

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7199080号
(P7199080)

(45)発行日 令和5年1月5日(2023.1.5)

(24)登録日 令和4年12月22日(2022.12.22)

(51)国際特許分類	F I
C 2 5 B 11/089 (2021.01)	C 2 5 B 11/089
C 2 5 B 11/091 (2021.01)	C 2 5 B 11/091
C 2 5 B 13/04 (2021.01)	C 2 5 B 13/04
C 2 5 B 9/23 (2021.01)	C 2 5 B 9/23
H 0 1 M 8/10 (2016.01)	H 0 1 M 8/10 1 0 1
請求項の数 15 (全32頁) 最終頁に続く	

(21)出願番号	特願2018-135926(P2018-135926)	(73)特許権者	511142604 グローバル・リンク株式会社 千葉県千葉市美浜区中瀬一丁目3番地幕張テクノガーデンB
(22)出願日	平成30年7月19日(2018.7.19)	(74)代理人	100108442 弁理士 小林 義孝
(65)公開番号	特開2020-12166(P2020-12166A)	(72)発明者	奥山 正己 東京都中央区日本橋浜町2-19-9 株式会社グラヴィトン内
(43)公開日	令和2年1月23日(2020.1.23)	(72)発明者	鈴木 健治 埼玉県三郷市新和4-404
審査請求日	令和3年7月16日(2021.7.16)	審査官	松岡 徹
最終頁に続く			

(54)【発明の名称】 電気分解装置及び電極製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

陽極及び陰極と、前記陽極と前記陰極との間に位置してそれら極を接合する電極接合体膜とを備え、前記陽極及び前記陰極に電気を通電し、該陽極で酸化反応を起こすとともに該陰極で還元反応を起こすことで所定の水溶液を化学分解する電気分解装置において、

前記陽極及び前記陰極が、各種の遷移金属から選択された少なくとも3種類の遷移金属の粉体を均一に混合・分散した金属粉体混合物を圧縮した後に焼成したアロイ成形物を微粉砕したアロイ粉体と、前記アロイ粉体を両面に担持させた所定面積のカーボン電極板とから形成され、前記金属粉体混合物が、Ni（ニッケル）の粉体を主成分とし、前記金属粉体混合物では、前記Niの仕事関数と該Niを除く他の少なくとも2種類の遷移金属の仕事関数との合成仕事関数が白金族元素の仕事関数に近似するように、前記各種の遷移金属の中から前記Niの粉体を除く他の少なくとも2種類の遷移金属の粉体を選択されていることを特徴とする電気分解装置。

【請求項2】

前記金属粉体混合物の全重量に対する前記Ni（ニッケル）の粉体の重量比が、30%～50%の範囲にあり、前記Niの粉体を除く1種類の遷移金属の粉体の前記金属粉体混合物の全重量に対する重量比が、20%～50%の範囲にあり、前記Niの粉体を除く他の少なくとも1種類の遷移金属の粉体の前記金属粉体混合物の全重量に対する重量比が、3%～20%の範囲にある請求項1に記載の電気分解装置。

【請求項3】

陽極及び陰極と、前記陽極と前記陰極との間に位置してそれら極を接合する電極接合体膜とを備え、前記陽極及び前記陰極に電気を通電し、該陽極で酸化反応を起こすととも該陰極で還元反応を起こすことで所定の水溶液を化学分解する電気分解装置において、

前記陽極及び前記陰極が、各種の遷移金属から選択された少なくとも3種類の遷移金属の粉体を均一に混合・分散した金属粉体混合物を圧縮した後に焼成したアロイ成形物を微粉砕したアロイ粉体と、前記アロイ粉体を両面に担持させた所定面積のカーボン電極板とから形成され、前記金属粉体混合物が、Fe（鉄）の粉体を主成分とし、前記金属粉体混合物では、前記Feの仕事関数と該Feを除く他の少なくとも2種類の遷移金属の仕事関数との合成仕事関数が白金族元素の仕事関数に近似するように、前記各種の遷移金属の中から前記Feの粉体を除く他の少なくとも2種類の遷移金属の粉体を選択されていることを特徴とする電気分解装置。

10

【請求項4】

前記金属粉体混合物の全重量に対する前記Fe（鉄）の粉体の重量比が、30%～50%の範囲にあり、前記Feの粉体を除く1種類の遷移金属の粉体の前記金属粉体混合物の全重量に対する重量比が、20%～50%の範囲にあり、前記Feの粉体を除く他の少なくとも1種類の遷移金属の粉体の前記金属粉体混合物の全重量に対する重量比が、3%～20%の範囲にある請求項3に記載の電気分解装置。

【請求項5】

陽極及び陰極と、前記陽極と前記陰極との間に位置してそれら極を接合する電極接合体膜とを備え、前記陽極及び前記陰極に電気を通電し、該陽極で酸化反応を起こすととも該陰極で還元反応を起こすことで所定の水溶液を化学分解する電気分解装置において、

20

前記陽極及び前記陰極が、各種の遷移金属から選択された少なくとも3種類の遷移金属の粉体を均一に混合・分散した金属粉体混合物を圧縮した後に焼成したアロイ成形物を微粉砕したアロイ粉体と、前記アロイ粉体を両面に担持させた所定面積のカーボン電極板とから形成され、前記金属粉体混合物が、Cu（銅）の粉体を主成分とし、前記金属粉体混合物では、前記Cuの仕事関数と該Cuを除く他の少なくとも2種類の遷移金属の仕事関数との合成仕事関数が白金族元素の仕事関数に近似するように、前記各種の遷移金属の中から前記Cuの粉体を除く他の少なくとも2種類の遷移金属の粉体を選択されていることを特徴とする電気分解装置。

【請求項6】

前記金属粉体混合物の全重量に対する前記Cu（銅）の粉体の重量比が、30%～50%の範囲にあり、前記Cuの粉体を除く1種類の遷移金属の粉体の前記金属粉体混合物の全重量に対する重量比が、20%～50%の範囲にあり、前記Cuの粉体を除く他の少なくとも1種類の遷移金属の粉体の前記金属粉体混合物の全重量に対する重量比が、3%～20%の範囲にある請求項5に記載の電気分解装置。

30

【請求項7】

前記カーボン電極板の両面には、該カーボン電極板の厚み方向へ重なる前記アロイ粉体によってアロイ粉体積層ポーラス構造物が形成され、前記電気分解装置では、前記電極接合体膜と前記アロイ粉体積層ポーラス構造物とが隙間なく重なり合っている請求項1ないし請求項6いずれかに記載の電気分解装置。

40

【請求項8】

前記遷移金属の粉体の粒径が、10 μ m～200 μ mの範囲にあり、前記アロイ粉体の粒径が、10 μ m～200 μ mの範囲にあり、前記カーボン電極板の厚み寸法が、0.03mm～0.3mmの範囲にある請求項1ないし請求項7いずれかに記載の電気分解装置。

【請求項9】

電気分解装置に使用する陽極及び陰極を製造する電極製造方法において、

前記電極製造方法が、Ni（ニッケル）の粉体を主成分とし、前記Niの仕事関数と該Niを除く他の少なくとも2種類の遷移金属の仕事関数との合成仕事関数が白金族元素の仕事関数に近似するように、前記各種の遷移金属の中から前記Niの粉体を除く他の少なくとも2種類の遷移金属の粉体を選択する遷移金属選択工程と、前記遷移金属選択工程に

50

よって選択された前記Ni（ニッケル）の粉体と該遷移金属選択工程によって選択された少なくとも2種類の遷移金属の粉体とを均一に混合・分散した金属粉体混合物を作る金属粉体混合物作成工程と、前記金属粉体混合物作成工程によって作られた金属粉体混合物を所定圧力で加圧して金属粉体圧縮物を作る金属粉体圧縮物作成工程と、前記金属粉体圧縮物作成工程によって作られた金属粉体圧縮物を所定温度で焼成してアロイ成形物を作るアロイ成形物作成工程と、前記アロイ成形物作成工程によって作られたアロイ成形物を微粉砕してアロイ粉体を作るアロイ粉体作成工程と、前記アロイ粉体作成工程によって作られたアロイ粉体を所定面積のカーボン電極板の両面に担持させるアロイ粉体担持工程とを有することを特徴とする電気分解装置の電極製造方法。

【請求項10】

電気分解装置に使用する陽極及び陰極を製造する電極製造方法において、

前記電極製造方法が、Fe（鉄）の粉体を主成分とし、前記Feの仕事関数と該Feを除く他の少なくとも2種類の遷移金属の仕事関数との合成仕事関数が白金族元素の仕事関数に近似するように、前記各種の遷移金属の中から前記Feの粉体を除く他の少なくとも2種類の遷移金属の粉体を選択する遷移金属選択工程と、前記遷移金属選択工程によって選択された前記Fe（鉄）の粉体と該遷移金属選択工程によって選択された少なくとも2種類の遷移金属の粉体とを均一に混合・分散した金属粉体混合物を作る金属粉体混合物作成工程と、前記金属粉体混合物作成工程によって作られた金属粉体混合物を所定圧力で加圧して金属粉体圧縮物を作る金属粉体圧縮物作成工程と、前記金属粉体圧縮物作成工程によって作られた金属粉体圧縮物を所定温度で焼成してアロイ成形物を作るアロイ成形物作成工程と、前記アロイ成形物作成工程によって作られたアロイ成形物を微粉砕してアロイ粉体を作るアロイ粉体作成工程と、前記アロイ粉体作成工程によって作られたアロイ粉体を所定面積のカーボン電極板の両面に担持させるアロイ粉体担持工程とを有することを特徴とする電気分解装置の電極製造方法。

【請求項11】

電気分解装置に使用する陽極及び陰極を製造する電極製造方法において、

前記電極製造方法が、Cu（銅）の粉体を主成分とし、前記Cuの仕事関数と該Cuを除く他の少なくとも2種類の遷移金属の仕事関数との合成仕事関数が白金族元素の仕事関数に近似するように、前記各種の遷移金属の中から前記Cuの粉体を除く他の少なくとも2種類の遷移金属の粉体を選択する遷移金属選択工程と、前記遷移金属選択工程によって選択された前記Cu（銅）の粉体と該遷移金属選択工程によって選択された少なくとも2種類の遷移金属の粉体とを均一に混合・分散した金属粉体混合物を作る金属粉体混合物作成工程と、前記金属粉体混合物作成工程によって作られた金属粉体混合物を所定圧力で加圧して金属粉体圧縮物を作る金属粉体圧縮物作成工程と、前記金属粉体圧縮物作成工程によって作られた金属粉体圧縮物を所定温度で焼成してアロイ成形物を作るアロイ成形物作成工程と、前記アロイ成形物作成工程によって作られたアロイ成形物を微粉砕してアロイ粉体を作るアロイ粉体作成工程と、前記アロイ粉体作成工程によって作られたアロイ粉体を所定面積のカーボン電極板の両面に担持させるアロイ粉体担持工程とを有することを特徴とする電気分解装置の電極製造方法。

【請求項12】

前記金属粉体混合物作成工程が、前記遷移金属選択工程によって選択された少なくとも3種類の遷移金属を10 μm～200 μmの粒径に微粉砕し、前記アロイ粉体作成工程が、前記アロイ成形物を10 μm～200 μmの粒径に微粉砕する請求項9ないし請求項11いずれかに記載の電気分解装置の電極製造方法。

【請求項13】

前記金属粉体圧縮物作成工程が、前記金属粉体混合物作成工程によって作られた金属粉体混合物を500 Mpa～800 Mpaの圧力で加圧して前記金属粉体圧縮物を作る請求項9ないし請求項12いずれかに記載の電気分解装置の電極製造方法。

【請求項14】

前記アロイ成形物作成工程が、前記遷移金属選択工程によって選択された遷移金属のう

10

20

30

40

50

ちの少なくとも2種類の遷移金属を溶融させる温度で前記金属粉体圧縮物を焼成し、溶融した遷移金属をバインダーとしてそれら遷移金属の粉体を接合する請求項9ないし請求項13いずれかに記載の電気分解装置の電極製造方法。

【請求項15】

前記アロイ粉体担持工程が、0.03mm～0.3mmの厚み寸法の前記カーボン電極板の両面に前記アロイ粉体を担持させ、前記カーボン電極板の厚み方向へ重なる前記アロイ粉体によって該カーボン電極板の両面にアロイ粉体積層ポラス構造物を形成する請求項9ないし請求項14いずれかに記載の電気分解装置の電極製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、電気を利用して所定の水溶液を化学分解する電気分解装置に関するとともに、電気分解装置に使用する陽極及び陰極の電極製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

反応管と、反応管内に收容された触媒体と、流体入口及び流体出口を有する筒状体とを備え、流体入口と流体出口とが筒状体の内部を流路として互いに連通し、反応管が流路内に配置され、触媒体が軸線を反応管の長手方向に平行にする向きに反応管に挿入され、触媒体が一定の軸線に沿って延在する基材と脱水素触媒を含む脱水素触媒層とを備え、基材が軸線を中心として回転する方向にねじれながら軸線に沿って延在する板状部を含み、板状部の表面上に脱水素触媒層が設けられている水素発生装置が開示されている（特許文献1参照）。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開2016-55251号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

前記特許文献1に開示の水素発生装置の触媒体は、金属の成形体の表面を陽極酸化して金属の酸化物を含む金属酸化物膜を形成する工程と、金属酸化物膜に脱水素触媒を担持させる工程とから作られる。金属酸化物膜に脱水素触媒を担持させる工程では、ヘキサクロロ白金(IV)酸イオンを含む酸性の塩化白金水溶液を金属酸化物膜と接触させることによって金属酸化物膜にヘキサクロロ白金(IV)酸イオンを付着させるとともに、ヘキサクロロ白金(IV)酸イオンが付着している金属酸化物膜を焼成して金属酸化物膜に脱水素触媒として白金を担持させる。

30

【0005】

電気分解装置の電極として各種の白金担持カーボンが広く利用されている。しかし、白金族元素は、貴金属であり、その生産量に限りがある希少な資源であることから、その使用量を抑えることが求められている。さらに、今後の電気分解装置の普及に向けて高価な白金以外の金属を利用した非白金触媒を有する廉価な電極の開発が求められている。

40

【0006】

本発明の目的は、白金族元素を利用することなく触媒活性（触媒作用）を有する陽極及び陰極を備え、白金レスの陽極及び陰極を使用して電気分解を効率よく行うことができ、短時間に多量の水素ガスを発生させることができる電気分解装置を提供することにある。本発明の他の目的は、白金族元素を利用することなく、廉価に作ることができ、十分な触媒活性（触媒作用）を有する電気分解装置の陽極及び陰極を製造する電極製造方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0007】

50

前記課題を解決するための本発明の第1の前提は、陽極及び陰極と、陽極と陰極との間に位置してそれら極を接合する電極接合体膜とを備え、陽極及び陰極に電気を通電し、陽極で酸化反応を起こすと同時に陰極で還元反応を起こすことで所定の水溶液を化学分解する電気分解装置である。

