EC300J 炭黑 /120 % 水状 Nafion) 之间层压 (在 170°C /800psi) 以上制成的膜来制备 CCM。CCM 与阳极侧的碳涂覆的特氟龙 Toray TGP-G-H060 (来自 Toray 工业) 以及阴极侧上的来自 SGL Technologies GmbH 的 **Sigracet**[®] 系列气体扩散层相结合以提供完整的五层 MEA。

[0050] 对比实施例 1

[0051] CCM 以类似实施例 1 描述的方式制备, 不同在于膜是 $17\text{ }\mu\text{m}$ 的增强 PFSA 膜, 在其一个表面上不具有烃类涂层。CCM 与阳极侧的碳涂覆的特氟龙 Toray TGP-G-H060 (来自 Toray 工业) 以及阴极侧的来自 SGL Technologies GmbH 的 **Sigracet**[®] 系列基片相结合以提供完整的五层 MEA。

[0052] 单个电池性能 (极化测试)

[0053] 实施例 1 和对比实施例 1 所制备的 MEA 在有效面积为 49cm^2 的具有蛇形沟道流场板的石墨板单个电池中进行测试。使用气囊系统, 将电池压缩到 60psi。

[0054] 该 MEA 以 $500\text{mA}/\text{cm}^2$ 并在以下条件下调节过夜: 80°C 、100 % RH 阳极 /100 % RH 阴极、 H_2 / 空气、100kPa 阳极 /100kPa 阴极、2/2 的化学配比; 在此之后, 获得一个 0.75V 的稳定电压, MEA 极化曲线在 80°C 、100 % RH 阳极 /50 % RH 阴极、 H_2 // 氧气 / 空气、50kPa 阳极 /50kPa 阴极下运行。

[0055] 结果显示在图 3 中, 其中显示了本发明的实施例 1 具有可与对比实施例 1 相比的性能, 尽管实施例 1 在 PFSA 膜的一个侧上具有烃类聚合物层。

[0056] H_2 穿透减少的测定

[0057] 在完成极化测试时, 实施例 1 和对比实施例 1 的 MEA 返回到初始条件, 即 80°C 、100 % RH 阳极 /100 % RH 阴极、 H_2 / 空气、100kPa 阳极 /100kPa 阴极、2/2 的化学配比, 维持大约 1 小时。阴极气体随后从空气切换到 N_2 ($1.5\text{L}/\text{min}$) 并且维持小的负载 ($100\text{mA}/\text{cm}^2$) 10 分钟以消耗阴极电极处的任何残余空气。然后从阴极电极采集循环伏安法测得的数据; 使用稳压器 ($0.05\text{--}1.0\text{V}$, $15\text{mV}/\text{s}$) 来控制电池。结果显示在图 4 中。在 0.35 和 0.45V 之间的电压获得的电流是由于 H_2 穿透; 电流越小穿透越少。可以看出本发明的实施例 1 在此区域中在正向和反向的电压扫略下都具有较低的平均电流, 并且因此与对比实施例 1 相比具有降低了 H_2 穿透。

