



(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2019 203 984.7

(51) Int Cl.: F01N 3/28 (2006.01)

(22) Anmelddatag: 22.03.2019

B01D 46/00 (2022.01)

(43) Offenlegungstag: 10.10.2019

B01J 35/56 (2024.01)

(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 25.07.2024

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

(30) Unionspriorität:

2018-065700 29.03.2018 JP

(72) Erfinder:

Ikoma, Ai, Nagoya-shi, Aichi, JP; Kasai, Yoshiyuki,  
Nagoya-shi, Aichi, JP

(73) Patentinhaber:

NGK Insulators, Ltd., Nagoya-shi, Aichi-ken, JP

(56) Ermittelter Stand der Technik:

(74) Vertreter:

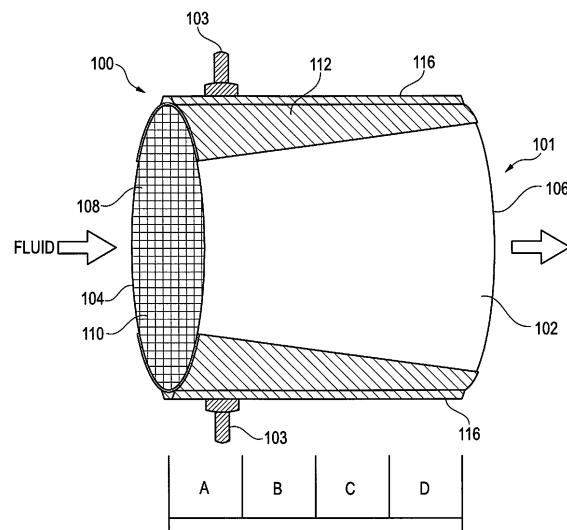
MERH-IP Matias Erny Reichl Hoffmann  
Patentanwälte PartG mbB, 80336 München, DE

DE	694 14 816	T2
US	5 465 573	A
WO	2011/ 043 434	A1
JP	2 931 362	B2

(54) Bezeichnung: Leitfähige Wabenstruktur

(57) Zusammenfassung: Eine leitfähige Wabenstruktur, die enthält:  
einen säulenförmigen leitfähigen Wabenstrukturabschnitt, der aufweist  
eine äußere Umfangsseitenwand; und  
Trennwände, die innerhalb der äußeren Umfangsseitenwand angeordnet sind und die mehrere Zellen definieren, um Strömungswege zu bilden, so dass ein Fluid durch eine erste Stirnfläche in die Strömungswege eintreten und durch eine zweite Stirnfläche austreten kann;  
wobei ein Paar von Elektrodenschichten, die sich in einer Strömungswegrichtung der Zellen erstrecken, einen Abschnitt einer Außenfläche der äußeren Umfangsseitenwand bildet,  
eine Elektrodenschicht des Paares von Elektrodenschichten auf einer Seite angeordnet ist, die über eine Mittelachse des Wabenstrukturabschnitts der anderen Elektrodenschicht gegenüberliegt, und,  
wenn die Wabenstruktur in der Strömungswegrichtung der Zellen in vier gleiche Abschnitte aufgeteilt ist, um vier Bereiche A, B, C und D von einer Seite näher bei der ersten Stirnfläche zu bilden, und ein Durchschnittswert der elektrischen Widerstände, die zwischen zwei Punkten in jedem der vier Bereiche gemessen werden, als  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_C$  und  $R_D$  in dieser Reihenfolge von der Seite näher bei der ersten Stirnfläche dargestellt ist, ein Vergleichsausdruck  $R_A \leq R_B \leq R_C \leq R_D$  (ausgenommen  $R_A = R_B = R_C = R_D$ ) erfüllt ist, vorausgesetzt, dass die beiden Punkte so bestimmt sind, dass ein Abstand zwischen dem Paar von Elektrodenschichten der längste in einem Querschnitt senkrecht zu der Strömungswegrichtung der Zellen ist,

wobei jedoch, wenn es in einem derartigen Querschnitt kein Paar von Elektrodenschichten gibt, die beiden Punkte so bestimmt sind, dass ein Abstand zwischen den beiden Punkten der längste in dem Querschnitt ist.



**Beschreibung****TECHNISCHES GEBIET****Gebiet der Erfindung**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine leitfähige Wabenstruktur. Spezieller bezieht sich die vorliegende Erfindung auf eine Wabenstruktur, die für die Verwendung bei einer Anwendung zum Tragen eines Katalysators zur Abgasreinigung und zum schnellen Erhöhen einer Temperatur bis zu einer Aktivierungstemperatur des Katalysators geeignet ist.

**TECHNISCHER HINTERGRUND**

**[0002]** Ein Katalysator, der auf einer säulenförmigen Wabenstruktur getragen wird, die mehrere Trennwände enthält, die mehrere Zellen partitionieren und bilden, die von einer ersten Stirnfläche zu der zweiten Stirnfläche durchdringen, um Strömungswege zu bilden, ist herkömmlich zum Reinigen schädlicher Substanzen, wie z. B. HC, CO und NOx, die im Abgas enthalten sind, das von einer Kraftmaschine eines Kraftfahrzeugs oder dergleichen ausgestoßen wird, verwendet worden. Wenn das Abgas mit dem auf der Wabenstruktur getragenen Katalysator behandelt wird, sollte folglich eine Temperatur des Katalysators bis zu seiner Aktivierungstemperatur erhöht werden. Es gibt jedoch insofern ein Problem, als der Katalysator die Aktivierungs temperatur beim Starten der Kraftmaschine nicht erreicht und das Abgas nicht ausreichend gereinigt wird. Insbesondere laufen ein Plug-in-Hybridfahrzeug (PHEV) und ein Hybridfahrzeug (HV) manchmal für ihr Fahren nur mit dem Motor, so dass sie eine geringere Kraftmaschinen-Startfrequenz und eine geringere Katalysatortemperatur beim Starten der Kraftmaschine aufweisen, wobei dadurch die Tendenz besteht, die Abgasreinigungsleistung zu verschlechtern, unmittelbar nachdem die Kraftmaschine gestartet worden ist.

**[0003]** Um das Problem zu lösen, ist eine Technik vorgeschlagen worden, bei der eine Heizvorrichtung, die auf der stromaufwärts gelegenen Seite der Wabenstruktur, die einen auf ihr getragenen Katalysator aufweist, angeordnet ist und eine Temperatur des Katalysators erhöht wird (siehe z. B. Patentliteratur 1). Es ist ein Elektroheizkatalysator (EHC) vorgeschlagen worden, bei dem der Katalysator einteilig mit der Heizvorrichtung ausgebildet ist, indem ein Paar von Elektrodenabschnitten und ein Elektrodenanschluss-Vorsprungabschnitt (ein Anschlussverbindungsabschnitt) auf der Seitenfläche der säulenförmigen Wabenstruktur, die aus einer leitfähigen Keramik hergestellt ist, angeordnet ist und die Wabenstruktur durch Zufuhr von Energie selbst veranlasst wird, Wärme zu erzeugen, (siehe z. B. Patentliteratur 2).

**[0004]** Weiterhin ist aus der Patentliteratur 3 ein mehrstufiger Wabenheizkörper mit mindestens zwei Wabenheizungen umfasst, die elektrisch miteinander verbunden und entlang eines Fluidstroms angeordnet sind, wobei jede der beiden Wabenheizungen eine elektrisch leitende Wabenstruktur aufweist, wobei die Wabenstruktur der stromaufwärts gelegenen Wabenheizung Schlitze zum Einstellen ihres elektrischen Widerstands und/oder Elemente zum Einstellen der Wärmekapazität der Wabenstruktur aufweist, so dass das Verhältnis von angelegter Leistung zu Wärmekapazität der am weitesten stromaufwärts gelegenen Wabenheizung größer ist als das Verhältnis von angelegter Leistung zu Wärmekapazität der benachbarten Wabenheizung.

**[0005]** Ferner ist aus der Patentliteratur 4 ein Wabenheizgerät bekannt, dass eine leitfähige Wabenstruktur und mindestens zwei Elektroden zur Elektrifizierung umfasst, die auf der Wabenstruktur vorgesehen sind, wobei ein Widerstand so eingestellt ist, dass ein spezifischer Bereich, der mindestens eine Endfläche einer Gaseinlassseite umfasst, im Vergleich zu einem anderen Bereich zum Zeitpunkt der Elektrifizierung lokal schneller erhitzt werden kann.

**LISTE DER ENTGEGENHALTUNGEN****Patentliteratur**

[Patentliteratur 1] JP 2 931 362 B2

[Patentliteratur 2] WO 2011/ 043 434 A1

[Patentliteratur 3] US 5 465 573 A

[Patentliteratur 4] DE 694 14 816 T2

## ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

**[0006]** In der in der Patentliteratur 1 offenbarten Technik ist die Heizvorrichtung auf der stromaufwärts gelegenen Seite der Wabenstruktur, die einen auf ihr getragenen Katalysator aufweist, angeordnet. Wenn eine Durchflussmenge des Abgases gering ist und die Wärmeübertragung von der Heizvorrichtung klein ist, wie in dem Fall, in dem die Kraftmaschine gestartet wird, ist deshalb die Temperaturzunahme des Katalysators umso mehr verzögert, je ferner sich der Katalysator von der Heizvorrichtung befindet. Das heißt, im Inneren der Wabenstruktur als ein Katalysatorträger tritt eine Temperaturverteilung entlang einer Strömungsrichtung des Abgases auf, die es unmöglich macht, es zu verursachen, dass der gesamte Katalysator effizient arbeitet.

**[0007]** Der in der Patentliteratur 2 offenbarte EHC ist an einem Hochspannungs-HEV (einem HEV, das mit einer Speicherbatterie von etwa 400 V ausgerüstet ist) angebracht. Bei der zum Aufwärmen eines Katalysators durch das Zuführen elektrischer Leistung zu dem EHC vor dem Starten der Kraftmaschine (ein System zum vorbereitenden Zuführen von Energie) verwendeten Steuerung weist der EHC eine hervorragende Leistung des gleichmäßigen Erwärmens des gesamten Katalysators auf, was zur Verbesserung der Abgasreinigungsleistung beiträgt.

**[0008]** In den letzten Jahren sind jedoch Niederspannungs-HEVs (HEVs, die mit einer Speicherbatterie von 48 V ausgerüstet sind) hauptsächlich in Europa aktiv hergestellt worden. Es ist erforderlich, dass die Niederspannungs-HEV die Abgasreinigungsleistung bei der Steuerung des Aufwärmens des Katalysators durch das Zuführen elektrischer Leistung zu dem EHC gleichzeitig mit dem Starten der Kraftmaschine aufweisen (ein System zum gleichzeitigen Zuführen von Energie). Im Ergebnis der Untersuchungen durch die Erfinder der vorliegenden Erfindung ist festgestellt worden, dass der in der Patentliteratur 2 offenbarte EHC eine hervorragende Leistung in dem System zum vorbereitenden Zuführen von Energie aufweist, es aber insofern ein Problem gibt, als bei dem System zum gleichzeitigen Zuführen von Energie der EHC eine geringe Gleichmäßigkeit der Temperaturverteilung in der Wabenstruktur bereitstellt, was es unmöglich macht, dass der gesamte Katalysator die Aktivierungstemperatur effizient erreicht.

**[0009]** Die vorliegende Erfindung ist in Anbetracht der obigen Umstände gemacht worden, wobei es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist, in dem System zum gleichzeitigen Zuführen von Energie die Gleichmäßigkeit einer Temperaturverteilung in einer leitfähigen Wabenstruktur zu verbessern, wenn ein Fluid durch eine derartige Struktur hindurchgeht.

**[0010]** Der herkömmliche EHC einschließlich des in der Patentliteratur 2 offenbarten EHC weist eine hohe Leistung auf, um die Temperaturverteilung innerhalb des EHC gleichmäßig zu machen, wenn der EHC in einem Zustand erwärmt wird, in dem kein Gas strömt (siehe **Fig. 1(A)**). Weil jedoch in dem System zum gleichzeitigen Zuführen von Energie zum gleichen Zeitpunkt wie das Erwärmen des EHC Gas in die Wabenstruktur strömt, wird die Temperatur in der Nähe der Stirnfläche auf der Einlassseite des Abgases durch das Abgas mit einer relativ niedrigen Temperatur beim Starten der Kraftmaschine gekühlt, wodurch die Katalysatortemperatur nicht leicht ansteigt (siehe **Fig. 1(B)**). Folglich wird es unmöglich, es zu verursachen, dass der gesamte auf der Wabenstruktur getragene Katalysator die Aktivierungstemperatur effizient erreicht.

**[0011]** Basierend auf dem oben beschriebenen Ergebnis der Untersuchungen haben die Erfinder der vorliegenden Erfindung in Betracht gezogen, dass es nützlich ist, die Wärme bevorzugt in der Nähe der Stirnfläche auf der Einlassseite der Wabenstruktur zu erzeugen. Wenn gemäß einer derartigen Konfiguration der EHC in einem Zustand erwärmt wird, in dem kein Gas strömt, steigt die Temperatur in der Nähe des Einlasses schnell an, was die geringe Gleichmäßigkeit der Temperaturverteilung verursacht (siehe **Fig. 1(C)**). Weil jedoch in dem System zum gleichzeitigen Zuführen von Energie die Temperatur in der Nähe des Einlasses nicht leicht ansteigt, ist festgestellt worden, dass die Gleichmäßigkeit der Temperaturverteilung in dem EHC beim Starten der Kraftmaschine signifikant verbessert werden kann, indem eine derartige Konfiguration angewendet wird, (siehe **Fig. 1(D)**).

**[0012]** Die vorliegende Erfindung ist basierend auf den oben beschriebenen Feststellungen gemacht worden, wobei in einem Aspekt eine leitfähige Wabenstruktur geschaffen wird, die umfasst:

einen säulenförmigen leitfähigen Wabenstrukturabschnitt, der aufweist:

eine äußere Umfangsseitenwand; und

Trennwände, die innerhalb der äußeren Umfangsseitenwand angeordnet sind und die mehrere Zellen definieren, um Strömungswege zu bilden, so dass ein Fluid durch eine erste Stirnfläche in die Strömungswege eintreten und durch eine zweite Stirnfläche austreten kann;

wobei ein Paar von Elektrodenschichten, die sich in einer Strömungswegrichtung der Zellen erstrecken, einen Abschnitt einer Außenfläche der äußeren Umfangsseitenwand bildet,

eine Elektrodenschicht des Paares von Elektrodenschichten auf einer Seite angeordnet ist, die über eine Mittelachse des Wabenstrukturabschnitts der anderen Elektrodenschicht gegenüberliegt, und,

wenn die Wabenstruktur in der Strömungswegrichtung der Zellen in vier gleiche Abschnitte aufgeteilt ist, um vier Bereiche A, B, C und D von einer Seite näher bei der ersten Stirnfläche zu bilden, und ein Durchschnittswert der elektrischen Widerstände, die zwischen zwei Punkten in jedem der vier Bereiche gemessen werden, als  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_C$  und  $R_D$  in dieser Reihenfolge von der Seite näher bei der ersten Stirnfläche dargestellt ist, ein Vergleichsausdruck  $R_A \leq R_B \leq R_C \leq R_D$  (ausgenommen  $R_A = R_B = R_C = R_D$ ) erfüllt ist, vorausgesetzt, dass die beiden Punkte so bestimmt sind, dass ein Abstand zwischen dem Paar von Elektrodenschichten der längste in dem Querschnitt senkrecht zu der Strömungswegrichtung der Zellen ist, wobei jedoch, wenn es in einem derartigen Querschnitt kein Paar von Elektrodenschichten gibt, die beiden Punkte so bestimmt sind, dass ein Abstand zwischen den beiden Punkten der längste in dem Querschnitt ist.

**[0013]** In einer Ausführungsform der leitfähigen Wabenstruktur gemäß der vorliegenden Erfindung ist bezüglich  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_C$  und  $R_D$  ein Vergleichsausdruck  $R_A < R_B < R_C < R_D$  erfüllt.

**[0014]** In einer weiteren Ausführungsform der leitfähigen Wabenstruktur gemäß der vorliegenden Erfindung ist, wenn das Paar von Elektrodenschichten in der Strömungswegrichtung der Zellen in vier gleiche Abschnitte aufgeteilt ist, um vier Bereiche A, B, C und D von einer Seite näher bei der ersten Stirnfläche zu bilden, und ein Durchschnittswert der Abstände zwischen zwei Punkten in jedem der vier Bereiche als  $D_A$ ,  $D_B$ ,  $D_C$  und  $D_D$  in dieser Reihenfolge von der Seite näher bei der ersten Stirnfläche dargestellt ist, ein Vergleichsausdruck  $D_A \leq D_B \leq D_C \leq D_D$  (ausgenommen  $D_A = D_B = D_C = D_D$ ) erfüllt, vorausgesetzt, dass die beiden Punkte so bestimmt sind, dass ein Abstand zwischen dem Paar von Elektrodenschichten der kürzeste in dem Querschnitt senkrecht zu der Strömungswegrichtung der Zellen ist.

**[0015]** In einer noch weiteren Ausführungsform der leitfähigen Wabenstruktur gemäß der vorliegenden Erfindung ist bezüglich  $D_A$ ,  $D_B$ ,  $D_C$  und  $D_D$  ein Vergleichsausdruck  $D_A < D_B < D_C < D_D$  erfüllt.

**[0016]** In einer noch weiteren Ausführungsform der leitfähigen Wabenstruktur gemäß der vorliegenden Erfindung weist jede der Elektrodenschichten ein Ende in einem Bereich von 0 bis 5 % von der ersten Stirnfläche des Wabenstrukturabschnitts und das andere Ende in einem Bereich von 0 bis 75 % von der ersten Stirnfläche des Wabenstrukturabschnitts bezüglich einer Länge in der Strömungswegrichtung der Zellen von der ersten Stirnfläche zu der zweiten Stirnfläche des Wabenstrukturabschnitts auf, so dass sich die Elektrodenschicht von dem einen Ende in der Strömungswegrichtung der Zellen zu dem anderen Ende erstreckt.

**[0017]** In einer weiteren Ausführungsform der leitfähigen Wabenstruktur gemäß der vorliegenden Erfindung weist jede der Elektrodenschichten ein Ende in einem Bereich von 0 bis 5 % von der ersten Stirnfläche des Wabenstrukturabschnitts und das andere Ende in einem Bereich von 0 bis 50 % von der ersten Stirnfläche des Wabenstrukturabschnitts bezüglich einer Länge in der Strömungswegrichtung der Zellen von der ersten Stirnfläche zu der zweiten Stirnfläche des Wabenstrukturabschnitts auf, so dass sich die Elektrodenschicht von dem einen Ende in der Strömungswegrichtung der Zellen zu dem anderen Ende erstreckt.

**[0018]** In einer weiteren Ausführungsform der leitfähigen Wabenstruktur gemäß der vorliegenden Erfindung sind die Elektrodenschichten so ausgebildet, dass sie in irgendeinem Querschnitt senkrecht zu der Strömungswegrichtung der Zellen betrachtet bezüglich einer Linie, die die Mittelpunkte in einer Umfangsrichtung der Elektrodenschichten verbindet, liniensymmetrisch sind.

**[0019]** In einer noch weiteren Ausführungsform der leitfähigen Wabenstruktur gemäß der vorliegenden Erfindung ist eine Markierung, die eine Strömungsrichtung des Fluids angibt, auf der Wabenstruktur vorgesehen.

