

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6773053号
(P6773053)

(45) 発行日 令和2年10月21日(2020.10.21)

(24) 登録日 令和2年10月5日(2020.10.5)

(51) Int.Cl.	F I
HO 1 M 8/0258 (2016.01)	HO 1 M 8/0258
HO 1 M 8/12 (2016.01)	HO 1 M 8/12 1 O 1
HO 1 M 8/0265 (2016.01)	HO 1 M 8/12 1 O 2 A
HO 1 M 4/86 (2006.01)	HO 1 M 8/0265
	HO 1 M 4/86 M

請求項の数 6 (全 28 頁)

(21) 出願番号 特願2017-564236 (P2017-564236)	(73) 特許権者 000002130 住友電気工業株式会社 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(86) (22) 出願日 平成29年1月23日(2017.1.23)	(74) 代理人 110002745 特許業務法人河崎・橋本特許事務所
(86) 国際出願番号 PCT/JP2017/002122	(72) 発明者 平岩 千尋 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友 電気工業株式会社伊丹製作所内
(87) 国際公開番号 W02017/130904	(72) 発明者 東野 孝浩 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友 電気工業株式会社伊丹製作所内
(87) 国際公開日 平成29年8月3日(2017.8.3)	(72) 発明者 俵山 博匡 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友 電気工業株式会社伊丹製作所内
審査請求日 令和1年7月22日(2019.7.22)	
(31) 優先権主張番号 特願2016-16683 (P2016-16683)	
(32) 優先日 平成28年1月29日(2016.1.29)	
(33) 優先権主張国・地域又は機関 日本国(JP)	

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 燃料電池

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1電極、第2電極、および、前記第1電極および前記第2電極の間に介在する電解質層を備え、前記電解質層がイオン伝導性を有する固体酸化物を含むセル構造体と、

互いに対向する一対の主面を有し、前記第1電極に隣接して配置され、かつ、前記一対の主面の一方が前記第1電極に対向し、前記第1電極にガスを供給するガス拡散層と、

互いに対向する一対の板面を有し、前記ガス拡散層に隣接して配置され、前記一対の板面の一方が前記ガス拡散層の他方の主面に対向し、前記ガス拡散層に前記ガスを供給するガス流路板と、

を備え、

前記ガス拡散層は、三次元網目状の骨格を有する金属多孔体であり、

前記ガス流路板は、第1領域、第2領域および第3領域を備え、

前記第1領域、前記第2領域および前記第3領域は、前記ガス流路板の他方の板面から前記ガス流路板の前記一方の板面に向かって、厚さ方向に前記第1領域、前記第2領域および前記第3領域の順に位置し、

前記第1領域には前記ガス流路板の厚さ方向に前記第1領域を貫く第1流路が形成され、

前記第2領域には前記ガス流路板の厚さ方向に前記第2領域を貫く第2流路が形成され、

前記第3領域には前記ガス流路板の厚さ方向に前記第3領域を貫く第3流路が形成され

、
前記第 1 流路は、前記ガス流路板の前記他方の板面に開口するとともに前記第 2 流路に
連通し、

前記第 2 流路は、前記第 3 流路に連通し、

前記第 3 流路は、前記ガス流路板の前記一方の板面に開口するとともに前記ガス拡散層
に連通し、

前記一方の板面の法線方向から見た前記第 1 流路は、前記第 1 領域と前記第 2 領域との
境界面において、前記一方の板面の中心から外縁に向かう方向に延出したスリットを含み、

前記法線方向から見た前記第 1 領域と前記第 2 領域との境界面における前記第 1 流路の
総面積を第 1 開口面積 S_1 とし、

前記法線方向から見た前記第 2 領域と前記第 3 領域との境界面における前記第 2 流路の
総面積を第 2 開口面積 S_2 とし、

前記法線方向から見た前記第 3 領域と前記ガス拡散層の前記他方の主面との境界面にお
ける前記第 3 流路の総面積を第 3 開口面積 S_3 としたとき、 $S_2 < S_1 < S_3$ の関係を満
たす、燃料電池。

【請求項 2】

前記一方の板面の法線方向から見た前記第 2 流路は、前記第 2 領域と前記第 3 領域との
前記境界面においてスポット形状である、請求項 1 に記載の燃料電池。

【請求項 3】

前記ガス流路板の前記一方の板面の中心点と外縁とを結ぶ複数の任意の直線を引き、前
記直線上にあって前記中心点からの距離が当該直線の $1/4$ である複数の地点を繋いで形
成される図形で囲まれた前記中心点を含む領域を中央部としたときの前記中央部の面積に
対する、前記第 3 流路の前記中央部における開口面積の割合を R_{in} とし、

前記ガス流路板の前記一方の板面の前記中央部以外の外縁部の面積に対する、前記第 3
流路の前記外縁部における開口面積の割合を R_{out} としたとき、

$0.8 < R_{in} / R_{out} < 1.2$ の関係を満たす、請求項 1 または請求項 2 に記載の
燃料電池。

【請求項 4】

前記第 1 領域は第 1 板状部材であり、前記第 2 領域は第 2 板状部材であり、前記第 3 領
域は第 3 板状部材であり、

前記ガス流路板は、前記第 1 板状部材と前記第 2 板状部材と前記第 3 板状部材との積層
体である、請求項 1 ~ 請求項 3 のいずれか一項に記載の燃料電池。

【請求項 5】

前記金属多孔体の気孔率が、85 体積% 以上である、請求項 1 ~ 請求項 4 のいずれか一
項に記載の燃料電池。

【請求項 6】

前記第 1 電極がアノードである、請求項 1 ~ 請求項 5 のいずれか一項に記載の燃料電池

。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、燃料電池に関する。

本出願は、2016年1月29日出願の日本出願第2016-016683号に基づく優
先権を主張し、前記日本出願に記載された全ての記載内容を援用するものである。

【背景技術】

【0002】

燃料電池は、水素などの燃料ガスと空気（酸素）との電気化学反応によって発電する装
置であり、化学エネルギーを電気に直接変換できるため、発電効率が高い。なかでも、動

10

20

30

40

50

作温度が1000以下である固体酸化物型燃料電池(以下、SOFCと称する)は、反応速度が速いため、有望視されている。SOFCには、固体酸化物を含む電解質層と、セラミックス(焼結体)により形成される2枚の電極とが、一体化されたセル構造体を使用される。すなわち、セル構造体の構成要素がすべて固体であるため、取り扱いが容易である。

【0003】

燃料電池には、セル構造体に燃料ガスあるいは空気を供給するため、通常、セル構造体に隣接するインターコネクタにガス流路が形成される。例えば、特許文献1では、インターコネクタに、エッチング等によりガス流路となるディンプルを形成する方法を教示している。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】国際公開第2003/12903号パンフレット

【発明の概要】

【0005】

本発明の一局面は、第1電極、第2電極、および、前記第1電極および前記第2電極の間に介在する電解質層を備え、前記電解質層がイオン伝導性を有する固体酸化物を含むセル構造体と、互いに対向する一对の主面を有し、前記第1電極に隣接して配置され、かつ、前記一对の主面の一方が前記第1電極に対向し、前記第1電極にガスを供給するガス拡散層と、互いに対向する一对の板面を有し、前記ガス拡散層に隣接して配置され、前記一对の板面の一方が前記ガス拡散層の他方の主面に対向し、前記ガス拡散層に前記ガスを供給するガス流路板と、を備え、前記ガス拡散層は、三次元網目状の骨格を有する金属多孔体であり、前記ガス流路板は、第1領域、第2領域および第3領域を備え、前記第1領域、前記第2領域および前記第3領域は、前記ガス流路板の他方の板面から前記ガス流路板の前記一方の板面に向かって、厚さ方向に前記第1領域、前記第2領域および前記第3領域の順に位置し、前記第1領域には前記ガス流路板の厚さ方向に前記第1領域を貫く第1流路が形成され、前記第2領域には前記ガス流路板の厚さ方向に前記第2領域を貫く第2流路が形成され、前記第3領域には前記ガス流路板の厚さ方向に前記第3領域を貫く第3流路が形成され、前記第1流路は、前記ガス流路板の前記他方の板面に開口するとともに前記第2流路に連通し、前記第2流路は、前記第3流路に連通し、前記第3流路は、前記ガス流路板の前記一方の板面に開口するとともに前記ガス拡散層に連通し、前記一方の板面の法線方向から見た前記第1流路は、前記第1領域と前記第2領域との境界面において、前記一方の板面の中心から外縁に向かう方向に延出したスリットを含み、前記法線方向から見た前記第1領域と前記第2領域との境界面における前記第1流路の総面積を第1開口面積 S_1 とし、前記法線方向から見た前記第2領域と前記第3領域との境界面における前記第2流路の総面積を第2開口面積 S_2 とし、前記法線方向から見た前記第3領域と前記ガス拡散層の前記他方の主面との境界面における前記第3流路の総面積を第3開口面積 S_3 としたとき、 $S_2 < S_1 < S_3$ の関係を満たす、燃料電池に関する。

20

30

【図面の簡単な説明】

40

【0006】

【図1】図1は、本発明の一実施形態に係る燃料電池の要部の構造を模式的に示す断面図である。

【図2】図2は、本発明の一実施形態に係るガス拡散層およびガス流路板の構成を展開して示す斜視図である。

【図3A】図3Aは、本発明の一実施形態に係る第1領域を示す上面図である。

【図3B】図3Bは、本発明の他の一実施形態に係る第1領域を示す上面図である。

【図3C】図3Cは、本発明の他の一実施形態に係る第1領域を示す上面図である。

【図4A】図4Aは、本発明の一実施形態に係る第2領域を示す上面図である。

【図4B】図4Bは、本発明の他の一実施形態に係る第2領域を示す上面図である。

50

【図 4 C】図 4 C は、本発明の他の一実施形態に係る第 2 領域を示す上面図である。

【図 5 A】図 5 A は、本発明の一実施形態に係る第 3 領域を示す上面図である。

【図 5 B】図 5 B は、本発明の他の一実施形態に係る第 3 領域を示す上面図である。

【図 5 C】図 5 C は、本発明の他の一実施形態に係る第 3 領域を示す上面図である。

【図 6】図 6 が、S O E C 方式を用いた水素製造装置の要部の構造を模式的に示す断面図である。

【図 7】図 7 は、実施例 1 に係るガス流路板の構成を模式的に示す上面図である。

【図 8】図 8 は、実施例 1 に係る燃料電池のガス拡散性の評価結果を示すグラフである。

【図 9】図 9 は、実施例 2 に係るガス流路板の構成を模式的に示す上面図である。

【図 10】図 10 は、実施例 2 に係る燃料電池のガス拡散性の評価結果を示すグラフである。

10

【図 11】図 11 は、実施例 3 に係るガス流路板の構成を模式的に示す上面図である。

【図 12】図 12 は、実施例 3 に係る燃料電池のガス拡散性の評価結果を示すグラフである。

【図 13】図 13 は、実施例 4 に係るガス流路板の構成を模式的に示す上面図である。

【図 14】図 14 は、実施例 4 に係る燃料電池のガス拡散性の評価結果を示すグラフである。

【図 15】図 15 は、実施例 5 に係るガス流路板の構成を模式的に示す上面図である。

【図 16】図 16 は、実施例 5 に係る燃料電池のガス拡散性の評価結果を示すグラフである。

20

【図 17】図 17 は、比較例 1 に係るガス流路板の構成を模式的に示す上面図である。

【図 18 A】図 18 A は、比較例 1 に係る燃料電池のガス拡散性の評価結果を示すグラフである。

【図 18 B】図 18 B は、比較例 1 に係る燃料電池のガス拡散性の評価結果を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0007】

[本開示が解決しようとする課題]

【0008】

特許文献 1 では、ガスは、インターコネクタの中心から外縁に向かって、複雑な流路を經由して流れる。そのため、インターコネクタの外縁にまで到達するまでのガスの圧力損失は大きい。ガスは、流れ易い部分から、集中して流出しようとするため、大部分のガスは、インターコネクタの外縁にまで拡散することなく、中心からセル構造体へと流出する。つまり、ガスは、インターコネクタによって十分拡散されることなく、セル構造体に局所的に供給される。その結果、発電効率が低下する。