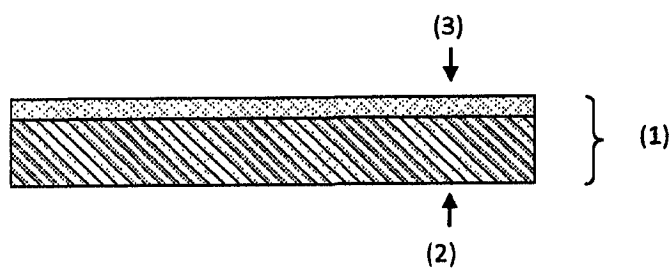


图1a

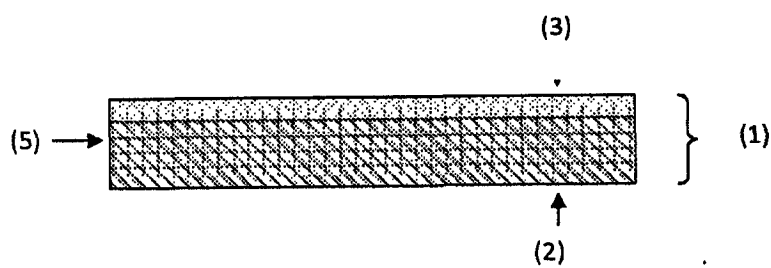


图1b

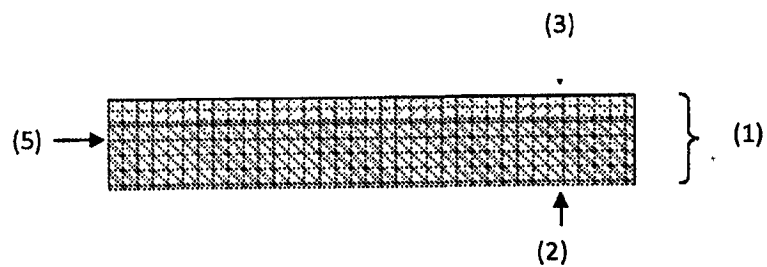


图1c

图 1

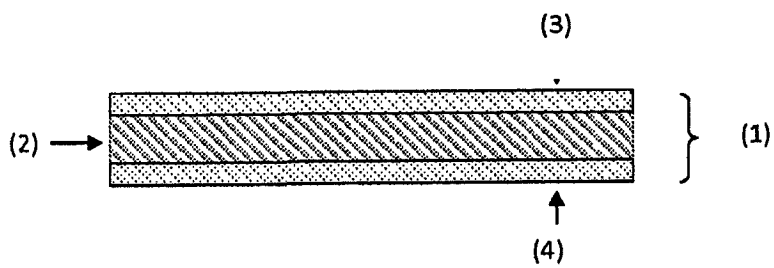


图 2a

