



(10) **DE 10 2015 116 478 B4** 2021.11.04

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2015 116 478.7**

(22) Anmeldetag: **29.09.2015**

(43) Offenlegungstag: **31.03.2016**

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **04.11.2021**

(51) Int Cl.: **F03G 7/06 (2006.01)**

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:

2014-201683 30.09.2014 JP

(73) Patentinhaber:

NGK INSULATORS, LTD., Nagoya City, Aichi, JP

(74) Vertreter:

TBK, 80336 München, DE

(72) Erfinder:

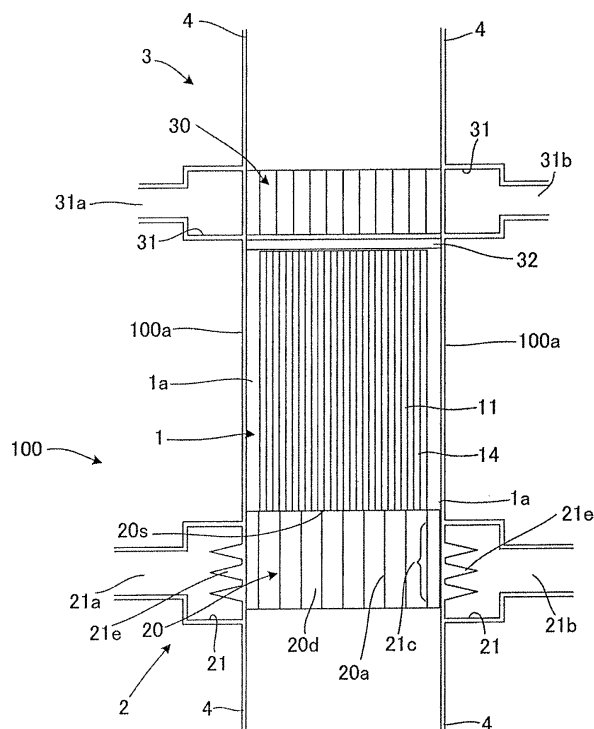
**Miyairi, Yukio, Nagoya-shi, Aichi, JP; Miwa,
Shinichi, Nagoya-shi, Aichi, JP**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2015 104 727	A1
US	2013 / 0 298 547	A1
JP	2012- 112 621	A
JP	2005- 180 294	A
JP	2012- 237 295	A
JP	2012- 237 289	A

(54) Bezeichnung: **Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteil und Wärme-/Schallwellen-Umwandlungseinheit**

(57) Hauptanspruch: Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil (1) mit einer ersten Endfläche und einer zweiten Endfläche, das eine Trennwand (11) umfasst, die eine Mehrzahl Zellen (14) definiert, die sich von der ersten Endfläche zu der zweiten Endfläche erstrecken, wobei das Innere der Zellen (14) mit einem Arbeitsfluid gefüllt ist, das oszilliert, um Schallwellen zu übertragen, wobei das Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil (1) wechselweise zwischen der Trennwand (11) und dem Arbeitsfluid ausgetauschte Wärme und aus Oszillationen des Arbeitsfluids herrührende Energie von Schallwellen umwandelt, wobei ein hydraulischer Durchmesser HD des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils (1) 0,4 mm oder weniger beträgt, wo der hydraulische Durchmesser HD als $HD=4xS/C$ definiert ist, wo S eine Fläche eines Querschnitts von jeder Zelle rechtwinklig zu der Zellenerstreckungsrichtung bezeichnet und C einen Umfang des Querschnitts bezeichnet, wobei das Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil (1) an jeder Endfläche eine offene Stirnfläche von 60% oder mehr und 93% oder weniger aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass die Trennwand (11) eine arithmetische Oberflächenrauigkeit (Ra) an der Oberfläche von 3 µm oder mehr und 20 µm oder weniger aufweist.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteile und Wärme-/Schallwellen-Umwandlungseinheiten. Noch genauer betrifft die vorliegende Erfindung ein Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteil, um Wärme- und Schallwellenenergie wechselweise umzuwandeln, und eine Wärme-/Schallwellen-Umwandlungseinheit mit einem Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteil und einem Wärmetauscher.

[0002] Zurückliegend erlangte die Gesellschaft insgesamt mehr und mehr Interesse in wirkungsvoller Verwendung von Energieressourcen, und so wurden auf Versuchsbasis verschiedene Technologien zur Wiederverwendung von Energie entwickelt. Darunter erlangt ein Energiewiederherstellungssystem Aufmerksamkeit, da die Erlangungsrate (Energieleistungsfähigkeit) der erlangten Energie hoch ist. Das Energiewiederherstellungssystem wandelt Wärme eines Fluids hoher Temperatur wie z.B. eines Abgases von Automobilen durch eine thermoakustische Wirkung in eine akustische Wellenenergie um, und gibt schlussendlich eine derartige Energie in der Form von elektrischer Leistung ab. Verschiedene Anstrengungen wurden vorgenommen, um ein solches System praktisch einzusetzen.

[0003] Einfach gesprochen ist ein thermoakustischer Effekt eine Erscheinung, Schallwellen unter Verwendung von Wärme zu erzeugen. Noch genauer ist der thermoakustische Effekt eine Erscheinung, ein Schallwellenübertragungsmedium in einem dünnen Rohr oszillieren zu lassen, um Schallwellen zu erzeugen, wenn Wärme an einem Ende eines dünnen Rohrs angewendet wird, um einen Temperaturgradienten an dem dünnen Rohr auszubilden. Da es wirkungsvoll ist, Schallwellen unter Verwendung einer großen Anzahl von solchen dünnen Rohren auf einmal zu erzeugen, wird oft eine Wabenstruktur mit einer großen Anzahl von Durchgangsbohrungen, die jeweils einen kleinen Durchmesser aufweisen, als Sammelform der dünnen Rohre verwendet, die eine thermoakustische Wirkung erzeugen (sh. z.B. Patentdokumente 1 bis 3).

[0004] Indes wurde die Wabenstruktur selbst für verschiedene Zwecke ohne Bezug auf die thermoakustische Wirkung verwendet, da ihre dreidimensionale Geometrie einen großen Oberflächenbereich aufweist. Zum Beispiel ist ein typisches Beispiel eine Wabenstruktur zum Laden eines Katalysators für eine Abgasreinigung, um feine Partikel aus einem Abgas von Automobilen zu entfernen, und verschiedene Arten von Strukturen wurden bekannt entwickelt. Ein anderes Beispiel ist eine Wabenstruktur, die kleine Durchgangsbohrungen von ein paar Zehntel bis ein paar Hundertstel μm im Durchmesser aufweist, die als Ionenkatalysator entwickelt wurde (sh. z.B. Nicht-Patentdokumente 1, 2). Diese wurden lediglich durch ein chemisches Verfahren hergestellt, das vollständig unterschiedlich von der Extrusion ist, die üblicherweise für Wabenstrukturen als Filter verwendet wird.

[0005] Auf diese Weise, obwohl Wabenstrukturen konventionell gut bekannt sind, ist oft erforderlich, dass sie verschiedene Eigenschaften aufweisen, dass sie für eine thermoakustische Wirkung geeignet sind, wenn diese Strukturen als Bauteile zum Umwandeln von Wärme-/Schallwellen verwendet werden, um den thermoakustischen Effekt auszuüben. Zum Beispiel, um einen starken thermoakustischen Effekt auszuüben, weisen die Durchgangsbohrungen bevorzugt einen kleinen Durchmesser auf, und die Druckschrift JP 2012- 237295 A schlägt eine Wabenstruktur für einen thermoakustischen Effekt mit Durchgangsbohrungen vor, der einen Durchmesser von 0,5 mm oder mehr und weniger als 1,0 mm aufweisen, was kleiner als der von Wabenstrukturen zum Laden von Katalysatoren für die Abgasreinigung ist. Obwohl die Wabenstrukturen in den Nicht-Patentdokumenten 1 und 2 einen sehr kleinen Porendurchmesser aufweisen, werden diese lediglich durch ein chemisches Verfahren hergestellt, und somit weisen sie begrenzte Längen und Lebensdauer auf, und sind nicht für die Wabenstruktur für einen thermoakustischen Effekt sehr gut geeignet. Andererseits erfüllt die Wabenstruktur für einen thermoakustischen Effekt des Patentdokuments 3 eine notwendige Bedingung, dass die in der Verwendung als Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteil dauerhaft ist, um einen thermoakustischen Effekt auszuüben, und weist dann den Vorteil auf, eine herausragende Funktion zum Umwandeln von Wärme-/Schallwellen aufzuweisen.

Patentdokument 1: JP 2005 - 180 294 A

Patentdokument 2: JP 2012- 112 621 A

Patentdokument 3: JP 2012- 237 295 A

Patentdokument 4: DE 10 2015 104 727 A1

Patentdokument 5: US 2013 / 0 298 547 A1

Patentdokument 6: JP 2012- 237 289 A

[0006] Nicht-Patendokument 1:

URL: <http://www.mesl.t.u-tokyo.ac.jp/ia/research/tpv.html> im Internet

Nicht-Patendokument 2:

URL: http://www.ricoh.com/ja/technology/tech/009_honeycomb.html im Internet

[0007] Jedoch können verschiedene strukturelle Faktoren zusätzlich zu einem kleineren Durchmesser der Durchgangsbohrungen berücksichtigt werden, die zum Verbessern einer Funktion zum Umwandeln von Wärme-/Schallwellen beitragen. Insbesondere wird eine starke Funktion zum Umwandeln von Wärme-/Schallwellen erlangt, wenn eine Wärmeübertragung (Wärmetausch) zwischen den Schallwellen übertragenem Medium in den Durchgangsbohrungen der Wabenstruktur und den Durchgangsbohrungswandflächen einfach auftritt. Verschiedene andere strukturelle Konfigurationen zum Erlangen eines solchen Zustands als den Durchmesser der Durchgangsbohrungen kleiner zu machen, können berücksichtigt werden. Auf diese Weise ist eine größere Verbesserung erwünscht, um eine Funktion zum Umwandeln von Wärme-/Schallwellen zu verbessern.

[0008] Unter Betrachtung der voranstehend erwähnten Umstände hat die vorliegende Erfindung die Aufgabe, ein Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteil bereitzustellen, das eine verbesserte Wärmeübertragung zwischen dem Schallwellenübertragungsmedium in den Durchgangsbohrungen und den Durchgangsbohrungswandflächen aufweist, und eine Wärme-/Schallwellen-Umwandlungseinheit mit einem solchen Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteil und einem Wärmetauscher.

[0009] Die Aufgabe der Erfindung wird durch ein Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteil nach Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen werden gemäß den abhängigen Ansprüchen ausgeführt.

[0010] Offenbart ist ein Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteil, das eine erste Endfläche und eine zweite Endfläche aufweist, mit einer Trennwand, die eine Mehrzahl Zellen definiert, die sich von der ersten Endfläche zu der zweiten Endfläche erstrecken, wobei das Innere der Zellen mit einem Arbeitsfluid gefüllt ist, das oszilliert, um Schallwellen zu übertragen, wobei das Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteil wechselweise zwischen der Trennwand und dem Arbeitsfluid ausgetauschte Wärme und von Oszillationen des Arbeitsfluids herrührende Energie von Schallwellen austauscht, wobei ein hydraulischer Durchmesser HD des Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteils 0,4 mm oder weniger beträgt, wo der hydraulische Durchmesser HD als $HD=4 \times S/C$ definiert ist, wo S eine Querschnittsfläche von jeder Zelle rechtwinklig zu der Zellerstreckungsrichtung bezeichnet, und C einen Perimeter des Querschnitts bezeichnet, und das Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteil eine offene Stirnfläche an jeder Endfläche von 60% oder mehr und 93% oder weniger aufweist, und die Trennwand eine arithmetische Oberflächenrauigkeit (Ra) an der Oberfläche von 3 µm oder mehr und 20 µm oder weniger aufweist.

[0011] In dem Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteil kann die Trennwand ein poröses Material haben, und die Trennwand eine offene Stirnfläche an der Oberfläche von 5% oder mehr und weniger als 30% aufweisen.

[0012] Das Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteil kann eine Geradheit von 0,5 mm oder mehr und 3,0 mm oder weniger aufweisen. Die Geradheit zeigt einen Schwankungsbereich der Oberfläche der Trennwand in einem Querschnitt mit der Erstreckungsrichtung und in einer Richtung rechtwinklig zu der Erstreckungsrichtung in dem Querschnitt an.

[0013] Die Trennwand kann ein Material haben, das eine Wärmeleitfähigkeit von 5 W/mK oder weniger aufweist.

[0014] Außerdem ist offenbart eine Wärme-/Schallwellen-Umwandlungseinheit mit dem voranstehend beschriebenen Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteil in einem Zustand, in dem das Innere der Mehrzahl der Zellen mit dem Arbeitsfluid gefüllt ist, wenn ein Temperaturunterschied zwischen einem ersten Endteil an der Seite der ersten Endfläche und einem zweiten Endteil an der Seite der zweiten Endfläche besteht, das Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteil das Arbeitsfluid entlang der Erstreckungsrichtung gemäß dem Temperaturunterschied oszilliert und Schallwellen erzeugt; und einem Paar Wärmetauscher, die in einer Nähe des ersten Endteils bzw. des zweiten Endteils des Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteils vorgesehen sind, wobei die Wärmetauscher Wärme mit beiden Entteilen austauschen, um einen Temperaturunterschied zwischen den beiden Endteilen zu erzeugen.

[0015] Außerdem ist offenbart eine Wärme-/Schallwellen-Umwandlungseinheit mit dem voranstehend beschriebenen Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteil, in einem Zustand, in dem das Innere der Mehrzahl der Zellen mit dem Arbeitsfluid gefüllt ist, und wenn das Arbeitsfluid entlang der Erstreckungsrichtung oszilliert, während es übertragene Schallwellen empfängt, das Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteil einen Temperaturunterschied zwischen einem ersten Endteil an der Seite der ersten Endfläche und einem zweiten Endteil an der Seite der zweiten Endfläche Oszillationen des Arbeitsfluids erzeugt; einen Wärmetauscher, der in einer Nähe einem aus erstem Endteil und zweiten Endteil des Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteils vorgesehen ist, wobei der Wärmetauscher Wärme zu dem einen Endteil zuführt oder Wärme von dem einen Endteil absorbiert, um eine Temperatur an dem einen Endteil konstant zu halten; und einer Wärme-/Kaltwärme-Abgabeeinheit, die in einer Nähe des anderen Endteils des ersten Endteils und des zweiten Endteils des Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteils vorgesehen ist, das an der dem einen Endteil gegenüberliegenden Seite liegt, wobei die Wärme-/Kaltwärme-Abgabeeinheit Wärme oder Kaltwärme (Kälte) abgibt, die vom Austauschen der Wärme mit dem anderen Endteil erhalten wurde, so dass in einem Zustand, in dem die Temperatur des einen Endteils durch den Wärmetauscher konstant gehalten ist, und wenn das Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteil übertragene Schallwellen empfängt, das andere Endteil einen Temperaturunterschied mit Bezug auf das an der konstanten Temperatur gehaltene eine Endteil gemäß Oszillationen des Arbeitsfluids aufgrund der Übertragung der Schallwellen aufweist. Hier bedeutet „Abgeben von Wärme oder Kaltwärme (Kälte)“ z.B. „das Abgeben eines Fluids, dessen Temperatur erhöht ist, oder eines Fluids, dessen Temperatur verringert ist“.

[0016] In dem Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteil der vorliegenden Erfindung beträgt der hydraulische Durchmesser HD 0,4 mm oder weniger, und eine offene Stirnfläche an jeder Endfläche des Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteils beträgt 60% oder mehr und 93% oder weniger, und die Trennwand weist eine arithmetische Oberflächenrauigkeit (Ra) an der Oberfläche von 3 µm oder mehr und 20 µm oder weniger auf. Mit dieser Konfiguration kann die Wärmeübertragung zwischen dem Schallwellenübertragungsmedium in den Durchgangsbohrungen und den Durchgangsbohrungswandflächen verbessert werden. Als Ergebnis kann eine ausreichende Energieumwandlungsleistungsfähigkeit erlangt werden, wenn Wärme durch eine thermoakustische Wirkung in Schallwellenenergie umgewandelt wird.

Figurenliste

Fig. 1 zeigt schematisch die Konfigurationen des Leistungserzeugungssystems, an dem eine Ausführungsform einer Wärme-/Schallwellen-Umwandlungseinheit und ein Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteil der vorliegenden Erfindung angewendet ist.

Fig. 2 zeigt schematisch ein Kälteerzeugungssystem, an dem die Wärme-/Schallwellen-Umwandlungseinheit und das Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteil in **Fig. 1** angewendet sind.

Fig. 3 zeigt schematisch die Konfiguration der Einheit zum Umwandeln von Wärme-/Schallwelle der **Fig. 1**.

Fig. 4 ist eine perspektivische Ansicht, die die Erscheinung des Wärmetauschers an der Hochtemperaturseite in der Wärme-/Schallwellen-Umwandlungseinheit der **Fig. 3** zeigt.

Fig. 5 ist eine Querschnittsansicht des Wärmetauschers an der Hochtemperaturseite, wenn ein Einströmanschluss und ein Ausströmanschluss des ringförmigen Rohrs an der Hochtemperaturseite in einer Ebene betrachtet werden.

Fig. 6 zeigt schematisch eine Form einer Wärme-/Schallwellen-Umwandlungseinheit mit einer anderen Wabenstruktur, die in das ringförmige Rohr an der Hochtemperaturseite eingepasst ist.

Fig. 7 ist eine schematische Querschnittsansicht des Wärmetauschers an der Hochtemperaturseite entlang der Linie A-A in **Fig. 6**.

Fig. 8 zeigt schematisch eine andere Form der Wärme-/Schallwellen-Umwandlungseinheit der vorliegenden Erfindung, die unterschiedlich von den Einheiten zum Umwandeln von Wärme-/Schallwellen in **Fig. 6** und **Fig. 7** ist.

Fig. 9 zeigt schematisch noch eine andere Form der Wärme-/Schallwellen-Umwandlungseinheit, die von der Wärme-/Schallwellen-Umwandlungseinheit in **Fig. 8** unterschiedlich ist.

Fig. 10 ist eine Querschnittsansicht eines Wärmetauschers an der Hochtemperaturseite, der eine Netzstruktur aufweist.

Fig. 11 ist eine Querschnittsansicht des Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteils der **Fig. 3** in einer Ebene rechtwinklig zu der Durchdringungsrichtung der Zellen des Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteils.

Fig. 12 ist ein Konzeptdiagramm zum Erläutern der Geradheit einer Trennwandoberfläche.

Fig. 13 ist eine perspektivische Ansicht, die die Vorrichtung einer Matrize zeigt, die zum Vorbereiten eines wabenstrukturformten Körpers in der vorliegenden Ausführungsform verwendet wird.

Fig. 14 ist eine perspektivische Ansicht, die die Erscheinung der Matrize in **Fig. 13** zeigt, die von der **Fig. 13** gegenüberliegenden Seite aus betrachtet wird.

Fig. 15 ist eine vergrößerte Draufsicht, die ein Teil der Oberfläche der Matrize in **Fig. 13** zeigt.

Fig. 16 zeigt schematisch einen Querschnitt der Matrize der **Fig. 15** entlang der Linie A-A'.

Fig. 17 zeigt ein Beispiel einer Halteplattenkonfiguration.

Fig. 18 zeigt ein anderes Beispiel der Halteplattenkonfiguration, das von der **Fig. 17** unterschiedlich ist.

Fig. 19 zeigt noch ein anderes Beispiel der Halteplattenkonfiguration.

Fig. 20 zeigt ein weiteres Beispiel der Halteplattenkonfiguration, das von **Fig. 19** unterschiedlich ist.

[0017] Das Folgende beschreibt Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung mit Bezug auf die Zeichnungen. Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die folgenden Ausführungsformen begrenzt, sondern es soll verstanden werden, dass sie die folgenden Ausführungsformen einschließt, zu denen Modifikationen und Verbesserungen hinzugefügt werden, wie notwendig ist, ausgehend von dem Allgemeinwissen eines Fachmanns ohne von dem Bereich der vorliegenden Erfindung abzuweichen.

[0018] **Fig. 1** zeigt schematisch die Konfiguration eines Leistungserzeugungssystems, an dem eine Ausführungsform einer Wärme-/Schallwellen-Umwandlungseinheit und eines Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteils der vorliegenden Erfindung angewendet ist.

[0019] Ein Leistungserzeugungssystem **1000** in **Fig. 1** hat eine Wärme-/Schallwellen-Umwandlungseinheit **100**, ein schleifenförmiges Rohr **4**, ein Resonanzrohr **5** und einen Energiewandler **6**.

[0020] Das geschleifte Rohr **4** ist ein schleifenförmiges Rohr, das mit einem Ende an der in der Zeichnung der Einheit **100** oberen Seite (oberes Ende) und einem Ende an der unteren Seite (unteres Ende) zum Umwandeln von Wärme-/Schallwellen verbunden ist. Das Resonanzrohr **5** ist ein gerades Rohr, das ein Ende mit dem schleifenförmigen Rohr **4** verbunden aufweist, und das andere Ende mit dem Energiewandler **6** verbunden aufweist. Hierin machen das Resonanzrohr **5** und der Energiewandler **6** insgesamt ein Rohr aus, das im Wesentlichen an dem Ende der rechten Seite der Zeichnung geschlossen ist (obwohl dies in der Zeichnung nicht gezeigt ist, ist es innerhalb des Energiewandlers **6** in der Zeichnung vorhanden).

[0021] Die Wärme-/Schallwellen-Umwandlungseinheit **100** hat ein Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteil **1**, einen hochtemperaturseitigen Wärmetauscher **2** und einen niedertemperaturseitigen Wärmetauscher **3**.

[0022] Der hochtemperaturseitige Wärmetauscher **2** empfängt das Einströmen eines erwärmten Fluids mit hohen Temperaturen (z.B. eines Abgases hoher Temperatur), und überträgt dessen Wärme zu dem unteren Ende des Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteils **1** der **Fig. 1**, um das erwärmte Fluid, das eine niedrigere Temperatur als zur Zeit des Einströmens aufweist, ausströmen zu lassen. Andererseits empfängt der niedertemperaturseitige Wärmetauscher **3** die Einströmung eines gekühlten Fluids (z.B. Wasser) mit relativ niedrigen Temperaturen im Vergleich mit dem erwärmten Fluid, das in den hochtemperaturseitigen Wärmetauscher **2** einströmt, und überträgt die Kälte zu dem oberen Ende des Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteils **1** der **Fig. 1**, um das gekühlte Fluid, das eine Temperatur aufweist, die höher als an dem Einströmen ist, ausströmen zu lassen. Derartige Funktionen des hochtemperaturseitigen Wärmetauschers **2** und des niedertemperaturseitigen Wärmetauschers **3** ergeben den Zustand, in dem das untere Ende des Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteils **1** eine relativ höhere Temperatur als das obere Ende aufweist. Das Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteil **1** weist eine Wabenstruktur mit einer Mehrzahl Durchgangsbohrungen (im Folgenden Zellen genannt) wie dünne Rohre auf, die vertikal in der Zeichnung verlängert sind. Jede Zelle ist von den benachbarten Zellen durch eine Trennwand getrennt, und ist mit dem geschleiften Rohr **4** über den hochtemperaturseitigen Wärmetauscher **2** und den niedertemperaturseitigen Wärmetauscher **3** in Verbindung.

[0023] Hierin sind das geschleifte Rohr **4**, das Resonanzrohr **5** und jede Zelle des Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteils **1** mit einem Arbeitsfluid intern gefüllt, die Oszillationen von Längswellen erzeugt und Schallwellen überträgt. Ein Beispiel des Arbeitsfluids sind Gase, die eine niedrige Viskosität aufweisen und wenig reaktiv sind, wie z.B. Edelgase.

[0024] Wenn in einem derartigen Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteil **1** ein Temperaturunterschied an beiden Enden vorhanden ist, wie voranstehend bezeichnet wurde, beginnt das Arbeitsfluid in jeder Zelle in der Durchdringungsrichtung der Zellen zu oszillieren. Dann werden die Oszillationen als Schallwellen von dem Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteil **1** extern übertragen. Eine derartige Erscheinung des Arbeitsfluids, das in Erwiderung auf den gegebenen Temperaturunterschied oszilliert, wird selbstinduzierte Oszillation genannt und ist bekanntlich eine gut bekannte Erscheinung, die auftritt, wenn einem dünnen Rohr ein Temperaturgradient verliehen wird. Ein thermoakustischer Effekt bezeichnet die Erzeugung von Schallwellen aufgrund der selbstinduzierten Oszillation des Arbeitsfluids, die von der Wärme herrührt. Im Folgenden ist diese selbstinduzierte Oszillation kurz beschrieben (eine große Zahl von Dokumenten beschreibt die Details, und z.B. die Druckschrift JP 2012-237295 A stellt ebenfalls die ausführlichen Beschreibungen davon bereit).

[0025] Wenn einem dünnen Rohr ein Temperaturgradient verliehen wird, absorbiert dann das Arbeitsfluid innerhalb des dünnen Rohrs an der Hochtemperaturseite Wärme von der Wandfläche des Rohrs und expandiert von der Hochtemperaturseite zu der Niedertemperaturseite. Dann gibt das Arbeitsfluid Wärme zu der Wandfläche an der Niedertemperaturseite ab und wird zusammengedrückt, und kehrt dann zu der Hochtemperaturseite zurück. Ein derartiger Austausch von Wärme mit der Wandfläche und die/das Ausdehnung/Zusammendrücken werden wiederholt, was in einer Oszillation des Arbeitsfluids in der Längsrichtung des Rohrs resultiert. Einfach gesprochen kann eine derartige Bewegung des Arbeitsfluids als die Bewegung genannt werden, um Wärme zu fördern, um den Temperaturgradienten an der Wandfläche zu verschlechtern (zu schwächen). Wie aus dieser Beschreibung ebenfalls deutlich werden kann, erscheint eine derartige Erscheinung nur dann, wenn das Rohr so dünn ist, dass die Wärmewirkungen von der Wandfläche auf das Arbeitsfluid innerhalb groß sind. Wenn das Rohr dicker gemacht wird, verringert sich nämlich der Wärmeeffekt von der Wandfläche (d.h., es gerät näher an einen adiabatischen Zustand), und so tritt eine selbstinduzierte Oszillation kaum auf. Dann ist die Dicke des Rohrs ein wichtiger Faktor, um durch selbstinduzierte Oszillation Schallwellen zu erzeugen, und die Dicke des Rohrs kann mengenmäßig besser ausgehend von einem hydraulischen Durchmesser HD evaluiert werden, der als $HD=4 \times S/C$ definiert ist, wo S die Querschnittsfläche des Rohrs bezeichnet und C den Umfang dieses Abschnitts bezeichnet.

[0026] Zurück zu **Fig. 1** wird im Folgenden wieder das Leistungserzeugungssystem **1000** beschrieben.

[0027] Da das Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteil **1** eine Mehrzahl Zellen wie dünne Rohre aufweist, und die selbstinduzierte Oszillation in jeder Zelle auftritt, werden dann in dieser Mehrzahl von Zellen Schallwellen als die Sammlung der Oszillationen des Arbeitsfluids von dem Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteil **1** zu dem geschleiften Rohr **4** ausgestellt. Solche Schallwellen werden dann durch das geschleifte Rohr **4** in die Richtung der gepunkteten Pfeile in der Zeichnung übertragen. Die meisten Schallwellen, die durch das geschleifte Rohr **4** übertragen werden, bewegen sich in dem Resonanzrohr **5** in der Zeichnung nach rechts. Wie voranstehend beschrieben wurde, machen das Resonanzrohr und der Energiewandler **6** insgesamt ein Rohr aus, das im Wesentlichen in dem Ende an der rechten Seite der Zeichnung geschlossen ist, und so werden einige der Schallwellen reflektiert und bewegen sich in der entgegengesetzten Richtung in der Zeichnung nach links. Dann überlappen sich beide diese sich bewegenden Wellen in dem Resonanzrohr **5**. Falls zu dieser Zeit die Frequenz der sich bewegenden Wellen mit der Resonanzfrequenz zusammenpasst, die z.B. durch die Länge des Resonanzrohrs **5** bestimmt ist, tritt dann in dem Resonanzrohr **5** eine sogenannte Resonanz auf, und stationäre Wellen werden erzeugt, die überlappte Wellen von beiden diesen sich bewegenden Wellen sind und die Resonanzfrequenz aufweisen. In der Zeichnung bezeichnet der Doppelkopfpfeil in der strichliert-gepunkteten Linie das Vorhandensein der stationären Wellen.