30

【0009】

また、特許文献 1 のように、インターコネクタにエッチング等により複雑なガス流路を形成する場合、インターコネクタの生産性は低下する。燃料電池は、セル構造体とインターコネクタとを含むセルを構成単位として、通常、複数（例えば、50 枚以上）のセルを積層することにより構成されている。そのため、インターコネクタの生産性の低下による一枚当たりの加工コストの上昇により、燃料電池のコストは大きく上昇する。

40

[本開示の効果]

【0010】

本発明によれば、優れたガス拡散性能を有する固体酸化物型の燃料電池（S O F C）が得られる。

【0011】

[発明の実施形態の説明]

最初に本発明の実施形態の内容を列記して説明する。

(1) 本発明の燃料電池は、第 1 電極、第 2 電極、および、前記第 1 電極および前記第 2 電極の間に介在する電解質層を備え、前記電解質層がイオン伝導性を有する固体酸化物

50

を含むセル構造体と、互いに対向する一对の主面を有し、前記第1電極に隣接して配置され、かつ、前記一对の主面の一方が前記第1電極に対向し、前記第1電極にガスを供給するガス拡散層と、互いに対向する一对の板面を有し、前記ガス拡散層に隣接して配置され、前記一对の板面の一方が前記ガス拡散層の他方の主面に対向し、前記ガス拡散層に前記ガスを供給するガス流路板と、を備え、前記ガス拡散層は、三次元網目状の骨格を有する金属多孔体であり、前記ガス流路板は、第1領域、第2領域および第3領域を備え、前記第1領域、前記第2領域および前記第3領域は、前記ガス流路板の他方の板面から前記ガス流路板の前記一方の板面に向かって、厚さ方向に前記第1領域、前記第2領域および前記第3領域の順に位置し、前記第1領域には前記ガス流路板の厚さ方向に前記第1領域を貫く第1流路が形成され、前記第2領域には前記ガス流路板の厚さ方向に前記第2領域を貫く第2流路が形成され、前記第3領域には前記ガス流路板の厚さ方向に前記第3領域を貫く第3流路が形成され、前記第1流路は、前記ガス流路板の前記他方の板面に開口するとともに前記第2流路に連通し、前記第2流路は、前記第3流路に連通し、前記第3流路は、前記ガス流路板の前記一方の板面に開口するとともに前記ガス拡散層に連通し、前記一方の板面の法線方向から見た前記第1流路は、前記第1領域と前記第2領域との境界面において、前記一方の板面の中心から外縁に向かう方向に延出したスリットを含み、前記法線方向から見た前記第1領域と前記第2領域との境界面における前記第1流路の総面積を第1開口面積 S_1 とし、前記法線方向から見た前記第2領域と前記第3領域との境界面における前記第2流路の総面積を第2開口面積 S_2 とし、前記法線方向から見た前記第3領域と前記ガス拡散層の前記他方の主面との境界面における前記第3流路の総面積を第3開口面積 S_3 としたとき、 $S_2 < S_1 < S_3$ の関係を満たす、燃料電池である。

10

20

【0012】

ガス流路板は、ガスがガス拡散層に至るまでに、十分に予備拡散させるために配置される。ガス流路板を上記のように構成することで、ガス流路板からガス拡散層へ流出するガスの、面方向における圧力のばらつきを抑制することができる。

【0013】

(2) 前記一方の板面の法線方向から見た前記第2流路は、前記第2領域と前記第3領域との前記境界面においてスポット形状であることが好ましい。これにより、第2開口から第3領域に流出するガスの圧力が高まる。よって、ガス流路板からガス拡散層へ流出するガスの、面方向における圧力のばらつきがさらに抑制される。

30

【0014】

(3) 前記ガス流路板の前記一方の板面の中心点と外縁とを結ぶ複数の任意の直線を引き、前記直線上にあって前記中心点からの距離が当該直線の $1/4$ である複数の地点を繋いで形成される図形で囲まれた前記中心点を含む領域を中央部としたときの前記中央部の面積に対する、前記第3流路の前記中央部における開口面積の割合を R_{in} とし、前記ガス流路板の前記一方の板面の前記中央部以外の外縁部の面積に対する、前記第3流路の前記外縁部における開口面積の割合を R_{out} としたとき、 $0.8 R_{in} / R_{out} > 1.2$ の関係を満たすことが好ましい。上記一方の板面の全面に、均一に第3開口が形成されることにより、ガスは、十分に予備拡散された状態で、ガス拡散層に供給される。

40

【0015】

(4) 前記第1領域は第1板状部材であり、前記第2領域は第2板状部材であり、前記第3領域は第3板状部材であり、前記ガス流路板は、前記第1板状部材と前記第2板状部材と前記第3板状部材との積層体であることが好ましい。これにより、各流路が形成し易くなって、加工コストが低減する。

【0016】

(5) 前記金属多孔体の気孔率は、85体積%以上であることが好ましい。これにより、さらなるガス拡散性の向上が期待できるため、第1電極の全面に、高い均一性でガスを供給することができる。

【0017】

(6) 前記第1電極は、アノードであることが好ましい。アノードでは、燃料ガスの供

50

給により還元反応が起こる。還元反応により、アノードの体積はわずかに収縮する。アノードの収縮の程度にばらつきがあると、アノードの大きく収縮する箇所に応力が集中するため、セル構造体が損傷する場合がある。上記ガス拡散層およびガス流路板をアノードに対向するように配置することにより、ガスがアノード全体に、高い均一性で供給されるため、アノードは、均等に収縮する。その結果、セル構造体の損傷が抑制され易くなる。

【0018】

[発明の実施形態の詳細]

本発明の実施形態を具体的に以下に説明する。なお、本発明は、以下の内容に限定されるものではなく、請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

10

【0019】

以下、本実施形態に係る燃料電池を、図面を参照しながら説明する。

図1に示すように、燃料電池100は、第1電極111、第2電極112、および、第1電極111および第2電極112の間に介在する電解質層113を備えるセル構造体110と、第1電極111に対向するように配置されたガス拡散層120と、ガス拡散層120に対向するように配置されたガス流路板130と、を備える。ここで、図1は、燃料電池100の一実施態様を模式的に示す断面図である。図2は、ガス流路板130およびガス拡散層120の構成の一例を示す展開斜視図である。図3A~図3C、図4A~図4Cおよび図5A~図5Cは、ガス流路板130を、後述する領域ごとに展開して示す上面図である。図中、同じ機能を有する構成要素には、同じ符号を付して示している。

20

【0020】

ガス流路板130およびガス拡散層120は、図示しないマニホールドから供給されるガスを拡散しながら、第1電極111に供給する機能を有する。ガス流路板130は、ガス拡散層120にガスを供給するために、ガス拡散層120に対向するように配置されている。ガス拡散層120は、第1電極111にガスを供給するために、第1電極111に対向するように配置されている。

【0021】

(ガス流路板)

ガス流路板130は、ガス拡散層120にガスを供給する部材である。ガス流路板130は、ガスの圧力損失の増加を抑制しながら、ガス拡散層120の面方向(ひいては、燃料電池100の面方向)に均一に拡散されたガスを、ガス拡散層120に供給する。ガス流路板130によるガスの圧力損失は、ガス拡散層120によるガスの圧力損失よりも小さいことが望ましい。ガス流路板130によるガスの圧力損失は、例えば、ガス拡散層120の圧力の50%未満である。また、ガス流路板130は、燃料電池100のインターコネクタとして機能し得る。

30

【0022】

ガス流路板130は、ガス流路板130の厚みを分割するように配置される第1領域131と、第2領域132と、第3領域133とを、ガス拡散層120側とは反対の板面130Bからこの順に備えている。ガス流路板130はほぼ一定の厚みを有している。すなわち、ガス流路板130のガス拡散層120側の板面130Aと、板面130Aに対向する板面130Bとは、ほぼ平行である。また、板面130Aと板面130Bとは、互いに全面が対向している。さらに、圧力損失の観点から、板面130Aの法線方向Nから見た第1領域131と第2領域132との境界面130X、および、法線方向Nから見た第2領域132と第3領域133との境界面130Yは、板面130Aおよび板面130Bの全体に対向していることが好ましい。

40

【0023】

第1領域131には第1流路131Aが形成され、第2領域132には第2流路132Aが形成され、第3領域133には第3流路133Aが形成されている。それぞれの流路は、各領域をガス流路板130の厚さ方向に貫いている。また、第1流路131Aは、ガス流路板130の板面130Bに開口するとともに第2流路132Aに連通し、第2流路

50

132Aは第3流路133Aに連通し、第3流路133Aは、ガス流路板130の板面130Aに開口するとともにガス拡散層120に連通している。よって、マニホールドから供給されたガスは、第1流路131Aを通った後、順次、第2流路132Aおよび第3流路133Aを通して、ガス拡散層120に供給される。

【0024】

上記各流路は、各領域におけるガスの流量およびガスの流れる方向が変化するように、形成されている。このように、ガス流路板130を厚み方向に複数の領域に分割し、各領域に異なる機能を有する流路を配置することにより、ガスは、短い経路で板面130Aの全面に高い均一性で拡散される。加えて、板面130Aから流出するガスの面方向における圧力のばらつきが抑制される。この機構については後述する。

10

【0025】

境界面130Xおよび境界面130Yは、法線方向Nから見た各流路の断面の形状や面積等によって決定できる。後述するように、ガス流路板が複数の板状部材によって構成されている場合、板状部材のそれぞれが、ある一つの領域を形成しているとみなすことができる。なお、第1領域131に形成されている第1流路131Aの上記断面の形状および面積は、大きくは変化しない。例えば、第1流路131Aの法線方向Nから見た断面面積の変化率は10%以下である。第2流路132Aおよび第3流路133Aについても同様である。

【0026】

各領域は、法線方向Nから見た各流路の断面の形状や面積等によって、以下のように決定できる。第1領域131と第2領域132とでは、流路の上記断面の形状および面積が異なる。そのため、法線方向Nから見たとき、板面130Aの中心から外縁に向かう方向に延出したスリットを備える領域は、第1領域131であると決定できる。一方、第1領域131のガス拡散層120側に隣接した領域であって、法線方向Nから見たとき、上記スリットを備えない領域は、第2領域132であると決定できる。あるいは、第1領域131のガス拡散層120側に隣接した領域であって、上記断面の面積が第1領域131に形成された第1流路131Aの上記断面の面積の60%よりも小さい流路を持つ領域は、第2領域132であると決定できる。これら第1領域131と第2領域132との板面130Aに平行な境界面を、境界面130Xとする。

20

【0027】

第2領域132と第3領域133とでは、上記断面の面積が異なる。例えば、ガス流路板130に形成された流路の上記断面の面積の変化を、ガス流路板130のガス拡散層120に対向する面(板面130A)から板面130Aとは反対側の面(板面130B)に向かって逐次算出したとき、板面130Aに形成された開口(後述する第3開口133a)の総面積に対して、上記断面の面積が20%の割合になった板面130Aに平行な面を、第2領域132と第3領域133との境界面130Yと決定できる。この場合、境界面130Yからガス拡散層120までの領域が第3領域133であり、境界面130Yから境界面130Xまでの領域が第2領域132である。

30

【0028】

なお、図示例ではガス流路板130の板面130A、130B、およびガス拡散層120の主面の形状が円形である場合を示しているが、これに限定されるものではない。ガス流路板130の板面130A、130B、およびガス拡散層120の主面の形状は、例えば、矩形、楕円形、多角形、不定形等であってもよい。

40

【0029】

(第1領域)

第1領域131には、マニホールドからガスが供給される。第1領域131は、供給されたガスを、第1領域131の中央から外縁に、あるいは、第1領域131の外縁から中央に強制的に拡散させた状態で、第2領域132に供給する役割を有する。つまり、法線方向Nから見た第1流路131Aは、第1領域と第2領域との境界面130Xにおいて、板面130Aの中心から外縁に向かう方向に延出したスリットを含む。言い換えれば、境

