



(10) **DE 10 2016 212 051 B4** 2022.05.05

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2016 212 051.4**
 (22) Anmeldetag: **01.07.2016**
 (43) Offenlegungstag: **12.01.2017**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **05.05.2022**

(51) Int Cl.: **B28B 3/20 (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:
2015-137924 **09.07.2015** **JP**

(73) Patentinhaber:
NGK Insulators, Ltd., Nagoya-city, Aichi-pref., JP

(74) Vertreter:
MERH-IP Matias Erny Reichl Hoffmann
Patentanwälte PartG mbB, 80336 München, DE

(72) Erfinder:
Miyairi, Yukio, Nagoya-city, Aichi-pref., JP; Miwa,
Shinichi, Nagoya-city, Aichi-pref., JP

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2009 010 207	A1
DE	600 11 375	T2
DE	696 36 077	T2
US	2001 / 0 036 427	A1
JP	2012- 112 621	A
JP	2005- 180 294	A
JP	2012- 237 295	A
JP	2011- 98 866	A
JP	S62- 94 307	A

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Herstellen einer Wabenstruktur**

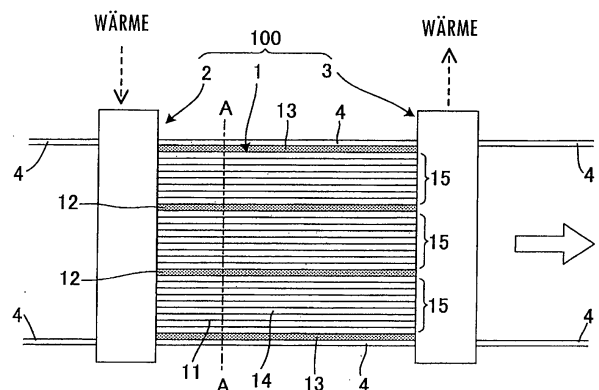
(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Herstellen einer Wabenstruktur, die eine Vielzahl von Wabensegmenten (15) umfasst, die jeweils eine Trennwand (11) aufweisen, die eine Vielzahl von Zellen (14) begrenzt, Folgendes umfassend:

einen Formkörper-Umformschritt zum monolithischen Formen eines jeden von einer Vielzahl von Wabensegment-Formkörpern (15A), der eine Trennwand (11) aufweist, um eine Vielzahl von Zellen (14) zu begrenzen, die sich von einer ersten Endfläche als die eine Endfläche zu einer zweiten Endfläche als die andere Endfläche erstrecken, durch Extrudieren eines Knetmaterials in eine Wabenform;

einen Verbundeinheits-Ausbildungsschritt zum Bilden einer Wabensegment-Verbundeinheit (1A) durch Auftragen eines flüssigen Bondingmaterials (12A) auf die Seitenflächen der Vielzahl von beim Formkörper-Umformschritt geformten Wabensegment-Formkörpern (15A), und Anordnen der Vielzahl von Wabensegment-Formkörpern (15A) derart, dass die Seitenflächen miteinander in Kontakt gebracht werden;

einen Verbundeinheits-Formgebungsschritt zum Formen der Wabensegment-Verbundeinheit (1A) durch Ausführen einer Pressbehandlung an den Seitenflächen der beim Verbundeinheits-Ausbildungsschritt gebildeten Wabensegment-Verbundeinheit (1A); und
 einen Trocknungs-/Brennschritt zum Trocknen und Brennen der beim Verbundeinheits-Formgebungsschritt

geformten Wabensegment-Verbundeinheit (1A), wobei die Vielzahl von beim Formkörper-Umformschritt geformten Wabensegment-Formkörpern (15A) eine Wassermenge ...



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Patentanmeldung ist eine Anmeldung, die auf JP 2015-137924 basiert, die am 9. Juli 2015 beim Japanischen Patentamt eingereicht wurde, und deren Inhalte hierin durch Bezugnahme mit aufgenommen sind.

ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK

Gebiet der Erfindung

[0002] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen einer Wabenstruktur, die eine Vielzahl von Wabensegmenten umfasst, die jeweils eine Trennwand umfassen, die eine Vielzahl von Zellen begrenzt.

