

(19) BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Patent
aufrechterhalten nach
§ 12 Abs. 3 ErstrG

(12) **PATENTSCHRIFT**

(11) **DD 285 125 B5**

(51) Int. Cl.⁵: C 25 B 11/02

DEUTSCHES PATENTAMT

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Aufrechterhaltung kann Einspruch eingelegt werden

(21) Aktenzeichen:	(22) Anmeldetag:	(44) Veröff.-tag der DD-Patentschrift:	(45) Veröff.-tag der Aufrechterhaltung:
DD C 25 B / 329 901 7	23. 06. 89	05. 12. 90	20. 10. 94

(30) Unionspriorität:

(72) Erfinder: Wenske, Hanno, 04668 Grimma, DE; Gallien, Arnold, Dipl.-Ing., 04668 Grimma, DE; Hanke, Wolfgang, Dipl.-Chem. Dr., 04703 Leisnig-Tragnitz, DE; Lampe, Wolfgang, Dipl.-Phys., 04668 Grimma, DE
(73) Patentinhaber: Maschinen- und Anlagenbau Grimma GmbH, Bahnhofstr. 3--5, 04668 Grimma, DE
(74) Vertreter: Grünecker, Kinkeldey, Stockmair & Partner, Pat.-Anwälte, 80538 München

(54) Elektrode für gasentwickelnde elektrolytische Prozesse

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:
DE 2445579 C 2 GB 128436

Patentansprüche:

1. Elektrode für gasentwickelnde elektrolytische Prozesse, bestehend aus einer Vielzahl zueinander im wesentlichen parallel angeordneter Elemente, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Elektrode eine Kapillarspaltelektrode (8) ist, deren Elemente (1) zueinander unter Belassung eines den Kapillareffekt hervorrufenden und einen Gastransport durch die Elektrode gestattenden Kapillarspalt (4) angeordnet sind.
2. Elektrode nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Elemente (1) dünne Lamellen sind.
3. Elektrode nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Elemente (1) dünne Bänder sind.
4. Elektrode nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Elemente (1) dünne Folien sind.
5. Elektrode nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Elemente (1) eine Dicke bis zum Dreifachen eines mittleren Gasblasendurchmessers einer Gasblase (6) aufweisen, die sich unter den gegebenen Elektrolysebedingungen von der Kapillarspaltelektrode (8) ablöst oder sich entlang der Elektrodenoberfläche bewegt.
6. Elektrode nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Dicke der Elemente (1) in der Größenordnung des Kapillarspalt (4) zwischen ihnen liegt.
7. Elektrode nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Dicke der Elemente (1) ca. 20 bis 100 µm, vorzugsweise 40 µm, beträgt.
8. Elektrode nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Kapillarspalt (4) ca. 150 bis 200 µm beträgt.
9. Elektrode nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Elemente (1) eine Breite (5) aufweisen, die zumindest das Zehnfache der Breite des Kapillarspalt (4) beträgt.
10. Elektrode nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Elemente (1) eine Breite (5) von ca. 5 mm aufweisen.
11. Elektrode nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß auf einer Elektrodenlänge von 1 cm ca. 40 bis 50 Elemente (1) angeordnet sind.
12. Elektrode nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Elemente (1) jeweils einen hochreaktiven Randbereich (2) mit hoher elektrolytischer Reaktivität aufweisen.
13. Elektrode nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Breite des hochreaktiven Randbereiches (2) im wesentlichen der Breite des Kapillarspalt (4) entspricht.
14. Elektrode nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Kapillarspalt (4) zwischen den Elementen (1) durch Abstandshalter gewährleistet ist.

