

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
19. Dezember 2024 (19.12.2024)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2024/255952 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:

B33Y 10/00 (2015.01) B33Y 80/00 (2015.01)
B22F 5/00 (2006.01) C25B 1/04 (2021.01)
B22F 10/38 (2021.01) C25B 9/65 (2021.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2024/100456

(22) Internationales Anmeldedatum:
16. Mai 2024 (16.05.2024)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2023 115 587.3 15. Juni 2023 (15.06.2023) DE
10 2024 112 690.6 06. Mai 2024 (06.05.2024) DE

(71) Anmelder: SCHAEFFLER TECHNOLOGIES AG &
CO. KG [DE/DE]; Industriestraße 1-3, 91074 Herzogenau-
rach (DE).

(72) Erfinder: SCHAEFERKOETTER, Claus; Remarweg
16, 91058 Erlangen (DE). KRÄMER, Thomas; Finken-
gasse 14, 90552 Röthenbach a.d. Peg. (DE). SMETA-
NA, Tomas; Frauenaauracherstrasse 15a, 91074 Herzoge-

naurach (DE). MERKLEIN, Carsten; Oedenberger Stra-
ße 26, 90491 Nürnberg (DE). JURJANZ, Ramon; Im Son-
nengarten 1, 96155 Buttenheim (DE). WEI, Jianfei; AnLi
Road 396 Long, No. 1, Room 302, Shanghai, 201805 (CN).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DJ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG,
KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA,
NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO,
RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH,
TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS,
ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD,
SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY,
KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS,
IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING A PLATE ASSEMBLY, PLATE ASSEMBLY AND ELECTROCHEMICAL CELL

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER PLATTENANORDNUNG, PLATTENANORDNUNG UND
ELEKTROCHEMISCHE ZELLE

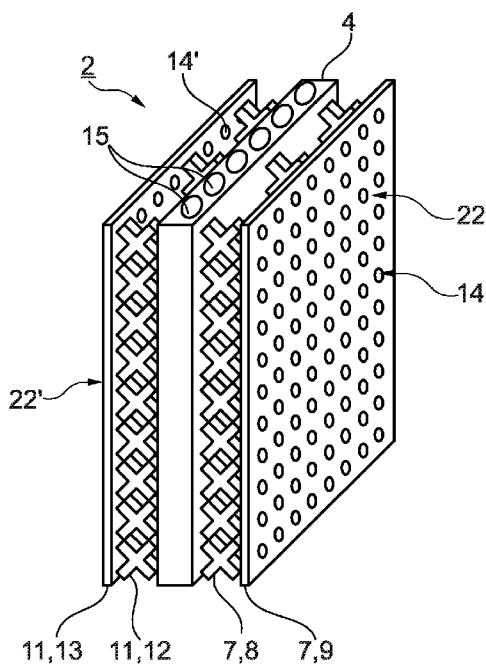


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to production of a plate assembly (2) of a stack (1) of electrochemical cells (3), wherein plates arranged parallel to one another are additively manufactured in planes oriented perpendicularly to the plates. The invention also relates to an electrochemical cell (3), in particular an electrochemical system in the form of an electrolyzer, with a cell stack (1) comprising two end plates (28, 29), between which at least one such plate assembly (2) and at least two polymer electrolyte membranes (34, 34') are arranged.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Herstellung einer Plattenanordnung (2) eines Stapels (1) elektrochemischer Zellen (3), wobei parallel zueinander angeordnete Platten in Ebenen, welche senkrecht zu den Platten ausgerichtet sind, additiv erzeugt werden. Die Erfindung betrifft weiterhin eine elektrochemische Zelle (3), insbesondere ein elektrochemisches System in Form eines Elektrolyseurs, mit einem Zellenstapel (1) umfassend zwei Endplatten (28, 29), zwischen welchen mindestens eine solche Plattenanordnung (2) und mindestens zwei Polymerelektrolytmembranen (34, 34') angeordnet sind.



RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

- *hinsichtlich der Identität des Erfinders (Regel 4.17 Ziffer i)*
- *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

Veröffentlicht:

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

Verfahren zur Herstellung einer Plattenanordnung,
Plattenanordnung und elektrochemische Zelle

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Plattenanordnung eines Stapels elektrochemischer Zellen unter Nutzung generativer Fertigungsverfahren. Ferner betrifft die Erfindung eine Plattenanordnung für ein elektrochemisches System, welche generativ gefertigte Komponenten umfasst. Schließlich betrifft die Erfindung eine elektrochemische Zelle, insbesondere einen Elektrolyseur.

10 Die generative Herstellung von Komponenten eines Brennstoffzellenstapels oder Elektrolyseurs ist grundsätzlich zum Beispiel aus der DE 10 2013 108 413 A1 bekannt. Als Fertigungsverfahren sind hierin Laser-, Elektronenstrahl- und Wasserdampfstrahlsintern genannt. Generative Verfahren sollen auch geeignet sein, Bauteile eines Zellenstapels miteinander zu verbinden.

15

Die WO 2023/021217 A1 offenbart ein integriertes, auf einem einzigen 3D-Drucksystem basiertes Verfahren zur Herstellung eines monolithischen Festoxidzellen (SOC) - Stapels. Das Verfahren nach der WO 2023/021217 A1 schließt die Herstellung von verschiedenen Elektroden sowie Elektrolyt- und Zwischenschichten ein. Ebenso sollen Gehäusekomponenten, welche isolierendes keramisches Material enthalten, additiv herstellbar sein.

20

Die US 2015/0290860 A1 befasst sich mit der Geometrie von Düsen, welche für die additive Herstellung von Komponenten elektrochemischer Systeme vorgesehen sind. Vorgeschlagen wird eine von einer kreisrunden Form abweichende Düsengeometrie. Damit soll ein Verbund verschiedener flächiger Komponenten auch baubar sein, welcher unter anderem Kanäle zur Durchleitung von Brennstoff oder Luft aufweist.

25

Mit der additiven Herstellung von Brennstoffzellenkomponenten befasst sich auch die
30 US 2008/0008826 A1. Hierbei werden Pulverschichten durch Laser-Sintern verfestigt,

wobei Bereiche mit unterschiedlichen Porositäten hergestellt werden sollen. Wenigstens zwei Schichten der in der US 2008/0008826 A1 beschriebenen Anordnung weisen eine unterschiedliche Zusammensetzung sowie eine unterschiedliche Dicke auf.

- 5 Ein in der DE 10 2018 100 772 A1 beschriebenes Verfahren zur Herstellung einer elektrochemischen Zellenvorrichtung sieht vor, dass auf einem Zellträger eine Funktionsschicht durch direkte Materialauftragung hergestellt wird. Bei dem Zellträger handelt es sich um einen Zellseparator, welcher eine äußere Begrenzung einer elektrochemischen Zelle bildet. Der Zellträger kann aus Edelstahl hergestellt sein und eine
- 10 Korrosionsschutzschicht aufweisen. Nacheinander auf dem Zellträger aufzubauende Funktionsschichten sind insbesondere als Gasverteilerschicht und Katalysatorschicht ausgebildet. Nach der DE 10 2018 100 772 A1 soll es auch möglich sein, eine elektrochemische Funktionsschicht mit einer Gradierung herzustellen, wobei die Gradierung bezüglich der geometrischen Ausgestaltung und/oder von Materialien erfolgt, und wo-
- 15 bei eine Gradierung in Stapelrichtung und/oder quer zur Stapelrichtung hergestellt wird.

Nach der DE 10 2014 226 567 A1 soll zumindest ein Teilbereich einer Bipolarplatte eines Brennstoffzellensystems im generativen Schichtbauverfahren hergestellt werden.

- 20 Um ein Strömungsfeld auszubilden, soll Material selektiv lediglich auf Vorsprüngen einer Topologie einer Grundplatte der Bipolarplatte aufgebracht werden. Auf diese Weise sollen Kontaktierungen, beispielsweise aus Titan, Nickel oder Chrom, entstehen.

- 25 Die US 2005/0221150 A1 befasst sich mit der generativen Fertigung wabenförmiger Strukturen für elektrochemische Zellen. Hierbei soll ein Metallpulver, welches die Elemente Nickel und Chrom enthält, durch Laser-Sintern verfestigt werden. Zusätzlich können metallische Schichten Bronze als Binder enthalten.

- Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Herstellung schichtweise aufgebauter
- 30 Zellen elektrochemischer Systeme gegenüber dem genannten Stand der Technik

weiterzuentwickeln, wobei insbesondere eine simultane Fertigung mehrerer Zellkomponenten möglich sein soll.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zur Herstellung einer
5 Plattenanordnung eines Stapels elektrochemischer Zellen, insbesondere Elektrolyse-
zellen oder Brennstoffzellen, gemäß Anspruch 1. Ebenso wird die Aufgabe gelöst,
durch eine Plattenanordnung mit den Merkmalen des Anspruchs 7 und eine elektro-
chemische Zelle mit den Merkmalen des Anspruchs 14. Im Folgenden im Zusammen-
hang mit der Plattenanordnung oder dem gesamten elektrochemischen System erläu-
10 terte Ausgestaltungen und Vorteile der Erfindung gelten sinngemäß auch für das an-
meldungsgemäße Herstellungsverfahren und umgekehrt.

Das Verfahren zur Herstellung einer Plattenanordnung eines Stapels elektrochemi-
scher Zellen zeichnet sich dadurch aus, dass parallel zueinander angeordnete Platten
15 in Ebenen, welche senkrecht zu den Platten ausgerichtet sind, additiv erzeugt werden.

Dies ist – anschaulich gesprochen – gleichbedeutend damit, dass jede einzelne Platte
der Plattenanordnung einer aus einem Baum gesägten Scheibe gleicht, die quer zur
Faser geschnitten ist. In herkömmlichen 3D-Druck-Verfahren gefertigte Platten von
20 Zellenstapeln oder sonstigen Stapeln gleichen dagegen – um im Bild zu bleiben – übli-
chen Brettern, die in Längsrichtung des Baumstammes gesägt wurden.

Durch die stehende additive Fertigung der Platten, wobei auf einer 3D-Druckplattform
jede der Platten ausgehend von einer Plattenschmalkante stehend aufgebaut wird,
25 sind besonders filigrane und komplexe Strukturen ausbildbar, die bei einer Fertigung
auf einer 3D-Druckplattform der Platten ausgehend von einer liegenden großen Plat-
tenseite nicht herstellbar wären. So sind beispielsweise Aussparungen zur Ausbildung
von Überhängen im 3D-Druck nur mit geringer Qualität ausbildbar, wenn die Platten
nacheinander, das heißt liegend, aufgebaut werden, da bei einem Aufschmelzen des
30 pulverförmigen Materials mittels Laser der Laserstrahl in eine unerwünschte Tiefe
reicht und eine Struktur ähnlich einer Tropfsteinhöhlendecke über der gebildeten

Aussparung gebildet wird. Je größer die gewünschte Überhanglänge und je geringer ein Anstiegswinkel der gebildeten verfestigten Struktur, desto geringer die Druckqualität.

- 5 Würde man die Platten der Plattenanordnung liegend aufeinander generieren, würde die gesamte Unterseite in Richtung der Druckunterlage einen 90° Überhang bilden. Diesen müsste man mit Stützstrukturen abstützen, welche nach dem 3D-Druck mechanisch entfernt werden müssten. Die Oberfläche mit den Resten der Stützstrukturen wäre als Kontaktfläche zu einer Membrane einer elektrochemischen Zelle ungeeignet.
- 10 Außerdem wären die thermischen Eigenspannungen bei einem 3D-Druck in der Fläche so groß, dass derartige Stützstrukturen mechanisch nicht halten würden.

