



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103339780 A

(43) 申请公布日 2013. 10. 02

(21) 申请号 201280007923. 9

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2012. 02. 08

H01M 8/18 (2006. 01)

(30) 优先权数据

H01M 8/10 (2006. 01)

13/023, 101 2011. 02. 08 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2013. 08. 07

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2012/024334 2012. 02. 08

(87) PCT申请的公布数据

W02012/109359 EN 2012. 08. 16

(71) 申请人 联合工艺公司

地址 美国康涅狄格州

(72) 发明人 M. L. 佩里 A. 潘迪 R. 扎富

C. R. 沃克

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

代理人 杜娟娟 王忠忠

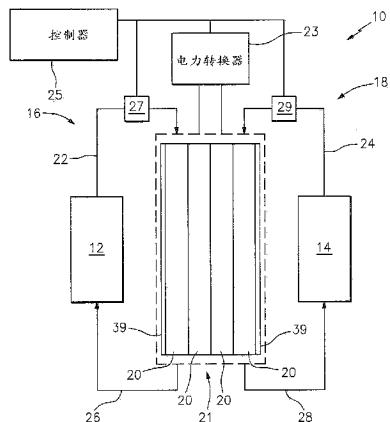
权利要求书2页 说明书6页 附图7页

(54) 发明名称

具有低电阻膜的液流电池

(57) 摘要

一种液流电池包括具有小于大约一百二十五微米的厚度的膜；以及具有可逆的氧化还原对反应物的溶液，其中溶液使膜变湿。



1. 一种液流电池，包括：

膜，所述膜具有横跨所述膜的小于大约四百二十五毫欧姆－平方厘米的面积比电阻；以及

溶液，所述溶液具有可逆的氧化还原对反应物，其中所述溶液使所述膜变湿。

2. 根据权利要求 1 所述的液流电池，其特征在于，所述液流电池还包括第一电极和第二电极，其中所述膜可操作成以大于一百毫安每平方厘米的电流密度在所述第一电极与所述第二电极之间传递离子电流。

3. 根据权利要求 1 所述的液流电池，其特征在于，所述膜构造为可渗透所述溶液内的非氧化还原对反应物。

4. 根据权利要求 1 所述的液流电池，其特征在于，所述膜具有小于大约一百二十五微米的厚度。

5. 根据权利要求 1 所述的液流电池，其特征在于，所述膜包括第一离子交换材料和与所述第一离子交换材料不同的材料的复合材料。

6. 根据权利要求 1 所述的液流电池，其特征在于，所述膜包括第一层和第二层，其中所述第一层具有第一离子交换材料，以及其中所述第二层具有与所述第一离子交换材料不同的材料。

7. 一种液流电池，包括：

膜，所述膜具有小于大约一百二十五微米的厚度，以及

溶液，所述溶液具有可逆的氧化还原对反应物，其中所述溶液使所述膜变湿。

8. 根据权利要求 7 所述的液流电池，其特征在于，所述液流电池还包括第一电极和第二电极，其中所述膜可操作成以大于一百毫安每平方厘米的电流密度在所述第一电极与所述第二电极之间传递离子电流。

9. 根据权利要求 7 所述的液流电池，其特征在于，所述膜构造为可渗透所述溶液内的非氧化还原对反应物。

10. 根据权利要求 7 所述的液流电池，其特征在于，所述膜具有横跨所述膜的小于大约四百二十五毫欧姆－平方厘米的面积比电阻。

11. 根据权利要求 7 所述的液流电池，其特征在于，所述膜包括第一离子交换材料和与所述第一离子交换材料不同的材料的复合材料。

12. 根据权利要求 10 所述的液流电池，其特征在于，所述膜包括第一层和第二层，其中所述第一层具有离子交换材料，以及其中所述第二层具有与所述离子交换材料不同的材料。

13. 一种液流电池，包括：

膜，所述膜具有离子交换材料和基质；以及

溶液，所述溶液具有可逆的氧化还原对反应物，其中所述溶液使所述膜变湿。

14. 根据权利要求 13 所述的液流电池，其特征在于，所述基质包括非传导性纤维材料。

15. 根据权利要求 14 所述的液流电池，其特征在于，所述非传导性纤维材料包括玻璃纤维、聚四氟乙烯纤维、以及聚四氟乙烯的多孔片中的一者。

16. 根据权利要求 13 所述的液流电池，其特征在于，所述离子交换材料为浸渍到所述基质中的粘合剂。

17. 根据权利要求 13 所述的液流电池, 其特征在于, 所述离子交换材料包括全氟磺酸和全氟烃基磺酰亚胺离子聚合物中的一者。
18. 根据权利要求 13 所述的液流电池, 其特征在于, 所述膜具有以下至少一者 :
小于大约一百二十五微米的厚度 ; 以及
横跨所述膜的小于大约四百二十五毫欧姆 - 平方厘米的面积比电阻。
19. 一种液流电池, 包括 :
具有第一层和第二层的膜, 其中所述第一层具有离子交换材料, 以及其中所述第二层具有与所述离子交换材料不同的材料 ; 以及
溶液, 所述溶液具有可逆的氧化还原对反应物, 其中所述溶液使所述膜变湿。
20. 根据权利要求 19 所述的液流电池, 其特征在于, 与所述第一层中的所述离子交换材料不同的所述第二层中的所述材料包括非传导性纤维材料的基质。
21. 根据权利要求 20 所述的液流电池, 其特征在于, 所述基质浸渍有离子交换粘合剂。
22. 根据权利要求 19 所述的液流电池, 其特征在于, 与所述第一层中的所述离子交换材料不同的所述第二层中的所述材料包括疏水性多孔材料。
23. 根据权利要求 19 所述的液流电池, 其特征在于, 所述第一层中的所述离子交换材料包括一类离子聚合物, 以及所述第二层包括第二类离子聚合物。
24. 根据权利要求 19 所述的液流电池, 其特征在于, 所述第二层设置在所述第一层与第三层之间, 以及其中所述第三层具有第二离子交换材料。
25. 根据权利要求 19 所述的液流电池, 其特征在于, 所述膜具有以下至少一者 :
小于大约一百二十五微米的厚度 ; 以及
横跨所述膜的小于大约四百二十五毫欧姆 - 平方厘米的面积比电阻。