50

界面 130X には、第 1 流路 131A によって、板面 130A の中心から外縁に向かう方向に延出したスリット形状の開口が少なくとも形成されている。境界面 130X には、他の形状あるいは上記方向とは異なる方向に延出した開口が形成されていてもよい。以下、板面 130A の中心から外縁に向かう方向に延出したスリット形状の開口と、その他、必要に応じて境界面 130X に形成された開口とを合わせて、第 1 開口 131a とする。

【0030】

スリット形状（あるいはスリット）とは、第 1 開口 131a を構成する個々の開口を囲む最少の矩形を想定したとき、当該矩形の任意の辺とこの辺と頂点を共有して直交する辺との長さの比が 2 を超える場合をいう。この場合、第 1 開口 131a を囲む最少の矩形の長手方向が、板面 130A の中心から外縁に向かう方向である。板面 130A の中心から外縁に向かう方向とは、板面 130A の中心点 C を含む中央部に含まれる任意の点と外縁とを結ぶ直線方向である。このとき、中央部に含まれる任意の点と外縁とを結ぶ直線は、必ずしも中心点 C を通らなくてもよい。

10

【0031】

板面 130A の中心点 C を含む中央部とは、板面 130A の中心点 C と外縁とを結ぶ複数の任意の直線を引き、これら直線上にあって、中心点 C からの距離が当該直線の $1/4$ である複数の地点を繋いで形成される図形（板面 130A と相似形である）で囲まれた、中心点 C を含む領域である。

【0032】

板面 130A の中心点 C は、板面 130A が円形の場合、円の直径の midpoint であり、板面 130A が楕円形の場合、長径および短径の midpoint である。また、板面 130A が円および楕円以外の点対称な形状（例えば、矩形）である場合、中心点 C は複数の対角線の交点である。板面 130A が上記以外の形状である場合、ガス流路板 130 の密度は一様であると仮定して、中心点 C を、ガス流路板 130 の重心 G とみなすことができる。

20

【0033】

第 1 開口 131a の外形は特に限定されず、矩形であってもよいし、その他の形状であってもよい。例えば、第 1 開口 131a の中心線は、直線であってもよいし、円弧や波型のように曲線であってもよいし、これらの組合せであってもよい。第 1 開口 131a の中心線とは、第 1 開口 131a の短手方向を 2 等分する線である。また、第 1 開口 131a の短手方向および長手方向の幅は一定であってもよいし、一定でなくてもよい。

30

【0034】

第 1 開口 131a の配置は、第 1 流路 131A と第 2 流路 132A とが連通し、かつ、板面 130A の中心から外縁に向かう方向に延出している限り、特に限定されない。なかでも、圧力損失の観点から、第 1 開口 131a は、第 2 流路 132A に対応する位置にあることが好ましい。

【0035】

第 1 開口 131a を囲む最少の矩形の長手方向（板面 130A の中心と外縁とを結ぶ方向）の長さは、特に限定されない。第 1 開口 131a の上記長手方向の長さは、板面 130A の中心点 C から外縁までの長さと同じであってもよいし、これより短くてもよい。また、板面 130A の中心点 C から外縁までの長さよりも短い第 1 開口 131a を、板面 130A の中心から外縁までを結ぶ任意の直線上に、複数配置してもよい。なかでも、ガスを板面 130A の外縁にまで拡散させるために、第 1 開口 131a の上記長手方向の長さは、板面 130A の中心点 C から外縁までの長さ（板面 130A が円形である場合、その半径）の $1/2$ 以上であることが好ましい。

40

【0036】

第 1 開口 131a の総面積（第 1 開口面積 S_1 ）の板面 130A に対する割合は、特に限定されない。なかでも、ガスが板面 130A の外縁全体により均等に拡散される点で、上記割合は、例えば 3 ~ 50% であることが好ましい。

【0037】

図 3A および図 3B に、複数の第 1 開口 131a が、板面 130A の中心から外縁に向

50

かって、放射状に形成されている場合を示す。なお、図中、第1領域131の点C1は、中心点Cに対応している。第1開口131aが放射状に複数形成されている場合、近接する複数の第1開口131aを囲む最少の矩形の中心線同士の成す角度は、120度以下であることが好ましい。これにより、ガスは、第2領域132を介して第3領域133の全面に高い均一性で拡散される。図3Aでは、角度が90度である場合を示しており、図3Bでは、角度が120度である場合を示している。図3Aおよび図3Bは、境界面130X側から見た第1領域131の上面図を示している。

【0038】

図3Aにおいて、第1領域131はさらに2つの領域に分かれている。一方の領域は、第1流路131Aが形成されている領域（形成領域1311）である。他方の領域は、第1流路131Aを有しない領域（受入領域1312）である。受入領域1312は、第1領域131の第2領域132とは反対側に配置され、例えば、マニホールドからのガスを直接的に受け入れる領域である。受入領域1312は、受入領域1312を貫通する流入口140を備えている。流入口140と第1流路131Aとは連通しており、第1流路131Aは、流入口140を通じて板面130Bに開口している。流入口140と第1流路131Aとは、対応する位置に配置されていてもよい。後述するように、ガス拡散層120として用いられる三次元網目状の金属多孔体は、ガスの通る経路が比較的長い。そのため、三次元網目状の金属多孔体は、ガスを第1領域131の内部に長く滞留させることができる。よって、流入口140が第1流路131Aに対応する位置にある場合であっても、ガスは、板面130Aの外縁方向にまで拡散され易くなる。

【0039】

受入領域1312には、さらに、ガスを他のマニホールドに排出する排出口150が形成されていてよい。この場合、マニホールドから供給されたガスは、受入領域1312、第1流路131Aが形成された形成領域1311、第2領域132、第3領域133およびガス拡散層120を経由して、第1電極111に供給されて、一部が消費される。消費されなかった残部は、再びガス拡散層120、第3領域133、第2領域132、形成領域1311を経由して、受入領域1312の排出口150から他のマニホールドに排出される。

【0040】

図3Cに、第1開口131aが、点C1を含むとともに板面130Aの中心から外縁に向かう一方向に延出したスリット1311aに加え、スリット1311aと略平行に延出し、スリット1311aと所定の間隔をあけて配置された複数のスリット1311bを含む場合を示す。

【0041】

図3Cでは、第1開口131aが板面130Aの一方向にのみ延出している。この場合、第1領域131をさらに2つの領域に分ける。一方の領域は、第1流路131Aが形成されている領域（形成領域1311）であり、他方の領域は、第1流路131Aに替えて、補助流路1313Aを有する領域（補助領域1313）である。補助領域1313は、形成領域1311の板面130B側に配置される。

【0042】

補助流路1313Aは、形成領域1311との境界面に、第1開口131a（1311aおよび1311b）とは異なる方向に延出するスリット状の複数の開口（補助開口1313a）を形成する。補助流路1313Aと第1流路131Aとは連通しており、第1流路131Aは、補助流路1313Aを通じて板面130Bに開口している。第1流路131Aを備える形成領域1311と補助領域1313との境界面において、補助流路1313Aによって形成される補助開口1313aを囲む最少の矩形の中心線と、第1開口131aを囲む最少の矩形の中心線とが成す最少の角度は、30～90度の範囲であることが好ましい。これにより、ガスの拡散方向が一方向に偏ることが抑制されて、ガスは境界面130Xの外縁全体に拡散され易くなる。

【0043】

複数の補助開口 1313a は、第 1 開口 131a とは異なる方向に、それぞれランダムに延出しているてもよいし、図 3C に示すように、互いに平行に延出しているてもよい。なかでも、ガスの流れを制御し易い点で、複数の補助開口 1313a 同士は、互いに平行であることが好ましい。補助領域 1313 は、必要に応じて複数配置してもよい。ただし、その数は少ない（例えば、3 層以下）ことが望ましい。燃料電池 100 の厚みが大きくなるためである。補助開口 1313a の総面積の板面 130A に対する割合は、10～50% であることが好ましく、20～40% であることがより好ましい。

【0044】

（第 2 領域）

第 2 領域 132 は、第 1 領域 131 により板面 130A の外縁方向にまで拡散されたガスを、第 3 領域 133 を介して、高い圧力でガス拡散層 120 に供給する役割を有する。そのため、第 2 流路 132A によって境界面 130Y に形成された開口（第 2 開口 132a、図 4A～4C 参照）の総面積（第 2 開口面積 S_2 ）は、第 3 流路 133A によって第 3 領域 133 とガス拡散層 120 との境界面（すなわち、板面 130A）に形成された開口（第 3 開口 133a、図 5A～5C 参照）の総面積（第 3 開口面積 S_3 ）よりも小さい（ $S_2 < S_3$ ）。上流である第 2 開口面積 S_2 が、下流である第 3 開口面積 S_3 より小さいため、ガスは、高い圧力で第 2 領域 132 から、第 3 領域 133、さらにはガス拡散層 120 へと流れる。特に、第 2 開口面積 S_2 は、第 3 開口面積 S_3 の $1/50 \sim 1/5$ であることが好ましい。図 4A～4C に、境界面 130Y 側から見た第 2 領域 132 の上面図を示す。図 5A～5C に、板面 130A 側から見た第 3 領域 133 の上面図を示す。

【0045】

さらに、第 2 領域 132 は、ガスを第 1 領域 131 の内部に長く留める役割を有する。これにより、第 1 領域 131 に供給されたガスは、板面 130A の中央から外縁方向にわたって十分に拡散される。そのため、第 2 開口面積 S_2 は、第 1 開口 131a の境界面 130X における総面積（第 1 開口面積 S_1 ）よりも小さい（ $S_2 < S_1$ ）。下流である第 2 開口面積 S_2 が、上流である第 1 開口面積 S_1 より小さいため、ガスは、上流側で一旦、滞留させられる。このとき、ガスは、境界面 130X に形成された第 1 開口 131a に沿って、板面 130A の外縁方向に拡散する。さらに、第 1 開口 131a から流出するガスの圧力が、境界面 130X 全体で均等化される。特に、第 2 開口面積 S_2 は、第 1 開口面積 S_1 の $1/20 \sim 1/2$ であることが好ましい。

【0046】

第 2 開口 132a の形状は特に限定されないが、第 2 領域 132 の上記役割を考慮すると、スポット形状であることが好ましい。スポット形状とは、第 2 開口 132a を構成する個々の開口を囲む最少の矩形を想定したとき、当該矩形の任意の一辺とこの一辺と頂点を共有して直交する一辺との長さの比が 2 以下である場合をいう。第 2 開口 132a の外形は特に限定されず、例えば円形、楕円形、多角形、星形等が挙げられる。

【0047】

第 2 開口 132a の配置は、第 2 流路 132A と、第 1 流路 131A および第 3 流路 133A とが、それぞれ連通する限り、特に限定されない。なかでも、圧力損失の観点から、第 2 開口 132a は、第 3 流路 133A に対応する位置にあることが好ましい。さらには、ガスが第 3 領域 133 の全面に拡散し易くなる点で、第 2 開口 132a は、少なくとも境界面 23 の点 C2 近傍および外縁近傍に配置されることが好ましい。点 C2 は、板面 130A の中心点 C に対応している。

【0048】

第 2 開口 132a の好ましい配置を、図 4A～図 4C に示す。図 4A は、スポット形状の第 2 開口 132a が、境界面 130Y 上の点 C2 の近傍および外縁の近傍に、十字型の線上に形成されている場合を示す。図 4A において、第 2 開口 132a は、図 3A に示す第 1 開口 131a に対応する位置に配置されている。

【0049】

図 4B は、スポット形状の第 2 開口 132a が、境界面 130Y 上の点 C2 の近傍およ

10

20

30

40

50

び外縁の近傍に、円を三分割するような直線上に形成されている場合を示す。図4Bにおいて、第2開口132aは、図3Bに示す第1開口131aに対応する位置に配置されている。図4Cは、スポット状の第2開口132aが、境界面130Yの全面に形成されている場合を示す。図4Cにおいて、第2開口132aは、図3Cに示す第1開口131a(1311aおよび1311b)に対応する位置に配置されている。なお、第2開口132aの配置は、これに限定されない。