- Gleichzeitig mit einer geringeren Druckqualität verschlechtert sich im Bereich der Ausnehmungen die Belastbarkeit einer 3D-gedruckten Struktur unter Druck, was insbesondere bei elektrochemischen Zellen, die unter hohem Betriebsdruck betrieben werden, wie insbesondere Elektrolyseure, auch aus Sicherheits-technischen Gründen nicht akzeptabel ist. Derartige Probleme können bei einem Aufbau einer Plattenanordnung gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren vermieden und eine hohe Bandbreite an 3D-gedruckten Strukturen in hoher Qualität erzeugt werden.

20

Zudem ist eine liegende Positionierung beim 3D-Drucken der Plattenanordnung unwirtschaftlich, weil aufbauend auf einer identisch dimensionierten Druckunterlage im Gegensatz zum stehenden Druckvorgang aus Platzgründen gleichzeitig weitaus weniger oder gar nur eine Plattenanordnung gedruckt werden kann.

25

Besonders hat es sich bewährt, wenn die Plattenanordnung einstückig aus den parallel zueinander angeordneten Platten ausgebildet wird. Mindestens sollten aber zwei Platten einstückig ausgebildet werden, um Montageaufwand beim Zusammenbau einer elektrochemischen Zelle einsparen zu können und die Kontaktwiderstände zu reduzieren.

30

Die erfindungsgemäße Plattenanordnung ist einteilig ausgebildet und umfasst eine Mehrzahl additiv gefertigter, zueinander paralleler, nicht notwendigerweise gleichartiger Platten, wobei 3D-Druck-Schichten orthogonal zu diesen Platten ausgerichtet sind. Ein besonderer Vorteil der Plattenanordnung ist, innerhalb dieser ein inniger Materialverbund zwischen den Platten vorhanden ist und keine elektrischen Verluste auftreten, wie es im Bereich von Kontaktstellen aneinander lediglich angedrückter Platten in herkömmlichen elektrochemischen Zellen der Fall ist. Dadurch ist eine elektrochemische Zelle hocheffizient betreibbar.

- 5 Beispielsweise kann ein erster Typ der Platten als Bipolarplatten ausgebildet sind. Dabei wird hier der Begriff „Bipolarplatte“ analog zu einem Aufbau in herkömmlichen elektrochemischen Zellen verwendet. Allerdings kann hier die komplette Plattenanordnung die elektrischen Eigenschaften einer solchen Bipolarplatte bereitstellen, da diese insgesamt elektrisch leitfähig ist und aus metallischen Werkstoffen gebildet ist.
- 15 Ebenso können in dieser Weise als 3D-Druck-Objekte aufgebaute Platten als poröse Transportlagen in elektrochemischen Zellen fungieren. In einem solchen Fall ist es insbesondere möglich, die Transportlagen mehrschichtig aufzubauen, wobei die einzelnen Schichten eine unterschiedliche Porosität und/oder Dicke haben. Während der generativen Fertigung der porösen Transportlagen erscheinen die verschiedenen
- 20 Schichten zum Aufbau der Platten einer Plattenanordnung als benachbart angeordnete Streifen innerhalb der aktuell per 3D-Druck aufgebauten Lage.

- Besonders rationell ist das erfindungsgemäße additive Herstellungsverfahren gestaltbar, indem auf einer 3D-Druck-Plattform mehrere gleichartige, zueinander parallele
- 25 Plattengruppen, welche jeweils eine Mehrzahl verschiedener Platten umfassen und senkrecht auf der 3D-Druck-Plattform stehen, simultan aufgebaut werden. Die einzelnen Plattengruppen, die gemeinsam in einem Druckbatch hergestellt werden, können nach der additiven Fertigung entweder in einen einzigen Zellenstapel eingebaut oder auf mehrere Zellenstapel verteilt werden. Jede der Plattenbaugruppen wird auch als
- 30 Sandwich bezeichnet und kann nach der Trennung von der Bauplattform, das heißt 3D-Druck-Plattform, entpulvert werden. Hieran kann sich eine Wärmebehandlung anschließen. Optional werden äußere Oberflächen der Plattenbaugruppe durch Schleifen bearbeitet. Auch ein zusätzlicher Richtprozess kann erfolgen. Ebenso kann eine

elektrisch leitende Beschichtung, beispielsweise aus einem Edelmetall wie Platin, zumindest in einem Teilbereich auf einer oder beiden Seiten der Plattenanordnung aufgebracht werden. Somit kann eine Beschichtung der äußeren zweiten Schichten der porösen Transportlagen erfolgen. Der Auftrag der Beschichtung erfolgt bevorzugt in
5 einem PVD- oder PACVD-Verfahren. Vor dem Beschichtungsprozess kann optional ein Plasmaätzen der zu beschichtenden Oberflächen erfolgen, um vorhandene Oxidschichten zu entfernen und damit gute Haftung und elektrischen Kontakt der Beschichtung zur Plattenanordnung sicherzustellen. Durch ein Vorsehen einer Beschichtung inklusive eines vorherigen Plasmaätzens vorhandener Oxidschichten kann somit
10 ein elektrischer Widerstand der gesamten Plattenanordnung, das heißt von Polymerelektrolytmembran zu Polymerelektrolytmembran, erreicht werden, als wenn diese insgesamt aus Gold gebildet wäre.

Gemäß verschiedener möglicher Ausgestaltungen sind mehrere Platten, welche der
15 Plattenbaugruppe zuzurechnen sind, als poröse Lagen der sandwichartigen Plattenbaugruppe ausgebildet. Insbesondere kann es sich bei den porösen Lagen um jeweils mehrschichtige, kathodenseitige beziehungsweise anodenseitige poröse Transportlagen der späteren elektrochemischen Zellen handeln. Hierbei ist eine erste Schicht einer jeden porösen Transportlage insbesondere grobporig aufgebaut, wogegen eine
20 zweite Schicht einer jeden porösen Transportlage bevorzugt vergleichsweise dünn und feinporig aufgebaut ist. Die letztgenannte zweite Schicht einer jeden porösen Transportlage bildet vorzugsweise zumindest in einem Teilbereich der Plattenanordnung eine äußere Oberfläche der Plattenanordnung. Die Poren der feinporigen zweiten Schicht weisen vorzugsweise einen Porendurchmesser $< 80\ \mu\text{m}$, insbesondere im
25 Bereich von $60\ \mu\text{m}$ bis $80\ \mu\text{m}$, auf, während die Poren oder auch Kanäle in einer grobporigen ersten Schicht vorzugsweise einen Porendurchmesser $> 0,2\ \text{mm}$, insbesondere $> 1\ \text{mm}$ aufweisen.

Dabei weisen feinporige zweite Schichten einer jeden porösen Transportlage bevorzugt
30 Schichtdicken von $< 0,2\ \text{mm}$ und grobporige erste Schichten einer jeden porösen Transportlage bevorzugt Schichtdicken von $> 0,5\ \text{mm}$ auf.

In die poröse Transportlage, insbesondere in deren äußere, feinporige zweite Schicht, werden Öffnungen, welche die Poren der betreffenden zweiten Schicht darstellen, im Zuge der additiven Fertigung, optional zudem nachträglich eingebracht. Im letztgenannten Fall kann eine zusätzliche feine Porosität beispielsweise durch Plasmapbohren, Laserbohren oder Ätzen erzeugt werden. Grundsätzlich können Poren in porösen Transportschichten entweder eine geometrisch definierte Form oder geometrisch undefinierte Formen mit stochastischer Größenverteilung aufweisen, wobei in jedem Fall eine Durchlässigkeit, das heißt eine offene Porosität, der grobporigen ersten Schicht und der feinporösen zweiten Schicht gegeben ist.

10

Im Fall der ersten, grobporigen ersten Schicht kommt insbesondere eine definierte Geometrie, beispielsweise in Form eines Gitters, in Betracht. Dieses Gitter überträgt im Betrieb der elektrochemischen Zelle Kräfte zwischen angrenzenden Zellkomponenten und stellt zugleich freie Strömungsquerschnitte für Betriebsmedien bereit. Entsprechendes gilt für die feinporöse zweite Schicht, welche an das Gitter grenzt und insbesondere eine ebene Auflagefläche für ein in einer elektrochemischen Zelle angrenzendes Bauteil, wie beispielsweise eine protonendurchlässige Polymerelektrolytmembran oder eine Gasdiffusionsschicht aus einem Kohlenstoffpapier oder Kohlenstoffvlies der elektrochemischen Zelle, bereitstellt. Die ebene Auflagefläche weist aufgrund des 3D-Druckes eine Rauigkeit auf, die eine Vergrößerung der Oberfläche dieser Auflagefläche mit sich bringt. Rauigkeiten im Bereich von Rz16 haben sich hier bewährt.

15
20

Die Membran wird nachträglich, vor der Montage oder im Zuge der Montage des gesamten elektrochemischen Zellenstapels, auf die Plattenanordnung aufgebracht. Die feinporöse, im Unterschied zur Membran additiv hergestellte zweite Schicht der Plattenanordnung ist hinsichtlich ihrer elektrischen Eigenschaften und Korrosionseigenschaften auf die beim Betrieb der elektrochemischen Zellen herrschenden Bedingungen und auf die Beschaffenheit der Membran abgestimmt. Die Membran ist innerhalb des Zellenstapels in einer Ebene angeordnet, welche die im Zuge der additiven Fertigung sukzessive entstehenden 3D-Druck-Ebenen senkrecht schneidet.

25
30

Im Unterschied zu den porösen Transportlagen der Plattenanordnung kann durch die ebenfalls der Plattenanordnung zuzurechnende Bipolarplatte ein Kanal für ein Kühlmedium gebildet sein, welches von den Betriebsmedien des elektrochemischen Systems getrennt ist. Bei dem Kühlmedium handelt es sich insbesondere um Wasser. Bevorzugt ist demnach mindestens eine der Platten als Bipolarplatte ausgebildet, wobei einander gegenüberliegende Seiten der Bipolarplatte mindestens einen Kanal zur Durchleitung eines Fluids, hier des Kühlmittels, zwischen sich einschließen.

Im Gegensatz zum Kühlmedium ist als Prozesswasser, welches sich durch Elektrolyse in Wasserstoff und Sauerstoff aufspaltet, deionisiertes Wasser zu verwenden. Das Prozesswasser wird demnach separat vom Kühlmedium in einem Elektrolyseur geführt.

Bei jeglicher Art der elektrochemischen Zellen kann mit den Platten ein Rahmen einteilig verbunden sein, welcher ebenfalls im Zuge der additiven Fertigung hergestellt wird. Die Plattenanordnung umfasst demnach die Platten und bevorzugt weiterhin einen die Platten umfassenden Rahmen, wobei der Rahmen umfassend eine Gitterstruktur und mindestens eine Armierung ausgebildet ist. Die Gitterstruktur dient dazu, Eigenspannungen im 3D-Druck abzubauen und so eine Druckbarkeit herzustellen. Weiterhin dient die Gitterstruktur dazu, das Plattenanordnungsgewicht zu reduzieren und einem Innendruck im elektrochemisch aktiven Bereich einer elektrochemischen Zelle wie ein Druckbehälter entgegenzuwirken.

