

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7018807号
(P7018807)

(45)発行日 令和4年2月14日(2022.2.14)

(24)登録日 令和4年2月3日(2022.2.3)

(51)国際特許分類

F I

| | | | | |
|---------|-----------------|---------|--------|---------|
| H 0 1 M | 8/1226(2016.01) | H 0 1 M | 8/1226 | |
| B 2 1 D | 53/00 (2006.01) | B 2 1 D | 53/00 | E |
| H 0 1 M | 8/0612(2016.01) | H 0 1 M | 8/0612 | |
| H 0 1 M | 8/12 (2016.01) | H 0 1 M | 8/12 | 1 0 1 |
| B 2 1 D | 28/00 (2006.01) | H 0 1 M | 8/12 | 1 0 2 A |

請求項の数 15 (全25頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2018-70346(P2018-70346)
 (22)出願日 平成30年3月30日(2018.3.30)
 (65)公開番号 特開2019-179756(P2019-179756
 A)
 (43)公開日 令和1年10月17日(2019.10.17)
 審査請求日 令和2年11月19日(2020.11.19)

(73)特許権者 000000284
 大阪瓦斯株式会社
 大阪府大阪市中央区平野町四丁目1番2号
 (74)代理人 110001818
 特許業務法人R & C
 (72)発明者 越後 満秋
 大阪府大阪市中央区平野町四丁目1番2号 大阪瓦斯株式会社内
 (72)発明者 大西 久男
 大阪府大阪市中央区平野町四丁目1番2号 大阪瓦斯株式会社内
 審査官 守安 太郎

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 金属板、電気化学素子、電気化学モジュール、電気化学装置、エネルギーシステム、固体酸化物形燃料電池及び金属板の製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

金属板であって、

前記金属板は、複数の金属薄板を重ねて形成されており、

前記金属薄板は、厚さ方向に貫通する複数の貫通孔を有し、

前記金属板は、複数の前記金属薄板を重ねた状態で、前記金属薄板の前記貫通孔同士が連通する貫通空間を有し、

前記金属薄板の厚さを、前記貫通孔の内径で除した値である金属薄板アスペクト比が2以下であり、

前記金属板の全体の厚さを、前記貫通空間の内径の最小値で除した値である金属板アスペクト比が3以上である、金属板。

【請求項2】

前記貫通空間の内径が、前記貫通空間の内径のうちの前記金属板の表面の側の開口部の内径である、請求項1に記載の金属板。

【請求項3】

複数の前記金属薄板の厚さが同一又は略同一である請求項1又は2に記載の金属板。

【請求項4】

前記金属板は、金属製の板である第1金属薄板と、前記第1金属薄板よりも厚さの大きい金属製の板である第2金属薄板とを含む、複数の金属薄板を重ねて形成されており、前記第1金属薄板は前記第2金属薄板よりも前記金属板の表面の側に配置されている請求項1

から 3 のいずれか 1 項に記載の金属板。

【請求項 5】

複数の前記金属薄板のうち少なくとも 1 枚の前記金属薄板の材料が Fe - Cr 系合金である請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の金属板。

【請求項 6】

前記金属板の表面の少なくとも一部が金属酸化物膜で覆われている請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の金属板。

【請求項 7】

請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の金属板の上に、少なくとも電極層と電解質層と対極電極層とが設けられた電気化学素子。

10

【請求項 8】

前記金属板の厚さ方向に貫通する前記貫通空間の内径としての、前記金属板の表面を構成する第 1 面の側の第 1 開口部の内径及び前記第 1 面とは反対側の第 2 面の側の第 2 開口部の内径のうちで、小さい内径が形成されている側の前記金属板の表面の上に、少なくとも電極層と電解質層と対極電極層とが設けられた請求項 7 に記載の電気化学素子。

【請求項 9】

請求項 7 又は 8 に記載の電気化学素子が複数集合した状態で配置される電気化学モジュール。

【請求項 10】

請求項 9 に記載の電気化学モジュールと改質器とを少なくとも有し、前記電気化学モジュールに対して還元性成分を含有する燃料ガスを供給する燃料供給部を有する電気化学装置。

20

【請求項 11】

請求項 9 に記載の電気化学モジュールと、前記電気化学モジュールから電力を取り出すインバータとを少なくとも有する電気化学装置。

【請求項 12】

請求項 10 又は 11 に記載の電気化学装置と、前記電気化学装置から排出される熱を再利用する排熱利用部とを有するエネルギーシステム。

【請求項 13】

請求項 7 又は 8 に記載の電気化学素子を備え、前記電気化学素子で発電反応を生じさせる固体酸化物形燃料電池。

30

【請求項 14】

請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の金属板を製造する方法であって、
厚さ方向に貫通する複数の貫通孔を有する複数の金属薄板を重ねて、前記金属薄板の前記貫通孔同士が連通する貫通空間を形成し、
前記貫通孔を、パンチング加工、エッチング加工、またはレーザー加工のいずれかにより形成する、金属板の製造方法。

【請求項 15】

請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の金属板を製造する方法であって、
厚さ方向に貫通する複数の貫通孔を有する複数の金属薄板を重ねて、前記金属薄板の前記貫通孔同士が連通する貫通空間を形成し、
金属メッシュもしくはエキスパンドメタルを圧延加工して前記金属薄板を形成する、金属板の製造方法。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、金属板と、その金属板を備えた金属支持型の電気化学素子等に関する。

【背景技術】

【0002】

従来の金属支持型 SOFC において、金属支持体は金属板に多数の孔を開けて構成されている。しかしながら、SOFC として十分な性能を確保しつつ、量産時の加工性やコスト

50

を勘案した最適な孔形状は、未だ見出されていない。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特表2008-525967号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献1では、セル積層時の加工性を勘案した金属支持体の構造が開示されている。特許文献1のセルでは、多数の孔を開けた15 μ m程度の金属箔の上に電極層・電解質層・対極電極層を積層している。このように薄い金属箔では強度が小さいため、セル製造時のハンドリングが極めて困難であり、量産に不向きであった。

10

【0005】

本発明は上述の課題に鑑みてなされたものであり、その目的は、十分な強度と性能を確保しつつ、量産時の加工性とコストを改善した金属板と、その金属板を備えた金属支持型の電気化学素子等を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

〔構成1〕

上記目的を達成するための金属板の特徴構成は、

20

金属板であって、

前記金属板は、複数の金属薄板を重ねて形成されており、

前記金属薄板は、厚さ方向に貫通する複数の貫通孔を有し、

前記金属板は、複数の前記金属薄板を重ねた状態で、前記金属薄板の前記貫通孔同士が連通する貫通空間を有し、

前記金属薄板の厚さを、前記貫通孔の内径で除した値である金属薄板アスペクト比が2以下であり、

前記金属板の全体の厚さを、前記貫通空間の内径の最小値で除した値である金属板アスペクト比が3以上である点にある。

【0007】

30

上記の特徴構成によれば、金属薄板アスペクト比が2以下である金属薄板を重ねて、金属板アスペクト比が3以上である金属板が形成されているから、アスペクト比の大きい金属板を比較的容易に形成できるので好ましい。すなわち上記の特徴構成によれば、金属板に金属板アスペクト比が3以上の貫通空間を形成する際に、一枚の金属板に貫通空間を形成する場合よりも量産時の加工性とコストをより改善することができる。なお、金属板の金属板アスペクト比が3以上であるので、金属板は、十分な強度を有すると共に、貫通空間を介したガス透過性等の十分な性能が確保されている。

なお、金属薄板アスペクト比が1.5以下であるとより好ましく、1以下であると更に好ましい。このようにすることで金属薄板の量産時の加工性とコストをより改善できるからである。また、金属板アスペクト比が5以上であるとより好ましく、10以上であると更に好ましい。このようにすることで金属板としての性能と強度を十分兼ね備えながら、量産時の加工性とコストをより改善できるからである。

40

【0008】

〔構成2〕

本発明に係る金属板の別の特徴構成は、前記貫通空間の内径が、前記貫通空間の内径のうちの前記金属板の表面の側の開口部の内径である点にある。

【0009】

上記の特徴構成によれば、金属板アスペクト比を算出する際の金属板の貫通空間の内径が、貫通空間の内径のうちの金属板の表面の側の開口部の内径であり、かつ、貫通空間の内径の最小値であるから、例えば、金属板を金属支持体として用いる場合等には、金属支持

50

体上への支持対象物の形成が容易でありながら、金属支持体としての十分な強度を有し、かつ、貫通空間を介する支持対象物へのガス透過性等の十分な性能を確保しつつ、量産時の加工性とコストを改善した金属支持体を提供することが可能となる。

【 0 0 1 0 】

〔構成 3〕

金属支持体を形成する複数の前記金属薄板の厚さが同一又は略同一であってもよい。この場合、貫通空間の大きさを適切なものとしつつ、金属板の全体の厚さを確保して強度を十分に保つことができるので、量産時の加工性を向上でき好適である。また、この場合、同一又は略同一の厚さの金属薄板を重ねて接合し、全体の厚さを確保した金属板とすることができるのでコストを改善でき好適である。

10

【 0 0 1 1 】

〔構成 4〕

本発明に係る金属板の別の特徴構成は、前記金属板は、金属製の板である第 1 金属薄板と、前記第 1 金属薄板よりも厚さの大きい金属製の板である第 2 金属薄板とを含む、複数の金属薄板を重ねて形成されており、前記第 1 金属薄板は前記第 2 金属薄板よりも前記金属板の表面の側に配置されている点にある。

【 0 0 1 2 】

上記の特徴構成によれば、金属板が第 1 金属薄板と第 2 金属薄板とを重ねて形成されるから、貫通空間の大きさを適切なものとしつつ、金属板の全体の厚さを確保して強度を十分に保つことができるので、金属板アスペクト比が 3 以上となる金属支持体を形成することが更に容易になり好ましい。

20

【 0 0 1 3 】

〔構成 5〕

本発明に係る金属板の別の特徴構成は、複数の前記金属薄板のうち少なくとも 1 枚の前記金属薄板の材料が Fe - Cr 系合金である点にある。

【 0 0 1 4 】

上記の特徴構成によれば、金属板の耐酸化性と高温強度を向上できる。また、例えば、金属板上に形成される支持対象物（電極層や電解質層などの電気化学素子などの構成要素の材料）と熱膨張係数を近いものにできるので、ヒートサイクル耐久性に優れた構成を実現できるので好ましい。

30

【 0 0 1 5 】

〔構成 6〕

本発明に係る金属板の別の特徴構成は、前記金属板の表面の少なくとも一部が金属酸化物膜で覆われている点にある。

【 0 0 1 6 】

上記の特徴構成によれば、金属酸化物被膜により金属板から Cr 等の成分が拡散することを抑制できる。例えば、金属板の上に電極層等を積層した電気化学素子とする場合には、電極層等の性能低下を抑制し、電気化学素子の性能・耐久性を高めることができる。

【 0 0 1 7 】

〔構成 7〕

上述の金属板の上に、少なくとも電極層と電解質層と対極電極層とが設けられた電気化学素子は、十分な性能を確保しつつ、量産時の加工性とコストを改善したものとなり好適である。更に、強度に優れた金属板の上に電極層や電解質層などの電気化学素子の構成要素を構成するから、電極層や電解質層などの電気化学素子の構成要素を薄層化や薄膜化することが可能なので、電気化学素子の材料コストを低減することが可能となり好適である。

