

(19)



REPUBLIK  
ÖSTERREICH  
Patentamt

(10) Nummer: **AT 409 903 B**

(12)

# PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: A 1131/2001  
(22) Anmeldetag: 20.07.2001  
(42) Beginn der Patentdauer: 15.04.2002  
(45) Ausgabetag: 27.12.2002

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>: **H01M 4/24**  
H01M 4/64, 4/75

(56) Entgegenhaltungen:  
EP 0632513A1

(73) Patentinhaber:  
FUNKTIONSWERKSTOFFE FORSCHUNGS- U.  
ENTWICKLUNGS GMBH  
A-7000 EISENSTADT, BURGENLAND (AT).

## (54) NEGATIVE ELEKTRODE EINES METALLHYDRID-AKKUMULATORS

(57) Die negative Elektrode eines Metallhydrid-Akkumulators weist einen im wesentlichen flächigen, flexiblen und leitfähigen Träger (1) sowie darauf angeordnetes, von einem organischen Bindemittel (2) umgebenes, elektroaktives Material (3) in Pulverform auf. Um die Elektrode flexibel und trotzdem unempfindlich gegen innere mechanische Zerstörung und Oxidation machen zu können, besteht der Träger (1) aus einem dreidimensionalen Gewebe aus elektrisch leitfähigen, flexiblen Fäden und ist samt darauf angeordnetem elektroaktivem Material (3) und Bindemittel (2) außen mit einer flexiblen Mantelschicht (4) aus wasserstoffdurchlässigem, aber gegenüber Wasser und Sauerstoff dichtem Metall versehen.

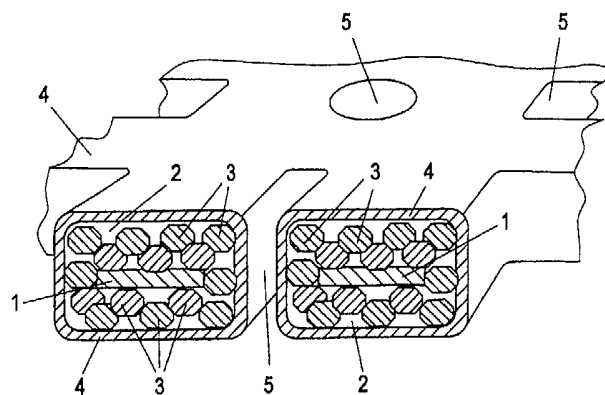


FIG. 2

AT 409 903 B

Die Erfindung betrifft eine negative Elektrode eines Metallhydrid-Akkumulators, insbesondere eines NiMH-Akkumulators, mit einem im wesentlichen flächigen, flexiblen und leitfähigen Träger und einem darauf angeordneten, von einem organischen Bindemittel umgebenen, elektroaktiven Material in Pulverform.

Metallhydridzellen, wie beispielsweise die speziell erwähnten NiMH-Zellen, sind als sogenannte „Secondary Power Sources“ heutzutage bei vielen tragbaren Elektronikgeräten in Verwendung, weil sie eine kostengünstige Alternative zu Lithium-Zellen darstellen und die Umwelt weniger belasten als beispielsweise Nickel-Kadmium-Zellen. Diese Metallhydrid-Zellen weisen eine positive Elektrode der Nickeloxid/Nickeloxihydroxid-Art und eine negative Elektrode basierend auf einer hydrierbaren Legierung in einem stark alkalischen Elektrolyten (typisch beispielsweise 6 mol/dm<sup>3</sup> KOH - siehe beispielsweise US 3.874.928 A) auf. Das negative Elektrodenmaterial kann aus jeder reversibel hydrierbaren Metalllegierung bestehen - typischerweise werden Legierungen der Art: AB<sub>5</sub>, AB<sub>2</sub> oder A<sub>2</sub>B verwendet - siehe beispielsweise EP 451.575 A.