【0050】

第2開口面積S2の板面130Aに対する割合は、特に限定されないが、ガスの圧力が高まる点、および、ガスが滞留し易くなる点で、例えば0.2~15%であることが好ましい。

10

【0051】

(第3領域)

第3領域133は、ガス拡散層120に対向しており、圧力損失の増加を抑制しながら、ガス拡散層120の全面に高い均一性でガスを供給する役割を有する。そのため、第3流路133Aによって板面130Aに形成された開口(第3開口133a)の総面積(第3開口面積S3)は、第1開口面積S1および第2開口面積S2よりも大きい。

【0052】

第3流路133Aの配置は、第2流路132Aと第3流路133A、第3流路133Aとガス拡散層120とがそれぞれ連通する限り、特に限定されない。なかでも、第3開口133aは、板面130Aの全面に偏りなく形成されていることが好ましい。すなわち、板面130Aの中央部(130C。図5C参照)の面積に対する、第3流路133Aの中央部130Cにおける開口面積の割合を R_{in} とし、板面130Aの外縁部の面積に対する、第3流路133Aの外縁部における開口面積の割合を R_{out} としたとき、 $0.8 < R_{in} / R_{out} < 1.2$ の関係を満たすことが好ましい。中央部130Cとは、板面130Aの中心点Cと外縁とを結ぶ複数の任意の直線を引いたとき、これら直線の中点を繋いで形成される図形(板面130Aと相似形である)で囲まれた、中心点Cを含む領域である。外縁部とは、板面130Aの中央部130C以外の領域である。

20

【0053】

第3開口133aの形状は、例えば、図5Aおよび図5Bに示すようなリング状であってもよい。この場合、リングの本数は特に限定されず、例えば、3~15本である。また、第3開口133aの形状は、図5Cに示すように市松模様状であってもよい。図中、点C3は、板面130Aの中心点Cに対応している。

30

【0054】

第3開口面積S3の板面130Aの面積に対する割合は、特に限定されないが、ガスの圧力損失が低減される点で、例えば10~75%であることが好ましい。

【0055】

第3領域133は、第3流路133Aが形成された領域以外の領域(拡散領域。図示せず)を備えていてもよい。拡散領域は、第2領域132と第3流路133Aが形成された領域との間に配置され得る。拡散領域は拡散流路を備える。拡散領域と第3流路133Aが形成された領域との境界面において、拡散流路の当該境界面に対する開口面積は、第2開口面積S2よりも大きければよく、第3開口面積S3よりも小さくてもよいし、同じか、それ以上であってもよい。

40

【0056】

第1領域131、第2領域132および第3領域133の厚みは、特に限定されない。なかでも、ガスの経路が短くなる点で、できる限り薄いことが好ましい。各領域の厚みは、それぞれ同じであってもよいし、異なってもよい。また、各領域の厚みのガス流路板130の厚みに対する割合も特に限定されない。例えば、ガス流路板130の厚みは、1.5~5mmであり、各領域の厚みは、0.2~1.5mmである。

【0057】

ガス流路板130の材料としては、導電性および耐熱性の点で、ステンレス鋼、ニッケ

50

ル基合金、クロム基合金等の耐熱合金、ランタンクロマイト (LaCrO_3) 等のセラミックスが例示できる。プロトン伝導性固体酸化物型燃料電池 (PCFC) の場合、動作温度が 400 ~ 600 程度であるため、安価なステンレス鋼をガス流路板 130 の材料として用いることができる。なお、領域ごとに、異なる材料を用いてもよい。

【0058】

第1領域131、第2領域132および第3領域133を備えるガス流路板130の製造方法は、厚み方向に開口面積が変化するとともに、厚み方向にガスの流れる方向を強制的に変化させるような流路を形成することができる限り、特に限定されない。なかでも、生産性およびコストの点で、複数の板状部材に所定の貫通孔を形成し、これらを積層することにより、ガス流路板130を製造することが好ましい。すなわち、ガス流路板130は、複数の板状部材の積層体であることが好ましい。

10

【0059】

上記の場合、ガス流路板130は、例えば、第1板状部材、第2板状部材および第3板状部材を準備する工程と、第1板状部材、第2板状部材および第3板状部材に、それぞれ第1貫通孔、第2貫通孔および第3貫通孔を形成する工程と、各貫通孔が形成された第1板状部材、第2板状部材および第3板状部材を、この順に積層する工程と、を備える方法により製造することができる。

【0060】

このとき、第1貫通孔を、第1貫通孔によって第1板状部材の第2板状部材に対向する主面に形成される開口として、第1板状部材の当該主面の中心と外縁とを結ぶ方向に延出するスリットを含むように形成する。さらに、各貫通孔を、第1貫通孔によって第1板状部材の上記主面に形成される開口の総面積 s_1 と、第2貫通孔によって第2板状部材の第3板状部材に対向する主面に形成される開口の総面積 s_2 と、第3貫通孔によって第3板状部材の第2板状部材に対向しない主面に形成される開口の総面積 s_3 とが、 $2 \times s_2 < s_1$ 、 $5 \times s_2 < s_3$ の関係を満たすように、形成する。各貫通孔は、生産性の観点から、プレス加工により形成されることが好ましい。また、各貫通孔は、板状部材の両主面に対して垂直に形成されていてもよいし、非垂直に形成されていてもよい。前者の場合、板状部材の両主面には、形状および大きさが同じ開口が形成される。

20

【0061】

(ガス拡散層)

ガス拡散層120は、ガス流路板130で拡散されたガスをさらに拡散しながら、第1電極111に供給する層である。ここで、ガス拡散層120によるガスの圧力損失は、ガス流路板130よりも大きい。また、ガス拡散層120は、燃料電池100の集電体として機能し得る。

30

【0062】

ガス拡散層120は、三次元網目状の骨格を有する金属多孔体である。三次元網目状とは、例えば、棒状や繊維状の金属が相互に三次元的に繋がり合い、ネットワークを形成している構造を指す。このような金属多孔体は、例えば、不織布状の構造や、スポンジ状の構造を有する。

【0063】

ガス拡散層120の気孔率は、圧力損失およびガス拡散性の観点から、70体積%以上であることが好ましく、80体積%以上であることがより好ましく、85体積%以上であることが特に好ましい。ガス拡散層120の気孔率は、100体積%未満であり、99.5体積%以下であっても良く、99体積%以下であってもよい。これらの下限値と上限値とは任意に組み合わせることができる。なお、気孔率(体積%)は、 $\{1 - (\text{ガス拡散層120の見掛けの比重} / \text{ガス拡散層120を構成する金属の真の比重})\} \times 100$ で求められる。

40

【0064】

ガス拡散層120を構成する金属は、特に制限されない。このような金属としては、例えば、銅、銅合金(銅と、例えば、鉄(Fe)、ニッケル(Ni)、シリコン(Si)、

50

マンガン (Mn) 等との合金)、Ni または Ni 合金 (Ni と、例えば、錫 (Sn)、クロム (Cr)、タングステン (W) 等との合金)、アルミニウム (Al) または Al 合金 (Al と、例えば Fe、Ni、Si、Mn 等との合金)、ステンレス鋼等が挙げられる。なお、市販の三次元網目状の金属多孔体としては、住友電気工業株式会社製の銅またはニッケルの「セルメット」(登録商標) や「アルミセルメット」(登録商標) を用いることができる。

【0065】

ガス拡散層 120 は、アノードに対向するように配置されることが好ましい。すなわち、第 1 電極 111 はアノードであることが好ましい。アノードには、通常、触媒成分として酸化ニッケルが含まれている。アノードに燃料ガスが供給されると、酸化ニッケルの還元反応が起こる。この還元反応により、アノードの体積はわずかに収縮する。ここで、アノードに燃料ガスが不均等に供給されると、アノード内で、収縮の程度にばらつきが生じる。このとき、アノードの大きく収縮する箇所に、応力が集中するため、セル構造体が損傷する場合がある。ガス拡散層 120 をアノードに対向するように配置することにより、燃料ガスがアノードの全面に高い均一性で供給される。よって、アノードの収縮のばらつきが抑制されて、セル構造体 110 の損傷が抑制される。

10

【0066】

以下、第 1 電極 111 がアノードであり、第 2 電極 112 がカソードである場合を例にとって、セル構造体 110 について説明する。

【0067】

20

(セル構造体)

セル構造体 110 は、アノード 111 と、カソード 112 と、アノード 111 およびカソード 112 の間に介在する電解質層 113 と、を備える。アノード 111 とカソード 112 と電解質層 113 とは、例えば、焼結により一体化されている。セル構造体 110 は、アノード 111 の厚みがカソード 112 よりも大きい、いわゆるアノードサポート型であってもよい。

【0068】

(アノード)

アノード 111 は、イオン伝導性の多孔質構造を有している。例えば、プロトン伝導性を有するアノード 111 では、図示しないマニホールドから導入される水素等の燃料を酸化して、プロトンと電子とを放出する反応(燃料の酸化反応)が行われる。アノード 111 の厚みは、例えば、 $10\ \mu\text{m} \sim 1000\ \mu\text{m}$ 程度であればよい。

30

【0069】

アノード 111 の材料としては、例えば、燃料電池のアノードとして用いられる公知の材料を用いることができる。具体的には、以下に例示する固体酸化物と、触媒成分である酸化ニッケル (NiO) と、の複合酸化物等が挙げられる。このような複合酸化物を含むアノード 111 は、例えば、NiO 粉末と粉末状の上記金属酸化物等とを混合し、焼結することにより形成することができる。

【0070】

上記固体酸化物としては、例えば、カルシウム、スカンジウムおよびイットリウムよりなる群から選択される少なくとも 1 種がドーブされた二酸化ジルコニウム (安定化ジルコニア)、イットリウムがドーブされたジルコン酸バリウム (BZY 、 $\text{BaZr}_{1-e}\text{Y}_e\text{O}_3$ 、 $0 < e < 0.25$ 、 e は酸素欠損量である)、イットリウムがドーブされたセリウム酸バリウム (BCY 、 $\text{BaCe}_{1-f}\text{Y}_f\text{O}_3$ 、 $0 < f < 0.25$ 、 f は酸素欠損量である)、イットリウムがドーブされたジルコン酸バリウム/セリウム酸バリウムの混合酸化物 (BZCY 、 $\text{BaZr}_{1-g}\text{Ce}_g\text{Y}_h\text{O}_3$ 、 $0 < g < 1$ 、 $0 < h < 0.25$ 、 h は酸素欠損量である) 等の金属酸化物が挙げられる。

40

【0071】

(カソード)

カソード 112 は、酸素分子を吸着し、解離させてイオン化することができる多孔質の

50

構造を有している。カソード 112 の材料としては、例えば、燃料電池のカソードとして用いられる公知の材料を用いることができる。カソード 112 の材料は、例えば、ランタンを含み、ペロブスカイト構造を有する化合物である。具体的には、ランタンストロンチウムコバルトフェライト ($LSCF$ 、 $La_{1-a}Sr_aFe_{1-b}Co_bO_{3-}$ 、 $0.2 < a < 0.8$ 、 $0 < b < 0.9$ 、 $δ$ は酸素欠損量である)、ランタンストロンチウムマンガンナイト (LSM 、 $La_{1-c}Sr_cMnO_{3-}$ 、 $0.2 < c < 0.8$ 、 $δ$ は酸素欠損量である)、ランタンストロンチウムコバルタイト (LSC 、 $La_{1-HR}Sr_{HR}CoO_{3-}$ 、 $0 < HR < 0.8$ 、 $δ$ は酸素欠損量である) 等が挙げられる。

【0072】

カソード 112 は、ニッケル、鉄、コバルト等の触媒を含んでいてもよい。触媒を含む場合、カソードは、触媒と上記材料とを混合して、焼結することにより形成することができる。また、カソード 112 の厚みは、特に限定されないが、 $5 \mu m \sim 100 \mu m$ 程度であればよい。

10

【0073】

(電解質層)

