

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2017-508259

(P2017-508259A)

(43) 公表日 平成29年3月23日 (2017.3.23)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 M 8/02 (2016.01)	HO 1 M 8/02 K	5 H O 2 6
HO 1 M 8/12 (2016.01)	HO 1 M 8/12	

審査請求 有 予備審査請求 未請求 (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2016-557320 (P2016-557320)	(71) 出願人	593150863 サンーゴバン セラミックス アンド プ ラスティクス, インコーポレイティド アメリカ合衆国, マサチューセッツ, ワー セスター, ニュー ボンド ストリート 1
(86) (22) 出願日	平成27年3月26日 (2015.3.26)	(74) 代理人	100076428 弁理士 大塚 康德
(85) 翻訳文提出日	平成28年9月14日 (2016.9.14)	(74) 代理人	100115071 弁理士 大塚 康弘
(86) 国際出願番号	PCT/US2015/022777	(74) 代理人	100112508 弁理士 高柳 司郎
(87) 国際公開番号	W02015/148818	(74) 代理人	100116894 弁理士 木村 秀二
(87) 国際公開日	平成27年10月1日 (2015.10.1)		
(31) 優先権主張番号	61/971, 991		
(32) 優先日	平成26年3月28日 (2014.3.28)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電解質のドーパント系

(57) 【要約】

固体酸化物燃料電池の構成要素は、安定化ジルコニアと1つ又は複数のドーパントを有する電解質を含む。安定化ジルコニア粒子は、少なくとも150 nmの d_{50} 粒子径を有することができる。電解質は1120°C以下の最高焼結温度を有することができる。固体酸化物燃料電池は、1.09 V以下の平均セル開回路電圧 (OCV) を有することができる。

【選択図】 図2

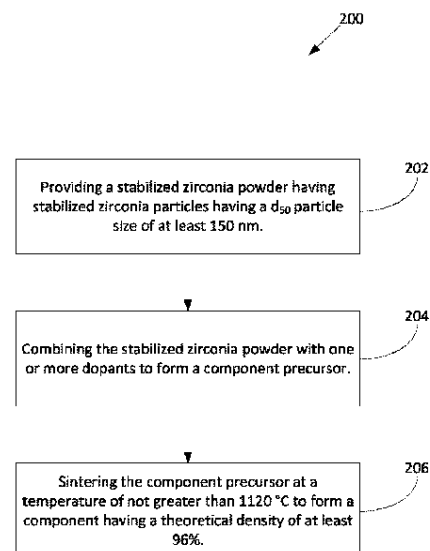


FIG. 2

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

固体酸化物燃料電池の構成要素であって、前記構成要素は、安定化ジルコニアおよび少なくとも3つの異なるドーパントを含む電解質を含む、構成要素。

【請求項 2】

前記安定化ジルコニアは、1120 以下の最高焼結温度を有する、請求項 1 記載の構成要素。

【請求項 3】

前記電解質は、少なくとも150nmの d_{50} 粒子径を有する安定化ジルコニア粒子から形成される、請求項 1 記載の構成要素。

【請求項 4】

前記電解質は、400nm以下の d_{50} 粒子径を有する安定化ジルコニア粒子から形成される、請求項 1 記載の構成要素。

【請求項 5】

前記安定化ジルコニアは、Mn、Al、Cu、Feまたはそれらの任意の組合せを含む、請求項 1 記載の構成要素。

【請求項 6】

前記安定化ジルコニアはMnを含み、前記Mnは5at%以下の量で存在する、請求項 1 記載の構成要素。

【請求項 7】

前記安定化ジルコニアはAlを含み、前記Alは3at%以下の量で存在する、請求項 1 記載の構成要素。

【請求項 8】

前記安定化ジルコニアはFeを含み、前記Feは10at%以下の量で存在する、請求項 1 記載の構成要素。

【請求項 9】

前記安定化ジルコニアはCuを含み、前記Cuは1at%以下の量で存在する、請求項 1 記載の構成要素。

【請求項 10】

固体酸化物燃料電池の構成要素であって、前記構成要素は、1120 以下の最高焼結温度を有し、及びに少なくとも150nmの d_{50} 粒子径を有する安定化ジルコニア粒子から形成された安定化ジルコニアを含む、構成要素。

【請求項 11】

前記安定化ジルコニア粒子は、400nm以下の d_{50} 粒子径を有する、請求項 10 記載の構成要素。

【請求項 12】

前記安定化ジルコニアは、Mn、Al、Cu、Feまたはそれらの任意の組合せを含む、請求項 10 記載の構成要素。

【請求項 13】

前記安定化ジルコニアは5at%以下の量のMnを含み、前記安定化ジルコニアは3at%以下の量のAlを含み、前記安定化ジルコニアは10at%以下の量のFeを含む、請求項 10 記載の構成要素。

【請求項 14】

固体酸化物燃料電池の構成要素であって、前記構成要素は、単セルの固体酸化物燃料電池において、1.09V以下の平均初期セル開回路電圧(OCV)が示されるような、低い電子伝導性を提供するように構成された電解質を含む、構成要素。

【請求項 15】

前記電解質は1つ又は複数のドーパントを含む安定化ジルコニアを含む、請求項 14 記

10

20

30

40

50

載の構成要素。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、固体酸化物燃料電池の電解質およびそれを形成するプロセスに関する。

【背景技術】

【0002】

燃料電池は、燃料の電気化学的酸化により化学エネルギーを電力へ変換するエネルギー変換装置である。一般的な燃料電池は、カソード、アノード、およびカソードとアノードとの間の電解質を含む。種々の燃料電池のうち、固体酸化物燃料電池(SOFC)は、電解質として硬いセラミック複合金属酸化物を使用する。一般的に、固体酸化物燃料電池(SOFC)では、カソードで酸素ガス(O_2)は酸素イオン(O^{2-})に還元され、アノードで燃料ガス、例えば水素(H_2)またはメタン(CH_4)などの炭化水素が酸素イオンで酸化され、(炭化水素から)水と二酸化炭素を形成する。

10

【0003】

いくつかの例では、燃料電池アセンブリは、スタックとして設計されている。単一の固体酸化物燃料電池は、カソード、アノード、およびカソードとアノードとの間に固体電解質を含む。各セルはサブアセンブリであり、他のセルと組み合わせて完全なSOFCスタックを形成することができると考えられる。SOFCスタックを組み立てる際に、電気的相互接続は、1つのセルのカソードと他のセルのアノードとの間に配置されることができ

20

【発明の概要】

【0004】

SOFCの構成要素は、それらを形成するまたは使用する間の温度変動により生じる損傷を受けやすい可能性がある。具体的には、異なる組成のセラミックスを含む様々な構成要素を形成するために使用される材料は、異なる材料、化学的、および電気的特性を示し、SOFCユニットの破壊および故障を引き起こしうる。特に、燃料電池は、温度変化に対しての耐性に制限がある。SOFCの2つ以上の異なる構成要素と一緒に形成する場合、温度変化により生じた機械的応力に関連する問題を悪化される可能性がある。その結果、SOFCを形成する特定のプロセスに制限が課せられ、製造歩留まりを制限し、または動作中の故障のリスクを高める。

30

【図面の簡単な説明】

【0005】

明細書は、本出願人が彼らの発明と考える主題を明確に示す特許請求の範囲により締めくくることが、添付の図面と関連付けられた時に本発明がより良く理解され则认为される。

【図1】図1は、実施形態に係る固体酸化物燃料電池(SOFC)ユニットを例示する。

【図2】図2は、実施形態に係るSOFCを形成する方法を例示する。

【図3】図3は、特定の実施形態に係るYSZの最高焼結温度($T_{ヒュー}$)に及ぼすドーパントの効果を示すグラフである。

【図4】図4は、特定の実施形態に係るYSZに及ぼすFeドーパントの効果を例示する。

40

【発明を実施するための形態】

【0006】

本発明は、固体酸化物燃料電池ユニットの構成要素、および固体酸化物燃料電池ユニットの構成要素を形成する方法に関する。

【0007】

図と組み合わせた以下の説明は、本明細書に開示された教示の理解を助けるために提供される。以下の説明は、特定の実施と教示の実施形態に焦点を当てる。この焦点は、教示を説明するのを支援するために示されており、教示の範囲または適用を限定するものとして解釈されるべきではない。

50

【0008】

本明細書で使用する場合、用語「備える」、「備えている」、「含む」、「含んでいる」、「有する」、「有している」またはそれらの如何なる他の変形は、非排他的な包含を網羅することを意図している。例えば、多くの特徴を含むプロセス、方法、物、または装置は、必ずしもそれらの特徴のみに限定される必要は無く、明確には記載されない、または固有ではないプロセス、方法、物、若しくは装置などの他の特徴を含むことができる。さらに、特に断わらない限り、「または」は、包括的な「または」であり、排他的な「または」ではない。例えば、条件 A または B は、次のいずれか 1 つによって満たされる。A が真（または存在する）であり B が偽（または存在しない）、A は偽（または存在しない）であり B が真（または存在する）、並びに、A および B の両方が真（または存在する）。

10

【0009】

「a」または「an」の使用は、本明細書に記載の要素および構成要素を説明するために使用される。これは、単に便宜上、本発明の範囲の一般的な意味を与えるために使用される。この記述は、1 つまたは少なくとも 1 つを含むと読まれなければならない、そして、それが別のことを意味するのが明らかでない限り、単数は複数も含み、また逆も同様である。

【0010】

別段の定義がない限り、本明細書中で使用される全ての技術用語および科学用語は、本発明が属する分野の当業者によって理解されるのと同じ意味を有する。材料、方法、および実施例は例示にすぎず、限定することを意図していない。本明細書に記載されていない範囲で、特定の材料と処理行為に関する多くの詳細は従来通りであり、固体酸化物燃料電池の技術分野の教科書およびその他の情報源で見ることができる。

20

【0011】

図 1 を参照すると、固体酸化物燃料電池 (SOFC) 単セルの実施形態が例示され、全体が 100 と示されている。SOFC ユニットセル 100 は、アノード 106、電解質 102、及びカソード 116 を含むことができる。アノード 106 は、アノードバルク層 (ABL) 110 とアノード機能層 (AFL) 112 を含むことができる。AFL 112 は、ABL 110 と電解質 102 との間に、ABL 110 と電解質 102 とに直接接触して配置されることができる。同様に、カソード層 116 は、カソードバルク層 (CBL) 108 とカソード機能層 (CFL) 114 を含むことができる。CFL 114 は、CBL 108 と電解質 102 との間に、CBL 108 と電解質 102 とに直接接触して配置されることができる。