Auch können sich Öffnungen für die Betriebsmedien und das Kühlmittel sowie Öffnungen für die Montage eines Zellenstapels in diesem Rahmen befinden. Der Rahmen weist bevorzugt an seinem Umfang und die mehreren Öffnungen umschließend jeweils eine Armierung auf. Bei einer solchen Armierung handelt es sich um eine massive und fluiddichte Materialansammlung aus dem gleichen Material, aus dem die Gitterstruktur gebildet wird. Die Armierung im Bereich der Öffnungen dient dazu, das Kühlmedium und die Betriebsmedien zu kanalisieren und Drücken zu widerstehen. Die Armierung im Bereich des Umfangs der Plattenanordnung dient dazu, im

zusammengebauten Zustand der elektrochemischen Zelle einen fluiddichten und Druck-beständigen Mantel um die Plattenanordnung bereitzustellen.

- Unabhängig von der äußeren, entweder rein flächigen oder komplexeren Form der Bipolarplatte kann diese aus mehreren, sich voneinander unterscheidenden Werkstoffen aufgebaut sein. Insbesondere kann dies Titan auf der Anodenseite und nichtrostender Stahl auf der Kathodenseite sein. Alternativ kann die ganze Bipolarplatte oder sogar die Gesamtheit sämtlicher additiv gefertigter Komponenten der elektrochemischen Zelle aus demselben Werkstoff, beispielsweise einem Leichtmetall, insbesondere Titan, aufgebaut sein. Bevorzugt ist hierbei die Titanlegierung Ti6Al4V, die wärmebehandelbar ist und eine dichte Oxidschicht bildet. Dadurch erhöht sich die Kerbschlagzähigkeit, die bei Druck-beaufschlagten Anlagen ein wichtiger Faktor ist, und eine Materialversprödung durch Wasserstoff wird verringert.
- Die porösen Transportlagen, welche zu beiden Seiten an die Bipolarplatte grenzen, können aus demselben Werkstoff aufgebaut sein, aus welchem auch die betreffende Oberfläche der Bipolarplatte gebildet ist. Dies bedeutet insbesondere, dass sämtliche Schichten der anodenseitigen porösen Transportlagen aus Titan und sämtliche Schichten der kathodenseitigen porösen Transportlagen aus nichtrostendem Stahl generativ gefertigt sein können. Alternativ ist es zum Beispiel möglich, die grobporösen, inneren, an die Bipolarplatte grenzenden Schichten der porösen Transportlagen aus Kupfer zu fertigen. Dies verbessert insbesondere eine Wärmeabfuhr von der Bipolarplatte.
- Ein Vorteil der einteiligen Plattenanordnung liegt, abgesehen von den rationellen, prozesssicheren Fertigungsmethoden und den dadurch erreichbaren niedrigen elektrischen Widerständen, insbesondere darin, dass durch die spezielle Art der additiven Fertigung von Dichtungen zwischen einzelnen Halbzellen der elektrochemischen Zellen, insbesondere Elektrolyse-, Redox-Flow- oder Brennstoffzellen, abgesehen werden kann. Zudem begünstigt die Vorfertigung der kompletten, materialuneinheitlich aufgebauten sandwichartigen Plattenanordnungen eine sehr rationelle, geometrisch präzise, prozesssichere Montage des gesamten Zellenstapels.

Eine erfindungsgemäße elektrochemische Zelle, insbesondere ein elektrochemisches System wie ein Elektrolyseur, umfasst mindestens einen Zellenstapel mit zwei Endplatten, zwischen welchen mindestens eine erfindungsgemäße Plattenanordnung und mindestens zwei Polymerelektrolytmembranen angeordnet sind. Eine derartige Zelle weist aufgrund der wenigen Einzelteile eine hohe Dichtigkeit gegenüber den Betriebsmedien und dem Kühlmittel auf und ist schnell und effizient erstellbar.

Insbesondere ist eine jede Endplatte einteilig ausgebildet und umfasst eine Mehrzahl additiv gefertigter, zueinander paralleler Platten, wobei 3D-Druck-Schichten orthogonal zu den Platten ausgerichtet sind und wobei jede Endplatte eine elektrische Kontaktanordnung aufweist. Anstelle einer bei einer Plattenanordnung vorgesehenen Bipolarplatte ist bei jeder Endplatte eine Trägerplatte vorgesehen, die lediglich an einer Seite eine poröse, mehrschichtige Transportlage aufweist. Auch die Trägerplatte kann mit Kühlkanälen durchzogen ausgebildet sein. Damit ist eine Endplatte im Prinzip jedoch genauso aufgebaut wie eine Plattenanordnung, die auf einer Seite keine poröse Transportlage(n) aufweist. Auch eine Endplatte ist vorzugsweise hinsichtlich eines Rahmens aus Gitterstruktur, Öffnungen und Armierung wie eine Plattenanordnung ausbildbar und damit an die Form und Ausgestaltung einer Plattenanordnung anpassbar.

20

Ein schematischer Ablauf der Herstellung eines elektrochemischen Systems kann wie folgt skizziert werden.

In einem ersten Schritt wird die Plattenanordnung in einem 3D-Druckverfahren, insbesondere Laser-3D-Druckverfahren, hergestellt. Die einteilige Plattenanordnung wird vorzugsweise mit einer Dicke des Rahmens im Bereich von 7 bis 12 mm, insbesondere von 9 mm erzeugt. Die Schichtdicken der grobporigen ersten inneren Schichten der porösen Transportlagen werden insbesondere $> 0,5$ mm gewählt. Die grobporige Struktur der ersten inneren Schichten der porösen Transportlagen werden im 3D-Druckverfahren gebildet. Die ersten inneren Schichten weisen insbesondere eine filigrane Stäbchenstruktur auf, welche ein langgestrecktes Wabenmuster ausbildet. Aufgrund der langen Überhänge dieser Stäbchenstruktur sichert hier die Aufbaurichtung der Platten ausgehend von der Plattenschmalkante erst die technische Herstellbarkeit.

30

Die Schichtdicken der zweiten äußeren Schichten der porösen Transportlagen werden insbesondere $< 0,2$ mm gewählt. Die feinporige Struktur der zweiten äußeren Schichten der porösen Transportlagen werden im 3D-Druckverfahren, optional weiterhin durch nachgeschaltetes Bearbeiten wie Laserbohren gebildet. Dabei werden die zweiten äußeren Schichten der porösen Transportlagen bevorzugt mit einer regelmäßigen dreidimensionalen Pyramiden-Struktur auf der jeweiligen ersten inneren Schicht erstellt.

Die Armierung im Bereich des Umfangs des Rahmens oder im Bereich der Kanäle für Betriebsmedien weist insbesondere eine Dicke von mindestens 0,5 mm auf, um zuverlässig fluiddicht und druckbeständig ausgeführt werden zu können.

In einem zweiten Schritt wird die Plattenanordnung auf beiden Seiten einem Schleifen unterzogen. Die Schleifbearbeitung schließt optional ein Schleifen der Oberflächen der äußeren zweiten Schichten der porösen Transportlagen ein.

Optional schließt sich in einem dritten Schritt ein Laserbohren an, um optional weitere Poren in den äußeren zweiten Schichten der porösen Transportschichten auszubilden.

Der vierte Schritt umfasst eine nachfolgende Reinigung der Plattenanordnung.

In einem fünften optionalen Schritt kann eine Beschichtung einer oder beider der äußeren zweiten Schichten der porösen Transportschichten erfolgen. Dabei kann beispielsweise ein PVD-Verfahren zum Einsatz kommen. Als Beschichtungsmaterialien haben sich katalytisch wirkende Edelmetalle oder Edelmetalllegierungen, wie Platin und/oder Iridium, bewährt.

In einem sechsten Schritt werden Dichtungen in die Nuten um die Kanäle für die Betriebsmedien und die äußeren zweiten Schichten der porösen Transportschichten eingebracht. Dies kann durch Einlegen von O-Ringen oder in einem Spritzgussverfahren erfolgen.

In einem siebten Schritt erfolgt nun der Aufbau des Zellenstapels beziehungsweise des elektrochemischen Systems, wobei zwischen zwei Verspannplatten und elektrisch von diesen getrennt mehrere elektrochemische Zellen gestapelt und miteinander verspannt werden.

Nachfolgend werden verschiedene Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand von Zeichnungen näher erläutert. Hierin zeigen:

- Fig. 1 eine Plattenanordnung eines Stapels elektrochemischer Zellen,
- 5 Fig. 2 ausschnittsweise eine Fertigungsanlage zur Simultanherstellung mehrerer Plattenanordnungen nach Fig. 1,
- Fig. 3 eine Plattenanordnungen mit einer schematisch dargestellten Medienverteilerstruktur,
- Fig. 4 eine Plattenanordnung mit einem Rahmen,
- 10 Fig. 5 eine dreidimensionale Darstellung der Plattenanordnung gemäß Figur 4 im Teilschnitt,
- Fig. 6 eine weitere Plattenanordnung in dreidimensionaler Darstellung im Teilschnitt mit einer Ausschnittvergrößerung,
- Fig. 7 eine weitere vergrößerte Darstellung der Plattenanordnung gemäß Figur 6 auf der Anodenseite,
- 15 Fig. 8 eine vergrößerte Darstellung der Plattenanordnung gemäß Figur 6 auf der Kathodenseite,
- Fig. 9 eine weitere vergrößerte Darstellung der Plattenanordnung gemäß Figur 6 auf der Anodenseite,
- 20 Fig. 10 eine weitere vergrößerte Darstellung der Plattenanordnung gemäß Figur 9 auf der Anodenseite,
- Fig. 11 eine weitere vergrößerte Darstellung der Plattenanordnung gemäß Figur 6 auf der Anodenseite,
- Fig. 12 eine weitere vergrößerte Darstellung der Plattenanordnung gemäß Figur 6 auf der Anodenseite,
- 25 Fig. 13a – 13k die Schritte beim Aufbau einer elektrochemischen Zelle,
- Fig. 14 schematisch den Aufbau eines Elektrolyseurs umfassend zwei elektrochemische Zellen, und

Fig. 15 ein schematisches Ablaufdiagramm bei der Herstellung einer Plattenanordnung.

Die in den Figuren verwendeten gleichen Bezugszeichen kennzeichnen durchgängig gleiche Bauteile.

Figur 1 zeigt eine Plattenanordnung 2 für einen Stapel elektrochemischer Zellen 3 (vergleiche Figur 14). Die Plattenanordnung 2 ist einteilig ausgebildet und umfasst eine Mehrzahl additiv gefertigter, zueinander paralleler Platten 4, 7, 11, wobei 3D-Druck-Schichten orthogonal zu den Platten 4, 7, 11 ausgerichtet sind. Ausgehend von einer Bipolarplatte 4, welche Kanäle 15 für ein Kühlmedium aufweist, sind beidseitig poröse Transportlagen 7, 11 vorhanden. An jede Bipolarplatte 4 grenzt einerseits eine anodenseitige poröse Transportlage 7 und andererseits eine kathodenseitige poröse Transportlage 11. Jede poröse Transportlage 7, 11 ist, wie aus den Fig. 1 bis 3 hervorgeht, zweischichtig aufgebaut. Die poröse Transportlage 7 auf der späteren Anodenseite einer elektrochemischen Zelle 3 weist eine grobporige erste, innere Schicht 8 auf, die mit der Bipolarplatte 4 verbunden ist. Darauf befindet sich eine feinporigere zweite äußere Schicht 9, die mit der ersten inneren Schicht 8 verbunden ist und deren Oberfläche 22' in der späteren elektrochemischen Zelle 3 zur Anodenseite einer Polymerelektrolytmembran 34, 34' (vergleiche Figur 14) zeigt. Die poröse Transportlage 11 auf der späteren Kathodenseite einer elektrochemischen Zelle 3 weist eine grobporige erste, innere Schicht 12 auf, die mit der Bipolarplatte 4 verbunden ist. Darauf befindet sich eine feinporigere zweite äußere Schicht 13, die mit der ersten inneren Schicht 12 verbunden ist und deren Oberfläche 22 in der späteren elektrochemischen Zelle 3 zur Kathodenseite einer Polymerelektrolytmembran 34, 34' (vergleiche Figur 14) zeigt. Es sind feine Poren 14, 14' in den zweiten äußeren Schichten 9, 13 der porösen Transportlagen 7, 11 erkennbar. Im Ausführungsbeispiel beträgt der Durchmesser der Poren 14, 14' ca. 60 µm. Die Poren 14, 14' sind nicht notwendigerweise in dem regelmäßigen, in den Figuren 1 bis 3 erkennbaren Muster angeordnet. Vielmehr können die Poren 14, 14' stochastisch angeordnet und geformt sein. Die beiden kathodenseitigen Schichten 12, 13 der porösen Transportlage 11 sind hier aus nicht rostendem Stahl gefertigt. Im vorliegenden Fall sind die beiden anodenseitigen Schichten 8, 9 der porösen Transportlage 7 aus Titan gefertigt. Die Bipolarplatte 4 ist hier anodenseitig aus Titan und kathodenseitig aus nicht rostendem Stahl hergestellt.