Beschreibung des Standes der Technik

[0003] In jüngster Zeit interessiert sich die Gesellschaft insgesamt mehr und mehr für eine effektive Verwendung von Energiequellen, und es wurden verschiedene Techniken zur Wiederverwendung von Energie auf einer Versuchsbasis entwickelt. Unter diesen zieht ein Energierecyclingsystem Aufmerksamkeit auf sich, da die Erlangungsrate (Energieeffizienz) der erlangten Energie hoch ist. Das Energierecyclingsystem wandelt Wärme eines Hochtemperaturfluids, wie zum Beispiel Abgas von Automobilen, durch einen thermoakustischen Effekt in Akustikwellenenergie um und gibt schließlich solch eine Energie in der Form von elektrischer Leistung aus. Verschiedene Anstrengungen zum praktischen Nutzen eines solchen Systems wurden unternommen.

[0004] Einfach ausgedrückt ist ein thermoakustischer Effekt ein Phänomen, um Akustikwellen unter Verwendung von Wärme zu erzeugen. Insbesondere ist der thermoakustische Effekt ein Phänomen, um ein Akustikwellen übertragendes Medium in dem dünnen Rohr schwingen zu lassen, um Akustikwellen zu erzeugen, wenn ein Endteil eines dünnen Rohrs mit Wärme beaufschlagt wird, um einen Temperaturgradienten an dem dünnen Rohr auszubilden. Da es effektiv ist, Akustikwellen unter Verwendung einer großen Anzahl von solch dünnen Rohren auf einmal zu erzeugen, wird oftmals eine Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente, die eine Vielzahl von Durchgangslöchern (Zellen) umfasst, die jeweils einen kleinen Durchmesser aufweisen, als eine kollektive Form der einen thermoakustischen Effekt verursachenden dünnen Rohre verwendet (siehe z.B. Patentdokumente 1 bis 3).

[0005] Währenddessen wurde die Wabenstruktur selbst herkömmlicherweise ohne Bezug auf den thermoakustischen Effekt verwendet, da deren dreidimensionale Geometrie eine große Oberfläche aufweist. Ein typisches Beispiel ist beispielsweise eine Wabenstruktur zum Bestücken eines Katalysators für die Abgasreinigung, um feine Partikel aus dem Abgas von Automobilen zu entfernen. Eine solche Wabenstruktur zum Bestücken eines Katalysators für die Abgasreinigung wird oft durch Extrudieren eines Knetmaterials in eine Wabenform, gefolgt von Trocknen und Brennen, hergestellt. Mit größer werdenden Abmessungen wird es jedoch schwierig, eine Extrusion bei gleichzeitigem Halten der Maßgenauigkeit monolithisch auszuführen, und außerdem nimmt ebenfalls die Schwierigkeit zum Herstellen eines Formwerkzeugs für die Extrusion zu. Wenn dann eine Wabenstruktur einer relativ großen Größe hergestellt werden soll, wurde diese oft durch Aufteilen der Wabenstruktur in eine Vielzahl von Wabensegmenten und dann durch Bonden dieser Vielzahl von Wabensegmenten, um eine erwünschte Wabenstruktur zu erhalten, hergestellt.

[0006] Bei einem typischen Verfahren zum Herstellen einer solchen segmentartigen Struktur werden eine Vielzahl von Wabensegmenten nach dem Brennen mit einem Bondingmaterial aneinander gebondet. Dieses Verfahren führt jedoch oft zu einer Schwäche am Verbindungsteil zwischen den gebrannten Wabensegmenten und hat somit einen Nachteil einer schlechten Bondingfestigkeit der Struktur als Ganzes. Als eine Gegenmaßnahme gegen diesen Nachteil wird ein Herstellungsverfahren vorgeschlagen, bei dem eine Vielzahl von ungebrannten Wabensegmenten über ein ungebranntes Bondingmaterial, das aus demselben Material wie das der Wabensegmente besteht, gebondet wird und das Ganze schließlich zusammen gebrannt wird (siehe Patentdokumente 4 und 5). Auf diese Weise wird die gesamte Struktur zusammen gebrannt, wodurch das Bonding zwischen den Wabensegmenten stärker gemacht werden kann, wodurch im Vergleich zu einem typischen Verfahren zum Herstellen einer segmentartigen Struktur eine hohe Bondingfestigkeit verwirklicht werden kann. Weiterer relevanter Stand der Technik ist in den folgenden Dokumenten beschrieben DE 10 2009 010 207 A1, DE 696 36 077 T2, DE 600 11 375 T2, US 2001/ 0 036 427 A1, JP 2012- 112 621A, JP 2011- 09866A, JP 2005180294A, JP S62- 94 307A, JP 2012- 237 295A.