30

【0012】

いくつかの例では、燃料電池アセンブリを、電解質の一方の側に配置されたアノードと、電解質の他の側に配置されたカソードを含むことができるサブセルとして設計することができる。一実施形態では、各サブセルは、完全な SOFC ユニットの形成するように、他のサブセルと共にスタックの中に組み合わせることができる。SOFC スタックまたは完全な SOFC ユニットのような SOFC の一実施形態では、相互接続を、1 つのサブセルのカソードと別のサブセルのアノードとの間に、特に電解質と反対側のアノードまたはカソード側に、配置することができる。図 1 に示すように、配線 104 を、ABL 110 の電解質 102 の反対の側などの、アノード 106 の電解質 102 と反対の側に配置することができる。図 1 には示されていないが、他のサブセルのカソードは、アノード 106 と反対側のインターコネクト 104 の側面に配置されることができる。

40

【0013】

一般的に、固体酸化物燃料電池 (SOFC) では、カソードで酸素ガス (O_2) が酸素イオン (O^{2-}) に還元され、アノードで燃料ガス、例えば、水素 (H_2) またはメタン (CH_4) などの炭化水素が酸素イオンで酸化され、(炭化水素から) 水と二酸化炭素を形成する。アノードとカソードとの間の電解質は、アノードおよびカソードからの燃料ガスおよび酸化剤ガスの混合を実質的に防止する機能をし、カソードからアノードへ電解質

50

を横切って酸素イオンの輸送を可能にする。

【0014】

したがって、電解質は、上記の機能で補助しうる特定の特性を含むことができる。例えば、電解質は、アノードおよびカソードからの燃料ガスおよび酸化剤ガスの混合を実質的に防止するのを支援するため、特定の理論密度を有することができる。SOFCの機能を確保するために、電解質は、少なくとも92%の密度を有しうる。91%の以下の密度では、構成要素の気孔の大部分が連結される。一実施形態によれば、電解質102は、理論密度の少なくとも94%、少なくとも65%、少なくとも96%、少なくとも97%、少なくとも98%、少なくとも99%、またはさらに100%などの、少なくとも93%を有することができる。別の実施形態では、電解質は、実質的に気密である密度を有することができる。本明細書で用いられる場合には、気密は最高密度と同義的に使用され、少なくとも98%の密度を有すると定義される。逆に、電解質102は、特定の気孔率を有することができる。実施形態によれば、電解質102は、4vol%以下、3vol%以下、2vol%以下、1vol%以下などの5vol%以下の気孔率を有することができる。若干の残留気孔は電解質中に残存する場合がある。しかし、このような残留気孔は、一般的に閉じた気孔であり、相互接続されたネットワークを形成しない。一実施形態では、気孔率は、開放気孔率と閉気孔率を含むことができる。特定の実施形態では、気孔率の少なくとも大部分は、少なくとも約75%、またはさらに少なくとも約90%などの閉気孔率を含む。本明細書を読んだ後、当業者は、密度、開放気孔率、および閉気孔率は、アルキメデスの原理に基づいて算出することができることを、理解するであろう。

10

20

【0015】

電解質などのSOFCの一般的な構成要素では、増加した厚さは増大した構造的な完全性を提供するが、電気抵抗を増加させる傾向もある。一実施形態では、電解質102は250ミクロン以下の厚さを有することができる。別の実施形態では、電解質102は、150ミクロン以下、100ミクロン以下、75ミクロン以下、50ミクロン以下、45ミクロン以下、40ミクロン以下、35ミクロン以下、30ミクロン以下、25ミクロン以下、20ミクロン以下、15ミクロン以下、または更に10ミクロン以下等の、200ミクロン以下の厚さを有することができる。厚さが増加すると、電気抵抗を増加させる傾向があり、逆も真である傾向、つまり低減された厚さは電気抵抗を低減する傾向がある。しかし、低減された厚さはまた、構造的完全性を低減させる傾向がある。一実施形態によれば、電解質102は、少なくとも5ミクロンの厚さを有することができる。別の実施形態では、電解質102は、少なくとも15ミクロン、少なくとも20ミクロン、少なくとも25ミクロン、少なくとも30ミクロン、少なくとも35ミクロン、少なくとも40ミクロン、または更に少なくとも45ミクロン等の、少なくとも10ミクロンの厚さを有することができる。明細書を読んだ後、当業者は、電解質102が、上記の任意の最大値または最小値の範囲内の厚さを有することができることを、理解するであろう。例えば、一実施形態では、電解質102は、100ミクロン~250ミクロンの範囲内、5ミクロン~250ミクロン、5ミクロン~100ミクロン、5ミクロン~20ミクロン、または更に10ミクロン~20ミクロンの範囲内の厚さを有することができる。

30

【0016】

図2を参照すると、固体酸化物燃料電池ユニットの電解質を形成する方法の特定の実施形態が説明され、全体が200と示される。方法200は、ステップ202で、少なくとも150nmの d_{50} 粒子径を有する安定化ジルコニア粒子を有する安定化ジルコニア粉体を提供することを含む。本明細書で論じるように、SOFCの構成要素、例えば電解質等は、硬質のセラミック複合金属酸化物、例えば酸化ジルコニウム等を含むことができる。また、セラミック複合金属酸化物は、セラミック複合金属酸化物の特定の相を安定化させる安定剤を含むことができる。例えば、ジルコニアは、最高焼結温度で正方晶の $t-ZrO_2$ を含む。しかし、正方晶の $t-ZrO_2$ は、その最高焼結温度未満の正方晶から単斜晶へ($t-m$)の相転移温度で、単斜晶の $m-ZrO_2$ に転移することができる。ジルコニアは、 $t-m$ の相転移時に体積を変化し得る。例えば、ジルコニアの体積変化は、約

40

50

3 vol %と約5 vol %との間の範囲であり得る。温度変化に応じて体積を変化させる材料の傾向は、構成要素の焼結収縮または緻密化に関連する熱膨張係数 (CTE) によって定義されることができる。熱応力及び亀裂は、S O F C の動作中に、セラミック複合金属酸化物と S O F C ユニットの他の構成要素との C T E の不一致により、特に S O F C の製造中に引き起こされる。このように、異なる構成要素の C T E の不一致は、S O F C の製造中における、異なる構成要素の共焼結等の特定の処理の選択肢を制限する。

【0017】

本明細書に記載の実施形態に係る安定化セラミック複合金属酸化物は、安定化ジルコニアを含むことができる。一実施形態では、安定化ジルコニアは、例えば、マグネシア (MgO)、カルシア (CaO)、セリア (CeO₂)、スカンジウム (Sc₂O₃)、イット

10

【0018】

一実施形態によれば、安定化ジルコニアを、部分的にまたは完全に安定化させることができ、安定剤は、ジルコニア中に特定の mol % 存在することができる。例えば、安定剤は、ジルコニア中に、少なくとも 4 mol %、少なくとも 5 mol %、少なくとも 6 mol %、少なくとも 7 mol %、少なくとも 8 mol %、少なくとも 9 mol %、あるいは更に少なくとも 10 mol % 等、少なくとも 3 mol % 存在することができる。非限定的

20

【0019】

ドーブされていない Y S Z は、高い酸素イオン伝導性を有し、酸化剤と燃料の両方の雰囲気中で非常に安定であるので、S O F C の電解質として有用である。しかし、Y S Z の最高焼結温度は、いくつかの分野で応用を制限する。例えば、Y S Z 電解質を、かなり異なる焼結温度を有する他の材料と共焼成すると、電池製造時の焼結工程を減少させる可能性を制限することになる。例えば、東ソー (Tosoh USA, Inc., Grove City, Ohio) 製の T Z - 8 Y 粉体等、市販のイットリア安定化ジルコニア粉体は、約 1280 の焼結温度を有す。比較すると、例えば、ランタンストロンチウムマンガナイト (LSM) またはランタンカルシウムマンガナイト (LCM) などの、一般的に使用されるカソード材料は、一般的には約 1100 の最高焼結温度を有す。Y S Z 電解質と LSM カソード等の、2 つ以上の S O F C 構成要素を形成するように共焼成される材料の最高焼結温度の著しい差は、1 つ又は複数の共焼成の構成要素にクラック等の欠陥を引き起こす可能性がある。従って、著しく異なる最高焼結温度 (または異なる C T E) を有する構成要素は、一般に、電池の製造時に別の焼成工程を必要とする。

30

【0020】

いくつかの方法が、Y S Z の最高焼結温度を約 1280 位に低く低下させるために使用されてきた。図 3 は、本明細書でさらに説明するように、ドーブ Y S Z 及びそれらのそれぞれの最高焼結温度のいくつかの実施例を例示すグラフを含む。参考のため、図 3 は、約 1280 の最高焼結温度を有する 8 mol % のイットリア安定化ジルコニア (8 Y S Z) を例示する。安定化ジルコニアの最高焼結温度を低下させる方法は、いくつかの加圧焼結操作またはいくつかの焼結助剤の添加を含むことができる。安定化ジルコニアの最高

40

50

焼結温度を低下させる1つの特定の方法は、より小さい d_{50} 粒子径を有する安定化ジルコニアの使用を含むことができる。東ソー(Tosoh USA, Inc., Grove City, Ohio)製のTZ-8Y粉体等、市販のイットリア安定化ジルコニア粉体は、約150nm~約300nmの範囲の d_{50} 粒子径を有する安定化ジルコニア粒子を含む。 d_{50} 粒子径を約150nm未満に小さくすることは、例えば、ボールミル・プロセスまたはアトリションミル・プロセスによって、達成することができる。しかし、 d_{50} 粒子径を減少させるこのようなプロセスは、SOF Cを形成する全体のプロセスにおいて追加の工程を必要とする。追加の処理工程は、エラーや欠陥が発生する更なる機会を作り出すだけでなく、全体のプロセスに大幅なコストを追加する。

