



(10) **DE 10 2021 001 436 A1** 2021.09.30

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2021 001 436.7**

(22) Anmeldetag: **18.03.2021**

(43) Offenlegungstag: **30.09.2021**

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

**G01N 27/417 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:

**2020-060782**      **30.03.2020**    **JP**

**2021-041460**      **15.03.2021**    **JP**

(74) Vertreter:

**Müller-Boré & Partner Patentanwälte PartG mbB,  
80639 München, DE**

(71) Anmelder:

**NGK INSULATORS, LTD., Nagoya-city, Aichi-pref.,  
JP**

(72) Erfinder:

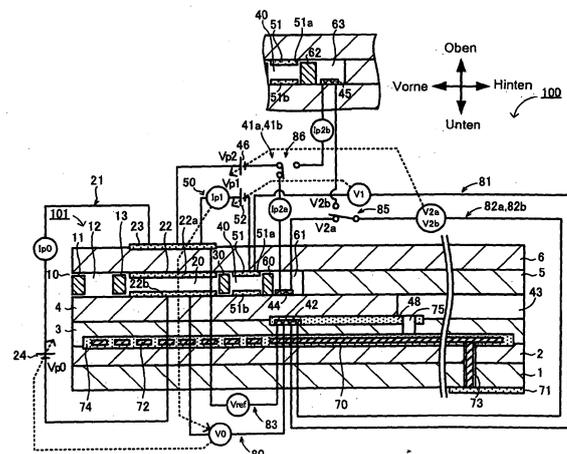
**Sekiya, Takayuki, Nagoya-city, Aichi-pref., JP;  
Watanabe, Yusuke, Nagoya-city, Aichi-pref., JP**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Sensorelement und Gassensor**

(57) Zusammenfassung: Ein Sensorelement 101 umfasst eine erste Messpumpzelle 41a und eine zweite Messpumpzelle 41b. Die erste Messpumpzelle 41a umfasst eine erste Messelektrode 44 und pumpt Sauerstoff, der in einem dritten inneren Hohlraum 61 aus einem spezifischen Gas erzeugt worden ist, hinaus, wobei die erste Messelektrode 44 in dem dritten inneren Hohlraum 61 in einem Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt innerhalb eines Elementkörpers angeordnet ist. Die zweite Messpumpzelle 41b umfasst eine zweite Messelektrode 45 und pumpt Sauerstoff, der in einem vierten inneren Hohlraum 63 aus dem spezifischen Gas erzeugt worden ist, hinaus, wobei die zweite Messelektrode 45 in dem vierten inneren Hohlraum 63 angeordnet ist. Das Sensorelement 101 ist so ausgebildet, dass ein zweiter Diffusionswiderstand  $R_2$ , der ein Diffusionswiderstand eines Wegs des Messgegenstandsgases von außerhalb zu der zweiten Messelektrode 45 ist, höher ist als ein erster Diffusionswiderstand  $R_1$ , der ein Diffusionswiderstand eines Wegs des Messgegenstandsgases von außerhalb zu der ersten Messelektrode 44 ist.



**Beschreibung**

## Technisches Gebiet

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Sensorelement und einen Gassensor.

## Stand der Technik

**[0002]** Im Stand der Technik sind Grenzstrom-Gassensoren bekannt, welche die Konzentration eines spezifischen Gases, wie z.B. NO<sub>x</sub>, in einem Messgegenstandsgas, wie z.B. einem Abgas eines Kraftfahrzeugs, erfassen. Beispielsweise beschreibt PTL 1 einen Gassensor, der einen Schichtkörper, eine Pumpelektrode und eine Messelektrode umfasst. Der Schichtkörper ist aus einer Mehrzahl von Sauerstoffionen-leitenden Festelektrolytschichten ausgebildet, die Pumpelektrode bildet eine elektrochemische Pumpzelle zum Einstellen eines Sauerstoffpartialdrucks eines inneren Hohlraums des Schichtkörpers und die Messelektrode ist innerhalb des Schichtkörpers angeordnet. Zum Erfassen der NO<sub>x</sub>-Konzentration unter Verwendung dieses Gassensors wird zuerst die Sauerstoffkonzentration in dem Messgegenstandsgas in dem inneren Hohlraum unter Verwendung der Pumpelektrode eingestellt. Als nächstes wird NO<sub>x</sub> in dem Messgegenstandsgas, das der Einstellung der Sauerstoffkonzentration unterzogen worden ist, in der Umgebung der Messelektrode reduziert. Dann wird auf der Basis eines Pumpstroms  $I_{p2}$ , der fließt, wenn Sauerstoff in der Umgebung der Messelektrode hinausgepumpt wird, die NO<sub>x</sub>-Konzentration in dem Messgegenstandsgas erfasst.

## Dokumentenliste

## Patentdokumente

**[0003]** [PTL 1] Japanisches Patent Nr. 5323752 B

## Zusammenfassung der Erfindung

## Technisches Problem

**[0004]** Ein einzelner Gassensor kann jedoch die NO<sub>x</sub>-Konzentration nur in einem begrenzten Bereich genau messen. Beispielsweise erreicht, wenn die NO<sub>x</sub>-Konzentration in dem Messgegenstandsgas zu hoch ist, der Pumpstrom  $I_{p2}$  nicht den Grenzstrom und die NO<sub>x</sub>-Konzentration kann momentan nicht gemessen werden. Darüber hinaus nimmt, wenn die NO<sub>x</sub>-Konzentration in dem Messgegenstandsgas zu niedrig ist, da der Pumpstrom  $I_{p2}$  zu niedrig ist, die Messgenauigkeit durch eine Beeinflussung durch Fehler oder dergleichen ab. Folglich gab es einen Bedarf für einen Gassensor, der die NO<sub>x</sub>-Konzentration in einem breiteren Bereich messen kann.

**[0005]** Die vorliegende Erfindung wurde zum Lösen dieses Problems gemacht und eine Hauptaufgabe davon ist die genaue Erfassung der Konzentration eines spezifischen Gases in einem breiten Bereich.

## Lösung des Problems

**[0006]** Zum Lösen der vorstehenden Hauptaufgabe weist die vorliegende Erfindung die folgenden Konfigurationen auf.

**[0007]** Ein erstes Sensorelement gemäß der vorliegenden Erfindung ist ein Sensorelement zum Erfassen einer Konzentration eines spezifischen Gases in einem Messgegenstandsgas, wobei das Sensorelement umfasst:

einen Elementkörper, der eine Sauerstoffionen-leitende Festelektrolytschicht umfasst und einen darin bereitgestellten Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt aufweist, wobei der Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt das Messgegenstandsgas einführt und ein Strömen des Messgegenstandsgases bewirkt;

eine Einstellpumpzelle, die eine Sauerstoffkonzentration in einer Sauerstoffkonzentration-Einstellkammer in dem Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt einstellt;

eine erste Messpumpzelle, die eine erste Messelektrode umfasst und die Sauerstoff, der in einer ersten Messkammer aus dem spezifischen Gas erzeugt worden ist, hinauspumpt, wobei die erste Messelektrode in der ersten Messkammer angeordnet ist, die auf einer stromabwärtigen Seite der Sauerstoffkonzentration-Einstellkammer in dem Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt bereitgestellt ist; und

eine zweite Messpumpzelle, die eine zweite Messelektrode umfasst und die Sauerstoff, der in einer zweiten Messkammer aus dem spezifischen Gas erzeugt worden ist, hinauspumpt, wobei die zweite Messelektrode in der zweiten Messkammer angeordnet ist, die auf einer stromabwärtigen Seite der Sauerstoffkonzentration-Einstellkammer in dem Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt bereitgestellt ist,

wobei der Elementkörper derart ausgebildet ist, dass ein zweiter Diffusionswiderstand  $R_2$ , der ein Diffusionswiderstand eines Wegs des Messgegenstandsgases von außerhalb zu der zweiten Messelektrode ist, höher ist als ein erster Diffusionswiderstand  $R_1$ , der ein Diffusionswiderstand eines Wegs des Messgegenstandsgases von außerhalb zu der ersten Messelektrode ist.

**[0008]** Das erste Sensorelement ist so ausgebildet, dass ein zweiter Diffusionswiderstand  $R_2$ , der ein Diffusionswiderstand eines Wegs des Messgegenstandsgases von außerhalb des Sensorelements

zu der zweiten Messelektrode ist, höher ist als ein erster Diffusionswiderstand  $R_1$ , der ein Diffusionswiderstand eines Wegs des Messgegenstandsgases von außerhalb des Sensorelements zu der ersten Messelektrode ist. Folglich kann selbst dann, wenn die Konzentration des spezifischen Gases in dem Messgegenstandsgas in der zweiten Messpumpzelle höher ist als in der ersten Messpumpzelle, der Strom den Grenzstrom erreichen, wenn Sauerstoff hinausgepumpt wird. D.h., die zweite Messpumpzelle ist zum Erfassen der Konzentration des spezifischen Gases geeignet, wenn die Konzentration des spezifischen Gases höher ist als die in der ersten Messpumpzelle. Im Gegensatz dazu kann die erste Messpumpzelle selbst dann das Fließen eines vergleichsweise hohen Grenzstroms verursachen, wenn die Konzentration des spezifischen Gases niedrig ist, und ist folglich zum Erfassen der Konzentration des spezifischen Gases geeignet, die niedriger ist als die in der zweiten Messpumpzelle. Folglich kann durch selektives Verwenden der ersten Messpumpzelle und der zweiten Messpumpzelle das erste Sensorelement die Konzentration des spezifischen Gases in einem breiten Bereich von einer niedrigen Konzentration zu einer hohen Konzentration genau erfassen, und zwar beispielsweise verglichen mit einem Sensorelement, das nur eine dieser Messpumpzellen umfasst.

**[0009]** Das erste Sensorelement gemäß der vorliegenden Erfindung kann eine Referenzelektrode umfassen, die innerhalb des Elementkörpers angeordnet ist und die ein Referenzgas kontaktiert, das als Erfassungsreferenz der Konzentration des spezifischen Gases in dem Messgegenstandsgas dient.

**[0010]** In dem ersten Sensorelement gemäß der vorliegenden Erfindung kann die erste Messpumpzelle eine erste Hinauspumpziel-Messelektrode umfassen, die in einem Abschnitt bereitgestellt ist, der von dem Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt verschieden ist, und die das Ziel ist, zu dem Sauerstoff, der in der ersten Messkammer erzeugt wird, hinausgepumpt wird, und die zweite Messpumpzelle kann eine zweite Hinauspumpziel-Messelektrode umfassen, die in einem Abschnitt bereitgestellt ist, der von dem Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt verschieden ist, und die das Ziel ist, zu dem Sauerstoff, der in der zweiten Messkammer erzeugt wird, hinausgepumpt wird.

**[0011]** In dem ersten Sensorelement gemäß der vorliegenden Erfindung kann die erste Messpumpzelle ferner eine erste äußere Messelektrode umfassen, die derart außerhalb des Elementkörpers bereitgestellt ist, dass sie das Messgegenstandsgas kontaktiert, und die zweite Messpumpzelle kann ferner eine zweite äußere Messelektrode umfassen, die derart außerhalb des Elementkörpers bereitgestellt ist, dass sie das Messgegenstandsgas kontaktiert. Die erste

äußere Messelektrode ist auch ein Beispiel der vorstehend beschriebenen ersten Hinauspumpziel-Messelektrode. Die zweite äußere Messelektrode ist auch ein Beispiel der vorstehend beschriebenen zweiten Hinauspumpziel-Messelektrode.

**[0012]** In dem ersten Sensorelement gemäß der vorliegenden Erfindung kann der Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt ferner einen ersten Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt und einen zweiten Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt umfassen, wobei der erste Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt auf einem Weg des Messgegenstandsgases von außerhalb des Sensorelements zu der ersten Messelektrode bereitgestellt ist, wobei der zweite Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt auf einem Weg des Messgegenstandsgases von außerhalb des Sensorelements zu der zweiten Messelektrode und auf dem Weg bereitgestellt ist, der nicht durch den ersten Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt verläuft, und wobei der zweite Diffusionswiderstand  $R_2$  dadurch höher sein kann als der erste Diffusionswiderstand  $R_1$ , dass der zweite Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt einen höheren Diffusionswiderstand aufweist als der erste Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt. Auf diese Weise kann bei dem ersten Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt und dem zweiten Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt, die parallel zueinander angeordnet sind, dadurch, dass der zweite Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt einen höheren Diffusionswiderstand aufweist, der zweite Diffusionswiderstand  $R_2$  vergleichsweise einfach höher gemacht werden als der erste Diffusionswiderstand  $R_1$ .

**[0013]** In diesem Fall kann der erste Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt auf einem Weg des Messgegenstandsgases zwischen der Sauerstoffkonzentration-Einstellkammer und der ersten Messkammer bereitgestellt werden und der zweite Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt kann auf einem Weg des Messgegenstandsgases zwischen der Sauerstoffkonzentration-Einstellkammer und der zweiten Messkammer bereitgestellt werden. Auf diese Weise ist es bezüglich eines Wegs des Messgegenstandsgases von außerhalb des Sensorelements zu der Sauerstoffkonzentration-Einstellkammer nicht erforderlich, einen Weg für die erste Messelektrode und einen Weg für die zweite Messelektrode parallel zu trennen. Folglich kann der zweite Diffusionswiderstand mit einem vergleichsweise einfachen Aufbau höher gemacht werden als der erste Diffusionswiderstand.

**[0014]** In dem ersten Sensorelement gemäß der vorliegenden Erfindung kann der erste Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt eine schlitzartige Lücke oder ein poröser Körper sein und der zweite Mes-

selektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt kann eine schlitzartige Lücke oder ein poröser Körper sein.

**[0015]** Das erste Sensorelement gemäß der vorliegenden Erfindung kann ferner, wenn  $n$  eine ganze Zahl größer als oder gleich 3 ist, erste bis  $n$ -te Messpumpzellen umfassen, einschließlich die erste Messpumpzelle und die zweite Messpumpzelle, wobei, wenn  $p$  eine ganze Zahl von 3 bis  $n$  ist, eine  $p$ -te Messpumpzelle eine  $p$ -te Messelektrode umfassen kann und zum Hinauspumpen von Sauerstoff, der in einer  $p$ -ten Messkammer aus dem spezifischen Gas erzeugt worden ist, ausgebildet sein kann, wobei die  $p$ -te Messelektrode in der  $p$ -ten Messkammer bereitgestellt ist, die auf einer stromabwärtigen Seite der Sauerstoffkonzentration-Einstellkammer in dem Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt bereitgestellt ist, und wobei der Elementkörper derart ausgebildet sein kann, dass ein  $p$ -ter Diffusionswiderstand  $R_p$ , der ein Diffusionswiderstand eines Wegs des Messgegenstandsgases von außerhalb zu der  $p$ -ten Messelektrode ist, höher als ein  $(p-1)$ -ter Diffusionswiderstand  $R_{p-1}$  ist, der ein Diffusionswiderstand eines Wegs des Messgegenstandsgases von außerhalb zu einer  $(p-1)$ -ten Messelektrode ist. D.h.,  $R_1 < R_2 < \dots < R_{n-1} < R_n$  kann erfüllt sein. Durch selektives Verwenden der ersten bis  $n$ -ten Messpumpzellen kann das Sensorelement die Konzentration des spezifischen Gases in einem breiteren Bereich (Erfassungsbereich der Konzentration des spezifischen Gases) genauer erfassen, und zwar verglichen mit einem Sensorelement, das nur die erste und die zweite Messpumpzelle umfasst.

**[0016]** In dem ersten Sensorelement gemäß der vorliegenden Erfindung kann die  $p$ -te Messpumpzelle ferner eine  $p$ -te Hinauspumpziel-Messelektrode umfassen, die in einem Abschnitt bereitgestellt ist, der von dem Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt verschieden ist, und die das Ziel ist, zu dem Sauerstoff, der in der  $p$ -ten Messkammer erzeugt wird, hinauspumpiert wird.

**[0017]** In dem ersten Sensorelement gemäß der vorliegenden Erfindung kann die  $p$ -te Messpumpzelle ferner eine  $p$ -te äußere Messelektrode umfassen, die derart außerhalb des Elementkörpers bereitgestellt ist, dass sie das Messgegenstandsgas kontaktiert. Die  $p$ -te äußere Messelektrode ist auch ein Beispiel der vorstehend beschriebenen  $p$ -ten Hinauspumpziel-Messelektrode.

**[0018]** In diesem Fall kann ein Verhältnis  $R_n/R_1$  zwischen dem ersten Diffusionswiderstand  $R_1$  und einem  $n$ -ten Diffusionswiderstand  $R_n$  größer als 1 und kleiner als oder gleich 100 sein. D.h., das Verhältnis  $R_n/R_1$  zwischen, von der ersten bis  $n$ -ten Messelektrode, dem ersten Diffusionswiderstand  $R_1$  der ersten Messelektrode, die eine Messelektrode ist, für die der Diffusionswiderstand des Wegs des Messgegen-

standsgases von außerhalb am niedrigsten ist, und dem  $n$ -ten Diffusionswiderstand  $R_n$  der  $n$ -ten Messelektrode, die eine Messelektrode ist, für die der Diffusionswiderstand des Wegs des Messgegenstandsgases von außerhalb der höchste ist, kann größer als 1 und kleiner als oder gleich 100 sein. Es sollte beachtet werden, dass diese Beziehung nicht nur dann erfüllt sein kann, wenn  $n$  größer als oder gleich 3 ist, sondern auch, wenn  $n$  2 ist. D.h., wenn das Sensorelement nur die erste und die zweite Messpumpzelle als Messpumpzellen umfasst, kann  $R_2/R_1$  größer als 1 und kleiner als oder gleich 100 sein.

**[0019]** Ein erster Gassensor gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst: Das erste Sensorelement nach einer der vorstehend beschriebenen Ausführungsformen; und eine Vorrichtung zur Erfassung der Konzentration eines spezifischen Gases, die einen Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration und einen Modus zur Messung einer hohen Konzentration aufweist, wobei der Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration ein Modus ist, bei dem die erste Messpumpzelle so gesteuert wird, dass ein Pumpstrom, der in der ersten Messpumpzelle fließt, ein Grenzstrom wird, und auf der Basis eines Werts des Pumpstroms die Konzentration des spezifischen Gases in dem Messgegenstandsgas erfasst wird, wobei der Modus zur Messung einer hohen Konzentration ein Modus ist, bei dem die zweite Messpumpzelle so gesteuert wird, dass ein Pumpstrom, der in der zweiten Messpumpzelle fließt, ein Grenzstrom nicht erreicht wird, und auf der Basis eines Werts des Pumpstroms die Konzentration des spezifischen Gases in dem Messgegenstandsgas erfasst wird. Dieser Gassensor erfasst die Konzentration des spezifischen Gases in dem Messgegenstandsgas auf der Basis des Werts des Pumpstroms, der in der ersten Messpumpzelle in dem Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration fließt, und kann folglich die Konzentration des spezifischen Gases, die eine niedrige Konzentration ist, genau erfassen. Dieser Gassensor erfasst auch die Konzentration des spezifischen Gases in dem Messgegenstandsgas auf der Basis des Werts des Pumpstroms, der in der zweiten Messpumpzelle in dem Modus zur Messung einer hohen Konzentration fließt, und kann folglich die Konzentration des spezifischen Gases, die eine hohe Konzentration ist, genau erfassen.

**[0020]** In dem ersten Gassensor gemäß der vorliegenden Erfindung, kann, wenn die Vorrichtung zur Erfassung der Konzentration eines spezifischen Gases auf der Basis des Pumpstroms, der in der ersten Messpumpzelle in dem Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration fließt, bestimmt, dass die Konzentration des spezifischen Gases in dem Messgegenstandsgas in einem vorgegebenen Bereich mit hoher Konzentration liegt, die Vorrichtung zur Erfassung der Konzentration eines spezifischen Gases zu dem Modus zur Messung einer hohen Konzentra-

tion umschalten, und wenn die Vorrichtung zur Erfassung der Konzentration eines spezifischen Gases auf der Basis des Pumpstroms, der in der zweiten Messpumpzelle in dem Modus zur Messung einer hohen Konzentration fließt, bestimmt, dass die Konzentration des spezifischen Gases in dem Messgegenstandsgas in einem vorgegebenen Bereich mit niedriger Konzentration liegt, kann die Vorrichtung zur Erfassung der Konzentration eines spezifischen Gases zu dem Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration umschalten. Folglich können auf der Basis der Pumpströme der Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration und der Modus zur Messung einer hohen Konzentration in einer geeigneten Weise umgeschaltet werden.

**[0021]** In diesem Fall kann der Gassensor eine erste Messspannung-Erfassungsvorrichtung, die eine erste Messspannung zwischen der Referenzelektrode und der ersten Messelektrode erfasst, und eine zweite Messspannung-Erfassungsvorrichtung umfassen, die eine zweite Messspannung zwischen der Referenzelektrode und der zweiten Messelektrode erfasst. Darüber hinaus kann die Vorrichtung zur Erfassung der Konzentration eines spezifischen Gases die erste Messpumpzelle auf der Basis der ersten Messspannung in dem Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration steuern und kann die zweite Messpumpzelle auf der Basis der zweiten Messspannung in dem Modus zur Messung einer hohen Konzentration steuern.

**[0022]** Ein zweites Sensorelement gemäß der vorliegenden Erfindung ist ein Sensorelement zum Erfassen einer Sauerstoffkonzentration als Konzentration eines spezifischen Gases in einem Messgegenstandsgas, wobei das Sensorelement umfasst:

einen Elementkörper, der eine Sauerstoffionenleitende Festelektrolytschicht umfasst und einen darin bereitgestellten Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt aufweist, wobei der Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt das Messgegenstandsgas einführt und ein Strömen des Messgegenstandsgases bewirkt;

eine erste Messpumpzelle, die eine erste Messelektrode umfasst und die Sauerstoff in dem Messgegenstandsgas hinauspumpt, wobei die erste Messelektrode in einer ersten Messkammer in dem Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt angeordnet ist; und

eine zweite Messpumpzelle, die eine zweite Messelektrode umfasst und die Sauerstoff in dem Messgegenstandsgas hinauspumpt, wobei die zweite Messelektrode in einer zweiten Messkammer in dem Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt angeordnet ist,

wobei der Elementkörper derart ausgebildet ist, dass ein zweiter Diffusionswiderstand  $R_2$ , der ein Diffusionswiderstand eines Wegs des Messgegenstandsgases von außerhalb zu der zweiten Messelektrode ist, höher ist als ein erster Diffusionswiderstand  $R_1$ , der ein Diffusionswiderstand eines Wegs des Messgegenstandsgases von außerhalb zu der ersten Messelektrode ist.

**[0023]** Das zweite Sensorelement ist ein Sensorelement zum Erfassen der Sauerstoffkonzentration als Konzentration des spezifischen Gases. In im Wesentlichen der gleichen Weise wie für das vorstehend beschriebene erste Sensorelement ist das zweite Sensorelement so ausgebildet, dass ein zweiter Diffusionswiderstand  $R_2$ , der ein Diffusionswiderstand eines Wegs des Messgegenstandsgases von außerhalb des Sensorelements zu der zweiten Messelektrode ist, höher ist als ein erster Diffusionswiderstand  $R_1$ , der ein Diffusionswiderstand eines Wegs des Messgegenstandsgases von außerhalb des Sensorelements zu der ersten Messelektrode ist. Folglich kann durch selektives Verwenden der ersten Messpumpzelle und der zweiten Messpumpzelle auch das zweite Sensorelement die Konzentration des spezifischen Gases in einem breiten Bereich von einer niedrigen Konzentration zu einer hohen Konzentration genau erfassen, und zwar beispielsweise verglichen mit einem Sensorelement, das nur eine dieser Messpumpzellen umfasst.

**[0024]** In dem zweiten Sensorelement gemäß der vorliegenden Erfindung kann die erste Messpumpzelle eine erste Hinauspumpziel-Messelektrode umfassen, die in einem Abschnitt bereitgestellt ist, der von dem Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt verschieden ist, und die das Ziel ist, zu dem Sauerstoff, der in der ersten Messkammer erzeugt wird, hinausgepumpt wird, und die zweite Messpumpzelle kann eine zweite Hinauspumpziel-Messelektrode umfassen, die in einem Abschnitt bereitgestellt ist, der von dem Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt verschieden ist, und die das Ziel ist, zu dem Sauerstoff, der in der zweiten Messkammer erzeugt wird, hinausgepumpt wird.

**[0025]** In dem zweiten Sensorelement gemäß der vorliegenden Erfindung kann die erste Messpumpzelle ferner eine erste äußere Messelektrode umfassen, die derart außerhalb des Elementkörpers bereitgestellt ist, dass sie das Messgegenstandsgas kontaktiert, und die zweite Messpumpzelle kann ferner eine zweite äußere Messelektrode umfassen, die derart außerhalb des Elementkörpers bereitgestellt ist, dass sie das Messgegenstandsgas kontaktiert. Die erste äußere Messelektrode ist auch ein Beispiel für die vorstehend beschriebene erste Hinauspumpziel-Messelektrode. Die zweite äußere Messelektrode ist auch ein Beispiel für die vorstehend beschriebene zweite Hinauspumpziel-Messelektrode.

**[0026]** Der zweite Gassensor gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst: Das vorstehend beschriebene zweite Sensorelement; und eine Vorrichtung zur Erfassung der Konzentration eines spezifischen Gases, die einen Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration und einen Modus zur Messung einer hohen Konzentration aufweist, wobei der Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration ein Modus ist, bei dem die erste Messpumpzelle so gesteuert wird, dass ein Pumpstrom, der in der ersten Messpumpzelle fließt, ein Grenzstrom wird, und auf der Basis eines Werts des Pumpstroms die Konzentration des spezifischen Gases in dem Messgegenstandsgas erfasst wird, wobei der Modus zur Messung einer hohen Konzentration ein Modus ist, bei dem die zweite Messpumpzelle so gesteuert wird, dass ein Pumpstrom, der in der zweiten Messpumpzelle fließt, ein Grenzstrom wird, und auf der Basis eines Werts des Pumpstroms die Konzentration des spezifischen Gases in dem Messgegenstandsgas erfasst wird. In im Wesentlichen der gleichen Weise wie derjenigen des vorstehend beschriebenen ersten Gassensors erfasst der zweite Gassensor die Konzentration des spezifischen Gases in dem Messgegenstandsgas auf der Basis des Werts des Pumpstroms, der in der ersten Messpumpzelle in dem Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration fließt, und kann folglich die Konzentration des spezifischen Gases, die eine niedrige Konzentration ist, genau erfassen. Der zweite Gassensor erfasst auch die Konzentration des spezifischen Gases in dem Messgegenstandsgas auf der Basis des Werts des Pumpstroms, der in der zweiten Messpumpzelle in dem Modus zur Messung einer hohen Konzentration fließt, und kann folglich die Konzentration des spezifischen Gases, die eine hohe Konzentration ist, genau erfassen.

**[0027]** Das zweite Sensorelement gemäß der vorliegenden Erfindung kann eine Ausführungsform nutzen, die im Wesentlichen mit verschiedenen Ausführungsformen des vorstehend beschriebenen ersten Sensorelements gemäß der vorliegenden Erfindung identisch ist oder kann zusätzlich einen Aufbau nutzen, der im Wesentlichen mit dem vorstehend beschriebenen ersten Sensorelement gemäß der vorliegenden Erfindung identisch ist. Der zweite Gassensor gemäß der vorliegenden Erfindung kann eine Ausführungsform nutzen, die im Wesentlichen mit verschiedenen Ausführungsformen des vorstehend beschriebenen ersten Gassensors gemäß der vorliegenden Erfindung identisch ist oder kann zusätzlich einen Aufbau nutzen, der im Wesentlichen mit dem vorstehend beschriebenen ersten Gassensor gemäß der vorliegenden Erfindung identisch ist.

## Figurenliste

**Fig. 1** ist eine schematische Schnittansicht, die schematisch ein Beispiel des Aufbaus eines Gassensors **100** zeigt.

**Fig. 2** ist eine schematische Schnittansicht eines Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitts.

**Fig. 3** ist ein Blockdiagramm, das eine elektrische Verbindungsbeziehung zwischen einer Steuervorrichtung **90** und jeder Zelle zeigt.

**Fig. 4** zeigt ein Beispiel von V-I-Eigenschaften einer ersten Messpumpzelle **41a**.

**Fig. 5** zeigt ein Beispiel einer Entsprechungsbeziehung zwischen einer NO<sub>x</sub>-Konzentration und einem Pumpstrom **lp2a**.

**Fig. 6** zeigt ein Beispiel von V-I-Eigenschaften einer zweiten Messpumpzelle **41b**.

**Fig. 7** zeigt ein Beispiel einer Entsprechungsbeziehung zwischen einer NO<sub>x</sub>-Konzentration und einem Pumpstrom **lp2b**.

**Fig. 8** ist ein Flussdiagramm, das ein Beispiel einer Konzentrationserfassung-Verarbeitungsroutine zeigt.

**Fig. 9** ist eine schematische Schnittansicht eines Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitts in einer Modifizierung.

**Fig. 10** ist eine schematische Schnittansicht eines vierten Diffusionsrateneinstellabschnitts **60**.

**Fig. 11** ist eine schematische Schnittansicht des vierten Diffusionsrateneinstellabschnitts **60** und eines fünften Diffusionsrateneinstellabschnitts **62** in einer Modifizierung.

**Fig. 12** ist eine schematische Schnittansicht des vierten Diffusionsrateneinstellabschnitts **60** und des fünften Diffusionsrateneinstellabschnitts **62** in einer Modifizierung.

**Fig. 13** ist eine schematische Schnittansicht eines Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitts in einer Modifizierung.

**Fig. 14** ist eine schematische Schnittansicht des vierten Diffusionsrateneinstellabschnitts **60** und des fünften Diffusionsrateneinstellabschnitts **62** in einer Modifizierung.

**Fig. 15** ist eine schematische Schnittansicht, die schematisch ein Beispiel des Aufbaus eines Gassensors **200** gemäß einer Modifizierung zeigt.

**Fig. 16** ist eine schematische Schnittansicht des vierten Diffusionsrateneinstellabschnitts **60** und des fünften Diffusionsrateneinstellabschnitts **62** in einer Modifizierung.

**Fig. 17** ist eine schematische Schnittansicht des Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitts in einer Modifizierung.

**Fig. 18** ist eine schematische Schnittansicht, die schematisch ein Beispiel des Aufbaus eines Gassensors **300** zeigt.

**Fig. 19** ist eine schematische Schnittansicht eines Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitts in einem Sensorelement **301**.

**Fig. 20** ist eine schematische Schnittansicht eines dritten inneren Hohlraums **61**, eines vierten inneren Hohlraums **63** und einer Referenzgaskammer **343** in dem Sensorelement **301**.

**Fig. 21** ist eine schematische Schnittansicht von Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitten in einer Modifizierung.

**Fig. 22** ist eine schematische Schnittansicht von Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitten in einer Modifizierung.

#### Beschreibung von Ausführungsformen

**[0028]** Nachstehend wird eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben. Die **Fig. 1** ist eine schematische Schnittansicht, die schematisch ein Beispiel des Aufbaus eines Gassensors **100** gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt. Die **Fig. 2** ist eine schematische Schnittansicht eines Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitts. Die **Fig. 3** ist ein Blockdiagramm, das eine elektrische Verbindungsbeziehung zwischen einer Steuervorrichtung **90** und jeder Zelle zeigt. Die **Fig. 2** zeigt einen Teilschnitt entlang der Vorne-hinten-Richtung und der horizontalen Richtung einer Abstandshalterschicht **5** in einem Sensorelement **101**. Der Gassensor **100** ist beispielsweise an einer Leitung, wie z.B. einer Abgasleitung eines Verbrennungsmotors, angebracht. Der Gassensor **100** erfasst die Konzentration eines spezifischen Gases, wie z.B. NO<sub>x</sub> oder Ammoniak, in einem Messgegenstandsgas, das ein Abgas des Verbrennungsmotors ist. In dieser Ausführungsform misst der Gassensor **100** eine NO<sub>x</sub>-Konzentration als Konzentration des spezifischen Gases. Der Gassensor **100** umfasst das Sensorelement **101** mit einer länglichen Quaderform, Zellen **21**, **41a**, **41b**, **50**, **80**, **81**, **82a**, **82b** und **83**, die in das Sensorelement **101** einbezogen sind, und die Steuervorrichtung **90**, die variable Stromquellen **24**, **46** und **52** und Umschalter **85** und **86** aufweist und welche die Gesamtheit des Gassensors **100** steuert.

