



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 603 17 841 T2** 2008.12.04

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 348 950 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **603 17 841.3**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **03 007 029.6**

(96) Europäischer Anmeldetag: **27.03.2003**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **01.10.2003**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **05.12.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **04.12.2008**

(51) Int Cl.⁸: **G01N 27/406** (2006.01)
G01N 27/407 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

2002096102 29.03.2002 JP

(73) Patentinhaber:

Hitachi, Ltd., Tokyo, JP

(74) Vertreter:

Hoefer & Partner, 81543 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB

(72) Erfinder:

Isitani, Shigeo, Atsugi-shi, Kanagawa 243-8510, JP; Ichianagi, Futoshi, Atsugi-shi, Kanagawa 243-8510, JP; Orimo, Yasuji, Atsugi-shi, Kanagawa 243-8510, JP; Katsuyama, Chiharu, Atsugi-shi, Kanagawa 243-8510, JP

(54) Bezeichnung: **Luft/Kraftstoffverhältnis-Detektor**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung**ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG****HINTERGRUND DER ERFINDUNG**

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung zum Bestimmen des Luft/Kraftstoffverhältnisses von, z. B. Fahrzeugmotoren, aus der Sauerstoffkonzentration oder dgl. des Abgases.

[0002] Im Allgemeinen werden Fahrzeugmotoren und dgl. mit einem Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensor (Sauerstoffsensor) in der Mitte der Abgasleitung oder dgl. zum Erfassen der Sauerstoffkonzentration oder dgl. des Abgases vorgesehen.

[0003] Der Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensor gibt das Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungssignal aus. Auf der Basis dieses Signals ist es möglich, eine Regelung der Menge der Kraftstoffeinspritzung durchzuführen, wodurch das stöchiometrische Luft/Kraftstoffverhältnis ($A/F = 14.7$) oder magere Luft/Kraftstoffverhältnis ($A/F \geq 15$) erreicht wird. Damit ist es möglich, die Motorverbrennungswirkung und den Kraftstoffverbrauch zu verbessern.

[0004] Es gibt einige herkömmliche Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensoren, die in der Form plättchenförmig sind (siehe die offengelegte Patentveröffentlichung (Kokkai) Showa 61(1986)-10762 und japanische offengelegte Patentveröffentlichung (Kohyo) Reisei 9(1997)-509747 gemäß dem US-Patent 5,686,654). Diese plättchenförmigen Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensoren umfassen einen Heizbereich und eine feste Elektrolytschicht und eine Diffusionsschicht, die auf dem Heizbereich ausgebildet sind.

[0005] Es gibt neue Anforderungen für die Verbesserungen bei der Herstellung von Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensoren und für die Richtungsfreiheit des Einbaus von Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensoren. Mit dieser Freiheit wird es möglich, die Genauigkeit zur Erfassung der Sauerstoffkonzentration und dgl. zu verbessern und dadurch die Menge der Kraftstoffeinspritzung genau zu regeln und die Motorregelung zu stabilisieren. Außerdem gibt es neue Anforderungen zur schnellen Temperaturerhöhung des Heizbereichs der Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensoren nach dem Motorstart. Mit dieser schnellen Erhöhung wird es möglich, die Zeitdauer, die zum Aktivieren der festen Elektrolytschicht und dgl. erforderlich ist, zu verkürzen, wodurch die erforderliche Zeitdauer zum Aktivieren der Messung der Sauerstoffkonzentration und dgl. verkürzt wird. Dies ermöglicht ein genaues Durchführen einer Regelung der Menge der Kraftstoffeinspritzung auf der Basis des Signals von den Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensoren zu einem frühen Zustand nach dem Motorstart.

[0006] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung zu schaffen, die es ermöglicht, die Genauigkeit und Stabilität beim Erfassen der Sauerstoffkonzentration des Abgases zu verbessern.

[0007] Es ist eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung zu schaffen, die einfach strukturiert und bei der Verarbeitbarkeit während der Herstellung verbessert ist.

[0008] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird eine Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung für ein Gas vorgesehen:
mit einem Heizbereich, der eine verlängerte zylindrische Form aufweist und durch Anlegen einer Stromversorgung von Außen heizt;
mit einer festen Elektrolytschicht, die auf einen gesamten umlaufenden Umfang des Heizbereichs ausgebildet ist, wobei die feste Elektrolytschicht durch Heizen vom Heizbereich aktiviert wird, um Sauerstoffionen durch die feste Elektrolytschicht zu leiten;
mit einer ersten Elektrode, die zwischen dem Heizbereich und der festen Elektrolytschicht positioniert und mit einer Innenfläche der festen Elektrolytschicht in Kontakt ist;
mit zweiten und dritten Elektroden, die mit einer Außenfläche der festen Elektrolytschicht in Kontakt und voneinander entfernt sind, so dass die feste Elektrolytschicht zwischen den ersten und zweiten Elektroden und zwischen den ersten und dritten Elektroden angeordnet ist;
mit einer ersten Spannungs-Anlegeeinrichtung zum Anlegen einer ersten Spannung zwischen den ersten und zweiten Elektroden;
mit einer zweiten Spannungs-Anlegeeinrichtung zum Anlegen einer zweiten Spannung zwischen den ersten und dritten Elektroden, wobei die zweite Spannung höher als die erste Spannung ist;
mit einer Diffusionsschicht, die aus einem porösen Werkstoff hergestellt ist, wobei die Diffusionsschicht die zweite Elektrode abdeckt, um das Durchlassen des Gases zur zweiten Elektrode einzustellen.

[0009] Weitere Einzelheiten und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus nachfolgender Beschreibung anhand der beigefügten Zeichnung.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNG

[0010] [Fig. 1](#) ist ein Längsschnitt, der einen Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensor, der mit einer Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung ausgebildet ist, gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellt;

[0011] [Fig. 2](#) ist ein Längsschnitt, der die Luft/Kraft-

stoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung von [Fig. 1](#) darstellt;

[0012] [Fig. 3](#) ist eine perspektivische Explosionsansicht, die Teile eines Heizbereichs der Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung darstellt;

[0013] [Fig. 4](#) ist eine perspektivische Ansicht, die den Heizbereich darstellt, in dem die Teile von [Fig. 3](#) zusammengebaut worden sind;

[0014] [Fig. 5](#) ist eine perspektivische Ansicht, die weitere Teile der Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung darstellt;

[0015] [Fig. 6](#) ist eine perspektivische Ansicht, die einen Zustand darstellt, in dem weitere Teile von [Fig. 5](#) zusammengebaut worden sind;

[0016] [Fig. 7](#) ist eine vergrößerte, schematische Teil-Ansicht, die einen inneren Aufbau einer inneren Elektrode der Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung darstellt;

[0017] [Fig. 8](#) ist ein charakteristisches Schaubild, das ein Verhältnis zwischen dem Luft/Kraftstoffverhältnis (λ) und dem erfassten Signal (I_m) von der Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung darstellt;

[0018] [Fig. 9](#) ist ein schematisches Schaubild, das den Ablauf zum Erfassen des Luft/Kraftstoffverhältnis bei einem mageren Luft/Kraftstoffverhältniszustand darstellt;

[0019] [Fig. 10](#) ist ein charakteristisches Schaubild, das die Spannungen der Referenz- und Messzellen bei einem mageren Luft/Kraftstoffverhältniszustand darstellt;

[0020] [Fig. 11](#) ist ein schematisches Schaubild, das den Ablauf zum Erfassen des Luft/Kraftstoffverhältnis bei einem stöchiometrischen Luft/Kraftstoffverhältniszustand darstellt;

[0021] [Fig. 12](#) ist ein charakteristisches Schaubild, das die Spannungen der Referenz- und Messzellen bei einem stöchiometrischen Luft/Kraftstoffverhältniszustand darstellt;

[0022] [Fig. 13](#) ist ein schematisches Schaubild, das den Ablauf zum Erfassen des Luft/Kraftstoffverhältnis bei einem fetten Luft/Kraftstoffverhältniszustand darstellt;

[0023] [Fig. 14](#) ist ein charakteristisches Schaubild, das die Spannungen der Referenz- und Messzellen bei einem fetten Luft/Kraftstoffverhältniszustand darstellt;

[0024] [Fig. 15](#) ist eine Ansicht ähnlich wie [Fig. 7](#), stellt aber einen inneren Aufbau einer Innenelektrode einer Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dar; und

[0025] [Fig. 16](#) ist eine weitere vergrößerte, schematische Ansicht eines Bereichs, der durch "a" in [Fig. 15](#) bezeichnet ist.

Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen

[0026] Wie oben erwähnt, weist eine Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung einen Heizbereich auf, der eine verlängerte zylindrische Form aufweist. Somit ist es möglich, sequentiell eine feste Elektrolytschicht, erste bis dritte Elektroden, eine Diffusionsschicht und dergleichen auf dem Umfang des Heizbereichs unter Verwendung einer Technik, wie zum Beispiel dem gekrümmten Flachdruck, zu bilden. Daher ist es möglich, eine Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung als Ganzes in einer verlängerten zylindrischen Form zu bilden, wie in [Fig. 1](#) dargestellt. Diese verlängerte zylindrische Form kann mehrere Freiheitsgrade beim Auswählen der Richtung des Einbaus der Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung vorsehen. Dies ermöglicht die Erfassung der Sauerstoffkonzentration und dergleichen des Abgases mit einer beständigen Genauigkeit. Außerdem ist es möglich, einen erweiterten Heizflächenbereich des Heizbereichs zum Aufheizen der festen Elektrolytschicht aufzuweisen. Damit wird es möglich, die Wärme vom Heizbereich zur festen Elektrolytschicht und dergleichen effizient zu übertragen. Dadurch wird es möglich, die Zeitdauer zum Erhöhen der Temperatur des Heizbereichs zu verkürzen, wodurch die feste Elektrolytschicht früher aktiviert wird. Dies ermöglicht frühzeitig ein beständiges und genaues Erfassen oder Bestimmen des Luft/Kraftstoffverhältnisses nach dem Motorstart, wodurch die Regelung sofort durchgeführt wird. Außerdem ist es notwendig, die Luft (als Maßstab) in das Innere der Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung einzuleiten. Daher wird die Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung in der Anordnung vereinfacht, wodurch die Verarbeitbarkeit zum Herstellen derselben verbessert wird. Außerdem wird der elektrische Energieverbrauch des Heizbereichs reduziert.

[0027] Ferner wird die Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung durch seine verlängerte zylindrische Form eindeutig hergestellt, um eine kleinere Größenordnung im Vergleich mit herkömmlichen plattenähnlichen Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtungen aufzuweisen. Außerdem ist es möglich, die ersten bis dritten Elektroden so anzuordnen, dass die erste Elektrode den zweiten und dritten Elektroden durch Einfügen einer festen Elektrolytschicht in radialer Richtung gegenüberliegt. Damit

wird es möglich, die ersten bis dritten Elektroden mit einer großen Elektrodenfläche und mit einem kurzen Abstand dazwischen vorzusehen, um den elektrischen Widerstand zu reduzieren. Ferner ist es möglich, die Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung im Durchmesser kleiner zu machen. Weiterhin ist es möglich, eine Diffusionsschicht auf der Umfangsseite der festen Elektrolytschicht auszubilden. Damit wird es möglich, die Abweichung bei der Porosität der Diffusionsschicht leicht zu korrigieren und den Produktionsertrag zu verbessern.

[0028] Durch Anlegen der oben erwähnten ersten und zweiten Spannungen (erste Spannung < zweite Spannung) jeweils zwischen den ersten und zweiten Elektroden und zwischen den ersten und dritten Elektroden ist es möglich, einen eine Diffusion begrenzenden Strom (Pumpstrom) des durch die Diffusionsschicht hindurchgehenden Sauerstoffs zu erfassen, wenn sich das Abgas in einem mageren Zustand befindet, und um einen Grenzstrom als den Sauerstoffstrom zu erfassen, der zum Oxidieren der brennbaren Gaskomponenten nötig ist, die durch die Diffusionsschicht hindurchgehen, wenn sich das Abgas in einem fetten Zustand befindet.

[0029] Bezüglich der [Fig. 1](#) bis [Fig. 14](#) wird nachstehend detailliert eine Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung (Luft/Kraftstoffverhältnis- oder Sauerstoffsensor) gemäß einer ersten Ausführung der vorliegenden Erfindung beschrieben, die zum Beispiel für einen umfangreichen Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensor verwendet wird, der am Auspuff eines Automobils angeordnet ist.

[0030] Wie aus [Fig. 1](#) ersichtlich, wird ein Gehäuse des ersten Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensors mit Ziffer **1** bezeichnet. Dieses Gehäuse **1** umfasst (a) den zylindrischen Halter **2** mit dem äußeren gewindeten Bereich **2A**, (b) zylindrische Abdeckung **3**, die an einem Basisbereich des Halters **2** einstückig gesichert ist, und (c) Führungsrohr **4**, das mit der Abdeckung **3** konzentrisch anzuordnen und zwischen der nachstehend erwähnten Dichtkappe **10** und Halter **2** positioniert ist.

[0031] Jeder von Halter **2**, Kappe **3** und Führungsrohr **4** kann aus einem Metallwerkstoff, wie z. B. rostfreiem Stahl, hergestellt werden.

[0032] Der äußere gewindete Bereich **2A** ist über ein Gewinde mit dem Auspuff so in Eingriff, dass die nachstehend erwähnte Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung **21** in den Innenraum des Auspuffs hervorragt.

[0033] Durch Ziffer **5** wird eine isolierte Abstützung bezeichnet, die in einem Hohlraum, der durch den Halter **2** definiert wird, durch Einfügen des Metalledichtungs **6** angeordnet. Die isolierte Abstützung **5** weist

eine üblicherweise zylindrische Form und eine zylindrische Öffnung zur Aufnahme der Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung **21** auf und ist aus Keramikwerkstoff (zum Beispiel Aluminiumoxyd (Al_2O_3)) hergestellt. Und zwar wird die Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung **21** an der inneren zylindrischen Wand der isolierten Abstützung **5** durch eine anorganische Verbindung oder dergleichen gesichert. Somit wird die Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung **21** an einer geeigneten Position im Gehäuse **1** durch die isolierende Abstützung **5** positioniert und elektrisch und thermisch durch die isolierende Abstützung **5** isoliert.

[0034] Durch die Ziffern **7**, **8** werden die isolierenden zylindrischen Elemente bezeichnet, die in dem Raum des Führungsrohrs **4** angeordnet sind. Jedes dieser zylindrischen Elemente **7**, **8** wird aus einem Keramikwerkstoff (zum Beispiel Aluminiumoxyd (nachstehend als Aluminium bezeichnet)) hergestellt und behält die nachstehend erwähnten Kontaktplatten **13**, **14** und dergleichen im isolierten Zustand gegenüber dem Gehäuse **1** bei.