40

【 0 0 1 8 】

〔構成 8〕

上述の電気化学素子は、前記金属板の厚さ方向に貫通する前記貫通空間の内径としての、前記金属板の表面を構成する第 1 面の側の第 1 開口部の内径及び前記第 1 面とは反対側の第 2 面の側の第 2 開口部の内径のうちで、小さい内径が形成されている側の前記金属板の

50

表面の上に、少なくとも電極層と電解質層と対極電極層とが設けられていると、金属板としての金属支持体上への電極層等の形成が容易でありながら、金属支持体としての十分な強度を有し、かつ、貫通空間を介する支持対象物へのガス透過性等の十分な性能を確保しつつ、量産時の加工性とコストを改善した金属支持体を提供することが可能となり好適である。

【 0 0 1 9 】

〔構成 9〕

本発明に係る電気化学モジュールの特徴構成は、上述の電気化学素子が複数集合した状態で配置される点にある。

【 0 0 2 0 】

上記の特徴構成によれば、上述の電気化学素子が複数集合した状態で配置されるので、材料コストと加工コストを抑制しつつ、コンパクトで高性能な、強度と信頼性に優れた電気化学モジュールを得ることができる。

【 0 0 2 1 】

〔構成 1 0〕

本発明に係る電気化学装置の特徴構成は、上述の電気化学モジュールと改質器とを少なくとも有し、前記電気化学モジュールに対して還元性成分を含有する燃料ガスを供給する燃料供給部を有する点にある。

【 0 0 2 2 】

上記の特徴構成によれば、電気化学モジュールと改質器を有し電気化学モジュールに対して還元性成分を含有する燃料ガスを供給する燃料供給部とを有するので、都市ガス等の既存の原燃料供給インフラを用い、耐久性・信頼性および性能に優れた電気化学モジュールを備えた電気化学装置を実現することができる。また、電気化学モジュールから排出される未利用の燃料ガスをリサイクルするシステムを構築し易くなるため、高効率な電気化学装置を実現することができる。

【 0 0 2 3 】

〔構成 1 1〕

本発明に係る電気化学装置の特徴構成は、上述の電気化学モジュールと、前記電気化学モジュールから電力を取り出すインバータとを少なくとも有する点にある。

【 0 0 2 4 】

上記の特徴構成によれば、耐久性・信頼性および性能に優れた電気化学モジュールから得られる電気出力を、インバータによって昇圧したり、直流を交流に変換したりすることができるため、電気化学モジュールで得られる電気出力を利用しやすくなるので好ましい。

【 0 0 2 5 】

〔構成 1 2〕

本発明に係るエネルギーシステムの特徴構成は、上述の電気化学装置と、前記電気化学装置から排出される熱を再利用する排熱利用部とを有する点にある。

【 0 0 2 6 】

上記の特徴構成によれば、電気化学装置と、電気化学装置から排出される熱を再利用する排熱利用部を有するので、耐久性・信頼性および性能に優れ、かつエネルギー効率にも優れたエネルギーシステムを実現することができる。なお、電気化学装置から排出される未利用の燃料ガスの燃焼熱を利用して発電する発電システムと組み合わせてエネルギー効率に優れたハイブリッドシステムを実現することもできる。

【 0 0 2 7 】

〔構成 1 3〕

本発明に係る固体酸化物形燃料電池の特徴構成は、上述の電気化学素子を備え、前記電気化学素子で発電反応を生じさせる点にある。

【 0 0 2 8 】

上記の特徴構成によれば、量産時の加工性とコストを改善し、耐久性・信頼性および性能に優れた電気化学素子を備えた固体酸化物形燃料電池として発電反応を行うことができる

10

20

30

40

50

ので、低コストで高耐久・高性能な固体酸化物形燃料電池を得る事ができる。なお、定格運転時に650以上の温度域で運転可能な固体酸化物形燃料電池であると、都市ガス等の炭化水素系ガスを原燃料とする燃料電池システムにおいて、原燃料を水素に変換する際に必要となる熱を燃料電池の排熱で賄うことが可能なシステムを構築できるため、燃料電池システムの発電効率を高めることができるので、より好ましい。また、定格運転時に900以下の温度域で運転される固体酸化物形燃料電池であると、金属支持型電気化学素子からのCr揮発の抑制効果が高められるのでより好ましく、定格運転時に850以下の温度域で運転される固体酸化物形燃料電池であると、Cr揮発の抑制効果を更に高められるので、より好ましい。

【0029】

〔構成14〕

本発明に係る金属板の製造方法の特徴構成は、上記金属板を製造する方法であって、厚さ方向に貫通する複数の貫通孔を有する複数の金属薄板を重ねて、前記金属薄板の前記貫通孔同士が連通する貫通空間を形成し、前記貫通孔を、パンチング加工、エッチング加工、またはレーザー加工のいずれかにより形成する点にある。

【0030】

上記の特徴構成によれば、貫通孔の形成が容易であり、量産時の加工性とコストを改善でき好ましい。

【0031】

〔構成15〕

本発明に係る金属板の製造方法の特徴構成は、上記金属板を製造する方法であって、厚さ方向に貫通する複数の貫通孔を有する複数の金属薄板を重ねて、前記金属薄板の前記貫通孔同士が連通する貫通空間を形成し、金属メッシュもしくはエキスパンドメタルを圧延加工して前記金属薄板を形成する点にある。

【0032】

上記の特徴構成によれば、貫通孔を有する金属薄板の形成が容易であり、量産時の加工性とコストを改善でき好ましい。

【図面の簡単な説明】

【0033】

【図1】電気化学素子の構成を示す概略図

【図2】電気化学素子および電気化学モジュールの構成を示す概略図

【図3】電気化学装置およびエネルギーシステムの構成を示す概略図

【図4】電気化学モジュールの構成を示す概略図

【図5】金属支持体の構造を示す平面図および断面図

【図6】金属支持体の構造を示す平面図および断面図

【図7】金属支持体の構造を示す平面図および断面図

【発明を実施するための形態】

【0034】

<第1実施形態>

以下、図1を参照しながら、本実施形態に係る電気化学素子Eおよび固体酸化物形燃料電池(Solid Oxide Fuel Cell: SOFC)について説明する。電気化学素子Eは、例えば、水素を含む燃料ガスと空気の供給を受けて発電する固体酸化物形燃料電池の構成要素として用いられる。なお以下、層の位置関係などを表す際、例えば電解質層4から見て対極電極層6の側を「上」または「上側」、電極層2の側を「下」または「下側」という場合がある。また、金属支持体1の表面のうち、電極層2が形成されている側の面を表側面1a、反対側の面を裏側面1bという。

【0035】

(電気化学素子)

10

20

30

40

50

電気化学素子Eは、図1に示される通り、金属支持体1（金属板の一例）と、金属支持体1の上に形成された電極層2と、電極層2の上に形成された中間層3と、中間層3の上に形成された電解質層4とを有する。そして電気化学素子Eは、更に、電解質層4の上に形成された反応防止層5と、反応防止層5の上に形成された対極電極層6とを有する。つまり対極電極層6は電解質層4の上に形成され、反応防止層5は電解質層4と対極電極層6との間に形成されている。電極層2は多孔質であり、電解質層4は緻密である。

【0036】

（金属支持体）

金属支持体1は、電極層2、中間層3および電解質層4等を支持して電気化学素子Eの強度を保つ。つまり金属支持体1は、電気化学素子Eを支持する支持体としての役割を担う。

10

【0037】

金属支持体1の材料としては、電子伝導性、耐熱性、耐酸化性および耐腐食性に優れた材料が用いられる。例えば、フェライト系ステンレス、オーステナイト系ステンレス、ニッケル基合金などが用いられる。特に、クロムを含む合金が好適に用いられる。本実施形態では、金属支持体1は、Crを18質量%以上25質量%以下含有するFe-Cr系合金を用いているが、Mnを0.05質量%以上含有するFe-Cr系合金、Tiを0.15質量%以上1.0質量%以下含有するFe-Cr系合金、Zrを0.15質量%以上1.0質量%以下含有するFe-Cr系合金、TiおよびZrを含有しTiとZrとの合計の含有量が0.15質量%以上1.0質量%以下であるFe-Cr系合金、Cuを0.10質量%以上1.0質量%以下含有するFe-Cr系合金であると特に好適である。

20

【0038】

金属支持体1は全体として板状である。そして金属支持体1は、電極層2が設けられる面を表側面1aとして、表側面1aから裏側面1bへ貫通する複数の貫通空間1c（貫通空間の一例）を有する。貫通空間1cは、金属支持体1の裏側面1bから表側面1aへ気体を透過させる機能を有する。なお、板状の金属支持体1を曲げたりして、例えば箱状、円筒状などの形状に変形させて使用することも可能である。

【0039】

金属支持体1の表面に、拡散抑制層としての金属酸化物層1fが設けられる。すなわち、金属支持体1と後述する電極層2との間に、拡散抑制層が形成されている。金属酸化物層1fは、金属支持体1の外部に露出した面だけでなく、電極層2との接触面（界面）にも設けられる。また、貫通空間1cの内側の面に設けることもできる。この金属酸化物層1fにより、金属支持体1と電極層2との間の元素相互拡散を抑制することができる。例えば、金属支持体1としてクロムを含有するフェライト系ステンレスを用いた場合は、金属酸化物層1fが主にクロム酸化物となる。そして、金属支持体1のクロム原子等が電極層2や電解質層4へ拡散することを、クロム酸化物を主成分とする金属酸化物層1fが抑制する。金属酸化物層1fの厚さは、拡散防止性能の高さと電気抵抗の低さを両立させることのできる厚みであれば良い。

30

金属酸化物層1fは種々の手法により形成されうるが、金属支持体1の表面を酸化させて金属酸化物とする手法が好適に利用される。また、金属支持体1の表面に、金属酸化物層1fをスプレーコーティング法（溶射法やエアロゾルデポジション法、エアロゾルガスデポジション法、パウダージェットデポジション法、パーティクルジェットデポジション法、コールドスプレー法などの方法）、スパッタリング法やPLD法等のPVD法、CVD法などにより形成しても良いし、メッキと酸化処理によって形成しても良い。更に、金属酸化物層1fは導電性の高いスピネル相などを含んでも良い。

40

【0040】

金属支持体1としてフェライト系ステンレス材を用いた場合、電極層2や電解質層4の材料として用いられるYSZ（イットリア安定化ジルコニア）やGDC（ガドリウム・ドーブ・セリア、CGOとも呼ぶ）等と熱膨張係数が近い。従って、低温と高温の温度サイクルが繰り返された場合も電気化学素子Eがダメージを受けにくい。よって、長期耐久性に優れた電気化学素子Eを実現できるので好ましい。

50

【 0 0 4 1 】

(金属支持体および貫通空間の構造)

金属支持体 1 は、1 枚の金属の板により構成することも可能である。また金属支持体 1 を、金属薄板を複数重ねて形成することも可能である。金属支持体 1 を、同一又は略同一の厚さの金属薄板を複数重ねて形成することも可能である。金属支持体 1 を、厚さの異なる金属薄板を複数重ねて形成することも可能である。以下、金属支持体 1 および貫通空間 1 c の構造の例について図面を参照しながら説明する。なお金属酸化物層 1 f については図示を省略する。

