(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 4 545 683 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
30.04.2025 Patentblatt 2025/18

(21) Anmeldenummer: **23206239.8**

(22) Anmeldetag: **26.10.2023**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
C25B 1/04 *(2021.01)* ***B22F 10/28*** *(2021.01)*
C25B 9/19 *(2021.01)* ***C25B 9/73*** *(2021.01)*
C25B 9/75 *(2021.01)* ***C25B 9/77*** *(2021.01)*
C25B 11/031 *(2021.01)* ***C25B 11/032*** *(2021.01)*
C25B 11/036 *(2021.01)* ***C25B 11/037*** *(2021.01)*
C25B 11/042 *(2021.01)*

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
C25B 1/04; B22F 1/052; B22F 3/11; B22F 3/1115; B22F 7/08; B22F 10/28; C22C 1/0433; C25B 9/19; C25B 9/73; C25B 9/75; C25B 9/77; C25B 11/031; C25B 11/032; C25B 11/036; C25B 11/037; (Forts.)

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder: **Whitecell Eisenhuth GmbH & Co. KG**
37520 Osterode (DE)

(72) Erfinder:
- **Hickmann, Dr. Thorsten**
  37520 Osterode (DE)
- **Klemp, Dr. Eric**
  24944 Flensburg (DE)

(74) Vertreter: **REHBERG HÜPPE + PARTNER**
Patentanwälte PartG mbB
Robert-Gernhardt-Platz 1
37073 Göttingen (DE)

(54) FLÄCHENELEKTRODE UND ELEKTROCHEMISCHER REAKTOR, INSBESONDERE ZUR ANIONENAUSTAUSCHMEMBRAN-(AEM-)ELEKTROLYSE

(57) Eine Flächenelektrode (1) für einen elektrochemischen Reaktor (25), insbesondere zur Anionenaustauschmembran-(AEM-)Elektrolyse, weist einen durch zwei parallele Hauptflächen (2, 3) begrenzten zusammenhängenden metallischen Körper (4) auf. Zwischen den Hauptflächen (2, 3) durchlaufende Gaspassagen (8) durch den metallischen Körper (4) sind von Innenoberflächen (9) des metallischen Körpers (4) begrenzt, die durch an die Gaspassagen (8) angrenzendes räumlich selektives Aufschmelzen eines Metallpulvers ausgebildet sind.

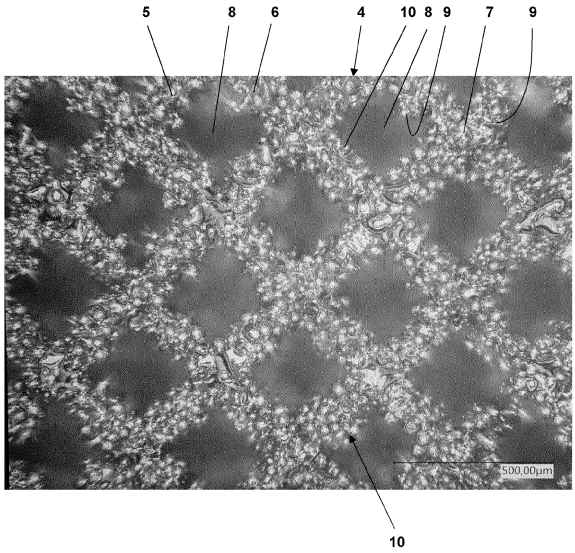


Fig. 2

EP 4 545 683 A1

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC): (Forts.)
C25B 11/042

Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf eine Flächenelektrode für einen elektrochemischen Reaktor, insbesondere zur Anionenaustauschmembran-(AEM-)Elektrolyse, sowie auf einen elektrochemischen Reaktor, ebenfalls insbesondere zur Anionenaustauschmembran-(AEM-) Elektrolyse, mit einer solchen Flächenelektrode. Genauer bezieht sich die Erfindung auf eine Flächenelektrode mit den Merkmalen des Oberbegriffs des unabhängigen Patentanspruchs 1.

[0002] Die Leistungsfähigkeit chemischer Reaktoren hängt von den eingesetzten Flächenelektroden ab. Dies gilt insbesondere bei der Anionenaustauschmembran-(AEM-)Elektrolyse. In einem Reaktor zur AEM-Elektrolyse, die eine Kombination der alkalischen Elektrolyse (AEL) mit der Protonenaustauschmembran-(PEM-) Elektrolyse darstellt, können zwar grundsätzlich kostengünstige Materialien auch für die Flächenelektroden zum Einsatz kommen; die Sauerstoff-Entwicklungs-Reaktion (Oxygen Evolution Reaction = OER) läuft jedoch nur langsam ab, wenn keine Edelmetalle in den Flächenelektroden zum Einsatz kommen. Eine effiziente Umsetzung der AEM-Elektrolyse ohne Verwendung von Edelmetallen ist jedoch zum Beispiel für die großtechnische Produktion von sogenanntem grünem Wasserstoff von großem Interesse.

STAND DER TECHNIK

[0003] Übliche Flächenelektroden für elektrochemische Reaktoren weisen einen zusammenhängenden metallischen Körper auf, der in den Schichtaufbau beispielsweise eines AEM-Elektrolyseurs mit einer zentralen Anionenaustauschmembran einfügbar ist.

[0004] Aus der DE 102 54 379 A1 ist eine Vorrichtung zur Gewinnung von Sauerstoff aus Wasser mit einer Protonenaustauschmembran und mit auf beiden Seiten der Protonenaustauschmembran angeordneten Flächenelektroden bekannt. Die Flächenelektroden sind auf Basis von Titanstreckmetall, d. h. aus zunächst gelochten und dann gestreckten Titanblechen, ausgebildet, die anschließend flachgepresst werden und zusätzlich elektrolytisch platiniert sein können.

[0005] Aus der DE 10 2020 203 833 A1 sind eine Brennstoffzellenvorrichtung, ein Verfahren zur Herstellung einer Brennstoffzellenvorrichtung und ein Interkonnektor für eine Brennstoffzellenvorrichtung bekannt. Als Interkonnektor wird hier das bezeichnet, was in der vorliegenden Beschreibung als Bipolarplatte bezeichnet wird. Die Brennstoffzellenvorrichtung weist eine Elektrode auf, die direkt an dem Interkonnektor angeordnet ist. Der Interkonnektor bildet Strömungskanäle mit einer der Elektrode zugewandten Versorgungsöffnung zur Versorgung der Elektrode mit einem Prozessgas aus. Die Versorgungsöffnung weist eine Querschnittserstreckung von höchstens 500 μm auf. Konkret kann der Interkonnektor dazu eine der Elektrode zugewandte poröse Verteilungsschicht aufweisen. Der Interkonnektor wird in einem additiven pulvermetallurgischen Herstellungsprozess hergestellt. Konkret kann es sich dabei um selektives Lasersintern, selektives Laserschmelzen oder selektives Elektronenstrahlschmelzen handeln. Die Elektrode wird in einem weiteren Verfahrensschritt mittels eines additiven Herstellungsprozesses direkt auf den Interkonnektor aufgebracht. Die Herstellung eines derartigen Interkonnektors mit direkt aufgebrachter Elektrode ist komplex.

[0006] Aus der DE 10 2006 054 347 A1 ist eine Elektrode zur elektrochemischen Bearbeitung eines Werkstücks mit mindestens einem Spülkanal zum Durchfluss und Austritt eines Elektrolyten zumindest in einem Arbeitsbereich der Elektrode bekannt. Die Elektrode ist als kathodisch gepolte Werkzeugelektrode ausgebildet und weist in dem Arbeitsbereich eine Geometrie auf, die der abzutragenden Geometrie auf dem Werkstück entspricht. Die Elektrode ist schichtweise mittels Lasersintern, Lasermikrosintern, Laserschmelzen oder Elektronenstrahlschmelzen hergestellt. Durch diese Herstellung der Elektrode ist ein kleindimensionierter Elektrodenaufbau möglich. Zudem ist keine spanende Erzeugung der Spülkanäle erforderlich und es ergeben sich Gestaltungsfreiheiten bei der Auslegung der Spülkanalgeometrie. Die Wandstärke der Elektrode kann dabei 0,05 mm bis 5,0 mm betragen. Konkret ist eine Verwendung der Elektrode zur Herstellung von Dichtschlitzen bei der Fertigung von Niederdruckturbinenschaufeln und zur Herstellung von Triebwerksbauteilen aus Nickel- oder Titanbasislegierungen, insbesondere zur Herstellung von Schaufelprofilen, vorgesehen.