[0035] Durch Ziffer **9** wird eine Feder bezeichnet (als elastisches Element), die im Inneren des Gehäuses **1** positioniert und in Sandwichform zwischen der isolierenden Abstützung **5** und dem isolierenden zylindrischen Element **7** angeordnet ist. Die Feder **9** spannt die isolierende Abstützung **5** in Richtung des Halters **2** vor und dient zum Verhindern einer direkten Übertragung von Vibrationen, Stößen und dergleichen von außen auf die Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung **21** durch das Gehäuse **1**.

[0036] Durch Ziffer **10** wird eine Dichtkappe zum Verschließen eines Basisendes der Kappe **3** bezeichnet. Die Dichtkappe **10** weist eine gestufte zylindrische Form auf und wird aus hitzebeständigem Kunststoff (zum Beispiel Polytetrafluorethylen (PTFE)) hergestellt. Die isolierenden zylindrischen Elemente **7**, **8** und dergleichen sind an geeigneten Positionen im Inneren des Gehäuses **1** mit einer Vorspannkraft der Feder **9** positioniert.

[0037] Die Bleidrähte **11**, **11** zum Erfassen des Luft/Kraftstoffverhältnisses und die Bleidrähte **12**, **12** (nur in [Fig. 1](#) dargestellt) zum Einschalten des Heizbereichs sind in der Dichtkappe **10** eingesetzt. Die Bleidrähte **11**, **11** sind elektrisch mit den Kontaktplatten **13**, **13** und die Bleidrähte **12**, **12** elektrisch mit den Kontaktplatten **14**, **14** verbunden.

[0038] Durch Ziffer **15** wird ein auf dem Halter **2** des Gehäuses **1** ausgebildeter Protektor bezeichnet. Der Protektor **15** wird in einer zylindrischen Form unter Verwendung einer hitzebeständigen Metallplatte oder dergleichen ausgebildet.

[0039] Der Protektor **15** wird an seinem Basisbe-

reich am Halter **2** befestigt, um einen Endbereich in der Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung **21** abzudecken. Damit ragt der Endbereich des Protektors **15** vom Halter **2** in axialer Richtung hervor.

[0040] Der Protektor **15** ist an seinem Endbereich mit einer Mehrzahl von Öffnungen **15A** zum Leiten des Abgases (das durch den Auspuff strömt) in Richtung des Endbereichs der Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung **21** ausgebildet.

[0041] Die Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung **21** ist im Inneren des Halters **2** durch die isolierende Abstützung **5** fixiert, und der Endbereich der Vorrichtung **21** ragt vom Halter **2** in axialer Richtung hervor. Wie in [Fig. 2](#) und [Fig. 6](#) dargestellt, weist die Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung den Heizbereich **22**, feste Elektrolytschicht **27** und Diffusionsschicht **34** auf.

[0042] Wie aus [Fig. 2](#) bis [Fig. 4](#) ersichtlich, weist der Heizbereich **22** (mit einer verlängerten zylindrischen Form) (a) das Kernrohr **23**, das in einer hohlen zylindrischen Form durch einen Keramikwerkstoff (wie zum Beispiel Aluminiumoxyd) ausgebildet ist, (b) das Heizmuster und (c) die dämmende, den Heizbereich-abdeckende Schicht **25** auf.

[0043] Wie aus [Fig. 3](#) ersichtlich, wird das Heizmuster **24** auf dem Umfang des Kernrohrs **23** durch einen gekrümmten Flächendruck oder dergleichen ausgebildet. Das Heizmuster **24** weist ein Paar von Führungen **24A**, **24A** auf, die sich in axialer Richtung des Kernrohrs **23** erstrecken. Die Heizbereich-abdeckende Schicht **25** wird auf dem Umfang des Kernrohrs **23** durch einen Dickschichtdruck unter Verwendung eines Keramikwerkstoffs (zum Beispiel Aluminiumoxid) zum Schützen des Heizmusters **24** zusammen mit den Führungen **24a** ausgebildet.

[0044] Das Kernrohr **23** wird zum Beispiel in einer verlängerten zylindrischen Form durch Spritzgießen eines Keramikwerkstoffs (zum Beispiel Aluminiumoxid) ausgebildet, um einen Außendurchmesser von ungefähr 3 bis 4 mm und eine axiale Länge von ungefähr 50 bis 60 mm aufzuweisen. Das Kernrohr **23** weist eine zylindrische Öffnung **23A** auf, die sich in axialer Richtung erstreckt. Diese Öffnung **23A** reduziert das Volumen des Kernrohrs **23** und dient dadurch zum Reduzieren der Wärmekapazität des Kernrohrs **23**. Das Kernrohr **23** kann durch Extrudieren neben dem oben erwähnten Spritzgießen ausgebildet werden. Außerdem kann das Kernrohr **23** eine massive Anordnung im Gegensatz zur oben erwähnten hohlen Anordnung aufweisen.

[0045] Das Heizmuster **24** wird aus einem exothermischen leitfähigen Werkstoff (zum Beispiel Platin gemischt mit 10 Gew.-% von Aluminiumoxyd) hergestellt werden. Jede Führung **24A** ist am Basisendbe-

reich des Kernrohrs **23** mit jeder Kontaktplatte **14** verbunden, wie in [Fig. 1](#) dargestellt. Der Strom wird dem Heizmuster **24** von der nachstehend erwähnten Stromquelle **34** durch die Führungen **12**, Kontaktplatten **14** und Führungen **24A** zugeführt, wodurch der Heizbereich **22** bei einer Temperatur von ungefähr 650°C bis 800°C aufgeheizt wird.

[0046] Die Heizbereich-abdeckende Schicht **25** wird in einer zylindrischen, porösen, isolierenden Schicht unter Verwendung eines Keramikwerkstoffs (zum Beispiel Aluminiumoxyd) ausgebildet. Die feste Elektrolytschicht **27** und die innere Elektrode **28** werden auf dem Umfang der Heizbereich-abdeckenden Schicht **25** durch einen gekrümmten Flächendruck oder dergleichen laminiert.

[0047] Wie aus [Fig. 3](#) ersichtlich, bezeichnet die Ziffer **26** einen Stopfen. Ähnlich dem Kernrohr **23** wird der Stopfen **26** aus einem Keramikwerkstoff (zum Beispiel Aluminiumoxyd) hergestellt. Der Stopfen **26** ist in einem Basisende der zylindrischen Öffnung **23A** eingesetzt, um die zylindrische Öffnung **23A** zu schließen. Die zylindrische Öffnung **23A** des Kernrohrs **23** kann als mittlere Öffnung zum Ausführen eines gekrümmten Flächendrucks der nachstehend erwähnten festen Elektrolytschicht **27**, Protektorschicht **33**, Diffusionsschicht **33** und dergleichen verwendet werden. Somit ist es beim Erstellen des Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensors wünschenswert, die sequentiellen Schritten von (a) Ausführen eines gekrümmten Flächendrucks der festen Elektrolytschicht **27**, Protektorschicht **33**, Diffusionsschicht **34** und dergleichen; (b) Ausbilden des Stopfens **26** am Basisendbereich der zylindrischen Öffnung **23A**; und (c) Sintern des Stopfens **26** zusammen mit dem Kernrohr **23** auszuführen.

[0048] Wie aus [Fig. 2](#) ersichtlich, bezeichnet die Ziffer **27** eine leitfähige feste Elektrolytschicht mit Sauerstoffionen. Die feste Elektrolytschicht **27** wird auf dem Umfang der Heizbereich-abdeckenden Schicht **25** des Heizbereichs **22** unter Verwendung einer gekrümmten Flächendrucktechnik oder dergleichen ausgebildet. Wie in [Fig. 5](#) dargestellt, kann die feste Elektrolytschicht **27** in einer zylindrischen Form durch Ausführen eines Dickschichtdrucks von einer Paste auf dem Umfang der Heizbereich-abdeckenden Schicht **25** ausgebildet werden. Diese Paste kann aus einer Mischung von (einem sog. mit Yttriumoxid stabilisierten Zirkonoxid (YSZ)) von 95 Vol.-% eines Zirkonoxids (ZrO_2)-Pulvers und 5 Vol.-% eines Zirkonoxidpulvers (Y_2O_3) hergestellt werden.

[0049] Die feste Elektrolytschicht **27** weist eine Dicke von zum Beispiel ungefähr 50 bis 100 µm auf und transportiert dort zwischen den Elektroden **28**, **29** und den Elektroden **28**, **31** Sauerstoffionen hindurch. Damit erzeugt die feste Elektrolytschicht **27** die nachstehend erwähnten Nernst-Spannungen V_{nl} , V_{nt} , V_{nr}

gemäß dem Luft/Kraftstoffverhältnis.

[0050] Durch die Ziffer **28** wird eine innere Elektrode (erste Elektrode) bezeichnet, die zwischen der Heizbereich-abdeckenden Schicht **25** des Heizbereichs **22** und der festen Elektrolytschicht **27** positioniert ist und die auf der Innenfläche der festen Elektrolytschicht **27** ausgebildet ist. Wie in [Fig. 5](#) dargestellt, kann die innere Elektrode **28** auf dem Umfang der Heizbereich-abdeckenden Schicht **25** (poröse isolierende Schicht) durch Ausführen eines gekrümmten Flächendrucks, vor dem gekrümmten Flächendruck der festen Elektrolytschicht **27**, ausgebildet werden.

[0051] Wie in [Fig. 7](#) dargestellt, kann die innere Elektrode **28** als zylindrische Elektrode ausgebildet werden, um eine vorbestimmte Länge in axialer Richtung in der Heizbereich-abdeckenden Schicht **25** oder der festen Elektrolytschicht **27** durch Ausführen eines gekrümmten Flächendrucks aufzuweisen, bei dem eine Paste, die das nachstehend erwähnte Edelmetallmaterial **41** und die keramische Körner **42** enthält, auf den Umfang der Heizbereich-abdeckenden Schicht **25** aufgetragen wird.

[0052] Wie in [Fig. 2](#) dargestellt, ist die innere Elektrode **28** an ihrer einen Seite (Führungsendenseite) in Axialrichtung der nachstehend erwähnten Messelektrode **29** in radialer Richtung der festen Elektrolytschicht **27** entgegengesetzt und an ihrer anderen Seite (Basisendenseite) in axialer Richtung der nachstehend erwähnten Referenzelektrode **31** in radialer Richtung der festen Elektrolytschicht **27** entgegengesetzt.

[0053] Die innere Elektrode **28** weist ein Paar von Führungen **28A** auf (nur eine ist in [Fig. 5A](#) dargestellt), die sich zum Basisende des Heizbereichs **22** in axialer Richtung der Heizbereich-abdeckenden Schicht **25** erstrecken. Die feste Elektrolytschicht **27** ist auf dem Umfang der Heizbereich-abdeckenden Schicht **25** durch den gekrümmten Flächendruck so ausgebildet, um die innere Elektrode **28** von außen mit Ausnahme ihrer Führungen **28A** vollständig zu umschließen.

[0054] Die Ziffer **29** bezeichnet eine Messelektrode (zweite Elektrode), die auf dem Umfang der festen Elektrolytschicht **27** an einer Position nahe dem Führungsende des Heizbereichs **22** ausgebildet ist. Wie in [Fig. 2](#) dargestellt, befindet sich die Messelektrode **29** an einer Position, um die feste Elektrolytschicht **27** zwischen der Messelektrode **29** und der inneren Elektrode **28** einzufügen, und dadurch die Messzelle **30** als erste Pumpenzelle zu bilden.

[0055] Durch Ziffer **31** wird eine Referenzelektrode (dritte Elektrode) bezeichnet, die auf dem Umfang der festen Elektrolytschicht **27** an einer Position weg von der Messelektrode **29** in axialer Richtung des

Heizbereichs **22** ausgebildet. Wie in [Fig. 2](#) dargestellt, befindet sich die Referenzelektrode **31** an einer Position, um die feste Elektrolytschicht **27** zwischen der Referenzelektrode **31** und der inneren Elektrode **28** einzufügen, und bildet dadurch die Referenzzelle **22** als zweite Pumpenzelle.

[0056] Die Messelektrode **29** und die Referenzelektrode **31** können auf dem Umfang der festen Elektrolytschicht **27** durch Ausführen eines gekrümmten Flächendrucks unter Verwendung einer leitfähigen Paste von Platin oder dergleichen ausgebildet werden, um ein wie in [Fig. 5](#) dargestelltes Druckmuster aufzuweisen. Ihre Führungen **28A**, **31A** erstrecken sich in Richtung des Basisendes des Heizbereichs **22**.

[0057] Jede Führung **28A** der inneren Elektrode **28**, Führung **29A** der Messelektrode **29** und Führung **31A** der Referenzelektrode **31** sind an der Basisendenseite der Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung **21** mit der entsprechenden Kontaktplatte **13** und Führung **11** verbunden. Wie in [Fig. 2](#) dargestellt, wird die Arbeitsspannung V_a (erste Spannung) zwischen der inneren Elektrode **28** und der Messelektrode **29** von der nachstehend erwähnten Gleichstromquelle **36** angelegt.

[0058] Die Arbeitsspannung V_b (zweite Spannung) wird zwischen der inneren Elektrode **28** und der Referenzelektrode **31** von der nachstehend erwähnten Gleichstromquelle **39** angelegt. Auf der Seite der Referenzzelle **32** wird die Referenzelektrode **31** eine Kathode zum Ausführen der Reaktionen, die in den nachstehend erwähnten Reaktionsformeln (1) und (3) dargestellt sind, und die innere Elektrode **28** wird eine Anode. Damit wird der Sauerstoff von der Referenzelektrode **31** in Richtung der inneren Elektrode **28** angezogen, wie nachstehend erwähnt.

[0059] Andererseits wird auf der Seite der Messzelle **30** bei einem mageren Luft/Kraftstoffverhältniszustand ($\lambda > 1$) die Referenzelektrode **29** die Kathode zum Ausführen der Reaktion, die in der Reaktionsformel (1) dargestellt ist, und die innere Elektrode **28** die Anode, um den Sauerstoff anzuziehen. Im Gegensatz dazu wandelt sich bei einem fetten Luft/Kraftstoffverhältniszustand ($\lambda < 1$) die Referenzelektrode **31** in eine Anode, und die innere Elektrode **28** dient als Kathode.

[0060] Durch Ziffer **33** wird eine Protektorschicht zum Abdecken eines Teils der festen Elektrolytschicht **27** sowie der Referenzelektrode **31** bezeichnet. Wie in [Fig. 2](#) und [Fig. 5](#) dargestellt, wird die Protektorschicht **33** als zylindrischer Körper, der eine Dicke von zum Beispiel ungefähr 30 bis 100 μm durch eine Paste von Aluminiumoxydpulver und Magnesiumoxydpulver (MgO) aufweist, und anschließend durch Aufbringen der Paste auf die Umfänge der festen Elektrolytschicht **27** und der Heizbereich-abde-

ckenden Schicht **25** unter Verwendung eines gekrümmten Flächendrucks ausgebildet.