具有低电阻膜的液流电池

[0001] 相关申请的交叉引用

申请人在此请求享有于 2011 年 2 月 8 日提交的美国专利申请第 13/023,101 号的优先权，该申请的公开内容通过引用并入本文中。本申请还涉及于 2009 年 12 月 18 日提交的 PCT 申请第 PCT/US09/68681 号和于 2011 年 2 月 7 日提交的美国专利申请第 13/022,285 号，这些申请中的每一个均通过引用以其整体并入。

技术领域

[0002] 本公开内容大体上涉及液流电池 (flow battery) 系统，且更具体而言，涉及具有低电阻膜的液流电池。

[0003] 背景技术信息

典型的液流电池系统包括一组液流电池单元 (cell)，每个液流电池单元均具有设置在负电极与正电极之间的离子交换膜。在运行期间，阴极电解液溶液流过正电极，而阳极电解液溶液流过负电极。阴极电解液溶液和阳极电解液溶液每一个都在可逆的氧化还原 (“redox”) 反应中以电化学方式进行反应。在反应期间，离子种类横跨离子交换膜传输，而电子通过外部电路传输，以完成电化学反应。

[0004] 离子交换膜构造成可渗透阴极电解液溶液和阳极电解液溶液中的某些非氧化还原对反应物（也被称为“电荷传输离子”或“电荷载体离子”），以便于电化学反应。然而，阴极电解液溶液和阳极电解液溶液中的氧化还原对反应物（也被称为“非电荷传输离子”或“非电荷载体离子”）也可通过离子交换膜渗透且混合在一起。氧化还原对反应物的混合可引发自身放电反应，该自身放电反应可不利地降低液流电池系统的总能量效率，尤其是当液流电池单元被以小于 100 毫安每平方厘米 (mA/cm^2) 的电流密度（其为常规液流电池单元的典型电流密度运行范围）运行时。

[0005] 通常，离子交换膜对氧化还原对反应物的渗透性与离子交换膜的厚度呈相反关系。因此，典型的液流电池单元包括相对厚的离子交换膜（例如， \geq 大约 175 微米 (μm)； \sim 6889 微英寸 (μin)），从而在尽力降低液流电池系统的总能量低效率期间减少或消除氧化还原对反应物的交叠及混合，尤其是在液流电池单元被以小于 $100 \text{mA}/\text{cm}^2$ 的电流密度运行时。

附图说明

[0006] 图 1 为液流电池系统的一个实施例的示意图，该液流电池系统包括布置成组的多个液流电池单元。

[0007] 图 2 为图 1 中的液流电池单元中的一个的一个实施例的截面示意图，该液流电池单元包括离子交换膜。

[0008] 图 3 为图 2 中的离子交换膜的一个实施例的横截面示意图。

[0009] 图 4A 到图 4C 为图 2 中的离子交换膜的不同实施例的放大局部截面示意图。

[0010] 图 5 为两个不同液流电池单元的总能量低效率对电流密度的图解比较。

具体实施方式

[0011] 参照图 1,示出了液流电池系统 10 的示意图。液流电池系统 10 构造成选择性地储存和放出电能。”储存”的意思是,将电能转换成随后可转换回电能且可被放出的可储存的形式。例如,在运行期间,液流电池系统 10 可将由可再生的或非可再生的电力系统(未示出)生成的电能转换成化学能,该化学能储存在一对第一电解质溶液和第二电解质溶液(例如,阳极电解液溶液和阴极电解液溶液)中。液流电池系统 10 随后可将储存的化学能转换回电能。合适的第一电解质溶液和第二电解质溶液的示例包括钒 / 钒电解质溶液,或大致类似的氧化还原种类的任何其它成对的阳极电解液溶液和阴极电解液溶液。然而,成对的第一电解质溶液和第二电解质溶液不限于前述示例。

[0012] 液流电池系统 10 包括第一电解质储存槽 12,第二电解质储存槽 14,第一电解质环路 16,第二电解质环路 18,至少一个液流电池单元 20,电力转换器 23 以及控制器 25。在一些实施例中,液流电池系统 10 可包括布置和压缩成在一对端板 39 之间的至少一个组 21 的多个液流电池单元 20,该多个液流电池单元 20 可操作成用以共同储存和产生电能。

[0013] 第一电解质储存槽 12 和第二电解质储存槽 14 中的每一个都适于容纳和储存电解质溶液中相应的一种。

[0014] 第一电解质环路 16 和第二电解质环路 18 每一个分别具有源导管 22、24,回流导管 26、28 及流动调节器 27、29。第一流动调节器 27 和第二流动调节器 29 每一个适于响应于相应的调节器控制信号调节电解质溶液中通过电解质环路 16,18 中的相应电解质环路的电介质溶液的流动。每个流动调节器 27,29 均可包括单个装置,诸如变速泵或电促动阀,或多个此类装置,这取决于液流电池系统的特定设计需要。每个流动调节器 27,29 均可一列式地连接在其相关联的源导管 22,24 内。

[0015] 参照图 2,示出了液流电池单元 20 的一个实施例的示意图。该液流电池单元 20 包括第一集电器 30、第二集电器 32、第一液体多孔电极层 34(下文中为“第一电极层”)、第二液体多孔电极层 36(下文中为“第二电极层”),以及离子交换膜 38。

[0016] 第一集电器 30 和第二集电器 32 每个都适于将电子传递到和 / 或传递离开第一电极层 34 或第二电极层 36 中的相应一层。在一些实施例中,每个集电器 30,32 均包括一个或多个流动通道 40 和 42。在其它实施例中,集电器中的一个或多个可构造为具有流动通道的双极板(未示出)。PCT 申请第 PCT/US09/68681 号中公开了此类双极板的示例,且由此将该申请通过引用以其整体并入。

[0017] 第一电极层 34 和第二电极层 36 每个都构造成支持液流电池单元 20 以相对较高的电流密度(例如,≥ 大约 100mA/cm²; ~ 645mA/in²)运行。于 2011 年 2 月 7 日提交的美国专利申请第 13/022,285 号中公开了此类电极层的示例,该申请由此通过引用以其整体并入。

[0018] 离子交换膜 38 构造为可渗透某些非氧化还原对反应物,例如,如钒 / 钒电解质溶液中的 H⁺ 离子,以便在电解质溶液之间传递电荷。离子交换膜 38 还构造成大致减少或防止某些氧化还原对反应物(例如,如钒阴极电解液溶液中的 V^{4+/5+} 离子或钒阳极电解液溶液中的 V^{2+/3+} 离子)经由其渗透(也被称为“交叠”)。