AUFGABE DER ERFINDUNG

[0007] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Flächenelektrode und einen elektrochemischen Reaktor, insbesondere zur Anionenaustauschmembran-(AEM-)Elektrolyse aufzuzeigen, die trotz Verwendung kostengünstiger Materialien eine hohe Leistungsfähigkeit auch in Bezug auf die Sauerstoff-Entwicklungs-Reaktion bei der Anionenaustauschmembran-(AEM-) Elektrolyse aufweisen.

LÖSUNG

[0008] Die Aufgabe der Erfindung wird durch eine Flächenelektrode mit den Merkmalen des unabhängigen Patentanspruchs 1, einen elektrochemischen Reaktor mit einer solchen Flächenelektrode und mit den weiteren Merkmalen des Patentanspruchs 11 gelöst. Die abhängigen Patentansprüche 2 bis 10 betreffen bevorzugte Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Flächenelektrode; und die abhängigen Patentansprüche 12 bis 15 betreffen bevorzugte Ausführungsformen des erfindungsgemä0en Reaktors.

BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0009] Eine erfindungsgemäße Flächenelektrode für einen elektrochemischen Reaktor, insbesondere einen elektrochemischen Reaktor, der zur Anionenaustauschmembran-(AEM-)Elektrolyse ausgebildet ist, weist einen separat handhabbaren zusammenhängenden metallischen Körper auf, der durch zwei parallele Hauptflächen begrenzt ist. Zwischen den Hauptflächen laufen Gaspassagen durch den metallischen Körper hindurch. Die Gaspassagen sind von Innenoberflächen des metallischen Körpers begrenzt, die durch an die Gaspassagen angrenzendes räumlich selektives Aufschmelzen eines Metallpulvers ausgebildet sind. Regelmäßig ist der gesamte metallische Körper durch das räumlich selektive Aufschmelzen des Metallpulvers additiv hergestellt. Durch das räumlich selektive Aufschmelzen des Metallpulvers im Vakuum oder unter einer Schutzgasatmosphäre können die Innenoberfläche mit einer großen Oberfläche hoher Qualität ausgebildet werden, die beispielsweise auch ohne Verwendung von Edelmetallen zu einer erhöhten Sauerstoff-Entwicklungs-Reaktion bei der AEM-Elektrolyse führt.

[0010] Typischerweise weisen die die Gaspassagen begrenzenden Innenoberflächen des metallischen Körpers gegenüber glatten, d. h. auf kürzestem Weg zwischen den Hauptflächen durchlaufenden Vergleichsflächen eine um einen Faktor von mindestens 100 und insbesondere um einen Faktor zwischen 200 und 500 vergrößerte Oberfläche auf. Diese sehr große Oberfläche der Innenoberflächen lässt sich auf Basis eines Metallpulvers mit einer mittleren Teilchengröße zwischen 20 μm und 100 μm erreichen, wenn dieses lokal, d. h. räumlich selektiv an die Gaspassagen angrenzend, mit dem Ziel aufgeschmolzen wird, Innenoberflächen der Gaspassagen mit besonders großer Oberfläche auszubilden. Die Teilchengrößen des Metallpulvers können um dessen mittlere Teilchengröße herum konzentriert sein. Allgemein können die Teilchengrößen des Metallpulvers im Bereich von 0 μm bis 200 μm liegen.

[0011] Regelmäßig besteht die Flächenelektrode und entsprechend auch das Metallpulver zu einem wesentlichen Teil aus Nickel und/oder Titan. So kann das Metallpulver zu mindestens 40 % aus Nickel und/oder zu mindestens 40 % aus Titan bestehen. Bevorzugt besteht das Metallpulver zu mindestens 75 %, noch mehr bevorzugt zu mindestens 90 % und am allermeisten bevorzugt zu mindestens 95 Gewichtsprozent aus Nickel und/oder Titan. Ferritische Anteile an dem Metallpulver sollten niemals mehr als 5 Gewichtsprozent ausmachen. Vorzugsweise machen sie nicht mehr als 1 Gewichtsprozent des Metallpulvers aus. Noch mehr bevorzugt sind bis auf unvermeidbare Verunreinigungen keine ferritischen Bestandteile in der Flächenelektrode und entsprechend auch dem Metallpulver enthalten.

[0012] Konkret können die die Gaspassagen begrenzenden Innenoberflächen des metallischen Körpers durch an die Gaspassagen angrenzendes sogenanntes Lasersintern des Metallpulvers in einem Pulverbett ausgebildet sein. Das Lasersintern kann ein sogenanntes Mikrolasersintern sein. Trotz der Bezeichnung des Lasersinterns als Sintern führt es zu einem räumlich selektiven Aufschmelzen des Metallpulvers. Statt Lasersintern kann auch ein Elektronenstrahlsintern zur Ausbildung der Innenoberflächen verwendet worden sein. Das Laser- oder Elektronenstrahlsintern in dem Pulverbett führt ohne großen Aufwand zu der gewünschten großen Oberfläche der die Gaspassagen begrenzenden Innenoberflächen des metallischen Körpers. Diese große Oberfläche entspricht einer vielfach unerwünschten Oberflächenrauigkeit beim additiven Fertigen von Formkörpern durch Laser- oder Elektronenstrahlsintern im Pulverbett, insbesondere beim Ausbilden feiner Strukturen, die aber bei der erfindungsgemäßen Flächenelektrode ein Vorteil ist.

[0013] Mindestens eine der längs der Hauptflächen verlaufenden Außenoberflächen des metallischen Körpers der Flächenelektrode kann mit Sägen oder Erodieren eines zusammenhängenden Formkörpers ausgebildet sein, der durch in Richtung normal zu den Hauptflächen schichtweises lokales selektives Aufschmelzen des Metallpulvers ausgebildet ist. Vorzugsweise wird jede Flächenelektrode durch Funkenerosion aus diesem zusammenhängenden Formkörper herausgetrennt. Dadurch entstehen sehr definierte Außenoberflächen des metallischen Körpers. Grundsätzlich kann eine der längs der Hauptflächen verlaufenden Außenoberflächen des metallischen Körpers aber auch durch an die jeweilige Hauptfläche angrenzendes räumlich selektives Aufschmelzen des Metallpulvers ausgebildet sein.

[0014] Bei der erfindungsgemäßen Flächenelektrode macht ein freies Volumen der Gaspassagen typischerweise zwischen 50 % und 80 % eines Zwischenraums zwischen den Hauptflächen des metallischen Körpers aus. Anders gesagt, füllt der metallische Körper den Zwischenraum zwischen seinen Hauptflächen nur zu maximal der Hälfte und manchmal auch nur zu einem Fünftel aus.

[0015] Freie Querschnitte der Gaspassagen können gleiche quadratische Grundformen aufweisen. Die Grundform des metallischen Körpers ist dann diejenige eines zweidimensionalen Gitters, dessen Gitterstäbe in derselben Gitterhauptebene verlaufen. Wenn dann die Gaspassagen längs der Hauptflächen in einem quadratischen Raster angeordnet sind, ist die Grundform des metallischen Körpers diejenige eines quadratischen Gitters. Freie Querschnitte der Gaspassagen können Durchmesser zwischen 0,2 mm und 4 mm aufweisen. Vorzugsweise liegen diese Durchmesser zwischen 0,3 mm und 1 mm.

[0016] Eine Dicke des metallischen Körpers, d. h. ein Abstand zwischen den Hauptflächen des metallischen Körpers liegt typischerweise zwischen 0,2 mm und 4 mm und vorzugsweise zwischen 0,4 mm und 0,7 mm. Die Dicke des metallischen Körpers ist daher zumindest etwa genauso groß wie der Durchmesser der freien Quer-

schnitte der Gaspassagen. Diese Abmessungen des metallischen Körpers und die Ausbildung der Innenoberflächen seiner Gaspassagen durch räumlich selektives Aufschmelzen führen besonders einfach zu der gewünschten großen Oberfläche dieser Innenoberflächen, weil eine scharfe Abgrenzung der aufgeschmolzenen Bereiche eines Metallpulvers bei derart feinen Strukturen - wenn überhaupt - nur mit sehr großem Aufwand möglich ist. Bei der normalen additiven Fertigung durch Laser- oder Elektronenstrahlsintern im Laserbett ist dies ein Nachteil. Bei der Herstellung der erfindungsgemäßen Flächenelektrode ein Vorteil.