[0061] Die so ausgebildete Protektorschicht **33** soll eine poröse Anordnung mit einer Porosität aufweisen, die höher als die der nachstehend erwähnten Diffusionsschicht **34** ist. Die Protektorschicht **33** deckt die feste Elektrolytschicht von außen, mit Ausnahme des Führungsendenbereichs mit der darauf befindlichen Messelektrode **29**, ab.

[0062] Die Protektorschicht **33** fungiert zum Protektor der Heizbereichabdeckenden Schicht **25**, festen Elektrolytschicht **27** und Referenzelektrode **31**. Einem Teil des um die Protektorschicht **33** herumströmenden Abgases wird ermöglicht, durch die Protektorschicht **33** (mit einer hohen Porosität) in Richtung der Referenzelektrode **31** hindurchzugehen.

[0063] Durch die Ziffer **34** wird eine Diffusionsschicht bezeichnet, die aus einem porösen Werkstoff zum Abdecken der festen Elektrolytschicht **27** und der Messelektrode **29** von außen hergestellt wird. Wie in [Fig. 2](#) und [Fig. 5](#) dargestellt, kann zum Beispiel die Diffusionsschicht **34** als zylindrischer Körper ausgebildet werden, um eine Dicke von zum Beispiel ungefähr 30 bis 100 µm durch Aufbringen einer Paste von Aluminiumoxydpulver am Umfang des Führungsendenbereichs der festen Elektrolytschicht **27** aufzuweisen. Optional kann einer vorbestimmten Menge von Zirkonoxypulver die Aluminiumoxydpulverpaste bei der Erstellung der Diffusionsschicht **34** hinzugefügt werden.

[0064] Die Diffusionsschicht **34** wird ausgebildet, um eine poröse Anordnung mit feinen Poren im Vergleich mit der der Protektorschicht **33** aufzuweisen und fungiert daher so, dass einem Teil des um die Diffusionsschicht **34** herumströmenden Abgases ermöglicht wird, durch die Diffusionsschicht **34** in Richtung der Messelektrode **29** hindurchzugehen. Das Durchlassen des Abgases (Gasdiffusionswiderstand) kann durch Verändern der Dicke der Diffusionsschicht **34** angepasst werden. Wie in [Fig. 2](#) dargestellt, wird die Diffusionsschicht **34** positioniert, um die Führungsendenseite des Heizbereichs **22** abzudecken. Dadurch ist es leicht möglich, die Dicke der Diffusionsschicht **34** von außen im Anschluss an das Entfernen des Protektors **15** anzupassen.

[0065] Und zwar ist es möglich, das Durchlassen (Gasdiffusionswiderstand) des Abgases zum Beispiel durch Schleifen des Umfangs der Diffusionsschicht **34** unter Verwendung eines Diamantschleifens geeignet anzupassen. Außerdem kann die Diffusionsschicht **34** durch Plasmaspritzen ausgebildet werden, um den Umfang der Führungsendenseite der festen Elektrolytschicht **27** unter Verwendung eines porösen keramischen Werkstoffs, zum Beispiel von Aluminiumoxyd, abzudecken.

[0066] Durch Ziffer **35** wird eine Heizstromquelle bezeichnet, die außerhalb des Gehäuses **1** angeordnet ist. Wie in [Fig. 2](#) dargestellt, ist die Heizstromquelle **35** mit dem Heizmuster **24** durch den Bleidraht **12** und dergleichen verbunden. Die Heizstromquelle **35** heizt den Heizbereich **22** bei einer Temperatur von ungefähr 650°C bis 800°C durch Anlegen der Spannung am Heizmuster **24** des Heizbereichs **22**.

[0067] Durch Ziffer **36** wird eine Gleichstromquelle (erste Spannungsanlageeinrichtung) bezeichnet, die außerhalb des Gehäuses **1** angeordnet ist. Wie in [Fig. 2](#) dargestellt, ist die Gleichstromquelle **36** mit der inneren Quelle **28** und der Messelektrode **29** durch den Bleidraht **11** verbunden, wodurch die Arbeitsspannung V_a (erste Spannung) zwischen den Elektroden **28**, **29** angelegt wird. Die Arbeitsspannung V_a der Gleichstromquelle **36** kann bei einer konstanten Spannung (zum Beispiel ungefähr 450 mV) beibehalten oder gemäß dem Bedarf verändert werden.

[0068] Durch die Ziffer **37** wird ein Amperemeter bezeichnet, das zwischen und mit der Gleichstromquelle **36** und der Messelektrode **29** angeordnet und verbunden ist. Das Amperemeter **37** umfasst den eine Diffusion begrenzenden Strom I_m (der von der Messelektrode **29** ausgegeben wird) gemäß dem Luft/Kraftstoffverhältnis, wie durch die charakteristische Linie **38** von [Fig. 8](#) dargestellt.

[0069] Durch Ziffer **39** wird eine Gleichstromquelle (zweite Spannungsanlageeinrichtung) bezeichnet, die außerhalb des Gehäuses **1** angeordnet ist. Wie in [Fig. 2](#) dargestellt, ist die Gleichstromquelle **39** mit der inneren Elektrode **28** und der Referenzelektrode **31** durch den Bleidraht **11** verbunden, wodurch die Arbeitsspannung V_b (zweite Spannung) zwischen den Elektroden **28**, **31** angelegt wird. In diesem Fall wird die Arbeitsspannung V_b der Gleichstromquelle **39** bei einer konstanten Spannung (zum Beispiel ungefähr 1,6 V) gehalten. Diese Arbeitsspannung V_b ist höher als die Arbeitsspannung V_a der Gleichstromquelle **36**, und kann bei Bedarf eingestellt werden.

[0070] Die Arbeitsspannung V_a der Gleichstromquelle **36** und die Arbeitsspannung V_b der Gleichstromquelle **39** sind im Voraus so eingestellt, dass die Menge des Sauerstoffs, der in die Hohlräume **43** (Sauerstoff-aufnehmende Kammern) der inneren Elektrode **28** absorbiert wird, infolge der nachstehend erwähnten kombinierten Pumpspannung Up_b größer als die Menge des Sauerstoffs ist, der aus den Hohlräumen **43** der inneren Elektrode **28** infolge der nachstehend erwähnten Pumpspannung Up_a absorbiert wird. Damit werden die Arbeitsspannungen V_a und V_b eingestellt, um die Formel (7) zu erfüllen.

[0071] Durch Einstellen der Arbeitsspannung V_a der Gleichstromquelle **36** und der Arbeitsspannung V_b der Gleichstromquelle **39** wird das Signal, das als

den eine Diffusion begrenzenden Strom I_m von der Messelektrode **29** ausgegeben wird, durch das Amperemeter **37** als das erfasste Signal erfasst, das sich gemäß des Luft/Kraftstoffverhältnisses ändert, wie durch die charakteristische Linie **38** von [Fig. 8](#) dargestellt.

[0072] Die Anordnung der inneren Elektrode **28** wird nachstehend bezüglich [Fig. 7](#) erläutert. Die innere Elektrode **28** wird aus dem Edelmetallwerkstoff **41** (zum Beispiel Platin), keramischen Körnern **42** und Hohlräumen **43** gebildet. Zum Beispiel können die keramischen Körner **42** durch Mischen eines Zirkonoxypulvers mit einer Korngröße von ungefähr 0,4 bis 1,0 μm mit einem Aluminiumoxypulver mit einer Korngröße von ungefähr 0,4 bis 1,0 μm erstellt werden.

[0073] Die Hohlräume **43** können unter Verwendung eines Hohlraum-Formbildners, der ein Kohlenstoffpulver mit einer Korngröße von ungefähr 0,4 bis 3,0 μm enthält, gebildet werden. Dieser Hohlraum-Formbildner wird nach dem Aufheizen der Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung **21** verdampft, wodurch Hohlräume **43** in der inneren Elektrode **28** gebildet werden, die beständige Blasen sind. Die Hohlräume **43** weisen eine Größe auf, die vergleichbar oder größer als die der keramischen Körner **42** sind. Damit ist es möglich, die in den Hohlräumen aufzunehmende Sauerstoffmenge zu erhöhen, wodurch die Diffusion des Sauerstoffs in der inneren Elektrode **28** problemlos durchgeführt wird.

[0074] Die innere Elektrode **28** kann durch Mischen eines Pulvers des Edelmetalls **41** mit zum Beispiel 15 bis 20 Gew.-% von Zirkonoxypulver, 1 bis 2 Gew.-% von Aluminiumoxypulver und 1 bis 5 Gew.-% von Kohlenstoffpulver, um eine Paste zu erstellen, und anschließend durch Aufbringen der Paste auf den Umfang der Heizbereich-abdeckenden Schicht **25** erstellt werden. In diesem Fall wird das Aluminiumoxypulver mit 1 bis 2 Gew.-% von Mullitpulver ($3\text{Al}_2\text{O}_3$ 2SiO_2) optional ersetzt.

[0075] Die innere Elektrode **28** dient zum Transport der darin befindlichen Elektronen, da das Edelmetall eine Elektrodenreaktion erzeugt. Die innere Elektrode **28** wird bei der Adhäsion zur Heizbereich-abdeckenden Schicht **25** (poröse isolierende Schicht) und festen Elektrolytschicht **27** durch den Inhalt eines Zirkonoxypulvers und eines Aluminiumoxyd- oder Mullitpulvers in den keramischen Körnern **42** verbessert.

[0076] Wie oben erwähnt, dienen die in der inneren Elektrode **28** ausgebildeten Hohlräume **43** (beständige Blasen) als Sauerstoffaufnehmende Kammern in der inneren Elektrode **28**. Wie in [Fig. 5](#) bis [Fig. 6](#) dargestellt, enthalten die Führungen **28A** der inneren Elektrode **28** auch Hohlräume **43**. Damit sind die Sauerstoff-aufnehmenden Kammern der Hohlräume

43 mit der Atmosphäre im Gehäuse **1** (insbesondere Kappe **3**) in Verbindung, wie in [Fig. 1](#) dargestellt.

[0077] Das Vorhandensein der Hohlräume **43** der inneren Elektrode **28** erhöht die Anzahl der drei Phasen-Interfaces (die als Elektroden-Reaktionspunkte dienen), die zwischen der festen Elektrolytschicht **27**, Edelmetall **41** und den Hohlräumen **43** ausgebildet werden. Da die Hohlräume **43** als Sauerstoff-aufnehmende Kammern dienen, dienen sie zum Diffundieren des Sauerstoffs überall in der inneren Elektrode **28** gemäß der Konzentrationsgradienten und Druckgradienten. Wie in [Fig. 7](#) dargestellt, können Aussparungen **44** in der Umgebung der Grenze zwischen der festen Elektrolytschicht **27** und der inneren Elektrode **28** existieren, um die drei Phasen-Interfaces zu bilden, die zwischen den Aussparungen **44**, fester Elektrolytschicht **27** und Edelmetall **41** ausgebildet werden.

[0078] Gemäß der [Fig. 3](#) bis [Fig. 6](#) wird nachstehend das Verfahren zum Herstellen der Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung **21** erläutert.

[0079] Zum Herstellung des Heizbereichs **22** wird ein Keramikwerkstoff (zum Beispiel Aluminiumoxyd) als hohle zylindrische Stange als Kernrohr **23** durch Spritzgießen, gefolgt durch vorläufiges Sintern, ausgebildet. In diesem Fall ist es wünschenswert, den Durchmesser der zylindrischen Öffnung **23A** so groß wie möglich zu vergrößern, um die Heizkapazität des Kernrohrs **23** zu reduzieren.

[0080] Bei der Muster-Druckstufe ist eine Abstützswelle (zum Beispiel Einspannfutter) mit beiden Enden der zylindrischen Öffnung **23** in Eingriff, um das Kernrohr **23** zu drehen. Während das Kernrohr **23** gedreht wird, wird ein exothermischer leitfähiger Werkstoff (zum Beispiel Platin, gemischt mit 10 Gew.-% von Aluminiumoxyd) auf den Umfang des Kernrohrs **23** durch den gekrümmten Flächendruck aufgebracht, um das Heizmuster **24** zu bilden. Außerdem wird jede Führung **24A** des Heizmusters **24** gedruckt, um sich zum Basisende des Kernrohrs **23** zu erstrecken, wodurch das Heizmuster eine einteilige Anordnung aufweisen soll.

[0081] Danach wird die Heizbereich-abdeckende Schicht **25** zum Abdecken des Heizmusters **24** durch Ausführen eines gekrümmten Flächendrucks unter Verwendung einer Paste (zum Beispiel Aluminiumoxyd) oder durch Aufbringen eines Rohkeramikblatts (zum Beispiel aus Aluminiumpulver) auf der Außenseite des Kernrohrs **23** ausgebildet. Damit wird der Heizbereich **22** vorgesehen, der aus dem Kernrohr **23**, Heizmuster **24** und Heizbereich-abdeckenden Schicht **25** gebildet wird, wie in [Fig. 4](#) dargestellt.

[0082] Wie in [Fig. 5](#) dargestellt, wird danach eine innere Elektrode **28** (zylindrische Elektrode) durch

Ausführen eines gekrümmten Flächendrucks aus einer Paste (die das oben erwähnte Edelmetall **41**, keramischen Körner **42** und dergleichen enthält) auf dem Umfang der Heizbereich-abdeckenden Schicht **25** ausgebildet. Außerdem werden die Führungen **28A** der inneren Elektrode **28** durch Drucken so ausgebildet, dass sich diese Führungen zum Basisende der Heizbereich-abdeckenden Schicht **25** erstrecken, während sie voneinander auseinander liegen.

[0083] Die leitfähige feste Elektrolytschicht **27** mit Sauerstoffionen wird durch Ausführen eines gekrümmten Flächendrucks mit einer Paste (die zum Beispiel eine Mischung aus Zirkonoxyd und Yttriumoxyd enthält) auf dem Umfang der Heizbereich-abdeckenden Schicht **25** so ausgebildet wird, um die innere Elektrode **28** abzudecken.

[0084] Danach werden die Messelektrode **29** und Referenzelektrode **31** durch Ausführen eines gekrümmten Flächendrucks mit einer leitfähigen Paste (zum Beispiel Platin) auf der Umfangsfläche der festen Elektrolytschicht **27** ausgebildet, so dass diese Elektroden voneinander entlang der axialen Richtung der festen Elektrolytschicht **27** auseinander liegen. Außerdem werden die Führungen **29A** und **31A** durch Drucken ausgebildet, so dass sich diese Führungen zum Basisende der Heizbereich-abdeckenden Schicht **25** erstrecken, während sie voneinander auseinander liegen.

[0085] Wie in [Fig. 5](#) dargestellt, wird danach die Protektorschicht **33** durch Ausführen eines gekrümmten Flächendrucks mit einer Paste (zum Beispiel aus Aluminiumoxyd und Magnesiumoxyd) auf den Umfängen der festen Elektrolytschicht **27** und des Heizbereichs **22** ausgebildet, um die Referenzelektrode **31** abzudecken.