Figur 2 zeigt ausschnittsweise eine Fertigungsanlage zur Simultanherstellung mehrerer Plattenanordnungen 2 nach Fig. 1 mittels additiver Fertigung. Die parallel zueinander angeordneten Platten 4, 7, 11 werden dabei in Ebenen, welche senkrecht zu den Platten 4, 7, 11 ausgerichtet sind, additiv erzeugt.

Dabei wird von einer 3D-Druck-Plattform 21 ausgegangen, auf welcher mehrere Plattenanordnungen 2 simultan in einer Aufbaurichtung AR aufgebaut werden. Hierzu wird eine 3D-Druck-Apparatur verwendet, welche verschiedene Materialien in ein und derselben Schicht aufbringen und per Laser verfestigen kann. Diese Schichten werden allgemein als 3D-Druck-Schichten bezeichnet und sind parallel zur Oberfläche der 3D-Druck-Plattform 21 und damit orthogonal zu den plattenförmigen Komponenten 4, 7, 11 der Plattenanordnungen 2 ausgerichtet. Demnach erfolgt ein Aufbau einer jeden Platte 4, 7, 11 der Plattenanordnung 2 ausgehend von einer Plattenschmalkante in der Aufbaurichtung AR. Dabei lassen sich auch die grobporigen ersten Schichten 8, 12 der porösen Transportlagen 7, 11 in hoher Qualität herstellen, was bei einem liegenden Aufbau der Platten 4, 7, 11, das heißt bei einem Aufbau einer Platte nach der anderen in Aufbaurichtung AR, so nicht möglich wäre.

Im Beispiel nach Fig. 2 werden fünf Plattenanordnungen 2 gleichzeitig generiert. Hierbei werden unter anderem Kanäle 15 für ein Kühlmedium sowie Kanäle 16, 17, 18 für Betriebsmedien des elektrochemischen Systems 10 gebildet. Bei den Betriebsmedien handelt es sich im vorliegenden Fall um ein sauerstoffhaltiges Gas, ein wasserstoffhaltiges Gas, sowie Prozesswasser.

Die Aufbaurichtung AR schließt mit einer Stapelrichtung ST der Plattenanordnungen 2 einen rechten Winkel ein. Nachdem die Plattenanordnungen 2 aus der insgesamt mit 23 bezeichneten Fertigungsanlage, die in Fig. 2 nur ansatzweise dargestellt ist, entnommen wurden, kann eine mechanische Endbearbeitung der Plattenanordnungen 2 erfolgen.

Die genannten Kanäle 15, 16, 17, 18 durchziehen unter anderem einen Rahmen 19, der in Figur 3 lediglich schematisch dargestellt ist und ebenfalls im Zuge der generativen Fertigung entsteht. Die kathodenseitige poröse Transportlage 11 und die an diese angrenzende Seite der Bipolarplatte 4 werden einer Halbzelle 5 einer späteren elektrochemischen Zelle 3 zugeordnet. Die anodenseitige poröse Transportlage 7 und die an diese angrenzende Seite der Bipolarplatte 4 werden einer Halbzelle 6 einer späteren elektrochemischen Zelle 3 zugeordnet. Die Betriebsmedien werden durch die Kanäle 15, 16, 17, 18 im Rahmen 19 jeder Plattenanordnung 2 zugeführt, wobei durch die Kanäle 15 Kühlmittel zur Bipolarplatte 4 geführt wird, im Fall eines Elektrolyseurs die Kanäle 16 das Prozesswasser zuführen, und die Kanäle 17, 18 die aus dem Prozesswasser gebildeten Reaktionsprodukte abführen.

Figur 4 zeigt nun eine Plattenanordnung 2 mit einem Rahmen 19 in der Draufsicht auf die Seite, auf der sich die zweite äußere Schicht 9 der porösen Transportlage 7 befindet. Der Rahmen 19 umfasst eine Gitterstruktur 20 und mindestens eine Armierung 24. Die Gitterstruktur 20 dient dazu, Eigenspannungen im 3D-Druck abzubauen und so eine Druckbarkeit herzustellen. Weiterhin dient die Gitterstruktur dazu, das Plattenanordnungsgewicht zu reduzieren und einem Innendruck im elektrochemisch aktiven Bereich einer elektrochemischen Zelle 3 wie ein Druckbehälter entgegenzuwirken. Die Armierung 24 umschließt einen Umfang am und mehrere Öffnungen in Form der Kanäle 15, 16, 17, 18 und von Führungsöffnungen 26 im Rahmen 19. Die Armierung 24 bildet damit eine druckfeste Barriere für die Betriebsmedien und im Bereich der Führungsöffnungen 26 eine glatte Führung für Bolzenschrauben 33, die zum Verspannen der Bauteile einer elektrochemischen Zelle 3 verwendet werden, vergleiche Figuren 13a – 13k. Weiterhin ist ein Sensorik-Aufnahmeraum 25 vorhanden, welcher in einer elektrochemischen Zelle 3 zur Aufnahme von Messanordnungen oder von elektrischen Leitungen zum Anschluss derartiger Messanordnungen dienen kann. Die Kanäle 15, 16, 17, 18 wie auch die poröse Transportlage 7 sind jeweils von einer beim 3D-Druck erzeugten Nut 27 umgeben, die zur Aufnahme von elastomeren Dichtungen 30 (vergleiche Figur 5) dienen sollen.

Figur 5 zeigt eine dreidimensionale Darstellung der einstückigen Plattenanordnung 2 gemäß Figur 4 im Teilschnitt und verdeutlicht so deren inneren Aufbau. Hier sind nun die Bipolarplatte 4 mit den Kühlkanälen 15 für Kühlmittel, die erste innere Schicht 12 und die zweite äußere Schicht 13 der kathodenseitigen porösen Transportschicht 11 erkennbar. Weiterhin sind erste innere Schicht 8 und die zweite äußere Schicht 9 der anodenseitigen porösen Transportschicht 7 und die Struktur der zweiten äußeren Schicht 9 erkennbar.

Figur 6 zeigt eine weitere Plattenanordnung 2 in dreidimensionaler Darstellung im Teilschnitt in der Ebene der Kanäle 15 in der Bipolarplatte 4. In der rechts dargestellten Ausschnittvergrößerung ist ein Teil der anodenseitigen porösen Transportlage 7 erkennbar. Deren erste innere Schicht 8 (hier angedeutet, aber in Wirklichkeit nicht sichtbar) weist eine filigrane Stäbchenstruktur auf, die ein langgestrecktes Wabenmuster ausbildet. Die darauf ausgebildete zweite äußere Schicht 9 weist eine Pyramiden-Struktur auf.

Figur 7 zeigt eine weitere vergrößerte Darstellung der Plattenanordnung 2 gemäß Figur 6 auf der Anodenseite mit einem Stück des Rahmens 19 und der äußeren zweiten Schicht 9 in Pyramiden-Struktur auf der ersten inneren Schicht 8 (hier angedeutet, aber in Wirklichkeit nicht sichtbar), die die filigrane Stäbchenstruktur aufweist, welche ein langgestrecktes Wabenmuster ausbildet.

Fig. 8 zeigt eine vergrößerte Darstellung der Plattenanordnung 2 gemäß Figur 6 auf der Kathodenseite und damit der Rückseite der in Figur 6 gezeigten Plattenanordnung 2, mit einem Stück des Rahmens 19 und der äußeren Schicht 13, die ebenfalls eine Pyramiden-Struktur aufweist und auf einer ersten inneren Schicht 12 (hier angedeutet, aber in Wirklichkeit nicht sichtbar) in Form einer filigranen Stäbchenstruktur angeordnet ist, welche ein langgestrecktes Wabenmuster ausbildet.

Die Figuren 9 und 10 zeigen eine vergrößerte Darstellung der Plattenanordnung 2 gemäß Figur 6 auf der Anodenseite ohne eine zweite äußere Schicht 9, das heißt mit

Blick auf die erste innere Schicht 8 in einer realen Ansicht der im 3D-Druckverfahren gebildeten durchlässigen Wabenstruktur.

Die Figuren 11 und 12 zeigen eine weitere vergrößerte Darstellung der Plattenanordnung 2 gemäß Figur 6 auf der Kathodenseite ohne die zweite äußere Schicht 13, das heißt mit Blick auf die erste innere Schicht 12 in einer realen Ansicht der im 3D-Druckverfahren gebildeten durchlässigen Wabenstruktur.

Die Figuren 13a bis 13k zeigen die Schritte beim Aufbau zweier elektrochemischer Zellen 3 mit Hilfe der Plattenanordnung 2 gemäß den Figuren 4 und 5. Selbstverständlich können hier aber beliebig mehr elektrochemische Zellen 3 eingebaut werden.

Gemäß Figur 13a wird eine Verspannplatte 31 bereitgestellt und diese mit Bolzenschrauben 33 bestückt. Die Bolzenschrauben 33 sind mit einer elektrisch isolierenden Beschichtung, insbesondere aus Kunststoff, ummantelt. Gemäß Figur 13b wird nun eine Isolierplatte 32, bevorzugt aus einem elektrisch nicht leitenden Kunststoff, auf die Bolzenschrauben 33 geschoben und in Kontakt mit der Verspannplatte 31 gebracht.

Nun folgt gemäß Figur 13c eine Endplatte 28, die einteilig ausgebildet ist und additiv gefertigte, zueinander parallele Platten umfasst, wobei 3D-Druck-Schichten orthogonal zu diesen Platten ausgerichtet sind. Die Platten der Endplatte 28 sind in Form einer Trägerplatte 4' und einer porösen Transportschicht 7 (zweischichtig) ausgebildet. Die Endplatte 28 weist weiterhin einen elektrischen Anschlusskontakt 28' auf. Die Trägerplatte 4' ist aus nicht rostendem Stahl gebildet, während die poröse Transportschicht 7 aus Titan gebildet ist.

Gemäß Figur 13d wird auf die poröse Transportschicht 7 eine Gasdiffusionslage 36 aufgebracht beziehungsweise aufgelegt, die aus einem fluiddurchlässigen komprimierbaren Kohlepapier oder Kohlenstoffvlies gebildet ist. Diese ist optional vorhanden und dient zum Toleranzausgleich beim Verschrauben der Zellbestandteile miteinander.

