



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 11 2006 002 140 T5** 2008.09.11

(12)

Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2007/021679**
in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2006 002 140.0**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2006/030866**
(86) PCT-Anmeldetag: **08.08.2006**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **22.02.2007**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **11.09.2008**

(51) Int Cl.⁸: **H01M 8/02** (2006.01)
B05D 5/12 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
60/707,691 **12.08.2005** **US**

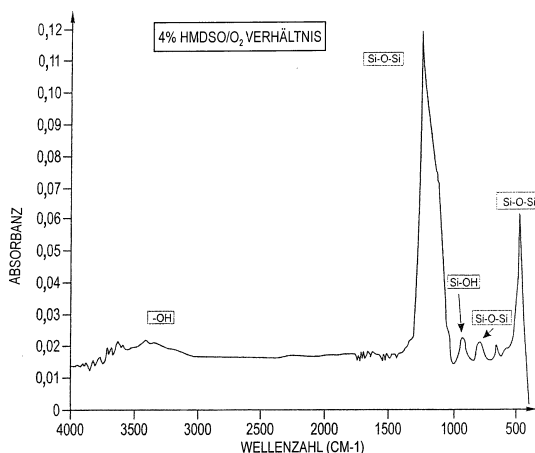
(71) Anmelder:
**GM Global Technology Operations, Inc., Detroit,
Mich., US**

(74) Vertreter:
**Manitz, Finsterwald & Partner GbR, 80336
München**

(72) Erfinder:
**Winter, Gerhard, Erlanger, Ky., US; Vyas, Gayatri,
Rochester Hills, Mich., US; Trabold, Thomas A.,
Pittsford, N.Y., US; Datta, Reena L., Rochester,
N.Y., US**

(54) Bezeichnung: **Hydrophile Beschichtung für Brennstoffzellen-Bipolarplatte und Verfahren zur Herstellung derselben**

(57) Hauptanspruch: Erzeugnis umfassend:
eine Brennstoffzellenkomponente mit einem Substrat und
einer über dem Substrat liegenden ersten Beschichtung,
wobei die Beschichtung eine Verbindung mit mindestens
einer Si-O-Gruppe, mindestens einer polaren Gruppe und
mindestens einer gesättigten oder ungesättigten Kohlen-
stoffkette enthaltenden Gruppe umfasst.



FTIR-SPEKTRUM DER HYDROPHILEN BESCHICHTUNG MIT
NIEDRIGEM VERHÄLTNIS VON VORLÄUFER- ZU TRÄGERGASSTROM

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Offenbarung betrifft allgemein Brennstoffzellenkomponenten wie zum Beispiel Bipolarplatten mit einer hydrophilen Beschichtung darauf sowie Verfahren zur Herstellung derselben.

Hintergrund

[0002] Wasserstoff ist ein sehr interessanter Brennstoff, da er sauber ist und zum effizienten Erzeugen von elektrischem Strom in einer Brennstoffzelle verwendet werden kann. Die Automobilindustrie wendet erhebliche Ressourcen bei der Entwicklung von Wasserstoff-Brennstoffzellen als Antriebsquelle für Fahrzeuge auf. Solche Fahrzeuge wären effizienter und würden weniger Emissionen erzeugen als heutige Fahrzeuge, die Verbrennungsmotoren nutzen.

[0003] Eine Wasserstoff-Brennstoffzelle ist eine elektrochemische Vorrichtung, die eine Anode und eine Kathode mit einem Elektrolyt dazwischen aufweist. Die Anode erhält wasserstoffreiches Gas oder einen Wasserstoff und die Kathode erhält Sauerstoff oder Luft. Das Wasserstoffgas wird in der Anode aufgespalten, um freie Protonen und Elektronen zu erzeugen. Die Protonen bewegen sich durch den Elektrolyten zur Kathode. Die Protonen reagieren mit dem Sauerstoff und den Elektronen in der Kathode, um Wasser zu erzeugen. Die Elektronen von der Anode können nicht den Elektrolyten passieren und werden daher zum Erbringen von Arbeit durch eine Last geleitet, bevor sie zur Kathode zurückgeleitet werden. Die Arbeit kann zum Beispiel zum Betreiben eines Fahrzeugs genutzt werden.

[0004] Protonenaustauschmembran-Brennstoffzellen (PEMFC, vom engl. Proton Exchange Membrane Fuel Cells) sind bei Fahrzeuganwendungen gängig. Die PEMFC umfasst im Allgemeinen eine Protonen leitende Festpolymerelektrolytmembran, beispielsweise eine Perfluorsulfonsäure-Membran. Die Anode und Kathode umfassen üblicherweise fein verteilte katalytische Partikel, für gewöhnlich Platin (Pt), die von Kohlenstoffpartikeln getragen werden und mit einem Ionomer gemischt sind. Die katalytische Mischung ist auf gegenüberliegenden Seiten der Membran aufgebracht. Die Kombination aus der katalytischen Mischung der Anode, der katalytischen Mischung der Kathode und der Membran bildet eine Membranelektrodeneinheit (MEA, vom engl. Membrane Electrode Assembly). MEAs sind in der Herstellung verhältnismäßig teuer und erfordern für effektiven Betrieb bestimmte Bedingungen. Diese Bedingungen schließen ein geeignetes Wassermanagement und Befeuchtung sowie Steuerung der Katalysator vergiftenden Bestandteile, wie zum Beispiel Kohlenmonoxid (CO) ein.

[0005] In einem Brennstoffzellen-Stapel werden zum Erzeugen der Sollleistung üblicherweise mehrere Brennstoffzellen kombiniert. Bei dem vorstehend erwähnten Brennstoffzellen-Stapel für ein Kraftfahrzeug kann der Stapel etwa zweihundert oder mehr Bipolarplatten enthalten. Der Brennstoffzellen-Stapel erhält ein Kathodenreaktantgas, üblicherweise einen mittels eines Verdichters durch den Stapel zwangsweise geleiteten Luftstrom. Von dem Stapel wird nicht der gesamte Sauerstoff aufgebraucht, und ein Teil der Luft wird als Kathodenabgas ausgestoßen, das flüssiges Wasser als Stapelnebenprodukt enthalten kann. Der Brennstoffzellen-Stapel erhält auch ein Anoden-Wasserstoffreaktantgas, das in die Anodenseite des Stapels strömt.

[0006] Der Brennstoffzellen-Stapel enthält eine Reihe von Strömungsfeld- oder Bipolarplatten, die zwischen den mehreren MEAs in dem Stapel positioniert sind. Die Bipolarplatten umfassen eine Anodenseite und eine Kathodenseite für benachbarte Brennstoffzellen im Stapel. An der Anodenseite der Bipolarplatten sind Anodengasströmungskanäle vorgesehen, die das Anodengas zu der Anodenseite der MEA strömen lassen. Kathodengasströmungskanäle sind an der Kathodenseite der Bipolarplatten vorgesehen, die das Kathodengas zu der Kathodenseite der MEA strömen lassen. Die Bipolarplatten können ebenfalls Strömungskanäle für ein Kühlmittel umfassen.

[0007] Die Bipolarplatten bestehen üblicherweise aus einem leitenden Material, wie zum Beispiel Edelstahl, Titan, Aluminium, Polymerkohlenstoff-Verbundstoffen etc., so dass sie den von den Brennstoffzellen erzeugten elektrischen Strom von einer Zelle zur nächsten Zelle und aus dem Stapel heraus leiten. Bipolarplatten aus Metall erzeugen üblicherweise ein natürliches Oxid an ihrer Außenfläche, das sie korrosionsbeständig macht. Diese Oxidschicht ist aber nicht leitend und erhöht somit den Innenwiderstand der Brennstoffzelle, was ihre elektrische Leistung mindert. Zudem macht die Oxidschicht die Platten häufig hydrophober.

[0008] Die der Anmelderin dieser Anmeldung abgetretene U.S.-Patentanmeldungsveröffentlichung Nr. 2003/0228512 sowie die hierin durch Erwähnung übernommene Offenbarung offenbart ein Verfahren zum Abscheiden einer leitenden Außenschicht auf einer Strömungsfeldplatte, die ein Oxidieren der Platte und das Ansteigen ihres ohmschen Kontakts verhindert. Das ebenfalls der Anmelderin dieser Anmeldung übertragene U.S.-Patent Nr. 6 372 376 offenbart das Abscheiden einer elektrisch leitenden, oxidationsbeständigen und säurebeständigen Beschichtung auf einer Strömungsfeldplatte. Die ebenfalls der Anmelderin dieser Anmeldung übertragene U.S.-Patentanmeldungsveröffentlichung Nr. 2004/009 1768 offenbart das Abscheiden einer Beschichtung aus Graphit und Ruß auf einer Strö-

mungsfeldplatte, um die Strömungsfeldplatte korrosionsbeständig, elektrisch leitend und wärmeleitend zu machen.

[0009] Wie auf dem Gebiet bekannt ist, müssen die Membranen in einer Brennstoffzelle eine gewisse relative Luftfeuchtigkeit aufweisen, damit der Innenwiderstand über der Membran zum effektiven Leiten von Protonen niedrig genug ist. Während des Betriebs der Brennstoffzelle können Feuchtigkeit von den MEAs und äußere Befeuchtung in die Anoden- und Kathodenströmungskanäle eindringen. Bei niedrigen Zellenleistungsforderungen, üblicherweise unter $0,2 \text{ A/cm}^2$, sammelt sich Wasser in den Strömungskanälen, da die Strömungsgeschwindigkeit des Reaktantgases zu gering ist, um das Wasser aus den Kanälen heraus zu drücken. Wenn sich das Wasser sammelt, bildet es Tropfen, die sich aufgrund der hydrophoben Natur des Plattenmaterials weiter ausdehnen. Der Kontaktwinkel der Wassertropfen liegt allgemein bei etwa 90° , da sich die Tropfen in den Strömungskanälen im Wesentlichen senkrecht zum Strömen des Reaktantgases bilden. Wenn die Größe der Tropfen zunimmt, wird der Strömungskanal verschlossen, und das Reaktantgas wird zu anderen Strömungskanälen umgeleitet, da die Kanäle zwischen gemeinsamen Eintritt- und Austritt-Verteilerrohren parallel verlaufen. Da das Reaktantgas nicht durch einen Kanal strömen kann, der durch Wasser abgesperrt ist, kann das Reaktantgas nicht das Wasser aus dem Kanal heraus drücken. Diejenigen Bereiche der Membran, die infolge des Absperrens des Kanals kein Reaktantgas erhalten, erzeugen keinen elektrischen Strom, was somit zu einer nicht homogenen Verteilung elektrischen Stroms führt und den Gesamtwirkungsgrad der Brennstoffzelle mindert. Wenn immer mehr Strömungskanäle durch Wasser versperrt werden, wird der von der Brennstoffzelle erzeugte elektrische Strom weniger, wobei ein Spannungspotential der Zelle unter 200 mV als Zellenausfall betrachtet wird. Da die Brennstoffzellen elektrisch in Reihe geschaltet sind, arbeitet eventuell der gesamte Brennstoffzellen-Stapel nicht mehr weiter, wenn eine der Brennstoffzellen zu arbeiten aufhört.

[0010] Für gewöhnlich ist es möglich, durch regelmäßiges Fördern des Reaktantgases durch die Strömungskanäle bei einer höheren Strömungsgeschwindigkeit das gesammelte Wasser in den Strömungskanälen abzuführen. Dies erhöht aber an der Kathodenseite die an dem Luftverdichter angelegte parasitäre Energie, wodurch der Gesamtwirkungsgrad des Systems verringert wird. Zudem gibt es viele Gründe, den Wasserstoffbrennstoff nicht als Spülgas zu verwenden, darunter geringere Wirtschaftlichkeit, verminderter Wirkungsgrad des Systems und größere Systemkomplexität beim Behandeln erhöhter Wasserstoffkonzentrationen in dem Abgasstrom.

[0011] Das Verringern von gesammeltem Wasser in

den Kanälen kann auch durch Verringern der Eintrittbefeuchtung verwirklicht werden. Es ist aber wünschenswert, in den Anoden- und Kathodenreaktantgasen eine gewisse relative Feuchtigkeit vorzusehen, damit die Membran in den Brennstoffzellen wasserhaltig bleibt. Ein trockenes Einlassgas hat eine trocknende Wirkung auf die Membran, die den Ionenwiderstand der Zelle anheben und die Langzeithaltbarkeit der Membran begrenzen könnte.