**[0020]** In einer noch weiteren Ausführungsform der leitfähigen Wabenstruktur gemäß der vorliegenden Erfindung fällt, wenn die Wabenstruktur, von der die Elektrodenschichten entfernt sind, in der Strömungswegrichtung der Zellen in vier gleiche Abschnitte aufgeteilt ist und die folgenden elektrischen Widerstände (1) bis (9) bezüglich jedes der vier gleich aufgeteilten Abschnitte gemessen werden:

- (1) ein elektrischer Widerstand in der Strömungswegrichtung der Zellen zwischen einem Schwerpunkt einer Stirnfläche und dem Schwerpunkt einer weiteren Stirnfläche,
- (2) ein elektrischer Widerstand in irgendeiner Richtung der Richtungen in der Ebene der einen Stirnfläche zwischen einem Schwerpunkt einer derartigen Stirnfläche und einem äußeren Umfangsrand des Wabenstrukturabschnitts,
- (3) ein elektrischer Widerstand in einer Richtung in der Ebene der einen Stirnfläche zwischen dem Schwerpunkt einer derartigen Stirnfläche und dem äußeren Umfangsrand des Wabenstrukturabschnitts, wobei die Richtung in der Ebene um  $90^\circ$  von der in (2) definierten Richtung verschieden ist,
- (4) ein elektrischer Widerstand in einer Richtung in der Ebene der einen Stirnfläche zwischen dem Schwerpunkt einer derartigen Stirnfläche und dem äußeren Umfangsrand des Wabenstrukturabschnitts, wobei die Richtung in der Ebene um  $180^\circ$  von der in (2) definierten Richtung verschieden ist,
- (5) ein elektrischer Widerstand in einer Richtung in der Ebene der einen Stirnfläche zwischen dem Schwerpunkt einer derartigen Stirnfläche und dem äußeren Umfangsrand des Wabenstrukturabschnitts, wobei die Richtung in der Ebene um  $270^\circ$  von der in (2) definierten Richtung verschieden ist,
- (6) ein elektrischer Widerstand in irgendeiner Richtung der Richtungen in der Ebene der anderen Stirnfläche zwischen einem Schwerpunkt einer derartigen Stirnfläche und einem äußeren Umfangsrand des Wabenstrukturabschnitts,
- (7) ein elektrischer Widerstand in einer Richtung in der Ebene der anderen Stirnfläche zwischen dem Schwerpunkt einer derartigen Stirnfläche und dem äußeren Umfangsrand des Wabenstrukturabschnitts, wobei die Richtung in der Ebene um  $90^\circ$  von der in (6) definierten Richtung verschieden ist,
- (8) ein elektrischer Widerstand in einer Richtung in der Ebene der anderen Stirnfläche zwischen dem Schwerpunkt einer derartigen Stirnfläche und dem äußeren Umfangsrand des Wabenstrukturabschnitts, wobei die Richtung in der Ebene um  $180^\circ$  von der in (6) definierten Richtung verschieden ist, und
- (9) ein elektrischer Widerstand in einer Richtung in der Ebene der anderen Stirnfläche zwischen dem Schwerpunkt einer derartigen Stirnfläche und dem äußeren Umfangsrand des Wabenstrukturabschnitts, wobei die Richtung in der Ebene um  $270^\circ$  von der in (6) definierten Richtung verschieden ist, um einen Durchschnittswert der elektrischen Widerstände in jeder Richtung der vier Abschnitte zu erhalten,
- der elektrische Widerstand in jeder der neun Richtungen jedes der vier Abschnitte in einen Bereich von  $\pm 10\%$  bezüglich des Durchschnittswerts der elektrischen Widerstände in der entsprechenden Richtung.

**[0021]** In einer noch weiteren Ausführungsform der leitfähigen Wabenstruktur gemäß der vorliegenden Erfindung ist, wenn das Paar von Elektrodenschichten in der Strömungswegrichtung der Zellen in vier gleiche Abschnitte aufgeteilt ist, um vier Bereiche A, B, C und D von einer Seite näher bei der ersten Stirnfläche zu bilden, und ein Durchschnittswert der spezifischen elektrischen Widerstände des Materials, das das Paar von Elektrodenschichten in jedem der oben beschriebenen vier Bereiche bildet, als  $r_A$ ,  $r_B$ ,  $r_C$  und  $r_D$  in dieser Reihenfolge von der Seite näher bei der ersten Stirnfläche dargestellt ist, ein Vergleichsausdruck  $r_A \leq r_B \leq r_C \leq r_D$  (ausgenommen  $r_A = r_B = r_C = r_D$ ) erfüllt.

**[0022]** In einer noch weiteren Ausführungsform der leitfähigen Wabenstruktur gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst ein Abschnitt der äußeren Umfangsseitenwand einen elektrisch isolierenden Schlitz, der sich in der Strömungswegrichtung der Zellen erstreckt, wobei der Schlitz zwischen den Abschnitten der äußeren Umfangsseitenwände angeordnet ist, wo jede des Paares von Elektrodenschichten die Außenfläche bildet.

**[0023]** Die vorliegende Erfindung ermöglicht, dass die Gleichmäßigkeit einer Temperaturverteilung einer leitfähigen Wabenstruktur verbessert ist, wenn ein Fluid durch eine derartige Struktur hindurchgeht. Wenn der Katalysator z. B. auf der leitfähigen Wabenstruktur gemäß der vorliegenden Erfindung getragen ist und das Abgas mit einer tiefen Temperatur, das durch eine derartige Struktur hindurchgeht, gereinigt wird, kann der Einlassabschnitt, in dem die Temperatur wahrscheinlich abfällt, die Wärme stärker erzeugen. Folglich ist die Gleichmäßigkeit der Temperaturverteilung in einer derartigen Struktur verbessert, wobei deshalb die Verbesserung der Katalysatorverwendung im Einlassabschnitt erwartet wird. Insbesondere wird die leitfähige Wabenstruktur gemäß der vorliegenden Erfindung bevorzugt in einem Abgasreinigungssystem eines Kraftfahrzeugs angewendet, das die Steuerung der gleichzeitigen Zuführung von Energie ausführt, durch die der Katalysator durch das Zuführen elektrischer Leistung zu der leitfähigen Wabenstruktur gleichzeitig mit dem Starten der Kraftmaschine aufgewärmt wird, wobei erwartet wird, dass es zur Verbesserung der Abgasreinigungsleistung beiträgt.

## KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**Fig.** 1 ist eine schematische graphische Darstellung zum Veranschaulichen des erfinderischen Konzepts der vorliegenden Erfindung;

**Fig.** 2-1 ist eine schematische perspektivische Ansicht einer Wabenstruktur gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

**Fig.** 2-2 ist eine schematische perspektivische Ansicht, die einen Fall veranschaulicht, in dem Anschlussverbindungsabschnitte an der Wabenstruktur gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung vorgesehen sind;

**Fig.** 3 ist eine in einem Querschnitt senkrecht zu einer Strömungswegrichtung der Zellen betrachtete schematische graphische Darstellung der Wabenstruktur gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

**Fig.** 4 ist eine konzeptionelle graphische Darstellung, die verschiedene Modifikationen der Wabenstruktur gemäß der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

**Fig.** 5 ist eine graphische Darstellung, die eine Testprozedur zum Messen verschiedener elektrischer Widerstände der leitfähigen Wabenstruktur gemäß der vorliegenden Erfindung veranschaulicht.

**Fig.** 6 sind die Kurven des Temperaturanstiegs in der Wabenstruktur des Vergleichsbeispiels 1 und des Beispiels 1.

**Fig.** 7 ist eine schematische perspektivische Ansicht einer Wabenstruktur gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung; und

**Fig.** 8 ist eine schematische graphische Darstellung der in einem Querschnitt senkrecht zu einer Strömungswegrichtung der Zellen betrachteten Wabenstruktur gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

## BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

**[0024]** Nun werden die Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung bezüglich der Zeichnungen ausführlich beschrieben. Es sollte selbstverständlich sein, dass die vorliegende Erfindung nicht vorgesehen ist, um auf die folgenden Ausführungsformen eingeschränkt zu sein, wobei basierend auf der durchschnittlichen Kenntnis der Fachleute auf dem Gebiet irgendeine Änderung, Verbesserung oder dergleichen der Bauform geeignet hinzugefügt werden kann, ohne vom Erfindungsgedanken der vorliegenden Erfindung abzuweichen.

## &lt;1. Die leitfähige Wabenstruktur&gt;

**[0025]** In **Fig.** 2-1 enthält eine leitfähige Wabenstruktur 100 einen säulenförmigen Wabenstrukturabschnitt 101, der eine äußere Umfangsseitenwand 102 und die Trennwände 110, die innerhalb der äußeren Umfangsseitenwand 102 angeordnet sind und mehrere Zellen 108 definieren, um Strömungswege zu bilden, so dass ein Fluid durch eine erste Stirnfläche 102 in die Strömungswege eintreten und durch eine zweite Stirnfläche 102 austreten kann, umfasst. Die äußere Umfangsseitenwand 102 der leitfähigen Wabenstruktur 100 enthält ein Paar von Elektrodenschichten 112, die sich in der Strömungswegrichtung der Zellen erstrecken. Eine Elektrodenschicht des Paares von Elektrodenschichten 112 ist auf einer Seite angeordnet, die über eine Mittelachse des Wabenstrukturabschnitts 101 der anderen Elektrodenschicht gegenüberliegt.

**[0026]** Wenn ein Anschluss mit jeder des Paares von Elektrodenschichten 112 verbunden ist und eine Spannung an das Paar von Elektrodenschichten 112 angelegt ist, kann die leitfähige Wabenstruktur 100 aufgrund der durch die Zufuhr von Energie erzeugten Jouleschen Wärme Wärme erzeugen. Ein Anschlussverbindungsabschnitt 103 zum Verbinden des Anschlusses kann an jeder der Elektrodenschichten 112 vorgesehen und mit jeder der Elektrodenschichten 112 verbunden sein, um die Verbindung des Anschlusses mit der Elektrodenschicht 112 zu fördern (**Fig.** 2-2). Die Wabenstruktur 100 kann geeignet als eine Heizvorrichtung verwendet werden. Weiterhin kann die Wabenstruktur 100 als ein Katalysatorkörper zum Tragen eines Katalysators auf der Wabenstruktur 100 verwendet werden. Ein Fluid, wie z. B. das Abgas eines Kraftfahrzeugs, kann z. B. durch die Strömungswege der mehreren Zellen 108 strömen. Die anzulegende Spannung kann nach Bedarf geändert werden, wobei sie von 12 bis 900 V reichen kann, aber nicht besonders auf 12 bis 900 V eingeschränkt ist. Wenn die Wabenstruktur 100 für ein Abgasreinigungssystem eines Kraftfahrzeugs verwendet wird, das die Steuerung der gleichzeitigen Zufuhr von Energie in dem geringen Fahrzeug-HEV ausführt, kann die angelegte Spannung von 12 bis 100 V, z. B. von 20 bis 60 V, reichen.

**[0027]** Eine Markierung, die eine Strömungsrichtung des Fluids angibt, kann an der Wabenstruktur vorgeschen sein, um zu verhindern, dass die erste Stirnfläche 104 als ein Fluideinlass irrtümlich für die zweite Stirnfläche 106 als ein Fluidauslass gehalten wird. Obwohl irgendein Verfahren, das die Strömungsrichtung des Fluids erkennen kann, als ein Verfahren zum Bereitstellen einer Markierung verwendet werden kann, enthält ein Beispiel des Verfahrens zum Bereitstellen einer Markierung ein Verfahren zum Zeichnen eines Pfeils mit Tinte oder dergleichen auf die äußere Umfangsseitenwand 102 der leitfähigen Wabenstruktur 100.

(1-1 Die Elektrodenschicht)

**[0028]** In **Fig. 3** enthält die äußere Umfangsseitenwand 102 der leitfähigen Wabenstruktur 100 das Paar von Elektrodenschichten 112, das sich in der Strömungswegrichtung der Zellen über eine Mittelachse O des Wabenstrukturabschnitts 101 erstreckt. In diesem Fall bildet jede der Elektrodenschichten 112 einen Abschnitt einer Außenfläche der äußeren Umfangsseitenwand 102. Die Elektrodenschichten 112 können dazu dienen, den Strom in der Umfangsrichtung und in der Strömungswegrichtung auszubreiten, um die gleichmäßige Wärmeerzeugung zu verbessern. Hinsichtlich des Verbesserns der gleichmäßigen Wärmeerzeugung in der Umfangsrichtung der Wabenstruktur 100 sind die Elektrodenschichten 112 vorzugsweise so ausgebildet, dass sie bei Betrachtung in irgendeinem Querschnitt senkrecht zu der Strömungswegrichtung der Zellen (**Fig. 3**) bezüglich einer Mittellinie M, die die Mittelpunkte in der Umfangsrichtung der Elektrodenschichten 112 verbindet, liniensymmetrisch sind.

**[0029]** In dem Querschnitt senkrecht zu der Strömungswegrichtung der Zellen 108 ist ein Winkel  $\theta$  ( $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ ), der durch zwei Liniensegmente gebildet wird, die sich von den jeweiligen Umfangsmitten des Paares von Elektrodenschichten 112 zu der Mittelachse O des Wabenstrukturabschnitts 101 erstrecken, bevorzugt  $150^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$  und bevorzugter  $160^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$  und noch bevorzugter  $170^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$  und am bevorzugtesten  $180^\circ$  (**Fig. 3**).

**[0030]** Wenn die äußere Umfangsseitenwand 102 der leitfähigen Wabenstruktur 100 mit den Elektrodenschichten 112 versehen ist, ist es bevorzugt, dass wenigstens einer der zwei oder mehr Anschlussverbindungsabschnitte 103 auf jeder der Elektrodenschichten 112 angeordnet ist, so dass er sich hinsichtlich des Verbesserns der Gleichmäßigkeit der Temperaturverteilung der Wabenstruktur 100 mit den Elektrodenschichten 112 in Kontakt befindet. Überdies ist es bevorzugter, dass die Anzahl der Anschlussverbindungsabschnitte 103, die auf jeder der Elektrodenschichten angeordnet ist, zueinander gleich ist. In einer beispielhaften Ausführungsform ist ein Paar von Anschlussverbindungsabschnitten 103, die auf den jeweiligen Umfangsmitten der Elektrodenschichten 112 angeordnet sind, so angeordnet, dass sie über die Mittelachse des Wabenstrukturabschnitts 101 einander zugewandt sind.

**[0031]** In einer Ausführungsform der leitfähigen Wabenstruktur 100 ist, wenn die Wabenstruktur 100 in der Strömungswegrichtung der Zellen in vier gleiche Abschnitte aufgeteilt ist, um die vier Bereiche A, B, C und D von der Seite näher bei der ersten Stirnfläche (einem Fluideinlass) zu bilden, und ein Durchschnittswert der elektrischen Widerstände, die zwischen zwei Punkten gemessen worden sind, (die elektrischen Widerstände zwischen P1 und P2 in **Fig. 3**) in jedem der oben beschriebenen vier Bereiche als  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_C$  und  $R_D$  in dieser Reihenfolge von der Seite näher bei der ersten Stirnfläche dargestellt ist, ein Vergleichsausdruck  $R_A \leq R_B \leq R_C \leq R_D$  (ausgenommen  $R_A = R_B = R_C = R_D$ ) erfüllt, vorausgesetzt, dass die beiden Punkte so bestimmt sind, dass ein Abstand zwischen dem Paar von Elektrodenschichten der längste in einem Querschnitt senkrecht zu der Strömungswegrichtung der Zellen ist. Es wird angegeben, dass, wenn es kein Paar von Elektrodenschichten in einem derartigen Querschnitt gibt, die beiden Punkte so bestimmt werden, dass ein Abstand zwischen den beiden Punkten der längste in dem Querschnitt ist. Weil ein Widerstand der Zufuhr von Energie vom Auslass zum Einlass des Fluids in der Wabenstruktur 100 schrittweise abnimmt, wird die Wirkung erhalten, dass die Wabenstruktur die Wärme näher beim Einlass leicht erzeugt. In der vorliegenden Erfindung ist der elektrische Widerstand zwischen den oben beschriebenen Elektrodenschichten 112 als ein Wert definiert, der bei  $25^\circ\text{C}$  durch ein Vier-Anschluss-Verfahren gemessen wird.

**[0032]** Um die Wärme bevorzugt in der Nähe des Einlasses der Wabenstruktur 100 zu erzeugen, ist bezüglich  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_C$  und  $R_D$  der Vergleichsausdruck  $R_A \leq R_B \leq R_C \leq R_D$  (ausgenommen  $R_A = R_B = R_C = R_D$ ) bevorzugt erfüllt und ist der Vergleichsausdruck  $R_A < R_B < R_C < R_D$  bevorzugter erfüllt und ist der Vergleichsausdruck  $R_A < 0,7R_B < 0,6R_C < 0,5R_D$  noch bevorzugter erfüllt.

**[0033]** Der elektrische Widerstand, der zwischen zwei Punkten gemessen wird, die so bestimmt sind, dass ein Abstand zwischen dem Paar von Elektrodenschichten der längste in dem Querschnitt senkrecht zu der Strömungswegrichtung der Zellen ist, kann durch das Ändern z. B. eines oder mehrerer von (1) einem

Abstand zwischen zwei Punkten, die so bestimmt sind, dass der Abstand zwischen dem Paar von Elektrodenschichten der kürzeste in dem Querschnitt senkrecht zu der Strömungswegrichtung der Zellen ist, (2) dem spezifischen elektrischen Widerstand des Materials, das jede der Elektrodenschichten bildet, und (3) der Dicke jeder der Elektrodenschichten eingestellt werden. Wenn der Abstand zwischen zwei Punkten, die so bestimmt sind, dass der Abstand zwischen dem Paar von Elektrodenschichten der kürzeste ist, kürzer ist, wird der oben beschriebene elektrische Widerstand klein, während umgekehrt, wenn der Abstand zwischen zwei Punkten, die so bestimmt sind, dass der Abstand zwischen dem Paar von Elektrodenschichten der kürzeste ist, länger ist, der oben beschriebene elektrische Widerstand größer wird. Wenn der spezifische elektrische Widerstand des Materials, das jede der Elektrodenschichten bildet, klein wird, wird der oben beschriebene elektrische Widerstand klein, während umgekehrt, wenn der spezifische elektrische Widerstand des Materials, das jede der Elektrodenschichten bildet, groß wird, der oben beschriebene elektrische Widerstand groß wird. Wenn die Dicke der Elektrodenschichten groß wird, wird der oben beschriebene elektrische Widerstand klein, während umgekehrt, wenn die Dicke der Elektrodenschichten klein wird, der oben beschriebene elektrische Widerstand groß wird.

**[0034]** In einer Ausführungsform der leitfähigen Wabenstruktur 100 ist, wenn das Paar von Elektrodenschichten 112 in der Strömungswegrichtung der Zellen in vier gleiche Abschnitte aufgeteilt ist, um die vier Bereiche A, B, C und D von der Seite näher bei der ersten Stirnfläche zu bilden, und ein Durchschnittswert der Abstände zwischen zwei Punkten (die Abstände zwischen Q1 und Q2 in **Fig. 3**) in jedem der oben beschriebenen vier Bereiche als  $D_A$ ,  $D_B$ ,  $D_C$  und  $D_D$  in dieser Reihenfolge von der Seite näher bei der ersten Stirnfläche dargestellt ist, ein Vergleichsausdruck  $D_A \leq D_B \leq D_C \leq D_D$  (ausgenommen  $D_A = D_B = D_C = D_D$ ) erfüllt, vorausgesetzt, dass die beiden Punkte so bestimmt sind, dass ein Abstand zwischen dem Paar von Elektrodenschichten der kürzeste in dem Querschnitt senkrecht zu der Strömungswegrichtung der Zellen ist.