Hierzu 1 Seite Zeichnungen

Die Erfindung betrifft eine Elektrode für gasentwickelnde elektrolytische Prozesse nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1, die insbesondere zur Anwendung in Wasser- und Chloralkalielektrolysezellen geeignet ist. Für die Produktion verschiedener, wichtiger chemischer Grundstoffe, wie Natronlauge, Chlor, Wasserstoff oder Wasserstoffperoxid, sind gasentwickelnde elektrolytische Prozesse von herausragender Bedeutung. Die bei der Elektrolyse von alkalischen Lösungen, Wasser, Salz- bzw. Schwefelsäure zu verwendenden Elektroden müssen einer Vielzahl von zum Teil gegensätzlich wirkenden Gebrauchsparemtern entsprechen. Ein sehr wesentliches Erfordernis besteht in der schnellen Abfuhr des entwickelten Gases aus dem Raum zwischen Anode und Kathode jenseits dieser Elektroden, um einen großen, den elektrischen Widerstand des Elektrolyten erhöhenden Gasanteil zu vermeiden. Dies steht aber dem Bestreben entgegen, die zur Verfügung stehende Konstruktionsfläche maximal für eine elektrochemisch wirkende Elektrodenfläche wirksam zu nutzen. Es wird weiterhin angestrebt, eine möglichst gleichmäßig und fein strukturierte Elektrodenoberfläche zu realisieren, damit die Voraussetzungen für ein homogenes elektrisches Feld gegeben sind. Unstetigkeiten, wie z.B. Kanten, führen zu Feldstärkeerhöhungen und damit zu einer ungleichmäßigen Elektrodenbelastung, die nicht nur energetische Verluste, sondern auch einen vorzeitigen Verschleiß des Elektrodenmaterials bzw. der elektrokatalytischen Beschichtung (Coating) verursacht. Wesentlich für die Gewährleistung eines optimalen Prozesses ist auch die Realisierung eines gleichmäßigen, geringen Elektrodenabstandes, ohne bei Verwendung von Membranen diese mechanisch stark zu beanspruchen oder gar zu beschädigen. Es sollte auch vernieden werden, daß Elektrodenelemente mit großer Dicke einen hohen Berührungsdruk auf die Membran ausüben und somit den Elektrolytfluß bzw. den Ionentransport durch das Porensystem der Membran merklich behindern. Zwei wichtige Grundtypen gasentwickelnder metallischer Elektroden sind bekannt: Zum einen verwendet man von Stromverteilern getragene, parallel angeordnete Profilstäbe, deren Querschnitt kreisförmig, elliptisch, tropfenförmig oder rechteckig ist (DE-OS 3008116, DE-OS 3325187, DE-PS 3519272, DE-OS 3519573). Aber auch U-förmige in Abständen aneinandergereihte Schienen sind gemäß der DE-AS 1271093 sowie der DE-OS 2445579, die Elektrodenelemente mit einem Abstand von z.B. 4 mm aufweisen, bekannt.

Zum anderen sind perforierte Bleche mit vertikal und horizontal verlaufenden Schlitzern, mit bezüglich der Elektrodenoberfläche abgewinkelten oder tiefgezogenen Segmenten, Lochblechelektroden und Gitterstromverteilermetallektroden bekannt (DD-PS 250026, DE-OS 3625506, DE-OS 2735238).

Vertreter des erstgenannten Grundtyps verwenden parallel angeordnete Elemente, die mit Stromverteilerschienen fest verbunden sind und einen tropfenförmigen Querschnitt (DE-OS 3325187) bzw. einen annähernd kreisförmigen Querschnitt (DE-OS 3008116) aufweisen. Der kreisförmige Querschnitt wurde durch Abtrennen von Segmenten, die in der Elektrodenoberfläche liegen, modifiziert. Beide Elektroden sollen vorzugsweise für die Chloralkalielektrolyse in Amalgamzellen Anwendung finden. Nachteilig ist, daß die Elektroden keinen wesentlich verringerten Gasblasenbedeckungsgrad aufweisen. Der Abtransport des Gases erfolgt ausschließlich durch die Fluidströmung und den Auftrieb. Die besonderen Querschnittsgeometrien sind nicht geeignet, eine aktive Rolle beim Gastransport durch die Elektrode zu übernehmen. Zwar verhindern sie durch Vermeidung von Unstetigkeitsstellen eine Überbeanspruchung der katalytischen Beschichtung, jedoch geschieht dies durch Inkaufnahme der Nachteile infolge der radiusbedingten ungleichmäßigen Abstände der Elektrodenflächen.