Gemäß Figur 13e folgt eine Polymerelektrolytmembran 34 und gemäß Figur 13f eine Plattenanordnung 2. Die der Polymerelektrolytmembran 34 abgewandte Anodenseite der Plattenanordnung 2 wird gemäß Figur 13g im Bereich der zweiten äußeren

Schicht 9 der porösen Transportlage 7 mit einer Gasdiffusionslage 36' bedeckt und gemäß Figur 13h eine weitere Polymerelektrolytmembrane 34' aufgebracht.

Es können nun zum Aufbau einer beliebigen Anzahl von elektrochemischen Zellen 3 in Folge optional weitere Plattenanordnungen 2, Gasdiffusionslagen 36 und Polymer-
5 elektrolytmembranen 34 eingebaut werden.

Es folgt gemäß Figur 13i eine weitere Endplatte 29, die einteilig ausgebildet ist und additiv gefertigte, zueinander parallele Platten umfasst, wobei 3D-Druck-Schichten orthogonal zu diesen Platten ausgerichtet sind. Die Platten der Endplatte 29 sind in Form einer weiteren Trägerplatte 4' und einer hier nicht sichtbaren porösen Transportschicht 11 ausgebildet. Die Endplatte 29 weist weiterhin einen elektrischen Anschlusskontakt 29' auf. Die Trägerplatte 4' und die poröse Transportschicht 11 sind aus nicht
10 rostendem Stahl gebildet.

An dieser Stelle sei hinzugefügt, dass die Endplatten 28, 29 beispielsweise jeweils einer halben Plattenanordnung 2 entsprechen, wobei anstelle der Bipolarplatte 4 die
15 Trägerplatte 4' vorgesehen wird, die ebenfalls von Kanälen 15 für Kühlmittel durchzogen sein kann. Dabei können auch die Endplatten 28, 29 jeweils einen Rahmen 19 aufweisen, der die Gitterstruktur 20, die Öffnungen für die Kanäle 15, 16, 17, 18 zur Zu- und Abfuhr von Fluiden, die Führungsöffnungen 26 sowie die Armierungen 24 aufweist.

Nun werden gemäß Figur 13k eine weitere Isolierplatte 32' und eine weitere Verspannplatte 31' angebracht und an den Bolzenschrauben 33 die Schraubmuttern 35 befestigt. Die Bestandteile des gebildeten Zellenstapels 1 werden mittels der Bolzenschrauben 33 miteinander verspannt, so dass ein guter mechanischer und wo erforderlich elektrischer Kontakt der Bauteile zueinander ausgebildet wird. An den Verspannplatten 31, 31' werden endseitig weiterhin Fluidanschlüsse 37 zur Zu- und Abfuhr von Betriebsmedien zu den elektrochemischen Zellen 3 beziehungsweise Reaktionsprodukten aus den elektrochemischen Zellen 3 angebracht. Der Zellenstapel 1 umfasst hier demnach zwei elektrochemische Zellen 3, vergleiche Figur 14.
25

Figur 14 zeigt ein mit 10 bezeichnetes elektrochemisches System in Form eines Elektrolysesystems zur Herstellung von Wasserstoff aus Wasser in einer Explosionsdarstellung. Kernkomponente des Elektrolysesystems ist der Zellenstapel 1 gemäß Figur
30

13k, das heißt hier ein Stapel umfassend mindestens zwei elektrochemische Zellen 3. Es folgen in der Reihenfolge:

eine erste elektrochemische Zelle 3 umfassend die Endplatte 29, die Polymerelektrolytmembrane 34', die Gasdiffusionslage 36', die Plattenanordnung 2 (anodenseitige

5 Halbzelle 6); und

eine zweite elektrochemische Zelle 3 umfassend die Plattenanordnung 2 (kathodenseitige Halbzelle 5), die Polymerelektrolytmembrane 34, die Gasdiffusionslage 36, die Endplatte 28.

Der Rahmen 19 der Plattenanordnung 2 weist eine Rahmendicke d auf, die der Gesamtdicke der Platten, umfassend die Bipolarplatte 4 und die porösen Transportschichten 7, 11, vergleiche Figur 1, entspricht.

Fig. 15 zeigt ein schematisches Ablaufdiagramm bei der Herstellung eines elektrochemischen Systems 10. In einem ersten Schritt 40 wird die Plattenanordnung 2 in einem 3D-Druckverfahren einteilig hergestellt. In einem zweiten Schritt 41 wird die Plattenanordnung 2 auf beiden Seiten einem Schleifen unterzogen. Die Schleifbearbeitung schließt optional ein Schleifen der mit 22, 22' bezeichneten Oberflächen der äußeren Schichten 9, 13 der porösen Transportschichten 7, 11 ein. Optional schließt sich in einem dritten Schritt 42 ein Laserbohren an, um weitere Poren in den äußeren zweiten Schichten 9, 13 der porösen Transportschichten 7, 11 auszubilden. Der vierte Schritt 43 umfasst eine nachfolgende Reinigung der Plattenanordnung 2. In einem fünften optionalen Schritt 44 kann eine Beschichtung der äußeren zweiten Schichten 9, 13 der porösen Transportschichten 7, 11 erfolgen. Dabei kann beispielsweise ein PVD-Verfahren mit vorgeschaltetem Plasmaätzen der zu beschichtenden Oberfläche zum Einsatz kommen. Als Beschichtungsmaterial hat sich insbesondere Platin bewährt. In einem sechsten Schritt 45 werden die Dichtungen 30 in die Nuten 27 eingebracht. In einem siebten Schritt 46 erfolgt nun der Aufbau des Zellenstapels 1 beziehungsweise des elektrochemischen Systems 10, wobei beispielsweise der Ablauf der Stapelbildung gemäß den Figuren 13a bis 13k durchgeführt wird.

Bezugszeichenliste

1	Zellenstapel, Stapel elektrochemischer Zellen
2	Plattenanordnung
3	elektrochemische Zelle
4	Bipolarplatte
4'	Trägerplatte
5	Halbzelle
6	Halbzelle
7	poröse Transportlage, anodenseitig
8	erste, innere Schicht der anodenseitigen porösen Transportlage
9	zweite, äußere Schicht der anodenseitigen porösen Transportlage
10	elektrochemisches System, Elektrolysesystem
11	poröse Transportlage, kathodenseitig
12	erste, innere Schicht der kathodenseitigen porösen Transportlage
13	zweite, äußere Schicht der kathodenseitigen porösen Transportlage
14, 14'	Öffnung, Pore
15	Kanal für ein Kühlmedium
16	Kanal für ein Betriebsmedium
17	Kanal für ein Betriebsmedium
18	Kanal für ein Betriebsmedium
19, 19'	Rahmen
20	Gitterstruktur
21	3D-Druck-Plattform
22, 22'	Oberfläche der äußeren Schicht der porösen Transportlage
23	Fertigungsanlage
24	Armierung
25	Sensorik-Aufnahmeraum
26	Führungsöffnung
27	Nut
28	Endplatte
28'	elektrischer Anschlusskontakt
29	Endplatte

29'	elektrischer Anschlusskontakt
30	Dichtung
31, 31'	Verspannplatte
32, 32'	Isolationsplatte
33	Bolzenschraube (mit elektrisch isolierender Beschichtung)
34, 34'	Polymerelektrolytmembran
35	Schraubenmutter
36, 36'	Gasdiffusionsschicht
37	Fluidanschluss
40	erster Schritt: 3D-Drucken
41	zweiter Schritt: Schleifbearbeitung
42	optionaler dritter Schritt: Laserbohren
43	vierter Schritt: Reinigen
44	optionaler fünfter Schritt: Beschichten
45	sechster Schritt: Anbringen der Dichtungen 30
46	siebenter Schritt: Stapelbildung
AR	Aufbaurichtung
ST	Stapelrichtung
d	Rahmendicke

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer Plattenanordnung (2) eines Stapels (1) elektrochemischer Zellen (3), wobei parallel zueinander angeordnete Platten in Ebenen, welche
5 senkrecht zu den Platten ausgerichtet sind, additiv erzeugt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** auf einer 3D-Druck-Plattform (21) mehrere gleichartige, zueinander parallele Plattenanordnungen (2), welche jeweils eine Mehrzahl verschiedener Platten umfassen und senkrecht auf der 3D-Druck-Plattform (21) stehen, aufgebaut werden.
- 10 3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** unterschiedliche auf der 3D-Druck-Plattform (21) additiv entstehende Platten aus verschiedenen Werkstoffen, welche in derselben 3D-Druck-Schicht aufgetragen werden, erzeugt werden.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens eine der Platten als poröse, mehrschichtige Lage (7, 11) erzeugt wird, wobei
15 bei sich die verschiedenen Schichten (8, 9, 12, 13) der porösen Lage (7, 11) hinsichtlich mindestens eines der Parameter Schichtdicke und Porosität voneinander unterscheiden.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** in mindestens eine der Platten nachträglich Öffnungen (14) zur Erzeugung einer Porosität eingebracht
20 werden.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass die** Plattenanordnung (2) einstückig aus den parallel zueinander angeordneten ausgebildet wird.
7. Plattenanordnung (2) für ein elektrochemisches System (10), welches einteilig ausgebildet ist und umfassend eine Mehrzahl additiv gefertigter, zueinander paralleler
25 Platten, wobei 3D-Druck-Schichten orthogonal zu den Platten ausgerichtet sind.
8. Plattenanordnung (2) nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** diese die Platten und einen die Platten umfassenden Rahmen (19) aufweist, wobei der Rahmen (19) umfassend eine Gitterstruktur (20) und mindestens eine Armierung (24) ausgebildet ist.
30

9. Plattenanordnung (2) nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens eine der Platten als Bipolarplatte (4) ausgebildet ist, wobei einander gegenüberliegende Seiten der Bipolarplatte (4) mindestens einen Kanal (15) zur Durchleitung eines Fluids zwischen sich einschließen.

5 10. Plattenanordnung (2) nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die einander gegenüberliegenden Seiten der Bipolarplatte (4) aus unterschiedlichen Werkstoffen gefertigt sind.

11. Plattenanordnung (2) nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** an die Bipolarplatte (4) grenzende Platten jeweils als poröse, mehrschichtige Transportlagen (7, 11) ausgebildet sind, wobei sich die einzelnen Schichten (8, 9, 12, 13) einer jeden Transportlage (7, 11) sowohl hinsichtlich der Schichtdicke als auch hinsichtlich der Porosität voneinander unterscheiden.

12. Plattenanordnung (2) nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** an die Bipolarplatte (4) einerseits eine poröse Transportlage (11) aus Stahl und andererseits
15 eine poröse Transportlage (7) aus Titan grenzt.

13. Plattenanordnung (2) nach einem der Ansprüche 8 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Rahmen (19) einen Umfang und mehrere Öffnungen aufweist, wobei am Umfang und die Öffnungen umschließend jeweils eine Armierung (24) angeordnet ist.

20 14. Elektrochemische Zelle (3), insbesondere elektrochemisches System in Form eines Elektrolyseurs, mit einem Zellenstapel (1) umfassend zwei Endplatten (28, 29), zwischen welchen mindestens eine Plattenanordnung (2) nach einem der Ansprüche 7 bis 13 und mindestens zwei Polymerelektrolytmembranen (34, 34') angeordnet sind.

25 15. Elektrochemische Zelle (3) nach Anspruch 14, wobei eine jede Endplatte (28, 29) einteilig ausgebildet ist und umfassend eine Mehrzahl additiv gefertigter, zueinander paralleler Platten umfasst, wobei 3D-Druck-Schichten orthogonal zu den Platten ausgerichtet sind, und wobei jede Endplatte (28, 29) eine elektrische Kontaktanordnung (28', 29') aufweist.