Die einzelnen Partikel der in den negativen Elektroden beispielsweise von NiMH-Zellen verwendeten Metalllegierungen haben typischerweise Durchmesser von etwa 75 µm. Während des Aufladevorganges der Zelle werden diese Partikel in Reaktion mit dem Elektrolyten hydriert, wobei sich in der Folge in den Partikeln mechanische Spannungen zufolge der Einlagerungsreaktionen aufbauen, die schließlich zum Aufspalten und weitgehenden Pulverisieren des Partikelmaterials führen. Nach einigen Lade- und Entladevorgängen sind die durchschnittlichen Partikelgrößen deutlich reduziert und entsprechend die wirksame Oberfläche des Partikelmaterials deutlich erhöht, womit die Lade- und Entladerate nach den ersten Aktivierungszyklen dramatisch ansteigt. Die zumindest teilweise Pulverisierung der elektroaktiven Partikel macht die Elektrode allerdings auch anfällig für weitergehende mechanische Ablösungen bzw. für das Zerbröseln und Abbröckeln des aktiven Materials von den Ableitstrukturen, was zu einem Kapazitätsverlust führt, sofern nicht entsprechend gegengesteuert wird.

Weiters sind die negativen Elektroden der eingangs beschriebenen bekannten Art auch anfällig für irreversible Oberflächenoxidation der elektroaktiven Metalllegierungen was durch die beschriebene, in der Aktivierungsphase der Zelle bewusst betriebene Oberflächenvergrößerung zu einem noch verschärften Problem wird.

Bei bekannten Ausführungen von negativen Elektroden der beschriebenen Art sind die elektroaktiven Partikel üblicherweise auf einem Träger und Stromleiter aus Nickel angeordnet, wobei es sich bei dem Träger um Folien, perforierte Folien, Streckmetallfolien, Schaum oder dergleichen handeln kann und die Anbringung beispielsweise durch Sintern oder mittels eines Bindemittels erfolgt. Die einzelnen Partikel können darüber hinaus vor dem Aufbau der Elektrode mit einer Mikrokapselung versehen werden, wobei eine Schicht von typischerweise einigen µm eines wasserstoffpermeablen Metalls (z.B. Kupfer oder Nickel) auf den einzelnen elektroaktiven Partikeln angebracht wird. Es lassen sich damit die negativen Effekte der Oxidation an den aufgebrochenen inneren Oberflächen sowie auch der Gasentwicklung in den Zellen stark reduzieren. Nachteilig ist dabei, dass der Metallanteil für diese Mikrokapselung sehr hoch liegt (im Bereich von 20 bis 75 Gewichtsprozent) womit der gravimetrische Gesamtwirkungsgrad der Zelle verringert und auch der Wasserstoffaustausch gestört wird. Auch andere Metalle mit guten Wasserstoffdurchdringungsraten, wie etwa Ag oder Pd, unter Umständen in Legierung mit einem zweiten Element wie beispielsweise Zr, Ti, Ta, V, Nb, oder Hf, wurden in diesem Zusammenhang untersucht.

Zur Reduktion von Oxydschichten auf der negativen Elektrode bzw. zur Verhinderung der oberflächlichen Oxidation wurden weiters zur Vor- und Nachbehandlung der Elektroden beispielsweise Fluoridionen und heiße Alkalilösungen oder aber äußere Abdeckungen mit Kohlenstoff in geeigneter Form (siehe beispielsweise US 5.185.221 A) versucht. In gleicher Weise wurden bereits verschiedene Silicone als Bindemittel für Metallhydridpartikel verwendet (siehe beispielsweise US 4.799.360 A).

Nachteilig bei allen bekannten Ausführungen von Elektroden der eingangs genannten Art ist bisher stets, dass die gewünschte Flexibilität des Trägers und damit der Elektrode insgesamt nicht in Einklang zu bringen ist mit einem stabilen Aufbau, der auch nach der anfänglichen Aktivierungsphase mit der damit verbundenen inneren Aufspaltung der einzelnen Partikel des elektroaktiven Materials noch eine ausreichende Oxidationsfestigkeit und Gesamtpformance der Elektrode sicherstellt.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, die beschriebenen Nachteile der bekannten Elektroden-Konfiguration der eingangs genannten Art zu vermeiden und insbesondere eine derartige Elektrode so zu verbessern, dass trotz angestrebter Flexibilität und Elastizität des Aufbaus keine unbotmäßige innere mechanische Zerstörung bzw. Oxidation auftreten kann.