**[0035]** Um die Wärme bevorzugter in der Nähe des Einlasses der Wabenstruktur 100 zu erzeugen, ist bezüglich  $D_A$ ,  $D_B$ ,  $D_C$  und  $D_D$  der Vergleichsausdruck  $D_A \leq D_B \leq D_C \leq D_D$  (ausgenommen  $D_A = D_B = D_C = D_D$ ) bevorzugt erfüllt und ist der Vergleichsausdruck  $D_A < D_B < D_C < D_D$  bevorzugter erfüllt und ist der Vergleichsausdruck  $D_A < 0,83D_B < 0,73D_C < 0,68D_D$  noch bevorzugter erfüllt.

**[0036]** Bezuglich der Elektrodenschichten 112 ist in jedem Bereich der oben beschriebenen vier Bereiche in dem Querschnitt senkrecht zu der Strömungswegrichtung der Zellen ein Zentriwinkel  $\alpha$ , der durch die zwei Liniensegmente gebildet wird, die beide Seitenenden der jeweiligen Elektrodenschichten 112 in der Umfangsrichtung mit der Mittelachse 0 verbinden, hinsichtlich des Ausbreitens des Stroms in der Umfangsrichtung, um die gleichmäßige Wärmeerzeugung zu verbessern, (**Fig. 3**) bevorzugt  $30^\circ$  oder größer und bevorzugter  $40^\circ$  oder größer und noch bevorzugter  $60^\circ$  oder größer. Falls jedoch der Zentriwinkel  $\alpha$  zu groß ist, wird der durch das Innere des Wabenstrukturabschnitts 101 hindurchgehende Strom verkleinert, während der in der Nähe der äußeren Umfangsseitenwand 102 hindurchgehende Strom vergrößert wird. Deshalb ist der Zentriwinkel  $\alpha$  hinsichtlich der gleichmäßigen Wärmeerzeugung des Wabenstrukturabschnitts 101 bevorzugt  $140^\circ$  oder kleiner und bevorzugter  $130^\circ$  oder kleiner und noch bevorzugter  $120^\circ$  oder kleiner.

**[0037]** Um die Wärme bevorzugt in der Nähe des Einlasses der Wabenstruktur 100 zu erzeugen, weist jede der Elektrodenschichten 112 bevorzugt ein Ende in einem Bereich von 0 bis 5 % von der ersten Stirnfläche 104 bezüglich einer Länge in der Strömungswegrichtung der Zellen von der ersten Stirnfläche 104 zu der zweiten Stirnfläche 106 des Wabenstrukturabschnitts 101 auf. Weiterhin weist jede der Elektrodenschichten 112 hinsichtlich des Verbesserns der Gleichmäßigkeit der Temperaturverteilung in der Strömungswegrichtung der Zellen der Wabenstruktur 100 bevorzugt das andere Ende in einem Bereich von 0 bis 75 % von der ersten Stirnfläche 104 und noch bevorzugt das andere Ende in einem Bereich von 0 bis 50 % von der ersten Stirnfläche 104 bezüglich der Länge in der Strömungswegrichtung der Zellen von der ersten Stirnfläche 104 zu der zweiten Stirnfläche 106 des Wabenstrukturabschnitts 101 auf.

**[0038]** In einer Ausführungsform der leitfähigen Wabenstruktur 100 ist, wenn das Paar von Elektrodenschichten 112 in der Strömungswegrichtung der Zellen in vier gleiche Abschnitte aufgeteilt ist, um die vier Bereiche A, B, C und D von der Seite näher bei der ersten Stirnfläche zu bilden, und ein Durchschnittswert der spezifischen elektrischen Widerstände des Materials, das das Paar von Elektrodenschichten in jedem der oben beschriebenen vier Bereiche bildet, als  $r_A$ ,  $r_B$ ,  $r_C$  und  $r_D$  in dieser Reihenfolge von der Seite näher bei der ersten Stirnfläche dargestellt ist, ein Vergleichsausdruck  $r_A \leq r_B \leq r_C \leq r_D$  (ausgenommen  $r_A = r_B = r_C = r_D$ ) erfüllt.

**[0039]** Um die Wärme bevorzugter in der Nähe des Einlasses der Wabenstruktur 100 zu erzeugen, ist bezüglich  $r_A$ ,  $r_B$ ,  $r_C$  und  $r_D$  der Vergleichsausdruck  $r_A \leq r_B \leq r_C \leq r_D$  (ausgenommen  $r_A = r_B = r_C = r_D$ ) bevorzugt

erfüllt und ist der Vergleichsausdruck  $r_A < r_B < r_C < r_D$  bevorzugter erfüllt und ist der Vergleichsausdruck  $r_A < 0,25r_B < 0,125r_C < 0,1r_D$  noch bevorzugter erfüllt.

**[0040]** Hinsichtlich der Elektrodenschichten 112 in jedem Bereich der oben beschriebenen vier Bereiche fließt die Elektrizität durch das Einstellen des spezifischen elektrischen Widerstands der Elektrodenschichten 112, so dass er kleiner als der spezifische elektrische Widerstand eines Abschnitts des Wabenstrukturabschnitts 101 ist, der innerhalb der Elektrodenschichten 112 angeordnet ist, (eines Abschnitts der äußeren Umfangsseitenwand, der innerhalb der Elektrodenschichten angeordnet ist, und der Trennwände), bevorzugt zu den Elektrodenschichten, wobei die Tendenz besteht, dass sich die Elektrizität während der Zufuhr von Energie leicht in der Strömungswegrichtung der Zellen und in der Umfangsrichtung ausbreitet. Der spezifische elektrische Widerstand der Elektrodenschichten 112 ist bevorzugt 1/10 oder kleiner, bevorzugter 1/20 oder kleiner und noch bevorzugter 1/30 oder kleiner des spezifischen elektrischen Widerstands des Wabenstrukturabschnitts 101. Falls jedoch der Unterschied zwischen den spezifischen elektrischen Widerständen der beiden zu groß ist, konzentriert sich der Strom zwischen den Endabschnitten der Elektrodenschichten, die einander zugewandt sind, und ist die Wärmeerzeugung des Wabenstrukturabschnitts vorbelastet, so dass der spezifische elektrische Widerstand der Elektrodenschichten 112 bevorzugt 1/200 oder größer und bevorzugter 1/150 oder größer und noch bevorzugter 1/100 oder größer des spezifischen elektrischen Widerstands des Wabenstrukturabschnitts 101 ist. In der vorliegenden Erfindung ist der spezifische elektrische Widerstand der Elektrodenschichten 112 als ein Wert definiert, der bei 25 °C durch ein Vier-Anschluss-Verfahren gemessen wird.

**[0041]** In einer Ausführungsform der leitfähigen Wabenstruktur 100 ist, wenn das Paar von Elektrodenschichten 112 in der Strömungswegrichtung der Zellen in vier gleiche Abschnitte aufgeteilt ist, um die vier Bereiche A, B, C und D von der Seite näher bei der ersten Stirnfläche zu bilden, und ein Durchschnittswert der Dicke des Paares von Elektrodenschichten in jedem der oben beschriebenen vier Bereiche als  $U_A$ ,  $U_B$ ,  $U_C$  und  $U_D$  in dieser Reihenfolge von der Seite näher bei der ersten Stirnfläche dargestellt ist, ein Vergleichsausdruck  $U_A \geq U_B \geq U_C \geq U_D$  (ausgenommen  $U_A = U_B = U_C = U_D$ ) erfüllt.

**[0042]** Um die Wärme bevorzugter in der Nähe des Einlasses der Wabenstruktur 100 zu erzeugen, ist bezüglich  $U_A$ ,  $U_B$ ,  $U_C$  und  $U_D$  der Vergleichsausdruck  $U_A \geq U_B \geq U_C \geq U_D$  (ausgenommen  $U_A = U_B = U_C = U_D$ ) bevorzugt erfüllt und ist der Vergleichsausdruck  $U_A > U_B > U_C > U_D$  bevorzugter erfüllt und ist der Vergleichsausdruck  $U_A > 10U_D$  noch bevorzugter erfüllt.

**[0043]** Hinsichtlich der Elektrodenschichten 112 in jedem Bereich der oben beschriebenen vier Bereiche reicht die Dicke der Elektrodenschichten 112 bevorzugt von 0,01 bis 5 mm und bevorzugter von 0,01 bis 3 mm. Wenn die Dicke der Elektrodenschichten 112 kleiner als 0,01 mm ist, ist der elektrische Widerstand vergrößert, so dass die Temperaturverteilung nicht gesteuert werden kann. Wenn die Dicke größer als 5 mm ist, kann während des Einhülsens ein Bruch auftreten. Die Dicke der Elektrodenschichten 112 ist bei Betrachtung in einem Querschnitt senkrecht zu der Strömungswegrichtung der Zellen als eine Dicke in einer Normalenrichtung bezüglich einer Tangente der Außenfläche jeder der Elektrodenschichten 112 an einer Position, um die Dicke jeder der Elektrodenschichten 112 zu messen, definiert.

**[0044]** **Fig. 4** ist eine konzeptionelle graphische Darstellung, die verschiedene Modifikationen einschließlich der oben beschriebenen Ausführungsform der leitfähigen Wabenstruktur gemäß der vorliegenden Erfindung veranschaulicht.

**[0045]** In einer in **Fig. 4(A)** veranschaulichten Ausführungsform erstrecken sich die Elektrodenschichten 112 über die volle Länge des Strömungswegs der Zelle. Weiterhin wird die Breite der Elektrodenschichten 112 in der Umfangsrichtung in der Stromabwärtsrichtung schmäler, wobei der Vergleichsausdruck  $D_A < D_B < D_C < D_D$  (die Definition ist so, wie oben beschrieben worden ist) erfüllt ist.

**[0046]** In einer in **Fig. 4(B)** veranschaulichten Ausführungsform erstrecken sich die Elektrodenschichten 112 über die volle Länge des Strömungswegs der Zelle. Die Elektrodenschichten 112 sind so ausgebildet, dass der spezifische elektrische Widerstand von der Einlassseite stufenweise vergrößert ist, wobei der Vergleichsausdruck  $r_A < r_B < r_C < r_D$  (die Definition ist so, wie oben beschrieben worden ist) erfüllt ist.

**[0047]** In einer in **Fig. 4(C)** veranschaulichten Ausführungsform weisen die Elektrodenschichten 112 bezüglich der vollen Länge des Strömungswegs der Zelle ein Ende in einem Bereich von 0 bis 5 % von der ersten Stirnfläche 104 und das andere Ende in einem Bereich von 20 bis 50 % von der ersten Stirnfläche 104 auf.

**[0048]** In einer in **Fig. 4(D)** veranschaulichten Ausführungsform weisen die Elektrodenschichten 112 bezüglich der vollen Länge des Strömungswegs der Zelle ein Ende in einem Bereich von 0 bis 5 % von der ersten Stirnfläche und das andere Ende in einem Bereich von 20 bis 50 % von der ersten Stirnfläche 104 auf. Weiterhin wird die Breite der Elektrodenschichten 112 in der Umfangsrichtung in der Stromabwärtsrichtung schmäler, wobei der Vergleichsausdruck  $D_A < D_B < D_C < D_D$  (die Definition ist so, wie oben beschrieben worden ist) erfüllt ist.

**[0049]** **Fig. 4(E)** ist als ein Vergleichsbeispiel dargestellt. In **Fig. 4(E)** erstrecken sich die Elektrodenschichten 112 über die volle Länge des Strömungswegs der Zelle. Weiterhin ist die Breite der Elektrodenschichten in der Umfangsrichtung konstant, wobei der Vergleichsausdruck  $D_A = D_B = D_C = D_D$  (die Definition ist so, wie oben beschrieben worden ist) erfüllt ist. Folglich ist keine Konfiguration entwickelt, um die Wärme bevorzugt in der Nähe des Einlasses zu erzeugen, wobei, falls die Temperatur des in den Einlass strömenden Gases tief ist, es wahrscheinlich ist, dass die Temperatur der Nähe des Einlasses des Wabenstrukturabschnitts fällt.

**[0050]** Als das Material der Elektrodenschichten 112 können Metalle und leitfähige Keramiken verwendet werden. Die Beispiele der Metalle enthalten elementares Metall Ag, Cu, Ni, Au, Pd, Cr, Fe, Co, Ni, Si oder Ti oder eine Legierung, die wenigstens ein Metall enthält, das aus der Gruppe ausgewählt ist, die diese Metalle umfasst. Die Beispiele der leitfähigen Keramik enthalten, sind aber nicht eingeschränkt auf Siliciumcarbid (SiC), Metallverbindungen, wie z. B. Metallsilicide einschließlich Tantalsilicid ( $TaSi_2$ ) und Chromsilicid ( $CrSi_2$ ). Sie enthalten außerdem Verbundmaterialien (Cermet), die aus einer Kombination aus wenigstens einer der oben aufgelisteten leitfähigen Keramiken mit wenigstens einem der oben aufgelisteten Metalle bestehen. Spezifische Beispiele des Cermet enthalten Verbundmaterialien aus metallischem Silicium und Siliciumcarbid, Verbundmaterialien aus einem Metallsilicid, wie z. B. Tantalsilicid oder Chromsilicid, mit metallischem Silicium und Siliciumcarbid. Sie enthalten außerdem hinsichtlich der Verringerung der Wärmeausdehnung Verbundmaterialien, die durch das Hinzufügen von einer oder zwei oder mehr isolierenden Keramiken, wie z. B. Aluminiumoxid, Mullit, Zirkondioxid, Cordierit, Siliciumnitrid und Aluminiumnitrid, zu einem oder zwei oder mehr der obigen Metalle erhalten werden. Es ist bevorzugt, dass das Material der Elektrodenschichten 112 eine Kombination der Metallsilicide, wie z. B. Tantalsilicid und Chromsilicid, mit den Verbundmaterialien des metallischen Siliciums und des Siliciumcarbids unter den verschiedenen Metallen und leitfähigen Keramiken, wie sie oben aufgelistet worden sind, ist, weil es zum gleichen Zeitpunkt wie der Wabenstrukturabschnitt gebrannt werden kann, so dass es zu der Vereinfachung der Herstellungsschritte beitragen kann.

#### (1-2 Der Wabenstrukturabschnitt)

**[0051]** Wie oben beschrieben worden ist, ist in der leitfähigen Wabenstruktur 100 eine Konfiguration jeder der Elektrodenschichten so entwickelt, um die Wärme bevorzugt in der Nähe des Einlasses der Wabenstruktur 100 zu erzeugen, wenn die Elektrizität angelegt ist. Andererseits ist es bezüglich eines Abschnitts des Wabenstrukturabschnitts 101, der innerhalb der Elektrodenschichten 112 angeordnet ist, (eines Abschnitts der äußeren Umfangsseitenwand, der innerhalb der Elektrodenschichten angeordnet ist, und der Trennwände) bevorzugt, dass das Material in der Strömungswegrichtung der Zelle hinsichtlich der Produktionseffizienz und der Produktionskosten nicht geändert wird, wenn die Wabenstruktur 100 durch Strangpressen industriell hergestellt wird.

**[0052]** Entsprechend fällt in einer Ausführungsform, wenn die leitfähige Wabenstruktur 100, von der die Elektrodenschichten 112 entfernt sind (siehe **Fig. 5(B)**), in der Strömungswegrichtung der Zellen in vier gleiche Abschnitte aufgeteilt ist (siehe **Fig. 5(C)**) und die folgenden elektrischen Widerstände (1) bis (9) bezüglich jedes der gleich aufgeteilten vier Abschnitte gemessen werden:

- (1) ein elektrischer Widerstand in der Strömungswegrichtung der Zellen zwischen einem Schwerpunkt einer Stirnfläche und dem Schwerpunkt einer weiteren Stirnfläche,
- (2) ein elektrischer Widerstand in irgendeiner Richtung der Richtungen in der Ebene der einen Stirnfläche zwischen einem Schwerpunkt einer derartigen Stirnfläche und einem äußeren Umfangsrand des Wabenstrukturabschnitts,
- (3) ein elektrischer Widerstand in einer Richtung in der Ebene der einen Stirnfläche zwischen dem Schwerpunkt einer derartigen Stirnfläche und dem äußeren Umfangsrand des Wabenstrukturabschnitts, wobei die Richtung in der Ebene um  $90^\circ$  von der in (2) definierten Richtung verschieden ist,
- (4) ein elektrischer Widerstand in einer Richtung in der Ebene der einen Stirnfläche zwischen dem Schwerpunkt einer derartigen Stirnfläche und dem äußeren Umfangsrand des Wabenstrukturabschnitts, wobei die Richtung in der Ebene um  $180^\circ$  von der in (2) definierten Richtung verschieden ist,

(5) ein elektrischer Widerstand in einer Richtung in der Ebene der einen Stirnfläche zwischen dem Schwerpunkt einer derartigen Stirnfläche und dem äußeren Umfangsrand des Wabenstrukturabschnitts, wobei die Richtung in der Ebene um  $270^{\circ}$  von der in (2) definierten Richtung verschieden ist,

(6) ein elektrischer Widerstand in irgendeiner Richtung der Richtungen in der Ebene der anderen Stirnfläche zwischen einem Schwerpunkt einer derartigen Stirnfläche und einem äußeren Umfangsrand des Wabenstrukturabschnitts,

(7) ein elektrischer Widerstand in einer Richtung in der Ebene der anderen Stirnfläche zwischen dem Schwerpunkt einer derartigen Stirnfläche und dem äußeren Umfangsrand des Wabenstrukturabschnitts, wobei die Richtung in der Ebene um  $90^{\circ}$  von der in (6) definierten Richtung verschieden ist,

(8) ein elektrischer Widerstand in einer Richtung in der Ebene der anderen Stirnfläche zwischen dem Schwerpunkt einer derartigen Stirnfläche und dem äußeren Umfangsrand des Wabenstrukturabschnitts, wobei die Richtung in der Ebene um  $180^{\circ}$  von der in (6) definierten Richtung verschieden ist, und

(9) ein elektrischer Widerstand in einer Richtung in der Ebene der anderen Stirnfläche zwischen dem Schwerpunkt einer derartigen Stirnfläche und dem äußeren Umfangsrand des Wabenstrukturabschnitts, wobei die Richtung in der Ebene um  $270^{\circ}$  von der in (6) definierten Richtung verschieden ist, um einen Durchschnittswert der elektrischen Widerstände in jeder Richtung der vier Abschnitte zu erhalten,

der elektrische Widerstand in jeder der oben beschriebenen neun Richtungen jedes der vier Abschnitte in einen Bereich von  $\pm 10\%$  und bevorzugt in einen Bereich von  $\pm 5\%$  und bevorzugter in einen Bereich von  $\pm 2\%$  bezüglich des Durchschnittswerts der elektrischen Widerstände in der entsprechenden Richtung. Die Wabenstruktur mit einer derartigen Eigenschaft kann als ein einteilig geformter Teil bereitgestellt werden.

**[0053]** In der vorliegenden Erfindung sind diese elektrischen Widerstände als Werte definiert, die bei  $25^{\circ}\text{C}$  durch ein Vier-Anschluss-Verfahren gemessen werden.