電解質層 113 は、イオン伝導性を有する固体酸化物を含む。電解質層 113 を移動するイオンとしては特に限定されず、酸化物イオンであってもよいし、水素イオン (プロトン) であってもよい。なかでも、電解質層 113 は、プロトン伝導性を有することが好ましい。プロトン伝導性の燃料電池 ($PCFC$) は、例えば $400 \sim 600$ の中温域で稼働できる。そのため、 $PCFC$ は、多様な用途に使用可能である。イオン伝導性を有する固体酸化物としては、アノード 111 に用いられる固体酸化物として例示した金属酸化物を、同じく例示することができる。プロトン伝導性を有する固体酸化物としては、 BZY 、 BCY 、 $BZCY$ 等があげられる。

20

【0074】

(セル構造体の製造方法)

セル構造体 110 の製造方法は、特に限定されず、従来公知の方法を用いることができる。例えば、アノード用材料をプレス成形する工程と、得られたアノード成形体の片面に、固体酸化物を含む電解質用材料を積層し、焼結する工程と、焼結された電解質用材料の表面に、カソード用材料を積層し、焼結する工程と、を備える方法により、製造することができる。このようにして製造されたセル構造体 110 は、アノード 111 と電解質層 113 とカソード 112 とが一体化されている。

30

【0075】

電解質用材料を積層する工程は、例えば、電解質用材料の粉末と水溶性のバインダ樹脂とを混合したペーストを、アノード成形体の片面にスクリーン印刷、スプレー塗布、スピコート、ディップコート等により付与することにより行われる。カソード用材料も同様に、電解質の表面に積層することができる。

【0076】

電解質用材料の焼結は、アノード成形体と電解質用材料との積層体を、酸素雰囲気下で、例えば $1300 \sim 1500$ に加熱することにより行われる。焼結の雰囲気中の酸素含有量は、特に限定されず、 50 体積% 以上であってもよいし、 60 体積% 以上であってもよい。加熱温度は、 $1350 \sim 1450$ であることが好ましい。焼結は、常圧下または加圧下で行うことができる。

40

【0077】

電解質用材料を積層する前に、アノード用材料を仮焼結してもよい。仮焼結は、アノード用材料が焼結される温度よりも低い温度 (例えば、 $900 \sim 1100$) で行えばよい。仮焼結を行うことにより、電解質用材料が積層され易くなる。

【0078】

電解質用材料を焼結する前に、各材料に含まれるバインダ等の樹脂成分を除去してもよい。すなわち、カソード用材料を積層した後、大気中で $500 \sim 800$ 程度の比較的低い温度に加熱して、各材料に含まれる樹脂成分を除去する。その後、酸素雰囲気下で、積

50

層体を1300～1500 に加熱して、各材料を焼結させてもよい。

【0079】

カソード用材料の焼結は、電解質層が形成されたアノード成形体とカソード用材料との積層体を、酸素雰囲気下で、例えば800～1100 で焼結することにより行われる。焼結の雰囲気中の酸素含有量は、特に限定されず、例えば、上記範囲であればよい。焼結は、常圧下または加圧下で行うことができる。

【0080】

ここで、上記のような三次元網目状の骨格を有する金属多孔体は、燃料電池以外に、水の電気分解（電解）による水素の製造にも好適に使用できる。水素の製造方式には、大きく分けて（1）アルカリ性水溶液を用いるアルカリ水電解方式、（2）PEM方式（polymer electrolyte membrane：高分子電解質膜方式）、（3）SOEC方式（Solid Oxide Electrolysis Cell：固体酸化物形電解セル方式）があり、いずれの方式にも、上記金属多孔体を用いることができる。

【0081】

（1）アルカリ水電解方式では、アルカリ性水溶液（好ましくは強アルカリ性水溶液）に陽極および陰極を浸漬し、陽極と陰極との間に電圧を印加することにより、水を電気分解する方式である。この場合、少なくとも陽極として上記金属多孔体を使用する。すなわち、アルカリ水電解方式を用いる水素製造装置は、アルカリ性水溶液を収容する電解槽と、電解槽に浸漬される陽極および陰極と、陽極と陰極との間に電圧を印加する電源と、を備え、陽極および陰極の少なくとも一方が三次元網目状の骨格を有する金属多孔体を含む。この水素製造装置において、陽極では、水酸化イオンが酸化されて、酸素と水が生成される。陰極では、水素イオンが還元されて、水素が発生する。上記金属多孔体は表面積が大きいと、各イオンと金属多孔体との接触面積が大きく、水の電解効率が向上する。また、上記金属多孔体は良好な電気伝導性を備えているため、水の電気分解の効率はより向上する。さらに、上記金属多孔体は気孔率が高いため、発生した水素および酸素が速やかに脱離できる。この点においても、水の電解効率の向上が期待できる。

【0082】

上記金属多孔体を構成する金属は特に限定されず、ガス拡散層120を構成する金属として例示したものと同一金属を例示することができる。なかでも、安価であり、水素発生反応に対して良好な触媒能を有している点で、陰極に用いられる上記金属多孔体は、NiまたはNi合金を含むことが好ましい。触媒活性の点で、陽極に用いられる上記金属多孔体は、プラチナを含むことが好ましい。

【0083】

上記金属多孔体の孔径は、100 μm以上、5000 μm以下が好ましい。上記金属多孔体の孔径が上記範囲であれば、各電極で発生した水素または酸素が速やかに脱離できるため、電解効率がさらに向上するとともに、各電極と水素イオンまたは水酸化イオンとの十分な接触面積が確保できる。同様の観点から、上記金属多孔体の孔径は400 μm以上、4000 μm以下が好ましい。なお、気泡の脱離性と接触面積の確保とを両立するために、異なる孔径を持つ複数の上記金属多孔体を組み合わせて、各電極として使用してもよい。さらに、他の金属製の多孔体を上記金属多孔体と組み合わせて用いてもよい。上記金属多孔体の厚さおよび単位面積当たりの質量（金属量）は、製造装置の規模によって適宜設定すればよい。例えば、撓み等が生じないように、各電極の主面の面積に応じて、厚さや単位面積当たりの質量等を設定すればよい。

【0084】

発生した水素と酸素との混合を防止するために、陽極と陰極との間にセパレータを配置することが好ましい。セパレータの材質は特に限定されず、湿潤性、イオン透過性、耐アルカリ性、非導電性、非通気性、熱安定性等を有していればよい。このようなセパレータの材質としては、チタン酸カリウムが含浸されたフッ素樹脂、ポリアンチモン酸、ポリスルホン、親水化ポリフェニレンスルフィド、ポリフッ化ビニリデン、ポリテトラフルオロエチレン等が挙げられる。陽極と陰極とセパレータとからなる複数のセルをスタックして

10

20

30

40

50

用いる場合、短絡防止の観点から、セル同士の間にも上記したようなセパレータを配置することが好ましい。

【0085】

アルカリ性水溶液の溶質も特に限定されず、例えば、アルカリ金属（リチウム、ナトリウム、カリウム、ルビジウム、セシウム、フランシウム）あるいはアルカリ土類金属（カルシウム、ストロンチウム、バリウム、ラジウム）の水酸化物等が挙げられる。なかでも、強アルカリ性の水溶液が得られる点で、アルカリ金属の水酸化物（特に、NaOH、KOH）が好ましい。アルカリ性水溶液の濃度も特に限定されず、電解効率の観点から、20～40質量%であればよい。動作温度は、例えば60～90程度であり、電流密度は、例えば0.1～0.3A/cm²程度である。

10

【0086】

(2) PEM方式は、高分子電解質膜を用いて水を電気分解する方法である。具体的には、PEM方式では、高分子電解質膜の両面に陽極と陰極とをそれぞれ配置し、陽極に水を導入するとともに、陽極と陰極との間に電圧を印加することにより、水を電気分解する。この場合、少なくとも陽極として、上記金属多孔体を用いる。すなわち、PEM方式を用いる水素製造装置（PEM式水素製造装置）は、陽極と、陰極と、陽極と陰極との間に介在する高分子電解質膜と、陽極と陰極との間に電圧を印加する電源と、を備え、少なくとも陽極が三次元網目状の骨格を有する金属多孔体を含む。PEM方式では、高分子電解質膜によって陽極側と陰極側とが完全に分離されているため、(1)のアルカリ電解方式と比較して、純度の高い水素を取り出せる利点がある。また、上記金属多孔体は、表面積が大きく良好な電気伝導性を備えている。そのため、上記金属多孔体は、PEM式水素製造装置の陽極として、好適に使用できる。

20

【0087】

ここで、PEM式水素製造装置により発生したプロトンは、高分子電解質膜を通して陰極へと移動し、陰極側で水素として取り出される。つまり、PEM式水素製造装置は、水素および酸素を反応させて発電し、水を排出する固体高分子型燃料電池とは、全く反対の反応を利用するものでありながら、同様の構成を有している。PEM式水素製造装置の動作温度は100程度である。高分子電解質膜としては、体高分子型燃料電池あるいはPEM式水素製造装置に従来使用されている、パーフルオロスルホン酸ポリマー等のプロトン伝導性の高分子が使用できる。なお、発生した水素が速やかに脱離できる点で、陰極もまた、上記金属多孔体を含むことが好ましい。

30

【0088】

上記金属多孔体を構成する金属は特に限定されず、ガス拡散層120を構成する金属として例示したものと同一金属を例示することができる。なかでも、安価であり、水素発生反応に対して良好な触媒能を有している点で、陽極に用いられる上記金属多孔体は、NiまたはNi合金を含むことが好ましい。触媒活性の点で、陰極に用いられる上記金属多孔体は、ロジウムを含むことが好ましい。

【0089】

上記金属多孔体の孔径は、100μm以上、5000μm以下が好ましい。上記金属多孔体の孔径が上記範囲であれば、各電極で発生した水素または酸素が速やかに脱離できるため、電解効率がさらに向上するとともに、保水性が高まる。特に陽極の保水性が小さいと、水が陽極と十分に反応する前に通り抜けてしまうため、電解効率が低下し易くなる。同様の観点から、上記金属多孔体の孔径は400μm以上、4000μm以下が好ましい。なお、気泡の脱離性、保水性および電氣的接続を考慮して、異なる孔径を持つ複数の上記金属多孔体を組み合わせて、各電極として使用してもよい。さらに、他の金属製の多孔体を上記金属多孔体と組み合わせて用いてもよい。

40

【0090】

上記金属多孔体の厚さおよび単位面積当たりの質量は、製造装置の規模によって適宜設定すればよい。なかでも、上記金属多孔体の気孔率が30%以上となるように、厚さと単位面積当たりの質量とを調整することが好ましい。上記金属多孔体の気孔率が30%より

50

小さくなると、上記金属多孔体の内部に水を流す際の圧力損失が大きくなるためである。また、本方式において、高分子電解質膜と各電極とは、圧着されることにより導通する。そのため、両者を圧着する際の各電極の変形およびクリープによる電気抵抗増加が実用上問題ない範囲になるように、単位面積当たりの質量を調節することが好ましい。上記金属多孔体の単位面積当たりの質量としては 400 g/m^2 以上が好ましい。

【0091】

(3) SOEC方式(水蒸気電解方式ともいう)は、固体酸化物電解質膜を用いて水蒸気を電気分解する方法である。具体的には、SOEC方式では、固体酸化物電解質膜の両面に陽極と陰極とをそれぞれ配置し、いずれかの電極に水蒸気を導入しながら、陽極と陰極との間に電圧を印加することにより、水を電気分解する。

10

【0092】

SOEC方式では、固体酸化物電解質膜がプロトン伝導性であるか酸化物イオン伝導性であるかによって、水蒸気を導入する電極が異なる。固体酸化物電解質膜が酸化物イオン伝導性である場合、水蒸気は陰極に導入される。水蒸気は陰極で電気分解されて、プロトンおよび酸化物イオンを生成する。生成したプロトンは、そのまま陰極で還元されて水素として取り出される。酸化物イオンは固体酸化物電解質膜を通過して陽極へと移動した後、陽極で酸化されて、酸素として取り出される。一方、固体酸化物電解質膜がプロトン伝導性である場合、水蒸気は陽極に導入される。水蒸気は陽極で電気分解されて、プロトンおよび酸化物イオンが生成される。生成したプロトンは固体酸化物電解質膜を通過して陰極へと移動した後、陰極で還元されて水素として取り出される。酸化物イオンは、そのまま陽極で酸化されて、酸素として取り出される。