5 Gemäß der vorliegenden Erfindung wird diese Aufgabe bei einer Elektrode der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass der Träger aus einem dreidimensionalen Gewebe aus elektrisch leitfähigen, flexiblen Fäden besteht und samt darauf angeordnetem elektroaktivem Material und Bindemittel außen mit einer flexiblen Mantelschicht aus wasserstoffdurchlässigem aber gegenüber  
10 Wasser und Sauerstoff dichtem Metall versehen ist. Zuzufolge des als Träger verwendeten Gewebes und zusammen mit dem organischen Bindemittel ist ein in sich sehr flexibler Aufbau der Elektrode möglich, was den Zusammenbau verschiedenster Batterietypen sehr vereinfacht. Durch diesen Aufbau ist auch eine lokale, innere Flexibilität im Bereich des Zusammenhaltes zwischen elektroaktivem Material und Bindemittel möglich bzw. gegeben, welche ein Zerbröseln des elektroaktiven Materials in bzw. nach der Aktivierungsphase der Zelle auch dann verhindert, wenn die eingangs  
15 beschriebene Mikrokapselung der einzelnen Partikel nicht vorgenommen wird.

Als Bindemittel werden bevorzugt für Wasser impermeable flexible Materialien, wie Silikone, Polyurethane, PVDF, usw. verwendet, die zusätzlich eine hohe Wasserstoffpermeabilität und Stabilität in KOH-Lösungen aufweisen sollten.

Durch die äußere flexible Mantelschicht ist eine Oxidation und Fragmentation des elektroaktiven Materials weitestgehend verhindert, wobei durch die dünne Mantelschicht die Flexibilität der  
20 Elektrode insgesamt nicht negativ beeinflusst wird. Es ergibt sich eine sehr leichte Konstruktion, welche mit wenig inaktivem Material auskommt, sodass gute volumetrische und gravimetrische Wirkungsgrade erzielbar sind.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Mantelschicht aus einem  
25 beim Betriebspotential der Elektrode in stark wässriger Alkalilösung stabilen Metall, vorzugsweise aus der Gruppe: Cu, Ag, Ni, besteht. Diese Materialien sind mit bekannten Techniken problemlos verarbeitbar - siehe beispielsweise US 5.766.688 A, wo eine teilweise oder vollständig hydrierte Elektrode in eine wässrige Lösung geeigneter Metallionen eingetaucht wird. Die Reduktionsfähigkeit der Elektrode reicht aus, um damit eine Außenkapselung (Makrokapselung) sicherzustellen.  
30 Bevorzugt werden auf diese Weise äußere Mantelschichten mit einer Dicke im Bereich von 0,1 bis 100  $\mu\text{m}$ , insbesondere bevorzugt im Bereich von 0,5 bis 5  $\mu\text{m}$ , aufgebracht, bei Gesamtelektroden-dicken im Bereich von 50 bis 5000  $\mu\text{m}$ , vorzugsweise im Bereich von 200 bis 1000  $\mu\text{m}$ . Generell kann die Aufbringung der eine Makrokapsel darstellenden Mantelschicht durch stromlose (chemische) Ablagerung, Elektrobeschichtung oder durch eine Kombination beider Verfahren erfolgen.  
35 Das Bindemittel kann zuvor mit dem pulverförmigen elektroaktiven Material vermischt und auf dem Trägergewebe aufgebracht werden - prinzipiell können verschiedenste bekannte Verfahren für diese Herstellung verwendet werden, wie sie sowohl beim Laborbetrieb als auch bei der industriellen Batterieherstellung bekannt sind.