[0012] Von den vorliegenden Erfindern wurde vorgeschlagen, Bipolarplatten für eine Brennstoffzelle hydrophil zu machen, um den Wassertransport des Kanals zu verbessern. Eine hydrophile Platte bewirkt in einem als spontane Benetzung bezeichneten Verfahren ein Ausbreiten von Wasser in den Kanälen entlang der Oberfläche. Der sich ergebende dünne Film weist eine geringere Neigung zur Änderung der Strömungsverteilung entlang der Anordnung von Kanälen auf, die mit dem gemeinsamen Eintritts- und Austrittssammler verbunden sind. Wenn das Material der Platte eine ausreichend hohe Oberflächenenergie aufweist, kommt das durch die Diffusionsmedien beförderte Wasser mit den Kanalwänden in Kontakt und wird dann durch Kapillarkraft in die unteren Ecken des Kanals entlang dessen Länge befördert. Die physikalischen Anforderungen zum Unterstützen einer spontanen Benetzung in den Ecken eines Strömungskanals werden durch die Concus-Finn-Bedingung $\beta + \alpha/2 < 90^\circ$ beschrieben, wobei β der zwischen einer Flüssigkeitsoberfläche und einer Festkörperoberfläche ausgebildete statische Kontaktwinkel ist und α der Winkel der Kanalecke ist. Bei einem rechteckigen Kanal gibt $\alpha/2 = 45^\circ$ vor, dass spontane Benetzung erfolgt, wenn der statische Kontaktwinkel kleiner als 45° ist. Bei den in derzeitigen Konstruktionen von Brennstoff-Stapeln mit Verbund-Bipolarplatten verwendeten in etwa rechteckigen Kanälen legt dies einen ungefähren oberen Grenzwert des Kontaktwinkels fest, der zum Verwirklichen der vorteilhaften Wirkungen der hydrophilen Plattenoberflächen auf die Wasserbeförderung des Kanals und geringe Belastungsstabilität fest.

Zusammenfassung beispielhafter Ausführungsformen der Erfindung

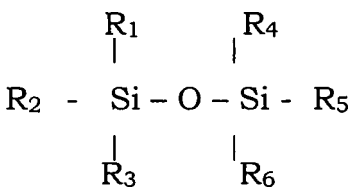
[0013] Eine Ausführungsform der Erfindung umfasst ein Erzeugnis, welches eine Brennstoffzellenkomponente mit einem Substrat und eine über dem Substrat liegende erste Beschichtung umfasst, wobei die Beschichtung eine Verbindung umfasst, die mindestens eine Si-O-Gruppe, mindestens eine polare Gruppe und mindestens eine Gruppe mit einer gesättigten oder ungesättigten Kohlenstoffkette umfasst.

[0014] Eine andere Ausführungsform der Erfindung umfasst ein Erzeugnis, welches eine Brennstoffzellenkomponente mit einem Substrat und eine über dem Substrat liegende erste Beschichtung umfasst,

wobei die Beschichtung eine Verbindung umfasst, die mindestens eine Si-O-Gruppe und eine Si-R-Gruppe umfasst, wobei R eine gesättigte oder ungesättigte Kohlenstoffkette enthält und wobei das Molverhältnis von Si-R-Gruppen zu Si-O-Gruppen von 1/8 bis 1/2 reicht.

[0015] Eine andere Ausführungsform der Erfindung umfasst ein durch sein Herstellungsverfahren definiertes Erzeugnis (ein so genanntes Product-By-Process), welches umfasst: Aufbringen einer Beschichtung auf eine Brennstoffzellenkomponente mit Hilfe eines plasmaunterstützten chemischen Abscheidungsverfahrens, das ein Siloxan umfassendes Vorläufergas und weiterhin ein zweites Gas umfasst.

[0016] Eine andere Ausführungsform der Erfindung umfasst ein durch sein Herstellungsverfahren definiertes Erzeugnis (ein so genanntes Product-By-Process), welches umfasst: Aufbringen einer Beschichtung auf eine Brennstoffzellenkomponente mit Hilfe eines plasmaunterstützten chemischen Abscheidungsverfahrens, das ein Siloxan umfassendes Vorläufergas und weiterhin ein zweites Gas umfasst, wobei die Vorläufergase ein Material mit der Formel



umfassen, wobei R₁, R₂, R₃, R₄, R₅ und R₆ jeweils H, O, Cl oder eine gesättigte oder ungesättigte Kohlenstoffkette sein können und wobei R₁, R₂, R₃, R₄, R₅ und R₆ gleich oder unterschiedlich sein können.

[0017] Eine andere Ausführungsform schließt ein Verfahren ein, welches umfasst: Ausbilden einer ersten Beschichtung auf einer Brennstoffzellenkomponente, wobei die Beschichtung eine Verbindung mit mindestens einer Si-O-Gruppe und mit mindestens einer gesättigten oder ungesättigten Kohlenstoffkette enthaltenden Gruppe umfasst.

[0018] Eine andere Ausführungsform umfasst ein Verfahren, welches umfasst: Ausbilden einer ersten Beschichtung auf einer Brennstoffzellenkomponente, wobei die Brennstoffzellenkomponente ein Substrat umfasst und wobei die erste Beschichtung über dem Substrat liegt, die erste Beschichtung eine Verbindung mit mindestens einer Si-O-Gruppe und einer Si-R-Gruppe umfasst, wobei R eine gesättigte oder ungesättigte Kohlenstoffkette enthält und wobei das Molverhältnis von Si-R-Gruppen zu Si-O-Gruppen von 1/8 bis 1/2 reicht.

[0019] Andere beispielhafte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung gehen aus der hierin nachstehend folgenden eingehenden Beschreibung her-

vor. Es versteht sich, dass die eingehende Beschreibung und die spezifischen Beispiele zwar beispielhafte Ausführungsformen der Erfindung offenbaren, aber lediglich für veranschaulichende Zwecke gedacht sind und den Schutzzumfang der Erfindung nicht beschränken sollen.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0020] Anhand der eingehenden Beschreibung und der Begleitzeichnungen werden beispielhafte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung verständlicher, wobei:

[0021] [Fig. 1](#) eine Kurvendarstellung des Ergebnisses der Fourier-Transformations-Infrarotspektren einer Beschichtung ist, die nach einer erfindungsgemäßen Ausführungsform unter Verwendung eines Gasverhältnisses von Vorläufer- zu Trägergas von 4 Prozent in einem plasmaunterstützten chemischen Abscheidungsverfahren erzeugt wurde.

[0022] [Fig. 2](#) eine Kurvendarstellung des Ergebnisses der Fourier-Transformations-Infrarotspektren einer Beschichtung ist, die nach einer erfindungsgemäßen Ausführungsform unter Verwendung eines Gasverhältnisses von Vorläufer- zu Trägergas von 8 Prozent in einem plasmaunterstützten chemischen Abscheidungsverfahren erzeugt wurde.

[0023] [Fig. 3](#) eine Kurvendarstellung des Ergebnisses der Fourier-Transformations-Infrarotspektren einer Beschichtung ist, die nach einer erfindungsgemäßen Ausführungsform unter Verwendung eines Gasverhältnisses von Vorläufer- zu Trägergas von 12 Prozent in einem plasmaunterstützten chemischen Abscheidungsverfahren erzeugt wurde.

[0024] [Fig. 4](#) ein Mikrofoto einer Beschichtung nach einer erfindungsgemäßen Ausführungsform zeigt, wobei die Beschichtung porös ist und Nanopartikel mit einer Knollenform zeigt.

[0025] [Fig. 5](#) eine Querschnittansicht einer Brennstoffzelle in einem Brennstoffstapel ist, der Bipolarplatten mit Beschichtung zum hydrophilen Auslegen der Platte gemäß einer erfindungsgemäßen Ausführungsform enthält.

[0026] [Fig. 6](#) eine gebrochene Querschnittansicht einer Bipolarplatte für eine Brennstoffzelle mit einer Beschichtung nach einer anderen erfindungsgemäßen Ausführung ist, die von durch offene Bereiche getrennte Inseln festgelegt wird.

[0027] [Fig. 7](#) eine gebrochene Querschnittansicht einer Bipolarplatte für eine Brennstoffzelle mit einer Beschichtung nach einer anderen Ausführungsform der Erfindung ist, wobei die Beschichtung an den Stegen zwischen den Strömungskanälen in der Platte

entfernt wurde.

[0028] **Fig. 8** eine gebrochene Querschnittansicht einer Bipolarplatte für eine Brennstoffzelle ist, wobei eine Beschichtung nach einer Ausführungsform der Erfindung über einer anderen Beschichtung, die sich auf der Bipolarplatte befindet, abgeschieden ist.

[0029] **Fig. 9** eine Ausführungsform der Erfindung zeigt, die ein Verfahren mit zunächst selektivem Ausbilden einer Maske über den Stegen einer Bipolarplatte und danach Abscheiden einer Beschichtung über der die Maske aufweisenden Bipolarplatte umfasst.

[0030] **Fig. 10** eine Ausführungsform der Erfindung zeigt, die ein Verfahren umfasst, bei dem die Maske über den Stegen entfernt wird, um die Beschichtung nur über dem Kanal der Bipolarplatte liegend zu belassen.

[0031] **Fig. 11** eine Ausführung der Erfindung zeigt, die ein Verfahren umfasst, das zunächst ein Abscheiden einer Silizium enthaltenden Beschichtung über der Bipolarplatte, dann selektives Ausbilden einer Maske über den Kanälen einer Bipolarplatte umfasst, und anschließend wird die Beschichtung über den Stegen der Bipolarplatte weggeätzt.

[0032] **Fig. 12** eine Draufsicht auf ein System zum Abscheiden der verschiedenen Schichten auf die Bipolarplatten der Erfindung ist; und

[0033] **Fig. 13** eine Ausführungsform eines Reaktionsraums für plasmaunterstütztes chemisches Gasphasenabscheiden zeigt, der in verschiedenen Ausführungsformen der Erfindung verwendbar ist.

Eingehende Beschreibung beispielhafter Ausführungen

[0034] Die folgende Beschreibung einer Ausführung bzw. von Ausführungen ist lediglich beispielhafter Natur und soll in keiner Weise die Erfindung, ihre Anwendung oder Verwendungszwecke beschränken.

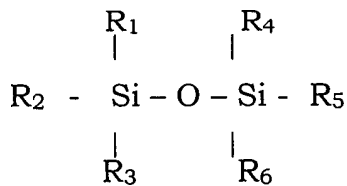
[0035] Eine Ausführungsform der Erfindung umfasst eine Brennstoffzellenkomponente mit einem Substrat, einschließlich aber nicht ausschließlich eine Bipolarplatte mit einer Beschichtung darauf. In einer Ausführungsform ist die Beschichtung hydrophil und umfasst mindestens eine Si-O-Gruppe, mindestens eine polare Gruppe und mindestens eine Gruppe mit einer gesättigten oder ungesättigten Kohlenstoffkette. In einer Ausführungsform der Erfindung kann die polare Gruppe ein Hydroxyl oder Chlorid enthalten. In einer Ausführungsform der Erfindung kann die Kohlenstoffkette gesättigt oder ungesättigt sein und kann zwischen 1 bis 4 Kohlenstoffatome aufweisen. Die Beschichtung kann Additionselemen-

te oder Additionsverbindungen aufweisen, einschließlich zum Beispiel Au, Ag, Ru, Rh, Pd, Re, Os, Ir, Pt, Seltenerdmetalle, Legierungen derselben, Polymer-Kohlenstoff oder Graphit zur Verbesserung der Leitfähigkeit.

[0036] In einer Ausführungsform der Erfindung enthält die Beschichtung eine Si-O-Gruppe und eine Si-R-Gruppe, wobei R eine gesättigte oder ungesättigte Kohlenstoffkette umfasst und wobei das Molverhältnis von Si-R-Gruppen zu Si-O-Gruppen von 1/8 bis 1/2, bevorzugt von 1/4 bis 1/2 reicht. In einer anderen Ausführungsform der Erfindung enthält die Beschichtung weiterhin Hydroxyl-Gruppen zur Verbesserung der Hydrophilie der Beschichtung.

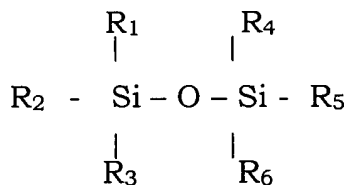
[0037] Eine andere Ausführungsform der Erfindung umfasst eine Brennstoffzellenkomponente, die eine Komponente mit einer Beschichtung darauf aufweist, und wobei die Beschichtung aus Siloxan gewonnen wird. Das Siloxan kann linear, verzweigt oder zyklisch sein. In einer Ausführungsform hat das Siloxan die Formel R_2SiO , wobei R eine Alkylgruppe ist.