[0028] Hierin ist der Energiewandler **6** mit einem Mechanismus ausgestattet, der nicht dargestellt ist, der in der Lage ist, die effektive Länge des Resonanzrohrs **5** zu ändern, was die Resonanzfrequenz anpassen kann, um die Resonanz zu erzeugen. Ein beispielhafter Mechanismus zum Ändern der effektiven Länge des Resonanzrohrs **5** hat z.B. einen in der Druckschrift JP 2005- 180294 A beschriebenen. Obwohl das Folgende den Fall beschreibt, in dem die effektive Länge des Resonanzrohrs **5** geändert werden kann, kann in dem Leistungserzeugungssystem **1000** der **Fig. 1** ein dominantes Frequenzbestandteil der Frequenzbestandteile der Schallwellen, die an dem Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteil **1** erzeugt werden, und sich durch das geschleifte Rohr **4** bewegen, zuvor bestimmt werden, und die Länge des Resonanzrohrs **5** kann zuvor als be-

stimmte Länge konfiguriert werden, die dafür sorgt, dass die Frequenz des dominanten Frequenzbestandteils die Resonanzfrequenz wird.

[0029] Der Energiewandler **6** ist mit einem Mechanismus zum Umwandeln von Schallwellen in elektrische Signale ebenfalls ausgestattet. Ein beispielhafter Umwandlungsmechanismus einer derartigen Art hat einen Mechanismus, der mit einem Mikrofon ausgestattet ist, wie in der Druckschrift JP 2005- 180294 A beschrieben ist. Obwohl der Umwandlungsmechanismus mit einem Mikrofon der einfachste ist, ist der Umwandlungsmechanismus nicht auf einen derartigen Mechanismus mit einem Mikrofon begrenzt. Zum Beispiel können gut bekannte verschiedene Mechanismen (z.B. den Mechanismus des Patentdokuments **2**), der zum Umwandeln von Schallwellen Energie in mechanische Energie und dann umwandelt von derartiger mechanischer Energie in elektrische Leistung durch elektromagnetische Induktion dient, verwendet werden.

[0030] Mit der wie voranstehend beschriebene Konfiguration kann das Leistungserzeugungssystem **1000** der **Fig. 1** Wärme eines auf hoher Temperatur erwärmten Fluids (z.B. Abgas hoher Temperatur), das in den hochtemperaturseitigen Wärmetauscher **2** strömt, in elektrische Leistung umwandeln, und ermöglicht so eine effektive Verwendung (Wiederherstellung) von Energie.

[0031] Das Nächste beschreibt ein Kälteerzeugungssystem, an dem die Wärme-/Schallwellen-Umwandlungseinheit **100** und das Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteil **1** angewendet sind, die voranstehend beschrieben wurden.

[0032] **Fig. 2** zeigt schematisch ein Kälteerzeugungssystem, an dem die Wärme-/Schallwellen-Umwandlungseinheit **100** und das Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteil **1** in **Fig. 1** angewendet sind.

[0033] Ein Kälteerzeugungssystem **2000** in **Fig. 2** hat ein geschleiftes Rohr **4'**, ein Übertragungsrohr **5'** und ein Schallwellenerzeugungsteil **7**, und die Wärme-/Schallwellen-Umwandlungseinheit **100**, die mit Bezug auf **Fig. 1** beschrieben wurde.

[0034] Das geschleifte Rohr **4'** ist ein schleifenförmiges Rohr, das mit einem Ende an der oberen Seite (oberes Ende) und einem Ende an der unteren Seite (unteres Ende) der Wärme-/Schallwellen-Umwandlungseinheit **100** in **Fig. 2** verbunden ist, und mit der Mehrzahl der Zellen des Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteils **1** über den hochtemperaturseitigen Wärmetauscher **2** und den niedertemperaturseitigen Wärmetauscher **3** in Verbindung ist. Das Übertragungsrohr **5'** ist ein gerades Rohr, das ein Ende mit dem geschweiften Rohr **4'** verbunden aufweist, und das andere Ende mit dem Schallwellenerzeugungsteil **7** verbunden aufweist. Das Schallwellenerzeugungsteil **7** weist eine Funktion auf, Schallwellen zu erzeugen, und ein Beispiel des Schallwellenerzeugungsteils **7** schließt einen Lautsprecher ein, der elektrische Leistung empfängt und Schallwellen abgibt. Ein anderes Beispiel ist ein System, das durch Entfernen des Energiewandlers **6** von dem Leistungserzeugungssystem **1000** in **Fig. 1** erhalten wird, und das Wärme empfängt und Schallwellen erzeugt (in diesem Fall ist das Resonanzrohr **5** an der rechten Seite ein offenes Ende, an dem keine Reflektionen auftreten, und so werden ungleich zu dem Zustand der **Fig. 1** sich nach rechts bewegend Wellen in dem Resonanzrohr **5** übertragen).

[0035] Obwohl die Wärme-/Schallwellen-Umwandlungseinheit **100** die gleiche Konfiguration wie die mit Bezug auf **Fig. 1** beschriebene aufweist, ist sie so konfiguriert, dass ungleich zu **Fig. 1** ein gekühltes Fluid (z.B. Wasser), das ähnlich zu dem gekühlten Fluid ist, das in den niedertemperaturseitigen Wärmetauscher **3** in **Fig. 1** strömt, sowohl in den hochtemperaturseitigen Wärmetauscher **2** wie auch den niedertemperaturseitigen Wärmetauscher **3** der **Fig. 2** strömt.

[0036] Hierin sind das geschleifte Rohr **4'**, das Übertragungsrohr **5'** und jede Zelle des Bauteils **2** zum Umwandeln von Wärme-/Schallwellen intern mit Arbeitsfluid gefüllt, das Oszillationen von Längswellen erzeugt und Schallwellen überträgt. Ein Arbeitsfluid, das ähnlich zu dem in dem Leistungserzeugungssystem **1000** der **Fig. 1** Verwendeten ist, kann verwendet werden.

[0037] Schallwellen, die an dem Schallwellenerzeugungsteil **7** erzeugt werden, werden durch das Übertragungsrohr **5'** in die Richtung des gestricheltgepunkteten Pfeils in **Fig. 2** übertragen und werden dann durch das geschleifte Rohr **4'** in die Richtung des gestrichelten Pfeils in **Fig. 2** übertragen. Dann erreichen die Schallwellen die Wärme-/Schallwellen-Umwandlungseinheit **100**, und bewegen sich in jeder Zelle von der oberen Seite in **Fig. 2** des Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteils **1**. Zu dieser Zeit kann das System aufgrund des Wärmetransports durch Schallwellen einen Zustand aufweisen, wo das Ende an der Seite des hochtemperaturseitigen Wärmetauschers **2** eine relativ höhere Temperatur als das Ende an der Seite des niedertemperaturseitigen

gen Wärmetauschers **3** aufweist. An dem hochtemperaturseitigen Wärmetauscher **2** strömt ein gekühltes Fluid nahe der Umgebungstemperatur ein, und das Fluid mit einer Temperatur höher als die Umgebungstemperatur strömt aus. Da andererseits Wärme zu dem Ende an der Seite des hochtemperaturseitigen Wärmetauschers **2** aufgrund des Wärmetransports zu Schallwellen transportiert wird, weist das Ende des Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteils **1** an der Seite des niedertemperaturseitigen Wärmetauschers **3** eine Temperatur auf, die niedriger als die Umgebungstemperatur ist. Dann strömt an dem niedertemperaturseitigen Wärmetauscher **3** ein gekühltes Fluid nahe der Umgebungstemperatur ein, und das Fluid mit einer Temperatur niedriger als die Umgebungstemperatur strömt aus, da Wärme durch das Ende des Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteils **1** an der Seite des niedertemperaturseitigen Wärmetauschers **3** entnommen wird. Mit anderen Worten, Kälte wird in Form von kaltem Wasser abgegeben.

[0038] Mit der wie voranstehend beschriebene Konfiguration kann das Kälteerzeugungssystem **2000** in **Fig. 2** unter Verwendung von an dem Schallwellenerzeugungsteil **7** erzeugter Schallwellenenergie Kälte abgeben. Insbesondere, wenn es als Schallwellenerzeugungsteil **7** das System entsprechend dem Leistungserzeugungssystem **1000** der **Fig. 1** anders als der Energiewandler **6** aufweist, kann das auf hohe Temperatur erwärmte Fluid (z.B. Abgas hoher Temperatur), das in den hochtemperaturseitigen Wärmetauscher **2** der **Fig. 1** einströmt, in Kälte umgewandelt werden, was dann eine wirkungsvolle Verwendung (Wiederherstellung) von Energie ermöglicht.

[0039] Wie voranstehend bestimmt wurde, spielt in dem Leistungserzeugungssystem **1000** in **Fig. 1** und dem Kälteerzeugungssystem **2000** in **Fig. 2** die Wärme-/Schallwellen-Umwandlungseinheit **100**, die eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, eine sehr wichtige Rolle. Dann beschreibt das Folgende die Wärme-/Schallwellen-Umwandlungseinheit **100** in genaueren Details mittels einer beispielhaften Situation, wo diese in dem Leistungserzeugungssystem **1000** der **Fig. 1** verwendet wird. Das Folgende beschreibt das Leistungserzeugungssystem **1000** der **Fig. 1** auf beispielhaftem Weg, wo auf hohe Temperatur erwärmtes Fluid (z.B. das Abgas selbst) mit ungefähr 400 bis 600°C, was typische Abgastemperaturen von Kraftfahrzeugen sind, in den hochtemperaturseitigen Wärmetauscher **2** der **Fig. 1** strömt, und auf niedrige Temperatur gekühltes Fluid (z.B. Wasser) mit ungefähr 20 bis 70°C in den niedertemperaturseitigen Wärmetauscher **3** strömt. In diesem Fall beträgt ein Temperaturunterschied zwischen beiden Enden des Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteils **1** ungefähr 330 bis 580°C.

[0040] Natürlich sind die im Folgenden beschriebenen Eigenschaften der Wärme-/Schallwellen-Umwandlungseinheit **100** die gleichen wie in dem Fall, in dem sie in dem Kälteerzeugungssystem **2000** der **Fig. 2** ebenfalls verwendet wird.

[0041] **Fig. 3** zeigt schematisch die Konfiguration der Wärme-/Schallwellen-Umwandlungseinheit **100** der **Fig. 1**.

[0042] Die Wärme-/Schallwellen-Umwandlungseinheit **100** hat ein Wärme-/Schallwellen-Umwandlungsbauteil **1**, einen hochtemperaturseitigen Wärmetauscher **2** und einen niedertemperaturseitigen Wärmetauscher **3**, wie auch ein Metallelement **32** und ein Interferenzelement **1a**. Diese Bauteile insgesamt sind in einem Gehäuse **100a** gespeichert und mit einem geschweiften Rohr **4** verbunden (sh. auch **Fig. 1**).

[0043] Das Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1** weist eine Wabenstruktur auf, in der eine Mehrzahl Zellen **14**, die jeweils eine Durchgangsbohrung in der Art eines dünnen Rohrs sind, durch eine Trennwand **11** unterteilt und definiert sind. Hierin betrifft das Wort „Zelle“ in der vorliegenden Beschreibung lediglich eine Durchgangsbohrung, die die Trennwand nicht umfasst. Jede Zelle **14** weist eine Durchdringungsrichtung (eine Erstreckungsrichtung, in der jede Zelle **14** sich erstreckt) auf, die die vertikale Richtung der **Fig. 3** ist, und ist an beiden Endflächen einer Endfläche an der Seite des niedertemperaturseitigen Wärmetauschers **3** und einer Endfläche an der Seite des hochtemperaturseitigen Wärmetauschers **2** offen. Die Endfläche des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** an der Seite des niedertemperaturseitigen Wärmetauschers **3** ist mit dem Metallelement **32** in Berührung, und liegt mit dem dazwischen vorgesehenen Metallelement **32** dem niedertemperaturseitigen Wärmetauscher **3** gegenüber. Obwohl das Metallelement **32** in diesem Fall vorgesehen ist, kann die vorliegende Erfindung eine Form ohne das Metallelement **32** aufweisen. Wenn das Metallelement **32** weggelassen ist, wird ein Arbeitsfluid in Berührung mit einem später beschriebenen Netzlaminierungskörper **30** gekühlt, und dann gerät das gekühlte Arbeitsfluid mit der Nähe der Endfläche des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** aufgrund der Verschiebung des Arbeitsfluids in Berührung, die den Oszillationen der Schallwellen entspricht, und kühlt die Nähe der Endfläche. Wenn das Metallelement **32** ausgelassen ist, ist ein Spalt zwischen dem Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1** und dem niedertemperaturseitigen Wärmetauscher **3** bevorzugt so klein wie möglich.

[0044] Das Metallelement **32** ist ein Metallelement, das eine Plattenform aufweist, an einem Mittelteil davon sind eine Mehrzahl parallele Schlitze (nicht gezeigt) ausgebildet, und **Fig. 3** zeigt lediglich ein Seitenflächenteil (Dickenteil) der Plattenform.

[0045] Der niedertemperaturseitige Wärmetauscher **3** hat den Netzlaminiierungskörper **30** mit einer Mehrzahl von Netzplatten (die z.B. aus Kupfer hergestellt sind). Der niedertemperaturseitige Wärmetauscher **3** hat ebenfalls ein niedertemperaturseitiges ringförmiges Rohr **31**, das ein ringförmiges Rohr ist, das die Seitenfläche des Netzlaminiierungskörpers **30** umgibt. **Fig. 3** zeigt schematisch den Zustand, in dem ein solches niedertemperaturseitiges ringförmiges Rohr **31**, das die Seitenfläche des Netzlaminiierungskörpers **30** umgibt, den Netzlaminiierungskörper **30** von beiden Seiten aufnimmt an einem Querschnitt mit einem Einströmanschluss **31a** und einem Ausströmanschluss **31b**. Dieses niedertemperaturseitige ringförmige Rohr **31** weist eine Funktion auf, von dem Einströmanschluss **31a** das Einströmen eines gekühlten Fluids (z.B. Wasser) zu empfangen, das eine relativ niedrige Temperatur mit Bezug auf das erwärmte Fluid aufweist, das in dem später beschriebenen hochtemperaturseitigen Wärmetauscher **2** strömt, und überträgt Kälte des gekühlten Fluids zu dem Netzlaminiierungskörper **30** (mit anderen Worten, überträgt die Wärme an dem Netzlaminiierungskörper **30** zu dem gekühlten Fluid) und lässt das gekühlte Fluid mit einer erhöhten Temperatur aus dem Ausströmanschluss **31b** ausströmen.

[0046] Zu dem Netzlaminiierungskörper **30** übertragene Kälte wird zu dem Arbeitsfluid in Berührung damit übertragen, und wird dann zu der Endfläche des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** an der Seite des niedertemperaturseitigen Wärmetauschers **3** aufgrund der Verschiebung der akustischen Wellen übertragen, um das Ende des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** an der Seite des niedertemperaturseitigen Wärmetauschers **3** zu kühlen. Zu diesem Ende ist das Metallelement **32** bevorzugt aus einem Material hergestellt, das eine große Wärmeleitfähigkeit aufweist, das z.B. aus Kupfer hergestellt sein kann.

[0047] Dies ist die detaillierte Beschreibung der Konfiguration des niedertemperaturseitigen Wärmetauschers **3**, und die Wärme-/Schallwellenumwandlungseinheit der vorliegenden Erfindung ist nicht insbesondere bzgl. der Details des niedertemperaturseitigen Wärmetauschers begrenzt, sondern ein konventionell bekannter Wärmetauscher kann verwendet werden. Die gleiche Konfiguration wie die des hochtemperaturseitigen Wärmetauschers **2** kann verwendet werden, was später beschrieben werden wird.

[0048] Die Seitenfläche des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** ist durch das Interferenzelement **1a** umgeben, und **Fig. 3** zeigt schematisch den Querschnitt des umgebenden Interferenzelements **1a** als zwei Teile, die das Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1** sowohl von rechts wie auch von links in der Zeichnung umgeben. Dieses Interferenzelement **1a** weist eine Funktion als Wärmeisolator auf, um eine Wärmeübertragung zwischen den Enden des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** an der Seite des niedertemperaturseitigen Wärmetauschers **3** und an der Seite des hochtemperaturseitigen Wärmetauschers **2** über die umgebende Umgebung außerhalb des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** zu vermeiden.

[0049] Der hochtemperaturseitige Wärmetauscher **2** hat eine Wärmetauschwabenstruktur **20** und ein hochtemperaturseitiges ringförmiges Rohr **21**. Die Wärmetauschwabenstruktur **20** weist eine Wabenstruktur ähnlich zu dem Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1** mit zwei oder mehr Zellen **20d** auf, die jeweils eine Durchgangsbohrung in der Art eines dünnen Rohrs sind, die in **Fig. 3** vertikal durchdringen, die durch eine Trennwand **20a** unterteilt und definiert sind. Das hochtemperaturseitige ringförmige Rohr **21** ist ein ringförmiges Rohr, das die Seitenfläche der Wärmetauschwabenstruktur **20** umgibt, und weist eine Funktion auf, von einem Einströmanschluss **21a** das Einströmen des auf hohe Temperatur erwärmten Fluids (z.B. Abgas hoher Temperatur) zu empfangen, die Wärme des erwärmten Fluids zu der Wärmetauschwabenstruktur **20** zu übertragen und das erwärmte Fluid mit einer verringerten Temperatur aus einem Ausströmanschluss **21b** ausströmen zu lassen. Wie dann aus **Fig. 3** ersichtlich ist, hat das hochtemperaturseitige ringförmige Rohr **21** innen eine Metall- oder Keramikflosse **21e**, die SiC (Siliziumkarbid) als Hauptbestandteil aufweist, um die Berührungsfläche mit dem erwärmten Fluid zu erhöhen.

[0050] **Fig. 4** ist eine perspektivische Ansicht, die die Erscheinung des hochtemperaturseitigen Wärmetauschers **2** in der Wärme-/Schallwellenumwandlungseinheit **100** der **Fig. 3** zeigt, und **Fig. 5** ist eine Querschnittsansicht des hochtemperaturseitigen Wärmetauschers **2**, die eine Draufsicht mit dem Einströmanschluss **21a** und dem Ausströmanschluss **21b** des hochtemperaturseitigen ringförmigen Rohrs **21** ist.

[0051] Wie aus **Fig. 4** ersichtlich ist, hat der hochtemperaturseitige Wärmetauscher **2** die Wärmetauschwabenstruktur **20**, die in ein Mittenhohlteil der ringförmigen Form des hochtemperaturseitigen ringförmigen Rohrs **21** eingepasst ist. Wie in **Fig. 4** mit dicken Pfeilen angezeigt ist, strömt ein auf hohe Temperatur erwärmtes

Fluid (z.B. Abgas hoher Temperatur) in das hochtemperaturseitige ringförmige Rohr **21** von dem Einströmanschluss **21a** an der unteren Seite der Zeichnung und strömt aus dem Ausströmanschluss **21b** an der oberen Seite der Zeichnung aus. Zu dieser Zeit trifft, wie mit den Pfeilen in **Fig. 5** angezeigt ist, das auf hohe Temperatur erwärmte Fluid, das durch den Einströmanschluss **21a** einströmt, direkt eine Umfangswand **20b**, die den kreisförmigen Umfang der Wärmetauschwabenstruktur **20** definiert, und wird dann in zwei linke und rechte Seiten der Umfangswand **20b** verzweigt und bewegt sich entlang der Umfangswand **20b**. Dann werden sie an dem Ausströmanschluss **21b** vereinigt, um auszuströmen. Auf diese Weise gerät das auf hohe Temperatur erwärmte Fluid direkt mit der Umfangswand **20b** der Wärmetauschwabenstruktur **20** in Berührung, wodurch eine Menge der Wärme direkt von dem auf hohe Temperatur erwärmten Fluid zu der Umfangswand **20b** übertragen wird, und eine derartige Wärme wird zu der Trennwand **20a** in der Wärmetauschwabenstruktur **20** und dem Arbeitsfluid innerhalb der Zellen **20d** ebenfalls übertragen. Auf diese Weise kann die Wärmetauschwabenstruktur **20** direkt mit dem auf hohe Temperatur erwärmten Fluid in Berührung geraten, da die Wärmetauschwabenstruktur **20** aus einem Material hergestellt ist, das einen hohen Wärmewiderstand und eine gute Wärmeleitfähigkeit aufweist, wie später beschrieben wird, und eine derartige direkte Berührung mit dem erwärmten Fluid kann einen Wärmeverlust unterdrücken und eine Wärmetauschleistungsfähigkeit im Vergleich mit dem Fall verbessern, in dem ein anderes Element dazwischen eingefügt ist.

[0052] Obwohl es bevorzugt ist, dass die Wärmetauschwabenstruktur **20** auf diese Weise direkt mit dem erwärmten Fluid in Berührung gerät, kann die vorliegende Erfindung eine Form aufweisen, in der anstelle einer solchen direkten Berührung der Umfangswand **20b** die Wärmetauschwabenstruktur **20** mit einem auf hohe Temperatur erwärmten Fluid die Umfangswand **20b** mit Metall umgeben ist. Insbesondere, wenn Gas unter hohem Druck (z.B. ein Inert-Edelgas wie z.B. Argon) als das Arbeitsfluid zum Übertragen der Schallwellen verwendet wird, ist es bevorzugt, die Umfangswand **20b** unter dem Gesichtspunkt der hermetischen Abdichtung eines solchen Hochdruckgases und Vermeiden eines Ausströmens mit Metall zu umgeben. In diesem Fall weist das die Umfangswand **20d** umgebende Metall eine Umfangsfläche auf, auf der bevorzugt eine Metallflosse (sh. Flosse **21e** in **Fig. 3** z.B.) bereit gestellt ist, um in die Richtung nach außen (radiale Richtung) von der Mitte der Wärmetauschwabenstruktur **20** der **Fig. 5** vorzuzugan. Dies dient zum Erhöhen der Berührungsfläche mit dem auf hohe Temperatur erwärmten Fluid und zum Verbessern der Wärmetauschleistungsfähigkeit. Falls die Berührungsfläche mit dem auf hohe Temperatur erwärmten Fluid klein ist, ist ein Austausch von Wärme zwischen dem auf hohe Temperatur erwärmten Fluid und dem hochtemperaturseitigen Wärmetauscher **2** nicht ausreichend, und so verschlechtert sich die Wärmetauschleistungsfähigkeit des hochtemperaturseitigen Wärmetauschers **2**. Auf diese Weise ist es wichtig für den hochtemperaturseitigen Wärmetauscher **2** die Berührungsfläche mit dem auf hohe Temperatur erwärmten Fluid zu maximieren.

[0053] In einer am meisten bevorzugten Form ist eine andere Wabenstruktur, die aus einem Keramikmaterial hergestellt ist, das SiC (Siliziumkarbid) als Hauptbestandteil enthält, in das Rohr des hochtemperaturseitigen ringförmigen Rohrs eingepasst. Dies ist deswegen der Fall, solches keramisches Material, das SiC (Siliziumkarbid) als Hauptbestandteil enthält, eine höhere Wärmeleitfähigkeit bei hohen Temperaturen als Metallflossen aufweist, und die Berührungsfläche mit dem Hochtemperaturgas kann ebenfalls dramatisch erhöht werden. Außerdem kann dies ein Problem einer Erosion und Verschlechterung aufgrund des auf hohe Temperatur erwärmten Fluids vermeiden, was für Metallflossen ein Problem sein kann. Im Folgenden ist eine solche bevorzugte Form beschrieben.

[0054] **Fig. 6** zeigt schematisch eine Form einer Wärme-/Schallwellenumwandlungseinheit mit einer anderen Wabenstruktur, die in das hochtemperaturseitige ringförmige Rohr eingepasst ist. **Fig. 7** ist eine schematische Querschnittsansicht des hochtemperaturseitigen Wärmetauschers entlang der Linie A-A der **Fig. 6**.

[0055] In **Fig. 6** und **Fig. 7** sind die gleichen Bezugszeichen den gleichen Elementen wie in **Fig. 3** und **Fig. 5** zugewiesen, und ihre Wiederholung der Beschreibung wird ausgelassen.

[0056] Ein hochtemperaturseitiger Wärmetauscher **2'** in einer Wärme-/Schallwellenumwandlungseinheit **200** in **Fig. 6** hat eine Wärmetauschwabenstruktur **20'** und zwei wechselweise unterschiedliche hochtemperaturseitige ringförmige Rohre **211** und **212**. Die Wärmetauschwabenstruktur **20'** weist eine Wabenstruktur mit zwei oder mehr Zellen auf, die horizontal in der Zeichnung durchdringen, die durch eine Trennwand unterteilt und definiert sind, und überträgt von dem erwärmten Fluid übertragene Wärme über die zwei unterschiedlichen hochtemperaturseitigen ringförmigen Rohre **211** und **212** zu dem Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1**. Hierin ist die Wärmetauschwabenstruktur **20'** mit einem Abstand t von dem Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1** vorgesehen.

[0057] Wie aus **Fig. 7** ersichtlich ist, haben die zwei hochtemperaturseitigen ringförmigen Rohre **211** und **212** intern Wabenstrukturen **2110** bzw. **2120** in dem Rohr, das aus einem keramischen Material hergestellt sind, das SiC (Siliziumkarbid) als Hauptbestandteil enthält. Diese Wabenstrukturen **2110** und **2120** im Rohr weisen beide eine Wabenstruktur mit zwei oder mehr Zellen auf, die horizontal in der Zeichnung durchdringen, die durch eine Trennwand unterteilt und definiert sind. Wie in den Pfeilen der Zeichnung ersichtlich ist, tritt erwärmtes Fluid, das in den zwei hochtemperaturseitigen ringförmigen Rohren **211** und **212** strömt, durch jede Zelle der Wabenstrukturen **2110** und **2120** im Rohr und strömt dann aus. Zu dieser Zeit wird die Wärme des erwärmten Fluids, das durch jede Zelle durchtritt, zu den Wabenstrukturen **2110** und **2120** im Rohr übertragen, und derartige Wärme wird dann zu der Wärmetauschwabenstruktur **20'** über die Wandflächen der hochtemperaturseitigen ringförmigen Rohre **211**, **212** und ein Metallrohr (nicht gezeigt) übertragen, das die Seitenfläche (Fläche der Umfangswand) der Wärmetauschwabenstruktur **20'** umgibt. Obwohl **Fig. 7** den Querschnitt der Wärmetauschwabenstruktur **20'** als rechteckige Form aus Gründen der einfachen Beschreibung zeigt, kann sie einen kreisförmigen Querschnitt wie in **Fig. 4** und **Fig. 5** aufweisen, und eine im Wesentlichen ähnliche Konfiguration kann realisiert werden, wenn die hochtemperaturseitigen ringförmigen Rohre **211** und **212** eine Form z.B. entlang des Kreises aufweisen.

[0058] Auf diese Weise ist die Umfangswand der Wärmetauschwabenstruktur **20'** mit einem Metallrohr umgeben, und auf einer Außenseite davon sind die zwei Wabenstrukturen **2110** und **2120** vorgesehen, die aus einem keramischen Material hergestellt sind, das SiC (Siliziumkarbid) als Hauptbestandteil enthält. In dieser Konfiguration ist die Wärmetauschwabenstruktur **20'** nicht in einer direkten Berührung mit dem erwärmten Fluid, und so kann eine Erosion und eine Verschlechterung aufgrund des auf hohe Temperatur erwärmten Fluids unterdrückt werden. Wenn Inert-Edelgas (z.B. Argon) als das Arbeitsfluid verwendet wird, tritt ein Problem einer Erosion der Wärmetauschwabenstruktur **20'** aufgrund des Arbeitsfluids nicht auf. In diesem Fall kann die Wärmetauschwabenstruktur **20'** aus einem Metallmaterial hergestellt sein, das eine gute Wärmeleitfähigkeit aufweist, wie z.B. Kupfer, wie auch aus einem keramischen Material, das SiC (Siliziumkarbid) als ein Hauptbestandteil enthält.

[0059] Hierin weist die Wärmetauschwabenstruktur **20'** in **Fig. 6** bevorzugt eine Länge L' der Größenordnung der Wellenlänge der Schallwellen auf, die aus Oszillationen des Arbeitsfluids erzeugt werden. Falls die Länge L' mit Bezug auf die Wellenlänge der Schallwelle zu lange ist, wird die Wärme nicht ausreichend sein, die dem Arbeitsfluid (z.B. Inert-Edelgas) gegeben wird. Falls die Länge L' mit Bezug auf die Wellenlänge der Schallwellen zu kurz ist, kann dann das Arbeitsfluid durch die Wärmetauschwabenstruktur **20'** von außen durchtreten und das Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1** erreichen, und das Arbeitsfluid mit einer relativ niedrigen Temperatur kann das Ende des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** an der Seite des hochtemperaturseitigen Wärmetauschers unglücklicherweise kühlen.

[0060] **Fig. 8** zeigt schematisch eine andere Form der Wärme-/Schallwellenumwandlungseinheit der vorliegenden Erfindung, die von den Wärme-/Schallwellenumwandlungseinheiten in **Fig. 6** und **Fig. 7** unterschiedlich ist, und **Fig. 9** zeigt noch eine andere Form der Wärme-/Schallwellenumwandlungseinheit schematisch, die von der Wärme-/Schallwellenumwandlungseinheit in **Fig. 8** unterschiedlich ist.