[0017] Längs der Hauptflächen kann der metallische Körper eine Nutzfläche von wenigen Quadratzentimetern bis mehreren hundert Quadratzentimetern haben, also beispielsweise zwischen 3 cm^2 und 400 cm^2. Bevorzugt liegt die Nutzfläche zwischen 10 cm^2 und 200 cm^2. Außenabmessungen des metallischen Körpers und auch seiner Nutzfläche sind vorzugsweise abgerundet, noch mehr bevorzugt kreisrund. Elektrochemische Reaktoren mit abgerundetem Querschnitt weisen zum Beispiel Vorteile bei ihrer Abdichtung am Außenumfang auf.

[0018] Für eine solche Abdichtung kann an dem metallischen Körper eine längs der Hauptflächen um eine zentrale Nutzfläche der Flächenelektrode herum umlaufende und einige der Gaspassagen gasdicht verschließende Dichtung aus einem elastomeren Kunststoff angespritzt sein. Vorzugsweise steht diese Dichtung um die zentrale Nutzfläche herum umlaufend und normal zu den Hauptflächen über beide Hauptflächen über.

[0019] Ein erfindungsgemäßer elektrochemischer Reaktor, insbesondere zur AEM-Elektrolyse, weist eine Anionenaustauschmembran, eine Bipolarplatte auf mindestens einer Seite der Anionenaustauschmembran und eine erfindungsgemäße Flächenelektrode zwischen der Anionenaustauschmembran und der Bipolarplatte auf.

[0020] In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Reaktors weist die Bipolarplatte der Flächenelektrode zugewandte Noppen auf, die die Flächenelektrode an einer ihrer Hauptflächen abstützen. Konkret können die Noppen einen Durchmesser zwischen 0,8 mm und 5 mm und/oder eine Länge von 0,3 mm bis 4 mm aufweisen, wobei eine Streckung der Noppen normal zu den Hauptflächen der Flächenelektroden zwischen 0,25:1 und 2:1 betragen kann. Vorzugsweise ist ein Durchmesser der Noppen größer als Ihre Länge, so dass die Streckung der Noppen kleiner als 1:1 ist und etwa 0,4:1 bis 0,8:1 beträgt. Wenn eine Summe von Stirnflächen der der Flächenelektrode zugewandten Noppen der Bipolarplatte zwischen 5 % und 40 % der Fläche der Flächenelektrode beträgt, sind die parallel zu den Hauptflächen der Flächenelektrode verlaufenden Zwischenräume zwischen den Noppen der Bipolarplatte so groß, dass hierüber eine gute Versorgung mit Arbeitsgas oder -flüssigkeit und eine ausreichende Abfuhr von Reaktionsprodukten erfolgt, auch wenn keine zwangsweise durchströmten Strömungskanäle ausgebildet werden.

[0021] Bei dem erfindungsgenäßen Reaktor kann ein Rand der Anionenaustauschmembran in eine umlaufende Dichtung eingebettet sein, und die Anionenaustauschmembran kann mit der umlaufenden Dichtung abdichtend in einem Isolierrahmen angeordnet sein. Die Flächenelektrode kann in dem Isolierrahmen auf der Anionenaustauschmembran angeordnet sein. Alternativ kann an dem metallischen Körper der Flächenelektrode eine umlaufende Dichtung angespritzt sein, die zwischen dem Isolierrahmen und einem umlaufenden Dichtrand der Bipolarplatte angeordnet ist. In dem Schichtaufbau des Reaktors kann eine zusätzliche Diffusionsschicht zwischen der Ionenaustauschmembran und der Flächenelektrode angeordnet sein.

[0022] Die Ionenaustauschmembran des erfindungsgemäßen Reaktors kann eine Protonenaustauschmembran (PEM) sein. Vorzugsweise handelt es sich um eine Anionenaustauschmembran (AEM).

[0023] Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Patentansprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen.

[0024] Die in der Beschreibung genannten Vorteile von Merkmalen und von Kombinationen mehrerer Merkmale sind lediglich beispielhaft und können alternativ oder kumulativ zur Wirkung kommen, ohne dass die Vorteile zwingend von erfindungsgemäßen Ausführungsformen erzielt werden müssen.

[0025] Hinsichtlich des Offenbarungsgehalts - nicht des Schutzbereichs - der ursprünglichen Anmeldungsunterlagen und des Patents gilt Folgendes: Weitere Merkmale sind den Zeichnungen - insbesondere den dargestellten Geometrien und den relativen Abmessungen mehrerer Bauteile zueinander sowie deren relativer Anordnung und Wirkverbindung - zu entnehmen. Die Kombination von Merkmalen unterschiedlicher Ausführungsformen der Erfindung oder von Merkmalen unterschiedlicher Patentansprüche ist ebenfalls abweichend von den gewählten Rückbeziehungen der Patentansprüche möglich und wird hiermit angeregt. Dies betrifft auch solche Merkmale, die in separaten Zeichnungen dargestellt sind oder bei deren Beschreibung genannt werden. Diese Merkmale können auch mit Merkmalen unterschiedlicher Patentansprüche kombiniert werden. Ebenso können in den Patentansprüchen aufgeführte Merkmale für weitere Ausführungsformen der Erfindung entfallen, was aber nicht für die unabhängigen Patentansprüche des erteilten Patents gilt.

[0026] Die in den Patentansprüchen und der Beschreibung genannten Merkmale sind bezüglich ihrer Anzahl so zu verstehen, dass genau diese Anzahl oder eine größere Anzahl als die genannte Anzahl vorhanden ist, ohne dass es einer expliziten Verwendung des Adverbs "mindestens" bedarf. Wenn also beispielsweise von einem Metallpulver die Rede ist, ist dies so zu verstehen, dass genau ein Metallpulver, zwei Metallpulver oder mehr Metallpulver verwendet werden. Die in den Patentansprüchen angeführten Merkmale können durch weite-

re Merkmale ergänzt werden oder die einzigen Merkmale sein, die der Gegenstand des jeweiligen Patentanspruchs aufweist.

[0027] Die in den Patentansprüchen enthaltenen Bezugszeichen stellen keine Beschränkung des Umfangs der durch die Patentansprüche geschützten Gegenstände dar. Sie dienen lediglich dem Zweck, die Patentansprüche leichter verständlich zu machen.

KURZBESCHREIBUNG DER FIGUREN

[0028] Im Folgenden wird die Erfindung anhand in den Figuren dargestellter bevorzugter Ausführungsbeispiele weiter erläutert und beschrieben.

Fig. 1 ist eine Draufsicht auf eine erfindungsgemäße Flächenelektrode.

Fig. 2 ist eine vergrößerte mikroskopische Abbildung eines Bereichs der Flächen-elektrode gemäß Fig. 1.

Fig. 3 zeigt einen durch Lasersintern hergestellten Formkörper, von dem die Flächen-elektrode gemäß den Fig. 1 und 2 durch Erodieren herausgetrennt wird.

Fig. 4 zeigt ein Stapelelement zur Ausbildung eines Reaktors für eine AEM-Analyse mit einer Anionenaustauschmembran und einer Elektrode gemäß den Fig. 1 bis 3.

Fig. 5 zeigt eine Bipolarplatte als weiteres Stapelelement zur Ausbildung des Reaktors in einer Draufsicht.

Fig. 6 zeigt die Bipolarplatte in einem diagonalen Querschnitt.

Fig. 7 ist eine Explosionszeichnung des Reaktors und

Fig. 8 zeigt ein Detail des zusammengebauten Reaktors.

