



(10) **DE 103 56 653 B4** 2012.10.31

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **103 56 653.8**  
(22) Anmeldetag: **04.12.2003**  
(43) Offenlegungstag: **24.06.2004**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **31.10.2012**

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

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:  
**2002-351933 04.12.2002 JP**

(73) Patentinhaber:  
**Toyota Jidosha K.K., Toyota-shi, Aichi, JP**

(74) Vertreter:  
**Kuhnen & Wacker Patent- und  
Rechtsanwaltsbüro, 85354, Freising, DE**

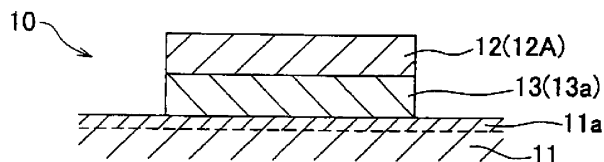
(72) Erfinder:  
**Nakata, Hiromichi, Toyota, Aichi, JP**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

<b>DE</b>	<b>199 47 858</b>	<b>C2</b>
<b>DE</b>	<b>102 43 439</b>	<b>A1</b>
<b>EP</b>	<b>1 369 942</b>	<b>A2</b>
<b>WO</b>	<b>00/ 40 520</b>	<b>A1</b>
<b>WO</b>	<b>01/ 28 020</b>	<b>A1</b>

(54) Bezeichnung: **Brennstoffzellenseparator und Fertigungsverfahren für denselben**

(57) Hauptanspruch: Brennstoffzellenseparator (10), der folgende Merkmale aufweist:  
ein metallisches Substrat (11) mit einem Oxidfilm (11a), der eine Oberfläche desselben bildet und durch Oxidation eines Materials des Substrats entstand; und  
einen elektrisch leitfähigen Dünnsfilm (12), der auf der Oberfläche des Oxidfilms des Substrats gebildet ist.



**Beschreibung**Kathodenseite:  $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- + (1/2)\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ 

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf einen Brennstoffzellenseparator und ein Fertigungsverfahren für denselben und spezieller auf eine Struktur einer oberflächenbehandelten Schicht eines Metallseparators für eine Festpolymerelektrolyt-Brennstoffzelle.

**[0002]** Eine Festpolymerelektrolyt-Brennstoffzellenbatterie wird durch Stapeln von Modulen gebildet, von denen ein jedes durch Stapeln von zumindest einer Zelle gebildet wird, die aus einer Membranelektrodenanordnung (die nachstehend als MEA bezeichnet wird) und einem Separator besteht.

**[0003]** Jede MEA besteht aus einer Elektrolytmembran, die aus einer Ionenaustauschmembran gebildet ist, einer Elektrode (Anode), die aus einer Katalysatorschicht gebildet ist, die auf einer Oberfläche der Elektrolytmembran angeordnet ist, und einer Elektrode (Kathode), die aus einer Katalysatorschicht gebildet ist, die auf einer anderen Oberfläche der Elektrolytmembran angeordnet ist. Normalerweise ist zwischen der MEA und dem Separator eine Diffusionsschicht vorgesehen. Die Diffusionsschicht erleichtert die Diffusion eines Reaktionsgases in die Katalysatorschicht. Der Separator weist einen Brennstoffgas kanal für die Zufuhr eines Brennstoffgases (Wasserstoff) an die Anode und einen Oxidationsgaskanal für die Zufuhr eines Oxidationsgases (im Normalfall Sauerstoff oder Luft) an die Kathode auf. Zwischen den benachbarten Zellen bildet der Separator einen Durchgang für Elektronen.

**[0004]** Die Anschlüsse (Elektrodenplatten), Isolatoren und Endplatten sind an zwei einander gegenüberliegenden Enden eines Zellenstapels in der Zellenstapelrichtung angeordnet. Der Zellenstapel ist in die Zellenstapelrichtung festgeklemmt und ist durch Verwendung von Befestigungsbaugliedern (z. B. Spannplatten), die sich außerhalb des Zellenstapels in die Zellenstapelrichtung erstrecken, und auch durch Verwendung von Schrauben und Mutter befestigt. Auf diese Weise wird ein Stapel (Stack) gebildet. Auf der Anodenseite einer Festpolymerelektrolyt-Brennstoffzelle findet eine Reaktion statt, bei der Wasserstoff in Wasserstoffionen (Protonen) und Elektronen gespalten wird. Die Wasserstoffionen wandern durch die Elektrolytmembran zur Kathodenseite. Auf der Kathodenseite nehmen die Wasserstoffionen an einer Reaktion mit Sauerstoff und Elektronen teil (d. h. die auf der Anodenseite der benachbarten MEA erzeugten Elektronen gelangen durch den Separator zur Kathode, oder die Elektronen, die auf der Anodenseite der an einem Ende des Zellenstapels angeordneten Zelle erzeugt werden, gelangen am gegenüberliegenden Ende über eine externe Schaltung zur Kathode der Zelle), wodurch Wasser erzeugt wird.

Anodenseite:  $\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$ 

**[0005]** Da die Separatoren eine elektrische Leitfähigkeit aufweisen müssen, sind die Separatoren normalerweise aus einem Metall, Kohlenstoff oder einem elektrisch leitfähigen Harz gebildet oder sind aus einer Kombination von einem Metallseparator und einem Harzrahmen gebildet. Kohlenstoffseparatoren und Separatoren aus elektrisch leitfähigem Harz sind chemisch stabil und behalten daher ihre elektrische Leitfähigkeit selbst bei Kontakt mit saurem Wasser bei. Aufgrund der Anforderungen an die Festigkeit der Unterseiten der Kanäle, die in den Separatoren gebildet sind, müssen die Kohlenstoffseparatoren und die Separatoren aus elektrisch leitfähigem Harz jedoch eine relativ große Dicke aufweisen, was somit eine größere Stapellänge zur Folge hat. Im Gegensatz dazu können die Metallseparatoren, die über eine relativ hohe Festigkeit verfügen, trotz der Rillen und Kämme, die zur Bereitstellung der Kanäle gebildet sind, relativ dünn gefertigt sein. Dadurch kann die Stapellänge reduziert werden. Problematisch ist jedoch die Korrosion durch saures Wasser, die zu einer verminderten elektrischen Leitfähigkeit und einer reduzierten Leistung führt. Das heißt, daß es für die Anwendung von Metallseparatoren notwendig ist, daß die Metallseparatoren eine gute elektrische Leitfähigkeit und über längere Zeit eine gute Korrosionsbeständigkeit beibehalten.

**[0006]** Im Rahmen des einschlägigen Stands der Technik offenbart die japanische Patentoffenlegungsschrift Nr. JP 2001-93538 A eine Technik, bei der eine Oberfläche eines Substrats (rostfreier Stahl) eines Metallseparators von einer Brennstoffzelle mit einem elektrisch leitfähigen Film und einem säurebeständigen Film aus einem Metallmaterial versehen ist, das sich von dem des Substrats unterscheidet.

**[0007]** Aus der deutschen Offenlegungsschrift DE 102 43 349 A1 ist ein Separator für eine Brennstoffzelle bekannt. Der Separator enthält dabei eine Golddeckschicht, welche auf der Oberfläche einer Platte aus nicht-rostendem Stahl gebildet ist. Ferner wird ein Verfahren diskutiert, welches zur Herstellung eines Separators dient, bei welchem ein Abblättern und ein Brechen der Golddeckschicht verhindert werden kann und ein Korrosionswiderstand sowie die Standfestigkeit erhalten werden können. Leerstellen werden durch Zwischenkornkorrosionsbehandlung an einer Oberfläche der Platte aus nicht-rostendem Stahl gebildet. Die Golddeckschicht ist derart ausgebildet, daß sie in die Leerstellen eingebettet ist. Ein Grenzwert eines Krümmungsradius in Biegungen, bei welchen Abblättern oder Brüche in der Golddeckschicht gebildet werden, kann reduziert werden, indem die Gleichung  $0,2 \leq 4/d/L \leq 80$  erfüllt wird, wobei L ( $\mu\text{m}$ ) die durchschnittliche Korngröße der Oberfläche der Platte aus nicht-rostendem Stahl ist und d ( $\mu\text{m}$ ) die Dicke der Golddeckschicht ist.

**[0008]** Aus der WO 01/28020 A1 sind ferner eine korrosionsbeständige beschichtete Brennstoffzellenbipolarplatte mit einer Schutzschicht aus Graphit, sowie ein Verfahren zur Herstellung desselben bekannt. Die korrosionsbeständige Platte ist hierbei als Metallplatte ausgeführt, welche mit einer Graphitemulsionsschicht und einer darauffolgenden Schicht eines Graphitfilmes ausgebildet ist, der über die Deckschicht gebildet ist. Die Graphitemulsion bindet den Graphitfilm an die Metallplatte und versiegelt feine Porositäten in der Graphitschicht. Mittels Stempeln werden zudem Flußfelder in der Deckschichtplatte erzeugt.

**[0009]** Das deutsche Patent DE 199 47 885 C2 diskutiert weiterhin eine korrosionsbeständige Brennstoffzelle mit metallischen Endplatten, zwischen denen alternierend Membran-Elektroden-Einheiten und metallische Bipolarplatten angeordnet sind. Die Membran-Elektroden-Einheiten umfassen zwei Elektroden mit gegensätzlicher Polarität sowie eine zwischen den Elektroden angeordnete Elektrolytmembran. Eine Elektrode umfaßt jeweils eine katalytische Schicht sowie eine poröse, gasdurchlässige Stromkollektorschicht. Die Bipolarplatten und/oder die Endplatten weisen eine Korrosionsschutzbeschichtung sowie eine Kanalstruktur für die Zu- und Abfuhr der Brennstoffzellenprozessgase auf.

**[0010]** In der europäischen Patentanmeldung EP 1 369 942 A2 wird zudem ein Separator für eine Brennstoffzelle sowie ein Herstellungsverfahren dafür diskutiert. Der Separator enthält ein Basismaterial bzw. eine Grundplatte und eine oberflächenbehandelte Schicht, welche auf der Basisplatte bzw. dem Basismaterial ausgebildet ist. Die oberflächenbehandelte Schicht enthält einen Abschnitt, der in Richtung des Basismaterials weist und aus Metall besteht sowie einen Abschnitt der in die entgegengesetzte Richtung weist, und aus reinem Kohlenstoff oder Kompositmaterialien aus Kohlenstoff und Metall oder Halbmetallen besteht.

**[0011]** Zudem offenbart die WO 00/40520 A1 elektrisch leitende Keramiken, wobei ein Metalloxidkeramikmaterial, beispielsweise Aluminium oder Chrom, durch die Einbindung von Silber in das Material trotz seiner Dicke elektrisch leitfähig gemacht wurde. Das keramische Material kann dabei aus einer Schicht auf einem Substrat, beispielsweise einer Bipolarplatte oder einer anderen Komponente einer Brennstoffzellenanordnung bestehen. Die elektrische Leitfähigkeit kann durch Aufheizen des keramischen Materials und eines silberenthaltenden Materials und in Kontakt bringen der beiden Materialien bei zumindest 750°C erfolgen, so daß das Silber vom silberenthaltenden Material in das metalloxidkeramische Material migriert und elektrisch leitende Pfade durch das keramische Material bildet. In einer speziellen Ausführungsform ist das Substrat ein Stahl, der eine aluminiumchrom- oder aluminiumreiche bzw. chromreiche

Oberflächenschicht in einer oxidierenden Atmosphäre ausbildet. Das silberenthaltende Material wird in einer oxidierenden Atmosphäre bei bestehendem Kontakt mit dem Stahl erhitzt, um zu verursachen, daß sich die Oberflächenschicht auf dem Stahl bildet, und das Silber vom silberenthaltenden Material in diese Oberflächenschicht migriert und einen elektrischen Leitpfad durch die Schicht bildet. Das silberenthaltende Material kann hierbei herkömmliches reines Silber oder andere Formen von Silber sein.

**[0012]** Bei dem herkömmlichen Metallseparator ist jedoch der erhöhte Kostenaufwand problematisch, da der säurebeständige Film und das Substrat aus unterschiedlichen Metallmaterialien gebildet sind.

