

(19)



(11)

EP 4 170 070 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
26.04.2023 Patentblatt 2023/17

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
C25C 3/08 (2006.01) C25C 3/12 (2006.01)
C25C 3/16 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **22202123.0**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
C25C 3/08; C25C 3/12; C25C 3/16

(22) Anmeldetag: **18.10.2022**

(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: **TRIMET Aluminium SE**
45356 Essen (DE)
(72) Erfinder: **Düssel, Roman**
42115 Wuppertal (DE)
(74) Vertreter: **Hoffmann Eitle**
Patent- und Rechtsanwälte PartmbB
Arabellastraße 30
81925 München (DE)

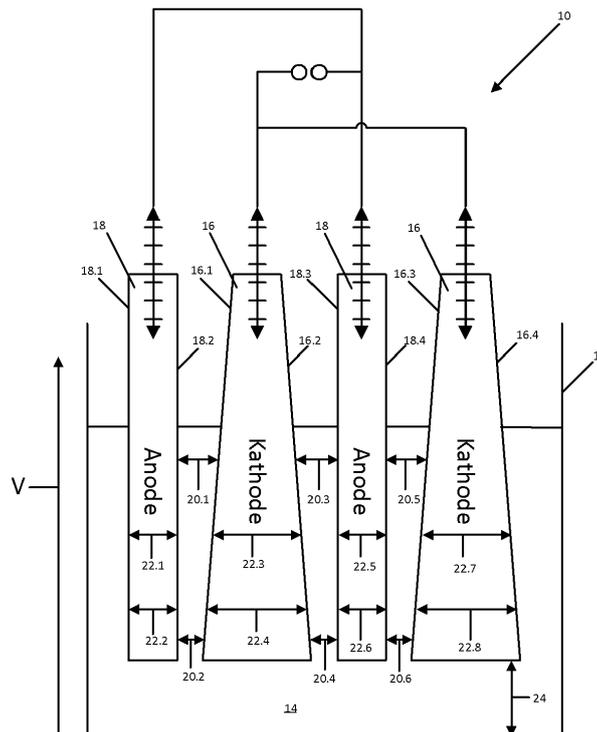
(30) Priorität: **22.10.2021 DE 102021211935**

(54) **ELEKTROLYSEZELLE FÜR EINE SCHMELZFLUSSELEKTROLYSEANLAGE**

(57) Die vorliegende Anmeldung betrifft eine Elektrolysezelle (10) für eine Schmelzflusselektrolyseanlage, insbesondere zur Herstellung von Aluminium, die eine Elektrolytwanne (12) zur Aufnahme eines geschmolzenen Elektrolyten (14) und zumindest zwei Elektroden (16, 18) aufweist, wobei die Elektroden (16, 18) jeweils Oberflächen (16.1...16.4, 18.1...18.4) aufweisen, wobei die

Oberflächen (16.1...16.4, 18.1...18.4) einander zugewandt sind, um zwischen sich einen Stromfluss durch den Elektrolyten (14) zu ermöglichen. Erfindungsgemäß ist zumindest eine der Oberflächen (16.1...16.4, 18.1...18.4) schräg zu einer vertikalen Richtung (V) ausgerichtet und sind die zumindest zwei Elektroden (16, 18) beide von oben elektrisch angeschlossen.

Fig. 1



EP 4 170 070 A2

Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Elektrolysezelle für eine Schmelzflusselektrolyseanlage, insbesondere zur Herstellung von Aluminium, die eine Elektrolytwanne zur Aufnahme eines geschmolzenen Elektrolyten und zumindest zwei Elektroden aufweist, wobei die Elektroden jeweils Oberflächen aufweisen, wobei die Oberflächen einander zugewandt sind, um zwischen sich einen Stromfluss durch den Elektrolyten zu ermöglichen.

HINTERGRUND

[0002] Elektrolysezellen wie im obigen technischen Gebiet skizziert sind grundsätzlich beispielsweise aus der Grundstoffindustrie bekannt. Dort werden in diesen Zellen mithilfe der Schmelzflusselektrolyse Aluminium oder Magnesium hergestellt oder bestimmte Alkalimetalle gewonnen. Eine klassische Elektrolysezelle umfasst ein kastenförmiges Gehäuse mit einem Boden und Seitenwänden. Vor dem Hintergrund der allgemeinen Anstrengungen der Industrie, weniger klimaschädliche Prozesse zu erreichen, wurden Elektrolysezellen entwickelt, die von klassischen Hall-Heroult Elektrolysezellen abweichen und deren Anoden nicht aus Graphit bestehen. Solche Anoden werden auch als "inerte Anoden" bezeichnet.

[0003] Aus WO 2017/165838 A1 ist in diesem Zusammenhang eine Elektrodenkonfiguration für eine Elektrolysezelle bekannt, die auf vertikal ausgerichteten plattenförmigen Elektroden beruht. Die vertikale Ausrichtung der Elektroden dient dazu, eine verbesserte elektrische Effizienz bei der elektrolytischen Metallherstellung zu erreichen, da mehr Elektroden pro Volumen im Elektrolytbad angeordnet werden können als bei klassischen Hall-Heroult Zellen. Da diese Elektroden sich im Gegensatz zu Graphit-Anoden durch die Elektrolyse nicht nennenswert verbrauchen, besteht die Möglichkeit die jeweiligen Abstände zwischen den Oberflächen der Elektroden ohne großen Aufwand beizubehalten.

[0004] Die für die Aufrechterhaltung des flüssigen Aggregatzustands des geschmolzenen Elektrolyten erforderliche Wärme wird grundsätzlich aufgrund des elektrischen Widerstands des Elektrolyten, also durch Strom, in den Elektrolyten eingebracht. Im Fall der Konfiguration aus WO 2017/165838 A1 wird zur Sicherstellung des Wärmehaushalts im Elektrolyten eine Eintauchtiefe der Anode in das Elektrolytbad variiert, um dadurch den elektrischen Widerstand der Elektrolysezelle zu variieren und die in das Elektrolytbad eingebrachte Wärme einzustellen.