**[0029]** Das Sensorelement **101** ist ein Element mit einem Schichtkörper aus sechs Schichten, wobei jede davon aus einer Sauerstoffionen-leitenden Festelektrolytschicht aus Zirkoniumoxid (ZrO<sub>2</sub>) oder dergleichen ausgebildet ist. Die sechs Schichten sind eine erste Substratschicht **1**, eine zweite Substrat-

schicht **2**, eine dritte Substratschicht **3**, eine erste Festelektrolytschicht **4**, die Abstandshalterschicht **5** und eine zweite Festelektrolytschicht **6** und diese sind in dieser Reihenfolge von der Unterseite in der **Fig. 1** schichtartig angeordnet. Darüber hinaus weist der Festelektrolyt, der diese sechs Schichten bildet, eine hohe Dichte auf und ist gasdicht. Beispielsweise werden Keramikgrünlagen, die den jeweiligen Schichten entsprechen, einer vorgegebenen Verarbeitung, einem Strom- bzw. Schaltkreisstrukturdrucken und dergleichen unterzogen und diese Lagen werden schichtartig angeordnet und dann ferner gebrannt, so dass das Sensorelement **101** als Einzelform hergestellt wird.

**[0030]** An der Spitzenseite (linke Endseite in der **Fig. 1**) des Sensorelements **101** zwischen der unteren Oberfläche der zweiten Festelektrolytschicht **6** und der oberen Oberfläche der ersten Festelektrolytschicht **4** sind ein Gaseinlass **10**, ein erster Diffusionsrateneinstellabschnitt **11**, ein Pufferraum **12**, ein zweiter Diffusionsrateneinstellabschnitt **13**, ein erster innerer Hohlraum **20**, ein dritter Diffusionsrateneinstellabschnitt **30**, ein zweiter innerer Hohlraum **40**, ein vierter Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** und ein dritter innerer Hohlraum **61** aneinander angrenzend ausgebildet, so dass sie in dieser Reihenfolge miteinander in Verbindung stehen. Darüber hinaus sind, wie es in der **Fig. 2** gezeigt ist, in dem zweiten inneren Hohlraum **40** ein fünfter Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** und ein vierter innerer Hohlraum **63** aneinander angrenzend ausgebildet, so dass sie in dieser Reihenfolge in Verbindung stehen. Der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** und der vierte innere Hohlraum **63** sind auf einem Weg des Messgegenstandsgases bereitgestellt, der nicht durch den vierten Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** verläuft. Mit anderen Worten, der Satz aus dem vierten Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** und dem dritten inneren Hohlraum **61** und der Satz aus dem fünften Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** und dem vierten inneren Hohlraum **63** sind so angeordnet, dass sie parallel zueinander sind. Der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** weist einen längeren Strömungsweg des Messgegenstandsgases (Länge in der Vorne-hinten-Richtung in der **Fig. 2**) auf als der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** und folglich weist der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** einen höheren Diffusionswiderstand auf als der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60**.

**[0031]** Der Gaseinlass **10**, der Pufferraum **12**, der erste innere Hohlraum **20**, der zweite innere Hohlraum **40**, der dritte innere Hohlraum **61** und der vierte innere Hohlraum **63** bilden einen Raum innerhalb des Sensorelements **101**. Der Raum wird durch Aushöhlen der Abstandshalterschicht **5** gebildet, wobei dessen Oberseite durch die untere Oberfläche der zweiten Festelektrolytschicht **6** festgelegt ist, dessen Unterseite durch die obere Oberfläche der ersten Fes-

telekrolytschicht **4** festgelegt ist, und eine Seite davon durch eine Seitenoberfläche der Abstandshalterschicht **5** festgelegt ist.

**[0032]** Der erste Diffusionsrateneinstellabschnitt **11**, der zweite Diffusionsrateneinstellabschnitt **13** und der dritte Diffusionsrateneinstellabschnitt **30** sind jeweils als zwei horizontal lange Schlitz (mit Öffnungen mit einer Längsrichtung in der Richtung senkrecht zur Zeichnung in der **Fig. 1**) bereitgestellt (vgl. auch die **Fig. 2**). Darüber hinaus sind der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** und der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** jeweils als einzelner horizontal langer Schlitz (mit einer Öffnung mit einer Längsrichtung in der Richtung senkrecht zur Zeichnung in der **Fig. 1**) bereitgestellt, der als Lücke von der unteren Oberfläche der zweiten Festelektrolytschicht **6** ausgebildet ist (vgl. auch die **Fig. 2**). Es sollte beachtet werden, dass die Teile von dem Gaseinlass **10** zu dem dritten inneren Hohlraum **61** und dem vierten inneren Hohlraum **63** auch als Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt bezeichnet werden.

**[0033]** Über den Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt von der Spitzenseite hinaus ist ein Referenzgas-Einführungsraum **43** an einer Position zwischen der oberen Oberfläche der dritten Substratschicht **3** und der unteren Oberfläche der Abstandshalterschicht **5** bereitgestellt, wobei eine Seite davon durch eine Seitenoberfläche der ersten Festelektrolytschicht **4** festgelegt ist. Als Referenzgas zur Messung der NO<sub>x</sub>-Konzentration wird beispielsweise atmosphärische Luft in den Referenzgas-Einführungsraum **43** eingeführt.

**[0034]** Eine atmosphärische Luft-Einführungsschicht **48** ist aus einer porösen Keramik ausgebildet und das Referenzgas wird durch den Referenzgas-Einführungsraum **43** in die atmosphärische Luft-Einführungsschicht **48** eingeführt. Darüber hinaus ist die atmosphärische Luft-Einführungsschicht **48** so ausgebildet, dass sie eine Referenzelektrode **42** bedeckt.

**[0035]** Die Referenzelektrode **42** ist eine Elektrode, die zum Anordnen zwischen der oberen Oberfläche der dritten Substratschicht **3** und der ersten Festelektrolytschicht **4** ausgebildet ist. Wie es vorstehend beschrieben ist, ist die Referenzelektrode **42** durch die atmosphärische Luft-Einführungsschicht **48** umgeben, die mit dem Referenzgas-Einführungsraum **43** verbunden ist. Darüber hinaus kann, wie es später beschrieben ist, die Referenzelektrode **42** zum Messen der Sauerstoffkonzentrationen (Sauerstoffpartialdrücke) innerhalb des ersten inneren Hohlraums **20**, des zweiten inneren Hohlraums **40**, des dritten inneren Hohlraums **61** und des vierten inneren Hohlraums **63** verwendet werden. Die Referenzelektrode

**42** ist als poröse Cermetelektrode (z.B. eine Cermetelektrode aus Pt und ZrO<sub>2</sub>) ausgebildet.

**[0036]** In dem Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt ist der Gaseinlass **10** ein Teil, der zu einem Außenraum offen ist, und das Messgegenstandsgas wird von dem Außenraum durch den Gaseinlass **10** in das Sensorelement **101** aufgenommen. Der erste Diffusionsrateneinstellabschnitt **11** ist ein Teil, der einen vorgegebenen Diffusionswiderstand auf das Messgegenstandsgas ausübt, das durch den Gaseinlass **10** aufgenommen wird. Der Pufferraum **12** ist ein Raum, der zum Leiten des Messgegenstandsgases, das von dem ersten Diffusionsrateneinstellabschnitt **11** eingeführt wird, zu dem zweiten Diffusionsrateneinstellabschnitt **13** bereitgestellt ist. Der zweite Diffusionsrateneinstellabschnitt **13** ist ein Teil, der einen vorgegebenen Diffusionswiderstand auf das Messgegenstandsgas ausübt, das von dem Pufferraum **12** in den ersten inneren Hohlraum **20** eingeführt wird. Wenn das Messgegenstandsgas von außerhalb des Sensorelements **101** in den ersten inneren Hohlraum **20** eingeführt wird, wird das Messgegenstandsgas, das aufgrund von Änderungen des Drucks des Messgegenstandsgases in dem Außenraum (Pulsierungen des Abgasdrucks, wenn das Messgegenstandsgas ein Abgas eines Kraftfahrzeugs ist) durch den Gaseinlass **10** rasch in das Sensorelement **101** aufgenommen wird, nicht direkt in den ersten inneren Hohlraum **20** eingeführt, sondern wird in den ersten inneren Hohlraum **20** eingeführt, nachdem die Änderungen des Drucks des Messgegenstandsgases durch den ersten Diffusionsrateneinstellabschnitt **11**, den Pufferraum **12** und den zweiten Diffusionsrateneinstellabschnitt **13** kompensiert worden sind. Folglich sind die Änderungen des Drucks des Messgegenstandsgases, das in den ersten inneren Hohlraum **20** eingeführt werden soll, nahezu vernachlässigbar. Der erste innere Hohlraum **20** ist als Raum zum Einstellen des Sauerstoffpartialdrucks in dem Messgegenstandsgas bereitgestellt, das durch den zweiten Diffusionsrateneinstellabschnitt **13** eingeführt wird. Der Sauerstoffpartialdruck wird durch den Betrieb der Hauptpumpzelle **21** eingestellt.

**[0037]** Die Hauptpumpzelle **21** ist eine elektrochemische Pumpzelle, die eine innere Pumpelektrode **22**, eine äußere Pumpelektrode **23** und die zweite Festelektrolytschicht **6**, die zwischen diesen Elektroden angeordnet ist, umfasst. Die innere Pumpelektrode **22** weist einen oberen Elektrodenabschnitt **22a** auf, der auf im Wesentlichen der gesamten Oberfläche der unteren Oberfläche der zweiten Festelektrolytschicht **6** bereitgestellt ist, die auf den ersten inneren Hohlraum **20** gerichtet ist. Die äußere Pumpelektrode **23** ist so bereitgestellt, dass sie zu dem Außenraum in einem Bereich freiliegt, der dem oberen Elektrodenabschnitt **22a** auf der oberen Oberfläche der zweiten Festelektrolytschicht **6** entspricht.

**[0038]** Die innere Pumpelektrode **22** ist auf der oberen und unteren Festelektrolytschicht (der zweiten Festelektrolytschicht **6** und der ersten Festelektrolytschicht **4**) ausgebildet, die den ersten inneren Hohlraum **20** und die Abstandshalterschicht **5**, welche die Seitenwände bildet, festlegen. Insbesondere ist der obere Elektrodenabschnitt **22a** auf der unteren Oberfläche der zweiten Festelektrolytschicht **6** ausgebildet, welche die obere Oberfläche des ersten inneren Hohlraums **20** bildet, und ein unterer Elektrodenabschnitt **22b** ist auf der oberen Oberfläche der ersten Festelektrolytschicht **4** ausgebildet, welche die untere Oberfläche des ersten inneren Hohlraums **20** bildet. Ferner sind zum miteinander Verbinden des oberen Elektrodenabschnitts **22a** und des unteren Elektrodenabschnitts **22b** Seitenelektrodenabschnitte **22c** (vgl. die **Fig. 2**) auf Seitenwandoberflächen (inneren Oberflächen) der Abstandshalterschicht **5** ausgebildet, die beide Seitenwandabschnitte des ersten inneren Hohlraums **20** bildet. Die innere Pumpelektrode **22** ist so angeordnet, dass sie eine Tunnelstruktur in dem Teil aufweist, bei dem die Seitenelektrodenabschnitte **22c** angeordnet sind.

**[0039]** Die innere Pumpelektrode **22** und die äußere Pumpelektrode **23** sind jeweils als poröse Cermetelektrode (z.B. eine Cermetelektrode aus Pt und  $ZrO_2$ , die 1 % Au enthält) ausgebildet. Es sollte beachtet werden, dass die innere Pumpelektrode **22**, die das Messgegenstandsgas kontaktieren soll, aus einem Material ausgebildet ist, dessen Reduktionsvermögen für  $NO_x$ -Komponenten in dem Messgegenstandsgas vermindert ist.

**[0040]** Durch Anlegen einer gewünschten Spannung  $V_{p0}$  zwischen der inneren Pumpelektrode **22** und der äußeren Pumpelektrode **23** wird bewirkt, dass ein Pumpstrom  $I_{p0}$  zwischen der inneren Pumpelektrode **22** und der äußeren Pumpelektrode **23** in der positiven Richtung oder in der negativen Richtung fließt, so dass die Hauptpumpzelle **21** Sauerstoff von dem ersten inneren Hohlraum **20** zu dem Außenraum hinaus-pumpen kann oder Sauerstoff von dem Außenraum zu dem ersten inneren Hohlraum **20** hineinpumpen kann.

**[0041]** Darüber hinaus ist zum Erfassen der Sauerstoffkonzentration (Sauerstoffpartialdruck) in der Atmosphäre in dem ersten inneren Hohlraum **20** eine elektrochemische Sensorzelle, d.h., eine Sauerstoffpartialdruck-Erfassungssensorzelle zur Hauptpumpsteuerung **80**, durch die innere Pumpelektrode **22**, die zweite Festelektrolytschicht **6**, die Abstandshalterschicht **5**, die erste Festelektrolytschicht **4**, die dritte Substratschicht **3** und die Referenzelektrode **42** ausgebildet.

**[0042]** Die Sauerstoffkonzentration (der Sauerstoffpartialdruck) innerhalb des ersten inneren Hohlraums **20** wird durch Messen einer elektromotorischen Kraft

(Spannung  $V_0$ ) in der Sauerstoffpartialdruck-Erfassungssensorzelle zur Hauptpumpsteuerung **80** bestimmt. Darüber hinaus wird der Pumpstrom  $I_{p0}$  durch eine Regelung der Spannung  $V_{p0}$  der variablen Stromquelle **24** derart gesteuert, dass die Spannung  $V_0$  einen Zielwert erreicht. Folglich kann die Sauerstoffkonzentration innerhalb des ersten inneren Hohlraums **20** bei einem vorgegebenen konstanten Wert gehalten werden.

**[0043]** Der dritte Diffusionsrateneinstellabschnitt **30** ist ein Teil, der einen vorgegebenen Diffusionswiderstand auf das Messgegenstandsgas ausübt, in dem die Sauerstoffkonzentration (der Sauerstoffpartialdruck) durch den Betrieb der Hauptpumpzelle **21** innerhalb des ersten inneren Hohlraums **20** gesteuert bzw. eingestellt wird. Der dritte Diffusionsrateneinstellabschnitt **30** leitet das Messgegenstandsgas zu dem zweiten inneren Hohlraum **40**.

**[0044]** Der zweite innere Hohlraum **40** ist als Raum zum weiteren Einstellen des Sauerstoffpartialdrucks des Messgegenstandsgases, das im Vorhinein einer Einstellung der Sauerstoffkonzentration (des Sauerstoffpartialdrucks) innerhalb des ersten inneren Hohlraums **20** unterzogen worden ist und dann durch den dritten Diffusionsrateneinstellabschnitt **30** eingeführt wird, unter Verwendung einer Hilfspumpzelle **50** bereitgestellt. Folglich kann die Sauerstoffkonzentration innerhalb des zweiten inneren Hohlraums **40** mit einer hohen Genauigkeit konstant gehalten werden und dadurch kann der Gassensor **100** die  $NO_x$ -Konzentration genau messen.

**[0045]** Die Hilfspumpzelle **50** ist eine elektrochemische Hilfspumpzelle, die eine Hilfspumpelektrode **51**, die äußere Pumpelektrode **23** (nicht auf die äußere Pumpelektrode **23** beschränkt und eine geeignete Elektrode außerhalb des Sensorelements **101** kann ausreichen) und die zweite Festelektrolytschicht **6** umfasst. Die Hilfspumpelektrode **50** weist einen oberen Elektrodenabschnitt **51a** auf, der auf im Wesentlichen der gesamten unteren Oberfläche der zweiten Festelektrolytschicht **6** bereitgestellt ist, die auf den zweiten inneren Hohlraum **40** gerichtet ist.

**[0046]** Die Hilfspumpelektrode **51** ist derart innerhalb des zweiten inneren Hohlraums **40** angeordnet, dass sie eine Tunnelstruktur aufweist, die im Wesentlichen mit derjenigen der inneren Pumpelektrode **22** identisch ist, die innerhalb des ersten inneren Hohlraums **20** bereitgestellt ist. D.h., der obere Elektrodenabschnitt **51a** ist auf der zweiten Festelektrolytschicht **6** ausgebildet, welche die obere Oberfläche des zweiten inneren Hohlraums **40** bildet, und ein unterer Elektrodenabschnitt **51b** ist auf der ersten Festelektrolytschicht **4** ausgebildet, welche die untere Oberfläche des zweiten inneren Hohlraums **40** bildet. Ferner sind Seitenelektrodenabschnitte **51c** (vgl. die **Fig. 2**), die den oberen Elektrodenabschnitt

**51a** und den unteren Elektrodenabschnitt **51b** miteinander verbinden, auf beiden Seitenwandoberflächen der Abstandshalterschicht **5** ausgebildet, die Seitenwände des zweiten inneren Hohlraums **40** bildet. Die Hilfspumpelektrode **51** weist eine Tunnelstruktur auf. Es sollte beachtet werden, dass die Hilfspumpelektrode **51** wie die innere Pumpelektrode **22** aus einem Material ausgebildet ist, dessen Reduktionsvermögen für NO<sub>x</sub>-Komponenten in dem Messgegenstandsgas vermindert ist.

**[0047]** Durch Anlegen einer gewünschten Spannung **Vp1** zwischen der Hilfspumpelektrode **51** und der äußeren Pumpelektrode **23** kann die Hilfspumpzelle **50** Sauerstoff von dem zweiten inneren Hohlraum **40** zu dem Außenraum hinauspumpen oder kann Sauerstoff von dem Außenraum zu dem zweiten inneren Hohlraum **40** hineinpumpen.

**[0048]** Darüber hinaus ist zum Steuern bzw. Einstellen des Sauerstoffpartialdrucks in der Atmosphäre in dem zweiten inneren Hohlraum **40** eine elektrochemische Sensorzelle, d.h., eine Sauerstoffpartialdruck-Erfassungssensorzelle zur Hilfspumpsteuerung **81**, durch die Hilfspumpelektrode **51**, die Referenzelektrode **42**, die zweite Festelektrolytschicht **6**, die Abstandshalterschicht **5**, die erste Festelektrolytschicht **4** und die dritte Substratschicht **3** ausgebildet.

**[0049]** Es sollte beachtet werden, dass die Hilfspumpzelle **50** ein Pumpen bei der variablen Stromquelle **52** durchführt, deren Spannung auf der Basis einer elektromotorischen Kraft (Spannung **V1**) gesteuert wird, die durch die Sauerstoffpartialdruck-Erfassungssensorzelle zur Hilfspumpsteuerung **81** erfasst wird. Folglich wird der Sauerstoffpartialdruck in der Atmosphäre innerhalb des zweiten inneren Hohlraums **40** auf einen niedrigen Partialdruck eingestellt, der die NO<sub>x</sub>-Messung im Wesentlichen nicht beeinflusst.

**[0050]** Darüber hinaus wird einhergehend damit ein Pumpstrom **Ip1** davon zum Steuern der elektromotorischen Kraft der Sauerstoffpartialdruck-Erfassungssensorzelle zur Hauptpumpsteuerung **80** verwendet. Insbesondere wird der Pumpstrom **Ip1** in die Sauerstoffpartialdruck-Erfassungssensorzelle zur Hauptpumpsteuerung **80** als Steuersignal eingespeist und der vorstehend genannte Zielwert der Spannung **V0** davon wird derart gesteuert, dass der Gradient des Sauerstoffpartialdrucks in dem Messgegenstandsgas, das von dem dritten Diffusionsrateneinstellabschnitt **30** in den zweiten inneren Hohlraum **40** eingeführt wird, so gesteuert wird, dass er stets konstant ist. In einem Fall der Verwendung als NO<sub>x</sub>-Sensor wird der Sauerstoffpartialdruck innerhalb des zweiten inneren Hohlraums **40** durch den Betrieb der Hauptpumpzelle **21** und der Hilfspumpzelle **50** bei einem konstanten Wert von etwa 0,001 ppm gehalten. Der erste innere Hohlraum **20** und der zweite innere Hohl-

raum **40** sind jeweils ein Beispiel einer Sauerstoffkonzentration-Einstellkammer und die Hauptpumpzelle **21** und die Hilfspumpzelle **50** sind jeweils ein Beispiel einer Einstellpumpzelle.

**[0051]** Der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** ist ein Teil, der einen vorgegebenen Diffusionswiderstand auf das Messgegenstandsgas ausübt, in dem die Sauerstoffkonzentration (der Sauerstoffpartialdruck) durch den Betrieb der Hilfspumpzelle **50** innerhalb des zweiten inneren Hohlraums **40** gesteuert bzw. eingestellt wird. Der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** leitet das Messgegenstandsgas zu dem dritten inneren Hohlraum **61**. Der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** weist eine Rolle des Beschränkens der Menge von NO<sub>x</sub> auf, das in den dritten inneren Hohlraum **61** strömt.

**[0052]** Der dritte innere Hohlraum **61** ist als Raum zum Durchführen einer Verarbeitung, die mit der Messung der Stickstoffoxid (NO<sub>x</sub>)-Konzentration in dem Messgegenstandsgas zusammenhängt, mit dem Messgegenstandsgas bereitgestellt, das im Vorhinein einer Einstellung der Sauerstoffkonzentration (des Sauerstoffpartialdrucks) innerhalb des zweiten inneren Hohlraums **40** unterzogen worden ist und dann durch den vierten Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** eingeführt wird. Der vierte innere Hohlraum **63** ist als Raum zum Durchführen einer Verarbeitung, die mit der Messung der Stickstoffoxid (NO<sub>x</sub>)-Konzentration in dem Messgegenstandsgas zusammenhängt, mit dem Messgegenstandsgas bereitgestellt, das im Vorhinein einer Einstellung der Sauerstoffkonzentration (des Sauerstoffpartialdrucks) innerhalb des zweiten inneren Hohlraums **40** unterzogen worden ist und dann durch den fünften Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** eingeführt wird. Die Messung der NO<sub>x</sub>-Konzentration wird vorwiegend durch jedweden des Betriebs einer ersten Messpumpzelle **41a** in dem dritten inneren Hohlraum **61** und des Betriebs einer zweiten Messpumpzelle **41b** in dem vierten inneren Hohlraum **63** durchgeführt. Wie es später detailliert beschrieben ist, ist die erste Messpumpzelle **41a** zum Erfassen der NO<sub>x</sub>-Konzentration geeignet, die eine vergleichsweise niedrige Konzentration ist, und die zweite Messpumpzelle **41b** ist zum Erfassen der NO<sub>x</sub>-Konzentration geeignet, die eine vergleichsweise hohe Konzentration ist. Der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** ist ein Beispiel für einen ersten Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt und der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** ist ein Beispiel für einen zweiten Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt. Der dritte innere Hohlraum **61** ist ein Beispiel für eine erste Messkammer und der vierte innere Hohlraum **63** ist ein Beispiel für eine zweite Messkammer.

**[0053]** Die erste Messpumpzelle **41a** misst die NO<sub>x</sub>-Konzentration in dem Messgegenstandsgas innerhalb des dritten inneren Hohlraums **61**. Die erste

Messpumpzelle **41a** ist eine elektrochemische Pumpzelle, die eine erste Messelektrode **44**, die auf der oberen Oberfläche der ersten Festelektrolytschicht **4** bereitgestellt ist, die auf den dritten inneren Hohlraum **61** gerichtet ist, die äußere Pumpelektrode **23**, die zweite Festelektrolytschicht **6**, die Abstandshalterschicht **5** und die erste Festelektrolytschicht **4** umfasst. Die zweite Messpumpzelle **41b** misst die NO<sub>x</sub>-Konzentration in dem Messgegenstandsgas innerhalb des vierten inneren Hohlräume **63**. Die zweite Messpumpzelle **41b** ist eine elektrochemische Pumpzelle, die eine zweite Messelektrode **45**, die auf der oberen Oberfläche der ersten Festelektrolytschicht **4** bereitgestellt ist, die auf den vierten inneren Hohlraum **63** gerichtet ist, die äußere Pumpelektrode **23**, die zweite Festelektrolytschicht **6**, die Abstandshalterschicht **5** und die erste Festelektrolytschicht **4** umfasst. Die erste Messelektrode **44** und die zweite Messelektrode **45** sind poröse Cermetelektroden, die aus einem Material ausgebildet sind, dessen Reduktionsvermögen für NO<sub>x</sub>-Komponenten in dem Messgegenstandsgas erhöht ist, so dass es höher ist als dasjenige der inneren Pumpelektrode **22**. Die erste Messelektrode **44** dient auch als NO<sub>x</sub>-reduzierender Katalysator zum Reduzieren von NO<sub>x</sub>, das in der Atmosphäre innerhalb des dritten inneren Hohlräume **61** vorliegt. Die zweite Messelektrode **45** dient auch als NO<sub>x</sub>-reduzierender Katalysator zum Reduzieren von NO<sub>x</sub>, das in der Atmosphäre innerhalb des vierten inneren Hohlräume **63** vorliegt.

**[0054]** Die erste Messpumpzelle **41a** kann Sauerstoff, der durch die Zersetzung von Stickstoffoxid in der Atmosphäre um die erste Messelektrode **44** erzeugt worden ist, hinauspumpen, und kann die Menge des erzeugten Sauerstoffs als Pumpstrom **Ip2a** erfassen. Die zweite Messpumpzelle **41b** kann Sauerstoff, der durch die Zersetzung von Stickstoffoxid in der Atmosphäre um die zweite Messelektrode **45** erzeugt worden ist, hinauspumpen, und kann die Menge des erzeugten Sauerstoffs als Pumpstrom **Ip2b** erfassen.

**[0055]** Darüber hinaus ist zum Erfassen des Sauerstoffpartialdrucks um die erste Messelektrode **44** eine elektrochemische Sensorzelle, d.h., eine erste Sauerstoffpartialdruck-Erfassungssensorzelle zur Messpumpsteuerung **82a**, durch die erste Festelektrolytschicht **4**, die dritte Substratschicht **3**, die erste Messelektrode **44** und die Referenzelektrode **42** ausgebildet. Entsprechend ist zum Erfassen des Sauerstoffpartialdrucks um die zweite Messelektrode **45** eine elektrochemische Sensorzelle, d.h., eine zweite Sauerstoffpartialdruck-Erfassungssensorzelle zur Messpumpsteuerung **82b**, durch die erste Festelektrolytschicht **4**, die dritte Substratschicht **3**, die zweite Messelektrode **45** und die Referenzelektrode **42** ausgebildet. Die variable Stromquelle **46** wird auf der Basis von einem von einer elektromotorischen Kraft (Spannung **V2a**), die durch die erste Sauerstoffparti-

aldruck-Erfassungssensorzelle zur Messpumpsteuerung **82a** erfasst wird, und einer elektromotorischen Kraft (Spannung **V2b**), die durch die zweite Sauerstoffpartialdruck-Erfassungssensorzelle zur Messpumpsteuerung **82b** erfasst wird, gesteuert.

**[0056]** Nachstehend wird ein Fall beschrieben, bei dem die erste Messpumpzelle **41a** verwendet wird. Das Messgegenstandsgas, das in den zweiten inneren Hohlraum **40** geleitet worden ist, in dem der Sauerstoffpartialdruck gesteuert bzw. eingestellt wird, tritt durch den vierten Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** hindurch und erreicht die erste Messelektrode **44** innerhalb des dritten inneren Hohlräume **61**. In dem Messgegenstandsgas in der Umgebung der ersten Messelektrode **44** wird Stickstoffoxid reduziert, so dass Sauerstoff erzeugt wird ( $2 \text{ NO} \rightarrow \text{N}_2 + \text{O}_2$ ). Der erzeugte Sauerstoff wird einem Pumpen durch die erste Messpumpzelle **41a** unterzogen. Bei diesem Vorgang wird eine Spannung **Vp2** der variablen Stromquelle **46** so gesteuert, dass die Spannung **V2a**, die durch die erste Sauerstoffpartialdruck-Erfassungssensorzelle zur Messpumpsteuerung **82a** erfasst wird, konstant wird (Zielwert). Da die Menge von Sauerstoff, die in der Umgebung der ersten Messelektrode **44** erzeugt wird, proportional zur Konzentration von Stickstoffoxid in dem Messgegenstandsgas ist, wird die Stickstoffoxidkonzentration in dem Messgegenstandsgas unter Verwendung des Pumpstroms **Ip2a** in der ersten Messpumpzelle **41a** berechnet.

**[0057]** Ein Fall, bei dem die zweite Messpumpzelle **41b** verwendet wird, ist im Wesentlichen mit dem Vorstehenden identisch. D.h., zuerst tritt das Messgegenstandsgas, das in den zweiten inneren Hohlraum **40** geleitet worden ist, in dem der Sauerstoffpartialdruck gesteuert bzw. eingestellt wird, durch den fünften Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** hindurch und erreicht die zweite Messelektrode **45** innerhalb des vierten inneren Hohlräume **63**. In dem Messgegenstandsgas in der Umgebung der zweiten Messelektrode **45** wird Stickstoffoxid reduziert, so dass Sauerstoff erzeugt wird ( $2 \text{ NO} \rightarrow \text{N}_2 + \text{O}_2$ ). Der erzeugte Sauerstoff wird einem Pumpen durch die zweite Messpumpzelle **41b** unterzogen. Bei diesem Vorgang wird die Spannung **Vp2** der variablen Stromquelle **46** so gesteuert, dass die Spannung **V2b**, die durch die zweite Sauerstoffpartialdruck-Erfassungssensorzelle zur Messpumpsteuerung **82b** erfasst wird, konstant wird (Zielwert). Da die Menge von Sauerstoff, die in der Umgebung der zweiten Messelektrode **45** erzeugt wird, proportional zur Konzentration von Stickstoffoxid in dem Messgegenstandsgas ist, wird die Stickstoffoxidkonzentration in dem Messgegenstandsgas unter Verwendung des Pumpstroms **Ip2b** in der zweiten Messpumpzelle **41b** berechnet.

**[0058]** Darüber hinaus ist eine elektrochemische Sensorzelle **83** durch die zweite Festelektrolytschicht **6**, die Abstandshalterschicht **5**, die erste Festelektrolytschicht **4**, die dritte Substratschicht **3**, die äußere Pumpelektrode **23** und die Referenzelektrode **42** ausgebildet. Auf der Basis einer elektromotorischen Kraft (Spannung **Vref**), die durch die Sensorzelle **83** erhalten wird, kann der Sauerstoffpartialdruck in dem Messgegenstandsgas außerhalb des Sensors erfasst werden.

**[0059]** In dem Gassensor **100** mit einem solchen Aufbau werden die Hauptpumpzelle **21** und die Hilfspumpzelle **50** aktiviert, so dass die erste Messpumpzelle **41a** und die zweite Messpumpzelle **41b** mit dem Messgegenstandsgas versorgt werden, in dem der Sauerstoffpartialdruck stets bei einem konstanten niedrigen Wert gehalten wird (einem Wert, der die NOx-Messung im Wesentlichen nicht beeinflusst). Demgemäß kann die NOx-Konzentration in dem Messgegenstandsgas auf der Basis des Pumpstroms **Ip2a** oder des Pumpstroms **Ip2b**, dessen Fließen durch die erste Messpumpzelle **41a** oder die zweite Messpumpzelle **41b** bewirkt wird, die Sauerstoff, der durch Reduzieren von NOx etwa proportional zu der NOx-Konzentration in dem Messgegenstandsgas erzeugt wird, hinauspumpt.

