

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6445182号
(P6445182)

(45) 発行日 平成30年12月26日 (2018.12.26)

(24) 登録日 平成30年12月7日 (2018.12.7)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 M 8/0247 (2016.01)	HO 1 M 8/0247
HO 1 M 8/12 (2016.01)	HO 1 M 8/12 1 O 1
HO 1 M 8/124 (2016.01)	HO 1 M 8/12 1 O 2 A
	HO 1 M 8/124

請求項の数 9 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2017-547789 (P2017-547789)	(73) 特許権者	000004547
(86) (22) 出願日	平成28年10月25日 (2016.10.25)		日本特殊陶業株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2016/081506		愛知県名古屋市瑞穂区高辻町 1 4 番 1 8 号
(87) 国際公開番号	W02017/073530	(74) 代理人	110001911
(87) 国際公開日	平成29年5月4日 (2017.5.4)		特許業務法人アルファ国際特許事務所
審査請求日	平成30年1月31日 (2018.1.31)	(72) 発明者	眞邊 健太
(31) 優先権主張番号	特願2015-211746 (P2015-211746)		愛知県名古屋市瑞穂区高辻町 1 4 番 1 8 号
(32) 優先日	平成27年10月28日 (2015.10.28)		日本特殊陶業株式会社内
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(72) 発明者	八木 宏明
			愛知県名古屋市瑞穂区高辻町 1 4 番 1 8 号
			日本特殊陶業株式会社内
		(72) 発明者	堀田 信行
			愛知県名古屋市瑞穂区高辻町 1 4 番 1 8 号
			日本特殊陶業株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 インターコネクター電気化学反応単セル複合体、電気化学反応セルスタックおよびインターコネクター電気化学反応単セル複合体の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電解質層と前記電解質層を挟んで第 1 の方向に互いに対向する空気極および燃料極とを含む電気化学反応単セルと、前記電気化学反応単セルの前記第 1 の方向に配置されたインターコネクターと、を備えるインターコネクター電気化学反応単セル複合体において、

前記インターコネクターには、前記第 1 の方向に突出する凸部と、前記第 1 の方向における前記凸部の反対側に配置され、前記凸部側に凹んだ凹部と、の組合せが複数形成されており、

複数の前記組合せの少なくとも 1 つについて、

前記第 1 の方向において、前記凹部の底は、前記凸部の基端より前記凹部の開口端側に位置し、

前記第 1 の方向に平行な断面において、前記凹部は、前記第 1 の方向に直交する第 2 の方向における前記凸部の幅 t_2 の範囲内に位置し、前記第 2 の方向における前記凹部の幅 t_1 は、前記凸部の前記幅 t_2 より小さく、

前記凹部の前記第 1 の方向における深さ h と、前記凹部の開口端と前記凸部の基端との間の前記第 1 の方向における距離 H とは、 $0.563 \leq h/H \leq 0.750$ という関係を満たすことを特徴とする、インターコネクター電気化学反応単セル複合体。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のインターコネクター電気化学反応単セル複合体であって、

前記凹部の底側の角部は、R 形状であることを特徴とする、インターコネクター電気化

10

20

学反応単セル複合体。

【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 に記載のインターコネクター電気化学反応単セル複合体であって、

前記凸部の基端側の角部と先端側の角部との少なくとも一方は、R 形状であることを特徴とする、インターコネクター電気化学反応単セル複合体。

【請求項 4】

請求項 1 から請求項 3 までのいずれか一項に記載のインターコネクター電気化学反応単セル複合体であって、

複数の前記組合せの少なくとも 1 つについて、前記凹部の前記第 1 の方向における深さ h と、前記凹部の開口端と前記凸部の基端との間の前記第 1 の方向における距離 H とは、 $h/H \leq 0.69$ という関係を満たすことを特徴とする、インターコネクター電気化学反応単セル複合体。

【請求項 5】

請求項 1 から請求項 4 までのいずれか一項に記載のインターコネクター電気化学反応単セル複合体であって、

複数の前記組合せの少なくとも 1 つについて、前記第 1 の方向に平行な断面において、前記凹部の前記幅 t_1 と、前記凸部の前記幅 t_2 とは、 $0.75 \leq t_1/t_2 \leq 0.925$ という関係を満たすことを特徴とする、インターコネクター電気化学反応単セル複合体。

【請求項 6】

請求項 1 から請求項 5 までのいずれか一項に記載のインターコネクター電気化学反応単セル複合体であって、

前記電解質層は、固体酸化物を含むことを特徴とする、インターコネクター電気化学反応単セル複合体。

【請求項 7】

前記第 1 の方向に並べて配列された複数のインターコネクター電気化学反応単セル複合体を備える電気化学反応セルスタックにおいて、

前記複数のインターコネクター電気化学反応単セル複合体の少なくとも 1 つは、請求項 1 から請求項 6 までのいずれか一項に記載のインターコネクター電気化学反応単セル複合体であることを特徴とする、電気化学反応セルスタック。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の電気化学反応セルスタックにおいて、

前記複数のインターコネクター電気化学反応単セル複合体のそれぞれに含まれる電気化学反応単セルは、燃料電池単セルであることを特徴とする、電気化学反応セルスタック。

【請求項 9】

請求項 1 から請求項 6 までのいずれか一項に記載のインターコネクター電気化学反応単セル複合体の製造方法であって、

前記電気化学反応単セルを準備するセル準備工程と、

前記インターコネクタをプレス加工により、前記第 1 の方向に突出する凸部と、前記第 1 の方向における前記凸部の反対側に配置され、前記凸部側に凹んだ凹部と、の組合せが複数形成された形状に形成するプレス工程と、

前記電気化学反応単セルと前記インターコネクタとを組み付ける組み付け工程と、を含み、

前記プレス工程は、前記インターコネクタを前記第 1 の方向に平行な断面において、前記凹部は、前記第 2 の方向における前記凸部の幅 t_2 の範囲内に位置し、前記第 2 の方向における前記凹部の幅 t_1 は、前記凸部の前記幅 t_2 より小さい形状に形成することを特徴とする、インターコネクター電気化学反応単セル複合体の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

20

30

40

50

【0001】

本明細書によって開示される技術は、インターコネクター電気化学反応単セル複合体に関する。

【背景技術】

【0002】

燃料電池の種類の1つとして、固体酸化物形燃料電池（以下、「SOFC」という）が知られている。SOFCを構成するインターコネクター燃料電池単セル複合体（以下、単に「複合体」という）は、例えば、電解質層と電解質層を挟んで所定の方向（以下、「第1の方向」という）に互いに対向する空気極および燃料極とを含む燃料電池単セル（以下、単に「単セル」という）と、単セルの第1の方向に配置されたインターコネクターとを備える。一般に、複合体は、複数の複合体が第1の方向に並べて配置された燃料電池スタックの形態で利用される。

10

【0003】

従来、第1の方向に突出する凸部と、第1の方向における凸部の反対側に配置され、凸部側に凹んだ凹部と、の組合せが複数形成されたインターコネクターを備える複合体が知られている（例えば、特許文献1参照）。このような構成のインターコネクターでは、第1の方向の一方側に形成された複数の凹部により構成される空間が、インターコネクターの該一方側に配置された電極（空気極または燃料極）に供給される反応ガスを流す空間（空気室または燃料室）として機能し、該一方側に形成された複数の凸部が、該電極と電氣的に接続される集電体として機能する。なお、このような構成のインターコネクターは、例えば、プレス加工やエッチング等により製造される。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】国際公開第2013/001777号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

燃料電池スタックを構成する各複合体は、燃料電池スタックの運転中に高温（例えば700℃から1000℃）に晒される。また、燃料電池スタックを構成する各複合体には、締結力による応力が発生する。上記従来のインターコネクターの構成では、これら高温と応力を原因として、インターコネクターに割れやひずみが発生することがある。インターコネクターの割れやひずみは、ガスリークや接触抵抗増大の原因となり得るため、望ましくない。

30

【0006】

なお、このような課題は、SOFCに限らず、他のタイプの燃料電池にも共通の課題である。また、このような課題は、インターコネクター燃料電池単セル複合体に限らず、水の電気分解反応を利用して水素の生成を行う電解セルの最小構成単位である電解セルと、インターコネクターと、を備えるインターコネクター電解セル複合体にも共通の課題である。なお、本明細書では、燃料電池単セルと電解セルとをまとめて電気化学反応単セルといい、インターコネクター燃料電池単セル複合体とインターコネクター電解セル複合体とをまとめてインターコネクター電気化学反応単セル複合体という。

40

【0007】

本明細書では、上述した課題を解決することが可能な技術を開示する。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本明細書に開示される技術は、例えば、以下の形態として実現することが可能である。

【0009】

(1) 本明細書に開示されるインターコネクター電気化学反応単セル複合体は、電解質層と前記電解質層を挟んで第1の方向に互いに対向する空気極および燃料極とを含む電気化

50

学反応単セルと、前記電気化学反応単セルの前記第1の方向に配置されたインターコネクタと、を備えるインターコネクタ-電気化学反応単セル複合体において、前記インターコネクタには、前記第1の方向に突出する凸部と、前記第1の方向における前記凸部の反対側に配置され、前記凸部側に凹んだ凹部と、の組合せが複数形成されており、複数の前記組合せの少なくとも1つについて、前記第1の方向において、前記凹部の底は、前記凸部の基端より前記凹部の開口端側に位置し、前記第1の方向に平行な断面において、前記凹部は、前記第1の方向に直交する第2の方向における前記凸部の幅 t_2 の範囲内に位置し、前記第2の方向における前記凹部の幅 t_1 は、前記凸部の前記幅 t_2 より小さい。このインターコネクタ-電気化学反応単セル複合体によれば、インターコネクタが、凸部の幅 t_2 内に包含され、かつ、凹部の幅 t_1 内に包含されない部分を有するため、インターコネクタの凸部の角部や凹部の角部等への応力集中が緩和され、インターコネクタの割れやひずみの発生を抑制することができ、その結果、ガスリークの発生や接触抵抗の増大を抑制することができる。