【0021】

本明細書に記載の実施形態によれば、安定化ジルコニアは1120 以下の最高焼結温度($T_{ヒュー}$)を有することができ、少なくとも150nmの d_{50} 粒子径を有する安定化ジルコニア粒子から形成されることができる。例えば、安定化ジルコニア粒子は、少なくとも170nm、少なくとも180nm、少なくとも190nm、少なくとも200nm、少なくとも210nm、少なくとも220nm、少なくとも230nm、少なくとも240nm、少なくとも250nm、少なくとも260nm、少なくとも270nm、少なくとも280nm、または少なくとも290nm等、少なくとも160nmの d_{50} 粒子径を有することができる。一実施形態では、安定化ジルコニア粒子は、400nm以下の d_{50} 粒子径を含むことができる。400nmより大きい d_{50} 粒子径を有する安定化ジルコニアから形成された構成要素は、不十分な焼結性と不十分な機械的強度を有する傾向を有しうる。一実施形態によれば、例えば、安定化ジルコニア粒子は、300nm以下、290nm以下、280nm以下、279nm以下、260nm以下、250nm以下、240nm以下、230nm以下、220nm以下、210nm以下、200nm以下、190nm以下、180nm以下、170nm以下、または160nm以下等、350nm以下の d_{50} 粒子径を有することができる。明細書を読んだ後、当業者は、安定化ジルコニア粒子は上記の任意の最大値または最小値の範囲内の d_{50} 粒子径を有することができることを、理解するであろう。例えば、安定化ジルコニア粒子は、150nm~400nm、150nm~300nm、170nm~280nm、200nm~250nmの範囲の d_{50} 粒子径を有することができる。

【0022】

戻って図2を参照すると、方法200は、ステップ204で、安定化ジルコニア粉体を1つまたは複数のドーパントと組み合わせ、電解質前駆体等の構成要素の前駆体を形成することを更に含む。例えば、安定化ジルコニア粉体(例えば、YSZ)は、銅(Cu)、銀(Ag)、亜鉛(Zn)、マンガン(Mn)、アルミニウム(Al)、鉄(Fe)、コバルト(Co)、ニッケル(Ni)、またはそれらの任意の組合せ等の、本明細書に記載の1つまたは複数のドーパントと組み合わせられることができる。安定化ジルコニア粉体は、特定の量の1つまたは複数の各ドーパントと組み合わせられることができる。例えば、安定化ジルコニア粉体は、Mnおよび1つ又は複数の上述のドーパントと組み合わせることができる。別の実施例では、安定化ジルコニア粉体は、1つ又は複数の上述のドーパントに加えて、MnおよびAlと組み合わせられることができる。存在するドーパント(複数可)の量は、原子百分率(at%)として表すことができる。

【0023】

例えば、Mnを含む一実施形態では、構成要素の前駆体は、4at%以下、または3at%以下等の、5at%以下の量のMnを含むことができる。非限定的な一実施形態では、構成要素の前駆体は、少なくとも2at%、または少なくとも3at%等の、少なくとも1at%の量のMnを含むことができる。明細書を読んだ後、当業者は、構成要素の前駆体は上記の任意の最大値または最小値の範囲内の量のMnを含むことができることを、理解するであろう。例えば、構成要素の前駆体は、1at%~5at%、または2at%~4at%の範囲の量のMnを含むことができる。特定の実施形態では、構成要素の前駆体は、2.5at%~3.5at%の量のMnを含むことができる。

【 0 0 2 4 】

A lを含む一実施形態では、構成要素の前駆体は、少なくとも0.75 at %、少なくとも1 at %、少なくとも1.5 at %、少なくとも2 at %、少なくとも2.5 at %、または少なくとも3 at %等、少なくとも0.5 at %の量のA lを含むことができる。一実施形態では、構成要素の前駆体は、2.5 at %以下、2 at %以下、1.5 at %以下、1 at %以下、または0.5 at %以下等、3 at %以下の量のA lを含むことができる。明細書を読んだ後、当業者は、構成要素の前駆体は上記の任意の最大値または最小値の範囲内の量のA lを含むことができることを、理解するであろう。例えば、構成要素の前駆体は、0.5 at % ~ 2.5 at %、または0.5 at % ~ 2 at %の範囲内の量のA lを含むことができる。特定の実施形態では、構成要素の前駆体は、0.5 at % ~ 1.5 at %の量のA lを含むことができる。

10

【 0 0 2 5 】

F eを含む一実施形態では、構成要素の前駆体は、少なくとも2 at %、少なくとも3 at %、少なくとも4 at %、少なくとも5 at %、または少なくとも6 at %等、少なくとも1 at %の量のF eを含むことができる。一実施形態では、構成要素の前駆体は、9 at %以下、8 at %以下、7 at %以下、6 at %以下、5 at %以下、4 at %以下、または3 at %以下等、10 at %以下の量のF eを含むことができる。明細書を読んだ後、当業者は、構成要素の前駆体は上記の任意の最大値または最小値の範囲内の量のF eを含むことができることを、理解するであろう。例えば、構成要素の前駆体は、1 at % ~ 10 at %、2 at % ~ 10 at %、3 at % ~ 9 at %、4 at % ~ 8 at %の範囲の量のF eを含むことができる。特定の実施形態では、構成要素の前駆体は、5 at % ~ 6 at %の量のF eを含むことができる。

20

【 0 0 2 6 】

C oを含む一実施形態では、構成要素の前駆体は、少なくとも2 at %、少なくとも3 at %、少なくとも4 at %、少なくとも5 at %、または少なくとも6 at %等、少なくとも1 at %の量のC oを含むことができる。一実施形態では、構成要素の前駆体は、9 at %以下、8 at %以下、7 at %以下、6 at %以下、5 at %以下、4 at %以下、または3 at %以下等、10 at %以下の量のC oを含むことができる。明細書を読んだ後、当業者は、構成要素の前駆体は上記の任意の最大値または最小値の範囲内の量のC oを含むことができることを、理解するであろう。

30

【 0 0 2 7 】

N iを含む一実施形態では、構成要素の前駆体は、少なくとも2 at %、少なくとも3 at %、少なくとも4 at %、少なくとも5 at %、または少なくとも6 at %等、少なくとも1 at %の量のN iを含むことができる。一実施形態では、構成要素の前駆体は、9 at %以下、8 at %以下、7 at %以下、6 at %以下、5 at %以下、4 at %以下、または3 at %以下等、10 at %以下の量のN iを含むことができる。明細書を読んだ後、当業者は、構成要素の前駆体は上記の任意の最大値または最小値の範囲内の量のN iを含むことができることを、理解するであろう。

【 0 0 2 8 】

C uを含む一実施形態では、構成要素の前駆体は、少なくとも0.2 at %、少なくとも0.3 at %、少なくとも0.4 at %、少なくとも0.5 at %、少なくとも0.6 at %、少なくとも0.7 at %、少なくとも0.8 at %、少なくとも0.9 at %、または少なくとも1 at %等の、少なくとも0.1 at %の量のC uを含むことができる。一実施形態では、構成要素の前駆体は、0.9 at %以下、0.8 at %以下、0.7 at %以下、0.6 at %以下、0.5 at %以下、0.4 at %以下、0.3 at %以下、0.2 at %以下、または0.1 at %以下等の、1 at %以下の量のC uを含むことができる。明細書を読んだ後、当業者は、構成要素の前駆体は上記の任意の最大値または最小値の範囲内の量のC uを含むことができることを、理解するであろう。例えば、構成要素の前駆体は、0.1 at % ~ 1 at %、0.2 at % ~ 0.9 at %、0.3 at % ~ 0.8 at %、0.4 at % ~ 0.7 at %の範囲の量のC uを含むことができる。

40

50

特定の実施形態では、構成要素の前駆体は、 $0.4 \text{ at} \% \sim 0.6 \text{ at} \%$ の量のCuを含むことができる。

【0029】

Agを含む一実施形態では、構成要素の前駆体は、少なくとも $0.2 \text{ at} \%$ 、少なくとも $0.3 \text{ at} \%$ 、少なくとも $0.4 \text{ at} \%$ 、少なくとも $0.5 \text{ at} \%$ 、少なくとも $0.6 \text{ at} \%$ 、少なくとも $0.7 \text{ at} \%$ 、少なくとも $0.8 \text{ at} \%$ 、少なくとも $0.9 \text{ at} \%$ 、または少なくとも $1 \text{ at} \%$ 等、少なくとも $0.1 \text{ at} \%$ の量のAgを含むことができる。一実施形態では、構成要素の前駆体は、 $0.9 \text{ at} \%$ 以下、 $0.8 \text{ at} \%$ 以下、 $0.7 \text{ at} \%$ 以下、 $0.6 \text{ at} \%$ 以下、 $0.5 \text{ at} \%$ 以下、 $0.4 \text{ at} \%$ 以下、 $0.3 \text{ at} \%$ 以下、 $0.2 \text{ at} \%$ 以下、または $0.1 \text{ at} \%$ 以下等、 $1 \text{ at} \%$ 以下の量のAgを含むことができる。明細書を読んだ後、当業者は、構成要素の前駆体は上記の任意の最大値または最小値の範囲内の量のAgを含むことができることを、理解するであろう。

10

【0030】

Znを含む一実施形態では、構成要素の前駆体は、少なくとも $0.2 \text{ at} \%$ 、少なくとも $0.3 \text{ at} \%$ 、少なくとも $0.4 \text{ at} \%$ 、少なくとも $0.5 \text{ at} \%$ 、少なくとも $0.6 \text{ at} \%$ 、少なくとも $0.7 \text{ at} \%$ 、少なくとも $0.8 \text{ at} \%$ 、少なくとも $0.9 \text{ at} \%$ 、または少なくとも $1 \text{ at} \%$ 等、少なくとも $0.1 \text{ at} \%$ の量のZnを含むことができる。一実施形態では、構成要素の前駆体は、 $0.9 \text{ at} \%$ 以下、 $0.8 \text{ at} \%$ 以下、 $0.7 \text{ at} \%$ 以下、 $0.6 \text{ at} \%$ 以下、 $0.5 \text{ at} \%$ 以下、 $0.4 \text{ at} \%$ 以下、 $0.3 \text{ at} \%$ 以下、 $0.2 \text{ at} \%$ 以下、または $0.1 \text{ at} \%$ 以下等、 $1 \text{ at} \%$ 以下の量のZnを含むことができる。明細書を読んだ後、当業者は、構成要素の前駆体は上記の任意の最大値または最小値の範囲内の量のZnを含むことができることを、理解するであろう。