[Patentdokument 1] JP-A-2005-180294

[Patentdokument 2] JP-A-2012-112621

[Patentdokument 3] JP-A-2012-237295

[Patentdokument 4] JP-A-2011-98866

[Patentdokument 5] JP-A-S62-94307

KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0007] Da im Allgemeinen Schwingungen aufgrund von erzeugten Akustikwellen häufig auf eine Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente gegeben werden, ist es erforderlich, dass die Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente eine hohe Widerstandsfähigkeit gegen Schwingungen aufweist. Zu diesem Zweck, auch im Falle einer Herstellung einer segmentartig strukturierten Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente, können diese unter Verwendung eines wie in den Patentdokumenten 4 und 5 offenbarten Verfahrens hergestellt werden, um die Bondingfestigkeit zu verbessern.

[0008] Wie unterdessen aus den Beschreibungen zu dem thermoakustischen Effekt im Obenstehenden klar wird, kann ein höherer thermoakustischer Effekt aus einer Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente ausgeübt werden, die mehr Zellen pro Flächeneinheit in dem zur Durchdringungsrichtung der Zellen senkrechten Querschnitt, d.h., eine höhere Zelldichte, aufweist. Obwohl in einer Wabenstruktur, die unter Verwendung der Verfahren der Patentdokumente 4 und 5 hergestellt wird, deren Wabensegmente selbst eine hohe Zelldichte aufweisen können, weist die Wabenstruktur als Ganzes aufgrund des Vorhandenseins der Bondingschicht (die Schicht des aufgetragenen Bondingmaterials) zwischen den Wabensegmenten oft eine niedrige Zelldichte auf.

[0009] Wenn daher eine Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente, die einen hohen thermoakustischen Effekt aufweist, hergestellt werden soll, ist es schwierig, ein Verfahren zum Herstellen einer segmentiert strukturierten Wabenstruktur, wie in den Patentdokumenten 4 und 5 offenbart, zu verwenden, und es wird ein weiteres Verfahren erforderlich.

[0010] Obwohl es sich bei obenstehenden Beschreibungen um eine Wabenstruktur in der Form einer Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente als ein Beispiel handelt, ist das wie oben angegebene Problem allen segmentiert strukturierten Wabenstrukturen als ein Ganzes, die eine höhere Zelldichte benötigen, gemeinsam.

[0011] Hinsichtlich der oben erwähnten Umstände zielt die vorliegende Erfindung darauf ab, ein Verfahren zum Herstellen einer segmentartig strukturierten Wabenstruktur, die eine hohe Zelldichte aufweist, bereitzustellen.

[0012] Um das oben erwähnte Ziel zu erfüllen, stellt die vorliegende Erfindung das folgende Verfahren zum Herstellen einer Wabenstruktur bereit. Es wird ein Verfahren mit den Merkmalen von Anspruch 1 angegeben. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

[0013] Gemäß dem Verfahren zum Herstellen einer Wabenstruktur der vorliegenden Erfindung wird die Wabensegment-Verbundeinheit durch die Pressbehandlung in einem Zustand geformt, in dem die Wassermenge von jedem der Wabensegment-Formkörper 30 Massen-% oder mehr beträgt, was bedeutet, dass das Trocknen nicht sehr weit fortgeschritten ist. Selbst wenn die die Wabensegment-Verbundeinheit ausmachenden Wabensegmente eine Verformung aufweisen, kann daher eine solche Verformung durch die Pressbehandlung leicht korrigiert werden.