**[0054]** Die äußere Form des Wabenstrukturabschnitts 101 kann irgendeine Säulenform sein. Die äußere Form des Wabenstrukturabschnitts 101 kann z. B. eine Säulenform mit kreisförmigen Böden (eine zylindrische Form), eine Säulenform mit ovalen Böden, eine Säulenform mit polygonalen Böden (viereckige, fünfeckige, sechseckige, siebeneckige und achtseckige Formen usw.) oder dergleichen sein. Für die Größe des Wabenstrukturabschnitts 101 beträgt ein Flächeninhalt der Stirnfläche aus dem Grund des Verbesserns der Wärmebeständigkeit (des Verhinderns von Rissen, die in der äußeren Umfangsseitenwand in der Umfangsrichtung erzeugt werden) bevorzugt 2000 bis 20000  $\text{mm}^2$  und bevorzugter 5000 bis 15000  $\text{mm}^2$ .

**[0055]** In **Fig. 3** kann die äußere Umfangsseitenwand 102 ein Paar von Vorsprungabschnitten 116 enthalten, die sich in der Strömungswegrichtung der Zellen über die Mittelachse des Wabenstrukturabschnitts 101 erstrecken. Die Anschlüsse, die mit der Wabenstruktur 100 zu verbinden sind, sind bevorzugt mit den jeweiligen Positionen verbunden, wo die Vorsprungabschnitte 116 ausgebildet sind. Die Dicke der Abschnitte, die das Paar von Vorsprungabschnitten 116 auf der äußeren Umfangsseitenwand 102 aufweisen, ist relativ dicker, so dass der elektrische Widerstand in der Strömungswegrichtung der Zellen (der axialen Richtung) abnimmt, wobei die Tendenz besteht, dass der in die Anschlussverbindungsabschnitte 103 fließende Strom sich in der Strömungswegrichtung der Zellen ausbreitet. Dies kann zu einer verbesserten Gleichmäßigkeit der Temperaturverteilung in der axialen Richtung des Wabenstrukturabschnitts 101 führen.

**[0056]** Das Material des Wabenstrukturabschnitts 101 kann irgendein leitfähiges Material sein, wobei Metalle, Keramiken oder dergleichen als das Material des Wabenstrukturabschnitts 101 verwendet werden können. Der spezifische elektrische Widerstand des Wabenstrukturabschnitts 101 kann irgendein spezifischer elektrischer Widerstand sein, der es der Wabenstruktur 100 ermöglicht, aufgrund der durch die Zufuhr von Energie erzeugten Jouleschen Wärme Wärme zu erzeugen, wobei aber der spezifische elektrische Widerstand des Wabenstrukturabschnitts 101 bevorzugt von 0,1 bis 200  $\Omega\text{cm}$  und bevorzugter von 0,2 bis 100  $\Omega\text{cm}$  reicht. In der vorliegenden Erfindung ist der spezifische elektrische Widerstand des Wabenstrukturabschnitts 101 als ein Wert definiert, der bei  $25^{\circ}\text{C}$  durch ein Vier-Anschluss-Verfahren gemessen wird.

**[0057]** Wenn der Wabenstrukturabschnitt 101 aus einer Keramik besteht, ist das Material des Wabenstrukturabschnitts 101 hinsichtlich der Kompatibilität der Wärmebeständigkeit und der elektrischen Leitfähigkeit bevorzugt eine Keramik, die hauptsächlich auf einem Silizium-Siliciumcarbid-Verbundmaterial oder Siliciumcarbid basiert, ist aber nicht auf diese eingeschränkt, und bevorzugter ein Silicium-Siliciumcarbid-Verbundmaterial oder Siliciumcarbid. Der Ausdruck „das Material des Wabenstrukturabschnitts 101 ist eine Keramik,

die hauptsächlich auf einem Silizium-Siliciumcarbid-Verbundmaterial basiert“, wie er hier verwendet wird, bedeutet, dass 90 Masse-% oder mehr des gesamten Wabenstrukturabschnitts 101 das Silicium-Siliciumcarbid-Verbundmaterial (die Gesamtmasse) enthält. Hier enthält das Silicium-Siliciumcarbid-Verbundmaterial Siliciumcarbidpartikel als ein Aggregat und Silicium als ein Bindemittel, um die Siliciumcarbidpartikel miteinander zu verbinden, wobei es bevorzugt ist, dass mehrere Siliciumcarbidpartikel durch Silicium verbunden sind, so dass zwischen den Siliciumcarbidpartikeln Poren ausgebildet sind. Der Ausdruck „das Material des Wabenstrukturabschnitts 101 ist eine Keramik, die hauptsächlich auf Siliciumcarbid basiert“, wie er hier verwendet wird, bedeutet, dass 90 Masse-% oder mehr des gesamten Wabenstrukturabschnitts 101 das Siliciumcarbid (die Gesamtmasse) enthält.

**[0058]** Wenn das Material des Wabenstrukturabschnitts 101 das Silicium-Siliciumcarbid-Verbundmaterial ist, beträgt ein Verhältnis der „Masse des Siliciums als ein Bindemittel“, die in dem Wabenstrukturabschnitt 101 enthalten ist, zur Gesamtmenge der „Masse der Siliciumcarbidpartikel als ein Aggregat“, die in dem Wabenstrukturabschnitt 101 enthalten ist, und der „Masse des Siliciums als ein Bindemittel“, die in dem Wabenstrukturabschnitt 101 enthalten ist, bevorzugt von 10 bis 40 Masse-% und bevorzugter von 15 bis 35 Masse-%. Wenn es kleiner als 10 Masse-% ist, kann die Festigkeit des Wabenstrukturabschnitts 101 verringert sein. Wenn es höher als 40 Masse-% ist, kann die Form während des Brennens nicht beibehalten werden.

**[0059]** Die Form der Zelle in dem Querschnitt senkrecht zu der Strömungswegrichtung der Zellen enthält bevorzugt ein Viereck, ein Sechseck, ein Achteck oder eine Kombination daraus, ist aber nicht auf diese eingeschränkt. Unter diesen sind ein Viereck und ein Sechseck bevorzugt. Eine derartige Zellenform führt zu einem verringerten Druckverlust, wenn ermöglicht wird, dass das Abgas durch die Wabenstruktur strömt, wobei dadurch eine verbesserte Reinigungsleistung des Katalysators geschaffen wird. Das Rechteck ist vom Standpunkt, wenn darauf abgezielt wird, sowohl die Strukturfestigkeit als auch die Gleichmäßigkeit der Temperaturverteilung in der Wabenstruktur zu erreichen, besonders bevorzugt.

**[0060]** Die Dicke der Trennwände 110 zum Partitionieren und Definieren der Zellen 108 reicht bevorzugt von 0,1 bis 0,3 mm und bevorzugter von 0,15 bis 0,25 mm. Die Dicke der Trennwände 110 von 0,1 mm oder größer ermöglicht die Unterdrückung einer Abnahme der Festigkeit der Wabenstruktur. Die Dicke der Trennwände 110 von 0,3 mm oder kleiner ermöglicht die Unterdrückung der Zunahme des Druckverlusts während des Strömens des Abgases, wenn der Katalysator unter Verwendung der Wabenstruktur als ein Katalysatorträger getragen ist. In der vorliegenden Erfindung ist die Dicke jeder Trennwand 110 als eine Länge eines Abschnitts, der die Trennwand 110 kreuzt, eines Liniensegments, das die Schwerpunkte benachbarter Zellen 108 verbindet, in einem Querschnitt senkrecht zu der Strömungswegrichtung der Zellen 108 definiert.

**[0061]** In dem Querschnitt senkrecht zu der Strömungswegrichtung der Zellen 108 weist die Wabenstruktur 100 bevorzugt eine Zellendichte von 40 bis 150 Zellen/cm<sup>2</sup> und bevorzugter von 70 bis 100 Zellen/cm<sup>2</sup> auf. Die Zellendichte in einem derartigen Bereich ermöglicht, dass die Reinigungsleistung des Katalysators verbessert wird, während der Druckverlust während des Strömens des Abgases verringert wird. Wenn die Zellendichte kleiner als 40 Zellen/cm<sup>2</sup> ist, kann der Katalysatortragbereich verringert sein. Wenn die Zellendichte höher als 150 Zellen/cm<sup>2</sup> ist, kann der Druckverlust während des Strömens des Abgases größer werden, wenn der Katalysator unter Verwendung der Wabenstruktur 100 als ein Katalysatorträger getragen ist. Die Zellendichte ist ein Wert, der durch das Teilen der Anzahl der Zellen durch den Flächeninhalt des ersten Stirnflächenabschnitts des Wabenstrukturabschnitts 101, ausgenommen den Abschnitt der äußeren Umfangsseitenwand 102, erhalten wird.

**[0062]** Das Bereitstellen der äußeren Umfangsseitenwand 102 der Wabenstruktur 100 ist hinsichtlich des Sicherstellens der strukturellen Festigkeit der Wabenstruktur 100 und des Verhinderns, dass das durch die Zellen 108 strömende Fluid von der äußeren Umfangsseitenwand 102 entweicht, nützlich. Spezifisch beträgt eine Dicke T der äußeren Umfangsseitenwand 102 bevorzugt 0,1 mm oder größer und bevorzugter 0,15 mm oder größer und noch bevorzugter 0,2 mm oder größer. Falls jedoch die Dicke der äußeren Umfangsseitenwand 102 übermäßig hoch ist, wird die Festigkeit zu hoch, so dass der Ausgleich zwischen den Festigkeiten der äußeren Umfangsseitenwand 102 und der Trennwände 110 verloren wird und die Wärmeschockbeständigkeit verringert ist. Deshalb ist die Dicke T der äußeren Umfangsseitenwand 102 bevorzugt 1,0 mm oder kleiner und bevorzugter 0,7 mm oder kleiner und noch bevorzugter 0,5 mm oder kleiner. Hier ist die Dicke T der äußeren Umfangsseitenwand 102 als eine Dicke der äußeren Umfangsseitenwand 102 in der Normalenrichtung bezüglich einer Tangente der äußeren Umfangsseitenwand 102 an einer Position, um die Dicke der äußeren Umfangsseitenwand 102 zu messen, bei Betrachtung in einem Querschnitt senkrecht zu der Strömungswegrichtung der Zellen definiert. **Fig. 3** veranschaulicht beispielhaft eine Position, um die Dicke T der äußeren Umfangsseitenwand 102 zu messen.

**[0063]** Die Trennwände 110 können porös sein. Die Porosität jeder Trennwand 110 reicht bevorzugt von 35 bis 60 % und bevorzugter von 35 bis 45 %. Wenn die Porosität kleiner als 35 % ist, kann die Deformation während des Brennens vergrößert werden. Wenn die Porosität größer als 60 % ist, kann die Festigkeit der Wabenstruktur verringert sein. Die Porosität ist ein durch ein Quecksilberporosimeter gemessener Wert.

**[0064]** Der durchschnittliche Porendurchmesser der Trennwände 110 des Wabenstrukturabschnitts 101 beträgt bevorzugt 2 bis 15 µm und bevorzugter von 4 bis 8 µm. Wenn der durchschnittliche Porendurchmesser kleiner als 2 µm ist, kann der spezifische elektrische Widerstand zu hoch werden. Wenn der durchschnittliche Porendurchmesser größer als 15 µm ist, kann der spezifische elektrische Widerstand zu klein werden. Der durchschnittliche Porendurchmesser ist ein durch ein Quecksilberporosimeter gemessener Wert.

(1-3 Der Anschlussverbindungsabschnitt)

**[0065]** Wenn der Anschlussverbindungsabschnitt in Kontakt mit der Elektrodenschicht ausgebildet ist, kann die Form des Anschlussverbindungsabschnitts irgendeine Form sein, die es ermöglicht, dass der Anschluss verbunden wird. Der Anschlussverbindungsabschnitt kann z. B. so ausgebildet sein, dass er auf einer äußeren Oberfläche der Elektrodenschicht 112 vorsteht. In diesem Fall kann der Anschluss z. B. durch das Klemmen des Anschlussverbindungsabschnitts mit einem Anklemmanschluss oder das Einsetzen eines ausgesparten Anschlusses in den Anschlussverbindungsabschnitt, der mit der Elektrodenschicht überzogen ist, mit dem Anschlussverbindungsabschnitt verbunden werden. Der Anschlussverbindungsabschnitt kann außerdem auf der äußeren Oberfläche der Elektrodenschicht 112 ausgespart sein. In diesem Fall kann der Anschluss z. B. durch das Einsetzen eines vorstehenden Anschlusses in den Anschlussverbindungsabschnitt mit dem Anschlussverbindungsabschnitt verbunden werden. Es wird angegeben, dass wenigstens ein Abschnitt des Anschlussverbindungsabschnitts mit der Elektrodenschicht 112 überzogen sein kann.

**[0066]** Um die Wärme bevorzugter in der Nähe des Einlasses der Wabenstruktur 100 zu erzeugen, ist der Anschlussverbindungsabschnitt 103 bezüglich der vollen Länge des Strömungswegs der Zelle bevorzugt nur auf der äußeren Oberfläche der äußeren Umfangsseitenwand 102 in einem Abstand von nicht mehr als 50 % von der ersten Stirnfläche 104 in der Strömungswegrichtung der Zellen angeordnet und bevorzugter nur auf der äußeren Oberfläche der äußeren Umfangsseitenwand 102 in einem Abstand von nicht mehr als 30 % angeordnet und noch bevorzugter nur auf der äußeren Oberfläche der äußeren Umfangsseitenwand 102 in einem Abstand von nicht mehr als 20 % angeordnet. Falls sich jedoch der Anschlussverbindungsabschnitt 103 zu nah bei der Einlassseite befindet, stört der Anschlussverbindungsabschnitt 103 ein mit der stromaufwärts gelegenen Seite der leitfähigen Wabenstruktur 100 verbundenes Element, was es schwierig macht, das Element mit der stromaufwärts gelegenen Seite der leitfähigen Wabenstruktur 100 zu verbinden. Deshalb ist es bevorzugt, dass der Anschlussverbindungsabschnitt 103 nicht auf der äußeren Oberfläche der äußeren Umfangsseitenwand 102 in einem Abstand von nicht mehr als 5 % von der ersten Stirnfläche 104 in der Strömungswegrichtung der Zellen bezüglich der vollen Länge des Strömungswegs der Zelle angeordnet ist, wobei es bevorzugter ist, dass der Anschlussverbindungsabschnitt 103 nicht auf der äußeren Oberfläche der äußeren Umfangsseitenwand 102 in einem Abstand von nicht mehr als 10 % von der ersten Stirnfläche 104 in der Strömungswegrichtung der Zellen bezüglich der vollen Länge des Strömungswegs der Zelle angeordnet ist.

**[0067]** Weil der Anschlussverbindungsabschnitt einer Abgasatmosphäre ausgesetzt ist, weist der Anschlussverbindungsabschnitt bevorzugt eine Korrosionsbeständigkeit auf. Die Beispiele des Materials des Anschlussverbindungsabschnitts können Legierungen, die wenigstens eines enthalten, das aus der Gruppe ausgewählt ist, die Si, Cr, Fe, Co, Ni und Ti umfasst, oder eine SiC enthaltende Keramik enthalten.

**[0068]** Wenn die Hauptkomponente des Wabenstrukturabschnitts ein Silicium-Siliciumcarbid-Verbundmaterial oder Siliciumcarbid ist, ist es bevorzugt, dass die Hauptkomponente des Anschlussverbindungsabschnitts ein Silicium-Siliciumcarbid-Verbundmaterial oder Siliciumcarbid ist. Folglich weist der Anschlussverbindungsabschnitt ein Silicium-Siliciumcarbid-Verbundmaterial oder Siliciumcarbid als eine Hauptkomponente auf, so dass die Komponenten des Wabenstrukturabschnitts die gleichen wie jene des Anschlussverbindungsabschnitts sind (oder sich nah bei jenen des Anschlussverbindungsabschnitts befinden). Folglich wird ein Wärmeausdehnungskoeffizient des Wabenstrukturabschnitts der gleiche wie der des Anschlussverbindungsabschnitts (oder befindet sich nah bei dem des Anschlussverbindungsabschnitts). Weil das Material des Wabenstrukturabschnitts das gleiche wie das des Anschlussverbindungsabschnitts ist (oder sich nah bei dem des Anschlussverbindungsabschnitts befindet, ist die Verbindungsfestigkeit zwischen dem Wabenstrukturabschnitt und dem Anschlussverbindungsabschnitt vergrößert. Folglich kann verhindert werden, dass der Anschlussverbindungsabschnitt von dem Wabenstrukturabschnitt abgelöst wird, und kann verhindert werden,

dass ein Verbindungsabschnitt zwischen dem Anschlussverbindungsabschnitt und dem Wabenstrukturabschnitt zerbrochen wird, selbst wenn eine thermische Beanspruchung auf den Wabenstrukturabschnitt ausgeübt wird. Hier bedeutet der Ausdruck „der Anschlussverbindungsabschnitt weist ein Silicium-Siliciumcarbid-Verbundmaterial als eine Hauptkomponente auf“, wie er hier verwendet wird, dass 90 Masse-% oder mehr des gesamten Anschlussverbindungsabschnitts das Silicium-Siliciumcarbid-Verbundmaterial (die Gesamtmasse) enthalten. Der Ausdruck „der Anschlussverbindungsabschnitt weist Siliciumcarbid als eine Hauptkomponente auf“, wie er hier verwendet wird, bedeutet, dass 90 Masse-% oder mehr des gesamten Anschlussverbindungsabschnitts das Siliciumcarbid (die Gesamtmasse) enthalten.

#### (1-4 Der Schlitz)

**[0069]** **Fig. 7** ist eine schematische perspektivische Ansicht einer Wabenstruktur gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. **Fig. 8** ist eine in einem Querschnitt senkrecht zu einer Strömungswegrichtung der Zellen betrachtete schematische graphische Darstellung der leitfähigen Wabenstruktur 200. Die gleichen Bezugszeichen, wie sie vorher verwendet worden sind, repräsentieren gleiche Komponenten, wobei folglich deren Beschreibung weggelassen wird. Die Wabenstruktur 200 ist von der Wabenstruktur 100 insofern verschieden, als ein Abschnitt der äußeren Umfangsseitenwand 102 einen oder mehrere elektrisch isolierende Schlitze 118 enthält, die sich in der Strömungswegrichtung der Zellen erstrecken. Der eine oder die mehreren Schlitze 118 sind zwischen den Abschnitten der äußeren Umfangsseitenwand angeordnet, wo jede des Paares von Elektrodenschichten 112 die Außenfläche 109 bildet. Wenn die Schlitze in einem Abschnitt der äußeren Umfangsseitenwand 102 vorgesehen sind, kann die Wärmeschockbeständigkeit der Wabenstruktur verbessert werden.