10

【0010】

(2) 上記インターコネクタ-電気化学反応単セル複合体において、前記凹部の底側の角部は、R形状である構成としてもよい。このインターコネクタ-電気化学反応単セル複合体によれば、インターコネクタの凹部の底側の角部への応力集中が緩和され、インターコネクタの割れやひずみの発生をより効果的に抑制することができる。

【0011】

(3) 上記インターコネクタ-電気化学反応単セル複合体において、前記凸部の基端側の角部と先端側の角部との少なくとも一方は、R形状である構成としてもよい。このインターコネクタ-電気化学反応単セル複合体によれば、インターコネクタにコートが施される場合に、凸部の角部においてコートの膜厚が薄くなることを抑制することができる。

20

【0012】

(4) 上記インターコネクタ-電気化学反応単セル複合体において、複数の前記組合せの少なくとも1つについて、前記凹部の前記第1の方向における深さ h と、前記凹部の開口端と前記凸部の基端との間の前記第1の方向における距離 H とは、 $h/H \leq 0.69$ という関係を満たす構成としてもよい。このインターコネクタ-電気化学反応単セル複合体によれば、インターコネクタを所望の形状にしつつ、応力集中をより効果的に緩和することができる。

30

【0013】

(5) 上記インターコネクタ-電気化学反応単セル複合体において、複数の前記組合せの少なくとも1つについて、前記第1の方向に平行な断面において、前記凹部の前記幅 t_1 と、前記凸部の前記幅 t_2 とは、 $0.75 \leq t_1/t_2 \leq 0.925$ という関係を満たす構成としてもよい。このインターコネクタ-電気化学反応単セル複合体によれば、インターコネクタを所望の形状にしつつ、応力集中をより効果的に緩和することができる。

【0014】

(6) 上記インターコネクタ-電気化学反応単セル複合体において、前記電解質層は、固体酸化物を含む構成としてもよい。本インターコネクタ-電気化学反応単セル複合体によれば、電解質層が固体酸化物を含む構成において、インターコネクタの凸部の角部や凹部の角部等への応力集中が緩和され、インターコネクタの割れやひずみの発生を抑制することができる。

40

【0015】

なお、本明細書に開示される技術は、種々の形態で実現することが可能であり、例えば、インターコネクタ-電気化学反応単セル複合体（インターコネクタ-燃料電池単セル複合体またはインターコネクタ-電解セル複合体）、複数のインターコネクタ-電気化学反応単セル複合体を備える電気化学反応セルスタック（燃料電池スタックまたは電解セルスタック）、インターコネクタ、それらの製造方法等の形態で実現することが可能である。

【図面の簡単な説明】**【0016】**

50

【図１】本実施形態における燃料電池スタック１００の外観構成を示す斜視図である。

【図２】図１のⅠⅠ－ⅠⅠの位置における燃料電池スタック１００のＸＺ断面構成を示す説明図である。

【図３】図１のⅠⅠⅠ－ⅠⅠⅠの位置における燃料電池スタック１００のＹＺ断面構成を示す説明図である。

【図４】図２に示す断面と同一の位置における互いに隣接する２つの発電単位１０２のＸＺ断面構成を示す説明図である。

【図５】図３に示す断面と同一の位置における互いに隣接する２つの発電単位１０２のＹＺ断面構成を示す説明図である。

【図６】図４のⅤⅠ－ⅤⅠの位置における発電単位１０２のＸＹ断面構成を示す説明図である。

10

【図７】インターコネクタ１５０の詳細構成を示す説明図である。

【図８】実施例１のインターコネクタ１５０における相当応力の分布を示す説明図である。

【図９】比較例のインターコネクタ１５０Ｘにおける相当応力の分布を示す説明図である。

【図１０】実施例１のインターコネクタ１５０における相当クリープひずみの分布を示す説明図である。

【図１１】比較例のインターコネクタ１５０Ｘにおける相当クリープひずみの分布を示す説明図である。

20

【図１２】シミュレーション結果の他の一例を示す説明図である。

【発明を実施するための形態】

【００１７】

A．実施形態：

A－１．構成：

（燃料電池スタック１００の構成）

図１は、本実施形態における燃料電池スタック１００の外観構成を示す斜視図であり、図２は、図１のⅠⅠ－ⅠⅠの位置における燃料電池スタック１００のＸＺ断面構成を示す説明図であり、図３は、図１のⅠⅠⅠ－ⅠⅠⅠの位置における燃料電池スタック１００のＹＺ断面構成を示す説明図である。各図には、方向を特定するための互いに直交するＸＹＺ軸が示されている。本明細書では、便宜的に、Ｚ軸正方向を上方向といい、Ｚ軸負方向を下方向というものとするが、燃料電池スタック１００は実際にはそのような向きとは異なる向きで設置されてもよい。図４以降についても同様である。

30

【００１８】

燃料電池スタック１００は、複数の（本実施形態では７つの）発電単位１０２と、一対のエンドプレート１０４、１０６とを備える。７つの発電単位１０２は、所定の配列方向（本実施形態では上下方向）に並べて配置されている。一対のエンドプレート１０４、１０６は、７つの発電単位１０２から構成される集合体を上下から挟むように配置されている。なお、上記配列方向（上下方向）は、特許請求の範囲における第１の方向に相当する。また、燃料電池スタック１００は、電気化学反応セルスタックの一例である。

40

【００１９】

燃料電池スタック１００を構成する各層（発電単位１０２、エンドプレート１０４、１０６）のＺ軸方向回りの周縁部には、上下方向に貫通する複数の（本実施形態では８つの）孔が形成されており、各層に形成され互いに対応する孔同士が上下方向に連通して、一方のエンドプレート１０４から他方のエンドプレート１０６にわたって上下方向に延びる連通孔１０８を構成している。以下の説明では、連通孔１０８を構成するために燃料電池スタック１００の各層に形成された孔も、連通孔１０８という場合がある。

【００２０】

各連通孔１０８には上下方向に延びるボルト２２が挿入されており、ボルト２２とボルト２２の両側に嵌められたナット２４とによって、燃料電池スタック１００は締結されて

50

いる。なお、図2および図3に示すように、ボルト22の一方の側（上側）に嵌められたナット24と燃料電池スタック100の上端を構成するエンドプレート104の上側表面との間、および、ボルト22の他方の側（下側）に嵌められたナット24と燃料電池スタック100の下端を構成するエンドプレート106の下側表面との間には、絶縁シート26が介在している。ただし、後述のガス通路部材27が設けられた箇所では、ナット24とエンドプレート106の表面との間に、ガス通路部材27とガス通路部材27の上側および下側のそれぞれに配置された絶縁シート26とが介在している。絶縁シート26は、例えばマイカシートや、セラミック繊維シート、セラミック圧粉シート、ガラスシート、ガラスセラミック複合剤等により構成される。

【0021】

各ボルト22の軸部の外径は各連通孔108の内径より小さい。そのため、各ボルト22の軸部の外周面と各連通孔108の内周面との間には、空間が確保されている。図1および図2に示すように、燃料電池スタック100のZ軸方向回りの外周における1つの辺（Y軸に平行な2つの辺の内のX軸正方向側の辺）の midpoint 付近に位置するボルト22（ボルト22A）と、そのボルト22Aが挿入された連通孔108とにより形成された空間は、燃料電池スタック100の外部から酸化剤ガスOGが導入され、その酸化剤ガスOGを各発電単位102に供給するガス流路である酸化剤ガス導入マニホールド161として機能し、該辺の反対側の辺（Y軸に平行な2つの辺の内のX軸負方向側の辺）の midpoint 付近に位置するボルト22（ボルト22B）と、そのボルト22Bが挿入された連通孔108とにより形成された空間は、各発電単位102の空気室166から排出されたガスである酸化剤オフガスOOGを燃料電池スタック100の外部へと排出する酸化剤ガス排出マニホールド162として機能する。なお、本実施形態では、酸化剤ガスOGとして、例えば空気が使用される。

【0022】

また、図1および図3に示すように、燃料電池スタック100のZ軸方向回りの外周における1つの辺（X軸に平行な2つの辺の内のY軸正方向側の辺）の midpoint 付近に位置するボルト22（ボルト22D）と、そのボルト22Dが挿入された連通孔108とにより形成された空間は、燃料電池スタック100の外部から燃料ガスFGが導入され、その燃料ガスFGを各発電単位102に供給する燃料ガス導入マニホールド171として機能し、該辺の反対側の辺（X軸に平行な2つの辺の内のY軸負方向側の辺）の midpoint 付近に位置するボルト22（ボルト22E）と、そのボルト22Eが挿入された連通孔108とにより形成された空間は、各発電単位102の燃料室176から排出されたガスである燃料オフガスFOGを燃料電池スタック100の外部へと排出する燃料ガス排出マニホールド172として機能する。なお、本実施形態では、燃料ガスFGとして、例えば都市ガスを改質した水素リッチなガスが使用される。