FIGURENBESCHREIBUNG

[0029] Die in **Fig. 1** in einer Draufsicht gezeigte Flächenelektrode 1 ist für einen elektrochemischen Reaktor, insbesondere zur Anionenaustauschmembran-(AEM-) Elektrolyse, vorgesehen und weist einen durch zwei parallele Hauptflächen 2 und 3, von denen hier nur die Hauptfläche 2 sichtbar ist, begrenzten zusammenhängenden metallischen Körper 4 auf. Der metallische Körper 4 weist eine gitterförmige Grundform auf, die aus der mikroskopischen Aufnahme gemäß **Fig. 2** näher hervorgeht. Die gitterförmige Grundform wird durch in derselben Gitterhauptebene rechtwinklig zueinander verlaufende Gitterstäbe 5 und 6 ausgebildet, in deren Kreuzungspunkten 7 der metallische Körper 4 zwischen seinen Hauptflächen 2 und 3 nicht aufgedickt ist. Zwischen den Gitterstäben 5 und 6 verbleiben Gaspassagen 8 mit rautenförmigen freien Querschnitten, die in einem quadratischen Raster angeordnet sind. Die Kantenlängen der Rauten sind hier $\geq$ 0,2 mm. Die Gaspassagen 8 begrenzende Innenoberflächen 9 des metallischen Körpers 4 weisen sehr große geometrische Oberflächen 10 auf, die um einen Faktor $\geq$ 200 gegenüber auf kürzestem Weg zwischen den Hauptflächen 2 und 3 durchlaufenden virtuellen Vergleichsflächen vergrößert sind. Die Innenoberflächen 9 sind erkennbar durch an die Gaspassagen 8 angrenzendes räumlich selektives Aufschmelzen eines Metallpulvers ausgebildet. Fig. 1 zeigt, dass die Flächenelektrode 1 kreisrunde Außenabmessungen aufweist und dass an dem metallischen Körper 4 eine längs der Hauptflächen 2 und 3 um eine zentrale Nutzfläche 11 der Flächenelektrode 1 herum umlaufende und einige der Gaspassagen 8 gemäß Fig. 2 verschließende Dichtung 12 aus einem elastomeren Kunststoff 13 angespritzt ist. Aus Fig. 1 ist nicht sichtbar, dass die Dichtung 12 um die zentrale Nutzfläche 11 herum umlaufend über beide Hauptflächen 2 und 3 normal zu den Hauptflächen 2 und 3 übersteht.

[0030] **Fig. 3** zeigt einen zusammenhängenden Formkörper 14 auf einer Sockelplatte 15. Der Formkörper 14 ist durch schichtweises lokales, d. h. räumlich selektives Aufschmelzen von Metallpulver in einem Pulverbett ausgebildet. Aus dem Formkörper 14 werden mehrere Flächenelektroden 1 durch Erodieren, insbesondere mittels Funkenerosion, längs der Hauptflächen 2 und 3 herausgetrennt. Der Abstand der parallelen Hauptflächen 2 und 3 beträgt dabei typischerweise zwischen 0,4 mm und 0,7 mm. Das Pulverbett, in dem der Formkörper durch Lasersintern ausgebildet wurde, weist eine Zusammensetzung weit überwiegend aus Nickel und/oder Titan auf und Teilchengrößen unterhalb 200 μm, die ein Herauslösen der nicht aufgeschmolzenen Anteile des Pulvers des Pulverbetts aus dem Formkörper 14 zumindest dann ermöglichen, nachdem dieser durch Erodieren in die einzelnen Flächenelektroden 1 aufgeteilt wurde.

[0031] **Fig. 4** ist eine Draufsicht auf ein Stapelelement 16 zur Ausbildung eines stapelförmigen Reaktors für eine Anionenaustauschmembran-(AEM-)Elektrolyse und weist entsprechend eine AEM 17 auf. Die AEM 17 ist innerhalb eines Isolierrahmens 18 angeordnet und schließt gasdicht an den Isolierrahmen 18 an. In dem Isolierrahmen 18 sind Versorgungskanäle 19 und 20 ausgebildet. Auf beiden Seiten der AEM 17 ist jeweils eine Flächenelektrode 1 angeordnet. Die Flächenelektroden 1 weisen hier keine Dichtung 12 auf. Sie sind innerhalb des Abdichtrahmens 18 angeordnet.

[0032] Die **Fig. 5 und 6** zeigen eine Bipolarplatte 21, die zur rückwärtigen Abstützung der Flächenelektroden 1 vorgesehen ist, um sie an die AEM 17 gemäß Fig. 4 anzudrücken. Die Bipolarplatten 21 bestehen aus einem elektrisch leitfähigen Kunststoff 22. Die Bipolarplatten 21

stützen die benachbarten Flächenelektroden 1 über Noppen 23 ab, zwischen denen Freiräume 24 verbleiben, die mit den Kanälen 19 bzw. 20 kommunizieren, um die an den Flächenelektroden 1 entwickelten Gase abzuführen bzw. zu elektrolysierendes Wasser zuzuführen.

[0033] **Fig. 7** zeigt die in einem Reaktor 25 für AEM-Elektrolyse gestapelten Stapelelemente in Form der Stapelelemente 16 gemäß Fig. 4 und der Bipolarplatten 21 gemäß den Fig. 5 und 6 sowie modifizierter Bipolarplatten 26 mit Stromanschlüssen 27 sowie Stapelendplatten 28. Die Stapelelemente 16, 21, 26 und 28 des Reaktors 25 werden durch hier nicht dargestellte und durch Löcher 29 verlaufende Spannschrauben so gegeneinander verspannt, dass der Reaktor in radialer Richtung gasdicht abgedichtet ist.

[0034] Das Detail gemäß **Fig. 8** zeigt die abgedichtet aneinander liegenden Stapelelemente bei dem zusammengebrauten Reaktor 25.

BEZUGSZEICHENLISTE

[0035]

1	Flächenelektrode
2	Hauptfläche
3	Hauptfläche
4	metallischer Körper
5	Gitterstab
6	Gitterstab
7	Kreuzungspunkt
8	Gaspassage
9	Innenoberfläche
10	Oberfläche
11	Nutzfläche
12	Dichtung
13	elastomerer Kunststoff
14	Formkörper
15	Sockelplatte
16	Stapelelement
17	Anionenaustauschmembran (AEM)
18	Isolierrahmen
19	Versorgungskanal
20	Versorgungskanal
21	Bipolarplatte
22	elektrisch leitfähiger Kunststoff
23	Noppen
24	Freiraum
25	Reaktor
26	Bipolarplatte mit Stromanschluss
27	Stromanschluss
28	Stapelendplatte
29	Loch

Patentansprüche

1. Flächenelektrode (1) für einen elektrochemischen Reaktor (25), insbesondere zur Anionenaustauschmembran-(AEM-)Elektrolyse, mit einem durch zwei parallele Hauptflächen (2, 3) begrenzten zusammenhängenden metallischen Körper (4), wobei zwischen den Hauptflächen (2, 3) durchlaufende Gaspassagen (8) durch den metallischen Körper (4) von Innenoberflächen (9) des metallischen Körpers (4) begrenzt sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** die die Gaspassagen (8) begrenzenden Innenoberflächen (9) des metallischen Körpers (4) durch an die Gaspassagen (8) angrenzendes räumlich selektives Aufschmelzen eines Metallpulvers ausgebildet sind.

2. Flächenelektrode (1) nach Anspruch 1, **wobei** die die Gaspassagen (8) begrenzenden Innenoberflächen (9) des metallischen Körpers (4) gegenüber auf kürzestem Weg zwischen den Hauptflächen (2, 3) durchlaufenden Vergleichsflächen eine um einen Faktor von mindestens 100 und insbesondere um einen Faktor zwischen 200 und 500 vergrößerte Oberfläche (10) aufweisen.

3. Flächenelektrode (1) nach Anspruch 1 oder 2, **wobei** das Metallpulver

   - eine mittlere Teilchengröße zwischen 20 μm und 100 μm und/oder
   - Teilchengrößen von 0 μm bis 200 μm und/oder
   - zu mindestens 40 Gewichtsprozent und vorzugsweise zu mindestens 75 Gewichtsprozent Nickel und/oder
   - zu mindestens 40 Gewichtsprozent und vorzugsweise zu mindestens 75 Gewichtsprozent Titan und/oder
   - zu nicht mehr als 5 Gewichtsprozent und vorzugsweise zu nicht mehr als 1 Gewichtsprozent ferritische Bestandteile

   aufweist.