【0008】

前記第1の前提における本発明の電気分解装置の第1の特徴は、陽極及び陰極が、各種の遷移金属から選択された少なくとも3種類の遷移金属の粉体を均一に混合・分散した金属粉体混合物を圧縮した後に焼成したアロイ成形物を微粉碎したアロイ粉体と、アロイ粉体を両面に担持させた所定面積のカーボン電極板とから形成され、金属粉体混合物が、Ni（ニッケル）の粉体を主成分とし、金属粉体混合物では、Niの仕事関数とNiを除く他の少なくとも2種類の遷移金属の仕事関数との合成仕事関数が白金族元素の仕事関数に近似するように、各種の遷移金属の中からNiの粉体を除く他の少なくとも2種類の遷移金属の粉体を選択されていることにある。

10

【0009】

前記第1の特徴を有する本発明の電気分解装置の一例としては、金属粉体混合物の全重量に対するNi（ニッケル）の粉体の重量比が、30%～50%の範囲にあり、Niの粉体を除く1種類の遷移金属の粉体の金属粉体混合物の全重量に対する重量比が、20%～50%の範囲にあり、Niの粉体を除く他の少なくとも1種類の遷移金属の粉体の金属粉体混合物の全重量に対する重量比が、3%～20%の範囲にある。

【0010】

前記第1の前提における本発明の電気分解装置の第2の特徴は、陽極及び陰極が、各種の遷移金属から選択された少なくとも3種類の遷移金属の粉体を均一に混合・分散した金属粉体混合物を圧縮した後に焼成したアロイ成形物を微粉碎したアロイ粉体と、アロイ粉体を両面に担持させた所定面積のカーボン電極板とから形成され、金属粉体混合物が、Fe（鉄）の粉体を主成分とし、金属粉体混合物では、Feの仕事関数とFeを除く他の少なくとも2種類の遷移金属の仕事関数との合成仕事関数が白金族元素の仕事関数に近似するように、各種の遷移金属の中からFeの粉体を除く他の少なくとも2種類の遷移金属の粉体を選択されていることにある。

20

【0011】

前記第2の特徴を有する本発明の電気分解装置の一例としては、金属粉体混合物の全重量に対するFe（鉄）の粉体の重量比が、30%～50%の範囲にあり、Feの粉体を除く1種類の遷移金属の粉体の金属粉体混合物の全重量に対する重量比が、20%～50%の範囲にあり、Feの粉体を除く他の少なくとも1種類の遷移金属の粉体の金属粉体混合物の全重量に対する重量比が、3%～20%の範囲にある。

30

【0012】

前記第1の前提における本発明の電気分解装置の第3の特徴は、陽極及び陰極が、各種の遷移金属から選択された少なくとも3種類の遷移金属の粉体を均一に混合・分散した金属粉体混合物を圧縮した後に焼成したアロイ成形物を微粉碎したアロイ粉体と、アロイ粉体を両面に担持させた所定面積のカーボン電極板とから形成され、金属粉体混合物が、Cu（銅）の粉体を主成分とし、金属粉体混合物では、Cuの仕事関数とCuを除く他の少なくとも2種類の遷移金属の仕事関数との合成仕事関数が白金族元素の仕事関数に近似するように、各種の遷移金属の中からCuの粉体を除く他の少なくとも2種類の遷移金属の粉体を選択されていることにある。

40

【0013】

前記第3の特徴を有する本発明の電気分解装置の一例としては、金属粉体混合物の全重量に対するCu（銅）の粉体の重量比が、30%～50%の範囲にあり、Cuの粉体を除く1種類の遷移金属の粉体の前記金属粉体混合物の全重量に対する重量比が、20%～50%の範囲にあり、前記Cuの粉体を除く他の少なくとも1種類の遷移金属の粉体の前記金属粉体混合物の全重量に対する重量比が、3%～20%の範囲にある請求項5に記載の電気分解装置。

50

【0014】

前記第1～第3の特徴を有する本発明の電気分解装置の一例として、カーボン電極板の両面には、カーボン電極板の厚み方向へ重なるアロイ粉体によってアロイ粉体積層ポーラス構造物が形成され、電気分解装置では、電極接合体膜とアロイ粉体積層ポーラス構造物とが隙間なく重なり合っている。

【0015】

前記第1～第3の特徴を有する本発明の電気分解装置の他の一例としては、遷移金属の粉体の粒径が、10 μm～200 μmの範囲にあり、アロイ粉体の粒径が、10 μm～200 μmの範囲にあり、カーボン電極板の厚み寸法が、0.03 mm～0.3 mmの範囲にある。

10

【0016】

前記課題を解決するための本発明の第2の前提は、電気分解装置に使用する陽極及び陰極を製造する電極製造方法である。

【0017】

前記第2の前提における本発明の電極製造方法の第1の特徴は、電極製造方法が、Ni（ニッケル）の粉体を主成分とし、Niの仕事関数とNiを除く他の少なくとも2種類の遷移金属の仕事関数との合成仕事関数が白金族元素の仕事関数に近似するように、各種の遷移金属の中からNiの粉体を除く他の少なくとも2種類の遷移金属の粉体を選択する遷移金属選択工程と、遷移金属選択工程によって選択されたNi（ニッケル）の粉体と遷移金属選択工程によって選択された少なくとも2種類の遷移金属の粉体とを均一に混合・分散した金属粉体混合物を作る金属粉体混合物作成工程と、金属粉体混合物作成工程によって作られた金属粉体混合物を所定圧力で加圧して金属粉体圧縮物を作る金属粉体圧縮物作成工程と、金属粉体圧縮物作成工程によって作られた金属粉体圧縮物を所定温度で焼成してアロイ成形物を作るアロイ成形物作成工程と、アロイ成形物作成工程によって作られたアロイ成形物を微粉砕してアロイ粉体を作るアロイ粉体作成工程と、アロイ粉体作成工程によって作られたアロイ粉体を所定面積のカーボン電極板の両面に担持させるアロイ粉体担持工程とを有することにある。

20

【0018】

前記第2の前提における本発明の電極製造方法の第2の特徴は、電極製造方法が、Fe（鉄）の粉体を主成分とし、Feの仕事関数とFeを除く他の少なくとも2種類の遷移金属の仕事関数との合成仕事関数が白金族元素の仕事関数に近似するように、各種の遷移金属の中からFeの粉体を除く他の少なくとも2種類の遷移金属の粉体を選択する遷移金属選択工程と、遷移金属選択工程によって選択されたFe（鉄）の粉体と遷移金属選択工程によって選択された少なくとも2種類の遷移金属の粉体とを均一に混合・分散した金属粉体混合物を作る金属粉体混合物作成工程と、金属粉体混合物作成工程によって作られた金属粉体混合物を所定圧力で加圧して金属粉体圧縮物を作る金属粉体圧縮物作成工程と、金属粉体圧縮物作成工程によって作られた金属粉体圧縮物を所定温度で焼成してアロイ成形物を作るアロイ成形物作成工程と、アロイ成形物作成工程によって作られたアロイ成形物を微粉砕してアロイ粉体を作るアロイ粉体作成工程と、アロイ粉体作成工程によって作られたアロイ粉体を所定面積のカーボン電極板の両面に担持させるアロイ粉体担持工程とを有することにある。

30

40

【0019】

前記第2の前提における本発明の電極製造方法の第3の特徴は、電極製造方法が、Cu（銅）の粉体を主成分とし、Cuの仕事関数とCuを除く他の少なくとも2種類の遷移金属の仕事関数との合成仕事関数が白金族元素の仕事関数に近似するように、各種の遷移金属の中からCuの粉体を除く他の少なくとも2種類の遷移金属の粉体を選択する遷移金属選択工程と、遷移金属選択工程によって選択されたCu（銅）の粉体と遷移金属選択工程によって選択された少なくとも2種類の遷移金属の粉体とを均一に混合・分散した金属粉体混合物を作る金属粉体混合物作成工程と、金属粉体混合物作成工程によって作られた金属粉体混合物を所定圧力で加圧して金属粉体圧縮物を作る金属粉体圧縮物作成工程と、金

50

属粉体圧縮物作成工程によって作られた金属粉体圧縮物を所定温度で焼成してアロイ成形物を作るアロイ成形物作成工程と、アロイ成形物作成工程によって作られたアロイ成形物を微粉砕してアロイ粉体を作るアロイ粉体作成工程と、アロイ粉体作成工程によって作られたアロイ粉体を所定面積のカーボン電極板の両面に担持させるアロイ粉体担持工程とを有することにある。

【0020】

前記第1～第3の特徴を有する本発明の電極製造方法の一例としては、金属粉体混合物作成工程が、遷移金属選択工程によって選択された少なくとも3種類の遷移金属を10 μ m～200 μ mの粒径に微粉砕し、アロイ粉体作成工程が、アロイ成形物を10 μ m～200 μ mの粒径に微粉砕する。

10

【0021】

前記第1～第3の特徴を有する本発明の電極製造方法の他の一例としては、金属粉体圧縮物作成工程が、金属粉体混合物作成工程によって作られた金属粉体混合物を500Mpa～800Mpaの圧力で加圧して金属粉体圧縮物を作る。

【0022】

前記第1～第3の特徴を有する本発明の電極製造方法の他の一例としては、アロイ成形物作成工程が、遷移金属選択工程によって選択された遷移金属のうちの少なくとも2種類の遷移金属を溶融させる温度で金属粉体圧縮物を焼成し、溶融した遷移金属をバインダーとしてそれら遷移金属の粉体を接合する。

【0023】

前記第1～第3の特徴を有する本発明の電極製造方法の他の一例としては、アロイ粉体担持工程が、0.03mm～0.3mmの厚み寸法のカーボン電極板の両面にアロイ粉体を担持させ、カーボン電極板の厚み方向へ重なるアロイ粉体によってカーボン電極板の両面にアロイ粉体積層ポーラス構造物を形成する。

20

【発明の効果】

【0024】

本発明に係る電気分解装置によれば、それに使用される陽極及び陰極が各種の遷移金属から選択された少なくとも3種類の遷移金属の粉体を均一に混合・分散した金属粉体混合物を圧縮した後に焼成したアロイ成形物を微粉砕したアロイ粉体と、アロイ粉体を両面に担持させた所定面積のカーボン電極板とから形成され、選択された少なくとも3種類の遷移金属の仕事関数の合成仕事関数が白金族元素の仕事関数に近似するように、各種の遷移金属の中から少なくとも3種類の遷移金属が選択されているから、アロイ粉体を有する白金レスの陽極及び陰極が白金族元素を含む陽極及び陰極と略同一の仕事関数を備え、白金レスの陽極及び陰極が白金族元素を含む陽極及び陰極と略同様の触媒活性（触媒作用）を発揮し、白金レスの陽極及び陰極を使用した電気分解装置において電気分解を効率よく行うことができ、電気分解装置において短時間に多量の水素ガスを発生させることができる。

30

【0025】

カーボン電極板の厚み方向へ重なるアロイ粉体によってカーボン電極板の両面にアロイ粉体積層ポーラス構造物が形成され、電極接合体膜とアロイ粉体積層ポーラス構造物とが隙間なく重なり合っている電気分解装置は、カーボン電極板の両面にアロイ粉体積層ポーラス構造物を形成することで、アロイ粉体の比表面積を大きくすることができ、アロイ粉体の触媒作用を十分に利用することができるとともに、アロイ粉体積層ポーラス構造物を有する陽極及び陰極が白金族元素を含む陽極及び陰極と略同一の仕事関数を備え、白金レスの陽極及び陰極が白金族元素を含む陽極及び陰極と略同様の触媒活性（触媒作用）を確実に発揮し、白金レスの陽極及び陰極を使用した電気分解装置において電気分解を効率よく行うことができ、電気分解装置において短時間に多量の水素ガスを確実に発生させることができる。

40

【0026】

遷移金属の粉体の粒径が10 μ m～200 μ mの範囲にあり、アロイ粉体の粒径が10 μ m～200 μ mの範囲にあり、カーボン電極板の厚み寸法が0.03mm～0.3mm

50

の範囲にある電気分解装置は、カーボン電極板の厚み寸法を前記範囲にすることで、陽極及び陰極の電気抵抗を小さくすることができ、陽極及び陰極を電流がスムーズに流れるから、白金レスの陽極及び陰極を使用した電気分解装置において電気分解を効率よく行うことができ、電気分解装置において短時間に多量の水素ガスを確実に発生させることができる。

【0027】

金属粉体混合物がNi（ニッケル）の粉体を主成分とし、Niの仕事関数とNiを除く他の少なくとも2種類の遷移金属の仕事関数との合成仕事関数が白金族元素の仕事関数に近似するように、各種の遷移金属の中からNiの粉体を除く他の少なくとも2種類の遷移金属の粉体を選択されている電気分解装置は、Niの仕事関数とNiを除く他の少なくとも2種類の遷移金属の仕事関数との合成仕事関数が白金族元素の仕事関数に近似するように、各種の遷移金属の中からNiの粉体を除く他の少なくとも2種類の遷移金属の粉体を選択されているから、アロイ粉体又はアロイ粉体積層ポーラス構造物を有する陽極及び陰極が白金族元素を含む陽極及び陰極と略同一の仕事関数を備え、Niの粉体を主成分とした白金レスの陽極及び陰極が白金族元素を含む陽極及び陰極と略同様の触媒活性（触媒作用）を発揮し、白金レスの陽極及び陰極を使用した電気分解装置において電気分解を効率よく行うことができ、電気分解装置において短時間に多量の水素ガスを発生させることができる。

10

【0028】

金属粉体混合物の全重量に対するNi（ニッケル）の粉体の重量比が30%～50%の範囲にあり、Niの粉体を除く1種類の遷移金属の粉体の金属粉体混合物の全重量に対する重量比が20%～50%の範囲にあり、Niの粉体を除く他の少なくとも1種類の遷移金属の粉体の金属粉体混合物の全重量に対する重量比が3%～20%の範囲にある電気分解装置は、Niの仕事関数とNiを除く他の少なくとも2種類の遷移金属の仕事関数との合成仕事関数が白金族元素の仕事関数に近似するように、各種の遷移金属の中からNiの粉体を除く他の少なくとも2種類の遷移金属の粉体を選択されているとともに、Niの粉体の重量比やNiの粉体を除く少なくとも1種類の遷移金属の粉体の重量比、Niの粉体を除く他の少なくとも1種類の遷移金属の粉体の重量比を前記範囲にすることで、Niの粉体を主成分とした陽極及び陰極が白金族元素を含む陽極及び陰極と略同一の仕事関数を備え、Niの粉体を主成分とした白金レスの陽極及び陰極が白金族元素を含む陽極及び陰極と略同様の触媒活性（触媒作用）を発揮し、白金レスの陽極及び陰極を使用した電気分解装置において電気分解を効率よく行うことができ、電気分解装置において短時間に多量の水素ガスを発生させることができる。

20

30

【0029】

金属粉体混合物がFe（鉄）の粉体を主成分とし、Feの仕事関数とFeを除く他の少なくとも2種類の遷移金属の仕事関数との合成仕事関数が白金族元素の仕事関数に近似するように、各種の遷移金属の中からFeの粉体を除く他の少なくとも2種類の遷移金属の粉体を選択されている電気分解装置は、Feの仕事関数とFeを除く他の少なくとも2種類の遷移金属の仕事関数との合成仕事関数が白金族元素の仕事関数に近似するように、各種の遷移金属の中からFeの粉体を除く他の少なくとも2種類の遷移金属の粉体を選択されているから、アロイ粉体又はアロイ粉体積層ポーラス構造物を有する陽極及び陰極が白金族元素を含む陽極及び陰極と略同一の仕事関数を備え、Feの粉体を主成分とした白金レスの陽極及び陰極が白金族元素を含む陽極及び陰極と略同様の触媒活性（触媒作用）を発揮し、白金レスの陽極及び陰極を使用した電気分解装置において電気分解を効率よく行うことができ、電気分解装置において短時間に多量の水素ガスを発生させることができる。