**[0013]** Ein Aspekt der Erfindung sieht einen Separator für eine Brennstoffzelle vor. Dieser Brennstoffzellenseparator weist ein Metallsubstrat mit einem Oxidfilm, der die Oberfläche des Substrats bildet und durch Oxidation eines Materials des Substrats entstand, und einem elektrisch leitfähigen Film auf, der auf der Oberfläche des Oxidfilms gebildet ist. Ein weiterer Aspekt der Erfindung sieht ein Fertigungsverfahren für einen Brennstoffzellenseparator vor. Das Fertigungsverfahren umfaßt den Schritt des Bilden eines Oxidfilms aus einem Material des Substrats auf einer Oberfläche des Substrats und den Schritt des Bilden eines elektrisch leitfähigen Dünnschichtfilms auf einer Oberfläche des Oxidfilms. Gemäß dem Brennstoffzellenseparator und Fertigungsverfahren, beide vorstehend beschrieben, erreicht der elektrisch leitfähige Dünnschichtfilm einen geringen elektrischen Widerstand (eine hohe elektrische Leitfähigkeit), und der Oxidfilm verhindert oder reduziert im wesentlichen eine Elution aus dem Separatorsubstrat und erreicht daher eine hohe Korrosionsbeständigkeit, selbst wenn der elektrisch leitfähige Dünnschichtfilm winzige Löcher aufweist. Da ferner der Oxidfilm ein Oxidfilm ist, der durch Oxidation eines Materials des Substrats entstand, ist die Bildung des Oxidfilms kostengünstiger als die Bildung eines Oxidfilms durch Oxidation eines anderen Materials.

**[0014]** Es ist eine Aufgabe der Erfindung, einen kostengünstigen Brennstoffzellenseparator mit einem metallischen Substrat zu schaffen, das einen geringen elektrischen Widerstand (eine hohe elektrische Leitfähigkeit) und über längere Zeit eine hohe Korrosionsbeständigkeit auf stabilem Niveau beibehalten kann.

**[0015]** Um die Aufgabe zumindest teilweise zu lösen, schafft die Erfindung einen Brennstoffzellenseparator, der ein Metallsubstrat aufweist mit einem Oxidfilm, der eine Oberfläche des Substrats bildet und durch Oxidation eines Materials des Substrats entstand, und einem elektrisch leitfähigen Dünnschichtfilm, der auf der Oberfläche des Oxidfilms gebildet ist, und die Erfindung schafft darüber hinaus ein Ferti-

gungsverfahren, das den Schritt des Bildens eines Oxidfilms aus einem Material des Substrats auf einer Oberfläche des Substrats und den Schritt des Bildens eines elektrisch leitfähigen Dünnsfilms auf einer Oberfläche des Oxidfilms umfasst. Gemäß dem Brennstoffzellenseparator und dem Fertigungsverfahren für den erfindungsgemäßen Separator wird aufgrund des elektrisch leitfähigen Dünnsfilms ein geringer elektrischer Widerstand (eine hohe elektrische Leitfähigkeit) erreicht. Selbst wenn der elektrisch leitfähige Dünnsfilm winzige Löcher aufweist, verhindert oder reduziert der Oxidfilm ferner im wesentlichen eine Elution aus dem Separatorsubstrat, wodurch eine hohe Korrosionsbeständigkeit erreicht wird. Da der Oxidfilm ferner ein Oxidfilm ist, der aus dem Separatorsubstrat an sich besteht, kann der Oxidfilm mit einem geringeren Kostenaufwand gefertigt werden als ein Oxidfilm, der aus einem andersartigen Metall gebildet ist.

**[0016]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorstehenden Aspekte der vorliegenden Erfindung kann der elektrisch leitfähige Dünnsfilm ein Metall-Dünnsfilm, ein Edelmetall-Dünnsfilm oder ein aus reinem Kohlenstoff (C) gebildeter Kohlenstoff-Dünnsfilm sein.

**[0017]** Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform kann der Brennstoffzellenseparator ferner eine Zwischenschicht zum Verbessern der Adhäsion aufweisen, die zwischen dem Oxidfilm des Substrats und dem elektrisch leitfähigen Dünnsfilm vorgesehen ist. Desgleichen kann das Fertigungsverfahren für den Brennstoffzellenseparator ferner den Schritt des Bildens einer adhäsionsverbessernden Zwischenschicht zwischen dem Oxidfilm des Substrats und dem elektrisch leitfähigen Dünnsfilm aufweisen. Da die Zwischenschicht zum Verbessern der Adhäsion zwischen dem Oxidfilm des Substrats und dem elektrisch leitfähigen Dünnsfilm gebildet ist, wird eine gute Adhäsion der oberflächenbehandelten Schicht sichergestellt, wodurch eine hohe Dauerhaftigkeit erreicht wird. Somit bleiben die hohe elektrische Leitfähigkeit und die hohe Korrosionsbeständigkeit für längere Zeit erhalten.

**[0018]** Bei noch einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der vorstehend beschriebenen Aspekte der Erfindung kann der elektrisch leitfähige Dünnsfilm ein Metall-Dünnsfilm sein, und die Zwischenschicht kann eine Me-Schicht sein, die aus zumindest einem Element gebildet ist, das aus der Gruppe bestehend aus den Metallelementen Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo und W und den Halbmetallelementen Si und B ausgewählt ist.

**[0019]** Bei noch einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der vorstehend beschriebenen Aspekte der Erfindung kann der elektrisch leitfähige Dünnsfilm ein aus reinem Kohlenstoff (C) gebildeter Koh-

lenstoff-Dünnsfilm sein, und die Zwischenschicht kann aus zumindest einer Schicht einer Me-Schicht gebildet sein, die aus zumindest einem Element gebildet ist, das aus der Gruppe bestehend aus den Metallelementen Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo und W und den Halbmetallelementen Si und B ausgewählt ist, und einer Kohlenstoff-Me-Gradientenschicht, die auf der Me-Schicht gebildet ist und die Kohlenstoff (C) und ein Metall oder ein Halbmetallelement (Me) enthält und bei der der Kohlenstoffanteil (C) mit wachsender Entfernung vom Substrat zunimmt.

**[0020]** Bei noch einer weiteren bevorzugten Ausführungsform kann der Brennstoffzellenseparator ferner einen Kohlenstoffbeschichtungsfilm auf der Oberfläche des elektrisch leitfähigen Dünnsfilms aufweisen. Ferner kann das Brennstoffzellenseparator-Fertigungsverfahren den Schritt des Bildens eines Kohlenstoffbeschichtungsfilms auf der Oberfläche des elektrisch leitfähigen Dünnsfilms umfassen. Aufgrund des Bildens des Kohlenstoffbeschichtungsfilms auf der Oberfläche des elektrisch leitfähigen Dünnsfilms kann die Dauerhaftigkeit zugeordnete Zuverlässigkeit weiter verbessert werden.

**[0021]** Das vorstehend beschriebene Ausführungsbeispiel und weitere Ausführungsbeispiele, Aufgaben, Merkmale, Vorteile sowie die technische und industrielle Bedeutung dieser Erfindung wird durch Lesen der nachstehend ausführlich erläuterten Beschreibung der Ausführungsbeispiele der Erfindung in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen besser verständlich. Es zeigen:

**[0022]** [Fig. 1](#) eine vergrößerte Schnittansicht eines Abschnitts eines Brennstoffzellenseparators gemäß Ausführungsbeispiel 1 der Erfindung;

**[0023]** [Fig. 2](#) eine vergrößerte Schnittansicht eines Abschnitts eines Brennstoffzellenseparators gemäß Ausführungsbeispiel 2 der Erfindung;

**[0024]** [Fig. 3](#) eine vergrößerte Schnittansicht eines Abschnitts eines Brennstoffzellenseparators gemäß Ausführungsbeispiel 3 der Erfindung;

**[0025]** [Fig. 4](#) eine Schnittansicht, die die Durchführung der Korrosionsbeständigkeitsprüfung (Kopplungs-Stromprüfverfahren) eines Brennstoffzellenseparators der Erfindung darstellt;

**[0026]** [Fig. 5](#) ein Balkendiagramm, das die Ergebnisse der Korrosionsbeständigkeitsprüfung des Brennstoffzellenseparators der Erfindung (die Beträge der Ionenuelution der Prüfstücke 1 von Bedingung 1 bis Bedingung 5) wiedergibt;

**[0027]** [Fig. 6](#) ein Balkendiagramm, das die Ergebnisse der Korrosionsbeständigkeitsprüfung des Brennstoffzellenseparators der Erfindung (die Beträge der

Ionenelektion der Prüfstücke 2 von Bedingung 1 bis Bedingung 4) wiedergibt;

[0028] [Fig. 7](#) eine Schnittansicht, die die Durchführung der Prüfung der elektrischen Leitfähigkeit (Prüfverfahren des elektrischen Kontaktwiderstands) eines Brennstoffzellenseparators der Erfindung darstellt;

[0029] [Fig. 8](#) ein Balkendiagramm, das die Ergebnisse der Prüfung der elektrischen Leitfähigkeit der Brennstoffzellenseparatoren der Erfindung (die elektrischen Kontaktwiderstände der Prüfstücke 1 von Bedingung 1 bis Bedingung 5 vor und nach der Korrosion) wiedergibt;

[0030] [Fig. 9](#) ein Balkendiagramm, das die Ergebnisse der Prüfung der elektrischen Leitfähigkeit der Brennstoffzellenseparatoren der Erfindung (die elektrischen Kontaktwiderstände der Prüfstücke 2 von Bedingung 1 bis Bedingung 4 vor und nach der Korrosion) wiedergibt;

[0031] [Fig. 10](#) ein konzeptionelles Balkendiagramm, das die Anteile bzw. Beiträge des elektrischen Kontaktwiderstands zwischen den Schichten oder den spezifischen Widerstand der Schichten von jedem der Brennstoffzellen-Prüfstücke von Bedingung 1, Bedingung 4 und Bedingung 5 wiedergibt, die anhand der Prüfung der elektrischen Leitfähigkeit ermittelt wurden;

[0032] [Fig. 11](#) eine Schnittansicht, die die Durchführung einer Adhäsionsprüfung (ein Prüfverfahren unter Verwendung eines Wasserstrahls) eines Brennstoffzellenseparators der Erfindung darstellt;

[0033] [Fig. 12](#) ein Balkendiagramm, das die Ergebnisse der Adhäsionsprüfung der Brennstoffzellenseparatoren der Erfindung wiedergibt (die Anteile des verbleibenden Au-Dünnsfilms in den Prüfstücken 1 von Bedingung 2 bis Bedingung 5 vor und nach der Adhäsionsprüfung);

[0034] [Fig. 13](#) ein Balkendiagramm, das die Ergebnisse der Adhäsionsprüfung der Brennstoffzellenseparatoren der Erfindung wiedergibt (die Anteile des verbleibenden C-Dünnsfilms in den Prüfstücken 2 von Bedingung 2 bis Bedingung 4 vor und nach der Adhäsionsprüfung); und

[0035] [Fig. 14A](#) Schnittansichten von Variation I der erfindungsgemäßen Brennstoffzellenseparatoren;

[0036] [Fig. 14B](#) Schnittansichten von Variation II der erfindungsgemäßen Brennstoffzellenseparator;

[0037] [Fig. 14C](#) Schnittansichten von Variation III der erfindungsgemäßen Brennstoffzellenseparatoren;

[0038] [Fig. 14D](#) Schnittansichten von Variation IV der erfindungsgemäßen Brennstoffzellenseparatoren;

[0039] [Fig. 14E](#) Schnittansichten von Variation V der erfindungsgemäßen Brennstoffzellenseparatoren;

[0040] [Fig. 14F](#) Schnittansichten von Variation VI der erfindungsgemäßen Brennstoffzellenseparatoren;

[0041] [Fig. 14G](#) Schnittansichten von Variation VII der erfindungsgemäßen Brennstoffzellenseparatoren;

[0042] [Fig. 14H](#) Schnittansichten von Variation VIII der erfindungsgemäßen Brennstoffzellenseparatoren;

[0043] [Fig. 14I](#) Schnittansichten von Variation IX der erfindungsgemäßen Brennstoffzellenseparatoren;

[0044] [Fig. 14J](#) Schnittansichten von Variation X der erfindungsgemäßen Brennstoffzellenseparatoren;

[0045] [Fig. 14K](#) Schnittansichten von Variation XI der erfindungsgemäßen Brennstoffzellenseparatoren;

[0046] [Fig. 14L](#) Schnittansichten von Variation XII der erfindungsgemäßen Brennstoffzellenseparatoren;

[0047] In der nachstehenden Beschreibung und den beigefügten Zeichnungen wird die vorliegende Erfindung in bezug auf die Ausführungsbeispiele ausführlicher beschrieben.

