

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号
特許第6322655号
(P6322655)

(45) 発行日 平成30年5月9日(2018.5.9)

(24) 登録日 平成30年4月13日(2018.4.13)

(51) Int.Cl.

F I

HO 1 M 4/86 (2006.01)

HO 1 M 8/0239 (2016.01)

HO 1 M 8/0243 (2016.01)

HO 1 M 8/0247 (2016.01)

C 2 5 B 9/04 (2006.01)

HO 1 M 4/86 M

HO 1 M 8/0239

HO 1 M 8/0243

HO 1 M 8/0247

C 2 5 B 9/04 3 0 2

請求項の数 29 (全 25 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2015-559492 (P2015-559492)	(73) 特許権者	515235045
(86) (22) 出願日	平成26年2月26日 (2014.2.26)		ヴィート エンフェー
(65) 公表番号	特表2016-516260 (P2016-516260A)		ベルギー王国 ベー—2400 モル プ
(43) 公表日	平成28年6月2日 (2016.6.2)		ーレタング 200
(86) 国際出願番号	PCT/EP2014/053737	(74) 代理人	110000442
(87) 国際公開番号	W02014/131799		特許業務法人 武和国際特許事務所
(87) 国際公開日	平成26年9月4日 (2014.9.4)	(72) 発明者	パント ディーパク
審査請求日	平成28年9月2日 (2016.9.2)		ベルギー王国 ベー—2400 モル プ
(31) 優先権主張番号	13156781.0		ーレタング 200内
(32) 優先日	平成25年2月26日 (2013.2.26)	(72) 発明者	ドミニンゲス ペネトン ソチル
(33) 優先権主張国	欧州特許庁 (EP)		ベルギー王国 ベー—2400 モル プ
			ーレタング 200内
		(72) 発明者	アルバレス ガレゴ ヨランダ
			ベルギー王国 ベー—2400 モル プ
			ーレタング 200内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電極で使用する電流密度ディストリビュータ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

活性表面を有する電極とともに使用されるメッシュ形状で多孔質の電流密度ディストリビュータであって、前記電極の活性層に電流を提供するように適合され、前記活性層が前記電流密度ディストリビュータの面に接触するように提供され、

前記電流密度ディストリビュータに沿った電流フローの主要方向に沿って電流が流れ、前記電流密度ディストリビュータが、複数の導電性経路（5、15、25）を有する多孔質メッシュ（10）を備え、

前記導電性経路（5、25）の少なくとも一部が、前記電流密度ディストリビュータを通した主要電流フローの方向に沿って延在する、電流密度ディストリビュータにおいて、

前記多孔質メッシュ（10）が、前記主要電流フローの方向に交差する方向で、電気絶縁体（6）の複数の第1の経路の少なくとも一部を備え、

前記電流密度ディストリビュータを通した前記主要電流フローに交差する方向における前記電流密度ディストリビュータの電流容量が、前記電流密度ディストリビュータを通した前記主要電流フローに沿った方向における電流容量よりも小さく、

前記多孔質メッシュが、前記導電性経路および／または絶縁性経路の間に複数の空き空間を備える、電流密度ディストリビュータ。

【請求項 2】

単位長さ当たりの交差方向における導電性経路（15）の数が、前記主要電流フローの方向に沿った単位長さ当たりの導電性経路（5、25）の数よりも少ない、請求項 1 に記

載の電流密度ディストリビュータ。

【請求項 3】

前記多孔質メッシュが、前記電流フローに平行な方向に沿って、相対的に大きい断面を有する複数の第 1 の導電体 (2 5) と、相対的に小さい断面を有する複数の第 2 の導電体 (5) とを備える、請求項 1 または 2 に記載の電流密度ディストリビュータ。

【請求項 4】

前記多孔質メッシュが、前記電流密度ディストリビュータを通した前記主要電流フローの方向に沿って、電気絶縁体の複数の第 2 の経路 (1 6) を備える、請求項 1 から請求項 3 のいずれか一項に記載の電流密度ディストリビュータ。

【請求項 5】

前記主要電流フローの方向に沿って、導電性経路 (5 、 2 5) および第 2 の電気絶縁性経路 (1 6) が交互に提供される、請求項 1 から請求項 4 のいずれか一項に記載の電流密度ディストリビュータ。

【請求項 6】

前記導電性経路 (5 、 1 5 、 2 5) ならびに前記電気絶縁体の第 1 および第 2 の経路 (6 、 1 6) が、規則的な幾何学パターンにしたがって配置される、請求項 1 から請求項 5 のいずれか一項に記載の電流密度ディストリビュータ。

【請求項 7】

前記導電性経路 (5 、 1 5 、 2 5) が複数の導電性ワイヤを備え、前記電気絶縁体の第 1 および第 2 の経路 (6 、 1 6) が電気絶縁体の複数のスレッドを備える、請求項 1 から請求項 6 のいずれか一項に記載の電流密度ディストリビュータ。

【請求項 8】

前記導電性経路 (5 、 1 5 、 2 5) の 2 0 における導電率が、少なくとも $1 \cdot 25 \times 10^3 \text{ S/m}$ である、請求項 1 から請求項 7 のいずれか一項に記載の電流密度ディストリビュータ。

【請求項 9】

前記導電性経路 (5 、 1 5 、 2 5) の抵抗率が $8 \times 10^4 \text{ Ohm} \cdot \text{m}$ 未満である、請求項 1 から請求項 8 のいずれか一項に記載の電流密度ディストリビュータ。

【請求項 10】

前記導電性経路 (5 、 1 5 、 2 5) が、少なくとも 120 MPa の引張り強さを提供する導電性材料で形成される、請求項 1 から請求項 9 のいずれか一項に記載の電流密度ディストリビュータ。

【請求項 11】

前記絶縁性経路が、20 で少なくとも $10^12 \text{ Ohm} \cdot \text{m}$ の電気抵抗を有する電気絶縁性材料で形成される、請求項 1 から請求項 10 のいずれか一項に記載の電流密度ディストリビュータ。

【請求項 12】

前記絶縁性経路が、少なくとも 15 MPa の引張り強さを有する電気絶縁性材料で形成される、請求項 1 から請求項 11 のいずれか一項に記載の電流密度ディストリビュータ。

【請求項 13】

前記絶縁性経路が、少なくとも 20 MPa の圧縮強さを提供する電気絶縁性材料で形成される、請求項 1 から請求項 12 のいずれか一項に記載の電流密度ディストリビュータ。

【請求項 14】

前記絶縁性経路が、ポリアラミド、ポリエステル (ポリエチレンテレフタレート)、ポリオレフィン (UHMWPE、HDPE、ポリプロピレン、ポリエーテルケトン、ポリフェニレンスルフィド、ポリエーテルイミド (PEI)、脂肪族ポリアミド)、フッ素プラスチック (PTFE、ETFE、FEP、PFA、EFEF、PCTFE)、(上述の高分子の 1 つもしくは複数の) 高分子マトリックスを含む、および強化成分 (ガラス繊維、セラミック繊維) を含む複合材料、あるいは上述の材料の 2 つ以上の任意の組み合わせまたはブレンドから成る群から選択される電気絶縁性材料で形成される、請求項 1 から請求

10

20

30

40

50

項 1 3 のいずれか一項に記載の電流密度ディストリビュータ。

【請求項 1 5】

前記導電性経路 (5、1 5、2 5) が、導電性高分子、金属合金 (金、イリジウム、プラチナ、ロジウム、パラジウム、銀、銅、ニッケル、亜鉛、タングステン、チタン、アルミニウム、錫、鋼、ステンレス鋼合金)、オーステナイト系ステンレス鋼および二相ステンレス鋼の群から選択される導電性材料で形成される、請求項 1 から請求項 1 4 のいずれか一項に記載の電流密度ディストリビュータ。

【請求項 1 6】

前記多孔質メッシュ (1 0) が、織成、編成、編組、または溶接されたワイヤ、拡張されたメッシュ、複数の穴を有するプレートまたはスクリーン、導電性経路を提供するように光化学エッチングまたは電気鋳造を施した複数の穴を有するプレートの群から選択される材料を含む、請求項 1 から請求項 1 5 のいずれか一項に記載の電流密度ディストリビュータ。

10

【請求項 1 7】

前記多孔質メッシュ (1 0) が、少なくとも 5 0 % の孔面積を有する、請求項 1 から請求項 1 6 のいずれか一項に記載の電流密度ディストリビュータ。

【請求項 1 8】

前記導電性経路 (5、1 5、2 5) が、5 0 μ m ~ 5 0 0 μ m の平均断面を有する、請求項 1 から請求項 1 7 のいずれか一項に記載の電流密度ディストリビュータ。

【請求項 1 9】

前記絶縁性経路が、5 0 μ m ~ 2 5 0 μ m 平均断面を有する、請求項 1 から請求項 1 8 のいずれか一項に記載の電流密度ディストリビュータ。

20

【請求項 2 0】

前記多孔質メッシュが、1 c m 当たり 1 0 ~ 5 0 の導電性経路を備える、請求項 1 から請求項 1 9 のいずれか一項に記載の電流密度ディストリビュータ。

【請求項 2 1】

前記多孔質メッシュが、1 c m 当たり 1 0 ~ 5 0 の絶縁性経路を備える、請求項 1 から請求項 2 0 のいずれか一項に記載の電流密度ディストリビュータ。

【請求項 2 2】

前記電流密度ディストリビュータを通した前記主要電流フローに交差する方向における前記電流密度ディストリビュータの電流容量が、前記電流密度ディストリビュータを通した前記主要電流フローに沿った方向における電流容量よりも小さい、請求項 1 から請求項 2 1 のいずれか一項に記載の少なくとも 1 つの電流密度ディストリビュータを備える電極。

30

【請求項 2 3】

前記電極が、前記電流密度ディストリビュータとの複数の接触点を有する活性層をさらに備える、請求項 2 2 に記載の電極。

【請求項 2 4】

前記電極が、前記電流密度ディストリビュータとの複数の接触点を有する触媒作用的に活性の層を備え、前記触媒作用的に活性の材料が、1 つもしくは複数の微生物、1 つもしくは複数の酵素、1 つもしくは複数の有機金属化合物、1 つもしくは複数の無機および / または有機化合物の群から選択される、請求項 2 3 に記載の電極。

40

【請求項 2 5】

前記電極が、前記電流密度ディストリビュータの一面上に配置されるガス浸透性材料の層を備えるガス拡散電極である、請求項 2 2 から請求項 2 4 のいずれか一項に記載の電極。