16. Elektrochemische Zelle (3) nach Anspruch 14 oder 15, wobei jede Endplatte (31, 31') eine Trägerplatte (4') umfasst, die lediglich an einer Seite eine poröse, mehrschichtige Transportlage (7, 11) aufweist.

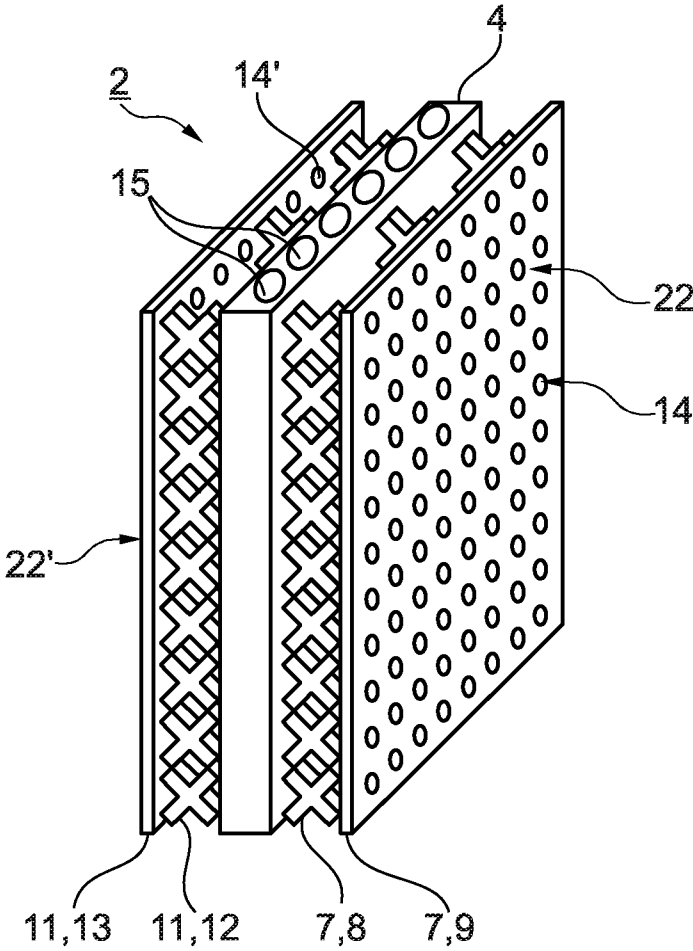


Fig. 1

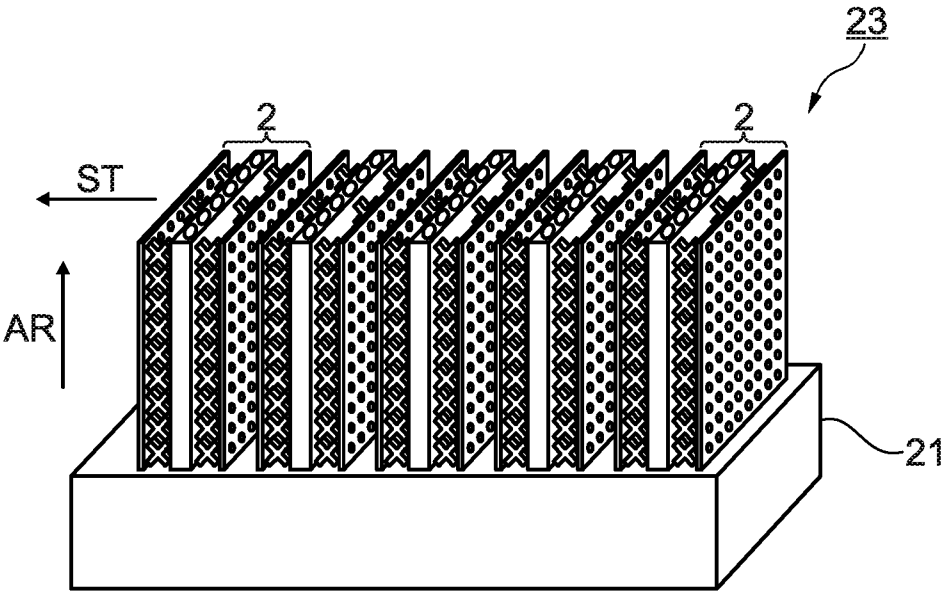


Fig. 2

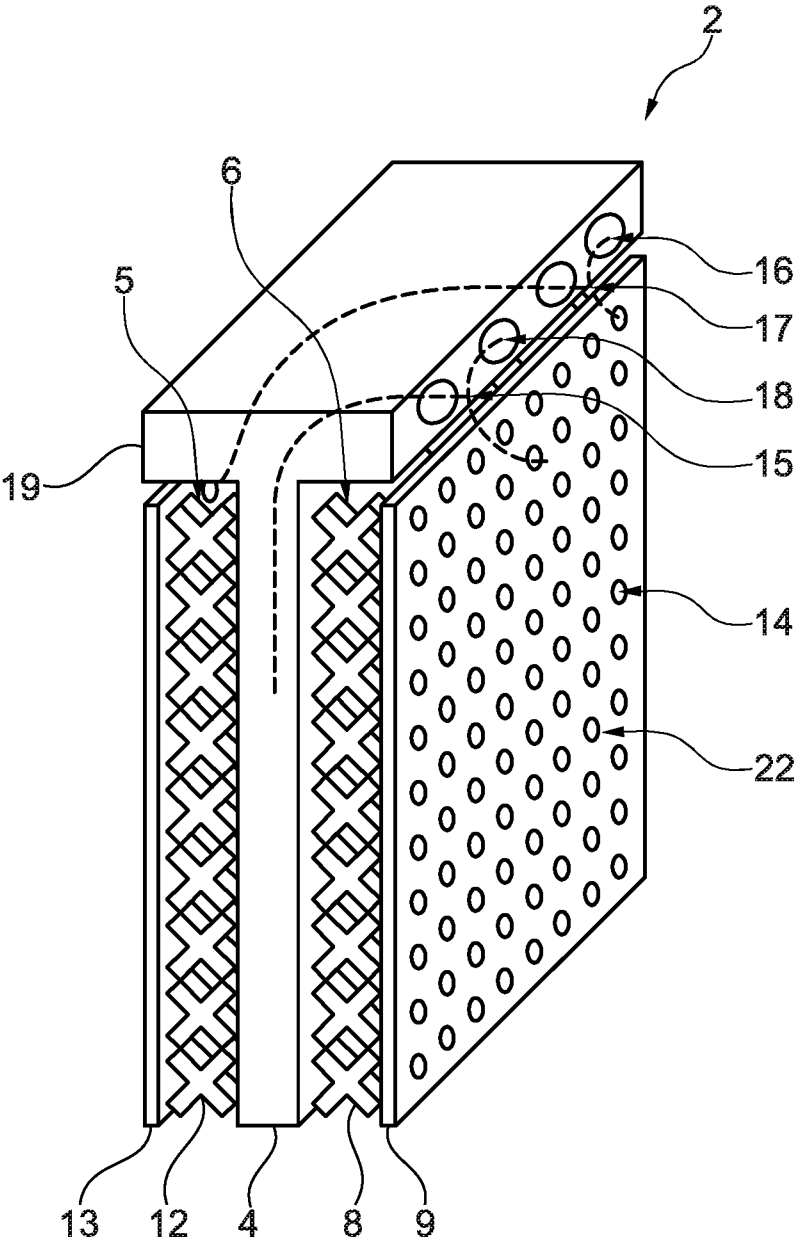


Fig. 3

3/9

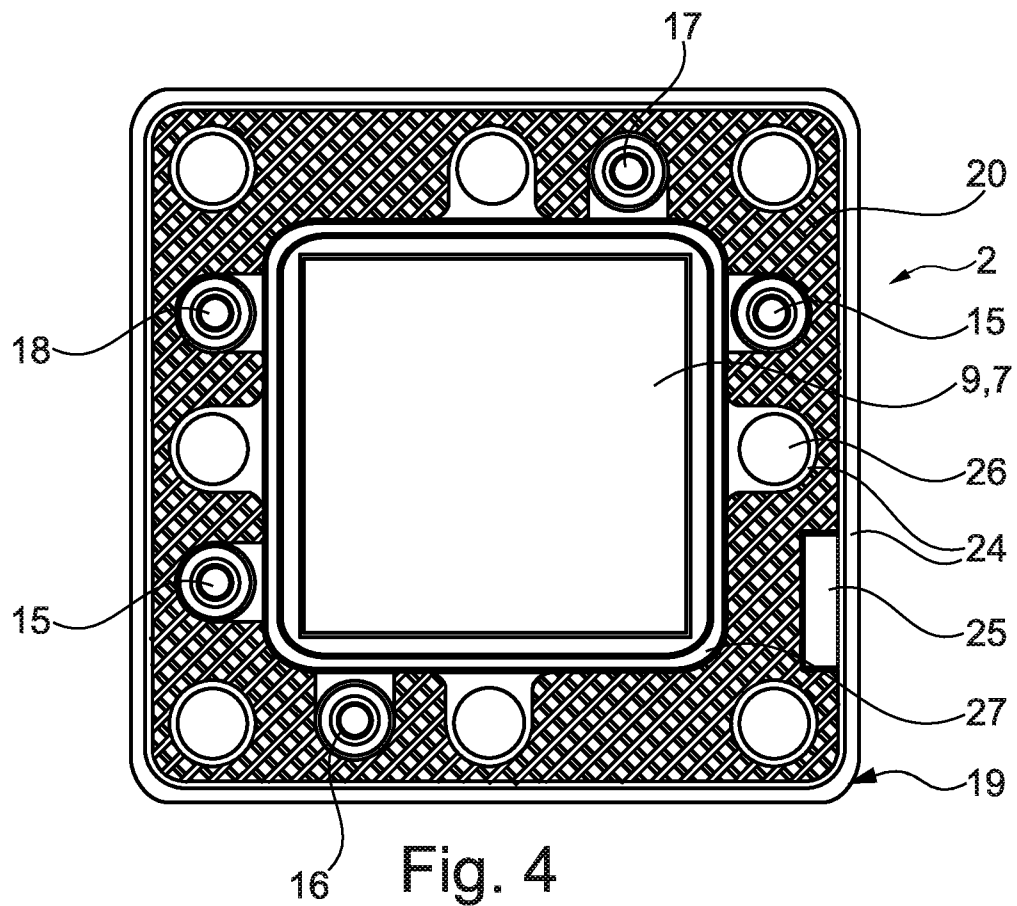


Fig. 4

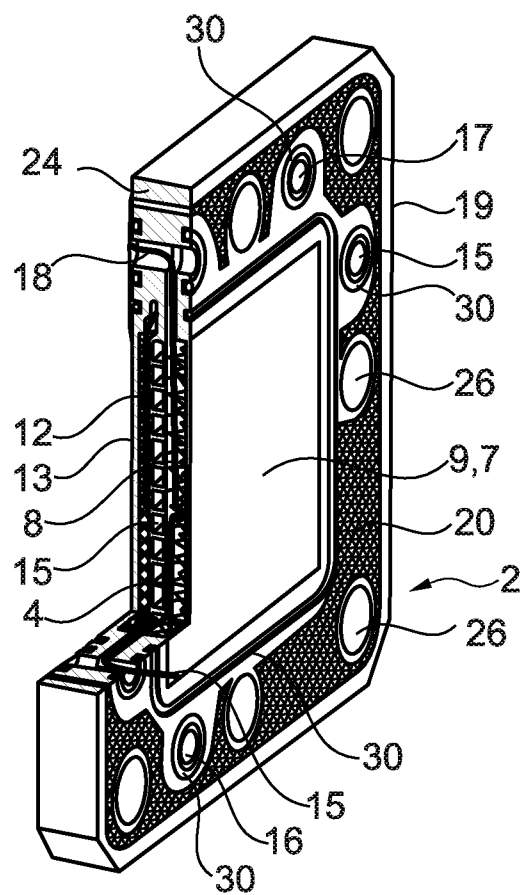
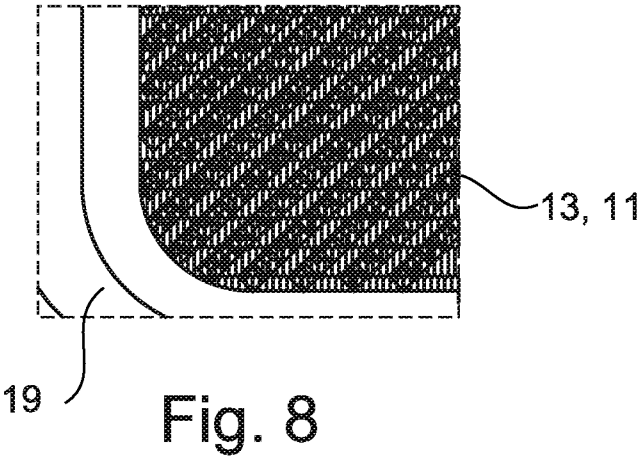
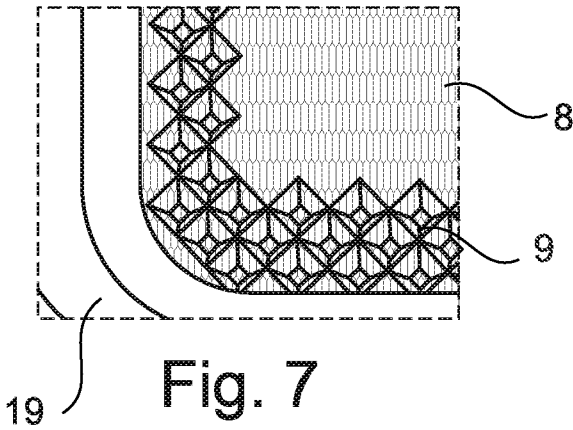
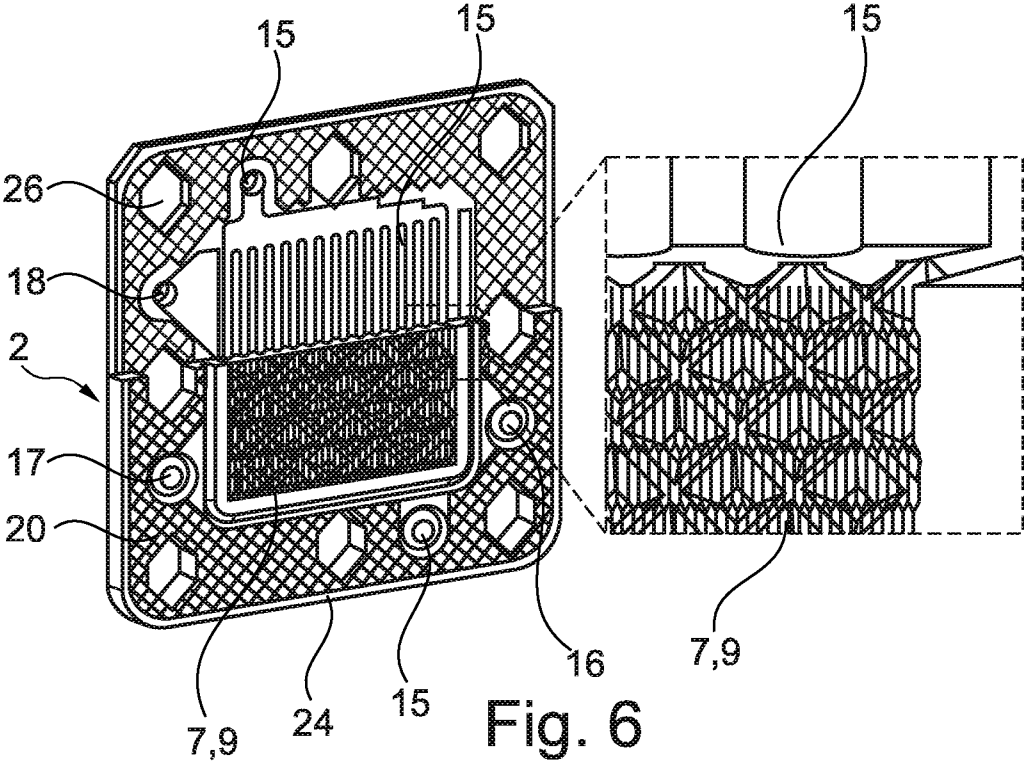