**[0070]** Der Schlitz kann in der Außenfläche 109 der äußeren Umfangsseitenwand 102 geöffnet sein und kann sich zu einer oder beiden der ersten Stirnfläche 104 und der zweiten Stirnfläche 106 erstrecken, so dass er in diesen Stirnflächen offene Enden aufweist. Der elektrisch isolierende Schlitz 118 bezieht sich zusätzlich zu dem Fall, in dem der Schlitz geöffnet ist (durch Luft isoliert ist), auf den Fall, in dem wenigstens ein Abschnitt eines Innenraums des Schlitzes mit einem isolierenden Füllstoffmaterial gefüllt ist. Das Bilden des elektrisch isolierenden Schlitzes 118 kann den durch die äußere Umfangsseitenwand 102 zwischen dem Paar von Elektrodenschichten 112 der Wabenstruktur 200 fließenden Strom stören und dadurch einen Kurzschluss zwischen dem Paar von Elektrodenschichten 112 verhindern. Das Füllen des Schlitzes 118 mit dem Füllstoffmaterial ermöglicht, dass die Wärmeschockbeständigkeit und die isostatische Festigkeit der Wabenstruktur 200 verbessert werden und dass verhindert wird, dass das in den Strömungswegen der Zellen 108 strömende Fluid durch den Schlitz 118 aus der Wabenstruktur 200 entweicht.

**[0071]** In der Wabenstruktur 200 reicht die Tiefe des Schlitzes 118 bevorzugt von 1 bis 80 % eines Radius im Querschnitt senkrecht zur Strömungswegrichtung der Zellen des Wabenstrukturabschnitts 101 (der im Folgenden manchmal als „der Radius des Wabenstrukturabschnitts“ bezeichnet wird). Weiterhin reicht die Tiefe des Schlitzes 118 ferner bevorzugt von 1 bis 60 % und besonders bevorzugt von 1 bis 30 % des Radius des Wabenstrukturabschnitts. Wenn die Tiefe des Schlitzes 118 kleiner als 1 % des Radius der Wabenstruktur 200 ist, kann eine Wirkung des Verbesserns der Wärmeschockbeständigkeit des Schlitzes 118 schwierig zu erhalten sein. Wenn die Tiefe des Schlitzes 118 größer als 80 % des Radius des Wabenstrukturabschnitts 101 ist, ist der Fluss des Stroms, der zwischen dem Paar von Elektrodenschichten fließt, durch den Schlitz 118 deutlich gestört, wobei es behindert wird, dass die Wärme gleichmäßig erzeugt wird, was eine ungleichmäßige Wärmeerzeugung verursachen kann. Die Tiefe jedes der Schlitze 118 ist ein Abstand von dem offenen Ende des Schlitzes 118 in der Außenfläche 119 der äußeren Umfangsseitenwand 102 bis zur tiefsten Position des Schlitzes 118. Wenn mehrere Schlitze vorhanden sind, können die Tiefen der Schlitze 118 mit den Schlitzen variieren oder können alle Breiten die gleiche sein.

**[0072]** In der Wabenstruktur 200 reicht eine Öffnungsbreite des Schlitzes 118 bevorzugt von 0,1 bis 5 % einer Länge eines äußeren Umfangs des Wabenstrukturabschnitts 101 in dem Querschnitt senkrecht zur Strömungswegrichtung der Zellen 108 (die im Folgenden manchmal als „eine Umfangslänge des Wabenstrukturabschnitts“ bezeichnet wird). Weiterhin reicht die Öffnungsbreite des Schlitzes 118 ferner bevorzugt von 0,1 bis 3 % der Umfangslänge des Wabenstrukturabschnitts und reicht besonders bevorzugt von 0,1 bis 1 % der Umfangslänge des Wabenstrukturabschnitts.

**[0073]** Wenn die Öffnungsbreite des Schlitzes 118 kleiner als 0,1 % der Umfangslänge des Wabenstrukturabschnitts ist, kann sich eine Wirkung des Verringerns der Wärmeschockbeständigkeit der Wabenstruktur 200 verschlechtern. Wenn die Öffnungsbreite des Schlitzes 118 größer als 5 % der Umfangslänge des Wabenstrukturabschnitts ist, kann sich die mechanische Festigkeit der Wabenstruktur 200 verschlechtern.

Die Öffnungsbreite des Schlitzes 118 ist eine Länge des Schlitzes 118 in der Umfangsrichtung des Wabenstrukturabschnitts. Die Umfangsrichtung des Wabenstrukturabschnitts ist eine Richtung entlang dem äußeren Umfang im Querschnitt senkrecht zu der Strömungswegrichtung der Zellen 108 des Wabenstrukturabschnitts 101. Wenn die mehreren Slitze vorhanden sind, können die Öffnungsbreiten der Slitze 118 mit den Slitzen variieren oder können alle Breiten die gleichen sein.

**[0074]** Wenn die mehreren Slitze vorhanden sind, ist es hinsichtlich der Homogenität bevorzugt, dass die Slitze so angeordnet sind, dass sie bezüglich einer Mittellinie M als eine Symmetrieachse liniensymmetrisch angeordnet sind.

**[0075]** In der Wabenstruktur 200 beträgt die Anzahl der Slitze 118 bevorzugt von 1 bis 20, weiter bevorzugt von 1 bis 15 und besonders bevorzugt von 1 bis 10. Wenn die Anzahl der Slitze 118 höher als 20 ist, kann sich die mechanische Festigkeit der Wabenstruktur 200 verschlechtern. In der Wabenstruktur 200, die in **Fig. 7** und **Fig. 8** veranschaulicht ist, sind sechs Slitze 118 vorgesehen.

**[0076]** Einer oder mehrere der Slitze 118 können in jeder der Elektrodenschichten 112 vorgesehen sein, um die Wärmeschockbeständigkeit der Elektrodenschichten 112 zu verbessern, um Risse zu verhindern.

**[0077]** Das Füllstoffmaterial kann Aggregate und ein Halsmaterial enthalten. Das „Halsmaterial“ tritt in die Räume zwischen den Aggregatpartikeln ein, um die Partikel miteinander zu verbinden und aneinander zu befestigen. Das Material des Halsmaterials ist nicht auf ein spezielles Material eingeschränkt. Das Halsmaterial enthält bevorzugt wenigstens eines, das aus der Gruppe ausgewählt ist, die Siliciumoxid, ein Metalloxid und eine Metallverbindung umfasst. Derartige Beispiele des Halsmaterials sind wie folgt. Das Halsmaterial kann wenigstens eines von Siliciumoxid und dem Metalloxid enthalten oder das Halsmaterial kann aus wenigstens einem des Siliciumoxids und des Metalloxids gebildet sein. Beispiele des Metalloxids, die das Halsmaterial bilden, enthalten Aluminiumoxid, Titanoxid und Magnesiumoxid.

**[0078]** Das Füllstoffmaterial enthält bevorzugt 2 bis 90 Masse-% des Halsmaterials, enthält weiter bevorzugt 3 bis 50 Masse-% des Halsmaterials und enthält besonders bevorzugt 5 bis 25 Masse-% des Halsmaterials. Wenn der Massenprozentsatz des Halsmaterials kleiner als 2 Masse-% ist, kann sich die Festigkeit des Füllstoffmaterials verschlechtern. Wenn das Halsmaterial mehr als 90 Masse-% ist, kann der Wärmeausdehnungskoeffizient  $\alpha_2$  des Füllstoffmaterials ansteigen. Wenn die Menge des Halsmaterials übermäßig groß ist, kann sich weiterhin die Festigkeit des Füllstoffmaterials verschlechtern.

**[0079]** Das Material der Aggregate ist nicht auf ein spezielles Material eingeschränkt. Die Beispiele einer Komponente, die in den Aggregaten enthalten ist, sind bevorzugt wenigstens eine Komponente, die aus der Gruppe ausgewählt ist, die Siliciumcarbid, Cordierit, Siliciumoxid, Aluminiumtitanat, Talk, Glimmer, Lithiumaluminiumtitanat, Montmorillonit, Böhmit, Forsterit, Kaolin und Mullit umfasst. Die Aggregate enthalten bevorzugt 10 bis 100 Masse-%, enthalten weiter bevorzugt 50 bis 97 Masse-% und enthalten besonders bevorzugt 75 bis 95 Masse-% wenigstens einer Komponente, die aus der obenerwähnten Gruppe ausgewählt ist. Es können mehrere Typen eines Aggregats gemischt werden, um verwendet zu werden.

## <2. Das Verfahren zum Herstellen der leitfähigen Wabenstruktur>

**[0080]** Als Nächstes wird ein Verfahren zum Herstellen der leitfähigen Wabenstruktur gemäß der vorliegenden Erfindung beispielhaft beschrieben. In einer Ausführungsform enthält das Verfahren zum Herstellen der Wabenstruktur gemäß der vorliegenden Erfindung einen Schritt A1 des Erhaltens eines Wabenformlings, einen Schritt A2 des Brennens des Wabenformlings, um einen gebrannten Wabenstrukturabschnitt zu erhalten, und einen Schritt A3 des Bildens einer Elektrodenschicht auf dem gebrannten Wabenstrukturabschnitt.

**[0081]** Im Schritt A1 wird ein Wabenformling, der ein Vorläufer des Wabenstrukturabschnitts ist, hergestellt, wobei ein Anschlussverbindungsabschnitt auf einer Seitenfläche des Wabenformlings bei Bedarf gebildet wird, um einen ungebrannten Wabenstrukturabschnitt zu erhalten. Der Wabenstrukturabschnitt enthält die Trennwände 110, die mehrere Zellen 108 definieren, die sich von der ersten Stirnfläche 104 zu der zweiten Stirnfläche 106 erstrecken, und eine äußere Umfangsseitenwand 102, die sich auf dem äußersten Umfang befindet, wie in **Fig. 2** veranschaulicht ist.

**[0082]** Der Wabenformling kann in Übereinstimmung mit einem Verfahren zum Herstellen eines Wabenformlings in dem bekannten Verfahren zum Herstellen der Wabenstruktur hergestellt werden. Zuerst wird z. B. ein Formungsmaterial durch das Hinzufügen von Siliciumcarbidpulver (Siliciumcarbid), Pulver metallischen Sili-

ciums (metallischen Silicium), einem Bindemittel, einem oberflächenaktiven Stoff, einem Porenbildner, Wasser und dergleichen hergestellt. Die Masse des metallischen Siliciums beträgt bevorzugt 10 bis 40 Masse-% bezüglich der Gesamtmasse des Siliciumcarbidpulvers und des metallischen Siliciums. Der durchschnittliche Partikeldurchmesser der Siliciumcarbidpartikel in dem Siliciumcarbidpulver reicht bevorzugt von 3 bis 50 µm und bevorzugter von 3 bis 40 µm. Der durchschnittliche Partikeldurchmesser des metallischen Siliciums (des Pulvers metallischen Siliciums) reicht bevorzugt von 2 bis 35 µm. Jeder durchschnittliche Partikeldurchmesser der Siliciumcarbidpartikel und des metallischen Siliciums (der Partikel metallischen Siliciums) bezieht sich auf den Durchmesser des arithmetischen Mittelwerts auf einer Volumenbasis, wenn eine Häufigkeitsverteilung der Partikelgröße durch ein Laserbeugungsverfahren gemessen wird. Die Siliciumcarbidpartikel sind feine Partikel des Siliciumcarbids, die das Siliciumcarbidpulver bilden, während die Partikel metallischen Siliciums feine Partikel des metallischen Siliciums sind, die das Pulver metallischen Siliciums bilden. Es wird angegeben, dass dies die Formulierung des Formungsmaterials ist, wenn das Material des Wabenstrukturabschnitts das Verbundmaterial auf Silicium-Siliciumcarbid-Basis ist, wobei kein metallisches Silicium hinzugefügt wird, wenn das Material des Wabenstrukturabschnitts Siliciumcarbid ist.

**[0083]** Die Beispiele des Bindemittels enthalten Methylcellulose, Hydroxypropylmethylcellulose, Hydroxypropoxylcellulose, Hydroxyethylcellulose, Carboxymethylcellulose, Polyvinylalcohol und dergleichen. Unter diesen ist es bevorzugt, Methylcellulose in Kombination mit Hydroxypropoxylcellulose zu verwenden. Der Gehalt des Bindemittels beträgt bevorzugt von 2,0 bis 10,0 Massenteile, wenn die Gesamtmasse des Siliciumcarbidpulvers und des Pulvers metallischen Siliciums 100 Massenteile beträgt.

**[0084]** Der Wassergehalt beträgt bevorzugt von 20 bis 60 Massenteile, wenn die Gesamtmasse des Siliciumcarbidpulvers und des Pulvers metallischen Siliciums 100 Massenteile beträgt.

**[0085]** Die Beispiele des oberflächenaktiven Stoffs, der verwendet werden kann, enthalten Ethylenglykol, Dextrin, Fettsäureseifen, einen Polyalkohol und dergleichen. Diese können allein oder in Kombination mit zwei oder mehr verwendet werden. Der Gehalt des oberflächenaktiven Stoffs beträgt bevorzugt von 0,1 bis 2,0 Massenteile, wenn die Gesamtmasse des Siliciumcarbidpulvers und des Pulvers metallischen Siliciums 100 Massenteile beträgt.

**[0086]** Der Porenbildner kann irgendein Porenbildner sein, der Poren nach dem Brennen bildet, und enthält z. B. Graphit, Stärken, schäumende Harze, wasserabsorbierende Harze, Siliciumdioxidgel und dergleichen. Der Gehalt des Porenbildners beträgt bevorzugt von 0,5 bis 10,0 Massenteile, wenn die Gesamtmasse des Siliciumcarbidpulvers und des Pulvers metallischen Siliciums 100 Massenteile beträgt. Ein durchschnittlicher Partikeldurchmesser des Porenbildners beträgt bevorzugt von 10 bis 30 µm. Wenn er kleiner als 10 µm ist, können die Poren nicht ausreichend gebildet werden. Wenn er größer als 30 µm ist, kann der Porenbildner ein Verstopfen eines Formwerkzeugs während des Formens erzeugen. Die durchschnittliche Partikelgröße des Porenbildners bezieht sich auf einen Durchmesser des arithmetischen Mittelwerts auf Volumenbasis, wenn die Häufigkeitsverteilung der Partikelgröße durch das Laserbeugungsverfahren gemessen wird. Wenn der Porenbildner das wasserabsorbierende Harz ist, bezieht sich der durchschnittliche Partikeldurchmesser des Porenbildners auf den durchschnittlichen Partikeldurchmesser nach der Wasserabsorption.

**[0087]** Anschließend wird das resultierende Formungsmaterial geknetet, um einen Rohling zu bilden, wobei der Rohling dann dem Strangpressen unterworfen wird, um einen Wabenformling herzustellen. Bei dem Strangpressen kann ein Formwerkzeug, das eine Soll-Gesamtform, eine Soll-Zellenform, eine Soll-Trennwanddicke, eine Soll-Zellendichte und dergleichen aufweist, verwendet werden. Der resultierende Wabenformling wird dann bevorzugt dem Trocknen unterworfen. Wenn die Länge in der Richtung der Mittelachse des Wabenformlings nicht eine Solllänge ist, können beide Bodenabschnitte des Wabenformlings auf die Solllänge geschnitten werden. Der getrocknete Wabenformling wird als ein getrockneter Wabekörper bezeichnet. Bei Bedarf können ein oder mehrere Schlitze, die in der Seitenfläche des getrockneten Wabekörpers geöffnet sind, gebildet werden. Die Slitze werden bevorzugt unter Verwendung von Leitor oder dergleichen gebildet.

**[0088]** Anschließend, wenn ein vorstehender Anschlussverbindungsabschnitt 103 gebildet wird, wird ein Rohling zum Bilden des Anschlussverbindungsabschnitts, z. B. ein Rohling unter Verwendung des gleichen Ausgangsstoffs wie der Wabenformling, in einer Sollform gebildet, um ein Paar von Anschlussverbindungsabschnitten herzustellen. Das Paar von Anschlussverbindungsabschnitten 103 wird an den Außenflächen der äußeren Umfangsseitenwände 102 befestigt, die über eine Mittelachse des getrockneten Wabekörpers einander zugewandt sind. Alternativ können die äußeren Umfangsseitenwände 102, die über eine Mittelachse des getrockneten Wabekörpers einander zugewandt sind, gebohrt werden, um den ausgesparten

Anschlussverbindungsabschnitt zu bilden. In diesem Fall ist das Material des ausgesparten Anschlussverbindungsabschnitts das gleiche wie das des Wabenstrukturabschnitts. Der Ausgangsstoff zum Bilden des Anschlussverbindungsabschnitts kann ferner auf den ausgesparten Anschlussverbindungsabschnitt aufgetragen werden.

**[0089]** Im Schritt A2 wird der ungebrannte Wabenstrukturabschnitt gebrannt, um einen gebrannten Wabenstrukturabschnitt zu erhalten. Vor dem Brennen kann ein Entfetten ausgeführt werden, um das Bindemittel und dergleichen zu entfernen. Das Brennen kann bevorzugt durch das Erwärmen des Wabenformlings in einer Schutzgasatmosphäre, wie z. B. Stickstoff und Argon, während 1 bis 20 Stunden bei 1400 bis 1500 °C ausgeführt werden. Nach dem Brennen wird bevorzugt eine Oxidationsbehandlung während 1 bis 10 Stunden bei 1200 bis 1350 °C ausgeführt, um die Haltbarkeit zu verbessern. Die Entfettungs- und Brennverfahren sind nicht auf spezielle Verfahren eingeschränkt, wobei sie unter Verwendung eines Elektroofens, eines Gasofens oder dergleichen ausgeführt werden können.

**[0090]** Im Schritt A3 werden die Elektrodenschichten 112 auf dem gebrannten Wabenstrukturabschnitt gebildet. Das Verfahren zum Herstellen des die Elektrodenschichten bildenden Ausgangsstoffs und das Verfahren zum Auftragen des die Elektrodenschichten bildenden Ausgangsstoffs auf den gebrannten Wabenstrukturabschnitt können gemäß dem bekannten Verfahren zum Herstellen der Wabenstruktur ausgeführt werden. Um den geringeren spezifischen elektrischen Widerstand der Elektrodenschichten als den des Wabenstrukturabschnitts zu schaffen und/oder um den spezifischen elektrischen Widerstand gemäß dem Elektrodenschicht-Bildungsbereich zu verringern, kann das Material der Elektrodenschicht geändert werden, kann das Inhaltsverhältnis des metallischen Siliciums vergrößert werden oder kann der Partikeldurchmesser der Partikel metallischen Siliciums verringert werden. Nach dem Herstellen des die Elektrodenschichten bildenden Ausgangsstoffs werden die Zusammensetzung des die Elektrodenschichten bildenden Ausgangsstoffs, die Dicke der Elektrodenschicht und der Elektrodenschicht-Bildungsbereich bestimmt, so dass die Elektrodenschicht 112 die obenerwähnten Bedingungen bezüglich des elektrischen Widerstands und des Elektrodenschicht-Bildungsbereichs erfüllt. Der die Elektrodenschichten bildende Ausgangsstoff kann auf die äußere Umfangsseitenwand 102 des Wabenstrukturabschnitts durch ein geeignetes Verfahren, wie z. B. das thermische Spritzen und Beschichten, gemäß dem die Elektrodenschichten bildenden Ausgangsstoffs aufgetragen werden. Der Elektrodenschicht-Befestigungsabschnitt kann bei Bedarf gebrannt werden. Durch eine derartige Prozedur wird das Paar von Elektrodenschichten gebildet, so dass es in Kontakt mit den Außenflächen der äußeren Umfangsseitenwände über die Mittelachse des Wabenstrukturabschnitts bereitgestellt ist.