【 0 0 4 2 】

< 第 1 例 >

図 5 を参照して、金属支持体 1 が 1 枚の金属の板により構成される例 (第 1 例) について説明する。図 5 に示されるように、金属支持体 1 は、厚さ T の板状の部材であり、すなわち全体として板状である。金属支持体 1 は、表側面 1 a から裏側面 1 b へ貫通する複数の貫通空間 1 c を有する。第 1 例では貫通空間 1 c は、断面が円形の孔である。なお貫通空間 1 c の断面形状は、円形や略円形その他、矩形や三角形、多角形なども可能であり、貫通空間 1 c が形成できれば、金属支持体 1 としての機能を保てる範囲で種々の形状とすることができる。この孔 (貫通空間 1 c) は、レーザー加工、パンチング加工またはエッチング加工のいずれか、もしくは、それらの組合せによって、金属支持体 1 に形成されている。この孔の中心軸は、金属支持体 1 に対して直交している。なお孔 (貫通空間 1 c) の中心軸は、金属支持体 1 に対して傾斜していてもよい。

【 0 0 4 3 】

貫通空間 1 c の表側面 1 a の開口部を、表側開口部 1 d と呼ぶ。貫通空間 1 c の裏側面 1 b の開口部を、裏側開口部 1 e と呼ぶ。貫通空間 1 c の断面が円形の孔であるから、表側開口部 1 d および裏側開口部 1 e は、いずれも円形である。表側開口部 1 d と裏側開口部 1 e とは、同じ大きさであってもよい。裏側開口部 1 e が、表側開口部 1 d より大きくてもよい。表側開口部 1 d の直径を、直径 D とする。

【 0 0 4 4 】

図 5 に示されるように、金属支持体 1 において、複数の孔 (貫通空間 1 c) が、ピッチ P (間隔) にて、直交格子の格子点の位置に形成されている。複数の孔 (貫通空間 1 c) の配置の態様としては、直交格子の他、斜方格子、正三角形の格子も可能であるし、格子点に加えて対角線交点への配置も可能であり、貫通空間が形成できれば、金属支持体としての機能を保てる範囲で種々の配置とすることができる。

【 0 0 4 5 】

金属支持体 1 の表側面 1 a において、貫通空間 1 c が形成されている領域を孔領域 1 g と呼ぶ。孔領域 1 g は、金属支持体 1 の外周近傍を除いた全体に設けられる。1 つの孔領域 1 g が金属支持体 1 に設けられてもよいし、複数の孔領域 1 g が金属支持体 1 に設けられてもよい。

【 0 0 4 6 】

金属支持体 1 は、支持体として電気化学素子 E を形成するのに十分な強度を有することが求められる。金属支持体 1 の厚さ T は、0 . 1 mm 以上が好ましく、0 . 1 5 mm 以上がより好ましく、0 . 2 mm 以上が更に好ましい。金属支持体 1 の厚さ T は、1 . 0 mm 以下が好ましく、0 . 7 5 mm 以下がより好ましく、0 . 5 mm 以下が更に好ましい。

【 0 0 4 7 】

表側開口部 1 d の直径 D は、1 0 μ m 以上が好ましく、1 5 μ m 以上がより好ましく、2 0 μ m 以上が更に好ましい。表側開口部 1 d の直径 D は、6 0 μ m 以下が好ましく、5 0 μ m 以下がより好ましく、4 0 μ m 以下が更に好ましい。

【 0 0 4 8 】

貫通空間 1 c の配置のピッチ P は、0 . 0 5 mm 以上が好ましく、0 . 1 mm 以上がより好ましく、0 . 1 5 mm 以上が更に好ましい。貫通空間 1 c (孔) の配置のピッチ P は、0 . 3 mm 以下が好ましく、0 . 2 5 mm 以下がより好ましく、0 . 2 mm 以下が更に好

10

20

30

40

50

ましい。

【 0 0 4 9 】

貫通空間 1 c の表側開口部 1 d の面積 S は、 $7.0 \times 10^{-5} \text{ mm}^2$ 以上であると好ましく、 $3.0 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$ 以下であると好ましい。

【 0 0 5 0 】

< 第 2 例 >

図 6 を参照して、金属支持体 1 が同一の厚さの金属薄板（金属薄板の一例）を複数重ねて形成する例（第 2 例）について説明する。図 6 に示されるように、第 2 例では、厚さ T 1 の第 1 金属薄板 1 0 と、厚さ T 2 の第 2 金属薄板 2 0 とによって、金属支持体 1 が構成されている。第 1 金属薄板 1 0 と第 2 金属薄板 2 0 とは、同じ厚さである。金属支持体 1 は、第 1 金属薄板 1 0 と第 2 金属薄板 2 0 とを重ねて形成されている。そして金属支持体 1 は、全体として厚さ T の板状の部材となっている。第 1 金属薄板 1 0 と第 2 金属薄板 2 0 とは、例えばスポット溶接や、ろう付け接合、真空接合等の手法により接合されている。なお、第 1 金属薄板 1 0 と第 2 金属薄板 2 0 とは、若干異なる厚さ、つまり、略同一の厚さで構成しても良い。

10

【 0 0 5 1 】

第 1 金属薄板 1 0 は、表側の面である第 1 表側面 1 0 a から、裏側の面である第 1 裏側面 1 0 b へ貫通する複数の第 1 貫通空間 1 0 c（貫通孔の一例）を有する。第 1 貫通空間 1 0 c は、断面が円形の孔である。なお第 1 貫通空間 1 0 c の断面形状は、円形や略円形の他、矩形や三角形も可能である。この孔（第 1 貫通空間 1 0 c）は、レーザー加工またはパンチング加工またはエッチング加工のいずれか、もしくは、それらの組合せによって、第 1 金属薄板 1 0 に形成されている。この孔の中心軸は、第 1 金属薄板 1 0 に対して直交している。なお孔（第 1 貫通空間 1 0 c）の中心軸は、第 1 金属薄板 1 0 に対して傾斜していてもよい。

20

【 0 0 5 2 】

第 1 貫通空間 1 0 c の第 1 表側面 1 0 a の開口部を、第 1 表側開口部 1 0 d と呼ぶ。第 1 貫通空間 1 0 c の第 1 裏側面 1 0 b の開口部を、第 1 裏側開口部 1 0 e と呼ぶ。第 1 貫通空間 1 0 c の断面が円形の孔であるから、第 1 表側開口部 1 0 d および第 1 裏側開口部 1 0 e は、いずれも円形である。第 1 表側開口部 1 0 d と第 1 裏側開口部 1 0 e とは、同じ大きさであってもよい。第 1 裏側開口部 1 0 e が、第 1 表側開口部 1 0 d より大きくてもよい。第 1 表側開口部 1 0 d の直径を、直径 D 1（貫通孔の内径の一例）とする。

30

【 0 0 5 3 】

図 6 に示されるように、第 1 金属薄板 1 0 において、複数の孔（第 1 貫通空間 1 0 c）が、ピッチ P 1（間隔）にて、直交格子の格子点の位置に形成されている。複数の孔（第 1 貫通空間 1 0 c）の配置の態様としては、直交格子の他、斜方格子、正三角形の格子も可能であるし、格子点に加えて対角線交点への配置も可能である。

【 0 0 5 4 】

第 2 金属薄板 2 0 は、表側の面である第 2 表側面 2 0 a から、裏側の面である第 2 裏側面 2 0 b へ貫通する複数の第 2 貫通空間 2 0 c（貫通孔の一例）を有する。第 2 貫通空間 2 0 c は、断面が円形の孔である。なお第 2 貫通空間 2 0 c の断面形状は、円形や略円形の他、矩形や三角形も可能である。この孔（第 2 貫通空間 2 0 c）は、レーザー加工またはパンチング加工またはエッチング加工のいずれか、もしくは、それらの組合せによって、第 2 金属薄板 2 0 に形成されている。この孔の中心軸は、第 2 金属薄板 2 0 に対して直交している。なお孔（第 2 貫通空間 2 0 c）の中心軸は、第 2 金属薄板 2 0 に対して傾斜していてもよい。第 2 例として、第 2 金属薄板 2 0 の第 2 貫通空間 2 0 c の直径と、第 1 金属薄板 1 0 の第 1 貫通空間 1 0 c の直径とが等しい例が示されている。なお第 1 貫通空間 1 0 c の直径と第 2 貫通空間 2 0 c の直径とは異なってもよい。

40

【 0 0 5 5 】

第 2 貫通空間 2 0 c の第 2 表側面 2 0 a の開口部を、第 2 表側開口部 2 0 d と呼ぶ。第 2 貫通空間 2 0 c の第 2 裏側面 2 0 b の開口部を、第 2 裏側開口部 2 0 e と呼ぶ。第 2 貫通

50

空間 20c の断面が円形の孔であるから、第 2 表側開口部 20d および第 2 裏側開口部 20e は、いずれも円形である。第 2 表側開口部 20d と第 2 裏側開口部 20e とは、同じ大きさであってもよい。第 2 裏側開口部 20e が、第 2 表側開口部 20d より大きくてもよい。第 2 表側開口部 20d の直径を、直径 D2 (貫通孔の内径の一例) とする。

【0056】

第 2 例では、第 2 金属薄板 20 の第 2 貫通空間 20c の直径と、第 1 金属薄板 10 の第 1 貫通空間 10c の直径とが等しい。よって、第 1 表側開口部 10d の直径 D1 と、第 2 表側開口部 20d の直径 D2 とが等しい。

【0057】

図 6 に示されるように、第 2 金属薄板 20 において、複数の孔 (第 2 貫通空間 20c) が、ピッチ P2 (間隔) にて、直交格子の格子点の位置に形成されている。複数の孔 (第 2 貫通空間 20c) の配置の態様としては、直交格子の他、斜方格子、正三角形の格子も可能であるし、格子点に加えて対角線交点への配置も可能である。

10

【0058】

第 2 例では、第 2 金属薄板 20 の第 2 貫通空間 20c のピッチ P2 と、第 1 金属薄板 10 の第 1 貫通空間 10c のピッチ P2 とが等しい。そして第 2 金属薄板 20 の第 2 貫通空間 20c と、第 1 金属薄板 10 の第 1 貫通空間 10c とが、上面視で重なるように、第 1 金属薄板 10 と第 2 金属薄板 20 とが重ねて接合されている。したがって、第 1 貫通空間 10c と、第 2 貫通空間 20c とが連通する。第 1 貫通空間 10c と第 2 貫通空間 20c とが連通して、金属支持体 1 の貫通空間 1c が形成されている。

20

【0059】

金属支持体 1 の厚さ T は、第 2 例の形態においては、第 1 金属薄板 10 の厚さ T1 と、第 2 金属薄板 20 の厚さ T2 との合計である。なお 3 枚以上の金属薄板を重ねて金属支持体 1 を形成した場合には、それら金属薄板の厚さの合計が金属支持体 1 の厚さ T となる。第 2 例においても、金属支持体 1 の厚さ T は、0.1 mm 以上が好ましく、0.15 mm 以上がより好ましく、0.2 mm 以上が更に好ましい。金属支持体 1 の厚さ T は、1.0 mm 以下が好ましく、0.75 mm 以下がより好ましく、0.5 mm 以下が更に好ましい。