[0038] Eine andere Ausführungsform der Erfindung umfasst eine Brennstoffzellenkomponente, die eine Komponente mit einer Beschichtung darauf aufweist, und wobei die Beschichtung aus einem Material mit der Formel



gewonnen wird, wobei R1, R2, R3, R4, R5 und R6 jeweils H, O, Cl oder eine gesättigte oder ungesättigte Kohlenstoffkette mit 1 bis 4 Kohlenstoffatomen sein kann und wobei R1, R2, R3, R4, R5 und R6 gleich oder unterschiedlich sein können.

[0039] Eine andere Ausführungsform der Erfindung umfasst ein Erzeugnis mit einer Brennstoffzellenkomponente, die eine darauf ausgebildete Beschichtung aufweist, und wobei die Beschichtung durch ein Verfahren gebildet wird, das plasmaunterstützte chemische Gasphasenabscheidung der Beschichtung aus einem ein Material mit der Formel



umfassenden Vorläufergas umfasst, wobei R1, R2, R3, R4, R5 und R6 jeweils H, O, Cl oder eine gesättigte oder ungesättigte Kohlenstoffkette mit 1 bis 4 Kohlenstoffatomen sein kann und wobei R1, R2, R3,

R4, R5 und R6 gleich oder unterschiedlich sein können, und das weiterhin das Behandeln der durch plasmaunterstütztes chemisches Abscheiden abgedehnten Beschichtung zum Vorsehen von polaren Gruppen umfasst. In einer anderen Ausführungsform der Erfindung ist mindestens eines von R1, R2, R3, R4, R5 oder R6 eine Kohlenstoffkette mit mindestens einem Kohlenstoffatom.

[0040] Eine andere Ausführungsform der Erfindung umfasst das Nachbehandeln der durch plasmaunterstütztes chemisches Abscheiden abgedehnten Beschichtung, welches das Einwirken eines Sauerstoff umfassenden Plasmas auf die durch plasmaunterstützte CVD (kurz für chemische Gasphasenabscheidung, vom engl. Chemical Vapour Deposition) abgedehnte Beschichtung zum Erzeugen von Hydroxylgruppen in der durch plasmaunterstützte CVD abgedehnten Beschichtung umfasst.

[0041] Eine andere Ausführungsform der Erfindung umfasst eine Brennstoffzellenkomponente mit einer Beschichtung darauf, wobei die Beschichtung Nanopartikel mit einer von 1 bis 100 Nanometer, bevorzugt von 1–50 und am bevorzugtesten von 1–10 Nanometer reichenden Größe enthält, und wobei die Nanopartikel eine Verbindung umfassen, die Silizium, eine gesättigte oder ungesättigte Kohlenstoffkette und eine polare Gruppe umfasst.

[0042] Eine andere Ausführungsform der Erfindung umfasst eine Brennstoffzellenkomponente mit einer Beschichtung darauf, wobei die Beschichtung Nanopartikel mit einer von 1 bis 100 Nanometer, bevorzugt von 1–50 und am bevorzugtesten von 1–10 Nanometer reichenden Größe enthält, und wobei die Nanopartikel eine Verbindung umfassen, die Silizium, eine gesättigte oder ungesättigte Kohlenstoffkette und eine polare Gruppe umfasst.

[0043] Eine andere Ausführungsform der Erfindung umfasst eine Brennstoffzelle mit einer Bipolarplatte mit einer hydrophilen Beschichtung darauf und einem angrenzend an die Bipolarplatte angeordneten Diffusionsmedium. Die hydrophile Beschichtung umfasst knollenförmige Nanopartikel, und die Beschichtung ist porös genug, damit sich Fasern aus einem angrenzend an die Beschichtung auf der Bipolarplatte angeordneten Diffusionsmedium durch die Beschichtung erstrecken, um von der Bipolarplatte zu dem Diffusionsmedium einen elektrischen Weg durch die Beschichtung vorzusehen.

[0044] In einer Ausführungsform der Erfindung ist die Beschichtung ein siloxanartiges Material (SiO_x), das durch einen dreistufigen Prozess aufgebracht wird, der die Adhäsion an dem Plattenmaterial sowie die Hydrophilie des Materials durch Einbringen von Hydroxylgruppen (d. h. Si-OH-Bindungen) verbessert. Das Fourier-Transformations-Infrarotspektrum

(FTIR) des optimierten Materials wird in [Fig. 1](#) gezeigt, wobei die zentralen funktionellen Bindungen kenntlich gemacht sind. Ein Regulieren des Verhältnisses von Vorläufer- und Trägergasströmen ermöglicht eine Steuerung des Si-CH₃-Gehalts, wie in [Fig. 1](#) als „Schulter“ auf der linken Seite der Si-O-Si-Hauptspitze gezeigt wird. Dieser Aspekt der chemischen Struktur steuert die sich ergebende Morphologie der Beschichtung, wobei die bevorzugte Formulierung mit einem Volumenstrom des Vorläufergases Hexamethyldisiloxan (HMDSO) von 8–10% des Stroms des Trägergases (Sauerstoff) erreicht wird. Die mikroskopische Struktur der Beschichtung, die in [Fig. 4](#) in einem Rasterelektronenmikroskopbild (SEM, vom engl. Scanning Electron Microscope) veranschaulicht wird, ist ziemlich diskontinuierlich und besteht aus ausgeprägten Knollen. Diese poröse Struktur ermöglicht ein Eindringen der Fasern des Gasdiffusionsmediums (mittlerer Durchmesser der Fasern in etwa 7 µm) durch die Beschichtung, so dass ein enger Kontakt mit dem unteren Material der Bipolarplatte hergestellt werden kann. Der durch die hydrophile Beschichtung eingebrachte zusätzliche Widerstand beträgt etwa 10 mΩ cm², wurde erreicht. Diese bevorzugte Materialformulierung wurde bei in einem Stapel mehr als 1.000 Stunden lang betriebenen Bipolarplatten verwendet. Messungen der aus einer der Platten nach 534 Betriebsstunden erhaltenen Beschichtungsdicke zeigten, dass der Materialverlust in den Kathodenkanälen, in denen sich bekanntermaßen der Großteil des Erzeugniswassers befindet, das bekanntermaßen den stärksten Einfluss auf die Stabilität der elektrischen Spannung des Stapels bei niedriger Last hat, unter 20% lag. Es wurde nachgewiesen, dass dieser Materialverlust bis zu null Beschichtungsdicke mehr als 5.000 Stunden Brennstoffzellenbetrieb überdauert hat.

[0045] Eine hydrophile Beschichtung kann auch an der Anodenseite der Bipolarplatten erforderlich sein, da ein Sammeln von Wasser an der Anode bekanntermaßen unter manchen Bedingungen die Betriebsstabilität beeinflusst und der Verdacht besteht, dass es sich durch Wasserstoffmangel auf die Haltbarkeit von Elektrode und Membran auswirkt. Es wird aber erwartet, dass die Geschwindigkeit der Auflösung der Beschichtung infolge höherer HF-Konzentration an der Anodenseite schneller als an der Kathodenseite ist. Daher kann die Anodenbeschichtung dicker als die Kathodenbeschichtung sein, um Haltbarkeit bis zum Ende der Lebensdauer der Brennstoffzelle zu erreichen. In einer Ausführungsform der Erfindung ist die mittlere Dicke der Anodenbeschichtung in etwa 15% größer als die mittlere Dicke der Kathodenbeschichtung. Auch wenn die Bedingungen des plasmaunterstützten CVD während des gesamten Beschichtungsverfahrens konstant gehalten wurden, ist die Anodenbeschichtung aufgrund weniger Kanäle in dem aktiven Bereich, was den Flächeninhalt der gesamten Platte verringert, naturgemäß dicker. Eine

postmortale visuelle Prüfung von hydrophil beschichteten Platten ließ erkennen, dass der Verlust an Si-Ox-Material an der Anodenseite am signifikantesten war, insbesondere in der Nähe der 90°-Biegungen stromaufwärts des Anoden-Austrittssammlers. Daher wäre die bevorzugte Anodenbeschichtung (d. h. mittlere Dicke) um mehr als 15% dicker als die Kathodenbeschichtung (d. h. mittlere Dicke), was wahrscheinlich eine Anpassung der CVD-Beschichtungsparameter erfordern würde.

[0046] Zum Entfernen von organischen Verunreinigungen, die infolge des Plattenherstellungsverfahrens oder der Handhabung zwischen den Plattenherstellungs- und Beschichtungsverfahren auf dem Grundplattenmaterial vorhanden sind, ist ein Vorbehandlungsverfahren erforderlich. Ferner sollte der Vorbehandlungsablauf so gewählt werden, dass sich zur Verbesserung der Effektivität des anschließenden Abscheidungsverfahrens polare Gruppen an dem Grundplattenmaterial anlagern. Das Vorbehandlungsverfahren schließt das Einwirken einer durch Mikrowellen erzeugten Sauerstoffplasma-Umgebung über 0 bis 5 Minuten, bevorzugt 0,5 bis 3 Minuten und am bevorzugtesten 1 Minute ein.

[0047] In einer Ausführungsform der Erfindung ist das Vorläufergas bevorzugt Hexamethyldisiloxan (HMDSO), kann aber aus anorganischen oder organischen Derivaten aus Siloxanen, Silanolen oder auf Silanen basierender Chemie oder anderen kohlenstoff- und/oder siliziumhaltigen Gasen und/oder Flüssigkeiten gewählt werden. In einer Ausführungsform der Erfindung schließt das Beschichtungsverfahren mikrowellenplasmaunterstützte chemische Gasphasenabscheidung (CVD) unter Verwendung eines Hexamethyldisiloxan(HMDSO)-Vorläufers und reinen Sauerstoffs als Trägergas ein, was eine siloxanartige (SiO_x) Beschichtung ergibt. Die Mikrowellenfrequenz kann bei 2,45 GHz festgelegt werden. Die Verfahrenstemperatur kann verhältnismäßig niedrig festgelegt werden, in dem Bereich von Umgebungstemperatur bis zu 45°C, so dass jedes zweckmäßige Bipolarplattenmaterial ohne Bedenken im Hinblick auf thermische Schädigung oder Verziehung beschichtet werden kann. Das tatsächliche Aufbringen des hydrophilen Beschichtungsmaterials und dessen sich ergebende chemische und physikalische Struktur wird durch die sechs einstellbaren Verfahrensparameter gesteuert, die mit der Beschichtungsanlage in Verbindung stehen, in diesem Fall der PLASMAtech Modell 110: betrieben bei einem Druck von 0 bis 500 Pa, bevorzugt von 10 bis 100 Pa und am bevorzugtesten von 30 Pa, bei einer Mikrowellenleistung von 50 W bis 10 kW, bevorzugt 100 W bis 1 kW und am bevorzugtesten 200 bis 300 W bei einem CVD-Reaktor mit einem Volumen von 110 Litern. Das Vorläufergas ist bevorzugt Hexamethyldisiloxan (HMDSO), kann aber wie vorstehend beschrieben aus anorganischen oder organischen Derivaten aus Siloxanen, Silanolen oder

auf Silanen basierender Chemie oder anderen kohlenstoff- und/oder siliziumhaltigen Gasen und/oder Flüssigkeiten gewählt werden. Das Trägergas ist bevorzugt Sauerstoff, kann aber mindestens eines von Stickstoff, Distickstoffoxid, Argon, Argonsauerstoff oder deren Gemischen oder Gemischen mit anderen Gasen in geeigneten Verhältnissen einschließen.

[0048] Das Verhältnis des Volumenstroms von Vorläufer- zu Trägergas hat eine signifikante Wirkung auf die sich ergebende chemische Struktur und Morphologie der aufgetragenen Schicht. Im Allgemeinen führt insbesondere bei einem siloxanhaltigen Vorläufer ein kleines Verhältnis von Vorläufer zu Träger zu einer dichteren Beschichtung, die dem chemischen Aufbau von reinem SiO_2 nahe kommt. Wenn dieses Verhältnis größer wird, nimmt der organische Anteil der Beschichtung zu, was sehr wahrscheinlich die Hydrophilie mindert (d. h. den statischen Kontaktwinkel vergrößert), aber auch die Porosität des Beschichtungsaufbaus verstärkt. Für die Anwendung in einer Brennstoffzelle ist es die Ausgewogenheit dieser Eigenschaften, die zum Erreichen des geforderten Kontaktwinkels ausschlaggebend ist, während auch der zusätzliche elektrische Widerstand minimiert wird.