[0019] 离子交换膜 38 具有第一离子交换表面 56、第二离子交换表面 58、厚度 60 和截面

面积 59(参照图 3)。离子交换膜还具有某些材料性质,这些材料性质包括离子电阻、面积比电阻、传导率和电阻率。膜厚度 60 在第一离子交换表面 56 与第二离子交换表面 58 之间延伸。沿第一离子交换表面 56 与第二离子交换表面 58 之间的路径以欧姆(Ω)为单位测量离子电阻。离子电阻为膜厚度 60、膜截面面积 59(参照图 3)以及体膜电阻率的函数。例如,离子电阻可使用以下等式来确定:

$$R = (\rho * L) / A$$

其中," R " 表示离子电阻," ρ " 表示膜体电阻率," L " 表示膜厚度 60," A " 表示膜横截面面积 59(参照图 3)。面积比电阻为离子电阻和膜横截面面积 59(参照图 3)的函数。例如,面积比电阻可使用以下等式来确定:

$$R_{AS} = R * A$$

其中," R_{AS} " 表示离子交换膜 28 的面积比电阻。

[0020] 膜厚度 60 的大小可确定成和 / 或面积比电阻可选择成降低随液流电池单元 20 以其运行的平均电流密度而变化的液流电池单元 20 的总能量低效率,下文将对其进行更加详细的描述。在一个实施例中,膜厚度 60 大小确定为小于大约 125 μm (~4921 μin)(例如,<100 μm ; ~3937 μin),其中液流电池单元 20 被以大于大约 100mA/cm²(~645mA/in²)(例如,> 大约 200mA/cm²; ~1290mA/in²) 的平均电流密度运行。在另一个实施例中,面积比电阻选择为小于大约 425m $\Omega * \text{cm}^2$ (~2742m $\Omega * \text{in}^2$),其中液流电池单元 20 被以大于大约 100mA/cm²(例如,> 大约 200mA/cm²) 的平均电流密度运行。

[0021] 参照图 4A 至图 4C,离子交换膜 38 包括一个或多个膜层 61。例如,在图 4A 中示出的实施例中,离子交换膜 38 由聚合离子交换材料(也被称为“离子聚合物”)的单层 62 构造而成,该聚合离子交换材料诸如为全氟磺酸(也被称为“PSFA”)(例如,由美国、特拉华州(Delaware)、威尔明顿(Wilmington)的 DuPont 制造的 Nafion® 聚合物)或全氟烃基磺酰亚胺(perfluoroalkyl sulfonimide)离子聚合物(也被称为“PFSI”)。其它合适的离子聚合物材料包括任何附有离子基的聚合物,与基于碳氢化合物的聚合物相比,该附有离子基的聚合物可完全氟化或部分氟化以便提高稳定性。合适的聚合物的示例包括诸如 Teflon®(由美国、特拉华州、威尔明顿的 DuPont 制造的)等聚四氟乙烯(也被称为“PTFE”),聚偏二氟乙烯(也被称为“PVDF”),以及聚苯并咪唑(也被称为“PBI”)。适合的离子基(ionic group)的示例包括磺酸盐、磺酰胺类(sulfonimides)、磷酸盐、磷酸基、磺基、以及各种阴离子基。

[0022] 在图 4B 中示出的实施例中,离子交换膜 38 由复合层 64 构造而成。复合层 64 可包括非传导性的纤维材料(例如,玻璃纤维)的基质,或 PTFE 的多孔片(诸如,由 W. L. Gore 与美国、特拉华州、纽华克(Newark)的 Associates 制造的 Gore-Tex® 材料),该多孔片浸渍有离子交换粘合剂或离子聚合物(例如,PFSA、PFSI 等)。可替代地,该复合层 64 可由非传导性纤维材料或 PTFE 和离子交换离子聚合物(例如,PFSA)的混合物构造而成。

[0023] 在图 4C 中示出的实施例中,离子交换膜 38 由设置在两个聚合层 68 和 69 之间的复合层 66 构造而成。复合层 66 可由如以上指出的浸渍有离子交换粘合剂的非传导性的纤维材料的基质构造而成。聚合层 68 和 69 每个可由聚合离子交换材料构造而成,诸如 PFSA、PFSI 或一些其它基于含氟聚合物的离子聚合物,或基于共聚物的离子聚合物。可替代地,每个聚合层 68,69 每个可由不同类型的离子聚合物构造而成。例如,邻近阳极电解液溶液

的聚合层可由对氧化较不稳定的离子聚合物（如，基于碳氢化合物的离子聚合物）构造而成。另一方面，邻近阴极电解液溶液的聚合层可由对氧化更加稳定的离子聚合物（如全氟化的离子聚合物）构造而成。在备选实施例中，聚合离子交换材料层（例如，PFSA 的层）可设置在不是离子聚合物材料（例如，多孔聚乙烯或多孔 PTFE，如由 W. L. Gore 与美国、特拉华州、纽华克的 Associates 制造的 Gore-Tex® 材料）的两个多孔聚合物层之间。在一些实施例中，可预先处理疏水性材料（如，PTFE），以使它们成为亲水性的。此类处理过的多孔 PTFE 层的示例为由 W. L. Gore 与美国、特拉华州、纽华克的 Associates 制造的 GORE™ 聚四氟乙烯 (PTFE) 分离器（以前称为 EXCELLERATOR®）。然而，离子交换膜 38 不限于前述构造和材料。

[0024] 再参照图 2，离子交换膜 38 设置在第一电极层 34 与第二电极层 36 之间。例如，在一个实施例中，第一电极层 34 和第二电极层 36 被热压或以其它方式键合到离子交换膜 38 的相对侧上，以附连和增加前述层 34, 36 与 38 之间的界面表面面积。第一电极层 34 与第二电极层 36 设置在第一集电器 30 与第二集电器 32 之间，且连接到第一集电器 30 和第二集电器 32。