[0005] Während der Wärmehaushalt beim klassischen Hall-Heroult Verfahren durch eine Regelung der Spannung eingestellt werden kann, ist dies bei gefächerten vertikal ausgerichteten Elektroden grundsätzlich problematisch, weil die Spannung hier nur durch einen erheb-

lichen konstruktiven Aufwand variiert werden kann, um die relativen Abstände zwischen den Elektroden zu variieren. Deshalb wird im Stand der Technik bei solchen Elektrodenanordnungen der Wärmeeintrag durch eine Steuerung der Stromstärke realisiert, wodurch sich aber unter Umständen eine zu hohe Stromdichte im Elektrolyten ergibt, die zu einer lokal zu hohen Temperatur des Elektrolyten im Bereich der Elektroden führt und dadurch die Elektroden beschädigt. Denn je höher die Temperatur des Elektrolyten im Bereich der Elektroden, vor allem der Anode, ist, desto kürzer ist die Haltbarkeit dieser Elektroden.

[0006] Eine Erhöhung der Stromdichte im Elektrolyten führt im beispielhaften Fall einer Aluminiumelektrolysezelle außerdem dazu, dass die Produktionsrate von Aluminium ebenfalls steigt, was wiederum zu einer Erhöhung der Menge von an der Elektrode anhaftendem gasförmigem Sauerstoff führt. Dies erhöht den elektrischen Widerstand im Elektrolytbad und führt zu Turbulenzen im Bad, welche schädlich für die Elektroden sind.

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0007] Vor diesem Hintergrund besteht eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, eine Elektrolysezelle des obigen technischen Gebiets bereitzustellen, die eine nachhaltige, zuverlässige und effiziente Einstellbarkeit des Wärmehaushalts im Elektrolytbad ermöglicht.

[0008] Diese Aufgabe wird durch eine Elektrolysezelle nach Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

[0009] Danach ist eine Elektrolysezelle für eine Schmelzflusselektrolyseanlage, die eine Elektrolytwanne zur Aufnahme eines geschmolzenen Elektrolyten und zumindest zwei Elektroden aufweist, wobei die Elektroden jeweils Oberflächen aufweisen, wobei die Oberflächen einander zugewandt sind, um zwischen sich einen Stromfluss durch den Elektrolyten zu ermöglichen, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eine der Oberflächen schräg zu einer vertikalen Richtung ausgerichtet ist und die zumindest zwei Elektroden (16, 18) beide von oben elektrisch angeschlossen sind.

[0010] Im vorliegenden Zusammenhang ist mit dem Begriff der Elektrode eine Elektrode positiver Polarität, d.h. eine Anode, oder eine Elektrode negativer Polarität, d.h. eine Kathode, gemeint. Bei der Elektrode handelt es sich um mindestens ein Element, beispielsweise eine Platte, einer Polarität, d.h. beispielsweise eine Platte, die in Bezug auf den Elektrolyten als Anode bzw. Kathode wirkt, d.h. durch die der Stromfluss durch den Elektrolyten bewirkt wird. Es können und werden bevorzugt auch mehrere Anoden und mehrere Kathoden ähnlich wie im Stand der Technik gemäß WO 2017/165838 A1 in ein Elektrolytbad eingebracht werden.

[0011] Die Elektrolysezelle ist bevorzugt zur Herstellung von Aluminium geeignet und bevorzugt auch ausgestaltet und konfiguriert oder vorbereitet.

[0012] Durch diese Ausgestaltung der Elektrolysezelle

ist es möglich, den Abstand zwischen den einander zugewandten Oberflächen der Elektroden effizient zu variieren, beispielsweise durch vertikales Verfahren einer der beiden Elektroden relativ zu der anderen der Elektroden. Dadurch ändert sich der Spannungsabfall im Elektrolyten zwischen den Oberflächen, so dass der Wärmehaushalt des Elektrolytbades über den Spannungsabfall im Elektrolyten, statt über die Stromstärke im Elektrolyten, regelbar ist. Durch das elektrische Anschließen der zumindest zwei Elektroden von oben ist eine vertikale Verfahrbarkeit der Elektroden leichter möglich als bei einem elektrischen Anschließen von unten, da die Zuleitung der jeweiligen Elektrode nicht durch den Elektrolyten führen muss und somit selbst vor Verschleiß geschützt ist und keine Dichtigkeitsprobleme bei der Elektrolytwanne hervorruft.

[0013] Durch die Nutzung des Spannungsabfalls kann die Temperatur des Elektrolyten auf einem optimalen Wert gehalten werden. Die Temperatur ist so niedrig, dass die Elektroden, insbesondere die Anode, eine möglichst lange Haltbarkeit aufweisen, wobei sie gleichzeitig hoch genug ist, dass der Elektrolyt stabil im flüssigen Zustand gehalten werden kann und beispielsweise im Fall einer Aluminiumelektrolyse das Aluminiumoxid im Elektrolyten gelöst werden kann. Hierdurch ist es möglich, die Temperatur des Elektrolyten sehr genau einzustellen und größere Sicherheitstoleranzen sind unnötig. So kann die Temperatur des Elektrolyten relativ knapp, knapper als im Stand der Technik, über seinem Erstarrungspunkt gehalten werden. Dies spart gegenüber Lösungen, die aus Sicherheitsgründen weiter oberhalb des Erstarrungspunkts betrieben werden, Energie, schont die Umwelt und ist wirtschaftlicher. Gleichzeitig kann auf diese Weise eine zu hohe Stromdichte vermieden werden. Die Stromdichte kann bei geeigneter Konfiguration der Ausrichtungen und Anordnungen der Elektroden während der Regelung des Wärmeeintrags durch variierenden Spannungsabfall konstant gehalten werden.

[0014] Gerade bei inerten Elektroden ist es von besonders großem Vorteil, dass es durch die vorliegende Erfindung möglich ist, den Wärmehaushalt in der Elektrolytwanne über den Spannungsabfall im Elektrolyten, anstatt wie herkömmlich über die Stromstärke zu steuern oder zu regeln.

[0015] Ferner lässt sich durch die vorliegende Erfindung mittels Anodenstrommessung die Stromverteilung in der Elektrolysezelle sehr genau einstellen, so dass bestenfalls eine gleichmäßige Verteilung des Stroms im Elektrolytbad erreicht wird. Wenn beispielsweise über eine erste Anode ein größerer Strom in das Elektrolytbad fließt als durch eine andere, zweite Anode, so führt dies zu einer lokal höheren Temperatur im Bereich der ersten Anode, was die oben geschilderte Folge einer erhöhten Abnutzung der ersten Anode mit sich bringt. Wenn beispielsweise andererseits über die erste Anode ein kleinerer Strom in das Elektrolytbad fließt als durch die zweite Anode, so führt dies unter Umständen zu einem Einfrieren des Elektrolyten im Bereich der zweiten Anode.

Dies würde zu noch weniger Stromfluss durch die erste Anode führen und den Effekt somit verstärken.