[0049] Die Änderung des chemischen Aufbaus der SiO_x -Beschichtung mit Veränderung des Verhältnisses von Vorläufer- zu Trägergas lässt sich durch Änderungen verstehen, die in den in [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#) gezeigten Fourier-Transformations-Infrarotspektren (FTIR) beobachtet werden. In [Fig. 1](#) kommt die Beschichtung bei einem Gasverhältnis von 4–5% der Struktur von reinem Quarz nahe, ohne offenkundigen Si- CH_3 -Gehalt. Wird der Vorläuferstrom auf 8–10% des Trägerstroms gesteigert, taucht auf der linken Seite der Si-O-Si-Spitze eine kleine „Schulter“-Spitze auf, die einen verhältnismäßig niedrigen Si- CH_3 -Anteil darstellt ([Fig. 2](#)). Wird das Gasverhältnis weiter auf etwa 12–15% angehoben, steigt der Si- CH_3 -Anteil eindeutig noch stärker an ([Fig. 3](#)). Es wurde ermittelt, dass von diesen drei Gasstromkombinationen das Verhältnis von 8–10% die bevorzugte Eigenschaft sowohl eines sehr geringen statischen Kontaktwinkels ($< 10^\circ$) als auch – dank der diskontinuierlichen physikalischen Struktur – eines zusätzlichen elektrischen Widerstands von nur etwa 10 m Ω cm² bot.

[0050] In einer Ausführungsform der Erfindung beträgt das Verhältnis von Vorläufer- zu Trägerstrom 2 bis 16%, bevorzugt 4 bis 12% und am bevorzugtesten 8 bis 10%.

[0051] Die absoluten Gasgeschwindigkeiten sind Funktionen des gesamten Reaktorvolumens. Bei dem zum Erzeugen der hierin beschriebenen Bipolarplatten-Beschichtungen verwendeten PLASMAtech Modell 110 sind die Gasströmungsbereiche (un-

ter der Annahme eines Gasströmungsverhältnisses von 8 bis 10%, wie vorstehend erläutert) wie folgt: geeignete Bereiche: Vorläufer = 2–50 ml/min; Träger = 20–625 ml/min, bevorzugt: Vorläufer = 10–30 ml/min, Träger = 100–375 ml/min und am bevorzugtesten: Vorläufer = 15–20 ml/min, Träger = 150–250 ml/min.

[0052] Die Reaktorzeit bestimmt die Dicke der aufgebrachten Schicht, kann sich aber auch auf die Beschichtungsmorphologie auswirken. Die Zeit kann so gewählt werden, dass eine Beschichtung erzeugt wird, die dick genug ist, um der Geschwindigkeit der Materialauflösung in dem verdünnten HF-Umfeld innerhalb der Brennstoffzelle bis zum Ende der Lebensdauer zu entsprechen. Umgekehrt sollte die Beschichtung bei der bevorzugten diskontinuierlichen Morphologie dünn genug sein, um den zusätzlichen elektrischen Widerstand zu minimieren. Diese Kombination aus Beschichtungseigenschaften wurde unter Verwendung einer Reaktorzeit von 4 Minuten pro Seite der Bipolarplatten optimiert, um eine Beschichtung mit einer mittleren Dicke von 80–100 nm zu erzeugen. In [Fig. 4](#) wird eine rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der bevorzugten Beschichtung gezeigt.

[0053] Wenn das Werkstück, auf dem die Beschichtung aufzubringen ist, in erster Linie eben ist, kann durch Verwenden eines Plasmas stationären Zustands eine räumlich gleichmäßige Beschichtungsdicke erreicht werden. Wenn sich aber Merkmale auf dem Werkstück befinden, die verschiedene Abstände von der Plasmaquelle haben, wie im Fall der Bipolarplattenkanäle, wird erwartet, dass eine Abweichung der Plasmadichte und somit der sich ergebenden Beschichtungsdicke eintritt. In einer Ausführungsform der Erfindung beträgt bei einem Mikrowellenplasma stationären Zustands die Beschichtungsdicke im Boden der Kanäle (Tiefe = 290 µm; Seitenverhältnis von Breite zu Tiefe = 1,9) etwa 60% der Beschichtungsdicke auf den Stegen. Diese Schwankung der Beschichtungsdicke zwischen Stegen und Kanal kann durch Verwenden von Mikrosekunden- bis Nanosekunden-Impulsen der Plasmaenergieversorgung weiter verbessert werden. Wenn das Seitenverhältnis des Kanals und/oder die absolute Tiefe kleiner wird (wie derzeit für künftige Stapelgestaltungen erwogen wird), würde ferner die Ungleichmäßigkeit der Beschichtungsdicke noch signifikanter werden. Diese Beschichtungsschwankungen können durch Verwenden von Mikro- bis Nanosekunden-Impulsen der Plasmaenergieversorgung vermieden werden.

[0054] Es kann ein Nachbehandlungsverfahren zum Einbringen von polaren funktionellen Anteilen (vorrangig Hydroxylgruppen) an die SiO_x-Basisstruktur erforderlich sein, wodurch die Hydrophilie des Materials weiter verbessert wird. In einer Ausführungsform der Erfindung erfolgt dies dadurch, dass die Si-

Ox-Schichten einem reaktiven Sauerstoffplasma ausgesetzt werden, das die SiO_x-Beschichtung durch Aufbrechen organischer Bindungen und Bilden von funktionellen Hydroxyl-, Carboxyl- und Aldehyd-Gruppen aktivieren würde. Diese Aktivierung durch Nachbehandlung verbessert auch die Materialporosität, was den elektrischen Widerstand weiter senken kann. In einer anderen Ausführungsform wird die Beschichtung mit einer Chemikalie reagiert, um die polaren Gruppen zu bilden. In einer anderen Ausführungsform werden die polaren Gruppen durch Aufbringen einer dünnen Schicht einer hydrophilen Beschichtung eingebracht.

[0055] In einer Ausführungsform der Erfindung schließt das Nachbehandlungsverfahren die Einwirkung einer mikrowellenerzeugten Sauerstoffplasmaumgebung über 0 bis 5 Minuten, bevorzugt 0,5 bis 3 Minuten und am bevorzugtesten 1,5 Minuten ein.

[0056] [Fig. 5](#) ist eine Querschnittansicht einer Brennstoffzelle **10**, die Teil eines Brennstoffzellenstapels der vorstehend erläuterten Art ist. Die Brennstoffzelle **10** umfasst eine Kathodenseite **12** und eine Anodenseite **14**, die durch eine Elektrolytmembran **16** getrennt sind. An der Kathodenseite **12** ist eine kathodenseitige Diffusionsmediumschicht **20** vorgesehen, und zwischen der Membran **16** und der Diffusionsmediumschicht **20** ist eine kathodenseitige Katalysatorschicht **22** vorgesehen. Analog ist an der Anodenseite **14** eine anodenseitige Diffusionsmediumschicht **24** vorgesehen, und zwischen der Membran **16** und der Diffusionsmediumschicht **24** ist eine anodenseitige Katalysatorschicht **26** vorgesehen. Die Katalysatorschichten **22** und **26** sowie die Membran **16** bilden eine Membranelektrodeneneinheit (MEA, vom engl. Membrane Electrode Assembly). Die Diffusionsmedienschichten **20** und **24** sind poröse Schichten, die Eingangsgastransport zur und Wassertransport von der MEA vorsehen. Auf dem Gebiet sind verschiedene Techniken zum Abscheiden der Katalysatorschichten **22** und **26** auf den Diffusionsmedienschichten **20** bzw. **24** oder auf der Membran **16** bekannt. Die Brennstoffzelle **10** kann zusätzliche Schichten und/oder Beschichtungen umfassen, einschließlich aber nicht ausschließlich mikroporöse Schichten.

[0057] Eine kathodenseitige Strömungsfeldplatte oder Bipolarplatte **18** ist an der Kathodenseite **12** vorgesehen, und eine anodenseitige Strömungsfeldplatte oder Bipolarplatte **30** ist an der Anodenseite **14** vorgesehen. Die Bipolarplatten **18** und **30** sind zwischen den Brennstoffzellen in dem Brennstoffzellenstapel vorgesehen. Ein Wasserstoffreaktantgasstrom von den Strömungskanälen **28** in der Bipolarplatte **30** reagiert mit der Katalysatorschicht **26**, um die Wasserstoffionen und die Elektronen aufzuspalten.

[0058] Luftstrom von den Strömungskanälen **32** in

der Bipolarplatte **18** reagiert mit der Katalysatorschicht **22**. Die Wasserstoffionen können sich durch die Membran **16** ausbreiten, wo sie mit dem Sauerstoff in dem Luftstrom und den Rückkehrelektronen in der Katalysatorschicht **22** elektrochemisch reagieren, um Wasser als Nebenprodukt zu erzeugen.

[0059] In dieser nicht einschränkenden Ausführungsform umfasst die Bipolarplatte **18** zwei Bleche **34** und **36**, die gestanzt und miteinander verschweißt sind. Das Blech **36** bildet die Strömungskanäle **32** und das Blech **34** bildet die Strömungskanäle **38** für die Anodenseite einer benachbarten Brennstoffzelle zur Brennstoffzelle **10**. Zwischen den Blechen **34** und **36** sind wie dargestellt Kühlmittel-Strömungskanäle **40** vorgesehen. Analog umfasst die Bipolarplatte **30** ein die Strömungskanäle **28** bildendes Blech **42**, ein die Strömungskanäle **46** für die Kathodenseite einer angrenzenden Brennstoffzelle und Kühlmittel-Strömungskanäle **48** bildendes Blech **44**. In der hierin erläuterten Ausführungsform bestehen die Bleche **34**, **36**, **42** und **44** aus einem elektrisch leitenden Material, beispielsweise aus Edelstahl, Titan, Aluminium, Polymerkohlenstoff-Verbundstoffen etc.

[0060] Nach einer Ausführungsform der Erfindung umfassen die Bipolarplatten **18** und **30** eine Beschichtung **50**, die die Platten **18** und **30** hydrophil macht. Die Hydrophilie der Beschichtung **50** veranlasst das Wasser in den Strömungskanälen **28** und **32**, einen Film an Stelle von Wassertropfen zu bilden, so dass das Wasser die Strömungskanäle nicht wesentlich blockiert. Insbesondere verringert die Hydrophilie der Beschichtung **50** den Kontaktwinkel von Wasser, das sich in den Strömungskanälen **32**, **38**, **28** und **46** sammelt, bevorzugt auf unter 40° , so dass das Reaktantgas bei niedrigen Lasten immer noch durch die Kanäle **28** und **32** strömen kann. In einer Ausführungsform ist die Beschichtung **50** eine Dünnschicht, zum Beispiel in dem Bereich von 5 bis 50 nm, so dass die Leitfähigkeit der Bleche **34**, **36**, **42** und **44** immer noch ein wirksames Abführen von elektrischem Strom aus der Brennstoffzelle **10** ermöglicht.

[0061] Nach einer anderen Ausführungsform der Erfindung ist die Beschichtung **50** mit einem leitenden Material kombiniert, beispielsweise Rutheniumoxid oder Gold, das die Leitfähigkeit der Beschichtung **50** verbessert. Werden die Bipolarplatten **18** und **30** stärker leitend ausgelegt, werden der elektrische Kontaktwiderstand und die ohmschen Verluste in der Brennstoffzelle **10** verringert, wodurch der Zellenwirkungsgrad verbessert wird. Ferner kann eine Verringerung der Kompressionskraft im Stapel vorgesehen werden, was bestimmte Haltbarkeitsprobleme im Stapel löst.

[0062] Bevor die Beschichtung **50** auf die Bipolarplatten **18** und **30** abgeschieden wird, können die Bipolarplatten **18** und **30** durch ein geeignetes Verfah-

ren, beispielsweise Ionenstrahlspattern, gereinigt werden, um den Widerstandsoxidfilm an der Außenseite der Platten **18** und **30**, der sich gebildet haben kann, zu entfernen. Die Beschichtung **50** kann durch jedes geeignete Verfahren auf den Bipolarplatten **18** und **30** abgeschieden werden, einschließlich aber nicht ausschließlich physikalische Gasphasenabscheidungsverfahren, chemische Gasphasenabscheidungsverfahren (CVD), thermische Spritzverfahren, Sol-Gel, Spritzen, Eintauchen, Anstreichen, Aufschleudern oder Siebdrucken. Geeignete Beispiele für physikalische Gasphasenabscheidungsverfahren umfassen Elektronenstrahlverdampfung, Magnetron-Sputtern und gepulste Plasmaverfahren. Geeignete chemische Gasphasenabscheidungsverfahren umfassen plasmaunterstütztes CVD- und Atomschichtabscheidungsverfahren. CVD-Abscheidungsverfahren können für die Dünnschichten der Beschichtung **50** geeigneter sein.