[0014] Des Weiteren wird während dieser Pressbehandlung des Verfahrens zum Herstellen einer Wabenstruktur ein großer Anpressdruck von 0,005 kg/cm² oder mehr verwendet. Es wird angemerkt, dass wenn ein Formen einer Wabensegment-Verbundeinheit ausgeführt wird, um eine herkömmliche segmentartig strukturierte Wabenstruktur (siehe z.B. Patentdokumente 4 und 5) durch die Pressbehandlung herzustellen, lediglich ein geringer Anpressdruck von weniger als 0,002 kg/cm² verwendet werden kann. Der Grund hierfür ist, dass wenn ein Anpressdruck von 0,002kg/cm² oder mehr ausgeübt wird, die in der Druckbeaufschlagungsrichtung der die Wabensegment-Verbundeinheit ausmachenden Wabensegmente gelängte Trennwand eine Knickverformung erzeugen wird, sodass die Wabensegmente zusammenfallen können. Da im Gegensatz dazu die Wabensegmente der vorliegenden Erfindung eine hohe Zelldichte von 620 [Zellen/cm²] oder mehr aufweisen, die zu einem hohen thermoakustischen Effekt führt, wenn die vorliegende Erfindung beim Herstellen einer Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente verwendet wird, weisen auch die Wabensegment-

Formkörper eine hohe Zelldichte auf. Daher weist der Wabensegment-Formkörper einen höheren Widerstandsgrad gegen Knickverformung (Knickfestigkeit) auf als herkömmliche Wabensegment-Formkörper (siehe z.B. Patentdokumente 4 und 5). In der vorliegenden Erfindung wird bei Ausnutzung einer derart hohen Knickfestigkeit eine Pressbehandlung mit einem größeren Anpressdruck ausgeführt, und daher kann durch die Pressbehandlung ein hoher Effekt zum Korrigieren der Verformung in den Wabensegmenten erlangt werden.

[0015] Wenn die Verformung der die Wabensegment-Verbundeinheiten ausmachenden Wabensegmente nicht ausreichend korrigiert wird, werden im Allgemeinen die Seitenflächen des Wabensegments als die Bondingflächen mit den benachbarten Wabensegmenten gekrümmt sein. In diesem Fall muss die Schicht des Bondingmaterials zwischen dem Wabensegment und den benachbarten Wabensegmenten dicker gemacht werden, um eine von der Krümmung der Bondingflächen resultierende Verschlechterung der Bondingfestigkeit zwischen den Wabensegmenten oder eine Verschlechterung der Genauigkeit der Anordnung der Wabensegmente in der Wabenstruktur als das Endprodukt zu unterbinden.

[0016] Da im Gegensatz dazu in der vorliegenden Erfindung die Verformung der Wabensegment-Formkörper aufgrund einer ausreichenden Wassermenge und eines, wie oben angegeben, großen Anpressdrucks genug korrigiert werden kann, besteht eine geringere Notwendigkeit, das Bondingmaterial zwischen den Wabensegment-Formkörpern dick zu machen. Die Schicht des Bondingmaterials zwischen den Wabensegment-Formkörpern kann dann dünn auf ein minimales Maß gebracht werden, das die ausreichende Bondingfestigkeit gewährleistet. Als ein Ergebnis ist es in der Gesamtheit der Wabenstruktur, die das Endprodukt ist, möglich, die hohe Zelldichte derart zu verwirklichen, dass die hohe Zelldichte eines jeden Wabensegments ohne Einfluss des Bondingmaterials genutzt wird. Während auf diese Weise gemäß der vorliegenden Erfindung eine hohe Bondingfestigkeit erreicht werden kann, da ungebrannte Wabensegmente nach dem Bonding zusammen gebrannt werden, kann eine hohe Zelldichte auch aufgrund einer Wabenstruktur mit hoher Zelldichte erreicht werden. Wenn insbesondere die vorliegende Erfindung bei der Herstellung einer Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente angewendet wird, kann ein hoher thermoakustischer Effekt in solch einer Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente erreicht werden.