40

【0030】

金属粉体混合物の全重量に対するFe（鉄）の粉体の重量比が30%～50%の範囲にあり、Feの粉体を除く1種類の遷移金属の粉体の金属粉体混合物の全重量に対する重量比が20%～50%の範囲にあり、Feの粉体を除く他の少なくとも1種類の遷移金属の粉体の金属粉体混合物の全重量に対する重量比が3%～20%の範囲にある電気分解装置

50

は、F eの仕事関数とF eを除く他の少なくとも2種類の遷移金属の仕事関数との合成仕事関数が白金族元素の仕事関数に近似するように、各種の遷移金属の中からF eの粉体を除く他の少なくとも2種類の遷移金属の粉体を選択されているとともに、F eの粉体の重量比やF eの粉体を除く少なくとも1種類の遷移金属の粉体の重量比、F eの粉体を除く他の少なくとも1種類の遷移金属の粉体の重量比を前記範囲にすることで、F eの粉体を主成分とした陽極及び陰極が白金族元素を含む陽極及び陰極と略同一の仕事関数を備え、F eの粉体を主成分とした白金レスの陽極及び陰極が白金族元素を含む陽極及び陰極と略同様の触媒活性（触媒作用）を発揮し、白金レスの陽極及び陰極を使用した電気分解装置において電気分解を効率よく行うことができ、電気分解装置において短時間に多量の水素ガスを発生させることができる。

10

【0031】

金属粉体混合物がC u（銅）の粉体を主成分とし、C uの仕事関数とC uを除く他の少なくとも2種類の遷移金属の仕事関数との合成仕事関数が白金族元素の仕事関数に近似するように、各種の遷移金属の中からC uの粉体を除く他の少なくとも2種類の遷移金属の粉体を選択されている電気分解装置は、C uの仕事関数とC uを除く他の少なくとも2種類の遷移金属の仕事関数との合成仕事関数が白金族元素の仕事関数に近似するように、各種の遷移金属の中からC uの粉体を除く他の少なくとも2種類の遷移金属の粉体を選択されているから、アロイ粉体又はアロイ粉体積層ポーラス構造物を有する陽極及び陰極が白金族元素を含む陽極及び陰極と略同一の仕事関数を備え、C uの粉体を主成分とした白金レスの陽極及び陰極が白金族元素を含む陽極及び陰極と略同様の触媒活性（触媒作用）を発揮し、白金レスの陽極及び陰極を使用した電気分解装置において電気分解を効率よく行うことができ、電気分解装置において短時間に多量の水素ガスを発生させることができる。

20

【0032】

金属粉体混合物の全重量に対するC u（銅）の粉体の重量比が30%～50%の範囲にあり、C uの粉体を除く1種類の遷移金属の粉体の金属粉体混合物の全重量に対する重量比が20%～50%の範囲にあり、C uの粉体を除く他の少なくとも1種類の遷移金属の粉体の金属粉体混合物の全重量に対する重量比が3%～20%の範囲にある電気分解装置は、C uの仕事関数とC uを除く他の少なくとも2種類の遷移金属の仕事関数との合成仕事関数が白金族元素の仕事関数に近似するように、各種の遷移金属の中からC uの粉体を除く他の少なくとも2種類の遷移金属の粉体を選択されているとともに、C uの粉体の重量比やC uの粉体を除く少なくとも1種類の遷移金属の粉体の重量比、C uの粉体を除く他の少なくとも1種類の遷移金属の粉体の重量比を前記範囲にすることで、C uの粉体を主成分とした陽極及び陰極が白金族元素を含む陽極及び陰極と略同一の仕事関数を備え、C uの粉体を主成分とした白金レスの陽極及び陰極が白金族元素を含む陽極及び陰極と略同様の触媒活性（触媒作用）を発揮し、白金レスの陽極及び陰極を使用した電気分解装置において電気分解を効率よく行うことができ、電気分解装置において短時間に多量の水素ガスを発生させることができる。

30

【0033】

選択された遷移金属のうちの少なくとも2種類の遷移金属が金属粉体混合物の焼成時に溶融し、溶融した遷移金属をバインダーとしてそれら遷移金属の粉体が接合されている電気分解装置は、遷移金属のうちの少なくとも2種類の遷移金属が溶融することでアロイ成形物を作ることができるとともに、アロイ成形物を微粉碎したアロイ粉体を作ることができるから、アロイ粉体又はアロイ粉体積層ポーラス構造物を備えた陽極及び陰極が白金族元素を含む陽極及び陰極と略同様の触媒活性（触媒作用）を発揮し、白金レスの陽極及び陰極を使用した電気分解装置において電気分解を効率よく行うことができ、電気分解装置において短時間に多量の水素ガスを発生させることができる。

40

【0034】

本発明に係る電気分解装置の陽極及び陰極を製造する電極製造方法によれば、各種の遷移金属から選択する少なくとも3種類の遷移金属の仕事関数の合成仕事関数が白金族元素の仕事関数に近似するように、各種の遷移金属の中から少なくとも3種類の遷移金属を選

50

択する遷移金属選択工程と、遷移金属選択工程によって選択された少なくとも3種類の遷移金属の粉体を均一に混合・分散した金属粉体混合物を作る金属粉体混合物作成工程と、金属粉体混合物作成工程によって作られた金属粉体混合物を所定圧力で加圧して金属粉体圧縮物を作る金属粉体圧縮物作成工程と、金属粉体圧縮物作成工程によって作られた金属粉体圧縮物を所定温度で焼成してアロイ成形物を作るアロイ成形物作成工程と、アロイ成形物作成工程によって作られたアロイ成形物を微粉砕してアロイ粉体を作るアロイ粉体作成工程と、アロイ粉体作成工程によって作られたアロイ粉体を所定面積のカーボン電極板の両面に担持させるアロイ粉体担持工程とから陽極及び陰極を作るから、白金族元素を利用しない白金レスの電気分解装置の陽極及び陰極を廉価に作ることができ、触媒活性（触媒作用）を有して触媒機能を十分かつ確実に利用することが可能であり、電気分解装置において短時間に多量の水素ガスを発生させることが可能な陽極及び陰極を作ることができる。

10

【0035】

金属粉体混合物作成工程が遷移金属選択工程によって選択された少なくとも3種類の遷移金属を $10\mu\text{m} \sim 200\mu\text{m}$ の粒径に微粉砕し、アロイ粉体作成工程がアロイ成形物を $10\mu\text{m} \sim 200\mu\text{m}$ の粒径に微粉砕する電気分解装置の電極製造方法は、遷移金属を前記範囲の粒径に微粉砕することでアロイ成形物を作ることができるとともに、アロイ成形物を前記範囲の粒径に微粉砕することでアロイ粉体又はアロイ粉体積層ポーラス構造物を有する白金レスの陽極及び陰極を作ることができ、触媒機能を十分かつ確実に利用することが可能であって優れた触媒活性（触媒作用）を有して電気分解装置に好適に使用することが可能な陽極及び陰極を作ることができる。

20

【0036】

金属粉体圧縮物作成工程が金属粉体混合物作成工程によって作られた金属粉体混合物を $500\text{Mpa} \sim 800\text{Mpa}$ の圧力で加圧して金属粉体圧縮物を作る電気分解装置の電極製造方法は、金属粉体混合物を前記範囲の圧力で加圧（圧縮）することで、金属粉体圧縮物を作ることができ、その金属粉体圧縮物を焼成してアロイ成形物を作ることができるとともに、アロイ成形物を微粉砕したアロイ粉体又はアロイ粉体積層ポーラス構造物を有して電気分解装置に好適に使用することが可能な白金レスの陽極及び陰極を作ることができる。

【0037】

アロイ成形物作成工程が遷移金属選択工程によって選択された遷移金属のうちの少なくとも2種類の遷移金属を溶融させる温度で金属粉体圧縮物を焼成し、溶融した遷移金属をバインダーとしてそれら遷移金属の粉体を接合する電気分解装置の電極製造方法は、遷移金属のうちの少なくとも2種類の遷移金属が溶融することでアロイ成形物を作ることができるとともに、アロイ成形物を微粉砕したアロイ粉体を作ることができ、アロイ粉体又はアロイ粉体積層ポーラス構造物を有して電気分解装置に好適に使用することが可能な白金レスの陽極及び陰極を作ることができる。電極製造方法は、遷移金属のうちの少なくとも2種類の遷移金属をバインダーとして遷移金属の粉体を接合するから、陽極及び陰極が高い強度を有してその形状を維持することができ、破損や損壊を防ぐことが可能な電気分解装置の陽極及び陰極を作ることができる。

30

40

【0038】

アロイ粉体担持工程が $0.03\text{mm} \sim 0.3\text{mm}$ の厚み寸法のカーボン電極板の両面にアロイ粉体を担持させ、カーボン電極板の厚み方向へ重なるアロイ粉体によってカーボン電極板の両面にアロイ粉体積層ポーラス構造物を形成する電気分解装置の電極製造方法は、アロイ粉体の比表面積を大きくしたアロイ粉体積層ポーラス構造物を有する白金レスの陽極及び陰極を作ることができるとともに、カーボン電極板の厚み寸法を前記範囲にすることで、陽極及び陰極の電気抵抗を小さくすることができ、電流をスムーズに流すことが可能であり、電気分解装置において短時間に多量の水素ガスを発生させることが可能な陽極及び陰極を作ることができる。

【図面の簡単な説明】

50

【 0 0 3 9 】

【 図 1 】 一例として示す電気分解装置の側面図。

【 図 2 】 一例として示す陽極及び陰極の斜視図。

【 図 3 】 陽極及び陰極の一例として示す部分拡大正面図。

【 図 4 】 図 3 の A - A 線端面図。

【 図 5 】 他の一例として示す陽極及び陰極の部分拡大正面図。

【 図 6 】 図 5 の B - B 線端面図。

【 図 7 】 電気分解装置を使用した電気分解の一例を説明する図。

【 図 8 】 電気分解装置を利用した水素ガス生成システムの一部を示す図。

【 図 9 】 燃料極及び空気極を使用した固体高分子形燃料電池の側面図。

10

【 図 1 0 】 陽極及び陰極の起電圧試験の結果を示す図。

【 図 1 1 】 陽極及び陰極の I - V 特性試験の結果を示す図。

【 図 1 2 】 電気分解装置に使用する陽極及び陰極の製造方法を説明する図。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 4 0 】

一例として示す電気分解装置 1 0 の側面図である図 1 等の添付の図面を参照し、本発明に係る電気分解装置及び電気分解装置に使用する陽極及び陰極の製造方法の詳細を説明すると、以下のとおりである。なお、図 2 は、一例として示す陽極 1 1 A 及び陰極 1 2 A の斜視図であり、図 3 は、陽極 1 1 A 及び陰極 1 2 A の一例として示す部分拡大正面図である。図 4 は、図 3 の A - A 線端面図である。図 2 では、厚み方向を矢印 X で示し、径方向を矢印 Y で示す。

20

【 0 0 4 1 】

電気分解装置 1 0 (水素ガス発生装置)は、陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B (アノード)と、陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B (カソード)と、陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B 及び陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B の間に位置 (介在) する固体高分子電解質膜 1 3 (電極接合体膜) (スルホン酸基を有するフッ素系イオン交換膜) と、陽極給電部材 1 4 及び陰極給電部材 1 5 と、陽極用貯水槽 1 6 及び陰極用貯水槽 1 7 と、陽極主電極 1 8 及び陰極主電極 1 9 とから形成されている。

【 0 0 4 2 】

電気分解装置 1 0 は、陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B 及び陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B に電気を通電し、陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B で酸化反応を起こすと同時に陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B で還元反応を起こすことで所定の水溶液を化学分解する。電気分解装置 1 0 では、陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B 及び陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B、固体高分子電解質膜 1 3 が厚み方向へ重なり合って一体化し、膜/電極接合体 2 0 (Membrane Electrode Assembly, MEA) を構成し、膜/電極接合体 2 0 を陽極給電部材 1 4 と陰極給電部材 1 5 とが挟み込んでいる。固体高分子電解質膜 1 3 は、プロトン導電性があり、電子導電性がない。

30

【 0 0 4 3 】

陽極給電部材 1 4 は、陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B の外側に位置して陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B に密着し、陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B に + の電流を給電する。陽極用貯水槽 1 6 は、陽極給電部材 1 4 の外側に位置して陽極給電部材 1 4 に密着している。陽極主電極 1 8 は、陽極用貯水槽 1 6 の外側に位置して陽極給電部材 1 4 に + の電流を給電する。陰極給電部材 1 5 は、陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B の外側に位置して陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B に密着し、陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B に - の電流を給電する。陰極用貯水槽 1 7 は、陰極給電部材 1 5 の外側に位置して陰極給電部材 1 5 に密着している。陰極主電極 1 9 は、陰極用貯水槽 1 7 の外側に位置して陰極給電部材 1 5 に - の電流を給電する。

40

【 0 0 4 4 】

電気分解装置 1 0 (水素ガス発生装置) に使用する陽極 1 1 A 及び陰極 1 2 A は、図 2 に示すように、前面 2 1 及び後面 2 2 を有するとともに、所定の面積及び所定の厚み寸法を有し、その平面形状が四角形に成形されている。なお、陽極 1 1 A (陽極 1 1 B を含む) や陰極 1 2 A (陰極 1 2 B を含む) の平面形状に特に制限はなく、四角形の他に、その

50

用途にあわせて円形や楕円形、多角形等の他のあらゆる平面形状に成形することができる。

【0045】

陽極11A及び陰極12Aは、アロイ粉体23（合金粉体）と所定面積のカーボン電極板24（カーボン電極薄板）とから形成されている。アロイ粉体23は、アロイ成形物（合金成形物）（図12参照）を微粉砕することから作られている。アロイ粉体23は、その粒径が $10\mu\text{m} \sim 200\mu\text{m}$ の範囲にある。アロイ成形物は、粉状に加工（微粉砕）された各種の遷移金属から選択された少なくとも3種類の遷移金属の粉体を均一に混合・分散した金属粉体混合物（図12参照）を圧縮した後に焼成（焼結）することから作られている。遷移金属としては、3d遷移金属や4d遷移金属が使用される。3d遷移金属には、Ti（チタン）、Cr（クロム）、Mn（マンガン）、Fe（鉄）、Co（コバルト）、Ni（ニッケル）、Cu（銅）、Zn（亜鉛）が使用される。4d遷移金属には、Nb（ニオブ）、Mo（モリブデン）、Ag（銀）が使用される。

10

【0046】

遷移金属の粉体には、粉状に加工（微粉砕）されたTi（チタン）粉体、粉状に加工（微粉砕）されたCr（クロム）粉体、粉状に加工（微粉砕）されたMn（マンガン）粉体、粉状に加工（微粉砕）されたFe（鉄）粉体、粉状に加工（微粉砕）されたCo（コバルト）粉体、粉状に加工（微粉砕）されたNi（ニッケル）粉体、粉状に加工（微粉砕）されたCu（銅）粉体、粉状に加工（微粉砕）されたZn（亜鉛）粉体、粉状に加工（微粉砕）されたNb（ニオブ）粉体、粉状に加工（微粉砕）されたMo（モリブデン）粉体、粉状に加工されたAg（銀）粉体を使用される。