[0025] 再参照图 1，电力转换器 23 适于响应于转换器控制信号通过调节液流电池单元 20 与例如，电网（未示出）之间的电流的交换来调节液流电池单元以其运行的电流密度。电力转换器 23 可包括单个双向电力转换器或一对单向电力转换器，这取决于液流电池系统的特定设计需要。适合的电力转换器的示例包括电力逆变器、连接到 DC 总线的 DC/DC 转换器等。然而，本系统 10 不限于任何特定类型的电力转换或调节装置。

[0026] 控制器 25 可由本领域中的技术人员使用硬件、软件或它们的组合来实现。例如，硬件可包括一个或多个处理器、模拟和 / 或数字电路等。控制器 25 适于通过生成转换器和调节器控制信号来控制来自液流电池系统 10 的电能的储存和放出。转换器控制信号被生成用以控制液流电池单元以其运行的电流密度。调节器控制信号被生成用以控制电解质溶液以其循环穿过液流电池系统 10 的流动速率。

[0027] 参照图 1 和图 2，第一电解质环路 16 的源导管 22 将第一电解质储存槽 12 流体地连接到每个液流电池单元的第一集电器 30 和第一电极层 34 中的一者或两者。第一电解质环路 16 的回流导管 26 将每个液流电池单元的第一集电器 30 和 / 或第一电极层 34 相互流体地连接到第一电解质储存槽 12。第二电解质环路 18 的源导管 24 将第二电解质储存槽 14 流体地连接到每个液流电池单元的第二集电器 32 和第二电极层 36 中的一者或两者。第二电解质环路 18 的回流导管 28 将每个液流电池单元的第二集电器 32 和 / 或第二电极层 36 相互流体地连接到第二电解质储存槽 14。电力转换器 23 通过一对第一集电器 30 和第二集电器 32 连接到液流电池单元，各个集电器均可设置在其中单元串接地互连的组 21 的相对端部上的不同液流电池单元 20 中。控制器 25 与电力转换器 23、和第一流动调节器 27 及第二流动调节器 29 信号通信（例如，硬接线的或无线连接的）。

[0028] 还参照图 1 和图 2，在液流电池系统 10 的运行期间，第一电解质溶液通过第一电解质环路 16 在第一电解质储存槽 12 与液流电池单元 20 之间循环（例如，经由流动调节器 27 泵送）。更具体而言，第一电解质溶液通过第一电解质环路 16 的源导管 22 被引导到各个液流电池单元 20 的第一集电器 30。第一电解质溶液流动通过在第一集电器 30 中的通道 40，且渗透或流入到第一电极层 34 中并从第一电极层 34 中流出；即，使第一电极层 34

变湿。第一电解质溶液通过第一电极层 34 的渗透可由扩散或强制对流引起,如 PCT 申请第 PCT/US09/68681 号中公开的那样,对于以相对高的电流密度的运行,这可有助于相对高的反应速率。第一电解质环路 16 的回流导管 26 将第一电解质溶液从每个液流电池单元 20 的第一集电器 30 引回到第一电解质储存槽 12。

[0029] 第二电解质溶液通过第二电解质环路 18 在第二电解质储存槽 14 与液流电池单元 20 之间循环(例如,经由流量调节器 29 泵送)。更具体而言,第二电解质溶液通过第二电解质环路 18 的源导管 24 引到每个液流电池单元 20 的第二集电器 32 中。第二电解质溶液流动通过在第二集电器 32 中的通道 42,且渗透或流入到第二电极层 36 中并从第二电极层 36 中流出;即,使第二电极层 36 变湿。如以上所指出的那样,第二电解质溶液通过第二电极层 36 的渗透可由扩散或强制对流引起,如 PCT 申请第 PCT/US09/68681 号中公开的那样,对于以相对高的电流密度的运行,这可便于相对高的反应速率。第二电解质环路 18 的回流导管 28 将第二电解质溶液从每个液流电池单元 20 的第二集电器 32 引回到第二电解质储存槽 14。

[0030] 在运行的能量储存模式期间,电能通过集电器 30 和 32 输入到液流电池单元 20 中。电能通过第一电解质溶液和第二电解质溶液中的电化学反应,以及非氧化还原对反应物横跨离子交换膜 38 例如从第一电解质溶液到第二电解质溶液的转移来转换成化学能。然后,化学能储存在电解质溶液中,该电解质溶液分别储存在第一电解质储存槽 12 和第二电解质储存槽 14 中。另一方面,在运行的能量放出模式期间,储存在电解质溶液中的化学能通过第一电解质溶液和第二电解质溶液中的逆电化学反应,以及非氧化还原对反应物横跨离子交换膜 38 例如从第二电解质溶液到第一电解质溶液的转移来转换回电能。由液流电池单元 20 重新生成的电能通过集电器 30 和 32 从该单元发出。

[0031] 在运行的能量储存和能量放出模式期间,液流电池系统 10 的能量效率为包括在液流电池系统 10 中的各个液流电池单元 20 的总能量低效率的函数。各个液流电池单元 20 的总能量低效率继而又是相应的单元 20 中的离子交换膜 38 的 (i) 过电势低效率和 (ii) 库仑 (coulombic) 交叠低效率的函数。

[0032] 离子交换膜 38 的过电势低效率为离子交换膜 38 的面积比电阻和厚度 60 的函数。例如,过电势低效率可使用以下等式来确定:

$$n_v = (V - V_{OCV})/V_{OCV},$$

$$V = f(iR_{AS})$$

其中 " n_v " 表示过电势低效率," V " 表示液流电池单元 20 的电压电势," V_{OCV} " 表示开路电压," $f()$ " 表示函数关系,以及 " i " 表示横跨离子交换膜 38 的离子电流。

[0033] 离子交换膜 38 的库仑交叠低效率为氧化还原对反应物的交叠以及因此为膜的厚度 60 的函数。例如,库仑交叠低效率可使用以下等式来确定:

$$n_c = Flux_{cross-over} / Consumption$$

$$Flux_{cross-over} = f(L)$$

其中 " n_c " 表示库仑交叠低效率," $Flux_{cross-over}$ " 表示扩散通过离子交换膜 38 的氧化还原对种类的流通速率,以及 "Consumption" 表示由离子电流转换的氧化还原对种类横跨离