【0023】

燃料電池スタック100には、4つのガス通路部材27が設けられている。各ガス通路部材27は、中空筒状の本体部28と、本体部28の側面から分岐した中空筒状の分岐部29とを有している。分岐部29の孔は本体部28の孔と連通している。各ガス通路部材27の分岐部29には、ガス配管（図示せず）が接続される。また、図2に示すように、酸化剤ガス導入マニホールド161を形成するボルト22Aの位置に配置されたガス通路部材27の本体部28の孔は、酸化剤ガス導入マニホールド161に連通しており、酸化剤ガス排出マニホールド162を形成するボルト22Bの位置に配置されたガス通路部材27の本体部28の孔は、酸化剤ガス排出マニホールド162に連通している。また、図3に示すように、燃料ガス導入マニホールド171を形成するボルト22Dの位置に配置されたガス通路部材27の本体部28の孔は、燃料ガス導入マニホールド171に連通しており、燃料ガス排出マニホールド172を形成するボルト22Eの位置に配置されたガス通路部材27の本体部28の孔は、燃料ガス排出マニホールド172に連通している。

【0024】

（エンドプレート104，106の構成）

一对のエンドプレート104, 106は、略矩形の平板形状の導電性部材であり、例えばステンレスにより形成されている。一方のエンドプレート104は、最も上に位置する発電単位102の上側に配置され、他方のエンドプレート106は、最も下に位置する発電単位102の下側に配置されている。一对のエンドプレート104, 106によって複数の発電単位102が押圧された状態で挟持されている。上側のエンドプレート104は、燃料電池スタック100のプラス側の出力端子として機能し、下側のエンドプレート106は、燃料電池スタック100のマイナス側の出力端子として機能する。

【0025】

(発電単位102の構成)

図4は、図2に示す断面と同一の位置における互いに隣接する2つの発電単位102のXZ断面構成を示す説明図であり、図5は、図3に示す断面と同一の位置における互いに隣接する2つの発電単位102のYZ断面構成を示す説明図である。また、図6は、図4のVI-VIの位置における発電単位102のXY断面構成を示す説明図である。

【0026】

図4および図5に示すように、発電の最小単位である発電単位102は、単セル110と、セパレータ120と、空気極側フレーム130と、燃料極側フレーム140と、燃料極側集電体144と、発電単位102の最上層および最下層を構成する一对のインターコネクタ150とを備えている。セパレータ120、空気極側フレーム130、燃料極側フレーム140、インターコネクタ150におけるZ軸方向回りの周縁部には、上述したボルト22が挿入される連通孔108に対応する孔が形成されている。

【0027】

インターコネクタ150は、略矩形の外形を有する導電性部材であり、例えばフェライト系ステンレス等のCr(クロム)を含む金属により形成されている。インターコネクタ150は、発電単位102間の電氣的導通を確保すると共に、発電単位102間での反応ガスの混合を防止する。なお、本実施形態では、2つの発電単位102が隣接して配置されている場合、1つのインターコネクタ150は、隣接する2つの発電単位102に共有されている。すなわち、ある発電単位102における上側のインターコネクタ150は、その発電単位102の上側に隣接する他の発電単位102における下側のインターコネクタ150と同一部材である。また、燃料電池スタック100はエンドプレート106を備えているため、燃料電池スタック100において最も下に位置する発電単位102は下側のインターコネクタ150を備えていない(図2および図3参照)。

【0028】

図4から図6に示すように、インターコネクタ150には、下方向に突出する凸部152(以下、「空気極側凸部152」という)と、空気極側凸部152の上側に配置され、空気極側凸部152側に凹んだ凹部154(以下、「燃料極側凹部154」という)との組合せが複数形成されている。また、隣接する2つの空気極側凸部152の間には凹部156(以下、「空気極側凹部156」という)が形成され、隣接する2つの燃料極側凹部154の間には凸部158(以下、「燃料極側凸部158」という)が形成されている。すなわち、インターコネクタ150には、上方向に突出する燃料極側凸部158と、燃料極側凸部158の下側に配置され、燃料極側凸部158側に凹んだ空気極側凹部156との組合せも複数形成されている。

【0029】

ある発電単位102における上側のインターコネクタ150に形成された各空気極側凸部152は、該発電単位102の空気極114における電解質層112に対向する側とは反対側の表面と直接的または間接的に接触している。また、該インターコネクタ150における各燃料極側凸部158は、上側に隣接する他の発電単位102の燃料極側集電体144と直接的または間接的に接触している。そのため、インターコネクタ150によって、発電単位102間の電氣的導通が確保される。また、ある発電単位102における上側のインターコネクタ150に形成された各空気極側凹部156は、該発電単位102の空気極114に面する空気室166の一部を構成する。

【0030】

なお、本実施形態では、インターコネクタ150は、平板形状の金属材料にプレス加工を施し、空気極側凸部152と燃料極側凹部154との複数の組合せ、および、燃料極側凸部158と空気極側凹部156との複数の組合せを形成することによって製造される。より具体的には、プレス加工によって形成された隣接する2つの空気極側凸部152間の箇所が、空気極側凹部156となり、プレス加工によって形成された隣接する2つの燃料極側凹部154間の箇所が、燃料極側凸部158となる。インターコネクタ150の凸部や凹部をプレス加工により形成することにより、例えばエッチング等の他の方法を用いる場合と比較して、製造工程の効率化を図ることができる。インターコネクタ150のさらなる詳細構成については、後述する。

10

【0031】

単セル110は、電解質層112と、電解質層112を挟んで上下方向（発電単位102が並ぶ配列方向）に互いに対向する空気極（カソード）114および燃料極（アノード）116とを備える。なお、本実施形態の単セル110は、燃料極116で電解質層112および空気極114を支持する燃料極支持形の単セルである。

【0032】

電解質層112は、略矩形の平板形状部材であり、例えば、YSZ（イットリア安定化ジルコニア）、ScSZ（スカンジウム安定化ジルコニア）、SDC（サマリウムドーブセリア）、GDC（ガドリニウムドーブセリア）、ペロブスカイト型酸化物等の固体酸化物により形成されている。空気極114は、略矩形の平板形状部材であり、例えば、ペロブスカイト型酸化物（例えばLSCF（ランタンストロンチウムコバルト鉄酸化物）、LSM（ランタンストロンチウムマンガン酸化物）、LNF（ランタンニッケル鉄））により形成されている。燃料極116は、略矩形の平板形状部材であり、例えば、Ni（ニッケル）、Niとセラミック粒子からなるサーメット、Ni基合金等により形成されている。このように、本実施形態の単セル110（発電単位102）は、電解質として固体酸化物を用いる固体酸化物形燃料電池（SOFC）である。

20

【0033】

セパレータ120は、中央付近に上下方向に貫通する略矩形の孔121が形成されたフレーム状の部材であり、例えば、金属により形成されている。セパレータ120における孔121の周囲部分は、電解質層112における空気極114の側の表面の周縁部に対向している。セパレータ120は、その対向した部分に配置されたロウ材（例えばAgロウ）により形成された接合部124により、電解質層112（単セル110）と接合されている。セパレータ120により、空気極114に面する空気室166と燃料極116に面する燃料室176とが区画され、単セル110の周縁部における一方の電極側から他方の電極側へのガスのリークが抑制される。なお、セパレータ120が接合された単セル110をセパレータ付き単セルともいう。

30

【0034】

空気極側フレーム130は、中央付近に上下方向に貫通する略矩形の孔131が形成されたフレーム状の部材であり、例えば、マイカ等の絶縁体により形成されている。空気極側フレーム130の孔131は、空気極114に面する空気室166を構成する。空気極側フレーム130は、セパレータ120における電解質層112に対向する側とは反対側の表面の周縁部と、インターコネクタ150における空気極114に対向する側の表面の周縁部とに接触している。また、空気極側フレーム130によって、発電単位102に含まれる一対のインターコネクタ150間が電氣的に絶縁される。また、空気極側フレーム130には、酸化剤ガス導入マニホールド161と空気室166とを連通する酸化剤ガス供給連通孔132と、空気室166と酸化剤ガス排出マニホールド162とを連通する酸化剤ガス排出連通孔133とが形成されている。

40

【0035】

燃料極側フレーム140は、中央付近に上下方向に貫通する略矩形の孔141が形成されたフレーム状の部材であり、例えば、金属により形成されている。燃料極側フレーム1

50

40の孔141は、燃料極116に面する燃料室176を構成する。燃料極側フレーム140は、セパレータ120における電解質層112に対向する側の表面の周縁部と、インターコネクタ150における燃料極116に対向する側の表面の周縁部とに接触している。また、燃料極側フレーム140には、燃料ガス導入マニホールド171と燃料室176とを連通する燃料ガス供給連通孔142と、燃料室176と燃料ガス排出マニホールド172とを連通する燃料ガス排出連通孔143とが形成されている。

【0036】

燃料極側集電体144は、燃料室176内に配置されている。燃料極側集電体144は、インターコネクタ対向部146と、電極対向部145と、電極対向部145とインターコネクタ対向部146とをつなぎ接続部147とを備えており、例えば、ニッケルやニッケル合金、ステンレス等により形成されている。電極対向部145は、燃料極116における電解質層112に対向する側とは反対側の表面に接触しており、インターコネクタ対向部146は、インターコネクタ150における燃料極116に対向する側の表面に接触している。ただし、上述したように、燃料電池スタック100において最も下に位置する発電単位102は下側のインターコネクタ150を備えていないため、当該発電単位102におけるインターコネクタ対向部146は、下側のエンドプレート106に接触している。燃料極側集電体144は、このような構成であるため、燃料極116とインターコネクタ150（またはエンドプレート106）とを電氣的に接続する。なお、電極対向部145とインターコネクタ対向部146との間には、例えばマイカにより形成されたスペーサー149が配置されている。そのため、燃料極側集電体144が温度サイクルや反応ガス圧力変動による発電単位102の変形に追随し、燃料極側集電体144を介した燃料極116とインターコネクタ150（またはエンドプレート106）との電氣的接続が良好に維持される。