20

【0047】

Tiの粉体（粉状に加工（微粉砕）されたTi）やCrの粉体（粉状に加工（微粉砕）されたCr）、Mnの粉体（粉状に加工（微粉砕）されたMn）、Feの粉体（粉状に加工（微粉砕）されたFe）、Coの粉体（粉状に加工（微粉砕）されたCo）、Niの粉体（粉状に加工（微粉砕）されたNi）、Cuの粉体（粉状に加工（微粉砕）されたCu）、Znの粉体（粉状に加工（微粉砕）されたZn）、Nbの粉体（粉状に加工（微粉砕）されたNb）、Moの粉体（粉状に加工（微粉砕）されたMo）、Agの粉体（粉状に加工（微粉砕）されたAg）は、それらの粒径が $10\mu\text{m} \sim 200\mu\text{m}$ の範囲にある。

【0048】

金属粉体混合物では、選択された少なくとも3種類の遷移金属の仕事関数（物質から電子を取り出すのに必要なエネルギー）の合成仕事関数が白金族元素の仕事関数に近似するように、遷移金属の中から少なくとも3種類の遷移金属が選択されている。Tiの仕事関数は、 4.14 (eV) 、Crの仕事関数は、 4.5 (eV) 、Mnの仕事関数は、 4.1 (eV) 、Feの仕事関数は、 4.67 (eV) 、Coの仕事関数は、 5.0 (eV) 、Niの仕事関数は、 5.22 (eV) 、Cuの仕事関数は、 5.10 (eV) 、Znの仕事関数は、 3.63 (eV) 、Nbの仕事関数は、 4.01 (eV) 、Moの仕事関数は、 4.45 (eV) 、Agの仕事関数は、 4.31 (eV) である。なお、白金の仕事関数は、 5.65 (eV) である。

30

【0049】

金属粉体混合物の一例としては、粉状に加工（微粉砕）されたNi（ニッケル）の粉体を主成分とし、Niの粉体とNiを除く粉状に加工（微粉砕）されたその他の少なくとも2種類の遷移金属（粉状のTi（チタン）、粉状のCr（クロム）、粉状のMn（マンガン）、粉状のFe（鉄）、粉状のCo（コバルト）、粉状のCu（銅）、粉状のZn（亜鉛）、粉状のNb（ニオブ）、粉状のMo（モリブデン）、粉状のAg（銀）のうちの少なくとも2種類）の粉体とを均一に混合・分散した金属粉体混合物である。

40

【0050】

主成分となるNi（ニッケル）の粉体とNiを除く他の少なくとも2種類の遷移金属の粉体とを混合した金属粉体混合物は、Niの仕事関数とNiを除く他の少なくとも2種類の遷移金属の仕事関数との合成仕事関数が白金族元素の仕事関数に近似するように、各種の遷移金属の中からNiの粉体を除く他の少なくとも2種類の遷移金属の粉体を選択され

50

ている。Niの粉体を主成分としたアロイ成形物では、選択された遷移金属のうちの少なくとも2種類の遷移金属が金属粉体混合物の焼成時に溶融し、溶融した遷移金属をバインダーとしてそれら遷移金属の粉体が接合されている。Niを主成分としたアロイ粉体23は、Niの粉体を主成分とした金属粉体混合物を圧縮した後に焼成することから作られたアロイ成形物を微粉碎した粒径が10 μm ~ 200 μmの微粉碎物である。

【0051】

Ni(ニッケル)の粉体を主成分とした金属粉体混合物では、金属粉体混合物の全重量に対するNiの粉体の重量比が30% ~ 50%の範囲にあり、Niの粉体を除く1種類の遷移金属の粉体(Ti(チタン)粉体、Cr(クロム)粉体、Mn(マンガン)粉体、Fe(鉄)粉体、Co(コバルト)粉体、Cu(銅)粉体、Zn(亜鉛)粉体、Nb(ニオブ)粉体、Mo(モリブデン)粉体、Ag(銀)粉体のうちの少なくとも1種類)の金属粉体混合物の全重量に対する重量比が20% ~ 50%の範囲にあり、Niの粉体を除く他の少なくとも1種類の遷移金属の粉体(Ti(チタン)粉体、Cr(クロム)粉体、Mn(マンガン)粉体、Fe(鉄)粉体、Co(コバルト)粉体、Cu(銅)粉体、Zn(亜鉛)粉体、Nb(ニオブ)粉体、Mo(モリブデン)粉体、Ag(銀)粉体のうちの他の少なくとも1種類)の金属粉体混合物の全重量に対する重量比が3% ~ 20%の範囲にある。

10

【0052】

Ni(ニッケル)を主成分としたアロイ粉体23(Niを主成分とした合金粉体)の具体例としては、Niの粉体、Cuの粉体、Znの粉体を均一に混合・分散した金属粉体混合物を圧縮した後に焼成してアロイ成形物を作り、そのアロイ成形物を微粉碎した粒径が10 μm ~ 200 μmの微粉碎物である。このアロイ粉体23は、金属粉体混合物の全重量に対するNiの粉体の重量比が48%、金属粉体混合物の全重量に対するCuの粉体重量比が42%、金属粉体混合物の全重量に対するZnの粉体重量比が10%である。Niの融点が1455、Cuの融点が1084.5、Znの融点が419.85であるから、Znの粉体及びCuの粉体が溶融し、溶融したZn及びCuがバインダーとなってNiの粉体を接合している。

20

【0053】

Ni(ニッケル)を主成分としたアロイ粉体23の他の具体例としては、Niの粉体、Mnの粉体、Moの粉体を均一に混合・分散した金属粉体混合物を圧縮した後に焼成してアロイ成形物を作り、そのアロイ成形物を微粉碎した粒径が10 μm ~ 200 μmの微粉碎物である。このアロイ粉体23は、金属粉体混合物の全重量に対するNiの粉体の重量比が48%、金属粉体混合物の全重量に対するMnの粉体重量比が7%、金属粉体混合物の全重量に対するMoの粉体重量比が45%である。Niの融点が1455、Mnの融点が1246、Moの融点が2623であるから、Mnの粉体及びNiの粉体が溶融し、溶融したMn及びNiがバインダーとなってMoの粉体を接合している。

30

【0054】

金属粉体混合物の他の一例としては、粉状に加工(微粉碎)されたFe(鉄)の粉体を主成分とし、Feの粉体とFeを除く粉状に加工(微粉碎)されたその他の少なくとも2種類の遷移金属(粉状のTi(チタン)、粉状のCr(クロム)、粉状のMn(マンガン)、粉状のCo(コバルト)、粉状のNi(ニッケル)、粉状のCu(銅)、粉状のZn(亜鉛)、粉状のNb(ニオブ)、粉状のMo(モリブデン)、粉状のAg(銀)のうちの少なくとも2種類)の粉体とを均一に混合・分散した金属粉体混合物である。

40

【0055】

主成分となるFe(鉄)の粉体とFeを除く他の少なくとも2種類の遷移金属の粉体とを混合した金属粉体混合物は、Feの仕事関数とFeを除く他の少なくとも2種類の遷移金属の仕事関数との合成仕事関数が白金族元素の仕事関数に近似するように、各種の遷移金属の中からFeの粉体を除く他の少なくとも2種類の遷移金属の粉体を選択されている。Feの粉体を主成分としたアロイ成形物では、選択された遷移金属のうちの少なくとも2種類の遷移金属が金属粉体混合物の焼成時に溶融し、溶融した遷移金属をバインダーと

50

してそれら遷移金属の粉体が接合されている。Feを主成分としたアロイ粉体23は、Feの粉体を主成分とした金属粉体混合物を圧縮した後に焼成することから作られたアロイ成形物を微粉碎した粒径が10 μ m~200 μ mの微粉碎物である。

【0056】

Fe(鉄)の粉体を主成分とした金属粉体混合物では、金属粉体混合物の全重量に対するFeの粉体の重量比が30%~50%の範囲にあり、Feの粉体を除く1種類の遷移金属の粉体(Ti(チタン)粉体、Cr(クロム)粉体、Mn(マンガン)粉体、Co(コバルト)粉体、Ni(ニッケル)粉体、Cu(銅)粉体、Zn(亜鉛)粉体、Nb(ニオブ)粉体、Mo(モリブデン)粉体、Ag(銀)粉体のうちの少なくとも1種類)の金属粉体混合物の全重量に対する重量比が20%~50%の範囲にあり、Feの粉体を除く他の少なくとも1種類の遷移金属の粉体(Ti(チタン)粉体、Cr(クロム)粉体、Mn(マンガン)粉体、Co(コバルト)粉体、Ni(ニッケル)粉体、Cu(銅)粉体、Zn(亜鉛)粉体、Nb(ニオブ)粉体、Mo(モリブデン)粉体、Ag(銀)粉体のうちの他の少なくとも1種類)の前記金属粉体混合物の全重量に対する重量比が3%~20%の範囲にある。

10

【0057】

Fe(鉄)を主成分としたアロイ粉体23(Feを主成分とした合金粉体)の具体例としては、Feの粉体、Niの粉体、Cuの粉体を均一に混合・分散した金属粉体混合物を圧縮した後に焼成してアロイ成形物を作り、そのアロイ成形物を微粉碎した粒径が10 μ m~200 μ mの微粉碎物である。このアロイ粉体23は、金属粉体混合物の全重量に対するFeの粉体の重量比が48%、金属粉体混合物の全重量に対するNiの粉体重量比が48%、金属粉体混合物の全重量に対するCuの粉体重量比が4%である。Feの融点が1536、Niの融点が1455、Cuの融点が1084.5であるから、Cuの粉体及びNiの粉体が熔融し、熔融したCu及びNiがバインダーとなってFeの粉体を接合している。

20

【0058】

Fe(鉄)を主成分としたアロイ粉体23の他の具体例としては、Feの粉体、Tiの粉体、Agの粉体を均一に混合・分散した金属粉体混合物を圧縮した後に焼成してアロイ成形物を作り、そのアロイ成形物を微粉碎した粒径が10 μ m~200 μ mの微粉碎物である。このアロイ粉体23は、金属粉体混合物の全重量に対するFeの粉体の重量比が48%、金属粉体混合物の全重量に対するTiの粉体重量比が46%、金属粉体混合物の全重量に対するAgの粉体重量比が6%である。Feの融点が1536、Tiの融点が1666、Agの融点が961.93であるから、Agの粉体及びFeの粉体が熔融し、熔融したAg及びFeがバインダーとなってTiの粉体を接合している。

30

【0059】

金属粉体混合物の他の一例としては、粉状に加工(微粉碎)されたCu(銅)の粉体を主成分とし、Cuの粉体とCuを除く粉状に加工(微粉碎)されたその他の遷移金属(粉状のTi(チタン)、粉状のCr(クロム)、粉状のMn(マンガン)、粉状のFe(鉄)、粉状のCo(コバルト)、粉状のNi(ニッケル)、粉状のZn(亜鉛)、粉状のNb(ニオブ)、粉状のMo(モリブデン)、粉状のAg(銀)のうちの少なくとも2種類)の粉体とを均一に混合・分散した金属粉体混合物である。

40

【0060】

主成分となるCu(銅)の粉体とCuを除く他の少なくとも2種類の遷移金属の粉体とを混合した金属粉体混合物は、Cuの仕事関数とCuを除く他の少なくとも2種類の遷移金属の仕事関数との合成仕事関数が白金族元素の仕事関数に近似するように、各種の遷移金属の中からCuの粉体を除く他の少なくとも2種類の遷移金属の粉体を選択されている。Cuの粉体を主成分としたアロイ成形物では、選択された遷移金属のうちの少なくとも2種類の遷移金属が金属粉体混合物の焼成時に熔融し、熔融した遷移金属をバインダーとしてそれら遷移金属の粉体が接合されている。Cuを主成分としたアロイ粉体23は、Cuの粉体を主成分とした金属粉体混合物を圧縮した後に焼成することから作られたアロイ

50

成形物を微粉碎した粒径が $10\ \mu\text{m} \sim 200\ \mu\text{m}$ の微粉碎物である。

【0061】

Cu（銅）の粉体を主成分とした金属粉体混合物では、金属粉体混合物の全重量に対するCuの粉体の重量比が30%～50%の範囲にあり、Cuの粉体を除く1種類の遷移金属の粉体（Ti（チタン）粉体、Cr（クロム）粉体、Mn（マンガン）粉体、Fe（鉄）粉体、Co（コバルト）粉体、Ni（ニッケル）粉体、Zn（亜鉛）粉体、Nb（ニオブ）粉体、Mo（モリブデン）粉体、Ag（銀）粉体のうちの少なくとも1種類）の金属粉体混合物の全重量に対する重量比が20%～50%の範囲にあり、Cuの粉体を除く他の少なくとも1種類の遷移金属の粉体（Ti（チタン）粉体、Cr（クロム）粉体、Mn（マンガン）粉体、Fe（鉄）粉体、Co（コバルト）粉体、Ni（ニッケル）粉体、Zn（亜鉛）粉体、Nb（ニオブ）粉体、Mo（モリブデン）粉体、Ag（銀）粉体のうちの他の少なくとも1種類）の金属粉体混合物の全重量に対する重量比が3%～20%の範囲にある。

10

【0062】

Cu（銅）を主成分としたアロイ粉体23（Cuを主成分とした合金粉体）の具体例としては、Cuの粉体、Feの粉体、Znの粉体を均一に混合・分散した金属粉体混合物を圧縮した後に焼成してアロイ成形物を作り、そのアロイ成形物を微粉碎した粒径が $10\ \mu\text{m} \sim 200\ \mu\text{m}$ の微粉碎物である。このアロイ粉体23は、金属粉体混合物の全重量に対するCuの粉体の重量比が48%、金属粉体混合物の全重量に対するFeの粉体重量比が48%、金属粉体混合物の全重量に対するZnの粉体重量比が4%である。Cuの融点が 1084.5 、Feの融点が 1536 、Znの融点が 419.58 であるから、Znの粉体及びCuの粉体が溶融し、溶融したZn及びCuがバインダーとなってFeの粉体を接合している。

20

【0063】

Cu（銅）を主成分としたアロイ粉体23の他の具体例としては、Cuの粉体、Feの粉体、Agの粉体を均一に混合・分散した金属粉体混合物を圧縮した後に焼成してアロイ成形物を作り、そのアロイ成形物を微粉碎した粒径が $10\ \mu\text{m} \sim 200\ \mu\text{m}$ の微粉碎物である。このアロイ粉体23は、金属粉体混合物の全重量に対するCuの粉体の重量比が48%、金属粉体混合物の全重量に対するFeの粉体重量比が46%、金属粉体混合物の全重量に対するAgの粉体重量比が6%である。Cuの融点が 1084.5 、Feの融点が 1536 、Agの融点が 961.93 であるから、Agの粉体及びCuの粉体が溶融し、溶融したAg及びCuがバインダーとなってFeの粉体を接合している。