[0063] [Fig. 6](#) ist eine gebrochene Querschnittansicht einer Bipolarplatte **60** mit Reaktantgaskanälen **62** und Stegen **64** dazwischen nach einer anderen Ausführungsform der Erfindung. Die Bipolarplatte **60** ist zum Ersetzen der Bipolarplatte **18** oder **30** in der Brennstoffzelle **10** verwendbar. In dieser Ausführungsform ist eine Beschichtung **50** als zufällige Inseln **68** auf der Platte **60** aufgebracht, so dass das leitende Material von Platte **60** zwischen den Inseln **68** an Bereichen **70** frei gelegt ist. Die Beschichtungsinseln **68** bieten die erwünschte Hydrophilie der Platte **60**, und die frei gelegten Bereiche **70** bieten die erwünschte Leitfähigkeit der Platte **60**. In dieser Ausführungsform können die Inseln **68** am besten durch ein physikalisches Gasphasenabscheidungsverfahren abgeschieden werden, beispielsweise Elektronenstrahlverdampfung, Magnetron-Sputtern und gepulste Plasmaverfahren. In einer Ausführungsform werden die Inseln **68** auf eine Dicke von 50 bis 100 nm abgeschieden.

[0064] [Fig. 7](#) ist eine gebrochene Querschnittansicht einer Bipolarplatte **72** mit Reaktantgaskanälen **74** und Stegen **76** dazwischen nach einer anderen Ausführungsform der Erfindung. In dieser Ausführungsform wird eine Beschichtung **78** auf der Bipolarplatte **72** abgeschieden. Die Beschichtung **78** wird dann über den Stegen **76** durch ein beliebiges geeignetes Verfahren wie Polieren oder Schleifen entfernt, um das leitende Material der Platte **72** an den Stegen **76** freizulegen. Daher umfassen die Strömungskanäle **74** die hydrophile Beschichtung, und die Stege **76** sind leitend, so dass elektrischer Strom aus einer Brennstoffzelle herausgeführt wird. In dieser Ausführungsform kann die Beschichtung **78** dicker als die vorstehend erläuterten Ausführungsformen abgeschieden werden, beispielsweise 100 nm bis $1\ \mu$, da die Platte **72** in den Kanälen **74** weniger leitend sein kann.

[0065] [Fig. 8](#) ist eine gebrochene Querschnittansicht einer Bipolarplatte **82** mit Reaktantgas-Strömungskanälen **74** und Stegen **76** nach einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. In dieser Ausführungsform weist die Bipolarplatte **82** eine elektrisch leitende Schutzschicht **52** darauf auf. Eine erfindungsgemäße Beschichtung **78** ist nur über den Kanälen **74** der Bipolarplatte **82** liegend vorgesehen.

[0066] [Fig. 9](#) zeigt eine erfindungsgemäße Ausführungsform eines Verfahrens, welches zunächst das selektive Ausbilden einer Maske **200** über den Stegen **76** einer Bipolarplatte **18** und danach das Abscheiden einer Beschichtung **50**, die Silizium umfassen kann, über der die Maske **200** umfassenden Bipolarplatte **18** umfasst. Die Maske **200** kann eine harte physikalische Maske, eine viskose Flüssigkeit oder gelartiges Material oder ein entfernbares Material wie Fotolack sein. Wie in [Fig. 10](#) gezeigt wird die Maske **200** über den Stegen **76** entfernt, um nur die über dem Kanal **74** der Bipolarplatte **18** liegende Beschichtung **50** zu belassen.

[0067] [Fig. 11](#) zeigt eine Ausführungsform der Erfindung, welche ein Verfahren umfasst, das zunächst das Abscheiden einer Silizium enthaltenden Beschichtung **50** über der die Stege **76** und die Kanäle **74** enthaltenden Bipolarplatte **18**, dann das selektive Ausbilden einer Maske **200**, beispielsweise eines Fotolacks oder eines wasserlöslichen Materials, über den Kanälen **74** einer Bipolarplatte umfasst, und danach wird die Beschichtung **50** über den Stegen **76** der Bipolarplatte weggeätzt. Das Ätzen kann unter Verwendung eines Nass- oder Trockenätzverfahrens verwirklicht werden, sofern das Ätzen nicht die Bipolarplatte **18** beschädigt. In einer Ausführungsform kann die Beschichtung **50** über den Stegen durch ein Argonplasma entfernt werden, und danach wird jeglicher verbleibender Teil der Maske entfernt.

[0068] [Fig. 12](#) ist eine Draufsicht auf ein System **100** zum Abscheiden der vorstehend erläuterten verschiedenen Schichten auf den Bipolarplatten. Das System **100** soll eine beliebige der vorstehend erwähnten Techniken verkörpern, einschließlich aber nicht ausschließlich Strahlen, physikalische Gasphasenabscheidungsverfahren, chemische Gasphasenabscheidungsverfahren, thermische Spritzverfahren und Sol-Gel. In dem System **100** erwärmt eine Elektronenkanone **102** ein Material **104**, was ein Verdampfen und Abscheiden des Materials **104** auf einem die Bipolarplatte darstellenden Substrat **106** bewirkt, um darauf eine Beschichtung **108** auszubilden. In einem anderen Verfahren umfasst das System **100** eine Ionenkanone **110**, die einen Ionenstrahl auf eine Zerstäubungsfläche **112** richtet, die Material wie zum Beispiel Metalloxid zum Abscheiden der Beschichtung **108** freisetzt. In einer anderen Ausführungsform kann die Beschichtung **50** durch Spritzen, Eintauchen, Anstreichen, Aufschleudern oder Siebdrucken

aufgebracht werden.

[0069] [Fig. 13](#) zeigt eine Ausführungsform eines Reaktors **400** für plasmaunterstützte chemische Gasphasenabscheidung, der in einem erfindungsgemäßen Verfahren verwendbar ist. Der Reaktor **400** umfasst mehrere Wände **402** und eine Decke **404**. Durch die Wände **402** oder Decke **404** können mehrere Gaseinfillöffnungen **406**, **408**, **410** zum Füllen von Reaktions- und Trägergasen in die Reaktorkammer **412** vorgesehen sein. Es kann auch eine Flüssigkeit einfüllende Ausgabevorrichtung **414** vorgesehen sein. Der Reaktor kann ein Mikrowellen erzeugendes Mittel **416** und ein Rf erzeugendes Mittel **418** zum Erzeugen eines Plasmas in der Reaktorkammer **412** umfassen. Zum Lagern einer Brennstoffzellenkomponente, wie beispielsweise einer Bipolarplatte, kann eine Spannvorrichtung **420** vorgesehen sein.

[0070] In einer anderen Ausführungsform der Erfindung wird eine Beschichtung mit Si-O- und Si-R-Gruppen (wobei R eine gesättigte oder ungesättigte Kohlenstoffkette ist) selektiv auf einem flachen Substrat wie beispielsweise einer Folie aus Edelstahl abgeschieden und danach zum Beispiel durch Stanzen zu einer Bipolarplatte mit einem Gasströmungsfeld ausgebildet, das mehrere Stege und Kanäle aufweist, wobei die Beschichtung in den Kanälen abgeschieden wird.

[0071] In einer anderen Ausführungsform der Erfindung kann eine Beschichtung mit Si-O- und Si-R-Gruppen (wobei R eine gesättigte oder ungesättigte Kohlenstoffkette ist) auf einem Substrat ausgebildet werden, das verschiedenen Chemien, einschließlich Si enthaltendes Material und Kohlenstoff enthaltende Materialien, verwendet. Die Beschichtung kann zum Beispiel unter Verwendung von plasmaunterstützter CVD mit Silan (SiH_4), Sauerstoff und einem Gas oder einer Flüssigkeit auf Kohlenstoffbasis erzeugt werden. In einer anderen Ausführungsform kann die Beschichtung unter Verwendung von plasmaunterstütztem CVD mit TEOS, was Tetraethylsiloxysilat oder Tetraethoxysilan ($\text{Si}(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_4$) ist, oder MTEOS, was Methyltriethoxysilan ist, und Sauerstoff oder Ozon und optional einem Gas oder einer Flüssigkeit auf Kohlenstoffbasis erzeugt werden.

[0072] Der Begriff „plasmaunterstützte chemische Gasphasenabscheidung“ bedeutet chemische Gasphasenabscheidung unter Verwendung eines Plasmas und schließt plasmaunterstützte CVD und Plasma-CVD hoher Dichte ein. Wenn die Begriffe „über“, „darüber liegend“, „liegt darüber“ oder dergleichen hierin unter Bezug auf die relative Position von Schichten zueinander verwendet werden, soll dieses bedeuten, dass die Schichten in direktem Kontakt miteinander sind oder dass eine andere Schicht bzw. andere Schichten zwischen den Schichten angeordnet sein können.

[0073] Die Beschreibung der Erfindung ist lediglich beispielhafter Natur, und somit sind Abänderungen derselben nicht als ein Abweichen vom Wesen und Schutzzumfang der Erfindung zu betrachten.

Zusammenfassung

Hydrophile Beschichtung für Brennstoffzellen-Bipolarplatte und Verfahren zur Herstellung derselben

[0074] Eine offenbarte Ausführungsform umfasst ein Erzeugnis, welches umfasst: eine Brennstoffzelle, welche ein Substrat und eine über dem Substrat liegende erste Beschichtung umfasst, wobei die Beschichtung eine Verbindung umfasst, welche mindestens eine Si-O-Gruppe, mindestens eine polare Gruppe und mindestens eine gesättigte oder ungesättigte Kohlenstoffkette enthaltende Gruppe umfasst.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 6372376 [\[0008\]](#)

Patentansprüche

1. Erzeugnis umfassend:
eine Brennstoffzellenkomponente mit einem Substrat und einer über dem Substrat liegenden ersten Beschichtung, wobei die Beschichtung eine Verbindung mit mindestens einer Si-O-Gruppe, mindestens einer polaren Gruppe und mindestens einer gesättigten oder ungesättigten Kohlenstoffkette enthaltenden Gruppe umfasst.
2. Erzeugnis nach Anspruch 1, wobei die polare Gruppe eine Hydroxyl-, Halogenid-, Carboxyl-, Keton- oder Aldehyd-Funktionsgruppe umfasst.
3. Erzeugnis nach Anspruch 1, wobei die Kohlenstoffkette zwischen 1 bis 4 Kohlenstoffatome aufweist.
4. Erzeugnis nach Anspruch 1, wobei die Beschichtung weiterhin ein elektrisch leitendes Material umfasst.
5. Erzeugnis nach Anspruch 4, wobei das elektrisch leitende Material mindestens eines von Au, Ag, Ru, Rh, Pd, Re, Os, Ir, Pt, Seltenerdmetallen, Legierungen derselben, Polymerkohlenstoff oder Graphit umfasst.
6. Erzeugnis nach Anspruch 1, wobei die Komponente eine Bipolarplatte umfasst.
7. Erzeugnis nach Anspruch 1, wobei das Substrat ein Metall umfasst.
8. Erzeugnis nach Anspruch 1, wobei das Substrat ein Polymerverbundmaterial umfasst.
9. Erzeugnis nach Anspruch 1, weiterhin umfassend:
eine ein elektrisch leitendes Material umfassende zweite Beschichtung und wobei die zweite Beschichtung über dem Substrat liegt und die erste Beschichtung über der zweiten Beschichtung liegt.
10. Erzeugnis nach Anspruch 1, wobei die Kohlenstoffkette linear, verzweigt oder zyklisch ist.
11. Erzeugnis umfassend:
eine Brennstoffzellenkomponente mit einem Substrat und einer über dem Substrat liegenden ersten Beschichtung, wobei die Beschichtung eine Verbindung mit mindestens einer Si-O-Gruppe und einer Si-R-Gruppe umfasst, wobei R eine gesättigte oder ungesättigte Kohlenstoffkette enthält und wobei das Molverhältnis von Si-R-Gruppen zu Si-O-Gruppen von 1/8 bis 1/2 reicht.
12. Erzeugnis nach Anspruch 11, wobei die Kohlenstoffkette 1 bis 4 Kohlenstoffatome aufweist.
13. Erzeugnis nach Anspruch 11, wobei die erste Beschichtung weiterhin polare Gruppen zum Verbessern der Hydrophilie der Beschichtung umfasst.
14. Erzeugnis nach Anspruch 13, wobei die polaren Gruppen eine Hydroxyl-, Halogenid-, Carboxyl-, Keton- oder Aldehyd-Funktionsgruppe umfassen.
15. Erzeugnis nach Anspruch 11, wobei die Beschichtung weiterhin ein elektrisch leitendes Material umfasst.
16. Erzeugnis nach Anspruch 15, wobei das elektrisch leitende Material mindestens eines von Au, Ag, Ru, Rh, Pd, Re, Os, Ir, Pt, Seltenerdmetallen, Legierungen derselben, Polymerkohlenstoff oder Graphit umfasst.
17. Erzeugnis nach Anspruch 11, wobei die Komponente eine Bipolarplatte umfasst.
18. Erzeugnis nach Anspruch 11, wobei das Substrat ein Metall umfasst.
19. Erzeugnis nach Anspruch 11, wobei das Substrat ein Polymerverbundmaterial umfasst.
20. Erzeugnis nach Anspruch 11, weiterhin umfassend:
eine ein elektrisch leitendes Material umfassende zweite Beschichtung und wobei die zweite Beschichtung über dem Substrat liegt und die erste Beschichtung über der zweiten Beschichtung liegt.
21. Erzeugnis nach Anspruch 11, wobei die Kohlenstoffkette linear, verzweigt oder zyklisch ist.
22. Durch sein Herstellverfahren definiertes Erzeugnis umfassend:
Aufbringen einer Beschichtung auf einer Brennstoffzellenkomponente unter Verwendung eines plasmaunterstützten chemischen Abscheidungsverfahrens, welches ein Siloxan umfassende Vorläufergase umfasst und weiterhin ein zweites Gas umfasst.
23. Durch sein Herstellverfahren definiertes Erzeugnis nach Anspruch 22, wobei das Siloxan die Formel R_2SiO hat.
24. Durch sein Herstellverfahren definiertes Erzeugnis nach Anspruch 24, wobei R eine Alkyl-Gruppe ist.
25. Durch sein Herstellverfahren definiertes Erzeugnis nach Anspruch 22, wobei R eine lineare, verzweigte oder zyklische Kohlenstoffkette ist.
26. Durch sein Herstellverfahren definiertes Erzeugnis nach Anspruch 22, wobei R eine gesättigte oder ungesättigte Kohlenstoffkette ist.