[0061] In der Wärme-/Schallwellenumwandlungseinheit der **Fig. 8** strömt das erwärmte Fluid von der oberen Seite der Zeichnung in den hochtemperaturseitigen Wärmetauscher **2A** und strömt durch den hochtemperaturseitigen Wärmetauscher **2A** und strömt dann zu der unteren Seite der Zeichnung aus. Andererseits strömt in der Wärme-/Schallwellenumwandlungseinheit der **Fig. 9** das erwärmte Fluid von der oberen Seite der Zeichnung in den hochtemperaturseitigen Wärmetauscher **2A'** und strömt durch den hochtemperaturseitigen Wärmetauscher **2A'** und strömt dann zu der oberen Seite der Zeichnung aus. Hierin strömt in beiden Wärme-/Schallwellenumwandlungseinheiten der **Fig. 8** und **Fig. 9** gekühltes Fluid von der oberen Seite der Zeichnung in den niedertemperaturseitigen Wärmetauscher **3A** und strömt durch den niedertemperaturseitigen Wärmetauscher **3A** und strömt dann zu der oberen Seite der Zeichnung aus. **Fig. 8** und **Fig. 9** zeigen die Konfiguration teilweise als perspektivische Ansicht, um die inneren Konfigurationen zu verdeutlichen (die Konfiguration mit den folgenden zwei Wabenstrukturen **22**, **23**).

[0062] Der hochtemperaturseitige Wärmetauscher **2A** in **Fig. 8** und der hochtemperaturseitige Wärmetauscher **2A'** in **Fig. 9** haben eine säulenförmige Wabenstruktur **23**, die aus einem Metallmaterial hergestellt ist, und eine hohle und runde säulenförmige (in anderen Worten eine zylindrische Form mit einer Dicke) Wabenstruktur **22**, die aus einem keramischen Material hergestellt ist, das SiC (Siliziumkarbid) als Hauptbestandteil enthält, das die Wabenstruktur umgibt. An dem Umfang der Wabenstruktur **23** ist ein Metallnetzaußenrohr **23a**, das später beschrieben werden wird, das aus dem gleichen Metallmaterial hergestellt ist, einstückig mit der Metallwabenstruktur **23** ausgebildet. Um genau zu sein, eine metallisierte Schicht, die später beschrieben

werden wird, ist zwischen den zwei Wabenstrukturen **22** und **23** vorhanden. Diese zwei Wabenstrukturen **22** und **23** weisen beide eine Wabenstruktur mit zwei oder mehr runden säulenförmigen Zellen auf, die in der Längsrichtung durchdringen, die durch eine Trennwand unterteilt und definiert sind. Eine derartige Konfiguration in **Fig. 8** und **Fig. 9** kann ebenfalls einen Wärmeverlust unterdrücken und eine Wärmeumwandlungsleistungsfähigkeit verbessern.

[0063] Diese Ausführungsformen weisen eine Wabenstruktur mit der aus einem metallischen Material hergestellten Wabenstruktur **23** auf, und stattdessen kann eine Netzstruktur verwendet werden, die aus einem Metallnetz hergestellt ist.

[0064] **Fig. 10** ist eine Querschnittsansicht eines hochtemperaturseitigen Wärmetauschers, der eine Netzstruktur aufweist.

[0065] Der hochtemperaturseitige Wärmetauscher in **Fig. 10** hat innerhalb der Wabenstruktur **22**, die aus einem keramischen Material hergestellt ist, das SiC (Siliziumkarbid) als Hauptbestandteil enthält, die mit einem Metallaußenrohr **22a** umgeben ist, ein Metallnetzelement **23'** über eine zylindrische metallisierte Schicht **23b** und ein Metallnetzaußenrohr **23a**. Hierin ist die metallisierte Schicht **23b** eine Schicht, die durch Backen eines Metalls wie z.B. Molybdän und Mangan ausgebildet ist, das eine Schicht zum Bonden des Metallnetzaußenrohrs **23a**, das aus Metall hergestellt ist, und der Wabenstruktur **22**, die aus Keramik hergestellt ist, ist. Die Konfiguration in **Fig. 10** kann ebenfalls einen Wärmeverlust unterdrücken und eine Wärmetauschleistungsfähigkeit verbessern.

[0066] Zurück zu **Fig. 3** und **Fig. 5** werden die Beschreibungen im Folgenden fortgesetzt.

[0067] Wie aus **Fig. 3** ersichtlich ist, ist die Endfläche der Wärmetauschwabenstruktur **20** an der Seite des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** (die obere Endfläche der Wärmetauschwabenstruktur **20**) in einer direkten Berührung mit der Endfläche des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** an der Seite des hochtemperaturseitigen Wärmetauschers **2** (der unteren Endfläche des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1**). Im Folgenden wird diese obere Endfläche der Wärmetauschwabenstruktur **20** eine Berührungsfläche **20s** genannt. Anstelle einer direkten Berührung zwischen dem Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1** und der Wärmetauschwabenstruktur **20**, kann in der vorliegenden Erfindung ein Spalt **t** zwischen dem Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1** und der Wärmetauschwabenstruktur **20** vorhanden sein, wie aus **Fig. 6** ersichtlich ist. In diesem Fall wird zu der Wärmetauschwabenstruktur **20** übertragene Wärme zu dem Arbeitsfluid übertragen, das mit der Wärmetauschwabenstruktur **20** in Berührung gerät, und das erwärmte Arbeitsfluid gerät mit der Nähe der Endfläche des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** aufgrund der Verschiebung des Arbeitsfluids in Berührung, die den Oszillationen der Schallwellen entspricht, um die Nähe der Endfläche zu erwärmen. Dies gestattet, dass das Ende des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** an der Seite des hochtemperaturseitigen Wärmetauschers **2** einen relativ hohen Temperaturzustand im Vergleich mit dem Ende an der Seite des niedertemperaturseitigen Wärmetauschers **3** beizubehalten.

[0068] Diese Wärmetauschwabenstruktur **20** ist aus einem keramischen Material ausgebildet, das SiC (Siliziumkarbid) als Hauptbestandteil enthält. Da ein keramisches Material einen hohen Wärmewiderstand aufweist, ist ein derartiges Material für das Material der Wärmetauschwabenstruktur **20** geeignet, das direkt mit dem auf hohe Temperatur erwärmten Fluid in Berührung gerät, wie voranstehend bezeichnet wurde. Da außerdem ein Keramikmaterial, das SiC (Siliziumkarbid) als Hauptbestandteil enthält, eine relativ gute Wärmeleitfähigkeit unter anderen Keramikmaterialien aufweist, ist ein derartiges Material für eine Funktion geeignet, die Wärmetauschwabenstruktur **20** Wärme zu dem Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1** zu übertragen, wie voranstehend bezeichnet wurde, zu lassen. Es ist hier anzumerken, dass „SiC (Siliziumkarbid) als Hauptbestandteil enthalten“ bedeutet, dass SiC für 50 Masse-% oder mehr des Materials der Wärmetauschwabenstruktur **20** zählt. Zu dieser Zeit beträgt die Porosität bevorzugt 0 bis 10%. Es ist dann bevorzugt, dass die Dicke der Trennwand **20a** 0,25 bis 0,51 mm beträgt und die Zelldichte 15 bis 62 Zellen/cm² beträgt.

[0069] Beispiele des keramischen Materials, das SiC als Hauptbestandteil enthält, schließen einfaches SiC wie auch mit Si imprägniertes SiC, (Si+Al) imprägniertes SiC, Metallkomposit-SiC, rekristallisiertes SiC, Si₃N₄ und SiC ein. Darunter sind mit Si imprägniertes SiC und (Si+Al) imprägniertes SiC bevorzugt. Dies ist deswegen der Fall, da mit Si imprägniertes SiC eine gute Wärmeleitfähigkeit und Wärmewiderstandsfähigkeit aufweist und eine niedrige Porosität aufweist, obwohl es ein poröser Körper ist, und so dicht ausgebildet ist, und es dann eine relativ hohe Festigkeit im Vergleich mit SiC ohne imprägniertes Si aufweisen kann.

[0070] Wie aus **Fig. 5** ersichtlich ist, weist die Wärmetauschwabenstruktur **20** eine Konfiguration von dreieckigen Zellen **20d** auf, die periodisch mit einer Schwingungszeit einer konstanten Länge in der Ebene rechtwinklig zu der Durchdringungsrichtung der Zellen **20d** angeordnet sind. Wie später beschrieben wird, weist das Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1**, zu dem Wärme zu übertragen ist, ebenfalls eine ähnliche Konfiguration auf, und die Schwingungszeit der Zellen **20d** in der Wärmetauschwabenstruktur **20** ist ein ganzzahliges Vielfaches von 10 oder mehr der Schwingungszeit der Zellen **14** in dem Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1**. Auf diese Weise weisen die Zellen **20d** der Wärmetauschwabenstruktur **20** die gleiche Form wie die der Zellen **14** des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** auf, zu dem die Wärme zu übertragen ist, und die Schwingungszeit der Zellen **20d** der Wärmetauschwabenstruktur **20** ist ein ganzzahliges Vielfaches der Schwingungszeit der Zellen **14** des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1**, wobei ein innerhalb der Zellen **20d** der Wärmetauschwabenstruktur **20** und der Zellen **14** des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** enthaltenes Arbeitsfluid sich gleichmäßig bewegen kann. Die Schwingungszeit der Zellen der Wärmetauschwabenstruktur **20** ist größer als die Schwingungszeit der Zellen des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1**, da die Zellen **14** des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** durch Bohrungen sehr dünn sein müssen, um selbstinduzierte Oszillationen zu verursachen, wie voranstehend bezeichnet wurde. Andererseits besteht kein solcher Bedarf für die Zellen **20d** der Wärmetauschwabenstruktur **20**, und die Wärmetauschwabenstruktur **20** kann eine Rolle spielen, Wärme einfach auszutauschen, und so ist die Schwingungszeit davon größer als die Schwingungszeit der Zellen **14** des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** um eine Komma-stelle (10 Mal) oder mehr.

[0071] Wie aus **Fig. 3** ersichtlich ist, ist die Berührungsfläche **20s** der Wärmetauschwabenstruktur **20** mit dem Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** zu dem Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1** (obere Seite der Zeichnung) von einem Wärmeempfangsbereich **21c** verschoben, wo die Wärmetauschwabenstruktur **20** direkt mit dem auf hohe Temperatur erwärmten Fluid in Berührung gerät, um davon Wärme zu empfangen, und so nicht mit dem Wärmeempfangsbereich **21c** zu überlappen. Falls die Berührungsfläche **20s** mit dem Wärmeempfangsbereich **21c** überlappt, kann sich eine Temperatur stark zwischen dem Umfang einer Kante der Berührungsfläche **20s** näher an dem Wärmeempfangsbereich **21c** und einem Mittelbereich entfernt von dem Wärmeempfangsbereich **21c** unterscheiden. In diesem Fall wird das Ende (untere Ende in **Fig. 3**) des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** an der Seite der Wärmetauschwabenstruktur **20** nicht gleichförmig erwärmt, und so versuchen die Zellen des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** unglücklicherweise nichtgleichmäßige selbstinduzierte Oszillationen. Die Wärmetauschwabenstruktur **20** in **Fig. 3** ist konfiguriert, die Berührungsfläche **20s** mit dem Wärmeempfangsbereich **21c** nicht zu überlappen, um ein derartiges Problem zu vermeiden.

[0072] Wie aus **Fig. 5** ersichtlich ist, hat die Wärmetauschwabenstruktur **20** einen Schlitz **20c** als ein Spaltteil der Umfangsform **20b**, wobei der Schlitz sich in der Durchdringungsrichtung der Zellen **20d** erstreckt. **Fig. 5** zeigt das Beispiel von Schlitzen **20c**, die an vier Positionen der Umfangsfläche der Wärmetauschwabenstruktur **20** ausgebildet sind. Derartige Schlitze **20c** können auf die Umfangswand **20b** aufgebrachte Wärmespannung abschwächen, wenn das auf hohe Temperatur erwärmte Fluid direkt mit der Umfangswand **20b** in Berührung gerät, was dann eine Zerstörung oder Abschälen der Umfangsform **20b** der Trennwand **20a** unterdrücken kann.

[0073] Wie aus **Fig. 5** ersichtlich ist, ist das hochtemperaturseitige ringförmige Rohr **21** mit vier wärmewiderstandsfähigen Metallplatten **21d** entlang der Erstreckungsrichtung der Schlitze **20c** bereitgestellt, um die Spalten an den Schlitzen **20c** zu füllen und sich zu erstrecken. Diese vier wärmewiderstandsfähigen Metallplatten **21d** können verhindern, dass das Arbeitsfluid in das hochtemperaturseitige ringförmige Rohr **21** durch die vier Schlitze **20c** ausfließt. Es ist hier anzumerken, dass die Wärmetauschwabenstruktur **20** durch Passen in die vier wärmewiderstandsfähigen Metallplatten **21d** an einem ringförmigen Mittelteil des hochtemperaturseitigen ringförmigen Rohrs **21** gestützt ist. Diese vier wärmewiderstandsfähigen Metallplatten **21d** sind mit Flossen **21e** bereitgestellt (sh. **Fig. 3** ebenfalls), die aus Metall hergestellt sind, oder aus Keramik, wie SiC (Siliziumkarbid) als Hauptbestandteil enthält, wobei die Flossen von der Mitte der Wärmetauschwabenstruktur **20** in **Fig. 5** nach außen (radiale Richtung) vorragen.

[0074] Als nächstes beschreibt das Folgende das Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil in **Fig. 3** im Detail.

[0075] **Fig. 11** ist eine Querschnittsansicht des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** in **Fig. 3** in einer Ebene rechtwinklig zu der Durchdringungsrichtung der Zellen **14** des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1**.

[0076] Wie aus **Fig. 11** ersichtlich ist, hat das Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1** eine Mehrzahl Zellen **14**, die jeweils eine Durchgangsbohrung in der Art eines dünnen Rohrs sind, durch eine Trennwand **11** unterteilt und definiert sind, und die Trennwand **11** als Gesamtes ist dann mit einer Umfangswand **13** umgeben. Die Umfangswand **13** kann aus dem gleichen Material wie dem der Trennwand **11** hergestellt sein.

[0077] Wie voranstehend beschrieben wurde, ist der hydraulische Durchmesser HD der Zellen **14** einer der wichtigen Faktoren zum Erzeugen von Schallwellen durch selbstinduzierte Oszillationen, und so weist der hydraulische Durchmesser HD der Zellen **14** in dem Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1** einen sehr kleinen Wert von 0,4 mm oder weniger auf. Solche Zellen mit einem sehr kleinen hydraulischen Durchmesser HD können eine ausreichende thermoakustische Wirkung von dem Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1** realisieren. Falls im Gegenzug der hydraulische Durchmesser HD größer als 0,4 mm ist, kann nur eine sehr kleine thermoakustische Wirkung realisiert werden, und es wird dann schwierig, eine ausreichende Menge einer elektrischen Leistung und Kälte von dem Leistungserzeugungssystem **1000** in **Fig. 1** und dem Kälteerzeugungssystem **2000** in **Fig. 2** zu erhalten.

[0078] Hierin ist es für eine größere thermoakustische Wirkung vorteilhaft, so viele Zellen wie möglich auszubilden, die einen kleinen hydraulischen Durchmesser HD aufweisen, wie voranstehend angezeigt wurde. Mit anderen Worten, eine größere offene Stirnfläche an den Endflächen des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** ist vorteilhafter. Dann ist die offene Stirnfläche des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** an jeder Endfläche auf eine hohe offene Stirnfläche von 60% oder mehr eingestellt, wovon eine große thermoakustische Wirkung erlangt werden kann. Falls andererseits die offene Stirnfläche kleiner als 60% ist, ist die Anzahl der Zellen, die zu der thermoakustischen Wirkung beitragen, zu klein, und so kann eine sehr große thermoakustische Wirkung davon nicht erlangt werden.

[0079] Falls die offene Stirnfläche hierin zu groß ist, bedeutet dies zu viele Hohlräume in dem Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1**, und so verschlechtert sich die Lebensdauer und Festigkeit des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** als Gesamtes. Dann ist die offene Stirnfläche des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** unterdrückt, um 93% oder weniger zu betragen. Falls tatsächlich die offene Stirnfläche 93% überschreitet, kann eine Beschädigung des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** aufgrund einer thermischen Verschlechterung und eines Verdrehens (Wärmespannung), die von Aufprallen von erzeugten Schallwellen und einem Temperaturunterschied an beiden Enden des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** herrühren, nicht ignoriert werden.

[0080] Auf diese Weise kann die offene Stirnfläche an den Endflächen des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1**, die 60% oder mehr und 93% oder weniger beträgt, ein adäquates Gleichgewicht zwischen einer ausreichenden thermoakustischen Wirkung und einer ausreichenden Lebensdauer/Festigkeit des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** erlangen. Die offene Stirnfläche von 80% oder mehr und 93% oder weniger ist bevorzugt in dem Bereich der offenen Stirnfläche von 60% oder mehr und 93% oder weniger.

[0081] Die wie voranstehend bezeichnete offene Stirnfläche kann durch das Aufnehmen eines Bilds eines Querschnitts rechtwinklig zu der Durchdringungsrichtung mittels Mikroskop und Bestimmen der Materialteilfläche S1 und der Spaltteilfläche S2 aus dem genommenen Bild des Querschnitts erhalten werden. Dann kann die offene Stirnfläche als $S2/(S1+S2)$ ausgehend von S1 und S2 erhalten werden.

[0082] Das Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1** weist eine arithmetische Durchschnittsrauigkeit (R_a) der Oberfläche der Trennwand **11** auf, die 3 μm oder mehr und 20 μm oder weniger beträgt. Eine derartige arithmetische Durchschnittsrauigkeit (R_a) der Oberfläche der Trennwand **11**, die 3 μm oder mehr beträgt, sorgt dafür, dass der Oberflächenbereich der Trennwand **11** von jeder Zelle, der mit dem Arbeitsfluid innerhalb der Zelle in Berührung ist, größer ist, was bedeutet, dass die Wärmeübertragung (der Wärmetausch) zwischen dem Arbeitsfluid und der Trennwand **11** ausreichend gemacht werden kann. Als ein Ergebnis kann eine ausreichende thermoakustische Wirkung ausgeübt werden.

[0083] Falls hierin die arithmetische Durchschnittsrauigkeit (R_a) der Oberfläche der Trennwand **11** zu groß ist, unterdrückt dann die Ungleichmäßigkeit an der Oberfläche der Trennwand **11** die Bewegung des Arbeitsfluids in jeder Zelle und verschlechtert so die Bewegung der Schallwellen, was eher in einer Verschlechterung der thermoakustischen Wirkung endet. Dann weist das Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1** die arithmetische Durchschnittsrauigkeit (R_a) der Oberfläche der Trennwand **11** auf, die unterdrückt ist, 20 μm oder weniger zu betragen, wodurch eine Verschlechterung in der thermoakustischen Wirkung aufgrund der Ungleichmäßigkeit an der Oberfläche der Trennwand **11** vermieden werden kann.

[0084] Auf diese Weise weist das Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1** eine arithmetische Durchschnittsrauigkeit (R_a) der Oberfläche der Trennwand **11** auf, die $3\text{ }\mu\text{m}$ oder mehr und $20\text{ }\mu\text{m}$ oder weniger beträgt, wodurch das Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1** eine ausreichende Wärmeübertragung (Wärmetausch) zwischen dem Arbeitsfluid und der Trennwand **11** beibehalten kann, und kann eine Verschlechterung der thermoakustischen Wirkung aufgrund der Ungleichmäßigkeit an der Oberfläche der Trennwand **11** vermeiden.

[0085] Hierin bezeichnet die arithmetische Durchschnittsrauigkeit (R_a) der Oberfläche der Trennwand **11** (Trennwandoberfläche) einen Durchschnitt der Verschiebung an der Trennwandfläche, der erhalten wird, indem als ganzzahliger Abstand ein Segment eines Bezugspunktes an der Oberfläche der Trennwand **11** zu einer Position eingestellt wird, der um einen bestimmten gegebenen Abstand in der Durchdringungsrichtung jeder Zelle verschoben ist, die Größenordnung der Verschiebung an der Trennwandfläche in der Richtung rechtwinklig zu der Trennwandoberfläche mit Bezug auf den Bezugspunkt integriert wird, und das Ergebnis davon durch den Abstand dividiert wird. Insbesondere kann die arithmetische Oberflächenrauigkeit (R_a) ausgehend von JIS B0633 '01/ISO 4288 '96 erhalten werden.

[0086] Eine derartige arithmetische Oberflächenrauigkeit (R_a) der Oberfläche der Trennwand **11** ist durch die Trennwand **11** ausgeführt, die durch ein poröses Element und durch Poren ausgebildet ist, die an der Trennwandoberfläche vorhanden sind. In der vorliegenden Beschreibung bezeichnet „poröses Material“ ein „Material mit einer Porosität von 5% oder mehr und 95% oder weniger“. Die Trennwandoberfläche mit diesen Poren weist die offene Stirnfläche von 5% oder mehr und weniger als 30% auf. Wenn die offene Stirnfläche der Trennwandoberfläche 5% oder mehr beträgt, ist dann der Oberflächenbereich der Trennwand **11** an jeder Zelle, die mit dem Arbeitsfluid innerhalb der Zelle in Berührung ist, groß, und so kann eine Wärmeübertragung (Wärmetausch) zwischen dem Arbeitsfluid und der Trennwand **11** ausreichend gemacht werden. Wenn die offene Stirnfläche der Trennwandoberfläche weniger als 30% beträgt, kann die Verschlechterung der thermoakustischen Wirkung aufgrund der Ungleichmäßigkeit an der Oberfläche der Trennwand **11** vermieden werden.

[0087] Die offene Stirnfläche an der Trennwandoberfläche kann gemessen werden, wie folgt. Zuerst wird eine Scheibe der Trennwand ausgeschnitten, und eine Oberfläche davon wird durch das Aufbringen von Harz dort zu dem Grad eingeebnet, zu dem die Öffnungen an der Oberfläche eingebettet sind. Als nächstes wird dies von der Oberfläche mit den Öffnungen eingebettet mit Harz zu der Tiefe von ungefähr $5\text{ }\mu\text{m}$ geschliffen, wo das Harz nicht vorhanden ist, und ein Bild der geschliffenen Fläche wird durch ein Elektronenmikroskop (SEM) aufgenommen. Dann wird ein Bereich des Bilds in zwei mit einem Spaltteil und einem Nicht-Spaltteil (das keinen Spalten hat und aus einem dichten Material ausgebildet ist, das lediglich die Trennwand ausbildet) unterteilt, und Bilddaten werden erzeugt, die auf das Spaltteil und das Nicht-Spaltteil binärisiert sind. Eine Bildverarbeitung wird auf derartige Bilddaten durchgeführt und ausgehend von den Bilddaten, die der Bildbearbeitung ausgesetzt sind, wird ein Verhältnis des Spaltteils in dem Bild als gesamtes erhalten, und dieses Verhältnis wird als der offene Stirnflächenbereich der Trennwandoberfläche eingestellt.

[0088] Das Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1** weist eine Geradheit der Oberfläche der Trennwand **11** in einem Querschnitt mit der Durchdringungsrichtung von jeder Zelle auf, die einen Schwankungsbereich in dem Querschnitt in der Richtung rechtwinklig zu der Durchdringungsrichtung anzeigt, die $0,5\text{ mm}$ oder mehr und $3,0\text{ mm}$ oder weniger bezeichnet.

[0089] Fig. 12 ist ein Konzeptdiagramm zum Erläutern der Geradheit der Trennwandoberfläche.

[0090] Fig. 12 zeigt schematisch einen Zustand der Oberfläche der Trennwand **11**, die eine Ansicht eines Querschnittes mit der Durchdringungsrichtung von jeder Zelle des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** ist. Hierin ist die vertikale Richtung der Fig. 12 die Durchdringungsrichtung der Zellen **14**. Wie aus Fig. 12 ersichtlich ist, schwankt die Oberfläche **11a** der Trennwand **11** wie Wellen in der Richtung der Fig. 12 von links nach rechts, die rechtwinklig zu der Durchdringungsrichtung der Zellen **14** in dem Querschnitt der Fig. 12 ist. Der Schwankungsbereich S zu dieser Zeit ist die Geradheit der Oberfläche **11a** der Trennwand **11**. Mit anderen Worten, die Geradheit der Oberfläche **11a** entspricht einem Abstand in der Richtung von links nach rechts (d.h. einer maximalen Variation aufgrund von Schwankungen) zwischen der Position, wo die Oberfläche **11a** zu der am meisten linken Seite vorgespannt ist, und der Position, wo sie zu der am meisten rechten Seite vorgespannt ist, unter den Schwankungen der Oberfläche **11a** in der Richtung von links nach rechts in Fig. 12 über die gesamte Länge des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1**.

[0091] Wenn derartige Schwankungen an der Trennwandoberfläche auf Wellenlängenbestandteile entsprechend der Wellenlänge von jeder Zelle in der Durchdringungsrichtung ausgedehnt sind, kann dann die Gerad-

heit in **Fig. 12** als Schwankungen mit relativ langen Wellenlängenbauteilen eher als die der Schwankungen einer Trennwandoberfläche aufgrund der Oberflächenrauigkeit der Trennwand **11** bezeichnet werden, wie voranstehend angezeigt wurde. Es ist anzumerken, dass die von dem voranstehend beschriebenen numerischen Bereich der Geradheit erhaltene Wirkung die gleiche Wirkung ist, die von dem voranstehend beschriebenen numerischen Bereich der Oberflächenrauigkeit der Trennwand **11** qualitativ erhalten wird. Die Geradheit von 0, 5 mm oder mehr kann dafür sorgen, dass der Oberflächenbereich der Trennwand **11** an jeder Zelle, die mit dem Arbeitsfluid innerhalb der Zelle in Berührung ist, groß ist, und so kann die Wärmeübertragung (Wärmetausch) zwischen dem Arbeitsfluid und der Trennwand **11** ausreichend gemacht werden. Die Geradheit von 3,0 mm oder weniger kann einer Verschlechterung der thermoakustischen Wirkung aufgrund der Ungleichmäßigkeit an der Oberfläche der Trennwand **11** vermeiden.

[0092] Zum Beispiel kann ein bestimmtes Verfahren zum Messen der Geradheit haben: Auswählen von beliebigen fünf Zellen **14** in einem Querschnitt über der gesamten Länge des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** entlang der Durchdringungsrichtung von jeder Zelle des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1**, Erhalten eines maximalen Werts (einer maximalen Variation) der Schwankungen an der Oberfläche **11a** der Trennwand **11** über der gesamten Länge des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** für jede der fünf Zellen **14**, und Einstellen eines Durchschnitts der maximalen Variationen dieser fünf Zellen **14** als die Geradheit.

[0093] Das die Trennwand des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** ausbildende Material weist bevorzugt eine niedrige Wärmeleitfähigkeit von 5 W/mK oder weniger auf. Falls die Wärmeleitfähigkeit größer als 5 W/mK ist, wird Wärme durch die Trennwand **11** von der Seite des hochtemperaturseitigen Wärmetauschers **2** zu der Seite des niedertemperaturseitigen Wärmetauschers **3** in dem Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1** übertragen, bevor der Wärmetausch zwischen dem Arbeitsfluid in jeder Zelle und der Trennwand **11** ausreichend wird. Als Ergebnis kann eine ausreichende thermoakustische Wirkung nicht erlangt werden. Andererseits führt eine derartige niedrige Wärmeleitfähigkeit von 5 W/mK oder weniger zu einem ausreichenden Wärmetausch zwischen dem Arbeitsfluid in jeder Zelle und der Trennwand **11**, und so kann eine ausreichende thermoakustische Wirkung erlangt werden. Eine Wärmeleitfähigkeit von 1,5 W/mK oder weniger ist insbesondere in der Wärmeleitfähigkeit von 5 W/mK oder weniger bevorzugt. Falls die Wärmeleitfähigkeit zu klein ist, weist dann die Endfläche des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** an der Seite des hochtemperaturseitigen Wärmetauschers **2** lediglich lokal eine hohe Temperatur auf, was ein Versagen bedeutet, die Wärme zu der Wandfläche in den Zellen zu übertragen, und so die Schwierigkeit, eine thermoakustische Wirkung zu erzeugen. Dann ist die Wärmeleitfähigkeit von zumindest 0,01 W/mK bevorzugt.

[0094] Die Wärmeleitfähigkeit kann durch ein Temperaturgradientverfahren (stetiges Verfahren) erhalten werden. Insbesondere kann die Wärmeleitfähigkeit erhalten werden, wie folgt. Zuerst wird eine plattenförmige Versuchsprobe aus einem Ziel für die Wärmeleitfähigkeitsmessung ausgeschnitten, und eine derartige plattenförmige Versuchsprobe wird zwischen Abstandhalter eingefügt, deren Wärmeleitfähigkeit bekannt ist (z.B. aus Metall hergestellt wie z.B. aus Kupfer oder rostfreiem Stahl). Dann wird eine Seite davon auf 30°C bis 200°C erwärmt und die andere Seite wird auf 20 bis 25°C abgekühlt, wodurch der Versuchsprobe ein bestimmter Temperaturunterschied in der Richtung der Dicke nach verliehen ist. Dann wird die übertragene Wärmeströmungsrate durch den Temperaturgradienten in den Abstandhaltern erhalten, und diese Wärmeströmungsrate wird durch den Temperaturunterschied dividiert, um die Wärmeleitfähigkeit zu berechnen.