30

【0064】

カーボン電極板24は、前面25及び後面26を有するとともに、所定面積及び所定の厚み寸法L1を有し、その平面形状が四角形に成形されている。なお、カーボン電極板24の平面形状に特に制限はなく、四角形の他に、円形や楕円形、多角形等の他のあらゆる平面形状に成形することができる。カーボン電極板24の一例としては、数 μm ～数 $10\ \mu\text{m}$ のカーボングラファイト（黒鉛）粉末と導電性バインダー（導電性結合材）とを冷間静水圧プレスによって成形した後、約3000で黒鉛化したシート状の電極材を使用する。カーボン電極板24の他の一例としては、数 μm ～数 $10\ \mu\text{m}$ のカーボングラファイト（黒鉛）粉末と導電性バインダー（導電性結合材）とを押し出し成形した後、約3000で黒鉛化したシート状の電極材を使用する。カーボン電極板24としては、ガラス状カーボンを使用することもできる。

40

【0065】

カーボン電極板24は、その厚み寸法L1が $0.03\ \text{mm} \sim 0.3\ \text{mm}$ の範囲、好ましくは、 $0.05\ \text{mm} \sim 0.1\ \text{mm}$ の範囲にある。カーボン電極板24の前面25の全域及び後面26の全域（両面の全域）には、図4に示すように、既述の複数のアロイ粉体23が担持されている。カーボン電極板24の前面25の全域及び後面26の全域は、アロイ粉体23によって被覆されている。アロイ粉体23は、カーボン電極板24の前面25の全域及び後面26の全域（両面）に導電性バインダー（導電性結合材）やプラズマ溶射に

50

よって担持される。なお、電気分解装置 10（水素ガス発生装置）では、固体高分子電解質膜 13 とカーボン電極板 24 の両面（前後面 25, 26）に担持された複数のアロイ粉体 23 とが隙間なく重なり合い、固体高分子電解質膜 13 とそれらアロイ粉体 23 とが隙間なく密着している。

【0066】

カーボン電極板 24 の厚み寸法 L1 が 0.03 mm 未満では、その強度が低下し、衝撃が加えられたときにカーボン電極板 24（陽極 11A, 11B 及び陰極 12A, 12B）が容易に破損又は損壊し、その形状を維持することができない場合がある。カーボン電極板 24 の厚み寸法 L1 が 0.3 mm を超過すると、カーボン電極板 24（陽極 11A, 11B 及び陰極 12A, 12B）の電気抵抗が大きくなり、カーボン電極板 24（陽極 11A, 11B 及び陰極 12A, 12B）に電流がスムーズに流れず、陽極 11A 又は陽極 11B 及び陰極 12A 又は陰極 12B が電気分解装置 10 に使用されたときに電気分解装置 10 において電気分解を効率よく行うことができず、電気分解装置 10 において短時間に多量の水素ガスを発生させることができない。

10

【0067】

カーボン電極板 24 は、その厚み寸法 L1 が 0.03 mm ~ 0.3 mm の範囲、好ましくは、0.05 mm ~ 0.1 mm の範囲にあるから、カーボン電極板 24（陽極 11A, 11B 及び陰極 12A, 12B）が高い強度を有してその形状を維持することができ、カーボン電極板 24 に衝撃が加えられたときのカーボン電極板 24 の破損や損壊を防ぐことができる。さらに、厚み寸法 L1 を前記範囲にすることで、カーボン電極板 24（陽極 11A, 11B 及び陰極 12A, 12B）の電気抵抗を小さくすることができ、カーボン電極板 24（陽極 11A, 11B 及び陰極 12A, 12B）に電流がスムーズに流れ、陽極 11A（又は陽極 11B）及び陰極 12A（又は陰極 12B）が電気分解装置 10 に使用されたときに電気分解装置 10 において電気分解を効率よく行うことができ、電気分解装置 10 において短時間に多量の水素ガスを発生させることができる。

20

【0068】

図 5 は、他の一例として示す陽極 11B 及び陰極 12B の部分拡大正面図であり、図 6 は、図 5 の B-B 線端面図である。図 5 に示す陽極 11B 及び陰極 12B が図 3 の陽極 11A 及び陰極 12A と異なるところは、カーボン電極板 24 の厚み方向へ重なる複数のアロイ粉体 23 によってアロイ粉体積層ポーラス構造物 27 がカーボン電極板 24 の前面 25 及び後面 26（両面）に形成されている点にあり、その他の構成は図 3 の陽極 11A 及び陰極 12A と同一であるから、図 3 と同一の符号を付すとともに、図 3 の陽極 11A 及び陰極 12A の説明を援用することで、この陽極 11B 及び陰極 12B のその他の構成の詳細な説明は省略する。

30

【0069】

陽極 11B 及び陰極 12B は、図 3 のそれらと同様に、電気分解装置 10（水素ガス発生装置）のアノード及びカソードとして使用される（図 1 参照）。陽極 11B 及び陰極 12B は、前面 21 及び後面 22 を有するとともに、所定面積及び所定の厚み寸法を有し、その平面形状が四角形に成形されている。陽極 11B 及び陰極 12B は、アロイ粉体 23（合金粉体）と、両面（前後面 25, 26）にアロイ粉体 23 を担持させた所定面積のカーボン電極板 24 とから形成されている。

40

【0070】

カーボン電極板 24 の前面 25 の全域と後面 26 の全域（両面の全域）には、カーボン電極板 24 の厚み方向へ重なり合った（積層された）複数のアロイ粉体 23 によってアロイ粉体積層ポーラス構造物 27 が形成されている。カーボン電極板 24 の前面 25 の全域及び後面 26 の全域は、アロイ粉体 23 によって被覆されている。アロイ粉体 23 は、アロイ成形物（合金成形物）を微粉碎することから作られている。アロイ成形物は、粉状に加工（微粉碎）された各種の遷移金属から選択された少なくとも 3 種類の遷移金属の粉体を均一に混合・分散した金属粉体混合物を圧縮した後に焼成（焼結）することから作られている。

50

【 0 0 7 1 】

遷移金属や金属粉体混合物、アロイ成形物、アロイ粉体 2 3 は、図 3 の陽極 1 1 A 及び陰極 1 2 A のそれらと同一である。遷移金属粉体の粒径やアロイ粉体 2 3 の粒径、カーボン電極板 2 4 の厚み寸法 L 1 は、図 3 の陽極 1 1 A 及び陰極 1 2 A のそれらと同一である。なお、電気分解装置 1 0 では、固体高分子電解質膜 1 3 とカーボン電極板 2 4 の両面（前後面 2 5 , 2 6 ）に担持された複数のアロイ粉体 2 3 によって形成されたアロイ粉体積層ポーラス構造物 2 7 とが隙間なく重なり合い、固体高分子電解質膜 1 3 とアロイ粉体積層ポーラス構造物 2 7 とが隙間なく密着している。

【 0 0 7 2 】

アロイ粉体積層ポーラス構造物 2 7 には、径が異なる多数の微細な流路 2 8（通路孔）が形成されている。それら流路 2 8（通路孔）には、水（水溶液）が通流する。それら流路 2 8（通路孔）は、カーボン電極板 2 4 の前面 2 5 の側に開口する複数の通流口 2 9 とカーボン電極板 2 4 の後面 2 6 の側に開口する複数の通流口 2 9 とを有し、陽極 1 1 B 及び陰極 1 2 B の前面 2 5 に向かってアロイ粉体積層ポーラス構造物 2 7 を貫通しているとともに、陽極 1 1 B 及び陰極 1 2 B の後面 2 6 に向かってアロイ粉体積層ポーラス構造物 2 7 を貫通している。

【 0 0 7 3 】

それら流路 2 8 は、カーボン電極板 2 4 の厚み方向へ不規則に曲折しながら延びているとともに、カーボン電極板 2 4 の外周縁から中心に向かってカーボン電極板 2 4 の径方向へ不規則に曲折しながら延びている。カーボン電極板 2 4 の径方向へ隣接して厚み方向へ曲折して延びるそれら流路 2 8 は、径方向において部分的につながり、一方の流路 2 8 と他方の流路 2 8 とが互いに連通している。カーボン電極板 2 4 の厚み方向へ隣接して径方向へ曲折して延びるそれら流路 2 8 は、厚み方向において部分的につながり、一方の流路 2 8 と他方の流路 2 8 とが互いに連通している。

【 0 0 7 4 】

それら流路 2 8（通路孔）の開口面積（開口径）は、カーボン電極板 2 4 の厚み方向に向かって一様ではなく、厚み方向に向かって不規則に変化しているとともに、カーボン電極板 2 4 の径方向に向かって一様ではなく、径方向に向かって不規則に変化している。それら流路 2 8 は、その開口面積（開口径）が大きくなったり、小さくなったりしながら厚み方向と径方向とへ不規則に開口している。また、前面 2 5 に開口する通流口 2 9 と後面 2 6 に開口する通流口 2 9 とは、その開口面積（開口径）が一様ではなく、その面積が相違している。それら流路 2 8（通路孔）の開口径や通流口 2 9 の開口径は、 $1\ \mu\text{m} \sim 100\ \mu\text{m}$ の範囲にある。

【 0 0 7 5 】

アロイ粉体積層ポーラス構造物 2 7 は、その空隙率が 1 5 % ~ 3 0 % の範囲にあり、その相対密度が 7 0 % ~ 8 5 % の範囲にある。アロイ粉体積層ポーラス構造物 2 7 の空隙率が 1 5 % 未満であって相対密度が 8 5 % を超過すると、アロイ粉体積層ポーラス構造物 2 7 に多数の微細な流路 2 8（通路孔）が形成されず、アロイ粉体積層ポーラス構造物 2 7 の比表面積を大きくすることができない。アロイ粉体積層ポーラス構造物 2 7 の空隙率が 3 0 % を超過し、相対密度が 7 0 % 未満では、流路 2 8（通路孔）の開口面積（開口径）が必要以上に大きくなり、アロイ粉体積層ポーラス構造物 2 7 の強度が低下し、衝撃が加えられたときにアロイ粉体積層ポーラス構造物 2 7 が容易に破損又は損壊し、その形態を維持することができない場合がある。

【 0 0 7 6 】

アロイ粉体積層ポーラス構造物 2 7 は、その空隙率及び相対密度が前記範囲にあるから、アロイ粉体積層ポーラス構造物 2 7 が開口面積（開口径）の異なる多数の微細な流路 2 8（通路孔）を有する多孔質となり、アロイ粉体積層ポーラス構造物 2 7 の比表面積を大きくすることができ、それら流路 2 8（通路孔）を水（水溶液）が通流しつつ水（水溶液）をアロイ粉体積層ポーラス構造物 2 7 の接触面（アロイ粉体 2 3 の表面）に広く接触させることができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 7 】

アロイ粉体積層ポーラス構造物 27 は、その密度が $5.0 \text{ g/cm}^2 \sim 7.0 \text{ g/cm}^2$ の範囲にある。アロイ粉体積層ポーラス構造物 27 の密度が 5.0 g/cm^2 未満では、アロイ粉体積層ポーラス構造物 27 の強度が低下し、衝撃が加えられたときにアロイ粉体積層ポーラス構造物 27 が容易に破損又は損壊し、その形態を維持することができない場合がある。アロイ粉体積層ポーラス構造物 27 の密度が 7.0 g/cm^2 を超過すると、アロイ粉体積層ポーラス構造物 27 に多数の微細な流路 28 (通路孔) が形成されず、アロイ粉体積層ポーラス構造物 27 の比表面積を大きくすることができない。

【 0 0 7 8 】

カーボン電極板 24 の両面 (前後面 25, 26) に形成されたアロイ粉体積層ポーラス構造物 27 は、その密度が前記範囲にあるから、アロイ粉体積層ポーラス構造物 27 が多数の微細な流路 28 (通路孔) を有する多孔質に成形され、アロイ粉体積層ポーラス構造物 27 の比表面積を大きくすることができ、それら流路 28 (通路孔) を水 (水溶液) が通流しつつ水 (水溶液) をアロイ粉体積層ポーラス構造物 27 の接触面 (アロイ粉体 23 の表面) に広く接触させることができる。

10

【 0 0 7 9 】

それら遷移金属の粉体の粒径が $10 \mu\text{m}$ 未満では、遷移金属の粉体によって流路 28 (通路孔) が塞がれ、アロイ粉体積層ポーラス構造物 27 に多数の微細な流路 28 を形成することができず、アロイ粉体積層ポーラス構造物 27 の比表面積を大きくすることができない。それら遷移金属の粉体の粒径が $200 \mu\text{m}$ を超過すると、流路 28 (通路孔) の開口面積 (開口径) が必要以上に大きくなり、アロイ粉体積層ポーラス構造物 27 に多数の微細な流路 28 を形成することができず、アロイ粉体積層ポーラス構造物 27 の比表面積を大きくすることができない。それら遷移金属の粉体の粒径が前記範囲にあるから、アロイ粉体積層ポーラス構造物 27 が多数の微細な流路 28 (通路孔) を有する多孔質に成形され、アロイ粉体積層ポーラス構造物 27 の比表面積を大きくすることができ、それら流路 28 を水 (水溶液) が通流しつつ水 (水溶液) をアロイ粉体積層ポーラス構造物 27 の接触面 (アロイ粉体 23 の表面) に広く接触させることができる。

20

【 0 0 8 0 】

図 7 は、電気分解装置 10 を使用した電気分解の一例を説明する図であり、図 8 は、電気分解装置 10 を利用した水素ガス生成システム 30 の一例を示す図である。図 7 に示す電気分解では、水 (水溶液) を電気分解し、水素と酸素とを発生させているが、水 (H_2O) の他に、電気分解装置 10 を使用して NaOH 水溶液、 H_2SO_4 水溶液、 NaCl 水溶液、 AgNO_3 水溶液、 CuSO_4 水溶液の電気分解が行われる。

30

【 0 0 8 1 】

電気分解装置 10 における水の電気分解では、図 7 に矢印で示すように、陽極用貯水槽 16 及び陰極用貯水槽 17 に水 (H_2O) が給水され、陽極主電極 18 に電源から + の電流が給電されるとともに、陰極主電極 19 に電源から - の電流が給電される。陽極主電極 18 に給電された + の電流が陽極給電部材 14 から陽極 11A 又は陽極 11B (アノード) に給電され、陰極主電極 19 に給電された - の電流が陰極給電部材 15 から陰極 12A 又は陰極 12B (カソード) に給電される。

40

【 0 0 8 2 】

陽極 11A 又は陽極 11B (電極) では、 $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- + \text{O}_2$ の陽極反応 (触媒作用) によって酸素が生成され、陰極 12A 又は陰極 12B (電極) では、 $4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2$ の陰極反応 (触媒作用) によって水素が生成される。プロトン (水素イオン: H^+) は、固体高分子電解質膜 13 内を通過して陽極 11A 又は陽極 11B から陰極 12A 又は陰極 12B (電極) へ移動する。固体高分子電解質膜 12 には、陽極 11A 又は陽極 11B で生成されたプロトンが通流する。少なくとも 3 種類の遷移金属の仕事関数の合成仕事関数が白金族元素の仕事関数に近似するように、遷移金属の中から選択された少なくとも 3 種類の遷移金属から陽極 11A 又は陽極 11B (電極) や陰極 12A 又は陰極 12B (電極) が形成されているから、陽極 11A 又は陽極 11B や陰極 12A 又は陰極 1

50

2 B が優れた触媒活性（触媒作用）を示し、電気分解装置 1 0 において効率よく電気分解が行われ、短時間に多量の水素ガスが発生する。

【 0 0 8 3 】

なお、NaOH 水溶液の電気分解では、陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B において $4\text{OH}^- - 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4\text{e}^-$ の陽極反応（触媒作用）が起こり、陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B において $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^- + \text{H}_2$ の陰極反応（触媒作用）が起こる。H₂SO₄ 水溶液の電気分解では、陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B において $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ の陽極反応（触媒作用）が起こり、陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B において $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$ の陰極反応（触媒作用）が起こる。