【0037】

図4および図5に示すように、インターコネクタ150の空気極114側の表面は、導電性のコート136によって覆われている。コート136は、例えば、スピネル型酸化物（例えば、 $MnCo_2O_4$ 、 $ZnMn_2O_4$ 、 $CuMn_2O_4$ 等）により形成されている。インターコネクタ150の表面へのコート136の形成は、例えば、スプレーコート、インクジェット印刷、スピコート、ディップコート、めっき、スパッタリング、溶射等の周知の方法で実行される。コート136の存在により、インターコネクタ150の表面からCrが放出されて拡散する「Cr拡散」と呼ばれる現象の発生が抑制され、インターコネクタ150がCr欠乏によって異常酸化したり、拡散したCrが空気極114の表面に付着して空気極114での電極反応速度が低下する「空気極のCr被毒」と呼ばれる現象が発生したりすることを抑制することができる。なお、インターコネクタ150に対する熱処理によって酸化クロムの被膜ができることがあるが、その場合には、コート136は、当該被膜ではなく、当該被膜が形成されたインターコネクタ150を覆うように形成された層である。以下の説明では、特記しない限り、インターコネクタ150は「コート136に覆われたインターコネクタ150」を意味する。

【0038】

空気極114とインターコネクタ150（より詳細には、インターコネクタ150の各空気極側凸部152）とは、導電性の接合層138により接合されている。接合層138は、例えば、スピネル型酸化物（例えば、 $Mn_{1.5}Co_{1.5}O_4$ や $MnCo_2O_4$ 、 $ZnCo_2O_4$ 、 $ZnMn_2O_4$ 、 $ZnMnCoO_4$ 、 $CuMn_2O_4$ ）により形成されている。接合層138により、空気極114とインターコネクタ150とが電氣的に接続される。先に、インターコネクタ150は空気極114の表面と接触していると説明したが、本実施形態においては、コート136に覆われたインターコネクタ150と空気極114との間には接合層138が介在している。

【0039】

なお、本明細書では、図4および図5に示すように、各発電単位102から空気極側フレーム130と空気極側フレーム130側のインターコネクタ150とを除いた構造体、す

10

20

30

40

50

なわち、単セル１１０と、セパレータ１２０と、燃料極側フレーム１４０と、燃料極側フレーム１４０側のインターコネクタ１５０とを備える構造体を、インターコネクタ燃料電池単セル複合体１０７ともいう。上述したように、燃料電池スタック１００は、上下方向に並べて配置された複数の発電単位１０２を備えるが、換言すれば、燃料電池スタック１００は、空気極側フレーム１３０を挟んで並べて配置された複数のインターコネクタ燃料電池単セル複合体１０７を備えると言える。インターコネクタ燃料電池単セル複合体１０７は、インターコネクタ電気化学反応単セル複合体の一例である。

【００４０】

A-2. 燃料電池スタック１００の動作：

図２および図４に示すように、酸化剤ガス導入マニホールド１６１の位置に設けられたガス通路部材２７の分岐部２９に接続されたガス配管（図示せず）を介して酸化剤ガスOGが供給されると、酸化剤ガスOGは、ガス通路部材２７の分岐部２９および本体部２８の孔を介して酸化剤ガス導入マニホールド１６１に供給され、酸化剤ガス導入マニホールド１６１から各発電単位１０２の酸化剤ガス供給連通孔１３２を介して、空気室１６６に供給される。また、図３および図５に示すように、燃料ガス導入マニホールド１７１の位置に設けられたガス通路部材２７の分岐部２９に接続されたガス配管（図示せず）を介して燃料ガスFGが供給されると、燃料ガスFGは、ガス通路部材２７の分岐部２９および本体部２８の孔を介して燃料ガス導入マニホールド１７１に供給され、燃料ガス導入マニホールド１７１から各発電単位１０２の燃料ガス供給連通孔１４２を介して、燃料室１７６に供給される。

【００４１】

各発電単位１０２の空気室１６６に酸化剤ガスOGが供給され、燃料室１７６に燃料ガスFGが供給されると、単セル１１０において酸化剤ガスOGおよび燃料ガスFGの電気化学反応による発電が行われる。この発電反応は発熱反応である。各発電単位１０２において、単セル１１０の空気極１１４は接合層１３８を介して一方のインターコネクタ１５０に電氣的に接続され、燃料極１１６は燃料極側集電体１４４を介して他方のインターコネクタ１５０に電氣的に接続されている。また、燃料電池スタック１００に含まれる複数の発電単位１０２は、電氣的に直列に接続されている。そのため、燃料電池スタック１００の出力端子として機能するエンドプレート１０４、１０６から、各発電単位１０２において生成された電気エネルギーが取り出される。なお、SOFCは、比較的高温（例えば７００℃から１０００℃）で発電が行われることから、起動後、発電により発生する熱で高温が維持できる状態になるまで、燃料電池スタック１００が加熱器（図示せず）により加熱されてもよい。

【００４２】

各発電単位１０２の空気室１６６から排出された酸化剤オフガスOOGは、図２および図４に示すように、酸化剤ガス排出連通孔１３３を介して酸化剤ガス排出マニホールド１６２に排出され、さらに酸化剤ガス排出マニホールド１６２の位置に設けられたガス通路部材２７の本体部２８および分岐部２９の孔を経て、当該分岐部２９に接続されたガス配管（図示せず）を介して燃料電池スタック１００の外部に排出される。また、各発電単位１０２の燃料室１７６から排出された燃料オフガスFOGは、図３および図５に示すように、燃料ガス排出連通孔１４３を介して燃料ガス排出マニホールド１７２に排出され、さらに燃料ガス排出マニホールド１７２の位置に設けられたガス通路部材２７の本体部２８および分岐部２９の孔を経て、当該分岐部２９に接続されたガス配管（図示しない）を介して燃料電池スタック１００の外部に排出される。

【００４３】

A-3. インターコネクタ１５０の詳細構成：

図７は、インターコネクタ１５０の詳細構成を示す説明図である。図７には、図６のV I I-V I Iの位置におけるインターコネクタ１５０のYZ断面構成、すなわち、上下方向（Z軸方向）および左右方向（Y軸方向）に平行な断面であって、X軸方向における空気極側凸部１５２の中心を通る断面の構成が示されている。

【0044】

図7には、また、上下方向において、燃料極側凹部154の開口端の位置を示す第1仮想直線L1と、燃料極側凹部154の底の位置を示す第2仮想直線L2と、空気極側凸部152の基端の位置を示す第3仮想直線L3と、空気極側凸部152の先端の位置を示す第4仮想直線L4とが示されている。なお、本実施形態では、上下方向において、燃料極側凸部158の先端の位置は燃料極側凹部154の開口端の位置に等しく、燃料極側凸部158の基端の位置は燃料極側凹部154の底の位置に等しく、空気極側凹部156の底の位置は空気極側凸部152の基端の位置に等しく、空気極側凹部156の開口端の位置は空気極側凸部152の先端の位置に等しい。すなわち、第1仮想直線L1は、燃料極側凸部158の先端の位置を示す仮想直線でもあり、第2仮想直線L2は、燃料極側凸部158の基端の位置を示す仮想直線でもあり、第3仮想直線L3は、空気極側凹部156の底の位置を示す仮想直線でもあり、第4仮想直線L4は、空気極側凹部156の開口端の位置を示す仮想直線でもある。

10

【0045】

図7には、また、各凸部および各凹部の左右方向（Y軸方向）における幅の定義が示されている。すなわち、空気極側凸部152の幅 t_{2a} は、空気極側凸部152の一方の側面を延長した仮想直線TL21と第4仮想直線L4との交点P21と、空気極側凸部152の他方の側面を延長した仮想直線TL22と第4仮想直線L4との交点P22との間の距離である。また、燃料極側凹部154の幅 t_{1a} は、燃料極側凹部154を構成するインターコネクタ150の互いに対向する内壁面間の距離であり、具体的には、燃料極側凹部154の一方の側面を延長した仮想直線TL11と第1仮想直線L1との交点P11と、燃料極側凹部154の他方の側面を延長した仮想直線TL12と第1仮想直線L1との交点P12との間の距離である。同様に、燃料極側凸部158の幅 t_{2b} は、燃料極側凸部158の一方の側面を延長した仮想直線TL12と第1仮想直線L1との交点P12（上記交点P12と同一点）と、燃料極側凸部158の他方の側面を延長した仮想直線TL13と第1仮想直線L1との交点P13との間の距離である。また、空気極側凹部156の幅 t_{1b} は、空気極側凹部156を構成するインターコネクタ150の互いに対向する内壁面間の距離であり、具体的には、空気極側凹部156の一方の側面を延長した仮想直線TL22と第4仮想直線L4との交点P22（上記交点P22と同一点）と、空気極側凹部156の他方の側面を延長した仮想直線TL23と第4仮想直線L4との交点P23との間の距離である。なお、左右方向（Y軸方向）は、特許請求の範囲における第2の方向に相当する。