【請求項 2 6】

単一の電流密度ディストリビュータまたは複数の電流密度ディストリビュータを備える、請求項 2 2 から請求項 2 5 のいずれか一項に記載の電極。

【請求項 2 7】

50

請求項 2 2 から請求項 2 6 のいずれか一項に記載の少なくとも 1 つの電極を備える電気化学セル。

【請求項 2 8】

前記電気化学セルがガルヴァーニ電池または容量性セルである、請求項 2 7 に記載の電気化学セル。

【請求項 2 9】

ユニポーラ構成の請求項 2 2 から請求項 2 6 のいずれか一項に記載の複数の電極を備える、電気化学セル。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、電極とともに使用されるメッシュ形状で多孔質の電流密度ディストリビュータであって、電極の活性層に電流を提供するように適合され、活性層が電流密度ディストリビュータの面に接触するように提供される、電流密度ディストリビュータに関する。

【背景技術】

【0002】

請求項 1 のブリアンブルによれば、電流密度ディストリビュータは、複数の導電性経路を有する多孔質メッシュを備え、導電性経路の少なくとも一部は、電流密度ディストリビュータを通した主要電流フローの方向に沿って延在する。

【0003】

20

電気化学リアクタ自体は既知であり、通常、バイポーラ構成または単極構成とも呼ばれるユニポーラ構成で配置された、1 つもしくは複数の電氣的に接続された電気化学シングルセルを備える。

【0004】

バイポーラ構成は、固体高分子電解質技術、例えば P E M F C および P E M 電解槽における高頻度の使用を見出している。バイポーラ構成を有する電気化学セルスタックでは、いわゆるバイポーラ板は、2 つのセル間に位置する導体素子である。それは、電氣的に隣接したセルを直列で接続する（「Encyclopedia of Electrochemical Power Sources」、ISBN: 978 - 0 - 444 - 52745 - 5）。電極の活性層内で発生するかまたは消費される電子は、電極の面に垂直な方向（y 軸）で流れ、1 つのセルのアノードと隣接セルのカソードとの間に載置されたバイポーラ板を通過し、電極の縁部（ラグ）にある収集点（1 つもしくは複数）まで電極の面内を流れる必要はない。

【0005】

30

ユニポーラ構成では、スタックノ電気化学リアクタを形成する電気化学セルは外部接続される。ユニポーラ構成を有するガルヴァーニ電池の電気化学リアクタノスタックでは、セルのアノードは、電極の縁部に沿ってまたはその縁部の一部に沿って装着された給電バーに取り付けられる外部の導体素子を、例えばケーブル、金属ワイヤなどを使用して、隣接セルのカソードに電氣的に接続される。電子はアノードの縁部にある給電子によって収集され、外部ケーブルはアノードを隣接セルのカソードに接続する（「Fuel cells: fundamentals and applications」、ISBN 978 - 0 - 387 - 35402 - 6）。

【0006】

40

ユニポーラ構成を有する電解槽では、スタックを形成する複数の交互になった陽極および陰極は、イオン浸透膜によって分離される。ユニポーラ設計を有する電解槽では、スタックを形成する電気化学セルは外部接続され、陽極ならびに陰極は並列で電氣的に接続される。アセンブリは電解質バスまたはタンクに浸漬される。ユニポーラ構成を有するセルスタックは、アノードで電子を収集し、次のセルのカソードに外部接続することを要する。電気化学セルのユニポーラ構成は、低電力の用途、および機能不良のシングルセルを動作中に交換することを要するような特別な用途における、広範囲の使用を見出している。

50

【0007】

ユニポーラ構成は即ち、バイポーラスタックには当てはまらない、機能不良のセルを単純かつ簡単に特定し交換することを可能にしている(「Fuel Cell Science and Engineering: Materials, Processes, Systems and Technology」、ISBN: 9783527650248)。ユニポーラ構成はまた、不活性のスペーサ材料が存在することによってアノードとカソードとの間の直接接触が妨げられる、液体電解質を備えた電気化学セルの場合にも好ましい。しかしながら、適切なスペーサ材料を選択するように注意しなければならない、そのことによってセルの重量および寸法が不必要に増加することがある。

【0008】

10

ユニポーラ構成の主な制限事項は、比較的高コストである点、また、電流密度ディストリビュータ全体にわたる電力密度分布が不規則なことがある点、その結果、電力密度が局所的に不十分なことがある点である。ユニポーラ構成では、電子電流は、電極の面全体にわたって電極の対向面間で電極の長さを通して輸送され、それによって電極の給電子および集電子が接続される。電流が全て、電極表面全体を通して流れ、電流がそこに沿って収集される縁部に達することができるわけではないと思われることが観察されている。その結果、局所的なオーミック過電圧が比較的高い場合があり、それによって電解セルの効率が阻害される。

【0009】

従来の多孔質電極およびガス拡散電極が、電極の縁部にある集電子において電子の大部分を収集できるようにするのに十分な内部導電率を示さないという問題は、導電性である電流密度ディストリビュータを電極構造の主要部分に組み込むことによって解決されてきた。高頻度で使用されている電流密度ディストリビュータは、電気化学反応が行われる電極の活性の多孔質層に組み込まれる金属メッシュを備える。メッシュは、主要電流フローの方向に沿った方向およびその交差方向で、必要な面内導電率を電極に付加し、電極の電気化学的に活性の層に対して機械的および寸法的な支持を提供する。厚さおよび孔面積の広範な組み合わせで多種多様な合金から作られた、電気抵抗の低い金属グリッドまたはメッシュが市販されている。

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

30

【0010】

しかしながら、既存の金属メッシュ電流密度ディストリビュータは、特にユニポーラ電極で使用されるとき、いくつかの不利な点を示す。金属ワイヤは非常に高価であり、それによって電極のコストに著しく寄与する。さらに、金属ワイヤは高密度を有し、その結果、特定の電流容量を想定した場合に電極の重量が非常に重くなる(「Fuel cells: fundamentals and applications」、ISBN978-0-387-35402-6、「Encyclopedia of Electrochemical Power Sources」、ISBN: 978-0-444-52745-5、「Fuel Cell Science and Engineering: Materials, Processes, Systems and Technology」、ISBN: 9783527650248を参照のこと)。

40

【0011】

EP0.051.437は、飽和塩化ナトリウム食塩水から塩素ガスおよび水酸化ナトリウムを生成するのに使用される電解セルを開示している。酸素(空気)カソードを使用することによって、カソードにおける水素分子の望ましくない形成を抑制することが可能になるが、水素分子の形成は依然として、セルを動作させるのに使用される電気エネルギー消費の約25%を占める。

【0012】

EP0.051.437に開示されている酸素カソードは、フィブリル化したカーボンブラック・ポリテトラフルオロエチレンの未焼結ネットワーク内に位置付けられる、銀を

50

触媒とした活性炭粒子の活性層を備える。活性層の「作用」面は、非対称の織成ワイヤメッシュ電流密度ディストリビュータで被覆され、活性層の他方の対向面は、例えばPTFEで作られた、多孔質で防水性の裏打ち材料層で被覆される。非対称の織成ワイヤメッシュ電流密度ディストリビュータは、電流密度ディストリビュータの主要な給電子の方向にほぼ平行な方向よりも、主要な給電子にほぼ垂直な方向において、より多数の導電ワイヤを有するような形で設計されてきた。ほぼ垂直方向のワイヤは電極の狭い（より短い）導電性経路の両端に及ぶ。非対称の織成ワイヤメッシュ電流密度ディストリビュータは、好ましくは、平行方向のワイヤの1.5～3倍の数のかかる垂直方向のワイヤを有し、特に、0.005インチ（0.127mm）のワイヤ厚さを有する従来の対称的な織成ワイヤに対して、50ストランド/インチの垂直方向のワイヤおよび25ストランド/インチの平行方向のワイヤを有する。ワイヤメッシュ電流密度ディストリビュータの非対称構造により、材料および織成コストの実質的な節約を達成することができる一方で、効率的な電流分布、ならびに電流の移動方向の制御およびその結果としての電流経路の制御を達成できることが説明される。

10

【0013】

しかしながら、EP0.051.437に開示されている電流密度ディストリビュータは、機械的および寸法的安定性、ならびに活性層に対する十分な支持が保証されるべきである場合に、垂直方向のワイヤの限定された部分しか除去することができないという不利な点を示している。このように、EP0.051.437によれば、重量およびコストの低減は限定的にしか達成できない。

20

【0014】

したがって、既知の電流密度ディストリビュータよりも低重量であり、低い生産コストで製造することができ、それによって電流密度ディストリビュータの寸法的小および機械的安定性に悪影響を及ぼすことがない、電極で使用される電流密度ディストリビュータが必要とされている。

【0015】

したがって、本発明は、既知の電流密度ディストリビュータよりも低重量であり、低い生産コストで製造することができ、良好な寸法的小および機械的安定性を示す、かかる電流密度ディストリビュータを提供しようとするものである。

【課題を解決するための手段】

30

【0016】

これは、請求項1の特徴部分の技術的特徴を示す電極を用いて、本発明にしたがって達成される。

【0017】

それに加えて、本発明の電流密度ディストリビュータは、多孔質メッシュが、主要電流フローの方向に交差する方向で、電気絶縁体の複数の第1の経路を備えること、ならびに、電流密度ディストリビュータを通した主要電流フローに交差する方向における電流密度ディストリビュータの電流容量が、電流密度ディストリビュータを通した主要電流フローに沿った方向における電流容量よりも小さいことを特徴とする。

【0018】

40

「電流密度ディストリビュータ」という用語は、本明細書で使用する時、電極全体にわたって電流を分布させることができ、電極の活性層と電子を交換することができる、多孔質メッシュの形態の導電性材料を意味するものと認識される。

【0019】

本発明者らは、電流密度ディストリビュータ全体にわたって電流フローの主要方向を交差して延在する導電性経路は、電流密度ディストリビュータを通した電流の伝導（および電子輸送）にほとんど寄与しないことを観察している。本発明者らはまた、交差方向における電流容量を低減する手段としてその方向で延在する導電性経路を除去しても、電流密度ディストリビュータ全体にわたる電流の分布に対する影響は、あったとしてもほとんど影響しないことも観察している。結果として、交差方向で延在する導電性経路による、電