[0048] [Fig. 1](#) stellt ein Ausführungsbeispiel 1 der Erfindung dar (bei dem der elektrisch leitfähige Dünnsfilm ein Metall-Dünnsfilm ist). [Fig. 2](#) stellt ein Ausführungsbeispiel 2 der Erfindung dar (bei dem der elektrisch leitfähige Dünnsfilm ein aus reinem Kohlenstoff (C) gebildeter Kohlenstoff-Dünnsfilm ist). [Fig. 3](#) stellt ein Ausführungsbeispiel 3 der Erfindung dar (bei dem ein Kohlenstoffbeschichtungsfilm auf dem elektrisch leitfähigen Dünnsfilm gebildet ist). Die [Fig. 4](#) bis [Fig. 13](#) verweisen auf die Vorgaben bezüglich der Prüfungen und die Prüfungsergebnisse. Bei den Ausführungsbeispielen 1 bis 3 der Erfindung sind in den Zeichnungen identische Teile durch identische Bezugszeichen dargestellt.

[0049] Zunächst werden identische oder ähnliche Teile der Ausführungsbeispiele 1 bis 3 beschrieben. Brennstoffzellenbatterien, die Separatoren beinhalten, auf die die Erfindung angewendet wird, sind in Brennstoffzellen-Kraftfahrzeuge und dergleichen eingebaut. Jedoch können derartige Brennstoffzellenbatterien auch in andere Fahrzeuge oder Vorrich-

tungen eingebaut sein. Die Brennstoffzellen, die Separatoren beinhalten, auf die die Erfindung angewendet wird, sind Festpolymerelektrolyt-Brennstoffzellen. Die Struktur eines Stapels, der durch Stapeln von MEAs und Separatoren gebildet wird, entspricht der Struktur von gewöhnlichen Festpolymerelektrolyt-Brennstoffzellenbatterien, die vorstehend in Verbindung mit dem Stand der Technik beschrieben worden sind.

**[0050]** Ein erfindungsgemäßer Brennstoffzellenseparator **10** ist ein Metallseparator, der in [Fig. 1](#) gezeigt ist, der ein Metallsubstrat **11** aufweist, das auf einer Oberfläche desselben einen Oxidfilm (Passivfilm) **11a**, der durch Oxidation eines Materials des Substrats entstand, und einen elektrisch leitfähigen Dünnschicht **12** aufweist, der auf einer Oberfläche des Oxidfilms **11a** des Substrats **11** gebildet ist. Beispiele des Metallmaterials des Separatorsubstrats **11** umfassen rostfreien Stahl (SUS), Stahl, Aluminium (Al), Aluminiumlegierungen, Titan (Ti), Titanlegierungen etc. Beispiele für das Material des Oxidfilms **11a** in dem Fall, wo das Substrat **11** aus rostfreiem Stahl besteht, umfassen  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{NiO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  etc. Wenn das Substrat aus Al besteht, kann der Oxidfilm **11a** aus  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bestehen. Wenn das Substrat aus Ti besteht, kann der Oxidfilm **11a** aus  $\text{TiO}_2$  bestehen. Wenn das Substrat aus Stahl besteht, kann der Oxidfilm **11a** aus  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  bestehen. Der Oxidfilm **11a** kann auf natürliche Weise gebildet werden, indem man das Substrat **11** an der Luft stehen läßt, oder kann auch dadurch gebildet werden, daß das Substrat **11** in einer oxidierenden Atmosphäre (Oxidationslösung) plaziert wird. Der Oxidfilm **11a** des Substrats verbessert das Korrosionsbeständigkeitsverhalten des Substrats **11**.

**[0051]** Der elektrisch leitfähige Dünnschicht **12** ist ein Metall-Dünnschicht **12A** oder ein aus reinem Kohlenstoff (C) gebildeter Kohlenstoff-Dünnschicht **12B**. Beispiele des Metalls, das den Metall-Dünnschicht **12A** bildet, umfassen Edelmetalle, beispielsweise Au. Der Kohlenstoff-Dünnschicht **12B** ist ein Film der auf atomarem Niveau gebildet wird, d. h. der Film **12B** ist mit dem Substratoxidfilm **11a** und dergleichen auf atomarer Ebene verbunden, und umfaßt keinen Beschichtungsfilm **14**, der aus Kohlepulver und einem Harzbindemittel gebildet ist. Die Edelmetalle und der Kohlenstoff weisen eine hohe Korrosionsbeständigkeit auf. Die Dicke des elektrisch leitfähigen Dünnschichts **12** bewegt sich in der Ordnung von Nanometern (nm) (Es wird darauf hingewiesen, daß der Bereich von 0,01 bis 10  $\mu\text{m}$  als angemessen gilt) und beträgt weniger als die Dicke des Beschichtungsfilms **14**, der mehrere zehn Mikrometer ( $\mu\text{m}$ ) beträgt. Der elektrisch leitfähige Film **12** kann durch das CVD-Verfahren (CVD = chemical vapour deposition chemische Abscheidung aus der Gasphase) oder das PVD-Verfahren (PVD = physical vapour deposition = physikalische Abscheidung aus der Gasphase) einschließlich Dampfauftrag, Sputtern, Ionenplattieren etc. gebildet werden.

Zum Bilden des metallbasierten Dünnschichts **12A** kann auch Plattieren zum Einsatz kommen.

**[0052]** Es ist wünschenswert, das eine Zwischenschicht **13** zum Verbessern der Adhäsion und der Korrosionsbeständigkeit zwischen dem Oxidfilm **11a** des Substrats und dem elektrisch leitfähigen Dünnschicht **12** gebildet ist. Die Bildung der Zwischenschicht **13** auf dem Oxidfilm **11a** des Substrats ist zur Erhöhung der Adhäsion und der Korrosionsbeständigkeit wünschenswert, weil die Bereitstellung des elektrisch leitfähigen Dünnschichts **12A** alleine eine unzureichende Korrosionsbeständigkeit und eine unzureichende Adhäsion zur Folge hat. Die Bereitstellung der Zwischenschicht **13** alleine hat ebenfalls eine unzureichende Korrosionsbeständigkeit und unzureichende Adhäsion zur Folge. Daher ist es auch wünschenswert, den elektrisch leitfähigen Dünnschicht **12** auf der Zwischenschicht zu bilden.

**[0053]** In Bezug auf die Zwischenschicht **13** werden ein Material und eine Struktur so ausgewählt, daß eine gute Adhäsion am Substratoxidfilm **11a** und eine gute Verbindungscharakteristik mit demselben, d. h. eine gute Verbindungscharakteristik mit dem Sauerstoffatom (O), und daß eine gute Adhäsion und eine gute Verbindungscharakteristik mit dem elektrisch leitfähigen Film **12** erreicht wird. Wenn der elektrisch leitfähige Film **12** ein Metall-Dünnschicht **12A** ist, wie in [Fig. 1](#) gezeigt, wird eine Me-Schicht **13a**, die aus zumindest einem Element gebildet ist, das aus der Gruppe bestehend aus den Metallelementen Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo und W und den Halbmetallelementen Si und B ausgewählt ist, als Zwischenschicht **13** ausgewählt. Diese Elemente weisen gute Verbindungscharakteristika mit Sauerstoff und eine gute Adhäsion und eine gute Verbindungscharakteristik mit dem Oxidfilm **11a** des Substrats auf. Die Zwischenschicht **13** weist eine gute Verbindungscharakteristik mit dem Metall-Dünnschicht **12A** auf, da die Zwischenschicht **13** aus einem Metall oder Halbmetall gebildet ist. Wenn der elektrisch leitfähige Film **12** ein aus reinem Kohlenstoff (C) gebildeter Kohlenstoff-Dünnschicht **12B** ist, wird eine Schicht, die aus zumindest einem der folgenden Typen von Schichten ausgewählt ist, als die Zwischenschicht **13** ausgewählt. Die beiden Typen von Schichten sind: (a) eine Me-Schicht **13a**, die aus zumindest einem Element gebildet ist, das aus den Metallelementen Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo und W und den Halbmetallelementen Si und B ausgewählt ist; (b) eine (Kohlenstoff-Me-)Gradientenschicht **13b**, die oben auf der Me-Schicht **13a** gebildet ist und die Kohlenstoff (C) und ein Element (Me) aus Metall oder Halbmetall enthält und bei der der Anteil des Kohlenstoffs (C) mit wachsendem Abstand vom Substrat **11** zunimmt. Die Schicht **13a** des Typs (a) weist gute Verbindungscharakteristika mit einem Sauerstoffatom und gute Adhäsionscharakteristika und gute Verbindungscharakteristika mit dem Substratoxidfilm **11a** auf. Die Schicht **13b** des



Typs (b) weist gute Verbindungscharakteristika mit der Schicht **13a** des Typs (a) und gute Adhäsions- und Verbindungscharakteristika mit dem Kohlenstoff-Dünnsfilm **12B** auf.

**[0054]** Wie in **Fig. 3** gezeigt ist, kann ein Kohlenstoff-(C)-Beschichtungsfilm **14** auf der Oberseite des elektrisch leitfähigen Dünnsfilms **12** gebildet sein. In diesem Fall ist die Struktur der oberflächenbehandelten Schicht durch das Substrat **11**, den Substratoxidfilm **11a** auf der Substratoberfläche, die Zwischenschicht **13**, die nach Bedarf vorgesehen ist, den elektrisch leitfähigen Dünnsfilm **12**, der durch den Metall-Dünnsfilm **12A** oder den aus reinem Kohlenstoff (C) gebildeten Kohlenstoff-Dünnsfilm **12B** gebildet ist, und den C-Beschichtungsfilm **14** in dieser Reihenfolge gebildet. Die Bereitstellung des C-Beschichtungsfilms **14** ist jedoch nicht unbedingt notwendig.

**[0055]** Wenn der elektrisch leitfähige Dünnsfilm **12** der aus reinem Kohlenstoff (C) gebildete Kohlenstoff-Dünnsfilm **12B** ist, wie in **Fig. 2** gezeigt, können die Zwischenschicht **13** und der Kohlenstoff-Dünnsfilm **12B** wie in den Variationen (Modifizierungen) I bis XII, die in **Fig. 14** gezeigt sind, gebildet sein. In **Fig. 14** bezieht sich der Begriff "Metallseparator" auf eine Einheit des Substrats **11** und den Substratoxidfilm **11a**, der auf der Oberfläche des Substrats **11** vorgesehen ist. Ferner verweist "Me" auf eine Schicht, die aus zumindest einem Element gebildet ist, das aus den Metallelementen Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo und W und den Halbmetallelementen Si und B ausgewählt ist. Der Begriff "MeC" verweist auf ein Carbid des vorstehend erwähnten Me-Elements. Die "MeC-Gradientenschicht" ist eine Schicht, bei der sich die Zusammensetzung von Me zu C stetig in der Dickenrichtung verändert. Eine Kombination aus zwei Arten von Elementen, wie z. B. "Me(A)" und "Me(B)", wobei Me(A) = W(Wolfram), Me(B) = Cr(Chrom), und eine Kombination aus mehr als zwei Arten von Elementen sind ebenfalls möglich. Die "Kohlenstoff + Me- oder MeC-Schicht" ist eine Schicht, bei der Me oder MeC durch Erzeugung auf atomarer Ebene an der äußersten Fläche der Kohlenstoffschicht miteinander verbunden werden. Das Symbol "+" verweist auf das Verbinden.

**[0056]** Die Variationen I bis XII, die in **Fig. 14** gezeigt sind, werden beschrieben.

**[0057]** Die Variation I ist aus einem Metallseparator, einer Me- oder MeC-Schicht, einer Kohlenstoff-Me- oder MeC-Gradientenschicht und einer Kohlenstoffschicht (C-Dünnsfilm) gebildet.

**[0058]** Die Variation II ist aus einem Metallseparator, einer Kohlenstoff-Me- oder MeC-Gradientenschicht und einer Kohlenstoffschicht (C-Dünnsfilm) gebildet.