[0095] In dem Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1** weisen die Zellen bevorzugt eine Querschnittsform auf, die rechtwinklig zu der Durchdringungsrichtung der Zellen **14** ist, derart, dass sie eine Polygonform ist, deren Ecken gekrümmt sind, und die Ecken der Form weisen bevorzugt einen Krümmungsradius von 0,02 mm oder mehr und 0,1 mm oder weniger auf. **Fig. 11** zeigt eine beispielhafte Form der Zellen **14** in der vergrößerten Ansicht an der oberen rechten Seite, wo das Dreieck gekrümmte Ecken aufweist, die den Krümmungsradius von 0,02 mm oder mehr und 0,1 mm oder weniger aufweisen. Ein derartiger Krümmungsradius von 0,02 mm oder mehr bedeutet eine sanft gekrümmte Form, und so kann sie ausreichend einem Aufprall widerstehen, der wirkt, um die Zellen **14** zu zerstören. Dies ist auf dem gleichen Grund für die Form einer Bohrung wie z.B. einem Tunnel basiert, z.B. ist eine abgerundete Form einer äußeren Kraft von der Umgebung her mehr widerstandsfähig als eine winkelige Form. Falls andererseits das gekrümmte Teil zu groß ist, ist dann die Trennwand **11** nahe den Ecken der Zellen dick, und entsprechend kann ein Teil der Durchgangsbohrungen als die Zellen **14**, die zu der thermoakustischen Wirkung beitragen, reduziert werden. Dann ist der Krümmungsradius auf 0, 1 mm oder weniger eingestellt, wodurch eine hohe thermoakustische Wirkung zu der gleichen Zeit ebenfalls beibehalten werden kann.

[0096] Der Krümmungsradius an den Ecken der Zellen **14** kann durch das Aufnehmen eines vergrößerten Fotos der Zellen **14** in einer Querschnittsrichtung rechtwinklig zu der Durchdringungsrichtung und ausgehend von den Querschnittsformen der Zellen **14** gemessen werden.

[0097] Die Zellen **14** können eine Form in einer Ebene rechtwinklig zu der Durchdringungsrichtung der Zellen **14** aufweisen, die verschiedenen Polygone wie z.B. Dreiecke, Vierecke, Fünfecke und Sechsecke wie auch Ellipsen (einschließlich einer perfekten Kreisform) sind, wo Dreiecke, Vierecke und Sechsecke und deren Kombinationen bevorzugt sind. Wie in der vergrößerten Ansicht der Zellen **14** an der oberen rechten Seite des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** in **Fig. 11** ersichtlich ist, ist es insbesondere bevorzugt, dreieckige Zellen **14** einzuschließen. Derartige dreieckige Zellen **14** sind insbesondere bevorzugt, da unter verschiedenen Polygonformen und elliptischen Zellformen dreieckige Zellformen am geeignetsten für die Anordnung einer großen Anzahl von Zellen sind, während die Dicke der Trennwand minimiert ist. Es ist hier anzumerken, dass in dem Fall einer Wabenstruktur zum Laden eines Katalysators zur Abgasreinigung zum Entfernen von feinen Partikeln aus Abgasen von Automobilen, falls deren Zellen Ecken mit spitzen Winkeln aufweisen, sich unglücklicherweise feine Partikel einfach an den Ecken ansammeln. Dann weist eine derartige Wabenstruktur keine dreieckigen Zellformen in vielen Fällen auf, obwohl sie eine derartige Form grundsätzlich aufweisen darf. Andererseits tritt in dem Fall einer Wabenstruktur zur Ausübung einer thermoakustischen Wirkung ein derartiges Problem nicht auf das Arbeitsfluid (Gas wie z.B. Edelgas) auf, das selbstinduzierte Oszillationen verursacht, und so können dreieckige Zellformen (aber Dreiecke mit gekrümmten Ecken), die am meisten geeignet sind, eine große Anzahl von Zellen anzuordnen, positiv verwendet werden.

[0098] Angenommen das L die Länge zwischen beiden Endflächen des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** bezeichnet, weist das Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil ein Verhältnis HD/L des hydraulischen Durchmessers HD wie voranstehend bezeichnet zu der Länge L auf, das 0,005 oder mehr und weniger als 0,02 beträgt. Falls HD/L weniger als 0,005 beträgt, ist das Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1** im Vergleich mit dem hydraulischen Durchmesser HD zu lang. Dann wird das Arbeitsfluid in jeder Zelle des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** von einem Temperaturunterschied zwischen beiden Enden des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** weniger beeinträchtigt sein. In diesem Fall ist der Wärmetausch zwischen dem Arbeitsfluid in jeder Zelle und der Trennwand **11** nicht ausreichend, und so kann eine ausreichende thermoakustische Wirkung nicht erlangt werden. Falls andererseits HD/L 0,02 oder mehr beträgt, dann ist das Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1** im Vergleich mit dem hydraulischen Durchmesser HD zu kurz. In diesem Fall wird Wärme durch die Trennwand **11** von der Seite des hochtemperaturseitigen Wärmetauschers **2** zu der Seite des niedertemperaturseitigen Wärmetauschers **3** in den Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1** übertragen, bevor der Wärmetausch zwischen dem Arbeitsfluid in jeder Zelle und der Trennwand **11** ausreichend wird. Als Ergebnis kann eine ausreichende thermoakustische Wirkung immer noch nicht erlangt werden. Dann ist das Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1** konfiguriert, das Verhältnis HD/L von 0,005 oder mehr und weniger als 0,02 aufzuweisen, und so ist der Wärmetausch zwischen dem Arbeitsfluid in jeder Zelle und der Trennwand **11** ausreichend. Als Ergebnis kann das Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1** eine ausreichende thermoakustische Wirkung aufweisen.

[0099] In dem Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1** weist bevorzugt das Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1** ausmachende Material und insbesondere das die Trennwand **11** ausmachende Material ein Verhältnis einer thermischen Ausdehnung von 20 bis 800°C auf, das 6 ppm/K oder weniger beträgt. Hierin kann die thermische Ausdehnung z.B. durch Ausschneiden von dem Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1** einer Versuchsprobe, die eine Länge von 10 mm oder mehr entlang der Durchdringungsrichtung von jeder Zelle aufweist und eine Querschnittsfläche mit der Richtung rechtwinklig zu der Durchdringungsrichtung aufweist, die 4 mm² oder mehr und 100 mm² oder mehr beträgt, und Messen des thermischen Ausdehnungsverhältnisses in der Durchdringungsrichtung unter Verwendung eines Differenzialwärmedilatometers unter Verwendung eines Quarzes als Bezugsvergleichsprobe gemessen werden.

[0100] Ein derartiges Verhältnis einer thermischen Ausdehnung bei 20 bis 800°C von 6 ppm/K oder weniger des die Trennwand **11** ausmachenden Materials kann eine Beschädigung des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** unterdrücken, wenn ein Temperaturunterschied an den beiden Enden auftritt. Ein Verhältnis der Wärmeausdehnung von 4 ppm/K oder weniger ist in dem Verhältnis der Wärmeausdehnung von 6 ppm/K oder weniger bevorzugt.

[0101] Bevorzugt weist das Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1** eine Länge L von 5 mm oder mehr und 60 mm oder weniger auf.

[0102] Das Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1**, das eine Länge L in dem zuvor erwähnten numerischen Bereich aufweist, kann eine ausreichende thermoakustische Wirkung erlangen.

[0103] Im Folgenden ist ein Verfahren zum Herstellen eines monolithischen Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** in **Fig. 11** beschrieben. Das Folgende beschreibt den Fall, in dem das Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1** z.B. aus einem keramischen Material hergestellt ist.

[0104] Zuerst wird ein Bindemittel, Oberflächenbehandlungsmittel, Porenausbildungsmittel, Wasser und Ähnliches zu einem keramischen Rohmaterial hinzugefügt, um ein Ausbildungsrohmaterial vorzubereiten. Das keramische Rohmaterial hat bevorzugt einen oder zwei oder mehr in Kombination eines Kordieritformrohmaterials, eines Siliziumkarbid-Kordierit basierenden Verbundmaterials, Aluminiumtitanat, Siliziumkarbid, ein Silizium-Siliziumkarbid basierendes Kompositmaterial, Aluminium, Mullit, Spinell, Lithium-Aluminium-Silikat, und Fe-Cr-Al basierende Legierung. Darunter ist ein Kordierit ausbildendes Rohmaterial bevorzugt. Hierin ist das Kordieritformrohmaterial ein keramisches Rohmaterial, das formuliert ist, eine chemische Komposition in dem Bereich von 42 bis 56 Masse-% von Silizium, 30 bis 45 Masse-% von Aluminium und 12 bis 16 Masse-% von Magnesium aufzuweisen, und bildet nach dem Brennen Kordierit aus. Das keramische Rohmaterial ist bevorzugt enthalten mit Bezug auf das ausbildende Rohmaterial als Gesamtes 40 bis 90 Masse-% zu enthalten.

[0105] Beispielhafte Bindemittel schließen Methylzellulose, Hydroxypropoxylzellulose, Hydroxyethylzellulose, Carboxymethylzellulose oder Polyvinylalkohol ein. Darunter ist Methylzellulose und Hydroxypropoxylzellulose bevorzugt zusammen verwendet. Der Anteil des Binders beträgt bevorzugt 2 bis 20 Masse-% mit Bezug auf das ausbildende Rohmaterial als Gesamtes.

[0106] Der Anteil von Wasser beträgt bevorzugt 7 bis 45 Masse-% mit Bezug auf das ausbildende Rohmaterial als Gesamtes.

[0107] Beispielhaftes Oberflächenbehandlungsmittel hat Ethylenglykol, Dextrin, fettige Säureseife oder Polyalkohol. Diese können alleine oder in Kombination von zwei oder mehr Arten verwendet werden. Der Gehalt des Oberflächenbehandlungsmittels ist bevorzugt 5 Masse-% oder weniger mit Bezug auf das ausbildende Rohmaterial als Gesamtes.

[0108] Beispielhafte Porenformungsmittel haben Stärke, schaumfähiges Harz, wasserabsorptionsfähiges Harz oder Siliziumgel. Der numerische Bereich der arithmetischen Durchschnittsrauigkeit (R_a) der Trennwandoberfläche wie voranstehend bezeichnet, kann durch Anpassen der Art oder des Anteil des Porenausbilders implementiert werden, um die offene Stirnfläche der Trennwandoberfläche zu steuern. Zu dieser Zeit ist der Anteil des Porenausbilders bevorzugt angepasst, mehr als 0 Masse-% und 5 Masse-% oder weniger mit Bezug auf das ausbildende Rohmaterial als Gesamtes zu sein.

[0109] Es ist anzumerken, dass die arithmetische durchschnittliche Rauigkeit (R_a) die zu dem numerischen Bereich der arithmetischen durchschnittlichen Rauigkeit (R_a) der Trennwandoberfläche gehört, wie voranstehend bezeichnet wurde, implementiert werden kann, ohne einen Porenausbildner zu verwenden (d.h. der Gehalt des Porenausbildners beträgt 0%). In diesem Fall kann eine derartige arithmetische durchschnittliche Rauigkeit (R_a) durch Anpassen der Partikelgröße des den Kordierit ausbildenden Rohmaterials implementiert werden.

[0110] Als nächstes wird ein geknetetes Material durch Kneten des ausbildenden Rohmaterials vorbereitet. Ein Verfahren zum Vorbereiten eines gekneteten Materials durch Kneten des ausbildenden Rohmaterials ist nicht besonders begrenzt. Zum Beispiel kann ein Knetter oder ein Vakuumtontschneider zu diesem Zweck verwendet werden.

[0111] Als nächstes wird das geknetete Material extrudiert, wodurch ein wabenstruktureausgebildeter Körper vorbereitet ist, mit einer Trennwand, die eine Mehrzahl Zellen definiert. Für die Extrusion wird bevorzugt eine Matrize verwendet, die eine Form gemäß dem hydraulischen Durchmesser jeder Zelle, der offenen Stirnfläche, der Form des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1**, der Zellenform und der Schwingungszeit der Zellen aufweist, wie voranstehend bezeichnet wurde. Ein bevorzugtes Material der Matrize ist zementiertes Karbid mit einem Verschleißwiderstand. Werte der hydraulischen Durchmesser von jeder Zelle, der offenen Stirnfläche oder Ähnlichem des Wabenstrukturformkörpers werden bevorzugt bestimmt, während die Zusammenziehung berücksichtigt wird, die während des Trocknens und Brennens erzeugt wird, und später ebenfalls beschrieben wird.

[0112] Hierin kann das Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil in **Fig. 11**, das einen sehr kleinen hydraulischen Durchmesser jeder Zelle aufweist und eine sehr große offene Stirnfläche aufweist (das eine große Zelldichte aufweist) wie voranstehend bezeichnet wurde, um eine größere thermoakustische Wirkung zu erzielen, nicht durch einfaches Verwenden eines Extrusionsverfahren hergestellt werden, wie es ist (d.h. durch das einfache Ausführen eines ähnlichen Herstellungsverfahrens unter Verwendung einer unterschiedlichen Matrize zum Ausbilden der Poren hoher Dichte), das für eine bekannte Wabenstruktur verwendet wird, um einen Katalysator für Abgasreinigung zu laden, das frei von solchen Beschränkungen ist, aufgrund der folgenden zwei Probleme.

[0113] Das erste Problem ist, dass während der Extrusion das geknetete Material, das mit einer hohen Temperatur extrudiert wird, sich an die Bohrungen einer Formmatrize anhaftet, was einfach ein Verstopfen erzeugt. Dieses Problem ist durch die Druckschrift JP 2012- 237295 A ebenfalls in Paragraph [0021] erwähnt.

[0114] Das zweite Problem ist, dass eine für eine Wabenstruktur wie das Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1** der **Fig. 11** verwendete Matrize, die einen sehr kleinen hydraulischen Durchmesser jeder Zelle aufweist und eine große offene Stirnfläche aufweist (eine große Zelldichte aufweist), unvermeidbar ein sehr dünnes und kleines Teil hat (typischerweise ein Teil von ungefähr 0,3 mm Dicke). Dann wird ein derartiges kleines Teil oft beschädigt (z.B. zerrissen) durch Viskosereibung während der Extrusion des gekneteten Materials.

[0115] Dann weist das Herstellungsverfahren des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** die folgende Konfiguration auf, um diese zwei Probleme zu lösen.

[0116] Für das erste Problem, vor der Extrusion unter Verwendung einer Matrize (im Folgenden eine reale Matrize genannt) entsprechend dem Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1**, das den hydraulischen Durchmesser jeder Zelle aufweist, der 0,4 mm oder weniger beträgt und die offene Stirnfläche, die 60% oder mehr und 93% oder weniger beträgt, d.h., die einen sehr kleinen hydraulischen Durchmesser jeder Zelle aufweist und eine große offene Stirnfläche aufweist (eine große Zelldichte aufweist), wird ein geknetetes Material unter Verwendung einer anderen Matrize im Folgenden eine Dummy-Matrize genannt) extrudiert, die eine sehr kleine Dicke der Rippen aufweist, die 0,04 mm oder mehr und 0,09 mm oder weniger beträgt. Die „Dicke der Rippen“ hier betrifft die Dicke der Trennwand des Wabenstrukturformkörpers, und bedeutet eine Schlitzbreite der Matrize. Jeder Schlitz ist eine Bohrung zum Abgeben des gekneteten Materials und dient zum Bestimmen der Form von jedem Trennwandteil an der Wabenstruktur, die herzustellen ist. Im Folgenden bedeutet „Dicke der Rippen“ die Schlitzbreite. Die Extrusion unter Verwendung einer derartigen Dummy-Matrize kann zuvor die Bestandteile des gekneteten Materials entfernen, die dazu tendieren, die Verstopfung zu verursachen. Dann wird die Extrusion durch die reale Matrize für das der Extrusion ausgesetzten geknetete Material durchgeführt, wodurch ein wie voranstehend bezeichnetes Verstopfen unterdrückt werden kann.

[0117] Das zweite Problem wird durch das starke Reduzieren des Viskosität des gekneteten Materials gelöst, das für die Extrusion verwendet wird, im Vergleich mit der Viskosität eines gekneteten Materials, das für eine bekannte Wabenstruktur verwendet wird, um einen Katalysator für eine Abgasreinigung zu laden, um die Viskosereibung zu reduzieren, während der Bereich einer Formhalteeigenschaft (d.h., die Form des geformten Körpers wird nicht verschlechtert) des geformten Körpers des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** während der Extrusion beibehalten bleibt. Um die Viskosität des gekneteten Materials zu reduzieren, während die Bedingung zum Beibehalten einer Formhalteeigenschaft auf diese Weise zu erfüllen, muss das Verhältnis des Wassers in dem gekneteten Material genauer als in der Herstellung einer bekannten Wabenstruktur zum Laden eines Katalysators für Abgasreinigung gesteuert werden (d.h., ein Fehler zwischen dem Steuerziel des Wasserverhältnisses und dem tatsächlichen Wasserverhältnis in einem sehr engen Bereich zu halten). Insbesondere beträgt das Verhältnis des Wassers in dem gekneteten Material 40 bis 42 Massenteile mit Bezug auf 100 Massenteile des festen Bestandteils des gekneteten Materials, das zum Herstellen des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** verwendet wird, da das Verhältnis des Wassers in dem gekneteten Material 25 bis 35 Massenteile mit Bezug auf 100 Massenteile des gekneteten Materials festen Bestandteils beträgt, das zum Herstellen einer bekannten Wabenstruktur zum Laden eines Katalysators für Abgasreinigung verwendet wird. Wenn das Verhältnis des Wassers in dem gekneteten Material steigt, verringert sich die Viskosität des gekneteten Materials und adäquate Schwankungen treten in der Form des geformten Körpers des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** auf. Dies führt zu einer anderen vorteilhaften Wirkung, dass selbst induzierende Oszillationen von Schallwellen ähnlich auftreten.

[0118] Das Folgende führt fort, die Extrusion anderer Punkte als der zwei voranstehend beschriebenen Probleme zu beschreiben, die zu vermeiden sind.

[0119] Während der Extrusion des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** ist eine Stützplatte an einer Endfläche des vorderen Endteils des ausgebildeten Körpers platziert, der in der Extrusionsrichtung extrudiert wird, und während eine solche Stützplatte in der Extrusionsrichtung gemäß der Geschwindigkeit der Extrusion des ausgebildeten Körpers bewegt wird, wird die Stützplatte langsam und gering innerhalb des Schwankungsbereichs (maximale Variation aufgrund der Schwankungen) innerhalb des numerischen Bereichs der Geradheit, wie voranstehend bezeichnet wurde, in der Richtung rechtwinklig zu der Extrusionsrichtung oszilliert, um den numerischen Bereich der Geradheit an der Trennwandfläche auszuführen, wie voranstehend bezeichnet wurde. Dies ergibt den Zustand, in dem die Oberfläche der Trennwand zu einem gewissen Ausmaß Schwankungen aufweist, wie voranstehend in **Fig. 12** beschrieben wurde, in der Richtung rechtwinklig zu der Extrusionsrichtung, anstelle eines parallelen Zustands entlang der Extrusionsrichtung.

[0120] Als ein anderes Verfahren zum Steuern der Geradheit kann ein netzartiges Element, das in einer Ebene rechtwinklig zu der Extrusionsrichtung des Wabenstrukturformkörpers sich erstreckt und eine teilweise unterschiedliche Netzgröße aufweist, an einer Position einer Matrize platziert werden (die eine Mehrzahl von Schlitzzen entsprechend einer Mehrzahl Trennwände aufweist, und während der Extrusion wird es einem gekneteten Material gestattet, durch die Schlitzzen durchzutreten, um einen Wabenstrukturformkörper auszubilden) nahe dem Eingang des gekneteten Materials. In diesem Fall empfängt das sich in die Extrusionsrichtung bewegend geknetete Material von dem netzartigen Element einen unterschiedlichen Widerstand abhängig von der Position, wenn es durch das netzartige Element durch die Matrize durchtritt, wodurch die Bewegungsgeschwindigkeit des gekneteten Materials sich mit der Position in der Ebene rechtwinklig zu der Extrusionsrichtung variiert, was ergibt, dass die ausgebildeten Zellen eine Geradheit aufweisen, die nicht null beträgt.

[0121] Das Folgende beschreibt eine Matrize, die zum Vorbereiten eines Wabenstrukturformkörpers (d.h. Extrusion) in der vorliegenden Ausführungsform verwendet wird. Aus Gründen der Einfachheit der Erläuterung beschreibt das Folgende lediglich den Fall, in dem die Zellen eine viereckige Form aufweisen.

[0122] **Fig. 13** ist eine perspektivische Ansicht, die die Erscheinung einer Matrize zeigt, die zum Vorbereiten eines Wabenstrukturformkörpers in der vorliegenden Erfindung dient, und **Fig. 14** ist eine perspektivische Ansicht, die die Erscheinung der Matrize in **Fig. 13** zeigt, die von der Seite gegenüber von der der **Fig. 13** zeigt. **Fig. 15** ist eine vergrößerte Draufsicht, die einen Teil der Oberfläche der Matrize in **Fig. 13** zeigt, und **Fig. 16** zeigt schematisch einen Querschnitt der Matrize in **Fig. 15** entlang der Linie A-A'.

[0123] Wie aus **Fig. 13** bis **Fig. 16** ersichtlich ist, hat eine Matrize **301** ein zweites plattenförmiges Teil **303** und ein erstes plattenförmiges Teil **307**, das aus Wolframkarbid basierendem zementiertem Karbid hergestellt ist. Hierin ist das zweite plattenförmige Teil **303** aus zumindest einer Art hergestellt, die aus der Gruppe bestehend aus Eisen, Stahlmaterialien, Aluminiumlegierung, Kupferlegierung, Titanlegierung und Nickellegierung ausgewählt ist, und dieses zweite plattenförmige Teil **303** hat eine Rückbohrung **305**, um das Ausbildungsrohmaterial des Wabenstrukturformkörpers einzubringen. Das erste plattenförmige Teil **307** hat ein Bohrungsteil **311**, das mit der Rückbohrung **305** in Verbindung ist, und hat ebenfalls einen Schlitz **309**, der mit dem Bohrungsteil **311** in Verbindung ist und einen Zellblock **313** definiert. Dieses erste plattenförmige Teil **307** hat eine erste Schicht **307a**, die an der Seite des zweiten plattenförmigen Teils **303** vorgesehen ist, und eine zweite Schicht **307b**, die an der ersten Schicht **307a** vorgesehen ist. Hierin ist das Bohrungsteil **311** an beiden Flächen der ersten Schicht **307a** offen, und der Schlitz **309** ist an beiden Flächen der zweiten Schicht **307b** offen. **Fig. 16** zeigt den Zustand, in dem das Bohrungsteil **311** ein offenes Ende **311a** an einer ersten Bondfläche **310** aufweist, die mit einem offenen Ende **305a** der Rückbohrung **305** an der zweiten Bondfläche übereinstimmt. Eine derartige Konfiguration der Matrize **301** dient zum Verlängern des Lebens der Matrize, wie später beschrieben werden wird.

[0124] Die Matrize **301** weist bevorzugt eine Dicke von 4 bis 10 mm auf. Falls die Dicke geringer als 4 mm ist, kann die Matrize während des Formens zerstört werden. Falls die Dicke mehr als 10 mm beträgt, ist ein Druckverlust während des Formens einer Wabenstruktur hoch, was eine Schwierigkeit im Formen in einigen Fällen bedeutet.

[0125] Das zweite plattenförmige Teil **303** hat ein plattenförmiges Element, das aus zumindest einer Art hergestellt ist, die aus der Gruppe bestehend aus Eisen, Stahlmaterialien, Aluminiumlegierung, Kupferlegierung, Titanlegierung und Nickellegierung ausgewählt ist. Hierin sind Stahlmaterialien zumindest eine Art, die aus der Gruppe bestehend aus rostfreiem Stahl, Matrizenstahl und Schnellarbeitsstahl ausgewählt ist. Unter diesen Materialien sind Stahlmaterialien als das Material des zweiten plattenförmigen Teils **303** bevorzugt und rostfreier Stahl ist am meisten bevorzugt.

[0126] In der vorliegenden Anmeldung kann „zumindest eine Art, die aus der Gruppe bestehend aus Eisen, Stahlmaterialien, Aluminiumlegierung, Kupferlegierung, Titanlegierung und Nickellegierung ausgewählt ist“ auch als „freies Bearbeitungsmaterial“ bezeichnet werden. Das freie Bearbeitungsmaterial ist ein Material, das im Vergleich mit Wolframkarbid basiertem zementiertem Karbid leicht geschliffen werden kann. Da das zweite plattenförmige Teil **303** den Schlitz **309** nicht hat, ist Verschleiß in dem zweiten plattenförmigen Teil **303** weniger problematisch als in dem ersten plattenförmigen Teil **307**. Da das zweite plattenförmige Teil **303** aus freiem Bearbeitungsmaterial hergestellt ist, weist das zweite plattenförmige Teil **303** eine herausragende Bearbeitbarkeit im Vergleich mit Wolframkarbid basiertem zementiertem Karbid auf. Außerdem sind die Kosten für das freie Bearbeitungsmaterial niedriger als die des Wolframkarbids basierten zementierten Karbids, und so können die Herstellungskosten reduziert werden.

[0127] Rostfreier Stahl, der eine Art der Materialien ist, die als zweites plattenförmiges Teil **303** verfügbar sind, können gut bekannter rostfreier Stahl sein. Zum Beispiel kann es SUS304, SUS303 und Ähnliches sein. Die Größe des zweiten plattenförmigen Teils **303** ist nicht besonders begrenzt, sondern kann eine gewünschte Größe abhängig von dem Zweck aufweisen. Hierin, wenn das zweite plattenförmige Teil **303** eine kreisförmige Plattenform aufweist, ist der Durchmesser der kreisförmigen Platte (Durchmesser von einer Fläche und der anderen Fläche) bevorzugt 20 bis 40 mm. Die Dicke des zweiten plattenförmigen Teils **303** beträgt bevorzugt 2 bis 8 mm. Falls die Dicke kleiner als 2 mm ist, kann sie eine Verformung und einen Bruch aufgrund einer Spannung von einem Formwiderstand erzeugen, und falls die Dicke größer als 8 mm ist, ist der Formwiderstand übermäßig, was eine Schwierigkeit in der Extrusion des ausgebildeten Körpers bedeutet.

[0128] Wie voranstehend beschrieben wurde, hat das zweite plattenförmige Teil **303** die Rückbohrung **305** zum Einbringen des Formrohmaterials, und die Rückbohrung **305** ist eine Durchgangsbohrung (eine Bohrung, die an beiden Flächen des zweiten plattenförmigen Teils **303** offen ist), um das Formrohmaterial einzubringen. Wenn die Wabenstruktur unter Verwendung dieser Matrice **301** geformt wird, wird das Formrohmaterial für die Wabenstruktur von der Rückbohrung **305** eingebracht. Die Rückbohrung **305** kann eine beliebige Form aufweisen, solange sie das eingebrachte Formrohmaterial zu dem Bohrungsteil **311** und dem Schlitz **309** führen kann, und die Rückbohrung **305** weist bevorzugt eine kreisförmige Form in einem Querschnitt rechtwinklig zu der Strömungsrichtung des Formrohmaterials (Dickenrichtung des zweiten plattenförmigen Teils) auf. Das offene Ende der Rückbohrung **305** weist bevorzugt einen Durchmesser von 0,15 bis 0,45 mm auf, wo 0,25 bis 0,40 mm bevorzugter ist. Eine derartige Rückbohrung **305** kann durch Maschinenbearbeitung ausgebildet werden, wie z.B. durch elektrochemisches Bearbeiten (ECM), elektrisches Abgabebearbeiten (EDM), Laserbearbeitung und Bohrbearbeitung z.B. Unter diesen Verfahren ist elektrochemisches Bearbeiten (ECM) bevorzugt, da ECM die Rückbohrung **305** wirkungsvoll und genau ausbilden kann. Der Raum in der Rückbohrung ist bevorzugt in Form einer runden Säule. In diesem Fall kann der Durchmesser (Durchmesser der Rückbohrung) in einem Querschnitt rechtwinklig zu der Strömungsrichtung des Formrohmaterials (Dickenrichtung des zweiten plattenförmigen Teils) in der Rückbohrung einen konstanten Wert aufweisen. In diesem Fall ist der Durchmesser der Rückbohrung gleich dem Durchmesser des offenen Endes der Rückbohrung an der zweiten Bondfläche. Die Anzahl der Rückbohrungen ist nicht besonders begrenzt, was geeignet abhängig von der Form des zu herstellenden Wabenstrukturkörpers entschieden werden kann, z.B. Wenn die Zellen eine dreieckige Form aufweisen, sind die Rückbohrungen bevorzugt an allen Positionen entsprechend den Trennwandschnitten vorgesehen, und wenn die Zellen eine viereckige Form aufweisen, sind dann die Rückbohrungen bevorzugt an abwechselnden Schnitten der Wabentrennwand in einem gestuften Muster vorgesehen.