20

30

【0046】

図7に示すように、本実施形態のインターコネクタ150では、上下方向に並ぶ空気極側凸部152と燃料極側凹部154との組合せについて、燃料極側凹部154の底（第2仮想直線L2の位置）は、空気極側凸部152の基端（第3仮想直線L3の位置）より、燃料極側凹部154の開口端側（上側）に位置している。すなわち、インターコネクタ150には、上下方向において、空気極側凸部152および燃料極側凹部154が形成されていない領域（第2仮想直線L2と第3仮想直線L3との間の領域）が存在する。なお、本実施形態では、図7に示されたものに限られず、インターコネクタ150に形成された空気極側凸部152と燃料極側凹部154との複数の組合せのすべてについて、同様の構成となっている。

40

【0047】

また、本実施形態のインターコネクタ150では、上下方向に並ぶ燃料極側凸部158と空気極側凹部156との組合せについても、同様に、空気極側凹部156の底（第3仮想直線L3の位置）は、燃料極側凸部158の基端（第2仮想直線L2の位置）より、空気極側凹部156の開口端側（下側）に位置している。すなわち、インターコネクタ150の第2仮想直線L2と第3仮想直線L3との間の領域には、燃料極側凸部158および空気極側凹部156も形成されていない。なお、本実施形態では、図7に示されたものに限られず、インターコネクタ150に形成された空気極側凹部156と燃料極側凸部15

50

8との複数の組合せのすべてについて、同様の構成となっている。

【0048】

このように、本実施形態のインターコネクタ150では、上下方向における一部の領域（第2仮想直線L2と第3仮想直線L3との間の領域）が、凹部も凸部も形成されておらず、上下方向に直交する連続した平板状部分を構成している。そのため、本実施形態のインターコネクタ150は、そのような平板状部分を有さない構成と比較して、より高い剛性を有していると言える。

【0049】

また、本実施形態のインターコネクタ150では、図7に示す断面において、燃料極側凹部154は、空気極側凸部152の幅t2aの範囲内に位置し、燃料極側凹部154の幅t1aは、空気極側凸部152の幅t2aより小さい。そのため、インターコネクタ150には、空気極側凸部152の幅t2a内に包含され、かつ、燃料極側凹部154の幅t1a内には包含されない部分Axが存在することとなる。なお、本実施形態では、図7に示す断面に限られず、上下方向に平行で空気極側凸部152の中心を通る任意の断面において、同様の構成となっている。また、本実施形態では、図7に示されたものに限られず、インターコネクタ150に形成された空気極側凸部152と燃料極側凹部154との複数の組合せのすべてについて、同様の構成となっている。

【0050】

同様に、本実施形態のインターコネクタ150では、図7に示す断面において、空気極側凹部156は、燃料極側凸部158の幅t2bの範囲内に位置し、空気極側凹部156の幅t1bは、燃料極側凸部158の幅t2bより小さい。そのため、インターコネクタ150には、燃料極側凸部158の幅t2b内に包含され、かつ、空気極側凹部156の幅t1b内には包含されない部分Axが存在する。なお、本実施形態では、図7に示す断面に限られず、上下方向に平行で燃料極側凸部158の中心を通る任意の断面において、同様の構成となっている。また、本実施形態では、図7に示されたものに限られず、インターコネクタ150に形成された空気極側凹部156と燃料極側凸部158との複数の組合せのすべてについて、同様の構成となっている。

【0051】

このように、本実施形態のインターコネクタ150では、上下方向および左右方向に平行な断面であって、空気極側凸部152の中心を通る断面(図7に示す断面)において、凹部（燃料極側凹部154または空気極側凹部156）と凸部（空気極側凸部152または燃料極側凸部158）との各組合せに関し、凹部は凸部の幅t2の範囲内に位置し、凹部の幅t1は凸部の幅t2より小さい。そのため、凹部の幅が凸部の幅以上である構成（すなわち、図7に示す部分Axが存在しない構成）と比較して、凸部の角部や凹部の角部への応力の集中が緩和され、インターコネクタ150に割れやひずみが発生することを抑制することができる。この点については、後に詳述する。

【0052】

また、本実施形態のインターコネクタ150では、燃料極側凹部154の底側の角部C4はR形状であり、空気極側凹部156の底側の角部C2もR形状である。そのため、インターコネクタ150の凹部の角部への応力の集中がより効果的に緩和され、インターコネクタ150に割れやひずみが発生することをより効果的に抑制することができる。なお、燃料極側凹部154の底側の角部C4の曲率半径R4および空気極側凹部156の底側の角部C2の曲率半径R2は、応力集中緩和の観点から、0.05（mm）以上であることが好ましく、0.25（mm）以上であることがより好ましい。

【0053】

また、本実施形態のインターコネクタ150では、空気極側凸部152の基端側の角部C2および先端側の角部C1はR形状であり、燃料極側凸部158の基端側の角部C4および先端側の角部C3もR形状である。そのため、インターコネクタ150の凸部の角部がR形状ではない構成と比較して、凸部の角部においてコート136の膜厚が薄くなることを抑制することができ、凸部の角部からのCr拡散を効果的に抑制することができる。

なお、本実施形態では、空気極側凸部 152 の基端側の角部 C2 は、隣接する空気極側凹部 156 の底側の角部 C2 と同一であり、燃料極側凸部 158 の基端側の角部 C4 は、隣接する燃料極側凹部 154 の底側の角部 C4 と同一である。

【0054】

A-4. インターコネクタ 150 の性能評価：

上述した構成の本実施形態のインターコネクタ 150 について、シミュレーションによる性能評価を行った。図 8 から図 11 は、シミュレーション結果の一例を示す説明図である。シミュレーションでは、燃料電池スタック 100 の締結荷重を 47.5 N とし、700℃ で発電を行った場合の、発電初期の時点におけるインターコネクタ 150 に生ずる相当応力と、発電を 12 万時間行った時点におけるインターコネクタ 150 の相当クリープひずみを算出した。シミュレーションには、実施例 1 のインターコネクタ 150 を備える燃料電池スタック 100 と、比較例のインターコネクタ 150 X を備える燃料電池スタック 100 とを用いた。図 8 には、実施例 1 のインターコネクタ 150 における相当応力の分布が示されており、図 9 には、比較例のインターコネクタ 150 X における相当応力の分布が示されており、図 10 には、実施例 1 のインターコネクタ 150 における相当クリープひずみの分布が示されており、図 11 には、比較例のインターコネクタ 150 X における相当クリープひずみの分布が示されている。実施例 1 のインターコネクタ 150 および比較例のインターコネクタ 150 X の各部の寸法は以下の通りである。

(1) 実施例 1 のインターコネクタ 150

- ・燃料極側凹部 154 の幅 $t1a$: 0.8 (mm)
- ・空気極側凸部 152 の幅 $t2a$: 1.000 (mm)
- ・燃料極側凹部 154 の深さ $h1$: 0.515 (mm)
- ・空気極側凸部 152 の高さ $h2$: 0.4 (mm)
- ・インターコネクタ 150 の基準高さ H : 0.8 (mm)
- ・空気極側凸部 152 の先端側の角部 C1 の曲率半径 $R1$: 0.1 (mm)
- ・空気極側凸部 152 の基端側の角部 C2 の曲率半径 $R2$: 0.25 (mm)
- ・燃料極側凹部 154 の底側の角部 C4 の曲率半径 $R4$: 0.25 (mm)

(2) 比較例のインターコネクタ 150 X

- ・燃料極側凹部 154 の幅 $t1a$: 1.000 (mm)
- ・空気極側凸部 152 の幅 $t2a$: 1.000 (mm)
- ・燃料極側凹部 154 の深さ $h1$: 0.4 (mm)
- ・空気極側凸部 152 の高さ $h2$: 0.4 (mm)
- ・インターコネクタ 150 の基準高さ H : 0.8 (mm)
- ・空気極側凸部 152 の先端側の角部 C1 の曲率半径 $R1$: - (直角形状)
- ・空気極側凸部 152 の基端側の角部 C2 の曲率半径 $R2$: - (直角形状)
- ・燃料極側凹部 154 の底側の角部 C4 の曲率半径 $R4$: - (直角形状)

【0055】

なお、燃料極側凹部 154 の深さ $h1$ は、図 7 に示すように、燃料極側凹部 154 の上下方向における深さ（第 1 仮想直線 L1 と第 2 仮想直線 L2 との間の距離）であり、空気極側凸部 152 の高さ $h2$ は、空気極側凸部 152 の上下方向における高さ（第 3 仮想直線 L3 と第 4 仮想直線 L4 との間の距離）であり、インターコネクタ 150 の基準高さ H は、空気極側凸部 152 の部分を除くインターコネクタ 150 の上下方向における高さであり、燃料極側凹部 154 の開口端（第 1 仮想直線 L1）と 152 の基端（第 3 仮想直線 L3）との間の上下方向における距離である。上述したように、本実施形態では、インターコネクタ 150 の製造の際に、平板形状の金属材料にプレス加工を施すことによって空気極側凸部 152 と燃料極側凹部 154 との複数の組合せを形成し、プレス加工によって形成された隣接する 2 つの空気極側凸部 152 間の箇所が空気極側凹部 156 となり、プレス加工によって形成された隣接する 2 つの燃料極側凹部 154 間の箇所が燃料極側凸部 158 となる。そのため、インターコネクタ 150 の基準高さ H は、金属材料の板厚に相当する。