Die DE-OS 3519272 offenbart eine Elektrodenstruktur, die eine Vielzahl parallel angeordneter Elemente mit rechteckigem Querschnitt verwendet. Ein plattenförmiger Träger mit beidseitigen Ausbuchtungen dient der Befestigung der Elektrodenoberfläche und als Stromverteiler. Der Querschnitt der rechteckigen Elektrodenoberfläche soll ein Verhältnis von 1:5 aufweisen. Damit die Gasabzugsfahnen im Bereich des Spaltes nicht miteinander in Berührung kommen und verwirbeln, ist ein relativ großer Spalt zwischen benachbarten Elementen vorgesehen. Dies führt zu einer relativ geringen Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Konstruktionsfläche und zu einer ungleichmäßigen Elektrodenbelastung, insbesondere im Bereich der Kanten der rechteckigen Profile, wo mit einem erhöhten Verschleiß der katalytischen Beschichtung zu rechnen ist. Die gewählte Form des Trägers der Elektrodenoberfläche, der gleichzeitig Stromverteiler ist, verhindert die Konzentration des Gases im Raum jenseits der reaktiven Elektrodenoberfläche. Infolgedessen kommt es zu einem hohen Gasanteil im Bereich der Reaktionsfläche, verbunden mit erhöhten elektrischen Verlusten.

Eine der voran beschriebenen Elektrodenstruktur sehr ähnliche ist die in der DE-OS 3519573 offenbarte Elektrode. Sie besteht gleichfalls aus parallel auf einem Stromverteiler angeordneten Elementen rechteckigen Querschnitts, deren Abstand zueinander einige Millimeter beträgt. Außerdem weisen die der Membran zugewandten Stirnseiten der Elemente eine Vielzahl von Ausnehmungen auf. Die dazwischen befindlichen Stege sind nicht elektrokatalytisch beschichtet und liegen auf der Membran auf. Somit beträgt die zur Verfügung stehende reaktive Fläche nur noch etwa 10% der Membranfläche. Die Stege können, bedingt durch Relativbewegungen zwischen Elektrode und Membran, lokale Beschädigungen der Membran verursachen. Eine Elektrodenanordnung mit einer Vielzahl dünner, blattartiger Elektrodenoberfläche, die eng benachbart zueinander angeordnet und an ihrer Rückseite zur Befestigung an Trag- und Stromführungselementen gefalzt sind, ist aus der GB-PS 128436 bekannt. Bei einer solchen Elektrode bereitet allerdings die hinreichende Gasabfuhr und ein erwünschter Elektrolytaustausch Schwierigkeiten.

Als Vertreter des zweiten Grundtyps gasentwickelnder metallischer Elektroden ist in der DE-OS 2735238 eine Elektrode mit vertikalen Jalousieartigen Elementen, die durch Herauspressen aus einem Blech erzeugt werden, beschrieben. Diese Elektrodenstruktur verursacht erhebliche Feldstärkeunterschiede und damit stark unterschiedliche Belastungen der Elektrodenoberfläche. An den der Membran zugewandten Kanten der Jalousieartigen Elemente ist ein erhöhter Verschleiß der elektrolytischen Schicht zu erwarten.

Jalousieartige Elemente in überwiegend horizontaler Anordnung sind in DD-PS 250026 beschrieben worden. Das sehr scharfkantig ausgebildete Jalousieende verursacht eine starke Feldstärkeüberhöhung sowie eine erhebliche mechanische und thermische Belastung der Membran.

Die DE-OS 3625506 offenbart eine Elektrode mit einer Anzahl im wesentlichen waagerechter, rechteckiger Öffnungen, denen Brücken- oder Fahnteile zugeordnet sind. Auch diese Elektrode kann die Ausbildung eines relativ großen Gasblasenanteils im Raum zwischen der Elektrode und der Membran nicht verhindern.

Die Aufgabe der Erfindung besteht in der Entwicklung einer Elektrode für gasentwickelnde elektrolytische Prozesse, die bei konstruktiv einfachem Aufbau eine hohe Effektivität dieser Prozesse gewährleistet.