[0129] Das erste plattenförmige Teil **307** hat ein plattenförmiges Element, das aus Wolframkarbid basiertem zementiertem Karbid hergestellt ist. Die Breite des Schlitzes **309** ist im Vergleich mit dem Durchmesser der Rückbohrung **305** sehr eng. Dies bedeutet, dass, wenn das Formrohmaterial extrudiert wird, der Druck in der Rückbohrung **305** erhöht wird und eine Spannung sich an dem Schlitz **309** konzentriert, was z.B. oft zu Problemen betreffend Verschleiß und Verformung führt. Dann ist das erste plattenförmige Teil **307** aus Wolframkarbid basiertem zementiertem Karbid hergestellt, das ein Material ist, das einen Verschleißwiderstand aufweist. Hierin ist „Wolframkarbid basierter zementierter Karbid (zementierter Karbid)“ eine Legierung, in der ein Wolframkarbid und ein Bondmaterial gesintert sind. Das Bondmaterial ist bevorzugt zumindest von einer Art aus Metall, das aus der Gruppe bestehend aus Kobalt (Co), Eisen (Fe), Nickel (Ni), Titan (Ti) und Chrom (Cr) ausgewählt ist. Ein derartiger Wolframkarbid basierter zementierter Karbid weist insbesondere einen herausragenden Verschleißwiderstand und eine mechanische Festigkeit auf.

[0130] Die Größe des ersten plattenförmigen Teils **307** ist nicht besonders begrenzt, sondern sie kann eine gewünschte Größe gemäß dem Zweck aufweisen. Wenn das erste plattenförmige Teil **307** hierin eine kreisförmige Plattenform aufweist, ist der Durchmesser der kreisförmigen Platte bevorzugt 20 bis 40 mm. Wenn das erste plattenförmige Teil **307** und das zweite plattenförmige Teil **303** eine Kreisplattenform aufweisen, ist dann

der Durchmesser des ersten plattenförmigen Teils **307** 90 bis 100% des Durchmessers des zweiten plattenförmigen Teils **303**. Die Dicke des ersten plattenförmigen Teils **307** beträgt bevorzugt 0,3 bis 1,2 mm, und eine Dicke von 0,5 bis 0,9 mm ist bevorzugter. Die Dicke des ersten plattenförmigen Teils **307** beträgt bevorzugt 0,05 bis 2 Mal der Dicke des zweiten plattenförmigen Teils **303**.

[0131] Wie voranstehend beschrieben wurde, hat das erste plattenförmige Teil **307** die erste Schicht **307a**, die an der Seite des zweiten plattenförmigen Teils **303** vorgesehen ist, und die zweite Schicht **307b**, die auf der ersten Schicht **307a** vorgesehen ist. Da die Matrize **301** an dem ersten plattenförmigen Teil diese zwei Schichten der ersten Schicht **307a** und der zweiten Schicht **307b** hat, kann eine Spannung während der Extrusion abgemildert werden, und so kann ein Bruch vermieden werden. Die erste Schicht **307a** und die zweite Schicht **307b** können aus der gleichen Art von Materialien oder aus unterschiedlichen Arten von Materialien hergestellt sein.

[0132] Auf diese Weise ist die erste Schicht **307a** eine Schicht, die das erste plattenförmige Teil **307** ausbildet, und ist auf der Seite des zweiten plattenförmigen Teils **303** vorgesehen. Hierin hat die erste Schicht **307a** das Bohrungsteil **311**. Die erste Schicht **307a** ist bevorzugt eine aus zementiertem Karbid hergestellte Schicht, die eine Vickers-Härte von 2000 bis 3000 HV aufweist und einen Elastizitätsmodul von 600 bis 800 GPa aufweist. Wenn die erste Schicht **307a** eine derartige Vickers-Härte und einen Elastizitätsmodul aufweist, kann sie eine Schicht sein, die eine Härte und Festigkeit aufweist, die der auf das Bohrungsteil **311** aufgebrachten Spannung widerstehen kann. Dann können Probleme wie z.B. ein Bruch des ersten plattenförmigen Teils **307**, der aus der Spannung von dem Formrohmaterial herrühren kann, das in die Bohrung **311** von der Rückbohrung **305** strömt, verhindert werden, und so kann das Leben der Matrize verlängert werden. Das Bohrungsteil **311** ist an beiden Flächen der ersten Schicht **307a** offen.

[0133] Die erste Schicht **307a** weist bevorzugt eine Vickers-Härte von 2000 bis 3000 HV auf, und 2000 bis 2200 HV ist stärker bevorzugt. Mit einer derartigen vorbestimmten Vickers-Härte kann die erste Schicht **307a** eine Härte aufweisen, um der Spannung von dem keramischen Rohmaterial zu widerstehen, das in das Bohrungsteil **311** von der Rückbohrung **305** fließt. Dann kann der Verschleiß des Bohrungsteils **311** verhindert werden. Falls die Vickers-Härte der ersten Schicht **307a** geringer als 2000 HV ist, kann aufgrund eines Mangels an Festigkeit ein Verschleiß auftreten. Falls die Vickers-Härte der ersten Schicht **307a** 3000 HV übersteigt, ist sie zu hart, und so kann die erste Schicht **307a** einfach brechen. Die erste Schicht **307a** weist bevorzugt den Elastizitätsmodul von 600 bis 800 GPa auf, wo 600 bis 700 GPa mehr bevorzugt sind. Dies kann einen Bruch der ersten Schicht **307a** verhindern. Falls der Elastizitätsmodul der ersten Schicht **307a** geringer als 600 GPa ist, ist die Festigkeit zu klein, was Probleme wie z.B. einen Bruch verursachen kann. Falls der Elastizitätsmodul 800 GPa übersteigt, ist die Festigkeit zu groß, was zu dem Risiko der Verformung des Bohrungsteils **311** führen kann. Wenn die Wabenstruktur unter Verwendung einer Matrize ausgebildet wird, die das verformte Bohrungsteil **311** aufweist, tritt dann eine Verdrehung an der Wabenstruktur auf, und die Formbarkeit verschlechtert sich.

[0134] Wie voranstehend beschrieben wurde, ist die zweite Schicht **307b** eine Schicht, die das erste plattenförmige Teil **307** ausmacht, und ist auf der ersten Schicht **307a** vorgesehen. Die zweite Schicht **307b** hat den Schlitz **309** und der Schlitz **309** ist an beiden Flächen der zweiten Schicht **307b** offen. Hierin bedeutet „beide Flächen der zweiten Schicht **307b**“ beide Flächen mit der Fläche der zweiten Schicht **307b** in Berührung mit (daran gebondet) der ersten Schicht **307a** und der Fläche an der gegenüberliegenden Seite (Rückseite) der Fläche in Berührung mit der ersten Schicht **307a**. In Fig. 16 ist der Abgabeanschluss des Formrohmaterials an dem Schlitz **309** als offenes Ende **309a** des Schlitzes **309** angezeigt. Die zweite Schicht **307b** weist bevorzugt eine Vickers-Härte von 500 bis 3000 HV und den Elastizitätsmodul von 400 bis 700 GPa auf. Wenn die zweite Schicht **307b** eine derartige Vickers-Härte und Elastizitätsmodul aufweist, kann sie eine Schicht sein, die eine ausreichende Härte und Festigkeit aufweist, die der auf den Schlitz **309** aufgebrachten Spannung widerstehen kann. Dann können die Verformung und der Verschleiß des Schlitzes **309** verhindert werden.

[0135] Die zweite Schicht **307b** weist bevorzugt eine Vickers-Härte von 500 bis 3000 HV auf, wo eine Vickers-Härte von 2000 bis 3000 HV mehr bevorzugt ist. Eine derartige Vickers-Härte kann einen Verschleiß der zweiten Schicht **307b** unterdrücken. Falls die Vickers-Härte der zweiten Schicht **307b** geringer als 500 HV ist, kann ein Verschleiß aufgrund des Fehlens der Härte einfach auftreten. Falls die Vickers-Härte 3000 HV übersteigt, kann die zweite Schicht **307b** einfach brechen.

[0136] Die zweite Schicht **307b** weist bevorzugt ein Elastizitätsmodul von 400 bis 700 GPa auf, wo der Elastizitätsmodul von 500 bis 700 GPa mehr bevorzugt ist. Ein derartiger Elastizitätsmodul der zweiten Schicht **307b** sorgt dafür, dass die Schicht schwer bricht. Falls der Elastizitätsmodul der zweiten Schicht **307b** kleiner als 400 GPa ist, können Probleme wie z.B. ein Bruch aufgrund einer zu kleinen Festigkeit einfach auftreten.

Falls der Elastizitätsmodul 700 GPa übersteigt, ist dann die Festigkeit zu groß, und so wird die zweite Schicht **307b** einfach verformt.

[0137] Es ist bevorzugt, dass in der Matrize **301** die Vickers-Härte und der Elastizitätsmodul der zweiten Schicht **307b** größer als die Vickers-Härte und der Elastizitätsmodul der ersten Schicht **307a** sind. Es ist nämlich bevorzugt, dass die Vickers-Härte der zweiten Schicht **307b** größer als die Vickers-Härte der ersten Schicht **307a** ist, und der Elastizitätsmodul der zweiten Schicht **307b** größer als der Elastizitätsmodul der ersten Schicht **307a** ist. In einem derartigen Verhältnis wird die zweite Schicht **307b** mit dem Schlitz **309** schwer verschliffen, und die erste Schicht **307a** mit dem Bohrungsteil **311** bricht kaum. Dann kann das Leben der Matrize aufgrund der zweiten Schicht **307b**, die Verschleiß unterdrückt, und der ersten Schicht **307a**, die einen Bruch unterdrückt, mehr verlängert werden.

[0138] In der Matrize **301** ist es bevorzugt, dass die Vickers-Härte der zweiten Schicht **307b** um 1000 bis 2500 HV größer als die Vickers-Härte der ersten Schicht **307a** ist, und der Elastizitätsmodul der zweiten Schicht **307b** um 50 bis 300 GPa größer als der Elastizitätsmodul der ersten Schicht **307a** ist. Dann kann das erste plattenförmige Teil **307** die zweite Schicht **307b**, die einen Verschleißwiderstand aufweist, und die erste Schicht **307a**, die eine hohe Festigkeit aufweist, zuverlässig aufweisen, und so kann das Leben der Matrize verlängert werden.

[0139] Die Dicke der ersten Schicht **307a** beträgt bevorzugt 0,1 bis 5 mm, und die Dicke der ersten Schicht **307a** beträgt noch bevorzugter 0,2 bis 5 mm. Ein derartiger Bereich der Dicke der ersten Schicht **307a** kann einen Verschleiß des zweiten plattenförmigen Teils wirkungsvoll unterdrücken. Falls die Dicke der ersten Schicht **307a** kann einen Verschleiß des zweiten plattenförmigen Teils wirkungsvoll unterdrücken. Falls die Dicke der ersten Schicht **307a** kleiner als 0,1 mm ist, wird das zweite plattenförmige Teil einfach verschliffen. Falls die Dicke der ersten Schicht **307a** 5 mm übersteigt, kann der Druck während der Extrusion aufgrund einer derartig dicken Matrize zu stark ansteigen.

[0140] Die Dicke der zweiten Schicht **307b** beträgt bevorzugt 0,3 bis 4 mm, und die Dicke beträgt noch bevorzugter 1 bis 4 mm. Ein derartiger Bereich der Dicke der zweiten Schicht **307b** kann eine Verformung der Wabenstruktur nach der Extrusion unterdrücken. Falls die Dicke der zweiten Schicht **307b** kleiner als 0,3 mm ist, kann die Wabenstruktur nach der Extrusion verformt werden, und die zweite Schicht **307b** kann verschliffen oder verformt werden. Falls die Dicke der zweiten Schicht **307b** 4 mm übersteigt, ist dann die zweite Schicht **307b** zu dick, und so ist die Tiefe des Schlitzes (die Länge des Schlitzes in der Extrusionsrichtung des Formrohmaterials) zu groß, so dass ein Druck während der Extrusion zu hoch wird. Außerdem ist ein durch den Schlitz umgebenes Teil ausgesprochen lang und dünn, und das Teil kann aufgrund einer Reibung mit dem gekneteten Material zerrissen werden. Um derartige Ereignisse zu verhindern, ist ein tiefer Schlitz nicht gestattet. Wenn andererseits der Schlitz in einem adäquaten Bereich seicht ist, steigen relative Schwankungen in der Schlitztiefe zwischen einer Mehrzahl von Schlitzten. Als Ergebnis kann die Wabenstruktur nach der Extrusion ebenfalls adäquate Formschwankungen aufweisen, und so treten selbst induzierte Oszillationen der Schallwellen einfach auf.

[0141] Wie voranstehend bezeichnet wurde, hat das erste plattenförmige Teil **307** den Schlitz **309**, der mit dem Bohrungsteil **311** in Verbindung ist, und dient zum Ausbilden des Formrohmaterials. Der Schlitz **309** ist ein Spalt (Ausschnitt), der in dem ersten plattenförmigen Teil **307** ausgebildet ist. Das Formrohmaterial, das von der Rückbohrung **305** eingebracht wird, dringt in den Schlitz **309** in der Matrize ein, und dann wird das Formmaterial aus dem offenen Ende **309a** des Schlitzes **309** herausgeschoben, wodurch ein geformter Körper in einer Wabenform ausgebildet werden kann.

[0142] Wie voranstehend bezeichnet wurde, ist der Schlitz **309** an beiden Flächen der zweiten Schicht **307b** offen. Obwohl der Schlitz **309** nur an der zweiten Schicht **307b** ausgebildet sein kann, ist es bevorzugt, dass der Schlitz auch an der ersten Schicht **307a** ausgebildet ist. Wenn er an der ersten Schicht **307a** ausgebildet ist, wird der Schlitz **309**, der an der zweiten Schicht **307b** ausgebildet wird, zu der Seite der ersten Schicht ausgedehnt, um bevorzugt an der ersten Schicht **307a** ausgebildet zu sein. In diesem Fall ist der Schlitz **309** an der ersten Schicht **307a** an der Fläche der ersten Schicht **307a** in Berührung mit der zweiten Schicht **307b** ausgebildet. Dann ist in diesem Fall die Tiefe des Schlitzes **309** größer als die Dicke der zweiten Schicht **307b**. Es ist bevorzugt, dass die Tiefe des Schlitzes **309** 0,3 bis 1,0 mm beträgt, wo 0,4 bis 0,8 mm mehr bevorzugt ist. Es ist bevorzugt, dass die Tiefe des Schlitzes **309** an einem Teil, der sich zu der Seite der ersten Schicht erstreckt, 0,1 bis 0,5 mm beträgt, wo 0,2 bis 0,5 mm mehr bevorzugt ist. Dies kann einen geformten Körper einer bevorzugten Wabenform ausbilden. Es ist bevorzugt, dass die Breite des Schlitzes **309** 0,03 bis 0,05 mm beträgt, wo 0,04 bis 0,05 mm mehr bevorzugt ist.

[0143] Wie voranstehend beschrieben wurde, hat die erste Schicht **307a** des ersten plattenförmigen Teils **307** darin das Bohrungsteil **311**, wo dieses Bohrungsteil **311** mit der an dem zweiten plattenförmigen Teil **303** ausgebildeten Rückfläche und dem an dem ersten plattenförmigen Teil **307** ausgebildeten Schlitz **309** in Verbindung ist. Das Bohrungsteil **311** ist ebenfalls eine Durchgangsbohrung, die an der ersten Schicht **307a** des ersten plattenförmigen Teils **307** ausgebildet ist. Das Bohrungsteil **311** ist nämlich eine Durchgangsbohrung, die an der Fläche der zweiten Schicht **307b** an der Seite in Berührung mit dem zweiten plattenförmigen Teil **303** (der ersten Bondfläche **310** des ersten plattenförmigen Teils **307**) offen ist und an der Fläche der zweiten Schicht **307b** in Berührung mit der ersten Schicht **307a** (der anderen Fläche **307ba** der zweiten Schicht) offen ist. Wie aus **Fig. 16** ersichtlich ist, ist die erste Bondfläche **310** eine Fläche des ersten plattenförmigen Teils **307**, das an das zweite plattenförmige Teil **303** gebondet ist (damit in Berührung ist). Ein derartiges Bohrungsteil **311** gestattet es einem Formrohmaterial, das von der Rückbohrung **305** eingebracht wird, die an dem zweiten plattenförmigen Teil **303** ausgebildet ist, durch das Bohrungsteil **311** durchzutreten und in den Schlitz **309** zu dringen. Dann wird das Formrohmaterial aus dem offenen Ende **309a** des Schlitzes **309** herausgeschoben, wodurch ein wabenförmiger Formkörper (Wabenstruktur) ausgebildet werden kann. Es ist bevorzugt, dass die Tiefe h des Bohrungsteils **311** (sh. **Fig. 16**) 0,1 bis 4 mm beträgt, wo 0,2 bis 3 mm mehr bevorzugt ist. Ein derartiger Bereich der Tiefe h des Bohrungsteils **311** kann Verschleiß an dem zweiten plattenförmigen Teil **303** wirkungsvoll unterdrücken. Falls die Tiefe h des Bohrungsteils weniger als 0,1 mm beträgt, verschlechtert sich die Festigkeit des ersten plattenförmigen Teils **307** einfach während der Extrusion des Formrohmaterials. Falls die Tiefe h des Bohrungsteils 4 mm übersteigt, tendiert es dazu, das Bohrungsteil schwierig auszubilden, durch das Verarbeiten des ersten plattenförmigen Elements während der Vorbereitung der Matrize. Hierin ist die Tiefe h des Bohrungsteils **311** ein Abstand von der ersten Bondfläche **310** des ersten plattenförmigen Teils **307** zu der anderen Fläche **307ba** der zweiten Schicht **307b**, wie aus **Fig. 16** ersichtlich ist. Hierin gleicht die Tiefe des Bohrungsteils **311** der Dicke der ersten Schicht **307a**. Es ist bevorzugt, dass der Durchmesser des offenen Endes **311a** des Bohrungsteils **311** 0,15 bis 0,4 mm beträgt, wo 0,2 bis 0,4 mm mehr bevorzugt ist. Das Bohrungsteil **311** kann durch Maschinenverarbeitung ausgebildet sein, wie z.B. durch elektrochemisches Bearbeiten (ECM), elektrisches Abgabebearbeiten (EDM), Laserbearbeiten und Bohrungsbearbeiten z.B. Unter diesen Verfahren ist das elektrochemische Bearbeiten (ECM) bevorzugt, da es das Bohrungsteil **311** wirkungsvoll und genau ausbilden kann. Der Raum in dem Bohrungsteil **311** ist bevorzugt in Form einer runden Säule. In diesem Fall kann der Durchmesser (Durchmesser des Bohrungsteils **311**) in einem Querschnitt rechtwinklig zu der Fließrichtung des Formrohmaterials (Dickenrichtung des ersten plattenförmigen Teils) in dem Bohrungsteil **311** einen konstanten Wert aufweisen. Zu dieser Zeit ist der Durchmesser des Bohrungsteils **311** gleich dem Durchmesser des offenen Endes **311a** des Bohrungsteils an der ersten Bondfläche **310**. Die Anzahl der Bohrungsteile **311** ist bevorzugt die gleiche Anzahl wie die der Rückbohrungen.

[0144] Wie aus **Fig. 16** ersichtlich ist, ist die Matrize **301** so ausgebildet, dass der Durchmesser d_1 des offenen Endes **311a** (Kreis) des Bohrungsteils **311** an der ersten Bondfläche **310** die gleiche Größe wie der Durchmesser D_1 des offenen Endes **305a** (Kreis) der Rückbohrung an der zweiten Bondfläche **306** aufweist. Wie aus **Fig. 16** ersichtlich ist, ist die zweite Bondfläche **306** eine Fläche des zweiten plattenförmigen Teils **303**, das mit dem ersten plattenförmigen Teil **307** gebondet (damit in Berührung) ist. Das offene Ende **311a** des Bohrungsteils **311** an der ersten Bondfläche **310** ist ein Einlassteil der Durchgangsbohrung (Einströmteil des Formrohmaterials), das an der ersten Bondröhre **310** offen ist. Das offene Ende **305a** der Rückbohrung **305** an der zweiten Bondfläche **306** ist ein Auslassteil (Auslassteil des Formrohmaterials) an der Seite der zweiten Bondfläche **306**, das an der zweiten Bondfläche **306** der Rückbohrung **305** offen ist. Da das Formrohmaterial durch dieses Auslassteil durchtritt, wird es dann zu dem Bohrungsteil **311** zugeführt.

[0145] Hierin ist es bevorzugt, dass die Matrize eine Halteplattenkonfiguration hat, um die Matrize für die Extrusion festzuhalten.

[0146] **Fig. 17** zeigt ein Beispiel der Halteplattenkonfiguration.

[0147] In der Halteplattenkonfiguration der **Fig. 17** wird das Formrohmaterial aus der Richtung des nach unten gerichteten Pfeils in **Fig. 17** ausgeschoben. Zu dieser Zeit kann ein rückwärtiges Halteteil **403** die Menge des gekneteten Materials anpassen, das einströmt. Eine Matrize **401** ist durch einen Halter **402** befestigt, und ein Formrohmaterial, das aus einem Spalt **405** zwischen der Matrize **401** und dem Halter **402** ausgeschoben wird, definiert ein Umfangsteil eines Wabenformkörpers **404**, während er durch eine geneigte Fläche **406** und eine gegenüberliegende Fläche **407** angepasst wird.

[0148] **Fig. 8** zeigt ein anderes Beispiel der Halteplattenkonfiguration, das von **Fig. 17** unterschiedlich ist.

[0149] In einer Halteplattenkonfiguration **550** der **Fig. 18** wird das Formrohmaterial in der Richtung des nach unten gerichteten Pfeils in **Fig. 18** ausgeschoben. Diese Halteplattenkonfiguration **550** hat eine Rückbohrung **553**, um ein Formrohmaterial zuzuführen, eine Matrize **554**, die einen Schlitz **552** aufweist, um das Formrohmaterial auszuschieben, und eine Halteplatte **555**, die stromabwärts der Matrize **554** liegend vorgesehen ist. Die Matrize **554** hat ein inneres Teil **571** und ein Umfangsteil **572**. Das innere Teil **571** ragt zu dem stromabwärts liegenden Teil (in **Fig. 18** nach unten), um eine Stufenhöhe **575** mit dem Umfangsteil **572** zu definieren, und dieses innere Teil **571** ist mit einem Schlitz **573** bereitgestellt, um eine Wabenstruktur auszubilden. Das Umfangsteil **572** ist dann mit einem Schlitz **574** bereitgestellt, der kürzer als der Schlitz **573** ist. Zwischen der Matrize **554** und der Halteplatte **555** ist ein Spaltteil **557** ausgebildet, um die Außenwand der Wabenstruktur auszubilden. Hierin sind eine Haltematrize **558** und eine rückwärtige Halteplatte **55a** Halter, um die Matrize **554** und die Halteplatte **555** einzustellen.

[0150] Während der Extrusion unter Verwendung der Halteplattenkonfiguration **550** in **Fig. 18** wird das Formrohmaterial aus der stromaufwärts liegenden Seite der Matrize **554** (in **Fig. 18** oben) zu dem stromabwärts liegenden Bereich über die Matrize **554** durch einen Extruder (nicht gezeigt) ausgeschoben. Das Formrohmaterial **561**, das aus dem Schlitz **573** an dem inneren Teil **571** der Matrize **554** ausgeschoben wird, wobei der Schlitz an der stromabwärts liegenden Seite offen ist, wird geformt, eine Wabenstruktur mit einer Vielzahl Zellen zu sein. Andererseits ist das Formrohmaterial **561**, das aus dem Schlitz **574** an dem Umfangsteil **572** der Matrize **554** ausgeschoben wird, von einer zerstörten Wabenform durch die Tätigkeit an dem Spaltteil **557**, und ändert die Bewegungsrichtung von der Ausschubrichtung zu der Richtung zu der Stufenhöhe **575** und ändert wieder die Bewegungsrichtung zu der Ausschubrichtung an der Stelle, an der die Halteplatte **555** offen ist, um die Außenwand zu formen, die die Zellen umgibt.

[0151] **Fig. 19** zeigt noch ein anderes Beispiel der Halteplattenkonfiguration.

[0152] Die Halteplattenkonfiguration in **Fig. 19(a)** hat eine Matrize **604**, die Schlitze **602** aufweist, um die periodische Anordnung der gleichseitigen Dreiecke zu formen, wie aus **Fig. 19(b)** ersichtlich ist. Diese Matrize **604** dient zum Formen einer Wabenstruktur, die eine Zellenform eines gleichseitigen Dreiecks aufweist, die durch die Halteplatte **605** befestigt ist. Hierin sind die Schlitze **602** mit den Rückbohrungen **603** in Verbindung. In dieser Halteplattenkonfiguration ist die Form (Abmessungen) des Wabenformkörpers, der zu formen ist, durch die Länge L_1 der Schlitze **602** bestimmt, die Länge L_2 , die durch das Subtrahieren der Höhe einer Stufenhöhe **615** von der Länge L_1 der Schlitze **602** erhalten wird, der Breite W der Schlitze **602** und dem Abstand d zwischen der Halteplatte **605** und der Stufenhöhe **615**.

[0153] **Fig. 20** zeigt ein weiteres Beispiel der Halteplattenkonfiguration, die von **Fig. 19** unterschiedlich ist.

[0154] Die Halteplattenkonfiguration in **Fig. 20(a)** hat eine Matrize **704**, die Schlitze **702** aufweist, um die periodische Anordnung von Quadraten zu formen, wie aus **Fig. 20(b)** ersichtlich ist. Diese Matrize **704** dient zum Formen einer Wabenstruktur, die eine quadratische Zellenform aufweist, die durch eine Halteplatte **705** befestigt ist. Hierin sind die Schlitze **702** mit den Rückbohrungen **703** in Verbindung. In dieser Halteplattenkonfiguration ist ebenfalls die Form (Abmessungen) des Wabenformkörpers, der zu formen ist, durch die Länge L_1 der Schlitze **702** bestimmt, die Länge L_2 , die ein Unterschied zwischen der Länge L_1 der Schlitze **702** und der Höhe einer Stufenhöhe **715** ist, der Breite W der Schlitze **702** und dem Abstand d zwischen der Halteplatte **705** und der Stufenhöhe **715**.

[0155] In beiden Halteplattenkonfigurationen in **Fig. 19** und **Fig. 20** ist es bevorzugt, dass die Länge L_1 der Schlitze **702** 0,3 bis 1,0 mm beträgt, wo 0,4 bis 0,8 mm bevorzugter ist. Dann ist es bevorzugt, dass die Länge L_2 als der Unterschied 0,1 bis 0,5 mm beträgt.

[0156] Das Folgende führt die Beschreibung der folgenden Verarbeitung für den Wabenformkörper fort, der durch die Extrusion erhalten wird.

[0157] Der somit erhaltene Wabenformkörper wird vor dem Brennen getrocknet. Ein Verfahren zum Trocknen ist nicht besonders begrenzt, und beispielhafte Verfahren schließen ein Erwärmungsverfahren mittels elektromagnetischer Wellen wie z.B. ein Mikrowellenwärmetrocknen und ein Hochfrequenzinduktionswärmetrocknen und ein Außenheizverfahren wie z.B. ein Heißlufttrocknen und ein Trocknen mit überhitztem Dampf ein. Nachdem eine bestimmte Menge des Wassers durch ein elektromagnetisches Wellenheizverfahren getrocknet werden kann, folgt dem ein externes Heizverfahren, um das verbleibende Wasser zu trocknen. In diesem Fall ist es bevorzugt, dass nach 30 bis 90 Masse-% des Wassers mit Bezug auf die Wassermenge vor dem Trocknen durch ein elektromagnetisches Heizverfahren entfernt wird, gefolgt durch ein externes Heizverfahren zum Re-

duzieren der Wassermenge auf 3 Masse-% oder weniger. Ein bevorzugtes elektromagnetisches Wellenheizverfahren hat Induktionsheiztrocknen, und ein bevorzugtes externes Heizverfahren hat Heißlufttrocknen.

[0158] Falls die Länge des Wabenformkörpers in der Zellendurchdringungsrichtung nicht eine gewünschte Länge ist, ist es bevorzugt, beide Endflächen (Endteile) abzuschneiden, um die gewünschte Länge aufzuweisen. Obwohl ein Verfahren zum Schneiden nicht besonders begrenzt ist, schließt ein beispielhaftes Verfahren ein Verfahren unter Verwendung eines kreisförmigen Sägeschneiders ein.