50

流密度ディストリビュータに接触している活性層への電子供給、および活性層の性能に対する寄与は、同様に無視できる程度である可能性が最も高くなる。したがって、主要電流フローの方向に交差する方向で使用される導電性材料の量は、電流密度ディストリビュータ全体にわたる電流分布に悪影響を及ぼすリスクを最小限に抑えて低減されてもよい。實際上、主要電流フローの方向に交差する方向におけるより低い電流容量は、一般的に、主要電流フローの交差方向における単位長さ当たりの導電性経路の数をより少なくすることによって、またはその同じ方向における平均直径もしくは断面がより小さい導体を使用することによって得られてもよい。それらの手段は両方とも、主要電流フローの交差方向における材料重量と、それに伴う電流密度ディストリビュータの材料コストの両方が低減されてもよいという影響を有するようになる。

10

【0020】

主要電流フローの方向に交差する方向で、電気絶縁性材料の経路の適切な数を補足的に組み込むことで、電流密度ディストリビュータの重量またはコストを犠牲にすることなく、メッシュ形状の電流密度ディストリビュータの機械的および寸法的安定性を所望の範囲内で維持できること、またはさらに改善できることが担保される。交差方向における導電性経路の数またはサイズを単純に低減することが、即ち機械的および寸法的安定性を低下させる恐れがあることがある。本発明者らは、電気絶縁体の経路を組み込むことが、電流密度ディストリビュータを製造する生産プロセスを必ずしも複雑にするものではなく、また、電流密度ディストリビュータ全体にわたる電流のフローおよび分布に不利な形で干渉しないことを観察している。本発明で使用される好ましい電気絶縁性材料は、導電性材料よりも比較的低い比重量 (g/cm^3) を有する材料である。

20

【0021】

本発明者らはさらに、追加の導電体経路が、電流密度ディストリビュータの重量および材料コストを望ましくない限界を越えて必ずしも増加させることなく、また生産プロセスをさらに複雑にすることなく、主要電流フローの方向で装着されてもよいので、主要電流フロー方向に交差する方向の導電性経路を低減することで、主要電流フローの方向に沿った方向の電流容量を増加させることが可能になることを観察している。対照的に、主要電流フローに沿った方向における電流容量の増加と関連付けられる利点は、その方向でより高いフロー容量を達成することができ、そのことが、電流密度ディストリビュータ全体にわたるより均質な電流密度分布に結びつく点である。また、多孔質メッシュにおける隣接した電気導体間の距離がより短いことは、より均質な電流密度分布を達成できるという影響を有するので、電流密度ディストリビュータと関連付けられる活性層に存在するより多数の活性部位に電気エネルギーが供給されてもよい。このことは、電流密度ディストリビュータを電気化学セルで使用するときに有利であるが、それは、電流密度ディストリビュータに接触している活性層のより均質な性能を達成することができ、そのことが概して、反応速度論、反応選択性、反応収率、電気化学的抽出、およびイオン移動速度の改善に結びつくためである。したがって、主要電流フローの交差方向における電流容量を低減することによって、主要電流フローに沿った電流容量を増加させることができる。そこから生じるいかなる機械的または寸法的不安定性も、電気絶縁性材料の経路を主要電流フローの交差方向で組み込むことによって補償することができる。

30

40

【0022】

このように、本発明は、機械的および寸法的安定性に悪影響を及ぼすことなく、単位面積当たりの重量の低減を示すことと材料コストの低減を示すこととの間の理想的な補償を提供することができる、電流密度ディストリビュータを開示する。さらに、主要電流フローの方向に沿って延在する方向における電流容量を改善することができ、その結果、電流密度ディストリビュータ全体にわたるより均質な電流密度分布を得ることができる。より均質な分布とは、電流密度ディストリビュータの表面全体にわたってより均質な電流密度が得られるが、低電流または無電流の場所の数も低減できることを意味する。このことは、本発明の電流密度ディストリビュータを利用する用途において有利である。

【0023】

50

電流密度ディストリビュータにおける電流容量の増加は、例えば、より多数の導電性経路を使用することによって、または導電性経路の平均直径を増加させることによって達成されてもよい。

【0024】

電流密度ディストリビュータの機械的および寸法的に悪影響を及ぼすリスクを最小限に抑えて、その重量低減を最大限にすることを可能にするために、主要電流フローの方向に交差する方向で、単位長さ当たりの導電性経路の数をより少なくすることが好ましい。主要電流フローの方向に沿って延在する方向に比べて、交差方向における単位長さ当たりの導電性経路の数を低減することによって、電流密度ディストリビュータ全体にわたる電流フローおよび電流密度分布に悪影響を及ぼすことなく、電流密度ディストリビュータの重量ならびに材料コストを低減することができる。

10

【0025】

主要電流フローの方向に沿った方向よりも、交差方向において単位長さ当たりの導電性経路の数を少なくする代わりに、またはそれに加えて、電流フローに平行な方向に沿った導電性経路の少なくとも一部は、主要電流フローの方向に交差する方向の導電性経路よりも大きい平均断面を有してもよい。より大きい平均断面を有する導電性経路を使用することで、導電性経路の電気抵抗を低減するとともに、それらの電流容量を増加させることが可能になるので、給電子から離れた部分に向かう電流を担保することができ、電流密度ディストリビュータ全体にわたるより均一な電流密度分布を達成することができる。同時に、孔面積の分画を増加させることができ、このことは、電流密度ディストリビュータに接

20

触している活性層のより大きい表面積が反応物にアクセス可能であり、電気化学的な反応、分離、変換、および/または抽出に利用可能であるという効果を有する。しかしながら、好ましくは、導電性経路の平均断面は、厚さ方向における電流密度ディストリビュータの寸法が、活性層と接触する電流密度ディストリビュータを含む電極の寸法を、特にその厚さを増加させるほど、大きくなりすぎないようなものである。

【0026】

さらなる重量低減が想定される場合、多孔質メッシュは、電流密度ディストリビュータを通した主要電流フローの方向に沿った方向で、電気絶縁体の複数の経路を備えてもよい。電気絶縁性経路が存在することで、電流密度ディストリビュータの重量およびコストを犠牲にすることなく、メッシュの機械的および寸法的安定性が悪影響を受けないことが担

30

【0027】

電流密度ディストリビュータ全体にわたる電流密度分布の均質性は、規則的パターンにしたがって導電性経路および電気絶縁性経路を配置することによって、さらに改善することができる。これは、例えば、主要電流フローの方向に沿った方向で、導電性経路および電気絶縁性経路を交互にすることによって達成することができる。これはまた、例えば、規則的な幾何学パターンにしたがって導電性経路および電気絶縁体の経路を配置することによって達成することができる。均質な電流密度分布は、活性層の均質な性能、ならびに反応速度論、反応選択性、反応収率、電気化学的抽出、およびイオン移動速度の改善を達成し、電極の単位表面積当たりの均質な反応収率を担保するために重要なことがある。活

40

性層のより均質な性能はまた、隣接した電気化学的活性部位の立体障害に対するリスクを低減することができるので、電解セルのより良好な全体収率をもたらすことができる。

【0028】

電流密度ディストリビュータの最適な機能性を達成するために、特に、十分な寸法的および機械的強さを提供しながら、電流密度ディストリビュータと電流密度ディストリビュータに接触している活性層との間の最適な接触を担保するために、電流密度ディストリビュータにおける導電性経路と電気絶縁体との配置は、電流および電位分布モデリングを使用して最適化されてもよい。

【0029】

本発明はまた、上述したような電流密度ディストリビュータ、または複数のかかる電流

50

密度ディストリビュータを備える電極に関し、電極は、アノードもしくはカソードまたは容量性電極のいずれかであってもよい。本発明はまた、上述の電流密度ディストリビュータを備えるガス拡散電極に関し、ガス拡散電極は、電流密度ディストリビュータの第1の面に接触する多孔質活性層と、好ましくは電流密度ディストリビュータの対向面に沿って配置される疎水性材料の層とをさらに備える。好ましい一実施形態では、電極はさらに、電極層の1つまたは複数の沸点圧力による、電極の一面側の液相と電極の対向面側のガス相との間の障壁として機能する。別の好ましい実施形態では、電極は液体電解質に完全にまたは部分的に沈められる。

【0030】

かかる電極は、アノードおよびカソードが自由な電解質液相によって分離される電気化学セルで使用するのに特に適している。したがって、本発明はまた、上述したような電極の1つまたは複数を含む電気化学セルに関する。

【0031】

本発明の電流密度ディストリビュータは、例えば、アノードまたはカソードのどちらかである多層電極の構成要素として使用されてもよく、その電気化学的に活性の層は、高分子結合された電気化学的に活性の粒子を含む。

【0032】

本発明はさらに、電流密度ディストリビュータを備える少なくとも1つの電極を備える電気化学セルに関する。本発明は特に、複数のかかる電極を備える、ユニポーラ構成の電気化学セルに関する。

【0033】

「電気化学セル」という用語は、少なくとも1つの陽極および少なくとも1つの陰極から成り、それらをイオンの接続するイオン導電性経路が存在すること、およびそれらを電氣的に接続する電気負荷（電子のフローを消費もしくは印加することができる）が存在することの両方によって、それらの間に電圧差（起電力としても知られる）が確立される、デバイスを指す。

【0034】

「電気化学セル」という用語は、本発明の範囲内において、化学エネルギーを電気エネルギーに変換するデバイス、例えばガルヴァーニ電池を指すことができるものと認識される。ガルヴァーニ電池は、通常、全体的な酸化還元反応によって起電力が生じるような形で配置される、2つ以上の電極（少なくとも1つのアノード、少なくとも1つのカソード）を備える。「燃料電池」という用語は、本発明の開示において使用するとき、燃料と酸化剤との反応によって、燃焼を伴わずに燃料の化学エネルギーを電気エネルギーに直接変換する、ガルヴァーニ電池を意味する。

【0035】

本発明の範囲内において、「電気化学セル」という用語はまた、電気分解によって電気エネルギーを化学エネルギーに変換するデバイス、例えば電解セルを指すことがある。電解セルは、通常、全体的な酸化還元反応によって起電力が生じるような形で配置される、2つの電極を備える。「電気化学セル」という用語はまた、本発明の開示において使用するとき、電気化学的な非ファラデープロセス、または静電分離もしくは抽出プロセスで、例えば容量性脱イオン化で使用されるデバイスを指してもよい。