In besonders bevorzugter weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass der Träger  
40 ger allseits mit elektroaktivem Material, Bindemittel und Mantelschicht versehen ist, womit also die leitfähige und als Stromableiter wirkende Schicht auf beiden Oberflächenseiten von aktivem Material umgeben ist, was die notwendigen Ableitwege innerhalb der zumeist selbst eher schlecht stromleitenden elektroaktiven Partikel verkürzt.

Zumindest bereichsweise können nach einer besonders bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung Durchbrüche durch die Elektrode vorgesehen sein, in deren Bereich das Innere der Elektrode  
45 ebenfalls mit der Mantelschicht nach außen abgeschlossen ist. Es ergeben sich damit strukturierte flächige Elektroden, die zufolge der in weiten Grenzen beliebig konfigurierbaren Durchbrüche einerseits insgesamt flexibler gemacht und andererseits sehr gut an konstruktive Vorgaben (besondere Zellenformen, Befestigungen ...) angepasst werden können. Die Elektroden sind trotz ihrer  
50 Stabilität sehr flexibel und können leicht gerollt werden, was die Herstellung entsprechender Batterien (insbesondere Kleinbatterien) leichter und sauberer macht. Es können mit derartigen Elektroden beispielsweise auch Batterien mit scharfen Kanten hergestellt werden, was bis dato mit den verwendeten Elektroden der bekannten Art nicht möglich ist. Zuzufolge des Gewebeträgers ist auch das Schneiden der Elektroden sehr viel einfacher als bei den bekannten Ausführungen, welche  
55 zumeist relativ stabile metallische Stromleiter aufweisen. Mit den ohne zusätzliche Durchbrüche

ausgeführten Elektroden lassen sich höhere gravimetrische Energiedichten erreichen, wogegen die wie beschrieben perforierten Elektroden eine höhere Flexibilität und einen leichteren Zugang des Elektrolyten, mit entsprechend höheren Entladeraten, erlauben.

Das elektroaktive Material kann, was wie eingangs beschrieben an sich bekannt ist, in Form von Mikrokapseln von dünnen Schichten von wasserstoffdurchlässigem Metall, vorzugsweise Ni oder Cu, umgeben sein, was zwar in beschriebener Weise den volumetrischen und speziell gravimetrischen Wirkungsgrad etwas senkt aber für manche Anwendungsfälle durchaus vorteilhaft sein kann, da damit die innere Stabilität und der Schutz gegen Oberflächenkorrosion verbessert wird.

Nach einer besonders bevorzugten weiteren Ausgestaltung der Erfindung kann in der Elektrode zusätzlich zu elektroaktivem Material und Bindemittel noch Kohlenstoff, vorzugsweise in Form von Graphit, Ruß oder dergleichen, enthalten sein, was positiven Einfluss auf die Leitfähigkeit im Inneren der Elektrode sowie auf die hintanzuhaltenden Oxidationsvorgänge des elektroaktiven Materials hat.

Das Gewebe des Trägers besteht in besonders bevorzugter Ausgestaltung der Erfindung aus einem gewebten oder gewirkten, zumindest teilweise aus elektrisch leitend beschichteten Fasern aufgebauten Polymerstoff, der schichtweise und/oder lokal auch unterschiedliche Webdichte und zumindest bereichsweise auch Durchbrüche aufweisen kann. Derartige Gewebe sind an sich beispielsweise aus der veröffentlichten österreichischen Patentanmeldung A 816/2000 bekannt und ermöglichen auf sehr einfache Weise, beispielsweise durch lokal unterschiedliche Webdichten, die Berücksichtigung der tatsächlich jeweils lokal zu erwartenden bzw. vorliegenden Stromdichten, womit insgesamt sehr gute volumetrische und gravimetrische Wirkungsgrade der Gesamtzelle erzielbar sind.

Die Dicke der verwobenen Fäden liegt in vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung im Bereich von 0,05 bis 1 mm, was das Abdecken vielfältigster Anordnungen mit derartigen Elektrodenausgestaltungen ermöglicht.