子交换膜 38 的速率。

[0034] 参照图 5,示出了液流电池单元 20 的第一实施例和第二实施例的总能量低效率对电流密度的图解比较。液流电池单元 20 的第一实施例(经由虚线 70 示出的)具有带有大约 $160 \mu\text{m}$ ($\sim 6299 \mu\text{in}$) 的厚度的离子交换膜。液流电池单元 20 的第二实施例(经由实线 72 示出的)具有带有大约 $50 \mu\text{m}$ ($\sim 1968 \mu\text{in}$) 的厚度的离子交换膜。当单元 20 以大于大约 150mA/cm^2 ($\sim 967\text{mA/in}^2$) 的电流密度运行时,相对于液流电池单元的第一实施例的能量低效率,具有较薄的膜厚度的液流电池单元 20 的第二实施例具有较低的总能量低效率。通过高于前述相对高的电流密度运行液流电池单元 20,至少部分地实现了较低的总能量低效率,从而减轻由于较薄的膜厚度和较小的面积比电阻引起的附加氧化还原对反应物的交叠。换言之,当由于薄的膜厚度引起的库仑交叠低效率的增加幅度小于由于相应的离子交换膜的小的面积比电阻引起的过电势低效率的减小幅度时,实现了液流电池单元的较低的总能量低效率。

[0035] 尽管已经公开了本液流电池的各种实施例,但对本领域中的普通技术人员将变得明显的是,远远更多的实施例和实施方案也可能在其范围内。因此,除根据所附权利要求和它们的等同物外,本液流电池并不受限。