[0016] Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung gegenüber dem Stand der Technik liegt darin, dass eine flexiblere Reaktion auf zunehmende Anforderungen des Stromnetzes möglich ist. Da eine zunehmend geringere Zuverlässigkeit der Verfügbarkeit von elektrischer Energie aus dem Stromnetz zu beobachten ist, die sich beispielsweise in Anforderungen der Netzbetreiber zeigt, bei Bedarf die Stromentnahme aus dem Netz zu drosseln oder vollständig einzustellen, stellt es einen Vorteil dar, zumindest auch den Spannungsabfall innerhalb der Elektrolysezelle variieren zu können.

[0017] Bevorzugt ist die Position zumindest einer der Elektroden, insbesondere einer Anode, entlang der vertikalen Richtung relativ zu der anderen der Elektroden verstellbar. Alternativ ist auch oder nur die Kathode in vertikaler Richtung verstellbar, um den Abstand zwischen den einander zugewandten Oberflächen der Elektroden zu variieren. Weiter alternativ kann auch eine andere Verstellbarkeit der Position, z.B. eine horizontale oder schräge Verstellbarkeit der Position zumindest einer der Elektroden, für eine Variierung des Abstands zwischen den Elektroden genutzt werden. Schließlich muss der Abstand zwischen den Elektroden auch nicht variierbar sein, damit die Elektrolysezelle arbeiten kann.

[0018] Mit Vorteil sind die Oberflächen schräg zueinander ausgerichtet. Durch ein schräges Ausrichten der Oberflächen zueinander ist es besonders gut möglich, dass die Oberflächen an unterschiedlichen vertikalen Positionen unterschiedlich weit voneinander beabstandet sind. Dies kann alternativ und zusätzlich durch eine stufige Gestaltung der Elektrode oder Elektroden erzielt werden. Hierbei können also vertikal verlaufende Oberflächen in vertikaler Richtung stufenförmig zueinander versetzt sein. Es können auch schräg zur vertikalen Richtung ausgerichtete Oberflächen stufenförmig zueinander versetzt sein. Besonders bevorzugt weisen die Oberflächen der Elektroden schräg nach oben. An den Anoden gebildeter Sauerstoff kann somit leichter nach oben entweichen und sich von der Anodenoberfläche lösen, was eine Herabsetzung der Wirksamkeit der Anode verhindert oder zumindest abschwächt. Insbesondere falls die Anodenoberflächen schräg nach unten weisen, wird bevorzugt, dass die Oberflächen der Anoden vertikal verlaufende Nuten oder Schlitze aufweisen. Dadurch können Sauerstoffbläschen, die sich an der Oberfläche der Anode sammeln leicht nach oben entweichen und führen nicht zu einer Erhöhung des elektrischen Widerstands an der Oberfläche der Anode. Somit kann sichergestellt werden, dass sich der Sauerstoff von der Anode entfernt und diese somit ihre inerte Eigenschaft sicher behalten kann.

[0019] Im Fall der Kathoden haben schräg nach oben weisende Oberflächen den Vorteil, dass sich hierauf Aluminium oder anderes durch die Elektrolyse hergestelltes Material leichter ablegen kann. Somit kann ein Benetzen der Kathode z.B. mit Aluminium oder einem anderen

durch die Elektrolyse herzustellenden Metall eine inerte Eigenschaft der Kathode sicher aufrechterhalten.

[0020] In einer bevorzugten Ausführungsform ist zumindest eine der Elektroden plattenförmig mit zwei Hauptstreckungsrichtungen und einer sich senkrecht zu den Hauptstreckungsrichtungen erstreckenden Dicke ausgestaltet, wobei sich die Dicke entlang der vertikalen Richtung verändert. Mit anderen Worten ist die zumindest eine der Elektroden keilförmig ausgestaltet. Dieser Form können die vorstehend genannten Nuten oder Schlitze überlagert sein.

[0021] Diese bevorzugte Ausführungsform ermöglicht es einerseits, dass die einander zugewandten Oberflächen an unterschiedlichen vertikalen Positionen unterschiedlich weit voneinander beabstandet sind, ohne die Elektroden schräg anzuordnen oder mit Stufen zu versehen. Andererseits ist es auf diese Weise auch möglich, den ohm'schen Widerstand der keilförmigen Elektrode oder Elektroden entlang der vertikalen Richtung unterschiedlich einzustellen. Dies kann zu einer weiteren Vergleichmäßigung der Stromdichte und damit einer Reduzierung von lokalen Stromspitzen im Elektrolyt beitragen.

[0022] Alternativ können die Elektroden auch anders geformt sein und beispielsweise kreisförmige, ovale oder rennbahnförmige Grundrisse aufweisen.

[0023] In einer bevorzugten Ausführungsform sind die Oberflächen zumindest teilweise innerhalb der Elektrolytwanne angeordnet, um vom Elektrolyt umgeben zu sein. Die Elektrolysezelle ist also bevorzugt so ausgestaltet, dass ein innerhalb der Elektrolytwanne befindlicher Elektrolyt als Bad fungieren kann, in den die Oberflächen der Elektroden eingetaucht sind.

[0024] Bevorzugt umfassen die Elektroden eine Anode und eine Kathode, wobei die Anode und/oder die Kathode inert ist. Eine inerte Anode bzw. eine inerte Kathode zeichnet sich dadurch aus, dass sie im Gegensatz zu klassischen Elektroden auf Kohlenstoffbasis während des Elektrolyseverfahrens nahezu nicht verbraucht wird. In Fachkreisen hat sich für diese Art von Elektroden der Begriff der "inerten Elektrode" etabliert, auch wenn diese streng genommen nicht völlig inert ist, da ein wenig des Materials beim Betrieb verbraucht wird. Das Maß dieses Verbrauchs ist aber so deutlich unter dem einer herkömmlichen Elektrode, dass dem Fachmann klar ist, ob eine Elektrode inert ist oder konventionell.

[0025] In einer bevorzugten Ausführungsform weist die Anode CuNiFe auf. Dieses Material hat sich für eine inerte Anode als besonders geeignet herausgestellt. Bevorzugt ist die Kathode benetzbar. In einer bevorzugten Ausführungsform weist die Kathode TiB₂ auf. Dieses Material hat sich für eine inerte Kathode als besonders geeignet herausgestellt.