[0159] Als nächstes wird der Wabenformkörper gebrannt. Es ist bevorzugt, eine Kalzinierung vor dem Brennen durchzuführen, um den Binder und Ähnliches zu entfernen. Die Kalzinierung wird bevorzugt bei 400 bis 500°C für 0,5 bis 20 Stunden in der Umgebungsluft durchgeführt. Ein Verfahren der Kalzinierung oder des Brennens ist nicht besonders begrenzt, und sie können unter Verwendung eines elektrischen Ofens, eines Gasofens oder Ähnlichem durchgeführt werden. Als Brennbedingungen wird es bevorzugt mit 1300 bis 1500°C für 1 bis 20 Stunden in einer Inertumgebung aus Stickstoff, Argon oder Ähnlichem erwärmt, wenn ein silizium-siliziumkarbidbasiertes Verbundmaterial z.B. verwendet wird. Wenn ein sauerstoffbasiertes Material verwendet wird, wird sie bevorzugt mit 1300 bis 1500°C für 1 bis 20 Stunden in einer Sauerstoffatmosphäre erwärmt.

[0160] Falls es zuletzt erforderlich ist, eine gewünschte Querschnittsform des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** aufzuweisen (z.B. ein Kreis wie in **Fig. 11**), wird das Umfangsteil des Wabenformkörpers nach dem Brennschritt wie nötig geschnitten, um die Form zu korrigieren. Dann wird ein äußeres Beschichtungsmaterial auf die Umfangsfläche des Wabenformkörpers nach dem Schneiden aufgebracht, gefolgt durch ein Trocknen, wobei eine Umfangswand **13** ausgebildet wird. Hierin kann das äußere Beschichtungsmaterial eine Schlämme sein, wie z.B. durch Hinzufügen eines Additivs wie z.B. eines organischen Binders, eines schaumfähigen Harzes oder eines Dispersionsmittels zu einem Rohmaterial mit anorganischen Partikeln und Kolloidaloxiden vorbereitet ist, zu denen Wasser hinzugefügt wird, gefolgt durch Kneten. Hierin schließen beispielhafte anorganische Partikel Partikel aus einem keramischen Material ein, das eine oder zwei oder mehr Kombinationen aus Kordierit, Aluminium, Aluminiumtitanat, Siliziumkarbid, Siliziumnitrit, Mullit, Zirkon, Zirkoniumphosphat und -titanat oder Partikel aus Fe-Cr-Al-basiertem Metall, nickelbasiertes Metall und Silizium (Metallsilizium) -siliziumkarbidbasierte Verbundmaterialien ein. Beispielhaftes kolloides Oxid schließt Siliziumsole und Aluminiumsole ein. Ein Verfahren zum Aufbringen des äußeren Beschichtungsmaterials ist nicht besonders begrenzt, und z.B. kann das Beschichtungsmaterial mit einem Gummispachtel z.B. während der Wabenformkörper nach dem Schneiden auf einer Scheibe rotiert, beschichtet werden.

[0161] Durch derartige Schritte wird schlussendlich das Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1** in **Fig. 11** vollendet.

[0162] Als nächstes beschreibt das Folgende ein Verfahren zum Herstellen des hochtemperaturseitigen Wärmetauschers **2** in **Fig. 3**.

[0163] Die Wärmetauschwabenstruktur **20** in dem hochtemperaturseitigen Wärmetauschers **2** der **Fig. 3** kann durch ein Herstellungsverfahren ähnlich zu dem Verfahren zum Herstellen des monolithischen Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** in **Fig. 11**, wie voranstehend beschrieben, klargestellt werden, anders als dass ein Gemisch aus einem Kohlenstoffpulver (z.B. Grafitpulver) mit SiC-Pulver als keramisches Rohmaterial verwendet wird, und eine Matrize geeignet für einen Wabenformkörper, der einen relativ großen hydraulischen Durchmesser HD seiner Zellen aufweist, als Matrize für die Extrusion verwendet werden.

[0164] Zum Herstellen dieser Wärmetauschwabenstruktur **20**, z.B. mit einem Si-imprägnierten SiC-Verbundmaterial als Hauptbestandteil, ist es bevorzugt, dass ein geknetetes Material, das durch das Mischen eines SiC-Pulvers mit Kohlenstoffpulver und Kneten zur Anpassung vorbereitet ist, und in einen Wabenformkörper geformt wird, und dann Trocknungs- und Sinterprozesse daran durchgeführt werden, und dann geschmolzenes Silizium (Si) in diesem Wabenformkörper imprägniert wird. Eine derartige Verarbeitung kann eine Konfiguration ausbilden, wo eine Koagulation von Metall-Si (Metallsilizium) die Oberfläche der SiC-Partikel nach dem Sinterprozess umgibt, und SiC-Partikel wechselweise über Metall-Silizium gebondet sind. Eine derartige Konfiguration kann eine hohe Wärmebelastbarkeit und Wärmeleitfähigkeit anstelle der Dichtenkonfiguration mit einer kleinen Porosität erlangen.

[0165] Zusätzlich zu dem geschmolzenen Silizium (Si) können andere Metalle wie z.B. Al, Ni, Cu, Ag, Be, Mg und Ti für die Imprägnierung verwendet werden. In diesem Fall umgibt nach dem Sintern die Koagulation des Metall-Si (Metallsilizium) und andere Metalle, die für die Imprägnierung verwendet werden, die Oberfläche der SiC-Partikel, und die SiC-Partikel werden wechselweise über Metall-Si und andere Metalle, die für die

Imprägnierung verwendet werden, in der ausgebildeten Konfiguration gebondet. Eine derartige Konfiguration kann ebenfalls eine hohe Wärmebelastbarkeit und Wärmeleitfähigkeit anstelle der Dichtenkonfiguration mit der kleinen Porosität erlangen.

[0166] Als das äußere Beschichtungsmaterial der Wärmetauschwabenstruktur **20** können unter den Partikeln, die aus Materialien hergestellt sind, wie voranstehend erwähnt wurde, als Kandidaten der anorganischen Partikel des Materials des äußeren Beschichtungsmaterials (das Material des Bondmaterials des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1**) ebenfalls Partikel aus Silizium (Metallsilizium) -siliziumkarbidbasierte Verbundmaterialien bevorzugt aus dem gleichen Grund wie voranstehend erwähnt verwendet werden.

[0167] Es ist bevorzugt, die Schlitzausbildungsbearbeitung zum Ausbilden eines Schlitzes in der Zellendurchdringungsrichtung an der Umfangswand durchzuführen, die durch die Anwendung des äußeren Beschichtungsmaterials ausgebildet ist. Wenn die Schlitzausbildungsbearbeitung durchgeführt wird, kann eine Widerstandsmetallplatte **21d** und eine Flosse **21e** ausgebildet werden, wenn das hochtemperaturseitige ringförmige Rohr **21** hergestellt wird, wie im Folgenden beschrieben wird.

[0168] Das hochtemperaturseitige ringförmige Rohr **21** an dem hochtemperaturseitigen Wärmetauscher **2** in **Fig. 3** wird unter Formen eines Materials eines hohen Wärmewiderstands in einer ringförmigen Form vorbereitet (hierin ist die ringförmige Form derart, dass ein Teil der Wandfläche an der Mittelseite teilweise so ausgelassen ist, dass wenn es mit der Wärmetauschwabenstruktur **20** gekoppelt wird, ein Teil der Umfangswand der Wärmetauschwabenstruktur **20** in dem hochtemperaturseitigen ringförmigen Rohr freigelegt ist). Ein derartiges Material eines hohen Wärmewiderstands ist nicht besonders begrenzt, und bestimmte Beispiele schließen Metall wie z.B. rostfreien Stahl und Kupfer eines hohen Wärmewiderstands und keramische Materialien ein (z.B. diese, die als Materialien des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** in **Fig. 11** und der Wärmetauschwabenstruktur **20** aufgelistet sind).

[0169] Der hochtemperaturseitige Wärmetauscher **2** in **Fig. 3** ist grundsätzlich durch ein Zusammenbauen der Wärmetauschwabenstruktur **20** an einem Mittelteil vollendet, das eine Bohrung an der ringförmigen Form des hochtemperaturseitigen ringförmigen Rohrs **21** ist.

[0170] Als nächstes wird im Folgenden ein Verfahren zum Herstellen des niedertemperaturseitigen Wärmetauschers **3** in **Fig. 3** beschrieben. Wenn ein bekannter Wärmetauscher als der niedertemperaturseitige Wärmetauscher **3** verwendet wird, kann ein Verfahren zum Herstellen eines derartigen bekannten Wärmetauschers verwendet werden. Wenn die Vorrichtung, die die gleiche Konfiguration wie die des hochtemperaturseitigen Wärmetauschers **2**, der voranstehend beschrieben wurde, aufweist, als niedertemperaturseitiger Wärmetauscher **3** verwendet wird, kann das gleiche Herstellungsverfahren wie das des hochtemperaturseitigen Wärmetauschers **2** verwendet werden, wie voranstehend beschrieben wurde.

[0171] Als andere Elemente des Wärme-/Schallwellenumwandlungselement **100** in **Fig. 3** wie z.B. das Metallelement **32**, das Gehäuse **100a** und das Interferenzelement **1a** können die Bekannten verwendet werden, und die können durch ein bekanntes Herstellungsverfahren hergestellt werden.

(Beispiele)

[0172] Das Folgende beschreibt die vorliegende Erfindung genauer mittels Beispielen, und die vorliegende Erfindung ist keineswegs auf diese Beispiele begrenzt.

(Beispiel 1)

[0173] In Beispiel 1 wird ein Kordieritformrohmaterial als keramisches Rohmaterial verwendet. Dann wird ein Massenteil eines Porenformers, 35 Massenteile eines Dispersionsmediums, 6 Massenteile eines organischen Binders und 0,5 Massenteile eines Dispersionsagente zu 100 Massenteilen des Kordieritformrohmaterials hinzugefügt, gefolgt durch Mischen und Kneten, um ein geknetetes Material vorzubereiten. Das Kordieritformrohmaterial, das verwendet wird, hatte 38,9 Massenteile von Talg mit 3 µm durchschnittlicher Partikelgröße, 40,7 Massenteile von Kaolin von 1 µm durchschnittlicher Partikelgröße, 5,9 Massenteile Aluminium von 0,3 µm durchschnittlicher Partikelgröße und 11,5 Massenteile Bohemit von 0,5 µm durchschnittlicher Partikelgröße. Hierin bezeichnet die durchschnittliche Partikelgröße einen mittleren Durchmesser (d50) in der Partikelverteilung von jedem Rohmaterial.

[0174] Wasser wurde als das Dispersionsmedium verwendet. Hydroxypropylmethylzellulose wurde als organisches Bindemittel verwendet. Ethylenglykol wurde als Dispersionsmittel verwendet.

[0175] Als nächstes wurde das somit erhaltene geknetete Material unter Verwendung einer Matrize extrudiert, so dass eine Mehrzahl Wabenformkörper vorbereitet wurden, die jeweils dreieckige Zellen und insgesamt eine sechseckige Form aufwiesen. Während dieser Extrusion wurde vor der Extrusion unter Verwendung einer regulären Matrize entsprechend dem Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil des Beispiels 1 das geknetete Material unter Verwendung einer Formmatrize mit ungefähr 0,07 mm Rippendicke extrudiert. Dann wurde unter Verwendung des gekneteten Materials nach der Extrusion unter Verwendung der Formmatrize die Extrusion unter Verwendung der realen Matrize ausgeführt. Zu dieser Zeit war das Verhältnis von Wasser in dem gekneteten Material, das für die Extrusion unter Verwendung der realen Matrize verwendet wurde, in dem gekneteten Materialbauteil genau kontrolliert, so dass es 41 Massenteile (der Fehler lag innerhalb ± 1 Massenteil) mit Bezug auf 100 Massenteile des gekneteten Materialfestbestandteils betrug.

[0176] Während der Extrusion des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils 1 wurde eine Stützplatte auf einer Endfläche des vorderen Endteils des geformten Körpers platziert, der in der Extrusionsrichtung extrudiert wurde, und während eine derartige Stützplatte in der Extrusionsrichtung gemäß der Extrusionsgeschwindigkeit des geformten Körpers bewegt wurde, wurde die Stützplatte langsam und klein innerhalb des Schwankungsbereichs (maximale Variation aufgrund der Schwankungen) von ungefähr 1 mm in der Richtung rechtwinklig zu der Extrusionsrichtung oszilliert, so dass die Geradheit der Trennwandfläche ungefähr 1 mm betrug, wie voranstehend beschrieben wurde.

[0177] Zu dieser Zeit wurde die Halteplattenkonfiguration der **Fig. 19** als Halteplattenkonfiguration für die Matrize verwendet. In dieser Halteplattenkonfiguration betrug die Länge L1 (sh. **Fig. 19**) des Schlitzes 0,5 mm und die Länge L2 (sh. **Fig. 19**), die durch das Subtrahieren der Höhe der Stufenhöhe von der Schlitzlänge L1 erhalten wurde, betrug 0,2 mm. Dann betrug die Breite W (sh. **Fig. 19**) des Schlitzes 0,05 mm, und der Abstand d (sh. **Fig. 19**) zwischen der Halteplatte und der Stufenhöhe betrug 0,5 mm.

[0178] Dann wurde dieser Wabenformkörper durch einen Mikrowellentrockner getrocknet, und dann wurde er vollständig durch einen Heißlufttrockner getrocknet, dann wurden beide Endflächen des Wabenformkörpers geschnitten, um die Länge des Wabenformkörpers in der Zellendurchdringungsrichtung anzupassen. Ein derartiger Wabenformkörper wurde durch einen Heißlufttrockner getrocknet und dann für 5 Stunden mit 1445 °C gebrannt.

[0179] Zuletzt wurde das Umfangsteil des Wabenformkörpers nach dem Brennen geschnitten, wie notwendig war, um die Form in eine runde Säulenform zu korrigieren. Dann wurde ein äußeres Beschichtungsmaterial auf die Umfangsfläche des Wabenformkörpers nach dem Schneiden aufgebracht, gefolgt durch ein Trocknen, wodurch eine Umfangswand 13 ausgebildet wurde. Hierin wurde das äußere Beschichtungsmaterial als Schlämme durch Hinzufügen eines organischen Binders, eines schaumfähigen Harzes und eines Dispersionsmittels zu einem Rohmaterial mit Kodieritpartikeln und Silizium-Sol vorbereitet, zu dem Wasser hinzugefügt und das geknetet wurde. Als Verfahren zum Aufbringen des äußeren Beschichtungsmaterials wurde das Beschichtungsmaterial mit einer Kautschukspachtel beschichtet, z.B. während der Wabenformkörper nach dem Schneiden auf einer Scheibe gedreht wurde.

[0180] Durch diese Schritte wurde das Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil des Beispiels 1 schlussendlich vervollständigt.

[0181] Hinsichtlich des somit vollständigen Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils des Beispiels 1 wurden die folgenden Eigenschaften gemessen, mit: dem hydraulischen Durchmesser HD der Zellen in einer Ebene rechtwinklig (rechtwinklige Ebene) zur Zellendurchdringungsrichtung; der offenen Stirnfläche an jeder Endfläche des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils; die arithmetische durchschnittliche Rauigkeit (Ra) der Oberfläche der Trennwand; die offene Stirnfläche an der Oberfläche der Trennwand; die Geradheit der Oberfläche der Trennwand und die Wärmeleitfähigkeit des die Trennwand ausmachenden Materials.

[0182] Der hydraulische Durchmesser HD der Zellen wurde wie folgt erhalten. Ein vergrößertes Foto des Querschnitts des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils in der rechtwinkligen Ebene wurde aufgenommen, und 10 Zellen wurden zufällig in diesem vergrößerten Foto des Querschnitts ausgewählt. Dann wurde der hydraulische Durchmesser von jeder durch den Ausdruck zum Definieren des hydraulischen Durchmessers berechnet: $HD=4 \times S/C$, wo S die Querschnittsfläche der Zelle bezeichnet und C den Umfang dieses Abschnitts bezeichnet, und dann der Durchschnitt davon als hydraulischer Durchmesser berechnet.

[0183] Die offene Stirnfläche wurde durch das Aufnehmen eines Bilds des Querschnitts in der rechtwinkligen Ebene durch ein Mikroskop und Bestimmen der Materialteilfläche S1 und der Spaltteilfläche S2 aus dem Bild des aufgenommenen Querschnitts erhalten. Dann wurde die offene Stirnfläche als $S2/(S1+S2)$ ausgehend von S1 und S2 erhalten. Es ist anzumerken, dass die offene Stirnfläche an dem Querschnitt als Gesamtes als gleichwertig zu der offenen Stirnfläche einer Endfläche berücksichtigt wird, und dann die offene Stirnfläche einem Querschnitt als Gesamtes als die offene Stirnfläche an der Endfläche berücksichtigt ist.

[0184] Die arithmetische durchschnittliche Rauigkeit (R_a) der Oberfläche der Trennwand wurde ausgehend von JIS B0633 '01/ISO 4288 '96 erhalten, was ein Verfahren zum Berechnen der arithmetischen Durchschnittsrauigkeit (R_a) bestimmt.

[0185] Die offene Stirnfläche der Trennwandoberfläche wurde wie folgt gemessen. Zuerst wurde eine Scheibe der Trennwand ausgeschnitten, und eine Oberfläche davon wurde durch das Aufbringen von Harz derart zu dem Grad eben gemacht, wo Öffnungen an der Oberfläche eingebettet waren. Als nächstes wurde dies von der Oberfläche mit den Öffnungen in Harz eingebettet zu der Tiefe von ungefähr 5 μm geschliffen, wo das Harz nicht vorhanden ist, und ein Bild der geschliffenen Fläche wurde durch ein Elektronenmikroskop (SEM) aufgenommen. Dann wurde ein Bereich des aufgenommenen Bilds in zwei mit einem Spaltteil und einem Nicht-Spaltteil (das keine Spalten hat, und das aus einem dichten Material hergestellt ist, das lediglich die Trennwand ausbildet) unterteilt, und binärisierte Bilddaten für das Spaltteil und das Nicht-Spaltteil wurden erzeugt. Eine Bildverarbeitung wurde an derartigen Bilddaten durchgeführt, und ausgehend von den Bilddaten, die der Bildverarbeitung ausgesetzt waren, wurde ein Verhältnis des Spaltteils in dem Bild als Gesamtes erhalten. Für beliebige fünf Positionen der Trennwand wurde das Verhältnis des Spaltteils in dem Bild als Gesamtes auf diese Weise erhalten, und der Durchschnitt davon wurde als offener Stirnflächenbereich an der Trennwandoberfläche verwendet.

[0186] Für die Geradheit der Trennwandoberfläche wurden beliebige fünf Oberflächen der Trennwand zufällig in einem Querschnitt über der gesamten Länge des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils entlang der Durchdringungsrichtung von jeder Zelle des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils ausgewählt, und Schwankungen an der Oberfläche der Trennwand für jede Oberfläche über die gesamte Länge des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils wurde untersucht und eine maximale Variation der Schwankungen wurde gemessen. Dann wurde ein Durchschnitt der maximalen Variationen für diese fünf Oberflächen für die Geradheit der Trennwandoberfläche erhalten.

[0187] Die Wärmeleitfähigkeit des Materials, das die Trennwand ausbildet, wurde durch ein Temperaturgradientenverfahren (stetiges Verfahren) erhalten.

[0188] Ausgehend von den gemessenen Werten, die durch die Messung erhalten wurden, wie voranstehend beschrieben wurde, wurden die folgenden sechs Arten von Parameter erhalten. Die folgenden sechs Arten von Parameter schließen solche ein, die nicht wechselweise unabhängig sind, und sich zusammen mit anderen Parametern ändern, aber auch solche Parameter sind zum Zweck der Beschreibung beschrieben.

[0189] (1) Hydraulischer Durchmesser HD der Zellen in einer Ebene rechtwinklig (rechtwinkelige Ebene) zu der Zellendurchdringungsrichtung, (2) offene Stirnfläche an einem Querschnitt als Gesamtes des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils (das gleiche wie die offene Stirnfläche an jeder Endfläche), (3) arithmetische durchschnittliche Rauigkeit (R_a) der Oberfläche der Trennwand, (4) offene Stirnfläche an der Oberfläche der Trennwand, (5) Geradheit der Trennwandoberfläche, und (6) Wärmeleitfähigkeit des Materials, das die Trennwand ausmacht.

[0190] Der folgende Versuch wurde unter Verwendung des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils dieses Beispiels **1** durchgeführt.

[0191] Zuerst wurde das Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil des Beispiels **1** in dem Leistungserzeugungssystem **1000** der **Fig. 1** anstelle des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils **1** zusammengebaut. Dann wurde Abgas von einem Automobil mit ungefähr 500°C in den hochtemperaturseitigen Wärmetauscher **2** eingeströmt, und die Temperatur des Abgases, das ausströmt, dessen Temperatur zu einem gewissen Ausmaß gefallen ist, wurde gemessen. Ausgehend von einer Temperaturänderung zu dieser Zeit wurde die Wärmemenge, die in das Leistungserzeugungssystem strömt, berechnet. Aufgrund des Einstromens dieses Abgases wies das Ende des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils an der Seite des hochtemperaturseitigen Wärmetauschers **2** eine Temperatur auf, die ungefähr bei 500°C gehalten war. Indes wurde Wasser mit 60°C gestattet, in den niedertemperaturseitigen Wärmetauscher **3** einzuströmen, um das Ende des Wärme-/Schall-

wellenumwandlungsbauteils an der Seite des niedertemperaturseitigen Wärmetauschers **3** die Temperatur bei 60°C halten zu lassen. Dann wurde eine Messung unter Verwendung eines Mikrofons oder Ähnlichem als Energiewandler des Leistungserzeugungssystems **1000** der **Fig. 1** hinsichtlich des Grads durchgeführt, welche elektrische Leistung von Schallwellen durch einen thermoakustischen Effekt aufgrund des Temperaturunterschieds zwischen beiden Enden des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils, das voranstehend beschrieben wurde, erzeugt wurde. Dann wurde ein Messwert der elektrischen Leistungsmenge durch die Energieumwandlungsleistungsfähigkeit (Leistungsfähigkeit, Schallwellenenergie in elektrische Leistung umzuwandeln) des Mikrofons, die zuvor bekannt war, dividiert, wodurch ein geschätzter Wert der Schallwellenenergie erhalten wurde. Dann wurde ausgehend von diesem geschätzten Wert der Schallwellenenergie und der Wärmemenge, die in das Leistungserzeugungssystem strömt, das voranstehend beschrieben wurde, die Energieumwandlungsleistungsfähigkeit von Wärme zu Schallwellenenergie erhalten. In diesem Versuch war das Arbeitsfluid in dem schleifenförmigen Rohr **4**, dem Resonanzrohr **5** und den selbst induzierten Oszillationen verursachenden Zellen Heliumgas mit 10 Atmosphären.

(Beispiel 2 und Vergleichsbeispiel 1)

[0192] Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteile als Beispiel 2 und Vergleichsbeispiel 1 wurden durch das gleiche Herstellungsverfahren wie das des Herstellungsverfahrens des Beispiels 1 hergestellt, das voranstehend beschrieben wurde, mit Ausnahme, dass für die Extrusion verwendete Matrize unterschiedlich war, wodurch diese Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteile von dem Beispiel 1 lediglich in den Werten des hydraulischen Durchmessers HD der Zellen unter den sechs Arten der Parameter, die voranstehend beschrieben wurden, unterschiedlich waren.

[0193] Dann wurde ein Versuch ähnlich dem des Beispiels 1 für das Beispiel 2 und das Vergleichsbeispiel 1 durchgeführt.

(Beispiel 3, 4 und Vergleichsbeispiele 2, 3)

[0194] Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteile als Beispiele 3, 4 und Vergleichsbeispiele 2, 3 wurden durch das gleiche Herstellungsverfahren wie das des Herstellungsverfahrens des Beispiels 1 hergestellt, das voranstehend beschrieben wurde, mit Ausnahme, dass eine für die Extrusion verwendete Matrize unterschiedlich war, wo diese Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteile hauptsächlich von dem Beispiel 1 in den Werten des offenen Stirnflächenbereichs von jeder Endfläche (der gleichen wie die offene Stirnfläche der rechtwinkligen Ebene) des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils unter den sechs Arten der Parameter, die voranstehend beschrieben wurden, unterschiedlich war.

[0195] Dann wurde ein Versuch ähnlich zu dem des Beispiels 1 für diese Beispiele 3, 4 und die Vergleichsbeispiele 2, 3 durchgeführt.

(Beispiele 5, 6 und Vergleichsbeispiele 6, 7)

[0196] Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteile als Beispiele 5, 6 und Vergleichsbeispiel 6, 7 wurden durch das gleiche Herstellungsverfahren wie das des Herstellungsverfahrens des Beispiels 1, das voranstehend beschrieben wurde, hergestellt, mit Ausnahme davon, dass der Porenformer unterschiedlich war, wodurch diese Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteile hauptsächlich von dem Beispiel 1 in den Werten der arithmetischen Durchschnittsrauigkeit (Ra) der Trennwandoberfläche des offenen Stirnflächenbereichs der Trennwandoberfläche unter den sechs Arten der Parameter, die voranstehend beschrieben wurden, unterschiedlich waren.

[0197] Dann wurde der Versuch ähnlich zu dem des Beispiels 1 für diese Beispiele 5, 6 und die Vergleichsbeispiele 6, 7 durchgeführt.

(Beispiel 7 bis 11)

[0198] Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteile als Beispiele 7 bis 11 wurden durch das gleiche Herstellungsverfahren wie das des Herstellungsverfahrens des Beispiels 1, das voranstehend beschrieben wurde, hergestellt, mit Ausnahme davon, dass der Schwankungsbereich der Mikrooszillationen der Stützplatte (maximale Variation aufgrund der Variationen) während der Extrusion unterschiedlich war, und dass ein netzartiges Element, das in einer Ebene rechtwinklig zu der Extrusionsrichtung des gekneteten Elements erstreckt war und eine teilweise unterschiedliche Gittergröße aufweist, an dem Eingang der Matrize platziert war, wodurch

diese Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteile hauptsächlich von dem Beispiel 1 in den Werten der Geradheit der Trennwandoberfläche unter den sechs Arten der Parameter, die voranstehend beschrieben wurden, unterschiedlich waren. In den Beispielen 7 bis 11 wurden die netzartigen Elemente mit wechselweise unterschiedlichen Netzmustern (die Muster, die teilweise unterschiedlich in der Gittergröße waren, wie voranstehend beschrieben wurde) verwendet.

[0199] Dann wurde der Versuch ähnlich zu dem des Beispiels 1 für die Beispiele 7 bis 11 durchgeführt.

(Beispiele 12, 13)

[0200] Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteile als Beispiele 12, 13 wurde durch das gleiche Herstellungsverfahren wie das des Herstellungsverfahrens des Beispiels 1, das voranstehend beschrieben wurde, hergestellt, mit Ausnahme davon, dass ein keramisches Rohmaterial unterschiedlich war, wodurch diese Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteile von dem Beispiel 1 lediglich in den Werten der Wärmeleitfähigkeit des Materials, das die Trennwand ausbildet, unter den sechs Arten der Parameter, die voranstehend beschrieben wurden, waren. Für die Beispiele 12 und 13 wurde ein Aluminium-Kordierit-basiertes Kompositmaterial/ein Metall-Silizium-Silizium-Karbid-Kordierit-basiertes Verbundmaterial und ein Silizium-Karbid-Kordierit-basiertes Verbundmaterial jeweils anstelle des Kordieritformrohmaterials in dem Beispiel 1 verwendet, wodurch sie von denen des Beispiels 1 unterschiedliche Wärmeleitfähigkeitswerte aufwiesen.

[0201] Dann wurde der Versuch ähnlich zu dem des Beispiels 1 für die Beispiele 12, 13 durchgeführt.

[0202] Die folgende Tabelle 1 zeigt die Versuchsergebnisse der Beispiele 1 bis 13 und der Vergleichsbeispiele 1 bis 7, die voranstehend erläutert wurden, zusammen mit den Werten der Parameter.