【0060】

第 2 例の形態においては、第 1 例の形態での表側開口部 1d の直径 D は、第 1 金属薄板 10 の第 1 貫通空間 10c の表側開口部 10d の直径 D1 (貫通空間の内径のうちの金属板の表面の側の開口部の内径の一例) がこれに相当する。第 1 金属薄板 10 の第 1 表側面 10a が、第 1 例の形態での金属支持体 1 の表側面 1a に相当するからである。第 2 例の金属支持体 1 を用いて電気化学素子 E を構成した場合、第 1 金属薄板 10 の第 1 表側面 10a の上に、電極層 2 が形成される。第 2 例においても、表側開口部 10d の直径 D1 は、10 μm 以上が好ましく、15 μm 以上がより好ましく、20 μm 以上が更に好ましい。表側開口部 10d の直径 D1 は、60 μm 以下が好ましく、50 μm 以下がより好ましく、40 μm 以下が更に好ましい。

30

【0061】

第 2 例の形態においては、貫通空間 1c の配置のピッチ P は、第 1 金属薄板 10 の第 1 貫通空間 10c のピッチ P1 がこれに相当する。第 1 金属薄板 10 の第 1 表側面 10a が、第 1 例の形態での金属支持体 1 の表側面 1a に相当するからである。第 2 例の金属支持体 1 を用いて電気化学素子 E を構成した場合、第 1 金属薄板 10 の第 1 表側面 10a の上に、電極層 2 が形成される。第 2 例においても、貫通空間 10c (孔) の配置のピッチ P は、0.05 mm 以上が好ましく、0.1 mm 以上がより好ましく、0.15 mm 以上が更に好ましい。貫通空間 10c (孔) の配置のピッチ P は、0.3 mm 以下が好ましく、0.25 mm 以下がより好ましく、0.2 mm 以下が更に好ましい。

40

【0062】

第 2 例の形態においては、第 1 例の形態での貫通空間 1c の表側開口部 1d の面積 S は、第 1 金属薄板 10 の第 1 表側開口部 10d の面積 S1 がこれに相当する。第 1 金属薄板 10 の第 1 表側面 10a が、第 1 例の形態での金属支持体 1 の表側面 1a に相当するからで

50

ある。第2例の金属支持体1を用いて電気化学素子Eを構成した場合、第1金属薄板10の第1表側面10aの上に、電極層2が形成される。第2例においても、貫通空間10cの表側開口部10dの面積 S_1 は、 $7.0 \times 10^{-5} \text{ mm}^2$ 以上であると好ましく、 $3.0 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$ 以下であると好ましい。

【0063】

金属薄板の厚さを、貫通孔の内径で除した値を、金属薄板アスペクト比と定義する。

つまり、第1金属薄板10の場合には、第1金属薄板10の厚さ T_1 を、第1貫通空間10cの直径(内径)で除した値が、第1金属薄板10の金属薄板アスペクト比となり、第2金属薄板20の場合には、第2金属薄板20の厚さ T_2 を、第2貫通空間20cの直径(内径)で除した値が、第2金属薄板20の金属薄板アスペクト比となる。第1貫通空間10c及び第2貫通空間20cの断面形状が円形でない場合には、第1貫通空間10c及び第2貫通空間20cの直径(内径)は、各貫通空間を形成する貫通孔の断面積と同面積の円の直径を用いることができる。

また、第1貫通空間10c及び第2貫通空間20cを形成する貫通孔の直径(内径)が第1金属薄板10及び第2金属薄板20の厚さ方向で異なる場合には、各貫通孔の直径の最大値を用いて、各金属薄板アスペクト比を算出すると好適である。

【0064】

金属支持体1の全体の板厚を、貫通空間1cの内径の最小値で除した値を、金属板アスペクト比と定義する。貫通空間1cの断面形状が円形でない場合には、貫通空間1cの直径(内径)は、貫通空間1cを形成する貫通孔の断面積と同面積の円の直径を用いることができる。

なお、貫通空間1cを形成する貫通孔の直径(内径)が金属支持体1の厚さ方向で異なる場合でも、貫通空間1cの直径(内径)のうちで最小値を用いて金属板アスペクト比を算出する。

本実施形態に係る金属支持体1は、金属薄板アスペクト比が2以下である金属薄板を複数重ねて形成される。そして形成された金属支持体1の金属板アスペクト比が、3以上となる。

【0065】

以上説明した第2例の形態では、例えば第1金属薄板10の厚さ T_1 を $100 \mu\text{m}$ 、第1表側開口部10dの直径 D_1 を $50 \mu\text{m}$ とする。同様に第2金属薄板20の厚さ T_2 を $100 \mu\text{m}$ 、第2表側開口部20dの直径 D_2 を $50 \mu\text{m}$ とする。第1金属薄板10および第2金属薄板20の各金属薄板アスペクト比は、 $100 / 50 = 2$ となり、2以下である。

【0066】

上述の寸法の第1金属薄板10と第2金属薄板20とを重ねて金属支持体1を形成すると、金属板アスペクト比は、 $(100 + 100) / 50 = 4$ となり、3以上となる。

なお、金属板アスペクト比の算出の際に用いた貫通空間1cの直径(内径)は、貫通空間1cの直径(内径)の最小値である第1表側開口部10dの直径 D_1 を用いた。

【0067】

なお、第1金属薄板10や第2金属薄板20を、金属メッシュもしくはエキスパンドメタルを圧延加工して板状に加工した金属薄板としてもよい。金属メッシュとは、金属の細線を編んで形成されたシート状の部材であり、その編まれた細線の間を有し、その空間が金属メッシュを厚さ方向に貫通する部分(貫通孔)を有しているが、金属メッシュを圧延加工して板状に加工したものは、厚さ方向に貫通する貫通孔を有する金属薄板とすることができる。また、エキスパンドメタルとは、金属の板に切れ目を入れて拡げて、その切れ目を菱形や亀甲形にしたシート状の部材であり、切れ目が拡げられて菱形や亀甲形になった部分が、エキスパンドメタルを厚さ方向に貫通する部分(貫通孔)となるので、エキスパンドメタルを圧延加工して板状に加工したものは、厚さ方向に貫通する貫通孔を有する金属薄板とすることができる。なお、これらの場合、貫通孔の形状は種々の形態をとるが、金属メッシュもしくはエキスパンドメタルを圧延加工して得た金属薄板の表面における貫通孔の開口部の各面積と同面積の円の直径を算出して、その貫通孔の直径(内

10

20

30

40

50

径)とすることができる。

【0068】

<第3例>

図7を参照して、金属支持体1が異なる厚さの金属薄板(金属薄板の一例)を複数重ねて形成される例(第3例)について説明する。第3例に係る金属支持体1は、第2例に係る金属支持体1の各所の寸法の関係を変更したものである。以下の第3例の説明では、第2例と同様の部材については同一の符号を付し、説明を省略する場合がある。

【0069】

図7に示されるように、第3例では、厚さ T_1 の第1金属薄板10と、厚さ T_2 の第2金属薄板20とによって、金属支持体1が構成されている。第1金属薄板10と第2金属薄板20とは、異なる厚さであって、第2金属薄板20は第1金属薄板10よりも厚さが大きい。図7に示すとおり第3例では、例えば厚さ T_2 は、厚さ T_1 の約5倍である。

10

【0070】

第3例では、第2表側開口部20dの直径 D_2 と、第1表側開口部10dの直径 D_1 とは、異なる値となっている。第2表側開口部20dの直径 D_2 は、第1表側開口部10dの直径 D_1 よりも大きく、例えば第1表側開口部10dの直径 D_1 の約8倍である。

【0071】

第3例では、第1金属薄板10の第1貫通空間10c(貫通孔の一例)と第2金属薄板20の第2貫通空間20c(貫通孔の一例)は、いずれも直交格子の格子点の位置に形成されている。しかしそれらの配置ピッチ、すなわち第1貫通空間10cのピッチ P_1 と第2貫通空間20cのピッチ P_2 とは、異なる値となっている。第2貫通空間20cのピッチ P_2 は、第1貫通空間10cのピッチ P_1 よりも大きく、例えばピッチ P_1 の4倍である。

20

【0072】

そうすると第3例の金属支持体1では、図7に示されるように、1つの第2貫通空間20cと、4つの第1貫通空間10cとが連通することになる。すなわち第2例と同様に第3例においても、第1貫通空間10cと第2貫通空間20cとが連通して、第1例の形態での金属支持体1の貫通空間1cが形成されている。

【0073】

第3例の形態においても、第2例と同様に、第1例の形態での表側開口部1dの直径 D は、第1金属薄板10の第1貫通空間10cの直径 D_1 がこれに相当する。第1金属薄板10の第1表側面10aが、第1例の形態での金属支持体1の表側面1aに相当するからである。第3例の金属支持体1を用いて電気化学素子Eを構成した場合、第1金属薄板10の第1表側面10aの上に、電極層2が形成される。第3例においても、表側開口部10dの直径 D_1 は、 $10\mu\text{m}$ 以上が好ましく、 $15\mu\text{m}$ 以上がより好ましく、 $20\mu\text{m}$ 以上が更に好ましい。表側開口部10dの直径 D_1 は、 $60\mu\text{m}$ 以下が好ましく、 $50\mu\text{m}$ 以下がより好ましく、 $40\mu\text{m}$ 以下が更に好ましい。

30

【0074】

第3例の形態においても、第2例と同様に、第1例の形態での貫通空間1cの配置のピッチ P は、第1金属薄板10の第1貫通空間10cのピッチ P_1 がこれに相当する。第1金属薄板10の第1表側面10aが、第1例の形態での金属支持体1の表側面1aに相当するからである。第3例の金属支持体1を用いて電気化学素子Eを構成した場合、第1金属薄板10の第1表側面10aの上に、電極層2が形成される。第3例においても、貫通空間10c(孔)の配置のピッチ P_1 は、 0.05mm 以上が好ましく、 0.1mm 以上がより好ましく、 0.15mm 以上が更に好ましい。貫通空間10c(孔)の配置のピッチ P_1 は、 0.3mm 以下が好ましく、 0.25mm 以下がより好ましく、 0.2mm 以下が更に好ましい。

40

【0075】

第3例の形態においても、第2例と同様に、第1例の形態での貫通空間1cの表側開口部1dの面積 S は、第1金属薄板10の第1表側開口部10dの面積 S_1 がこれに相当する。第1金属薄板10の第1表側面10aが、第1例の形態での金属支持体1の表側面1a

50

に相当するからである。第3例の金属支持体1を用いて電気化学素子Eを構成した場合、第1金属薄板10の第1表側面10aの上に、電極層2が形成される。第3例においても、貫通空間10cの表側開口部10dの面積 S_1 は、 $7.0 \times 10^{-5} \text{ mm}^2$ 以上であると好ましく、 $3.0 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$ 以下であると好ましい。