**[0091]** Dann kann der Schlitz mit dem Ausgangsstoff für das Füllstoffmaterial unter Verwendung einer Spritze oder dergleichen gefüllt werden. Der Ausgangsstoff für das Füllstoffmaterial kann z. B. durch das Kneten einer Mischung hergestellt werden, die durch das Mischen von Aggregaten, einem Halsmaterial, einem Bindemittel, einem oberflächenaktiven Stoff, einem Porenbildner, Wasser und dergleichen erhalten wird. Der Ausgangsstoff für das Füllstoffmaterial ist bevorzugt aufgeschlämmt. Nach dem Füllen des Schlitzes mit dem Füllstoffmaterial kann die Wärmebehandlung ausgeführt werden, um das Füllstoffmaterial gleichmäßig zu machen. Als die Wärmebehandlungsbedingungen kann die Wärmebehandlung während 2 bis 12 Stunden in der Atmosphäre bei einer Temperatur von 50 bis 100 °C ausgeführt werden.

## BEISPIELE

**[0092]** Im Folgenden werden Beispiele zum besseren Verständnis der vorliegenden Erfindung und ihrer Vorteile veranschaulicht, wobei aber die vorliegende Erfindung nicht auf die Beispiele eingeschränkt ist.

<Beispiel 1>

(1. Die Herstellung eines zylindrischen Rohlings)

**[0093]** Ein keramischer Ausgangsstoff wurde durch das Mischen von Siliciumcarbidpulver (SiC-Pulver) und Pulver metallischen Siliciums (Si) in einem Massenverhältnis von 80:20 hergestellt. Zu dem keramischen Ausgangsstoff wurden sowohl Hydroxypropylmethylcellulose als ein Bindemittel und ein wasserabsorbierendes Harz als ein Porenbildner als auch Wasser hinzugefügt, um ein Formungsmaterial zu bilden. Das Formungsmaterial wurde dann durch einen Vakuumkneter geknetet, um einen zylindrischen Rohling herzustellen. Der Gehalt des Bindemittels betrug 7 Masseteile, wenn die Gesamtmenge des Siliciumcarbidpulvers (SiC-Pulvers) und des Pulvers metallischen Siliciums (Si) 100 Masseteile war. Der Gehalt des Porenbildners betrug 3 Masseteile, wenn die Gesamtmenge des Siliciumcarbidpulvers (SiC-Pulvers) und des Pulvers metallischen Siliciums (Si) 100 Masseteile war. Der Gehalt des Wassers betrug 42 Masseteile, wenn die Gesamt-

menge des Siliciumcarbidpulvers (SiC-Pulvers) und des Pulvers metallischen Siliciums (Si) 100 Masseteile war. Der durchschnittliche Partikeldurchmesser des Siliciumcarbidpulvers betrug 20 µm, während der durchschnittliche Partikeldurchmesser des Pulvers metallischen Siliciums 6 µm betrug. Der durchschnittliche Partikeldurchmesser des Porenbildners betrug 20 µm. Jeder der durchschnittlichen Partikeldurchmesser des Siliciumcarbidpulvers, des Pulvers metallischen Siliciums und des Porenbildners bezieht sich auf einen Durchmesser des arithmetischen Mittelwerts auf Volumenbasis, wenn die Häufigkeitsverteilung einer Partikelgröße durch das Laserbeugungsverfahren gemessen wird.

#### (2. Die Herstellung des getrockneten Wabenkörpers)

**[0094]** Der resultierende zylindrische Rohling wurde unter Verwendung eines Extruders, der eine gitterartige Struktur des Formwerkzeugs aufwies, geformt, um einen zylindrischen Wabenformling zu schaffen, der Zellen enthielt, von denen jede eine quadratische Querschnittsform im Querschnitt senkrecht zur Strömungswegrichtung der Zellen aufwies. Der Wabenformling wurde durch Hochfrequenz-Induktionserwärmung getrocknet und dann während 2 Stunden unter Verwendung eines Heißlufttrockners weiter bei 120 °C getrocknet, wobei vorgegebene Mengen der beiden Stirnflächen abgeschnitten worden, um einen getrockneten Wabenkörper herzustellen.

#### (3. Die Bildung des Anschlussverbindungsabschnitts)

**[0095]** Ein Paar zylindrischer Anschlussverbindungsabschnitte (Durchmesser der Stirnfläche: 12 mm) wurde unter Verwendung eines Rohlings, der die gleiche Zusammensetzung wie der Wabenformling aufwies, geformt. Die Stirnflächen des Paares zylindrischer Anschlussverbindungsabschnitte wurden an den Außenflächen der äußeren Umfangsseitenwände, die über eine Mittelachse des getrockneten Wabenkörpers einander zugewandt sind, befestigt, um den ungebrannten Wabenstrukturabschnitt mit den Anschlussverbindungsabschnitten zu erhalten. Zu diesem Zeitpunkt war jeder der Anschlussverbindungsabschnitte auf der äußeren Oberfläche der äußeren Umfangsseitenwand angeordnet, so dass sich eine Mitte der Stirnfläche des Anschlussverbindungsabschnitts an einer Position 28,5 mm entfernt von der ersten Stirnfläche des getrockneten Wabenkörpers in der Strömungswegrichtung der Zelle (einer Position von 25 % von der ersten Stirnfläche in der Strömungswegrichtung der Zellen bezüglich der vollen Länge (100 %) des Strömungswegs der Zelle) befand.

#### (4. Das Brennen)

**[0096]** Der resultierende ungebrannte Wabenstrukturabschnitt, der mit den Anschlussverbindungsabschnitten versehen war, wurde dann entfettet, gebrannt und oxidiert, um einen gebrannten Wabenstrukturabschnitt herzustellen, der mit den Anschlussverbindungsabschnitten versehen ist. Das Entfetten wurde während 3 Stunden bei 550 °C ausgeführt. Das Brennen wurde in einer Argonatmosphäre während 2 Stunden bei 1450 °C ausgeführt. Die Oxidationsbehandlung wurde in der Atmosphäre während 1 Stunde bei 1300 °C ausgeführt.

#### (5. Das Auftragen der Paste zum Bilden der Elektrodenschicht)

**[0097]** Es wurde eine kommerziell verfügbare Silberpaste als die Paste zum Bilden der Elektrodenschicht auf die Außenfläche der äußeren Umfangsseitenwand des gebrannten Wabenstrukturabschnitts an zwei Positionen aufgetragen, so dass sie über die Mittelachse einander zugewandt sind, und um die gleichmäßige Dicke zu erhalten, so dass sich jeder Anschlussverbindungsabschnitt in einer Mitte jedes aufgetragenen Abschnitts in der Umfangsrichtung ( $\theta = 0^\circ$  in **Fig. 3**) befand. Zu diesem Zeitpunkt wurde die Silberpaste auf eine Seitenfläche jedes zylindrischen Anschlussverbindungsabschnitts aufgetragen. Jeder aufgetragene Abschnitt wurde in der Form eines Bandes gebildet, so dass die Breite in der Umfangsrichtung schmäler wird, wenn sie von der ersten Stirnfläche näher zu der zweiten Stirnfläche kommt (ein Zentriwinkel  $\alpha$  wird im Querschnitt senkrecht zu der Strömungswegrichtung der Zellen allmählich kleiner). Der gebrannte Wabenstrukturabschnitt nach dem Auftragen der Sinterpaste wurde bei 120 °C getrocknet, um eine Wabenstruktur als ein Produkt zu erhalten.

#### (6. Die Spezifikation der Wabenstruktur)

**[0098]** Die in der obenerwähnten Prozedur erhaltene Wabenstruktur wies kreisförmige Stirnflächen, die jede einen Durchmesser von 118 mm aufwiesen, und eine Höhe (eine Länge in der Strömungswegrichtung der Zellen) von 114 mm auf. Die Zellendichte betrug 93 Zellen/cm<sup>2</sup>, die Dicke jeder Trennwand betrug 101,6 µm,

die Porosität der Trennwände betrug 45 % und der durchschnittliche Poredurchmesser der Trennwände betrug 8,6 µm. Die Dicke der Elektrodenschichten betrug 75 µm. Jede der Elektrodenschichten war so ausgebildet, so dass sie bei Betrachtung in irgendeinem Querschnitt senkrecht zu der Strömungsrichtung der Zellen bezüglich einer Linie, die die Mittelpunkte in der Umfangsrichtung jeder der Elektrodenschichten verbindet, liniensymmetrisch ist. Die spezifischen elektrischen Widerstände bei 25 °C wurden unter Verwendung von Probestücken, die aus den gleichen Materialien wie jene des Wabenstrukturabschnitts und der Elektrodenschichten hergestellt waren, durch das Vier-Anschluss-Verfahren gemessen, wobei festgestellt wurde, dass sie 1,5 bzw. 0,007 Ωcm betragen.

**[0099]** Jede der Elektrodenschichten der in der obenerwähnten Prozedur erhaltenen Wabenstruktur wies ein Ende an einer Position von 0 % von der ersten Stirnfläche und das andere Ende an einer Position von 41 % von der ersten Stirnfläche bezüglich einer Länge (100 %) in der Strömungswegrichtung der Zellen von der ersten Stirnfläche zu der zweiten Stirnfläche des Wabenstrukturabschnitts auf, so dass sich die Elektrodenschicht von dem einen Ende in der Strömungswegrichtung der Zellen zu dem anderen Ende erstreckte.

**[0100]** Die in der obenerwähnten Prozedur erhaltene Wabenstruktur wurde in der Strömungswegrichtung der Zellen in vier gleiche Abschnitte aufgeteilt, um die vier Bereiche A, B, C und D von der Seite näher bei der ersten Stirnfläche zu bilden. In jedem der oben beschriebenen vier Bereiche wurde ein Durchschnittswert ( $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_C$  und  $R_D$ ) der elektrischen Widerstände, die zwischen zwei Punkten, die so bestimmt waren, dass ein Abstand zwischen dem Paar von Elektrodenschichten der längste in dem Querschnitt senkrecht zu der Strömungswegrichtung der Zellen war (wenn es in einem derartigen Querschnitt kein Paar von Elektrodenschichten gab, wurden die beiden Punkte so bestimmt, dass ein Abstand zwischen den beiden Punkten der längste in dem Querschnitt war), gemessen wurden, erhalten. Der Durchschnittswert der elektrischen Widerstände in jedem der vier Bereiche wurde als ein Durchschnittswert betrachtet, wenn die elektrischen Widerstände an fünf gleich beabstandeten Positionen einschließlich der beiden Enden in der Strömungswegrichtung der Zellen gemessen wurden. Das Ergebnis zeigte, dass  $R_A:R_B:R_C:R_D = 1:1,6:2:2$  galt.

**[0101]** Die Elektrodenschicht der in der obenerwähnten Prozedur erhaltenen Wabenstruktur wurde in der Strömungswegrichtung der Zellen in vier gleiche Abschnitte aufgeteilt, um die vier Bereiche A, B, C und D von der Seite näher bei der ersten Stirnfläche zu bilden. In jedem der oben beschriebenen vier Bereiche wurde ein Durchschnittswert ( $D_A$ ,  $D_B$ ,  $D_C$  und  $D_D$ ) der Abstände zwischen zwei Punkten, die so bestimmt waren, dass ein Abstand zwischen dem Paar von Elektrodenschichten der kürzeste in dem Querschnitt senkrecht zu der Strömungswegrichtung der Zellen war, geometrisch gemessen. Das Ergebnis zeigte, dass  $D_A:D_B:D_C:D_D = 1:1,15:1,38:1,50$  galt.

**[0102]** Die Elektrodenschicht der in der obenerwähnten Prozedur erhaltenen Wabenstruktur wurde in der Strömungswegrichtung der Zellen in vier gleiche Abschnitte aufgeteilt, um die vier Bereiche A, B, C und D von der Seite näher bei der ersten Stirnfläche zu bilden. In jedem der oben beschriebenen vier Bereiche wurde ein Durchschnittswert der spezifischen elektrischen Widerstände des Materials, das jede der Elektrodenschichten bildet, als  $r_A$ ,  $r_B$ ,  $r_C$  und  $r_D$  in dieser Reihenfolge von der Seite näher bei der ersten Stirnfläche dargestellt. In dem vorliegenden Beispiel wurde die gleiche Paste zum Bilden der Elektrodenschichten in jedem der vier Bereiche verwendet, wobei deshalb ein Vergleichsausdruck  $R_A = R_B = R_C = R_D$  erfüllt war.

**[0103]** Die Anschlussverbindungsabschnitte und die Elektrodenschichten wurden durch Schneiden von der in der obenerwähnten Prozedur erhaltenen Wabenstruktur entfernt, wobei dann die Wabenstruktur in der Strömungswegrichtung der Zelle in vier gleiche Bereiche aufgeteilt wurde. Hinsichtlich der vier gleich beabstandeten Bereiche wurden die elektrischen Widerstände in den obenerwähnten neun Richtungen (1) bis (9) gemessen, wobei ein Durchschnittswert der elektrischen Widerstände der vier Bereiche in jeder der neun Richtungen erhalten wurde. Das Ergebnis zeigte, dass jeder der elektrischen Widerstände in den obenerwähnten neun Richtungen in einen Bereich von ±10 % bezüglich des Durchschnittswerts der elektrischen Widerstände in der entsprechenden Richtung fiel.

(7. Die Messung der Temperaturverteilung in dem Test der gleichzeitigen Zufuhr von Energie)

**[0104]** Ein Paar von Kabeln war mit Klemmen mit dem Paar von Anschlussverbindungsabschnitten der in der obenerwähnten Prozedur erhaltenen Wabenstruktur verbunden, an das Paar von Kabeln wurden 2 kW angelegt und es wurde begonnen, eine Luftströmung bei Zimmertemperatur mit einer Durchflussmenge von 1 Nm<sup>3</sup>/min auf die Wabenstruktur anzuwenden. Zu diesem Zeitpunkt wurde die Temperaturänderung der Mittelachse der Wabenstruktur durch das Messen der Temperatur unter Verwendung eines Thermoelements an den Positionen 10 mm, 38 mm, 76 mm und 104 mm' entfernt von der ersten Stirnfläche (der Einlassseite) in

der Strömungswegrichtung der Zelle überwacht. Das Ergebnis ist in **Fig. 6(A)** gezeigt. In **Fig. 6(A)** repräsentieren die schwarze durchgezogene Linie, die graue durchgezogene Linie, die schwarze gestrichelte Linie und die graue gestrichelte Linie die Temperaturmesswerte an den Positionen 10 mm, 38 mm, 76 mm bzw. 104 mm entfernt von der ersten Stirnfläche.

<Das Vergleichsbeispiel 1, die Beispiele 2 bis 7>

**[0105]** Der gebrannte Wabenstrukturabschnitt, der mit den Anschlussverbindungsabschnitten versehen war, wurde in der gleichen Prozedur wie im Beispiel 1 hergestellt. Eine Wabenstruktur wurde durch die gleiche Prozedur wie im Beispiel 1 hergestellt, mit Ausnahme, dass die Bedingungen der Elektrodenschichten in jene geändert worden, die in Tabelle 1 gemäß den Testnummern gezeigt sind. In der Tabelle 1 zeigt der Ausdruck „Entwurfstyp“, welchem der Elektrodenschichtentwürfe nach (A) bis (E), die in **Fig. 4** veranschaulicht sind, die Testnummer entspricht. In der Tabelle 1 geben die Ausdrücke „Position eines Endes in der Strömungswegrichtung der Zelle“ und „Position des anderen Endes in der Strömungswegrichtung der Zelle“ die relativen Positionen eines Endes und des anderen Endes der Elektrodenschicht von der ersten Stirnfläche bezüglich der vollen Länge (100 %) des Strömungswegs der Zelle an. Der Ausdruck „Position des Anschlussverbindungsabschnitts“ gibt außerdem die relative Position (%) von derselben Stirnfläche an.

**[0106]** Die Zufuhr von Energie wurde unter den gleichen Bedingungen wie im Beispiel 1 bezüglich der resultierenden Wabenstruktur für jedes Testbeispiel ausgeführt, wobei die Temperaturänderung der Mittelachse der Wabenstruktur an den Positionen 10 mm, 38 mm, 76 mm und 104 mm entfernt von der Einlassseite in der gleichen Weise wie im Beispiel 1 überwacht wurde. Hinsichtlich der Beispiele 2 bis 7 und des Vergleichsbeispiels 1 einschließlich des Beispiels 1 sind die Unterschiede zwischen einer maximalen Temperatur und einer minimalen Temperatur, die an den vier Temperaturmesspositionen eine Minute nach dem Beginn der Zufuhr von Energie gemessen wurden, als A, B, C und D in der aufsteigenden Reihenfolge eingeordnet, wobei die eingeordneten Ergebnisse in Tabelle 1 gezeigt sind. Zur Bezugnahme sind die Ergebnisse des Vergleichsbeispiels 1 in **Fig. 6(B)** gezeigt. In **Fig. 6(B)** repräsentieren die schwarze durchgezogene Linie, die graue durchgezogene Linie, die schwarze gestrichelte Linie und die graue gestrichelte Linie die Temperaturmesswerte an den Positionen 10 mm, 38 mm, 76 mm bzw. 104 mm.