**[0060]** Das Sensorelement **101** umfasst ferner eine Heizeinrichtungseinheit **70**, die eine Rolle bei der Einstellung von Temperaturen zum Erwärmen des Sensorelements **101** und dem Warmhalten des Sensorelements **101** zum Erhöhen der Sauerstoffionenleitfähigkeit des Festelektrolyten spielt. Die Heizeinrichtungseinheit **70** umfasst eine Heizeinrichtungsverbinderelektrode **71**, eine Heizeinrichtung **72**, ein Durchgangsloch **73**, eine Heizeinrichtungsisolierschicht **74** und ein Druckablassloch **75**.

**[0061]** Die Heizeinrichtungsverbinderelektrode **71** ist eine Elektrode, die in Kontakt mit der unteren Oberfläche der ersten Substratschicht **1** ausgebildet ist. Durch Verbinden der Heizeinrichtungsverbinderelektrode **71** mit einer externen Stromquelle kann der Heizeinrichtungseinheit **70** von außerhalb Strom zugeführt werden.

**[0062]** Die Heizeinrichtung **72** ist ein elektrischer Widerstand, der so ausgebildet ist, dass er vertikal zwischen der zweiten Substratschicht **2** und der dritten Substratschicht **3** gehalten ist. Die Heizeinrichtung **72** ist mit der Heizeinrichtungsverbinderelektrode **71** über das Durchgangsloch **73** verbunden. Die Heizeinrichtung **72** erzeugt Wärme als Reaktion auf Strom, der dieser von außerhalb durch die Heizeinrichtungsverbinderelektrode **71** zugeführt wird, so dass der Festelektrolyt, der das Sensorelement **101** bildet, erwärmt wird und der Festelektrolyt warmgehalten wird.

**[0063]** Die Heizeinrichtung **72** ist in dem gesamten Bereich von dem ersten inneren Hohlraum **20** zu dem dritten inneren Hohlraum **61** eingebettet und kann die Temperatur des gesamten Sensorelements **101** auf eine Temperatur einstellen, bei welcher der Festelektrolyt aktiv ist.

**[0064]** Die Heizeinrichtungsisolierschicht **74** ist eine Isolierschicht, die aus einem Isolator, wie z.B. Aluminiumoxid, auf der oberen und der unteren Oberfläche der Heizeinrichtung **72** ausgebildet ist. Die Heizeinrichtungsisolierschicht **74** ist so ausgebildet, dass eine elektrische Isolierung zwischen der zweiten Substratschicht **2** und der Heizeinrichtung **72** und eine elektrische Isolierung zwischen der dritten Substratschicht **3** und der Heizeinrichtung **72** bereitgestellt werden.

**[0065]** Das Druckablassloch **75** ist ein Teil, der so bereitgestellt ist, dass er sich durch die dritte Substratschicht **3** und die atmosphärische Luft-Einführungsschicht **48** erstreckt und mit dem Referenzgas-Einführungsraum **43** in Verbindung steht. Das Druckablassloch **75** ist so ausgebildet, dass es eine Zunahme des Innendrucks vermindert, der durch einen Temperaturanstieg in der Heizeinrichtungsisolierschicht **74** verursacht wird.

**[0066]** Die Steuervorrichtung **90** umfasst die vorstehend beschriebenen variablen Stromquellen **24**, **46** und **52**, die Umschalter **85** und **86** zum Umschalten, ob eine der ersten Messpumpzelle **41a** und der zweiten Messpumpzelle **41b** gesteuert wird, und eine Steuereinheit **91**. Die Steuereinheit **91** ist ein Mikroprozessor, der eine CPU **92**, einen RAM, der nicht gezeigt ist, eine Speichereinheit **94**, usw., umfasst. Die Speichereinheit **94** ist beispielsweise ein nichtflüchtiger Speicher, wie z.B. ein ROM, und ist eine Vorrichtung, die verschiedene Arten von Daten speichert. Die Steuereinheit **91** erhält die Spannung **V0**, die durch die Sauerstoffpartialdruck-Erfassungssensorzelle zur Hauptpumpsteuerung **80** erfasst wird, die Spannung **V1**, die durch die Sauerstoffpartialdruck-Erfassungssensorzelle zur Hilfspumpsteuerung **81** erfasst wird, die Spannung **Vref**, die durch die Sensorzelle **83** erfasst wird, den Pumpstrom **Ip0**, der durch die Hauptpumpzelle **21** erfasst wird, und den Pumpstrom **Ip1**, der durch die Hilfspumpzelle **50** erfasst wird. Die Steuereinheit **91** gibt ein Steuersignal an die variablen Stromquellen **24** und **52** zum Steuern der Spannungen **Vp0** und **Vp1** aus, die von den variablen Stromquellen **24** und **52** ausgegeben werden, wodurch die Hauptpumpzelle **21** und die Hilfspumpzelle **50** gesteuert werden. Durch Umschalten einer elektrischen Schaltkreisverbindung unter Verwendung des Umschalters **85** erhält die Steuereinheit **91** selektiv eine der Spannung **V2a**, die durch die erste Sauerstoffpartialdruck-Erfassungssensorzelle zur Messpumpsteuerung **82a** erfasst wird, und der Spannung **V2b**, die durch die zweite Sauerstoff-

partialdruck-Erfassungssensorzelle zur Messpumpsteuerung **82b** erfasst wird. Darüber hinaus schaltet durch Umschalten einer elektrischen Schaltkreisverbindung unter Verwendung des Umschalters **86** die Steuereinheit **91** selektiv, ob das Steuerziel eine der ersten Messpumpzelle **41a** und der zweiten Messpumpzelle **41b** ist. Insbesondere schaltet durch Umschalten des Umschalters **86** die Steuereinheit **91**, ob die Spannung **Vp2** der variablen Stromquelle **46** an eine der ersten Messpumpzelle **41a** und der zweiten Messpumpzelle **41b** angelegt werden soll und schaltet auch zum Erhalten von einem des Pumpstroms **Ip2a**, der in der ersten Messpumpzelle **41a** fließt, und des Pumpstroms **Ip2b**, der in der zweiten Messpumpzelle **41b** fließt. Die Speichereinheit **94** speichert auch Zielwerte  $V0^*$ ,  $V1^*$  und  $V2^*$ , die später beschrieben werden. Durch Bezugnahme auf diese Zielwerte  $V0^*$ ,  $V1^*$  und  $V2^*$  steuert die CPU **92** der Steuereinheit **91** die Zellen **21**, **41a**, **41b** und **50**. Die CPU **92** steuert auch die Heizeinrichtung **72**.

**[0067]** Die Steuereinheit **91** führt eine Regelung der Spannung **Vp0** der variablen Stromquelle **24** derart durch, dass die Spannung **V0** einen Zielwert erreicht (als Zielwert  $V0^*$  bezeichnet) (d.h., die Sauerstoffkonzentration in dem ersten inneren Hohlraum **20** erreicht eine Zielkonzentration).

**[0068]** Die Steuereinheit **91** führt auch eine Regelung der Spannung **Vp1** der variablen Stromquelle **52** derart durch, dass die Spannung **V1** einen konstanten Wert erreicht (als Zielwert  $V1^*$  bezeichnet) (d.h., die Sauerstoffkonzentration in dem zweiten inneren Hohlraum **40** erreicht eine vorgegebene niedrige Sauerstoffkonzentration, welche die NO<sub>x</sub>-Messung im Wesentlichen nicht beeinflusst). Zusätzlich stellt die Steuereinheit **91** den Zielwert  $V0^*$  der Spannung **V0** auf der Basis des Pumpstroms **Ip1** derart ein (regelt diesen derart), dass der Pumpstrom **Ip1**, bei dem bewirkt wird, dass er durch die Spannung **Vp1** fließt, einen konstanten Wert erreicht (als Zielwert  $Ip1^*$  bezeichnet). Demgemäß bleibt der Gradient des Sauerstoffpartialdrucks in dem Messgegenstandsgas, das von dem dritten Diffusionsrateneinstellabschnitt **30** in den zweiten inneren Hohlraum **40** eingeführt werden soll, stets konstant. Darüber hinaus wird der Sauerstoffpartialdruck in der Atmosphäre in dem zweiten inneren Hohlraum **40** auf einen niedrigen Partialdruck eingestellt, der die NO<sub>x</sub>-Messung im Wesentlichen nicht beeinflusst. Der Zielwert  $V0^*$  wird auf einen Wert eingestellt, derart, dass die Sauerstoffkonzentration in dem ersten inneren Hohlraum **20** eine niedrige Sauerstoffkonzentration von höher als 0 % erreicht.

**[0069]** Die Steuereinheit **91** weist einen Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration und einen Modus zur Messung einer hohen Konzentration auf. Der Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration ist ein Messmodus, der für das Messgegenstands-

gas mit der NO<sub>x</sub>-Konzentration geeignet ist, die eine vergleichsweise niedrige Konzentration ist, und der Modus zur Messung einer hohen Konzentration ist ein Messmodus, der für das Messgegenstandsgas mit der NO<sub>x</sub>-Konzentration geeignet ist, die eine vergleichsweise hohe Konzentration ist.

**[0070]** In dem Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration steuert die Steuereinheit **91** die erste Messpumpzelle **41a** derart, dass der Pumpstrom **Ip2a** den Grenzstrom erreicht und erfasst auf der Basis des Werts des Pumpstroms **Ip2a**, der zu diesem Zeitpunkt fließt, die Konzentration des spezifischen Gases in dem Messgegenstandsgas. Insbesondere führt die Steuereinheit **91** zuerst eine Regelung der Spannung **Vp2** der variablen Stromquelle **46** derart durch, dass die Spannung **V2a** einen konstanten Wert erreicht (als Zielwert  $V2^*$  bezeichnet) (d.h., die Sauerstoffkonzentration innerhalb des dritten inneren Hohlraums **61** erreicht eine vorgegebene niedrige Konzentration). Der Zielwert  $V2^*$  wird im Vorhinein als Wert bestimmt, durch den der Pumpstrom **Ip2a**, bei dem bewirkt wird, dass er durch die Spannung **Vp2** fließt, die einer Regelung unterzogen wird, den Grenzstrom erreicht. Dadurch, dass das Fließen des Pumpstroms **Ip2a** bewirkt wird, wird Sauerstoff derart aus dem dritten inneren Hohlraum **61** hinausgepumpt, dass Sauerstoff, der durch die Reduktion von NO<sub>x</sub> in dem Messgegenstandsgas innerhalb des dritten inneren Hohlraums **61** erzeugt wird, im Wesentlichen Null wird. Dann erfasst die Steuereinheit **91** den Pumpstrom **Ip2a** als Erfassungswert gemäß dem Sauerstoff, der in dem dritten inneren Hohlraum **61** erzeugt wird und der von einem spezifischen Gas (hier NO<sub>x</sub>) abgeleitet ist, und berechnet auf der Basis des Pumpstroms **Ip2a** die NO<sub>x</sub>-Konzentration in dem Messgegenstandsgas. In dieser Ausführungsform speichert die Speichereinheit **94** im Vorhinein eine erste Entsprechungsbeziehung **95**, die eine Entsprechungsbeziehung zwischen dem Pumpstrom **Ip2a** und der NO<sub>x</sub>-Konzentration darstellt. Auf der Basis des erfassten Pumpstroms **Ip2a** und der ersten Entsprechungsbeziehung **95** berechnet die Steuereinheit **91** die NO<sub>x</sub>-Konzentration. Bei der ersten Entsprechungsbeziehung **95** handelt es sich um Daten, wie z.B. eine Beziehungsformel (z.B. eine lineare Funktionsformel) oder ein Kennfeld.

**[0071]** In dem Modus zur Messung einer hohen Konzentration steuert die Steuereinheit **91** die zweite Messpumpzelle **41b** derart, dass der Pumpstrom **Ip2b** den Grenzstrom erreicht und erfasst auf der Basis des Werts des Pumpstroms **Ip2b**, der zu diesem Zeitpunkt fließt, die Konzentration des spezifischen Gases in dem Messgegenstandsgas. In dem Modus zur Messung einer hohen Konzentration führt die Steuereinheit **91** im Wesentlichen die gleiche Steuerung durch wie in dem Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration, mit der Ausnahme, dass die zweite Messpumpzelle **41b** auf der Basis der

Spannung **V2b** gesteuert wird. Insbesondere führt die Steuereinheit **91** zuerst eine Regelung der Spannung **Vp2** der variablen Stromquelle **46** derart durch, dass die Spannung **V2b** einen konstanten Wert erreicht (als Zielwert  $V2^*$  bezeichnet) (d.h., die Sauerstoffkonzentration innerhalb des vierten inneren Hohlraums **63** erreicht eine vorgegebene niedrige Konzentration). Der Zielwert  $V2^*$  wird im Vorhinein als Wert bestimmt, durch den der Pumpstrom **Ip2b**, bei dem bewirkt wird, dass er durch die Spannung **Vp2** fließt, die einer Regelung unterzogen wird, den Grenzstrom erreicht. Der Zielwert  $V2^*$  in dem Modus zur Messung einer hohen Konzentration ist gleich dem Zielwert  $V2^*$  in dem Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration. Der Zielwert  $V2^*$  kann jedoch verschiedene Werte zwischen dem Modus zur Messung einer hohen Konzentration und dem Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration aufweisen. Dadurch, dass das Fließen des Pumpstroms **Ip2b** bewirkt wird, wird Sauerstoff derart aus dem vierten inneren Hohlraum **63** hinausgepumpt, dass Sauerstoff, der durch die Reduktion von NOx in dem Messgegenstandsgas innerhalb des vierten inneren Hohlraum **63** erzeugt wird, im Wesentlichen Null wird. Dann erfasst die Steuereinheit **91** den Pumpstrom **Ip2b** als Erfassungswert gemäß dem Sauerstoff, der in dem vierten inneren Hohlraum **63** erzeugt wird und der von einem spezifischen Gas (hier NOx) abgeleitet ist, und berechnet auf der Basis des Pumpstroms **Ip2b** die NOx-Konzentration in dem Messgegenstandsgas. In dieser Ausführungsform speichert die Speichereinheit **94** im Vorhinein eine zweite Entsprechungsbeziehung **96**, die eine Entsprechungsbeziehung zwischen dem Pumpstrom **Ip2b** und der NOx-Konzentration darstellt. Auf der Basis des erfassten Pumpstroms **Ip2b** und der zweiten Entsprechungsbeziehung **96** berechnet die Steuereinheit **91** die NOx-Konzentration. Bei der zweiten Entsprechungsbeziehung **96** handelt es sich um Daten, wie z.B. eine Beziehungsformel (z.B. eine lineare Funktionsformel) oder ein Kennfeld.

**[0072]** In der vorstehenden Weise wird Sauerstoff, der von dem spezifischen Gas in dem Messgegenstandsgas abgeleitet ist, das in das Sensorelement **101** eingeführt worden ist, hinausgepumpt, und auf der Basis des Grenzstroms (hier der Pumpströme **Ip2a** und **Ip2b**), der fließt, wenn der Sauerstoff hinausgepumpt wird, wird die Konzentration des spezifischen Gases erfasst. Dieses Verfahren wird als Grenzstromverfahren bezeichnet.

**[0073]** Nachstehend werden Betriebseigenschaften der ersten Messpumpzelle **41a** und der zweiten Messpumpzelle **41b** beschrieben. Die **Fig. 4** zeigt ein Beispiel einer Beziehung zwischen der Spannung **Vp2** und dem Pumpstrom **Ip2a** (V-I-Eigenschaften) in der ersten Messpumpzelle **41a**, und die **Fig. 5** zeigt ein Beispiel der Entsprechungsbeziehung zwischen der NOx-Konzentration und dem Pumpstrom **Ip2a**.

Die **Fig. 6** zeigt ein Beispiel einer Beziehung zwischen der Spannung **Vp2** und dem Pumpstrom **Ip2b** (V-I-Eigenschaften) in der zweiten Messpumpzelle **41b**, und die **Fig. 7** zeigt ein Beispiel der Entsprechungsbeziehung zwischen der NOx-Konzentration und dem Pumpstrom **Ip2b**. Die **Fig. 5** zeigt eine Beziehung zwischen der NOx-Konzentration und dem Pumpstrom **Ip2a** in einem Fall, bei dem die Spannung **Vp2** ein Wert A ist (vgl. die **Fig. 4**), und die **Fig. 7** zeigt eine Beziehung zwischen der NOx-Konzentration und dem Pumpstrom **Ip2b** in einem Fall, bei dem die Spannung **Vp2** ein Wert B ist (vgl. die **Fig. 6**).

**[0074]** Wie es in der **Fig. 4** gezeigt ist, nimmt in der ersten Messpumpzelle **41a** in einem Bereich, bei dem die Spannung **Vp2** niedrig ist, der Pumpstrom **Ip2a** gemäß einer Zunahme der Spannung **Vp2** zu. In einem Bereich, bei dem die Spannung **Vp2** in einem gewissen Maß hoch ist, ist durch den Einfluss des Diffusionswiderstands des Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitts selbst dann, wenn sich die Spannung **Vp2** ändert, die Zunahme des Pumpstroms **Ip2a** mäßig, und der Pumpstrom **Ip2a** ist im Wesentlichen ein konstanter Wert. D.h., der Pumpstrom **Ip2a** erreicht den Grenzstrom. Dieser Bereich wird als Plateaubereich bezeichnet. In einem Bereich, bei dem die Spannung **Vp2** höher ist als in dem Plateaubereich, beispielsweise wenn das Messgegenstandsgas Feuchtigkeit enthält, wird die Feuchtigkeit zersetzt, so dass Sauerstoff erzeugt wird. Folglich nimmt der Pumpstrom **Ip2a** gemäß der Zunahme der Spannung **Vp2** erneut zu. Darüber hinaus ist der Wert des Grenzstroms umso größer, je höher die NOx-Konzentration in dem Messgegenstandsgas ist. Beispielsweise beträgt der Wert des Grenzstroms (des Pumpstroms **Ip2a**) in der **Fig. 4** etwa 1  $\mu\text{A}$ , wenn die NOx-Konzentration 500 ppm beträgt, und beträgt etwa 5  $\mu\text{A}$ , wenn die NOx-Konzentration 2500 ppm beträgt. Folglich gibt es beispielsweise, wenn auf der Basis des Zielwerts  $V2^*$  die Spannung **Vp2** so eingestellt wird, dass sie den Wert A, wie es in der **Fig. 4** gezeigt ist, in einem Bereich aufweist, in dem die NOx-Konzentration kleiner als oder gleich 2500 ppm ist, wie es in der **Fig. 5** gezeigt ist, eine lineare Beziehung zwischen der NOx-Konzentration und dem Pumpstrom **Ip2a**. Durch die Verwendung dieser linearen Beziehung kann die NOx-Konzentration aus dem Wert des Pumpstroms **Ip2a** berechnet werden. Die vorstehend beschriebene erste Entsprechungsbeziehung **95** wird im Vorhinein durch ein Experiment oder dergleichen als Daten bestimmt, die eine solche lineare Beziehung darstellen.

**[0075]** Wie es in der **Fig. 4** gezeigt ist, wird der Plateaubereich mit zunehmender NOx-Konzentration jedoch schmaler, und wenn die NOx-Konzentration zu hoch ist, gibt es nahezu keinen Plateaubereich. D.h., der Pumpstrom **Ip2a** erreicht den Grenzstrom nicht. Beispielsweise wenn die NOx-Konzentration in dem Beispiel in der **Fig. 4** höher als oder gleich 3000

ppm ist, erreicht der Pumpstrom **Ip2a** den Grenzstrom nicht. Folglich liegt, wie es in der **Fig. 5** gezeigt ist, wenn die NO<sub>x</sub>-Konzentration 2500 ppm übersteigt, zwischen der NO<sub>x</sub>-Konzentration und dem Pumpstrom **Ip2a** keine lineare Beziehung mehr vor. Folglich wird, wenn die NO<sub>x</sub>-Konzentration 2500 ppm übersteigt, die NO<sub>x</sub>-Konzentration unter Verwendung der ersten Messpumpzelle **41a** nicht genau gemessen. Der Bereich der NO<sub>x</sub>-Konzentration, in dem der Pumpstrom **Ip2a** den Grenzstrom erreicht, ändert sich abhängig von einem ersten Diffusionswiderstand  $R_1$ , der ein Diffusionswiderstand eines Wegs des Messgegenstandsgases von außerhalb des Sensorelements **101** zu der ersten Messelektrode **44** ist. Je höher der erste Diffusionswiderstand  $R_1$  ist, desto geringer wird die Menge von NO<sub>x</sub>, das pro Zeiteinheit in den dritten inneren Hohlraum **61** strömt, selbst wenn die NO<sub>x</sub>-Konzentration hoch ist. Folglich pumpt die erste Messpumpzelle **41a** Sauerstoff einfach hinaus, so dass von NO<sub>x</sub> abgeleiteter Sauerstoff im Wesentlichen Null wird. Folglich wird, wenn der erste Diffusionswiderstand  $R_1$  höher ist, die Obergrenze der NO<sub>x</sub>-Konzentration erhöht, durch die der Pumpstrom **Ip2a** den Grenzstrom erreicht. In dem Beispiel in der **Fig. 4** beträgt die Obergrenze der NO<sub>x</sub>-Konzentration, durch die der Pumpstrom **Ip2a** den Grenzstrom erreicht, 2500 ppm. In dieser Ausführungsform wird der Wert des ersten Diffusionswiderstands  $R_1$  vorwiegend durch einen Summenwiderstand von Diffusionswiderständen des ersten Diffusionsrateneinstellabschnitts **11**, des zweiten Diffusionsrateneinstellabschnitts **13**, des dritten Diffusionsrateneinstellabschnitts **30** und des vierten Diffusionsrateneinstellabschnitts **60** bestimmt, die nacheinander in einem Weg des Messgegenstandsgases von außerhalb des Sensorelements **101** zu der ersten Messelektrode **44** vorliegen.

**[0076]** Im Gegensatz dazu ist bezüglich der zweiten Messpumpzelle **41b** ein Diffusionswiderstand eines Wegs des Messgegenstandsgases von außerhalb des Sensorelements **101** zu der zweiten Messelektrode **45** ein zweiter Diffusionswiderstand  $R_2$ . In dieser Ausführungsform wird der Wert des zweiten Diffusionswiderstands  $R_2$  vorwiegend durch einen Summenwiderstand von Diffusionswiderständen des ersten Diffusionsrateneinstellabschnitts **11**, des zweiten Diffusionsrateneinstellabschnitts **13**, des dritten Diffusionsrateneinstellabschnitts **30** und des fünften Diffusionsrateneinstellabschnitts **62** bestimmt, die nacheinander in einem Weg des Messgegenstandsgases von außerhalb des Sensorelements **101** zu der zweiten Messelektrode **45** vorliegen. In dieser Ausführungsform sind von diesen Diffusionsrateneinstellabschnitten der erste Diffusionsrateneinstellabschnitt **11**, der zweite Diffusionsrateneinstellabschnitt **13** und der dritte Diffusionsrateneinstellabschnitt **30** Komponenten des ersten Diffusionswiderstands  $R_1$  gemeinsam. Folglich ist die Größenbeziehung zwischen dem vierten Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** und dem

fünften Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** die Größenbeziehung zwischen dem ersten Diffusionswiderstand  $R_1$  und dem zweiten Diffusionswiderstand  $R_2$ . Darüber hinaus ist, wie es vorstehend beschrieben worden ist, da der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** einen höheren Diffusionswiderstand aufweist als der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60**, in dieser Ausführungsform der zweite Diffusionswiderstand  $R_2$  höher als der erste Diffusionswiderstand  $R_1$ . Folglich weist die zweite Messpumpzelle **41b** eine höhere Obergrenze der NO<sub>x</sub>-Konzentration, durch die der Pumpstrom **Ip2b** den Grenzstrom erreicht, als die erste Messpumpzelle **41a** auf. Mit anderen Worten, selbst wenn die Konzentration von NO<sub>x</sub> in dem Messgegenstandsgas in der zweiten Messpumpzelle **41b** höher ist als in der ersten Messpumpzelle **41a**, kann der Pumpstrom den Grenzstrom erreichen, wenn Sauerstoff hinausgepumpt wird. In dieser Ausführungsform erreicht, wie es in **Fig. 6** und **Fig. 7** gezeigt ist, in der zweiten Messpumpzelle **41b** in einem Bereich, in dem die NO<sub>x</sub>-Konzentration niedriger als oder gleich 10000 ppm ist, der Pumpstrom **Ip2b** den Grenzstrom und es liegt eine lineare Beziehung zwischen der NO<sub>x</sub>-Konzentration und dem Pumpstrom **Ip2b** vor. Folglich kann selbst in einem Bereich, in dem die NO<sub>x</sub>-Konzentration höher als 2500 ppm und niedriger als oder gleich 10000 ppm ist und durch die erste Messpumpzelle **41a** momentan nicht gemessen werden kann, die zweite Messpumpzelle **41b** die NO<sub>x</sub>-Konzentration genau messen und ist zum Erfassen der NO<sub>x</sub>-Konzentration geeignet, wenn die NO<sub>x</sub>-Konzentration hoch ist. Die vorstehend beschriebene zweite Entsprechungsbeziehung **96** wird im Vorhinein durch ein Experiment oder dergleichen als Daten bestimmt, die eine solche lineare Beziehung darstellen, wie sie in der **Fig. 7** gezeigt ist.

**[0077]** Andererseits neigt der Wert des Grenzstroms zu einer Abnahme, wenn die NO<sub>x</sub>-Konzentration niedriger ist. Folglich ist es dann, wenn der Wert des Grenzstroms zu gering ist, wahrscheinlich, dass die Messgenauigkeit dadurch abnimmt, dass sie durch Fehler oder dergleichen beeinflusst wird. Folglich erreicht beispielsweise, wie es durch die **Fig. 7** gezeigt ist, in der zweiten Messpumpzelle **41b**, wenn die NO<sub>x</sub>-Konzentration weniger als 2000 ppm beträgt, der Pumpstrom **Ip2b** einen kleinen Wert, der weniger als 1  $\mu$ A beträgt, und es ist wahrscheinlich, dass die Messgenauigkeit abnimmt. Im Gegensatz dazu kann die erste Messpumpzelle **41a** das Fließen eines vergleichsweise hohen Grenzstroms selbst dann verursachen, wenn die NO<sub>x</sub>-Konzentration niedriger ist als in der zweiten Messpumpzelle **41b**. Beispielsweise kann, wie es in der **Fig. 5** angegeben ist, in der ersten Messpumpzelle **41a**, wenn die NO<sub>x</sub>-Konzentration größer als oder gleich 500 ppm ist, bewirkt werden, dass ein Pumpstrom **Ip2a** von höher als oder gleich 1  $\mu$ A fließt. Folglich kann selbst in einem Bereich, in dem die NO<sub>x</sub>-Konzentration höher

als oder gleich 500 ppm und niedriger als 2000 ppm ist und durch die zweite Messpumpzelle **41b** momentan nicht gemessen werden kann, die erste Messpumpzelle **41a** die NO<sub>x</sub>-Konzentration genau messen und ist zum Erfassen der NO<sub>x</sub>-Konzentration geeignet, wenn die NO<sub>x</sub>-Konzentration niedrig ist.

**[0078]** Aus dem Vorstehenden ergibt sich, dass die erste Messpumpzelle **41a** zum Erfassen der NO<sub>x</sub>-Konzentration, die eine vergleichsweise niedrige Konzentration ist, die höher als oder gleich 500 ppm und niedriger als oder gleich 2500 ppm ist, geeignet ist, wohingegen die zweite Messpumpzelle **41b** zum Erfassen der NO<sub>x</sub>-Konzentration, die eine vergleichsweise hohe Konzentration ist, die höher als oder gleich 2000 ppm und niedriger als oder gleich 10000 ppm ist, geeignet ist. Folglich kann das Sensorelement **101** gemäß dieser Ausführungsform durch selektives Verwenden der ersten Messpumpzelle **41a** und der zweiten Messpumpzelle **41b** die NO<sub>x</sub>-Konzentration in einem breiten Bereich von einer niedrigen Konzentration zu einer hohen Konzentration (hier höher als oder gleich 500 ppm und niedriger als oder gleich 10000 ppm) genau erfassen, und zwar verglichen beispielsweise mit einem Sensorelement, das nur eine der ersten Messpumpzelle **41a** und der zweiten Messpumpzelle **41b** umfasst.

**[0079]** Es sollte beachtet werden, dass die Werte der NO<sub>x</sub>-Konzentration und des Pumpstroms, die in den **Fig. 4** bis **Fig. 7** gezeigt sind, Beispiele sind und durch Einstellen des ersten Diffusionswiderstands  $R_1$  und des zweiten Diffusionswiderstands  $R_2$  das Sensorelement **101** die NO<sub>x</sub>-Konzentration in jedem Bereich erfassen kann. Beispielsweise können durch Erhöhen des Diffusionswiderstands von mindestens einem des ersten Diffusionsrateneinstellabschnitts **11**, des zweiten Diffusionsrateneinstellabschnitts **13** und des dritten Diffusionsrateneinstellabschnitts **30** sowohl der erste Diffusionswiderstand  $R_1$  als auch der zweite Diffusionswiderstand  $R_2$  erhöht werden. Durch Erhöhen des Diffusionswiderstands des vierten Diffusionsrateneinstellabschnitts **60** kann nur der erste Diffusionswiderstand  $R_1$  erhöht werden. Durch Erhöhen des Diffusionswiderstands des fünften Diffusionsrateneinstellabschnitts **62** kann nur der zweite Diffusionswiderstand  $R_2$  erhöht werden. Da jeder des ersten bis fünften Diffusionsrateneinstellabschnitts **11**, **13**, **30**, **60** und **62** gemäß dieser Ausführungsform ein Schlitz ist, kann beispielsweise durch Einstellen des Flächeninhalts eines Querschnitts eines Strömungswegs des Schlitzes oder der Länge eines Strömungswegs davon der Diffusionswiderstand eingestellt werden. Es ist bevorzugt, die Diffusionswiderstände des ersten bis fünften Diffusionsrateneinstellabschnitts **11**, **13**, **30**, **60** und **62** derart einzustellen, dass der Bereich der NO<sub>x</sub>-Konzentration (hier niedriger als oder gleich 2500 ppm), in dem die lineare Beziehung zwischen der NO<sub>x</sub>-Konzentration und dem Pumpstrom **Ip2a** in der ersten Messpump-

zelle **41a** vorliegt, mindestens teilweise den Bereich der NO<sub>x</sub>-Konzentration (hier höher als oder gleich 2000 ppm) überlappt, der einem Bereich, in dem der Wert des Grenzstroms nicht zu klein ist (z.B. dem Bereich von höher als oder gleich 1  $\mu$ A), in der zweiten Messpumpzelle **41b** entspricht. Das Verhältnis  $R_2/R_1$  kann größer als 1 und kleiner als oder gleich 100 sein. Das Verhältnis  $R_2/R_1$  kann aus dem Verhältnis des Grenzstroms zwischen der ersten Messpumpzelle **41a** und der zweiten Messpumpzelle **41b** berechnet werden. Insbesondere wird zuerst unter Verwendung eines Modellgases mit einer bekannten NO<sub>x</sub>-Konzentration der Wert des Pumpstroms **Ip2a** (d.h., des Pumpstroms **Ip2a** in dem vorstehend beschriebenen Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration), der fließt, wenn die erste Messpumpzelle **41a** so gesteuert wird, dass der Pumpstrom **Ip2a** den Grenzstrom erreicht, gemessen. Entsprechend wird unter Verwendung des gleichen Modellgases der Wert des Pumpstroms **Ip2b** (d.h., des Pumpstroms **Ip2b** in dem vorstehend beschriebenen Modus zur Messung einer hohen Konzentration), der fließt, wenn die zweite Messpumpzelle **41b** so gesteuert wird, dass der Pumpstrom **Ip2b** den Grenzstrom erreicht, gemessen. Darüber hinaus ist, da der Grenzstrom proportional zum Kehrwert des Diffusionswiderstands ist, das Verhältnis  $Ip2a/Ip2b$  des Grenzstroms gleich dem Verhältnis  $R_2/R_1$  des Diffusionswiderstands. Folglich ist der Wert des Verhältnisses  $Ip2a/Ip2b$  auf der Basis der gemessenen Werte der Wert des Verhältnisses  $R_2/R_1$  und dadurch kann das Verhältnis  $R_2/R_1$  berechnet werden.