【 0 0 8 4 】

NaCl 水溶液の電気分解では、陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B において $2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$ の陽極反応（触媒作用）が起こり、陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B において $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^- + \text{H}_2$ の陰極反応（触媒作用）が起こる。AgNO₃ 水溶液の電気分解では、陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B において $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ の陽極反応（触媒作用）が起こり、陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B において $\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}$ の陰極反応（触媒作用）が起こる。CuSO₄ 水溶液の電気分解では、陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B において $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ の陽極反応（触媒作用）が起こり、陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B において $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$ の陰極反応（触媒作用）が起こる。

【 0 0 8 5 】

水素ガス生成システム 3 0 は、電気分解装置 1 0 と、電気分解装置 1 0 の陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B 及び陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B とに電気を給電する直流電源 3 1 と、水（純水）を貯水する貯水タンク 3 2 と、水（純水）を給水する給水ポンプ 3 3 と、酸素気液分離器 3 4 と、水（純水）を給水する 2 台の循環ポンプ 3 5 , 3 6 と、水素気液分離器 3 7 と、水素を貯めるボンベ 3 8（水素タンク）とから形成されている。

【 0 0 8 6 】

水素ガス生成システム 3 0 は、貯水タンク 3 2 に貯水された水（純水）が給水ポンプ 3 3 によって酸素気液分離器 3 4 に給水され、酸素気液分離器 3 4 から流出した水が電気分解装置 1 0 に給水される。直流電源 3 1 から電気分解装置 1 0 に電気が給電され、電気分解装置 1 0 において電気分解が行われることで水が水素と酸素とに分解される。酸素は、酸素気液分離器 3 4 に流入し、気液分離された後、大気に放出される。酸素気液分離器 3 4 において気液分離された水は循環ポンプ 3 5 によって再び電気分解装置 1 0 に給水される。水素は、水素気液分離器 3 7 に流入し、気液分離された後、ボンベ 3 8（水素タンク）に流入する。水素気液分離器 3 7 において気液分離された水は循環ポンプ 3 6 によって再び電気分解装置 1 0 に給水される。

【 0 0 8 7 】

図 9 は、燃料極 4 0（陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B）及び空気極 4 1（陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B）を使用した固体高分子形燃料電池 3 9 の側面図であり、図 1 0 は、陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B（空気極 4 1）及び陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B（燃料極 4 0）の起電圧試験の結果を示す図である。図 1 1 は、陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B（空気極 4 1）及び陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B（燃料極 4 0）の I - V 特性試験の結果を示す図である。

【 0 0 8 8 】

図 9 では、負荷 5 0 接続された状態を示しているが、起電圧試験では、負荷 5 0 が存在せず、無負荷である。起電圧試験及び I - V 特性試験では、図 9 に示す固体高分子形燃料電池 3 9 に電気分解装置 1 0 において使用した陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B（空気極 4 1）及び陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B（燃料極 4 0）を使用し、無負荷においてその起電圧を測定し、固体高分子形燃料電池 3 9 に負荷 5 0 を接続し、その I - V 特性を測定した。

【 0 0 8 9 】

固体高分子形燃料電池 3 9 は、図 9 に示すように、燃料極 4 0（陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B）及び空気極 4 1（陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B）と、燃料極 4 0 及び空気極 4 1 の間に位置（介在）する固体高分子電解質膜 1 3（電極接合体膜）（スルホン酸基を有するフ

10

20

30

40

50

ッ素系イオン交換膜)と、燃料極40の厚み方向外側に位置するセパレータ42(バイポーラプレート)と、空気極41の厚み方向外側に位置するセパレータ43(バイポーラプレート)とから形成されている。

【0090】

それらセパレータ42, 43には、反応ガス(水素や酸素等)の供給流路が刻設されている(彫り込まれている)。燃料極40や空気極41、固体高分子電解質膜13が厚み方向へ重なり合っ一体化し、膜/電極接合体44(Membrane Electrode Assembly, MEA)を構成し、膜/電極接合体44をそれらセパレータ42, 43が挟み込んでいる。固体高分子電解質膜13は、プロトン導電性があり、電子導電性がない。燃料極40とセパレータ42との間には、ガス拡散層45が形成され、空気極41とセパレータ43との間には、ガス拡散層46が形成されている。燃料極40とセパレータ42との間であってガス拡散層45の上部及び下部には、ガスシール47が設置されている。空気極41とセパレータ43との間であってガス拡散層46の上部及び下部には、ガスシール48が設置されている。

10

【0091】

固体高分子形燃料電池39では、燃料極40(陰極12A又は陰極12B)に水素(燃料)が供給され、空気極41(陽極11A又は陽極11B)に空気(酸素)が供給される。燃料極40では、水素が $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$ の反応(触媒作用)によってプロトン(水素イオン、 H^+)と電子とに分解される。その後、プロトンが固体高分子電解質膜13内を通過して燃料極40から空気極41へ移動し、電子が導線49内を通過して空気極41へ移動する。固体高分子電解質膜13には、燃料極40で生成されたプロトンが通流する。空気極41では、固体高分子電解質膜13から移動したプロトンと導線49を移動した電子とが空気中の酸素と反応し、 $4H^+ + O_2 + 4e^- \rightarrow 2H_2O$ の反応によって水が生成される。少なくとも3種類の遷移金属の仕事関数の合成仕事関数が白金族元素の仕事関数に近似するように、遷移金属の中から選択された少なくとも3種類の遷移金属から燃料極40(陰極12A又は陰極12B)や空気極41(陽極11A又は陽極11B)が形成されているから、燃料極40(陰極12A又は陰極12B)や空気極41(陽極11A又は陽極11B)が優れた触媒活性(触媒作用)を示し、水素がプロトンと電子とに効率よく分解される。

20

【0092】

起電圧試験では、水素ガスを注入してから15分の間、燃料極40(陰極12A又は陰極12B)と空気極41(陽極11A又は陽極11B)との間(電極間)の電圧(V)を測定した。図10の起電圧試験の結果を示す図では、横軸に測定時間(min)を表し、縦軸に燃料極40(陰極12A又は陰極12B)と空気極41(陽極11A又は陽極11B)との間(電極間)の電圧(V)を表す。白金族元素を利用した(担持させた)電極(白金電極)を使用した場合、固体高分子形燃料電池39では、図10の起電圧試験の結果を示す図から分かるように、電極間の電圧が1.079(V)前後であったのに対し、燃料極40(白金レス電極)及び空気極41(白金レス電極)を使用した固体高分子形燃料電池39では、燃料極40(陰極12A又は陰極12B)と空気極41(陽極11A又は陽極11B)との間(電極間)の電圧(起電力)が1.01(V)~1.02(V)であった。

30

40

【0093】

I-V特性試験では、燃料極40(陰極12A又は陰極12B)と空気極41(陽極11A又は陽極11B)との間(電極間)に負荷50を接続し、電圧と電流との関係を測定した。図11のI-V特性試験の結果を示す図では、横軸に電流(A)を表し、縦軸に電圧(V)を表す。燃料極40(白金レス電極)及び空気極41(白金レス電極)を使用した固体高分子形燃料電池39では、図11のI-V特性試験の結果を示す図から分かるように、白金族元素を利用した(担持させた)電極(白金電極)を使用した固体高分子形燃料電池の電圧低下率と大差のない結果が得られた。図10の起電圧試験の結果や図11のI-V特性試験の結果に示すように、白金族元素を利用していない非白金の燃料極40(

50

陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B) 及び空気極 4 1 (陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B) が電子を放出させて水素イオンとなる反応を促進させる優れた触媒作用を有するとともに、白金を利用した電極と略同様の酸素還元機能 (触媒作用) を有することが確認された。

【 0 0 9 4 】

電気分解装置 1 0 は、それに使用される陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B 及び陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B が各種の遷移金属から選択された少なくとも 3 種類の遷移金属の粉体を均一に混合・分散した金属粉体混合物を圧縮した後に焼成したアロイ成形物を微粉碎したアロイ粉体 2 3 と、アロイ粉体 2 3 を両面 (前後面 2 5 , 2 6) に担持させた所定面積のカーボン電極板 2 4 とから形成され、選択された少なくとも 3 種類の遷移金属の仕事関数の合成仕事関数が白金族元素の仕事関数に近似するように、各種の遷移金属の中から少なくとも 3 種類の遷移金属が選択されているから、アロイ粉体 2 3 又はアロイ粉体積層ポーラス構造物 2 7 を有する白金レスの陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B 及び陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B が白金族元素を含む陽極及び陰極と略同一の仕事関数を備え、白金族元素を含む陽極及び陰極と略同様の触媒活性 (触媒作用) を発揮することができ、白金レスの陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B 及び陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B を使用した電気分解装置 1 0 において電気分解を効率よく行うことができるとともに、電気分解装置 1 0 において短時間に多量の水素ガスを発生させることができる。

【 0 0 9 5 】

電気分解装置 1 0 は、カーボン電極板 2 4 の厚み寸法が 0 . 0 3 mm ~ 0 . 3 mm の範囲、好ましくは、0 . 0 5 mm ~ 0 . 1 mm の範囲にあるから、陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B 及び陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B の電気抵抗を小さくすることができ、陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B 及び陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B に電流をスムーズに流すことができ、白金レスの陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B 及び陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B を利用して電気分解を確実にすることができる。

【 0 0 9 6 】

N i (ニッケル) の粉体を主成分とし、カーボン電極板 2 4 の厚み寸法 L 1 が 0 . 0 3 mm ~ 0 . 3 mm の範囲にある陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B 及び陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B を使用した電気分解装置 1 0 は、N i の仕事関数と N i を除く他の少なくとも 2 種類の遷移金属の仕事関数との合成仕事関数が白金族元素の仕事関数に近似するように、各種の遷移金属の中から N i の粉体を除く他の少なくとも 2 種類の遷移金属の粉体を選択されているから、陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B 及び陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B が白金族元素を含む陽極及び陰極と略同一の仕事関数を備え、白金族元素を含む陽極及び陰極と略同様の触媒活性 (触媒作用) を発揮することができるとともに、カーボン電極板 2 4 の厚み寸法 L 1 が 0 . 0 3 mm ~ 0 . 3 mm の範囲にあるから、陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B 及び陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B の電気抵抗を小さくすることができ、陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B 及び陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B を電流がスムーズに流れ、白金レスの陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B 及び陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B を使用した電気分解装置 1 0 において電気分解を効率よく行うことができ、電気分解装置 1 0 において短時間に多量の水素ガスを発生させることができる。

【 0 0 9 7 】

F e (鉄) の粉体を主成分とし、カーボン電極板 2 4 の厚み寸法 L 1 が 0 . 0 3 mm ~ 0 . 3 mm の範囲にある陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B 及び陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B を使用した電気分解装置 1 0 は、F e の仕事関数と F e を除く他の少なくとも 2 種類の遷移金属の仕事関数との合成仕事関数が白金族元素の仕事関数に近似するように、各種の遷移金属の中から F e の粉体を除く他の少なくとも 2 種類の遷移金属の粉体を選択されているから、陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B 及び陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B が白金族元素を含む陽極及び陰極と略同一の仕事関数を備え、白金族元素を含む陽極及び陰極と略同様の触媒活性 (触媒作用) を発揮することができるとともに、カーボン電極板 2 4 の厚み寸法 L 1 が 0 . 0 3 mm ~ 0 . 3 mm の範囲にあるから、陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B 及び陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B の電気抵抗を小さくすることができ、陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B 及び陰極 1 2 A

10

20

30

40

50

又は陰極 1 2 B を電流がスムーズに流れ、白金レスの陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B 及び陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B を使用した電気分解装置 1 0 において電気分解を効率よく行うことができ、電気分解装置 1 0 において短時間に多量の水素ガスを発生させることができる。

【 0 0 9 8 】

C u (銅) の粉体を主成分とし、カーボン電極板 2 4 の厚み寸法 L 1 が 0 . 0 3 m m ~ 0 . 3 m m の範囲にある陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B 及び陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B を使用した電気分解装置 1 0 は、C u の仕事関数と C u を除く他の少なくとも 2 種類の遷移金属の仕事関数との合成仕事関数が白金族元素の仕事関数に近似するように、各種の遷移金属の中から C u の粉体を除く他の少なくとも 2 種類の遷移金属の粉体が選択されているから、陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B 及び陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B が白金族元素を含む陽極及び陰極と略同一の仕事関数を備え、白金族元素を含む陽極及び陰極と略同様の触媒活性 (触媒作用) を発揮することができるとともに、カーボン電極板 2 4 の厚み寸法 L 1 が 0 . 0 3 m m ~ 0 . 3 m m の範囲にあるから、陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B 及び陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B の電気抵抗を小さくすることができ、陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B 及び陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B を電流がスムーズに流れ、白金レスの陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B 及び陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B を使用した電気分解装置 1 0 において電気分解を効率よく行うことができ、電気分解装置 1 0 において短時間に多量の水素ガスを発生させることができる。

【 0 0 9 9 】

図 1 2 は、電気分解装置 1 0 に使用する陽極 1 1 A , 1 1 B 及び陰極 1 2 A , 1 2 B の製造方法を説明する図である。陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B (電極) 及び陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B (電極) は、図 1 2 に示すように、遷移金属選択工程 S 1、金属粉体混合物作成工程 S 2、金属粉体圧縮物作成工程 S 3、アロイ成形物作成工程 S 4、アロイ粉体作成工程 S 5、アロイ粉体担持工程 S 6 を有する電極製造方法によって製造される。

【 0 1 0 0 】

遷移金属選択工程 S 1 では、各種の遷移金属 5 1 から選択する少なくとも 3 種類の遷移金属 5 1 の仕事関数の合成仕事関数が白金族元素の仕事関数に近似するように、各種の遷移金属 5 1 の中から少なくとも 3 種類の遷移金属 5 1 (T i (チタン)、C r (クロム)、M n (マンガン)、F e (鉄)、C o (コバルト)、N i (ニッケル)、C u (銅)、Z n (亜鉛)、N b (ニオブ)、M o (モリブデン)、A g (銀)) を選択する。

【 0 1 0 1 】

遷移金属選択工程 S 1 において、既述のように、N i (ニッケル) を主成分とした金属粉体混合物 5 3 (アロイ粉体 2 3 やアロイ粉体積層ポーラス構造物 2 7) では、C u (銅) 及び Z n (亜鉛) を選択し、又は、M n (マンガン) 及び M o (モリブデン) を選択する。F e (鉄) を主成分とした金属粉体混合物 5 3 (アロイ粉体 2 3 やアロイ粉体積層ポーラス構造物 2 7) では、N i (ニッケル) 及び C u (銅) を選択し、又は、T i (チタン) 及び A g (銀) を選択する。C u (銅) を主成分とした金属粉体混合物 5 3 (アロイ粉体 2 3 やアロイ粉体積層ポーラス構造物 2 7) では、F e (鉄) 及び Z n (亜鉛) を選択し、又は、F e (鉄) 及び A g (銀) を選択する。