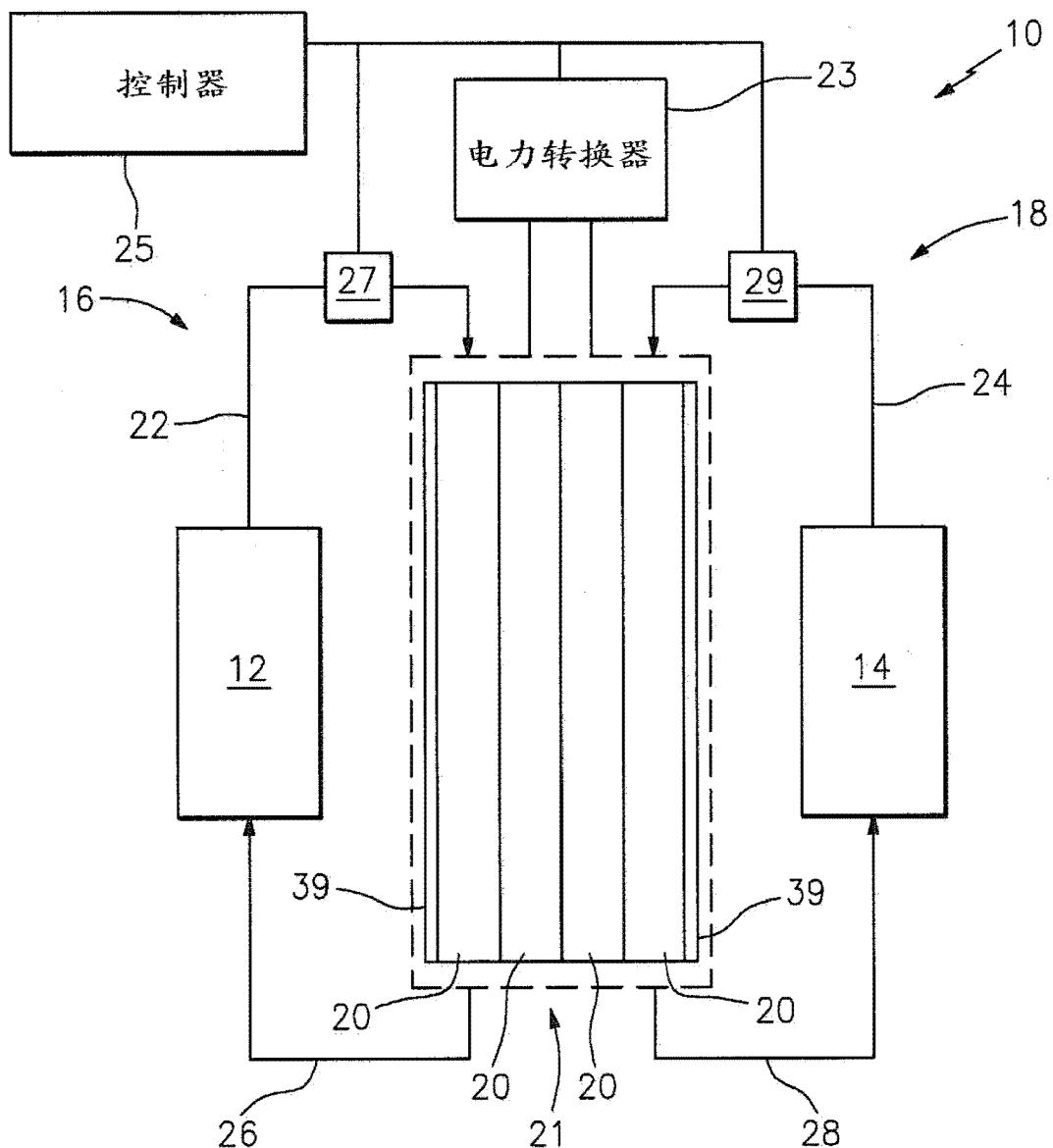


图 1

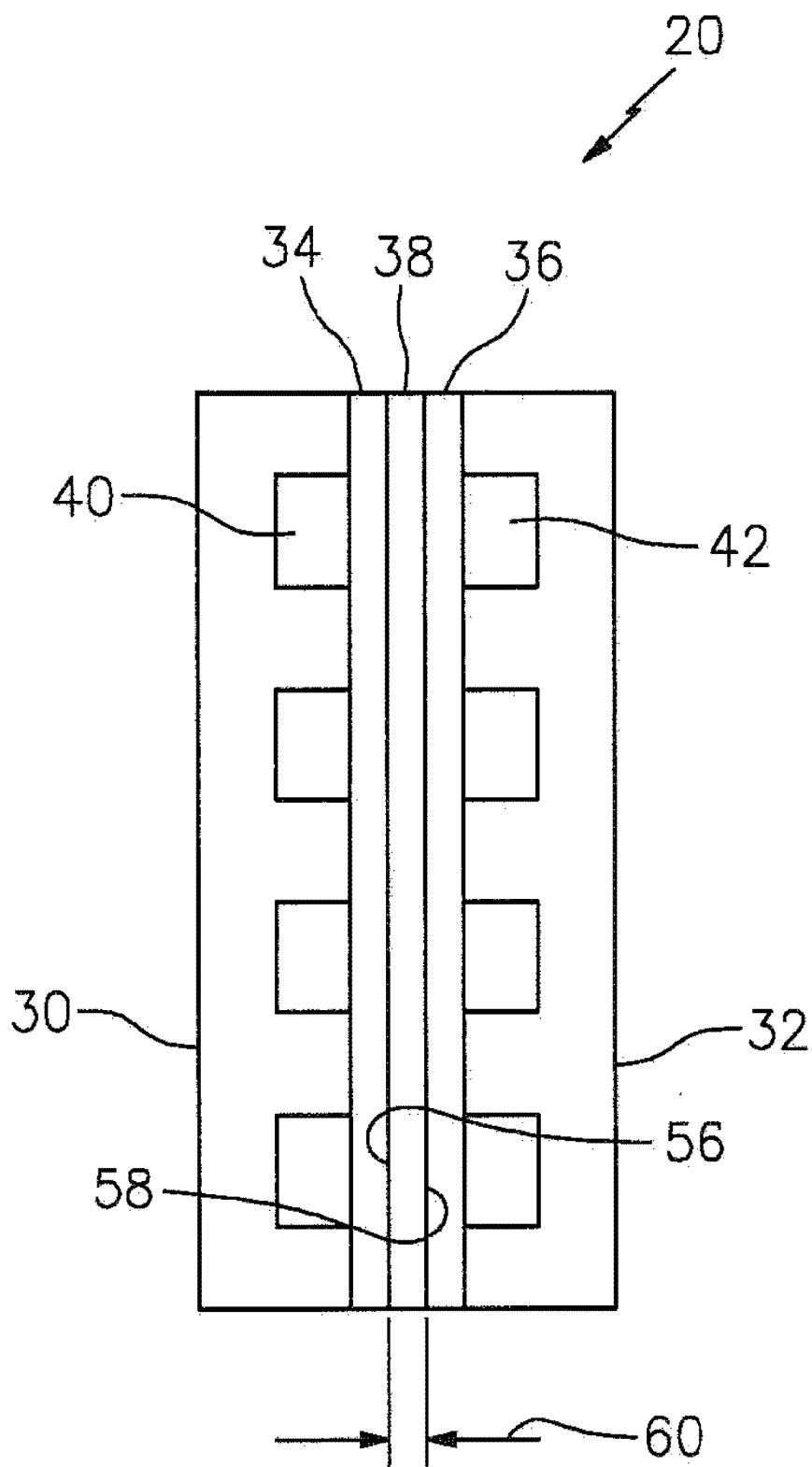


图 2