20

【0093】

SOEC方式では、水蒸気が導入される電極として、上記金属多孔体を用いる。すなわち、SOEC方式を用いる水電解装置(SOEC式水素製造装置)は、陽極と、陰極と、陽極と陰極との間に介在する固体酸化物電解質膜と、陽極と陰極との間に電圧を印加する電源と、を備え、水蒸気が導入される電極が三次元網目状の骨格を有する金属多孔体を含む。上記金属多孔体は表面積が大きいいため、水蒸気と電極との接触面積も大きくなり、水の電解効率が向上する。さらに、上記金属多孔体は良好な電気伝導性を備えているため、水蒸気の電解効率はより向上する。

【0094】

高純度の水素が得られ易い点で、固体酸化物電解質膜はプロトン伝導性であることが好ましい。固体酸化物電解質膜がプロトン伝導性である場合、水蒸気が導入される電極と水素が取り出される電極とが異なるためである。この場合、上記金属多孔体は、陽極に用いられる。なお、発生した水素が速やかに脱離できる点で、上記の場合、陰極もまた上記金属多孔体を含むことが好ましい。

30

【0095】

SOEC式水素製造装置と、水素および酸素を反応させて発電し、水を排出する固体酸化物型燃料電池とは、全く反対の反応を利用するものでありながら、同様の構成を有している。SOEC式水素製造装置の動作温度は $600 \sim 800$ 程度であり、陽極では酸素が発生する。そのため、陽極は高温の酸化雰囲気に置かれる。上記金属多孔体は、高い耐酸化性および耐熱性を備えているため、SOEC式水素製造装置の特に陽極として好適に使用できる。

40

【0096】

上記金属多孔体を構成する金属は特に限定されず、ガス拡散層120を構成する金属として例示したものと同一金属を例示することができる。なかでも、酸化雰囲気となる陽極は、クロム(Cr)などの高い耐酸化性を有する金属を、3~30質量%含有するNi合金を含む上記金属多孔体を用いることが好ましい。電気抵抗の点で、陰極に用いられる上記金属多孔体は、Snを含むことが好ましい。

【0097】

上記金属多孔体の孔径は、 $100\text{ }\mu\text{m}$ 以上、 $5000\text{ }\mu\text{m}$ 以下が好ましい。上記金属多

50

孔体の孔径が上記範囲であれば、水蒸気の圧力損失が適切な範囲になって、電解効率が高まる。また、上記金属多孔体を陰極に用いた場合、発生した水素も速やかに脱離することができる。同様の観点から、上記金属多孔体の孔径は400 μm以上、4000 μm以下が好ましい。なお、気泡の脱離性、水蒸気の通気性および電氣的接続を考慮して、異なる孔径を持つ複数の上記金属多孔体を組み合わせ、各電極として使用してもよい。さらに、他の金属製の多孔体を上記金属多孔体と組み合わせ用いてもよい。

【0098】

上記金属多孔体の厚さおよび単位面積当たりの質量は、水素製造装置の規模によって適宜設定すればよい。なかでも、上記金属多孔体の気孔率が30%以上となるように、厚さと単位面積当たりの質量とを調整することが好ましい。上記金属多孔体の気孔率が30%より小さくなると、上記金属多孔体の内部に水を流す際の圧力損失が大きくなるためである。また、本方式において、固体酸化物電解質膜と各電極とは、圧着されることにより導通する。そのため、両者を圧着する際の各電極の変形およびクリープによる電気抵抗増加が実用上問題ない範囲になるように、単位面積当たりの質量を調節することが好ましい。上記金属多孔体の単位面積当たりの質量としては400 g/m²以上が好ましい。

【0099】

図6に、プロトン伝導性の固体酸化物電解質膜を用いたSOEC式水素製造装置200の断面図を模式的に示す。なお、図6では、電源を省略している。水素製造装置200は、固体酸化物電解質膜213を含む構造体210と、構造体210の各主面にそれぞれ対向する電極220Aおよび220Bと、電極220Aおよび220Bの構造体210とは反対側の主面にそれぞれ対向する板材230Aおよび230Bと、図示しない電源とを備える。

【0100】

電極220Aおよび220Bはいずれも、上記したような三次元網目状の骨格を有する金属多孔体である。板材230Aおよび230Bは、水蒸気および酸素と水素とが混合しないように配置されたセパレータであり、それぞれガス流路(図示せず)を備えている。水蒸気Vは、板材230Aを経由して電極220Aに導入される。すなわち、電極220Aは陽極であり、電極220Bは陰極である。

【0101】

SOEC式水素製造装置200は、電極220B、板材230Bおよび電源を備える以外、図1に示す燃料電池100と同様の構成を有している。すなわち、構造体210は、プロトン伝導性を有する固体酸化物を含む固体酸化物電解質膜213と、その各主面に対向するように配置された多孔質層211および212とを備える。固体酸化物電解質膜213は、電解質層113として例示したのと同じプロトン伝導性を有する固体酸化物を含む。多孔質層211および212は、固体酸化物電解質膜213をサポートしている。また、陽極(電極220A)側に配置された多孔質層211は、アノード111と同様、上記固体酸化物と触媒成分である酸化ニッケル(NiO)との複合酸化物により形成されている。そのため、電解効率がさらに高まる。多孔質層212は、例えば、カソード112で例示したのと同じ化合物により形成される。

【0102】

板材230Aは、上記ガス流路板130と同様の構成を備えている。これにより、優れたガス拡散性能を有する水素製造装置が得られる。板材230Bの構成は特に限定されず、上記ガス流路板130と同様の構成を備えていてもよい。電極220Aで発生した酸素および未反応の水蒸気は、板材230Aを経由して取り出されてもよい。同様に、電極220Bで発生した水素は、板材230Bを経由して取り出されてもよい。

【0103】

次に、実施例に基づいて、本発明をより具体的に説明する。ただし、以下の実施例は、本発明を限定するものではない。

【0104】

[実施例1]

以下の手順で、燃料電池を作製した。

(1) セル構造体の作製

下記の手順でセル構造体を作製した。

まず、BZY ($BaZr_{0.8}Y_{0.2}O_{2.9}$) に、Ni (触媒成分) を70体積% 含むようにNiOを混合し、ボールミルによって粉碎混練した。次いで、プレス成形により、アノードを構成する成形体 (厚さ550 μm) を形成し、1000 で仮焼結した。続いて、上記成形体の一方の面に、BZY ($BaZr_{0.8}Y_{0.2}O_{2.9}$) と水溶性バインダ樹脂 (エチルセルロース) とを混合したペーストをスクリーン印刷によって塗布した後、750 で水溶性バインダ樹脂を除去した。次いで、1400 で加熱処理することにより共焼結し、アノードと固体電解質層 (厚さ10 μm) とを形成した。

10

【0105】

続いて、固体電解質層の表面に、カソードの材料であるLSCF ($La_{0.6}Hf_{0.4}Co_{0.2}Fe_{0.8}O_3$) の粉末と上記有機溶媒とを混合したLSCFペーストをスクリーン印刷し、1000 で2時間の焼成を行うことにより、セル構造体を作製した。カソードの厚みは10 μm であった。

【0106】

(2) ガス流路板の準備

直径100 mm、厚み0.5 mmの円形のステンレス鋼製の板状部材を4枚準備した。それぞれの板状部材に、プレス加工により、図7(a) ~ (d) に示すような形状の開口 (133a、132a、1311a、1311b、1313a) を備える貫通孔を形成した。図7(a) に示す板状部材P133は第3領域133を形成し、図7(b) に示す板状部材P132は第2領域132を形成する。図7(d) に示す板状部材P1313は補助領域であり、図7(c) に示す板状部材P1311とともに第1領域131を形成する。

20

【0107】

板状部材P1313およびP1311には、同じ位置に同じ形状の貫通孔を形成した。貫通孔によって、板状部材P1313の主面には、スリット状の補助開口1313aが11本形成され、板状部材P1311の主面には、スリット1311a、および、その両側に、スリット1311aに平行なスリット1311bが5本ずつ形成された。すべての開口の長手方向の長さは、端から34 mm、50 mm、66 mm、82 mm、94 mm、82 mm、94 mm、82 mm、66 mm、50 mm、34 mmであり、短手方向の長さは2 mmであった。さらに、板状部材P1311およびP1313の外縁には、ガスをマニホールドに排出するための貫通孔 (排出口150) を複数形成した。

30

【0108】

板状部材P132の一方の主面には、貫通孔によって、一辺2 mmの正方形の第2開口132aが、15 mm間隔で全体的に形成されていた。板状部材P133の一方の主面には、一辺7 mmの正方形の第3開口133aが、15 mm間隔で市松模様状に形成されていた。

【0109】

貫通孔が形成された各板状部材を、図7に示された状態でこの順に積層して、ガス流路板を得た。板状部材P1313とP1311とは、補助開口1313aの中心線とスリット1311aの中心線とが90度の角度を成すように、積層した。

40

【0110】

(3) ガス拡散層の準備

住友電気工業株式会社製のニッケルのセルメット (品番 8) により形成された、円形の三次元網目状の金属多孔体 (厚さ1.4 mm、直径100 mm) を準備した。

【0111】

(4) 燃料電池の作製

上記で得られたセル構造体のアノードの表面に、順次、ガス拡散層およびガス流路板を積層した。一方、カソードの表面に、ガス流路を有する一枚のステンレス鋼製の板状部材

50

により形成されたカソード側インターコネクタを積層し、図 1 に示す燃料電池を製作した。

【 0 1 1 2 】

(5) ガス拡散性評価

動作温度を 6 0 0 として、作製された燃料電池のアノードに燃料ガスとして水素を 0 . 3 L / 分で流し、カソードに空気を 1 L / 分で流した時のガス拡散性を評価した。ガス拡散性は、アノードの表面における静圧により評価した。結果を図 8 に示す。図 8 は、アノードの表面の 1 / 4 の部分における静圧の分布を示している (以下、図 1 0、図 1 2、図 1 4、図 1 6 および図 1 8 A についても同様)。

【 0 1 1 3 】

[実施例 2]

ガス流路板として、図 9 (a) ~ (d) に示すような形状の開口 (1 3 3 a、1 3 2 a、1 3 1 a、1 4 0 および 1 5 0) を備える貫通孔が形成された板状部材を使用したこと以外は、実施例 1 と同様にして燃料電池を作製し、評価した。結果を図 1 0 に示す。

【 0 1 1 4 】

図 9 (a) に示す板状部材 P 1 3 3 は第 3 領域 1 3 3 を形成し、図 9 (b) に示す板状部材 P 1 3 2 は第 2 領域 1 3 2 を形成する。図 9 (d) に示す板状部材 P 1 3 1 2 は受入領域 1 3 1 2 であり、図 9 (c) に示す板状部材 P 1 3 1 1 とともに第 1 領域 1 3 1 を形成する。

【 0 1 1 5 】

板状部材 P 1 3 1 2 の一方の主面の中心近傍には、一辺 2 mm の正方形の流入口 1 4 0 が、2 箇所形成されていた。流入口 1 4 0 同士は、3 2 mm の間隔をあけて配置されていた。また、板状部材 P 1 3 1 2 の外縁には、ガスをマニホールドに排出するための貫通孔 (排出口) 1 5 0 を 2 箇所、形成した。排出口 1 5 0 の中心の板状部材 P 1 3 1 2 の中心からの距離は、いずれも 4 7 mm とした。

【 0 1 1 6 】

第 1 開口 1 3 1 a は、流入口 1 4 0 に対応する位置に、板状部材 P 1 3 1 1 を放射状に 4 分割するように形成されていた。第 1 開口 1 3 1 a の長手方向の長さは、右回りに 4 7 mm、3 9 mm、4 7 mm、3 9 mm であり、短手方向の長さは、いずれも 2 mm であった。