Die Fäden des Gewebes des Trägers sind in weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung mit einem kontinuierlichen Überzug von 0,01 bis 10 µm Dicke eines Metalls der Gruppe Cu, Fe, Ti, Ni, Cr, Al, Ag, Au, Mn, rostfreiem Stahl oder deren Legierungen, oder mit anderen leitfähigen Substanzen, wie etwa elektrisch leitenden Oxiden, Leitruß oder dergleichen, beschichtet, wobei zusätzlich vorgesehen sein kann, dass dieser kontinuierliche Überzug mit einem zweiten entsprechenden Überzug aus der Gruppe folgender Metalle oder deren Legierungen: Cu, Fe, Ti, Ni, Cr, Al, Ag, Au, Mn und rostfreier Stahl, oder mit leitenden Oxiden oder Leitruß beschichtet ist, wobei die Gesamtdicke der beiden Schichten 15 µm nicht überschreitet. Auch mit diesen bevorzugten Ausgestaltungen können verschiedenste Anwendungsgebiete bzw. verwendete Materialien abgedeckt werden.

Die Kunststoff-Webfäden des Trägers bestehen in weiterer Ausgestaltung der Erfindung bevorzugt aus Fasern eines Polymers folgender Gruppe: Polyester, Silicongummi, Polyethylen, Ethylen-Tetrafluorethylen, Copolymer, Polytetrafluorethylen und Polyvinylidenfluorid.

Nach einer besonders bevorzugten weiteren Ausgestaltung der Erfindung können in der Trägerschicht metallische Fäden, vorzugsweise aus einem Metall der Gruppe: Cu, Fe, Ti, Ni, Cr, Al, Ag, Au, Mn, rostfreiem Stahl oder deren Legierungen, in regelmäßigen Intervallen miteingewoben sein, vorzugsweise mit einem Durchmesser, der in der Größenordnung dem Durchmesser der leitend beschichteten Fasern entspricht. Auf diese Weise kann die Leitfähigkeit im dreidimensionalen Gitter des Trägers bedarfsweise auch lokal weiter beeinflusst und an die jeweiligen Erfordernisse angepasst werden, wobei üblicherweise mit einem relativ geringen Prozentsatz derartiger durchgehend leitfähiger Fäden das Auslangen zu finden sein wird, um das Gesamtgewicht der Elektrode nicht unnötig zu erhöhen.

Die Erfindung wird im folgenden anhand des in der Zeichnung schematisch dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert. Fig. 1 zeigt dabei einen auszugsweisen Schnitt durch eine erfindungsgemäß ausgeführte Elektrode und Fig. 2 einen ähnlichen Schnitt durch ein anders Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Die in beiden Figuren dargestellte negative Elektrode eines (nicht weiter dargestellten) Metallhydrid-Akkumulators, wie insbesondere beispielsweise eines NiMH-Akkumulators, weist einen im wesentlichen flächigen, flexiblen und leitfähigen Träger 1 sowie darauf angeordnetes, von einem organischen Bindemittel 2 umgebenes, elektroaktives Material 3 in Pulverform auf. Der Träger 1

besteht in hier nicht im Detail ersichtlicher Weise aus einem dreidimensionalen Gewebe aus elektrisch leitfähigen, flexiblen Fäden (beispielsweise in Form eines gewebten oder gewirkten, zumindest teilweise aus elektrisch leitend beschichteten Fasern aufgebauten Polymerstoffes) und ist samt darauf angeordnetem elektroaktivem Material 3 und Bindemittel 2 außen mit einer flexiblen Mantelschicht aus für Wasserstoff durchlässigem aber gegenüber Wasser und Sauerstoff dichtem Metall versehen. Die den Träger 1 samt dem darauf angebrachten elektroaktiven Material 3 und Bindemittel 2 auf beiden Seiten abschließende Mantelschicht 4 besteht aus einem beim Betriebspotential der Elektrode in stark wässriger Alkalilösung stabilen Metall, beispielsweise Cu, Ag oder Ni.