[0086] Die Diffusionsschicht **34** wird durch Ausführen eines gekrümmten Flächendrucks mit einer Paste (zum Beispiel aus Aluminiumoxyd oder aus Aluminiumoxyd mit Zirkonoxyd) auf dem Umfang der Führungsendenseite der festen Elektrolytschicht **27** ausgebildet, um die Messelektrode **29** abzudecken.

[0087] Danach wird eine Anordnung von Kernrohr **23**, Heizmuster **24**, Heizbereich-abdeckende Schicht **25**, fester Elektrolytschicht **27**, Elektroden **28**, **29** und **31**, Protektorschicht **33**, und Diffusionsschicht **34** einem Sintern von ungefähr zwei Stunden bei einer Hochtemperatur, zum Beispiel von ungefähr 1,300°C bis 1,500°C, unterzogen. Damit soll die gesinterte Anordnung eine einteilige Anordnung aufweisen. Außerdem ist es wünschenswert, einen Stopfen **26** (dargestellt in [Fig. 3](#)) in der zylindrischen Öffnung **23A** des Kernrohrs **23** vor dem Sintern auszubilden, und danach die Sinterung zusammen mit den oben erwähnten Elementen auszuführen.

[0088] Wie in [Fig. 1](#) dargestellt, wird die so hergestellte Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung **21** in das Gehäuse **1** in einer Weise eingesetzt, um die Führungen **24A**, **28A**, **29A** und **31A** mit den entsprechenden Kontaktplatten **13**, **14** in Kontakt zu bringen, um somit den Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensor zu komplettieren.

[0089] Der Betrieb des Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensors wird nachfolgend beschrieben. Das Gehäuse **1** ist durch ein Gewinde mit einem Kfz-Auspuff durch den äußeren gewindeten Bereich **2A** gesichert, so dass ein Führungsendenbereich der Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung **21** in den Innenraum des Auspuffs hineinragt.

[0090] Danach erreicht das durch den Auspuff strömende Abgas die Umgebung der Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung **21** über den Protektor **15** durch Starten des Motors, und ein Teil dieses Abgases wird durch die Protektorschicht **33** und Diffusionsschicht **34** hindurch gelassen und erreicht dann die Oberflächen der Referenzelektrode **31** und Messelektrode **29**.

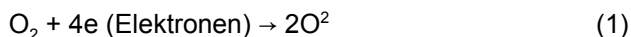
[0091] Die Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung **21** wird durch den Heizbereich **22** aufgeheizt, wenn der Strom von der Heizstromquelle **35** dem Heizmuster **24** zugeführt wird. Damit wird die feste Elektrolytschicht **27** aktiviert. Dabei wird die Arbeitsspannung V_a (zum Beispiel 450 mV) durch die Gleichstromquelle **36** zwischen der Innenelektrode **28** und der Messelektrode **29** angelegt, die einander mit der eingefügten festen Elektrolytschicht **27** gegenüberliegen. Außerdem wird die Arbeitsspannung V_b (zum Beispiel 1,6 V) durch die Gleichstromquelle **39** zwischen der Innenelektrode **28** und der Referenzelektrode **31** angelegt.

[0092] Durch die Arbeitsspannungen V_a und V_b werden die Nernst-Spannungen V_{nl} , V_{nt} und V_{nr} zwischen der inneren Elektrode **28** und der Referenzelektrode **31** der Referenzzelle **32** und zwischen der inneren Elektrode **28** und der Messelektrode **29** der Messzelle **30** gemäß der Sauerstoffkonzentration und der brennbaren Gaskomponentenkonzentration erzeugt. Der sich ergebende eine Diffusion begrenzende Strom I_m wird als erfasstes Signal durch das Amperemeter **37** ausgegeben, um das Luft/Kraftstoffverhältnis (λ) durch das Verhältnis zwischen dem erfassten Signal und dem in [Fig. 8](#) dargestellten Luft/Kraftstoffverhältnis (λ) zu bestimmen. Einzelheiten zum Bestimmen des Luft/Kraftstoffverhältnisses (λ) werden nachstehend erläutert.

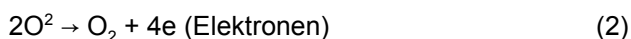
[0093] Zuerst wird über den Fall des mageren Luft/Kraftstoffverhältnisses ($\lambda > 1$) diskutiert, bei dem das Luft/Kraftstoffverhältnis des Motors größer als das stöchiometrische Luft/Kraftstoffverhältnis ($\lambda = 1$) ist. In diesem Fall verbleibt unverbrannter Sauerstoff

im Abgas, das um die Protektorschicht **33** und Diffusionsschicht **34** nach der Verbrennung eines mageren Kraftstoff-Luftverhältnisses in der Verbrennungskammer herumströmt.

[0094] Daher wird bei einem Zustand, bei dem die Arbeitsspannung V_b (tatsächlich die nachstehend erwähnte kombinierte Pumpspannung U_{pb}) zwischen der inneren Elektrode **28** und der Referenzelektrode **31** der Referenzzelle **32** angelegt wird, eine Reaktion, die durch die folgende Reaktionsformel (1) dargestellt wird, an der Referenzelektrode **31** (Kathode) stattfinden. Tatsächlich werden Elektronen dem molekularen Sauerstoff, der im Abgas verbleibt, hinzugefügt, um Sauerstoffionen zu erzeugen.



[0095] Die sich ergebenden Sauerstoffionen werden von der Referenzelektrode **31** (Kathode) zur inneren Elektrode **28** (Anode) durch Hindurchgehen durch Sauerstoffdefekte in der festen Elektrolytschicht **27** transportiert. Die Sauerstoffionen werden an der inneren Elektrode **28** (Anode) in Sauerstoffionen und Elektronen zerfallen, wie in der folgenden Reaktionsformel (2) dargestellt.



[0096] In der inneren Elektrode **28** wird der sich ergebende molekulare Sauerstoff in den Hohlräumen **43** absorbiert, wie in [Fig. 7](#) dargestellt, dadurch wird in den Hohlräumen ein Sauerstoff-Teildruck erzeugt, der höher ist als der der Referenzelektrode **31** oder der des äußeren Abgases. Wie in [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) dargestellt, wird daraufhin die Nernst-Spannung V_{nl} (zum Beispiel ungefähr 30 mV) gemäß der Sauerstoff-Teildruckdifferenz zwischen den Elektroden **28**, **31** bei einem mageren Luft/Kraftstoffverhältniszustand erzeugt.

[0097] Die obige Nernst-Spannung V_{nl} wirkt in einer Richtung entgegengesetzt der Arbeitsspannung V_b (zum Beispiel 1,6 V) der Gleichstromquelle **39**. Folglich wird die kombinierte Pumpspannung U_{pb} (zum Beispiel 1570 mV) zwischen den Elektroden **28**, **31** der Referenzzelle **32** angelegt, wie in der folgenden Formel (1) dargestellt.

$$U_{pb} = V_b - V_{nl} = 1600 - 30 = 1570 \quad (1)$$

[0098] Die obige Nernst-Spannung V_{nl} (zum Beispiel ungefähr 30 mV) wirkt ebenfalls in die entgegengesetzte Richtung zwischen den Elektroden **28**, **29** der Messzelle **30**. Folglich wird die Pumpspannung U_{pa} (zum Beispiel 420 mV) zwischen den Elektroden **28**, **29** der Messzelle **30** angelegt, wie in der folgenden Formel (2) dargestellt.

$$U_{pa} = V_a - V_{nl} = 450 - 30 = 420 \quad (2)$$

[0099] Die oben erwähnte, durch die Reaktionsformel (1) dargestellte elektrochemische Reaktion tritt auch an der Messelektrode **29** (Kathode) der Messzelle **30** auf. Tatsächlich werden Elektronen dem Sauerstoff, der im Abgas verbleibt, hinzugefügt, um Sauerstoffionen zu erzeugen. Die sich ergebenden Sauerstoffionen werden in Sauerstoff und Elektronen an der inneren Elektrode **28** (Anode) zerfallen, wie in der Reaktionsformel (2) dargestellt.

[0100] Der sich ergebende Sauerstoff wird in der inneren Elektrode **28** (**28**) absorbiert, und dadurch wird dem eine Diffusion begrenzenden Strom I_m ermöglicht, von der Referenzelektrode **29** zum Amperemeter **37** zu fließen, wie in [Fig. 9](#) dargestellt. Das Amperemeter erfasst und gibt diesen eine Diffusion begrenzenden Strom I_m als erfasstes Signal aus, um das magere Luft/Kraftstoffverhältnis unter Verwendung der charakteristischen Linie von [Fig. 8](#) bestimmen.

[0101] Als Nächstes wird der Fall diskutiert, bei dem das Luft/Kraftstoffverhältnis des Motors ein stöchiometrisches Luft/Kraftstoffverhältnis ($\lambda = 1$) ist. Wie in [Fig. 11](#) und [Fig. 12](#) dargestellt, wird in diesem Fall die Nernst-Spannung V_{nt} (zum Beispiel ungefähr 450 mV) gemäß der Sauerstoff-Teildruckdifferenz zwischen den Elektroden **28**, **31** und zwischen den Elektroden **28**, **29** erzeugt.

[0102] Die obige Nernst-Spannung V_{nt} wirkt in einer Richtung entgegengesetzt der Arbeitsspannung V_b (zum Beispiel 1,6 V) der Gleichstromquelle **39**. Folglich wird die kombinierte Pumpspannung U_{pb} (zum Beispiel 1150 mV) zwischen den Elektroden **28**, **31** der Referenzzelle **32** angelegt, wie in der folgenden Formel (3) dargestellt.

$$U_{pb} = V_b - V_{nt} = 1600 - 450 = 1150 \quad (3)$$

[0103] Ähnlich dem Fall beim mageren Luft/Kraftstoffverhältnis ($\lambda > 1$) werden Sauerstoffionen auch an der Referenzelektrode **31** durch das Hinzufügen von Elektronen zum Sauerstoff erzeugt, der im Abgas im Fall des stöchiometrischen Luft/Kraftstoffverhältnisses verbleibt, wie in der Reaktionsformel (1) dargestellt. Die sich ergebenden Sauerstoffionen werden von der Referenzelektrode **31** zur inneren Elektrode **28** durch Hindurchgehen durch die Sauerstoffdefekte der festen Elektrolytschicht **27** transportiert. Danach werden die Sauerstoffionen in Sauerstoff und Elektronen in der inneren Elektrode **28** zerfallen, wie in der Reaktionsformel (2) dargestellt. Der sich ergebende Sauerstoff wird in den Hohlräumen **43** (dargestellt in [Fig. 7](#)) absorbiert, wodurch ein höherer Sauerstoff-Teildruck in den Hohlräumen **43**, der größer als der der Referenzelektrode **31** ist, erzeugt wird. Infolge dieser Sauerstoff-Teildruckdifferenz wird die oben erwähnte Nernst-Spannung V_{nt} (zum Beispiel ungefähr 450 mV) beim stöchiometrischen

Luft/Kraftstoffverhältniszustand ständig zwischen den Elektroden **28**, **31** erzeugt.

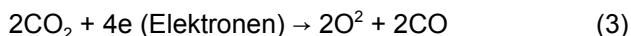
[0104] Die obige Nernst-Spannung V_{nt} wirkt auch in entgegengesetzter Richtung zwischen den Elektroden **28**, **29** der Messzelle **30**. Folglich wird die Pumpspannung U_{pa} , die zwischen den Elektroden **28**, **29** der Messzelle **30** angelegt ist, unter 0 V unterdrückt, wie in der folgenden Formel (4) dargestellt.

$$U_{pa} = V_a - V_{nt} = 450 - 450 = 0 \quad (4)$$

[0105] Somit fließt der eine Diffusion begrenzenden Strom I_m nicht von der Referenzelektrode **29** zum Amperemeter **37**, wie in [Fig. 11](#) dargestellt. Das Amperemeter erfasst und gibt den eine Diffusion begrenzenden Strom I_m (0 V) als erfasstes Signal aus. Damit wird das Luft/Kraftstoffverhältnis (λ) als eins (1) eingestellt.

[0106] Als Nächstes wird der Fall des fetten Luft/Kraftstoffverhältnisses ($\lambda < 1$) diskutiert, bei dem das Luft/Kraftstoffverhältnis des Motors kleiner als das stöchiometrische Luft/Kraftstoffverhältnis ($\lambda = 1$) ist. In diesem Fall verbleibt der Sauerstoff nicht im Abgas, das um die Protektorschicht **33** und Diffusionsschicht **34** nach Verbrennung des fetten Kraftstoff-Luftverhältnisses in der Verbrennungskammer herumströmt. Im Gegensatz dazu verbleiben die unverbrannten brennbaren Gaskomponenten (zum Beispiel Kohlenmonoxid (CO) und Wasserstoff (H_2)) im Abgas.

[0107] Daher werden bei einem Zustand, bei dem die Arbeitsspannung V_b (tatsächlich die nachstehend erwähnte kombinierte Pumpspannung U_{pb}) der Gleichstromquelle **39** zwischen der inneren Elektrode **28** und der Referenzelektrode **31** der Referenzzelle **32** angelegt ist, die Elektroden, zum Beispiel dem im Abgas verbleibenden Kohlendioxid hinzugefügt, wodurch Sauerstoffionen und Kohlenmonoxide erzeugt werden, wie in der folgenden Reaktionsformel (3) dargestellt.



[0108] Ähnlich dem Fall des mageren Luft/Kraftstoffverhältniszustandes werden die sich ergebenden Sauerstoffionen von der Referenzelektrode **31** (Kathode) zur inneren Elektrode **28** (Anode) durch Hindurchgehen durch die Sauerstoffdefekte in der festen Elektrolytschicht **27** transportiert. Die Sauerstoffionen werden an der inneren Elektrode **28** (Anode) in Sauerstoffionen und Elektronen zerfallen, wie in der Reaktionsformel (2) dargestellt.

[0109] In der inneren Elektrode **28** wird der sich ergebende molekulare Sauerstoff in den Hohlräumen **43** absorbiert, wie in [Fig. 7](#) dargestellt, wodurch in den Hohlräumen ein Sauerstoff-Teildruck erzeugt

wird, der höher als der der Referenzelektrode **31** oder der des äußeren Abgases ist. Wie in [Fig. 13](#) und [Fig. 14](#) dargestellt, wird daraufhin die Nernst-Spannung V_{nr} (zum Beispiel ungefähr 900 mV) gemäß der Sauerstoff-Teildruckdifferenz zwischen den Elektroden **28**, **31** bei einem fetten Luft/Kraftstoffverhältniszustand erzeugt.