【 0 1 1 7 】

板状部材 P 1 3 2 の一方の主面には、一辺 2 mm の正方形の第 2 開口 1 3 2 a が、図 9 (b) に示すように、第 1 開口 1 3 1 a に対応する位置にそれぞれ複数、配置されていた。1 つの第 1 開口 1 3 1 a に対応する位置に配置された第 2 開口 1 3 2 a 同士の間隔は、2 0 mm とした。板状部材 P 1 3 3 の一方の主面には、リング状の第 3 開口 1 3 3 a が 5 本形成されていた。それぞれのリングの内径の半径は、3 mm、1 3 mm、2 3 mm、3 3 mm、4 3 mm であり、リングの幅は 2 . 4 mm であった。なお、プレス加工の工程上、リングには、それぞれ 2 箇所の不連続部分を設けた。貫通孔が形成された各板状部材を、図 9 (a) ~ (d) に示された状態で、この順に積層して、ガス流路板とした。

【 0 1 1 8 】

[実施例 3]

ガス流路板として、図 1 1 (a) ~ (d) に示すような形状の開口 (1 3 3 a、1 3 2 a、1 3 1 a、1 4 0 および 1 5 0) を備える貫通孔が形成された板状部材を使用したこと以外は、実施例 1 と同様にして燃料電池を作製し、評価した。結果を図 1 2 に示す。

【 0 1 1 9 】

図 1 1 (a) に示す板状部材 P 1 3 3 は第 3 領域 1 3 3 を形成し、図 1 1 (b) に示す板状部材 P 1 3 2 は第 2 領域 1 3 2 を形成する。図 1 1 (d) に示す板状部材 P 1 3 1 2 は受入領域 1 3 1 2 であり、図 1 1 (c) に示す板状部材 P 1 3 1 1 とともに第 1 領域 1 3 1 を形成する。

【 0 1 2 0 】

10

20

30

40

50

板状部材 P 1 3 1 2 の一方の主面の中心近傍には、一辺 2 mm の正方形の流入口 1 4 0 が 2 箇所形成されていた。流入口 1 4 0 同士は、20 mm の間隔をあけて配置されていた。また、板状部材 P 1 3 1 2 の外縁には、ガスをマニホールドに排出するための貫通孔（排出口）1 5 0 を 2 箇所形成した。排出口 1 5 0 の中心の板状部材 P 1 3 1 2 の中心からの距離は、いずれも 46.2 mm とした。

【0121】

第 1 開口 1 3 1 a は、流入口 1 4 0 に対応する位置に、板状部材 P 1 3 1 1 を放射状に 4 分割するように形成されていた。第 1 開口 1 3 1 a の長手方向の長さは、それぞれ 42 mm、32 mm、42 mm、32 mm であり、短手方向の長さは、いずれも 2 mm であった。

10

【0122】

板状部材 P 1 3 2 の一方の主面には、一辺 2 mm の正方形の第 2 開口 1 3 2 a が、図 11 (b) に示すように、第 1 開口 1 3 1 a に対応する位置にそれぞれ複数、配置されていた。1 つの第 1 開口 1 3 1 a に対応する位置に配置された第 2 開口 1 3 2 a 同士の間隔は、10 mm とした。板状部材 P 1 3 3 の一方の主面には、リング状の第 3 開口 1 3 3 a が 9 本形成されていた。それぞれのリングの内径の半径は、4.0 mm、9.0 mm、14.0 mm、19.0 mm、24.0 mm、29.0 mm、34.0 mm、39.0 mm、44.0 mm であり、リングの幅は、いずれも 2.4 mm であった。なお、プレス加工の工程上、リングには、それぞれ 2 箇所の不連続部分を設けた。貫通孔が形成された各板状部材を、図 11 (a) ~ (d) の順に積層して、ガス流路板とした。

20

【0123】

[実施例 4]

受入領域 1 3 1 2 として、図 13 (d) に示すような流入口 1 4 0 および排出口 1 5 0 を備える板状部材 P 1 3 1 2 を使用したこと以外は、実施例 3 と同様にして燃料電池を作製し、評価した。結果を図 14 に示す。なお、板状部材 P 1 3 1 2 の一方の主面の中心近傍には、一辺 2 mm の正方形の流入口 1 4 0 が 2 箇所、92.4 mm の間隔をあけて形成されていた。排出口 1 5 0 の中心の板状部材 P 1 3 1 2 の中心からの距離は、いずれも 41 mm とした。

【0124】

[実施例 5]

受入領域 1 3 1 2 として、図 15 (d) に示すような流入口 1 4 0 および排出口 1 5 0 を備える板状部材 P 1 3 1 2 を使用したこと以外は、実施例 3 と同様にして燃料電池を作製し、評価した。結果を図 16 に示す。なお、板状部材 P 1 3 1 2 の一方の主面の中心近傍には、一辺 2 mm の正方形の流入口 1 4 0 が 2 箇所、62 mm の間隔をあけて形成されていた。排出口 1 5 0 の中心の板状部材 P 1 3 1 2 の中心からの距離は、いずれも 26.2 mm とした。

30

【0125】

[比較例 1]

ガス流路板として、図 17 に示す板状部材 P 3 0 0 (開口率 0.1%、厚み 1 mm 以下) を使用したこと以外は、実施例 1 と同様にして燃料電池を作製し、評価した。結果を図 18 A に示す。併せて、図 18 B に、アノードの表面の 1/4 の部分における水素ガスの流線を示す。なお、ガス流入口 1 4 0 は、板状部材 P 3 0 0 の中心に対応する位置に配置されており、排出口 1 5 0 は、板状部材 P 3 0 0 の中心から 47 mm 離れた位置に対応する位置に 2 箇所、配置されていた。

40

【0126】

実施例 1 ~ 5 によれば、ガス流路板に第 1 領域 ~ 第 3 領域を設けることにより、ガスは、ガス流路板の外縁にまで拡散することがわかる。また、ガス流路板の面方向における、ガスの圧力差も小さい。さらに、実施例 3 ~ 5 からわかるように、ガスの流入口 1 4 0 や排出口 1 5 0 の配置を換えても、ガスはガス流路板の外縁にまで拡散される。実施例 1 ~ 5 から見積もった静圧はその場所でのガスの流量と相関があり、いずれもガスの流路全域

50

において、比較例より静圧が高い。従って、実施例 1 ~ 5 は、比較例よりガス流路板の外縁にまで、ガスが拡散していることが分かる。すなわち、本構造を採用した燃料電池は従来構造と比較してセル全域にガスが行き渡るため、発電効率を向上させることが可能である。なお、静圧の単位はPaである。

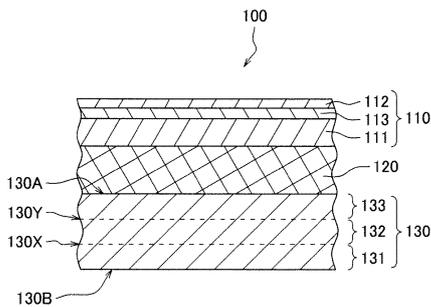
【符号の説明】

【0127】

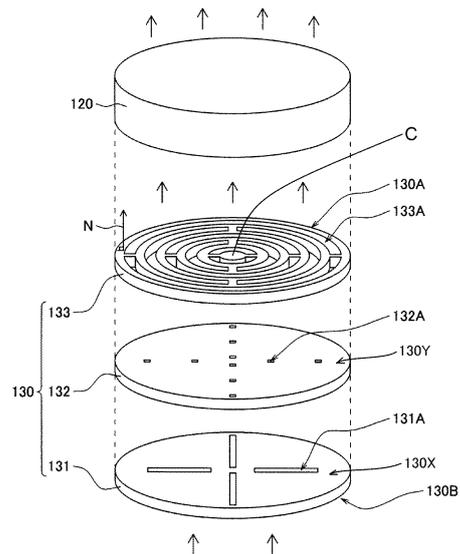
100：燃料電池、110：セル構造体、111：第1電極（アノード）、112：第2電極（カソード）、113：電解質層、120：ガス拡散層、130：ガス流路板、130A、130B：板面、130C：中央部、130X、130Y：境界面、131：第1領域、131A：第1流路、131a：第1開口、1311：形成領域、1311a、1311b：スリット、1312：受入領域、1313：補助領域、1313A：補助流路、1313a：補助開口、132：第2領域、132A：第2流路、132a：第2開口、133：第3領域、133A：第3流路、133a：第3開口、140：流入口、150：排出口、200：水素製造装置、210：構造体、211、212：多孔質層、213：固体酸化物電解質膜、220A、220B：電極、230A、230B：板材