**[0080]** Nachstehend wird ein Beispiel beschrieben, in dem der in der vorstehenden Weise aufgebaute Gassensor **100** verwendet wird. Die **Fig. 8** ist ein Flussdiagramm, das ein Beispiel einer Konzentrationserfassung-Verarbeitungsroutine zeigt. Diese Routine ist in der Speichereinheit **94** gespeichert und startet beispielsweise nach dem Einschalten des Stroms der Steuervorrichtung **90**.

**[0081]** Als Reaktion auf den Start der Konzentrationserfassung-Verarbeitungsroutine führt die CPU **92** der Steuereinheit **91** zuerst der Heizeinrichtung **72** Strom zu und beginnt mit der Steuerung der Heizeinrichtung **72** (Schritt **S100**) und hält das Sensorelement **101** bei einer Temperatur, bei welcher der Festelektrolyt aktiv ist (z.B. 800 °C). Anschließend beginnt die CPU **92** mit der Steuerung der Hauptpumpzelle **21** (Schritt **S110**) und beginnt auch mit der Steuerung der Hilfspumpzelle **50** (Schritt **S120**). D.h., die CPU **92** steuert die Hauptpumpzelle **21** durch Durchführen der vorstehend beschriebenen Regelung auf der Basis des Zielwerts  $Ip1^*$  und des Zielwerts  $V0^*$  und steuert die Hilfspumpzelle **50** durch Durchführen der vorstehend beschriebenen Regelung auf der Basis des Zielwerts  $V1^*$ . Jedweder der Schritte **S110** und **S120** kann früher durchgeführt werden oder die Schritte **S110** und **S120** kön-

nen gleichzeitig durchgeführt werden. Dabei tritt das Messgegenstandsgas von dem Gaseinlass **10** durch den ersten Diffusionsrateneinstellabschnitt **11**, den Pufferraum **12**, den zweiten Diffusionsrateneinstellabschnitt **13**, den ersten inneren Hohlraum **20** und den dritten Diffusionsrateneinstellabschnitt **30** in dieser Reihenfolge hindurch und erreicht den zweiten inneren Hohlraum **40**. Dann tritt das Messgegenstandsgas, das der Einstellung der Sauerstoffkonzentration innerhalb des ersten inneren Hohlraums **20** und des zweiten inneren Hohlraums **40** unterzogen worden ist, durch den vierten Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** hindurch und erreicht den dritten inneren Hohlraum **61** oder tritt durch den fünften Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** hindurch und erreicht den vierten inneren Hohlraum **63**.

**[0082]** Anschließend schaltet die CPU **92** zu dem Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration um (Schritt **S130**). Insbesondere schaltet die CPU **92** den Umschalter **85** so um, dass die Spannung **V2a** von der ersten Sauerstoffpartialdruck-Erfassungssenzorzelle zur Messpumpsteuerung **82a** erhalten werden kann, und schaltet den Umschalter **86** zum Einstellen der ersten Messpumpzelle **41a** als Steuerziel. Folglich führt die CPU **92** die vorstehend beschriebene Regelung auf der Basis des Zielwerts  $V2^*$  zum Steuern der ersten Messpumpzelle **41a** derart durch, dass der Pumpstrom **Ip2a** den Grenzstrom erreicht. In diesem Modus zur Messung des Zustands einer niedrigen Konzentration bewirkt die zweite Messpumpzelle **41b** nicht, dass der Pumpstrom **Ip2b** fließt. D.h., die zweite Messpumpzelle **41b** pumpt nicht Sauerstoff in den vierten inneren Hohlraum **63** hinaus. Anschließend leitet die CPU **92** auf der Basis des Pumpstroms **Ip2a** und der ersten Entsprechungsbeziehung **95** die NO<sub>x</sub>-Konzentration in dem Messgegenstandsgas ab (Schritt **S140**). In der vorstehenden Weise wird die NO<sub>x</sub>-Konzentration in dem Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration gemessen.

**[0083]** Nach dem Schritt **S140** bestimmt die CPU **92** auf der Basis des Pumpstroms **Ip2a**, ob die NO<sub>x</sub>-Konzentration in dem Messgegenstandsgas in einem vorgegebenen Bereich mit einer hohen Konzentration vorliegt (Schritt **S150**). Insbesondere bestimmt die CPU **92**, ob der Pumpstrom **Ip2a** eine vorgegebene Schwelle  $I_{pref1}$  überschreitet. Die Schwelle  $I_{pref1}$  wird im Vorhinein als der obere Grenzwert eines Bereichs bestimmt, in dem der Pumpstrom **Ip2a** niedrig ist und die NO<sub>x</sub>-Konzentration als niedrige Konzentration betrachtet werden kann, d.h., eines Bereichs, der als zur Messung in dem Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration geeignet erachtet werden kann. Die Schwelle  $I_{pref1}$  wird beispielsweise auf die Obergrenze (hier 5  $\mu$ A) des Bereichs, in dem die lineare Beziehung zwischen der NO<sub>x</sub>-Konzentration und dem Pumpstrom **Ip2a** in der ersten Messpumpzelle **41a** vorliegt, oder einen Wert, der etwas

niedriger ist als die Obergrenze durch Bereitstellen eines Spielraums eingestellt. In dieser Ausführungsform wird die Schwelle  $I_{pref1}$  auf den Wert 4,8  $\mu$ A eingestellt (ein Wert, welcher der NO<sub>x</sub>-Konzentration von 2400 ppm entspricht). Wenn der Pumpstrom **Ip2a** im Schritt **S150** niedriger als die oder gleich der Schwelle  $I_{pref1}$  ist, führt die CPU **92** eine Verarbeitung in und nach dem Schritt **S140** durch. D.h., auf der Basis des Pumpstroms **Ip2a** misst die CPU **92**, wenn die NO<sub>x</sub>-Konzentration nicht in dem Bereich mit hoher Konzentration liegt, d.h., wenn die NO<sub>x</sub>-Konzentration als niedrige Konzentration erachtet werden kann, kontinuierlich die NO<sub>x</sub>-Konzentration in dem Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration.

**[0084]** Wenn andererseits der Pumpstrom **Ip2a** im Schritt **S150** die Schwelle  $I_{pref1}$  überschreitet, schaltet die CPU **92** zu dem Modus zur Messung einer hohen Konzentration um (Schritt **S230**). Insbesondere schaltet die CPU **92** den Umschalter **85** so um, dass die Spannung **V2b** von der zweiten Sauerstoffpartialdruck-Erfassungssenzorzelle zur Messpumpsteuerung **82b** erhalten werden kann, und schaltet den Umschalter **86** so, dass die zweite Messpumpzelle **41b** als Steuerziel eingestellt wird. Folglich führt die CPU **92** die vorstehend beschriebene Regelung auf der Basis des Zielwerts  $V2^*$  zum Steuern der zweiten Messpumpzelle **41b** derart durch, dass der Pumpstrom **Ip2b** den Grenzstrom erreicht. In diesem Modus zur Messung des Zustands einer hohen Konzentration bewirkt die erste Messpumpzelle **41a** nicht das Fließen des Pumpstroms **Ip2a**. D.h., die erste Messpumpzelle **41a** pumpt nicht Sauerstoff in den dritten inneren Hohlraum **61** hinaus. Anschließend leitet die CPU **92** auf der Basis des Pumpstroms **Ip2b** und der zweiten Entsprechungsbeziehung **96** die NO<sub>x</sub>-Konzentration in dem Messgegenstandsgas ab (Schritt **S240**). In der vorstehenden Weise wird die NO<sub>x</sub>-Konzentration in dem Modus zur Messung einer hohen Konzentration gemessen.

**[0085]** Nach dem Schritt **S240** bestimmt die CPU **92** auf der Basis des Pumpstroms **Ip2b**, ob die NO<sub>x</sub>-Konzentration in dem Messgegenstandsgas in einem vorgegebenen Bereich einer niedrigen Konzentration liegt (Schritt **S250**). Insbesondere bestimmt die CPU **92**, ob der Pumpstrom **Ip2b** kleiner ist als eine vorgegebene Schwelle  $I_{pref2}$ . Die Schwelle  $I_{pref2}$  wird im Vorhinein als der untere Grenzwert eines Bereichs bestimmt, in dem der Pumpstrom **Ip2b** hoch ist und die NO<sub>x</sub>-Konzentration als hohe Konzentration erachtet werden kann, d.h., ein Bereich, der als zur Messung in dem Modus zur Messung einer hohen Konzentration geeignet erachtet werden kann. Die Schwelle  $I_{pref2}$  wird beispielsweise auf die Untergrenze (hier 1  $\mu$ A) des Bereichs des Pumpstroms **Ip2b**, in dem eine Verminderung der Messgenauigkeit, die durch den Einfluss von Fehlern oder dergleichen in der zweiten Messpumpzelle **41b** verursacht

wird, kein Problem ist, oder einen Wert, der etwas höher ist als die Untergrenze durch Bereitstellen eines Spielraums eingestellt. Darüber hinaus wird zum Verhindern eines häufigen Umschaltens zwischen dem Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration und dem Modus zur Messung einer hohen Konzentration die Schwelle  $I_{pref2}$  vorzugsweise so eingestellt, dass die  $NO_x$ -Konzentration, die der Schwelle  $I_{pref2}$  entspricht, einen kleineren Wert aufweist als die  $NO_x$ -Konzentration, die der Schwelle  $I_{pref1}$  entspricht. D.h., es ist bevorzugt, zwischen der  $NO_x$ -Konzentration, die der Schwelle  $I_{pref1}$  entspricht, und der  $NO_x$ -Konzentration, die der Schwelle  $I_{pref2}$  entspricht, eine Hysterese bereitzustellen. In dieser Ausführungsform wird, wenn dies berücksichtigt wird, die Schwelle  $I_{pref2}$  auf den Wert  $1,05 \mu A$  eingestellt (einen Wert, welcher der  $NO_x$ -Konzentration von  $2100 \text{ ppm}$  entspricht). Wenn der Pumpstrom  $I_{p2b}$  höher als die oder gleich der Schwelle  $I_{pref2}$  im Schritt **S250** ist, führt die CPU **92** eine Verarbeitung in und nach dem Schritt **S240** durch. D.h., auf der Basis des Pumpstroms  $I_{p2b}$  misst die CPU **92**, wenn die  $NO_x$ -Konzentration nicht in dem Bereich mit niedriger Konzentration liegt, d.h., wenn die  $NO_x$ -Konzentration als eine hohe Konzentration erachtet werden kann, kontinuierlich die  $NO_x$ -Konzentration in dem Modus zur Messung einer hohen Konzentration. Wenn andererseits der Pumpstrom  $I_{p2b}$  im Schritt **S250** niedriger ist als die Schwelle  $I_{pref2}$ , führt die CPU **92** eine Verarbeitung in und nach dem Schritt **S130** durch. D.h., die CPU **92** schaltet zu dem Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration um und misst die  $NO_x$ -Konzentration.

**[0086]** In der vorstehenden Weise bestimmt die CPU **92** auf der Basis der Pumpströme  $I_{p2a}$  und  $I_{p2b}$ , ob der Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration oder der Modus zur Messung einer hohen Konzentration zum Erfassen der  $NO_x$ -Konzentration eingesetzt werden soll. Folglich kann in einer geeigneten Weise zwischen dem Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration und dem Modus zur Messung einer hohen Konzentration und zum genauen Erfassen der Konzentration des spezifischen Gases in einem breiten Bereich von der niedrigeren Konzentration zu der hohen Konzentration (z.B. größer als oder gleich  $500 \text{ ppm}$  und kleiner als oder gleich  $10000 \text{ ppm}$  in dieser Ausführungsform) umgeschaltet werden.

**[0087]** Es sollte beachtet werden, dass der Wert des Pumpstroms  $I_{p2a}$  unmittelbar nach dem Umschalten von dem Modus zur Messung einer hohen Konzentration zu dem Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration im Schritt **S130** instabil sein kann. Folglich kann die CPU **92** den Schritt **S140** durchführen, wenn eine vorgegebene Wartezeit vergangen ist. Das Gleiche gilt für die Zeit unmittelbar nach dem Schritt **S230**.

**[0088]** Nachstehend werden Entsprechungsbeziehungen zwischen Strukturelementen in dieser Ausführungsform und Strukturelementen in der vorliegenden Erfindung klar beschrieben. Die erste Substratschicht **1**, die zweite Substratschicht **2**, die dritte Substratschicht **3**, die erste Festelektrolytschicht **4**, die Abstandshalterschicht **5** und die zweite Festelektrolytschicht **6** in dieser Ausführungsform entsprechen einem Elementkörper in der vorliegenden Erfindung; der erste innere Hohlraum **20** und der zweite innere Hohlraum **40** entsprechen der Sauerstoffkonzentration-Einstellkammer; die Hauptpumpzelle **21** und die Hilfspumpzelle **50** entsprechen der Einstellpumpzelle; der dritte innere Hohlraum **61** entspricht der ersten Messkammer; die erste Messelektrode **44** entspricht einer ersten Messelektrode; die erste Messpumpzelle **41a** entspricht einer ersten Messpumpzelle; der vierte innere Hohlraum **63** entspricht der zweiten Messkammer; die zweite Messelektrode **45** entspricht einer zweiten Messelektrode; die zweite Messpumpzelle **41b** entspricht einer zweiten Messpumpzelle; und die äußere Pumpelektrode **23** entspricht einer ersten äußeren Messelektrode und einer zweiten äußeren Messelektrode. Darüber hinaus entspricht der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** dem ersten Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt und der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** dem zweiten Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt. Darüber hinaus entspricht die Steuervorrichtung **90** einer Vorrichtung zur Erfassung der Konzentration eines spezifischen Gases. Die erste Sauerstoffpartialdruck-Erfassungssensorzelle zur Messpumpsteuerung **82a** entspricht einer ersten Messspannung-Erfassungsvorrichtung und die zweite Sauerstoffpartialdruck-Erfassungssensorzelle zur Messpumpsteuerung **82b** entspricht einer zweiten Messspannung-Erfassungsvorrichtung.

**[0089]** In dem Gassensor **100** gemäß dieser Ausführungsform, der vorstehend detailliert beschrieben worden ist, umfasst das Sensorelement **101** die erste Messpumpzelle **41a** und die zweite Messpumpzelle **41b**. Darüber hinaus ist das Sensorelement **101** so ausgebildet, dass der zweite Diffusionswiderstand  $R_2$ , der ein Diffusionswiderstand eines Wegs des Messgegenstandsgases von außerhalb des Sensorelements **101** zu der zweiten Messelektrode **45** ist, höher ist als der erste Diffusionswiderstand  $R_1$ , der ein Diffusionswiderstand eines Wegs des Messgegenstandsgases von außerhalb des Sensorelements **101** zu der ersten Messelektrode **44** ist. Folglich ist die erste Messpumpzelle **41a** zum Erfassen der  $NO_x$ -Konzentration geeignet, wenn die  $NO_x$ -Konzentration niedrig ist, und die zweite Messpumpzelle **41b** ist zum Erfassen der  $NO_x$ -Konzentration geeignet, wenn die  $NO_x$ -Konzentration hoch ist. Durch selektives Verwenden der ersten Messpumpzelle **41a** und der zweiten Messpumpzelle **41b** kann das Sensorelement **101** die  $NO_x$ -Konzentration in einem breiten

Bereich genau erfassen. Insbesondere in dem Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration erfasst die Steuervorrichtung **90** auf der Basis des Werts des Pumpstroms **lp2a**, der in der ersten Messpumpzelle **41a** fließt, die NO<sub>x</sub>-Konzentration in dem Messgegenstandsgas, wodurch die NO<sub>x</sub>-Konzentration, die eine niedrige Konzentration ist, genau erfasst wird. Darüber hinaus erfasst in dem Modus zur Messung einer hohen Konzentration die Steuervorrichtung **90** auf der Basis des Werts des Pumpstroms **lp2b**, der in der zweiten Messpumpzelle **41b** fließt, die NO<sub>x</sub>-Konzentration in dem Messgegenstandsgas, wodurch die NO<sub>x</sub>-Konzentration, die eine hohe Konzentration ist, genau erfasst wird.

**[0090]** Darüber hinaus sind der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** und der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** parallel angeordnet und ferner weist der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** einen höheren Diffusionswiderstand auf als der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60**, wodurch der zweite Diffusionswiderstand  $R_2$  höher gemacht wird als der erste Diffusionswiderstand  $R_1$ . Auf diese Weise kann bezüglich des vierten Diffusionsrateneinstellabschnitts **60** und des fünften Diffusionsrateneinstellabschnitts **62**, die parallel zueinander angeordnet sind, dadurch, dass der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** auf einen höheren Diffusionswiderstand eingestellt wird, der zweite Diffusionswiderstand  $R_2$  vergleichsweise einfach höher gemacht werden als der erste Diffusionswiderstand  $R_1$ .

**[0091]** Ferner ist der erste Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt (hier der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60**) auf einem Weg des Messgegenstandsgases zwischen dem Satz aus dem ersten inneren Hohlraum **20** und dem zweiten inneren Hohlraum **40** und dem dritten inneren Hohlraum **61** bereitgestellt, und der zweite Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt (hier der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62**) ist auf einem Weg des Messgegenstandsgases zwischen dem Satz aus dem ersten inneren Hohlraum **20** und dem zweiten inneren Hohlraum **40** und dem vierten inneren Hohlraum **63** bereitgestellt. Auf diese Weise ist es in Bezug auf einen Weg des Messgegenstandsgases von außerhalb des Sensorelements **101** zu dem ersten inneren Hohlraum **20** und dem zweiten inneren Hohlraum **40** nicht erforderlich, einen Weg für die erste Messelektrode **44** und einen Weg für die zweite Messelektrode **45** parallel zu trennen. Folglich kann der zweite Diffusionswiderstand  $R_2$  mit einem vergleichsweise einfachen Aufbau höher gemacht werden als der erste Diffusionswiderstand  $R_1$ .

**[0092]** Ferner schaltet die Steuervorrichtung **90** in dem Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration, wenn die Steuervorrichtung **90** auf der Basis des Pumpstroms **lp2a** bestimmt, dass die NO<sub>x</sub>-Konzentration in dem Messgegenstandsgas in dem vorge-

gebenen Bereich einer hohen Konzentration liegt, zu dem Modus zur Messung einer hohen Konzentration um; in dem Modus zur Messung einer hohen Konzentration schaltet die Steuervorrichtung **90**, wenn die Steuervorrichtung **90** auf der Basis des Pumpstroms **lp2b** bestimmt, dass die NO<sub>x</sub>-Konzentration in dem Messgegenstandsgas in dem vorgegebenen Bereich einer niedrigen Konzentration liegt, zu dem Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration um. Folglich kann die Steuervorrichtung **90** auf der Basis der Pumpströme **lp2a** und **lp2b** in einer geeigneten Weise zwischen dem Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration und dem Modus zur Messung einer hohen Konzentration umschalten.

**[0093]** Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die vorstehend beschriebene Ausführungsform beschränkt und kann innerhalb des technischen Umfangs der vorliegenden Erfindung selbstverständlich in verschiedenen Modi implementiert werden.

**[0094]** Beispielsweise gibt es in der vorstehend beschriebenen Ausführungsform keinen Weg, bei dem das Messgegenstandsgas durch den vierten Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** hindurchtritt und den vierten inneren Hohlraum **63** erreicht, oder keinen Weg, bei dem das Messgegenstandsgas durch den fünften Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** hindurchtritt und den dritten inneren Hohlraum **61** erreicht. Ein solcher Weg kann jedoch vorliegen. Beispielsweise kann, wie es in der **Fig. 9** gezeigt ist, zwischen dem dritten inneren Hohlraum **61** und dem vierten inneren Hohlraum **63** ein sechster Diffusionsrateneinstellabschnitt **64** ausgebildet sein, der bewirkt, dass der dritte innere Hohlraum **61** und der vierte innere Hohlraum **63** miteinander in Verbindung stehen. In diesem Fall beeinflusst der Diffusionswiderstand des sechsten Diffusionsrateneinstellabschnitts **64** die Werte des ersten Diffusionswiderstands  $R_1$  und des zweiten Diffusionswiderstands  $R_2$ , beeinflusst jedoch nicht deren Größenbeziehung. Folglich kann auch in dem Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt in der Ausführungsform, die in der **Fig. 9** gezeigt ist, durch Bewirken, dass der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** einen höheren Diffusionswiderstand aufweist als der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60**, der zweite Diffusionswiderstand  $R_2$  höher gemacht werden als der erste Diffusionswiderstand  $R_1$ . Als Ergebnis ist wie in der vorstehend beschriebenen Ausführungsform die zweite Messpumpzelle **41b** zum Erfassen der NO<sub>x</sub>-Konzentration geeignet, die höher ist als diejenige in der ersten Messpumpzelle **41a**.

**[0095]** In der vorstehend beschriebenen Ausführungsform ist der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** als schlitzartige Lücken ausgebildet. Der Aufbau ist jedoch nicht darauf beschränkt. Beispielsweise kann, wie es in der **Fig. 10** gezeigt ist, der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** als poröser

Körper ausgebildet sein (z.B. als poröse Keramik, wie z.B. Aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )). In diesem Fall können die Diffusionswiderstände durch Einstellen der Porosität, der Porengröße und dergleichen des vierten Diffusionsrateneinstellabschnitts **60** eingestellt werden. Entsprechend können der erste bis dritte und fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **11**, **13**, **30** und **62** ebenfalls aus porösen Körpern ausgebildet sein.

**[0096]** Wenn mindestens einer des vierten Diffusionsrateneinstellabschnitts **60** und des fünften Diffusionsrateneinstellabschnitts **62** ein poröser Körper ist, kann der poröse Körper eine Messelektrode bedecken. Beispielsweise kann, wie es in der **Fig. 11** gezeigt ist, der poröse vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** die erste Messelektrode **44** bedecken, und der poröse fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** kann die zweite Messelektrode **45** bedecken. In der **Fig. 11** liegen der dritte innere Hohlraum **61** und der vierte innere Hohlraum **63** nicht vor und der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** und der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** sind innerhalb des zweiten inneren Hohlraums **40** angeordnet. In diesem Fall dient das Innere des vierten Diffusionsrateneinstellabschnitts **60**, mit anderen Worten, ein Abschnitt in der Umgebung der ersten Messelektrode **44**, als die erste Messkammer wie der dritte innere Hohlraum **61** in der vorstehend beschriebenen Ausführungsform. Darüber hinaus dient das Innere des fünften Diffusionsrateneinstellabschnitts **62**, mit anderen Worten, ein Abschnitt in der Umgebung der zweiten Messelektrode **45**, als die zweite Messkammer wie der vierte innere Hohlraum **63** in der vorstehend beschriebenen Ausführungsform. In dem Fall der **Fig. 11** ist wie in der vorstehend beschriebenen Ausführungsform der erste Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt (hier der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60**) auf einem Weg des Messgegenstandsgases von außerhalb des Sensorelements **101** zu der ersten Messelektrode **44** bereitgestellt und der zweite Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt (hier der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62**) ist auf einem Weg des Messgegenstandsgases von außerhalb des Sensorelements **101** zu der zweiten Messelektrode **45** und auf dem Weg bereitgestellt, der nicht durch den vierten Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** verläuft. D.h., der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** und der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** sind parallel angeordnet. Folglich ist wie in der vorstehend beschriebenen Ausführungsform durch Bewirken, dass der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** einen höheren Diffusionswiderstand aufweist als der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60**, die zweite Messpumpe **41b** zum Erfassen der  $\text{NO}_x$ -Konzentration geeignet, die höher ist als diejenige in der ersten Messpumpe **41a**. Darüber hinaus sind in der **Fig. 11** der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** und die zweite Messelektrode **45** auf einer stromabwärtigen Seite des vierten Diffusionsrateneinstellabschnitts **60**

und der ersten Messelektrode **44** in dem Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt angeordnet. Die Anordnung ist jedoch nicht darauf beschränkt. Beispielsweise können, wie es in der **Fig. 12** gezeigt ist, der Satz aus dem vierten Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** und der ersten Messelektrode **44** und der Satz aus dem fünften Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** und der zweiten Messelektrode **45** in einem oberen Abschnitt und einem unteren Abschnitt angeordnet sein.

**[0097]** In der vorstehend beschriebenen Ausführungsform sind der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** und der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** mit verschiedenen Diffusionswiderständen auf einer stromabwärtigen Seite der Sauerstoffkonzentration-Einstellkammer (des ersten inneren Hohlraums **20** und des zweiten inneren Hohlraums **40**) bereitgestellt, und der Weg des Messgegenstandsgases von außerhalb des Sensorelements **101** zu dem ersten inneren Hohlraum **20** und dem zweiten inneren Hohlraum **40** ist der ersten Messelektrode **44** und der zweiten Messelektrode **45** gemeinsam. Der Aufbau ist jedoch nicht darauf beschränkt. Beispielsweise kann in einem Abschnitt auf einer stromaufwärtigen Seite des vierten Diffusionsrateneinstellabschnitts **60** und des fünften Diffusionsrateneinstellabschnitts **62** der Weg des Messgegenstandsgases auch parallel getrennt sein. Beispielsweise können, wie es in der **Fig. 13** gezeigt ist, der Weg des Messgegenstandsgases von außerhalb des Sensorelements **101** zu der ersten Messelektrode **44** und der Weg des Messgegenstandsgases von außerhalb des Sensorelements **101** zu der zweiten Messelektrode **45** vollständig parallel getrennt sein, so dass kein gemeinsamer Abschnitt vorliegt. In der **Fig. 13** werden von den Strukturelementen, die in der **Fig. 2** gezeigt sind, Strukturelemente, die parallel getrennt sind, dadurch unterschieden, dass sie am Ende der Bezugszeichen mit a und b bezeichnet sind. Darüber hinaus ist in jedem eines ersten inneren Hohlraums **20a** und eines ersten inneren Hohlraums **20b** die innere Pumpelektrode **22** angeordnet. In jedem eines zweiten inneren Hohlraums **40a** und eines zweiten inneren Hohlraums **40b** ist die Hilfspumpelektrode **51** angeordnet. In der **Fig. 13** wird der Wert des ersten Diffusionswiderstands  $R_1$  vorwiegend durch einen Summenwiderstand von Diffusionswiderständen eines ersten Diffusionsrateneinstellabschnitts **11a**, eines zweiten Diffusionsrateneinstellabschnitts **13a**, eines dritten Diffusionsrateneinstellabschnitts **30a** und des vierten Diffusionsrateneinstellabschnitts **60** bestimmt. Der Wert des zweiten Diffusionswiderstands  $R_2$  wird vorwiegend durch einen Summenwiderstand von Diffusionswiderständen eines ersten Diffusionsrateneinstellabschnitts **11b**, eines zweiten Diffusionsrateneinstellabschnitts **13b**, eines dritten Diffusionsrateneinstellabschnitts **30b** und des fünften Diffusionsrateneinstellabschnitts **62** bestimmt. Durch Einstellen des Diffusionswiderstands von mindestens einem dieser acht Diffusionsrateneinstellabschnitte, so dass der

zweite Diffusionswiderstand  $R_2$  wie in der vorstehend beschriebenen Ausführungsform höher gemacht wird als der erste Diffusionswiderstand  $R_1$ , ist die zweite Messpumpzelle **41b** zum Erfassen der  $\text{NO}_x$ -Konzentration geeignet, die höher ist als diejenige in der ersten Messpumpzelle **41a**. In dem Beispiel in der **Fig. 13** weisen der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** und der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** den gleichen Diffusionswiderstand auf und stattdessen weist der zweite Diffusionsrateneinstellabschnitt **13b** einen längeren Strömungsweg des Messgegenstandsgases (die Länge in der Vorne-hinten-Richtung in der **Fig. 13**) auf als der zweite Diffusionsrateneinstellabschnitt **13a**, und es wird bewirkt, dass der zweite Diffusionsrateneinstellabschnitt **13b** einen höheren Diffusionswiderstand aufweist als der zweite Diffusionsrateneinstellabschnitt **13a**. In der vorstehenden Weise kann auch der zweite Diffusionswiderstand  $R_2$  höher gemacht werden als der erste Diffusionswiderstand  $R_1$ . In dem Fall der **Fig. 13** entspricht der zweite Diffusionsrateneinstellabschnitt **13a** dem ersten Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt und der zweite Diffusionsrateneinstellabschnitt **13b** entspricht dem zweiten Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt. Darüber hinaus entsprechen die ersten inneren Hohlräume **20a** und **20b** und die zweiten inneren Hohlräume **40a** und **40b** der Sauerstoffkonzentration-Einstellkammer. D.h., in dem Beispiel in der **Fig. 13** umfasst die Sauerstoffkonzentration-Einstellkammer eine erste Sauerstoffkonzentration-Einstellkammer (hier den ersten inneren Hohlraum **20a** und den zweiten inneren Hohlraum **40a**) und eine zweite Sauerstoffkonzentration-Einstellkammer (hier den ersten inneren Hohlraum **20b** und den zweiten inneren Hohlraum **40b**), die parallel zueinander angeordnet sind.

**[0098]** In der **Fig. 13** sind der Weg des Messgegenstandsgases von außerhalb des Sensorelements **101** zu der ersten Messelektrode **44** und der Weg des Messgegenstandsgases von außerhalb des Sensorelements **101** zu der zweiten Messelektrode **45** vollständig parallel getrennt, so dass kein gemeinsamer Abschnitt vorliegt. Wie es in der **Fig. 2** gezeigt ist, können die Wege jedoch teilweise gemeinsam sein. Beispielsweise kann in der **Fig. 13** der Weg in dem Gaseinlass **10**, dem ersten Diffusionsrateneinstellabschnitt **11** und dem Pufferraum **12** gemeinsam sein, wie dies in der **Fig. 2** gezeigt ist. Das Sensorelement **101** kann jedweden Aufbau aufweisen, solange der zweite Diffusionswiderstand  $R_2$  höher ist als der erste Diffusionswiderstand  $R_1$ , und die Ausführungsform des Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitts ist nicht auf die vorstehend beschriebenen verschiedenen Beispiele beschränkt.

**[0099]** In der vorstehend beschriebenen Ausführungsform erhält die Steuereinheit **91** durch die Verwendung des Umschalters **85** selektiv die Spannung **V2a** und die Spannung **V2b**. Der Umschalter **85** kann

jedoch weggelassen werden und die Spannung **V2a** und die Spannung **V2b** können unabhängig eingespeist werden. Darüber hinaus schaltet die Steuereinheit **91** unter Verwendung des Umschalters **86** selektiv, ob das Steuerziel eine der ersten Messpumpzelle **41a** und der zweiten Messpumpzelle **41b** ist. Der Umschalter **86** kann jedoch weggelassen werden und jede der ersten Messpumpzelle **41a** und der zweiten Messpumpzelle **41b** kann unabhängig gesteuert werden. In diesem Fall können zwei variable Stromquellen **46** bereitgestellt werden und jede kann zum Steuern der ersten Messpumpzelle **41a** verwendet werden und die andere kann zum Steuern der zweiten Messpumpzelle **41b** verwendet werden.