【 0 1 0 2 】

金属粉体混合物作成工程 S 2 では、遷移金属選択工程 S 1 によって選択された少なくとも 3 種類の遷移金属 5 1 の粉体を均一に混合・分散した金属粉体混合物 5 3 を作る。金属粉体混合物作成工程 S 2 において、N i (ニッケル) を主成分とした金属粉体混合物 5 3 (アロイ粉体 2 3 やアロイ粉体積層ポーラス構造物 2 7) では、遷移金属選択工程 S 1 によって選択された N i、C u (銅)、Z n (亜鉛) のそれぞれを微粉碎機によって 1 0 μ m ~ 2 0 0 μ m の粒径に微粉碎して N i の粉体 5 2、C u の粉体 5 2、Z n の粉体 5 2 を作成する。次に、N i の粉体 5 2 や C u の粉体 5 2、Z n の粉体 5 2 を混合機に投入して混合機によって N i の粉体 5 2、C u の粉体 5 2、Z n の粉体 5 2 を攪拌・混合し、N i の粉体 5 2、C u の粉体 5 2、Z n の粉体 5 2 が均一に混合・分散した金属粉体混合物 5 3 を作る。

【 0 1 0 3 】

10

20

30

40

50

又は、遷移金属選択工程 S 1 によって選択された Ni (ニッケル)、Mn (マンガン)、Mo (モリブデン) のそれぞれを微粉碎機によって $10\ \mu\text{m} \sim 200\ \mu\text{m}$ の粒径に微粉碎して Ni の粉体 5 2、Mn の粉体 5 2、Mo の粉体 5 2 を作成する。次に、Ni の粉体 5 2 や Mn の粉体 5 2、Mo の粉体 5 2 を混合機に投入して混合機によって Ni の粉体 5 2、Mn の粉体 5 2、Mo の粉体 5 2 を攪拌・混合し、Ni の粉体 5 2、Mn の粉体 5 2、Mo の粉体 5 2 が均一に混合・分散した金属粉体混合物 5 3 を作る。

【0104】

金属粉体混合物作成工程 S 2 において、Fe (鉄) を主成分とした金属粉体混合物 5 3 (アロイ粉体 2 3 やアロイ粉体積層ポーラス構造物 2 7) では、遷移金属選択工程 S 1 によって選択された Fe、Ni (ニッケル)、Cu (銅) のそれぞれを微粉碎機によって $10\ \mu\text{m} \sim 200\ \mu\text{m}$ の粒径に微粉碎して Fe の粉体 5 2、Ni の粉体 5 2、Cu の粉体 5 2 を作成する。次に、Fe の粉体 5 2 や Ni の粉体 5 2、Cu の粉体 5 2 を混合機に投入して混合機によって Fe の粉体 5 2、Ni の粉体 5 2、Cu の粉体 5 2 を攪拌・混合し、Fe の粉体 5 2、Ni の粉体 5 2、Cu の粉体 5 2 が均一に混合・分散した金属粉体混合物 5 3 を作る。

10

【0105】

又は、遷移金属選択工程 S 1 によって選択された Fe (鉄)、Ti (チタン)、Ag (銀) のそれぞれを微粉碎機によって $10\ \mu\text{m} \sim 200\ \mu\text{m}$ の粒径に微粉碎して Fe の粉体 5 2、Ti の粉体 5 2、Ag の粉体 5 2 を作成する。次に、Fe の粉体 5 2 や Ti の粉体 5 2、Ag の粉体 5 2 を混合機に投入して混合機によって Fe の粉体 5 2、Ti の粉体 5 2、Ag の粉体 5 2 を攪拌・混合し、Fe の粉体 5 2、Ti の粉体 5 2、Ag の粉体 5 2 が均一に混合・分散した金属粉体混合物 5 3 を作る。

20

【0106】

金属粉体混合物作成工程 S 2 において、Cu (銅) を主成分とした金属粉体混合物 5 3 (アロイ粉体 2 3 やアロイ粉体積層ポーラス構造物 2 7) では、遷移金属選択工程 S 1 によって選択された Cu、Fe (鉄)、Zn (亜鉛) のそれぞれを微粉碎機によって $10\ \mu\text{m} \sim 200\ \mu\text{m}$ の粒径に微粉碎して Cu の粉体 5 2、Fe の粉体 5 2、Zn の粉体 5 2 を作成する。次に、Cu の粉体 5 2 や Fe の粉体 5 2、Zn の粉体 5 2 を混合機に投入して混合機によって Cu の粉体 5 2、Fe の粉体 5 2、Zn の粉体 5 2 を攪拌・混合し、Cu の粉体 5 2、Fe の粉体 5 2、Zn の粉体 5 2 が均一に混合・分散した金属粉体混合物 5 3 を作る。

30

【0107】

又は、遷移金属選択工程 S 1 によって選択された Cu (銅)、Fe (鉄)、Ag (銀) のそれぞれを微粉碎機によって $10\ \mu\text{m} \sim 200\ \mu\text{m}$ の粒径に微粉碎して Cu の粉体 5 2、Fe の粉体 5 2、Ag の粉体 5 2 を作成する。次に、Cu の粉体 5 2 や Fe の粉体 5 2、Ag の粉体 5 2 を混合機に投入して混合機によって Cu の粉体 5 2、Fe の粉体 5 2、Ag の粉体 5 2 を攪拌・混合し、Cu の粉体 5 2、Fe の粉体 5 2、Ag の粉体 5 2 が均一に混合・分散した金属粉体混合物 5 3 を作る。

【0108】

金属粉体圧縮物作成工程 S 3 では、金属粉体混合物作成工程 S 2 によって作られた金属粉体混合物 5 3 を所定圧力で加圧し、金属粉体混合物 5 3 を圧縮した所定面積及び所定厚みの金属粉体圧縮物 5 4 を作る。金属粉体圧縮物作成工程 S 3 では、金属粉体混合物 5 3 を所定の金型に入れ、金型をプレス機によって加圧 (プレス) するプレス加工によって金属粉体圧縮物 5 4 を作る。プレス加工時におけるプレス圧 (圧力) は、 $500\ \text{Mpa} \sim 800\ \text{Mpa}$ の範囲にある。

40

【0109】

プレス圧 (圧力) が $500\ \text{Mpa}$ 未満では、金属粉体混合物 5 3 を十分に圧縮することができず、所定面積及び所定厚みの金属粉体圧縮物 5 4 を作るができない。プレス圧 (圧力) が $800\ \text{Mpa}$ を超過すると、アロイ成形物作成工程 S 4 によって作られるアロイ成形物 5 5 の硬度が必要以上に高くなり、アロイ粉体作成工程 S 5 によって所期する粒

50

径のアロイ粉体 23 を作ることができない。電極製造方法は、金属粉体混合物 53 を前記範囲の圧力で加圧（圧縮）することで、所定硬度の金属粉体圧縮物 54 を作ることができ、その金属粉体圧縮物 54 を焼成して所定硬度のアロイ成形物 55 を作ることができるとともに、アロイ成形物 55 を微粉碎した所定粒径のアロイ粉体 23 を作ることができる。

【0110】

金属粉体圧縮物作成工程 S3 において、Ni（ニッケル）を主成分とした金属粉体圧縮物 54 では、Ni の粉体 52、Cu（銅）の粉体 52、Zn（亜鉛）粉体 52 を混合した金属粉体混合物 53 の所定量を金型に投入し、その金属粉体混合物 53 をプレス加工によって加圧して金属粉体混合物 53 を圧縮した所定面積及び所定厚みの金属粉体圧縮物 54 を作る。又は、Ni の粉体 52、Mn（マンガン）の粉体 52、Mo（モリブデン）の粉体 52 を混合した金属粉体混合物 53 の所定量を金型に投入し、その金属粉体混合物 53 をプレス加工によって加圧して金属粉体混合物 53 を圧縮した所定面積及び所定厚みの金属粉体圧縮物 54 を作る。

10

【0111】

金属粉体圧縮物作成工程 S3 において、Fe（鉄）を主成分とした金属粉体圧縮物 54 では、Fe の粉体 52、Ni（ニッケル）の粉体 52、Cu（銅）の粉体 52 を混合した金属粉体混合物 53 の所定量を金型に投入し、その金属粉体混合物 53 をプレス加工によって加圧して金属粉体混合物 53 を圧縮した所定面積及び所定厚みの金属粉体圧縮物 54 を作る。又は、Fe の粉体 52、Ti（チタン）の粉体 52、Ag（銀）の粉体 52 を混合した金属粉体混合物 53 の所定量を金型に投入し、その金属粉体混合物 53 をプレス加工によって加圧して金属粉体混合物 53 を圧縮した所定面積及び所定厚みの金属粉体圧縮物 54 を作る。

20

【0112】

金属粉体圧縮物作成工程 S3 において、Cu（銅）を主成分とした金属粉体圧縮物 54 では、Cu の粉体 52、Fe（鉄）の粉体 52、Zn（亜鉛）の粉体 52 を混合した金属粉体混合物 53 の所定量を金型に投入し、その金属粉体混合物 53 をプレス加工によって加圧（圧縮）して金属粉体混合物 53 を圧縮した所定面積及び所定厚みの金属粉体圧縮物 54 を作る。又は、Cu の粉体 52、Fe（鉄）の粉体 52、Ag（銀）の粉体 52 を混合した金属粉体混合物 53 の所定量を金型に投入し、その金属粉体混合物 53 をプレス加工によって加圧して金属粉体混合物 53 を圧縮した所定面積及び所定厚みの金属粉体圧縮物 54 を作る。

30

【0113】

アロイ成形物作成工程 S4 では、金属粉体圧縮物作成工程 S3 によって作られた金属粉体圧縮物 54 を炉（蒸気過熱炉や電気炉等）に投入し、金属粉体圧縮物 54 を炉において所定温度で焼成（焼結）し、開口径が $1\ \mu\text{m} \sim 100\ \mu\text{m}$ の範囲の多数の微細な流路（通路孔）を形成したポーラス構造のアロイ成形物 55 を作る。アロイ成形物作成工程 S4 では、遷移金属選択工程 S1 によって選択された少なくとも 3 種類の遷移金属 51 のうちの少なくとも 2 種類の遷移金属 51 を溶融させる温度で金属粉体圧縮物 54 を長時間焼成する。焼成（焼結）時間は、3 時間～6 時間である。アロイ成形物作成工程 S4 では、所定面積及び所定厚みに圧縮された金属粉体圧縮物 54 の焼成時において、少なくとも 2 種類の遷移金属 51 の粉体 52 が溶融し、溶融した遷移金属 51 をバインダーとして他の遷移金属 51 の粉体 52 を接合（固着）する。

40

【0114】

アロイ成形物作成工程 S4 において、Ni（ニッケル）を主成分とした金属粉体圧縮物 54 では、Ni の粉体 52、Cu（銅）の粉体 52、Zn（亜鉛）粉体 52 を混合した金属粉体混合物 53 を圧縮した金属粉体圧縮物 54 を炉において長時間焼成し、開口径が $1\ \mu\text{m} \sim 100\ \mu\text{m}$ の範囲の多数の微細な流路（通路孔）を形成したポーラス構造のアロイ成形物 55 を作る。Ni の粉体 52、Cu の粉体 52、Zn の粉体 52 から形成されたアロイ成形物 55 では、Zn 及び Cu の粉体 52 を溶融させる温度（例えば、 $1100 \sim 1200$ ）で金属粉体圧縮物 54 を焼成（焼結）し、溶融した Zn 及び Cu の粉体 52

50

によってNiの粉体52が接合（固着）される。

【0115】

アロイ成形物作成工程S4において、Ni（ニッケル）を主成分とした金属粉体圧縮物54では、Niの粉体52、Mn（マンガン）の粉体52、Mo（モリブデン）の粉体52を混合した金属粉体混合物53を圧縮した金属粉体圧縮物54を炉において長時間焼成し、開口径が1 μ m～100 μ mの範囲の多数の微細な流路（通路孔）を形成したポーラス構造のアロイ成形物55を作る。Niの粉体52、Mnの粉体52、Moの粉体52から形成されたアロイ成形物55では、Mn及びNiの粉体52を溶融させる温度（例えば、1460～1500）で金属粉体圧縮物54を焼成し、溶融したMn及びNiの粉体52によってMoの粉体52が接合（固着）される。

10

【0116】

アロイ成形物作成工程S4において、Fe（鉄）を主成分とした金属粉体圧縮物54では、Feの粉体52、Ni（ニッケル）の粉体52、Cu（銅）の粉体52を混合した金属粉体混合物53を圧縮した金属粉体圧縮物54を炉において長時間焼成し、開口径が1 μ m～100 μ mの範囲の多数の微細な流路（通路孔）を形成したポーラス構造のアロイ成形物55を作る。Feの粉体52、Niの粉体52、Cuの粉体52から形成されたアロイ成形物55では、Cu及びNiの粉体52を溶融させる温度（例えば、1460～1500）で金属粉体圧縮物54を焼成し、溶融したCu及びNiの粉体52によってFeの粉体52が接合（固着）される。

【0117】

アロイ成形物作成工程S4において、Fe（鉄）を主成分とした金属粉体圧縮物54では、Feの粉体52、Ti（チタン）の粉体52、Ag（銀）の粉体52を混合した金属粉体混合物53を圧縮した金属粉体圧縮物54を炉において長時間焼成し、開口径が1 μ m～100 μ mの範囲の多数の微細な流路（通路孔）を形成したポーラス構造のアロイ成形物55を作る。Feの粉体52、Tiの粉体52、Agの粉体52から形成されたアロイ成形物55では、Ag及びFeの粉体52を溶融させる温度（例えば、1540～1600）で金属粉体圧縮物54を焼成し、溶融したAg及びFeの粉体52によってTiの粉体52が接合（固着）される。

20

【0118】

アロイ成形物作成工程S4において、Cu（銅）を主成分とした金属粉体圧縮物54では、Cuの粉体52、Fe（鉄）の粉体52、Zn（亜鉛）の粉体52を混合した金属粉体混合物53を圧縮した金属粉体圧縮物54を炉において長時間焼成し、開口径が1 μ m～100 μ mの範囲の多数の微細な流路（通路孔）を形成したポーラス構造のアロイ成形物55を作る。Cuの粉体52、Feの粉体52、Znの粉体52から形成されたアロイ成形物55では、Zn及びCuの粉体52を溶融させる温度（例えば、1090～1200）で金属粉体圧縮物54を焼成し、溶融したZn及びCuの粉体52によってFeの粉体52が接合（固着）される。

30

【0119】

アロイ成形物作成工程S4において、Cu（銅）を主成分とした金属粉体圧縮物54では、Cuの粉体52、Fe（鉄）の粉体52、Ag（銀）の粉体52を混合した金属粉体混合物53を圧縮した金属粉体圧縮物54を炉において長時間焼成し、開口径が1 μ m～100 μ mの範囲の多数の微細な流路（通路孔）を形成したポーラス構造のアロイ成形物55を作る。Cuの粉体52、Feの粉体52、Agの粉体52から形成されたアロイ成形物55では、Ag及びCuの粉体52を溶融させる温度（例えば、1090～1200）で金属粉体圧縮物54を焼成し、溶融したAg及びCuの粉体52によってFeの粉体52が接合（固着）される。

40

【0120】

アロイ粉体作成工程S5では、アロイ成形物作成工程S4によって作られたアロイ成形物55を微粉砕機によって10 μ m～200 μ mの粒径に微粉砕してアロイ粉体23を作る。Ni（ニッケル）を主成分としたアロイ粉体23（Niを主成分とした合金粉体）の