Tabelle 1

	Hydraulischer Durchmesser HD der Zellen (mm)	Offene Stirnfläche der Endfläche (%)	Arithmetische Durchschnittsrauigkeit (Ra) der Trennwandoberfläche (µm)	Offene Stirnfläche der Trennwandoberfläche (%)	Geradheit der Trennwandoberfläche (mm)	Heat conductivity of partition wall (W/mK)	Energy conversion efficiency (%)
Bsp. 1	0,25	74	5	6	1	1	18.3
Bsp. 2	0,40	74	5	6	1	1	13.8
Vergl. Bsp. 1	0,45	74	5	6	1	1	10.0
Vergl. Bsp. 2	0,25	55	4	6	1	1	8.8
Bsp. 3	0,25	60	4	6	1	1	17.6
Bsp. 4	0,25	93	5	6	1	1	20.0
Vergl. Bsp. 3	0,25	95	5	6	1	1	-
Vergl. Bsp. 6	0,25	74	1,5	3	1	1	9.6
Bsp. 5	0,25	74	3	5	1	1	16.9
Bsp. 6	0,25	74	20	29	1	1	17.6
Vergl. Bsp. 7	0,25	74	35	31	1	1	8.8
Bsp. 7	0,25	74	5	6	0,4	1	13.8
Bsp. 8	0,25	74	5	6	0,5	1	16.9

	Hydrauli- scher Durch- messer HD der Zellen (mm)	Offene Stirnflä- che der Endflä- che (%)	Arithmetische Durchschnitts- rauigkeit (Ra) der Trenn- wandoberflä- che (μm)	Offene Stirnflä- che der Trenn- wandoberflä- che (%)	Geradheit der Trenn- wandober- fläche (mm)	Heat con- ductivity of partition wall (W/mK)	Energy conver- sion ef- ficiency (%)
Bsp. 9	0,25	74	6	6	2	1	18.3
Bsp. 10	0,25	74	5	6	3	1	16.9
Bsp. 11	0,25	74	5	6	3,2	1	13.8
Bsp. 12	0,25	74	5	6	1	5	20.0
Bsp. 13	0,25	74	5	6	1	7	5.0

[0203] Wie in Tabelle 1 aus einem Vergleich zwischen Beispiel 1, 2 und dem Vergleichsbeispiel 1 herausgefunden wird, die wechselweise unterschiedliche hydraulische Durchmesser HD der Zellen aufweisen, wies in dem Beispiel 1, 2 eine höhere Energieumwandlungsleistungsfähigkeit als das Vergleichsbeispiel 1 auf. Dies zeigt, dass der hydraulische Durchmesser HD der Zellen von 0,4 mm oder weniger erforderlich ist, um einen großen thermoakustischen Effekt zu erzielen.

[0204] In Tabelle 1, wie aus einem Vergleich zwischen den Beispielen 3, 4 und dem Vergleichsbeispiel 2 herausgefunden wird, die an jeder Endfläche wechselweise unterschiedliche offene Stirnflächen (offene Stirnfläche an der rechtwinkligen Fläche) aufwiesen, wiesen die Beispiele 3, 4 eine höhere Energieumwandlungsleistungsfähigkeit als das Vergleichsbeispiel 2 auf. Hierin wurde das Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil als Vergleichsbeispiel 3 während des Versuchs zerstört, und so wurde der Versuch angehalten, so dass das Endergebnis nicht für die Energieumwandlungsleistungsfähigkeit erhalten wurde. Vermutlich diene dies, da das Bauteil zu geringe Festigkeit und Lebensdauer aufgrund einer zu großen offenen Stirnfläche aufwies. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Beispiele 3, 4 und der Vergleichsbeispiele 1, 2, die voranstehend beschrieben wurden, ist ein offener Stirnflächenbereich an der Endfläche eines Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils erforderlich, die 60% oder mehr und 93% oder weniger beträgt, um einen großen thermoakustischen Effekt erlangt aufzuweisen und eine Beschädigung zu vermeiden.

[0205] Wie in Tabelle 1 aus einem Vergleich zwischen den Beispielen 5, 6 und dem Vergleichsbeispiel 6, 7 herausgefunden wurde, die wechselweise unterschiedliche Werte der arithmetischen Durchschnittsrauigkeit (Ra) an der Trennwandoberfläche aufweisen, wiesen die Beispiele 5, 6 eine höhere Energieumwandlungsleistungsfähigkeit als die Vergleichsbeispiele 6, 7 auf. Dies zeigt, dass die arithmetische Durchschnittsrauigkeit (Ra) an der Trennwandoberfläche von 3 μm oder mehr und 20 μm oder weniger erforderlich ist, um einen großen thermoakustischen Effekt zu erzielen.

[0206] Außerdem ist ausgehend von einem derartigen Vergleich zwischen den Beispielen 5, 6 und den Vergleichsbeispielen 6, 7 die offene Stirnfläche an der Trennwandoberfläche von 5% oder mehr und weniger als 30% bevorzugt, um einen großen thermoakustischen Effekt zu erlangen.

[0207] Wie in Tabelle 1 aus einem Vergleich zwischen den Beispielen 7 bis 11 herausgefunden wird, die wechselweise unterschiedliche Werte der Geradheit der Trennwandoberfläche aufweisen, wiesen die Beispiele 8 bis 10 eine höhere Energieumwandlungsleistungsfähigkeit als die Beispiele 7 bis 11 auf. Dies zeigt, dass die Geradheit der Trennwandoberfläche von 0,5 mm oder mehr und 3,0 mm oder weniger bevorzugt ist, um einen großen thermoakustischen Effekt zu erzielen.

[0208] Wie in Tabelle 1 aus einem Vergleich zwischen den Beispielen 12 und 13 herausgefunden wird, die wechselweise unterschiedliche Werte der Wärmeleitfähigkeit des Materials aufweisen, das die Trennwand ausbildet, wies das Beispiel 12 eine höhere Energieumwandlungsleistungsfähigkeit als das Beispiel 13 auf.

Dies zeigt, dass die Wärmeleitfähigkeit des Materials, das die Trennwand ausbildet, von 5 W/mK oder weniger bevorzugt ist, um einen großen thermoakustischen Effekt zu erzielen.

[0209] Die vorliegende Erfindung wird bevorzugt in einem System verwendet, das wirkungsvoll Wärme von Abgas von Automobilen oder Ähnlichem verwendet, um eine elektrische Leistung und kalte Wärme zu erzeugen.

[0210] Bereitgestellt sind ein Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil, das eine verbesserte Wärmeübertragung zwischen dem Schallwellenübertragungsmedium in den Durchgangsbohrungen und den Durchgangsböhrungswandflächen aufweist, und eine Wärme-/Schallwellenumwandlungseinheit mit einem derartigen Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil und einem Wärmetauscher. Ein Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1**, das eine erste Endfläche und eine zweite Endfläche aufweist, hat eine Trennwand **11**, die eine Mehrzahl von Zellen **14** definiert, die sich von der ersten Endfläche zu der zweiten Endfläche erstrecken, innerhalb von den Zellen, die mit einem Arbeitsfluid gefüllt sind, das oszilliert, um Schallwellen zu übertragen, wobei das Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil wechselweise Wärme umwandelt, die zwischen der Trennwand **11** und dem Arbeitsfluid ausgetauscht wird, und Energie von Schallwellen aus Oszillationen des Arbeitsfluids resultiert. Der hydraulische Durchmesser HD des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils beträgt 0,4 mm oder weniger, wo der hydraulische Durchmesser HD als $HD=4 \times S/C$ definiert ist, wo S eine Fläche eines Querschnitts von jeder Zelle **14** rechtwinklig zu der Zellenerstreckungsrichtung bezeichnet, und C einen Umfang des Querschnitts bezeichnet. Das Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil **1** weist eine offene Stirnfläche an jeder Endfläche von 60% oder mehr und 93% oder weniger auf. Die Trennwand **11** weist eine arithmetische Oberflächenrauigkeit (Ra) an der Oberfläche von 3 µm oder mehr und 20 µm oder weniger auf.

Bezugszeichenliste

1:	Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil
1a:	Interferenzelement
2, 2', 2A, 2A':	hochtemperaturseitiger Wärmetauscher
3:	niedertemperaturseitiger Wärmetauscher
4:	schleifenförmiges (geschleiftes) Rohr
4':	schleifenförmiges (geschleiftes) Rohr
5:	Resonanzrohr
5':	Übertragungsrohr
6:	Energiewandler
7:	Schallwellenerzeugungsteil
11:	Trennwand
11a:	Oberfläche
12:	Bondteil
12':	Bondteil
13:	Umfangswand
14:	Zelle
20:	Wärmetauschwabenstruktur
20':	Wärmetauschwabenstruktur
20a:	Trennwand
20b:	Umfangswand
20c:	Schlitz
20d:	Zelle
20s:	Berührungsfläche
21:	hochtemperaturseitiges ringförmiges Rohr

211:	hochtemperaturseitiges ringförmiges Rohr
212:	hochtemperaturseitiges ringförmiges Rohr
2110:	Wabenstruktur im Rohr
2120:	Wabenstruktur im Rohr
21a:	Einströmanschluss
21b:	Ausströmanschluss
21c:	Wärmeempfangsbereich
21d:	Wärmewiderstandsmetallplatte
21e:	Flosse
22, 23:	Wabenstruktur
23':	Metallnetzelement
22a:	äußeres Metallrohr
23a:	äußeres Metallnetzrohr
23b:	metallisierte Schicht
30:	Netzlaminierungskörper
31:	niedertemperaturseitiges ringförmiges Rohr
31a:	Einströmanschluss
31b:	Ausströmanschluss
32:	Metallelement
301:	Matrize
303:	zweites plattenförmiges Teil
305:	Rückbohrung
305a, 309a, 311a:	offenes Ende
306:	zweite Bondfläche
307:	erstes plattenförmiges Teil
307a:	erste Schicht
307b:	zweite Schicht
307ba:	andere Fläche der zweiten Schicht
309:	Schlitz
310:	erste Bondfläche
311:	Bohrungsteil
313:	Zellenblock
401:	Matrize
402:	Halter
403:	rückwärtiges Halteteil
404:	Wabenformkörper
405:	Spalt
406:	geneigte Fläche
407:	gegenüberliegende Fläche
550:	Halteplattenkonfiguration

552:	Schlitz
553:	Rückbohrung
554:	Matrize
555:	Halteplatte
557:	Spaltteil
558:	Haltematrize
55a:	rückwärtige Halteplatte
561:	extrudiertes Formrohmaterial
571:	inneres Teil
572:	Umfangsteil
573, 574:	Schlitz
575:	Stufenhöhe
602, 702:	Schlitz
603, 703:	Rückbohrung
604, 704:	Matrize
605, 705:	Halteplatte
615, 715:	Stufenhöhe
100:	Wärme-/Schallwellenumwandlungseinheit
200:	Wärme-/Schallwellenumwandlungseinheit
100a:	Gehäuse
1000:	Leistungserzeugungssystem
2000:	Kaltwärmeerzeugungssystem

Patentansprüche

1. Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil (1) mit einer ersten Endfläche und einer zweiten Endfläche, das eine Trennwand (11) umfasst, die eine Mehrzahl Zellen (14) definiert, die sich von der ersten Endfläche zu der zweiten Endfläche erstrecken, wobei das Innere der Zellen (14) mit einem Arbeitsfluid gefüllt ist, das oszilliert, um Schallwellen zu übertragen, wobei das Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil (1) wechselweise zwischen der Trennwand (11) und dem Arbeitsfluid ausgetauschte Wärme und aus Oszillationen des Arbeitsfluids herrührende Energie von Schallwellen umwandelt, wobei ein hydraulischer Durchmesser HD des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils (1) 0,4 mm oder weniger beträgt, wo der hydraulische Durchmesser HD als $HD=4 \times S/C$ definiert ist, wo S eine Fläche eines Querschnitts von jeder Zelle rechtwinklig zu der Zellenerstreckungsrichtung bezeichnet und C einen Umfang des Querschnitts bezeichnet, wobei das Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil (1) an jeder Endfläche eine offene Stirnfläche von 60% oder mehr und 93% oder weniger aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Trennwand (11) eine arithmetische Oberflächenrauigkeit (Ra) an der Oberfläche von 3 µm oder mehr und 20 µm oder weniger aufweist.

2. Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil (1) nach Anspruch 1, wobei die Trennwand (11) ein poröses Material hat, und die Trennwand (11) an der Oberfläche eine offene Stirnfläche von 5% oder mehr und weniger als 30% aufweist.

3. Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil (1) nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil (1) eine Geradheit von 0,5 mm oder mehr und 3,0 mm oder weniger aufweist, wobei die Geradheit einen Schwankungsbereich der Oberfläche der Trennwand (11) in einem Querschnitt mit der Erstreckungsrichtung und einer Richtung rechtwinklig zu der Erstreckungsrichtung in dem Querschnitt angibt.

4. Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Trennwand (11) ein Material mit einer Wärmeleitfähigkeit von 5 W/mK oder weniger aufweist.

5. Wärme-/Schallwellenumwandlungseinheit (100, 200), mit dem Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, in einem Zustand, in dem das Innere der Mehrzahl der Zellen (14) mit dem Arbeitsfluid gefüllt ist, wenn ein Temperaturunterschied zwischen einem ersten Endteil an der Seite der ersten Endfläche und einem zweiten Endteil an der Seite der zweiten Endfläche vorliegt, das Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil (1) das Arbeitsfluid entlang der Erstreckungsrichtung gemäß dem Temperaturunterschied oszillieren lässt und Schallwellen erzeugt; und einem Paar Wärmetauscher, die in einer Nähe des ersten Endteils bzw. des zweiten Endteils des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils (1) vorgesehen sind, wobei die Wärmetauscher Wärme mit beiden Endteilen austauschen, um zwischen den beiden Endteilen einen Temperaturunterschied herzustellen.

6. Wärme-/Schallwellenumwandlungseinheit (100, 200) mit:
dem Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, in einem Zustand, in dem das Innere der Mehrzahl der Zellen (14) mit dem Arbeitsfluid gefüllt ist, und wenn das Arbeitsfluid entlang der Erstreckungsrichtung oszilliert, während es die übertragenen Schallwellen empfängt, das Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil (1) einen Temperaturunterschied zwischen einem ersten Endteil an der Seite der ersten Endfläche und einem zweiten Endteil an der Seite der zweiten Endfläche gemäß den Oszillationen des Arbeitsfluids erzeugt;
einem Wärmetauscher, der in der Nähe von einem aus erstem Endteil und zweitem Endteil des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils (1) vorgesehen ist, wobei der Wärmetauscher Wärme zu dem einen Endteil zuführt oder von dem anderen Endteil absorbiert, um eine Temperatur des einen Endteils konstant zu halten; und
einer Wärme-/Kaltwärmeausgabereinheit, die in einer Nähe des anderen Endteils des ersten Endteils und des zweiten Endteils des Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteils (1) vorgesehen ist, das an der gegenüberliegenden Seite des einen Endteils liegt, wobei die Wärme-/Kaltwärmeausgabereinheit Wärme oder Kaltwärme ausgibt, die von dem Austausch der Wärme mit dem anderen Endteil erhalten wurde, so dass in einem Zustand, in dem die Temperatur des einen Endteils durch den Wärmetauscher konstant gehalten ist, und wenn das Wärme-/Schallwellenumwandlungsbauteil (1) übertragene Schallwellen empfängt, das andere Endteil einen Temperaturunterschied gemäß den Oszillationen des Arbeitsfluids aufgrund der Übertragung der Schallwellen mit Bezug auf das eine Endteil aufweist, das an der konstanten Temperatur gehalten ist.