[0026] Bei einer inerten Elektrode ist die Vermeidung von zu hohen Temperaturen im Bad des Elektrolyten besonders vorteilhaft, weil gerade die inerten Eigenschaften der Elektroden, vor allem der Anode, bei zu hohen Temperaturen verloren gehen und die Elektrode somit verbraucht wird.

[0027] Bevorzugt sind die Oberflächen an unterschiedlichen vertikalen Positionen unterschiedlich weit voneinander beabstandet. Die Oberflächen können aber auch parallel zueinander verlaufen.

[0028] Weiter bevorzugt sind die Oberflächen an einer oberen Position weiter voneinander beabstandet als an einer darunter liegenden unteren Position. Weiter bevorzugt ist in diesem Zusammenhang, wenn die Oberflächen an einer oberen Position weiter voneinander beabstandet sind als an jeder darunter liegenden unteren Position.

[0029] Durch diese Ausgestaltungen der Elektroden in Kombination mit den Positionen der Elektroden, an denen diese elektrisch angeschlossen sind, d.h. an denen der Anschluss der Elektroden an ihre Energiequelle stattfindet, kann eine weitere Vergleichmäßigung der Stromdichte im Elektrolyt erreicht und eine mögliche Ungleichheit der Abnutzung der Elektroden verringert werden. Dies hängt auch mit dem elektrischen Potentialverlauf innerhalb der Elektroden auf Grund ihres jeweiligen ohm'schen Widerstands zusammen, jedoch auch mit dem jeweiligen ohm'schen Widerstand durch den Elektrolyten. Diesbezüglich ist davon auszugehen, dass ein größerer Abstand zwischen den benachbarten Oberflächen einen größeren Widerstand für den Stromfluss durch den Elektrolyten bedeutet. Daher wird sich ein relativ kleinerer Stromfluss in der Nähe des Anschlusses der Elektroden durch den Elektrolyten einstellen als im Fall von gleich beabstandeten Oberflächen. Durch diese Maßnahme kann also verhindert oder wenigstens vermindert werden, dass die Stromdichte durch den Elektrolyten in der Nähe der benachbarten elektrischen Anschlüsse der Elektroden, d.h. bei einer besonders großen Potentialdifferenz, besonders groß ist.

[0030] Mit Vorteil weist die Elektrolysezelle mehr als zwei Elektroden auf, so dass Anoden und Kathoden abwechselnd kämmend nebeneinander angeordnet sind.

[0031] Somit kann eine sehr effiziente Nutzung der Elektroden im Elektrolyten mit höherer Stromstärke bei gleichbleibender Stromdichte und damit verbunden ein geringerer Energiebedarf beispielsweise bei der Herstellung von Aluminium sichergestellt werden.

[0032] In einer bevorzugten Ausführungsform sind die Elektrolytwanne und die Elektroden so bemessen, dass durch ein Verändern einer vertikalen Position zumindest einer der Elektroden, vorzugsweise mehrere oder alle Elektroden einer ersten Polarität, gegenüber zumindest einer anderen der Elektroden, vorzugsweise mehrerer oder aller Elektroden einer anderen zweiten Polarität, in der Elektrolytwanne nach unten ein Abstand zwischen den Oberflächen der Elektroden vergrößert wird.

[0033] Mit anderen Worten befindet sich unterhalb der zumindest einen der Elektroden noch ein Freiraum in der Elektrolytwanne, in den die zumindest eine der Elektroden durch vertikales Verschieben nach unten vordringen kann. Dadurch, dass die zumindest eine der Elektroden nach unten verstellt wird, vergrößert sich der Abstand zwischen den Oberflächen der Elektroden, die Strom-

dichte im Elektrolyten wird geringer und es wird weniger Wärme in das Elektrolytbad eingebracht. Dies kann in dieser bevorzugten Ausführungsform nicht nur dadurch geschehen, dass eine Elektrode teilweise aus dem Elektrolytbad herausgezogen wird, sondern auch durch tieferes Hineinschieben. Dadurch kann eine Konzentration des Stroms auf den im Elektrolyten verbleibenden Teil der Elektrode und damit ein Erhöhen der Stromdichte über einen kritischen Wert vermieden werden.

[0034] Weitere Vorteile und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Figurenbeschreibung und der Gesamtheit der Ansprüche.

KURZE FIGURENBESCHREIBUNG

[0035]

- Fig. 1 zeigt eine erste bevorzugte Ausführungsform einer Elektrolysezelle für eine Schmelzflusselektrolyseanlage in einer seitlichen Schnittansicht.
- Fig. 2 zeigt eine zweite bevorzugte Ausführungsform einer Elektrolysezelle für eine Schmelzflusselektrolyseanlage in einer seitlichen Schnittansicht.
- Fig. 3 zeigt eine dritte bevorzugte Ausführungsform einer Elektrolysezelle für eine Schmelzflusselektrolyseanlage in einer seitlichen Schnittansicht.
- Fig. 4 zeigt eine vierte bevorzugte Ausführungsform einer Elektrolysezelle für eine Schmelzflusselektrolyseanlage in einer seitlichen Schnittansicht.
- Fig. 5 zeigt eine fünfte bevorzugte Ausführungsform einer Elektrolysezelle für eine Schmelzflusselektrolyseanlage in einer seitlichen Schnittansicht.
- Fig. 6 zeigt eine Draufsicht der fünften bevorzugten Ausführungsform aus Fig. 5.

WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

[0036] Die nachfolgende Figurenbeschreibung beschreibt Figuren, die zum Verständnis der Erfindung hilfreich sind. Die Figuren sind schematische Darstellungen, die qualitativ Aspekte der bevorzugten Ausführungsformen illustrieren. Gleiche Elemente und Merkmale werden dabei durch gleiche Bezugszeichen gekennzeichnet und eine wiederholende Beschreibung wird weitgehend vermieden.

[0037] Fig. 1 zeigt eine erste bevorzugte Ausführungsform einer Elektrolysezelle 10 für eine Schmelzflusselektrolyseanlage. Die Elektrolysezelle 10 weist eine Elek-

trolytwanne 12 zur Aufnahme eines geschmolzenen Elektrolyten 14 auf. Ferner weist die Elektrolysezelle 10 in der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform vier Elektroden 16, 18, nämlich zwei Kathoden 16 und zwei Anoden 18, auf, die von oben in das Innere der Elektrolytwanne 12 hineinragen und in der hier dargestellten Ausführungsform von oben elektrisch angeschlossen sind. Grundsätzlich können einzelne oder alle der Elektroden 16, 18 von oben oder von unten angeschlossen sein. Grundsätzlich kann auch von der Seite angeschlossen werden, was aber konstruktiv und funktional weniger vorteilhaft als ein elektrisches Anschließen von oben oder unten ist.