**[0059]** Die Variation III ist aus einem Metallseparator, einer Me- oder MeC-Schicht und einer Kohlenstoffschicht (C-Dünnsfilm) gebildet.

**[0060]** Die Variation IV ist aus einem Metallseparator und einer Kohlenstoff-Me- oder MeC-Gradientenschicht gebildet.

**[0061]** Die Variation V ist aus einem Metallseparator, einer Me(B)- oder Me(B)C-Schicht, einer Me(A)- oder Me(A)C-Me(B)- oder Me(B)C-Gradientenschicht, einer Kohlenstoff-Me(A) oder Me(A)C-Gradientenschicht und einer Kohlenstoffschicht (C-Dünnsfilm) gebildet.

**[0062]** Die Variation VI ist aus einem Metallseparator, einer Me(A)- oder Me(A)C-Me(B)- oder Me(B)C-Gradientenschicht, einer Kohlenstoff-Me(A) oder Me(A)C-Gradientenschicht und einer Kohlenstoffschicht (C-Dünnsfilm) gebildet.

**[0063]** Die Variation VII ist aus einem Metallseparator, einer Me(B)- oder Me(B)C-Schicht, einer Me(A)- oder Me(A)-C-Schicht und einer Kohlenstoff-Schicht (C-Dünnsfilm) gebildet.

**[0064]** Die Variation VIII ist aus einem Metallseparator, einer Me(A)- oder Me(A)C-Me(B)- oder Me(B)-C-Gradientenschicht, einer Kohlenstoff-Me(A)- oder Me(A)C-Gradientenschicht und einer Kohlenstoffschicht (C-Dünnsfilm) gebildet.

**[0065]** Die Variation IX ist aus einem Metallseparator, einer Me- oder MeC-Schicht, einer Kohlenstoff + Me- oder MeC-Me- oder MeC-Gradientenschicht und einer Kohlenstoff + Me- oder MeC-Schicht gebildet.

**[0066]** Die Variation K ist aus einem Metallseparator, einer Kohlenstoff + Me- oder MeC-Me- oder MeC-Gradientenschicht und einer Kohlenstoff + Me- oder MeC-Schicht gebildet.

**[0067]** Die Variation XI ist aus einem Metallseparator, einer Me- oder MeC-Schicht und einer Kohlenstoff + Me- oder MeC-Schicht gebildet.

**[0068]** Die Variation XII ist aus einem Metallseparator und einer Kohlenstoff + Me- oder MeC-Me- oder MeC-Gradientenschicht gebildet.

**[0069]** Anschließend werden Konstruktionen von verschiedenen Ausführungsbeispielen der Erfindung beschrieben.

#### AUSFÜHRUNGSBEISPIEL 1

**[0070]** Ein Brennstoffzellenseparator **10** gemäß Ausführungsbeispiel 1 der Erfindung weist ein Metallsubstrat **11** auf, das auf seiner Oberfläche einen Oxidfilm **11a** besitzt, der durch Oxidation eines Mate-

rials des Substrats an sich entstand, eine Zwischenschicht **13**, die auf dem Substrat **11** gebildet ist, und einen elektrisch leitfähigen Dünnschicht **12**, der auf der Zwischenschicht **13** gebildet ist. Der elektrisch leitfähige Dünnschicht **12** ist ein Metall-Dünnschicht **12A**. Die Zwischenschicht **13** ist eine Me-Schicht **13a**, die aus zumindest einem Element gebildet ist, das aus den Metallelementen Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo und W und den Halbmetallelementen Si und B ausgewählt ist.

#### AUSFÜHRUNGSBEISPIEL 2

**[0071]** Ein Brennstoffzellenseparator **10** gemäß Ausführungsbeispiel 2 der Erfindung weist ein Metallschicht **11** auf, das auf seiner Oberfläche einen Oxidfilm **11a** aufweist, der durch Oxidation eines Materials des Substrats an sich entstand, eine Zwischenschicht **13**, die auf dem Substrat **11** gebildet ist, und einen elektrisch leitfähigen Dünnschicht **12**, der auf der Zwischenschicht **13** gebildet ist. Der elektrisch leitfähige Dünnschicht **12** ist ein aus reinem Kohlenstoff (C) gebildeter Kohlenstoff-Dünnschicht **12B**. Die Zwischenschicht **13** ist aus zumindest einer der folgenden beiden Schichten gebildet: eine Schicht (Me) **13a**, die aus zumindest einem Element gebildet ist, das aus den Metallelementen Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo und W und den Halbmetallelementen Si und B ausgewählt ist; und eine (Kohlenstoff-Me-)Gradientenschicht **13b**, die oben auf der Schicht (Me) **13a** gebildet ist und die Kohlenstoff (C) und ein Element (Me) aus Metall oder Halbmetall enthält und bei der der Verbindungsanteil des Kohlenstoffs (C) mit wachsendem Abstand vom Substrat ansteigt.

#### AUSFÜHRUNGSBEISPIEL 3

**[0072]** Bei einem Brennstoffzellenseparator **10** gemäß Ausführungsbeispiel 3 der Erfindung ist ein C-Beschichtungsfilm **14** auf dem elektrisch leitfähigen Dünnschicht **12** des Brennstoffzellenseparators ähnlich dem Separator von Ausführungsbeispiel 1 oder 2 der Erfindung gebildet.

**[0073]** Die Funktionsweise der Erfindung wird im Anschluß beschrieben. Bei dem erfindungsgemäßen Brennstoffzellenseparator **10** weist das Substrat **11** des Metallseparators auf seiner Oberfläche den Oxidfilm **11a** auf, der durch Oxidation eines Materials des Substrats an sich entstand, und der Oxidfilm **11a** weist auf seiner Oberfläche den elektrisch leitfähigen Dünnschicht **12** auf. Daher wird durch den elektrisch leitfähigen Dünnschicht **12** ein geringer elektrischer Widerstand erreicht, wodurch ein Separator mit einer hohen elektrischen Leitfähigkeit geschaffen wird. Selbst wenn der elektrisch leitfähige Dünnschicht **12** winzige Löcher aufweist, verhindert oder reduziert der Oxidfilm **11a** im wesentlichen eine Elution aus dem Separatorschicht **11**, wodurch eine hohe Korrosionsbeständigkeit des Separators erreicht wird. Da der Oxidfilm

**11a** ferner ein Oxidfilm ist, der durch Oxidation eines Materials des Substrats **11** an sich entstand, ist die Bildung des Oxidfilms **11a** kostengünstiger als die Bildung eines Oxidfilms aus einem andersartigen Metall wie im vorstehend erwähnten einschlägigen Stand der Technik (Patentliteratur 1).

**[0074]** Da die Zwischenschicht **13** zum Verbessern der Adhäsion ferner zwischen dem Oxidfilm **11a** des Substrats an sich und dem elektrisch leitfähigen Dünnschicht **12** gebildet ist, wird das gute Adhäsionsvermögen der oberflächenbehandelten Schicht **12**, **13** des Substrats **11** sichergestellt. Somit verbessert sich die Dauerhaftigkeit des Separators, und die hohe elektrische Leitfähigkeit und hohe Korrosionsbeständigkeit des Separators bleiben für lange Zeit erhalten.

**[0075]** Wenn der C-Beschichtungsfilm **14** ferner auf dem elektrisch leitfähigen Dünnschicht **12** der oberflächenbehandelten Schicht gebildet ist, verbessert sich ferner die Dauerhaftigkeit zugeordnete Zuverlässigkeit entsprechend der Bildung des C-Beschichtungsfilms **14** neben Verbesserungen der oberflächenbehandelten Schicht in bezug auf die elektrische Leitfähigkeit, Korrosionsbeständigkeit und Adhäsion.

**[0076]** Erfindungsgemäße Brennstoffzellenseparatoren **10** sowie Vergleichsbeispiele wurden im Hinblick auf Korrosionsbeständigkeit, elektrischen Kontaktwiderstand und Adhäsion geprüft. Die Ergebnisse der Prüfungen betreffend die erfindungsgemäßen Separatoren einerseits und die Vergleichsbeispiele andererseits wurden miteinander verglichen. Im Vergleich bestätigte sich, daß die erfindungsgemäßen Brennstoffzellenseparatoren gegenüber den Vergleichsbeispielen über eine ausreichend hohe Korrosionsbeständigkeit, einen ausreichend niedrigen Kontaktwiderstand (hohe elektrische Leitfähigkeit) und eine hohe Adhäsion der oberflächenbehandelten Schicht verfügten. Eine ausführlichere Beschreibung im Hinblick darauf folgt nachstehend.

**[0077]** Zunächst werden die für die Prüfungen verwendeten Prüfstücke beschrieben. Die Separatoren, die einen elektrisch leitfähigen Dünnschicht aus Au, d. h. Edelmetall, aufweisen, werden als „Prüfstücke 1“ bezeichnet, und die Separatoren, die einen elektrisch leitfähigen Dünnschicht aus Kohlenstoff (C) aufweisen, werden als „Prüfstücke 2“ bezeichnet. In der nachstehenden Beschreibung stellen die Bedingung 4 in bezug auf die Prüfstücke 1 und die Bedingung 3 und die Bedingung 4 in bezug auf die Prüfstücke 2 die Erfindung dar, und die anderen Bedingungen stellen Vergleichsbeispiele dar.



Prüfstücke 1: Für den elektrisch leitfähigen Dünnsfilm wurde Au verwendet.

<Bedingung 1> nicht behandelt/das Substrat ist SUS316L (mit einem Oxidfilm)

<Bedingung 2> Sputtern von 10 nm Au (der elektrisch leitfähige Dünnsfilm aus Au mit einer Dicke von 10 nm durch Sputtern)/das Substrat ist SUS 316L (ohne IE (IE = ion etching = Ionenätzen) und mit einem Oxidfilm)

<Bedingung 3> Sputtern von 10 nm Au/das Substrat ist SUS316L (mit IE in einer Argonatmosphäre (Ar-IE) und ohne Oxidfilm)

<Bedingung 4 (Erfindung)> Sputtern von 10 nm Au/Sputtern von 10 nm Cr (der elektrisch leitfähige Dünnsfilm aus Cr mit einer Dicke von 10 nm durch Sputtern)/das Substrat ist SUS316L (ohne IE und mit Oxidfilm)

<Bedingung 5> Sputtern von 10 nm Au/Sputtern von 10 nm Cr/das Substrat ist SUS316L (mit Ar-IE und ohne Oxidfilm)

Prüfstücke 2: Für den elektrisch leitfähigen Dünnsfilm wurde Kohlenstoff verwendet.

<Bedingung 1> nicht behandelt/das Substrat ist SUS316L (mit Oxidfilm)

<Bedingung 2> Sputtern von 50 nm C (der elektrisch leitfähige Dünnsfilm aus Kohlenstoff mit einer Dicke von 50 nm durch Sputtern)/50 nm C→Cr-Gradientensputtern (die Kohlenstoff-Chrom-Gradientenschicht, bei einem Anteil von Kohlenstoff, der mit wachsendem Abstand vom Substrat zunimmt, mit einer Dicke von 50 nm durch Sputtern)/ das Substrat ist SUS316L (mit Ar-IE und ohne Oxidfilm)

<Bedingung 3 (Erfindung)> Sputtern von 50 nm C/ 50 nm C→Cr-Gradientensputtern/das Substrat ist SUS316L (mit Argonlichtätzen (LE in der Bedeutung von Licht-IE) und einem dünnen Oxidfilm)

<Bedingung 4 (Erfindung)> Sputtern von 50 nm/ 50 nm C→Cr-Gradientensputtern/Substrat ist SUS 316L (ohne IE und ohne einen dicken Oxidfilm (mit Bedingung 1 identisch))

## 1. Korrosionsbeständigkeitsprüfung

### (1) Korrosionsbeständigkeitsprüfungsbedingung

**[0078]** Die Korrosionsbeständigkeitsprüfung wurde durch ein Kopplungs-Stromprüfverfahren, das in [Fig. 4](#) dargestellt ist, ausgeführt. Ein Prüfstück und eine Gegenelektrode (Ruß, d. h. Graphit, in Kontakt mit dem Separator in der Brennstoffzelle) wurden in eine saure wäßrige Lösung gelegt (bei dieser Prüfung wurden eine saure wäßrige Lösung, die eine Umgebung simuliert, der der Separator einer Brennstoffzelle ausgesetzt ist, und eine Schwefelsäurelösung mit pH 2 verwendet). Während die Temperatur auf 80°C eingestellt wurde, d. h. die Betriebstemperatur

der Brennstoffzelle, wurde die elektrische Stromdichte zum Zeitpunkt der Elution des Separatormetalls Me in der Form von Ionen durch ein Amperemeter gemessen, das an einen externen Stromkreis der Gegenelektrode angelegt war. Die Korrosionszeit wurde auf 100 Stunden eingestellt. Der Plusstrom ist ein Strom, der zum Zeitpunkt der Elution des Me in der Form von positiven Ionen in Erscheinung tritt, und bezieht sich auf ein Herbeiführen der Korrosion. Ein Null- oder Minusstrom bedeutet, daß in bezug auf die Korrosion oder Korrosionsbeständigkeit keine Probleme vorliegen.