50

一例としては、Niの粉体52、Cuの粉体52、Znの粉体52を均一に混合・分散した金属粉体混合物53を圧縮した金属粉体圧縮物54を焼成してアロイ成形物55を作り、そのアロイ成形物55を微粉碎機によって10 μ m~200 μ mの粒径に微粉碎した微粉碎物である。Ni（ニッケル）を主成分としたアロイ粉体23の他の一例としては、Niの粉体52、Mnの粉体52、Moの粉体52を均一に混合・分散した金属粉体混合物53を圧縮した金属粉体圧縮物54を焼成してアロイ成形物55を作り、そのアロイ成形物55を微粉碎機によって10 μ m~200 μ mの粒径に微粉碎した微粉碎物である。

【0121】

Fe（鉄）を主成分としたアロイ粉体23（Feを主成分とした合金粉体）の一例としては、Feの粉体52、Niの粉体52、Cuの粉体52を均一に混合・分散した金属粉体混合物53を圧縮した金属粉体圧縮物54を焼成してアロイ成形物55を作り、そのアロイ成形物55を微粉碎機によって10 μ m~200 μ mの粒径に微粉碎した微粉碎物である。Fe（鉄）を主成分としたアロイ粉体23の他の一例としては、Feの粉体52、Tiの粉体52、Agの粉体52を均一に混合・分散した金属粉体混合物53を圧縮した金属粉体圧縮物54を焼成してアロイ成形物55を作り、そのアロイ成形物55を微粉碎機によって10 μ m~200 μ mの粒径に微粉碎した微粉碎物である。

【0122】

Cu（銅）を主成分としたアロイ粉体23（Cuを主成分とした合金粉体）の一例としては、Cuの粉体52、Feの粉体52、Znの粉体52を均一に混合・分散した金属粉体混合物53を圧縮した金属粉体圧縮物54を焼成してアロイ成形物55を作り、そのアロイ成形物55を微粉碎機によって10 μ m~200 μ mの粒径に微粉碎した微粉碎物である。Cu（銅）を主成分としたアロイ粉体23の他の一例としては、Cuの粉体52、Feの粉体52、Agの粉体52を均一に混合・分散した金属粉体混合物53を圧縮した金属粉体圧縮物54を焼成してアロイ成形物55を作り、そのアロイ成形物55を微粉碎機によって10 μ m~200 μ mの粒径に微粉碎した微粉碎物である。

【0123】

アロイ粉体担持工程S6では、アロイ粉体作成工程S5によって作られた複数のアロイ粉体23を所定面積及び0.03mm~0.3mmの厚み寸法L1のカーボン電極板24の前面25の全域と後面26の全域（両面の全域）とに担持させる。又は、アロイ粉体担持工程S6では、複数のアロイ粉体23をカーボン電極板24の厚み方向へ重なり合うように（積層するように）、それらアロイ粉体23を所定面積及び0.03mm~0.3mmの厚み寸法L1のカーボン電極板24の前面25の全域と後面26の全域（両面の全域）とに担持させ、カーボン電極板24の厚み方向へ重なり合う（積層した）複数のアロイ粉体23によって既述のアロイ粉体積層ポーラス構造物27を形成する。アロイ粉体担持工程S6では、アロイ粉体23をカーボン電極板24の両面（前後面25, 26）に導電性バインダー（導電性結合材）やプラズマ溶射によって担持する。

【0124】

電気分解装置10に使用する陽極11A, 11B及び陰極12A, 12Bの電極製造方法は、各種の遷移金属51から選択する少なくとも3種類の遷移金属51の仕事関数の合成仕事関数が白金族元素の仕事関数に近似するように、各種の遷移金属51の中から少なくとも3種類の遷移金属51を選択する遷移金属選択工程S1と、遷移金属選択工程S1によって選択された少なくとも3種類の遷移金属51の粉体を均一に混合・分散した金属粉体混合物53を作る金属粉体混合物作成工程S2と、金属粉体混合物作成工程S2によって作られた金属粉体混合物53を所定圧力で加圧して金属粉体圧縮物54を作る金属粉体圧縮物作成工程S3と、金属粉体圧縮物作成工程S3によって作られた金属粉体圧縮物54を所定温度で焼成してアロイ成形物55を作るアロイ成形物作成工程S4と、アロイ成形物作成工程S4によって作られたアロイ成形物55を微粉碎してアロイ粉体23を作るアロイ粉体作成工程S5と、アロイ粉体作成工程S5によって作られたアロイ粉体23を所定面積のカーボン電極板24の両面（前後面25, 26）に担持させるアロイ粉体担持工程S6との各工程によって陽極11A又は陽極11B及び陰極12A又は陰極12B

10

20

30

40

50

を製造するから、白金族元素を利用しない白金レスの陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B 及び陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B を廉価に作ることができ、触媒機能を十分かつ確実に利用することが可能であって優れた触媒活性（触媒作用）を有して電気分解装置 1 0 に好適に使用することが可能な陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B 及び陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B を作ることができる。

【 0 1 2 5 】

電気分解装置 1 0 に使用する陽極 1 1 A , 1 1 B 及び陰極 1 2 A , 1 2 B の電極製造方法は、厚み寸法 L 1 が 0 . 0 3 mm ~ 0 . 3 mm の範囲のカーボン電極板 2 4 の前面 2 5 の全域と後面 2 6 の全域とにアロイ粉体 2 3 を担持させ、複数のアロイ粉体 2 3 を備えた陽極 1 1 A 及び陰極 1 2 A、又は、複数のアロイ粉体 2 3 が重なり合ったアロイ粉体積層ポラス構造物 2 7 が形成された陽極 1 1 B 及び陰極 1 2 B を作ることができるから、陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B 及び陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B の電気抵抗を低くすることができ、陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B 及び陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B に電流がスムーズに流れ、触媒活性（触媒作用）を有して触媒機能を十分かつ確実に利用することが可能であり、電気分解装置 1 0 において短時間に多量の水素ガスを発生させることが可能な陽極 1 1 A 又は陽極 1 1 B 及び陰極 1 2 A 又は陰極 1 2 B を作ることができる。

10

【符号の説明】

【 0 1 2 6 】

1 0	電気分解装置	
1 1 A	陽極（電極）	20
1 1 B	陽極（電極）	
1 2 A	陰極（電極）	
1 2 B	陰極（電極）	
1 3	固体高分子電解質膜	
1 4	陽極給電部材	
1 5	陰極給電部材	
1 6	陽極用貯水槽	
1 7	陰極用貯水槽	
1 8	陽極主電極	
1 9	陰極主電極	30
2 0	膜/電極接合体	
2 1	前面	
2 2	後面	
2 3	アロイ粉体	
2 4	カーボン電極板	
2 5	前面	
2 6	後面	
2 7	アロイ粉体積層ポラス構造物	
2 8	流路（通路孔）	
2 9	通流口	40
3 0	水素ガス生成システム	
3 1	直流電源	
3 2	貯水タンク	
3 3	給水ポンプ	
3 4	酸素気液分離器	
3 5	循環ポンプ	
3 6	循環ポンプ	
3 7	水素気液分離器	
3 8	ポンベ	
3 9	固体高分子形燃料電池	50

- 4 0 燃料極
- 4 1 空気極
- 4 2 セパレータ
- 4 3 セパレータ
- 4 4 膜/電極接合体
- 4 5 ガス拡散層
- 4 6 ガス拡散層
- 4 7 ガスシール
- 4 8 ガスシール
- 4 9 導線
- 5 0 負荷
- 5 1 遷移金属
- 5 2 粉体
- 5 3 金属粉体混合物
- 5 4 金属粉体圧縮物
- 5 5 アロイ成形物
- L 1 厚み寸法
- S 1 遷移金属選択工程
- S 2 金属粉体混合物作成工程
- S 3 金属粉体圧縮物作成工程
- S 4 アロイ成形物作成工程
- S 5 アロイ粉体作成工程
- S 6 アロイ粉体担持工程

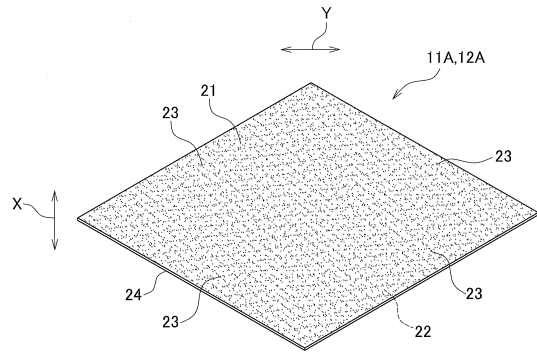
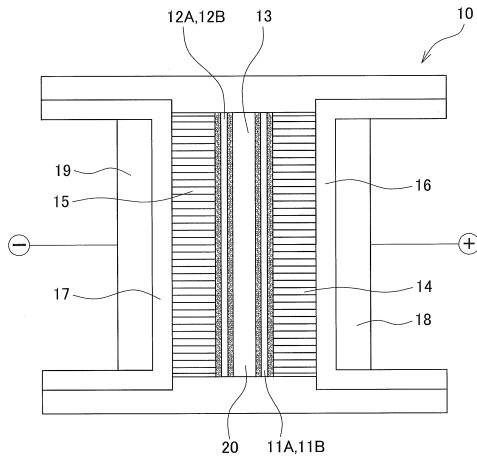
10

20

【図面】

【図 1】

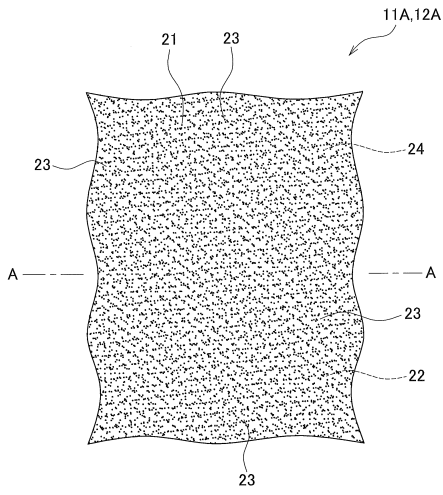
【図 2】



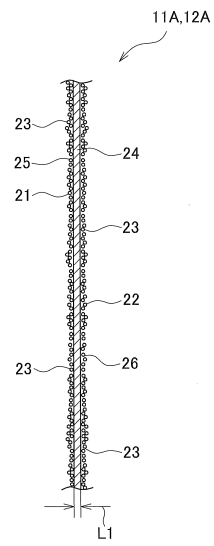
30

40

【 図 3 】



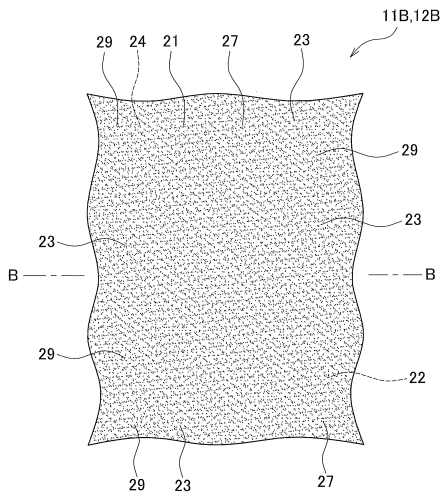
【 図 4 】



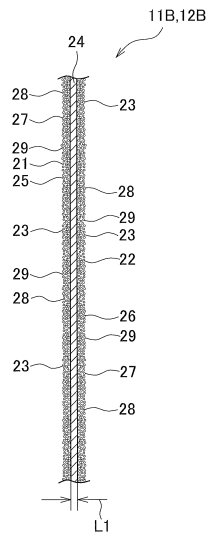
10

20

【 図 5 】



【 図 6 】

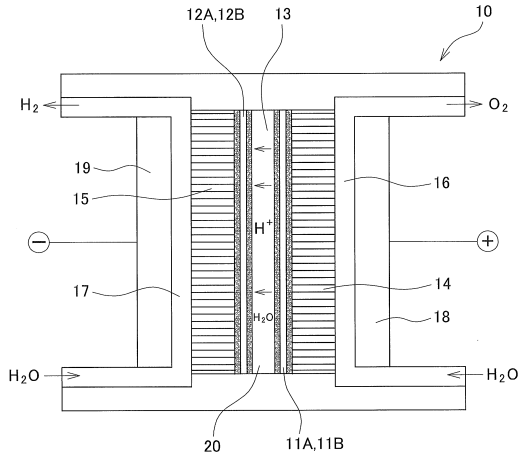


30

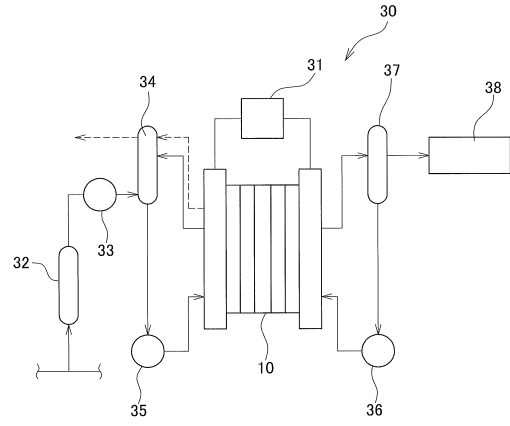
40

50

【図7】



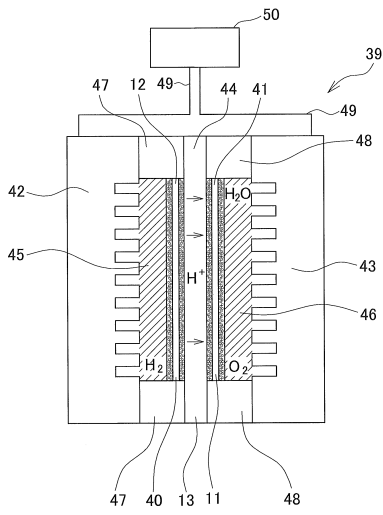
【図8】



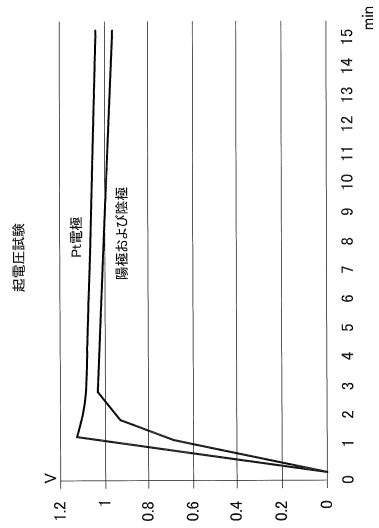
10

20

【図9】



【図10】



30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類		F I		
H 0 1 M	4/90 (2006.01)	H 0 1 M	4/90	M
H 0 1 M	4/96 (2006.01)	H 0 1 M	4/96	B
H 0 1 M	4/86 (2006.01)	H 0 1 M	4/86	M
H 0 1 M	4/88 (2006.01)	H 0 1 M	4/88	K

(56)参考文献 特開 2 0 2 0 - 0 1 3 7 2 3 (J P , A)
特開 2 0 2 0 - 0 1 3 7 2 2 (J P , A)
特開 2 0 1 7 - 0 9 5 7 4 6 (J P , A)
特開昭 5 9 - 0 7 0 7 8 5 (J P , A)

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