Insbesondere ist es Aufgabe der Erfindung, eine Elektrode für gasentwickelnde elektrolytische Prozesse zu schaffen, deren Struktur eine wesentliche Herabsetzung der ohmschen Leistungsverluste und dadurch eine Erhöhung der spezifischen elektrischen Belastung der Elektroden bewirkt; jedoch soll gleichzeitig der Grad der Gasanreicherung an den Elektrodenoberflächen trotz gesteigerter Gasproduktion erheblich verringert werden.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß entsprechend den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Vorzugsweise sind die Elektrodenoberfläche dünne Lamellen, Bänder oder Folien mit einer Dicke bis zum 3fachen eines mittleren Gasblasen-Ablösedurchmessers. Als Blasenablösedurchmesser gilt der Durchmesser einer sich von ihrem Bildungskeim entfernenden Blase unter den gegebenen realen Prozeßbedingungen an einer Elektrode der erfindungsgemäßen Bauart. Als eine sich von ihrem Bildungskeim entfernende Blase soll auch diejenige angesehen werden, die sich infolge der Adhäsion auf der Elektrodenoberfläche bewegt.

Durch die erfindungsgemäße Lösung wird gewährleistet, daß die Kapillarwirkung der Elektrode, ausgehend von dem Bereich zwischen den Elementen, auch die auf den (zumeist abgerundeten) Stirnflächen gebildeten Gasblasen beeinflußt und selbst dann in den Kapillarspalt hinein saugt, wenn zwischen der Elektrode und der Membran ein Abstand belassen wurde. Die Breite der Elektrodenoberfläche ist vorzugsweise wesentlich größer als deren Dicke und beträgt bevorzugt mindestens das 10fache der Breite des Kapillarspaltes. Dadurch wird in der Elektrode ein zweidimensional wirkendes kapillares System geschaffen, das das Einströmen von Turbulenzen aus dem Entgasungsraum des Elektrolyten in den Reaktionsraum zwischen der Elektrode und der Membran verhindert. Eine Beeinflussung bzw. Störung des Blasenbildungsprozesses und des Blasenabtransportes in den Kapillarspalt ist damit ausgeschlossen. Der Gastransport durch die Elektrode erfolgt gerichtet, bevorzugt quer zur Elektrodenoberfläche über die nur sehr geringe Strecke entsprechender Breite der Elektrodenoberfläche. Ursache hierfür ist die erhebliche relative Volumenvergrößerung im Reaktionsraum infolge des Blasenbildungsprozesses. Dies führt dort zu einer Druckerhöhung und Verdrängungsreaktion. In gleichem Maße, wie das Gas aus dem Reaktionsraum und der Elektrode gedrängt wird, strömt Elektrolyt durch den Kapillarspalt turbulenzfrei zu den reaktiven Flächen der Elektrode nach. Der hohe Elektrolytaustausch verhindert die Verarmung des Elektrolyten auch in seiner Grenzschicht, da der Flüssigkeitstransport aufgrund der Kapillarkräfte unmittelbar auf der Elektrodenoberfläche erfolgt.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des Erfindungsgegenstandes sind in den übrigen Unteransprüchen dargelegt. Nachfolgend wird der Gegenstand der Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels und der Figuren näher erläutert. Es stellen dar

Fig. 1: zwei Kapillarspaltelektroden als Kathode und Anode mit zwischenliegendem Trennelement

Fig. 2: eine maßstabgetreue Vergrößerung des Ausschnittes einer realen Kapillarspaltelektrode (M: ca. 10:1)

Fig. 3: einen vergrößerten Ausschnitt A der Kapillarspaltelektrode.

Die Erfindung betrifft eine hydrodynamisch „aktiv“ wirkende, gasentwickelnde Kapillarspaltelektrode. Sie ist aus zueinander parallel angeordneten Elementen 1 aufgebaut, deren Dicke 3 und Abstand 4 zueinander um ein bis zwei Größenordnungen geringer sind als bei bekannten Elektroden.