20

【0031】

本明細書に記載の実施形態では、構成要素の前駆体は、約 1120 以下の最高焼結温度($T_{\text{ピーク}}$)を有する構成要素の前駆体を提供するように、1つ又は複数のドーパントと組み合わされた安定化ジルコニア粉体を含むことができる。約 1120 以下の最高焼結温度($T_{\text{ピーク}}$)を有する構成要素の前駆体は、SOF Cの別の構成要素またはそれらの前駆体の最高焼結温度に、より近づくことができ、それは、本明細書に記載の実施形態の構成要素の前駆体を、SOF Cの別の1つ又は複数の構成要素またはそれらの前駆体と共焼結する等により、より少ない製造工程を可能にする。約 1120 以下の最高焼結温度($T_{\text{ピーク}}$)を有する構成要素の前駆体は、低温焼結を可能にすることもでき、そのため相互拡散と抵抗相の形成を避けることができる。例えば、一実施形態では、構成要素の前駆体は、約 1118 以下、約 1117 以下、約 1116 以下、約 1115 以下、約 1114 以下、約 1113 以下、約 1112 以下、約 1111 以下、約 1110 以下、約 1109 以下、約 1108 以下、約 1107 以下、約 1106 以下、約 1105 以下、約 1104 以下、約 1103 以下、約 1102 以下、約 1101 以下、約 1100 以下、約 1095 以下、約 1090 以下、約 1185 以下、または約 1080 以下等、約 1119 以下の最高焼結温度($T_{\text{ピーク}}$)を有することができる。例示的で、非限定的な実施形態では、構成要素の前駆体は、少なくとも約 1075 等の、少なくとも約 1070 の最高焼成温度($T_{\text{ピーク}}$)を含むことができる。明細書を読んだ後、当業者は、構成要素の前駆体は上記の任意の最大値または最小値の範囲内の最高焼結温度($T_{\text{ピーク}}$)を含むことができることを、理解するであろう。例えば、一実施形態では、最高焼結温度($T_{\text{ピーク}}$)は、 $1070 \sim 1120$ 、または $1070 \sim 1110$ の範囲にありうる。

30

40

【0032】

戻って図2を参照すると、方法200の工程206に例示されているように、構成要素の前駆体は、約 1120 以下の温度で焼結されることができ、理論密度の少なくとも96%を有する構成要素を形成することができる。特に、 1120 以下の焼結温度は、前駆体組成物が理論密度の少なくとも96%を達成させるために十分である。いかなる特定の理論にも拘束されることを望まないが、1つ又は複数のドーパントは、安定化ジルコニ

50

ア前駆体が 1 1 2 0 以下の最高焼結温度 ($T_{ヒュー}$) で、理論密度の少なくとも 9 6 % を達成することを可能にする、と考えられる。一実施形態によれば、構成要素の前駆体は、1 1 2 0 以下の最高焼結温度 ($T_{ヒュー}$) で焼結されることができ、理論密度の少なくとも約 9 7 %、少なくとも約 9 8 %、少なくとも約 9 9 %、または更に 1 0 0 % 等、少なくとも約 9 6 % を有する構成要素を形成することができる。明細書を読んだ後、当業者は、構成要素の前駆体は約 1 1 2 0 以下の温度で焼結され、理論密度の上記の任意の最大値または最小値の範囲内を有する構成要素を形成することを、理解するであろう。

【 0 0 3 3 】

逆に、構成要素の前駆体は、約 1 1 2 0 以下の温度で焼結されることができ、特定の気孔率を有する構成要素を形成する。処理の当然の結果として、いくつかの残留気孔は、電解質構成要素等の得られた構成要素中に残存しうる。しかしながら、このような残留気孔は、一般的には閉気孔であり、相互に連結されたネットワークではない。一実施形態によれば、構成要素の前駆体は、約 1 1 2 0 以下の温度で焼結されることができ、約 4 v o l % 以下、約 3 v o l % 以下、約 2 v o l % 以下、または約 1 v o l % 以下等、約 5 v o l % 以下の気孔率を有する構成要素を形成する。明細書を読んだ後、当業者は、構成要素の前駆体は約 1 1 2 0 以下の温度で焼結され、上記の任意の最大値または最小値の範囲内の気孔率を有する構成要素を形成しうることを、理解するであろう。

【 0 0 3 4 】

一実施形態では、構成要素の前駆体は、少なくとも 3 つのドーパントと組み合わせられ、および約 1 1 2 0 以下の最高焼結温度 ($T_{ヒュー}$) を有する安定化ジルコニア粉体を含むことができる。例えば、構成要素の前駆体は、銅 (Cu)、銀 (Ag)、亜鉛 (Zn)、マンガン (Mn)、アルミニウム (Al)、鉄 (Fe)、コバルト (Co)、およびニッケル (Ni) からなる群から選択された、少なくとも 3 つの異なるドーパントと組み合わせた安定化ジルコニア粉体を含むことができる。特定の実施形態では、安定化ジルコニア粉体は Mn 、 Al 、および Fe と組み合わせることができる。別の実施形態では、安定化ジルコニア粉体は、 Mn 、 Al 、および Cu と組み合わせることができる。

【 0 0 3 5 】

構成要素の前駆体の焼結は、常圧焼結を含む当技術分野で公知の任意の方法によって実施されることができる。しかしながら、一時的な応力、クラック、大きな気孔または空隙等の不均一な粒子の充填等に起因する欠陥は、常圧焼結の際に容易には消えず、その結果、緻密化を制限する傾向がある。一実施形態では、構成要素の前駆体を焼結するには、熱間静水圧プレス (HIP)、1 軸ホットプレス (HP)、または焼結鍛造等の加圧焼結を含むことができる。特定の実施形態では、焼結は、焼結鍛造により実施される。

【 0 0 3 6 】

特定の実施形態では、構成要素の前駆体は、 $SOFC$ ユニットを形成するために使用される他の若しくは異なる構成要素、または構成要素の前駆体と共焼結されることができる。例えば、一実施形態では、構成要素は電解質とすることができ、電解質は、アノード層、カソード層、またはそれらの組合せ等の $SOFC$ ユニットの他の構成要素と共焼結されることができる。

【 0 0 3 7 】

構成要素の前駆体を焼成して $SOFC$ の構成要素を形成した後、構成要素は、安定化ジルコニアおよび 1 つ又は複数のドーパントを含むことができる。本明細書で説明されるように、構成要素は、本明細書に記載されるように構成要素の前駆体から形成され、得られた構成要素は、安定化ジルコニアと少なくとも 3 つの異なるドーパントを含むことができる。特定の実施形態では、安定化ジルコニアは、 Mn 、 Al 、 Cu 、 Fe 、またはそれらの任意の組み合わせを含むことができる。一実施形態では、安定化ジルコニアは、 Mn 、 Al 、および Cu を含むことができる。別の特定の実施形態では、安定化ジルコニアは、 Mn 、 Al 、および Fe を含むことができる。

【 0 0 3 8 】

一実施形態では、構成要素の 1 つ又は複数のドーパントの各々は、構成要素の一定量で

10

20

30

40

50

存在することができる。存在するドーパントの量は、原子百分率 (a t %) として表すことができる。M nを含む一実施形態では、M nは5 a t %以下での量で構成要素中に存在することができる。例えば、M nは、3 a t %以下等、4 a t %以下の量で構成要素中に存在することができる。非限定的な一実施形態では、M nは少なくとも1 a t %の量で構成要素中に存在することができる。例えば、M nは、少なくとも3 a t %以下等、2 a t %以下の量で構成要素中に存在することができる。明細書を読んだ後、当業者は、M nは上記の任意の最大値または最小値の範囲の量で構成要素中に存在することができることを、理解するであろう。例えば、M nは1 a t % ~ 5 a t %、または2 a t % ~ 4 a t %の範囲内で構成要素中に存在することができる。特定の実施形態では、M nは2 . 5 a t % ~ 3 . 5 a t %の量で構成要素中に存在することができる。

10

【 0 0 3 9 】

A lを含む一実施形態では、A lは少なくとも0 . 5 a t %の量で構成要素中に存在することができる。例えば、A lは構成要素中に、少なくとも1 a t %、少なくとも1 . 5 a t %、少なくとも2 a t %、少なくとも2 . 5 a t %、または少なくとも3 a t %等、少なくとも0 . 7 5 a t %の量で存在することができる。一実施形態では、A lは構成要素中に3 a t %以下の量で存在することができる。例えば、A lは、2 a t %以下、1 . 5 a t %以下、1 a t %以下、または0 . 5 a t %以下等、2 . 5 a t %以下の量で構成要素中に存在することができる。明細書を読んだ後、当業者は、A lは上記の任意の最大値または最小値の範囲内の量で構成要素中に存在することができることを、理解するであろう。例えば、A lは、0 . 5 a t % ~ 2 . 5 a t %、または0 . 5 a t % ~ 2 a t %の範囲内で構成要素中に存在することができる。特定の実施形態では、A lは、0 . 5 a t % ~ 1 . 5 a t %の量で構成要素中に存在することができる。

20

【 0 0 4 0 】

F eを含む一実施形態では、F eは少なくとも1 a t %の量で構成要素中に存在することができる。例えば、F eは構成要素中に、少なくとも3 a t %、少なくとも4 a t %、少なくとも5 a t %、または少なくとも6 a t %等、少なくとも2 a t %の量で存在することができる。一実施形態では、F eは構成要素中に1 0 a t %以下の量で存在することができる。例えば、F eは、8 a t %以下、7 a t %以下、6 a t %以下、5 a t %以下、4 a t %以下、または3 a t %以下等の、9 a t %以下の量で構成要素中に存在することができる。明細書を読んだ後、当業者は、F eは上記の任意の最大値または最小値の範囲内の量で構成要素中に存在することができることを、理解するであろう。例えば、F eは、1 a t % ~ 1 0 a t %、2 a t % ~ 1 0 a t %、3 a t % ~ 9 a t %、4 a t % ~ 8 a t %の範囲内で構成要素中に存在することができる。特定の実施形態では、F eは、5 a t % ~ 6 a t %の量で構成要素中に存在することができる。