【0036】

上述した本発明の電流密度ディストリビュータを備える、1つまたは複数の電極を備えた電気化学セルの応用分野としては、電気化学的変換システムで使用される電気化学セル、例えば、燃料と酸化剤との反応によって燃料の化学エネルギーを電気エネルギーに変換する燃料電池；電気分解；例えば水素、過酸化水素の生成、化学物質および電気の同時発生のための電気合成反応；電解抽出；空気電池；微生物燃料電池、微生物電解セル、生物電気合成反応などの生物電気化学システム；2つの多孔質炭素電極の両端間に電位差を加えることによって水を脱イオン化するのに適した、電気化学的分離プロセス、例えば容量性脱イオン化が挙げられる。アニオンは水から除去され、正に分極された電極に格納され

10

20

30

40

50

る。同様に、カチオンは負に分極された電極に格納される。

【 0 0 3 7 】

本発明はさらに、本発明の好ましい実施形態を示す添付図面および図面の説明において説明される。

【 0 0 3 8 】

図面中、要素のうちいくつかのサイズは、例証目的で誇張され縮尺通りに描かれないことがある。寸法および相対寸法は、必ずしも本発明の実施に対する実際の換算に対応しない。

【 0 0 3 9 】

以下の説明において、請求項でも使用される「接触」という用語は、直接接続のみに制限されるものと解釈すべきでない。それは、他のデバイスもしくは手段を含む経路であってもよい、出力と入力との間の経路が存在することを意味する。「接触」は、2つ以上の要素が直接物理的または電氣的に接触しているか、あるいは2つ以上の要素が互いに直接接触していないが、互いに依然として協働または相互作用することを意味してもよい。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 4 0 】

【図 1 a】平織り材料を含む電流密度ディストリビュータの一例を示す概略図である。

【図 1 b】絡み織り材料を含む電流密度ディストリビュータの一例を示す概略図である。

【図 1 c】電流フローの主要方向に平行な方向における導電体の一部が導電体の別の一部よりも相対的に大きい平均断面を有する、平織り材料を含む電流ディストリビュータの一例を示す概略図である。

【図 1 d】電流フローの主要方向に平行な方向における導電体の一部が導電体の別の一部よりも相対的に大きい平均断面を有する、絡み織り材料を含む電流ディストリビュータの一例を示す概略図である。

【図 2 a】メッシュにおける「孔面積」が意味するものを示す図である。

【図 2 b】y 方向または厚さ方向を示す本発明の電流ディストリビュータの一例を示す図である。

【図 3 a】電流フローの主要方向に平行な方向の経路の一部が電気絶縁性材料で作られている、平織り材料および絡み織り材料をそれぞれ含む電流ディストリビュータの一例を示す概略図である。

【図 3 b】非導電性ヤーンが有孔導体箔状に編組 / 交絡されていることを示す図である。

【図 4 a】主要電流フローの方向に沿った z 方向で長さ 10 cm にわたって均一に分布させた 10 本の導電性ワイヤを有し、また、電流の主要フローに垂直な x 方向で長さ 10 cm にわたって均一に分布させた 10 本の導電性ワイヤを有する集電子に関して、x および z 方向で上述の計算モデルを使用して計算した電流密度分布を示す図である。

【図 4 b】図 4 a の集電子に対応する電流密度分布を示す図である。

【図 5 a】主要電流フローの方向に沿った z 方向で長さ 10 cm にわたって均一に分布させた 10 本の導電性ワイヤを有し、また、電流の主要フローに垂直な x 方向で長さ 10 cm にわたって均一に分布させた 15 本の導電性ワイヤを有する集電子に関して、x および z 方向で上述の計算モデルを使用して計算した電流密度分布を示す図である。

【図 5 b】図 5 a の集電子に対応する電流密度分布を示す図である。

【図 6 a】主要電流フローの方向に沿った z 方向で長さ 10 cm にわたって均一に分布させた 10 本の導電性ワイヤを有し、また、電流の主要フローに垂直な x 方向で長さ 10 cm にわたって均一に分布させた 20 本の導電性ワイヤを有する集電子に関して、x および z 方向で上述の計算モデルを使用して計算した電流密度分布を示す図である。

【図 6 b】図 6 a の集電子に対応する電流密度分布を示す図である。

【図 7 a】主要電流フローの方向に沿った z 方向で長さ 10 cm にわたって均一に分布させた 10 本の導電性ワイヤを有し、また、電流の主要フローに垂直な x 方向で長さ 10 cm にわたって均一に分布させた 30 本の導電性ワイヤを有する集電子に関して、x および z 方向で上述の計算モデルを使用して計算した電流密度分布を示す図である。

10

20

30

40

50

【図 7 b】図 7 a の集電子に対応する電流密度分布を示す図である。

【図 8 a】主要電流フローの方向に垂直な方向（x 軸）で長さ 10 cm にわたって均一に分布させた非導電性プラスチック材料の 10 本のスレッドを有し、主要電流フローに沿った方向（z 軸）で長さ 10 cm にわたって均一に分布させた 15 本の導電性ワイヤを有する、電流分布ディストリビュータ全体にわたる電流密度分布を示す図である。

【図 8 b】z 軸に沿った対応する電流密度プロファイルを示す図である。

【図 9 a】主要電流フローの方向に垂直な方向（x 軸）で長さ 10 cm にわたって均一に分布させた非導電性プラスチック材料の 10 本のスレッドを有し、主要電流フローに沿った方向（z 軸）で長さ 10 cm にわたって均一に分布させた 20 本の導電性ワイヤを有する、電流分布ディストリビュータ全体にわたる電流密度分布を示す図である。

10

【図 9 b】z 軸に沿った対応する電流密度プロファイルを示す図である。

【図 10 a】主要電流フローの方向に垂直な方向（x 軸）で長さ 10 cm にわたって均一に分布させた非導電性プラスチック材料の 10 本のスレッドを有し、主要電流フローに沿った方向（z 軸）で長さ 10 cm にわたって均一に分布させた 30 本の導電性ワイヤを有する、電流分布ディストリビュータ全体にわたる電流密度分布を示す図である。

【図 10 b】z 軸に沿った対応する電流密度プロファイルを示す図である。

【図 11 a】主要電流フローの方向に垂直な方向（x 軸）で、厚さ 2 mm の複数の導電性ワイヤを有し、残りの導電性ワイヤが厚さ 0.25 mm を有する、電流密度ディストリビュータの電流密度分布を示す図である。

【図 11 b】z 軸に沿った対応する電流密度プロファイルを示す図である。

20

【図 12 a】主要電流フローの方向に垂直な方向（x 軸）で、厚さ 1 mm の複数の導電性ワイヤを有し、残りの導電性ワイヤが厚さ 0.25 mm を有する、電流密度ディストリビュータの電流密度分布を示す図である。

【図 12 b】z 軸に沿った対応する電流密度プロファイルを示す図である。

【図 13 a】主要電流フローの方向に垂直な方向（x 軸）で、厚さ 0.5 mm の複数の導電性ワイヤを有し、残りの導電性ワイヤが厚さ 0.25 mm を有する、電流密度ディストリビュータの電流密度分布を示す図である。

【図 13 b】z 軸に沿った対応する電流密度プロファイルを示す図である。

【図 14 a】主要電流フローの方向に垂直な方向（x 軸）で、それぞれ厚さ 2 mm および 0.25 mm の複数の導電性ワイヤを有し、主要電流フローの方向に沿った方向（z 軸）で、厚さ 2 mm の複数の導電性ワイヤを有し、残りの導電性ワイヤが厚さ 0.25 mm を有する、電流密度ディストリビュータの電流密度分布を示す図である。

30

【図 14 b】z 軸に沿った対応する電流密度プロファイルを示す図である。

【図 15 a】主要電流フローの方向に垂直な方向（x 軸）で、それぞれ厚さ 2 mm および 0.25 mm の複数の導電性ワイヤを有し、主要電流フローの方向に沿った方向（z 軸）で、厚さ 1 mm の複数の導電性ワイヤを有し、残りの導電性ワイヤが厚さ 0.25 mm を有する、電流密度ディストリビュータの電流密度分布を示す図である。

【図 15 b】z 軸に沿った対応する電流密度プロファイルを示す図である。

【図 16 a】主要電流フローの方向に垂直な方向（x 軸）で、それぞれ厚さ 2 mm および 0.25 mm の複数の導電性ワイヤを有し、主要電流フローの方向に沿った方向（z 軸）で、厚さ 0.5 mm の複数の導電性ワイヤを有し、残りの導電性ワイヤが厚さ 0.25 mm を有する、電流密度ディストリビュータの電流密度分布を示す図である。

40

【図 16 b】z 軸に沿った対応する電流密度プロファイルを示す図である。

【図 17】金属およびプラスチック混合メッシュを備える電流密度ディストリビュータを示す図である。

【図 18】電流密度ディストリビュータが電流を供給するラグを頂部に沿って備える、本発明の電流密度ディストリビュータを備える電極を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0041】

図面および実施例において、主要電流フローの方向は z 軸であり、主要電流フローに交

50

差する方向はx軸であるものと仮定する。電流密度ディストリビュータ、および電流密度ディストリビュータを含む電極の、最小の寸法または厚さはy軸の方向である。図面中の寸法は指標であり、縮尺通りではない。

【0042】

図1a~1eに示される電流密度ディストリビュータは、1つの単一の多孔質メッシュ10、またはいくつかの多孔質メッシュ10のアレイを収容する、円周方向の導電性フレーム1を備える。円周方向のハウジングの代わりに、例えば図4に示されるものなど、電流密度ディストリビュータの第1の面2の一部のみに沿って延在するラグに沿って電流が供給される、他の構成が使用されてもよい。ラグの寸法、即ち第1の面2に沿ったその高さおよび長さは、電流密度ディストリビュータの想定される用途に応じて変わってもよい

10

【0043】

フレームの第1の面2は、電気エネルギーを電流密度ディストリビュータに供給するため、給電子3を使用する電気エネルギー源に接続される。電流は、矢印によって示される方向で、給電子3から第1の面2の反対側の面4へと流れるものと仮定され、そこで電流が収集されてもよい。しかしながら、フレーム1は、給電子3および集電子4が、電流密度ディストリビュータの対向面に装着されることに限定されることがある。