Es folgen 16 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

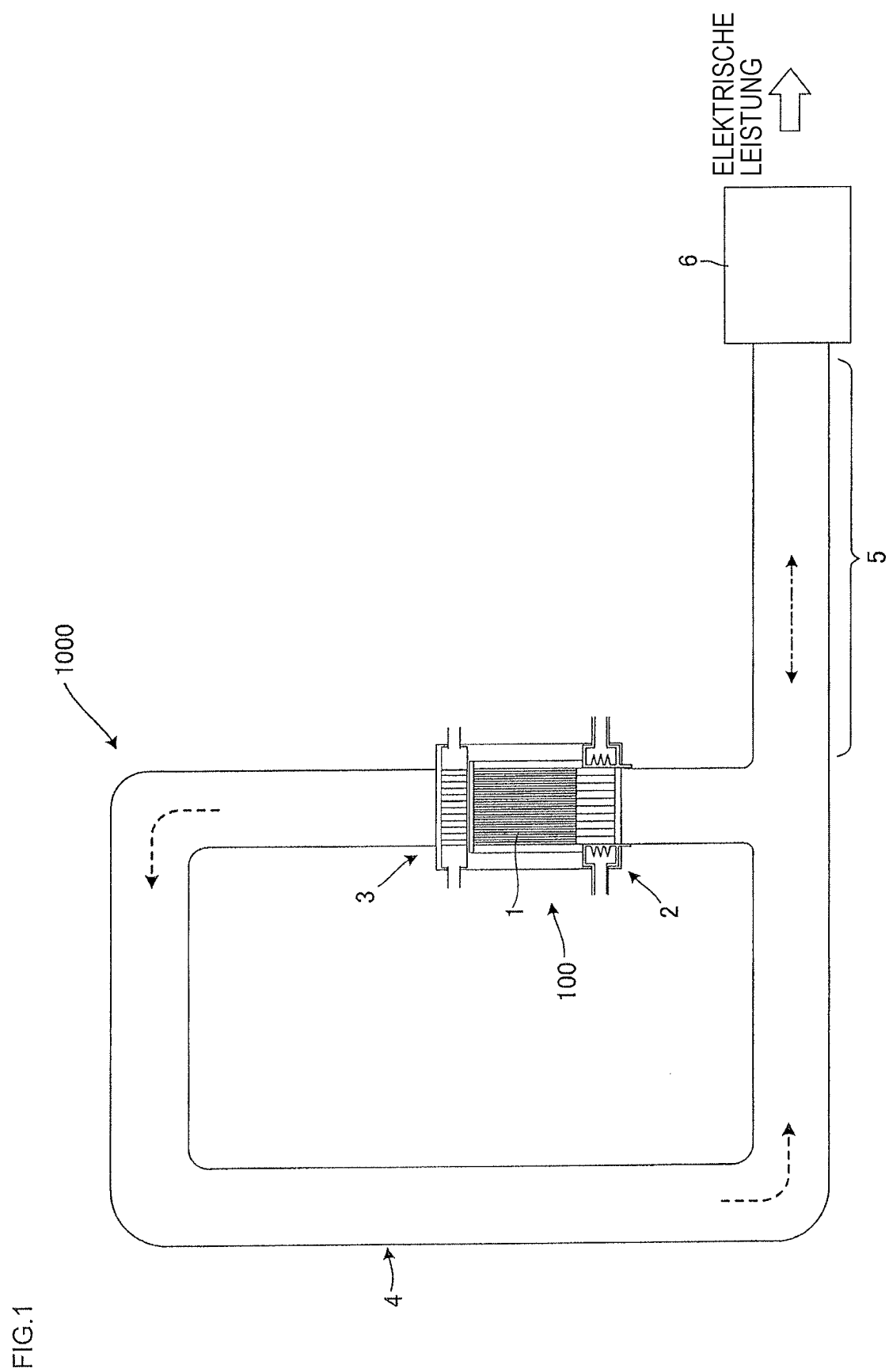


FIG.2

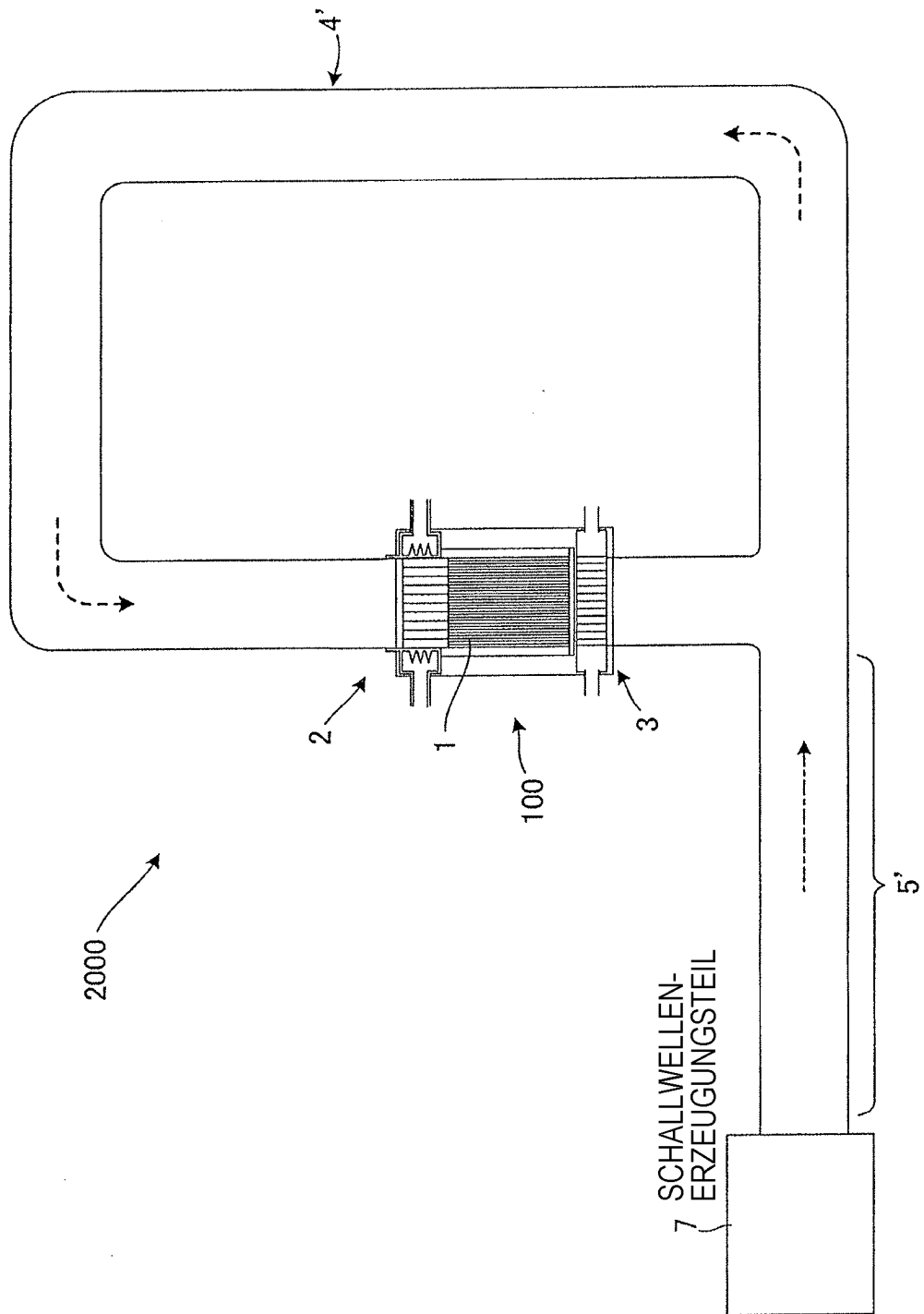


FIG.3

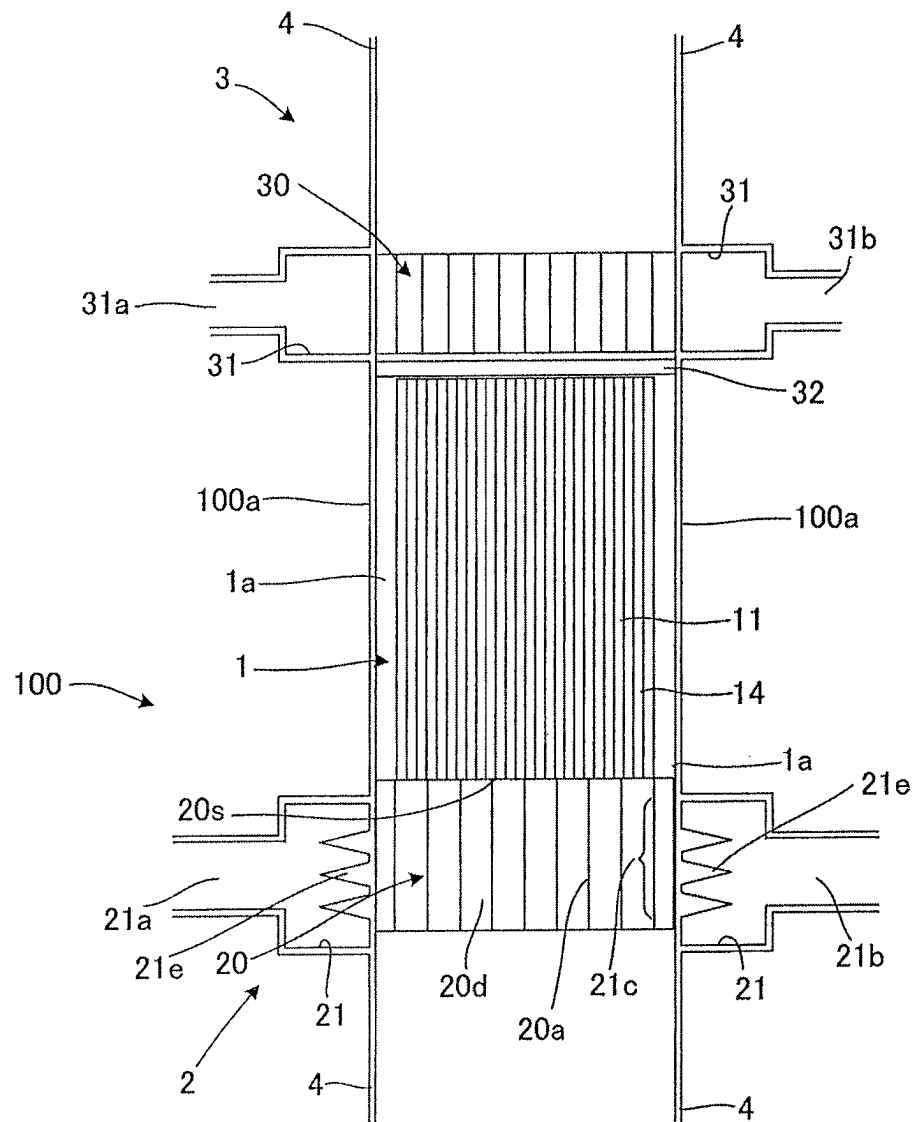


FIG.4

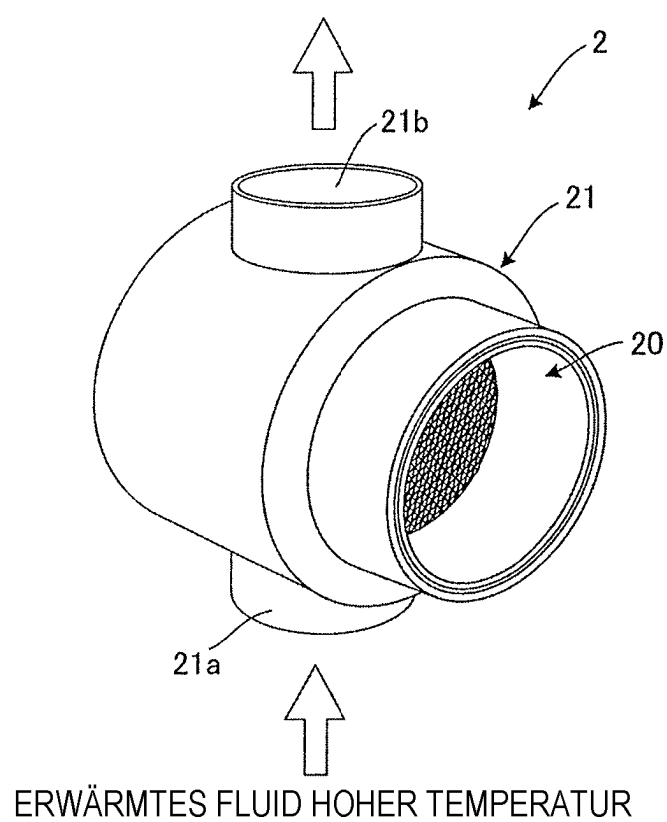


FIG.5

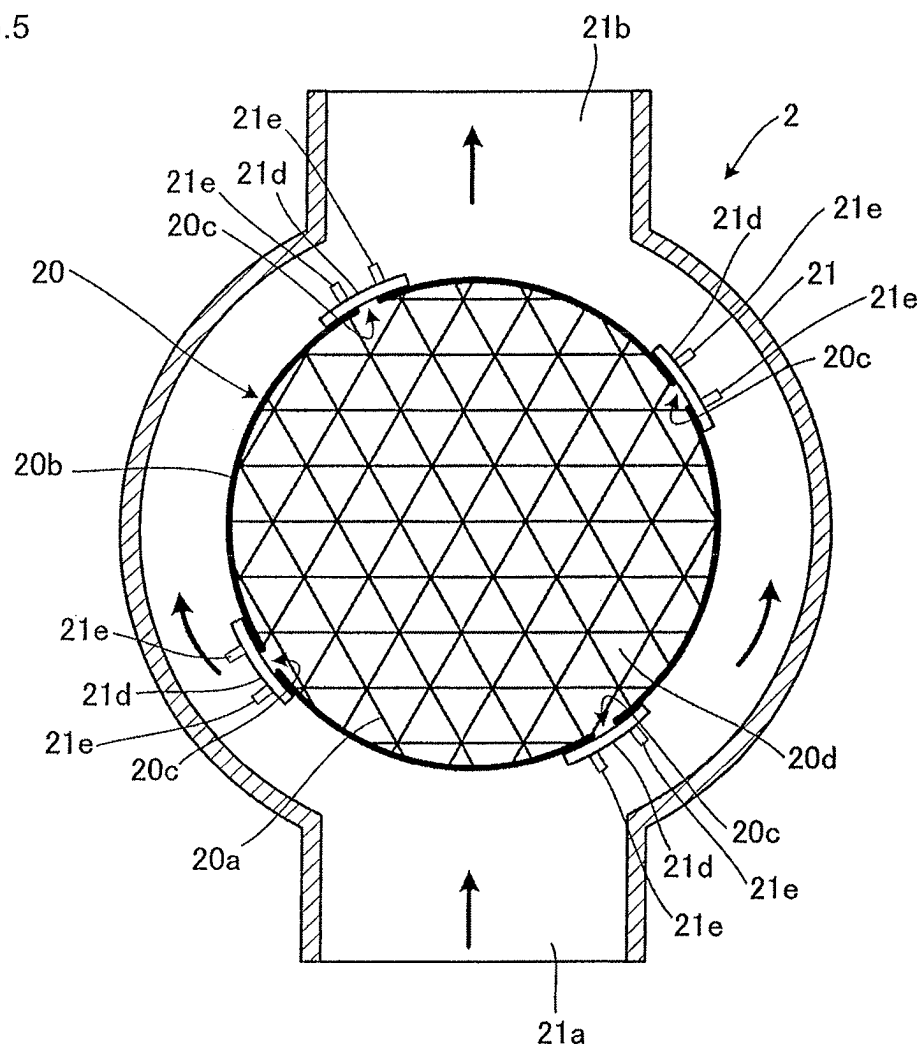


FIG.6

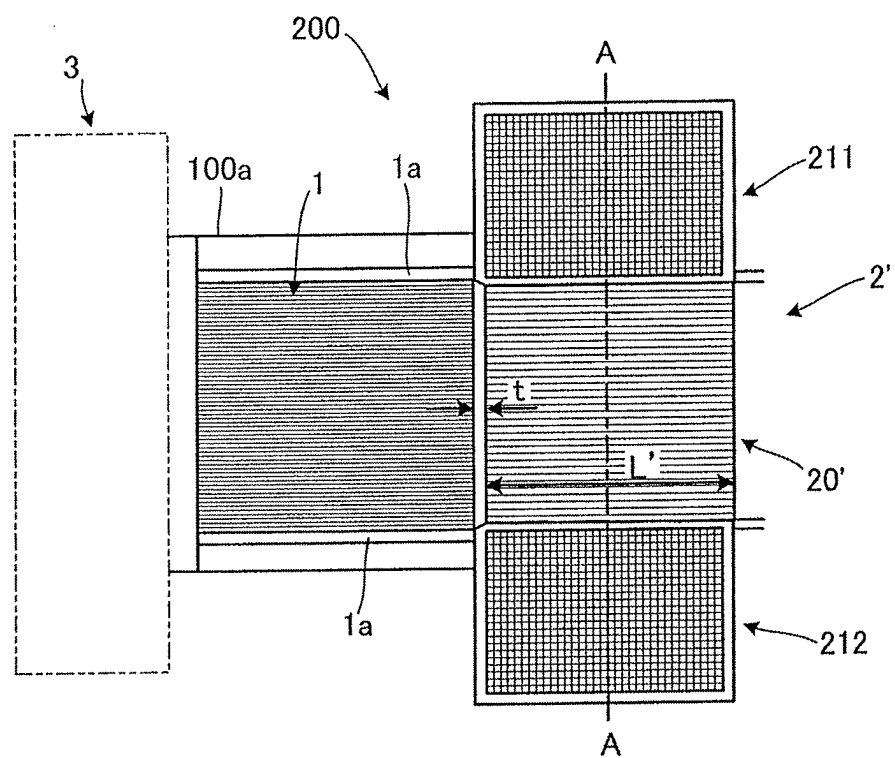


FIG.7

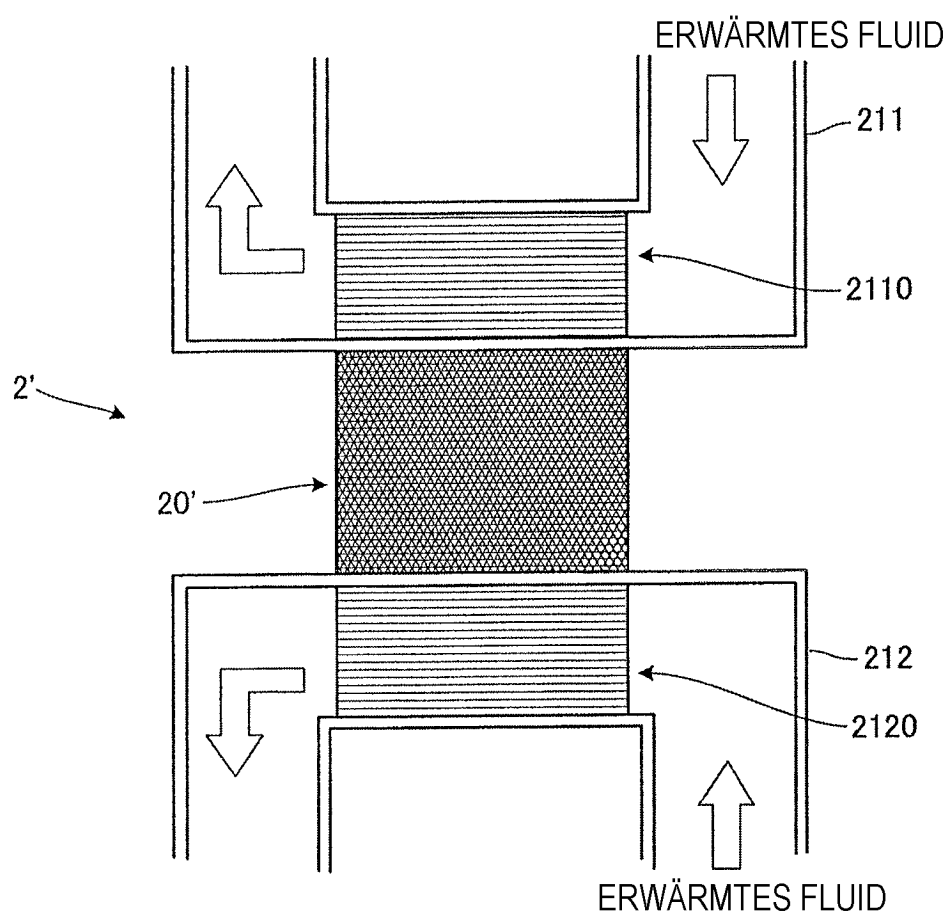


FIG.8

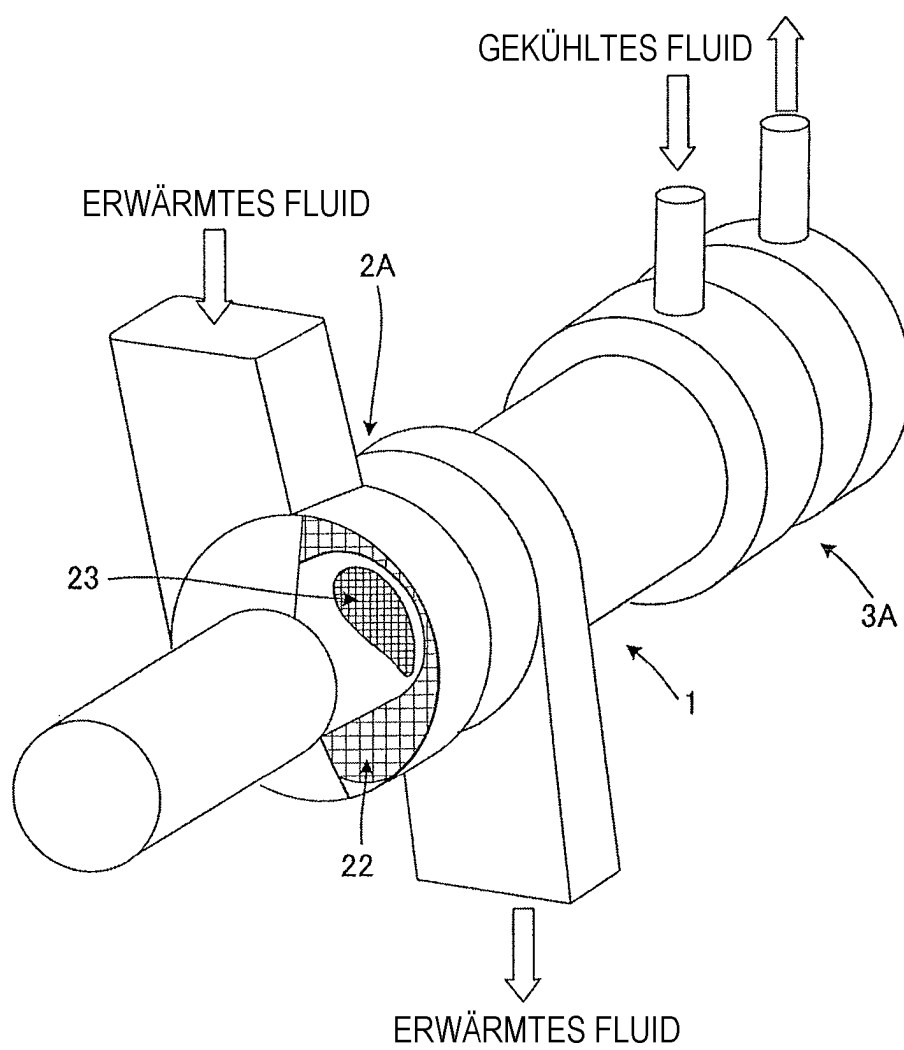


FIG.9

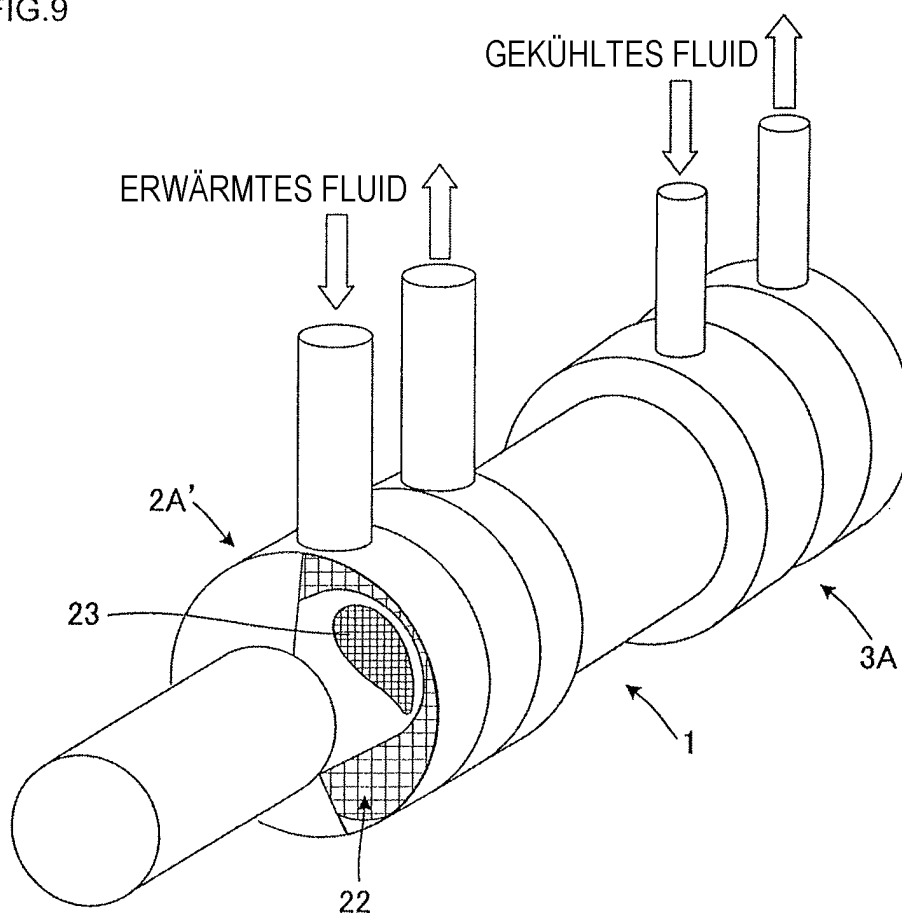


FIG.10

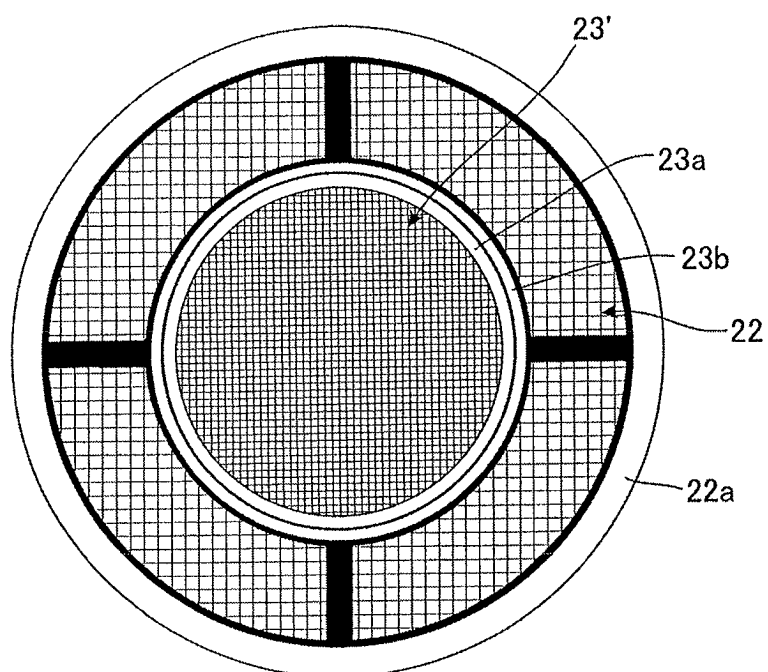


FIG.11

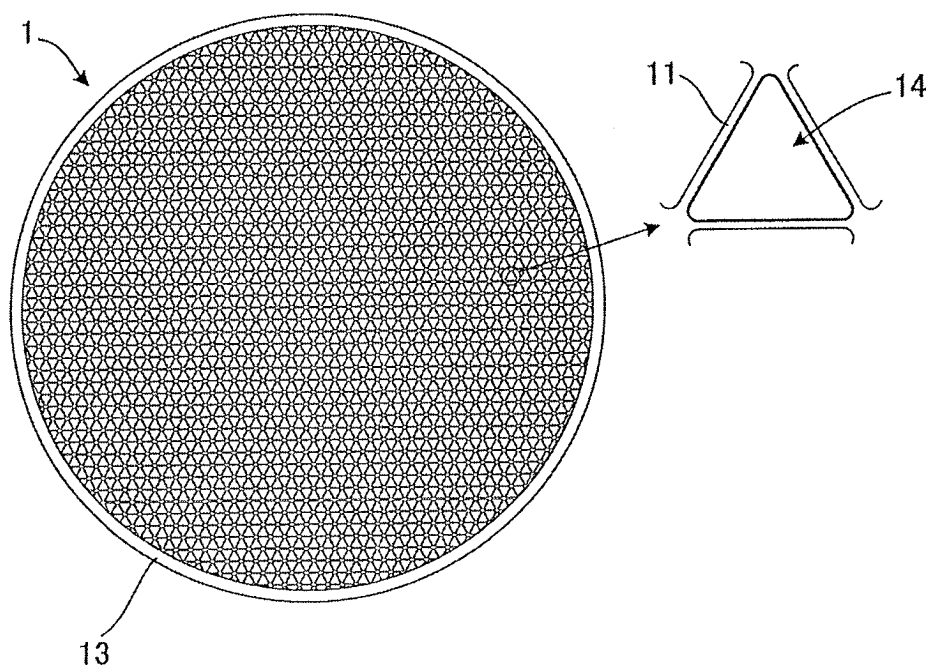


FIG.12

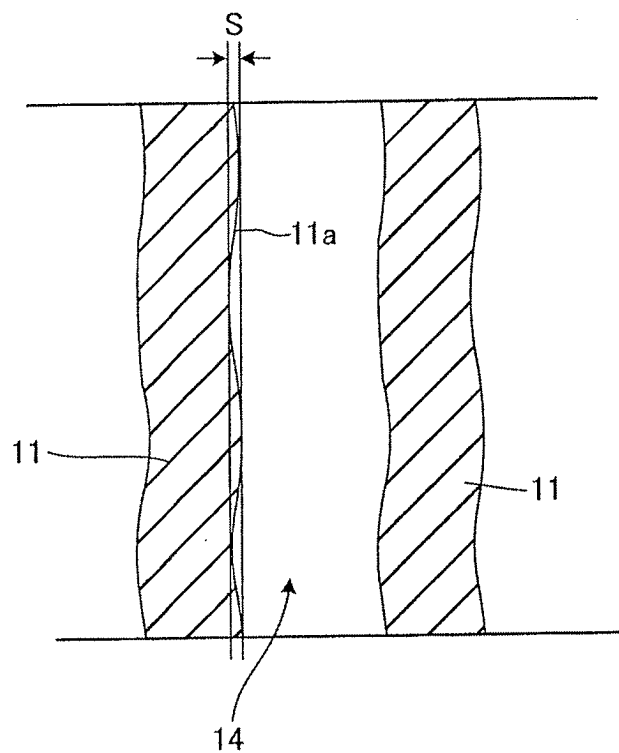


FIG.13

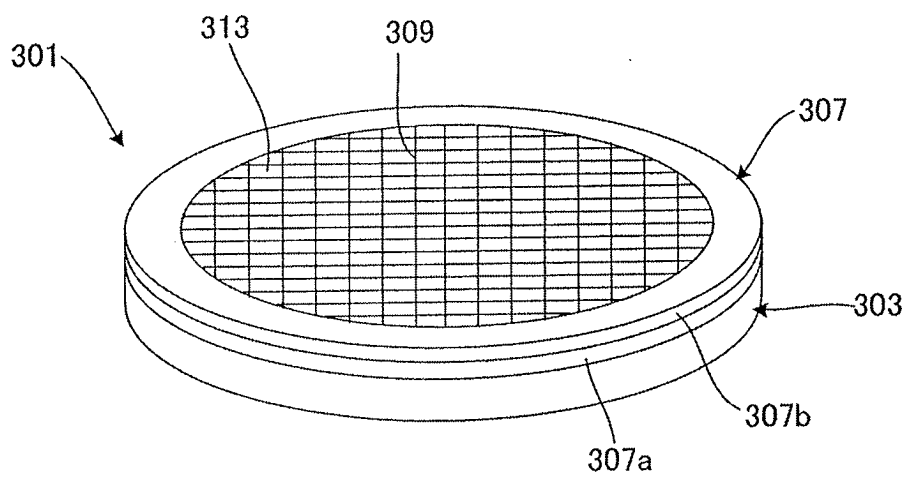


FIG.14

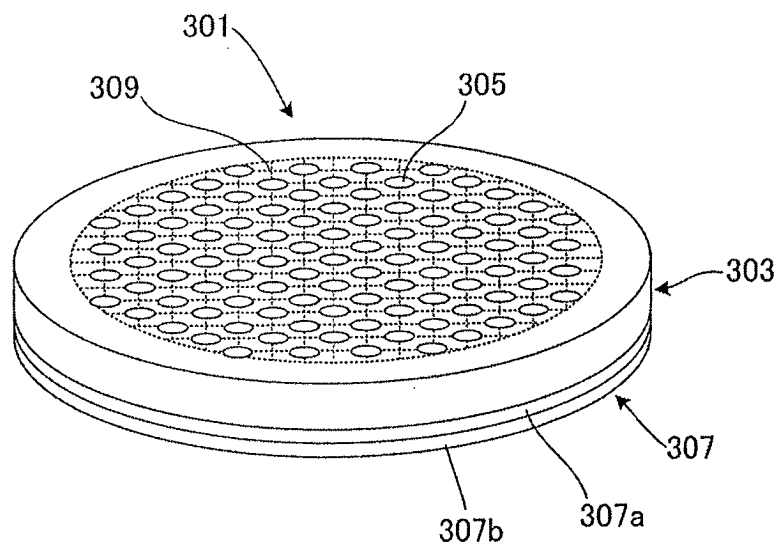


FIG.15

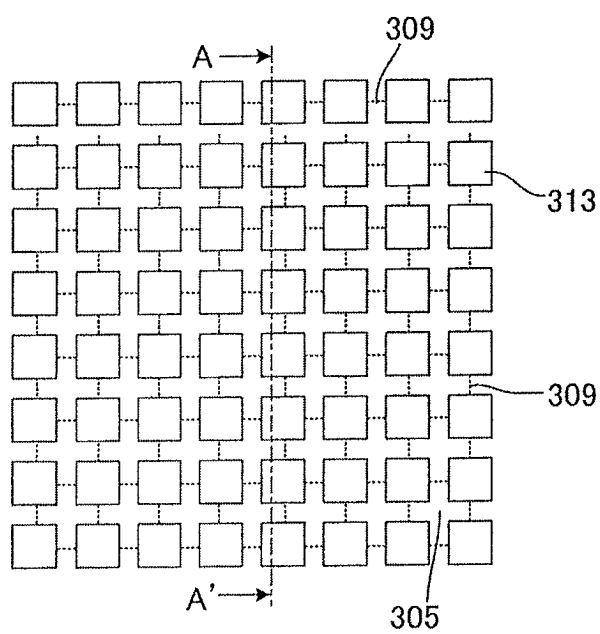


FIG.16

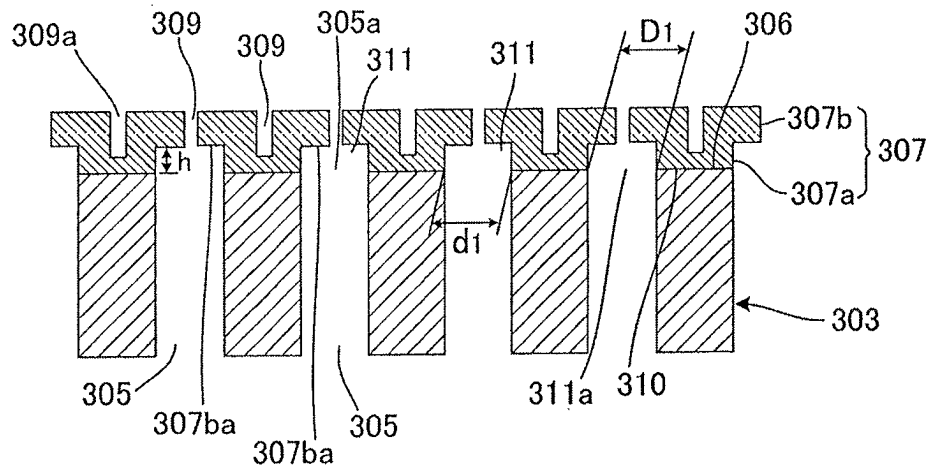


FIG.17

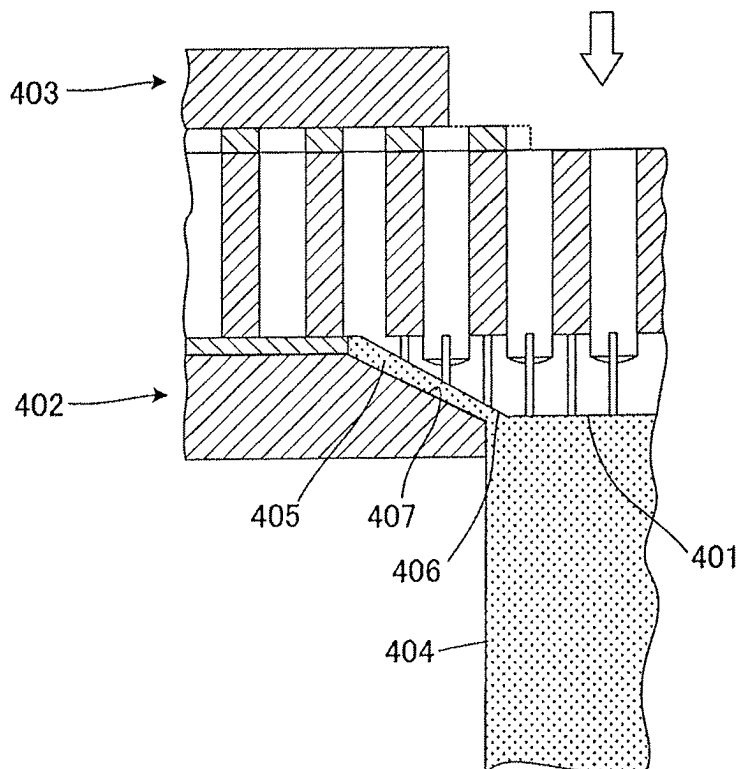


FIG.18

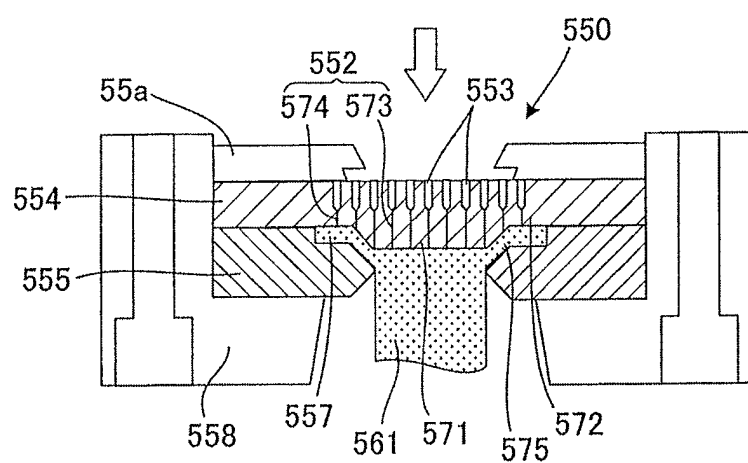


FIG.19

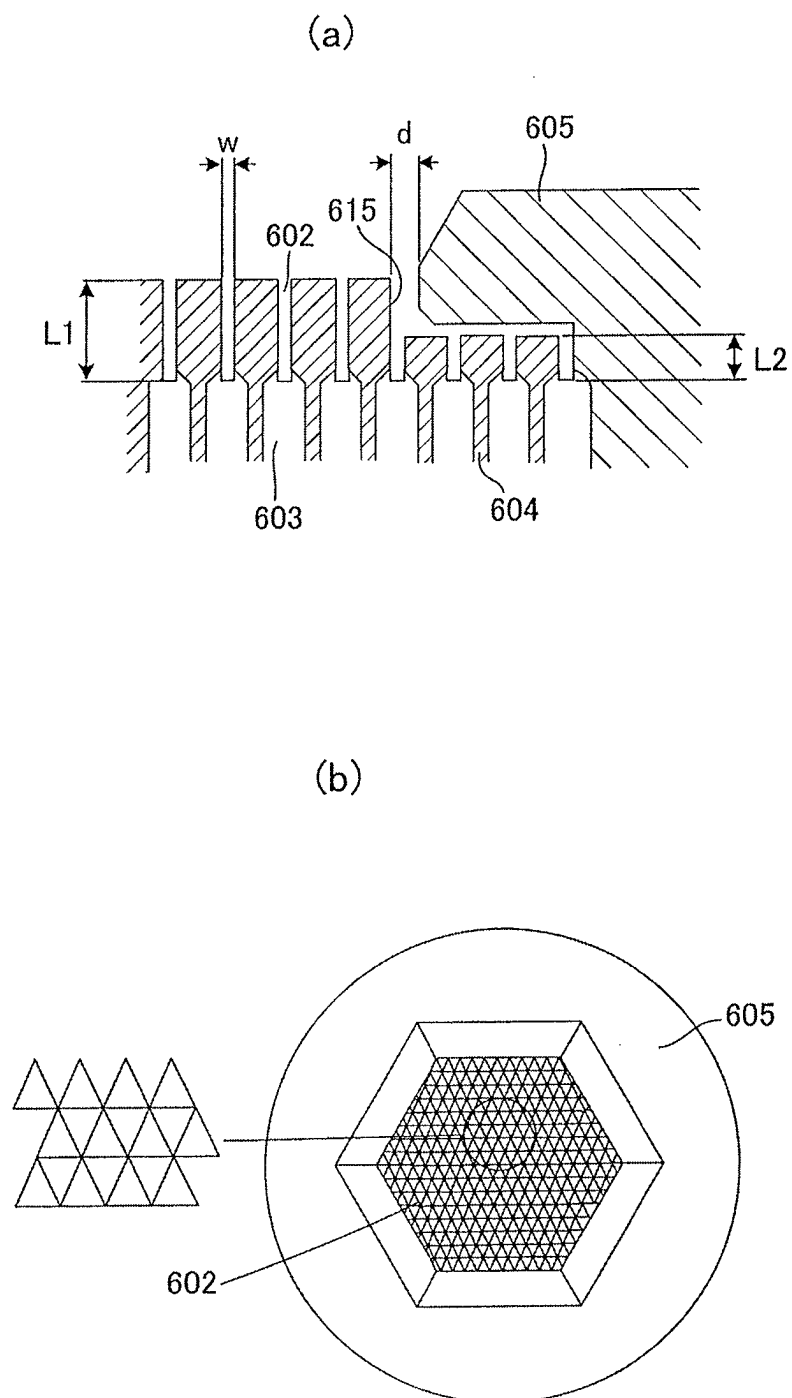


FIG.20