30

【 0 0 4 1 】

C uを含む一実施形態では、C uは構成要素中に少なくとも0 . 1 a t %の量で存在することができる。例えば、C uは構成要素中に、少なくとも0 . 3 a t %、少なくとも0 . 4 a t %、少なくとも0 . 5 a t %、少なくとも0 . 6 a t %、少なくとも0 . 7 a t %、少なくとも0 . 8 a t %、少なくとも0 . 9 a t %、または少なくとも1 a t %等、少なくとも0 . 2 a t %の量で存在することができる。一実施形態では、C uは構成要素中に1 . 2 a t %以下の量で存在することができる。例えば、C uは、構成要素中に、0 . 9 a t %以下、0 . 8 a t %以下、0 . 7 a t %以下、0 . 6 a t %以下、0 . 5 a t %以下、0 . 4 a t %以下、0 . 3 a t %以下、0 . 2 a t %以下、または0 . 1 a t %以下等、1 a t %以下の量で存在することができる。明細書を読んだ後、当業者は、C uは上記の任意の最大値または最小値の範囲内の量で構成要素中に存在することができることを、理解するであろう。例えば、C uは構成要素中に、0 . 1 a t % ~ 1 a t %、0 . 2 a t % ~ 0 . 9 a t %、0 . 3 a t % ~ 0 . 8 a t %、0 . 4 a t % ~ 0 . 7 a t %の範囲で存在することができる。特定の実施形態では、C uは構成要素中に、0 . 4 a t % ~ 0 . 6 a t %の量で存在することができる。

40

【 0 0 4 2 】

50

本明細書の少なくとも1つの実施形態に係る構成要素を含む固体酸化物燃料電池は、ドーピングされていない8 Y S Zを含む電解質を有するセルの平均初期セル開回路電圧（O C V）（これは一般的に1 . 1 0 Vより大きい）以下の平均初期セル開回路電圧を提供するように構成されることができる。一実施形態によれば、3つ以上のドーパントを有する構成要素は、8 0 0 で1 . 1 0 V以下の平均初期セルO C Vを提供することができる。特定の実施形態では、本明細書中の実施形態に係る構成要素は、1 . 0 8 V以下、1 . 0 7 V以下、またはさらに1 . 0 6 V以下等、1 . 0 9 V以下の平均初期セルO C Vを提供することができる。本明細書の実施形態に係る構成要素は、最終的なS O F Cシステムにおける典型的には少なくとも0 . 7 5 Vである一般的な動作電圧よりも大きい平均初期セルO C Vを提供できることが理解されるであろう。

10

【0043】

比較的高い平均初期セルO C Vは、イオン伝導性を有する電解質に起因することがある。高い平均初期セルO C Vに相応の最終的なS O F Cの高い粉体密度を得るために、一般的に高い平均初期セルO C Vを得ることが望まれるが、出願人は、僅かな電子伝導性が望ましいこと、およびイオン伝導性だけを示す電解質は、僅かな量の電子伝導性を有する電解質より劣化速度が比較的高いことを見いだした。出願人らは、ドーパントを選択し、それらを組み合わせることにより、僅かな量の電子伝導性は電解質中に導入することができることも見いだした。したがって、出願人らは、1 . 1 0 V以下の平均初期セルO C Vを有する電解質は、1 . 1 0 Vより大きい平均初期セルO C Vを有する電解質より、経年劣化が減少することを見いだした。特定の実施形態では、1 . 0 8 V以下の平均初期セルO C Vを有する本明細書の実施形態に関わる電解質は、1 . 0 8 Vより大きい平均初期セルO C Vを有する電解質より、経年劣化が減少することを見いだした。

20

【0044】

したがって、例えばM n、A l、F e、またはC u等の電子ドーパントで、8 Y S Z等の高イオン伝導体をドーピングすることによって、ドーピングされていない8 Y S Z以上に平均初期セルO C Vを低減することができる。特定の実施形態では、例えば、M n、A l、F e、またはC uを含む、3つ以上の異なる電子ドーパントで8 Y S Zをドーピングすることにより、2つ以下の異なるドーパントでドーピングした8 Y S Z以上に平均初期セルO C Vを低減することができる。

【0045】

多くの異なる態様および実施形態が可能である。それらの態様および実施形態のいくつかは、本明細書に記載されている。本明細書を読んだ後、当業者は、これらの態様および実施形態は単なる例示であり、本発明の範囲を限定するものではないことを、理解するであろう。実施形態は、下記に示されるいずれか1つ又は複数の項目に従うことができる。

30

【実施例】

【0046】

実施例は、単に例示として示され、添付の特許請求の範囲に規定される本発明の範囲を限定するものではない。実施例は、例示的で非限定的な実施形態に係るS O F Cの構成要素の形成を示す。

【0047】

以下のいくつかの安定化ジルコニア構成要素の試料を調製するための出発粉体は、8 m o l %のY S Z（8 Y S Z）であった。8 Y S Z粉体は、少なくとも1 5 0 n mの d_{50} 粒子径を有していた。 d_{50} 粒子径を減少させる8 Y S Zへのさらなる処理は、実施されなかった。

40

【0048】

ドーピングされていない8 Y S Zを含む参照試料が調製され、1つ又は複数のドーパントでドーピングされた8 Y S Zを含むいくつかの試料が調製された。1つ又は複数のドーパントはM n、A l、F e、およびC uを含んでいた。調製された試料の構成要素は、8 Y S Zの試料、3 a t % M nと1 a t % A l（3 M n - 1 A l）でドーピングした8 Y S Zの試料、3 a t % M nと1 a t % A lと8 a t % F e（3 M n - 1 A l - 8 F e）でドーピングした8 Y

50

S Z の試料、3 a t % M n と 1 a t % A l と 4 a t % F e (3 M n - 1 A l - 4 F e) でドーブした 8 Y S Z の試料、3 a t % M n と 1 a t % A l と 6 F e (3 M n - 1 A l - 6 F e) でドーブした 8 Y S Z の試料、3 a t % M n と 1 a t % A l と 0 . 5 a t % C u (3 M n - 1 A l - 0 . 5 C u) でドーブした 8 Y S Z の試料、および 1 a t % C u (1 C u) でドーブした 8 Y S Z の試料を含んでいた。

【 0 0 4 9 】

ドーバント粉体を不均質沈殿法により調製した。ドーバントの水酸化物前駆体粉体は、それぞれの可溶性塩から沈殿された。特に、 $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ 、 $Mn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ 、と $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ の粉体を、脱イオン (D I) 水で溶解した。溶液を攪拌し、p H 値を調整するために $NH_4 \cdot NH_3$ を必要に応じて添加した。銅を有するドーバント溶液を調製する際に、5 0 n m 以下の d_{50} 粒子径の C u O 粉体は不均質沈殿することなく溶液中に直接添加された。

10

【 0 0 5 0 】

その後、調製されたドーバントを 8 Y S Z 粉体と混合した。秤量された 8 Y S Z 粉体を、準備されたドーバント溶液に注ぎ、スラリーを形成した。スラリーは、ボールミル粉碎され、粉体に乾燥された。乾燥粉体を粉碎し、メッシュを通した後、6 0 0 に加熱して、仮焼金属酸化物ドーブ 8 Y S Z 粉体を形成した。仮焼粉体を高さ 5 . 0 m m 、直径 6 . 5 m m のペレットに 1 軸プレスした。すべての試料のグリーン密度は約 4 0 % であった。次に、試料の構成要素は、それらのそれぞれの最高焼結温度 ($T_{ヒュー}$) と異方性係数を決定するために試験された。

20

【 0 0 5 1 】

項目

項目 1 : 安定化ジルコニアおよび少なくとも 3 つの異なるドーバントを含む電解質を備える、固体酸化物燃料電池の構成要素。

【 0 0 5 2 】

項目 2 : 1 1 2 0 以下の最高焼結温度を有し、少なくとも 1 5 0 n m の d_{50} 粒子径を有する安定化ジルコニア粒子から形成された安定化ジルコニアを備える、固体酸化物燃料電池の構成要素。

【 0 0 5 3 】

項目 3 : 単セル固体酸化物燃料電池において、1 . 0 9 V 以下の平均初期セル開回路電圧 (O C V) が示されるような低い電子伝導性を提供するように構成された電解質を備える、固体酸化物燃料電池の構成要素。

30

【 0 0 5 4 】

項目 4 : 構成要素が電解質である、項目 1 0 または 1 4 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

【 0 0 5 5 】

項目 5 : 構成要素が電解質であり、電解質は、理論密度の少なくとも 9 6 % 、少なくとも 9 7 % 、少なくとも 9 8 % 、少なくとも 9 9 % 、または 1 0 0 % を有する、項目 1 ~ 4 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

【 0 0 5 6 】

項目 6 : 電解質は少なくとも 3 つの異なるドーバントを含み、電解質は単セル固体酸化物燃料電池において、1 . 0 8 V 以下の平均初期セル開回路電圧 (O C V) を提供するように構成された、項目 1 ~ 5 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

40

【 0 0 5 7 】

項目 7 : 安定化ジルコニアは、少なくとも 1 5 0 n m の d_{50} 粒子径を有する安定化ジルコニア粒子から形成され、安定化ジルコニアは最高焼結温度を有し、最高焼結温度は 1 1 1 5 以下、1 1 1 0 以下、1 1 0 5 以下、1 1 0 0 以下、1 0 9 5 以下、1 0 9 0 以下、1 0 8 5 以下、または 1 0 8 0 以下である、項目 1 ~ 6 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

【 0 0 5 8 】

50

項目 8 : 安定化ジルコニアは、少なくとも 150 nm の d_{50} 粒子径を有する安定化ジルコニア粒子から形成され、安定化ジルコニアは最高焼結温度を有し、最高焼結温度は少なくとも 1075 、少なくとも 1080 、少なくとも 1085 、少なくとも 1090 、少なくとも 1095 、少なくとも 1100 、少なくとも 1105 、少なくとも 1110 、または少なくとも 1115 である、項目 1 ~ 7 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

【 0059 】

項目 9 : 安定化ジルコニアは、少なくとも 150 nm の d_{50} 粒子径を有する安定化ジルコニア粒子から形成され、安定化ジルコニアは最高焼結温度を有し、最高焼結温度は 1080 ~ 1120 、 1085 ~ 1115 、または、 1090 ~ 1110 の範囲にある、項目 1 ~ 8 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

10

【 0060 】

項目 10 : 構成要素は電解質であり、電解質は、少なくとも 150 nm、少なくとも 160 nm、少なくとも 170 nm、少なくとも 180 nm、少なくとも 190 nm、少なくとも 200 nm、少なくとも 210 nm、少なくとも 220 nm、少なくとも 230 nm、少なくとも 240 nm、少なくとも 250 nm、少なくとも 260 nm、少なくとも 270 nm、少なくとも 280 nm、少なくとも 290 nm の d_{50} 粒子径を有する安定化ジルコニア粒子から形成される、項目 1 ~ 9 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