【0056】

上記の通り、比較例のインターコネクタ150Xは、燃料極側凹部154の幅 $t1a$ の値が、実施例1のインターコネクタ150と異なる。具体的には、比較例のインターコネクタ150Xでは、燃料極側凹部154の幅 $t1a$ が、空気極側凸部152の幅 $t2a$ に等しい(図9, 11参照)。そのため、比較例のインターコネクタ150Xでは、空気極側凸部152の幅 $t2a$ 内に包含され、かつ、燃料極側凹部154の幅 $t1a$ 内に包含されない部分Ax(図7参照)は存在しない。また、比較例のインターコネクタ150Xは、空気極側凸部152の先端側の角部C1、空気極側凸部152の基端側の角部C2、および、燃料極側凹部154の底側の角部C4が、R形状ではなく直角形状となっている。

【0057】

図9に示すように、比較例のインターコネクタ150Xでは、局所的に応力が集中している。特に、空気極側凸部152の基端側の角部C2や燃料極側凹部154の底側の角部C4における応力が非常に大きくなっている。これに対し、図8に示すように、実施例1のインターコネクタ150では、応力集中が緩和されている。実施例1のインターコネクタ150における応力の最大値は空気極側凸部152の先端付近で発生しているが、その値は、比較例のインターコネクタ150Xにおける応力の最大値(空気極側凸部152の基端側の角部C2で発生)の半分以下であった。このように、実施例1のインターコネクタ150において応力集中が緩和されるのは、空気極側凸部152の幅 $t2a$ 内に包含され、かつ、燃料極側凹部154の幅 $t1a$ 内に包含されない部分Axが存在し、Y軸方向(左右方向)における空気極側凸部152の基端側の角部C2の位置が、燃料極側凹部154の底側の角部C4の位置とずれているためであると考えられる。さらに、このような応力集中の緩和効果は、燃料極側凹部154の底側の角部C4や、空気極側凸部152の基端側の角部C2がR形状であることによって、一層大きくなっているものと考えられる。

【0058】

また、図11に示すように、比較例のインターコネクタ150Xでは、特に、空気極側凸部152の基端側の角部C2や燃料極側凹部154の底側の角部C4において、クリープひずみが非常に大きくなっている。これに対し、図10に示すように、実施例1のインターコネクタ150では、クリープひずみは小さくなっている。実施例1のインターコネクタ150におけるクリープひずみの最大値は空気極側凸部152の先端付近で発生しているが、その値は、比較例のインターコネクタ150Xにおけるクリープひずみの最大値(空気極側凸部152の基端側の角部C2で発生)の半分以下であった。このように、実施例1のインターコネクタ150においてクリープひずみが小さくなるのは、上述した応力が小さくなる理由と同様であると考えられる。

【0059】

図12は、シミュレーション結果の他の一例を示す説明図である。図12には、上述した実施例1および比較例に加えて、他の実施例(実施例2-5)のインターコネクタ150における各部の寸法と相当応力の最大値が示されている。図12中のNo. 1~5が実施例1~5に対応し、図12中のNo. 6が比較例に対応している。各実施例間の相違点は、燃料極側凹部154の幅 $t1a$ と、燃料極側凹部154の深さ $h1$ である。本シミュレーションでは、インターコネクタ150がプレス加工により製造されると想定しており、空気極側凸部152を所定の形状に形成するために、燃料極側凹部154の深さ $h1$ が小さい(浅い)ほど、燃料極側凹部154の幅 $t1a$ が大きくなっている。なお、すべての実施例において、燃料極側凹部154は、空気極側凸部152の幅 $t2a$ の範囲内に位置し、燃料極側凹部154の幅 $t1a$ は、空気極側凸部152の幅 $t2a$ より小さくなっている。

【0060】

図12に示すように、実施例5(つまり図12中のNo. 5)は、他の実施例と比較して、燃料極側凹部154の深さ $h1$ が大きく、その分、燃料極側凹部154の幅 $t1a$ が小さい。この実施例5では、他の実施例と比較して、相当応力の最大値がやや大きい。こ

れは、燃料極側凹部 154 の深さ h_1 が大きくなり過ぎると、インターコネクタ 150 の空気極 114 側表面と燃料極 116 側表面との間の最短距離（肉厚）が小さくなるためであると考えられる。図 12 に示す結果から、インターコネクタ 150 の基準高さ H に対する燃料極側凹部 154 の深さ h_1 の比（ h_1/H ）は、0.69 以下であることが好ましいと言える。また、空気極側凸部 152 の幅 t_{2a} に対する燃料極側凹部 154 の幅 t_{1a} の比（ t_{1a}/t_{2a} ）は、0.75 以上、かつ、0.925 以下であることが好ましいと言える。

【0061】

なお、実施例 2（つまり図 12 中の No. 2）では、燃料極側凹部 154 の幅 t_{1a} が空気極側凸部 152 の幅 t_{2a} よりわずかに小さいだけであるが、その分、燃料極側凹部 154 の深さ h_1 が非常に小さい（浅い）ため、インターコネクタ 150 の空気極 114 側表面と燃料極 116 側表面との間の最短距離（肉厚）が大きくなり、相当応力が小さく抑えられたものと考えられる。

【0062】

B. 変形例：

本明細書で開示される技術は、上記実施形態に限られるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において種々の形態に変形することができ、例えば次のような変形も可能である。

【0063】

上記実施形態では、インターコネクタ 150 の空気極 114 側の表面がコート 136 に覆われているとしているが、空気極 114 側の表面に代えて、または空気極 114 側の表面と共に、インターコネクタ 150 の燃料極 116 側の表面がコート（例えば、ニッケルコート）により覆われているとしてもよい。このような構成において、上記実施形態と同様に、インターコネクタ 150 の燃料極側凸部 158 の基端側の角部 C4 と先端側の角部 C3 との少なくとも一方が R 形状であると、燃料極側凸部 158 の角部においてコートの膜厚が薄くなることを抑制することができるため、好ましい。また、インターコネクタ 150 のいずれの表面もコートに覆われていないとしてもよい。

【0064】

また、上記実施形態における各部材を形成する材料は、あくまで例示であり、各部材が他の材料により形成されてもよい。例えば、上記実施形態では、インターコネクタ 150 は、Cr を含む金属により形成されているが、他の材料により形成されていてもよい。

【0065】

また、上記実施形態では、燃料電池スタック 100 に含まれるすべてのインターコネクタ 150 に形成された空気極側凸部 152 と燃料極側凹部 154 との複数の組合せのすべて、および、空気極側凹部 156 と燃料極側凸部 158 との複数の組合せのすべてについて、燃料極側凹部 154 の底は空気極側凸部 152 の基端より燃料極側凹部 154 の開口端側に位置し、空気極側凹部 156 の底は燃料極側凸部 158 の基端より空気極側凹部 156 の開口端側に位置しているとしているが、少なくとも 1 つのインターコネクタ 150 において少なくとも 1 つの上記組合せについてそのような構成となっていればよい。

【0066】

また、上記実施形態では、上下方向に平行で空気極側凸部 152 の中心を通る任意の断面において、燃料極側凹部 154 は空気極側凸部 152 の幅 t_{2a} の範囲内に位置し、燃料極側凹部 154 の幅 t_{1a} は空気極側凸部 152 の幅 t_{2a} より小さく、空気極側凹部 156 は燃料極側凸部 158 の幅 t_{2b} の範囲内に位置し、空気極側凹部 156 の幅 t_{1b} は燃料極側凸部 158 の幅 t_{2b} より小さいとしているが、上下方向に平行で空気極側凸部 152 の中心を通る少なくとも 1 つの断面において、そのような構成となっていればよい。また、上記実施形態では、燃料電池スタック 100 に含まれるすべてのインターコネクタ 150 にインターコネクタ 150 に形成された空気極側凸部 152 と燃料極側凹部 154 との複数の組合せのすべて、および、空気極側凹部 156 と燃料極側凸部 158 との複数の組合せのすべてについて、上記構成となっているが、少なくとも 1 つのインター

10

20

30

40

50

コネクタ１５０において少なくとも１つの上記組合せについてそのような構成となっていればよい。

【００６７】

また、上記実施形態において、各凸部および各凹部の角部の形状がＲ形状であることは必須ではない。

【００６８】

また、上記実施形態において、燃料電池スタック１００に含まれる発電単位１０２の個数は、あくまで一例であり、発電単位１０２の個数は燃料電池スタック１００に要求される出力電圧等に応じて適宜決められる。また、上記実施形態では、各ボルト２２の軸部の外周面と各連通孔１０８の内周面との間の空間を各マニホールドとして利用しているが、これに代えて、各ボルト２２の軸部に軸方向の孔を形成し、その孔を各マニホールドとして利用してもよい。また、各マニホールドを各ボルト２２が挿入される各連通孔１０８とは別に設けてもよい。また、上記実施形態では、空気極側フレーム１３０が絶縁体により形成されているとしているが、空気極側フレーム１３０ではなく燃料極側フレーム１４０が絶縁体により形成されているとしてもよい。また、空気極側フレーム１３０や燃料極側フレーム１４０は、多層構成であってもよい。また、上記実施形態において、都市ガスを改質して水素リッチな燃料ガスＦＧを得るとしているが、ＬＰガスや灯油、メタノール、ガソリン等の他の原料から燃料ガスＦＧを得るとしてもよいし、燃料ガスＦＧとして純水素を利用してもよい。