### (2) Mengenbestimmung der Elution von Ionen

**[0079]** Die korrosive Lösung wurde durch eine ICP (ICP = induced coupled plasma emission spectroscopy = induktiv gekoppelte Plasma-Emissionsspektrometrie) analysiert, um die Menge der vorstehend erwähnten Ionenelektrolyse zu bestimmen.

### (3) Ergebnisse der Korrosionsbeständigkeitsprüfung

**[0080]** Die Prüfergebnisse in bezug auf die Menge der Ionenelektrolyse aus den SUS-Substraten der Au-Dünnsfilm-Prüfstücke 1 von Bedingung 1 bis Bedingung 5 sind in [Fig. 5](#) angegeben. Im Balkendiagramm von [Fig. 5](#) sind die Prüfstücke 1 von Bedingung 1, Bedingung 2, Bedingung 3, Bedingung 4 und Bedingung 5 nacheinander von links nach rechts angezeigt. Von den drei Segmenten von den jeweiligen Balken in [Fig. 5](#) verweist das obere Segment auf die Menge der Ni-Elution aus dem SUS-Substrat, und das Zwischensegment verweist auf die Menge der Cr-Elution aus dem SUS-Substrat, und das untere Segment verweist auf die Menge der Fe-Elution aus dem SUS-Substrat. Im Hinblick auf das erfindungsgemäße Prüfstück 1 von Bedingung 4 unterschritten die Elutionsmengen der Ni-, Cr- und Fe-Ionen die untere Meßbereichsgrenze und können im wesentlichen nicht als Elution betrachtet werden.

**[0081]** Die Ergebnisse der Prüfung in bezug auf die Menge der Ionenelektrolyse aus den SUS-Substraten der C-Dünnsfilm-Prüfstücke 2 unter Bedingung 1 bis Bedingung 4 sind in [Fig. 6](#) angegeben. Im Balkendiagramm von [Fig. 6](#) sind die Prüfstücke 2 der Bedingung 1, Bedingung 2, Bedingung 3 und Bedingung 4 nacheinander von links nach rechts angegeben. Von den drei Segmenten von den jeweiligen Balken in [Fig. 6](#) zeigt das obere Segment die Menge der Ni-Elution aus dem SUS-Substrat an, und das Zwischensegment zeigt die Menge der Cr-Elution aus dem SUS-Substrat an, und das untere Segment zeigt die Menge der Fe-Elution aus dem SUS-Substrat an. Im Hinblick auf die erfindungsgemäßen Prüfstücke von Bedingung 3 und Bedingung 4 betragen die Elutionsmengen von Ni, Cr und Fe weniger als in den Fällen der Prüfstücke von Bedingung 1 und Bedin-

gung 2, was auf Verbesserungen der Korrosionsbeständigkeit hinweist.

**[0082]** Die Ergebnisse der Korrosionsbeständigkeitsprüfung können wie folgt zusammengefaßt werden.

**[0083]** Ungeachtet des Vorliegens oder Nichtvorliegens der Cr-Zwischenschicht **13** wiesen die erfindungsgemäßen Prüfstücke mit dem Oxidfilm **11a** eine gute Korrosionsbeständigkeit (Elutionsbeständigkeit) auf.

**[0084]** In bezug auf die C-Dünnsfilm-Prüfstücke verbesserte sich die Korrosionsbeständigkeit bei einem Anstieg der Menge des verbleibenden Oxidfilms **11a**.

## 2. Prüfung der elektrischen Leitfähigkeit

### (1) Bedingung der Prüfung der elektrischen Leitfähigkeit

**[0085]** Die Prüfung der elektrischen Leitfähigkeit wurde durch ein Kontaktwiderstandsprüfverfahren, das in **Fig. 7** dargestellt ist, durchgeführt. Der elektrische Kontaktwiderstand wurde vor und nach der Korrosionsbeständigkeitsprüfung gemessen. Die für die Widerstandsmessung verwendeten Prüfstücke waren mit den Prüfstücken 1 von Bedingung 1 bis Bedingung 5 und den Prüfstücken 2 von Bedingung 1 bis Bedingung 4 in der vorstehend erwähnten Korrosionsbeständigkeitsprüfung identisch, bei der das Substrat **11** (mit dem Oxidfilm **11a** auf einer Oberfläche) oberflächenbehandelt war. Jedes Prüfstück wurde sandwichartig mit einem dazwischenliegenden Diffusionsgewebe (einem Kohlenstoffgewebe, das mit demjenigen identisch ist, das als Diffusionsschicht in einer Brennstoffzelle eingebracht ist). Nachdem der planare Kontaktdruck bei 20 kg/cm<sup>2</sup> eingestellt worden war, was nahezu dem planaren Kontaktdruck einer Brennstoffzelle entspricht, und der Strom auf 1 A eingestellt worden war, wurde die Spannung V zwischen den beiden Polplatten gemessen. Anschließend wurde ein Kontaktwiderstand wie in der nachstehenden Gleichung bestimmt:

$$\text{Widerstand } R = V/I (I = 1 \text{ A})$$

### (2) Ergebnisse der Prüfung der elektrischen Leitfähigkeit

**[0086]** Die Ergebnisse der Messung des elektrischen Kontaktwiderstands der Au-Dünnsfilm-Prüfstücke 1 von Bedingung 1 bis Bedingung 5 (die gleichen Vorgaben wie bei Bedingung 1 bis Bedingung 5 der Au-Dünnsfilm-Prüfstücke 1 bei der Korrosionsbeständigkeitsprüfung) sind in **Fig. 8** angegeben. Die fünf Balkenpaare in **Fig. 8** zeigen die Prüfstücke 1 von Bedingung 1, Bedingung 2, Bedingung 3, Bedingung 4 und Bedingung 5 in dieser Reihenfolge von links nach

rechts an. Von den beiden Balken für die jeweilige Bedingung in **Fig. 8** verweist der linke Balken auf den Kontaktwiderstand vor der Korrosion und der rechte Balken auf den Kontaktwiderstand nach der Korrosion an. Das erfindungsgemäße Prüfstück von Bedingung 4 wies einen niedrigen Kontaktwiderstand auf.

**[0087]** Die Ergebnisse der Messung des elektrischen Kontaktwiderstands der C-Dünnsfilm-Prüfstücke 2 von Bedingung 1 bis Bedingung 4 (die gleichen Vorgaben wie bei Bedingung 1 bis Bedingung 4 der C-Dünnsfilm-Prüfstücke 2 bei der Korrosionswiderstandsprüfung) sind in **Fig. 9** angezeigt. Die vier Balkenpaare in **Fig. 9** verweisen auf die Prüfstücke 2 von Bedingung 1, Bedingung 2, Bedingung 3 und Bedingung 4 in dieser Reihenfolge von links nach rechts. Von den zwei Balken für die jeweilige Bedingung in **Fig. 9** verweist der linke Balken auf den Kontaktwiderstand vor der Korrosion, und der rechte Balken verweist auf den Kontaktwiderstand nach der Korrosion. Die erfindungsgemäßen Prüfstücke von Bedingung 3 und Bedingung 4 wiesen einen niedrigen Kontaktwiderstand auf.

**[0088]** Die Ergebnisse der Prüfung der elektrischen Leitfähigkeit können wie folgt zusammengefaßt werden.

**[0089]** Die Ergebnisse zeigen, daß durch die Oberflächenbehandlung (Bildung des elektrisch leitfähigen Dünnsfilms **12**), ungeachtet des Vorliegens oder Nichtvorliegens des Oxidfilms **11a** auf der Oberfläche des SUS-Substrats **11**, niedrigere Kontaktwiderstände erreicht werden.

**[0090]** Dies ist in folgenden Überlegungen begründet. Wie in dem konzeptionellen Diagramm von **Fig. 10** angezeigt ist, umfaßt der Widerstand in die Richtung senkrecht zur Ebene des Separators den Kontaktwiderstand zwischen der Diffusionsschicht und dem Separator, den spezifischen Widerstand des Substratoxidfilms etc. Jedoch ist es der Kontaktwiderstand zwischen der Diffusionsschicht und dem Separator, der einen Großteil des Widerstands ausmacht. Der spezifische Widerstand des Substratoxidfilms oder dergleichen leistet lediglich einen geringen Beitrag, da die Dicke des Substratoxidfilms nur einige Nanometer beträgt. Da der Kontaktwiderstand zwischen der Diffusionsschicht und dem Separator daher durch die Bildung des elektrisch leitfähigen Dünnsfilms **12** verringert wird, nimmt der Widerstand in der Richtung senkrecht zur Ebene des Separators erheblich ab. Im Gegensatz dazu hat der dem Oxidfilm **11a** zugeschriebene Anstieg des Widerstands keine erhebliche Auswirkung auf den Anstieg des Widerstands in der Richtung senkrecht zur Ebene des Separators. Dabei wird berücksichtigt, daß der elektrische Widerstand in der Richtung senkrecht zur Ebene des Separators insgesamt abnimmt.

**[0091]** Von den drei in [Fig. 10](#) gezeigten Balken verweist der linke Balken auf das Prüfstück 1 von Bedingung 1 gemäß einem Vergleichsbeispiel, und der mittlere Balken verweist auf das erfindungsgemäße Prüfstück 1 von Bedingung 4, und der rechte Balken verweist auf das Prüfstück 1 von Bedingung 5 gemäß einem weiteren Vergleichsbeispiel. Von den drei Segmenten des Balkens des Prüfstücks 1 von Bedingung 1 verweist das obere Segment auf den Kontaktwiderstand zwischen dem Diffusionsgewebe (Kohlenstoffgewebe) und dem Substratoxidfilm, und das Zwischensegment verweist auf den Widerstand des Substratoxidfilms, und das untere Segment verweist auf den Widerstand des SUS-Substrats. Von den fünf Segmenten des Balkens des erfindungsgemäßen Prüfstücks 1 von Bedingung 4 verweist das erste Segment von oben auf den Kontaktwiderstand zwischen dem Diffusionsgewebe (Kohlenstoffgewebe) und dem elektrisch leitfähigen Film, und das zweite Segment von oben verweist auf den Widerstand des elektrisch leitfähigen Dünnfilms, und das dritte Segment von oben verweist auf den Widerstand eines Basisfilms (Me-Zwischenschicht), und das vierte Segment von oben verweist auf den Widerstand des Substratoxidfilms, und das fünfte Segment von oben verweist auf den Widerstand des SUS-Substrats. Von den vier Segmenten des Balkens des Prüfstücks 1 von Bedingung 5 verweist das erste Segment von oben auf den Kontaktwiderstand zwischen dem Diffusionsgewebe (Kohlenstoffgewebe) und dem elektrisch leitfähigen Dünnfilm, und das zweite Segment von oben verweist auf den Widerstand des elektrisch leitfähigen Dünnfilms, und das dritte Segment von oben verweist auf den Widerstand eines Basisfilms (Me-Zwischenschicht), und das vierte Segment von oben verweist auf den Widerstand des SUS-Substrats.