4. Flächenelektrode (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **wobei** die die Gaspassagen (8) begrenzenden Innenoberflächen (9) des metallischen Körpers (4) durch an die Gaspassagen (8) angrenzendes Lasersintern des Metallpulvers in einem Pulverbett ausgebildet sind.

5. Flächenelektrode (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **wobei** mindestens eine der längs der Hauptflächen (2, 3) verlaufenden Außenoberflächen des metallischen Körpers (4) mit Sägen oder Erodieren eines zusammenhängenden Formkörpers (14) ausgebildet ist, der durch in Richtung normal zu den Hauptflächen (2, 3) schichtweises lokales räumlich selektives Aufschmelzen des Metallpulvers ausgebildet ist.

6. Flächenelektrode (1) nach Anspruch 5, **wobei** die andere der längs der Hauptflächen (2, 3) verlaufenden Außenoberflächen des metallischen Körpers

(4) durch an die jeweilige Hauptfläche angrenzendes räumlich selektives Aufschmelzen des Metallpulvers ausgebildet ist.

7. Flächenelektrode (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **wobei**

- ein freies Volumen der Gaspassagen (8) zwischen 50 Prozent und 80 Prozent eines Zwischenraums zwischen den Hauptflächen (2, 3) ausmacht und/oder
- freie Querschnitte der Gaspassagen (8) gleiche quadratische Grundformen aufweisen und/oder
- die Gaspassagen (8) längs der Hauptflächen (2, 3) in einem quadratischen Raster angeordnet sind und/oder
- freie Querschnitte der Gaspassagen (8) Durchmesser zwischen 0,2 mm und 4 mm und vorzugsweise zwischen 0,3 mm und 1 mm aufweisen.

8. Flächenelektrode (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **wobei** ein Abstand zwischen den Hauptflächen (2, 3) zwischen 0,2 mm und 4 mm und vorzugsweise zwischen 0,4 mm und 0,7 mm beträgt.

9. Flächenelektrode (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **wobei** der metallische Körper (4) längs der Hauptflächen (2, 3)

- eine Nutzfläche (11) zwischen 3 cm^2 und 400 cm^2 und vorzugsweise zwischen 10 cm^2 und 200 cm^2 und/oder
- abgerundete und vorzugsweise kreisförmige Außenabmessungen

aufweist.

10. Flächenelektrode (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **wobei** an den metallischen Körper (4) eine längs der Hauptflächen (2, 3) um eine zentrale Nutzfläche (11) der Flächenelektrode (1) herum umlaufende und einige der Gaspassagen (8) gasdicht verschließende Dichtung (12) aus einem elastomeren Kunststoff (13) angespritzt ist, die vorzugsweise um die zentrale Nutzfläche (11) herum umlaufend über beide Hauptflächen (2, 3) übersteht.

11. Elektrochemischer Reaktor (25), insbesondere zur Anionenaustauschmembran-(AEM-) Elektrolyse, mit

- einer Anionenaustauschmembran (EAM) (17),
- einer Bipolarplatte (21) auf mindestens einer Seite der Anionenaustauschmembran (EAM) (17) und
- mit einer Flächenelektrode (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche zwischen der Anionenaustauschmembran (EAM) (17) und der Bipolarplatte (21) .

12. Reaktor (25) nach Anspruch 11, **wobei** die Bipolarplatte (21) der Flächenelektrode (1) zugewandte Noppen (23) aufweist.

13. Reaktor (25) nach Anspruch 12, **wobei** die Noppen (23)

- einen Durchmesser zwischen 0,8 mm und 5 mm und/oder eine Länge von 0,3 mm bis 4 mm und/oder
- eine Streckung normal zu den Hauptflächen (2, 3) der Flächenelektrode (1) zwischen 0,25: 1 und 2 : 1 aufweisen.

14. Reaktor (25) nach Anspruch 12 oder 13, **wobei** eine Summe von Stirnflächen der der Flächenelektrode (1) zugewandten Noppen (23) der Bipolarplatte zwischen 5 und 40 Prozent der Fläche der Flächenelektrode (1) beträgt.

15. Reaktor (25) nach einem der Ansprüche 11 bis 14, **wobei**

- ein Rand der Anionenaustauschmembran (EAM) (17) in eine umlaufende Dichtung eingebettet ist und die Anionenaustauschmembran (EAM) (17) mit der umlaufenden Dichtung abdichtend in einem Isolierrahmen (18) angeordnet ist,
- an den metallischen Körper (4) der Flächenelektrode (1) eine umlaufende Dichtung (12) angespritzt ist, die zwischen dem Isolierrahmen (18) und einem umlaufenden Dichtrand der Bipolarplatte angeordnet ist, oder wobei die Flächenelektrode (1) ebenfalls in dem Isolierrahmen (18) angeordnet ist, und
- wobei, optional, eine Diffusionsschicht zwischen der Anionenaustauschmembran (EAM) (17) und der Flächenelektrode (1) angeordnet ist.