[0017] Es wird hier angemerkt, dass um die Schicht des Bondingmaterials zwischen den Wabensegment-Formkörpern dünn zu machen, die vorliegende Erfindung außer der Steuerung der Herstellschritte, wie das Material so dünn wie möglich aufzutragen, eine weitere Ausgestaltung aufweist, um eine dicke Schicht des Bondingmaterials zu vermeiden. Zum Beispiel wird in der vorliegenden Erfindung ein flüssiges Bondingmaterial als das Bondingmaterial verwendet und daher kann das Bondingmaterial während des Auftragens mit Leichtigkeit dünn auf den Bondingflächen (auf den Seitenflächen des Wabensegment-Formkörpers) verteilt werden. Da des Weiteren in der vorliegenden Erfindung, wie oben angegeben, ein hoher Anpressdruck während der Pressbehandlung ausgeübt wird, wird die Schicht des Bondingmaterials zusammengepresst und weit verteilt. Auf diese Weise führt ein solch hoher Anpressdruck zu einer weiteren vorteilhaften Wirkung, indem die Schicht des Bondingmaterials dünn gemacht wird.

Figurenliste

Fig. 1 ist eine schematische Querschnittsansicht einer Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente, die durch eine Ausführungsform eines Verfahrens zum Herstellen einer Wabenstruktur der vorliegenden Erfindung hergestellt wird.

Fig. 2 ist eine Querschnittsansicht der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente entlang der Linie AA in **Fig. 1** gesehen.

Fig. 3 ist ein Ablaufdiagramm, das das Verfahren zum Herstellen der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente der **Fig. 1** und **Fig. 2** zeigt.

Fig. 4 zeigt einen Wabensegment-Formkörper.

Fig. 5 zeigt den Wabensegment-Formkörper von **Fig. 4**, auf dessen Seitenflächen ein flüssiges Bondingmaterial aufgetragen ist.

Fig. 6 zeigt eine Wabensegment-Verbundeinheit, die durch Anordnen der Wabensegment-Formkörper erhalten wird, auf deren Seitenflächen ein Bondingmaterial aufgetragen wurde, sodass deren Seitenflächen in Kontakt miteinander gebracht werden.

Fig. 7 zeigt schematisch ein Beispiel der Pressbehandlung an den Seitenflächen der in **Fig. 6** gezeigten Wabensegment-Verbundeinheit.

Fig. 8 zeigt den Zustand der Wabensegment-Verbundeinheit nach der Pressbehandlung in **Fig. 7**.

BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0018] Das Folgende beschreibt Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung mit Bezug auf die Zeichnungen. Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die folgenden Ausführungsformen begrenzt und ist so zu verstehen, dass sie die folgenden Ausführungsformen umfasst, zu denen Modifikationen und Verbesserungen im Design je nach Bedarf basierend auf dem gewöhnlichen Wissen eines Fachmanns hinzugefügt werden, ohne von dem Schutzzumfang der vorliegenden Erfindung abzuweichen.

[0019] Das Folgende beschreibt eine segmentiert strukturierte Wabenstruktur, für die eine hohe Zelldichte erforderlich ist, anhand einer segmentiert strukturierten Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente als ein Beispiel.

[0020] Die **Fig. 1** ist eine schematische Querschnittsansicht einer Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1, die durch eine Ausführungsform eines Verfahrens zum Herstellen einer Wabenstruktur der vorliegenden Erfindung hergestellt wird.

[0021] Die in **Fig. 1** gezeigte Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 ist eine Komponente, die eine Wärme/Akustikwellen-Umwandlungseinheit 100 ausmacht, um Wärme in Akustikwellenenergie umzuwandeln. Die Wärme/Akustikwellen-Umwandlungseinheit 100 umfasst, zusätzlich zur Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1, einen hochtemperaturseitigen Wärmetauscher 2 und einen niedertemperaturseitigen Wärmetauscher 3, die nahe an beiden Enden der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 angeordnet sind.