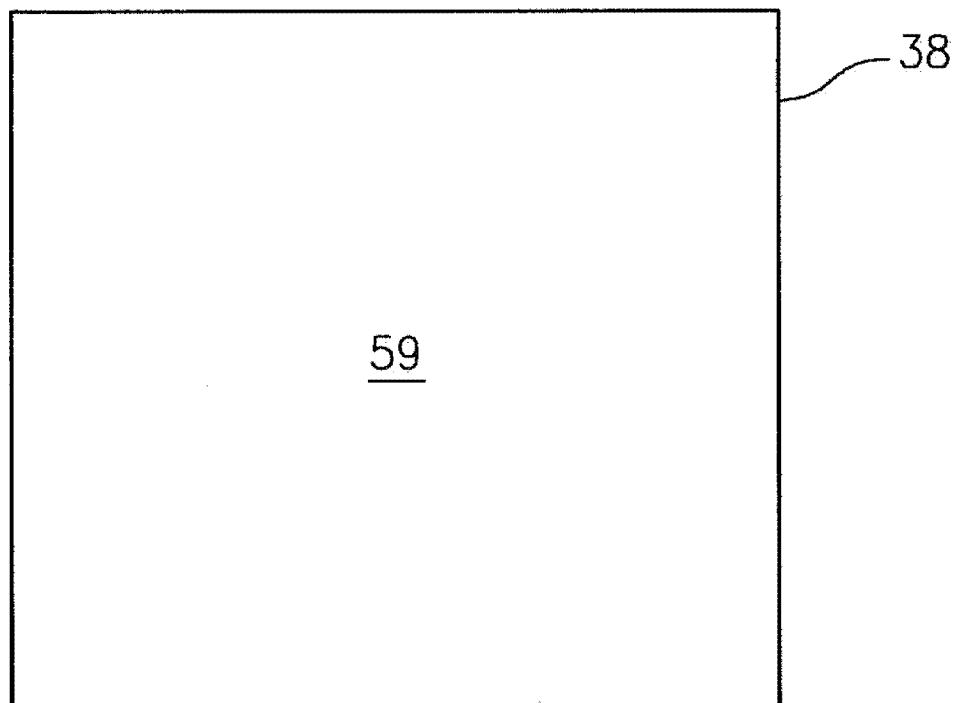


图 3

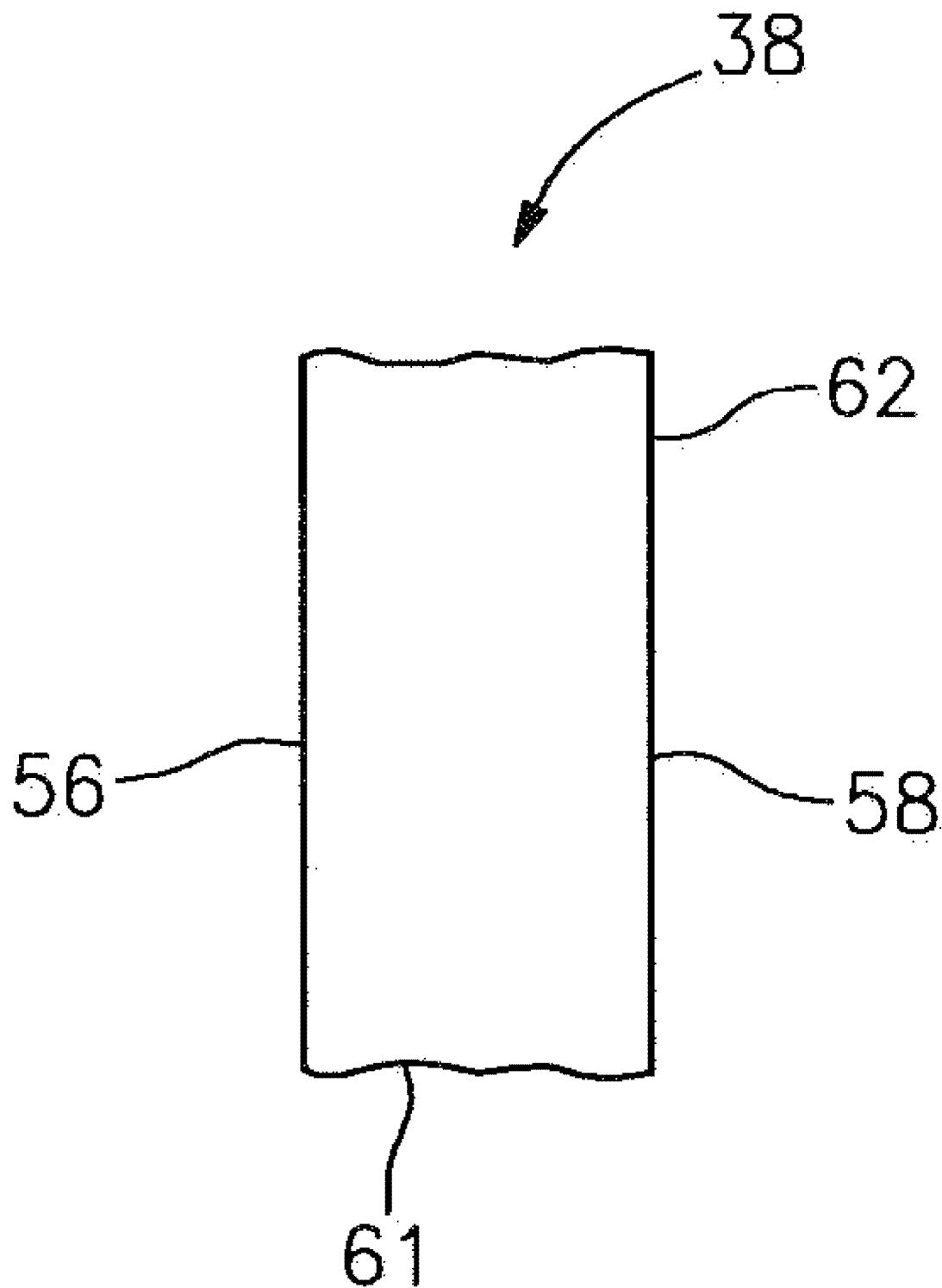


图 4A

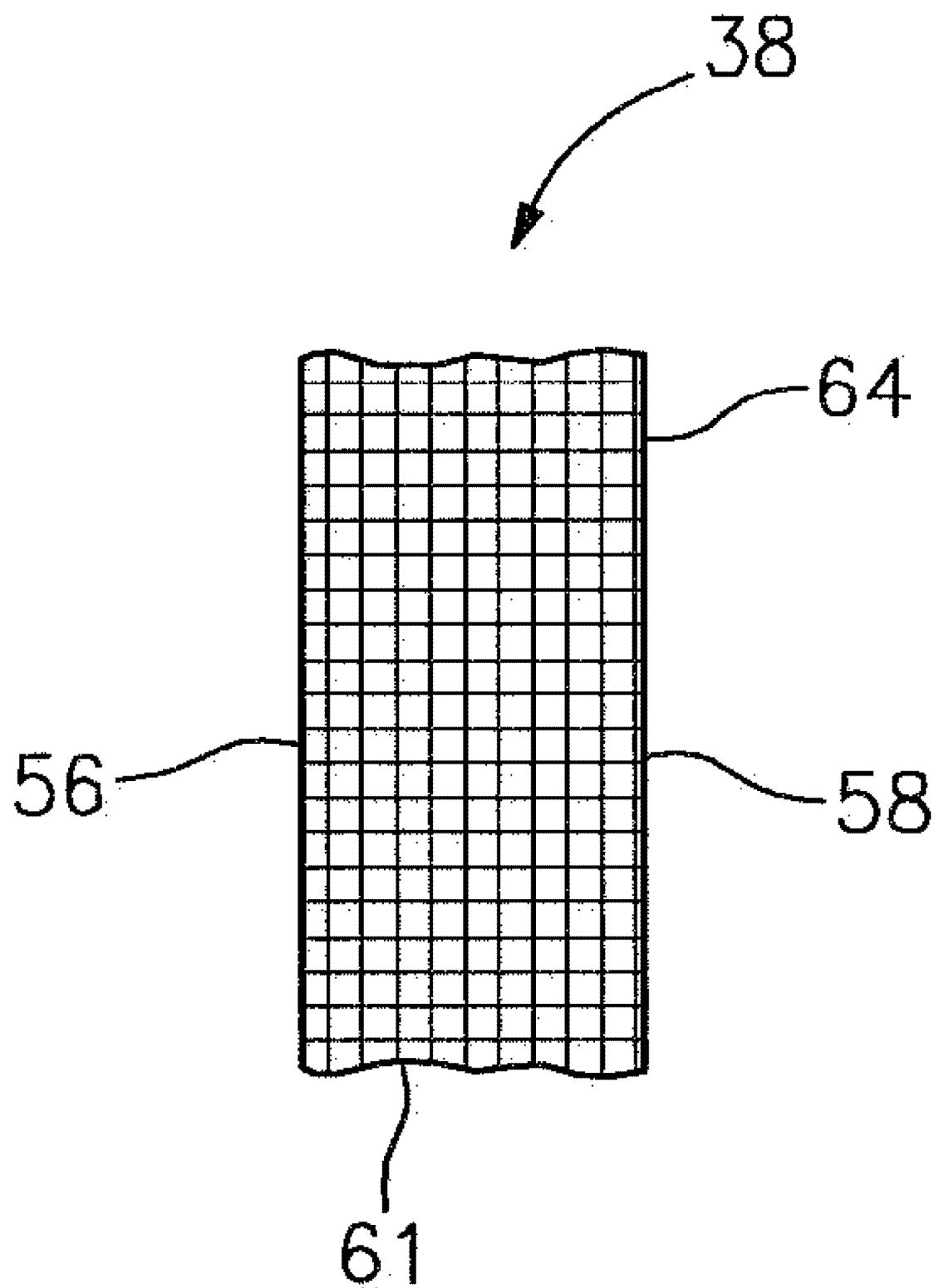