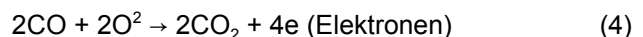
[0110] Die obige Nernst-Spannung V_{nr} wirkt in einer Richtung entgegengesetzt der Arbeitsspannung V_b (zum Beispiel 1,6 V) der Gleichstromquelle **39**. Folglich wird die kombinierte Pumpspannung U_{pb} (zum Beispiel 700 mV) zwischen den Elektroden **28**, **31** der Referenzzelle **32** angelegt, wie in der folgenden Formel (5) dargestellt.

$$U_{pb} = V_b - V_{nr} = 1600 - 900 = 700 \quad (5)$$

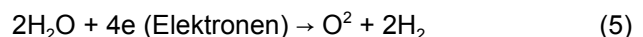
[0111] Die obige Nernst-Spannung V_{nr} (zum Beispiel ungefähr 900 mV) wirkt auch in entgegengesetzter Richtung zwischen den Elektroden **28**, **29** der Messzelle **30**. Folglich wird die Pumpspannung U_{pa} (zum Beispiel 450 mV) zwischen den Elektroden **28**, **29** der Messzelle **30** angelegt, wie in der folgenden Formel (6) dargestellt.

$$U_{pa} = V_a - V_{nr} = 450 - 900 = 450 \quad (6)$$

[0112] Im Fall des fetten Luft/Kraftstoffverhältnisses ($\lambda < 1$) wandeln sich die innere Elektrode **28** und die Messelektrode **29** jeweils in die Kathode und Anode um. An der inneren Elektrode **28** (Kathode) werden Elektronen dem Sauerstoff in den Hohlräumen **43** hinzugefügt, um Sauerstoffionen zu erzeugen, wie in der Reaktionsformel (1) dargestellt. An der Messelektrode **29** (Anode) werden die Sauerstoffionen von der inneren Elektrode **28**, zum Beispiel mit dem Kohlenmonoxid, eine Reaktion eingehen, wie in der folgenden Reaktionsformel (4) dargestellt.



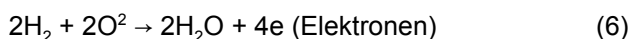
[0113] Bei dem Fall, dass die brennbare Gaskomponente im Abgas Wasserstoff (H_2) ist, werden Elektronen dem im Abgas verbleibenden Wassermolekül hinzugefügt, wodurch Sauerstoffionen und Wasserstoff erzeugt wird, wie in der folgenden Reaktionsformel (5) dargestellt.



[0114] Die sich ergebenden Sauerstoffionen werden von der Referenzelektrode **31** (Kathode) zur inneren Elektrode **28** (Anode) durch Hindurchgehen durch die Sauerstoffdefekte in der festen Elektrolytschicht **27** transportiert. Die Sauerstoffionen werden an der inneren Elektrode **28** (Anode) in Sauerstoffionen und Elektronen zerfallen, wie in der Reaktionsformel (2) dargestellt.

[0115] Wie oben erwähnt, werden die innere Elektrode **28** und die Messelektrode **29** durch die Nernst-Spannung jeweils zur Kathode und Anode im Fall des fetten Luft/Kraftstoffverhältnisses ($\lambda < 1$) umgeschaltet. An der inneren Elektrode **28** (Kathode) werden Elektronen dem Sauerstoff in den Hohlräumen **43** hinzugefügt, um Sauerstoffionen zu erzeugen, wie in der Reaktionsformel (1) dargestellt.

[0116] An der Messelektrode **29** (Anode) werden die Sauerstoffionen von der inneren Elektrode **28** mit dem Wasserstoff eine Reaktion eingehen, um Wassermoleküle und Elektronen zu erzeugen, wie in der folgenden Reaktionsformel (6) dargestellt.



[0117] Daher wird dem eine Diffusion begrenzenden Strom I_m ermöglicht, von der Messelektrode **29** zur inneren Elektrode **28** zu fließen, wie durch den Pfeil von [Fig. 13](#) dargestellt. Das Amperemeter erfasst und gibt den eine Diffusion begrenzenden Strom I_m als erfasstes Signal aus, um das magere Luft/Kraftstoffverhältnis unter Verwendung der charakteristischen Linie von [Fig. 8](#) zu bestimmen.

[0118] In diesem Fall wird die Nernst-Spannung V_{nr} (zum Beispiel ungefähr 900 mV) beim fetten Luft/Kraftstoffverhältniszustand bezüglich der Arbeitsspannung V_a (zum 450 mV) der Gleichstromquelle **36** und der Arbeitsspannung (zum Beispiel 1,6 V) der Gleichstromquelle **39** so festgelegt, um die folgende Gleichung (7) zu erfüllen.

$$2 \times V_{nr} < (V_a + V_b) \quad (7)$$

[0119] Wie oben erwähnt, ist auch die kombinierte Pumpspannung Up_b der Referenzzelle **32** größer als die Pumpspannung Up_a der Messzelle **30** im Falle des fetten Luft/Kraftstoffverhältnisses. Daher wird die Menge des Sauerstoffs, die durch die kombinierte Pumpspannung Up_b in den Hohlräumen **43** (Sauerstoff aufnehmende Kammern) der inneren Elektrode **28** absorbiert wird, größer als die Menge des Sauerstoffs festgelegt, die durch die Pumpspannung Up_a aus den Hohlräumen **43** der inneren Elektrode **28** absorbiert wird.

[0120] Somit wird der Sauerstoff-Teildruck der Hohlräume **43** der inneren Elektrode **28** immer höher als das äußere Abgas beibehalten. Wie in den [Fig. 5](#) bis [Fig. 6](#) dargestellt, enthält die Führung **28A** der inneren Elektrode **28** ebenfalls Hohlräume **43**. Wie in [Fig. 1](#) dargestellt, werden damit die den Sauerstoff aufnehmenden Kammern der Hohlräume **43** mit der Atmosphäre im Gehäuse **1** verbunden, wodurch eine so genannte umgekehrte Diffusion des externen Abgases in Richtung der Hohlräume **43** verhindert wird.

[0121] Gemäß der oben erwähnten Ausführungsfor-

men der vorliegenden Erfindung ist es möglich, den eine Diffusion begrenzenden Strom I_m (als erfasstes Signal) auszugeben, der sich gemäß des Luft/Kraftstoffverhältnisses ändert, wie durch die charakteristische Linie von [Fig. 8](#) dargestellt. Insbesondere ist es möglich, ein erfasstes Signal von einem Null-Stromwert, wenn das stöchiometrische Luft/Kraftstoffverhältnis ($\lambda = 1$) ist, von einem positiven Stromwert, wenn ein Luft/Kraftstoffverhältnis ($\lambda > 1$) ist, und von einem negativen Stromwert ist, wenn ein fettes Luft/Kraftstoffverhältnis ($\lambda < 1$) ist, auszugeben.

[0122] Wie oben erwähnt, ist es möglich, die Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung **21** aus einer zylindrischen Form in ihrer Gesamtheit herzustellen. Daher ist es möglich, die Elektroden **28**, **29**, **31** mit ausreichenden Elektrodenbereichen vorzusehen und den Innenwiderstand und die Größe der Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung **21** im Vergleich mit herkömmlichen Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtungen mit flacher Form zu reduzieren.

[0123] Außerdem weisen herkömmliche Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtungen Kantenbereiche infolge ihrer flachen Form auf. Im Gegensatz dazu weist die Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung **21** der vorliegenden Erfindung diese Kantenbereiche infolge ihrer zylindrischen Form nicht auf. Daher ist es durch die Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung **21** möglich, die thermische Belastung und dergleichen um ungefähr die Hälfte zu reduzieren. Dies ermöglicht es, zum Beispiel Risse der festen Elektrolytschicht **27** zu verhindern.

[0124] Wie oben erwähnt, wird der Heizbereich **22** vollständig mit der festen Elektrolytschicht **27**, Diffusionsschicht **34** und dergleichen abgedeckt. Damit wird der Heizbereich **22** von einem Direktkontakt mit der Außenluft geschützt. Daher ist es möglich, die Wärme vom Heizbereich zur festen Elektrolytschicht **27** und dergleichen effizient durchzulassen.

[0125] Die Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung **21** weist eine Anordnung auf, bei der die feste Elektrolytschicht **27** zwischen der inneren Elektrode **28** und der Messelektrode **29** und zwischen der inneren Elektrode **28** und der Referenzelektrode **31** angeordnet wird. Damit ist es möglich, die Messzelle **30** und Referenzzelle **32** (erste und zweite Pumpenzellen) nur unter Verwendung einer einzigen Schicht der festen Elektrolytschicht **27** zu bilden.

[0126] Es ist möglich, die innere Elektrode **28** mit der Heizbereich-abdeckenden Schicht **25** und der festen Elektrolytschicht **27** nach dem Sintern unter Verwendung des selben Werkstoffes für die keramischen Körner **42**, Heizbereich-abdeckende Schicht **25** und feste Elektrolytschicht **27** fest zu verbinden.

Außerdem ist es möglich, viele der oben erwähnten drei Phasen-Interfaces (Elektrodenreaktionspunkte) gleichmäßig zu verteilen. Daher ist es möglich, die Elektrodenreaktion an der Gesamtheit eines ersten Interfaces (zwischen der festen Elektrolytschicht **27** und der inneren Elektrode **28**), die der Messelektrode **29** gegenüberliegt, und an der Gesamtheit eines zweiten Interfaces (zwischen der festen Elektrolytschicht **27** und der inneren Elektrode **28**), die der Referenzelektrode **31** gegenüberliegt, gleichförmig zu erzeugen.

[0127] Es ist möglich, den Sauerstoff in die Hohlräume **43** zu diffundieren. Daher ist es möglich, die Konzentration und die Druckdifferenzen des Sauerstoffs, die durch die Elektrodenreaktion und die Temperaturänderung hervorgerufen werden, zu reduzieren, wodurch die Anreicherung und der Mangel von Sauerstoff an den drei Phasen-Interfaces verhindert wird. Damit ist es möglich, den Innenwiderstand des Sensors zu mindern und die Aktivierung der Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung **21** bei niedriger Temperatur zu beschleunigen.

[0128] Bezüglich [Fig. 15](#) bis [Fig. 16](#) wird eine zweite Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beschrieben, die dadurch gekennzeichnet ist, dass der keramische Werkstoff der inneren Elektrode aus einem Oxid mit einer Perowskit-Anordnung (gemischter leitfähiger Werkstoff) hergestellt ist. Im Folgenden werden dieselben Teile wie diejenigen der ersten Ausführungsform durch dieselben Ziffern bezeichnet und ihre Erläuterungen weggelassen.

[0129] Durch Ziffer **50** wird eine innere Elektrode (erste Elektrode) bezeichnet, die in der zweiten Ausführungsform verwendet wird. Ähnlich der ersten Ausführungsform wird die innere Elektrode **50** aus Edelmetall **51** (zum Beispiel Platin), keramischen Körnern **52** und Hohlräumen **53** ausgebildet.

[0130] Ähnlich den Aussparungen **44** der ersten Ausführungsform wird eine Mehrzahl von Aussparungen **54** auf der Grenze der inneren Elektrode **50** und der festen Elektrolytschicht **27** vorgesehen.

[0131] Z. B. kann Perowskitoxid, das die keramischen Körner **52** (gemischter leitfähiger Werkstoff) bildet, eine Anordnung von $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$ oder $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ aufweisen.

[0132] Wie in [Fig. 16](#) dargestellt, dienen keramische Körner **52** dazu, die Sauerstoffionen (O^{2-}) am Interface zwischen den keramischen Körnern **52** und der festen Elektrolytschicht **27** zu führen und die Elektrodenreaktionen der Reaktionsformeln (1) und (2) am Interface zwischen den keramischen Körnern **52** und den Hohlräumen **53** zu erzeugen.

[0133] Wie in [Fig. 16](#) dargestellt tritt außerdem die

Elektrodenreaktion an den drei Phasen-Interfaces F1, F2, die zwischen der festen Elektrolytschicht **27**, Edelmetall **51** und Hohlräumen **53** ausgebildet werden, und an den drei Phasen-Interfaces F3, F4 auf, die zwischen der festen Elektrolytschicht **27**, Edelmetall **51** und Aussparungen **54** ausgebildet werden. Die Hohlräume **53** dienen als Sauerstoff aufnehmende Kammern, wodurch der Sauerstoff in der inneren Elektrode **50** gemäß seiner Konzentration- und Druckgradienten diffundiert.

[0134] Tatsächlich ist die Sauerstoffkonzentration auf der linken Seite (Führungsendenseite der Vorrichtung **21**) der inneren Elektrode **50** in [Fig. 16](#) niedriger als die auf der rechten Seite (Basisendenseite der Vorrichtung **21**). Daher werden die Sauerstoffmoleküle und -ionen in Richtung des Pfeils „b“ von [Fig. 16](#) gemäß ihrem Konzentrationsgradienten transportiert.

[0135] Die zweite Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann vorteilhafte Wirkungen ähnlich denen der ersten Ausführungsform hervorbringen. Weil insbesondere die keramischen Körner **52** der inneren Elektrode **50** aus einem Oxid der Perowskit-Anordnung in der zweiten Ausführungsform hergestellt werden, ist es möglich, viele der oben erwähnten drei Phasen-Interfaces (Elektrodenreaktionspunkte) gleichförmig zu verteilen, wodurch die Elektrodenreaktion an der Gesamtheit der Elektrodenoberfläche der inneren Elektrode **50** effizient erzeugt wird.

[0136] Wie oben erwähnt, gibt es einen ersten Sauerstoffgastransport, bei dem das Sauerstoffgas gemäß dem Konzentrationsgradienten in der inneren Elektrode **50** transportiert wird. Außerdem gibt es einen zweiten Sauerstoffgastransport in der zweiten Ausführungsform, wie im Folgenden erläutert.

[0137] Wie in [Fig. 16](#) dargestellt, werden die Hohlräume **53** und die keramischen Körner **52** in der inneren Elektrode **50** verteilt. Mit dieser Verteilung tragen die Hohlräume **53** zum Sauerstofftransport (in der Form von Sauerstoffmolekülen) durch Diffusion bei, und im Gegensatz dazu tragen die keramischen Körner **52** (gemischter leitfähiger Werkstoff) zum Sauerstofftransport (in Form von Sauerstoffionen) durch ionische Leitfähigkeit bei.

[0138] Wie schematisch in [Fig. 16](#) dargestellt, können mit anderen Worten die Sauerstoffionen (O^{2-}) von der festen Elektrolytschicht **27** in Form von Sauerstoffionen durch die angrenzenden keramischen Körner **52** hindurchgehen. Danach können sich an der Grenze zwischen diesen keramischen Körnern **52** und dem angrenzenden Hohlraum **53** die Sauerstoffionen in Sauerstoffmoleküle durch die Reaktion von $2\text{O}^{2-} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{e}$ umwandeln. Die sich ergebenden Sauerstoffmoleküle können durch diese Hohlräume **53**

durch die Gasdiffusion hindurchgehen. Danach können sich an der Grenze zwischen diesem Hohlraum **53** und dem nächsten keramischen Korn **52** die Sauerstoffmoleküle in Sauerstoffionen durch die Reaktion von $O_2 + 4e \rightarrow 2O^{2-}$ umwandeln. In dieser Weise kann Sauerstoff durch die keramischen Körner **52** und Hohlräume **53** im zweiten Sauerstoffgastransport transportiert werden. Daher ist es möglich, die Transportgeschwindigkeit des Sauerstoffgases in Richtung des Pfeils von „b“ in [Fig. 16](#) durch die oben erwähnten ersten und zweiten Sauerstoffgastransporte zu beschleunigen.