**[0100]** In einem Fall, bei dem die Umschalter **85** und **86** weggelassen sind, kann die CPU **92** während des Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration (Schritte **S130** und **S140**) bewirken, dass die zweite Messpumpzelle **41b** Sauerstoff von dem vierten inneren Hohlraum **63** parallel hinauspumpt. Auf diese Weise kann während des Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration verhindert werden, dass sich zu viel Sauerstoff in dem vierten inneren Hohlraum **63** ansammelt, und folglich kann unmittelbar nach dem Umschalten zu dem Modus zur Messung einer hohen Konzentration der Pumpstrom **Ip2b** schnell den Grenzstrom erreichen. Folglich kann die CPU **92** die Wartezeit vermindern, bevor der Pumpstrom **Ip2b** zwischen der Zeit unmittelbar nach dem Schritt **S230** und der Zeit vor dem Schritt **S240** stabil wird. In diesem Fall kann die CPU **92** eine Konstantstromsteuerung mit der zweiten Messpumpzelle **41b** derart durchführen, dass der Pumpstrom **Ip2b** den vorgegebenen Zielwert  $Ip2b^*$  erreicht. Während des Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration kann bewirkt werden, dass ein ausreichend kleiner Strom fließt, durch den der Pumpstrom **Ip2b** nicht den Grenzstrom erreicht. D.h., der Zielwert  $Ip2b^*$  kann auf einen vergleichsweise kleinen Wert eingestellt werden. Alternativ kann die CPU **92** während des Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration durch Unterscheiden eines Zielwerts  $V2a^*$  der Spannung **V2a** der ersten Messpumpzelle **41a** und eines Zielwerts  $V2b^*$  der Spannung **V2b** der zweiten Messpumpzelle **41b** und auch durch Einstellen von  $V2a^* > V2b^*$  die erste Messpumpzelle **41a** derart steuern, dass die Spannung **V2a** den Zielwert  $V2a^*$  erreicht, und kann die zweite Messpumpzelle **41b** derart steuern, dass die Spannung **V2b** den Zielwert  $V2b^*$  erreicht. Durch Einstellen von  $V2a^* > V2b^*$  werden die erste Messpumpzelle **41a** und die zweite Messpumpzelle **41b** so gesteuert, dass die Sauerstoffkonzentration innerhalb des vierten inneren Hohlraums **63** höher wird als die Sauerstoffkonzentration innerhalb des dritten inneren Hohlraums **61** (die Sauerstoffkonzentration in dem vierten inneren Hohlraum **63** nähert sich der Sauerstoffkonzentration in der Umgebung der Referenzelektrode **42** an), d.h., derart, dass die Menge von Sauerstoff, die aus der ersten Messpumpzelle

**41a** hinausgepumpt wird, kleiner wird als die Menge von Sauerstoff, die aus der zweiten Messpumpzelle **41b** hinausgepumpt wird. Folglich kann selbst dann, wenn die CPU **92** eine solche Steuerung durchführt, bewirkt werden, dass der Pumpstrom **lp2b**, der einen kleinen Wert aufweist, während des Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration fließt. Darüber hinaus kann, wenn der Zielwert  $V2b^*$  in einer geeigneten Weise eingestellt wird, der Strom so klein gemacht werden, dass der Pumpstrom **lp2b** nicht der Grenzstrom wird. Wie in den vorstehenden verschiedenen Modifizierungen kann die CPU **92** während des Modus zur Messung einer hohen Konzentration bewirken, dass die erste Messpumpzelle **41a** Sauerstoff von dem dritten inneren Hohlraum **61** parallel hinauspumpt.

**[0101]** In einem Fall, bei dem die Umschalter **85** und **86** weggelassen werden, kann die CPU **92** ungeachtet dessen, ob es sich um während des Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration oder des Modus zur Messung einer hohen Konzentration handelt, stets die gleiche Steuerung mit der ersten Messpumpzelle **41a** und der zweiten Messpumpzelle **41b** durchführen. Beispielsweise kann die CPU **92** ungeachtet dessen, ob es sich um während des Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration oder des Modus zur Messung einer hohen Konzentration handelt, die erste Messpumpzelle **41a** derart steuern, dass die Spannung **V2a** den Zielwert  $V2a^*$  erreicht, und die zweite Messpumpzelle **41b** derart steuern, dass die Spannung **V2b** den Zielwert  $V2b^*$  erreicht. In diesem Fall ist die Differenz zwischen dem Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration und dem Modus zur Messung einer hohen Konzentration eine Differenz dahingehend, ob die NO<sub>x</sub>-Konzentration auf der Basis des Pumpstroms **lp2a** abgeleitet wird oder auf der Basis des Pumpstroms **lp2b** abgeleitet wird. D.h., in diesem Fall kann die CPU **92** abhängig von dem Bestimmungsergebnis im Schritt **S150** oder **S250** umschalten, um den Schritt **S140** oder den Schritt **S240** durchzuführen. Auf diese Weise kann auch wie in der vorstehend beschriebenen Ausführungsform die Konzentration des spezifischen Gases in einem breiten Bereich von einer niedrigen Konzentration zu einer hohen Konzentration verglichen mit einem Fall genau erfasst werden, in dem nur eine der ersten Messpumpzelle **41a** und der zweiten Messpumpzelle **41b** einbezogen ist. Es sollte beachtet werden, dass selbst dann, wenn die CPU **92** eine solche Steuerung durchführt, der Zielwert  $V2a^*$  und der Zielwert  $V2b^*$  nicht notwendigerweise derselbe Wert sind.

**[0102]** In der vorstehend beschriebenen Ausführungsform umfasst das Sensorelement **101** zwei Messpumpzellen, welche die erste Messpumpzelle **41a** und die zweite Messpumpzelle **41b** sind. Das Sensorelement **101** kann insgesamt jedoch auch drei oder mehr Messpumpzellen umfassen.

Beispielsweise kann das Sensorelement **101** einen dritte Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt und die dritte Messkammer umfassen, die parallel zu dem Satz aus dem vierten Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** und dem dritten inneren Hohlraum **61** und dem Satz aus dem fünften Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** und dem vierten inneren Hohlraum **63** sind, und eine dritte Messelektrode kann in der dritten Messkammer angeordnet sein. D.h., der folgende allgemeine Ausdruck ist möglich. Wenn  $n$  eine ganze Zahl größer als oder gleich 3 ist, kann das Sensorelement **101** eine erste bis  $n$ -te Messpumpzelle umfassen, welche die erste Messpumpzelle **41a** und die zweite Messpumpzelle **41b** umfassen. Wenn  $p$  eine ganze Zahl von 3 bis  $n$  ist, kann eine  $p$ -te Messpumpzelle eine  $p$ -te Messelektrode und eine  $p$ -te äußere Messelektrode umfassen und kann so ausgebildet sein, dass sie Sauerstoff, der in einer  $p$ -ten Messkammer aus dem spezifischen Gas erzeugt wird, hinauspumpt, wobei die  $p$ -te Messelektrode in der  $p$ -ten Messkammer angeordnet ist, die auf einer stromabwärtigen Seite der Sauerstoffkonzentration-Einstellkammer (des ersten inneren Hohlraums **20** und des zweiten inneren Hohlraums **40** in der vorstehend beschriebenen Ausführungsform) in dem Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt bereitgestellt ist, wobei die  $p$ -te äußere Messelektrode außerhalb des Elementkörpers (den Schichten **1** bis **6** in der vorstehend beschriebenen Ausführungsform) bereitgestellt ist, so dass sie mit dem Messgegenstandsgas in Kontakt ist. Der Elementkörper kann so ausgebildet sein, dass ein  $p$ -ter Diffusionswiderstand  $R_p$ , der ein Diffusionswiderstand eines Wegs des Messgegenstandsgases von außerhalb zu der  $p$ -ten Messelektrode ist, höher ist als ein  $(p-1)$ -ter Diffusionswiderstand  $R_{p-1}$ , der ein Diffusionswiderstand eines Wegs des Messgegenstandsgases von außerhalb zu einer  $(p-1)$ -ten Messelektrode ist. D.h.,  $R_1 < R_2 < \dots < R_{n-1} < R_n$  ist erfüllt. Durch selektives Verwenden der ersten bis  $n$ -ten Messpumpzelle kann das auf diese Weise ausgebildete Sensorelement **101** die Konzentration des spezifischen Gases in einem breiteren Bereich (Erfassungsbereich der Konzentration des spezifischen Gases) verglichen mit einem Sensorelement **101**, das nur die erste und die zweite Messpumpzelle **41a** und **41b** umfasst, genau erfassen. Beispielsweise kann  $n$  kleiner als oder gleich 5 sein.

**[0103]** Wenn die NO<sub>x</sub>-Konzentration unter Verwendung des Sensorelements **101** gemessen wird, das drei oder mehr Messpumpzellen umfasst, wie dies in der vorstehend beschriebenen Ausführungsform der Fall ist, kann die Steuervorrichtung **90** selektiv eine Mehrzahl von Modi nutzen. Insbesondere weist die Steuervorrichtung **90** einen ersten bis  $n$ -ten Messmodus auf und wenn  $q$  eine ganze Zahl von 1 bis  $n$  ist, kann ein  $q$ -ter Messmodus ein Modus sein, in dem eine  $q$ -te Messpumpzelle so gesteuert wird, dass ein Pumpstrom, der in der  $q$ -ten Messpumpzelle fließt,

den Grenzstrom erreicht, und auf der Basis des Werts des Pumpstroms wird die Konzentration des spezifischen Gases in dem Messgegenstandsgas erfasst. In diesem Fall kann der Gassensor **100** nicht nur die erste und die zweite Sauerstoffpartialdruck-Erfassungssensorzelle zur Messpumpsteuerung **82a** und **82b** umfassen, sondern auch eine dritte bis n-te Sauerstoffpartialdruck-Erfassungssensorzelle zur Messpumpsteuerung, so dass sie der jeweiligen ersten bis n-ten Messpumpzelle entsprechen. D.h., wenn  $q$  eine ganze Zahl von 1 bis  $n$  ist, kann der Gassensor **100** eine  $q$ -te Messspannung-Erfassungsvorrichtung umfassen, die eine  $q$ -te Messspannung zwischen der Referenzelektrode **42** und einer  $q$ -ten Messelektrode erfasst. Darüber hinaus kann die Steuervorrichtung **90** in dem  $q$ -ten Messmodus die  $q$ -te Messpumpzelle auf der Basis der  $q$ -ten Messspannung steuern. Beispielsweise kann die Steuervorrichtung **90** eine Regelung einer variablen Stromquelle, die eine Spannung an die  $q$ -te Messpumpzelle anlegt, derart durchführen, dass die  $q$ -te Messspannung einen Zielwert erreicht, und kann den Pumpstrom steuern, der in der  $q$ -ten Messpumpzelle fließt.

**[0104]** Die Steuervorrichtung **90** kann beispielsweise in der folgenden Weise zwischen dem ersten bis  $n$ -ten Messmodus umschalten. D.h., wenn  $r$  eine ganze Zahl von 1 bis  $n$  ist, kann die Steuervorrichtung **90** auf der Basis eines Pumpstroms, der in einer  $r$ -ten Messpumpzelle in einem  $r$ -ten Messmodus fließt, wenn bestimmt wird, dass die Konzentration des spezifischen Gases in dem Messgegenstandsgas den oberen Grenzwert eines  $r$ -ten Bereichs überschreitet, der ein Bereich einer vorgegebenen Konzentration des spezifischen Gases ist, der entsprechend dem  $r$ -ten Messmodus eingestellt ist, den Messmodus zu einem  $(r+1)$ -ten Messmodus ändern (ausgenommen wenn  $r = n$ ). Entsprechend kann die Steuervorrichtung **90** auf der Basis eines Pumpstroms, der in der  $r$ -ten Messpumpzelle in dem  $r$ -ten Messmodus fließt, wenn bestimmt wird, dass die Konzentration des spezifischen Gases in dem Messgegenstandsgas niedriger ist als der untere Grenzwert des  $r$ -ten Bereichs, der entsprechend dem  $r$ -ten Messmodus eingestellt ist, den Messmodus auf einen  $(r-1)$ -ten Messmodus ändern (ausgenommen wenn  $r = 1$ ). D.h., für jeden des ersten bis  $n$ -ten Messmodus wird der Bereich der Konzentration des spezifischen Gases, der für den Messmodus geeignet ist (erster bis  $n$ -ter Bereich), im Vorhinein eingestellt (beispielsweise in der Speichereinheit **94** gespeichert). Darüber hinaus kann die Steuervorrichtung **90** auf der Basis des Pumpstroms bestimmen, ob die momentane Konzentration des spezifischen Gases einen Bereich überschreitet, der für den momentanen Messmodus geeignet ist oder unterhalb des Bereichs fällt, und gemäß dem Bestimmungsergebnis kann die Steuervorrichtung **90** von dem  $r$ -ten Messmodus zu dem benachbarten  $(r+1)$ -ten Messmodus oder den benachbarten  $(r-1)$ -ten Messmodus umschalten. In diesem

Fall schaltet die Steuervorrichtung **90** den Messmodus stufenweise um. Darüber hinaus können in diesem Fall der erste bis  $n$ -te Bereich zwischen benachbarten Bereichen teilweise überlappen. Der erste bis  $n$ -te Bereich können als Bereich der Konzentration des spezifischen Gases bestimmt werden oder können als Bereich von Zahlenwerten (z.B. des Pumpstroms) bestimmt werden, der als der Bereich der Konzentration des spezifischen Gases erachtet werden kann.

**[0105]** Alternativ kann die Steuervorrichtung **90** das Umschalten des Messmodus um zwei oder mehr Stufen gleichzeitig ermöglichen, wie z.B. ein Umschalten des Messmodus von dem  $r$ -ten Messmodus zu einem  $(r+2)$ -ten Messmodus. Beispielsweise kann, wenn der vorstehend beschriebene erste bis  $n$ -te Bereich im Vorhinein eingestellt wird, die Steuervorrichtung **90** auf der Basis des Pumpstroms, der in der  $r$ -ten Messpumpzelle in dem  $r$ -ten Messmodus fließt, bestimmen, ob die Konzentration des spezifischen Gases in dem Messgegenstandsgas in einem  $x$ -ten Bereich liegt, der einer des ersten bis  $n$ -ten Bereichs ist, der von dem  $r$ -Bereich verschieden ist ( $x$  ist eine ganze Zahl größer als oder gleich 1 und kleiner als oder gleich  $n$  und von  $r$  verschieden), und wenn bestimmt wird, dass die Konzentration des spezifischen Gases in den  $x$ -ten Bereich einbezogen ist, kann die Steuervorrichtung **90** den Messmodus zu einem  $x$ -ten Messmodus ändern. In der vorstehenden Weise kann, beispielsweise wenn die Konzentration des Messgegenstandsgases abrupt und stark variiert, der Messmodus in einer kürzeren Zeit zu einem geeigneten Messmodus geändert werden als in dem Fall, bei dem der Messmodus stufenweise umgeschaltet wird. Die Bereiche des ersten bis  $n$ -ten Bereichs überlappen in diesem Fall vorzugsweise nicht zwischen angrenzenden Bereichen (z.B. sind die Bereiche kontinuierlich).

**[0106]** In der vorstehend beschriebenen Ausführungsform ist „größer als 1 und kleiner als oder gleich 100“ als Zahlenwertbereich des Verhältnisses  $R_2/R_1$  gezeigt. Wenn das Sensorelement **101** drei oder mehr Messpumpzellen umfasst, kann ebenfalls im Wesentlichen der gleiche Zahlenwertbereich erfüllt sein. Insbesondere kann das Verhältnis  $R_n/R_1$  zwischen dem vorstehend beschriebenen ersten Diffusionswiderstand  $R_1$  und einem  $n$ -ten Diffusionswiderstand  $R_n$  größer als 1 und kleiner als oder gleich 100 sein. Der Wert des Verhältnisses  $R_n/R_1$  kann im Wesentlichen mit dem gleichen Verfahren wie für das vorstehend beschriebene Verhältnis  $R_2/R_1$  berechnet werden.

**[0107]** In der vorstehend beschriebenen Ausführungsform sind der Satz aus dem vierten Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** und dem dritten inneren Hohlraum **61** und der Satz aus dem fünften Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** und dem vierten in-

neren Hohlraum **63** parallel zueinander angeordnet. Der Aufbau ist jedoch nicht auf einen parallelen Aufbau beschränkt, solange das Sensorelement **101** so ausgebildet ist, dass der zweite Diffusionswiderstand  $R_2$  höher ist als der erste Diffusionswiderstand  $R_1$ . Beispielsweise können, wie es in der **Fig. 14** gezeigt ist, der Satz aus dem vierten Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** und dem dritten inneren Hohlraum **61** und der Satz aus dem fünften Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** und dem vierten inneren Hohlraum **63** in Reihe angeordnet sein. In der **Fig. 14** ist der Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt so ausgebildet, dass das Messgegenstandsgas durch den vierten Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** hindurchtritt und den dritten inneren Hohlraum **61** erreicht, in dem die erste Messelektrode **44** angeordnet ist, und dann durch den dritten inneren Hohlraum **61** und den fünften Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** in dieser Reihenfolge hindurchtritt und den vierten inneren Hohlraum **63** erreicht, in dem die zweite Messelektrode **45** angeordnet ist. Dadurch ist in dem Beispiel in der **Fig. 14**, da der Diffusionswiderstand des fünften Diffusionsrateneinstellabschnitts **62**, der in Reihe mit dem vierten Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** verbunden ist, vorliegt, der erste Diffusionswiderstand  $R_1$  höher als der zweite Diffusionswiderstand  $R_2$ . Darüber hinaus können in diesem Fall beispielsweise durch Erhöhen des Diffusionswiderstands von mindestens einem des ersten Diffusionsrateneinstellabschnitts **11**, des zweiten Diffusionsrateneinstellabschnitts **13**, des dritten Diffusionsrateneinstellabschnitts **30** und des vierten Diffusionsrateneinstellabschnitts **60** sowohl der erste Diffusionswiderstand  $R_1$  als auch der zweite Diffusionswiderstand  $R_2$  erhöht werden. Durch Erhöhen des Diffusionswiderstands des fünften Diffusionsrateneinstellabschnitts **62** kann nur der zweite Diffusionswiderstand  $R_2$  erhöht werden. In einem Fall, bei dem der Aufbau in der **Fig. 14** eingesetzt wird, kann wie in der vorstehend beschriebenen Ausführungsform durch selektives Verwenden der ersten Messpumpzelle **41a** und der zweiten Messpumpzelle **41b** die Konzentration des spezifischen Gases in einem breiten Bereich von einer niedrigen Konzentration zu einer hohen Konzentration genau erfasst werden. Wenn das Sensorelement **101** die vorstehend beschriebene erste bis n-te Messpumpzelle umfasst, müssen beispielsweise ebenfalls nicht alle der ersten bis n-ten Messkammer notwendigerweise parallel zueinander sein, solange der erste bis n-te Diffusionswiderstand  $R_1$  bis  $R_n$   $R_1 < R_2 < \dots < R_{n-1} < R_n$  erfüllen. Beispielsweise können alle der ersten bis n-ten Messkammer in Reihe angeordnet sein und die Reihenanzahl und die parallele Anordnung können gemischt sein. Beispielsweise wenn n 3 ist und das Sensorelement **101** eine erste bis dritte Pumpzelle auf einer stromabwärtigen Seite des vierten inneren Hohlraums **63** in dem Sensorelement **101** gemäß der vorstehend beschriebenen Ausführungsform umfasst, können der dritte Messelektrode-Diffusionsra-

teneinstellabschnitt, die dritte Messkammer und die dritte Messelektrode hinzugefügt werden. In diesem Fall können der dritte innere Hohlraum **61** und der Satz aus dem vierten inneren Hohlraum **63** und der dritten Messkammer parallel zueinander angeordnet sein. Darüber hinaus sind der vierte innere Hohlraum **63** und die dritte Messkammer in Reihe angeordnet.

**[0108]** In der vorstehend beschriebenen Ausführungsform schaltet nach dem Schritt **S120** zuerst die CPU **92** in dem Schritt **S130** zu dem Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration um. Nach dem Schritt **S120** kann die CPU **92** in dem Schritt **S230** jedoch zuerst zu dem Modus zur Messung einer hohen Konzentration umschalten.

**[0109]** In der vorstehend beschriebenen Ausführungsform schaltet die CPU **92** auf der Basis der Pumpströme **lp2a** und **lp2b** zwischen dem Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration und dem Modus zur Messung einer hohen Konzentration um. Das Umschalten ist jedoch nicht darauf beschränkt. Beispielsweise kann die CPU **92** auf der Basis eines Signals von einer anderen Vorrichtung, wie z.B. einem Motor-ECU, umschalten.

**[0110]** In der vorstehend beschriebenen Ausführungsform kann das Sensorelement **101** eine poröse Schutzschicht (z.B. eine poröse Keramik, wie z.B. Aluminiumoxid ( $Al_2O_3$ )) umfassen, die einen Abschnitt um ein vorderes Ende des Elementkörpers bedeckt. Folglich kann die poröse Schutzschicht beispielsweise einen Wärmeschock auf den Elementkörper verhindern, der durch Feuchtigkeit in dem Messgegenstandsgas verursacht wird, und kann einen Riss in dem Elementkörper verhindern. Wenn die poröse Schutzschicht den Gaseinlass **10** bedeckt, beeinflusst der Diffusionswiderstand der porösen Schutzschicht auch die Werte des ersten Diffusionswiderstands  $R_1$  und des zweiten Diffusionswiderstands  $R_2$ , die vorstehend beschrieben worden sind.

**[0111]** In der vorstehend beschriebenen Ausführungsform ist die innere Pumpelektrode **22** eine Cermetelektrode aus Pt und  $ZrO_2$ , die 1 % Au enthält. Die innere Pumpelektrode **22** ist jedoch nicht darauf beschränkt. Die innere Pumpelektrode **22** kann ein Edelmetall mit einer katalytischen Aktivität (z.B. mindestens eines von Pt, Rh, Ir, Ru und Pd) und ein Edelmetall mit einer Funktion des Verhinderns einer katalytischen Aktivität umfassen, welche die katalytische Aktivität des Edelmetalls mit der katalytischen Aktivität (z.B. Au) in Bezug auf ein spezifisches Gas verhindert. So wie die innere Pumpelektrode **22** kann auch die Hilfspumpelektrode **51** ein Edelmetall mit einer katalytischen Aktivität und ein Edelmetall mit einer Funktion des Verhinderns einer katalytischen Aktivität umfassen. Jede der äußeren Pumpelektrode **23**, der Referenzelektrode **42**, der ersten Messelektrode **44** und der zweiten Messelektrode **45** kann das

vorstehend beschriebene Edelmetall mit einer katalytischen Aktivität umfassen. Jede der Elektroden **22**, **23**, **42**, **44**, **45** und **51** ist vorzugsweise ein Cermet, das ein Edelmetall und ein Sauerstoffionen-leitendes Oxid (z.B.  $ZrO_2$ ) umfasst, jedoch ist eine oder sind mehrere dieser Elektroden nicht notwendigerweise ein Cermet. Jede der Elektroden **22**, **23**, **42**, **44**, **45** und **51** ist vorzugsweise ein poröser Körper, jedoch ist eine oder sind mehrere dieser Elektroden nicht notwendigerweise ein poröser Körper.

**[0112]** In der vorstehend beschriebenen Ausführungsform erfasst der Gassensor **100** die  $NO_x$ -Konzentration in dem Messgegenstandsgas. Der Gassensor **100** ist jedoch nicht darauf beschränkt, solange der Gassensor **100** ein Grenzstrom-Gassensor ist, der die Konzentration eines spezifischen Gases in dem Messgegenstandsgas erfasst. Beispielsweise kann die Konzentration des spezifischen Gases abgesehen von der  $NO_x$ -Konzentration die Konzentration eines anderen Oxids sein. Wenn das spezifische Gas ein Oxid ist, wie dies in der vorstehend beschriebenen Ausführungsform der Fall ist, wird Sauerstoff erzeugt, wenn das spezifische Gas selbst in dem dritten inneren Hohlraum **61** und dem vierten inneren Hohlraum **63** reduziert wird, und folglich werden Erfassungswerte gemäß dem Sauerstoff (z.B. die Pumpströme **Ip2a** und **Ip2b**) unter Verwendung der ersten Messpumpzelle **41a** und der zweiten Messpumpzelle **41b** erfasst, und die Konzentration des spezifischen Gases kann erfasst werden. Alternativ kann das spezifische Gas auch ein Nicht-Oxid sein, wie z.B. Ammoniak. Wenn das spezifische Gas ein Nicht-Oxid ist, wird durch Umwandeln des spezifischen Gases in ein Oxid (z.B. wenn das spezifische Gas Ammoniak ist, durch Umwandeln von Ammoniak in  $NO$ ) Sauerstoff erzeugt, wenn das umgewandelte Gas in dem dritten inneren Hohlraum **61** und dem vierten inneren Hohlraum **63** reduziert wird. Folglich kann die Konzentration des spezifischen Gases wie in einem Fall erfasst werden, bei dem das spezifische Gas ein Oxid ist. Das spezifische Gas kann beispielsweise durch mindestens eine der inneren Pumpelektrode **22** und der Hilfspumpelektrode **51**, die als Katalysator wirkt, in ein Oxid umgewandelt werden.

**[0113]** Alternativ kann das spezifische Gas Sauerstoff sein und der Gassensor **100** kann eine Sauerstoffkonzentration als Konzentration des spezifischen Gases in dem Messgegenstandsgas erfassen. Wenn die Steuervorrichtung **90** das Sensorelement **101** derart steuert, dass die Pumpströme **Ip2a** und **Ip2b**, die in der ersten und der zweiten Messpumpzelle **41a** und **41b** fließen, Grenzströme erreichen, während die Sauerstoffkonzentration in dem ersten inneren Hohlraum **20** und dem zweiten inneren Hohlraum **40** in dem Sensorelement **101** nicht eingestellt wird, erreichen die Pumpströme **Ip2a** und **Ip2b** Werte gemäß der Sauerstoffkonzentration in dem Messgegenstandsgas. Folglich kann die Steu-

ervorrichtung **90** auf der Basis der Pumpströme **Ip2a** und **Ip2b** die Sauerstoffkonzentration erfassen. Beispielsweise kann die Steuervorrichtung **90** das Sensorelement **101** zur Durchführung der Konzentrationserfassung-Verarbeitungsroutine in im Wesentlichen der gleichen Weise wie derjenigen in der vorstehend beschriebenen Ausführungsform steuern, mit der Ausnahme, dass die Hauptpumpzelle **21** und die Hilfspumpzelle **50** nicht betrieben werden. Darüber hinaus kann die Steuervorrichtung **90** die erste und die zweite Messpumpzelle **41a** und **41b** derart steuern, dass jeder der Pumpströme **Ip2a** und **Ip2b** den Grenzstrom erreicht, und führt nicht notwendigerweise z.B. die vorstehend beschriebene Regelung derart durch, dass die Spannungen **V2a** und **V2b** den Zielwert  $V2^*$  erreichen. Beispielsweise kann der Wert der Spannung **Vp2**, durch den der Pumpstrom **Ip2a** den Grenzstrom in dem Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration erreicht, im Vorhinein bestimmt werden, und die Steuervorrichtung **90** kann die variable Stromquelle **46** so steuern, dass die Spannung **Vp2** des Werts in dem Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration angelegt wird. Entsprechend kann der Wert der Spannung **Vp2**, durch den der Pumpstrom **Ip2b** den Grenzstrom in dem Modus zur Messung einer hohen Konzentration erreicht, im Vorhinein bestimmt werden. Wenn der Gassensor **100** die Sauerstoffkonzentration als Konzentration des spezifischen Gases erfasst, werden so wie die innere Pumpelektrode **22** und die Hilfspumpelektrode **51** die erste Messelektrode **44** und die zweite Messelektrode **45** vorzugsweise aus einem Material ausgebildet, dessen Reduktionsvermögen für  $NO_x$ -Komponenten in dem Messgegenstandsgas vermindert ist. Beispielsweise kann jede der ersten Messelektrode **44** und der zweiten Messelektrode **45** das vorstehend beschriebene Edelmetall mit der Funktion des Unterdrückens einer katalytischen Aktivität zusätzlich zu dem vorstehend beschriebenen Edelmetall mit einer katalytischen Aktivität enthalten. Es sollte beachtet werden, dass von der ersten Messelektrode **44** und der zweiten Messelektrode **45** die zweite Messelektrode **45** mit dem höheren Diffusionswiderstand von außerhalb zu der Messelektrode zum Erfassen der Sauerstoffkonzentration verwendet wird, wenn Sauerstoff eine hohe Konzentration aufweist, und folglich ist selbst dann, wenn die  $NO_x$ -Komponenten reduziert werden, der Einfluss auf die Sauerstoffkonzentration gering. Folglich enthält die zweite Messelektrode **45** nicht notwendigerweise beispielsweise das vorstehend beschriebene Edelmetall mit der Funktion des Verhinderns einer katalytischen Aktivität. Wenn die Sauerstoffkonzentration in einem Messgegenstandsgas, das kein Oxid, wie z.B.  $NO_x$ , umfasst, gemessen werden soll, enthalten sowohl die erste Messelektrode **44** als auch die zweite Messelektrode **45** nicht notwendigerweise das Edelmetall mit der Funktion des Verhinderns einer katalytischen Aktivität.

**[0114]** Wenn der Gassensor **100** die Sauerstoffkonzentration als die Konzentration des spezifischen Gases in dem Messgegenstandsgas erfasst, umfasst der Gassensor **100** nicht notwendigerweise die Einstellpumpzelle und die Sauerstoffkonzentration-Einstellkammer. Die **Fig. 15** ist eine schematische Schnittansicht, die schematisch ein Beispiel des Aufbaus eines Gassensors **200** gemäß einer Modifizierung zeigt. In der **Fig. 15** werden die gleichen Strukturelemente wie diejenigen in der vorstehend beschriebenen Ausführungsform mit den gleichen Bezugszeichen bezeichnet. In einem Sensorelement **201** des Gassensors **200** umfasst der Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt den Aufbau, welcher der Sauerstoffkonzentration-Einstellkammer entspricht, d.h., den ersten inneren Hohlraum **20** und den zweiten inneren Hohlraum **40** in der **Fig. 1**, nicht und umfasst auch nicht den zweiten Diffusionsrateneinstellabschnitt **13** und den dritten Diffusionsrateneinstellabschnitt **30**. Folglich tritt das Messgegenstandsgas, das durch den ersten Diffusionsrateneinstellabschnitt **11** in den Pufferraum **12** hindurchtritt, direkt durch einen des vierten Diffusionsrateneinstellabschnitts **60** und des fünften Diffusionsrateneinstellabschnitts **62**, die parallel stromabwärts von dem Pufferraum **12** bereitgestellt sind, hindurch und erreicht jedweden des dritten inneren Hohlraums **61** und des vierten inneren Hohlraums **63**. In dem Gassensor **200** erreichen auch die Pumpströme **lp2a** und **lp2b**, die in der ersten und der zweiten Messpumpzelle **41a** und **41b** fließen, Werte gemäß der Sauerstoffkonzentration in dem Messgegenstandsgas, und folglich kann die Sauerstoffkonzentration auf der Basis der Pumpströme **lp2a** und **lp2b** erfasst werden. In dem Sensorelement **201**, das in der **Fig. 15** gezeigt ist, ist der Weg des Messgegenstandsgases von außerhalb des Sensorelements **201** zu dem Pufferraum **12** der ersten Messelektrode **44** und der zweiten Messelektrode **45** gemeinsam. Wie es in der **Fig. 13** gezeigt ist, können jedoch der Weg des Messgegenstandsgases von außerhalb des Sensorelements **201** zu der ersten Messelektrode **44** und der Weg des Messgegenstandsgases von außerhalb des Sensorelements **201** zu der zweiten Messelektrode **45** vollständig parallel getrennt sein, so dass kein gemeinsamer Abschnitt vorliegt. In diesem Fall können beispielsweise, solange die ersten Diffusionsrateneinstellabschnitte **11a** und **11b**, die in der **Fig. 13** gezeigt sind, vorliegen, der Pufferraum **12**, der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** und der sechste Diffusionsrateneinstellabschnitt **64** weggelassen werden. Darüber hinaus kann in einem Fall, bei dem die Gaseinlässe **10a** und **10b** getrennt in dem Sensorelement **201** bereitgestellt sind, wie dies in der **Fig. 13** der Fall ist, wenn die Öffnungsfläche jedes der Gaseinlässe **10a** und **10b** so klein ist, dass jeder der Gaseinlässe **10a** und **10b** als Diffusionsrateneinstellabschnitt wirkt, eine schlitzzartige Lücke wie der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** und der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** wegge-

lassen werden. In diesem Fall entspricht der Gaseinlass **10a** dem ersten Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt und der Gaseinlass **10b** entspricht dem zweiten Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt.