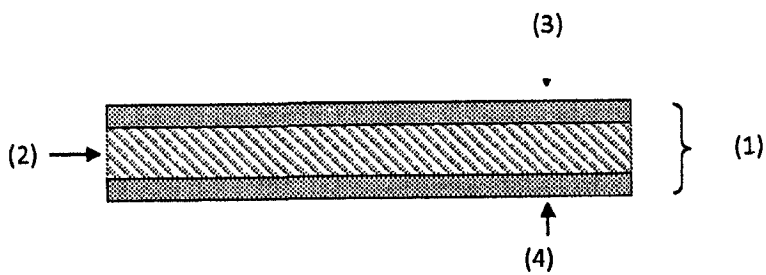


图 2b

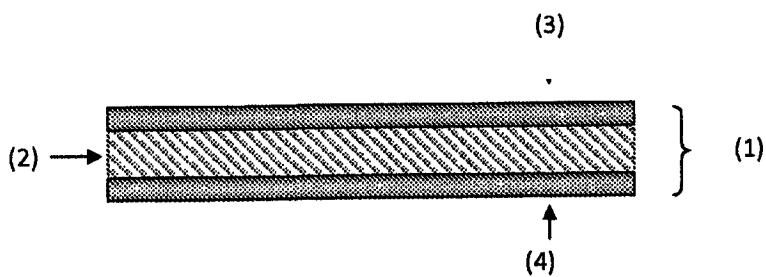


图 2c

图 2

单个电池性能数据

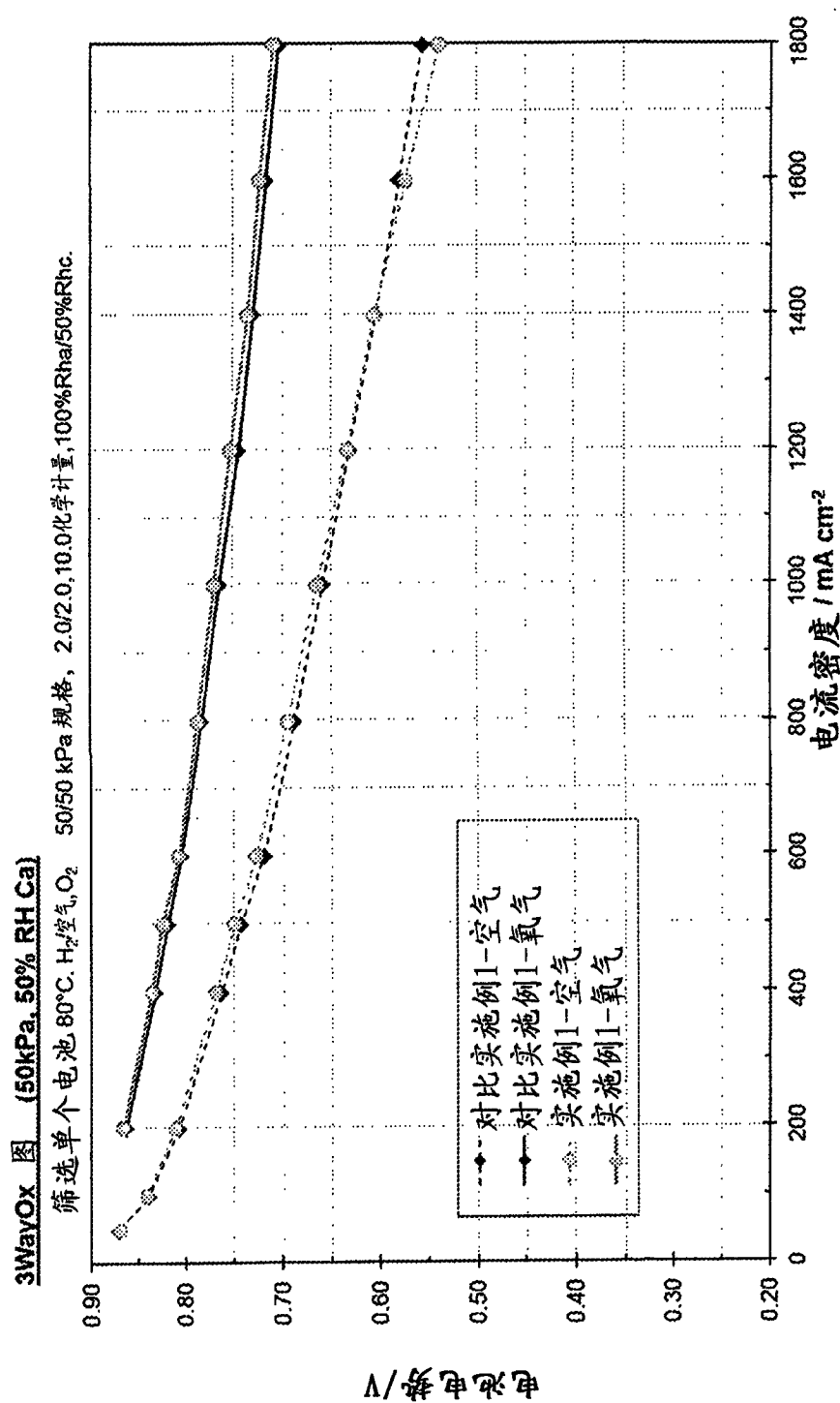


图 3

循环伏安法数据显示了改善的 H_2 穿透

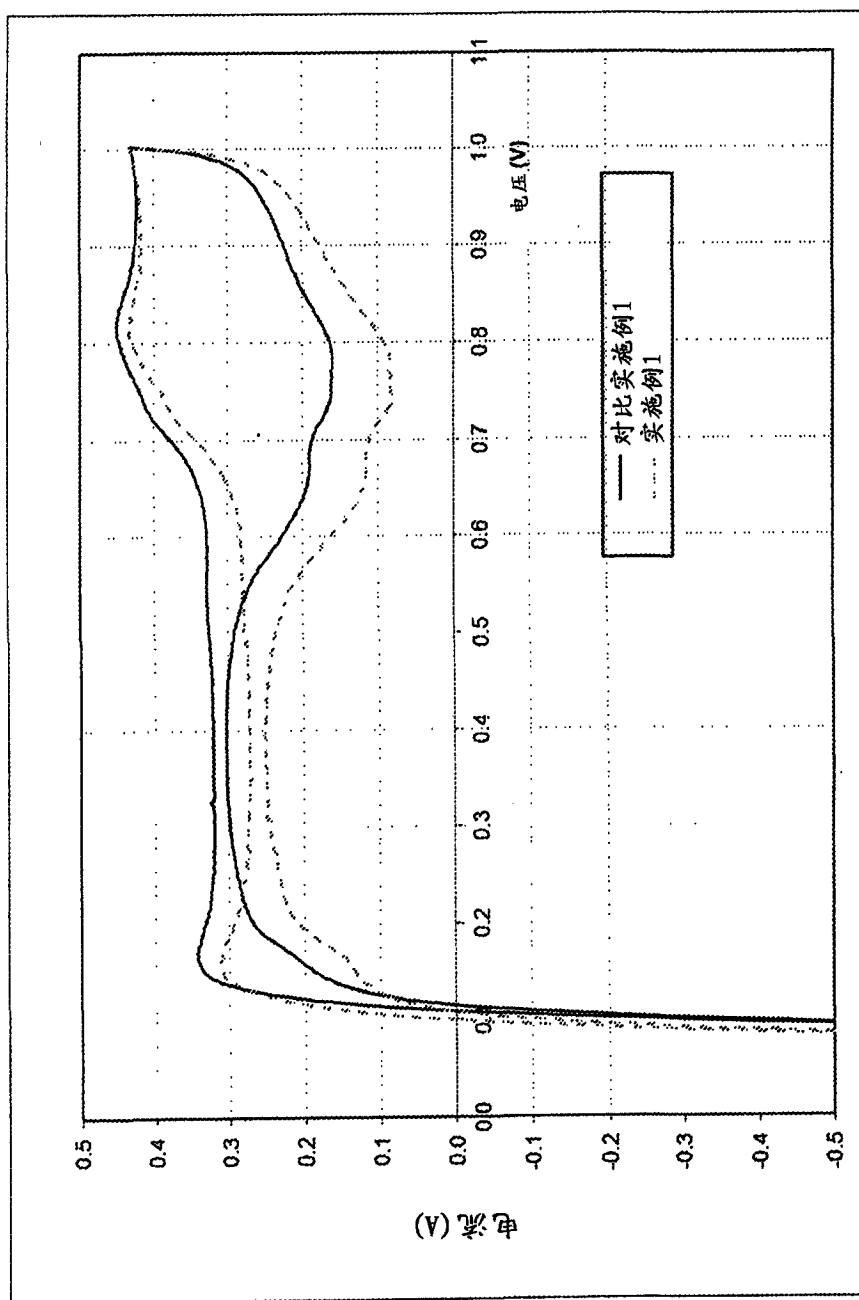


图 4