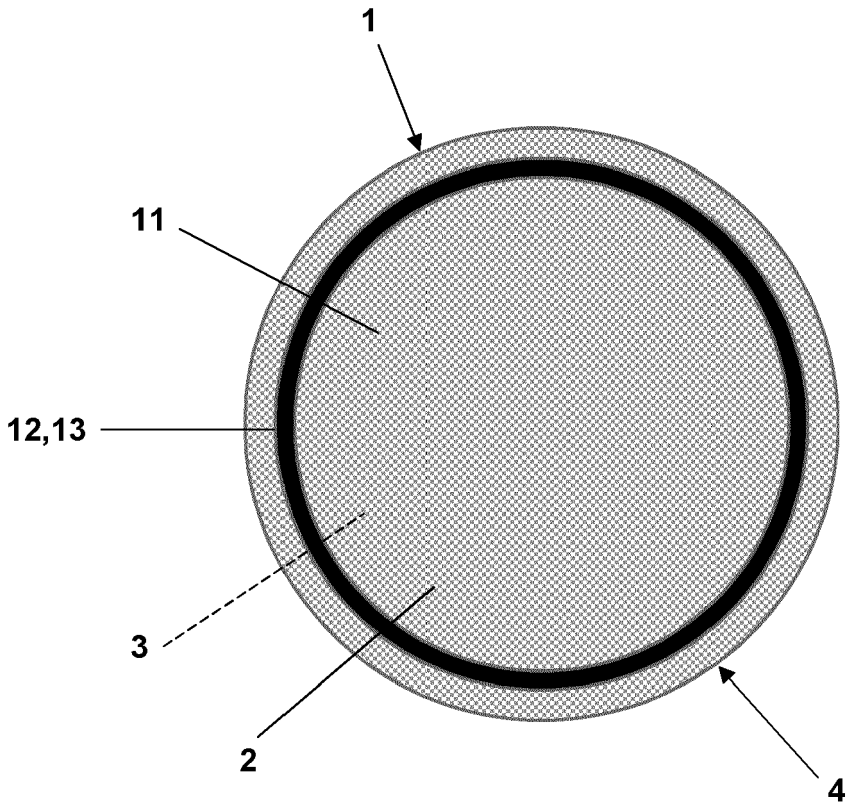


Fig. 1

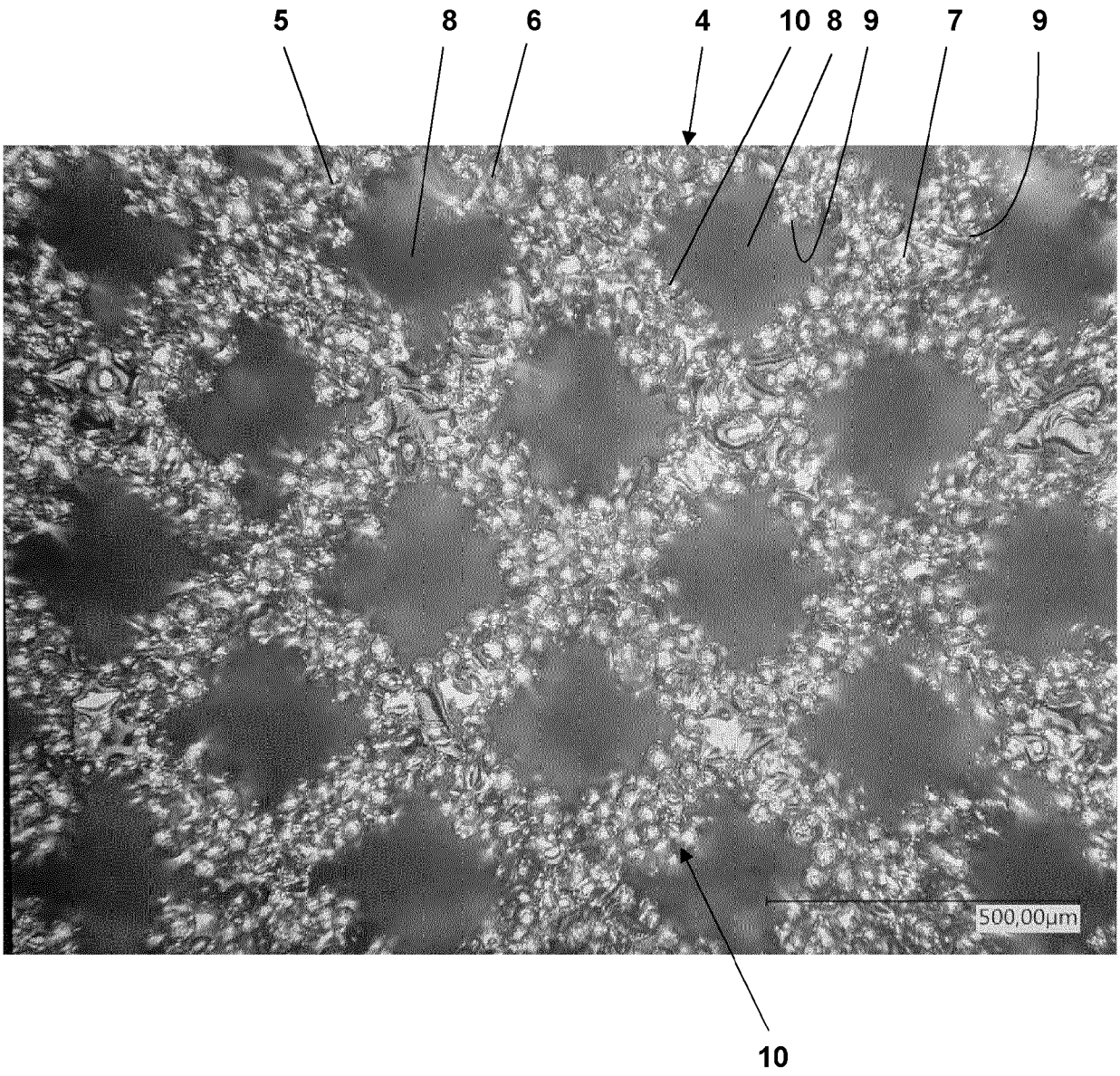


Fig. 2

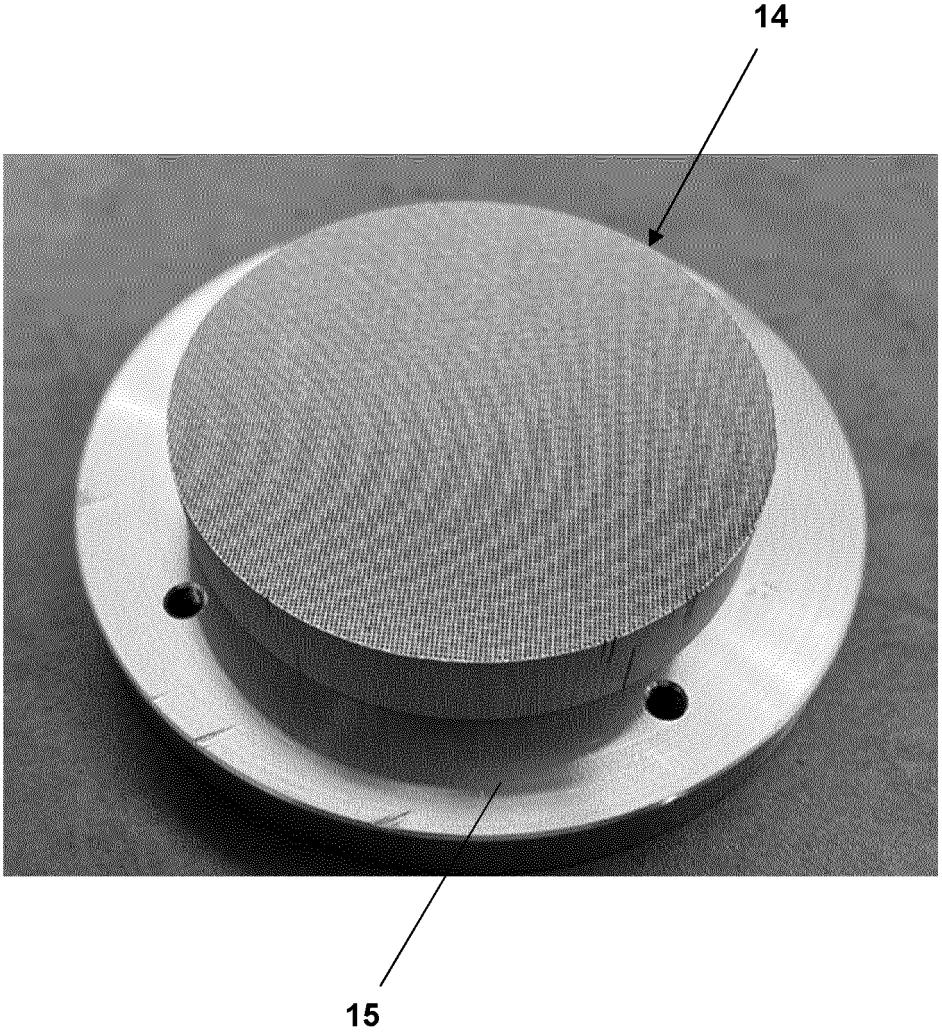


Fig. 3

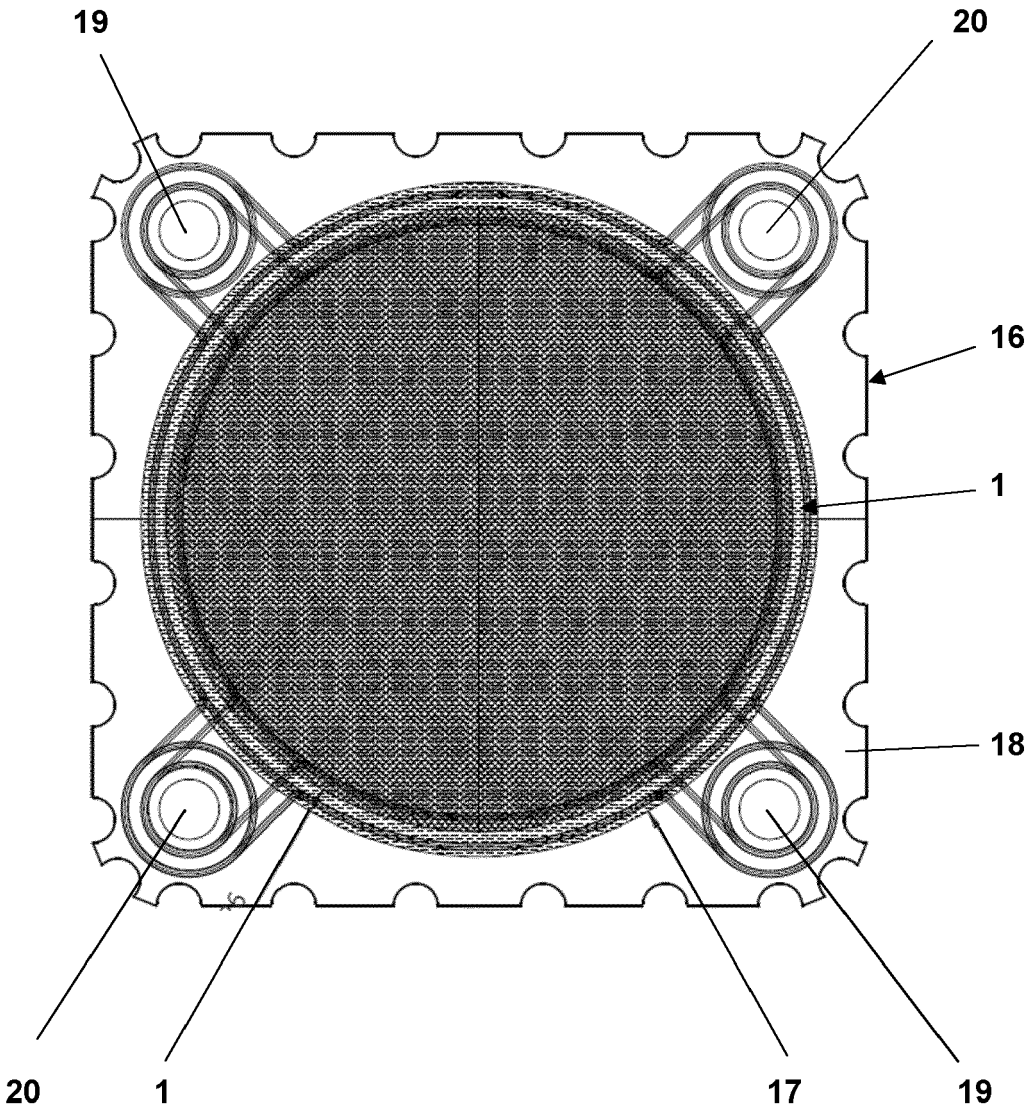


Fig. 4

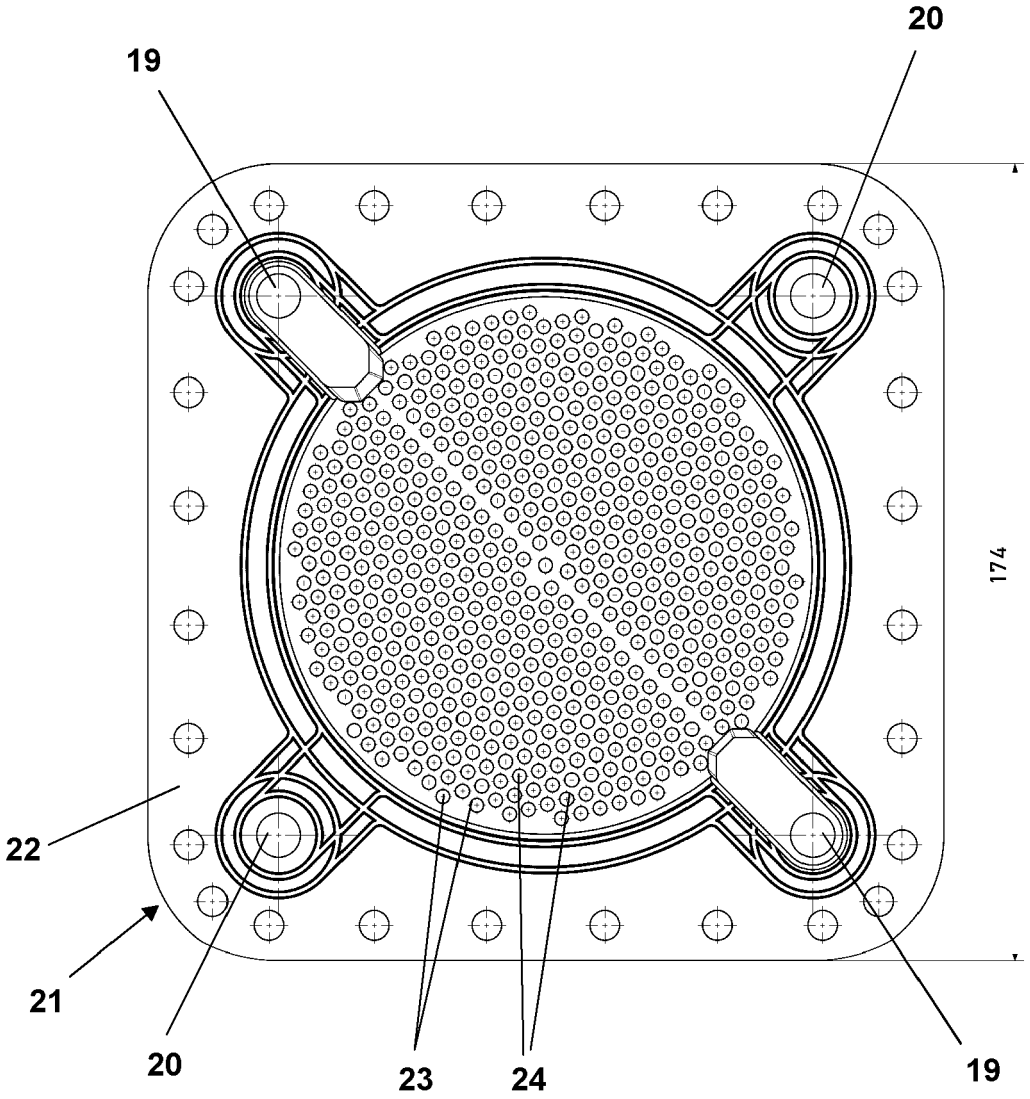


Fig. 5

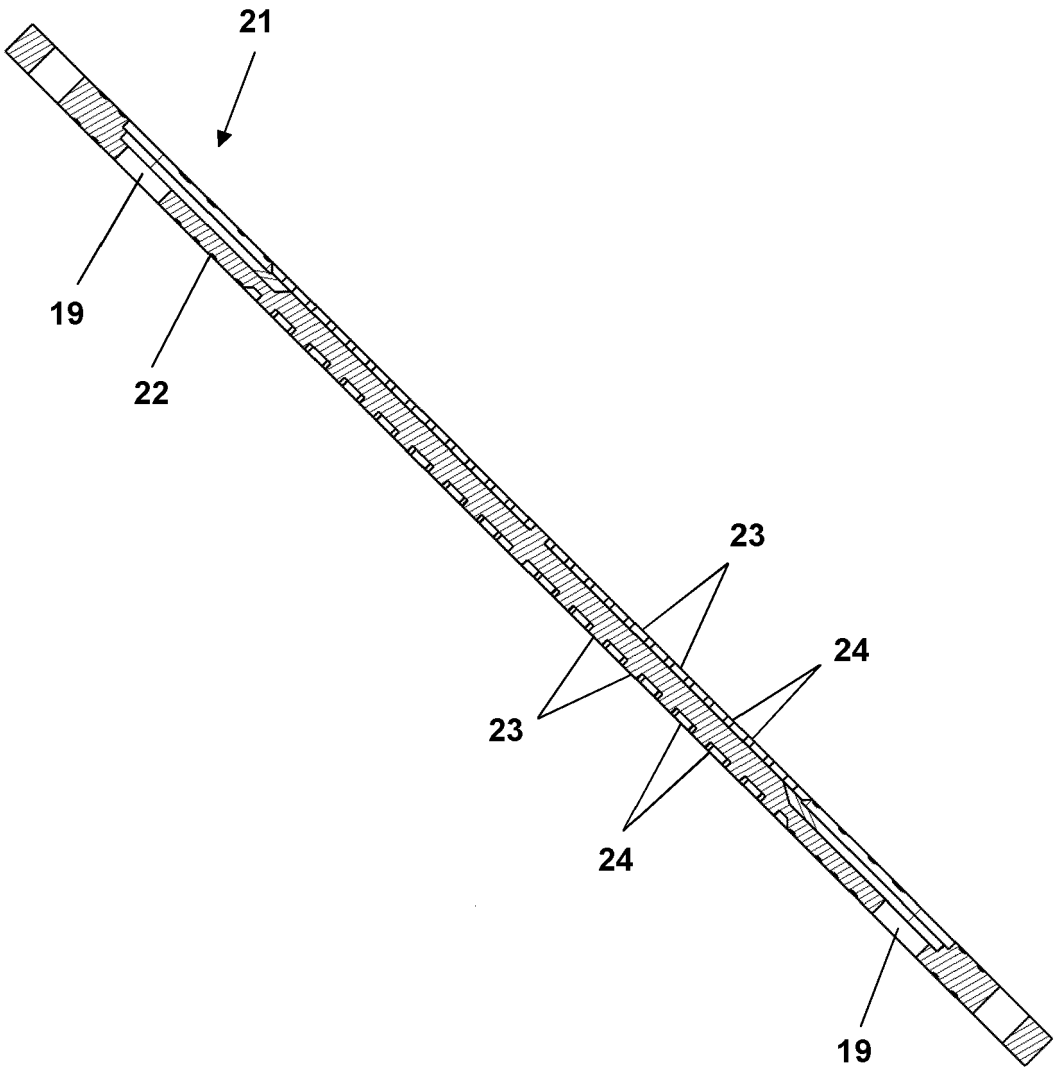


Fig. 6

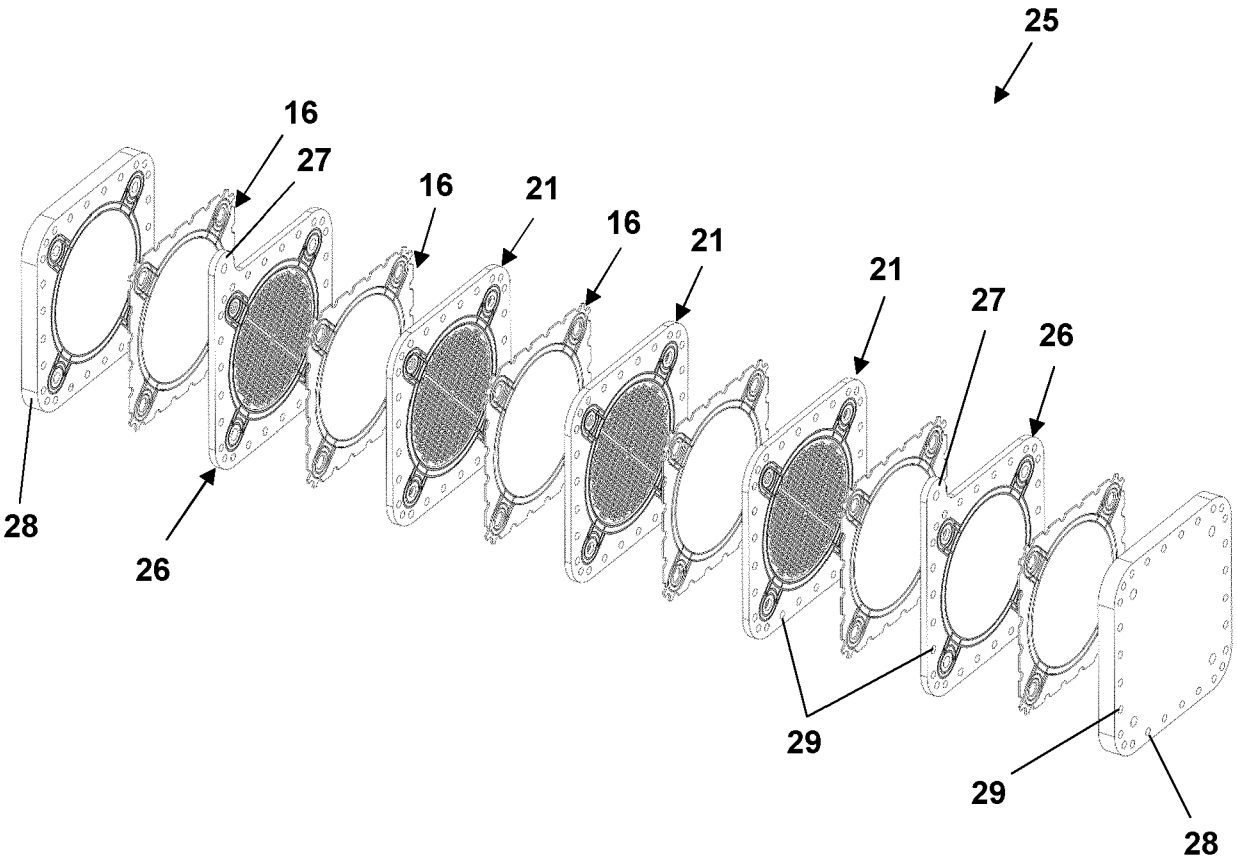


Fig. 7

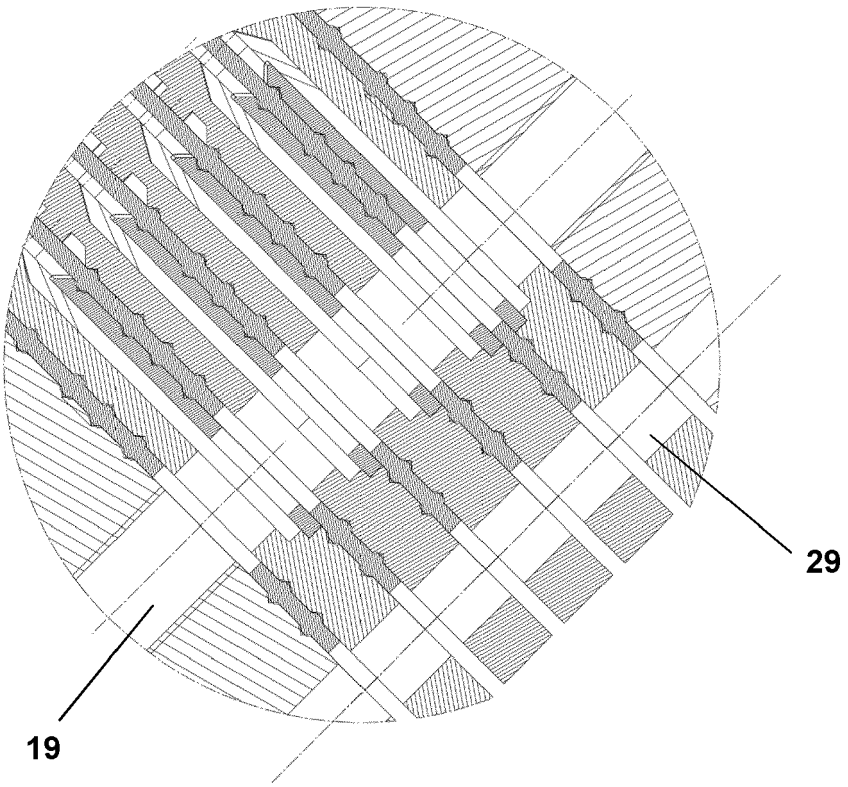


Fig. 8

Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 23 20 6239

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE

Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 2018/195186 A1 (ZHANG FENG-YUAN [US] ET AL) 12. Juli 2018 (2018-07-12)	1-4,7	INV. C25B1/04
Y	* Absatz [0054] - Absatz [0055]; Ansprüche 1-27; Abbildungen 7, 9, 12-13; Tabelle 1 *	1,5,6,9, 11	B22F10/28 C25B9/19
A	* Absätze [0013], [0049] *	8,10, 12-15	C25B9/73 C25B9/75 C25B9/77