Die Dicke 3 der Elemente 1, die Bänder, Folien, Lamellen oder dgl. sein können, beträgt höchstens das 3fache des mittleren Blasenablösedurchmessers. Zwischen den Elementen 1 ist ein den Kapillareffekt hervorrufer Spalt 4 belassen. Die Fixierung der Elemente 1 zueinander kann beispielsweise durch mehrere die Elemente 1 durchdringende Drähte erfolgen. Zwischen den Elementen 1 können auf den Drähten Abstandshalter zur Gewährleistung des Kapillarspaltes angeordnet sein. Diese Maßnahmen erlauben die einfache Bereitstellung einer in ihrer Breite festgelegten transportierbaren und montierbaren Kapillarspaltelektrode.

Besonders wirtschaftlich ist die Herstellung von Elementen 1 aus glasmetallischen Folienbändern, die nach dem Schmelzspinnverfahren erzeugt wurden. Sie besitzen glatte Oberflächen und Kanten und weisen meistens eine Dicke 3 von 20µm bis 100µm auf. Der bevorzugte Bereich der Elementendicke liegt um 40µm; die Breite der Bänder beträgt ca. 5 mm. Bei Verwendung von ca. 40 Elementen 1 je Zentimeter stellt sich ein durchschnittlicher Kapillarspalt 4 von 0,2 mm Breite ein. Eine Elektrode aus einer Vielzahl an sich sehr flexibler Einzelelemente stellt in der beschriebenen dichten Packung ein mechanisch hochbelastbares und dennoch an eine ebene Fläche vollständig anschmiegbares Gebilde dar. An diese Flächen müssen keine hohen Anforderungen hinsichtlich Ebenheit, Verwerfung u. ä. gestellt werden.

Figur 1 zeigt zwei Kapillarspaltelektroden 8 als Kathode und Anode mit zwischenliegendem Trennelement 7 (z. B. Membran) im sogenannten Null-Abstand. Die erfindungsgemäße Elektrodenstruktur erlaubt großflächig einen konstanten und geringen Elektrodenabstand, welcher der Dicke des Trennelementes 7 entspricht. Die Anschmiegsamkeit der Kapillarspaltelektrode gewährleistet darüber hinaus eine gleichmäßige Druckverteilung über das Trennelement 7, was nicht nur dessen Beschädigung verhindert, sondern auch den Ionenstrom bzw. den Elektrolytstrom nicht beeinträchtigt. Der Raum, der sich an die Elektrodenfläche anschließt, welche dem Trennelement 7 abgewandt ist, dient als Entgasungsraum für den Elektrolyten.

Figur 2 und 3 zeigen vergrößerte, maßstäbliche Ausschnitte der Kapillarspaltelektrode. Die verwendeten Elemente 1 besitzen eine Dicke 3 von ca. 30µm und eine Breite 5 von ca. 5 mm. Der Spalt 4 zwischen den Elementen 1 entspricht etwa 200µm. Die hervorgehobenen Flächen 2 der Elemente 1 (siehe Fig. 3) stellen die Bereiche mit hoher elektrolytischer Reaktivität dar. Ihr flächenspezifischer Umsatz entspricht ungefähr dem auf den Stirnflächen der Elemente 1. Diese reaktionsstarken, am Umsatz wesentlich beteiligten Flächen 2 erstrecken sich quer zur Elektrodenoberfläche auf eine Tiefe, die etwa der Breite des Spaltes 4 entspricht. Zur besseren Darstellbarkeit wurde die Breite des Spaltes 4 im Vergleich zur Dicke und Breite der Elemente 1 auf das 3fache gestreckt.

Die Kapillarspaltelektrode wirkt wie folgt:

Die hohe Anzahl der Elemente 1 der Elektrode 8 (ca. 40 bis 50 Elemente 1 je cm) stellt eine im Vergleich zum bekannten Stand der Technik hochgradige Vergleichmäßigung der Elektrodenoberfläche dar. Verbunden damit ist eine adäquate Vergleichmäßigung des elektrischen Feldes sowie der Stromdichtebelastung. Folglich wird eine Überlastung (und damit frühzeitiger Verschleiß) der elektrokatalytischen Beschichtung vermieden. Darüber hinaus ist es gelungen, die an der Reaktion beteiligte Fläche auf einen Wert größer der Konstruktionsfläche zu steigern. Unter günstigen Bedingungen kann das Verhältnis von aktiver Reaktionsfläche zu Konstruktionsfläche um den Wert 2 liegen.