【0076】

以上説明した第3例の形態では、例えば第1金属薄板10の厚さ T_1 を $100 \mu\text{m}$ 、第1表側開口部10dの直径 D_1 を $50 \mu\text{m}$ とする。第1金属薄板10の金属薄板アスペクト比は、 $100 / 50 = 2$ となり、2以下である。第2金属薄板20の厚さ T_2 を $200 \mu\text{m}$ 、第2表側開口部20dの直径 D_2 を $100 \mu\text{m}$ とする。第2金属薄板20の金属薄板アスペクト比は、 $200 / 100 = 2$ となり、2以下である。

10

金属薄板アスペクト比の算出方法は、第2例と同様に行うことができる。

【0077】

上述の寸法の第1金属薄板10と第2金属薄板20とを重ねて金属支持体1を形成すると、金属板アスペクト比は、 $(100 + 200) / 50 = 6$ となり、3以上となる。

金属板アスペクト比の算出方法は、第2例と同様に行うことができるが、第3例では、貫通空間1cを形成する第1貫通空間10cの直径 D_1 と第2貫通空間20cの直径 D_2 とが異なる直径(内径)を有するので、貫通空間1cの直径(内径)が貫通空間1cのうちで最小値となる第1貫通空間10cの第1表側開口部10dの直径 D_1 を用いて、金属板アスペクト比を算出している。これにより、金属板アスペクト比を算出する際の貫通空間1cの内径として、貫通空間1cの直径(内径)のうちの金属支持体1の表面の側の開口部の内径であり、かつ、貫通空間1cの内径の最小値を用いていることとなる。

20

なお、第3例では、第1貫通空間10cの直径 D_1 と第2貫通空間20cの直径 D_2 との大きさを比較すると、直径 D_1 の方が小さい。このため、第1貫通空間10cの第1表側開口部10d(直径 D_1)が形成される表側面1aの上に、後述する電極層2等(支持対象物の一例)が設けられるようにすると、電極層2の形成が容易になるので好ましい。

【0078】

なお、第1金属薄板10や第2金属薄板20を、上述の金属メッシュもしくはエキスパンドメタルを圧延加工して得た金属薄板とすることも可能である。

【0079】

(電極層)

30

電極層2は、図1に示すように、金属支持体1の表側の面であって貫通空間1cが設けられた領域より大きな領域に、薄層の状態で設けることができる。薄層とする場合は、その厚さを、例えば、 $1 \mu\text{m} \sim 100 \mu\text{m}$ 程度、好ましくは、 $5 \mu\text{m} \sim 50 \mu\text{m}$ とすることができる。このような厚さにすると、高価な電極層材料の使用量を低減してコストダウンを図りつつ、十分な電極性能を確保することが可能となる。貫通空間1cが設けられた領域の全体が、電極層2に覆われている。つまり、貫通空間1cは金属支持体1における電極層2が形成された領域の内側に形成されている。換言すれば、全ての貫通空間1cが電極層2に面して設けられている。

【0080】

電極層2の材料としては、例えばNiO-GDC、Ni-GDC、NiO-YSZ、Ni-YSZ、CuO-CeO₂、Cu-CeO₂などの複合材を用いることができる。これらの例では、GDC、YSZ、CeO₂を複合材の骨材と呼ぶことができる。なお、電極層2は、低温焼成法(例えば1100より高い高温域での焼成処理をしない低温域での焼成処理を用いる湿式法)やスプレーコーティング法(溶射法やエアロゾルデポジション法、エアロゾルガスデポジッション法、パウダージェットデポジッション法、パーティクルジェットデポジション法、コールドスプレー法などの方法)、PVD法(スパッタリング法やパルスレーザーデポジション法など)、CVD法などにより形成することが好ましい。これらの、低温域で使用可能なプロセスにより、例えば1100より高い高温域での焼成を用いずに、良好な電極層2が得られる。そのため、金属支持体1を傷めることなく、また、金属支持体1と電極層2との元素相互拡散を抑制することができ、耐久性に優れ

40

50

た電気化学素子を実現できるので好ましい。更に、低温焼成法を用いると、原材料のハンドリングが容易になるので更に好ましい。

【0081】

電極層2は、気体透過性を持たせるため、その内部および表面に複数の細孔を有する。すなわち電極層2は、多孔質な層として形成される。電極層2は、例えば、その緻密度が30%以上80%未満となるように形成される。細孔のサイズは、電気化学反応を行う際に円滑な反応が進行するのに適したサイズを適宜選ぶことができる。なお緻密度とは、層を構成する材料の空間に占める割合であって、 $(1 - \text{空孔率})$ と表すことができ、また、相対密度と同等である。

【0082】

(中間層)

中間層3(挿入層)は、図1に示すように、電極層2を覆った状態で、電極層2の上に薄層の状態形成することができる。薄層とする場合は、その厚さを、例えば、 $1\mu\text{m} \sim 100\mu\text{m}$ 程度、好ましくは $2\mu\text{m} \sim 50\mu\text{m}$ 程度、より好ましくは $4\mu\text{m} \sim 25\mu\text{m}$ 程度とすることができる。このような厚さにすると、高価な中間層材料の使用量を低減してコストダウンを図りつつ、十分な性能を確保することが可能となる。中間層3の材料としては、例えば、YSZ(イットリア安定化ジルコニア)、SSZ(スカンジウム安定化ジルコニア)やGDC(ガドリウム・ドープ・セリア)、YDC(イットリウム・ドープ・セリア)、SDC(サマリウム・ドープ・セリア)等を用いることができる。特にセリア系のセラミックスが好適に用いられる。

【0083】

中間層3は、低温焼成法(例えば1100より高い高温域での焼成処理をしない低温域での焼成処理を用いる湿式法)やスプレーコーティング法(溶射法やエアロゾルデポジション法、エアロゾルガスデポジション法、パウダージェットデポジション法、パーティクルジェットデポジション法、コールドスプレー法などの方法)、PVD法(スパッタリング法、パルスレーザーデポジション法など)、CVD法などにより形成することが好ましい。これらの、低温域で使用可能な成膜プロセスにより、例えば1100より高い高温域での焼成を用いずに中間層3が得られる。そのため、金属支持体1を傷めることなく、金属支持体1と電極層2との元素相互拡散を抑制することができ、耐久性に優れた電気化学素子Eを実現できる。また、低温焼成法を用いると、原材料のハンドリングが容易になるので更に好ましい。

【0084】

中間層3としては、酸素イオン(酸化物イオン)伝導性を有することが好ましい。また、酸素イオン(酸化物イオン)と電子との混合伝導性を有すると更に好ましい。これらの性質を有する中間層3は、電気化学素子Eへの適用に適している。

【0085】

(電解質層)

電解質層4は、図1に示すように、電極層2および中間層3を覆った状態で、中間層3の上に薄層の状態形成される。また、厚さが $10\mu\text{m}$ 以下の薄膜の状態形成することもできる。詳しくは電解質層4は、図1に示すように、中間層3の上と金属支持体1の上とにわたって(跨って)設けられる。このように構成し、電解質層4を金属支持体1に接合することで、電気化学素子全体として堅牢性に優れたものとすることができる。

【0086】

また電解質層4は、図1に示すように、金属支持体1の表側の面であって貫通空間1cが設けられた領域より大きな領域に設けられる。つまり、貫通空間1cは金属支持体1における電解質層4が形成された領域の内側に形成されている。

【0087】

また電解質層4の周囲においては、電極層2および中間層3からのガスのリークを抑制することができる。説明すると、電気化学素子EをSOFCの構成要素として用いる場合、SOFCの作動時には、金属支持体1の裏側から貫通空間1cを通じて電極層2へガスが

10

20

30

40

50

供給される。電解質層 4 が金属支持体 1 に接している部位においては、ガスケット等の別部材を設けることなく、ガスのリークを抑制することができる。なお、本実施形態では電解質層 4 によって電極層 2 の周囲をすべて覆っているが、電極層 2 および中間層 3 の上部に電解質層 4 を設け、周囲にガスケット等を設ける構成としてもよい。

【0088】

電解質層 4 の材料としては、YSZ（イットリア安定化ジルコニア）、SSZ（スカンジウム安定化ジルコニア）や GDC（ガドリウム・ドープ・セリア）、YDC（イットリウム・ドープ・セリア）、SDC（サマリウム・ドープ・セリア）、LSGM（ストロンチウム・マグネシウム添加ランタンゲレート）等を用いることができる。特にジルコニア系のセラミックスが好適に用いられる。電解質層 4 をジルコニア系セラミックスとすると、電気化学素子 E を用いた SOFC の稼働温度をセリア系セラミックスに比べて高くすることができる。例えば電気化学素子 E を SOFC に用いる場合、電解質層 4 の材料として YSZ のような 650 程度以上の高温域でも高い電解質性能を発揮できる材料を用い、システムの原燃料に都市ガスや LPG 等の炭化水素系の原燃料を用い、原燃料を水蒸気改質等によって SOFC のアノードガスとするシステム構成とすると、SOFC のセルスタックで生じる熱を原燃料ガスの改質に用いる高効率な SOFC システムを構築することができる。

10

【0089】

電解質層 4 は、低温焼成法（例えば 1100 を越える高温域での焼成処理をしない低温域での焼成処理を用いる湿式法）やスプレーコーティング法（溶射法やエアロゾルデポジション法、エアロゾルガスデポジッション法、パウダージェットデポジッション法、パーティクルジェットデポジション法、コールドスプレー法などの方法）、PVD 法（スパッタリング法、パルスレーザーデポジション法など）、CVD 法などにより形成することが好ましい。これらの、低温域で使用可能な成膜プロセスにより、例えば 1100 を越える高温域での焼成を用いずに、緻密で気密性およびガスバリア性の高い電解質層 4 が得られる。そのため、金属支持体 1 の損傷を抑制し、また、金属支持体 1 と電極層 2 との元素相互拡散を抑制することができ、性能・耐久性に優れた電気化学素子 E を実現できる。特に、低温焼成法やスプレーコーティング法などを用いると低コストな素子可以实现できるので好ましい。更に、スプレーコーティング法を用いると、緻密で気密性およびガスバリア性の高い電解質層が低温域で容易に得られやすいので更に好ましい。

20

30

【0090】

電解質層 4 は、アノードガスやカソードガスのガスリークを遮蔽し、かつ、高いイオン伝導性を発現するために、緻密に構成される。電解質層 4 の緻密度は 90% 以上が好ましく、95% 以上であるとより好ましく、98% 以上であると更に好ましい。電解質層 4 は、均一な層である場合は、その緻密度が 95% 以上であると好ましく、98% 以上であるとより好ましい。また、電解質層 4 が、複数の層状に構成されているような場合は、そのうちの少なくとも一部が、緻密度が 98% 以上である層（緻密電解質層）を含んでいると好ましく、99% 以上である層（緻密電解質層）を含んでいるとより好ましい。このような緻密電解質層が電解質層の一部に含まれていると、電解質層が複数の層状に構成されている場合であっても、緻密で気密性およびガスバリア性の高い電解質層を形成しやすくなるからである。

40

【0091】

（反応防止層）

反応防止層 5 は、電解質層 4 の上に薄層の状態に形成することができる。薄層とする場合は、その厚さを、例えば、1 μm ~ 100 μm 程度、好ましくは 2 μm ~ 50 μm 程度、より好ましくは 3 μm ~ 15 μm 程度とすることができる。このような厚さにすると、高価な反応防止層材料の使用量を低減してコストダウンを図りつつ、十分な性能を確保することが可能となる。反応防止層 5 の材料としては、電解質層 4 の成分と対極電極層 6 の成分との間の反応を防止できる材料であれば良い。例えばセリア系材料等が用いられる。また反応防止層 5 の材料として、Sm、Gd および Y からなる群から選ばれる元素のうち少