10

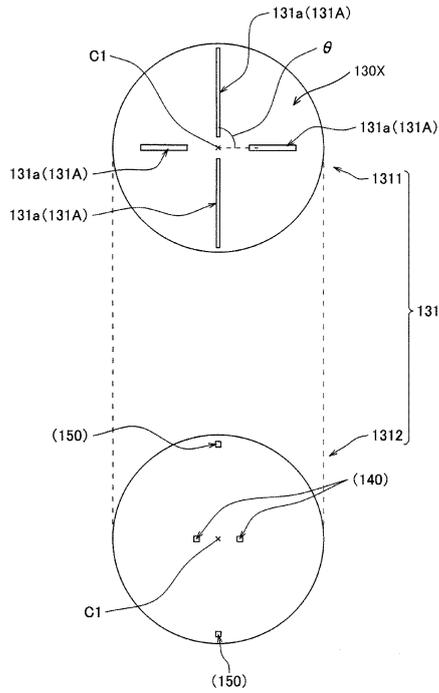
【図1】



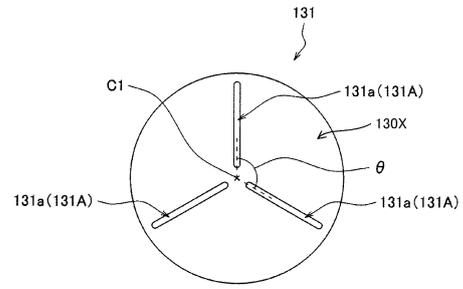
【図2】



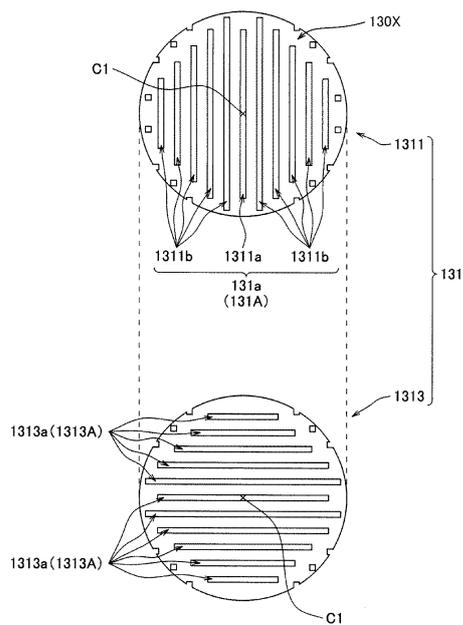
【図 3 A】



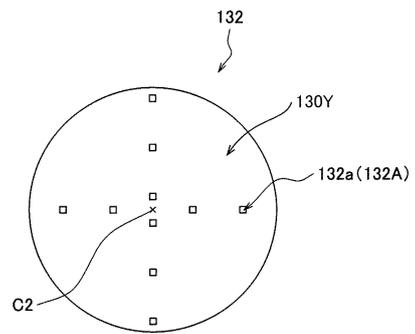
【図 3 B】



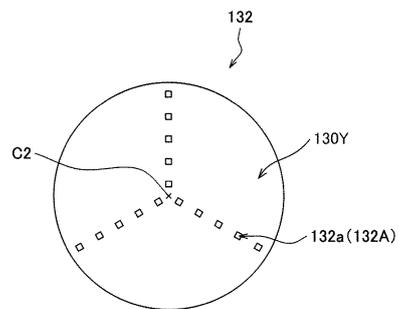
【図 3 C】



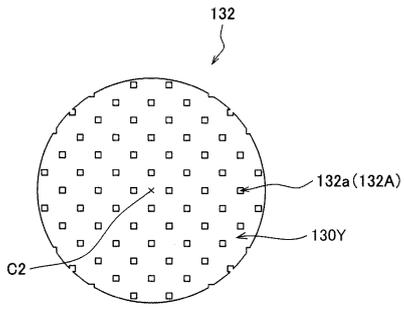
【図 4 A】



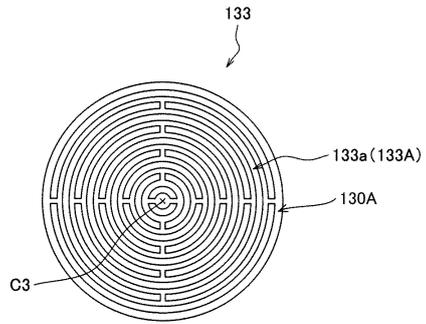
【図 4 B】



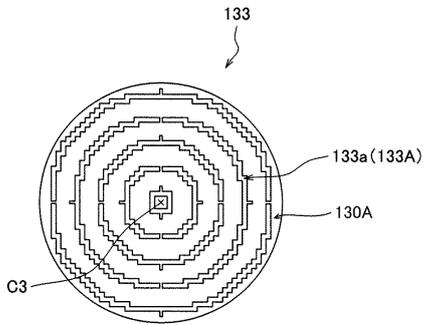
【図4C】



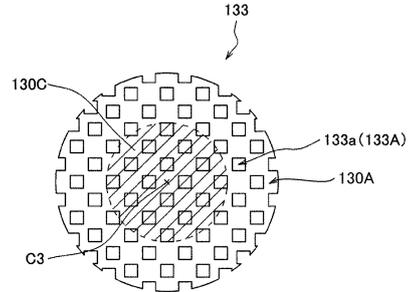
【図5B】



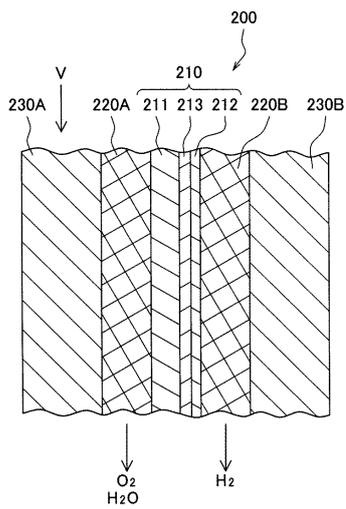
【図5A】



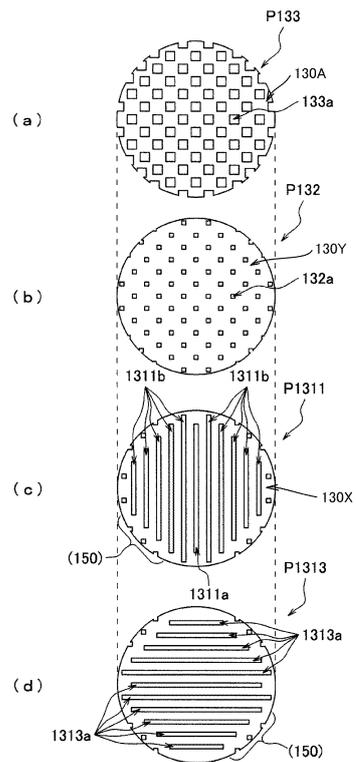
【図5C】



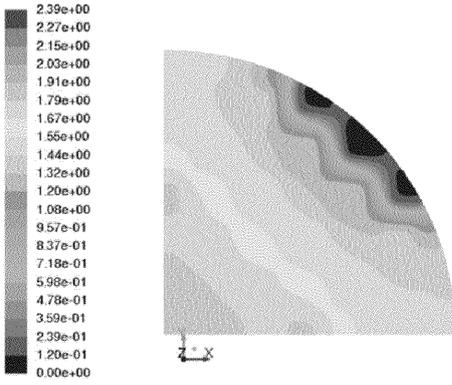
【図6】



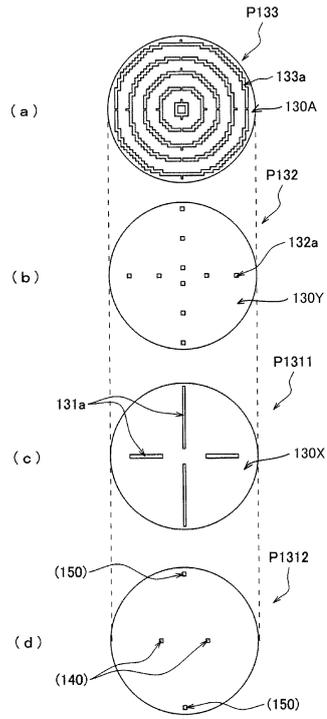
【図7】



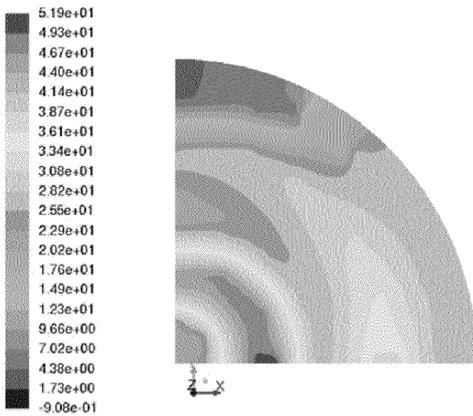
【 8 】



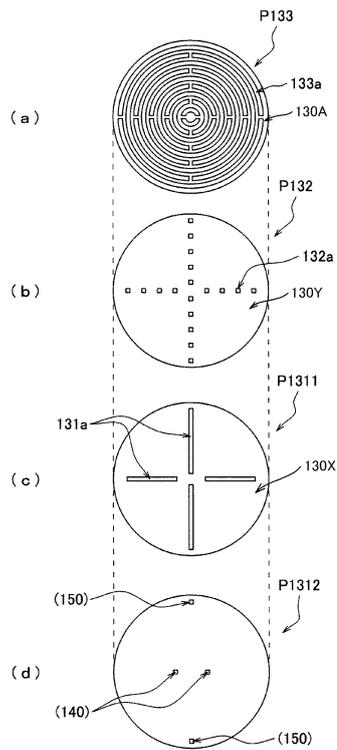
【 9 】



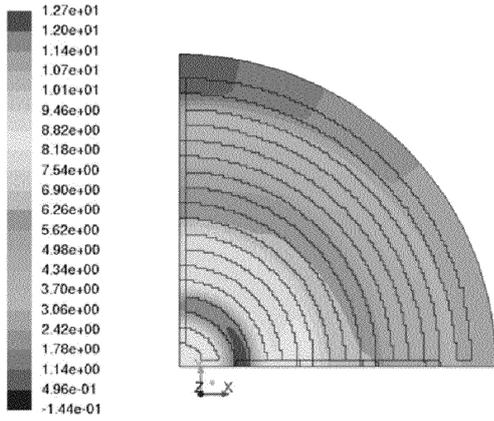
【 10 】



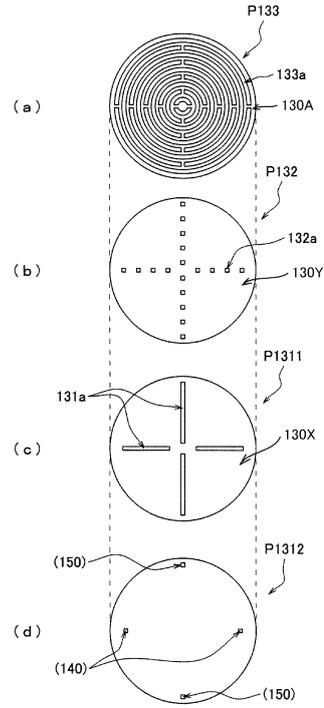
【 11 】



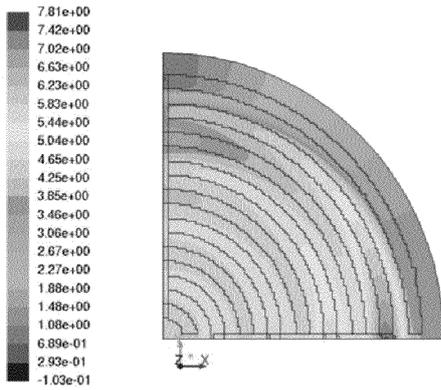
【 1 2 】



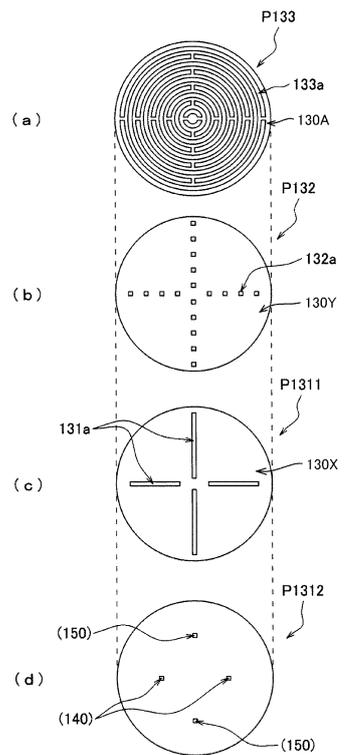
【 1 3 】



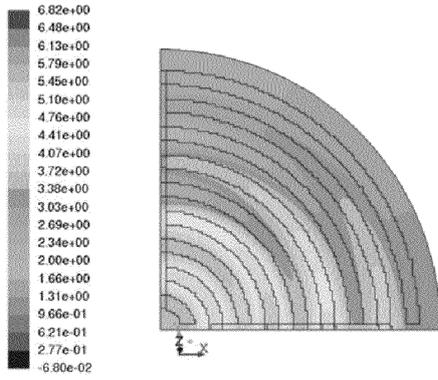
【 1 4 】



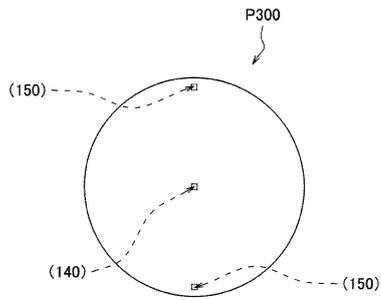
【 1 5 】



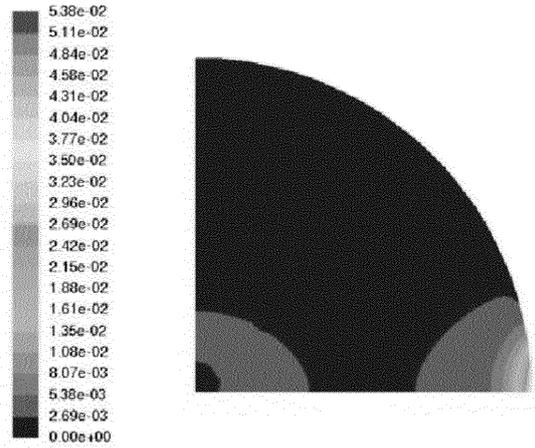
【 16 】



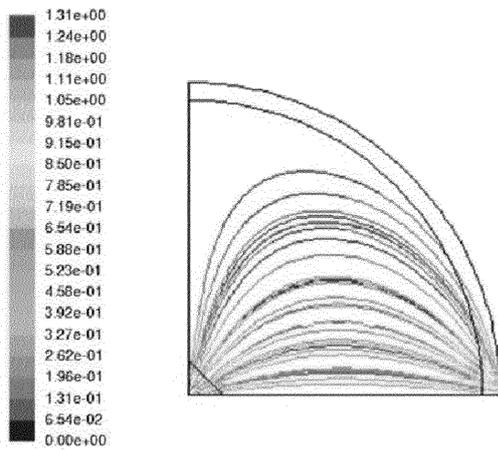
【 17 】



【 18 A 】



【 18 B 】



フロントページの続き

- (72)発明者 真嶋 正利
兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内
- (72)発明者 吉田 稔浩
大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電気工業株式会社大阪製作所内
- (72)発明者 宮元 一成
兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内

審査官 高木 康晴

- (56)参考文献 米国特許第5770327 (US, A)
特開2008-235060 (JP, A)
特開2012-174626 (JP, A)
国際公開第2014/045530 (WO, A1)
特開2007-329063 (JP, A)
特開2005-228734 (JP, A)
国際公開第2003/012903 (WO, A1)
特開2003-100323 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01M 8/02
H01M 8/12