[0038] Jede der Elektroden 16, 18 weist Oberflächen 16.1...16.4, 18.1...18.4 auf, die in der seitlichen Schnittansicht der Fig. 1 senkrecht zur Zeichenebene verlaufen. Die Oberflächen 16.1...16.3, 18.2...18.4 sind in der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform einander zugewandt, so dass zwischen diesen Oberflächen der gegenpoligen Elektroden 16, 18 jeweils ein Stromfluss durch den Elektrolyten 14 bewirkt wird. Die Oberflächen 16,4 und 18,1 weisen in der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform zu den jeweiligen Rändern der Elektrolytwanne 12 und bewirken daher keinen direkten Stromfluss durch den Elektrolyten 14.

[0039] In der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform verlaufen die Oberflächen 18.1...18.4 der Anoden parallel zu einer vertikalen Richtung V, aber haben die Kathoden 16 entlang der vertikalen Richtung V unterschiedliche Dicken 22.3, 22.4, 22.7, 22.8, so dass die die Oberflächen 16.1...16.4 der Kathoden 16 schräg zu der vertikalen Richtung V ausgerichtet sind und die Oberflächen 16.1...16.3, 18.2...18.4 an unterschiedlichen vertikalen Positionen unterschiedlich weit voneinander beabstandet sind. Die Kathoden 16 sind also keilförmig ausgebildet, während die Anoden 18 eine Quaderform haben. In Fig. 1 ist zu erkennen, dass ein erster Anoden-Kathoden-Abstand 20.1, 20.3, 20.5 zwischen den Elektroden 16, 18 an einer oberen Stelle näher an der Stelle der jeweiligen Elektroden 16, 18, an der diese elektrisch angeschlossen sind, größer ist als ein zweiter Anoden-Kathoden-Abstand 20.2, 20.4, 20.6 an einer unteren Stelle der jeweiligen Elektroden 16, 18. Dadurch liegt zunächst ein größerer elektrischer Widerstand durch den Elektrolyten 14 im oberen Bereich der Elektrolytwanne 12 zwischen den beteiligten Elektroden 16, 18 als im unteren Bereich der Elektrolytwanne 12 zwischen den beteiligten Elektroden 16, 18 vor, weil ein größerer Abstand einen insgesamt größeren Widerstand bedeutet und bei annähernd gleicher Potentialdifferenz zwischen den Elektroden zu einer gegenüber dem unteren Bereich der Elektrolytwanne niedrigeren Stromdichte im Elektrolyten 14 führt. Hieraus resultiert eine gleichmäßigere Abnutzung der Elektroden.

[0040] Übergänge zwischen Oberflächen sind in Fig. 1 als gerade und scharfe Kanten dargestellt. Ecken und Kanten der Elektroden, allgemeiner kleine Krümmungsradien der Elektroden, führen zu einer intensiven Ver-

stärkung des elektrischen Felds und einer Verdichtung des Stroms an diesen Stellen, was zu einer lokalen Überhitzung und Zerstörung der Ecken bzw. Kanten an diesen Stellen führen kann. Dieser Effekt ist auch als "fanning effect" bekannt. Deshalb ist es in der Praxis fachüblich und natürlich auch vorliegend vorgesehen, Ecken und Kanten der Elektroden abzurunden.

[0041] Unterhalb der Elektroden 16, 18 in ihrer in Fig. 1 gezeigten Stellung befindet sich ein Freiraum 24, in den die Elektroden 16, 18 wahlweise nach unten entlang der vertikalen Richtung V verschoben werden können, um den Abstand 20.1...20.6 zwischen den einander zugewandten Oberflächen 16.1...16.3, 18.2...18.4 effektiv zu vergrößern und damit den Spannungsabfall pro Strecke im Elektrolyten 14 zu reduzieren, was wiederum zu einer Reduzierung des Wärmeeintrags in den Elektrolyten 14 führt.

[0042] Fig. 2 zeigt eine zweite bevorzugte Ausführungsform einer Elektrolysezelle 10 für eine Schmelzflusselektrolyseanlage. Gegenüber der ersten Ausführungsform sind die Anoden 18 und Kathoden 16 hinsichtlich ihrer Form vertauscht, so dass die Oberflächen 16.1...16.4 der Kathoden 16 parallel zu der vertikalen Richtung V verlaufen, aber die Anoden 18 entlang der vertikalen Richtung V unterschiedliche Dicken 22.1, 22.2, 22.5, 22.6 haben, so dass die Oberflächen 18.1...18.4 der Anoden 18 schräg zu der vertikalen Richtung V ausgerichtet sind und die Oberflächen 16.1...16.3, 18.2...18.4 an unterschiedlichen vertikalen Positionen unterschiedlich weit voneinander beabstandet sind. Hier sind also die Anoden 18 keilförmig ausgebildet, während die Kathoden 16 eine Quaderform haben.

[0043] Fig. 3 zeigt eine dritte bevorzugte Ausführungsform einer Elektrolysezelle 10 für eine Schmelzflusselektrolyseanlage. Im Unterschied zu der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform verlaufen die in der ersten Ausführungsform noch parallel zur vertikalen Richtung V verlaufenden Oberflächen 18.1...18.4 der Anoden 18 in der zweiten Ausführungsform schräg zur vertikalen Richtung V. In dieser dritten Ausführungsform sind also auch die Anoden 18 keilförmig ausgebildet, wobei aber die Oberflächen 18.1, 18.2 und 18.3, 18.4 der Anoden 18 jeweils nach unten aufeinander zulaufen, so dass die Anoden 18 in ihrem oberen Bereich eine größere Dicke 22.1, 22.5 haben als eine Dicke 22.2, 22.6 in einem unteren Bereich der Anoden 18. Die Anoden 18 verjüngen sich also nach unten hin, während die Kathoden 16 sich nach oben hin verjüngen. Die Oberflächen 16.1...16.4 der Kathoden 16 schließen dabei einen größeren Winkel mit der vertikalen Richtung V ein als die Oberflächen 18.1...18.4 der Anoden 18, d.h. die Anoden 18 sind spitzer ausgestaltet, die Oberflächen 18.1, 18.2 und 18.3, 18.4 laufen langsamer aufeinander zu als die Oberflächen 16.1, 16.2 und 16.3, 16.4. Die Oberflächen 18.1...18.4 sind nicht-parallel zu den Oberflächen 16.1...16.4 ausgerichtet. Ein erster Anoden-Kathoden-Abstand 20.1, 20.3, 20.5 zwischen den Elektroden 16, 18 an einer oberen Stelle ist größer als ein zweiter Anoden-Kathoden-Abstand 20.2, 20.4, 20.6

an einer unteren Stelle der jeweiligen Elektroden 16, 18.