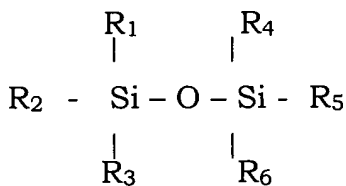
27. Durch sein Herstellverfahren definiertes Erzeugnis nach Anspruch 22, wobei das Siloxan Hexamethylsiloxan umfasst.

28. Durch sein Herstellverfahren definiertes Erzeugnis nach Anspruch 22, wobei das zweite Gas Sauerstoff umfasst.

29. Durch sein Herstellverfahren definiertes Erzeugnis nach Anspruch 22, wobei die Beschichtung eine Verbindung umfasst, und welches weiterhin das Behandeln der Beschichtung umfasst, um der Verbindung polare Gruppen hinzuzufügen.

30. Durch sein Herstellverfahren definiertes Erzeugnis nach Anspruch 29, wobei das Behandeln das Beaufschlagen der Beschichtung mit einem Sauerstoff enthaltenden Plasma umfasst.

31. Durch sein Herstellverfahren definiertes Erzeugnis umfassend:
Abscheiden einer Beschichtung auf einer Brennstoffzellenkomponente unter Verwendung eines plasmaunterstützten chemischen Abscheidungsverfahrens, welches ein Vorläufergas umfasst und weiterhin ein zweites Gas umfasst, wobei die Vorläufergase ein Material mit der Formel



umfassen, wobei R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , R_5 und R_6 jeweils H, O, Cl oder eine gesättigte oder ungesättigte Kohlenstoffkette sein können und wobei R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , R_5 und R_6 gleich oder unterschiedlich sein können.

32. Durch sein Herstellverfahren definiertes Erzeugnis nach Anspruch 31, wobei die Kohlenstoffkette 1 bis 4 Kohlenstoffatome aufweist.

33. Durch sein Herstellungsverfahren definiertes Erzeugnis nach Anspruch 31, welches weiterhin das Behandeln der Beschichtung zum Hinzufügen von polaren Gruppen umfasst.

34. Durch sein Herstellungsverfahren definiertes Erzeugnis nach Anspruch 33, wobei die polaren Gruppen eine Hydroxyl-, Halogenid-, Carboxyl-, Keton- oder Aldehyd-Funktionsgruppe umfassen.

35. Durch sein Herstellungsverfahren definiertes Erzeugnis nach Anspruch 31, welches weiterhin das Behandeln der Beschichtung zum Hinzufügen von Hydroxylgruppen umfasst, wobei die Beschichtung einem Sauerstoff enthaltenden Plasma ausgesetzt wird.

36. Erzeugnis umfassend:
eine Brennstoffzellenkomponente mit einer Beschichtung darauf, wobei die Beschichtung Nanopartikel mit einer von 1 bis 100 Nanometer reichenden Größe umfasst und wobei die Nanopartikel eine Verbindung umfassen, die eine Si-O-Gruppe, eine gesättigte oder ungesättigte Kohlenstoffkette und eine polare Gruppe umfasst.

37. Erzeugnis nach Anspruch 36, wobei die Nanopartikel eine Knollenform aufweisen.

38. Erzeugnis nach Anspruch 37, wobei die Beschichtung hinreichend porös ist, damit sich Fasern eines Diffusionsmediums durch diese erstrecken können.

39. Erzeugnis nach Anspruch 36, wobei die Komponente eine Bipolarplatte umfasst und weiterhin ein über der Beschichtung liegendes Diffusionsmedium umfasst und wobei das Diffusionsmedium Fasern umfasst und die Beschichtung porös ist und wobei sich mehrere der Fasern durch die Beschichtung erstrecken.

40. Verfahren umfassend:
Ausbilden einer ersten Beschichtung auf einer Brennstoffzellenkomponente, wobei die Beschichtung eine Verbindung mit mindestens einer Si-O-Gruppe und mindestens einer gesättigten oder ungesättigten Kohlenstoffkette enthaltenden Gruppe umfasst.

41. Verfahren nach Anspruch 40, wobei die Verbindung weiterhin Hydroxylgruppen umfasst.

42. Verfahren nach Anspruch 40 weiterhin umfassend:
Beaufschlagen der Beschichtung mit einem Sauerstoffionen enthaltenden Plasma.

43. Verfahren nach Anspruch 40, wobei das Ausbilden einer ersten Beschichtung auf einer Brennstoffzellenkomponente das Abscheiden eines dieser Verbindung umfassenden Materials umfasst und wobei das Abscheiden physikalische Gasphasenabscheidung, chemische Gasphasenabscheidung, thermisches Spritzen, Sol-Gel-Bilden, Spritzen, Eintauchen, Anstreichen, Aufschleudern oder Siebdrucken umfasst.

44. Verfahren nach Anspruch 40, wobei die erste Beschichtung weiterhin eine Hydroxyl-Gruppe oder Chlorid-Gruppe umfassende polare Gruppe umfasst.

45. Verfahren nach Anspruch 40, wobei die Kohlenstoffkette zwischen 1 bis 4 Kohlenstoffatome aufweist.

46. Verfahren nach Anspruch 40, wobei die erste Beschichtung weiterhin ein elektrisch leitendes Material umfasst.

47. Verfahren nach Anspruch 46, wobei das elektrisch leitende Material mindestens eines von Au, Ag, Ru, Rh, Pd, Re, Os, Ir, Pt, Seltenerdmetallen, Legierungen derselben, Polymerkohlenstoff oder Graphit umfasst.

48. Verfahren nach Anspruch 40, wobei die Komponente eine Bipolarplatte umfasst.

49. Verfahren nach Anspruch 40, wobei die Komponente ein Metall umfasst.

50. Verfahren nach Anspruch 40, wobei die Komponente ein Polymerverbundmaterial umfasst.

51. Verfahren nach Anspruch 40, wobei die Komponente ein Substrat umfasst, welches weiterhin eine ein elektrisch leitendes Material umfassende zweite Beschichtung umfasst und wobei die zweite Beschichtung über dem Substrat liegt und wobei die erste Beschichtung über der zweiten Beschichtung liegt.

52. Verfahren nach Anspruch 40, wobei die Kohlenstoffkette linear, verzweigt oder zyklisch ist.

53. Verfahren umfassend:
Ausbilden einer ersten Beschichtung auf einer Brennstoffzellenkomponente, wobei die Brennstoffzellenkomponente ein Substrat umfasst und wobei die erste Beschichtung über dem Substrat liegt, wobei die erste Beschichtung eine mindestens eine Si-O-Gruppe und eine Si-R-Gruppe umfassenden Verbindung umfasst, wobei R eine gesättigte oder ungesättigte Kohlenstoffkette enthält, und wobei das Molverhältnis von Si-R-Gruppen zu Si-O-Gruppen von 1/8 bis 1/2 reicht.

54. Verfahren nach Anspruch 53, wobei die Kohlenstoffkette 1 bis 4 Kohlenstoffatome aufweist.

55. Verfahren nach Anspruch 53, wobei die erste Beschichtung weiterhin polare Gruppen zum Verbessern der Hydrophilie der ersten Beschichtung umfasst.

56. Verfahren nach Anspruch 55, wobei die polaren Gruppen eine Hydroxyl-, Halogenid-, Carboxyl-, Keton- oder Aldehyd-Funktionsgruppe umfassen.

57. Verfahren nach Anspruch 53, wobei die Beschichtung weiterhin ein elektrisch leitendes Material umfasst.

58. Verfahren nach Anspruch 57, wobei das elektrisch leitende Material Au, Ag, Ru, Rh, Pd, Re, Os, Ir,

Pt, Seltenerdmetalle, Legierungen derselben, Polymerkohlenstoff oder Graphit umfasst.

59. Verfahren nach Anspruch 53, wobei die Komponente eine Bipolarplatte umfasst.

60. Verfahren nach Anspruch 53, wobei das Substrat ein Metall umfasst.

61. Verfahren nach Anspruch 53, wobei das Substrat ein Polymerverbundmaterial umfasst.

62. Verfahren nach Anspruch 53, weiterhin umfassend:
eine ein elektrisch leitendes Material umfassende zweite Beschichtung und wobei die zweite Beschichtung über dem Substrat liegt und die erste Beschichtung über der zweiten Beschichtung liegt.

63. Verfahren nach Anspruch 53, wobei die Kohlenstoffkette linear, verzweigt oder zyklisch ist.

64. Verfahren nach Anspruch 53, weiterhin umfassend:
Beaufschlagen der ersten Beschichtung mit einem Sauerstoff enthaltenden Plasma zum Hinzufügen von polaren Gruppen zu der Verbindung.

65. Verfahren nach Anspruch 53, wobei das Ausbilden einer ersten Beschichtung auf einer Brennstoffzellenkomponente das Abscheiden eines diese Verbindung umfassenden Materials umfasst und wobei das Abscheiden physikalische Gasphasenabscheidung, chemische Gasphasenabscheidung, thermisches Spritzen, Sol-Gel-Bildung, Spritzen, Eintauchen, Anstreichen, Aufschleudern oder Siebdrucken umfasst.

66. Verfahren umfassend:
Ausbilden einer ersten Beschichtung über einem flachen Substrat, wobei die erste Beschichtung eine mindestens eine Si-O-Gruppe und mindestens eine eine gesättigte oder ungesättigte Kohlenstoffkette enthaltende Gruppe umfasst;
Ausbilden eines Gasströmungsfelds in dem Substrat, wobei das Strömungsfeld mehrere Stege und Kanäle umfasst.