Die an den Stirnflächen und den reaktiven Flächen 2 der Elemente 1 gebildeten Gasblasen befinden sich im Einflußbereich des Kapillarspaltes. Infolge der Gasblasenbildung kommt es im Raum, der vom Trennelement 7 (z. B. Membran) und der Elektrode 8 begrenzt wird, zu einem Druckaufbau, welcher die Ursache für den Gastransport bevorzugt quer zur Elektrodenoberfläche darstellt. In Figur 3 wird der Weg einer Gasblase 6 durch die Kapillarspaltelektrode 8 gezeigt. Im gleichen Maße wird der Elektrolyt zwischen Entgasungsraum und Reaktionsraum ausgetauscht. Die Gasblasenbelastung im Reaktionsraum zwischen Elektrode 8 und Trennelement 7 (bei Elektrodenabstand größer Null) ist äußerst gering. Es gibt praktisch kaum noch im Elektrolyten des Reaktionsraumes frei bewegliche Gasblasen. Sie werden überwiegend unter der Wirkung des Kapillareffektes auf der Elektrodenoberfläche bewegt und in den Kapillarspalt „gesaugt“. Hierdurch konnte eine wesentliche Reduzierung des elektrischen Widerstandes des Elektrolyten erreicht werden.

Bei Verwendung der Kapillarspaltelektroden gemäß Figur 1 im sogenannten Null-Abstand, wobei also die Stirnflächen der Elemente 1 der Elektroden 8 direkt auf dem Trennelement 7 aufliegen, existiert kein über die gesamte Elektrodenfläche sich erstreckender Reaktionsraum. Er wird dann gebildet aus der Summe aller Teilräume der Kapillarspalten, in denen elektrochemische Reaktionen ablaufen.

Es sei noch darauf hingewiesen, daß die Breite 5 der Elemente 1 den Bedürfnissen bezüglich eines möglichst geringen ohmschen Spannungsabfalles im Elektrodenwerkstoff angepaßt werden kann. Die erfindungsgemäße Elektrodenstruktur ist hervorragend für den Einsatz in Gas-Lift-Zellen geeignet.

Vorteile der Kapillarspaltelektrode:

- Sehr geringe Gasblasenbelastung des Elektrolyten im Reaktionsraum durch einen gerichteten Gasblasentransport innerhalb der Kapillarspaltelektrode,
- gleichmäßiger und feinstrukturierter Elektrodenaufbau,
- dadurch: gleichmäßige Strombelastung und Auslastung der zur Verfügung stehenden Reaktionsfläche, keine lokale Erosion der Elektrodenoberfläche, insbesondere der elektrokatalytischen Beschichtung,
- mechanisch belastbare, aber dennoch flexible und somit anschmiegsame Elektrodenstruktur.

Im einzelnen wird erreicht:

- Verringerung der Gasblasenbelastung des Elektrolyten zwischen den Elektroden und des Gasblasenbedeckungsgrades auf den Reaktionsflächen der Elektroden,
- Gewährung eines gerichteten Gastransportes während des Prozesses durch die Elektrodenstruktur,
- Verbesserung des Verhältnisses von aktiver Elektrodenfläche zu Konstruktionsfläche,
- Herabsetzung lokaler Feldstärkeüberhöhung und Ausbildung eines annähernd homogenen elektrischen Feldes zur Vergleichmäßigung der Belastung der zur Reaktion zur Verfügung stehenden Elektrodenfläche.