图 4B

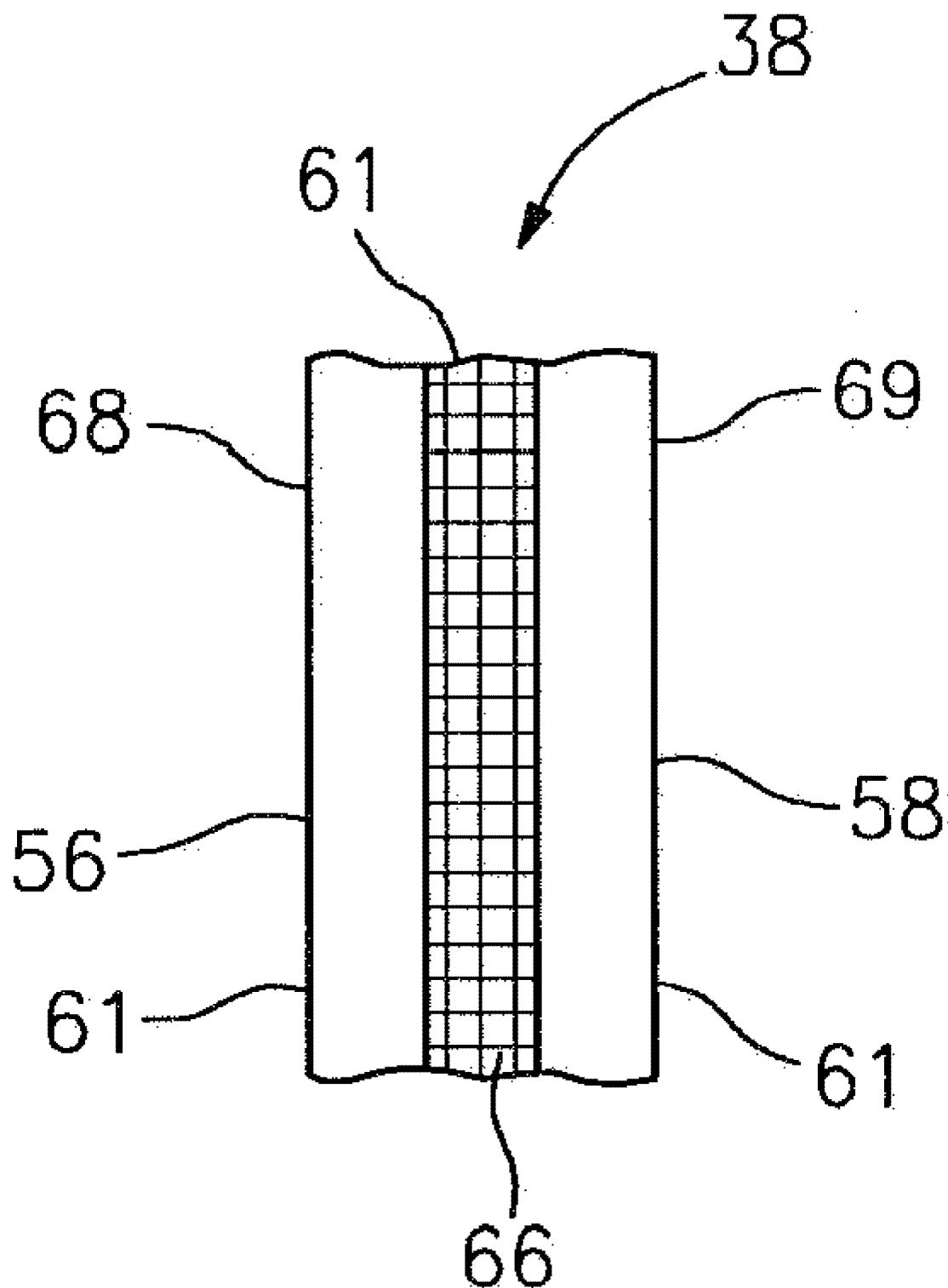


图 4C

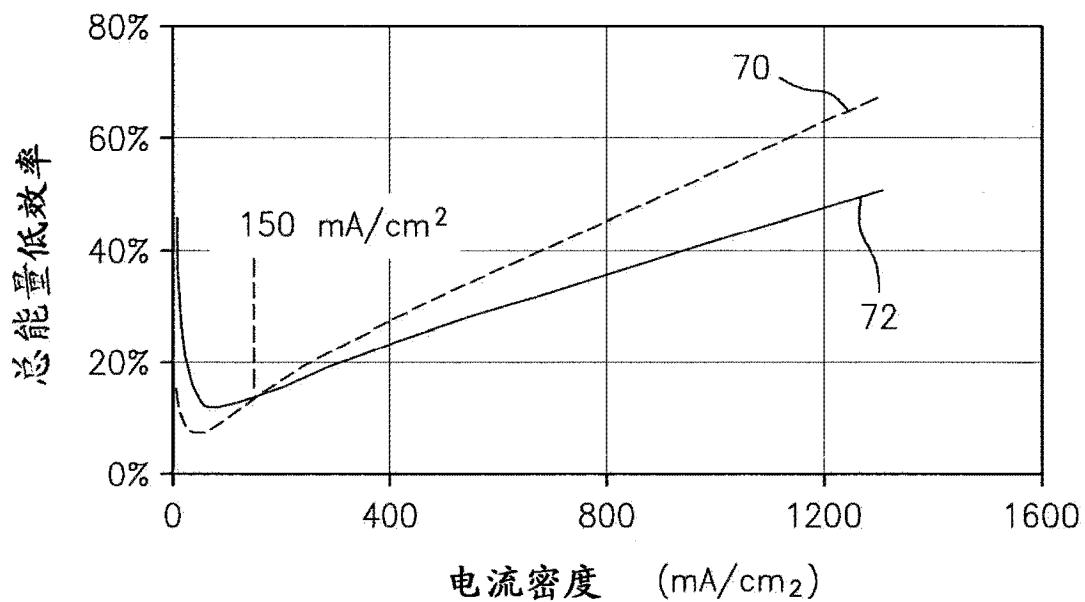


图 5