[0139] Folglich ist es möglich, den Innenwiderstand der Vorrichtung zu mindern, um die niedrige Temperaturaktivität und dergleichen zu verbessern. Außerdem ist es zum Beispiel möglich, die Aufblätterung der festen Elektrolytschicht **27** und der inneren Elektrode **50** voneinander langfristig zu unterdrücken, wodurch die Zuverlässigkeit des Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensors verbessert wird.

Patentansprüche

1. Luft/Kraftstoffverhältnis-Erfassungsvorrichtung für ein Gas:
mit einem Heizbereich (**22**), der eine verlängerte zylindrische Form aufweist und durch Anlegen einer Stromversorgung von Außen heizt;
mit einer festen Elektrolytschicht (**27**), die auf einen gesamten umlaufenden Umfang des Heizbereichs (**22**) ausgebildet ist, wobei die feste Elektrolytschicht (**27**) durch Heizen vom Heizbereich (**22**) aktiviert wird, um Sauerstoffionen durch die feste Elektrolytschicht (**27**) zu leiten;
mit einer ersten Elektrode (**28**), die zwischen dem Heizbereich (**22**) und der festen Elektrolytschicht (**27**) positioniert und mit einer Innenfläche der festen Elektrolytschicht (**27**) in Kontakt ist;
mit zweiten und dritten Elektroden (**29, 31**), die mit einer Außenfläche der festen Elektrolytschicht (**27**) in Kontakt und voneinander entfernt sind, so dass die feste Elektrolytschicht (**27**) zwischen den ersten und zweiten Elektroden (**28, 29**) und zwischen den ersten und dritten Elektroden (**28, 31**) angeordnet ist;
mit einer ersten Spannungs-Anlegeeinrichtung (**36**) zum Anlegen einer ersten Spannung zwischen den ersten und zweiten Elektroden (**28, 29**);
mit einer zweiten Spannungs-Anlegeeinrichtung (**39**) zum Anlegen einer zweiten Spannung zwischen den ersten und dritten Elektroden (**28, 31**), wobei die zweite Spannung höher als die erste Spannung ist;
mit einer Diffusionsschicht (**34**), die aus einem porösen Werkstoff hergestellt ist, wobei die Diffusionsschicht (**34**) die zweite Elektrode (**29**) abdeckt, um das Durchlassen des Gases zur zweiten Elektrode (**29**) einzustellen; und
mit einem Amperemeter (**37**), dass zwischen der ersten Spannungs-Anlegeeinrichtung (**36**) und der zweiten Elektrode (**29**) zum Ausgeben eines Ausgangssi-

gnals als ein elektrischer Strom vorgesehen ist.

2. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, wobei die ersten und zweiten Spannungs-Anlegeeinrichtungen (**36, 39**) die ersten und zweiten Spannungen (V_a, V_b) einstellen, so dass die zweite Elektrode (**29**) eine Kathode wird und das Ausgangssignal ein positiver Stromwert ist, wenn das Luft/Kraftstoffverhältnis des Gases größer als ein stöchiometrisches Luft/Kraftstoffverhältnis ist, so dass das Ausgangssignal gleich Null ist, wenn das Luft/Kraftstoffverhältnis des Gases das stöchiometrische Luft/Kraftstoffverhältnis ist, und so dass die zweite Elektrode (**29**) die eine Anode wird und das Ausgangssignal ein negativer Stromwert ist, wenn das Luft/Kraftstoffverhältnis des Gases kleiner als das stöchiometrische Luft/Kraftstoffverhältnis ist.

3. Vorrichtung gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei die zweite Elektrode (**29**) näher an der Vorderkante des Heizbereichs (**22**) als die dritte Elektrode (**31**) positioniert ist.

4. Vorrichtung gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei die zweiten und dritten Elektroden (**29, 31**) positioniert sind, um von einander in axialer Richtung der festen Elektrolytschicht (**27**) entfernt zu sein, und wobei sich die erste Elektrode (**28**) erstreckt, dass sie eine Länge in axialer Richtung der festen Elektrolytschicht (**27**) aufweist, so dass die erste Elektrode (**28**) den zweiten und dritten Elektroden (**29, 31**) in radialer Richtung der festen Elektrolytschicht (**27**) gegenüberliegt.

5. Vorrichtung gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei die erste Elektrode (**28**) ein Edelmetall (**41**), keramische Körner (**42**) und Hohlräume (**43**), die Sauerstoff aufnehmen, aufweist.

6. Vorrichtung gemäß Anspruch 5, wobei die Hohlräume (**43**) eine Größenordnung aufweisen, die größer als die der keramischen Körner (**42**) ist.

7. Vorrichtung gemäß Anspruch 6, wobei die keramischen Körner (**42**) einen keramischen Rohstoff aufweisen, der mit einem Rohstoff der festen Elektrolytschicht (**27**) identisch ist.

8. Vorrichtung gemäß Anspruch 6, wobei die keramischen Körner (**42**) einen keramischen Rohstoff aufweisen, der ein Oxid mit einer Perowskit-Anordnung ist.

9. Vorrichtung gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei der Heizbereich (**22**) folgendes aufweist:
einen Heizkern, der aus keramischem Werkstoff hergestellt ist und eine hohle zylindrische Form aufweist;
ein Heizmuster, das auf einer Umfangsfläche des Heizkerns ausgebildet ist; und
eine isolierende Deckschicht, die den Umfang des Heizkerns umgibt, um das Heizmuster (**24**) abzude-

cken.