[0044] Um den Abstand 20.1...20.6 zwischen benachbarten Elektroden effektiv zu vergrößern, können die Kathoden 16 nach unten oder die Anoden 18 nach oben verstellt werden.

[0045] Fig. 4 zeigt eine vierte bevorzugte Ausführungsform einer Elektrolysezelle 10 für eine Schmelzflusselektrolyseanlage. Gegenüber der dritten Ausführungsform sind die Anoden 18 und Kathoden 16 hinsichtlich ihrer Form vertauscht, so dass die Oberflächen 16.1...16.4 der Kathoden 16 schräg zu der vertikalen Richtung V verlaufen, so dass sich die Kathoden 16 nach unten hin verjüngen, während sich die Anoden 18 nach oben hin verjüngen. Die Oberflächen 16.1...16.3, 18.2...18.4 sind wiederum an unterschiedlichen vertikalen Positionen unterschiedlich weit voneinander beabstandet.

[0046] Fig. 5 zeigt eine fünfte bevorzugte Ausführungsform einer Elektrolysezelle für eine Schmelzflusselektrolyseanlage in einer seitlichen Schnittansicht. Im Unterschied zur dritten Ausführungsform gemäß Fig. 3 weisen die Anoden 18 vertikal verlaufende Schlitze 26 oder Nuten auf, die insbesondere in der Draufsicht gemäß Fig. 6 zu erkennen sind. Diese Schlitze 26 oder Nuten verlaufen vertikal und sind in die jeweiligen Oberflächen 18.1...18.4 der Anoden 18 eingebracht, so dass sich an den Oberflächen 18.1...18.4 sammelnder Sauerstoff durch die Schlitze 26 oder Nuten besser nach oben entweichen kann als ansonsten durch die schräg nach unten weisenden Oberflächen 18.1...18.4 ermöglicht wird.

BEZUGSZEICHENLISTE

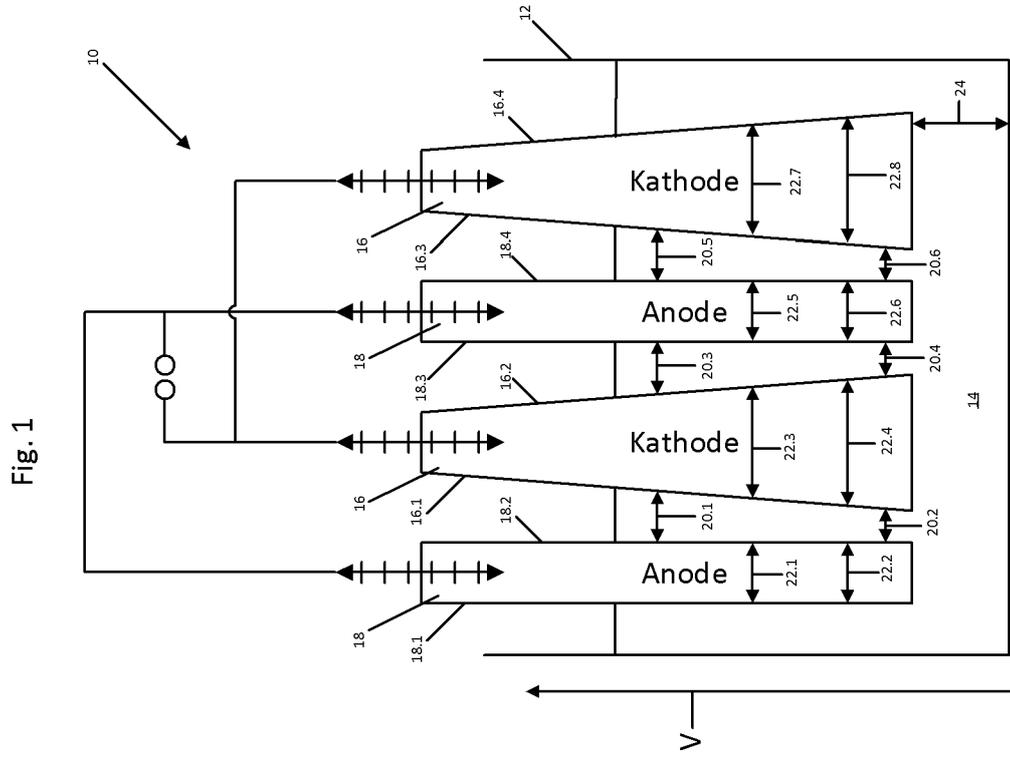
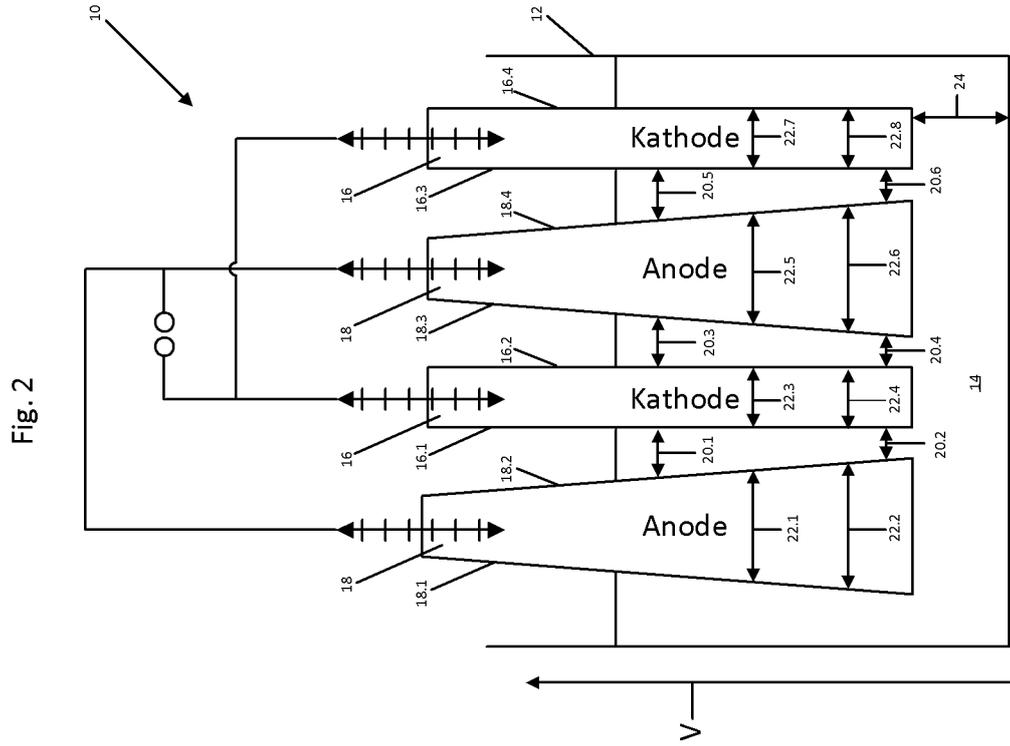
[0047]