### 3. Adhäsionsprüfung (Prüfung der Adhäsion zwischen der oberflächenbehandelten Schicht **12**, **13** und dem Substrat)

#### (1) Bedingung der Adhäsionsprüfung

**[0092]** Die Adhäsionsprüfung wurde durch ein Wasserstrahl-Prüfverfahren, das in [Fig. 11](#) dargestellt ist, durchgeführt. Bei der Prüfung betrug der Wasserdruck an einer Düse etwa 200 Mpa (2000 atm). Der Anteil des bei der Wasserstrahlprüfung verbleibenden Dünnfilms wurde wie in folgender Gleichung bestimmt:

$$\text{Anteil des verbleibenden Dünnfilms (\%)} = M/M_0 \times 100$$

wobei

M die Menge des Dünnfilms nach dem Wasserstrahl ([Fig. 14\(b\)](#)) ist,  
 $M_0$  die Menge des Dünnfilms vor dem Wasserstrahl ([Fig. 14\(a\)](#)) ist.

**[0093]** Die Elemente wurden durch Röntgenstrahlfluoreszenz oder dergleichen bereitgestellt.

#### (2) Ergebnisse der Adhäsionsprüfung

**[0094]** Die Ergebnisse der Adhäsionsprüfung der Au-Dünnfilm-Prüfstücke 1 von Bedingung 2 bis Bedingung 5 (die gleichen Vorgaben wie in Bedingung 2 bis Bedingung 5 der Au-Dünnfilm-Prüfstücke 1 bei der Korrosionsbeständigkeitsprüfung) sind in [Fig. 12](#) angegeben. Die vier Balkenpaare des Diagramms von [Fig. 12](#) verweisen auf die Prüfstücke 1 von Bedingung 2, Bedingung 4 und Bedingung 5 in dieser Reihenfolge von links nach rechts. Von den zwei Balken für jede Bedingung in [Fig. 12](#) verweist der linke Balken auf den Anteil des verbleibenden Au-Dünnfilms vor der Adhäsionsprüfung, und der rechte Balken verweist auf den Anteil des verbleibenden Au-Dünnfilms nach der Adhäsionsprüfung. Das erfindungsgemäße Prüfstück von Bedingung 4 wies einen hohen Anteil an verbleibendem Au-Dünnfilm auf (gute Adhäsion).

**[0095]** Die Ergebnisse der Adhäsionsprüfung der C-Dünnfilm-Prüfstücke 1 von Bedingung 1 bis Bedingung 4 (die gleichen Vorgaben wie in Bedingung 2 bis Bedingung 4 der C-Dünnfilm-Prüfstücke 1 bei der Korrosionsbeständigkeitsprüfung) sind in [Fig. 12](#) angegeben. Die drei Balkenpaare des Diagramms von [Fig. 13](#) verweisen auf die Prüfstücke 2 von Bedingung 2, Bedingung 3 und Bedingung 4 in dieser Reihenfolge von links nach rechts. Von den zwei Balken für die jeweilige Bedingung in [Fig. 13](#) verweist der linke Balken auf den Anteil des verbleibenden C-Dünnfilms vor der Adhäsionsprüfung, und der rechte Balken verweist auf den Anteil des verbleibenden C-Dünnfilms nach der Adhäsionsprüfung. Das erfindungsgemäße Prüfstück von Bedingung 3 wies einen hohen Anteil an verbleibendem C-Dünnfilm auf (gute Adhäsion).

**[0096]** Die Ergebnisse der Adhäsionsprüfung können wie folgt zusammengefasst werden.

#### Vor der Adhäsionsprüfung

**[0097]** Wenn keine Me-Basisschicht **13** vorgesehen ist, kann durch Entfernen des Oxidfilms **11a** über ARIE eine gute Adhäsion sichergestellt werden.

**[0098]** Wenn eine Me-Basisschicht **13a** vorgesehen ist, kann ungeachtet des Vorliegens oder Nichtvorliegens des Substratoxidfilms **11a** eine gute Adhäsion sichergestellt werden.

## Nach der Adhäsionsprüfung

**[0099]** Wenn keine Me-Basisschicht vorgesehen ist, nimmt die Adhäsion aufgrund der Korrosion der Au-Dünnschicht-/Substratgrenzfläche ab.

**[0100]** Wenn eine Me-Basisschicht **13a** vorgesehen ist, kann selbst nach der Korrosion (aufgrund der Sperrwirkung der Me-Basisschicht und Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit, die durch den Substratoxidfilm **11a** bewirkt wird) eine gute Korrosionsbeständigkeit beibehalten werden.

**[0101]** Bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellenseparator ist auf einer Oberfläche eines Metallseparators ein Oxidfilm von einem Substratmetall gebildet, und ein elektrisch leitfähiger Dünnschicht ist auf der Oberfläche des Oxidfilms gebildet. Demgemäß erreicht der Brennstoffzellenseparator aufgrund des elektrisch leitfähigen Dünnschichts einen niedrigen elektrischen Widerstand (eine hohe elektrische Leitfähigkeit). Selbst wenn der elektrisch leitfähige Dünnschicht winzige Löcher aufweist, verhindert oder reduziert der Oxidfilm im wesentlichen eine Elution aus dem Separatorsubstrat, wodurch eine hohe Korrosionsbeständigkeit erreicht wird. Da der Oxidfilm ferner ein Oxidfilm vom Separatorsubstrat an sich ist, kann der Oxidfilm mit einem geringeren Kostenaufwand als ein Oxidfilm gebildet werden, der wie in dem vorstehend im einschlägigen Stand der Technik erwähnten Verfahren (Patentliteratur 1) aus einem andersartigen Metall gebildet ist. Bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellenseparator ist ferner eine Zwischenschicht zum Verbessern der Adhäsion zwischen dem Oxidfilm, der durch Oxidation des Substratmaterials an sich entstand, und dem elektrisch leitfähigen Dünnschicht gebildet, so dass die gute Adhäsion der oberflächenbehandelten Schicht sichergestellt ist. Demgemäß wird eine gute Dauerhaftigkeit des Separators erreicht, und die hohe elektrische Leitfähigkeit und hohe Korrosionsbeständigkeit des Separators bleiben für lange Zeit erhalten. Bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellenseparator ist weiter noch ein C-Beschichtungsfilm oben auf dem elektrisch leitfähigen Dünnschicht gebildet. Demzufolge wird die der Dauerhaftigkeit zugeordnete Zuverlässigkeit entsprechend der Bildung des C-Beschichtungsfilms neben der vorstehend erwähnten guten Eigenschaft der oberflächenbehandelten Schicht (hohe elektrische Leitfähigkeit) weiter verbessert.

**[0102]** Obgleich die Erfindung unter Bezugnahme auf die exemplarischen Ausführungsbeispiele derselben beschrieben worden ist, wird darauf hingewiesen, daß die Erfindung nicht auf die exemplarischen Ausführungsbeispiele oder Konstruktionen beschränkt ist. Im Gegensatz dazu soll die Erfindung verschiedene Modifizierungen und entsprechende Anordnungen abdecken. Obgleich die verschiedenen Elemente der exemplarischen Ausführungsbeispiele

in verschiedenen beispielhaften Kombinationen und Konfigurationen gezeigt sind, befinden sich darüber hinaus andere Kombinationen und Konfigurationen, die mehr, weniger oder ein einzelnes Element umfassen, ebenfalls im Schutzbereich der vorliegenden Erfindung.

## Patentansprüche

1. Brennstoffzellenseparator (**10**), der folgende Merkmale aufweist:  
ein metallisches Substrat (**11**) mit einem Oxidfilm (**11a**), der eine Oberfläche desselben bildet und durch Oxidation eines Materials des Substrats entstand; und  
einen elektrisch leitfähigen Dünnschicht (**12**), der auf der Oberfläche des Oxidfilms des Substrats gebildet ist.
2. Separator nach Anspruch 1, bei dem der elektrisch leitfähige Dünnschicht (**12**) ein Metall-Dünnschicht ist.
3. Separator nach Anspruch 1, bei dem der elektrisch leitfähige Dünnschicht (**12**) ein Edelmetall-Dünnschicht (**12a**) ist.
4. Separator nach Anspruch 1, bei dem der elektrisch leitfähige Dünnschicht (**12**) ein Kohlenstoff-Dünnschicht (**12b**) ist, der aus reinem Kohlenstoff (C) gebildet ist.
5. Separator nach einem der Ansprüche 1 bis 4, der ferner zum Verbessern der Adhäsion eine Zwischenschicht (**13**) aufweist, die zwischen dem Oxidfilm (**11a**) des Substrats und dem elektrisch leitfähigen Dünnschicht (**12**) vorgesehen ist.
6. Separator nach Anspruch 5, bei dem der elektrisch leitfähige Dünnschicht (**12**) ein Metall-Dünnschicht ist, und bei dem die Zwischenschicht (**13**) eine Me-Schicht (**13a**) ist, die aus zumindest einem Element gebildet ist, das aus der Gruppe bestehend aus den Metallelementen Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo und W und den Halbmetallelementen Si und B ausgewählt ist.
7. Separator nach Anspruch 5, bei dem der elektrisch leitfähige Dünnschicht (**12**) ein Kohlenstoff-Dünnschicht ist, der aus reinem Kohlenstoff gebildet ist, und bei dem die Zwischenschicht (**13**) von zumindest einer Schicht aus einer Me-Schicht (**13a**), die ihrerseits aus zumindest einem Element gebildet ist, das aus der Gruppe bestehend aus den Metallelementen Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo und W und den Halbmetallelementen Si und B ausgewählt ist, und einer Kohlenstoff-Me-Gradientenschicht (**13b**) gebildet ist, die auf der Me-Schicht gebildet ist und die Kohlenstoff und ein Metall oder Halbmetallelement (Me) enthält und bei der der Anteil des Kohlenstoffs mit wachsendem Abstand vom Substrat zunimmt.

8. Separator nach einem der Ansprüche 1 bis 7, der ferner einen Kohlenstoff-Beschichtungsfilm (**14**) auf einer Oberfläche des elektrisch leitfähigen Dünnsfilms (**12**) aufweist.

9. Separator nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei der Oxidfilm (**11a**) nur aus Oxidmaterial besteht.

10. Verfahren zur Fertigung eines Separators für eine Brennstoffzelle, das folgende Schritte umfaßt:  
Bereitstellen eines Substrats;  
Bereitstellen eines Oxidfilms (**11a**), der die Oberfläche des Substrats bildet, durch Oxidieren eines Materials des Substrats; und  
Bilden eines elektrisch leitfähigen Dünnsfilms (**12**) auf der Oberfläche des Oxidfilms des Substrats (**11**).

11. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem das Schaffen des Oxidfilms (**11a**) ein Platzieren des Substrats (**11**) an der Luft oder in einer oxidierenden Atmosphäre umfaßt.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 oder 11, das ferner den Schritt Ausbilden einer Zwischenschicht (**13**) zum Verbessern der Adhäsion zwischen dem Oxidfilm (**11a**) des Substrats und dem elektrisch leitfähigen Dünnsfilm (**12**) umfaßt.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, das ferner ein Bilden eines Kohlenstoff-Beschichtungsfilms (**14**) auf der Oberfläche des elektrisch leitfähigen Dünnsfilms (**12**) umfaßt.