Es folgen 10 Blatt Zeichnungen

FIG.1

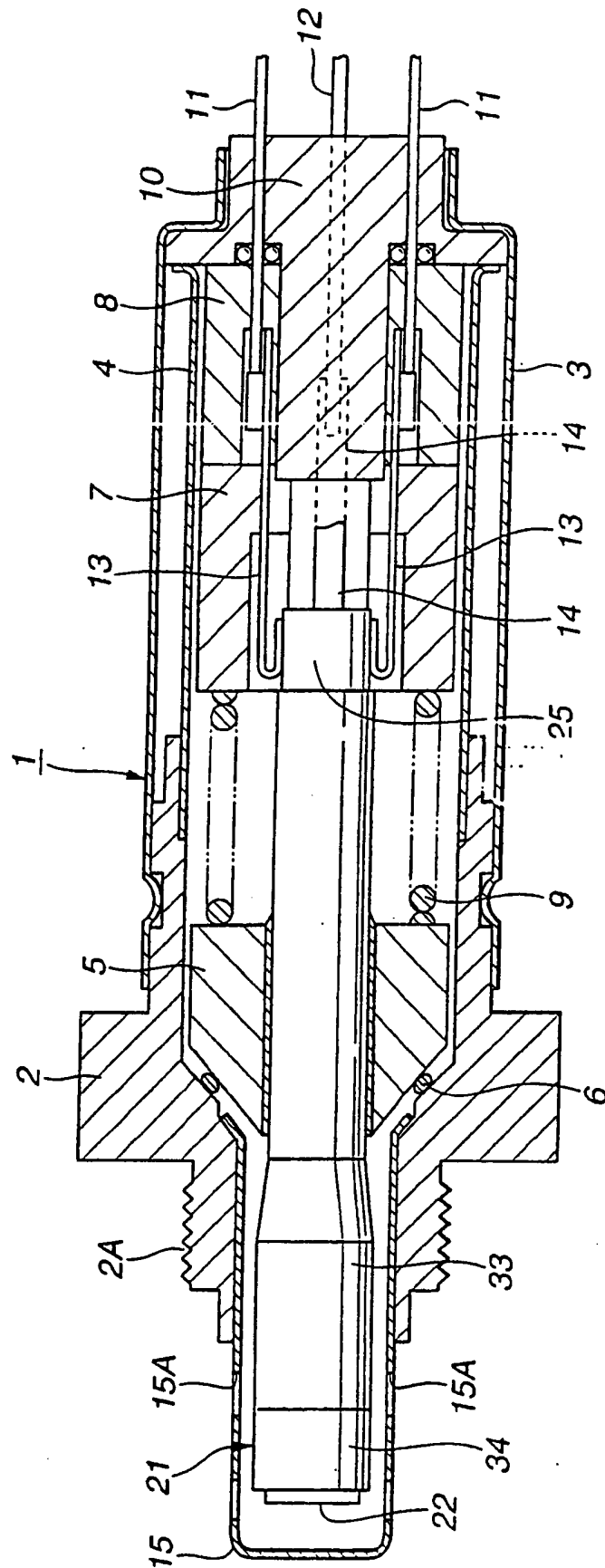


FIG.2

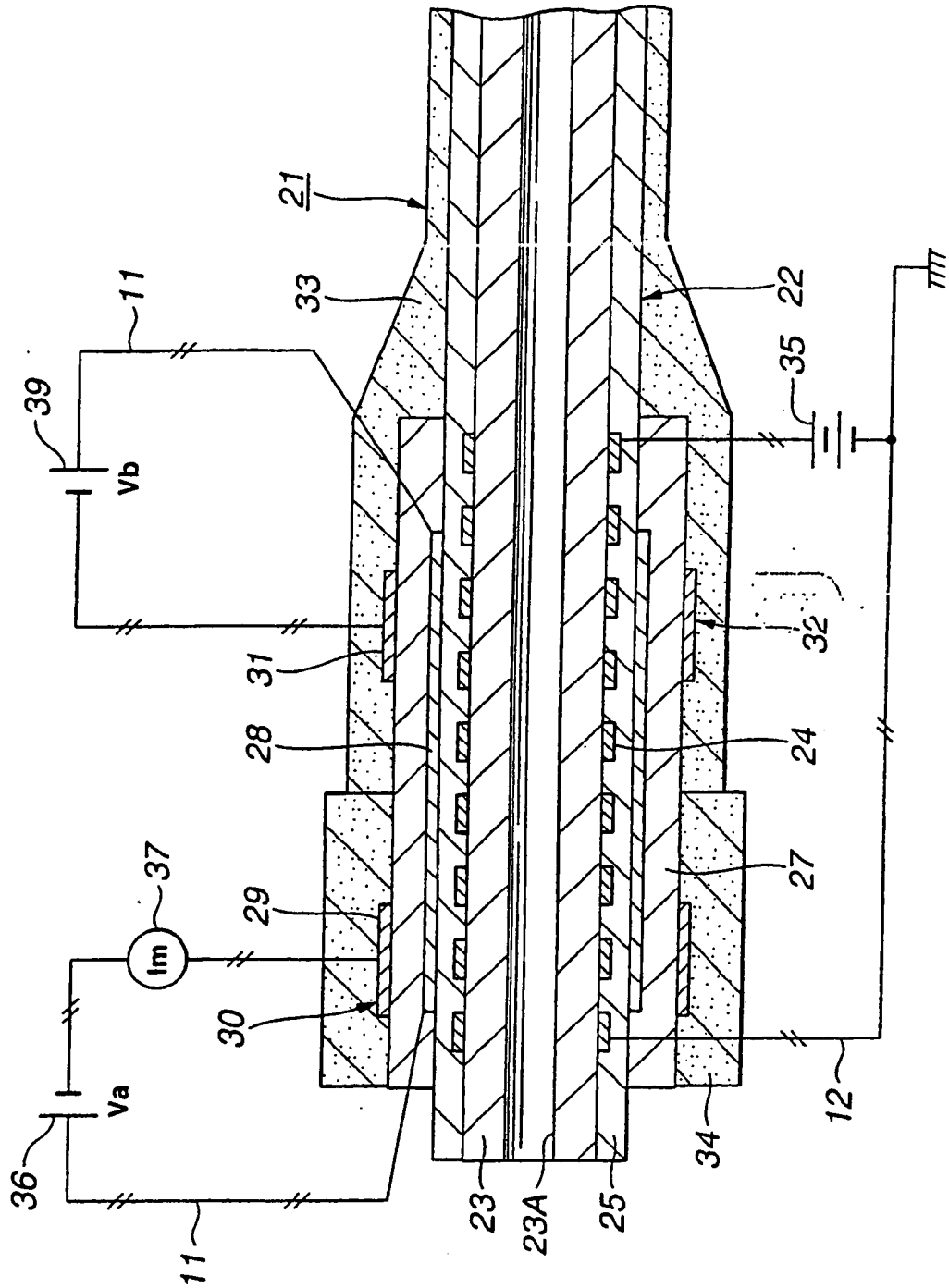


FIG.3

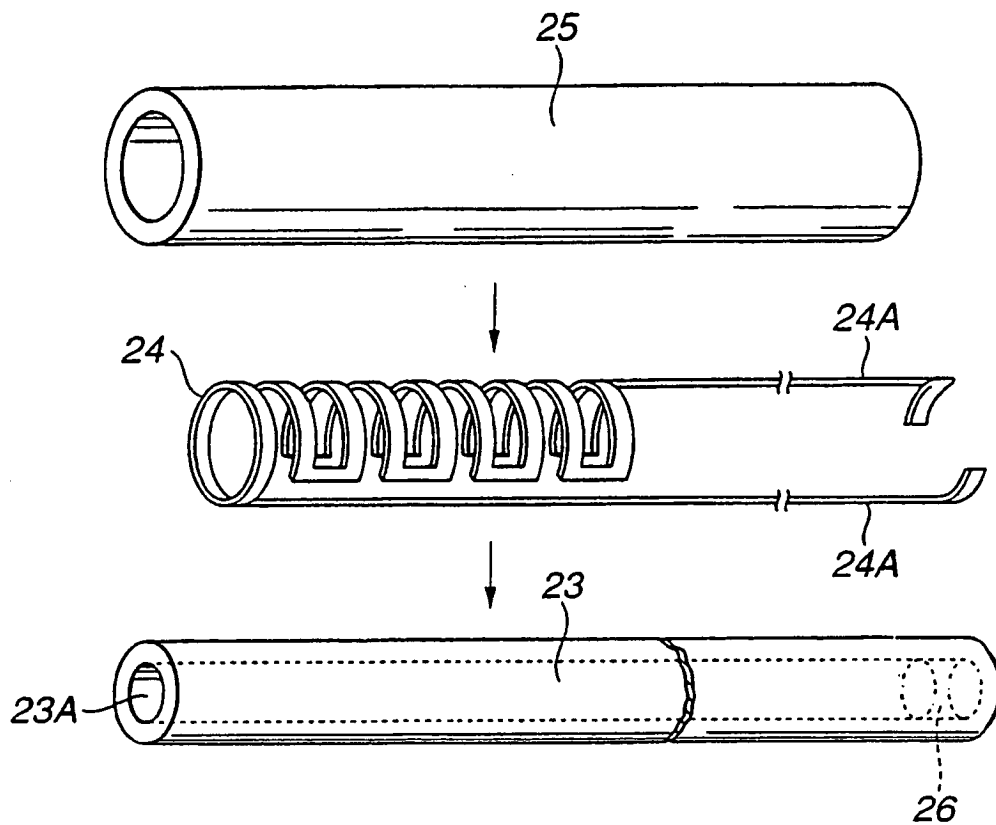


FIG.4

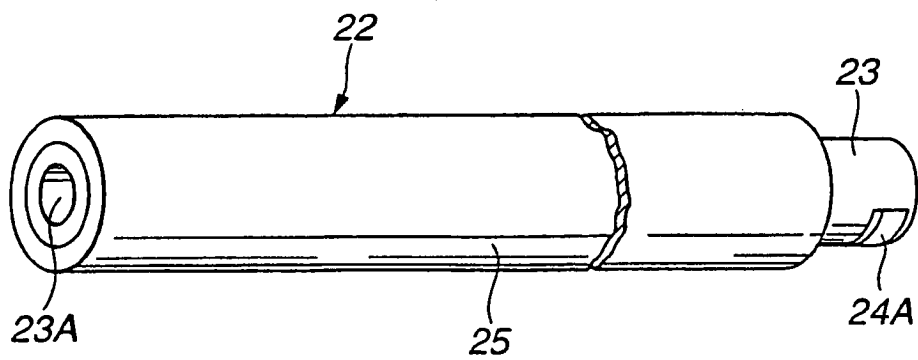


FIG.5

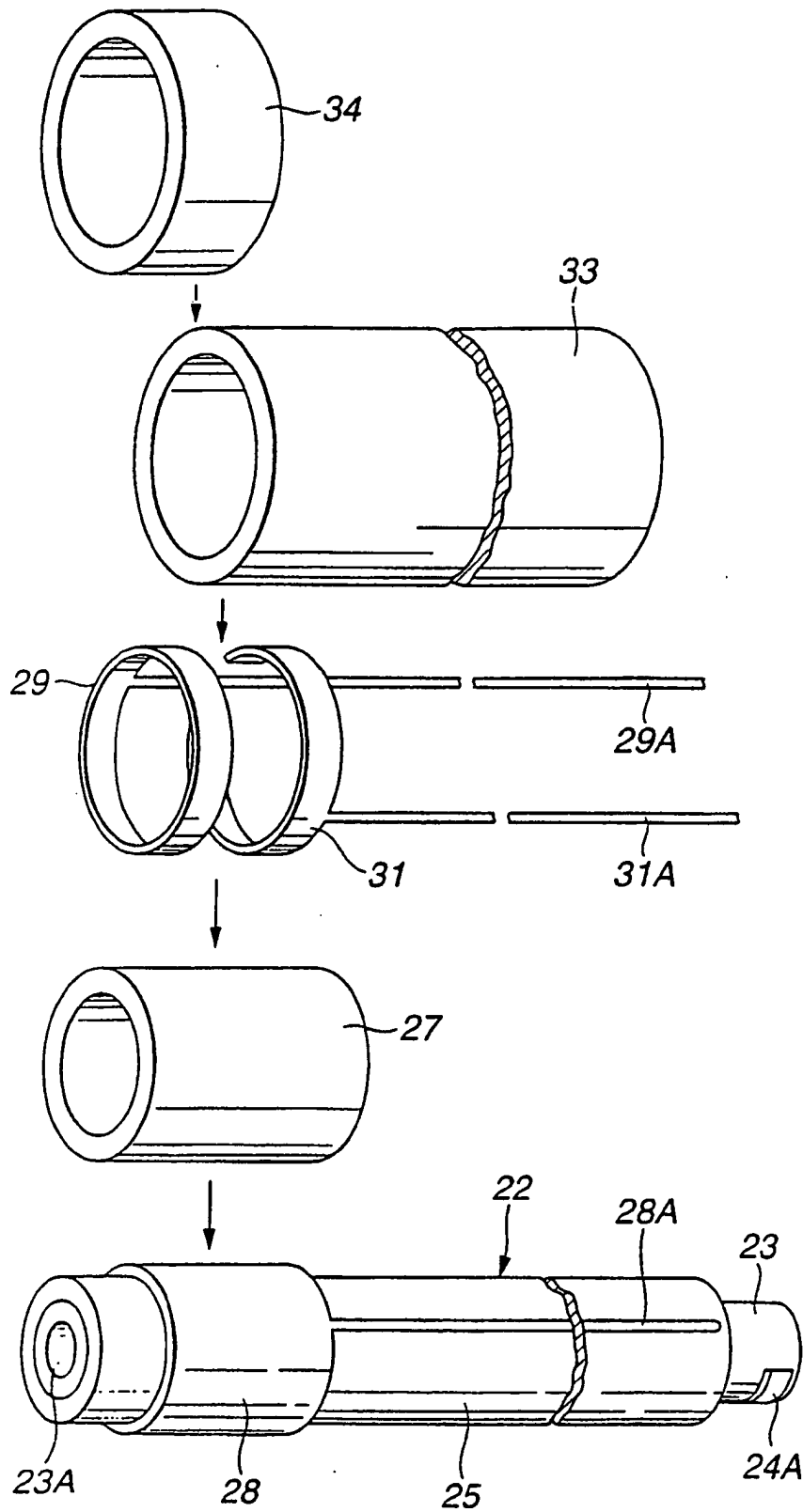


FIG.6

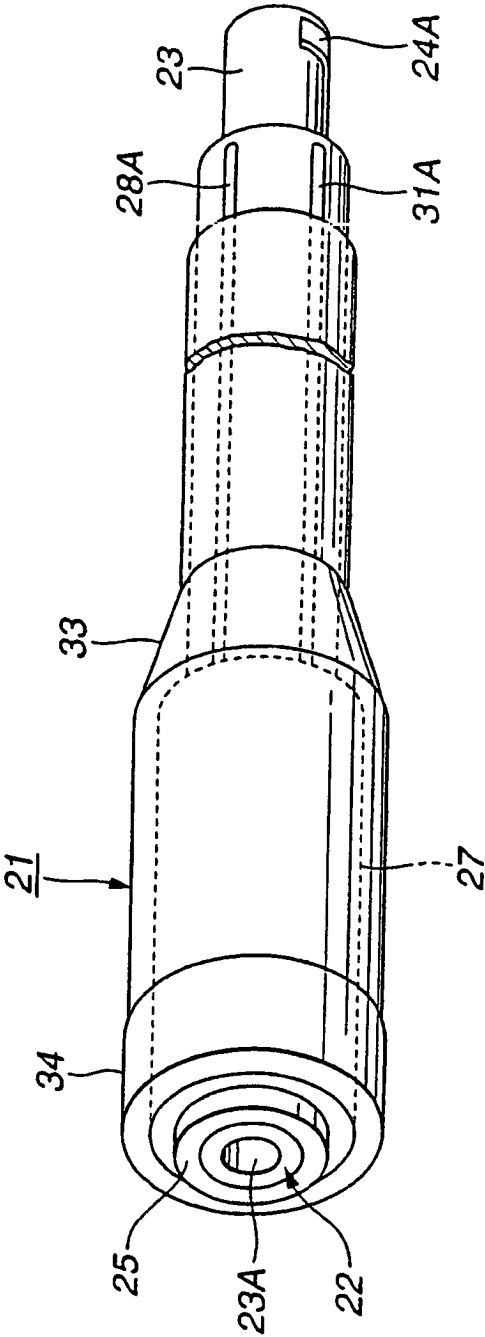


FIG.7

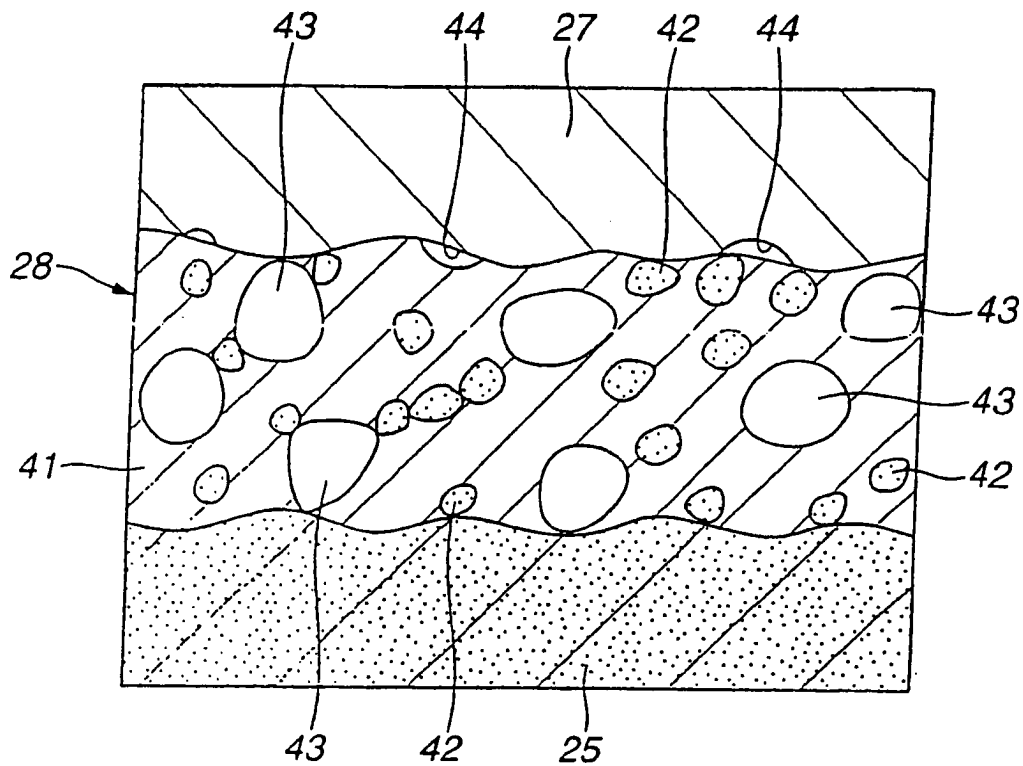


FIG.8

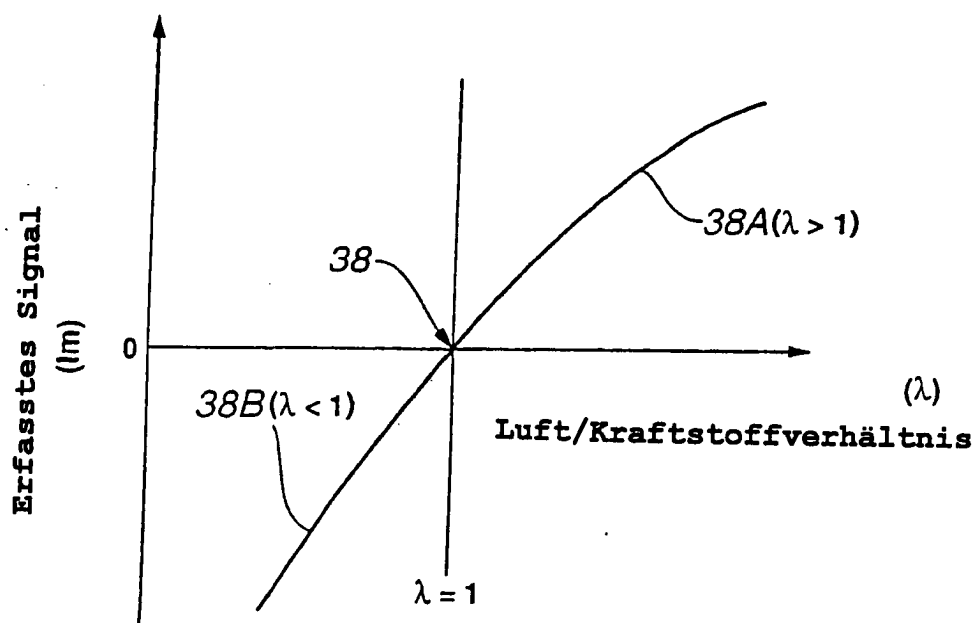


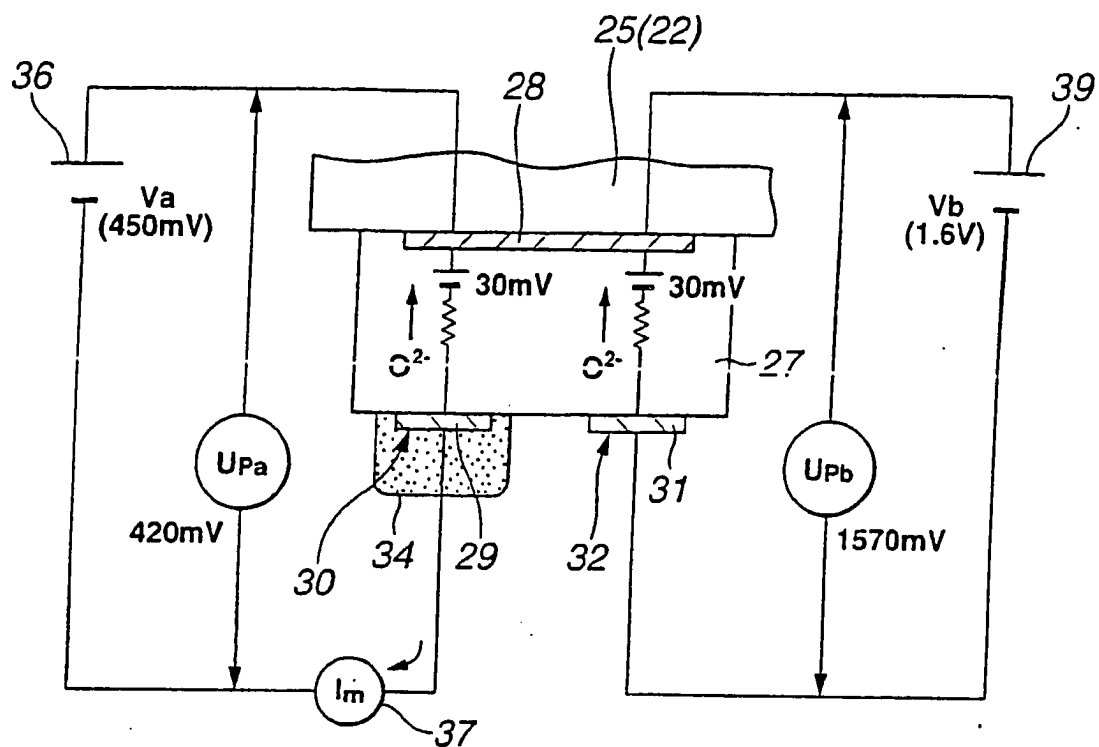
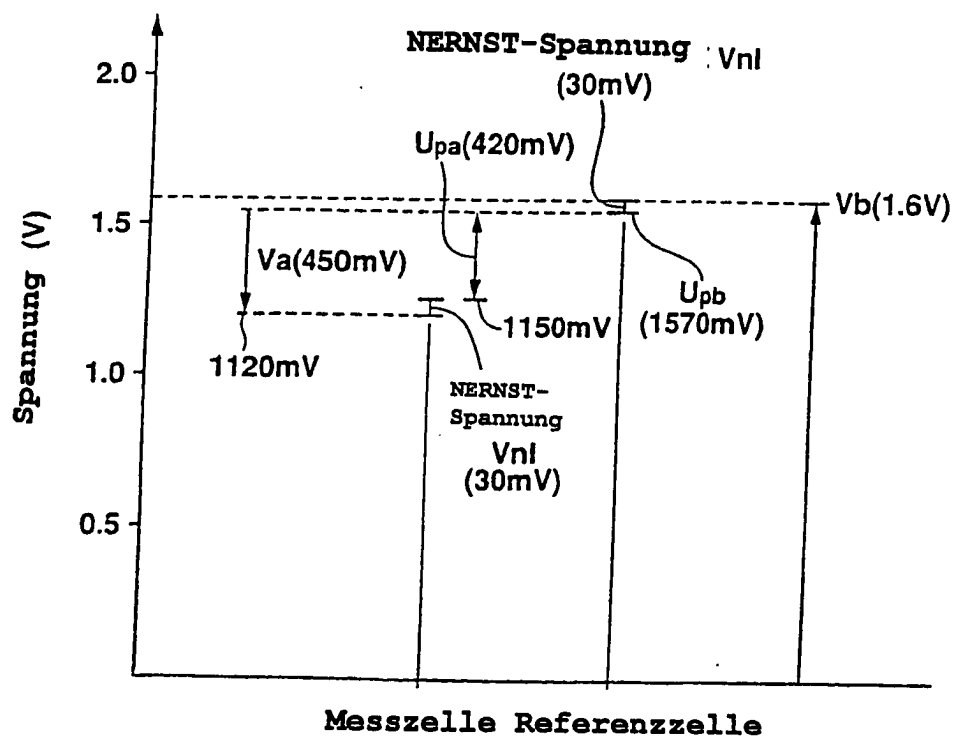
FIG.9**FIG.10**