X	XUN YANRAN ET AL: "A minireview on 3D printing for electrochemical water splitting electrodes and cells", APL MATERIALS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, 2 HUNTINGTON QUADRANGLE, MELVILLE, NY 11747, Bd. 11, Nr. 6, 12. Juni 2023 (2023-06-12), XP012275354, DOI: 10.1063/5.0138178 [gefunden am 2023-06-12]	1-6,8,9	C25B11/031 C25B11/032 C25B11/036 C25B11/037 C25B11/042
Y	* Seiten 10, 19; Abbildungen 1-3; Tabelle 1 *	5,6,9	
A		10	

X	DE 10 2018 105115 A1 (DEUTSCH ZENTR LUFT & RAUMFAHRT [DE]) 12. September 2019 (2019-09-12)	1,11	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) C25B C22C B22F
Y	* Absatz [0061] - Absatz [0075]; Abbildungen 5-6 *	1,11	

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt

Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
München	27. Mai 2024	Teppo, Kirsi-Marja

KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE

X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie
A : technologischer Hintergrund
O : nichtschriftliche Offenbarung
P : Zwischenliteratur

T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze
E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
D : in der Anmeldung angeführtes Dokument
L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument

& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR. EP 23 20 6239

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

27-05-2024

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2018195186 A1	12-07-2018	KEINE	
DE 102018105115 A1	12-09-2019	KEINE	

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 10254379 A1 **[0004]**
- DE 102020203833 A1 **[0005]**
- DE 102006054347 A1 **[0006]**