Während die gesamte Elektrode gemäß Fig. 1 auch durchgehend geschlossen flächig aufgebaut sein kann, ist bei der Ausführung nach Fig. 2 zu erkennen, dass zumindest bereichsweise Durchbrüche 5 durch die Elektrode vorgesehen sind, in deren Bereich das Innere der Elektrode ebenfalls mit der Mantelschicht 4 nach außen abgeschlossen ist. Auf diese Weise kann die Flexibilität und Durchdringbarkeit der Gesamtanordnung erhöht und beispielsweise auch für entsprechende Befestigungsöffnungen oder dergleichen gesorgt werden.

Die einzelnen Partikeln des elektroaktiven Materials 3 können zusätzlich zu ihrer Einbettung in Bindemittel 2 auch mit einer Mikrokapselung in Form von dünnen Schichten aus wasserstoffdurchlässigem Metall, wie vorzugsweise wieder Nickel oder Kupfer, umgeben sein, was deren Zusammenhalt verbessert und die Oxidationsanfälligkeit des elektroaktiven Materials in diesen Kapseln reduziert.

#### PATENTANSPRÜCHE:

1. Negative Elektrode eines Metallhydrid-Akkumulators, insbesondere eines NiMH-Akkumulators, mit einem im wesentlichen flächigen, flexiblen und leitfähigen Träger (1) und einem darauf angeordneten, von einem organischen Bindemittel (2) umgebenen, elektroaktiven Material (3) in Pulverform, dadurch gekennzeichnet, dass der Träger (1) aus einem dreidimensionalen Gewebe aus elektrisch leitfähigen, flexiblen Fäden besteht und samt darauf angeordnetem elektroaktivem Material (3) und Bindemittel (2) außen mit einer flexiblen Mantelschicht (4) aus wasserstoffdurchlässigem aber gegenüber Wasser und Sauerstoff dichtem Metall versehen ist.
2. Elektrode nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Mantelschicht (4) aus einem beim Betriebspotential der Elektrode in stark wässriger Alkalilösung stabilen Metall, vorzugsweise aus der Gruppe: Cu, Ag, Ni, besteht.
3. Elektrode nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Träger (1) allseits mit elektroaktivem Material (3), Bindemittel (2) und Mantelschicht (4) versehen ist.
4. Elektrode nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest bereichsweise Durchbrüche (5) durch die Elektrode vorgesehen sind, in deren Bereich das Innere der Elektrode ebenfalls mit der Mantelschicht (4) nach außen abgeschlossen ist.
5. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das elektroaktive Material (3) in Form von Mikrokapseln von dünnen Schichten von wasserstoffdurchlässigem Metall, vorzugsweise Ni oder Cu, umgeben ist.
6. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass zusätzlich zu elektroaktivem Material (3) und Bindemittel (2) Kohlenstoff, vorzugsweise in Form von Graphit, Ruß, oder dergleichen, enthalten ist.
7. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Gewebe des Trägers (1) aus einem gewebten oder gewirkten, zumindest teilweise aus elektrisch leitend beschichteten Fasern aufgebauten Polymerstoff besteht.
8. Elektrode nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Polymerstoff schichtweise und/oder lokal unterschiedliche Webdichte und vorzugsweise zumindest bereichsweise Durchbrüche (5) aufweist.
9. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke der verwobenen Fäden im Bereich von 0,05 - 1,0 mm liegt.
10. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet,

dass die Fäden mit einem kontinuierlichen Überzug von 0,01 bis 10 µm Dicke eines Metalls der Gruppe Cu, Fe, Ti, Ni, Cr, Al, Ag, Au, Mn, rostfreiem Stahl oder deren Legierungen oder mit anderen leitfähigen Substanzen, wie etwa elektrisch leitenden Oxiden, Leitruf oder dergleichen, beschichtet sind.