67. Verfahren nach Anspruch 66, wobei die erste Beschichtung nur über den Kanälen ist.

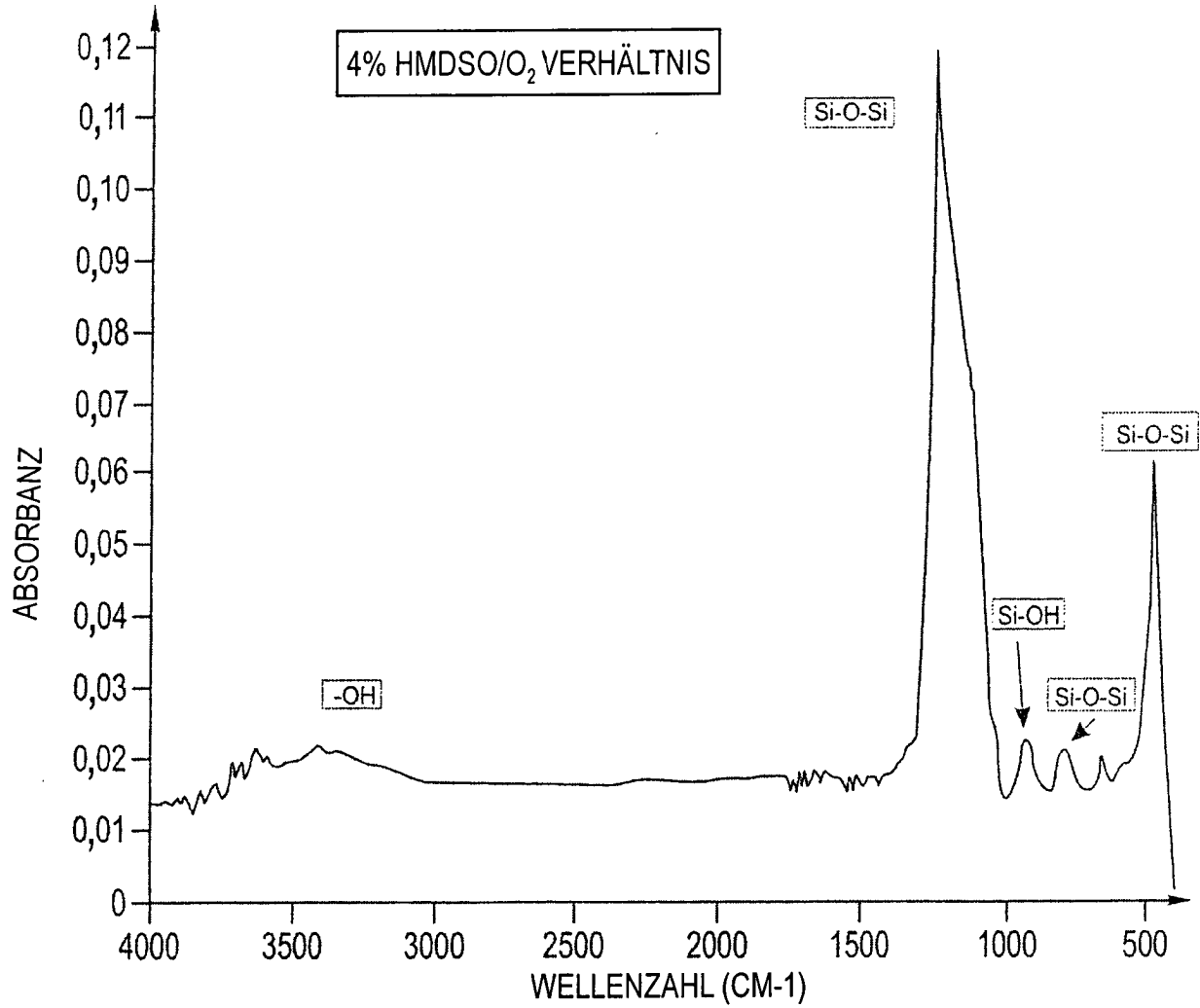
68. Verfahren nach Anspruch 66, weiterhin umfassend:
Nachbehandeln der Beschichtung zum Hinzufügen von polaren Gruppen vor Bilden des Gasströmungsfelds.

69. Erzeugnis nach Anspruch 1, wobei die Brennstoffzellenkomponente eine Bipolarplatte mit einer Anodenseite und einer Kathodenseite ist und wobei

sich die Beschichtung über der Anodenseite und der Kathodenseite befindet und wobei die mittlere Dicke der Anodenseite mindestens 15 Prozent als die mittlere Dicke der Beschichtung auf der Kathodenseite ist.

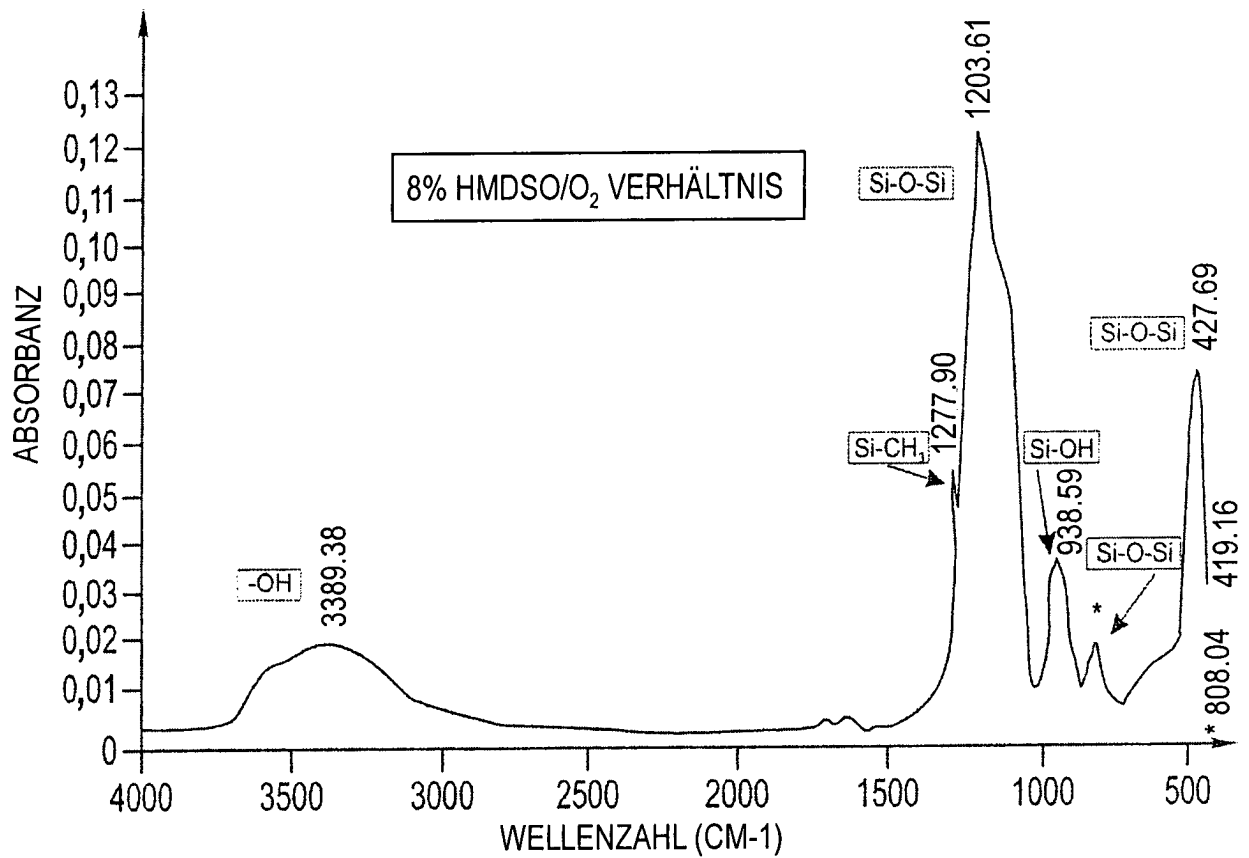
Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



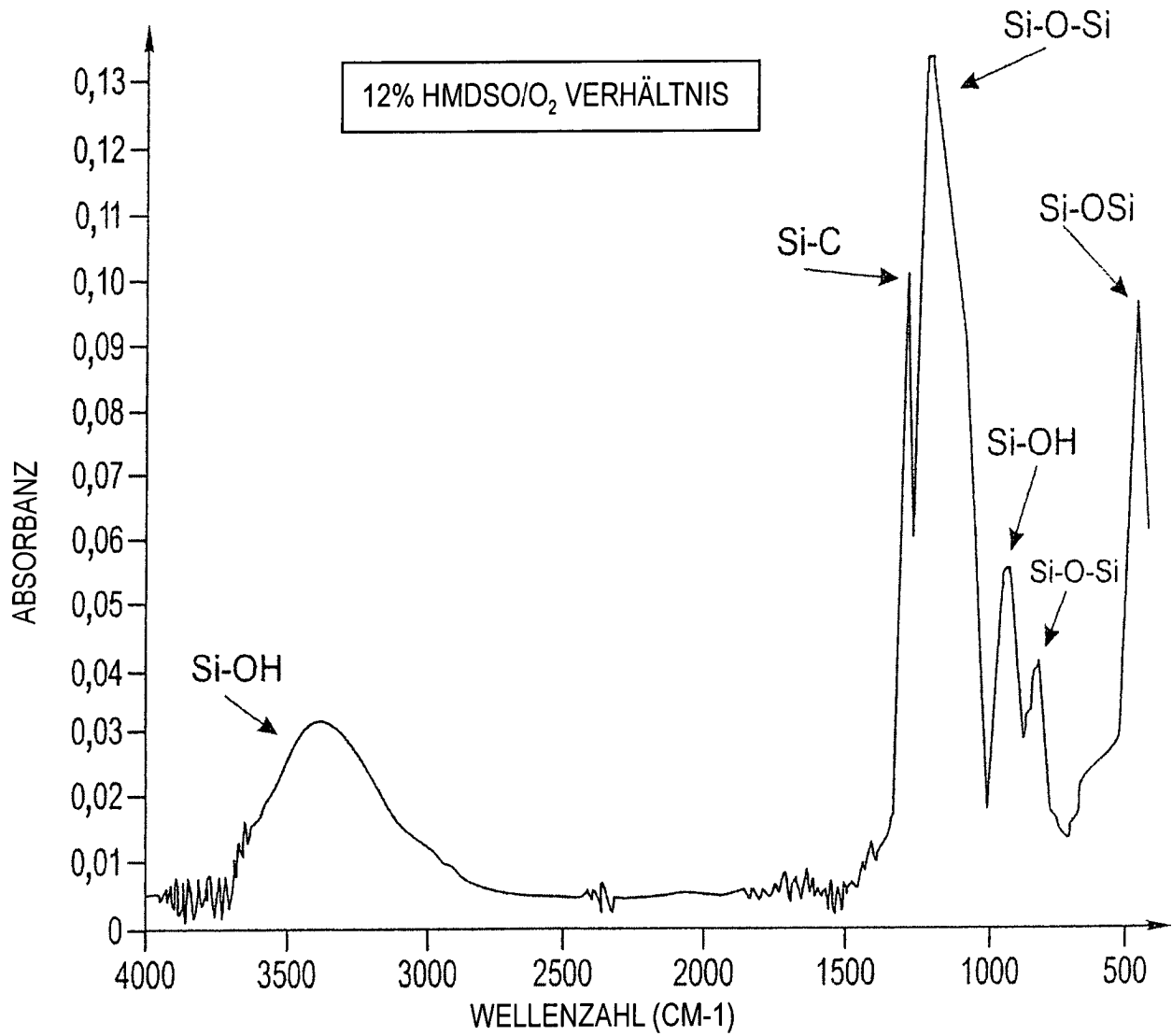
FTIR-SPEKTRUM DER HYDROPHILEN BESCHICHTUNG MIT NIEDRIGEM VERHÄLTNIS VON VORLÄUFER- ZU TRÄGERGASSTROM

FIG. 1



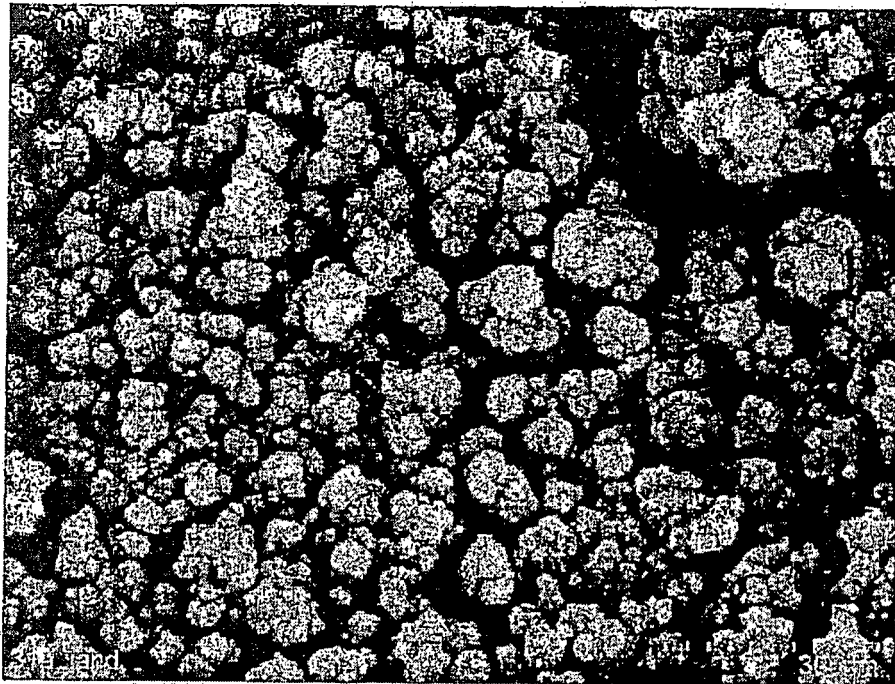
FTIR-SPEKTRUM DER HYDROPHILEN BESCHICHTUNG MIT MÄSSIGEM VERHÄLTNIS VON VORLÄUFER- ZU TRÄGERGASSTROM