【0044】

メッシュ10は、互いに接続されるかまたは互いに接触してもよく、多孔質メッシュの性質に依存しなくてもよい、複数の導電性経路5、15、25を備える。導電性経路5の少なくとも一部は、電流密度ディストリビュータを通した主要電流フローの方向に沿って延在する。メッシュ10は、電流密度ディストリビュータを通した主要電流フローの方向に交差する方向で延在する、複数の導電性経路15を備えてもよい。メッシュ10は、主要電流フローの方向に交差する方向で、電気絶縁体の複数の経路6をさらに備えてもよい。メッシュ10はまた、主要電流フローの方向に沿った方向で、電気絶縁体の複数の経路7を備えてもよい。メッシュは、主にx方向およびz方向で延在してもよいが、図2bによって示されるようにy方向でも延在してもよい。メッシュは正方形のメッシュであってもよいが、他の幾何学形状が同様に使用されてもよい。メッシュの幾何学形状は一般に、後述するような材料の性質に伴って変動するであろう。

20

【0045】

本発明の範囲内において、「メッシュ」は、繊維、バー、もしくはスレッドを、織成、編成、編組、溶接、または発泡したメッシュを意味する。「メッシュ」という文言は、図17に示されるものなど、導電性ワイヤおよび絶縁性スレッドのほぼ方形の形状および配向を有する正方形のメッシュを意味するが、メッシュはまた、管状、またはコイル形状、または他の形状の三次元材料であってもよい。プレート、シート、箔、膜、またはスクリーンに、例えば、光化学エッチングまたは電気鋳造を使用して穴が形成されてもよい。有孔のプレート、シート、箔、膜、スクリーン、または織成材料が利用される場合、主要電流フローの方向に沿って延在する経路は一般に、主要電流フローの方向にほぼ平行に通る、主要電流フローの方向に交差する方向で延在する経路は一般に、電流フローの主要方向にほぼ垂直に延在する。また、主要電流フローの方向に沿って延在する経路は、一般に、主要電流フローの交差方向で延在する経路にほぼ垂直に通る。編成、編組、または発泡したメッシュを利用する場合、穴は、ある程度不規則な形状を有してもよく、不規則に位置付けられてもよく、2つ以上の異なる形状の穴が存在してもよい。また、主要電流フローの方向に沿って延在する経路は、一般に、主要電流フローの方向に対して90°超過の角度で延在し、主要電流フローの方向に交差する方向で延在する経路は、一般に、電流フローの主要方向に対して90°未満の角度で延在する。また、主要電流フローの方向に沿って延在する経路は、主要電流フローの交差方向で延在する経路にほぼ垂直に通らない場合が多くてもよい。開放構造を有する織成材料、スクリーン、またはプレートが利用される場合、穴は、幾何学パターンにしたがって配置される場合が多い。穴は、メッシュのx方向で均一に離隔されてもよいが、不規則な間隔も同様に可能である。別の好ましい実施形

30

40

50

態によれば、穴は、メッシュの z 方向で均一に離隔されてもよいが、不規則な間隔も同様に可能である。多孔質メッシュは等方性材料または異方性材料であってもよい。

【0046】

織成材料は、例えば、平織り（タビー織り、リネン織り、もしくはタフタ織りとも呼ばれる）、絡み織り（交差織り、もしくはろ織りとも呼ばれる）であってもよく、換言すれば、織成材料は当業者には既知の基本的な織成プロセスを使用して作られてもよい。平織りおよび絡み織りの一例が、それぞれ図1 aおよび1 bに示される。バランス平織りは、ワープおよびウェフトが、1 cm当たりの縦糸と1 cm当たりの横糸が同じサイズおよび同じ数のスレッドで作られる織物である。織成材料はまた、ワープヤーンが対で配置され、ウェフトヤーンの周りで撚られて、丈夫であるが薄い織物を提供するようにウェフトが

10

【0047】

本発明とともに使用するのに適した他のタイプのメッシュとしては、機械的および寸法的安定性を担保するために、非導電性材料の複数のワイヤが電流フローに垂直な方向で交絡された、導電性材料で作られた有孔スクリーン、シート、プレート、膜、または箔が挙げられる。本発明とともに使用するのに適したさらに他のタイプのメッシュとしては、導電性材料の複数のワイヤまたはスレッドが電流フローに平行な方向で交絡された、非導電性材料で作られた有孔シート、プレート、または箔が挙げられる。本発明とともに使用するのに適したさらなるタイプのメッシュとしては、有孔シート、箔、またはプレート上に印刷された、電流フロー方向に平行に延在する導電性材料のライン/ワイヤが挙げられる。

20

【0048】

織成、編組、編成されるメッシュまたはスクリーンを生成するのに使用される材料は、導電性および絶縁性材料の、複数のフィラメント、モノフィラメントもしくはマルチフィラメント、繊維、ヤーン、スレッド、トウ、ワイヤ、またはケーブルを含んでもよい。したがって、「導電性経路」および「電気絶縁性経路」は、導電性材料のワイヤ、フィラメント、モノフィラメントもしくはマルチフィラメント、繊維、ヤーン、スレッド、トウ、ロープ、またはケーブルを含むものと理解される。スレッドは、フィラメント、ともに撚り合わされた一群のフィラメント、または短い紡織繊維を紡糸し加撚して連続的なストラ

30

【0049】

本発明では、導電性材料のワイヤを使用することが好ましい。

40

【0050】

本発明の電流密度ディストリビュータにおける導電性ワイヤの性質および数は、電流密度ディストリビュータを通した主要電流フローの方向に交差する方向（図1 aおよび1 bの x 方向）における導電性ワイヤ15の電流容量が、電流密度ディストリビュータを通した主要電流フローの方向に沿った方向（図1 aおよび1 bの z 方向）における電流容量よりも小さいようにして選択される。

【0051】

これは、電極を通した主要電流フローに交差する方向における単位長さ当たりの導電性ワイヤ15の数が、主要電流フローの方向に沿った単位長さ当たりの導電性ワイヤ5の数よりも少ないという点で達成されてもよい。実際の一実施例では、このことは、主要電流

50

フロー方向に交差するメッシュの1 cm当たりの導電性ワイヤ15の数が、主要電流フローの方向に沿ったメッシュの1 cm当たりの導電性ワイヤ5の数よりも少ないことを意味する。これは、交差方向における導電性ワイヤの一部が電気絶縁体のスレッドと交換されている、織成メッシュを使用することによって達成されてもよい。

【0052】

好ましい一実施形態によれば、電極を通した主要電流フローに沿った方向における単位長さ当たりの導電性ワイヤ5、25の数を、主要電流フローの方向に交差する方向における単位長さ当たりの導電性ワイヤの数に対して増加させることで、主要電流フローに沿った方向の電流容量を増加させることができるとともに、給電子から離れた位置において電流密度ディストリビュータの一部に向かう電流フローを改善できることが担保される。

10

【0053】

主要電流フローの方向に沿った方向における導電性ワイヤの数を増加させる代わりに、またはそれに加えて、主要電流フローの方向に沿った方向（図1 dおよび1 eのz方向）における導電性経路もしくはワイヤ25の少なくとも一部は、相対的に大きい平均断面を有し、電流フローに沿った方向における導電性経路もしくはワイヤ5の少なくとも一部は、相対的に小さい平均断面を有する。相対的に大きい平均断面を有するワイヤ25によって、主要電流フローに沿った方向における電流容量を増加させることができるとともに、給電子から離れた位置において電流密度ディストリビュータの一部に向かう電流を確保できることが担保される。

【0054】

20

導電性経路もしくはワイヤ5、15、25の平均直径または断面は、広い範囲内で変動してもよいが、好ましくは、50 μm ~ 500 μm 、好ましくは75 ~ 400 μm 、より好ましくは100 ~ 300 μm 、最も好ましくは150 ~ 250 μm で変動してもよく、ただし、より大きいもしくは小さい直径、例えば100もしくは250 μm の経路も同様に使用されてもよい。より小さな断面を用いて、孔面積の高い割合を維持しながらワイヤの数を増加させることができる。

【0055】

さらなる重量およびコストの低減は、主要電流フローの方向に沿った方向（図1 eのz方向）における経路の少なくとも一部が電気絶縁性材料で作られるという点で達成されてもよい。これらのスレッドを通した無視できる電流は、他の範囲において単位長さ当たりの導電性ワイヤの数を増加させることによって、より大きい平均断面を有する導電性ワイヤを挿入することによって補償されてもよい。

30

【0056】

導電性経路および電気絶縁体の経路の配置、数、形状、ならびに寸法を選択する際、当業者は、多孔質メッシュの機械的および寸法的安定性を犠牲にしすぎることなく、十分に均質な電流密度分布が得られるように、電流密度ディストリビュータ全体にわたって十分な電流フローを保証できることを考慮するであろう。当業者はさらに、メッシュによって提供される孔面積の割合が十分に大きく、また空き空間の寸法が、好ましくはポアの表面の部分のほぼ全体にわたって、メッシュのポアの表面における所望の部分まで電流が届くことを達成するような寸法であるように、注意するであろう。このように、電流密度ディストリビュータに隣接して位置付けられる活性層の所望の部分が、電解質と接触しており、ならびに電流フローがそこに達してもよいことを保証することができる。實際上、メッシュは多くの場合、1 cm当たり10 ~ 50本、好ましくは10 ~ 40本、より好ましくは10 ~ 30本、最も好ましくは10 ~ 20本の導電性ワイヤを含むであろう。しかしながら、より多数またはより少数の導電性ワイヤが同様に使用されてもよい。

40

【0057】

導電性ワイヤおよび電気絶縁性スレッドは、電流密度ディストリビュータを形成するメッシュにおいて無作為な形で配置されてもよい。同様に、多孔質メッシュのポアは無作為な形で配置されてもよい。場合によって、このことは、望ましいような規則的でない反応に利用可能な電流密度分布および孔面積に結び付くことがあり、電極の活性層の不均一な

50

性能は達成するのがより難しいことがあるが、必ずしもそうであるとは限らないであろう。したがって、好ましくは、導電性ワイヤ 5、15、25 および非導電性スレッド 6、16 は、図 1 および 3 に示されるような規則的な幾何学パターンにしたがって配置される。それにより、電気絶縁性材料の隣接スレッド間における x 方向の距離は、z 方向の距離と同じであってもよく、または異なってもよい。電気絶縁性材料の隣接スレッド間における x 方向もしくは z 方向それぞれの距離は、メッシュ全体にわたって一定であってもよく、または規則的なパターンにしたがって変動してもよい。同様に導電性材料の隣接スレッド間における x 方向の距離は、z 方向の距離と同じであってもよく、または異なってもよい。導電性材料の隣接スレッド間における x 方向もしくは z 方向それぞれの距離は、メッシュ全体にわたって一定であってもよく、または規則的なパターンにしたがって変動してもよい。電解セルの使用がそれを要する場合、導電性ワイヤ 5、15、25、および非導電性スレッド 6、16 もまた、無作為な形で配置されてもよい。