【 0061 】

項目 11 : 構成要素は電解質であり、電解質は 400 nm 以下、 350 nm 以下、 300 nm 以下、 290 nm 以下、 280 nm 以下、 279 nm 以下、 260 nm 以下、 250 nm 以下、 240 nm 以下、 230 nm 以下、 220 nm 以下、 210 nm 以下、 200 nm 以下、 190 nm 以下、 180 nm 以下、 170 nm 以下、 160 nm 以下の d_{50} 粒子径を有する安定化ジルコニア粒子から形成される、項目 1 ~ 10 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

20

【 0062 】

項目 12 : 構成要素は電解質であり、電解質は 150 nm ~ 400 nm、150 nm ~ 300 nm、170 nm ~ 280 nm、または 200 nm ~ 250 nm の範囲の d_{50} 粒子径を有する安定化ジルコニア粒子から形成される、項目 1 ~ 11 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

30

【 0063 】

項目 13 : 安定化ジルコニアは 1 つまたは複数のドーパントを含む、項目 1 ~ 12 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

【 0064 】

項目 14 : 安定化ジルコニアは Mn、Al、Cu、Fe、またはそれらの任意の組合せを含む、項目 1 ~ 13 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

【 0065 】

項目 15 : 安定化ジルコニアは Mn、Al、および Cu を含む、項目 1 ~ 14 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

【 0066 】

項目 16 : 安定化ジルコニアは Mn、Al、および Fe を含む、項目 1 ~ 15 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

40

【 0067 】

項目 17 : 安定化ジルコニアは Mn を含み、Mn は 5 at % 以下、4 at % 以下、または 3 at % 以下の量で存在する、項目 1 ~ 16 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

【 0068 】

項目 18 : 安定化ジルコニアは Mn を含み、Mn は少なくとも 1 at %、少なくとも 2 at %、または少なくとも 3 at % の量で存在する、項目 1 ~ 17 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

【 0069 】

50

項目 19 : 安定化ジルコニアは Mn を含み、Mn は 1 a t % ~ 5 a t %、または 2 a t % ~ 4 a t % の範囲に存在する、項目 1 ~ 18 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

【 0 0 7 0 】

項目 20 : 安定化ジルコニアは Mn を含み、Mn は 2 . 5 a t % ~ 3 . 5 a t % の量で存在する、項目 1 ~ 19 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

【 0 0 7 1 】

項目 21 : 安定化ジルコニアは Al を含み、Al は少なくとも 0 . 5 a t %、少なくとも 0 . 7 5 a t %、少なくとも 1 a t %、少なくとも 1 . 5 a t %、少なくとも 2 a t %、少なくとも 2 . 5 a t %、少なくとも 3 a t % の量で存在する、項目 1 ~ 20 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

10

【 0 0 7 2 】

項目 22 : 安定化ジルコニアは Al を含み、Al は 3 a t % 以下、2 . 5 a t % 以下、2 a t % 以下、1 . 5 a t % 以下、1 a t % 以下、または 0 . 5 a t % 以下の量で存在する、項目 1 ~ 21 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

【 0 0 7 3 】

項目 23 : 安定化ジルコニアは Al を含み、Al は 0 . 5 a t % ~ 2 . 5 a t %、または 0 . 5 a t % ~ 2 a t % の範囲で存在する、項目 1 ~ 22 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

【 0 0 7 4 】

項目 24 : 安定化ジルコニアは Al を含み、Al は 0 . 5 a t % ~ 1 . 5 a t % の量で存在する、項目 1 ~ 23 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

20

【 0 0 7 5 】

項目 25 : 安定化ジルコニアは Fe を含み、Fe は少なくとも 1 a t %、少なくとも 2 a t %、少なくとも 3 a t %、少なくとも 4 a t %、少なくとも 5 a t %、または少なくとも 6 a t % の量で存在する、項目 1 ~ 24 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

【 0 0 7 6 】

項目 26 : 安定化ジルコニアは Fe を含み、Fe は 10 a t % 以下、9 a t % 以下、8 a t % 以下、7 a t % 以下、6 a t % 以下、5 a t % 以下、4 a t % 以下、または 3 a t % 以下の量で存在する、項目 1 ~ 25 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

【 0 0 7 7 】

30

項目 27 : 安定化ジルコニアは Fe を含み、Fe は 1 a t % ~ 10 a t %、2 a t % ~ 10 a t %、3 a t % ~ 9 a t %、4 a t % ~ 8 a t % の範囲で存在する、項目 1 ~ 26 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

【 0 0 7 8 】

項目 28 : 安定化ジルコニアは Fe を含み、Fe は 5 a t % ~ 6 a t % の量で存在する、項目 1 ~ 27 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

【 0 0 7 9 】

項目 29 : 安定化ジルコニアは Cu を含み、Cu は少なくとも 0 . 1 a t %、少なくとも 0 . 2 a t %、少なくとも 0 . 3 a t %、少なくとも 0 . 4 a t %、少なくとも 0 . 5 a t %、少なくとも 0 . 6 a t %、少なくとも 0 . 7 a t %、少なくとも 0 . 8 a t %、少なくとも 0 . 9 a t %、または少なくとも 1 a t % の量で存在する、項目 1 ~ 28 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

40

【 0 0 8 0 】

項目 30 : 安定化ジルコニアは Cu を含み、Cu は 1 a t % 以下、0 . 9 a t % 以下、0 . 8 a t % 以下、0 . 7 a t % 以下、0 . 6 a t % 以下、0 . 5 a t % 以下、0 . 4 a t % 以下、0 . 3 a t % 以下、0 . 2 a t % 以下、または 0 . 1 a t % 以下の量で存在する、項目 1 ~ 29 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

【 0 0 8 1 】

項目 31 : 安定化ジルコニアは Cu を含み、Cu は 0 . 1 a t % ~ 1 a t %、0 . 2 a t % ~ 0 . 9 a t %、0 . 3 a t % ~ 0 . 8 a t %、0 . 4 a t % ~ 0 . 7 a t % の範囲

50

で存在する、項目 1 ~ 3 0 のいずれか 0 . 1 項目に記載の構成要素。

【 0 0 8 2 】

項目 3 2 : 安定化ジルコニアは C u を含み、C u は 0 . 4 a t % ~ 0 . 6 a t % の量で存在する、項目 1 ~ 3 1 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

【 0 0 8 3 】

項目 3 3 : 安定化ジルコニアは安定化剤を含み、安定化剤は、Y 2 O 3 、C e O 2 、C a O、またはそれらの任意の組合せを含む、項目 1 ~ 3 2 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

【 0 0 8 4 】

項目 3 4 : 構成要素は、少なくとも 5 ミクロン、少なくとも 7 ミクロン、少なくとも 9 ミクロン、少なくとも 1 0 ミクロン、少なくとも 1 2 ミクロン、少なくとも 1 4 ミクロン、少なくとも 1 5 ミクロン、少なくとも 1 7 ミクロン、または少なくとも 1 9 ミクロンの厚さを有する、項目 1 ~ 3 3 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

10

【 0 0 8 5 】

項目 3 5 : 構成要素は、2 5 0 ミクロン以下、2 0 0 ミクロン以下、1 5 0 ミクロン以下、1 0 0 ミクロン以下、7 5 ミクロン以下、5 0 ミクロン以下、2 0 ミクロン以下、1 9 ミクロン以下、1 7 ミクロン以下、1 5 ミクロン以下、1 2 ミクロン以下、1 0 ミクロン以下、9 ミクロン以下、または 7 ミクロン以下の厚さを有する、項目 1 ~ 3 4 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

【 0 0 8 6 】

20

項目 3 6 : 構成要素は、5 ミクロン ~ 2 0 ミクロン、または 1 0 ミクロン ~ 1 5 ミクロンの範囲の厚さを有する、項目 1 ~ 3 5 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

【 0 0 8 7 】

項目 3 7 : 構成要素は、5 v o l % 以下、4 v o l % 以下、3 v o l % 以下、2 v o l % 以下、または 1 v o l % 以下の気孔率を有する、項目 1 ~ 3 6 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

【 0 0 8 8 】

項目 3 8 : 固体酸化物燃料電池は、少なくとも 0 . 8 5 V、少なくとも 0 . 9 5 V、少なくとも 1 . 0 5 V のセル初期開回路電圧 (O C V) を有する、項目 1 ~ 3 7 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

30

【 0 0 8 9 】

項目 3 9 : 固体酸化物燃料電池は、1 . 0 9 V 以下、1 . 0 8 V 以下、1 . 0 7 V 以下、1 . 0 6 V 以下、1 . 0 5 V 以下のセル初期開回路電圧を有する、項目 1 ~ 3 8 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

【 0 0 9 0 】

項目 4 0 : 固体酸化物燃料電池は、0 . 7 5 V ~ 1 . 0 9 V の範囲のセル初期開回路電圧を有する、項目 1 ~ 3 9 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

【 0 0 9 1 】

項目 4 1 : 固体酸化物燃料電池は、更に、アノードを備える、項目 1 ~ 4 0 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

40

【 0 0 9 2 】

項目 4 2 : 固体酸化物燃料電池は、更に、カソードを備える、項目 1 ~ 4 1 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

【 0 0 9 3 】

項目 4 3 : 固体酸化物燃料電池は、サブセル内に構成要素と共に配列されたアノードとカソードを更に備え、サブセルは、構成要素の第 1 の側に配置されたアノードと、構成要素の第 2 の側に配置されたカソードを備え、第 2 の側は第 1 の側と異なっている、項目 1 ~ 4 2 のいずれか 1 項目に記載の構成要素。

【 0 0 9 4 】

項目 4 4 : 固体酸化物燃料電池は、さらに、電解質から 1 つ又は複数のカソードの端部

50

またはアノードの端部に配置されたインターコネクトを含む、項目43の構成要素。

【0095】

項目45：固体酸化物燃料電池セルは積み重ねて配置された2つ以上のサブセルを備え、インターコネクトはサブセルとの間に配置されている、項目1～44のいずれか1項目に記載の構成要素。