Fig. 5



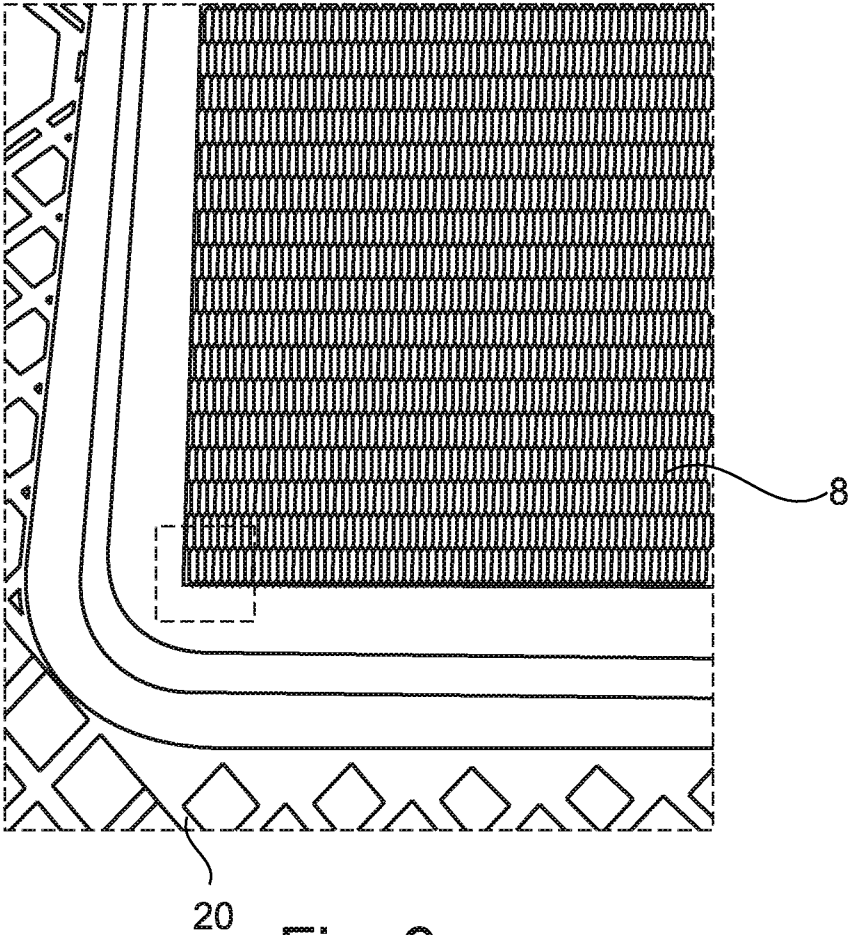


Fig. 9

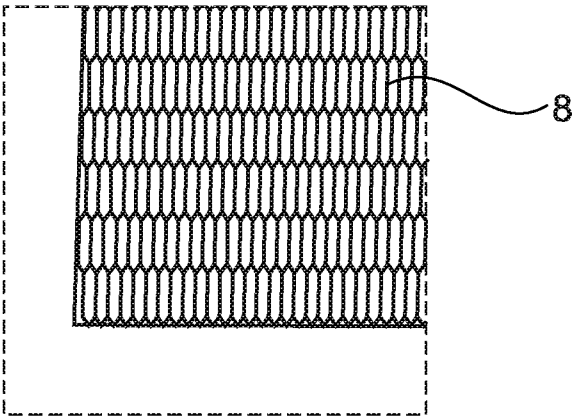


Fig. 10

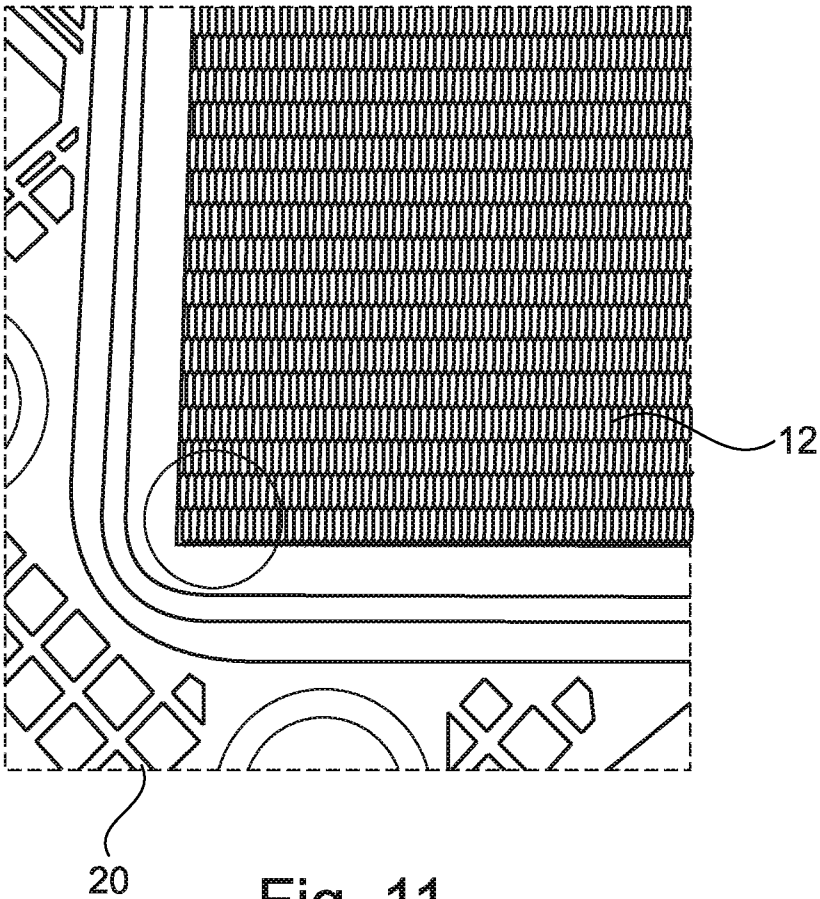


Fig. 11

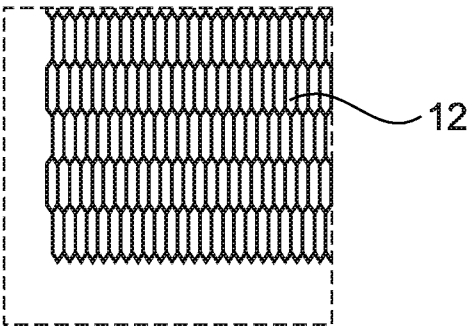


Fig. 12

7/9

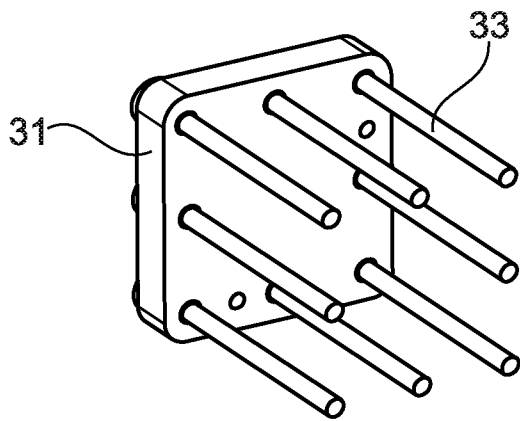


Fig. 13a

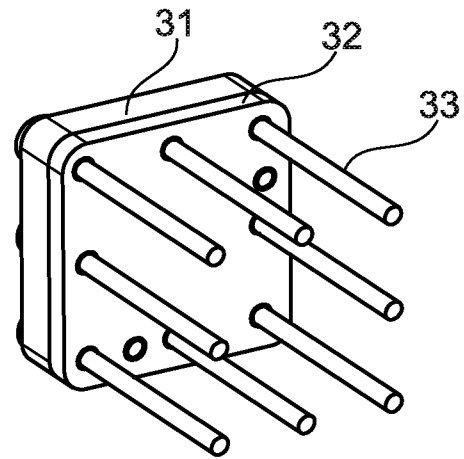


Fig. 13b

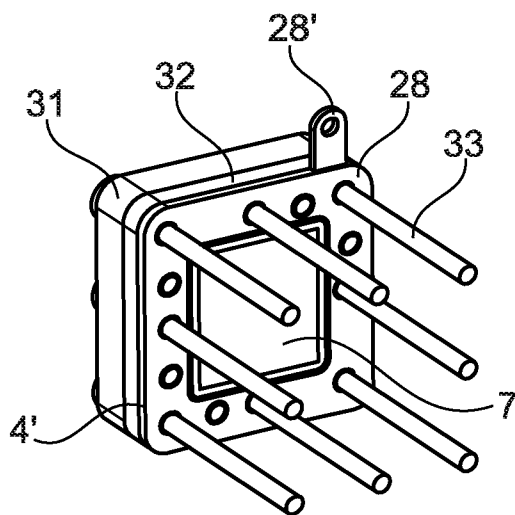


Fig. 13c

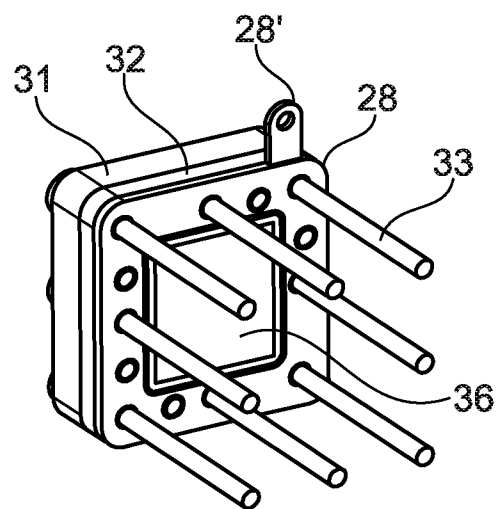


Fig. 13d