FIG. 2



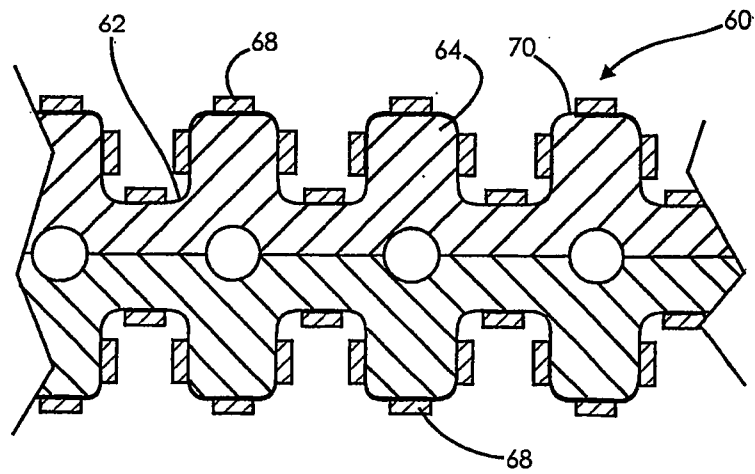
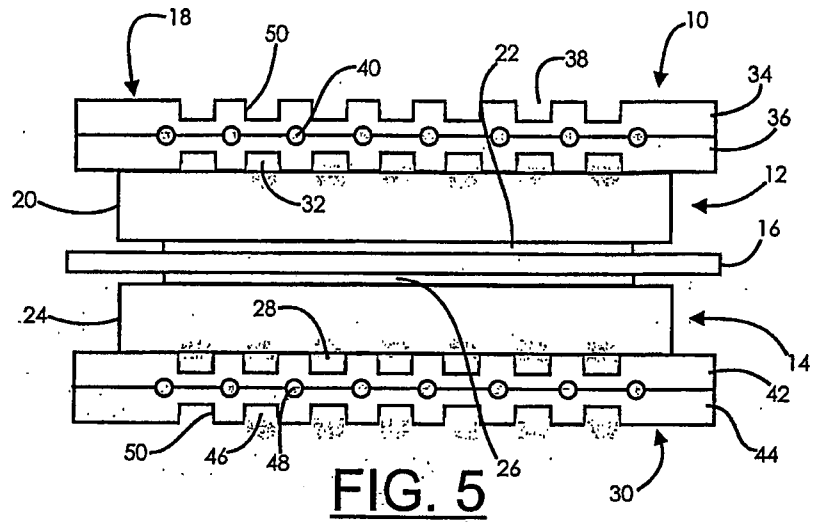
FTIR-SPEKTRUM DER HYDROPHILEN BESCHICHTUNG MIT HOHEM VERHÄLTNIS VON VORLÄUFER- ZU TRÄGERGASSTROM

FIG. 3



Mikroskopische poröse Struktur

FIG. 4



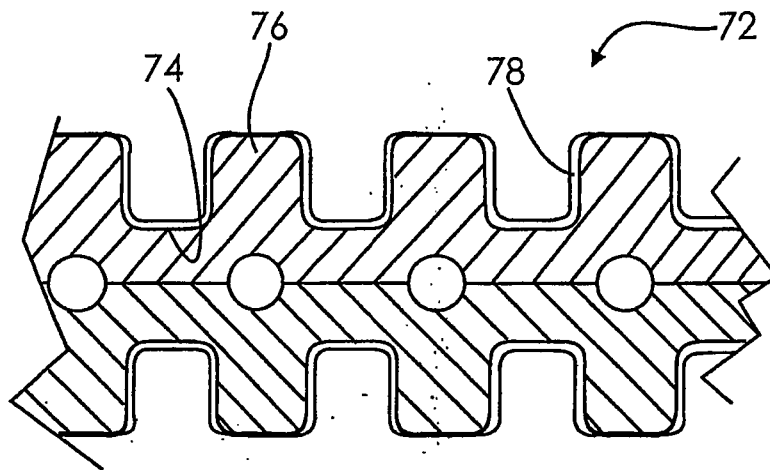


FIG. 7

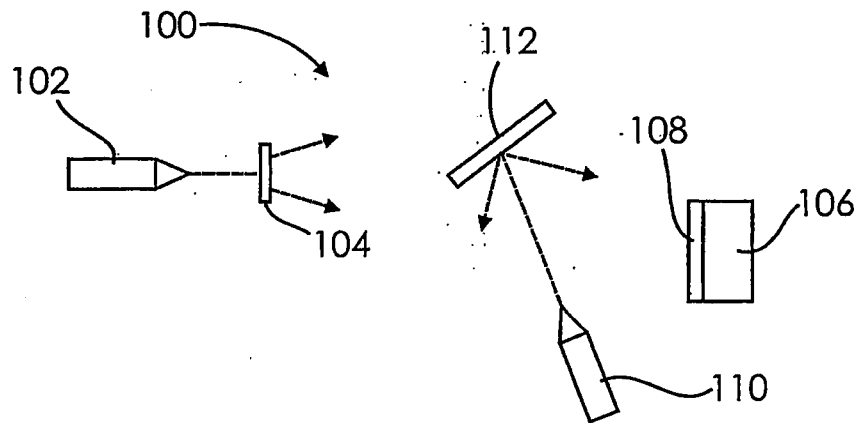


FIG. 12

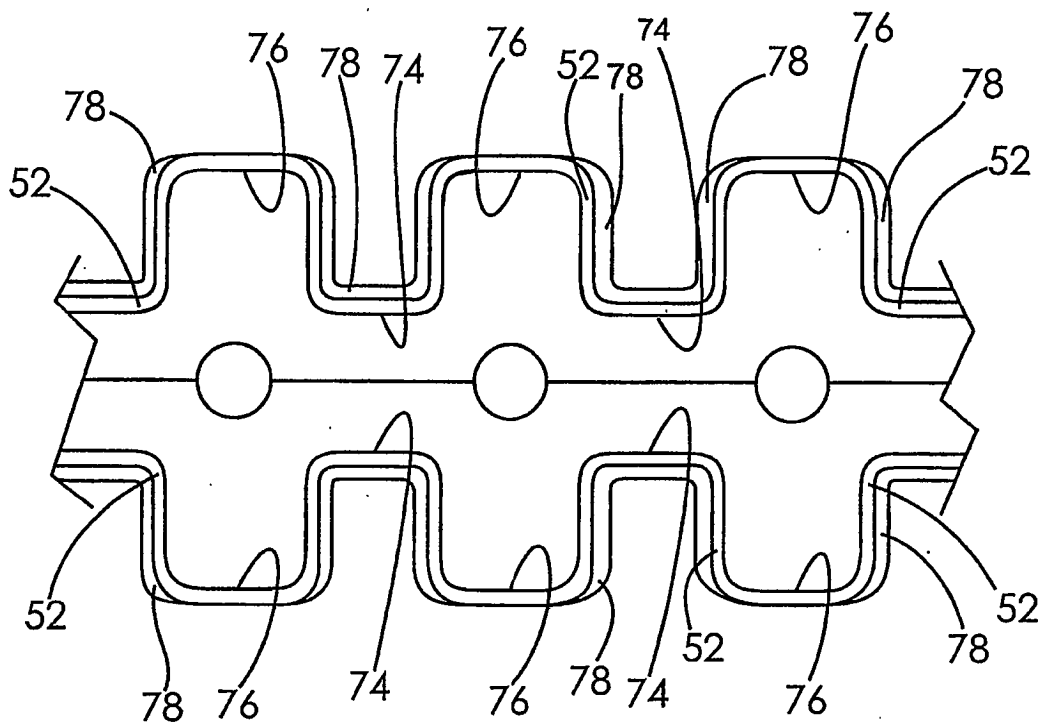


FIG. 8

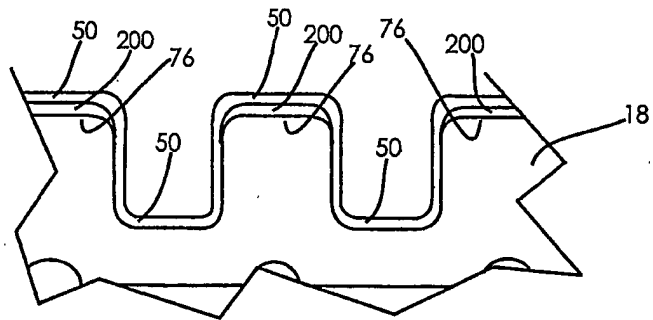


FIG. 9

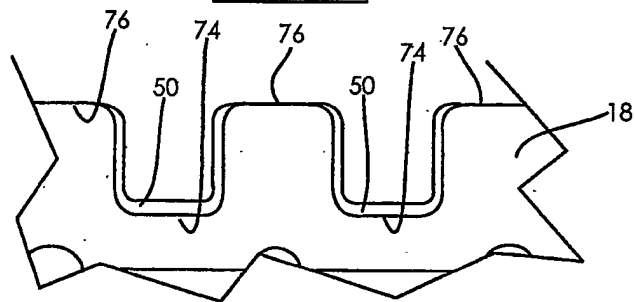


FIG. 10

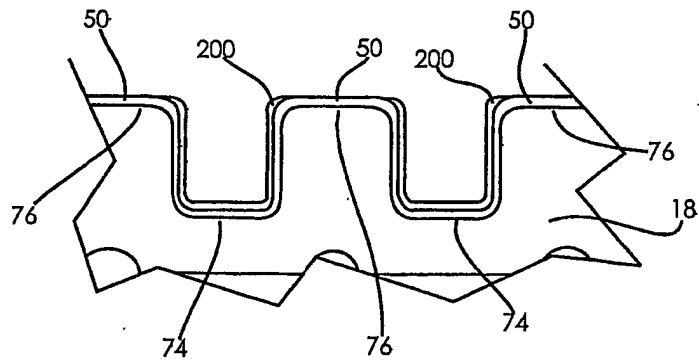


FIG. 11

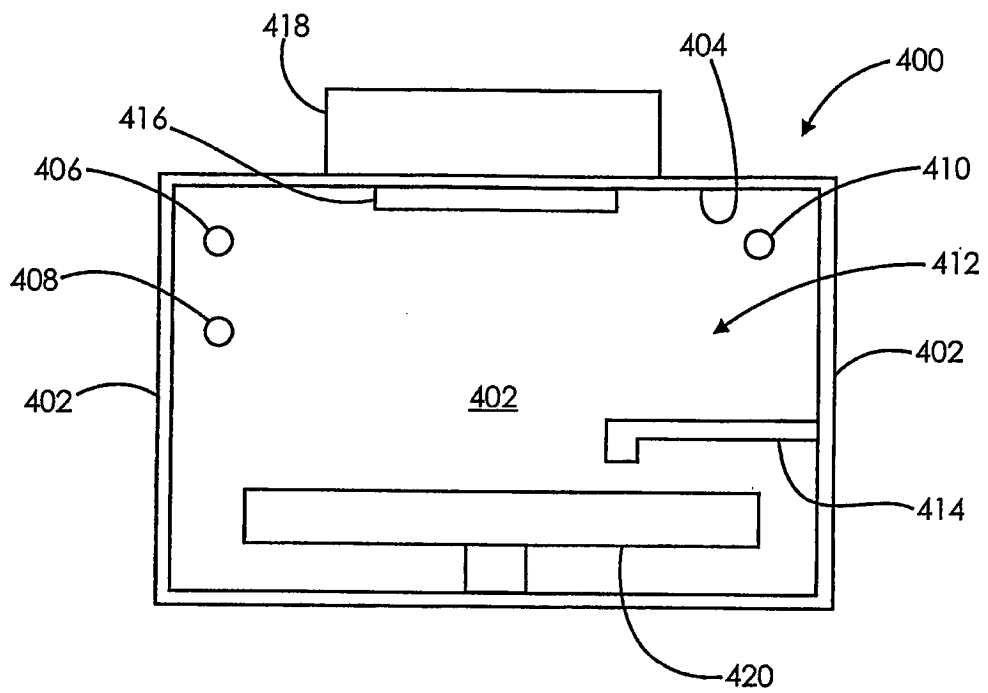


FIG. 13