【0096】

項目46：カソードは、カソード機能層を備える、項目43のいずれか1項目に記載の構成要素。

【0097】

項目47：アノードは、アノード機能層を備える、項目41、43～46のいずれか1項目に記載の構成要素。

10

【0098】

項目48：カソードは、カソードバルク層を備える、項目43のいずれか1項目に記載の構成要素。

【0099】

項目49：アノードは、アノードバルク層を備える、項目41、43～46のいずれか1項目に記載の構成要素。

【0100】

項目50：少なくとも150nmの d_{50} の粒子径を有する安定化ジルコニア粒子を有する安定ルコニア粉体を提供すること、安定化ジルコニア粉体を1つ又は複数のドーパントと組み合わせ、構成要素前駆体を形成すること、構成要素前駆体を1120以下の温度で焼結して理論密度の少なくとも96%を有する構成要素を形成すること、を備える固体酸化物燃料電池の構成要素の製造方法。

20

【0101】

項目51： d_{50} 粒子径は、少なくとも160nm、少なくとも170nm、少なくとも180nm、少なくとも190nm、少なくとも200nm、少なくとも210nm、少なくとも220nm、少なくとも230nm、少なくとも240nm、少なくとも250nm、少なくとも260nm、少なくとも270nm、少なくとも280nm、または少なくとも290nmである、項目50記載の方法。

【0102】

項目52： d_{50} 粒子径は、300nm以下、290nm以下、280nm以下、279nm以下、260nm以下、250nm以下、240nm以下、230nm以下、220nm以下、210nm以下、200nm以下、190nm以下、180nm以下、170nm以下、または160nm以下である、項目50または51のいずれか1項目に記載の方法。

30

【0103】

項目53： d_{50} 粒子径は、150nm～300nm、170nm～280nm、または200nm～250nmの範囲内である、項目50～52のいずれか1項目に記載の方法。

【0104】

項目54：理論密度は、少なくとも97%、少なくとも98%、少なくとも99%、または100%である、項目50～53のいずれか1項目に記載の方法。

40

【0105】

項目55：構成要素前駆体は電解質前駆体である、項目50～54のいずれか1項目に記載の方法。

【0106】

項目56：構成要素は電解質である、項目50～55のいずれか1項目に記載の方法。

【0107】

項目57：1つ又は複数のドーパントは、Mn、Al、Cu、Fe、またはそれらの組み合わせを含む、項目50～56のいずれか1項目に記載の方法。

50

【 0 1 0 8 】

項目 5 8 : 1 つ又は複数のドーパントは、M n、A l、およびC uを含む、項目 5 0 ~ 5 6 のいずれか 1 項目に記載の方法。

【 0 1 0 9 】

項目 5 9 : 1 つ又は複数のドーパントは、M n、A l、およびF eを含む、項目 5 0 ~ 5 6 のいずれか 1 項目に記載の方法。

【 0 1 1 0 】

実施例 1 - T_{ピーク}

D i l o m e t e r y 焼結は、最高焼結温度 (T_{ピーク}) を決定するために実施された。試料の緻密化速度は、試料の線収縮の微分曲線によって得られる。いくつかの焼結計画が、最高焼結温度 (T_{ピーク}) を決定するために実施された。例えば、いくつかの焼結計画は、加熱速度 1 5 / 分、1 0 / 分、2 / 分、1 / 分、またはそれらの組み合わせを含んでいた。いくつかの焼結計画は、1 つ又は複数の「保持」温度、または等温保持も含んでいた。そこで試料は、1 つ又は複数の特定の温度に、一般的に加熱速度より長い所定の時間保持された。

10

【 0 1 1 1 】

図 3 は、構成要素試料各々のそれぞれの最高焼結温度 (T_{ピーク}) を示す。試験された最高焼結温度 (T_{ピーク}) は、表 1 に列挙されている。

【 0 1 1 2 】

【 表 1 】

20

試験された粉体のT_{ピーク}

粉体	T _{ピーク} (°C)
8YSZ	1280
3Mn-1Al	1128
3Mn-1Al-8Fe	1110
3Mn-1Al-4Fe	1108
3Mn1-Al-6Fe	1103
3Mn-1A-0.5Cu 1	1104

30

【 0 1 1 3 】

M nおよびA lを含む2つのドーパントでドーブされた(共ドーブされた)8 Y S Zの構成要素試料は、本発明の譲受人、S a i n t - G o b a i n C e r a m i c s & P l a s t i c s , I n c .、に譲渡された米国特許第 8 , 3 5 7 , 4 7 4 号に記載されている。例えば、Y S Zは3 a t %のM nと1 a t %のA l (3 M n - 1 A l)でドーブされることができる。そこに記載されているように、及び図 3 と表 1 に例示されるように、3 M n - 1 A lは、約 1 1 2 8 の最高焼結温度 (T_{ピーク}) を有することができる。しかし、更なる進歩は、本明細書の実施形態に関して説明されるように、Y S Zの最高焼結温度を低下させることに対して実施されてきた。例えば、図 3 と表 1 に示すように、3 M n - 1 A l - 8 F e、3 M n - 1 A l - 4 F e、3 M n - 1 A l - 6 F e、3 M n - 1 A - 0 . 5 C u、および1 C u等の本明細書に記載の構成要素試料の全ては、1 1 2 0 以下の最高焼結温度 (T_{ピーク}) を得、それらは少なくとも 1 5 0 n mのd₅₀ 粒子径を有する安定化ジルコニア粒子から形成された。

40

【 0 1 1 4 】

一実施形態によれば、3 M n - 1 A l - 8 F eでドーブされた安定化ジルコニアを含む構成要素は 1 1 2 0 より低い最高焼結温度 (T_{ピーク}) を有することができる。例えば、図 3 に例示されるように、3 M n - 1 A l - 8 F eでドーブされた安定化ジルコニアは

50

1 1 0 0 ~ 1 1 2 0 の範囲で、特に約 1 1 1 0 の $T_{ヒュー}$ を有することができる。

【0 1 1 5】

一実施形態によれば、3 M n - 1 A l - 4 F e でドーブされた安定化ジルコニアを含む構成要素は、1 1 2 0 より低い最高焼結温度 ($T_{ヒュー}$) を有することができる。例えば、図 3 に例示されるように、3 M n - 1 A l - 4 F e でドーブされた安定化ジルコニアは 1 1 0 0 ~ 1 1 2 0 の範囲で、特に約 1 1 0 8 の $T_{ヒュー}$ を有することができる。

【0 1 1 6】

一実施形態によれば、3 M n - 1 A l - 6 F e でドーブされた安定化ジルコニアを含む構成要素は、1 1 2 0 より低い最高焼結温度 ($T_{ヒュー}$) を有することができる。例えば、図 3 に例示されるように、3 M n - 1 A l - 6 F e でドーブされた安定化ジルコニアは 1 1 0 0 ~ 1 1 2 0 の範囲に、特に約 1 1 0 3 に $T_{ヒュー}$ を有することができる。特定の実施形態では、1 0 7 6 の低い最高焼結温度 ($T_{ヒュー}$) が達成された。

【0 1 1 7】

一実施形態によれば、3 M n - 1 A l - 0 . 5 C u でドーブされた安定化ジルコニアを含む構成要素は、1 1 2 0 より低い最高焼結温度 ($T_{ヒュー}$) を有することができる。例えば、図 3 に例示されるように、3 M n - 1 A l - 0 . 5 C u でドーブされた安定化ジルコニアは、1 1 0 0 ~ 1 1 2 0 の範囲に、特に約 1 1 0 4 に $T_{ヒュー}$ を有することができる。特定の実施形態では、1 0 9 4 の低い最高焼結温度 ($T_{ヒュー}$) が達成された。

【0 1 1 8】

実施例 2 - 導電率

初期セル開回路電圧 (O C V) 実験は、M n および A l でドーブされた 8 Y S Z を含む電解質構成要素、並びに M n、A l 及び F e でドーブされた 8 Y S Z を含む電解質構成要素で行われた。電解質構成要素は、電解質構成要素、アノード、及びカソードを含む単セルの S O F C を形成するために、使用された。その後、最終的に形成された S O F C は、当技術分野で標準的な方法に従って、初期セル O C V について試験された。例えば、スタックがセットアップされた後の短期試験では、空気側と燃料側の両方のリーク率が測定される。燃料及び空気流量は、それぞれ、3 0 0 および 9 0 0 s c c m である。スタックがリークテストに合格した場合、スタックは 2 / 分で 8 0 0 に達するまで加熱される。この時点で、水素濃度は、N i O を還元するために段階的に増やされる。O C V が、1 0 0 % H₂ (または約 9 8 . 3 % の H₂ + 1 . 7 % の H₂ O) で安定している場合、8 0 0 で 3 組の I - V 曲線とインピーダンスが得られる。結果は下の表 2 と 3、および図 4 に例示される。

【0 1 1 9】

表 2 は、M n と A l でドーブされた 8 Y S Z のセルの初期 O C V の結果を例示する。表 2 に例示されるように、セルは 1 1 回 (または 1 1 個の同一のセルが試験された) 試験され、平均セル初期 O C V は 1 . 0 8 3 0 4 5 5 であった。表 3 は、M n、A l、および F e でドーブされた 8 Y S Z のセルの初期 O C V の結果を例示する。表 3 に例示されるように、セルは 5 回試験され、平均セル初期 O C V は 1 . 0 6 9 4 であった。

【0 1 2 0】

図 4 は、表 2 および 3 にそれぞれ示される電解質の結果を例示する「ボックスプロット」を含む。特に、図 4 のボックスプロットは、表 2 および 3 の四分位値の結果を、それぞれ例示する。

【0 1 2 1】

10

20

30

40

【表 2】

800℃で測定されたMnとAlでドーブされた8YSZのセルの初期OCV

MnとAlを有する8YSZ	
平均	1.0830455
標準偏差	0.0068719
最大値	1.09
75%四分位値	1.09
中央値	1.085
25%四分位値	1.076
最小値	1.0715
試料数	11

10

【0122】

【表 3】

800℃で測定されたMn、Al、およびFeでドーブされた8YSZの初期OCV

Mn、Al、およびFeを有する8YSZ	
平均	1.0694
標準偏差	0.0056833
最大値	1.077
75%四分位値	1.076
中央値	1.066
25%四分位値	1.065
最小値	1.065
試料数	5