[0102] [Tabelle 1]

Bedingung der Elektrodenschicht						Position des Anschlussverbindungsabschnitts	Ergebnis der Messung der Temperaturverteilung (Gleichmäßigkeit)
Testnummer	Entwurfstyp	$R_A:R_B:R_C:R_D$	$D_A:D_B:D_C:D_D$	$r_A:r_B:r_C:r_D$	Position eines Endes in der Strömungswegrichtung der Zelle (%)	Position des anderen Endes in der Strömungswegrichtung der Zelle (%)	Position in der Strömungswegrichtung der Zelle (%)
Beispiel 1	d	1:1,6:2:2	1:1,15:1,38:1,5	1:1:1:1	0	41	25
Beispiel 2	b	1:1,2:1,4:1,4	1:1:1:1	1:4:8:10	0	100	50
Beispiel 3	b	1:1,4:1,6:1,9	1:1:1:1	1:10:20:50	0	100	50
Beispiel 4	a	1:1,2:1,4:1,8	1:1,21:1,38:1,44	1:1:1:1	0	100	50
Beispiel 5	d	1:1,2:1,6:2,1	1:1,21:1,37:1,46	1:1:1:1	0	75	50
Beispiel 6	a	1:1,2:1,4:1,8	1:1,21:1,38:1,44	1:1:1:1	0	100	25
Beispiel 7	d	1:1,2:1,6:2,1	1:1,21:1,37:1,46	1:1:1:1	0	75	25
Vergleichsbeispiel 1	e	1:1:1:1	1:1:1:1	1:1:1:1	0	100	50

## Liste der Bezugszeichen

100	leitfähige Wabenstruktur
101	Wabenstrukturabschnitt
102	äußere Umfangsseitenwand
103	Anschlussverbindungsabschnitt
104	erste Stirnfläche
106	zweite Stirnfläche
108	Zelle
109	Außenfläche
110	Trennwand
112	Elektrodenschicht
116	Vorsprungabschnitt
118	Schlitz

## Patentansprüche

1. Leitfähige Wabenstruktur (100), die Folgendes umfasst:  
 einen säulenförmigen leitfähigen Wabenstrukturabschnitt (101), der aufweist:  
 eine äußere Umfangsseitenwand (102); und  
 Trennwände (110), die innerhalb der äußeren Umfangsseitenwand (102) angeordnet sind und die mehrere Zellen (108) definieren, um Strömungswege zu bilden, so dass ein Fluid durch eine erste Stirnfläche (104) in die Strömungswege eintreten und durch eine zweite Stirnfläche (106) austreten kann;  
 wobei ein Paar von Elektrodenschichten (112), die sich in einer Strömungswegrichtung der Zellen (108) erstrecken, einen Abschnitt einer Außenfläche (109) der äußeren Umfangsseitenwand (102) bildet,  
 eine Elektrodenschicht (112) des Paares von Elektrodenschichten (112) auf einer Seite angeordnet ist, die über eine Mittelachse des Wabenstrukturabschnitts (101) der anderen Elektrodenschicht (112) gegenüberliegt, und  
 wenn die Wabenstruktur (100) in der Strömungswegrichtung der Zellen (108) in vier gleiche Abschnitte aufgeteilt ist, um vier Bereiche A, B, C und D von einer Seite näher bei der ersten Stirnfläche (104) zu bilden, und ein Durchschnittswert der elektrischen Widerstände, die zwischen zwei Punkten in jedem der vier Bereiche gemessen werden, als  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_C$  und  $R_D$  in dieser Reihenfolge von der Seite näher bei der ersten Stirnfläche (104) dargestellt ist, ein Vergleichsausdruck  $R_A \leq R_B \leq R_C \leq R_D$  (ausgenommen  $R_A = R_B = R_C = R_D$ ) erfüllt ist, vorausgesetzt, dass die beiden Punkte so bestimmt sind, dass ein Abstand zwischen dem Paar von Elektrodenschichten (112) der längste in einem Querschnitt senkrecht zu der Strömungswegrichtung der Zellen (108) ist, wobei jedoch, wenn es in einem derartigen Querschnitt kein Paar von Elektrodenschichten (112) gibt, die beiden Punkte so bestimmt sind, dass ein Abstand zwischen den beiden Punkten der längste in dem Querschnitt ist.
2. Leitfähige Wabenstruktur (100) nach Anspruch 1, wobei bezüglich  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_C$  und  $R_D$  ein Vergleichsausdruck  $R_A < R_B < R_C < R_D$  erfüllt ist.
3. Leitfähige Wabenstruktur (100) nach Anspruch 1 oder 2, wobei  
 wenn das Paar von Elektrodenschichten (112) in der Strömungswegrichtung der Zellen (108) in vier gleiche Abschnitte aufgeteilt ist, um vier Bereiche A, B, C und D von einer Seite näher bei der ersten Stirnfläche (104) zu bilden, und ein Durchschnittswert der Abstände zwischen zwei Punkten in jedem der vier Bereiche als  $D_A$ ,  $D_B$ ,  $D_C$  und  $D_D$  in dieser Reihenfolge von der Seite näher bei der ersten Stirnfläche (104) dargestellt ist, ein Vergleichsausdruck  $D_A \leq D_B \leq D_C \leq D_D$  (ausgenommen  $D_A = D_B = D_C = D_D$ ) erfüllt ist, vorausgesetzt, dass die beiden Punkte so bestimmt sind, dass ein Abstand zwischen dem Paar von Elektrodenschichten (112) der kürzeste in dem Querschnitt senkrecht zu der Strömungswegrichtung der Zellen (108) ist.
4. Leitfähige Wabenstruktur (100) nach Anspruch 3, wobei bezüglich  $D_A$ ,  $D_B$ ,  $D_C$  und  $D_D$  ein Vergleichsausdruck  $D_A < D_B < D_C < D_D$  erfüllt ist.

5. Leitfähige Wabenstruktur (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei jede der Elektrodenschichten (112) ein Ende in einem Bereich von 0 bis 5 % von der ersten Stirnfläche (104) des Wabenstrukturabschnitts (101) und das andere Ende in einem Bereich von 0 bis 75 % von der ersten Stirnfläche (104) des Wabenstrukturabschnitts (101) bezüglich einer Länge in der Strömungswegrichtung der Zellen (108) von der ersten Stirnfläche (104) zu der zweiten Stirnfläche (106) des Wabenstrukturabschnitts (101) aufweist, so dass sich die Elektrodenschicht (112) von dem einen Ende in der Strömungswegrichtung der Zellen (108) zu dem anderen Ende erstreckt.

6. Leitfähige Wabenstruktur (100) nach Anspruch 5, wobei jede der Elektrodenschichten (112) ein Ende in einem Bereich von 0 bis 5 % von der ersten Stirnfläche (104) des Wabenstrukturabschnitts (101) und das andere Ende in einem Bereich von 0 bis 50 % von der ersten Stirnfläche (104) des Wabenstrukturabschnitts (101) bezüglich einer Länge in der Strömungswegrichtung der Zellen (108) von der ersten Stirnfläche (104) zu der zweiten Stirnfläche (106) des Wabenstrukturabschnitts (101) aufweist, so dass sich die Elektrodenschicht (112) von dem einen Ende in der Strömungswegrichtung der Zellen (108) zu dem anderen Ende erstreckt.

7. Leitfähige Wabenstruktur (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Elektrodenschichten (112) so ausgebildet sind, dass sie in irgendeinem Querschnitt senkrecht zu der Strömungswegrichtung der Zellen (108) betrachtet bezüglich einer Linie, die die Mittelpunkte in einer Umfangsrichtung der Elektrodenschichten (112) verbindet, liniensymmetrisch sind.

8. Leitfähige Wabenstruktur (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei eine Markierung, die eine Strömungsrichtung des Fluids angibt, auf der Wabenstruktur (100) vorgesehen ist.

9. Leitfähige Wabenstruktur (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei wenn die Wabenstruktur (100), von der die Elektrodenschichten (112) entfernt sind, in der Strömungswegrichtung der Zellen (108) in vier gleiche Abschnitte aufgeteilt ist und die folgenden elektrischen Widerstände (1) bis (9) bezüglich jedes der vier gleich aufgeteilten Abschnitte gemessen werden:

- (1) ein elektrischer Widerstand in der Strömungswegrichtung der Zellen (108) zwischen einem Schwerpunkt einer Stirnfläche und dem Schwerpunkt einer weiteren Stirnfläche,
- (2) ein elektrischer Widerstand in irgendeiner Richtung der Richtungen in der Ebene der einen Stirnfläche zwischen einem Schwerpunkt einer derartigen Stirnfläche und einem äußeren Umfangsrund des Wabenstrukturabschnitts (101),
- (3) ein elektrischer Widerstand in einer Richtung in der Ebene der einen Stirnfläche zwischen dem Schwerpunkt einer derartigen Stirnfläche und dem äußeren Umfangsrund des Wabenstrukturabschnitts (101), wobei die Richtung in der Ebene um 90° von der in (2) definierten Richtung verschieden ist,
- (4) ein elektrischer Widerstand in einer Richtung in der Ebene der einen Stirnfläche zwischen dem Schwerpunkt einer derartigen Stirnfläche und dem äußeren Umfangsrund des Wabenstrukturabschnitts (101), wobei die Richtung in der Ebene um 180 ° von der in (2) definierten Richtung verschieden ist,
- (5) ein elektrischer Widerstand in einer Richtung in der Ebene der einen Stirnfläche zwischen dem Schwerpunkt einer derartigen Stirnfläche und dem äußeren Umfangsrund des Wabenstrukturabschnitts (101), wobei die Richtung in der Ebene um 270 ° von der in (2) definierten Richtung verschieden ist,
- (6) ein elektrischer Widerstand in irgendeiner Richtung der Richtungen in der Ebene der anderen Stirnfläche zwischen einem Schwerpunkt einer derartigen Stirnfläche und einem äußeren Umfangsrund des Wabenstrukturabschnitts (101),
- (7) ein elektrischer Widerstand in einer Richtung in der Ebene der anderen Stirnfläche zwischen dem Schwerpunkt einer derartigen Stirnfläche und dem äußeren Umfangsrund des Wabenstrukturabschnitts (101), wobei die Richtung in der Ebene um 90° von der in (6) definierten Richtung verschieden ist,
- (8) ein elektrischer Widerstand in einer Richtung in der Ebene der anderen Stirnfläche zwischen dem Schwerpunkt einer derartigen Stirnfläche und dem äußeren Umfangsrund des Wabenstrukturabschnitts (101), wobei die Richtung in der Ebene um 180 ° von der in (6) definierten Richtung verschieden ist, und
- (9) ein elektrischer Widerstand in einer Richtung in der Ebene der anderen Stirnfläche zwischen dem Schwerpunkt einer derartigen Stirnfläche und dem äußeren Umfangsrund des Wabenstrukturabschnitts (101), wobei die Richtung in der Ebene um 270 ° von der in (6) definierten Richtung verschieden ist, um einen Durchschnittswert der elektrischen Widerstände in jeder Richtung der vier Abschnitte zu erhalten, der elektrische Widerstand in jeder der neun Richtungen jedes der vier Abschnitte in einen Bereich von ±10 % bezüglich des Durchschnittswerts der elektrischen Widerstände in der entsprechenden Richtung fällt.

10. Leitfähige Wabenstruktur (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei wenn das Paar von Elektrodenschichten (112) in der Strömungswegrichtung der Zellen (108) in vier gleiche

Abschnitte aufgeteilt ist, um vier Bereiche A, B, C und D von einer Seite näher bei der ersten Stirnfläche (104) zu bilden, und ein Durchschnittswert der spezifischen elektrischen Widerstände des Materials, das das Paar von Elektrodenschichten (112) in jedem der oben beschriebenen vier Bereiche bildet, als  $r_A$ ,  $r_B$ ,  $r_C$  und  $r_D$  in dieser Reihenfolge von der Seite näher bei der ersten Stirnfläche (104) dargestellt ist, ein Vergleichsausdruck  $r_A \leq r_B \leq r_C \leq r_D$  (ausgenommen  $r_A = r_B = r_C = r_D$ ) erfüllt ist.

11. Leitfähige Wabenstruktur (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei ein Abschnitt der äußeren Umfangsseitenwand (102) einen elektrisch isolierenden Schlitz (118), der sich in der Strömungswegrichtung der Zellen (108) erstreckt, umfasst, wobei der Schlitz (118) zwischen den Abschnitten der äußeren Umfangsseitenwände angeordnet ist, wo jede des Paares von Elektrodenschichten (112) die Außenfläche (109) bildet.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