**[0115]** Wenn der Gassensor **100** die Sauerstoffkonzentration als die Konzentration des spezifischen Gases in dem Messgegenstandsgas erfasst, können ebenfalls die vorstehend beschriebenen verschiedenen Ausführungsformen oder Konfigurationen zum Messen der NO<sub>x</sub>-Konzentration eingesetzt werden. Beispielsweise kann das Sensorelement **101** die vorstehend beschriebene erste bis n-te Messpumpzelle umfassen und die Steuervorrichtung **90** kann den ersten bis n-ten Messmodus aufweisen. Beispielsweise wenn das Messgegenstandsgas das Abgas eines Verbrennungsmotors ist, kann sich die Sauerstoffkonzentration in dem Messgegenstandsgas in einem breiteren Grenzbereich als die NO<sub>x</sub>-Konzentration ändern (z.B. in einem Bereich von weniger als 1 ppm bis mehrere Prozent). Folglich ist es, wenn der Gassensor **100** die Sauerstoffkonzentration erfasst, effektiv, dass das Sensorelement **101** insgesamt drei oder mehr Messpumpzellen umfasst, so dass der Bereich vergrößert wird, in dem die Sauerstoffkonzentration genau erfasst werden kann (Erfassungsbereich der Sauerstoffkonzentration).

**[0116]** In der vorstehend beschriebenen Ausführungsform ist der Elementkörper des Sensorelements **101** der Schichtkörper mit der Mehrzahl von Festelektrolytschichten (den Schichten **1** bis **6**). Der Elementkörper ist jedoch nicht darauf beschränkt. Der Elementkörper des Sensorelements **101** kann mindestens eine Sauerstoffionen-leitende Festelektrolytschicht umfassen. Beispielsweise kann es sich bei den Schichten **1** bis **5**, die von der zweiten Festelektrolytschicht **6** in der **Fig. 1** verschieden sind, um eine Schicht handeln, die aus einem Material ausgebildet ist, das von der Festelektrolytschicht verschieden ist (z.B. eine Schicht, die aus Aluminiumoxid ausgebildet ist). In diesem Fall kann jede Elektrode, die in das Sensorelement **101** einbezogen ist, auf der zweiten Festelektrolytschicht **6** angeordnet sein. Beispielsweise können die erste Messelektrode **44** und die zweite Messelektrode **45** in der **Fig. 1** auf der unteren Oberfläche der zweiten Festelektrolytschicht **6** angeordnet sein. Darüber hinaus kann der Referenzgas-Einführungsraum **43** in der Abstandshalterschicht **5** und nicht in der ersten Festelektrolytschicht **4** bereitgestellt sein; die atmosphärische Luft-Einführungsschicht **48** kann zwischen der zweiten Festelektrolytschicht **6** und der Abstandshalterschicht **5** und nicht zwischen der ersten Festelektrolytschicht **4** und der dritten Substratschicht **3** bereitgestellt sein; und die Referenzelektrode **42** kann bezogen auf den dritten inneren Hohlraum **61** rückwärts und auf der unteren Oberfläche der zweiten Festelektrolytschicht **6** bereitgestellt sein.

**[0117]** In der vorstehend beschriebenen Ausführungsform stellt die Steuereinheit **91** den Zielwert  $V_0^*$  der Spannung **V0** auf der Basis des Pumpstroms **Ip1** derart ein (regelt diesen), dass der Pumpstrom **Ip1** den Zielwert  $Ip1^*$  erreicht, und führt eine Regelung der Spannung **Vp0** derart durch, dass die Spannung **V0** den Zielwert  $V_0^*$  erreicht. Die Steuereinheit **91** kann jedoch eine weitere Steuerung durchführen. Beispielsweise kann die Steuereinheit **91** eine Regelung der Spannung **Vp0** auf der Basis des Pumpstroms **Ip1** derart durchführen, dass der Pumpstrom **Ip1** den Zielwert  $Ip1^*$  erreicht. D.h., die Steuereinheit **91** kann die Erfassung der Spannung **V0** von der Sauerstoffpartialdruck-Erfassungssenzor zelle zur Hauptpumpsteuerung **80** und das Einstellen des Zielwerts  $V_0^*$  nicht durchführen und kann die Spannung **Vp0** auf der Basis des Pumpstroms **Ip1** direkt steuern (oder den Pumpstrom  $Ip_0$  steuern).

**[0118]** In der vorstehend beschriebenen Ausführungsform weist die äußere Pumpelektrode **23** die Rolle von vier Elektroden auf, die eine äußere Hauptpumpelektrode, die ein Paar mit der inneren Pumpelektrode **22** in der Hauptpumpzelle **21** sein soll, eine äußere Hilfspumpelektrode, die ein Paar mit der Hilfspumpelektrode **51** in der Hilfspumpzelle **50** sein soll, die erste äußere Messelektrode, die ein Paar mit der ersten Messelektrode **44** in der ersten Messpumpzelle **41a** sein soll, und die zweite äußere Messelektrode, die ein Paar mit der zweiten Messelektrode **45** in der zweiten Messpumpzelle **41b** sein soll, sind. Die äußere Pumpelektrode **23** ist jedoch nicht darauf beschränkt. Mindestens eine der äußeren Hauptpumpelektrode, der äußeren Hilfspumpelektrode, der ersten äußeren Messelektrode und der zweiten äußeren Messelektrode kann derart außerhalb des Elementkörpers bereitgestellt sein, dass sie unabhängig von der äußeren Pumpelektrode **23** mit dem Messgegenstandsgas in Kontakt ist. Wenn das Sensorelement **101** drei oder mehr Messpumpzellen umfasst, kann auch die äußere Pumpelektrode **23** alle Rollen der ersten bis n-ten äußeren Messelektroden aufweisen, und mindestens eine der ersten bis n-ten äußeren Messelektroden kann derart außerhalb des Elementkörpers bereitgestellt sein, dass sie mit dem Messgegenstandsgas unabhängig von der äußeren Pumpelektrode **23** in Kontakt ist.

**[0119]** Als ein weiteres Beispiel der Ausführungsform, in der ein Diffusionsrateneinstellabschnitt, der in den **Fig. 10** bis **Fig. 12** gezeigt ist, als poröser Körper ausgebildet ist, kann auch die in der **Fig. 16** gezeigte Ausführungsform genannt werden. In der **Fig. 16** sind sowohl der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** als auch der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** als poröse Körper ausgebildet, der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** bedeckt die erste Messelektrode **44** und der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** bedeckt die zweite Messelektrode **45**. In der **Fig. 16** liegen der dritte innere Hohl-

raum **61** und der vierte innere Hohlraum **63** nicht vor, der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** ist so angeordnet, dass er zwischen der Abstandshalterschicht **5** und der zweiten Festelektrolytschicht **6** angeordnet ist, und der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** ist so angeordnet, dass er zwischen der Abstandshalterschicht **5** und der ersten Festelektrolytschicht **4** angeordnet ist. Darüber hinaus steht jeder des vierten Diffusionsrateneinstellabschnitts **60** und des fünften Diffusionsrateneinstellabschnitts **62** mit dem zweiten inneren Hohlraum **40** in Verbindung. Insbesondere liegt das vordere Ende von jedem des vierten Diffusionsrateneinstellabschnitts **60** und des fünften Diffusionsrateneinstellabschnitts **62** zu dem zweiten inneren Hohlraum **40** frei. Die erste Messelektrode **44** ist auf der unteren Oberfläche der zweiten Festelektrolytschicht **6** angeordnet und ist mit dem vierten Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** bedeckt. Die zweite Messelektrode **45** ist auf der oberen Oberfläche der ersten Festelektrolytschicht **4** angeordnet und ist mit dem fünften Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** bedeckt. In der Ausführungsform in der **Fig. 16** sind anders als in den **Fig. 11** und **Fig. 12** der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** und der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** nicht innerhalb des zweiten inneren Hohlraums **40** angeordnet, sondern befinden sich auf einer stromabwärtigen Seite des zweiten inneren Hohlraums **40** und sind zwischen zwei Festelektrolytschichten angeordnet und innerhalb des Elementkörpers eingebettet. Auch in der Ausführungsform in der **Fig. 16** dient wie in den Ausführungsformen in den **Fig. 11** und **Fig. 12** das Innere des vierten Diffusionsrateneinstellabschnitts **60**, d.h., ein Abschnitt in der Umgebung der ersten Messelektrode **44**, als die erste Messkammer, und das Innere des fünften Diffusionsrateneinstellabschnitts **62**, d.h., ein Abschnitt in der Umgebung der zweiten Messelektrode **45**, dient als die zweite Messkammer. Auch in der Ausführungsform in der **Fig. 16** ist wie in der vorstehend beschriebenen Ausführungsform der erste Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt (hier der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60**) auf dem Weg des Messgegenstandsgases von außerhalb des Sensorelements **101** zu der ersten Messelektrode **44** bereitgestellt, und der zweite Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt (hier der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62**) ist auf dem Weg des Messgegenstandsgases von außerhalb des Sensorelements **101** zu der zweiten Messelektrode **45** und auf dem Weg bereitgestellt, der nicht durch den vierten Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** verläuft. D.h., der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** und der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** sind parallel angeordnet. Folglich ist wie in der vorstehend beschriebenen Ausführungsform, wenn bewirkt wird, dass der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** einen höheren Diffusionswiderstand aufweist als der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60**, die zweite Messpumpzelle **41b** zum Erfassen der  $NO_x$ -Konzentration geeignet, die höher ist als die-

jenige in der ersten Messpumpzelle **41a**. Die Diffusionswiderstände des vierten Diffusionsrateneinstellabschnitts **60** und des fünften Diffusionsrateneinstellabschnitts **62** können beispielsweise durch Einstellen von mindestens einem der Porosität, der Porengröße, der Dicke (der vertikalen Länge, die in der **Fig. 16** gezeigt ist), der Breite (horizontale Länge) und der Länge von einem Ende auf der stromaufwärtigen Seite zu einer Messelektrode (Vorne-hinten-Länge) von jedem des vierten Diffusionsrateneinstellabschnitts **60** und des fünften Diffusionsrateneinstellabschnitts **62** eingestellt werden. In dem Beispiel in der **Fig. 16** erfolgt dies dadurch, dass die Länge von dem Ende auf der stromaufwärtigen Seite (d.h., dem vorderen Ende) des fünften Diffusionsrateneinstellabschnitts **62** zu dem vorderen Ende der zweiten Messelektrode **45** größer eingestellt wird als die Länge von dem vorderen Ende in dem vierten Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** zu dem vorderen Ende der ersten Messelektrode **44**. Der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** weist einen höheren Diffusionswiderstand auf als der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60**. Der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** und die erste Messelektrode **44**, die in der **Fig. 16** gezeigt sind, können beispielsweise in der folgenden Weise hergestellt werden. Auf der unteren Oberfläche einer Keramikgrünlage, die der zweiten Festelektrolytschicht **6** entspricht, wird eine Paste zur Bildung des vierten Diffusionsrateneinstellabschnitts **60** und der ersten Messelektrode **44** gedruckt und die Keramikgrünlage und eine Keramikgrünlage, die der Abstandshalterschicht **5** entspricht, werden schichtartig angeordnet und gebrannt. Der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** und die zweite Messelektrode **45** können im Wesentlichen in der gleichen Weise hergestellt werden.

**[0120]** Darüber hinaus kann mindestens einer des vierten Diffusionsrateneinstellabschnitts **60** und des fünften Diffusionsrateneinstellabschnitts **62** in der **Fig. 16** eine schlitzartige Lücke anstelle eines porösen Körpers sein. Beispielsweise verschwindet in dem vorstehenden Herstellungsverfahren, wenn anstelle der Paste zur Bildung des vierten Diffusionsrateneinstellabschnitts **60** (poröser Körper) in der **Fig. 16** eine Paste aus einem verschwindenden Material (z.B. Theobromin) gedruckt wird, die durch Erwärmen verschwindet, die Paste durch Brennen nach dem schichtartigen Anordnen der Keramikgrünlagen zur Bildung der Schichten **1** bis **6**, und dadurch kann der Abschnitt des vierten Diffusionsrateneinstellabschnitts **60** in der **Fig. 16** als eine schlitzartige Lücke (Raum) zwischen der zweiten Festelektrolytschicht **6** und der Abstandshalterschicht **5** ausgebildet werden. Das Gleiche gilt für den fünften Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** in der **Fig. 16**. Wenn der Abschnitt des vierten Diffusionsrateneinstellabschnitts **60** in der **Fig. 16** als schlitzartige Lücke ausgebildet ist, entspricht in dem vierten Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** insbesondere ein Abschnitt von einem Ende auf

einer stromaufwärtigen Seite (d.h., dem vorderen Ende) des vierten Diffusionsrateneinstellabschnitts **60** zu dem vorderen Ende der ersten Messelektrode **44** dem ersten Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt. Darüber hinaus entspricht eine Lücke (Raum) in der Umgebung der ersten Messelektrode **44** in dem vierten Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** der ersten Messkammer. Wenn der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** eine schlitzartige Lücke ist, kann der Diffusionswiderstand des vierten Diffusionsrateneinstellabschnitts **60** beispielsweise durch Einstellen von mindestens einem der Dicke, der Breite und der Länge von dem einen Ende auf der stromaufwärtigen Seite zu der ersten Messelektrode **44** des vierten Diffusionsrateneinstellabschnitts **60** eingestellt werden. Das Gleiche gilt für einen Fall, in dem der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** eine schlitzartige Lücke ist. In diesem Fall entspricht in dem fünften Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** insbesondere ein Abschnitt von einem Ende auf einer stromaufwärtigen Seite (d.h., dem vorderen Ende) des fünften Diffusionsrateneinstellabschnitts **62** zu dem vorderen Ende der zweiten Messelektrode **45** dem zweiten Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt. Darüber hinaus entspricht eine Lücke (Raum) in der Umgebung der zweiten Messelektrode **45** in dem fünften Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** der zweiten Messkammer.

**[0121]** Als ein weiteres Beispiel der Ausführungsform, die in der **Fig. 13** gezeigt ist, in welcher der Weg des Messgegenstandsgases von außerhalb des Sensorelements **101** zu der ersten Messelektrode **44** und der Weg des Messgegenstandsgases von außerhalb des Sensorelements **101** zu der zweiten Messelektrode **45** vollständig parallel getrennt sind, so dass kein gemeinsamer Abschnitt vorliegt, kann auch die in der **Fig. 17** gezeigte Ausführungsform genannt werden. Obwohl der Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt in zwei parallele Wege getrennt ist, die sich auf der rechten und auf der linken Seite in der **Fig. 13** befinden, ist der Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt in zwei Wege in einem oberen Abschnitt und einem unteren Abschnitt in der **Fig. 17** getrennt. Darüber hinaus ist in dem Sensorelement **101** in der **Fig. 17** der Weg des Messgegenstandsgases von außerhalb des Sensorelements **101** zu der ersten Messelektrode **44** (oberer Weg) aus einem porösen Körper **65a** ausgebildet und der Weg des Messgegenstandsgases von außerhalb des Sensorelements **101** zu der zweiten Messelektrode **45** (unterer Weg) ist aus einem porösen Körper **65b** ausgebildet. Der poröse Körper **65a** ist so angeordnet, dass er zwischen der Abstandshalterschicht **5** und der zweiten Festelektrolytschicht **6** angeordnet ist und innerhalb des Elementkörpers eingebettet ist. Der poröse Körper **65a** bedeckt eine innere Pumpelektrode **122**, eine Hilfspumpelektrode **151** und die erste Messelektrode **44**, die auf der oberen Oberfläche der Abstandshalterschicht **5** angeordnet ist. Der poröse Kör-

per **65b** ist so angeordnet, dass er zwischen der ersten Festelektrolytschicht **4** und der Abstandshalter-schicht **5** angeordnet ist, und ist innerhalb des Elementkörpers eingebettet. Der poröse Körper **65b** bedeckt eine innere Pumpelektrode **222**, eine Hilfspumpelektrode **251** und die zweite Messelektrode **45**, die auf der oberen Oberfläche der ersten Festelektrolytschicht **4** angeordnet ist. In dem Sensorelement **101** in der **Fig. 17** ist ein Abschnitt des porösen Körpers **65a** von außerhalb des Sensorelements **101** zu der inneren Pumpelektrode **122** der erste Diffusionsrateneinstellabschnitt **11a**, und ein Abschnitt, der dem Pufferraum **12** und dem zweiten Diffusionsrateneinstellabschnitt **13** in der vorstehend beschriebenen Ausführungsform entspricht, ist nicht in dem porösen Körper **65a** bereitgestellt. Darüber hinaus dient ein Abschnitt zwischen dem porösen Körper **65a** und der inneren Pumpelektrode **122**, mit anderen Worten, ein Abschnitt in der Umgebung der inneren Pumpelektrode **122**, als Teil der ersten Sauerstoffkonzentration-Einstellkammer sowie als der erste innere Hohlraum **20a** in der **Fig. 13**. Entsprechend dient ein Abschnitt zwischen dem porösen Körper **65a** und der Hilfspumpelektrode **151** als Teil der erste Sauerstoffkonzentration-Einstellkammer sowie als der zweite innere Hohlraum **40a** in der **Fig. 13**, und ein Abschnitt zwischen dem porösen Körper **65a** und der ersten Messelektrode **44** dient als die erste Messkammer sowie als der dritte innere Hohlraum **61** in der **Fig. 13**. Darüber hinaus ist ein Abschnitt des porösen Körpers **65a** zwischen der inneren Pumpelektrode **122** und der Hilfspumpelektrode **151** der dritte Diffusionsrateneinstellabschnitt **30a** und ein Abschnitt des porösen Körpers **65a** zwischen der Hilfspumpelektrode **151** und der ersten Messelektrode **44** ist der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60**. Das Gleiche wie für den porösen Körper **65a** gilt für den porösen Körper **65b**. Insbesondere ist ein Abschnitt des porösen Körpers **65b** von außerhalb des Sensorelements **101** zu der inneren Pumpelektrode **222** der erste Diffusionsrateneinstellabschnitt **11b**. Darüber hinaus dient ein Abschnitt zwischen dem porösen Körper **65b** und der inneren Pumpelektrode **222** als Teil der zweiten Sauerstoffkonzentration-Einstellkammer, und ein Abschnitt zwischen dem porösen Körper **65b** und der Hilfspumpelektrode **251** dient als Teil der zweiten Sauerstoffkonzentration-Einstellkammer, und ein Abschnitt zwischen dem porösen Körper **65b** und der zweiten Messelektrode **45** dient als die zweite Messkammer. Darüber hinaus ist ein Abschnitt des porösen Körpers **65b** zwischen der inneren Pumpelektrode **222** und der Hilfspumpelektrode **251** der dritte Diffusionsrateneinstellabschnitt **30b**, und ein Abschnitt des porösen Körpers **65b** zwischen der Hilfspumpelektrode **251** und der zweiten Messelektrode **45** ist der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62**. In dem Beispiel in der **Fig. 17** weist dadurch, dass der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** in der Vorne-hinten-Richtung länger eingestellt wird als der vierte Diffusionsraten-

einstellabschnitt **60** in der Vorne-hinten-Richtung, der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** einen höheren Diffusionswiderstand auf als der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60**, und der poröse Körper **65a** und der poröse Körper **65b** weisen in einem Abschnitt, der von dem vierten Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** und dem fünften Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** verschieden ist, den gleichen Diffusionswiderstand auf. Folglich ist der zweite Diffusionswiderstand  $R_2$  höher als der erste Diffusionswiderstand  $R_1$ . In dem Sensorelement **101** in der **Fig. 17** entspricht der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** dem ersten Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt und der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** entspricht dem zweiten Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt. In der **Fig. 17** wird der Diffusionswiderstand von jedem des vierten Diffusionsrateneinstellabschnitts **60** und des fünften Diffusionsrateneinstellabschnitts **62** durch Einstellen der Vorne-hinten-Länge eingestellt, jedoch ist die vorliegende Erfindung nicht darauf beschränkt. Der Diffusionswiderstand des vierten Diffusionsrateneinstellabschnitts **60** und des fünften Diffusionsrateneinstellabschnitts **62** kann beispielsweise durch Einstellen von mindestens einem der Porosität, der Porengröße, der Dicke (der in der **Fig. 17** gezeigten vertikalen Länge), der Breite (der Links-rechts-Länge) und der vorstehend genannten Vorne-hinten-Länge eingestellt werden. In dem Sensorelement **101** in der **Fig. 17** können sich anstelle eines Unterschieds bei den Diffusionswiderständen zwischen dem vierten Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** und dem fünften Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** auf einer stromaufwärtigen Seite davon die Diffusionswiderstände zwischen dem porösen Körper **65a** und dem porösen Körper **65b** unterscheiden. Beispielsweise können sich die Diffusionswiderstände zwischen dem ersten Diffusionsrateneinstellabschnitt **11a** und dem ersten Diffusionsrateneinstellabschnitt **11b** unterscheiden, und die Diffusionswiderstände können sich zwischen dem dritten Diffusionsrateneinstellabschnitt **30a** und dem dritten Diffusionsrateneinstellabschnitt **30b** unterscheiden. Der poröse Körper **65a** und der poröse Körper **65b** in der **Fig. 17** können mit im Wesentlichen dem gleichen Verfahren wie demjenigen für den vierten Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** und dem fünften Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** in der **Fig. 16** hergestellt werden.

**[0122]** In der vorstehend beschriebenen Ausführungsform umfasst die erste Messpumpe **41a** die erste Messelektrode **44** und die äußere Pumpelektrode **23** (die erste äußere Messelektrode). Die erste Messpumpe **41a** umfasst jedoch nicht notwendigerweise die äußere Pumpelektrode **23**, solange Sauerstoff in dem dritten inneren Hohlraum **61** durch die erste Messelektrode **44** hinausgepumpt werden kann. Beispielsweise kann die erste Messpumpe **41a** die erste Messelektrode **44** und eine erste Hinauspumpziel-Messelektrode umfassen, die in ei-

nem Abschnitt bereitgestellt ist, der von dem Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt verschieden ist, und die das Ziel ist, zu dem Sauerstoff, der in der ersten Messkammer erzeugt wird, hinausgepumpt wird. Entsprechend umfasst die zweite Messpumpzelle **41b** nicht notwendigerweise die äußere Pumpelektrode **23** (die zweite äußere Messelektrode), solange Sauerstoff in dem vierten inneren Hohlraum **63** durch die zweite Messelektrode **45** hinausgepumpt werden kann. Beispielsweise kann die zweite Messpumpzelle **41b** die zweite Messelektrode **45** und eine zweite Hinauspumpziel-Messelektrode umfassen, die in einem Abschnitt bereitgestellt ist, der von dem Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt verschieden ist und die das Ziel ist, zu dem Sauerstoff, der in der zweiten Messkammer erzeugt wird, hinausgepumpt wird. Die erste Hinauspumpziel-Messelektrode und die zweite Hinauspumpziel-Messelektrode können z.B. innerhalb des Elementkörpers des Sensorelements **101** bereitgestellt sein. Das Gleiche gilt für das vorstehend beschriebene Sensorelement gemäß einer Ausführungsform, in die drei oder mehr Messpumpzellen einbezogen sind. D.h., die p-te Messpumpzelle umfasst nicht notwendigerweise die p-te äußere Messelektrode. Beispielsweise kann die p-te Messpumpzelle die p-te Messelektrode und eine p-te Hinauspumpziel-Messelektrode umfassen, die in einem Abschnitt bereitgestellt ist, der von dem Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt verschieden ist, und die das Ziel ist, zu dem Sauerstoff, der in der p-ten Messkammer erzeugt wird, hinausgepumpt wird. Das Gleiche gilt für ein Sensorelement, das die Sauerstoffkonzentration als Konzentration eines spezifischen Gases in dem Messgegenstandsgas wie in dem vorstehend beschriebenen Sensorelement **201** in der **Fig. 15** erfasst. Es sollte beachtet werden, dass die äußere Pumpelektrode **23**, d.h., die erste und die zweite äußere Messelektrode in der vorstehend beschriebenen Ausführungsform, „außerhalb des Elementkörpers“ als ein Beispiel eines Abschnitts, der „von dem Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt verschieden ist“, angeordnet ist, und folglich sind die erste und die zweite äußere Messelektrode auch Beispiele der ersten und der zweiten Hinauspumpziel-Messelektrode.

**[0123]** Ein Beispiel eines Falls, bei dem die erste und die zweite Messpumpzelle **41a** und **41b** die erste und die zweite Hinauspumpziel-Messelektrode umfassen, die innerhalb des Elementkörpers angeordnet sind, wird unter Bezugnahme auf die **Fig. 18** bis **Fig. 20** beschrieben. Die **Fig. 18** ist eine schematische Schnittansicht, die schematisch ein Beispiel des Aufbaus eines Gassensors **300** gemäß einer Modifizierung zeigt. Die **Fig. 19** ist eine schematische Schnittansicht eines Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitts in einem Sensorelement **301**. Die **Fig. 20** ist eine schematische Schnittansicht des dritten inneren Hohlraums **61**, des vierten inneren Hohlraums **63** und einer Referenzgaskammer **343** in

dem Sensorelement **301**. Die **Fig. 19** zeigt einen Teilschnitt entlang der Vorne-hinten-Richtung und der horizontalen Richtung der Abstandshalterschicht **5** und der inneren Pumpelektrode **22** in dem Sensorelement **301**. Die **Fig. 20** zeigt einen Teilschnitt entlang der Vorne-hinten-Richtung und der horizontalen Richtung der dritten Substratschicht **3** in dem Sensorelement **301**. In den **Fig. 18** bis **Fig. 20** werden im Wesentlichen die gleichen Strukturelemente wie diejenigen in der vorstehend beschriebenen Ausführungsform und der Modifizierung mit den gleichen Bezugszeichen bezeichnet. In dem Sensorelement **301** des Gassensors **300** umfasst der Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt die ersten Diffusionsrateneinstellabschnitte **11a** und **11b**, den ersten inneren Hohlraum **20**, zweite innere Hohlräume **340a** und **340b**, den vierten Diffusionsrateneinstellabschnitt **60**, den fünften Diffusionsrateneinstellabschnitt **62**, den dritten inneren Hohlraum **61** und den vierten inneren Hohlraum **63**. Die ersten Diffusionsrateneinstellabschnitte **11a** und **11b** sind als poröse Körper ausgebildet. Der erste Diffusionsrateneinstellabschnitt **11a** liegt zu der linken Oberfläche der Abstandshalterschicht **5** und dem ersten inneren Hohlraum **20** frei, und ein Abschnitt des ersten Diffusionsrateneinstellabschnitts **11a**, der zu der linken Oberfläche der Abstandshalterschicht **5** freiliegt, ist der Gaseinlass **10a**. Entsprechend liegt der erste Diffusionsrateneinstellabschnitt **11b** zu der rechten Oberfläche der Abstandshalterschicht **5** und dem ersten inneren Hohlraum **20** frei, und ein Abschnitt des ersten Diffusionsrateneinstellabschnitts **11b**, der zu der rechten Oberfläche der Abstandshalterschicht **5** freiliegt, ist der Gaseinlass **10b**. Die Außenseite des Sensorelements **301** und der erste innere Hohlraum **20** stehen durch die ersten Diffusionsrateneinstellabschnitte **11a** und **11b** miteinander in Verbindung. Innerhalb des ersten inneren Hohlraums **20** sind die innere Pumpelektrode **22**, die auf der unteren Oberfläche der zweiten Festelektrolytschicht **6** angeordnet ist, und eine Sauerstoffeffassungselektrode **355** angeordnet, die auf der oberen Oberfläche der ersten Festelektrolytschicht **4** angeordnet ist. Die Sauerstoffeffassungselektrode **355** befindet sich auf einer stromabwärtigen Seite (hier rückwärts von) der inneren Pumpelektrode **22**. Der zweite innere Hohlraum **340a** und der zweite innere Hohlraum **340b** sind Räume, die sich auf einer stromabwärtigen Seite des ersten inneren Hohlraums **20** befinden und sind dadurch, dass sie durch einen Wandabschnitt **305** geteilt sind, der Teil der Abstandshalterschicht **5** ist, parallel zueinander angeordnet. Der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** und der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** sind als poröse Körper ausgebildet und sind so in der ersten Festelektrolytschicht **4** eingebettet, dass sie sich vertikal durch die erste Festelektrolytschicht **4** erstrecken. Der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** und der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** sind im Wesentlichen in einer zylindrischen Form ausgebildet. Die

Formen des vierten Diffusionsrateneinstellabschnitts **60** und des fünften Diffusionsrateneinstellabschnitts **62** sind jedoch nicht auf die im Wesentlichen zylindrische Form beschränkt. Beispielsweise können diese Formen quadratische Säulen oder dergleichen sein. Die obere Oberfläche des vierten Diffusionsrateneinstellabschnitts **60** liegt zu dem zweiten inneren Hohlraum **340a** frei und die untere Oberfläche davon liegt zu dem dritten inneren Hohlraum **61** frei. Der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** bildet einen Strömungsweg in der vertikalen Richtung, der bewirkt, dass der zweite innere Hohlraum **340a** und der dritte innere Hohlraum **61** miteinander in Verbindung stehen. Die obere Oberfläche des fünften Diffusionsrateneinstellabschnitts **62** liegt zu dem zweiten inneren Hohlraum **340b** frei und die untere Oberfläche davon liegt zu dem vierten inneren Hohlraum **63** frei. Der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** bildet einen Strömungsweg in der vertikalen Richtung, der bewirkt, dass der zweite innere Hohlraum **340b** und der vierte innere Hohlraum **63** miteinander in Verbindung stehen. Der dritte innere Hohlraum **61** und der vierte innere Hohlraum **63** sind Räume, die in der dritten Substratschicht **3** getrennt ausgebildet sind. Die erste Messelektrode **44** ist in dem dritten inneren Hohlraum **61** angeordnet und die zweite Messelektrode **45** ist in dem vierten inneren Hohlraum **63** angeordnet. Die erste Messelektrode **44** und die zweite Messelektrode **45** sind auf der oberen Oberfläche der zweiten Substratschicht **2** angeordnet. In der dritten Substratschicht **3** ist die Referenzgaskammer **343** ausgebildet, die ein Raum ist, der nicht mit dem dritten inneren Hohlraum **61** und dem vierten inneren Hohlraum **63** in Verbindung steht. Die Referenzgaskammer **343** ist mit einem Referenzgas (z.B. atmosphärischer Luft) gefüllt. In der Referenzgaskammer **343** sind die Referenzelektrode **42** und eine Hinauspumpziel-Messelektrode **358** angeordnet. Die Referenzelektrode **42** ist auf der unteren Oberfläche der ersten Festelektrolytschicht **4** angeordnet und die Hinauspumpziel-Messelektrode **358** ist auf der oberen Oberfläche der zweiten Substratschicht **2** angeordnet. Anders als in der vorstehend beschriebenen Ausführungsform ist die Heizeinrichtungseinheit **70** zwischen der ersten Substratschicht **1** und der zweiten Substratschicht **2** angeordnet. Das Sensorelement **301** umfasst die Hauptpumpzelle **21**, die Sauerstoffpartialdruck-Erfassungssensorzelle zur Hauptpumpsteuerung **80**, die erste Messpumpzelle **41a** und die zweite Messpumpzelle **41b**. Die Hauptpumpzelle **21** umfasst die innere Pumpelektrode **22**, die äußere Pumpelektrode **23** und die zweite Festelektrolytschicht **6**, die dazwischen angeordnet ist. Die Sauerstoffpartialdruck-Erfassungssensorzelle zur Hauptpumpsteuerung **80** umfasst die Sauerstofferefassungselektrode **355**, die Referenzelektrode **42** und die erste Festelektrolytschicht **4**, die dazwischen angeordnet ist. Die elektromotorische Kraft (Spannung **V0**) der Sauerstoffpartialdruck-Erfassungssensorzelle zur Hauptpumpsteuerung **80** ist

ein Wert, der die Sauerstoffkonzentration innerhalb des ersten inneren Hohlräume **20** repräsentiert. Die erste Messpumpzelle **41a** umfasst die erste Messelektrode **44**, die Hinauspumpziel-Messelektrode **358** und die zweite Substratschicht **2**. Die zweite Messpumpzelle **41b** umfasst die zweite Messelektrode **45**, die Hinauspumpziel-Messelektrode **358** und die zweite Substratschicht **2**. Die Hinauspumpziel-Messelektrode **358** ist eine Elektrode, die in einem Abschnitt bereitgestellt ist, der von dem Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt verschieden ist, und, wie es vorstehend beschrieben worden ist, innerhalb der Referenzgaskammer **343** angeordnet ist, die das Innere des Elementkörpers des Sensorelements **301** ist. Die Hinauspumpziel-Messelektrode **358** ist eine Elektrode, die das Ziel ist, zu dem Sauerstoff, der in dem dritten inneren Hohlraum **61** und dem vierten inneren Hohlraum **63** erzeugt wird, hinausgepumpt wird.