Es folgen 11 Blatt Zeichnungen

FIG. 1

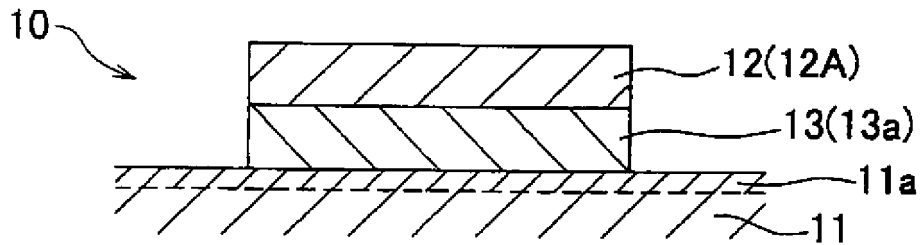


FIG. 2

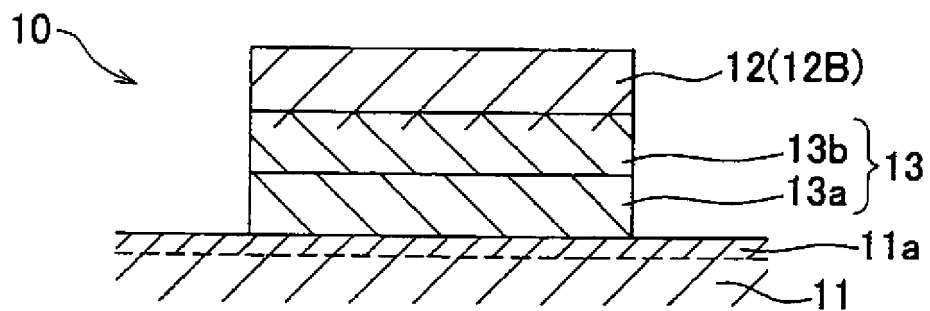


FIG. 3

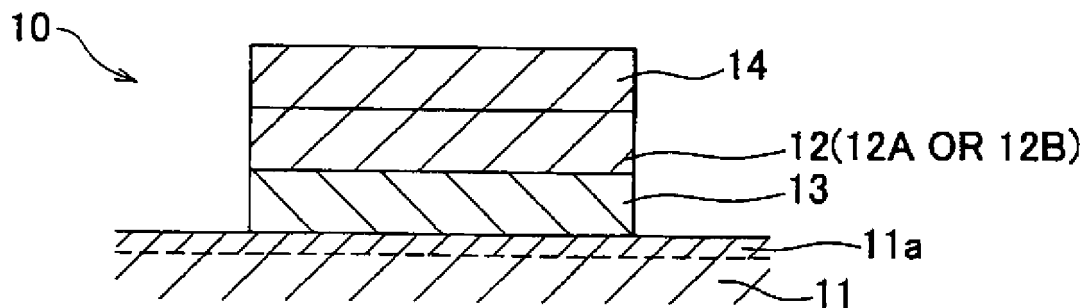
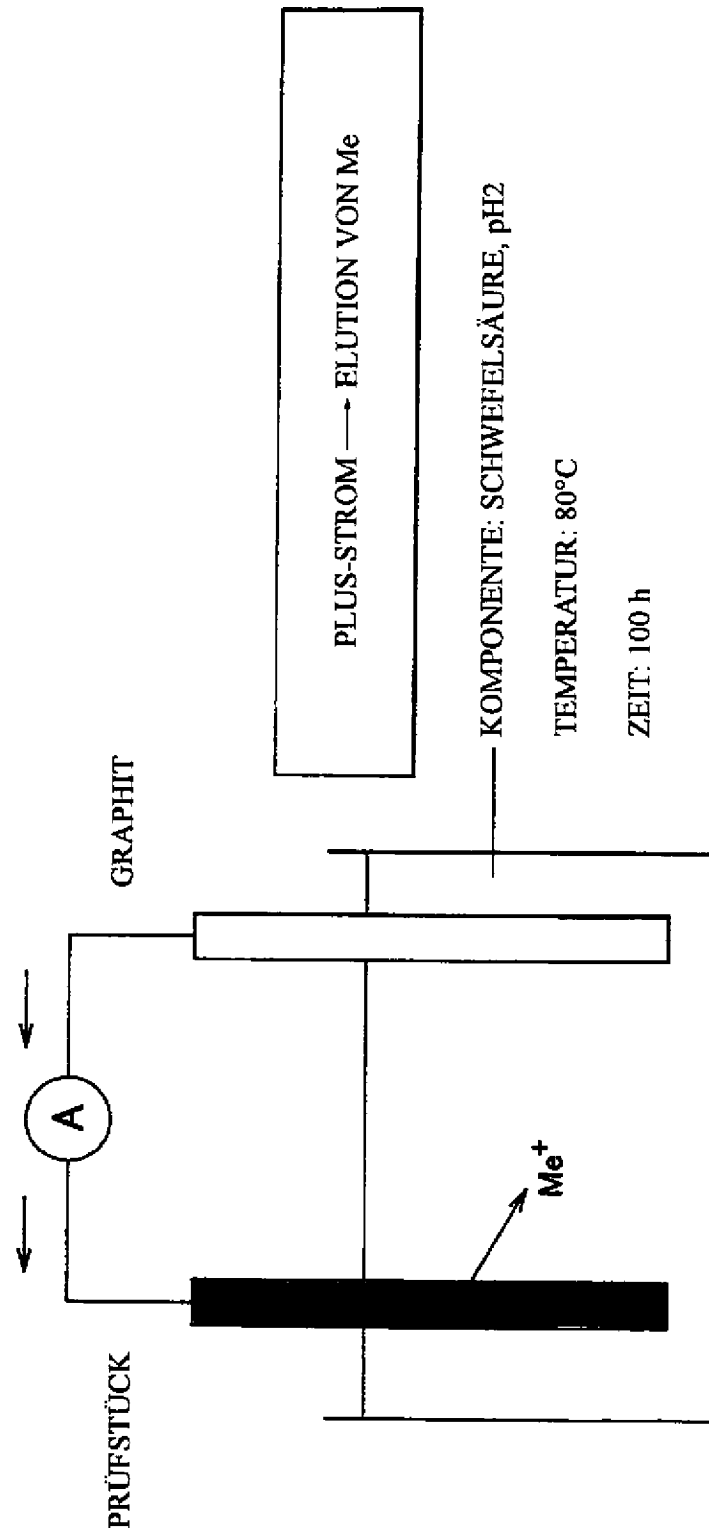


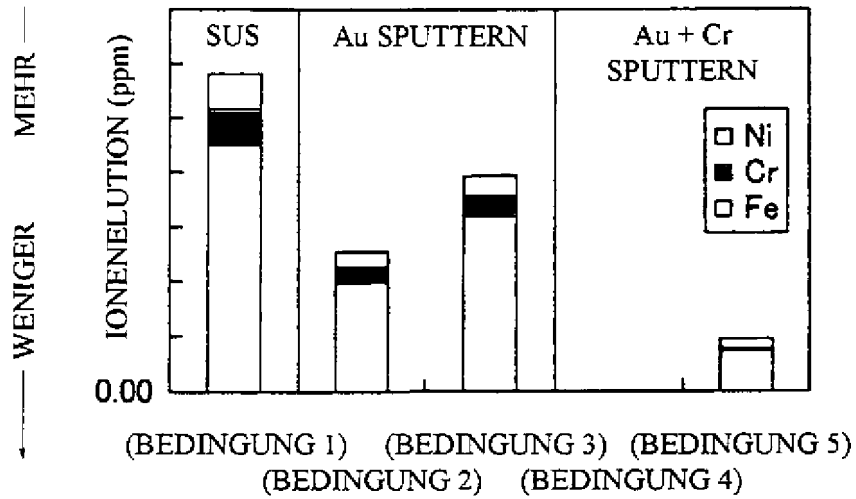


FIG. 4



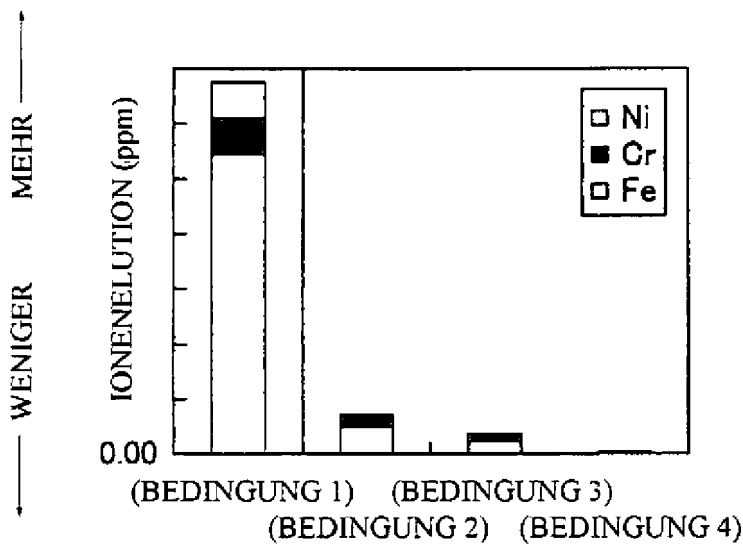
KOPPLUNGS-STROMPRÜFVERFAHREN

**FIG. 5**



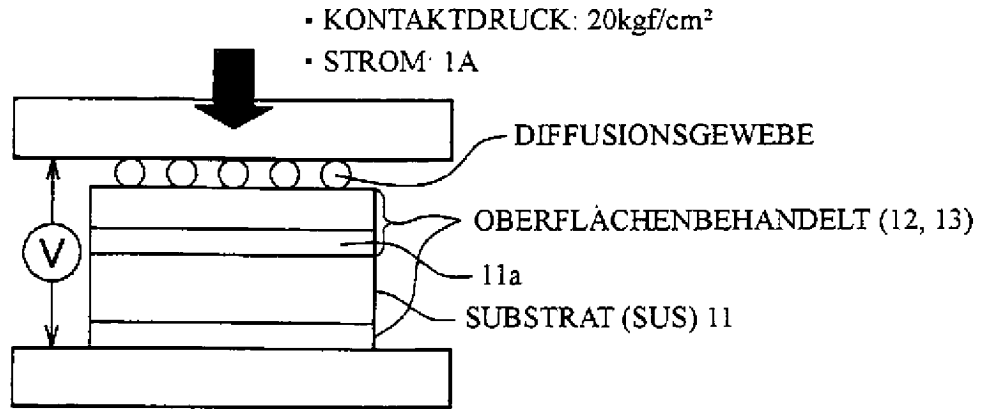
KORROSIONSBESTÄNDIGKEIT EINES  
Au-DÜNNFILM-SEPARATORS  
(MENGE DER IONENELUTION)

**FIG. 6**



KORROSIONSBESTÄNDIGKEIT EINES  
C-DÜNNFILM-SEPARATORS  
(MENGE DER IONENELUTION)