- 5 11. Elektrode nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der kontinuierliche leitende Überzug mit einem zweiten kontinuierlichen Überzug aus der Gruppe folgender Metalle oder deren Legierungen: Cu, Fe, Ti, Ni, Cr, Al, Ag, Au, Mn und rostfreiem Stahl, oder mit leitenden Oxiden oder Leitruf beschichtet ist, wobei die Gesamtdicke beider Schichten 15 µm nicht überschreitet
- 10 12. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Kunststoff-Webfäden aus Fasern eines Polymers folgender Gruppe bestehen: Polyester, Silicongummi, Polyethylen, Polypropylen, Ethylen-Tetrafluorethylen Copolymer, Polytetrafluorethylen und Polyvinylidenfluoride.
- 15 13. Elektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass in die Trägerschicht metallische Fäden, vorzugsweise aus einem Metall der Gruppe: Cu, Fe, Ti, Ni, Cr, Al, Ag, Au, Mn, rostfreiem Stahl oder deren Legierungen, in regelmäßigen Intervallen miteingewoben sind, vorzugsweise mit einem Durchmesser, der in der Größenordnung dem Durchmesser der leitend beschichteten Fasern entspricht.

## HIEZU 1 BLATT ZEICHNUNGEN

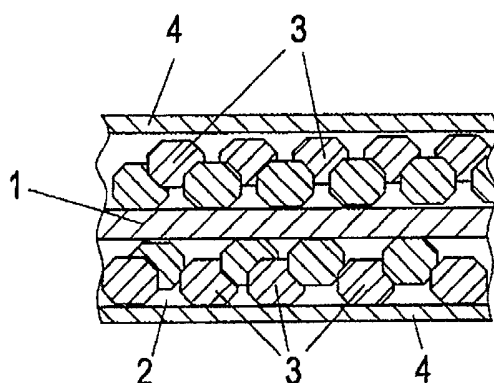


FIG. 1

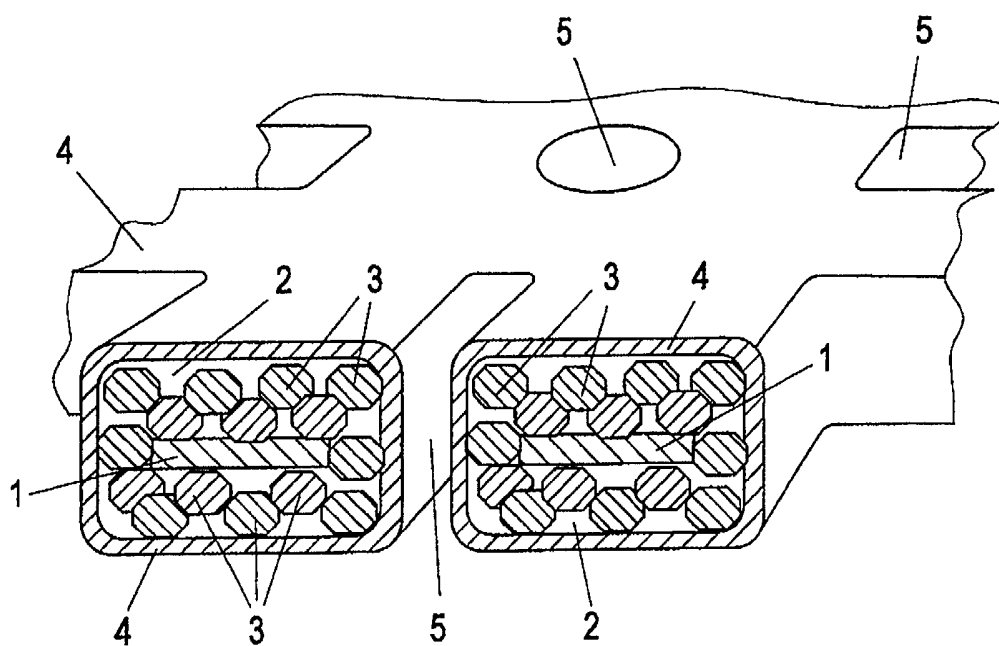


FIG. 2