**[0124]** Der Gassensor **300** umfasst die Steuervorrichtung **90** sowie den Gassensor **100**. Obwohl dies nicht dargestellt ist, umfasst die Steuervorrichtung **90**, die in den Gassensor **300** einbezogen ist, die Steuereinheit **91**, die im Wesentlichen mit derjenigen in der vorstehend beschriebenen Ausführungsform identisch ist. Darüber hinaus umfasst die Steuervorrichtung **90** des Gassensors **300** die variablen Stromquellen **24** und **46** und den Umschalter **86**, die in der **Fig. 18** gezeigt sind. Die Steuereinheit **91** des Gassensors **300** erfasst die NO<sub>x</sub>-Konzentration in dem Messgegenstandsgas in der folgenden Weise. Die Steuereinheit **91** führt eine Regelung der Spannung **Vp0** der variablen Stromquelle **24** derart durch, dass die Spannung **V0**, die durch die Sauerstoffpartialdruck-Erfassungssensorzelle zur Hauptpumpsteuerung **80** erfasst wird, den Zielwert **V0\*** erreicht (d.h., die Sauerstoffkonzentration in dem ersten inneren Hohlraum **20** erreicht eine vorgegebene niedrige Sauerstoffkonzentration, welche die NO<sub>x</sub>-Messung im Wesentlichen nicht beeinflusst). Die Spannung **Vp0** bewirkt, dass der Strom **Ip0** in der Hauptpumpzelle **21** fließt, und Sauerstoff in dem ersten inneren Hohlraum **20** wird zu einem Abschnitt in der Umgebung der äußeren Pumpelektrode **23** hinausgepumpt. Durch den Betrieb der Hauptpumpzelle **21** wird die Sauerstoffkonzentration in dem ersten inneren Hohlraum **20** eingestellt und das Messgegenstandsgas, das der Einstellung der Sauerstoffkonzentration unterzogen worden ist, tritt durch den zweiten inneren Hohlraum **340a** und den vierten Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** in dieser Reihenfolge hindurch und erreicht den dritten inneren Hohlraum **61**. Entsprechend tritt das Messgegenstandsgas, das der Einstellung der Sauerstoffkonzentration unterzogen worden ist, durch den zweiten inneren Hohlraum **340b** und den fünften Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** in dieser Reihenfolge hindurch und erreicht den vierten inneren Hohlraum **63**. Darüber hinaus schaltet die Steuereinheit **91** selektiv, ob das Steuerziel

eine der ersten Messpumpzelle **41a** und der zweiten Messpumpzelle **41b** ist, unter Verwendung des Umschalters **86** um, so dass die NO<sub>x</sub>-Konzentration unter Verwendung einer der ersten Messpumpzelle **41a** und der zweiten Messpumpzelle **41b** erfasst wird. In einem Fall, bei dem die erste Messpumpzelle **41a** verwendet wird, schaltet die Steuereinheit **91** den Umschalter **86** derart um, dass die Spannung **Vp2** der variablen Stromquelle **46** an die erste Messpumpzelle **41a** angelegt wird. Dann steuert die Steuereinheit **91** die variable Stromquelle **46** derart, dass die Spannung **Vp2** einen vorgegebenen konstanten Wert erreicht. Der konstante Wert wird im Vorhinein als ein Wert bestimmt, der derart ist, dass der Pumpstrom **Ip2a**, der durch die Spannung **Vp2** in der ersten Messpumpzelle **41a** fließt, den Grenzstrom erreicht. Durch den Pumpstrom **Ip2a**, der durch die Spannung **Vp2** fließt, wird Sauerstoff von dem dritten inneren Hohlraum **61** zu einem Abschnitt in der Umgebung der Hinauspumpziel-Messelektrode **358** hinausgepumpt, d.h., innerhalb der Referenzgaskammer **343**, so dass Sauerstoff, der durch die Reduktion von NO<sub>x</sub> in dem Messgegenstandsgas innerhalb des dritten inneren Hohlrums **61** erzeugt wird, im Wesentlichen Null wird. Dann erfasst die Steuereinheit **91** den Pumpstrom **Ip2a** als Erfassungswert gemäß dem Sauerstoff, der in dem dritten inneren Hohlraum **61** erzeugt wird und der von einem spezifischen Gas (hier NO<sub>x</sub>) abgeleitet ist, und berechnet auf der Basis des Pumpstroms **Ip2a** die NO<sub>x</sub>-Konzentration in dem Messgegenstandsgas. In dem Fall der Verwendung der zweiten Messpumpzelle **41b** führt die Steuereinheit **91** im Wesentlichen die gleiche Steuerung wie in dem Fall der Verwendung der ersten Messpumpzelle **41a** durch, mit der Ausnahme, dass der Umschalter **86** so umgeschaltet wird, dass die Spannung **Vp2** der variablen Stromquelle **46** an die zweite Messpumpzelle **41b** angelegt wird und dass die NO<sub>x</sub>-Konzentration in dem Messgegenstandsgas auf der Basis des Stroms **Ip2b** berechnet wird, der durch die Spannung **Vp2** in der zweiten Messpumpzelle **41b** fließt. Der konstante Wert der Spannung **Vp2** bei der Verwendung der zweiten Messpumpzelle **41b** kann der gleiche Wert wie der konstante Wert der Spannung **Vp2**, wenn die erste Messpumpzelle **41a** verwendet wird, oder ein davon verschiedener Wert sein, solange der konstante Wert im Vorhinein als ein Wert bestimmt wird, so dass der Pumpstrom **Ip2b**, der durch die Spannung **Vp2** fließt, den Grenzstrom erreicht. Dadurch, dass der Pumpstrom **Ip2b** fließt, wird Sauerstoff von dem vierten inneren Hohlraum **63** zu der Referenzgaskammer **343** hinausgepumpt, so dass Sauerstoff, der durch die Reduktion von NO<sub>x</sub> in dem Messgegenstandsgas innerhalb des vierten inneren Hohlrums **63** erzeugt wird, im Wesentlichen Null wird. In der vorstehenden Weise erfasst der Gassensor **300** die Konzentration des spezifischen Gases in dem Messgegenstandsgas in im Wesentlichen der gleichen Weise wie in der vorstehend beschriebenen Ausführungsform, mit der Aus-

nahme, dass ohne Einbeziehen der Hilfspumpzelle **50** Sauerstoff in der Sauerstoffkonzentration-Einstellkammer (hier dem ersten inneren Hohlraum **20**) nur durch die Verwendung der Hauptpumpzelle **21** eingestellt wird, dass die Spannung **Vp2** auf den vorgegebenen konstanten Wert eingestellt wird, anstelle eine Regelung der Spannung **Vp2** auf der Basis der Spannung **V2** durchzuführen, und dass die erste und die zweite Messpumpzelle **41a** und **41b** Sauerstoff zu der Referenzgaskammer **343** (in der Umgebung der Hinauspumpziel-Messelektrode **358**) innerhalb des Elementkörpers hinauspumpen und nicht zur Außenseite des Sensorelements **301** (in der Umgebung der äußere Pumpelektrode **23**).

**[0125]** Dabei ist in dem Sensorelement **301**, wie dies in der vorstehend beschriebenen Ausführungsform der Fall ist, der erste Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt (hier der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60**) auf einem Weg des Messgegenstandsgases von außerhalb des Sensorelements **301** zu der ersten Messelektrode **44** bereitgestellt und der zweite Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt (hier der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62**) ist auf einem Weg des Messgegenstandsgases von außerhalb des Sensorelements **301** zu der zweiten Messelektrode **45** und auf dem Weg bereitgestellt, der nicht durch den vierten Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** verläuft. D.h., der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** und der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** sind parallel angeordnet. Folglich ist dann, wenn bewirkt wird, dass der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** einen höheren Diffusionswiderstand aufweist als der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60**, die zweite Messpumpzelle **41b** zum Erfassen der NO<sub>x</sub>-Konzentration geeignet, die höher ist als diejenige in der ersten Messpumpzelle **41a**. In dem Beispiel in den **Fig. 18** und **Fig. 19** wird der Diffusionswiderstand des fünften Diffusionsrateneinstellabschnitts **62** dadurch erhöht, dass der Durchmesser (Strömungswegbreite) des fünften Diffusionsrateneinstellabschnitts **62** kleiner ist als der Durchmesser des vierten Diffusionsrateneinstellabschnitts **60**. In dem Gassensor **300** nutzt wie in der vorstehend beschriebenen Ausführungsform die Steuervorrichtung **90** die erste Messpumpzelle **41a** in dem Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration und nutzt die zweite Messpumpzelle **41b** in dem Modus zur Messung einer hohen Konzentration. In dem Gassensor **300** entspricht der erste innere Hohlraum **20** der Sauerstoffkonzentration-Einstellkammer und die Hinauspumpziel-Messelektrode **358** entspricht der ersten Hinauspumpziel-Messelektrode und der zweiten Hinauspumpziel-Messelektrode. Obwohl die Hinauspumpziel-Messelektrode **358** sowohl als die erste Hinauspumpziel-Messelektrode als auch die zweite Hinauspumpziel-Messelektrode dient, können die erste Hinauspumpziel-Messelektrode und die zweite Hinauspumpziel-Messelektrode in

dem Sensorelement **301** auch getrennt bereitgestellt werden.

**[0126]** Bei dem Gassensor **300**, der in den **Fig. 18** bis **Fig. 20** gezeigt ist, können ebenfalls Ausführungsformen eingesetzt werden, die in der vorstehend beschriebenen Ausführungsform und Modifizierung gezeigt sind. Beispielsweise können, obwohl der Weg des Messgegenstandsgases von außerhalb zu dem ersten inneren Hohlraum **20** in dem Sensorelement **301** ein gemeinsamer Abschnitt des Wegs von außerhalb zu der ersten Messelektrode **44** und des Wegs von außerhalb zu der zweiten Messelektrode **45** ist, alternativ Wege von außerhalb zu dem ersten inneren Hohlraum **20** vollständig parallel getrennt sein, so dass kein gemeinsamer Abschnitt vorliegt. Die **Fig. 21** ist eine schematische Schnittansicht eines Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitts in einem Fall, bei dem die Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitte in dem Sensorelement **301** vollständig parallel getrennt sind. Da sich der Wandabschnitt **305** in der **Fig. 21** weiter vorwärts erstreckt als derjenige in der **Fig. 19**, ist der erste innere Hohlraum **20** in die zwei ersten inneren Hohlräume **20a** und **20b** getrennt. Die innere Pumpelektrode **22** und die Sauerstofffassungselektrode **355**, die in den **Fig. 18** und **Fig. 19** gezeigt sind, sind ebenfalls in innere Pumpelektroden **122** und **222** bzw. Sauerstofffassungselektroden **355a** und **355b** getrennt und sind in den ersten inneren Hohlräumen **20a** und **20b** angeordnet. Darüber hinaus ist der zweite innere Hohlraum **340a** in der **Fig. 19** ein Teil des ersten inneren Hohlräume **20a** in der **Fig. 21**. Entsprechend ist der zweite innere Hohlraum **340b** in der **Fig. 19** ein Teil des ersten inneren Hohlräume **20b** in der **Fig. 21**. In der **Fig. 21** liegen auf dem Weg des Messgegenstandsgases von außerhalb des Sensorelements **301** zu der ersten Messelektrode **44** der erste Diffusionsrateneinstellabschnitt **11a**, der erste innere Hohlraum **20a** und der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60** in Reihe vor. Auf dem Weg des Messgegenstandsgases von außerhalb des Sensorelements **301** zu der zweiten Messelektrode **45** liegen der erste Diffusionsrateneinstellabschnitt **11b**, der erste innere Hohlraum **20b** und der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** in Reihe vor. In dem Beispiel in der **Fig. 21** ist wie in der **Fig. 19** dadurch, dass der Durchmesser des fünften Diffusionsrateneinstellabschnitts **62** kleiner eingestellt wird als der Durchmesser des vierten Diffusionsrateneinstellabschnitts **60**, die zweite Messpumpzelle **41b** zum Erfassen der NO<sub>x</sub>-Konzentration geeignet, die höher ist als diejenige in der ersten Messpumpzelle **41a**. In dem Beispiel in der **Fig. 21** umfasst die Sauerstoffkonzentration-Einstellkammer die erste Sauerstoffkonzentration-Einstellkammer (hier den ersten inneren Hohlraum **20a**) und die zweite Sauerstoffkonzentration-Einstellkammer (hier den ersten inneren Hohlraum **20b**), die parallel zueinander angeordnet sind.

**[0127]** In der **Fig. 21** weisen der erste innere Hohlraum **20a** und der erste innere Hohlraum **20b** die gleiche Breite in der horizontalen Richtung auf und weisen den gleichen Diffusionswiderstand auf. Wie in der **Fig. 22** können der erste innere Hohlraum **20a** und der erste innere Hohlraum **20b** verschiedene Diffusionswiderstände aufweisen. In der **Fig. 22** wird dadurch, dass die Breite des ersten inneren Hohlräume **20b** kleiner gemacht wird als die Breite des ersten inneren Hohlräume **20a**, der Diffusionswiderstand des ersten inneren Hohlräume **20b** höher gemacht als der Diffusionswiderstand des ersten inneren Hohlräume **20a**. In der **Fig. 22** ist, da der erste innere Hohlraum **20b** und der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62** einen hohen Diffusionswiderstand aufweisen, die Konfiguration derart ausgebildet, dass der zweite Diffusionswiderstand  $R_2$  höher ist als der erste Diffusionswiderstand  $R_1$ . In der **Fig. 22** entspricht nicht nur der vierte Diffusionsrateneinstellabschnitt **60**, sondern auch der erste innere Hohlraum **20a** dem ersten Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt, und nicht nur der fünfte Diffusionsrateneinstellabschnitt **62**, sondern auch der erste innere Hohlraum **20b** entspricht dem zweiten Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt.

**[0128]** Verschiedene Ausführungsformen des Gassensors **300**, der in den **Fig. 18** bis **Fig. 22** gezeigt ist, können in der vorstehend beschriebenen Ausführungsform und Modifizierung eingesetzt werden. Beispielsweise umfasst in der vorstehend beschriebenen Ausführungsform die Sauerstoffkonzentration-Einstellkammer den ersten inneren Hohlraum **20** und den zweiten inneren Hohlraum **40**, und die Einstellpumpzelle umfasst die Hauptpumpzelle **21** und die Hilfspumpzelle **50**. Wenn jedoch die Sauerstoffkonzentration in dem Messgegenstandsgas nur durch die Verwendung der Hauptpumpzelle **21** ausreichend vermindert werden kann, können der zweite innere Hohlraum **40** und die Hilfspumpzelle **50** weggelassen werden.

**[0129]** Die Anmeldung beansprucht die Priorität der japanischen Patentanmeldung Nr. 2020-060782, die am 30. März 2020 eingereicht worden ist, und der japanischen Patentanmeldung Nr. 2021-041460, die am 15. März 2021 eingereicht worden ist, die unter Bezugnahme vollständig hierin einbezogen sind.

#### Gewerbliche Anwendbarkeit

**[0130]** Die vorliegende Erfindung ist auf einen Gassensor anwendbar, der die Konzentration eines spezifischen Gases, wie z.B. NO<sub>x</sub>, in einem Messgegenstandsgas, wie z.B. einem Abgas eines Kraftfahrzeugs, erfasst.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

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

**Zitierte Patentliteratur**

- JP 5323752 B [0003]
- JP 2020 [0129]
- JP 060782 [0129]
- JP 2021041460 [0129]

## Patentansprüche

1. Sensorelement zum Erfassen einer Konzentration eines spezifischen Gases in einem Messgegenstandsgas, wobei das Sensorelement umfasst:

einen Elementkörper, der eine Sauerstoffionen-leitende Festelektrolytschicht umfasst und einen darin bereitgestellten Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt aufweist, wobei der Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt das Messgegenstandsgas einführt und ein Strömen des Messgegenstandsgases bewirkt;

eine Einstellpumpzelle, die eine Sauerstoffkonzentration in einer Sauerstoffkonzentration-Einstellkammer in dem Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt einstellt;

eine erste Messpumpzelle, die eine erste Messelektrode umfasst und die Sauerstoff, der in einer ersten Messkammer aus dem spezifischen Gas erzeugt worden ist, hinauspumpt, wobei die erste Messelektrode in der ersten Messkammer angeordnet ist, die auf einer stromabwärtigen Seite der Sauerstoffkonzentration-Einstellkammer in dem Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt bereitgestellt ist; und

eine zweite Messpumpzelle, die eine zweite Messelektrode umfasst und die Sauerstoff, der in einer zweiten Messkammer aus dem spezifischen Gas erzeugt worden ist, hinauspumpt, wobei die zweite Messelektrode in der zweiten Messkammer angeordnet ist, die auf einer stromabwärtigen Seite der Sauerstoffkonzentration-Einstellkammer in dem Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt bereitgestellt ist, wobei der Elementkörper derart ausgebildet ist, dass ein zweiter Diffusionswiderstand  $R_2$ , der ein Diffusionswiderstand eines Wegs des Messgegenstandsgases von außerhalb zu der zweiten Messelektrode ist, höher ist als ein erster Diffusionswiderstand  $R_1$ , der ein Diffusionswiderstand eines Wegs des Messgegenstandsgases von außerhalb zu der ersten Messelektrode ist.

2. Sensorelement nach Anspruch 1, wobei die erste Messpumpzelle ferner eine erste äußere Messelektrode umfasst, die derart außerhalb des Elementkörpers bereitgestellt ist, dass sie das Messgegenstandsgas kontaktiert, und wobei die zweite Messpumpzelle ferner eine zweite äußere Messelektrode umfasst, die derart außerhalb des Elementkörpers bereitgestellt ist, dass sie das Messgegenstandsgas kontaktiert.

3. Sensorelement nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt ferner einen ersten Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt und einen zweiten Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt umfasst, wobei der erste Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt auf einem Weg des Messgegenstandsgases von außerhalb des Sensorelements zu

der ersten Messelektrode bereitgestellt ist, wobei der zweite Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt auf einem Weg des Messgegenstandsgases von außerhalb des Sensorelements zu der zweiten Messelektrode und auf dem Weg bereitgestellt ist, der nicht durch den ersten Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt verläuft, und

wobei der zweite Diffusionswiderstand  $R_2$  dadurch höher ist als der erste Diffusionswiderstand  $R_1$ , dass der zweite Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt einen höheren Diffusionswiderstand aufweist als der erste Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt.

4. Sensorelement nach Anspruch 3, wobei der erste Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt auf einem Weg des Messgegenstandsgases zwischen der Sauerstoffkonzentration-Einstellkammer und der ersten Messkammer bereitgestellt ist, und

wobei der zweite Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt auf einem Weg des Messgegenstandsgases zwischen der Sauerstoffkonzentration-Einstellkammer und der zweiten Messkammer bereitgestellt ist.

5. Sensorelement nach Anspruch 3 oder 4, wobei der erste Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt eine schlitzzartige Lücke oder ein poröser Körper ist, und wobei der zweite Messelektrode-Diffusionsrateneinstellabschnitt eine schlitzzartige Lücke oder ein poröser Körper ist.

6. Sensorelement nach einem der Ansprüche 1 bis 5, ferner umfassend:

wenn  $n$  eine ganze Zahl größer als oder gleich 3 ist, erste bis  $n$ -te Messpumpzellen, einschließlich die erste Messpumpzelle und die zweite Messpumpzelle, wobei, wenn  $p$  eine ganze Zahl von 3 bis  $n$  ist, eine  $p$ -te Messpumpzelle eine  $p$ -te Messelektrode umfasst und zum Hinauspumpen von Sauerstoff, der in einer  $p$ -ten Messkammer aus dem spezifischen Gas erzeugt worden ist, ausgebildet ist, wobei die  $p$ -te Messelektrode in der  $p$ -ten Messkammer bereitgestellt ist, die auf einer stromabwärtigen Seite der Sauerstoffkonzentration-Einstellkammer in dem Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt bereitgestellt ist, und

wobei der Elementkörper derart ausgebildet ist, dass ein  $p$ -ter Diffusionswiderstand  $R_p$ , der ein Diffusionswiderstand eines Wegs des Messgegenstandsgases von außerhalb zu der  $p$ -ten Messelektrode ist, höher als ein  $(p-1)$ -ter Diffusionswiderstand  $R_{p-1}$  ist, der ein Diffusionswiderstand eines Wegs des Messgegenstandsgases von außerhalb zu einer  $(p-1)$ -ten Messelektrode ist.

7. Sensorelement nach Anspruch 6, wobei die  $p$ -te Messpumpzelle ferner eine  $p$ -te äußere Messelektro-

de umfasst, die derart außerhalb des Elementkörpers bereitgestellt ist, dass sie das Messgegenstandsgas kontaktiert.

8. Sensorelement nach Anspruch 6 oder 7, wobei ein Verhältnis  $R_n/R_1$  zwischen dem ersten Diffusionswiderstand  $R_1$  und einem n-ten Diffusionswiderstand  $R_n$  größer als 1 und kleiner als oder gleich 100 ist.

9. Gassensor, umfassend:  
das Sensorelement nach einem der Ansprüche 1 bis 5; und  
eine Vorrichtung zur Erfassung der Konzentration eines spezifischen Gases, die einen Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration und einen Modus zur Messung einer hohen Konzentration aufweist, wobei der Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration ein Modus ist, bei dem die erste Messpumpzelle so gesteuert wird, dass ein Pumpstrom, der in der ersten Messpumpzelle fließt, ein Grenzstrom wird, und auf der Basis eines Werts des Pumpstroms die Konzentration des spezifischen Gases in dem Messgegenstandsgas erfasst wird, wobei der Modus zur Messung einer hohen Konzentration ein Modus ist, bei dem die zweite Messpumpzelle so gesteuert wird, dass ein Pumpstrom, der in der zweiten Messpumpzelle fließt, ein Grenzstrom wird, und auf der Basis eines Werts des Pumpstroms die Konzentration des spezifischen Gases in dem Messgegenstandsgas erfasst wird.

10. Gassensor nach Anspruch 9, wobei, wenn die Vorrichtung zur Erfassung der Konzentration eines spezifischen Gases auf der Basis des Pumpstroms, der in der ersten Messpumpzelle in dem Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration fließt, bestimmt, dass die Konzentration des spezifischen Gases in dem Messgegenstandsgas in einem vorgegebenen Bereich mit hoher Konzentration liegt, die Vorrichtung zur Erfassung der Konzentration eines spezifischen Gases zu dem Modus zur Messung einer hohen Konzentration umschaltet, und wenn die Vorrichtung zur Erfassung der Konzentration eines spezifischen Gases auf der Basis des Pumpstroms, der in der zweiten Messpumpzelle in dem Modus zur Messung einer hohen Konzentration fließt, bestimmt, dass die Konzentration des spezifischen Gases in dem Messgegenstandsgas in einem vorgegebenen Bereich mit niedriger Konzentration liegt, die Vorrichtung zur Erfassung der Konzentration eines spezifischen Gases zu dem Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration umschaltet.

11. Sensorelement zum Erfassen einer Sauerstoffkonzentration als Konzentration eines spezifischen Gases in einem Messgegenstandsgas, wobei das Sensorelement umfasst:  
einen Elementkörper, der eine Sauerstoffionen-leitende Festelektrolytschicht umfasst und einen darin bereitgestellten Messgegenstandsgas-Strömungs-

abschnitt aufweist, wobei der Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt das Messgegenstandsgas einführt und ein Strömen des Messgegenstandsgases bewirkt;

eine erste Messpumpzelle, die eine erste Messelektrode umfasst und die Sauerstoff in dem Messgegenstandsgas hinauspumpt, wobei die erste Messelektrode in einer ersten Messkammer in dem Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt angeordnet ist; und

eine zweite Messpumpzelle, die eine zweite Messelektrode umfasst und die Sauerstoff in dem Messgegenstandsgas hinauspumpt, wobei die zweite Messelektrode in einer zweiten Messkammer in dem Messgegenstandsgas-Strömungsabschnitt angeordnet ist,

wobei der Elementkörper derart ausgebildet ist, dass ein zweiter Diffusionswiderstand  $R_2$ , der ein Diffusionswiderstand eines Wegs des Messgegenstandsgases von außerhalb zu der zweiten Messelektrode ist, höher ist als ein erster Diffusionswiderstand  $R_1$ , der ein Diffusionswiderstand eines Wegs des Messgegenstandsgases von außerhalb zu der ersten Messelektrode ist.

12. Sensorelement nach Anspruch 11, wobei die erste Messpumpzelle ferner eine erste äußere Messelektrode umfasst, die derart außerhalb des Elementkörpers bereitgestellt ist, dass sie mit dem Messgegenstandsgas in Kontakt ist, und wobei die zweite Messpumpzelle ferner eine zweite äußere Messelektrode umfasst, die derart außerhalb des Elementkörpers bereitgestellt ist, dass sie mit dem Messgegenstandsgas in Kontakt ist.

13. Gassensor, umfassend:  
das Sensorelement nach Anspruch 11 oder 12; und  
eine Vorrichtung zur Erfassung der Konzentration eines spezifischen Gases, die einen Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration und einen Modus zur Messung einer hohen Konzentration aufweist, wobei der Modus zur Messung einer niedrigen Konzentration ein Modus ist, bei dem die erste Messpumpzelle so gesteuert wird, dass ein Pumpstrom, der in der ersten Messpumpzelle fließt, ein Grenzstrom wird, und auf der Basis eines Werts des Pumpstroms die Konzentration des spezifischen Gases in dem Messgegenstandsgas erfasst wird, wobei der Modus zur Messung einer hohen Konzentration ein Modus ist, bei dem die zweite Messpumpzelle so gesteuert wird, dass ein Pumpstrom, der in der zweiten Messpumpzelle fließt, ein Grenzstrom wird, und auf der Basis eines Werts des Pumpstroms die Konzentration des spezifischen Gases in dem Messgegenstandsgas erfasst wird.