10	Elektrolysezelle
12	Elektrolytwanne
14	Elektrolyt
16	Kathode (Elektrode)
16.1...16.4	Oberfläche (der Kathode)
18	Anode (Elektrode)
18.1...18.4	Oberfläche (der Anode)
20.1...20.6	Anoden-Kathoden-Abstand
22.1...22.8	Dicke
24	Freiraum
26	Schlitz
V	vertikale Richtung

Patentansprüche

1. Elektrolysezelle (10) für eine Schmelzflusselektrolyseanlage, insbesondere zur Herstellung von Aluminium, die eine Elektrolytwanne (12) zur Aufnahme eines geschmolzenen Elektrolyten (14) und zumindest zwei Elektroden (16, 18) aufweist,

- wobei die Elektroden (16, 18) jeweils Oberflächen (16.1...16.4, 18.1...18.4) aufweisen, wobei die Oberflächen (16.1...16.4, 18.1...18.4) einander zugewandt sind, um zwischen sich einen Stromfluss durch den Elektrolyten (14) zu ermöglichen, 5
- dadurch gekennzeichnet, dass**
zumindest eine der Oberflächen (16.1...16.4, 18.1...18.4) schräg zu einer vertikalen Richtung (V) ausgerichtet ist und 10
wobei die zumindest zwei Elektroden (16, 18) beide von oben elektrisch angeschlossen sind.
2. Elektrolysezelle (10) nach Anspruch 1, wobei zumindest eine der Elektroden (16, 18), insbesondere eine Anode (18), entlang der vertikalen Richtung (V) verstellbar ist. 15
3. Elektrolysezelle (10) nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Oberflächen (16.1...16.4, 18.1...18.4) schräg zueinander ausgerichtet sind. 20
4. Elektrolysezelle (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zumindest eine der Elektroden (16, 18) plattenförmig mit zwei Haupterstreckungsrichtungen und einer sich senkrecht zu den Haupterstreckungsrichtungen erstreckenden Dicke (22.1...22.8) ausgestaltet ist, 25
wobei sich die Dicke (22.1...22.8) entlang der vertikalen Richtung (V) verändert. 30
5. Elektrolysezelle (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Oberflächen (16.1...16.4, 18.1...18.4) zumindest teilweise innerhalb der Elektrolytwanne (12) angeordnet sind, um vom Elektrolyt (14) umgeben zu sein. 35
6. Elektrolysezelle (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Elektroden (16, 18) eine Anode (18) und eine Kathode (16) umfassen, wobei die Anode (18) und/oder die Kathode (16) inert ist, 40
insbesondere wobei die Anode (18) CuNiFe aufweist,
insbesondere wobei die Kathode (16) TiB₂ aufweist. 45
7. Elektrolysezelle (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Oberflächen (16.1...16.4, 18.1...18.4) an unterschiedlichen vertikalen Positionen unterschiedlich weit voneinander beabstandet sind. 50
8. Elektrolysezelle (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Oberflächen (16.1...16.4, 18.1...18.4) an einer oberen Position weiter voneinander beabstandet sind als an einer, bevorzugt jeder, darunter liegenden unteren Position. 55
9. Elektrolysezelle (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, die mehr als zwei Elektroden (16, 18) aufweist, so dass Anoden (18) und Kathoden (16) abwechselnd kämmend nebeneinander angeordnet sind.
10. Elektrolysezelle (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Elektrolytwanne (12) und die Elektroden (16, 18) so bemessen sind, dass durch ein Verändern einer vertikalen Position zumindest einer der Elektroden (16, 18) gegenüber zumindest einer anderen der Elektroden (16, 18) in der Elektrolytwanne (12) nach unten ein Abstand zwischen den Oberflächen (16.1...16.4, 18.1...18.4) der Elektroden (16, 18) vergrößert wird.