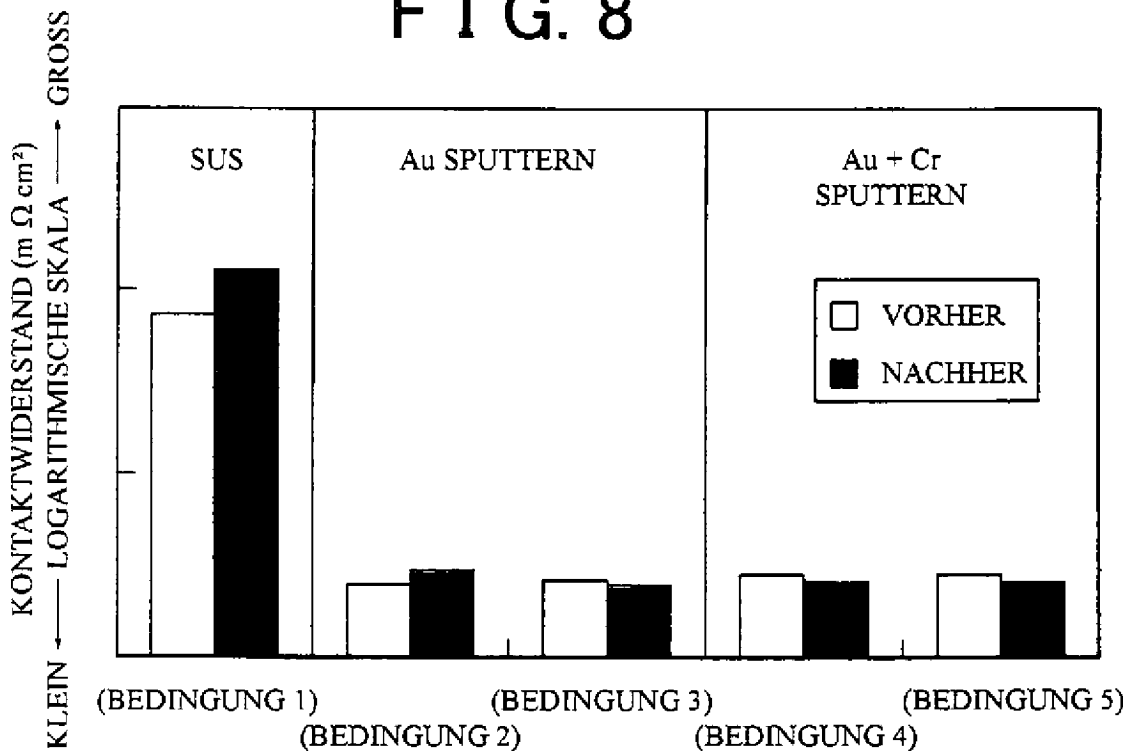
# FIG. 7



$$R = V / I (=1A)$$

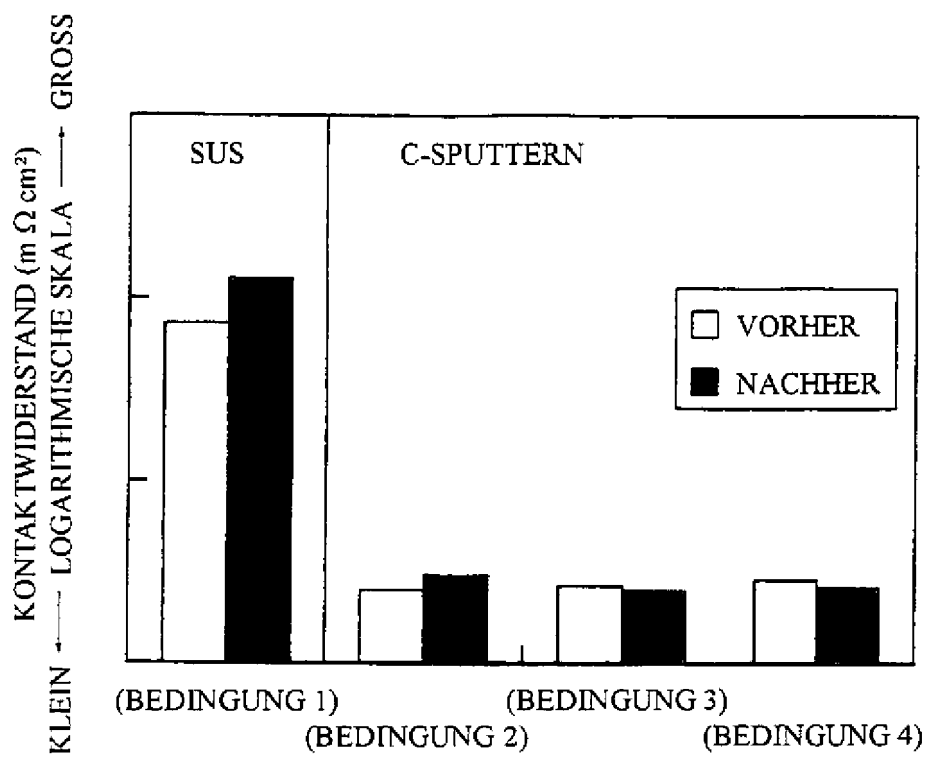
KONTAKTWIDERSTANDS-PRÜFVERFAHREN

# FIG. 8



KONTAKTWIDERSTAND EINES Au-DÜNNFILM-SEPARATORS  
 VOR UND NACH DER KORROSIONSPRÜFUNG

FIG. 9

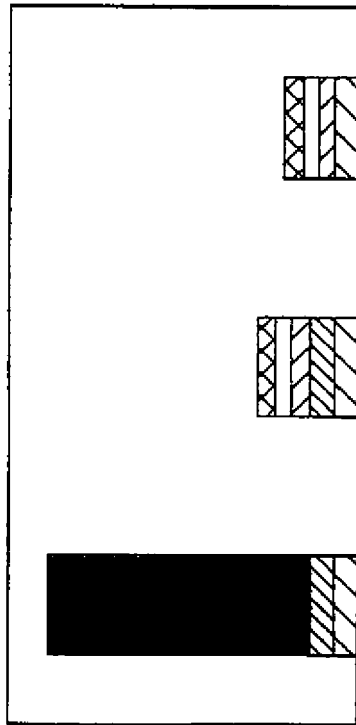


KONTAKTWIDERSTAND EINES C-DUNNFILM-SEPARATOR VOR UND NACH DER KORROSIONSPRÜFUNG

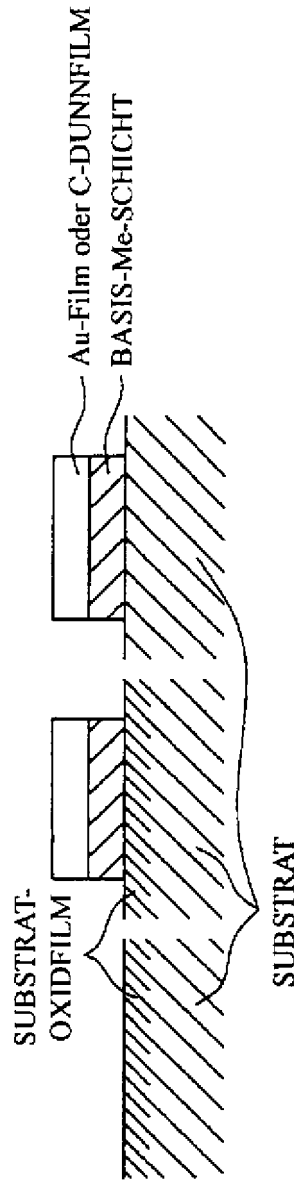
# FIG. 10

KONTAKTWIDERSTAND ( $m \Omega cm^2$ )

(BEDINGUNG 1) (BEDINGUNG 4) (BEDINGUNG 5)

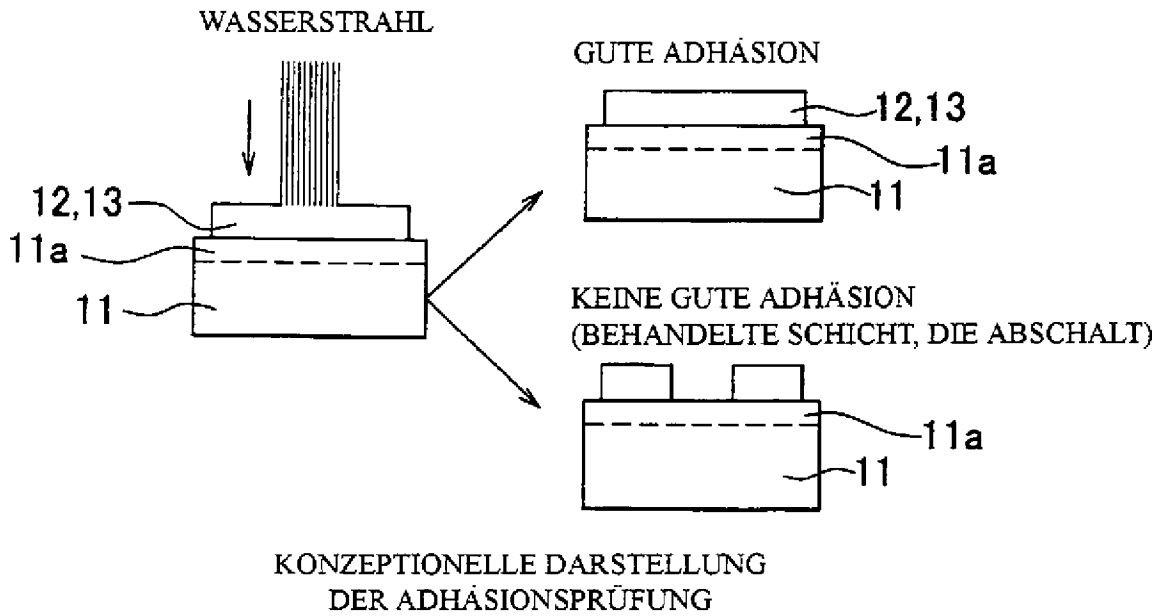


- KONTAKTWIDERSTAND DES DIFFUSIONSGEWEBES (KOHLENSTOFFGEWEBE) UND DES SUBSTRATOXIDFILMS
- ▨ KONTAKTWIDERSTAND DES DIFFUSIONSGEWEBES (KOHLENSTOFFGEWEBE) UND DES Au-FILMS ODER C-DUNNFILMS
- ▩ WIDERSTAND DES Au-FILMS, C-DUNNFILMS
- WIDERSTAND DES BASISFILMS
- ▤ WIDERSTAND DES SUBSTRATOXIDFILMS
- ▥ WIDERSTAND DES SUBSTRATS

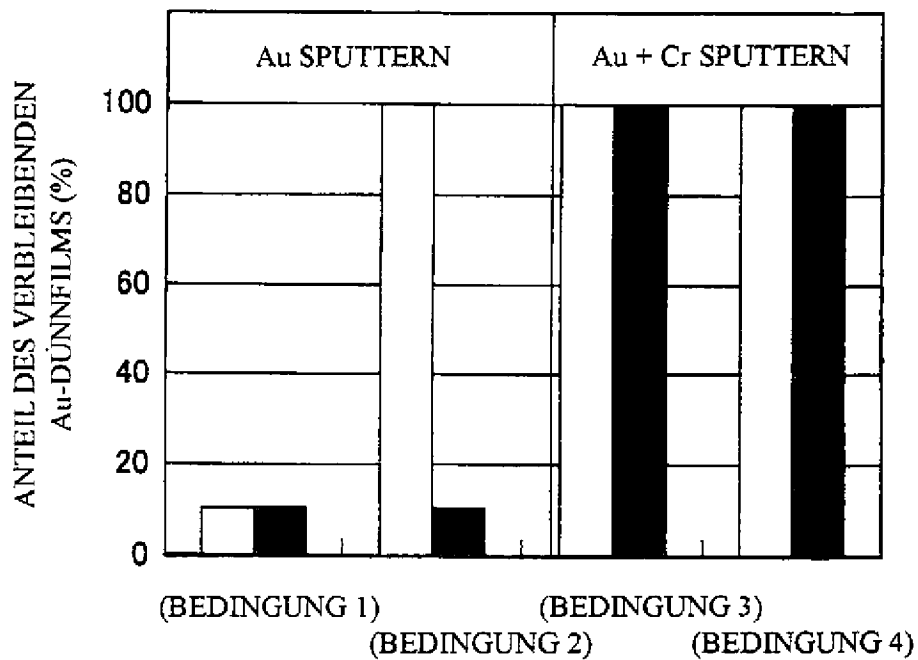


AUFBAU DER OBERFLÄCHENBEHANDLUNGS- UND KONTAKTWIDERSTANDSKOMPONENTEN (KONZEPTIONELL)

# FIG. 11



# FIG. 12



ADHÄSION DES Au-DUNNFILM-SEPARATORS



# FIG. 13

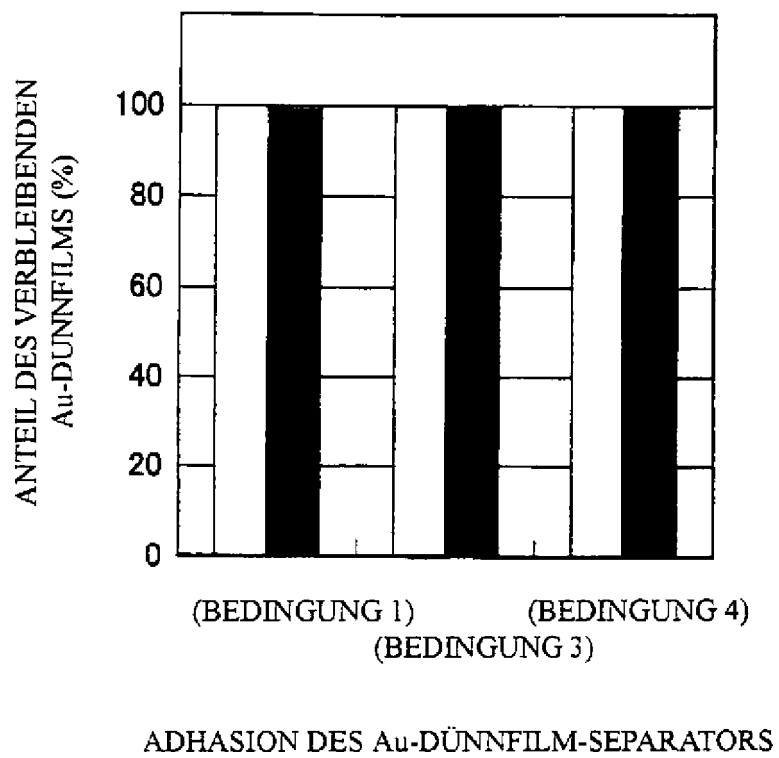


FIG. 14A                      FIG. 14C                      FIG. 14D  
 FIG. 14B

VARIATION I