10

【0058】

好ましい多孔質メッシュは、反応物が多孔質メッシュに浸透し、電気化学的に活性の層に接触できることを担保するために、十分に高い割合の孔面積が存在するものである。したがって、電流密度ディストリビュータは、通常、特に x - y 面内に、開放構造を有するであろう。正方形のメッシュにおける孔面積のパーセンテージは次の数式 (1) によって表される (図 2 を参照)。

【数 1】

$$\%OPEN\ AREA = \frac{\sum_{i=1}^n x_{i1} \cdot y_{i1}}{\sum_{i=1}^n x_{i2} \cdot y_{i2}} \times 100 \quad (1)$$

20

【0059】

非正方形のメッシュのより一般的な例の場合、孔面積のパーセンテージは、孔面積の表面と孔面積および閉じた面積の合計との比によって表される。特に好ましい多孔質メッシュは、少なくとも 48%、好ましくは 60 ~ 80% の範囲の孔面積を有するものである。

【0060】

活性層が電流密度ディストリビュータに接触する接触位置、活性層を反応媒体から遮蔽する面積、およびそれによって、電解セルによって達成されてもよい反応収率を局所的に低減するリスク。しかしながら、当業者であれば、他方では十分な寸法的小よび機械的安定性を提供することと、活性層の十分に大きい利用可能な反応面との間で最適な補償が達成されるような形で、孔面積のパーセンテージを選択することが可能であろう。實際上、このことは、当業者が、単位長さ当たりの導電性経路および電気絶縁性経路の適切な数、ならびに一方では十分な寸法的小よび機械的安定性と、他方では活性層の十分に大きい利用可能な反応面との間で最適な補償を達成する、適切な平均断面とを選択できるであろうことを意味する。

30

【0061】

良好な寸法的安定性を維持しながら、可能な限り大きい孔面積を達成するために、好ましくは、導電性ワイヤおよび電気絶縁体のスレッドはほぼ同じ平均断面を有し、同様の数の導電性ワイヤおよび電気絶縁体のスレッドが、主要電流フローに沿った方向および主要電流フローに交差する方向で存在する。同様のことは、導電性ワイヤと電気絶縁体のスレッドとの比が、1 : 1.5、好ましくは 1 : 1.25、より好ましくは 1 : 1.1、最も好ましくは 1 : 1 であることを意味する。

40

【0062】

本発明による電流密度ディストリビュータの寸法は、広い範囲内で変動してもよいが、好ましくは、導電性および絶縁性材料は、十分な寸法的安定性を担保するために、y 方向における電流密度ディストリビュータの平均厚さが少なくとも 100 μm、好ましくは少なくとも 120 μm であるようにして選択される。電流密度ディストリビュータの平均厚さは、通常、750 μm 以下となり、600 μm 未満が好ましく、500 μm 未満、またはさらには 400 μm 未満が特に好ましい。平均厚さがより厚いと、電極の厚さが厚すぎになる恐れがあり、いくつかの電極が電解セル内に装着されると、電解セルが占める空間

50

も大きすぎになることがある。より好ましくは、電流密度ディストリビュータの厚さは、 $150 \sim 400 \mu\text{m}$ 、特に $200 \sim 300 \mu\text{m}$ の範囲で変動する。この範囲は、電気抵抗を最小限に抑えることと、空き空間の十分に大きい分画を提供することとの間で最適な補償を提供する。

【0063】

本発明の範囲内で、導電性経路は多種多様な導電性材料を含んでもよい。本発明とともに導電体として使用するのに適した材料としては、 20 および大気圧で少なくとも $1.25 \times 10^3 \text{ S/m}$ の導電率を有する固体材料が挙げられる。導電性経路の抵抗率は、好ましくは $8 \times 10^4 \text{ Ohm} \cdot \text{m}$ 未満、より好ましくは $10^6 \text{ Ohm} \cdot \text{m}$ 未満である。したがって、本発明の範囲内で、「導電体」は、 20 および大気圧で少なくとも $10^6 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$ の導電率、および好ましくは $8 \times 10^4 \text{ Ohm} \cdot \text{m}$ 未満の抵抗率を有する材料を意味するものと理解される。しかしながら、導電性材料で被覆された電気絶縁体スレッドの導電性経路に材料が利用されるとき、上述の材料特性は異なってもよい。

10

【0064】

本発明とともに使用するのに適した導電性材料の例としては、導電性材料でドーブされるかもしくはドーブされなくてもよい固有導電性高分子 (ICP)、金属の合金、例えば金、イリジウム、プラチナ、ロジウム、パラジウム、銀、銅、ニッケル、亜鉛、タングステン、チタン、アルミニウム、錫の合金が挙げられるがそれらに限定されず、ただし、純金属も同様に使用されてもよい。好ましい導電性材料としては、ステンレス鋼合金、より好ましくはオーステナイト系ステンレス鋼および二相ステンレス鋼が挙げられる。二相ステンレス鋼は、一般的に、約 $22 \sim 25$ 重量%のクロムと、 5 重量%のニッケルと、多少のモリブデンおよび窒素を含む。二相鋼は、オーステナイト系ステンレス鋼と比較して、降伏強さおよび塩化物に対する応力腐食割れ抵抗が高いことから好ましいことがある。オーステナイト系ステンレス鋼は、二相ステンレス鋼よりも腐食抵抗が優れており、磁気特性が低いことから好ましいことがある。オーステナイト系ステンレス鋼および二相ステンレス鋼は、腐食抵抗が良好であること、および磁気特性が最小限であることから好ましい。固有導電性高分子は、その化学構造の固有の性質によって電気を伝導する。本発明とともに使用するのに適した固有導電性高分子の例としては、ポリ(3,4-エチレンジオキシチオフェン) (PEDOT)、ポリピロール、ポリアニリン (PANI)、ポリアセチレン、ポリ-p-フェニレン、ポリ-p-フェニレンエチレン、ポリチオフェン、ポリフルオレンが挙げられる。

20

30

【0065】

当業者であれば、反応媒体中における所望の化学抵抗、ならびに/あるいは所望の電気化学的安定性および腐食抵抗、想定される動作条件、特に動作電圧範囲、電流範囲、電解質の組成、特に反応媒体中に存在する pH およびイオンを考慮に入れて、最も適切な導電性材料を選択することができるであろう。

【0066】

適切な導電性材料は、好ましくは、電流密度ディストリビュータの材料の温度が上昇した場合にも、変形に対する所望の強さ/硬さ/剛性/抵抗を提供し、使用中の変形に対するリスクを最小限に抑えるため、十分に高い引張り強さを提供する。したがって、好ましい導電性材料は、好ましくは、少なくとも 120 MPa 、より好ましくは 190 MPa 超過、最も好ましくは 300 MPa 超過、特に少なくとも 450 MPa の引張り強さを提供する。最大引張り強さまたは破断点引張り強さは、ISO 527またはASTM D638にしたがって測定した引張り応力下で材料を破断するのに要する、単位面積当たりの力 (MPa または psi) を意味する。降伏強さまたは降伏点は、材料が塑性的に変形し始める応力として定義される。

40

【0067】

本発明の範囲内で、電気絶縁性材料は、 20 で $10^8 \sim 10^{12} \text{ Ohm} \cdot \text{m}$ 超過、好ましくは $10^8 \sim 10^{16} \text{ Ohm} \cdot \text{m}$ 超過の電気抵抗を有する材料を含むものと理解される。

50

【 0 0 6 8 】

多種多様な電気絶縁性材料、例えば、ポリアラミド、ポリエステル、ポリオレフィン、ポリエーテルケトン、ポリフェニレンスルフィド（P P S）、ポリエーテルイミド（P E I）などが、本発明とともに使用するのに適している。ポリオレフィンの適切な例としては、U H M W P E、H D P E、ポリプロピレンなどが挙げられる。ポリエステルの適切な例としては、ポリエチレンテレフタレート（P E T）が挙げられる。他の適切な材料としては、フッ素プラスチック、例えばP T F E、E T F E、F E P、P F A、E F E P、P C T F E、脂肪族ポリアミドが挙げられる。上述の材料は、単独でまたは任意の組み合わせで使用されてもよい。電気絶縁性経路は、それに加えて、ガラス、セラミック、鉱物繊維、炭素繊維などで作られた繊維を、上述のプラスチック繊維に対して適切な比で含んでもよい。したがって、電気絶縁性経路として使用するのに適した材料は、上述の高分子の1つもしくは複数の高分子マトリックスを含み、その中にガラス繊維、セラミック繊維、炭素繊維などの強化成分を分布させた、複合材料で作られたモノフィラメントまたはスレッドである。

10

【 0 0 6 9 】

好ましい電気絶縁性材料は、十分な圧縮抵抗と組み合わせて、使用中の電流密度ディストリビュータの変形のリスクを最小限に抑えるのに、十分に高い引張り強さを提供するものである。好ましい材料は、少なくとも15 MP a、より好ましくは少なくとも40 MP a、最も好ましくは少なくとも55 MP a、特に少なくとも100 MP aの引張りを提供するものである。好ましい材料は、20 MP a超過、より好ましくは55 MP a超過、最も好ましくは80 MP a超過、特に100 MP a超過の圧縮強さを提供する。引張り強さまたは破断点引張り強さは、材料の性質に応じて、A S T M D 8 8 2またはA S T M D 4 1 2にしたがって測定した引張り応力下で材料を破断するのに要する、単位面積当たりの力（MP aもしくはp s i）を意味する。電気絶縁体の経路は、好ましくは、50 μ m ~ 250 μ m、好ましくは60 ~ 200 μ m、より好ましくは60 ~ 150 μ mの平均断面を有する。

20

【 0 0 7 0 】

したがって、好ましくは、電流密度ディストリビュータは、金属タイプ、金属プラスチックタイプ、金属混合タイプ、金属プラスチック混合タイプ、金属金属混合タイプ、金属金属プラスチック混合タイプ、金属と他の非金属導電性材料（導電性高分子および導電性炭素、例えばグラファイト、グラフェン、およびカーボンナノチューブなど）との混合物または非導電性材料（プラスチックなど）との混合物、多孔質導電性ウェブ、ならびにそれらの任意の組み合わせから成る群から選択される。