50

なくとも1つを含有する材料が好適に用いられる。なお、Sm、GdおよびYからなる群から選ばれる元素のうち少なくとも1つを含有し、これら元素の含有率の合計が1.0質量%以上10質量%以下であるとよい。反応防止層5を電解質層4と対極電極層6との間に導入することにより、対極電極層6の構成材料と電解質層4の構成材料との反応が効果的に抑制され、電気化学素子Eの性能の長期安定性を向上できる。反応防止層5の形成は、1100以下の処理温度で形成できる方法を適宜用いて行うと、金属支持体1の損傷を抑制し、また、金属支持体1と電極層2との元素相互拡散を抑制でき、性能・耐久性に優れた電気化学素子Eを実現できるので好ましい。例えば、低温焼成法（例えば1100を越える高温域での焼成処理をしない低温域での焼成処理を用いる湿式法）、スプレーコーティング法（溶射法やエアロゾルデポジション法、エアロゾルガスデポジション法、パウダージェットデポジション法、パーティクルジェットデポジション法、コールドスプレー法などの方法）、PVD法（スパッタリング法、パルスレーザーデポジション法など）、CVD法などを適宜用いて行うことができる。特に、低温焼成法やスプレーコーティング法などを用いると低コストな素子を実現できるので好ましい。更に、低温焼成法を用いると、原材料のハンドリングが容易になるので更に好ましい。

【0092】

（対極電極層）

対極電極層6は、電解質層4もしくは反応防止層5の上に薄層の状態で作成することができる。薄層とする場合は、その厚さを、例えば、1 μm ～100 μm 程度、好ましくは、5 μm ～50 μm とすることができる。このような厚さにすると、高価な対極電極層材料の使用量を低減してコストダウンを図りつつ、十分な電極性能を確保することが可能となる。対極電極層6の材料としては、例えば、LSCF、LSM等の複合酸化物、セリア系酸化物およびこれらの混合物を用いることができる。特に対極電極層6が、La、Sr、Sm、Mn、CoおよびFeからなる群から選ばれる2種類以上の元素を含有するペロブスカイト型酸化物を含むことが好ましい。以上の材料を用いて構成される対極電極層6は、カソードとして機能する。

【0093】

なお、対極電極層6の形成は、1100以下の処理温度で形成できる方法を適宜用いて行うと、金属支持体1の損傷を抑制し、また、金属支持体1と電極層2との元素相互拡散を抑制でき、性能・耐久性に優れた電気化学素子Eを実現できるので好ましい。例えば、低温焼成法（例えば1100を越える高温域での焼成処理をしない低温域での焼成処理を用いる湿式法）、スプレーコーティング法（溶射法やエアロゾルデポジション法、エアロゾルガスデポジション法、パウダージェットデポジション法、パーティクルジェットデポジション法、コールドスプレー法などの方法）、PVD法（スパッタリング法、パルスレーザーデポジション法など）、CVD法などを適宜用いて行うことができる。特に、低温焼成法やスプレーコーティング法などを用いると低コストな素子を実現できるので好ましい。更に、低温焼成法を用いると、原材料のハンドリングが容易になるので更に好ましい。

【0094】

（固体酸化物形燃料電池）

以上のように電気化学素子Eを構成することで、電気化学素子Eを固体酸化物形燃料電池の発電セルとして用いることができる。例えば、金属支持体1の裏側の面から貫通空間1cを通じて水素を含む燃料ガスを電極層2へ供給し、電極層2の対極となる対極電極層6へ空気を供給し、例えば、500以上900以下の温度で作動させる。そうすると、対極電極層6において空気に含まれる酸素 O_2 が電子 e^- と反応して酸素イオン O^{2-} が生成される。その酸素イオン O^{2-} が電解質層4を通過して電極層2へ移動する。電極層2においては、供給された燃料ガスに含まれる水素 H_2 が酸素イオン O^{2-} と反応し、水 H_2O と電子 e^- が生成される。以上の反応により、電極層2と対極電極層6との間に起電力が発生する。この場合、電極層2はSOFCの燃料極（アノード）として機能し、対極電極層6は空気極（カソード）として機能する。

10

20

30

40

50

【 0 0 9 5 】

(電気化学素子の製造方法)

次に、電気化学素子Eの製造方法について説明する。

【 0 0 9 6 】

(電極層形成ステップ)

電極層形成ステップでは、金属支持体1の表側の面の貫通空間1cが設けられた領域より広い領域に電極層2が薄膜の状態で作成される。金属支持体1の貫通孔はレーザー加工等によって設けることができる。電極層2の形成は、上述したように、低温焼成法(1100以下の低温域での焼成処理を行う湿式法)、スプレーコーティング法(溶射法やエアロゾルデポジション法、エアロゾルガスデポジション法、パウダージェットデポジション法、パーティクルジェットデポジション法、コールドスプレー法などの方法)、PVD法(スパッタリング法、パルスレーザーデポジション法など)、CVD法などの方法を用いることができる。いずれの方法を用いる場合であっても、金属支持体1の劣化を抑制するため、1100以下の温度で行うことが望ましい。

10

【 0 0 9 7 】

電極層形成ステップを低温焼成法で行う場合には、具体的には以下の例のように行う。

まず電極層2の材料粉末と溶媒(分散媒)とを混合して材料ペーストを作成し、金属支持体1の表側の面に塗布する。そして電極層2を圧縮成形し(電極層平滑化工程)、1100以下で焼成する(電極層焼成工程)。電極層2の圧縮成形は、例えば、CIP(Cold Isostatic Pressing、冷間静水圧加圧)成形、ロール加圧成形、RIP(Rubber Isostatic Pressing)成形などにより行うことができる。また、電極層の焼成は、800以上1100以下の温度で行うと好適である。また、電極層平滑化工程と電極層焼成工程の順序を入れ替えることもできる。

20

なお、中間層3を有する電気化学素子を形成する場合には、電極層平滑化工程や電極層焼成工程を省いたり、電極層平滑化工程や電極層焼成工程を後述する中間層平滑化工程や中間層焼成工程に含めることもできる。

なお、電極層平滑化工程は、ラップ成形やレベリング処理、表面の切削・研磨処理などを施すことによって行うこともできる。

【 0 0 9 8 】

(拡散抑制層形成ステップ)

上述した電極層形成ステップにおける焼成工程時に、金属支持体1の表面に金属酸化物層1f(拡散抑制層)が形成される。なお、上記焼成工程に、焼成雰囲気酸素分圧が低い雰囲気条件とする焼成工程が含まれていると元素の相互拡散抑制効果が高く、抵抗値の低い良質な金属酸化物層1f(拡散抑制層)が形成されるので好ましい。電極層形成ステップを、焼成を行わないコーティング方法とする場合を含め、別途の拡散抑制層形成ステップを含めても良い。いずれにおいても、金属支持体1の損傷を抑制可能な1100以下の処理温度で実施することが望ましい。また、後述する中間層形成ステップにおける焼成工程時に、金属支持体1の表面に金属酸化物層1f(拡散抑制層)が形成されても良い。

30

【 0 0 9 9 】

(中間層形成ステップ)

中間層形成ステップでは、電極層2を覆う形態で、電極層2の上に中間層3が薄層の状態で作成される。中間層3の形成は、上述したように、低温焼成法(1100以下の低温域での焼成処理を行う湿式法)、スプレーコーティング法(溶射法やエアロゾルデポジション法、エアロゾルガスデポジション法、パウダージェットデポジション法、パーティクルジェットデポジション法、コールドスプレー法などの方法)、PVD法(スパッタリング法、パルスレーザーデポジション法など)、CVD法などの方法を用いることができる。いずれの方法を用いる場合であっても、金属支持体1の劣化を抑制するため、1100以下の温度で行うことが望ましい。

40

【 0 1 0 0 】

中間層形成ステップを低温焼成法で行う場合には、具体的には以下の例のように行う。

50

まず、中間層 3 の材料粉末と溶媒（分散媒）とを混合して材料ペーストを作成し、金属支持体 1 の表側の面に塗布する。そして中間層 3 を圧縮成形し（中間層平滑化工程）、1100 以下で焼成する（中間層焼成工程）。中間層 3 の圧延は、例えば、CIP（Cold Isostatic Pressing、冷間静水圧加圧）成形、ロール加圧成形、RIP（Rubber Isostatic Pressing）成形などにより行うことができる。また、中間層 3 の焼成は、800 以上 1100 以下の温度で行うと好適である。このような温度であると、金属支持体 1 の損傷・劣化を抑制しつつ、強度の高い中間層 3 を形成できるためである。また、中間層 3 の焼成を 1050 以下で行うとより好ましく、1000 以下で行うと更に好ましい。これは、中間層 3 の焼成温度を低下させる程に、金属支持体 1 の損傷・劣化をより抑制しつつ、電気化学素子 E を形成できるからである。また、中間層平滑化工程と中間層焼成工程の順序を入れ替えることもできる。なお、中間層平滑化工程は、ラップ成形やレベリング処理、表面の切削・研磨処理などを施すことによって行うこともできる。

10

【0101】

（電解質層形成ステップ）

電解質層形成ステップでは、電極層 2 および中間層 3 を覆った状態で、電解質層 4 が中間層 3 の上に薄層の状態で作成される。また、厚さが 10 μm 以下の薄膜の状態で作成されても良い。電解質層 4 の形成は、上述したように、低温焼成法（1100 以下の低温域での焼成処理を行う湿式法）、スプレーコーティング法（溶射法やエアロゾルデポジション法、エアロゾルガスデポジション法、パウダージェットデポジション法、パーティクルジェットデポジション法、コールドスプレー法などの方法）、PVD法（スパッタリング法、パルスレーザーデポジション法など）、CVD法などの方法を用いることができる。いずれの方法を用いる場合であっても、金属支持体 1 の劣化を抑制するため、1100 以下の温度で行うことが望ましい。

20

【0102】

緻密で気密性およびガスバリア性能の高い、良質な電解質層 4 を 1100 以下の温度域で形成するためには、電解質層形成ステップをスプレーコーティング法で行うことが望ましい。その場合、電解質層 4 の材料を金属支持体 1 上の中間層 3 に向けて噴射し、電解質層 4 を形成する。

30

【0103】

（反応防止層形成ステップ）

反応防止層形成ステップでは、反応防止層 5 が電解質層 4 の上に薄層の状態で作成される。反応防止層 5 の形成は、上述したように、低温焼成法（1100 以下の低温域での焼成処理を行う湿式法）、スプレーコーティング法（溶射法やエアロゾルデポジション法、エアロゾルガスデポジション法、パウダージェットデポジション法、パーティクルジェットデポジション法、コールドスプレー法などの方法）、PVD法（スパッタリング法、パルスレーザーデポジション法など）、CVD法などの方法を用いることができる。いずれの方法を用いる場合であっても、金属支持体 1 の劣化を抑制するため、1100 以下の温度で行うことが望ましい。なお反応防止層 5 の上側の面を平坦にするために、例えば反応防止層 5 の形成後にレベリング処理や表面を切削・研磨処理を施したり、湿式形成後焼成前に、プレス加工を施してもよい。