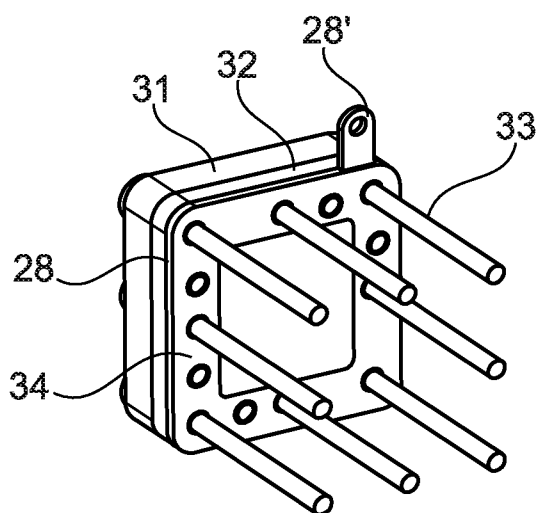


Fig. 13e

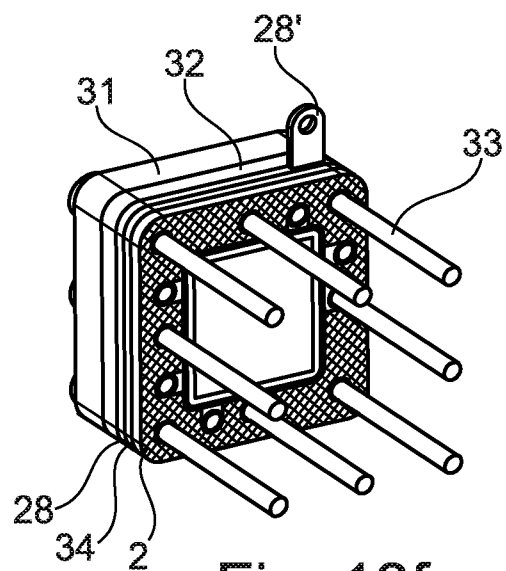


Fig. 13f

8/9

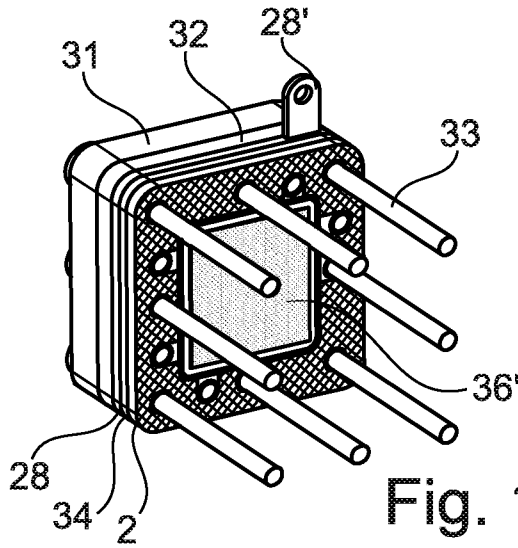


Fig. 13g

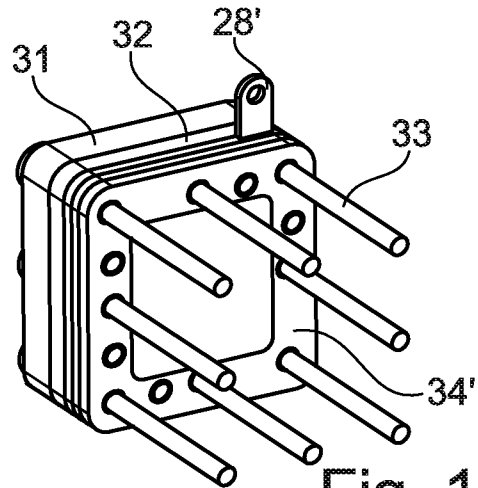


Fig. 13h

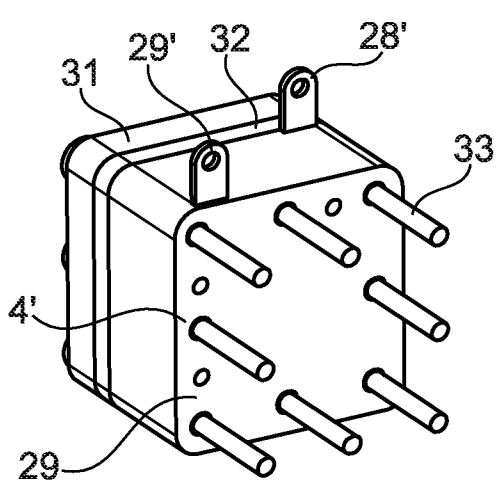


Fig. 13i

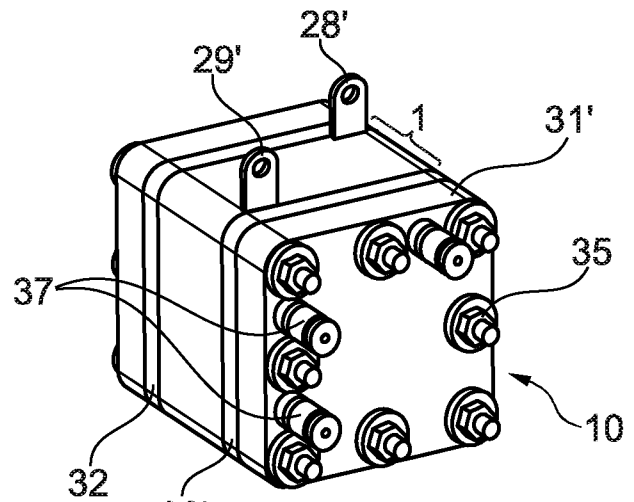


Fig. 13k

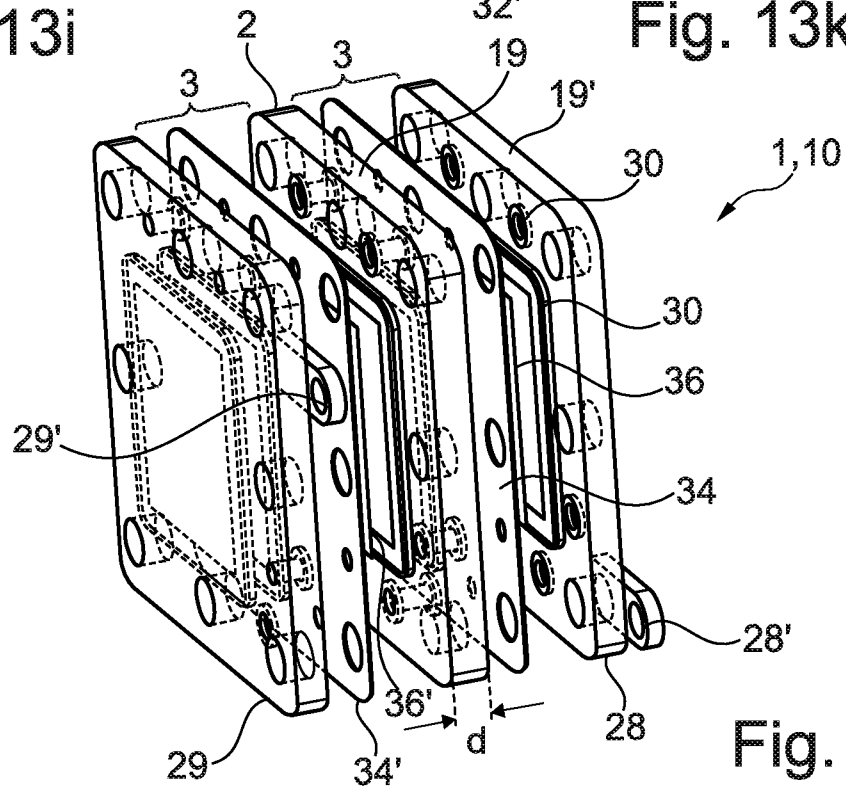


Fig. 14

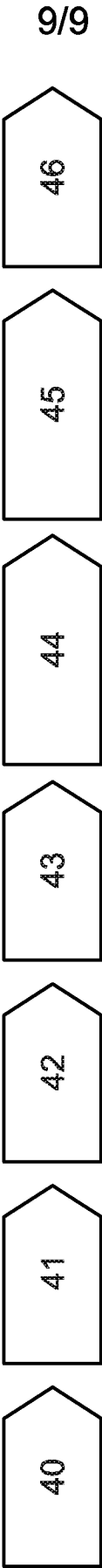


Fig. 15