30

【 0 0 7 1 】

本発明の別の好ましい実施形態によれば、電流密度ディストリビュータは、多孔質導電性ウェブ、例えば炭素電極、例えばピッチ結合炭素電極もしくは炭素発泡体、金属鑄造電極もしくは金属電極、例えば打抜き金属シート、織成金属材料、金属メッシュ、金属スクリーン、金網、金属発泡体、または導電性のネットもしくはアレイをさらに含んでもよい。多孔質導電性ウェブに対する材料の選択は、用途の要件に応じて変わる。適切な材料としてはステンレス鋼およびニッケルが挙げられる。多孔質導電性ウェブの孔径は、好ましくは、149 μ m ~ 840 μ mの範囲である。別の好ましい実施形態によれば、電流密度ディストリビュータは、例えば強酸性電解質中での腐食を回避するため、化学的または熱的に処理した多孔質導電性ウェブをさらに備える。

40

【 0 0 7 2 】

本発明のさらに別の好ましい実施形態によれば、電流密度ディストリビュータは、多孔質導電性ウェブとの電子の交換を行うさらに高い導電性を有する導電性材料である、電流密度ディストリビュータと直接接触している多孔質導電性ウェブをさらに備える。

【 0 0 7 3 】

本発明は、電流密度ディストリビュータの表面積のほぼ全体にわたって電流フローを最大限にすることと、一方では電流密度ディストリビュータの孔面積の空間を考慮に入れ、

50

他方では電流密度ディストリビュータの材料コストおよび重量を可能な限り低く保ち、一方で依然として十分な機械的および寸法的安定性を保証して、電流密度ディストリビュータの表面全体にわたる電流分布を最適化することとの間で最適な補償を提供する、電流密度ディストリビュータを提供する。本発明は、その構成によって、オーム分極によるものであろう内部電流損失を低減することを可能にする、改善された電流密度分布を提供することができる電流密度ディストリビュータを提供する。

【0074】

本発明はまた、上述したような少なくとも1つの電流密度ディストリビュータ、または複数のかかる電流密度ディストリビュータを備え、アノードもしくはカソードのどちらかであってもよい、ガス拡散電極に関する。電流密度ディストリビュータの一面には活性層が配置され、電流密度ディストリビュータの対向面には疎水性または撥水層が配置される。本発明によれば、電流密度ディストリビュータの面全体は、それぞれ疎水性層またはその一部のみである、活性層によって被覆されてもよい。同様に、本発明の電流密度ディストリビュータは、活性層の表面の一部に配置されてもよいが、好ましくは活性層の表面全体に配置される。「撥水層」(WRL)は、ガスに対して多孔質である、ガスと接触する外表面を有し、ガス拡散層の外表面に対する水性電解質の漏れを防ぐ能力を有する層を含むものと理解される。「電気化学的活性層」は、高い導電性とガスおよび電解質に対する多孔性とを有し、一方の面に電解質との境界面を、他方の面に撥水(疎水性ガス拡散)層を有する、電気化学反応が行われる層である。

【0075】

本発明は、以下の実施例および比較例においてさらに説明される。

【0076】

以下の実施例は、図4に示されるような正方形の幾何学形状を有する電極および電流密度ディストリビュータ、ならびにかかる電極を含む電気化学ハーフセルを利用する。電気化学ハーフセルは電流密度ディストリビュータを含む。電流密度ディストリビュータは、メッシュのz方向で延在する導電性材料の複数のワイヤと、メッシュのx方向で延在する導電性の複数のワイヤとを備える、正方形の多孔質ウェブを備える。メッシュは、0.25mmの平均断面を有する複数の導電性ワイヤで作られる。x方向およびz方向における電流密度ディストリビュータの寸法は10cm×10cmであり、y方向で0.25mmである。電流密度ディストリビュータは導電性フレーム内に装着される。電流は、矢印によって示される方向、即ちz方向で流れるものと仮定される。導電性材料のラグは、電流がそこに沿って電流密度ディストリビュータに供給されるフレームの辺に装着される。x方向およびz方向それぞれにおけるラグの寸法は11cm×1cmであり、y方向で0.25cmである。電解質は電気化学的に活性の層と完全に接触しており、したがって、10cm×10cm(x方向およびz方向)の寸法を有し、厚さ0.5cm(y方向)である。電気化学的に活性の層の厚さは、電流密度ディストリビュータの厚さと一致させるため、0.25mmで設定した。

【0077】

電流密度ディストリビュータの一面上に、電気触媒的に活性の材料の層、特に多孔質活性炭材料のマトリックスを配置している。活性材料は、部分的には多孔質電流密度ディストリビュータのポア内へと延在する。活性層は電解質と直接接触するものと考えられる。

【0078】

電流密度ディストリビュータ全体にわたる電流密度分布は、Comsol(オランダ)から入手可能なCOMSOL Multiphysics一次電流分布プレミスを使用して計算する。次の仮定が作られている:電流密度ディストリビュータを通る電流の経過は、電流密度ディストリビュータのオーム抵抗によって制御される。電解質に隣接している電極および電流密度ディストリビュータは、等電位面であると見なされ、電解質中のイオンの濃度は均一であると仮定される。電極速度論による活性化過電圧、および物質移動による濃度過電圧は無視していた。電極は完全な導体と見なされ、電極電位(M)は一定であると仮定される。電極の外側表面は絶縁性(s=0)であると見なされる。電解

質の導電率 () および電極の上における電解質電位 (S) は一定であると仮定される。電極は平衡から外れていると見なされ、即ち $E > E_{eq}$ である。電解質および電極は両方とも、オームの法則にしたがう ($j = -$ S 、 j は電流密度を指す)。

【 0 0 7 9 】

定常モデルは、電流密度ディストリビュータと、電気化学的に活性の層と、電解質とに関する境界面における一次電流密度分布の解決策について考慮している。

【 0 0 8 0 】

20 mA の放電電流がラグを通して印加されると仮定される。平衡電位 $S + M = 0.7$ V である。この条件は、電気化学的に活性の層と電流密度ディストリビュータとの間の境界において有効である。電流密度ディストリビュータの導電率は、 4.8×10^6 S m^{-1} であると仮定され、この値は、ステンレス鋼、銅、オーステナイト鋼などの良好な導電性材料で作られた電流密度ディストリビュータに関して代表的な値である。電気化学的に活性の層の導電率は 9.5×10^2 S m^{-1} であり、この値は、グラファイト、活性炭、および他の形態の非晶質炭素などの半導体材料に関して代表的な値である。電解質の導電率は 10 mS cm^{-1} である。

【 0 0 8 1 】

実施例 1：単位長さ当たりの導電体数が、多孔質電極の電流密度ディストリビュータ全体にわたる電流分布密度に対して及ぼす影響

【 0 0 8 2 】

実施例 1 は、三次元モデルに基づく計算モデリングを使用した、 x 方向、即ち主要電流フローの方向に垂直な方向における、単位長さ当たりの導電体の数が、多孔質電極の電流分布密度プロファイルに対して及ぼす影響を示す。

【 0 0 8 3 】

z 方向で、10 本のワイヤを長さ 10 cm にわたって均一に分布させた。ワイヤは互いから規則的な距離で位置付けた。主要電流フローに垂直な x 方向における導電性ワイヤの数は、次のように変動させた：長さ 10 cm にわたって、それぞれ 10 本、15 本、20 本、および 30 本のワイヤを提供した。規則的な方形パターンを有するメッシュが得られるように、ワイヤは互いから規則的な距離に位置付けた。

【 0 0 8 4 】

図 4 a、5 a、6 a、および 7 a はそれぞれ、 z 方向で 10 本の導電性ワイヤを有し、長さ 10 cm にわたって均一に分布させた、 x 方向（電流の主要フローに対して垂直）でそれぞれ 10 本、15 本、20 本、および 30 本の導電性ワイヤを有する、電流密度ディストリビュータに対応する電流密度分布を示す。図 4 b、5 b、6 b、および 7 b は、それぞれ図 4 a、5 a、6 a、および 7 a の電流密度ディストリビュータに対応する、電気化学的に活性の層の z 軸に沿った電流密度プロファイルを示す。

【 0 0 8 5 】

図 4 b ~ 7 b から、主要電流フローに垂直な方向において単位長さ当たりで存在する導電性ワイヤの数は、電極全体にわたる電流密度またはその分布に対して著しい影響を有さないことを認識することができる。

【 0 0 8 6 】

実施例 2：単位長さ当たりの導電体数が、多孔質電極の電流密度ディストリビュータ全体にわたる電流分布密度に対して及ぼす影響

【 0 0 8 7 】

電流密度ディストリビュータにおける単位長さ当たりのワイヤの数を、 z 方向で、特に主要電流フローに平行な方向で、次のように変動させた：長さ 10 cm にわたって、それぞれ 15 本、20 本、および 30 本のワイヤを均一に分布させた。 x 方向で、長さ 10 cm にわたって 10 本のワイヤを均一に分布させた。

【 0 0 8 8 】

図 8 a、9 a、10 a はそれぞれ、 x 方向（電流の主要フローに対して垂直）で 10 本の導電性ワイヤを有し、長さ 10 cm にわたって均一に分布させた、 x 方向（電流の主要

フローに対して垂直)でそれぞれ15本、20本、および30本の導電性ワイヤを有する、電流密度ディストリビュータを示す。

【0089】

図8b、9b、10bは、それぞれ図8a、9a、10aの電流密度ディストリビュータに対応する、電気化学的に活性の層のz軸に沿った電流密度プロファイルを示す。

【0090】

図8b~10bから、主要電流フローに平行な方向(z方向)における単位長さ当たりの導電体の数を変動させることは、電極全体の電流密度分布に対して著しい影響を有することを認識することができる。図8cを図9cと比較すると、主要電流フローに平行なz方向において導電性ワイヤの数を増加させることで、電流密度ディストリビュータ全体にわたる電流密度分布の均質性が改善されることが示される。したがって、電極の他の位置にある電気化学的に活性の層の面積がより大きいと、電流密度がより高くなり、電極の両端間の電圧降下が低減されてもよい。電極の両端間の電圧降下がより小さくなると、化学反応に使用したときに、電極の両端間の電圧降下がより大きい電極よりも、動的反応速度および反応選択性が改善されてもよいという利点が提供される。