Es folgen 11 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG.1

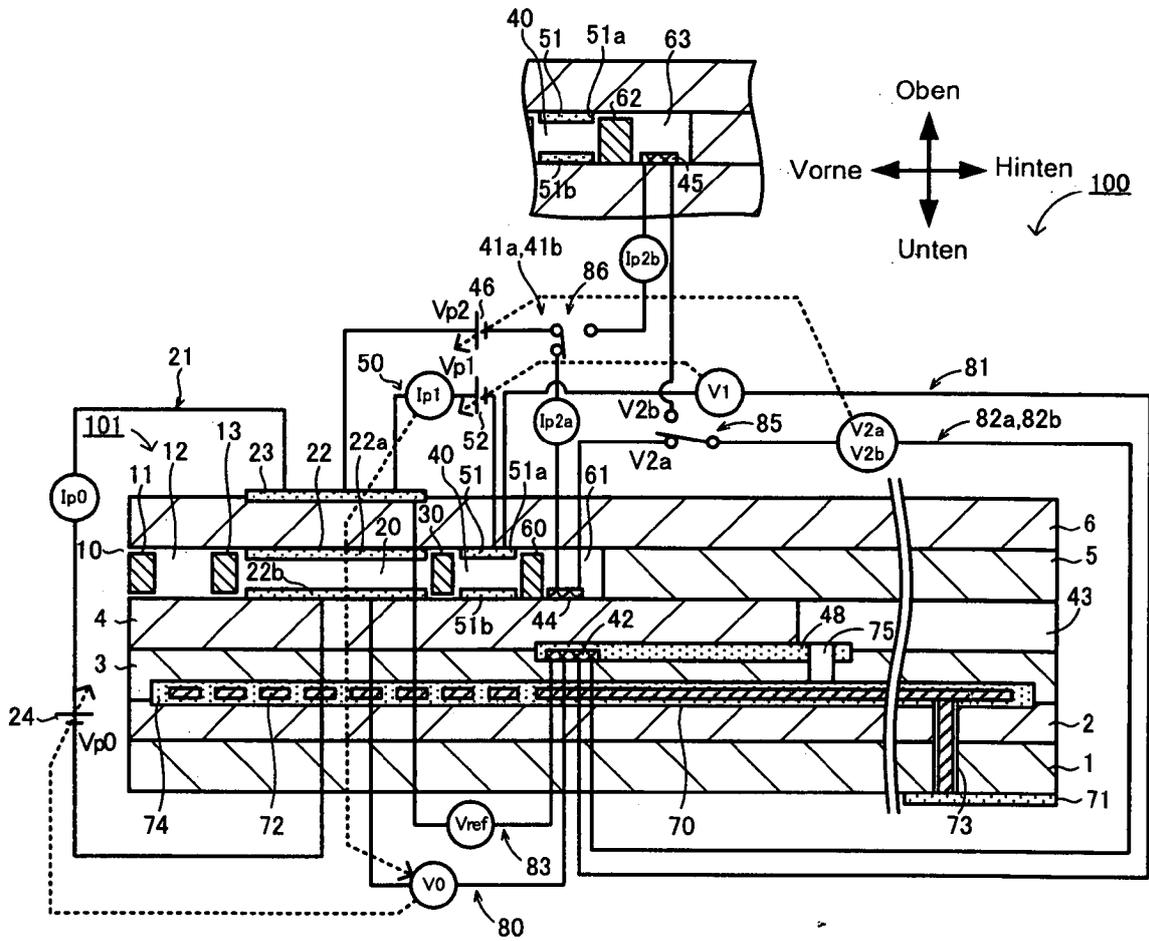


FIG.2

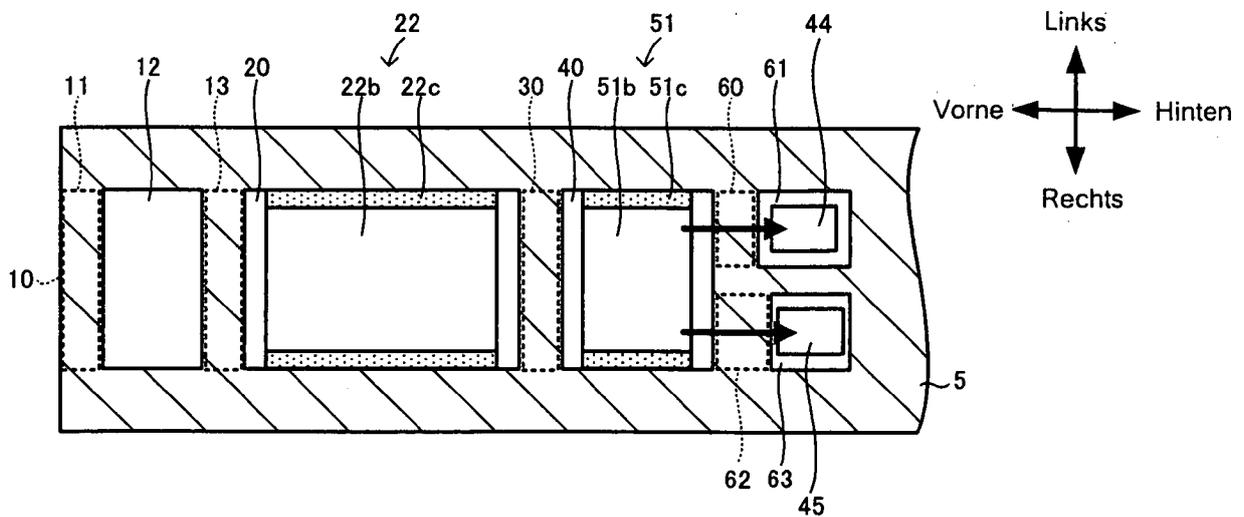


FIG.3

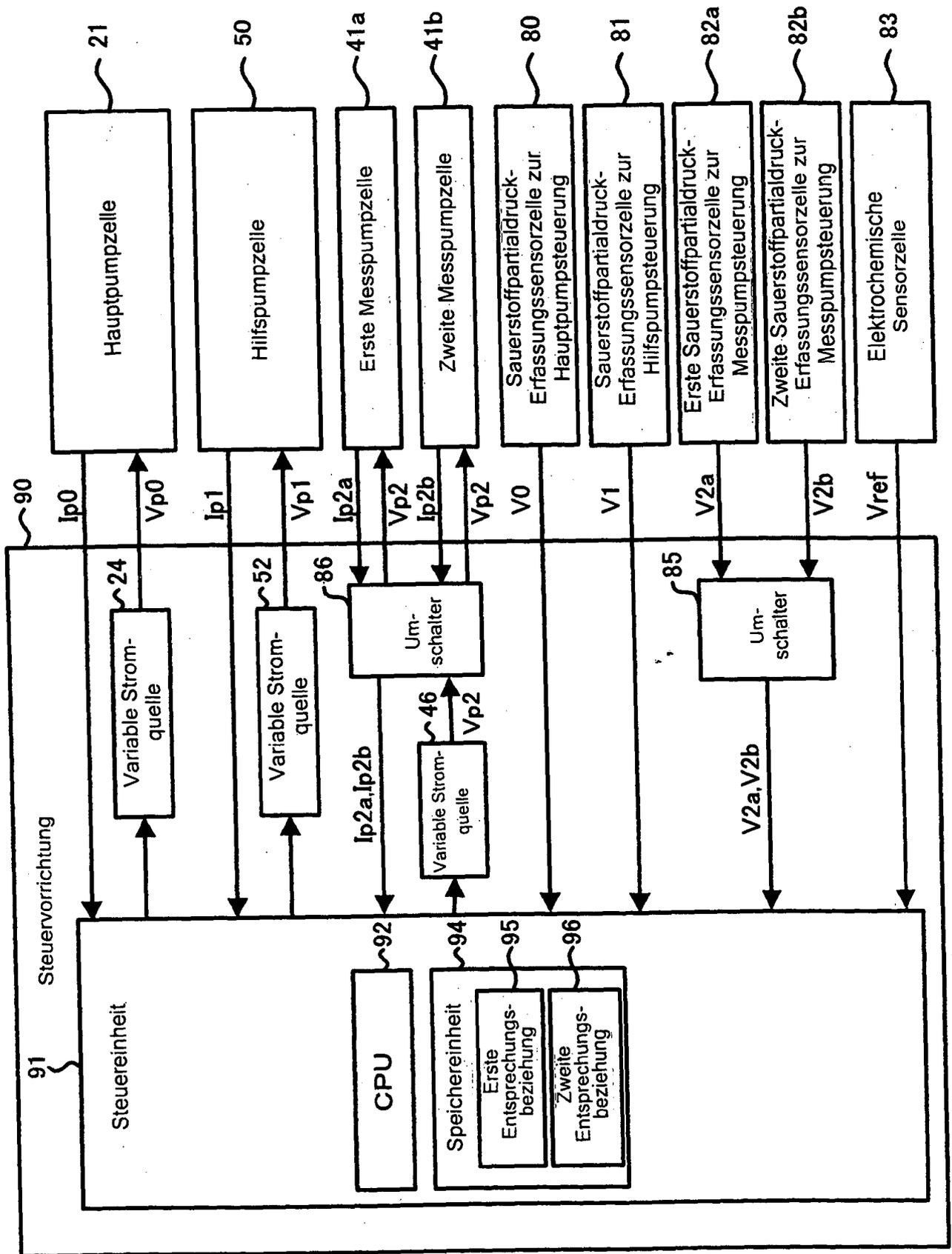


FIG.4

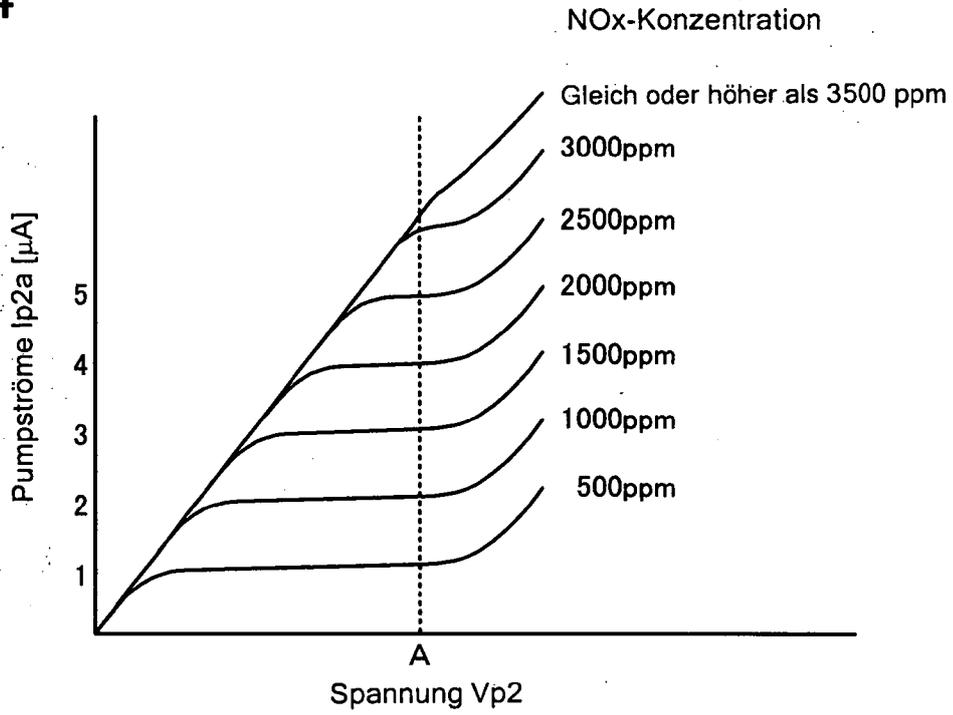


FIG.5

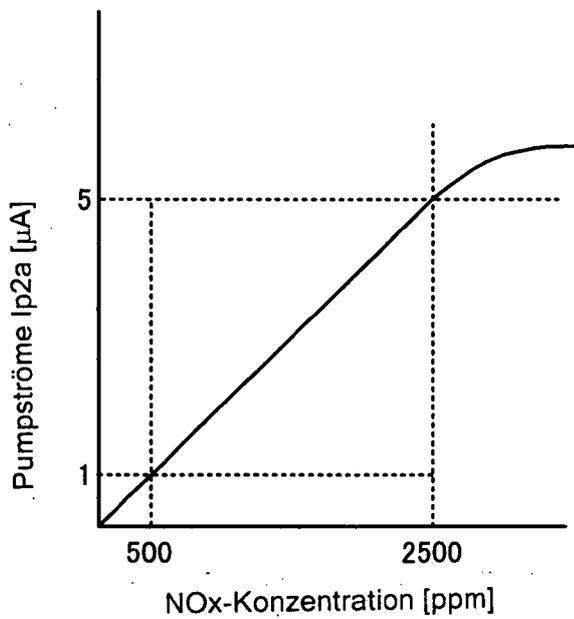


FIG.6

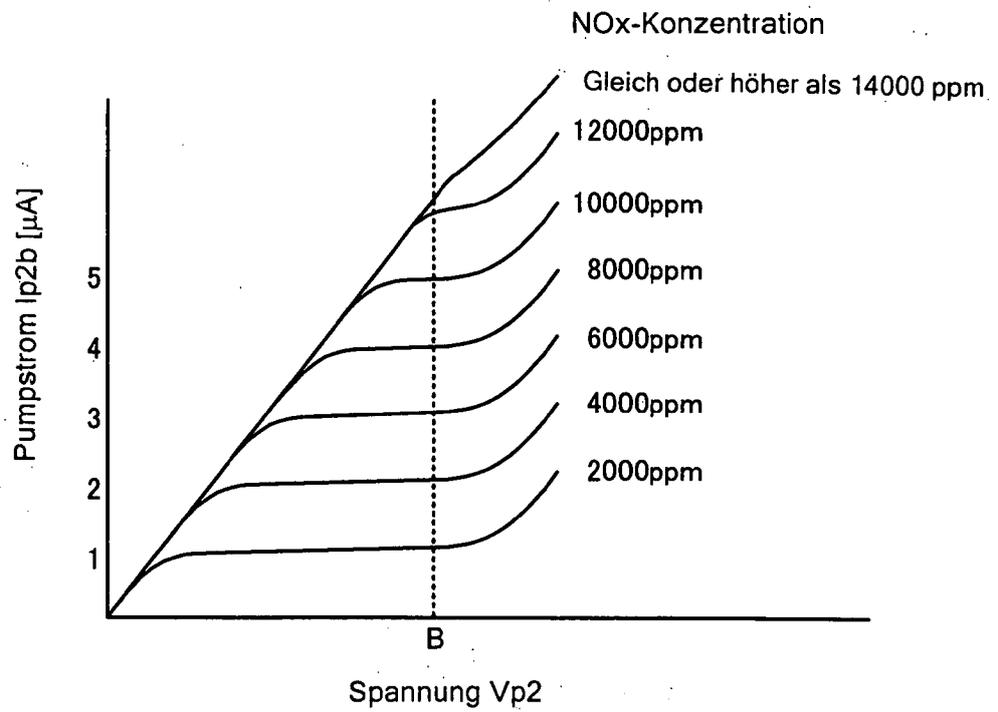


FIG.7

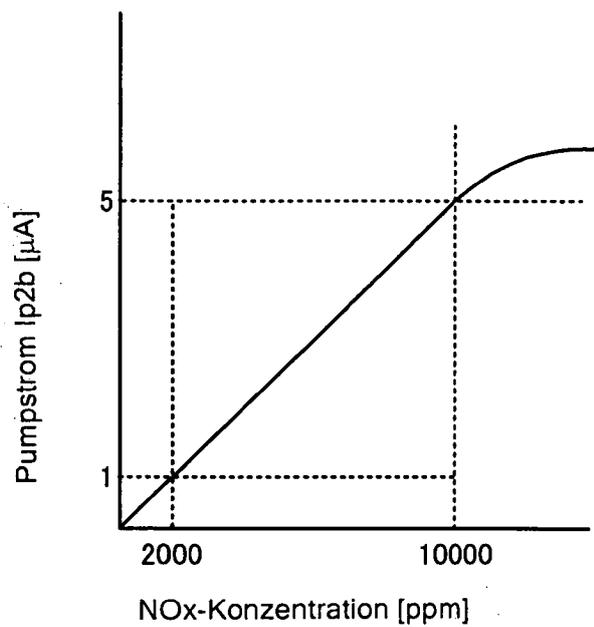


FIG.8

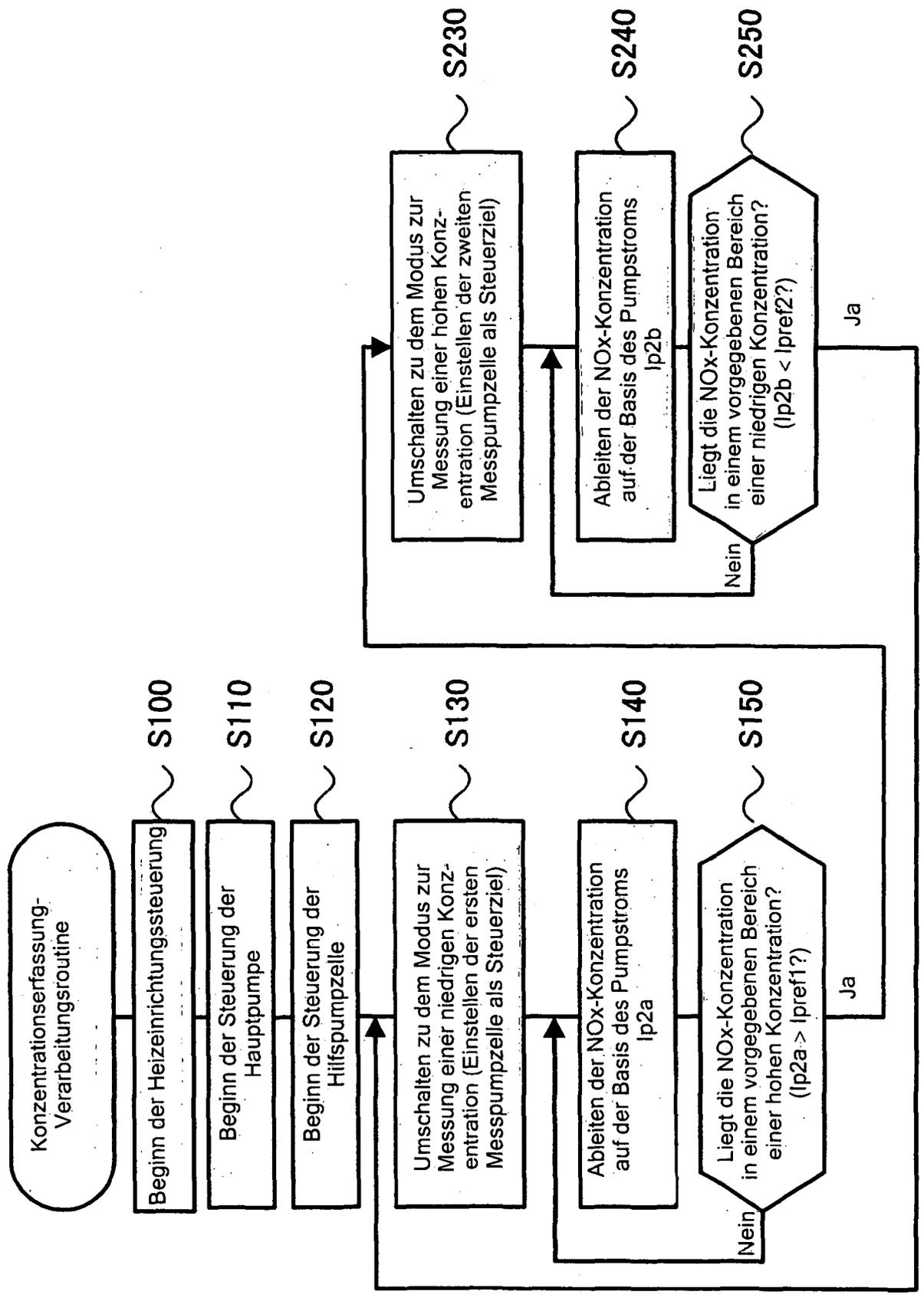


FIG.9

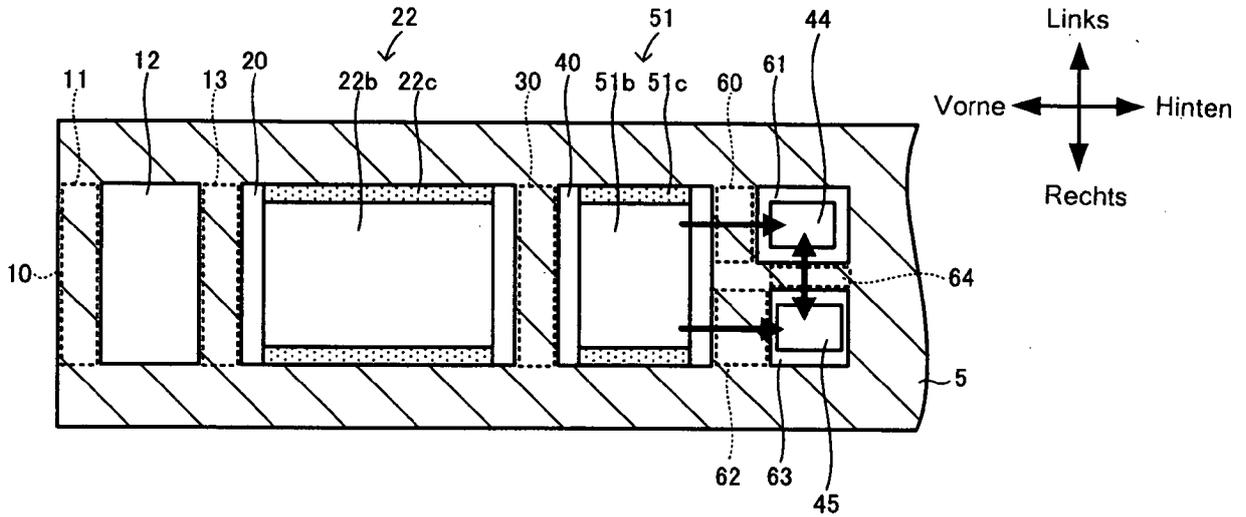


FIG.10

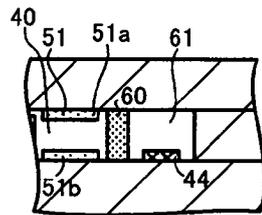


FIG.11

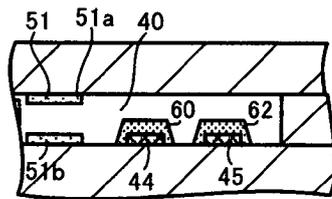


FIG.12

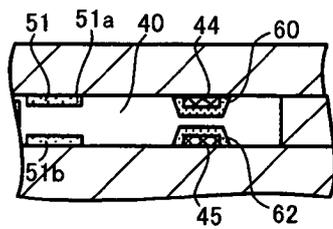


FIG.13

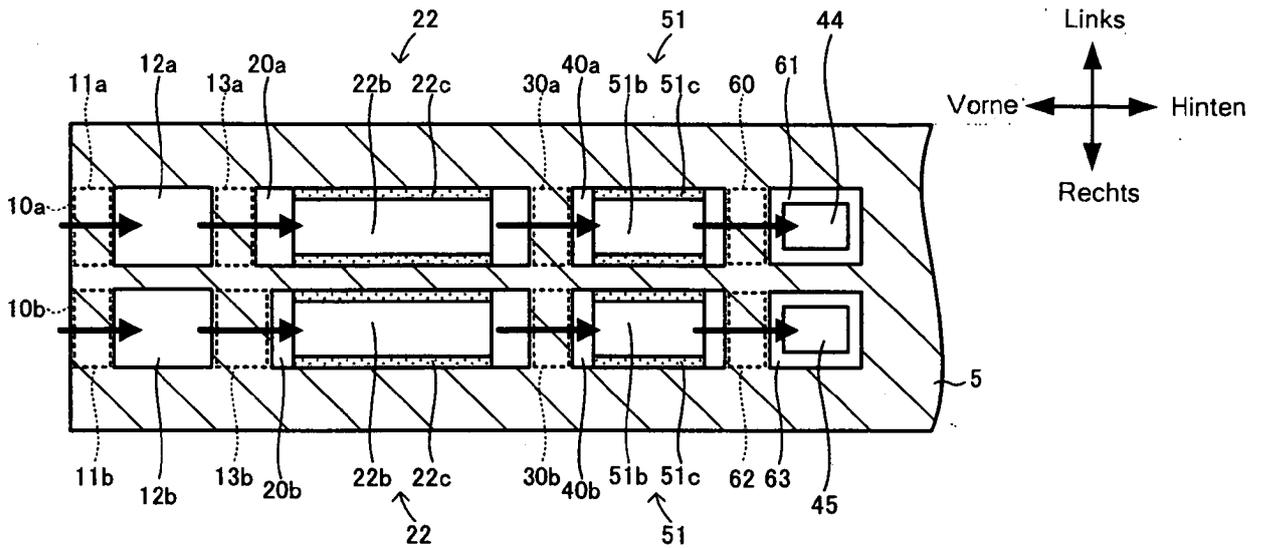


FIG.14

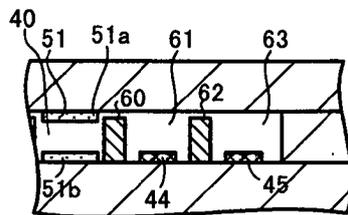


FIG.15

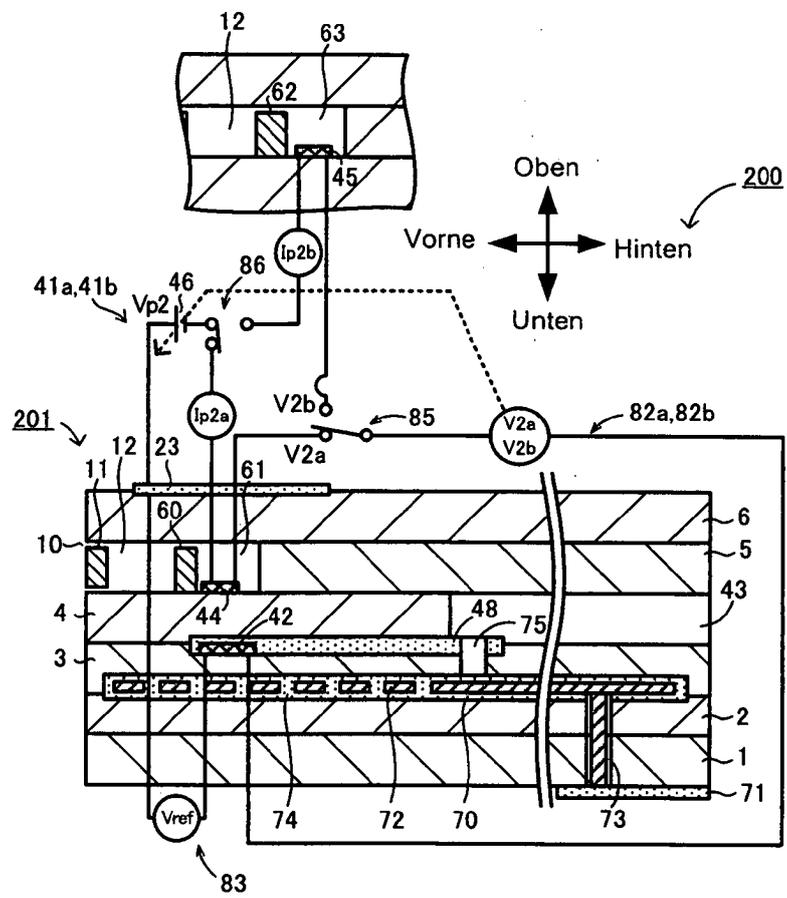


FIG.16

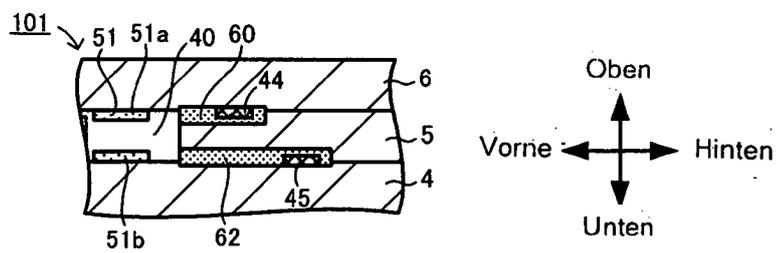


FIG.17

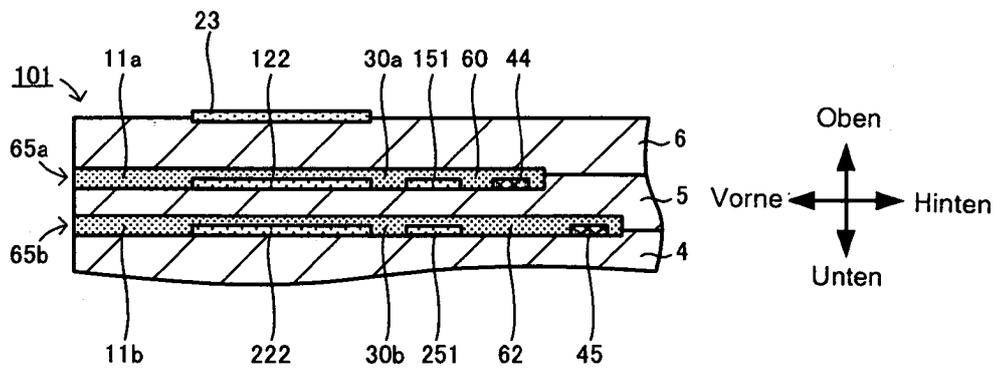


FIG.18

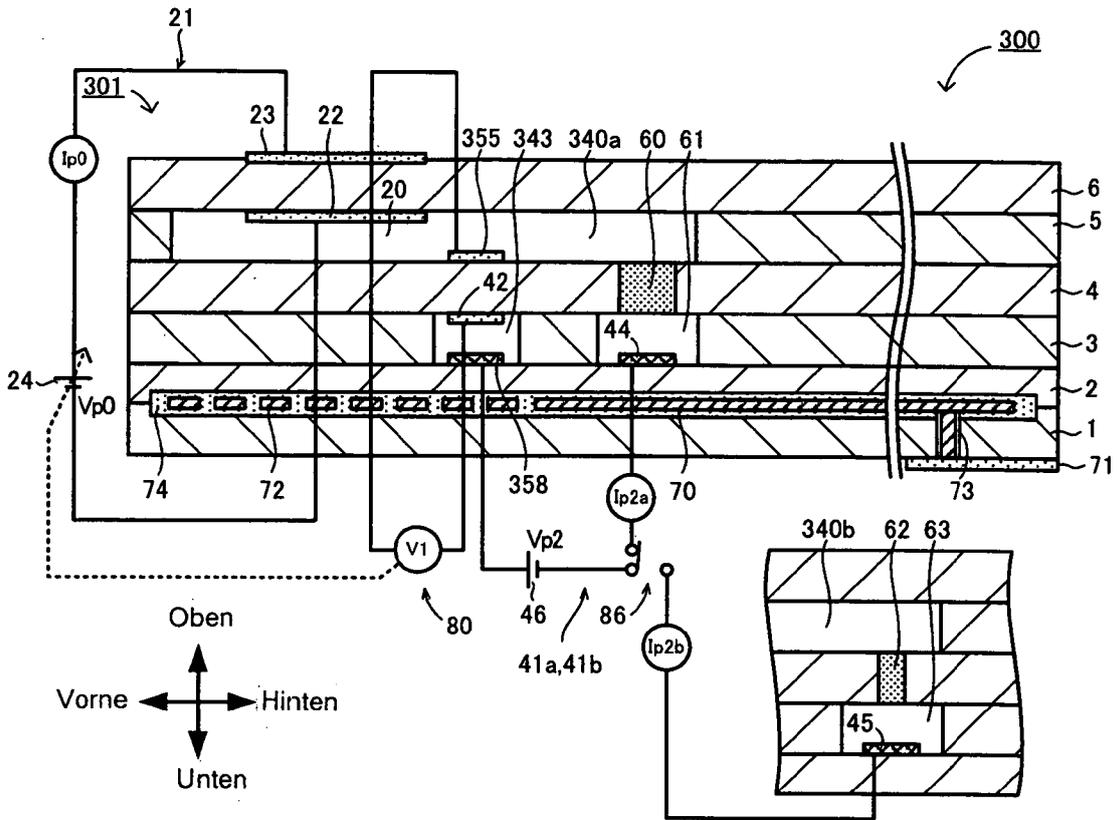


FIG.19

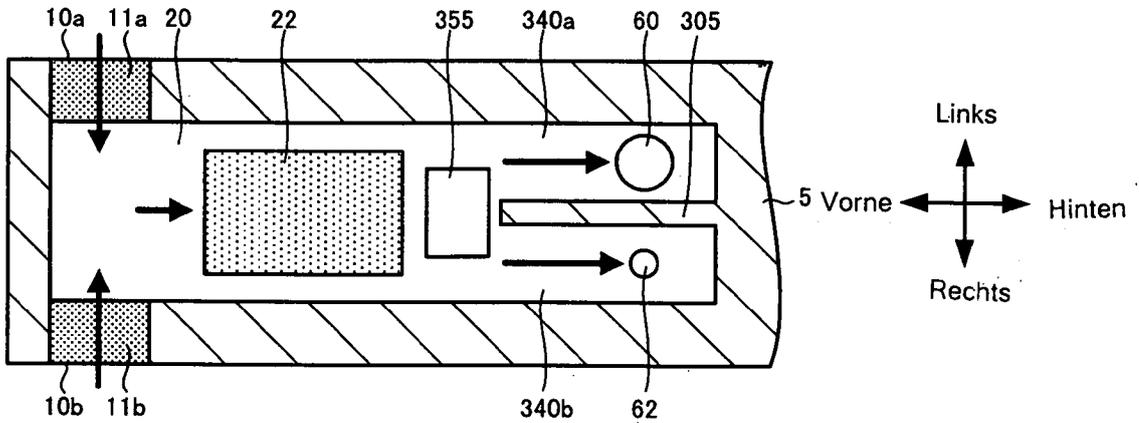


FIG.20

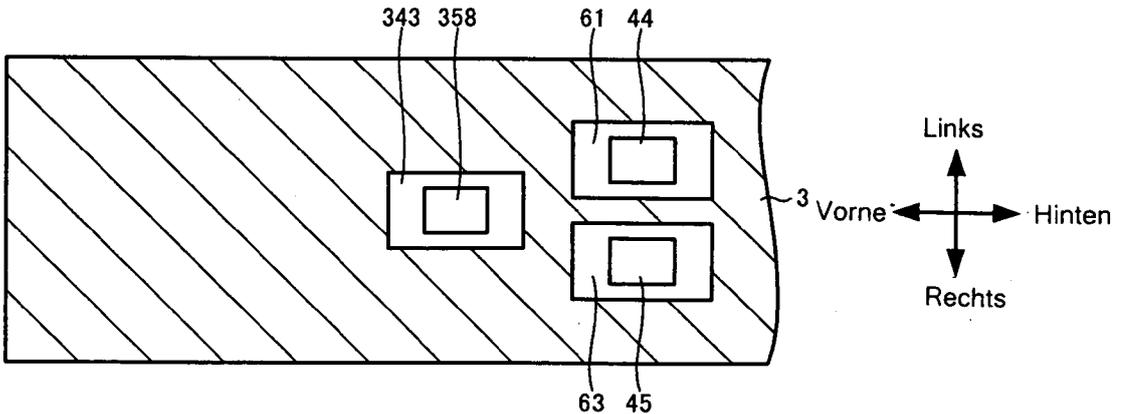


FIG.21

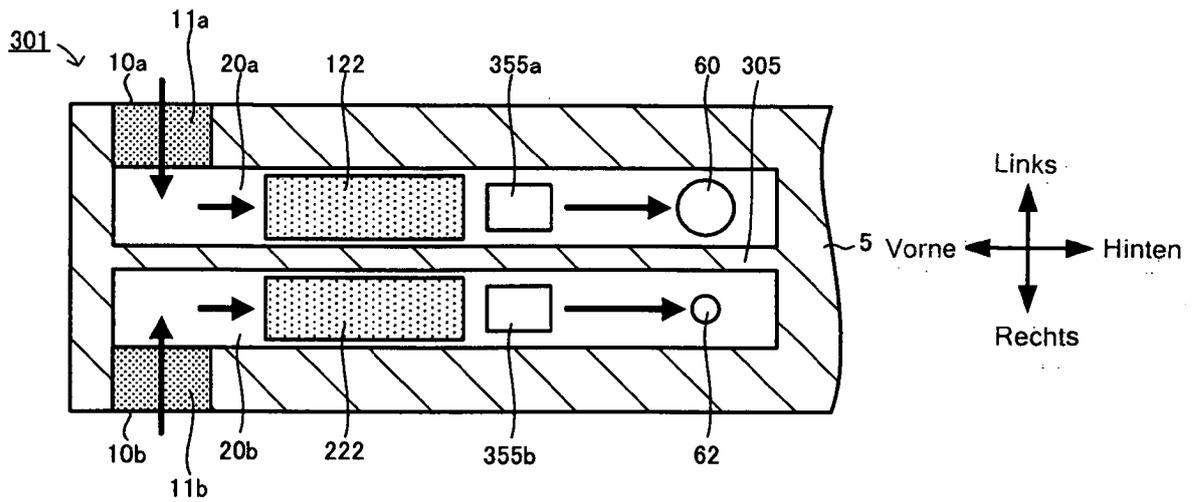


FIG.22