【００６９】

本明細書において、部材（または部材のある部分、以下同様）Ａを挟んで部材Ｂと部材Ｃとが互いに対向するとは、部材Ａと部材Ｂまたは部材Ｃとが隣接する形態に限定されず、部材Ａと部材Ｂまたは部材Ｃとの間に他の構成要素が介在する形態を含む。例えば、電解質層１１２と空気極１１４との間に他の層が設けられた構成であっても、空気極１１４と燃料極１１６とは電解質層１１２を挟んで互いに対向すると言える。

【００７０】

また、上記実施形態では、燃料電池スタック１００は複数の平板形の発電単位１０２が積層された構成であるが、本発明は、他の構成、例えば特開２００８－５９７９７号に記載されているように、複数の略円筒形の燃料電池単セルが直列に接続された構成にも同様に適用可能である。

【００７１】

また、上記実施形態では、燃料ガスに含まれる水素と酸化剤ガスに含まれる酸素との電気化学反応を利用して発電を行うＳＯＦＣを対象としているが、本発明は、水の電気分解反応を利用して水素の生成を行う固体酸化物形の電解セル（ＳＯＥＣ）の最小単位である電解セル単位と、インターコネクタと、を備えるインターコネクタ－電解セル複合体（インターコネクタ－電気化学反応単セル複合体の他の一例）や、複数のインターコネクタ－電解セル複合体を備える電解セルスタック（電気化学反応セルスタックの他の一例）にも同様に適用可能である。なお、電解セルスタックの構成は、例えば特開２０１４－２０７１２０号に記載されているように公知であるためここでは詳述しないが、概略的には上述した実施形態における燃料電池スタック１００と同様の構成である。すなわち、上述した実施形態における燃料電池スタック１００を電解セルスタックと読み替え、発電単位１０２を電解セル単位と読み替えればよい。ただし、電解セルスタックの運転の際には、空気極１１４がプラス（陽極）で燃料極１１６がマイナス（陰極）となるように両電極間に電圧が印加されると共に、連通孔１０８を介して原料ガスとしての水蒸気が供給される。これにより、各電解セル単位において水の電気分解反応が起こり、燃料室１７６で水素ガスが発生し、連通孔１０８を介して電解セルスタックの外部に水素が取り出される。

【００７２】

また、上記実施形態では、固体酸化物形燃料電池（ＳＯＦＣ）を例に説明したが、本願発明は、固体高分子形燃料電池（ＰＥＦＣ）、リン酸型燃料電池（ＰＡＦＣ）、溶融炭酸塩形燃料電池（ＭＣＦＣ）といった他のタイプの燃料電池（または電解セル）にも適用可能

である。

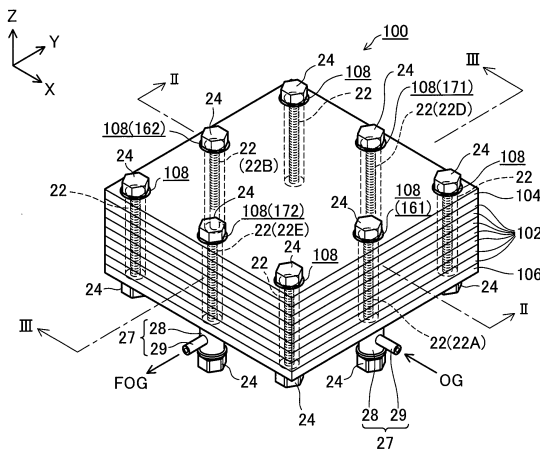
【符号の説明】

【0073】

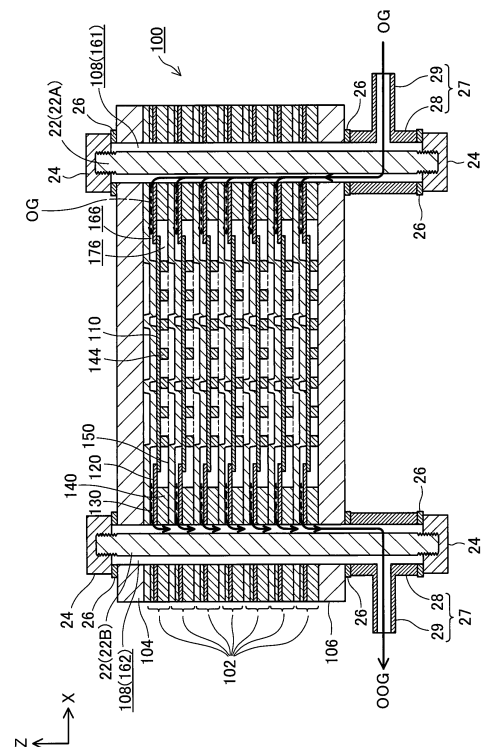
22：ボルト 24：ナット 26：絶縁シート 27：ガス通路部材 28：本体部
29：分岐部 100：燃料電池スタック 102：発電単位 104：エンドプレート
106：エンドプレート 107：インターコネクター 燃料電池単セル複合体 108
：連通孔 110：単セル 112：電解質層 114：空気極 116：燃料極 12
0：セパレータ 121：孔 124：接合部 130：空気極側フレーム 131：孔
132：酸化剤ガス供給連通孔 133：酸化剤ガス排出連通孔 136：コート 1
38：接合層 140：燃料極側フレーム 141：孔 142：燃料ガス供給連通孔
143：燃料ガス排出連通孔 144：燃料極側集電体 145：電極対向部 146：
インターコネクター対向部 147：接続部 149：スペーサー 150：インターコネ
クタ 152：空気極側凸部 154：燃料極側凹部 156：空気極側凹部 158：
燃料極側凸部 161：酸化剤ガス導入マニホールド 162：酸化剤ガス排出マニホ
ールド 166：空気室 171：燃料ガス導入マニホールド 172：燃料ガス排出マニ
ホールド 176：燃料室