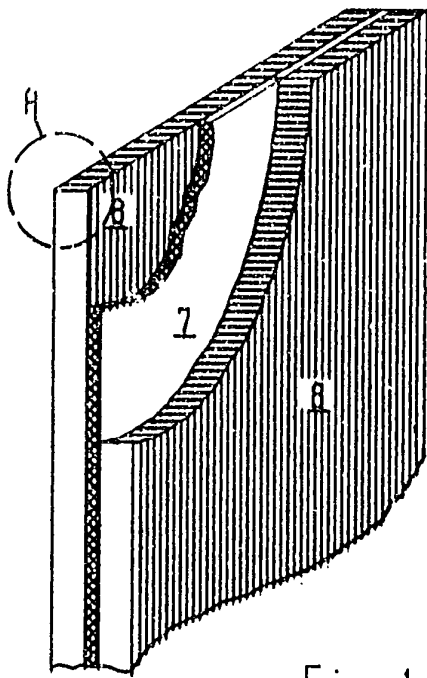


Fig. 1

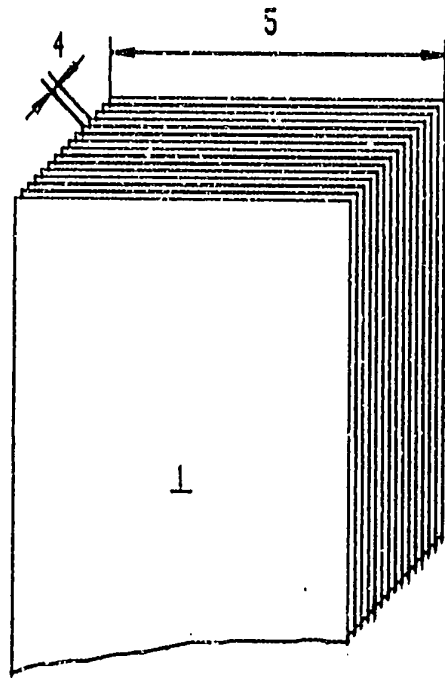


Fig. 2

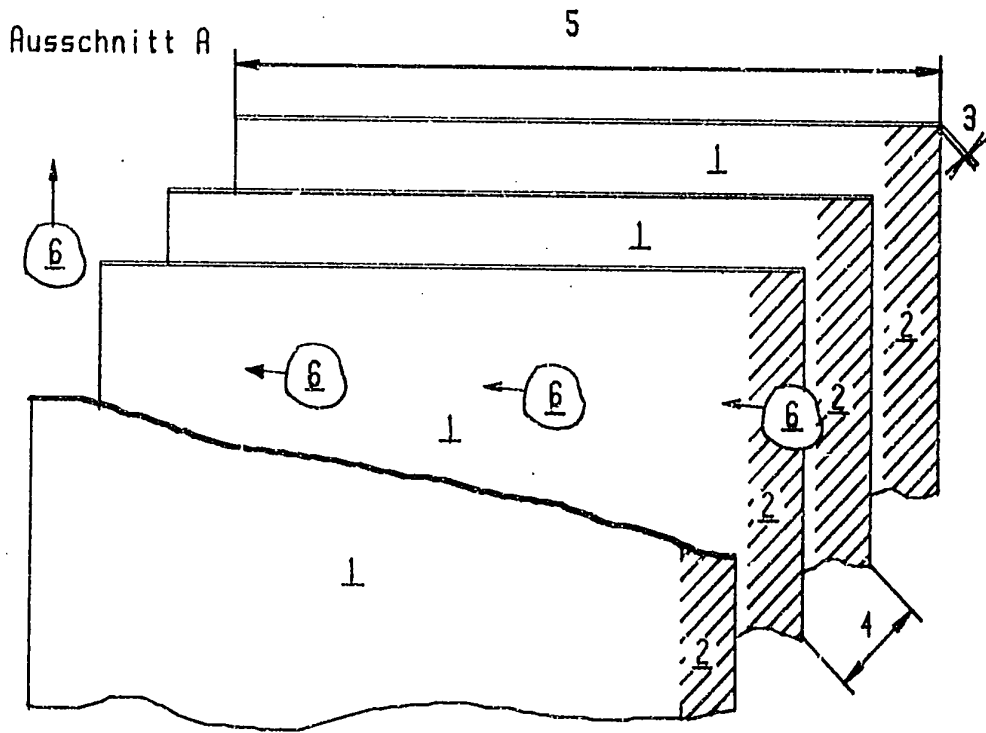


Fig. 3