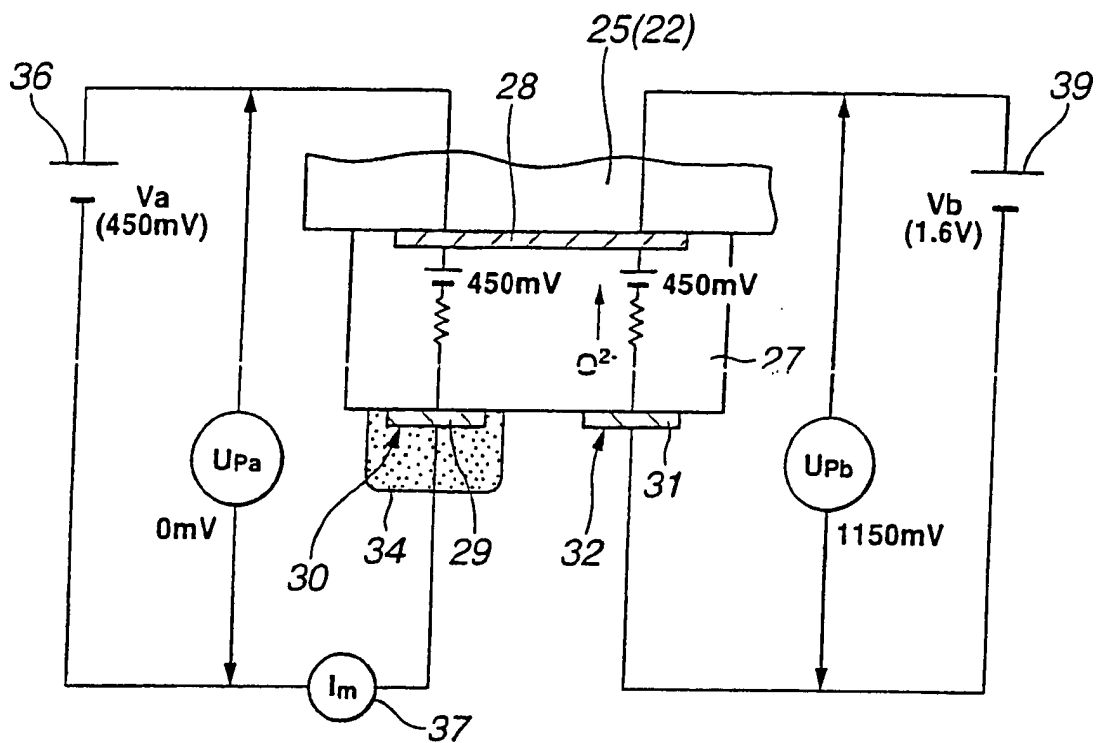
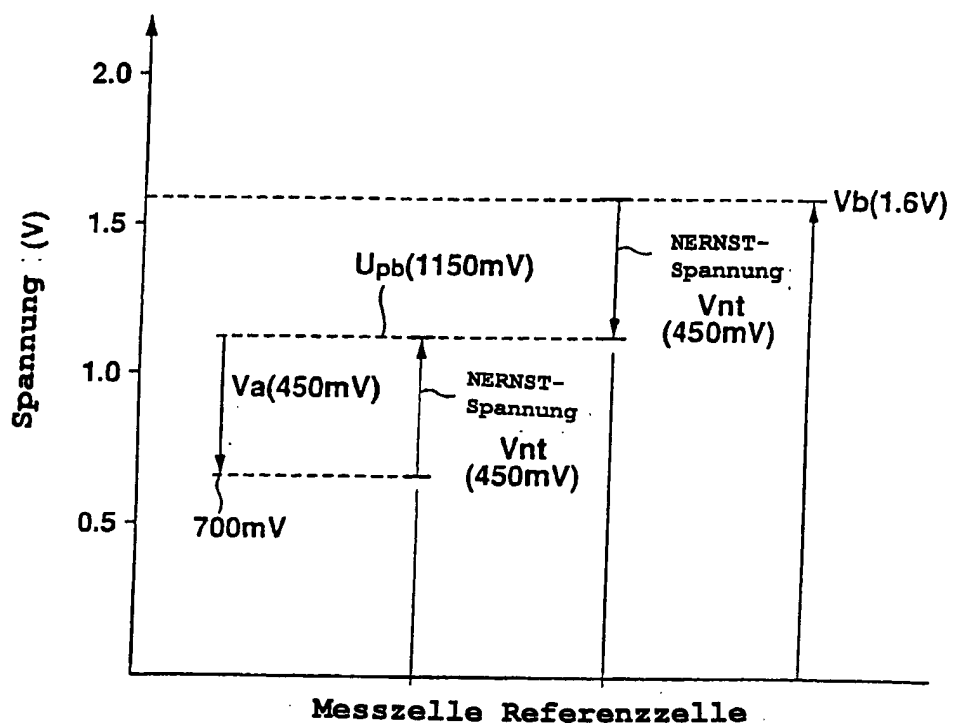
FIG.11**FIG.12**

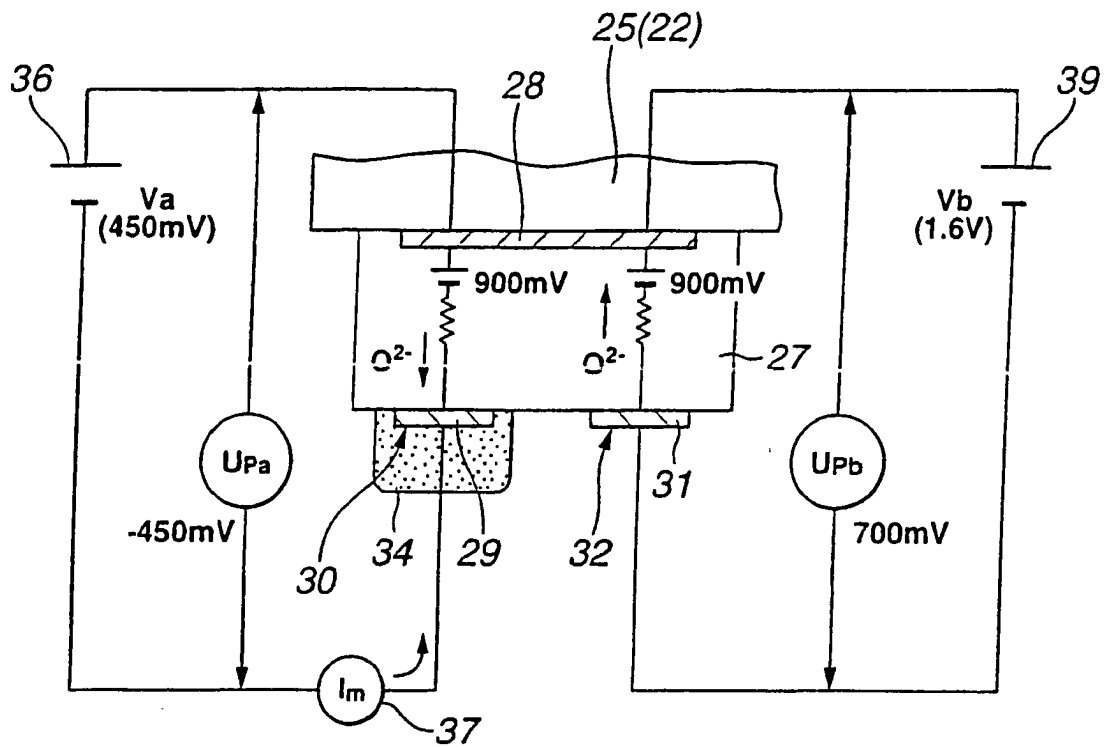
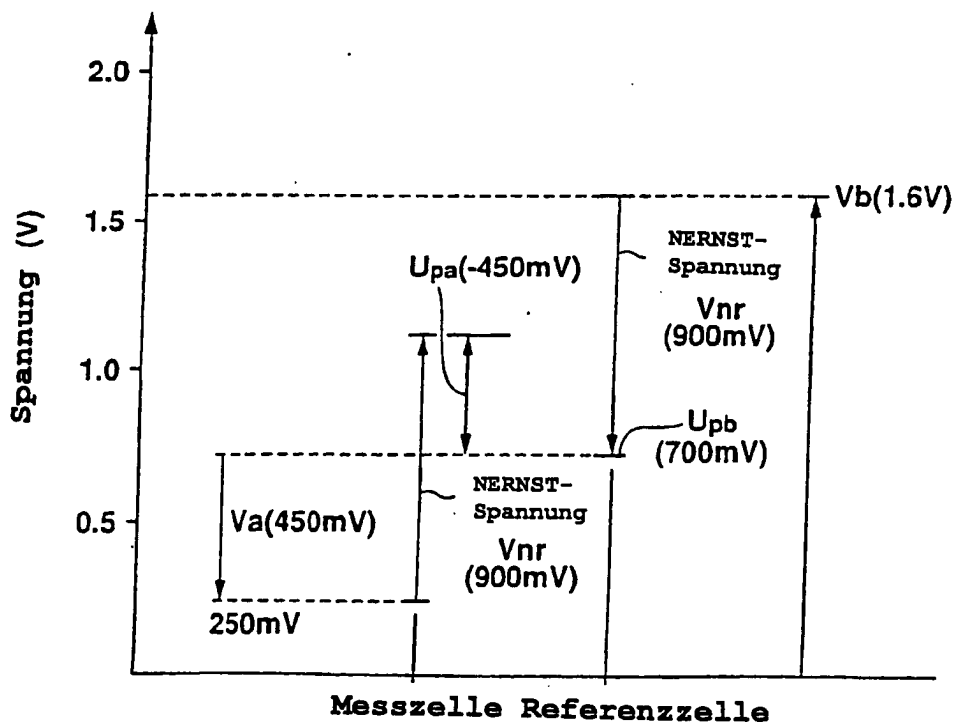
FIG.13**FIG.14**

FIG.15

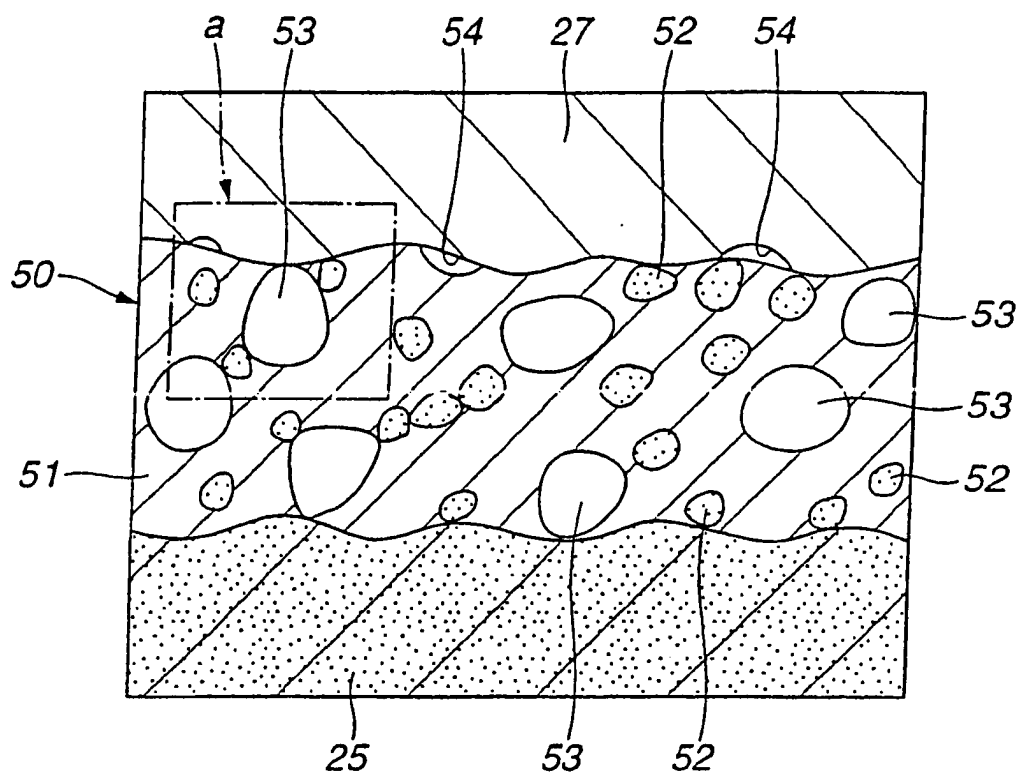


FIG.16