【0091】

図8aおよび8bから、電流フローの主要方向に平行な方向における単位長さ当たりのワイヤ数がより少ないと、z方向の電流密度の大きさが、電極のある面積において他の面積よりも高くなる(例えば、 50 A m^{-2})ことを観察することができる。實際上、このことは、電極の反対側の面上に位置する電気化学的に活性の層の大きい面積が、比較的低い電流密度で(例えば、 $z = 0$ で)動作しなければならないことを意味する。この効果は電極の両端間における大きい電圧降下と関連付けられる。電極の両端間の電圧降下が大きいと、化学反応に使用したときに、電極の両端間の電圧降下がより小さい電極と比較して、動的反応速度および反応選択性が低下するであろうという問題が提示される。

【0092】

実施例3

【0093】

x方向およびz方向の両方で導電性ワイヤを有する電流密度ディストリビュータを用いて、実施例2を繰り返した。x方向およびz方向の両方において、2つのタイプの導電性ワイヤ、即ち断面がより小さいワイヤと、より大きい平均断面を有するワイヤとを使用した(図11aを参照)。図11aは、x方向およびz方向両方のより厚いワイヤが2mmの平均断面を有し、より小さいワイヤが0.25mmの平均断面を有する例を示す。図12aおよび13aは、主要電流フローに垂直なx方向のより厚いワイヤが2mmの平均断面を有し、主要電流フローに平行なz方向のより厚いワイヤがそれぞれ、1mmおよび0.5mmの平均断面を有し、x方向およびz方向両方のより小さいワイヤが0.25mmの平均断面を有する例を示す。電流密度プロファイルは図11b~13bに示される。

【0094】

このモデルから、主要電流フローに垂直な方向の導電性ワイヤを、電気絶縁体で作られたワイヤに置き換えることによって、z軸に沿った電流密度分布および電流密度プロファイルに対して、導電性ワイヤを除去することと類似した影響を有することを推論することができる。これによるモデルは、主要電流フロー方向に垂直なx方向のより厚いワイヤが、電極を通した電流フローにおいて不可欠なものではなく、重量と材料コストが低減された電流密度ディストリビュータおよび電極が想定される場合に、比較可能な電気化学的性能を維持したままワイヤを除去できることを示している。しかしながら、導電性ワイヤを電気絶縁体で作られたワイヤと交換することで、電気絶縁体スレッドが単純に除去される状況と比較して、機械的および寸法的安定性が改善されるであろう。

【0095】

実施例4

【0096】

2mmの平均断面を有するx方向およびz方向の両方のより厚いワイヤと、0.25mm

10

20

30

40

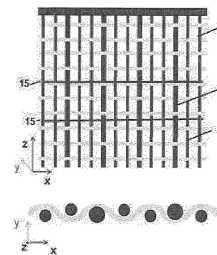
50

【 0 0 9 7 】

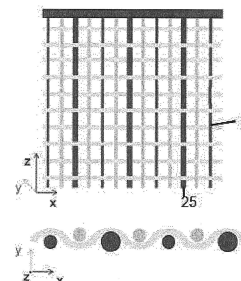
【 0 0 9 8 】

10

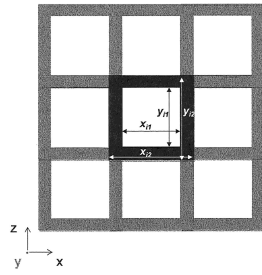
【 図 1 c 】



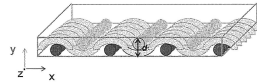
【 図 1 d 】



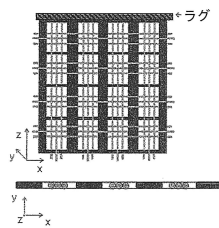
【図 2 a】



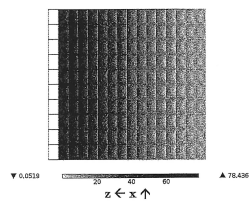
【図 2 b】



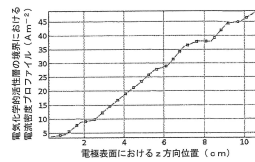
【図 3 a】



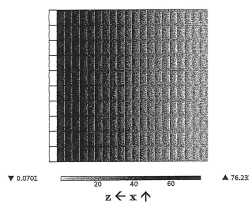
【図 5 a】



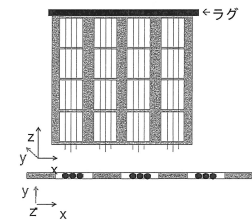
【図 5 b】



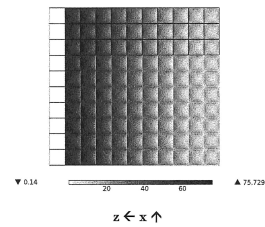
【図 6 a】



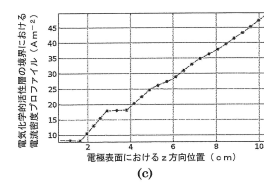
【図 3 b】



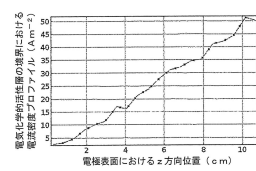
【図 4 a】



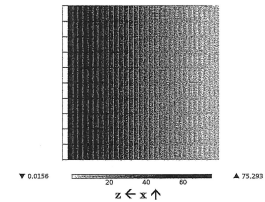
【図 4 b】



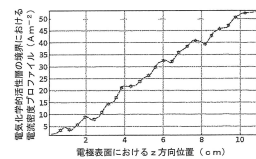
【図 6 b】



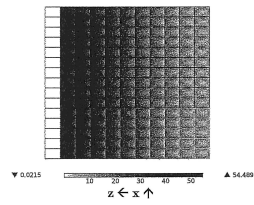
【図 7 a】



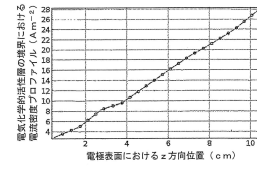
【図 7 b】



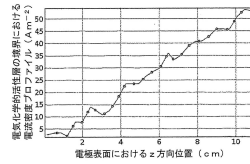
【図 8 a】



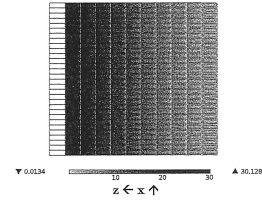
【図 9 b】



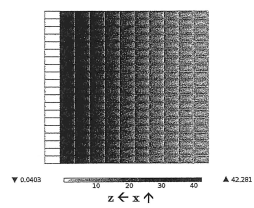
【図 8 b】



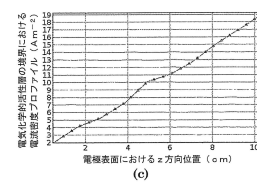
【図 10 a】



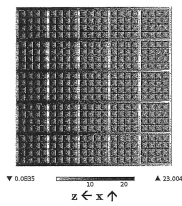
【図 9 a】



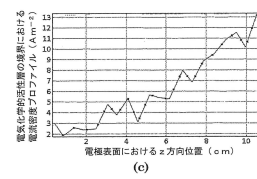
【図 10 b】



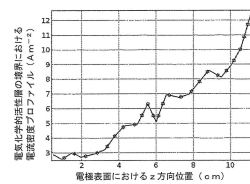
【図 11 a】



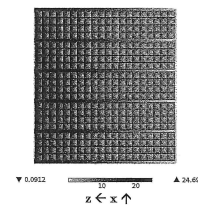
【図 12 b】



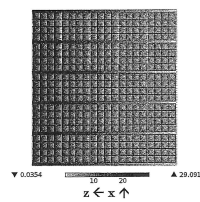
【図 11 b】



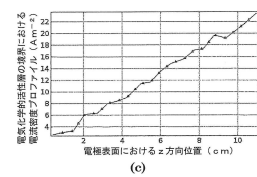
【図 13 a】



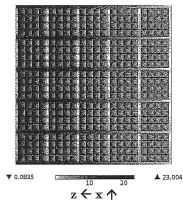
【図 12 a】



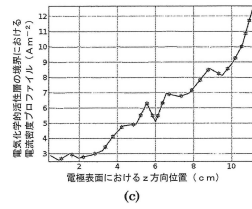
【図 13 b】



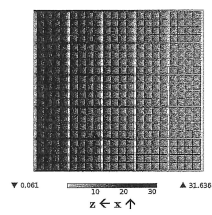
【図 14 a】



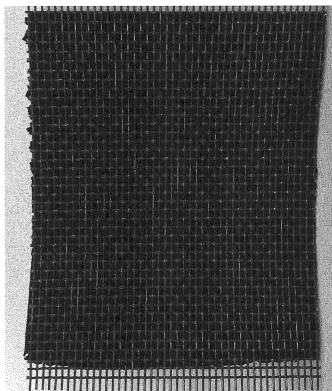
【図 14 b】



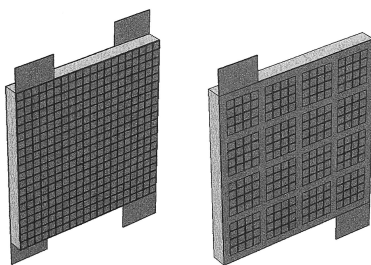
【図 15 a】



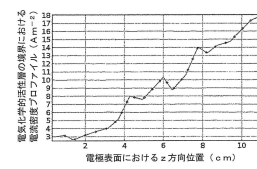
【図 17】



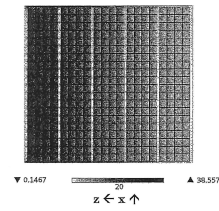
【図 18】



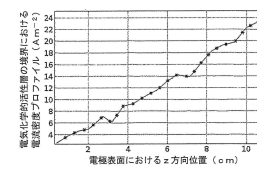
【図 15 b】



【図 16 a】



【図 16 b】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 0 1 M 8/10 (2016.01) H 0 1 M 8/10 1 0 1

(72)発明者 バウマン ベルト
ベルギー王国 ベー - 2 4 0 0 モル ブーレタング 2 0 0 内

審査官 守安 太郎

(56)参考文献 特開昭52-132338(JP,A)
特開2011-029076(JP,A)
特開2011-151024(JP,A)
国際公開第2006/043394(WO,A1)
特開昭49-073627(JP,A)
特開2010-238574(JP,A)
特開2006-107926(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 0 1 M 4 / 8 6
H 0 1 M 4 / 8 8
H 0 1 M 4 / 9 6
H 0 1 M 4 / 6 4 - 4 / 8 4
H 0 1 M 8 / 0 2