20

30

【0123】

一般的な記述または実施例において、上記に説明された活動の全てが必要とされる訳ではないこと、特定の活動の一部は必要とされないことがありうること、および1つまたは複数のさらなる活動は記載したものに加えて実施されうること、に注意されたい。さらに、活動が列挙されている順序は、必ずしもそれらが実施される順序ではない。

【0124】

恩恵、他の利点、および問題に対する解決策は、特定の実施形態に関して上に説明されている。しかし、恩恵、利点、問題に対する解決策、および任意の恩恵、利点、または解決策を発生させ、若しくはより顕著にする任意の特徴（複数可）は、任意の、または全ての特許請求の範囲の重要な、必要な、または本質的な特徴として解釈されるべきではない。

40

【0125】

本明細書に記載の実施形態の詳述および例示は、様々な実施形態の構造の一般的な理解を提供することを意図している。詳述および例示は、本明細書に記載された構造や方法を使用する装置およびシステムの、要素および特徴のすべてを網羅する、包括的な説明として役立つようには意図されていない。明確にするために個別の実施形態の文脈において本明細書で説明されるいくつかの特徴は、単一の実施形態の組み合わせにおいて提供されることもできる。逆に、簡潔のために、単一の実施形態の文脈内で説明されている様々な特徴も、別々にまたは部分的な組み合わせで提供されうる。さらに、範囲内に記載された値

50

の参照は、その範囲内のそれぞれの、およびすべての値を含む。この明細書を読んだ後だけに、多くの他の実施形態が、当業者に明らかになるであろう。構造の置換、論理的な置換、または別の変更が、本開示の範囲から逸脱することなく行うことができるように、他の実施形態は使用される、および本開示から導き出されることができる。したがって、本開示は、限定的ではなく例示的と見なされるべきである。

【 0 1 2 6 】

本発明は、特定の実施形態を参照して説明されてきたが、当業者に想到されるであろう、そのような実施形態への変更および追加は、添付の特許請求の範囲に記載の本発明の範囲から逸脱することなく行うことができる。

【 図 1 】

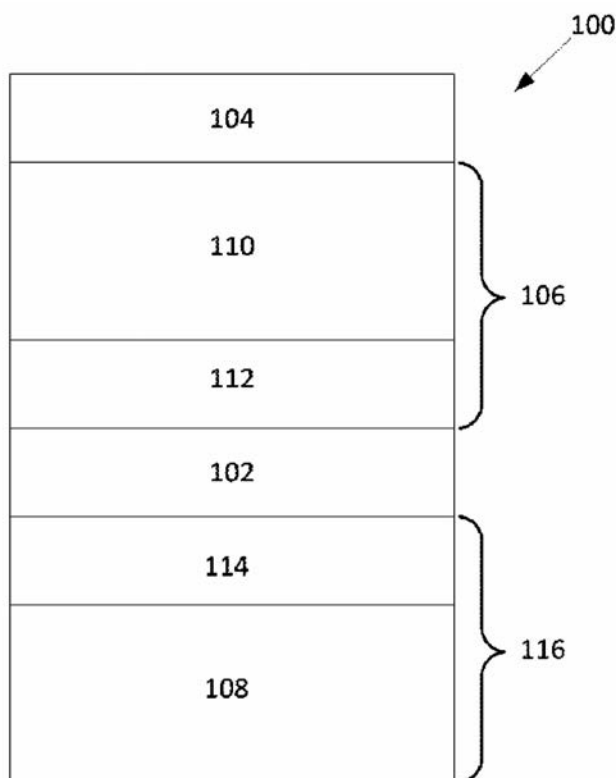


図 1

【 図 2 】

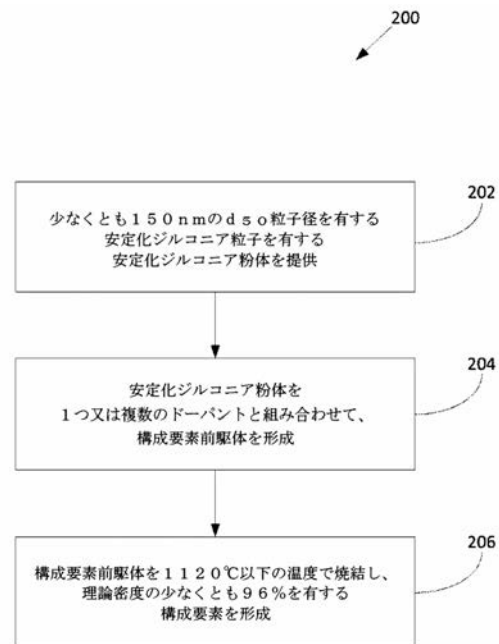


図 2

【 図 3 】

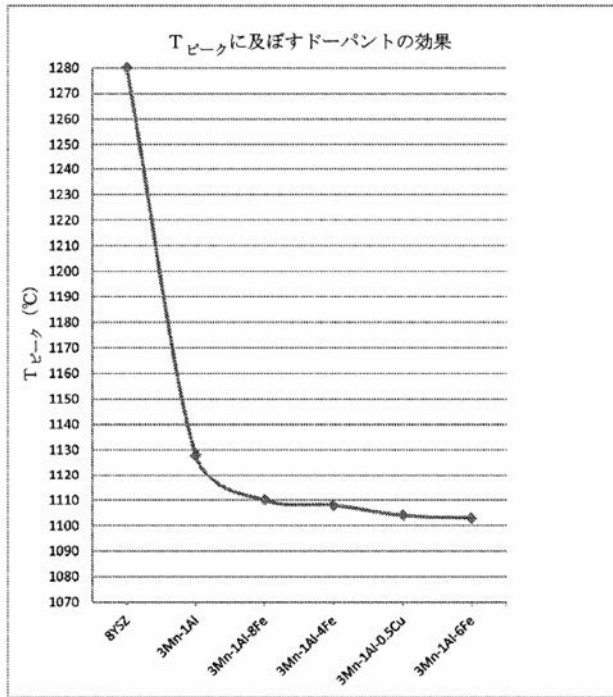


図 3

【 図 4 】

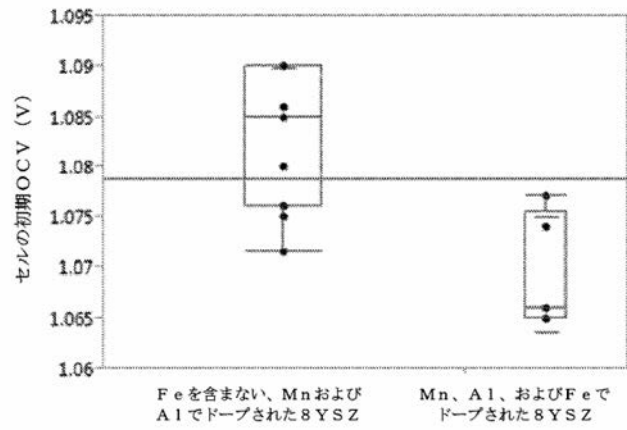


図 4

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US2015/022777
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H01M 8/12(2006.01)i, H01M 8/02(2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01M 8/12; C04B 35/64; H01M 8/10; H01M 4/88; H01M 4/86; H01M 8/02		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Korean utility models and applications for utility models Japanese utility models and applications for utility models		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) eKOMPASS(KIPO internal) & Keywords: SOFC, fuel cell, electrolyte, stabilized zirconia, YSZ, dopant, Al ₂ O ₃ , MnO ₂ , ZnO, co-doped, open circuit voltage, sintering temperature		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2010-0167170 A1 (NARENDAR, YESHWANTH et al.) 01 July 2010 See abstract; paragraphs [0006]-[0058]; tables 1 and 2; and claims 1-20.	1, 3-7, 14, 15
A		2, 8-13
A	US 2011-0294039 A1 (LEE, SANG-MOCK et al.) 01 December 2011 See abstract; paragraphs [0008]-[0080]; and claims 1-11.	1-15
A	US 2004-0018409 A1 (HUI, SHIJIANG et al.) 29 January 2004 See abstract; paragraphs [0011]-[0048]; and claims 1-11.	1-15
A	US 8334079 B2 (STRUTT, PETER R. et al.) 18 December 2012 See abstract; paragraphs [0011]-[0020]; and claims 1-12.	1-15
A	BENYOUCEF, AMEL et al., 'Development and characterisation of (Ni, Cu, Co)-YSZ and Cu-Co-YSZ cermet anode materials for SOFC application,' Surface & Coatings Technology, Epub: 18 September 2007, Volume 202, Issue 10, Pages 2202-2207 See pages 2202-2204.	1-15
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 29 June 2015 (29.06.2015)		Date of mailing of the international search report 30 June 2015 (30.06.2015)
Name and mailing address of the ISA/KR  International Application Division Korean Intellectual Property Office 189 Cheongsa-ro, Seo-gu, Daejeon Metropolitan City, 302-701, Republic of Korea Facsimile No. +82-42-472-7140		Authorized officer CHO, Han Sol  Telephone No. +82-42-481-5580

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/US2015/022777

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2010-0167170 A1	01/07/2010	CN 102301516 A CN 102301516 B EP 2377193 A2 EP 2377193 A4 JP 2012-512521 A JP 5405591 B2 KR 10-1297067 B1 KR 10-2011-0104949 A US 8357474 B2 WO 2010-077945 A2 WO 2010-077945 A3	28/12/2011 12/11/2014 19/10/2011 04/07/2012 31/05/2012 05/02/2014 20/08/2013 23/09/2011 22/01/2013 08/07/2010 14/10/2010
US 2011-0294039 A1	01/12/2011	KR 10-2011-0130264 A US 8697308 B2	05/12/2011 15/04/2014
US 2004-0018409 A1	29/01/2004	WO 03-075383 A2 WO 03-075383 A3	12/09/2003 02/12/2004
US 8334079 B2	18/12/2012	CA 02564937 A1 GB 2428330 A GB 2428330 B US 2005-0244693 A1 US 2013-0143144 A1 WO 2006-052280 A2 WO 2006-052280 A3	18/05/2006 24/01/2007 13/08/2008 03/11/2005 06/06/2013 18/05/2006 27/12/2007

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US

(74)代理人 100130409

弁理士 下山 治

(74)代理人 100134175

弁理士 永川 行光

(74)代理人 100188857

弁理士 木下 智文

(72)発明者 アラヴィンド・モハンラム

アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 01532 ノースバラ フォール・ドライブ 36

Fターム(参考) 5H026 AA06 EE13 HH01 HH05 HH06 HH08