40

【0104】

（対極電極層形成ステップ）

対極電極層形成ステップでは、対極電極層 6 が反応防止層 5 の上に薄層の状態で作成される。対極電極層 6 の形成は、上述したように、低温焼成法（1100 以下の低温域での焼成処理を行う湿式法）、スプレーコーティング法（溶射法やエアロゾルデポジション法、エアロゾルガスデポジション法、パウダージェットデポジション法、パーティクルジェットデポジション法、コールドスプレー法などの方法）、PVD法（スパッタリング法、パルスレーザーデポジション法など）、CVD法などの方法を用いることができる。いずれの方法を用いる場合であっても、金属支持体 1 の劣化を抑制するため、1100

50

以下の温度で行うことが望ましい。

【0105】

以上の様にして、電気化学素子Eを製造することができる。

【0106】

なお電気化学素子Eにおいて、中間層3（挿入層）と反応防止層5とは、何れか一方、あるいは両方を備えない形態とすることも可能である。すなわち、電極層2と電解質層4とが接触して形成される形態、あるいは電解質層4と対極電極層6とが接触して形成される形態も可能である。この場合に上述の製造方法では、中間層形成ステップ、反応防止層形成ステップが省略される。なお、他の層を形成するステップを追加したり、同種の層を複数積層したりすることも可能であるが、いずれの場合であっても、1100以下の温度で行うことが望ましい。

10

【0107】

<第2実施形態>

図2・図3を用いて、第2実施形態に係る電気化学素子E、電気化学モジュールM、電気化学装置YおよびエネルギーシステムZについて説明する。

【0108】

第2実施形態に係る電気化学素子Eは、図2に示すように、金属支持体1の裏面にU字部材7が取り付けられており、金属支持体1とU字部材7とで筒状支持体を形成している。

【0109】

そして集電部材26を間に挟んで電気化学素子Eが複数積層（複数集合）されて、電気化学モジュールMが構成されている。集電部材26は、電気化学素子Eの対極電極層6と、U字部材7とに接合され、両者を電氣的に接続している。

20

【0110】

電気化学モジュールMは、ガスマニホールド17、集電部材26、終端部材および電流引出し部を有する。複数積層された電気化学素子Eは、筒状支持体の一方の開口端部がガスマニホールド17に接続されて、ガスマニホールド17から気体の供給を受ける。供給された気体は、筒状支持体の内部を通流し、金属支持体1の貫通空間1cを通過して電極層2に供給される。

【0111】

図3には、エネルギーシステムZおよび電気化学装置Yの概要が示されている。

30

エネルギーシステムZは、電気化学装置Yと、電気化学装置Yから排出される熱を再利用する排熱利用部としての熱交換器53とを有する。

電気化学装置Yは、電気化学モジュールMと、脱硫器31と改質器34とを有し電気化学モジュールMに対して還元性成分を含有する燃料ガスを供給する燃料供給部と、電気化学モジュールMから電力を取り出すインバータ38とを有する。

【0112】

詳しくは電気化学装置Yは、脱硫器31、改質水タンク32、気化器33、改質器34、プロア35、燃焼部36、インバータ38、制御部39、収納容器40および電気化学モジュールMを有する。

【0113】

脱硫器31は、都市ガス等の炭化水素系の原燃料に含まれる硫黄化合物成分を除去（脱硫）する。原燃料中に硫黄化合物が含有される場合、脱硫器31を備えることにより、硫黄化合物による改質器34あるいは電気化学素子Eに対する影響を抑制することができる。

40

気化器33は、改質水タンク32から供給される改質水から水蒸気を生成する。改質器34は、気化器33にて生成された水蒸気を用いて脱硫器31にて脱硫された原燃料を水蒸気改質して、水素を含む改質ガスを生成する。

【0114】

電気化学モジュールMは、改質器34から供給された改質ガスと、プロア35から供給された空気とを用いて、電気化学反応させて発電する。燃焼部36は、電気化学モジュールMから排出される反応排ガスと空気とを混合させて、反応排ガス中の可燃成分を燃焼させ

50

る。

【0115】

電気化学モジュールMは、複数の電気化学素子Eとガスマニホールド17とを有する。複数の電気化学素子Eは互いに電氣的に接続された状態で並列して配置され、電気化学素子Eの一方の端部(下端部)がガスマニホールド17に固定されている。電気化学素子Eは、ガスマニホールド17を通じて供給される改質ガスと、プロア35から供給された空気とを電気化学反応させて発電する。

【0116】

インバータ38は、電気化学モジュールMの出力電力を調整して、商用系統(図示省略)から受電する電力と同じ電圧および同じ周波数にする。制御部39は電気化学装置YおよびエネルギーシステムZの運転を制御する。

10

【0117】

気化器33、改質器34、電気化学モジュールMおよび燃焼部36は、収納容器40内に収納される。そして改質器34は、燃焼部36での反応排ガスの燃焼により発生する燃焼熱を用いて原燃料の改質処理を行う。

【0118】

原燃料は、昇圧ポンプ41の作動により原燃料供給路42を通して脱硫器31に供給される。改質水タンク32の改質水は、改質水ポンプ43の作動により改質水供給路44を通して気化器33に供給される。そして、原燃料供給路42は脱硫器31よりも下流側の部位で、改質水供給路44に合流されており、収納容器40外にて合流された改質水と原燃料とが収納容器40内に備えられた気化器33に供給される。

20

【0119】

改質水は気化器33にて気化され水蒸気となる。気化器33にて生成された水蒸気を含む原燃料は、水蒸気含有原燃料供給路45を通して改質器34に供給される。改質器34にて原燃料が水蒸気改質され、水素ガスを主成分とする改質ガス(還元性成分を有する第1気体)が生成される。改質器34にて生成された改質ガスは、改質ガス供給路46を通して電気化学モジュールMのガスマニホールド17に供給される。

【0120】

ガスマニホールド17に供給された改質ガスは、複数の電気化学素子Eに対して分配され、電気化学素子Eとガスマニホールド17との接続部である下端から電気化学素子Eに供給される。改質ガス中の主に水素(還元性成分)が、電気化学素子Eにて電気化学反応に使用される。反応に用いられなかった残余の水素ガスを含む反応排ガスが、電気化学素子Eの上端から燃焼部36に排出される。

30

【0121】

反応排ガスは燃焼部36で燃焼され、燃焼排ガスとなって燃焼排ガス排出口50から収納容器40の外部に排出される。燃焼排ガス排出口50には燃焼触媒部51(例えば、白金系触媒)が配置され、燃焼排ガスに含有される一酸化炭素や水素等の還元性成分を燃焼除去する。燃焼排ガス排出口50から排出された燃焼排ガスは、燃焼排ガス排出路52により熱交換器53に送られる。

【0122】

熱交換器53は、燃焼部36における燃焼で生じた燃焼排ガスと、供給される冷水とを熱交換させ、温水を生成する。すなわち熱交換器53は、電気化学装置Yから排出される熱を再利用する排熱利用部として動作する。

40

【0123】

なお、排熱利用部の代わりに、電気化学モジュールMから(燃焼されずに)排出される反応排ガスを利用する反応排ガス利用部を設けてもよい。反応排ガスには、電気化学素子Eにて反応に用いられなかった残余の水素ガスが含まれる。反応排ガス利用部では、残余の水素ガスを利用して、燃焼による熱利用や、燃料電池等による発電が行われ、エネルギーの有効利用がなされる。

【0124】

50

< 第3実施形態 >

図4に、電気化学モジュールMの他の実施形態を示す。第3実施形態に係る電気化学モジュールMは、上述の電気化学素子Eを、セル間接続部材71を間に挟んで積層することで、電気化学モジュールMを構成する。

【0125】

セル間接続部材71は、導電性を有し、かつ気体透過性を有さない板状の部材であり、表面と裏面に、互いに直交する溝72が形成されている。セル間接続部材71はステンレス等の金属や、金属酸化物を用いることができる。

【0126】

図4に示すように、このセル間接続部材71を間に挟んで電気化学素子Eを積層すると、溝72を通じて気体を電気化学素子Eに供給することができる。詳しくは一方の溝72が第1気体流路72aとなり、電気化学素子Eの表側、すなわち対極電極層6に気体を供給する。他方の溝72が第2気体流路72bとなり、電気化学素子Eの裏側、すなわち金属支持体1の裏側の面から貫通空間1cを通じて電極層2へ気体を供給する。

【0127】

この電気化学モジュールMを燃料電池として動作させる場合は、第1気体流路72aに酸素を供給し、第2気体流路72bに水素を供給する。そうすると電気化学素子Eにて燃料電池としての反応が進行し、起電力・電流が発生する。発生した電力は、積層された電気化学素子Eの両端のセル間接続部材71から、電気化学モジュールMの外部に取り出される。

【0128】

なお、本第3実施形態では、セル間接続部材71の表面と裏面に、互いに直交する溝72を形成したが、セル間接続部材71の表面と裏面に、互いに並行する溝72を形成することもできる。

【0129】

(他の実施形態)

(1)上記の実施形態では、第2例、第3例に示すように、貫通孔を有する2枚の金属薄板を重ねて金属板とすることで、貫通空間を有する金属板としたが、3枚以上の金属薄板を重ねて金属板とすることにより、貫通空間を有する金属板を形成することもできる。

【0130】

(2)上記の実施形態では、電気化学素子Eを固体酸化物形燃料電池に用いたが、電気化学素子Eは、固体酸化物形電解セルや、固体酸化物を利用した酸素センサ等に利用することもできる。

【0131】

(3)上記の実施形態では、電極層2の材料として例えばNiO-GDC、Ni-GDC、NiO-YSZ、Ni-YSZ、CuO-CeO₂、Cu-CeO₂などの複合材を用い、対極電極層6の材料として例えばLSCF、LSM等の複合酸化物を用いた。このように構成された電気化学素子Eは、電極層2に水素ガスを供給して燃料極(アノード)とし、対極電極層6に空気を供給して空気極(カソード)とし、固体酸化物形燃料電池セルとして用いることが可能である。この構成を変更して、電極層2を空気極とし、対極電極層6を燃料極とすることが可能なように、電気化学素子Eを構成することも可能である。すなわち、電極層2の材料として例えばLSCF、LSM等の複合酸化物を用い、対極電極層6の材料として例えばNiO-GDC、Ni-GDC、NiO-YSZ、Ni-YSZ、CuO-CeO₂、Cu-CeO₂などの複合材を用いる。このように構成した電気化学素子Eであれば、電極層2に空気を供給して空気極とし、対極電極層6に水素ガスを供給して燃料極とし、電気化学素子Eを固体酸化物形燃料電池セルとして用いることができる。

【0132】

(4)上記の実施形態では、電気化学素子Eとして主に平板型や円筒平板型の固体酸化物形燃料電池を用いたが、円筒型の固体酸化物形燃料電池などの電気化学素子に利用することもできる。

10

20

30

40

50

【 0 1 3 3 】

(5) 上記の実施形態では、金属支持体 1 (金属板) を電気化学素子 E の支持体として用いたが、セラミックス層等の各種材料 (支持対象物の一例) の支持体として用いたり、電気化学素子以外の種々の装置に本実施形態の金属板を用いることもできる。