10

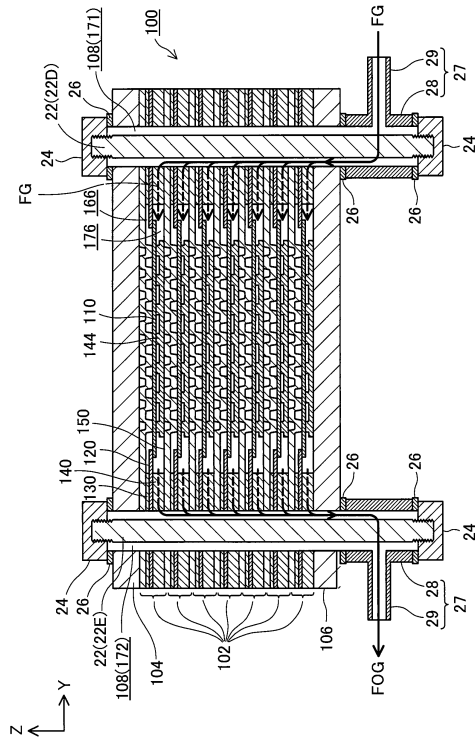
【図1】



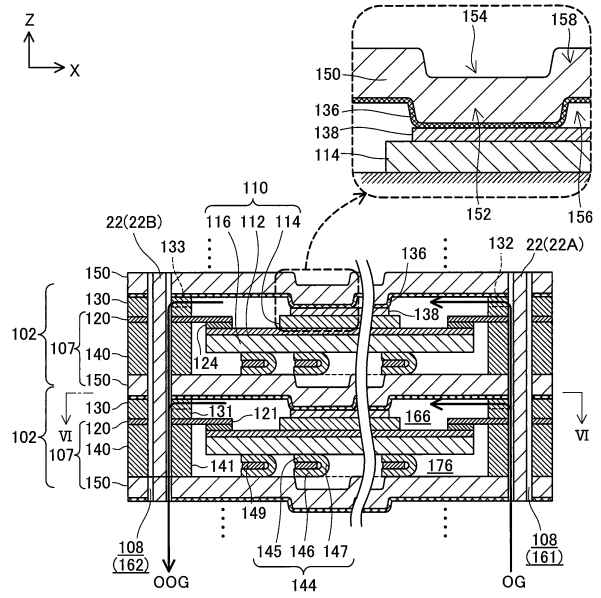
【図2】



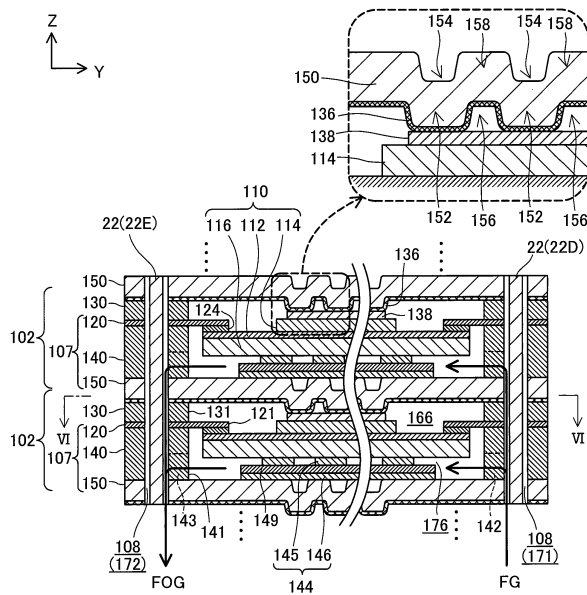
【図 3】



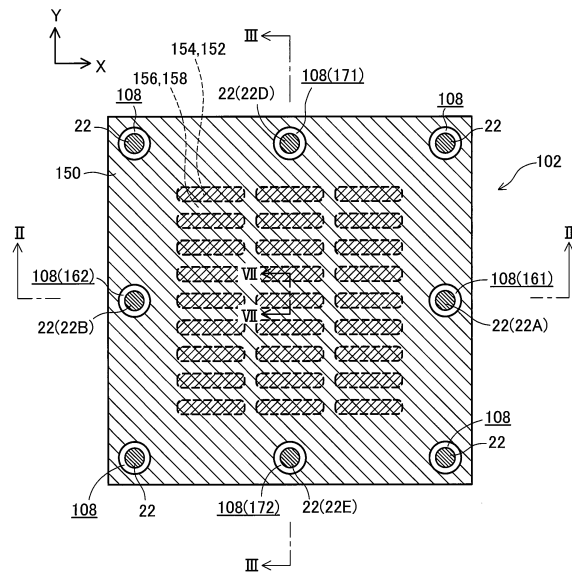
【図 4】



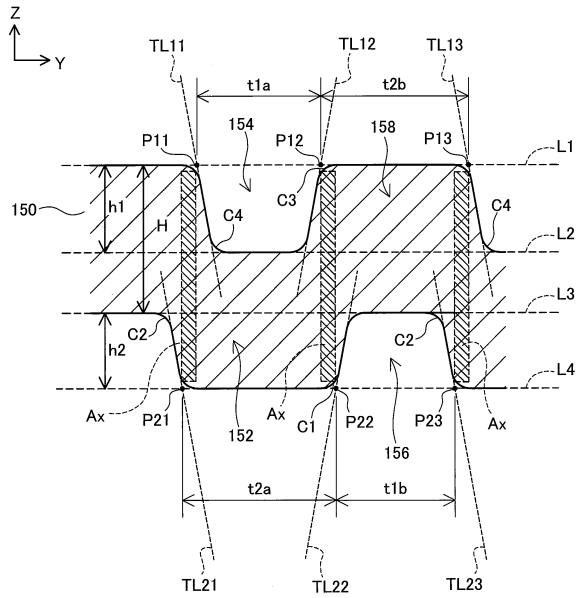
【図 5】



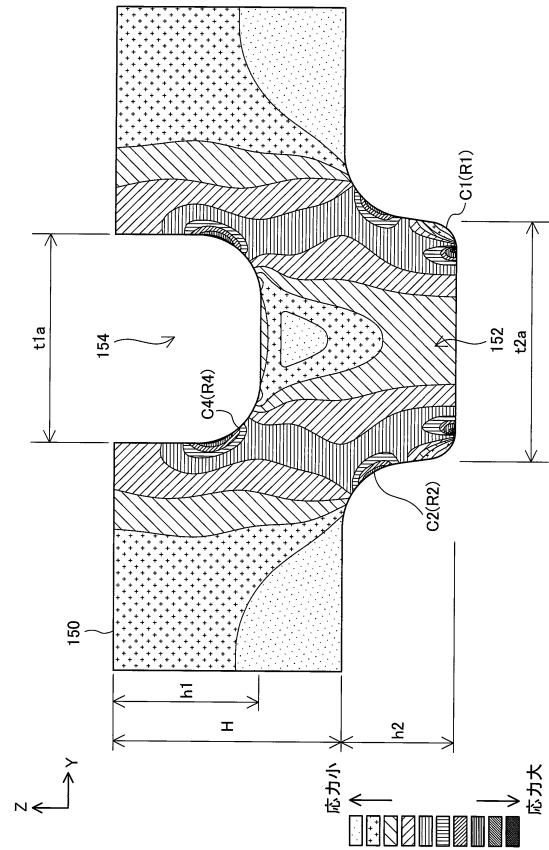
【图 6】



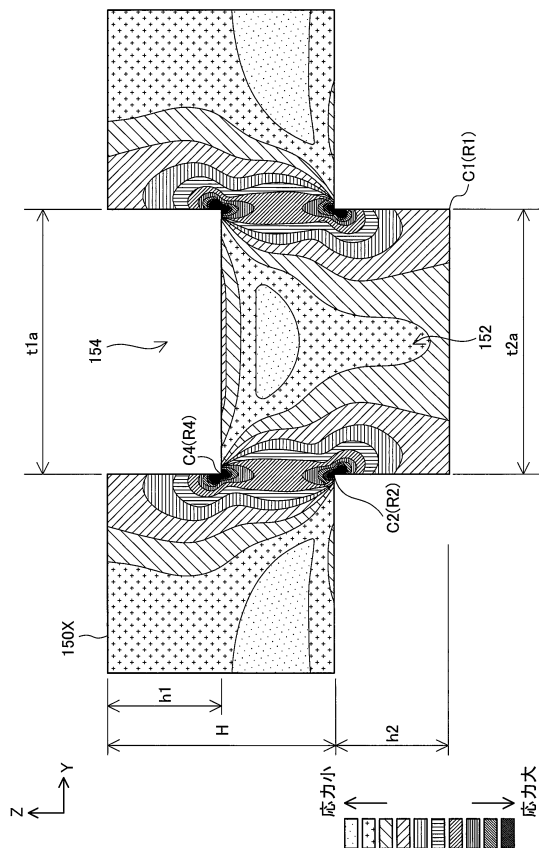
【図 7】



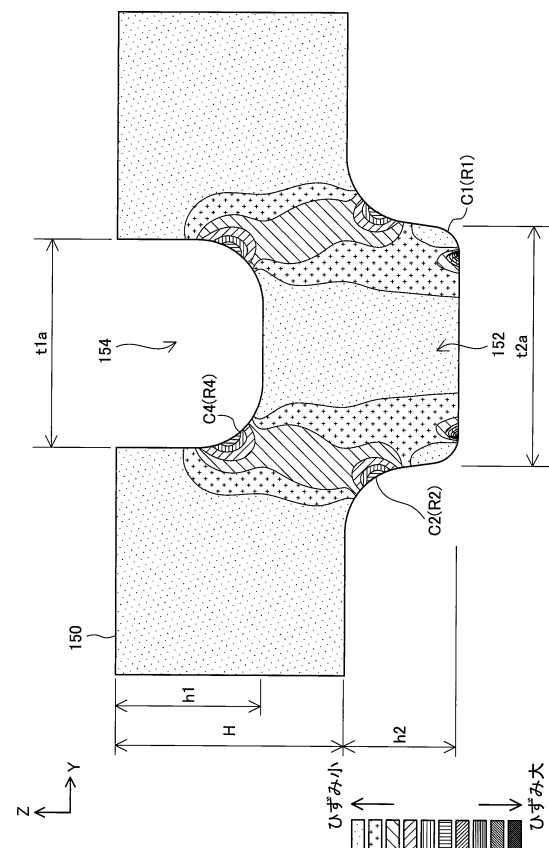
【図 8】



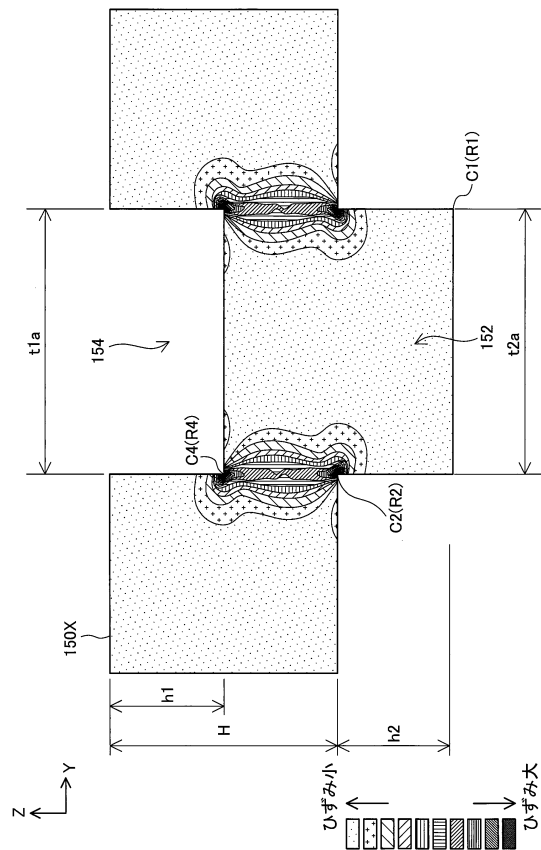
【図 9】



【図 10】



【図 1 1】



【図 1 2】

No.	t1a (mm)	t2a (mm)	(t1a/t2a)	h1 (mm)	h2 (mm)	H (mm)	(h1/H)	R4(R2) (mm)	応力 (最大値) (MPa)
2	0.925	1.000	(0.925)	0.450	0.400	0.800	(0.563)	0.250	6.47
3	0.825	1.000	(0.825)	0.500	0.400	0.800	(0.625)	0.250	6.51
1	0.800	1.000	(0.800)	0.515	0.400	0.800	(0.644)	0.250	6.44
4	0.750	1.000	(0.750)	0.550	0.400	0.800	(0.688)	0.250	6.51
5	0.690	1.000	(0.690)	0.600	0.400	0.800	(0.750)	0.250	6.79
6	1.000	1.000	(1.000)	0.400	0.400	0.800	(0.500)	—	13.8

フロントページの続き

(72)発明者 大橋 駿太

愛知県名古屋市瑞穂区高辻町14番18号 日本特殊陶業株式会社内

審査官 守安 太郎

(56)参考文献 特開2008-091097 (JP, A)

特表2005-509260 (JP, A)

特開2004-164927 (JP, A)

特開2001-068132 (JP, A)

特開平03-102771 (JP, A)

国際公開第2013/001777 (WO, A1)

特開2007-048616 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01M 8/02

H01M 8/12