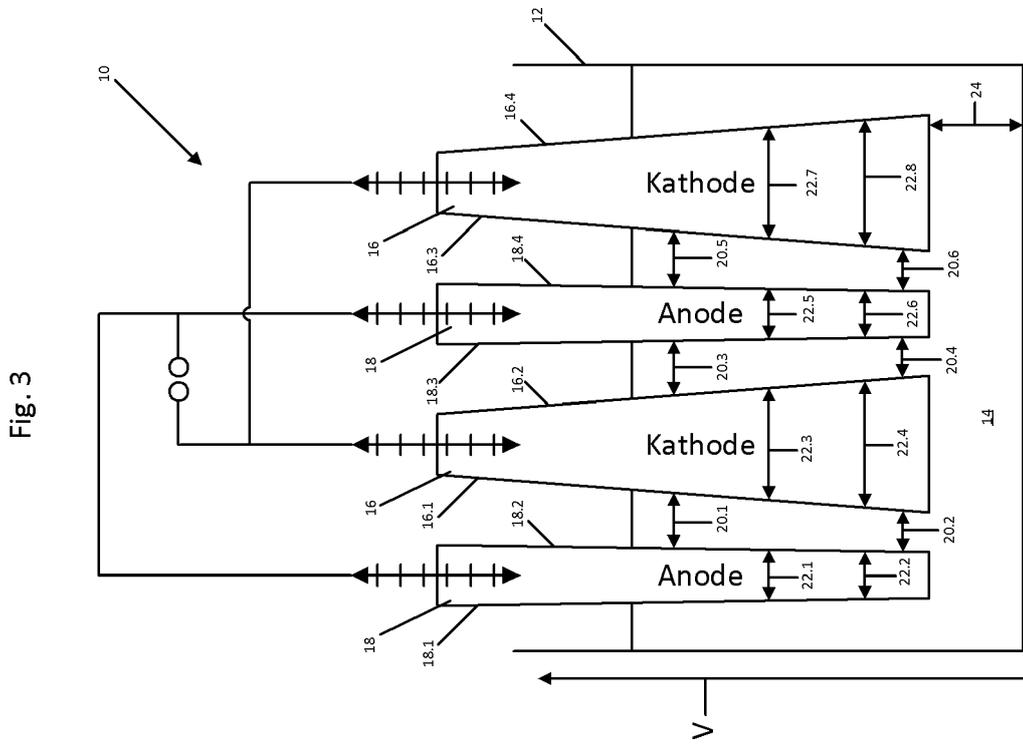
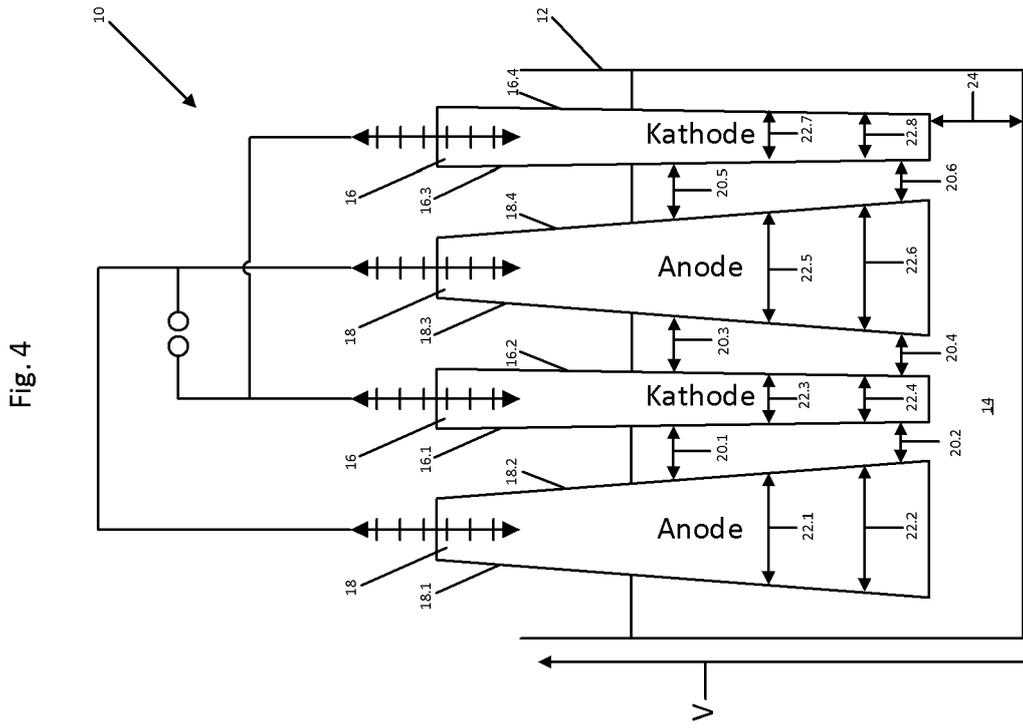


Fig. 5

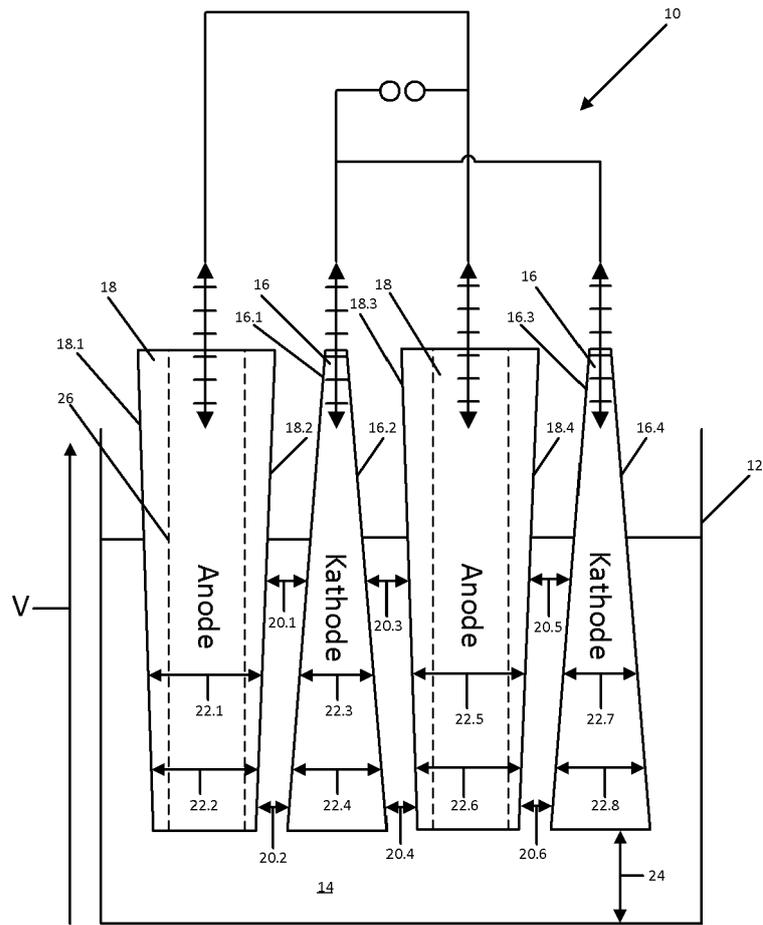
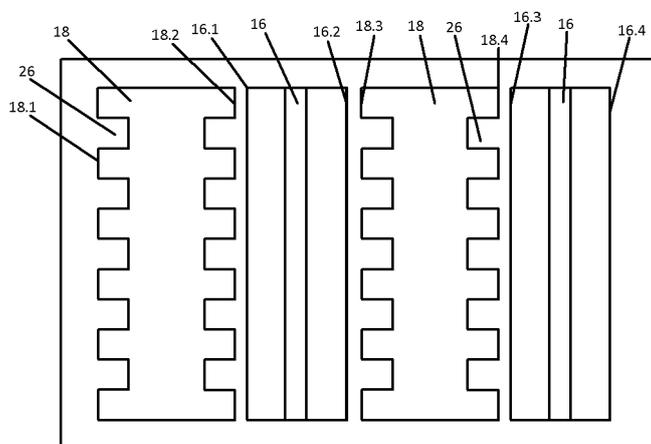


Fig. 6



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

- WO 2017165838 A1 [0003] [0004] [0010]