【 0 1 3 4 】

なお、上記の実施形態で開示される構成は、矛盾が生じない限り、他の実施形態で開示される構成と組み合わせて適用することが可能である。また本明細書において開示された実施形態は例示であって、本発明の実施形態はこれに限定されず、本発明の目的を逸脱しない範囲内で適宜改変することが可能である。

【 産業上の利用可能性 】

10

【 0 1 3 5 】

金属板と、その金属板を備えた金属支持型の電気化学素子および固体酸化物形燃料電池セルとして利用可能である。

【 符号の説明 】

【 0 1 3 6 】

- 1 : 金属支持体 (金属板)
- 1 a : 表側面
- 1 b : 裏側面
- 1 c : 貫通空間
- 1 d : 表側開口部
- 1 e : 裏側開口部
- 1 f : 金属酸化物層
- 1 g : 孔領域
- 1 h : 単位領域
- 2 : 電極層
- 3 : 中間層
- 4 : 電解質層
- 5 : 反応防止層
- 6 : 対極電極層
- 7 : U 字部材
- 1 0 : 第 1 金属薄板 (金属薄板)
- 1 0 a : 第 1 表側面
- 1 0 b : 第 1 裏側面
- 1 0 c : 第 1 貫通空間 (貫通孔)
- 1 0 d : 第 1 表側開口部
- 1 0 e : 第 1 裏側開口部
- 1 0 g : 第 1 孔領域
- 2 0 : 第 2 金属薄板 (金属薄板)
- 2 0 a : 第 2 表側面
- 2 0 b : 第 2 裏側面
- 2 0 c : 第 2 貫通空間 (貫通孔)
- 2 0 d : 第 2 表側開口部
- 2 0 e : 第 2 裏側開口部
- E : 電気化学素子
- M : 電気化学モジュール
- Y : 電気化学装置
- Z : エネルギーシステム

20

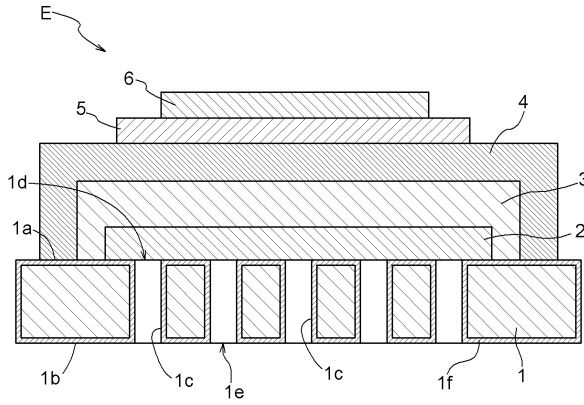
30

40

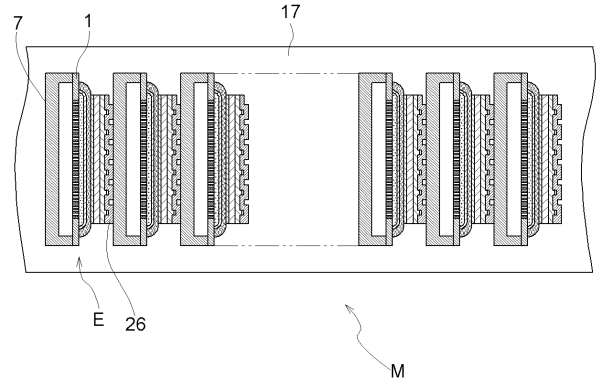
50

【図面】

【図 1】

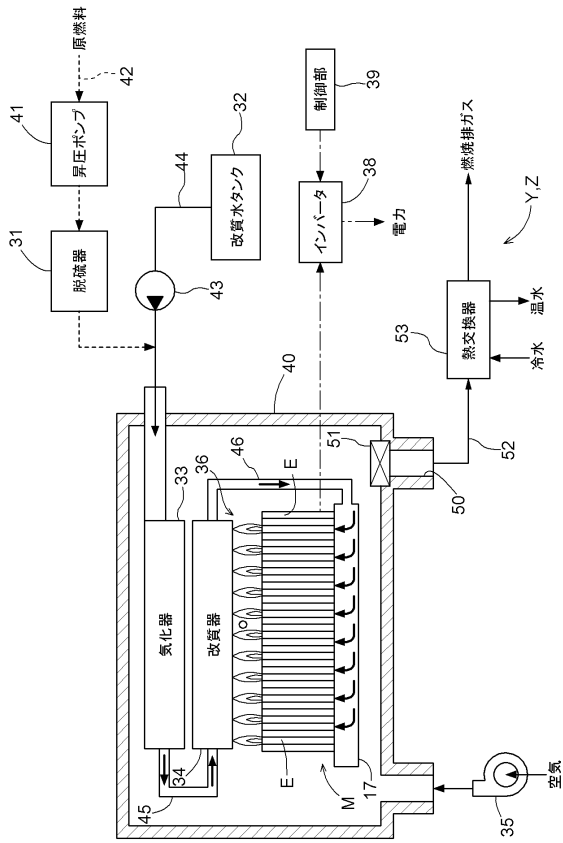


【図 2】

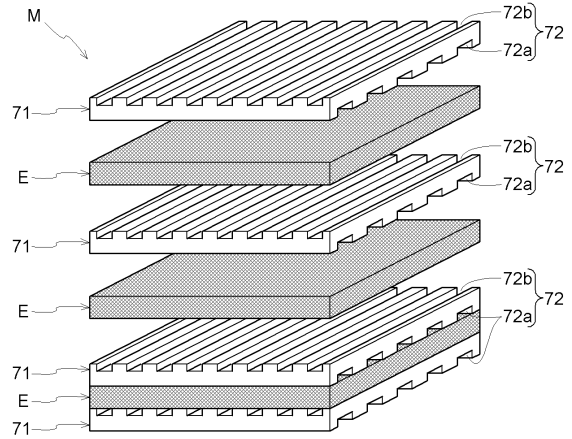


10

【図 3】



【図 4】



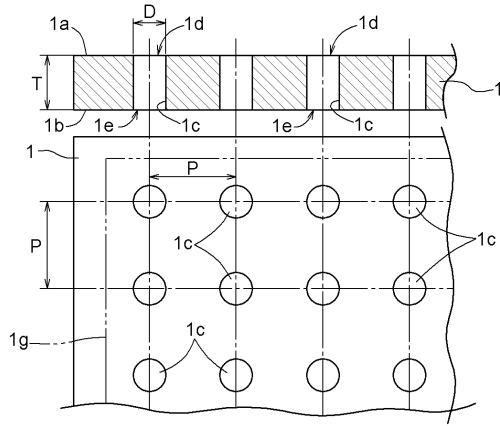
20

30

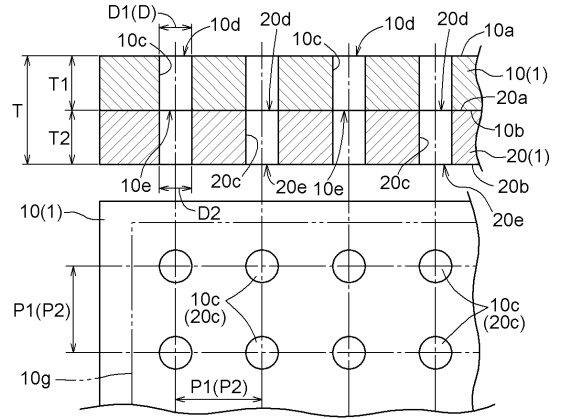
40

50

【 図 5 】

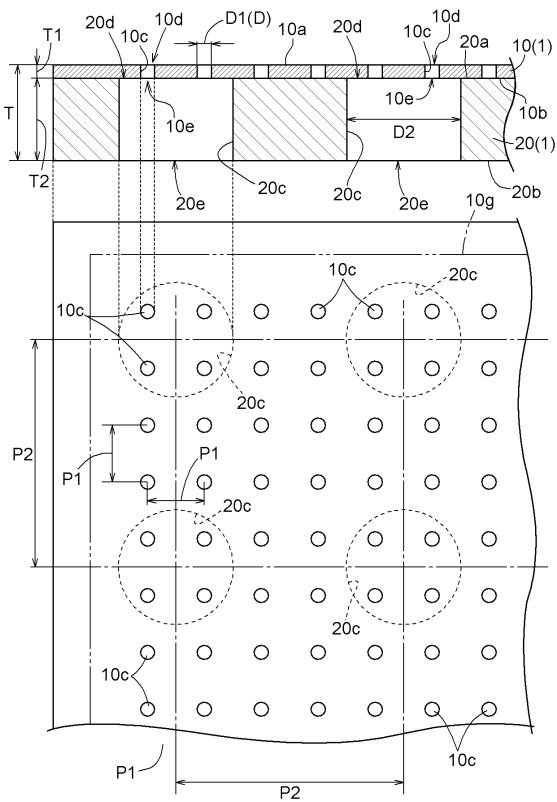


【 図 6 】



10

【 図 7 】



20

30

40

50

フロントページの続き

| (51)国際特許分類 | | F I | | |
|----------------|------------------------|---------|--------|---|
| B 2 1 D | 31/04 (2006.01) | B 2 1 D | 28/00 | B |
| B 3 2 B | 15/01 (2006.01) | B 2 1 D | 31/04 | B |
| B 2 3 K | 1/19 (2006.01) | B 3 2 B | 15/01 | A |
| B 2 3 K | 20/04 (2006.01) | B 2 3 K | 1/19 | J |
| B 2 3 K | 101/36 (2006.01) | B 2 3 K | 20/04 | C |
| B 2 3 K | 103/02 (2006.01) | B 2 3 K | 101:36 | |
| | | B 2 3 K | 103:02 | |

| | |
|----------|---|
| (56)参考文献 | 特開 2 0 1 2 - 0 7 4 1 4 0 (J P , A) |
| | 特開 2 0 0 9 - 2 6 6 4 3 1 (J P , A) |
| | 特開 2 0 1 4 - 2 2 3 5 9 4 (J P , A) |
| | 特開 2 0 1 7 - 1 8 9 7 6 8 (J P , A) |
| | 特開 2 0 0 7 - 2 5 0 2 9 7 (J P , A) |
| | 特開 2 0 0 7 - 1 1 8 0 3 6 (J P , A) |
| | 国際公開第 2 0 0 1 / 0 9 3 3 5 7 (W O , A 1) |
| | 特開 2 0 0 4 - 2 7 3 2 1 3 (J P , A) |
| | 特開 2 0 1 3 - 0 3 3 6 1 8 (J P , A) |
| | 特開 2 0 1 6 - 0 6 6 6 1 6 (J P , A) |
| | 特開 2 0 1 7 - 1 4 8 7 0 5 (J P , A) |

| | |
|------------|-------------------|
| (58)調査した分野 | (Int.Cl. , D B 名) |
| | H 0 1 M 8 / 1 2 |
| | H 0 1 M 8 / 0 2 |
| | H 0 1 M 4 / 8 6 |
| | H 0 1 M 4 / 8 8 |
| | H 0 1 M 4 / 9 6 |
| | B 2 3 K 2 0 / 0 0 |
| | B 3 2 B 1 5 / 0 1 |
| | B 2 1 D 5 3 / 0 0 |