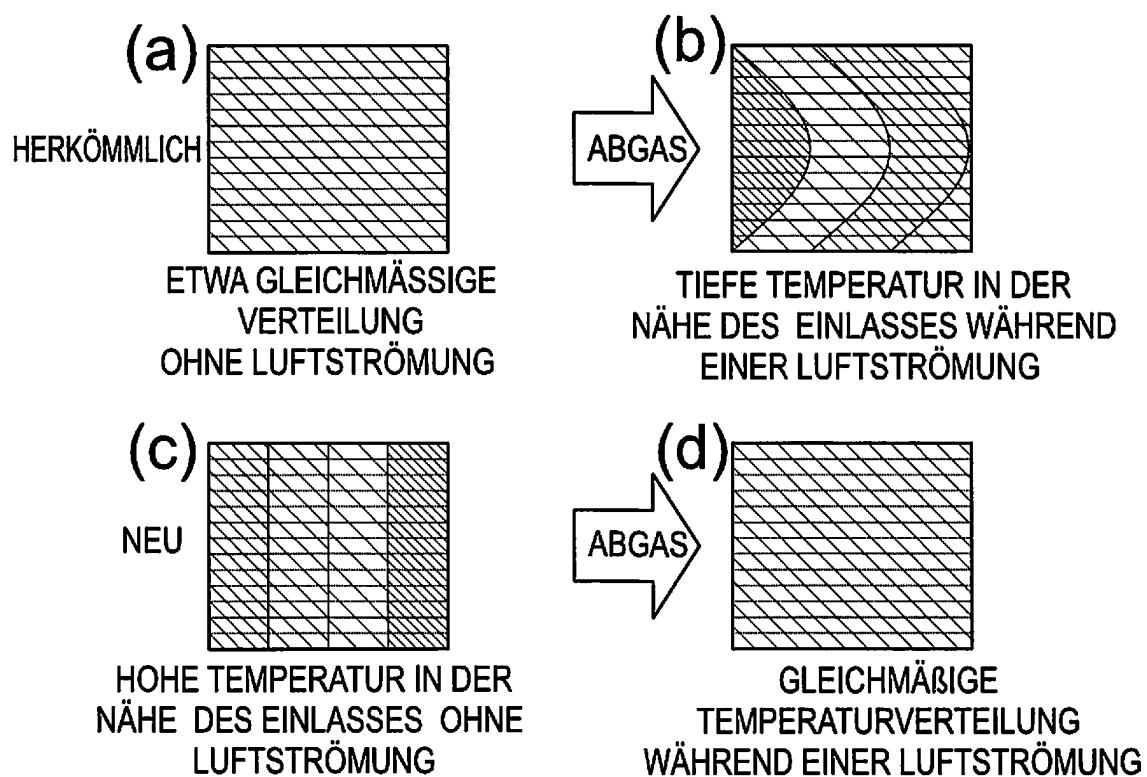


Fig. 1

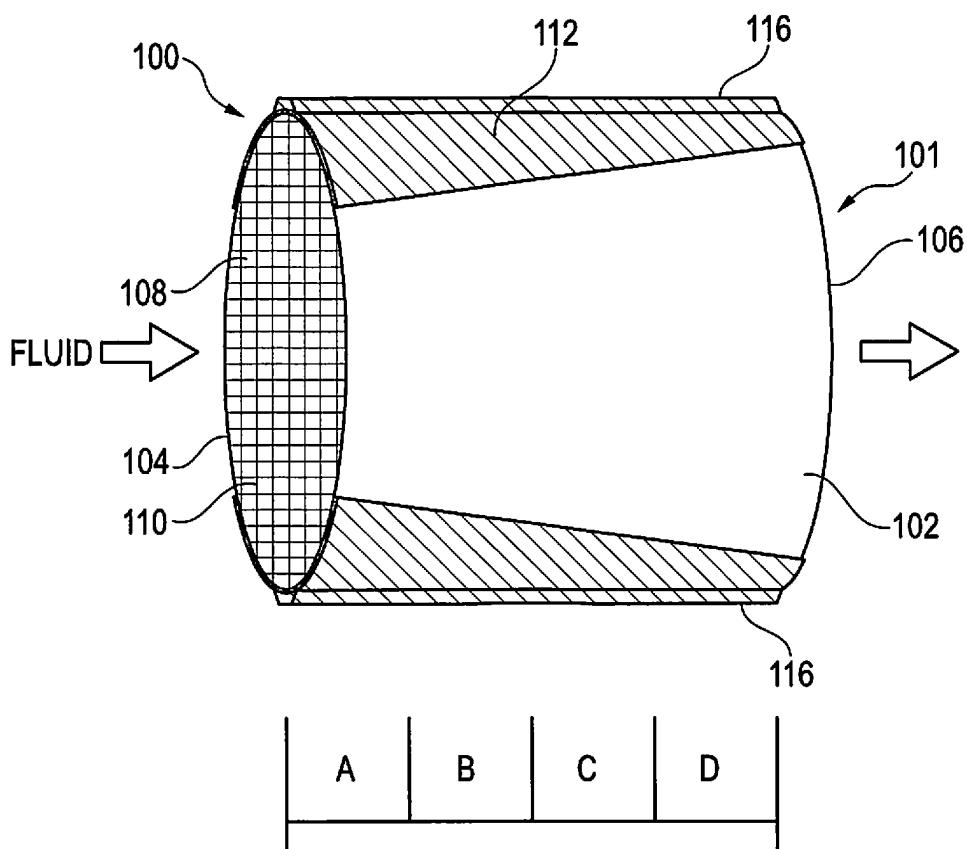


Fig. 2-1

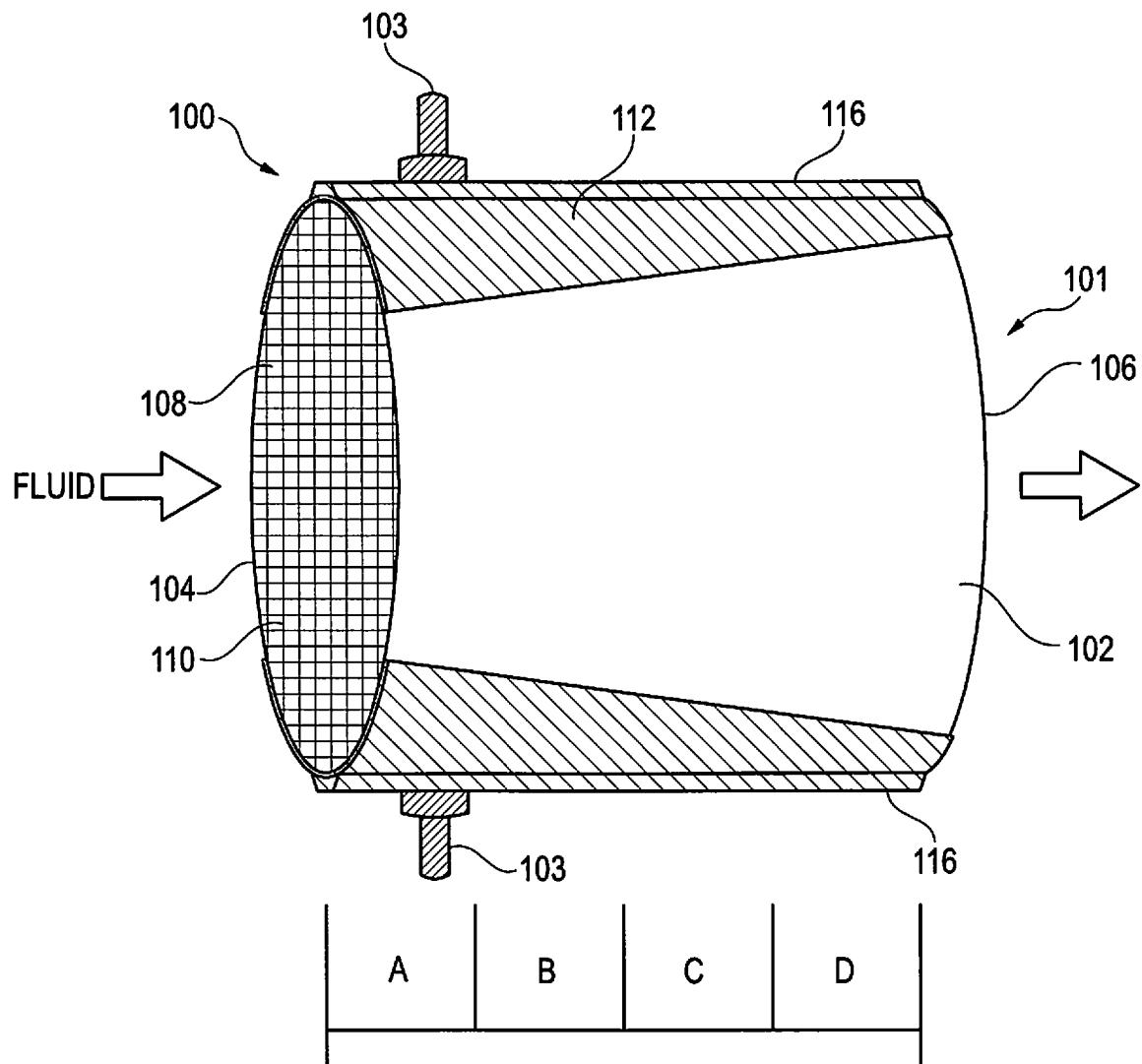


Fig. 2-2

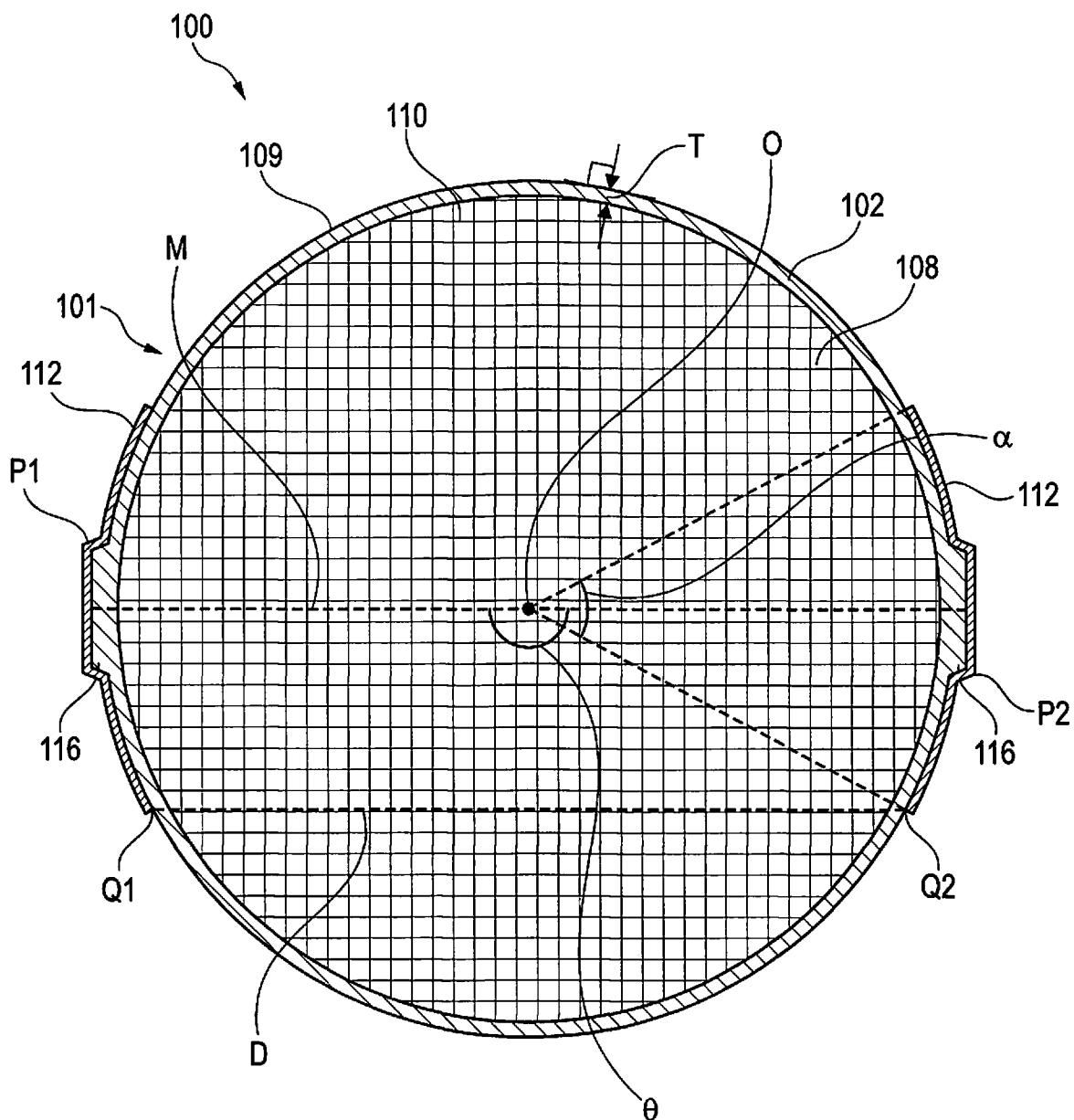


Fig. 3

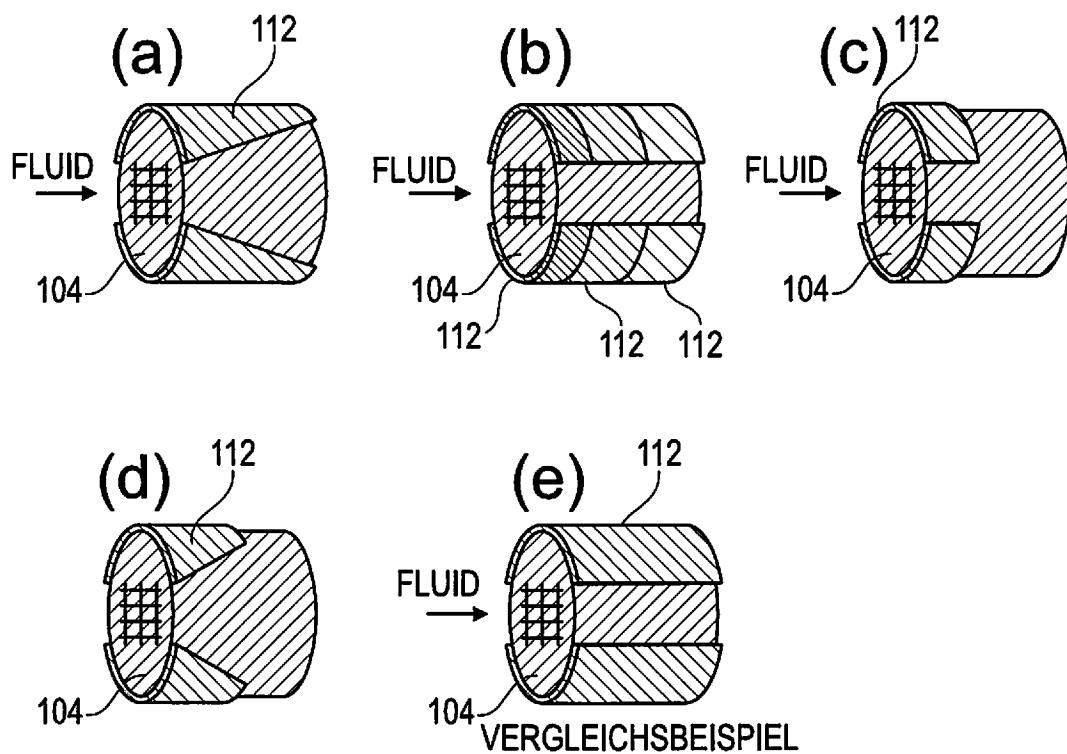
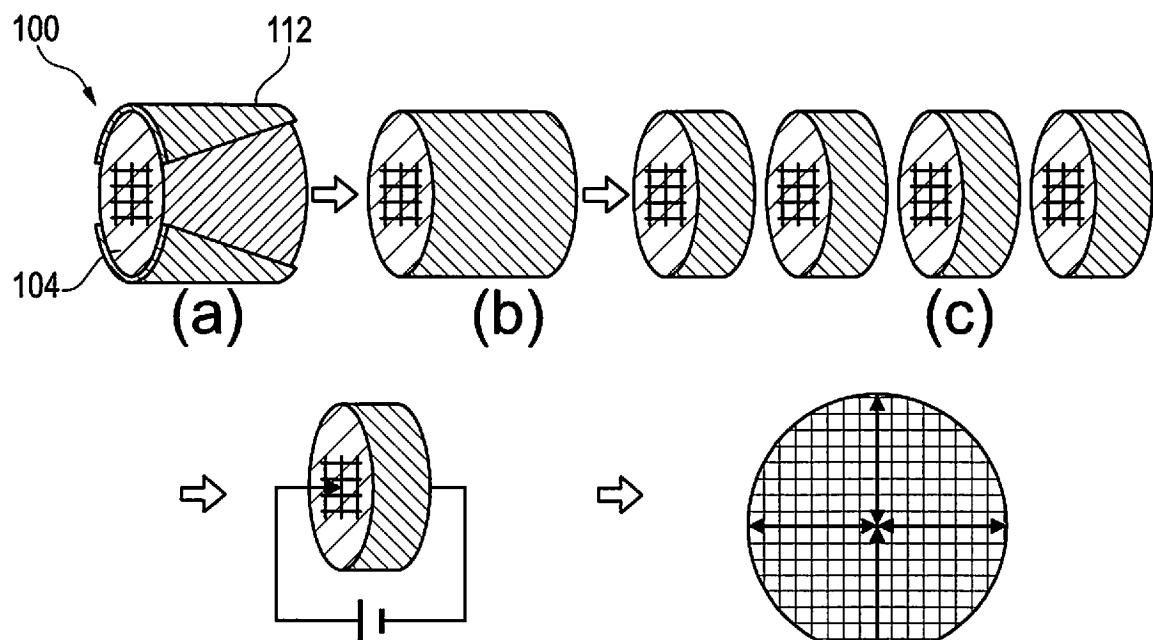


Fig. 4



(1) MESSEN DES WIDERSTANDS IN  
RICHTUNG DES STRÖMUNGSWEGS  
IN JEDEM BEREICH

(2) BIS (9) MESSEN DES WIDERSTANDS  
IN DER RICHTUNG IN DER EBENE  
IN BEIDEN STIRNFLÄCHEN JEDES BEREICHS

Fig. 5

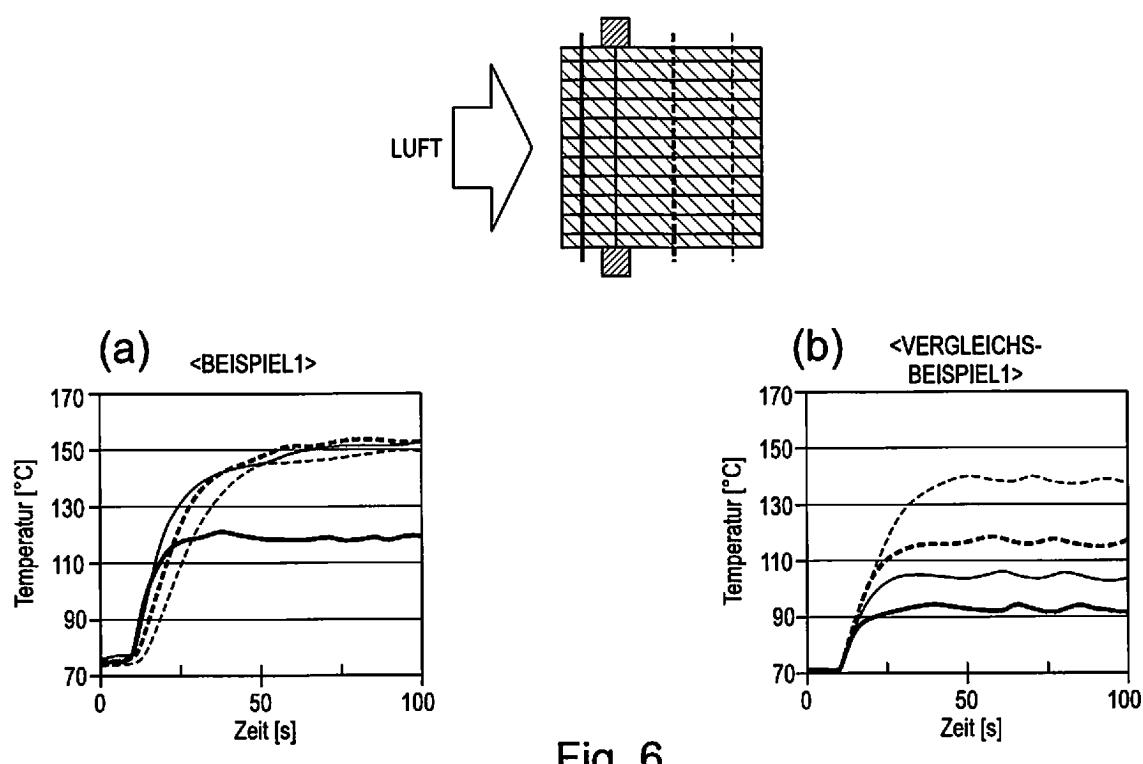


Fig. 6

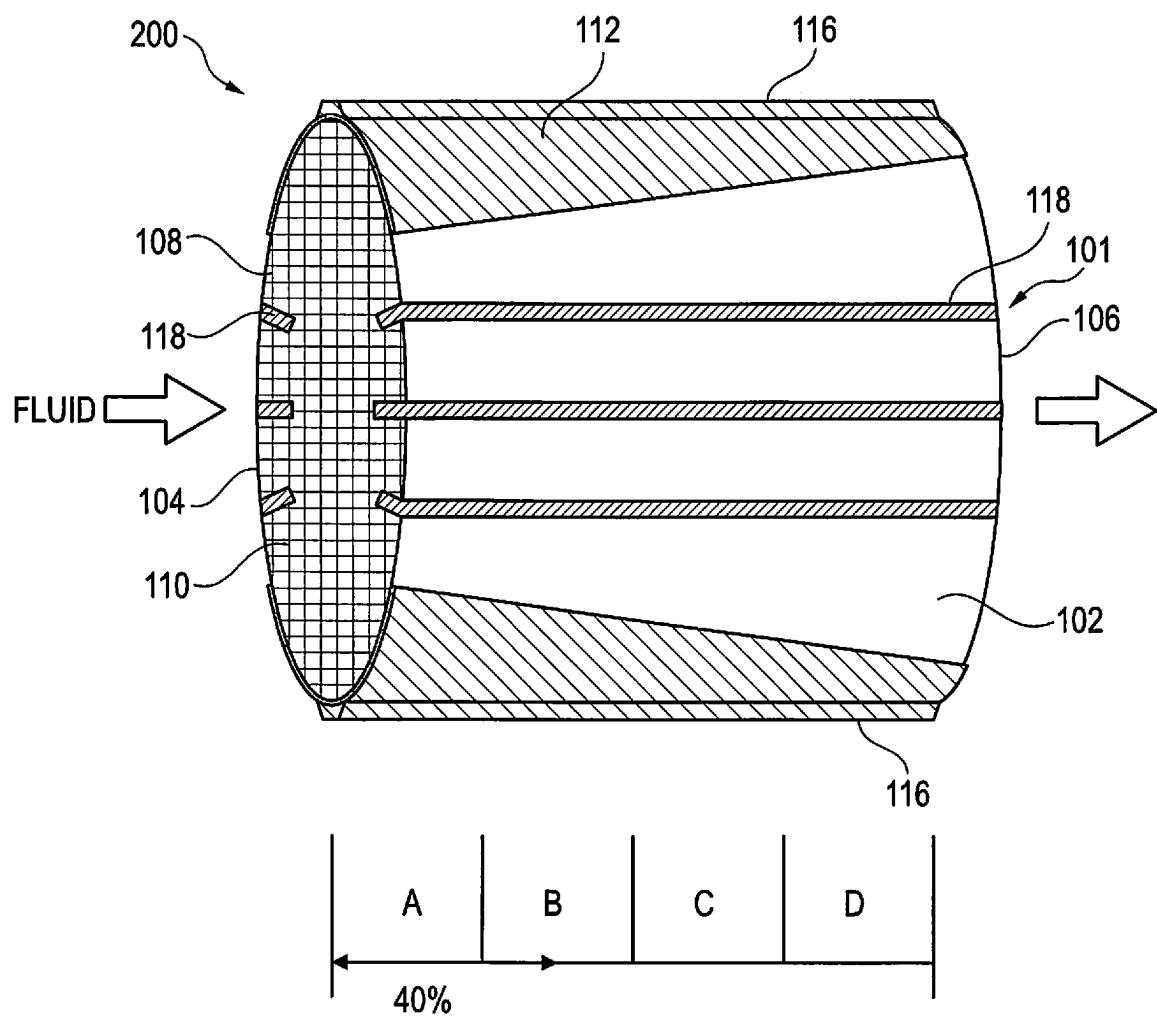


Fig. 7

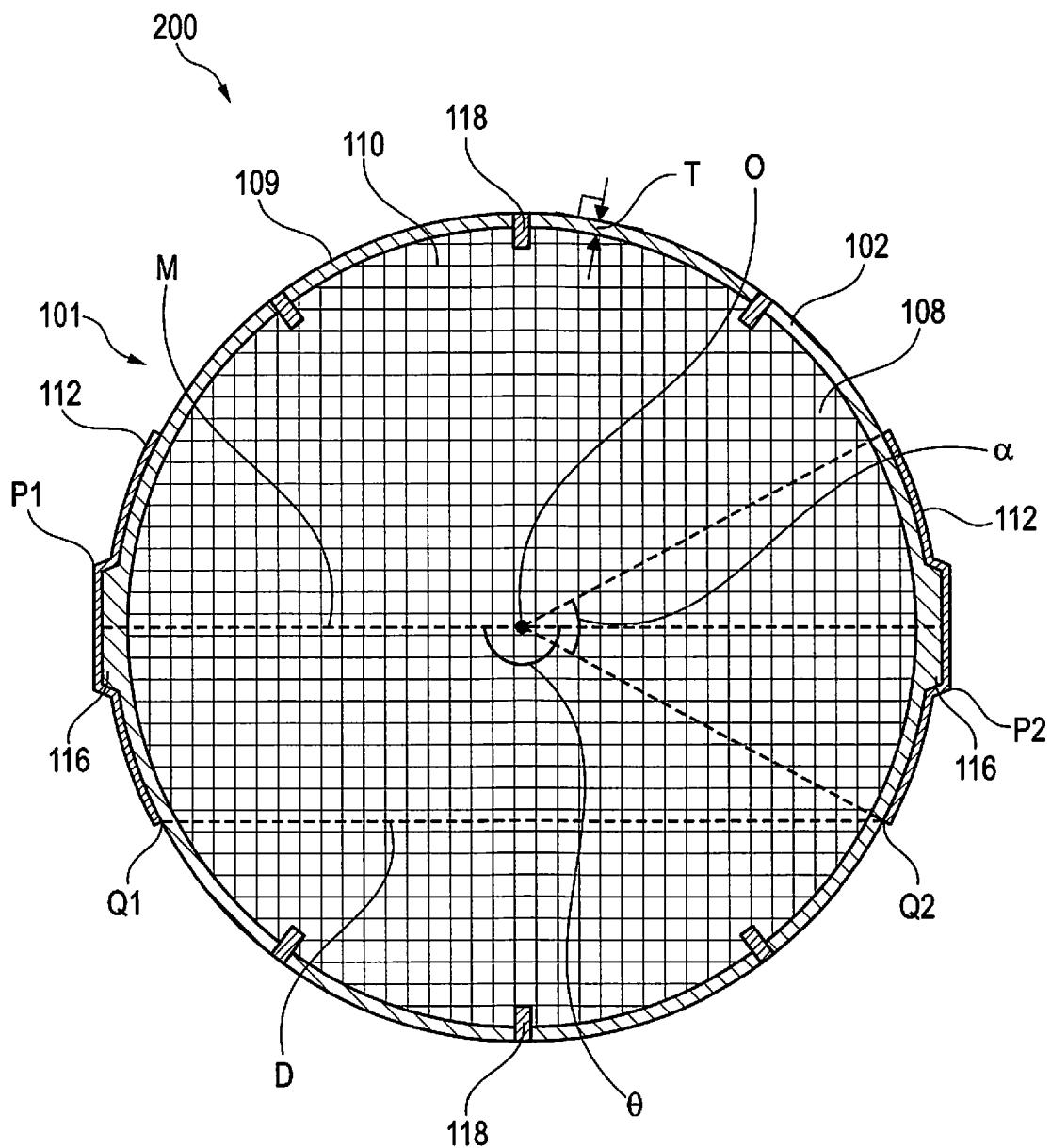


Fig. 8