[0022] Der hochtemperaturseitige Wärmetauscher 2 hat eine Aufgabe des Aufnehmens der Wärmezufuhr von einer nicht dargestellten externen Wärmequelle (siehe punktierten Pfeil nahe am hochtemperaturseitigen Wärmetauscher 2) und des Zuführens der Wärme an ein Ende der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 nahe am hochtemperaturseitigen Wärmetauscher 2. Andererseits hat der niedertemperaturseitige Wärmetauscher 3 eine Aufgabe des Absorbierens von Wärme von dem anderen Ende der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 nahe am niedertemperaturseitigen Wärmetauscher 3 (dem Ende auf der anderen Seite des Endes nahe am hochtemperaturseitigen Wärmetauscher 2) und des Freigebens der Wärme an die Außenseite (siehe punktierten Pfeil nahe am niedertemperaturseitigen Wärmetauscher 3). Dieser hochtemperaturseitige Wärmetauscher 2 und niedertemperaturseitige Wärmetauscher 3 ergeben den Zustand, in dem zwischen den beiden Enden der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 das Ende nahe am hochtemperaturseitigen Wärmetauscher 2 eine relativ höhere Temperatur als am Ende nahe am niedertemperaturseitigen Wärmetauscher 3 aufweist.

[0023] Der hochtemperaturseitige Wärmetauscher 2 und der niedertemperaturseitige Wärmetauscher 3 können eine Struktur eines Wärmetauschers aufweisen, der üblicherweise in dem einen thermoakustischen Effekt nutzenden technischen Gebiet bekannt ist, und die Einzelheiten solcher Strukturen schränken die Merkmale der später beschriebenen Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 nicht ein. In einem lediglich zur Information dienenden Beispiel der Strukturen kann der hochtemperaturseitige Wärmetauscher 2 als ein Wärmetauscher ausgestaltet sein, der mit einem Abgasrohr eines Motors eines Automobils oder dergleichen verbunden ist und einen Abgaskanal definiert, der ein Ende der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1, an die die Wärme geliefert wird, umgibt. Während im Falle dieses Typs des hochtemperaturseitigen Wärmetauschers 2 vom Motor abgegebenes Hochtemperatur-Abgas das Ende der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 als ein wärmezuführendes Ziel umströmt, wird die Wärme des Abgases zum Ende der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 übertragen. Andererseits kann der niedertemperaturseitige Wärmetauscher 3 ein Wärmetauscher aus einem Material mit guter Wärmeleitfähigkeit sein und in Kontakt mit dem anderen Ende der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 kommen, von dem Wärme absorbiert werden soll, um die Wärme an die Luft abzugeben. Ein typisches Beispiel des niedertemperaturseitigen Wärmetauschers 3 dieses Typs ist ein Wärmetauscher mit einer geschichteten Gitterstruktur, die eine Vielzahl von überlappenden Gitterplatten aus Metall (z.B. Kupfer) umfasst.

[0024] Das Folgende beschreibt die Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1.

[0025] Wie in **Fig. 1** gezeigt, weist die Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 eine Wabenstruktur auf, in der eine Vielzahl von Wabensegmenten 15 über Bondingschichten 12 gebondet sind, wobei die Wabensegmente jeweils eine Vielzahl von Zellen 14 als Durchgangslöcher ähnlich wie dünne Rohre, die

durch eine Trennwand 11 begrenzt werden, aufweist. Hierin betrifft das Wort „Zelle“ in der vorliegenden Beschreibung nur ein Durchgangsloch, das die Trennwand nicht umfasst. Wie in **Fig. 1** gezeigt, ist die Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 in einem Übertragungsrohr 4 angeordnet. Jede Zelle 14 weist eine Durchdringungsrichtung (eine Erstreckungsrichtung, in die sich die Zelle 14 erstreckt) auf, die die horizontale Richtung von **Fig. 1** ist (die Richtung, in der der hochtemperaturseitige Wärmetauscher 2 mit dem niedertemperaturseitigen Wärmetauscher 3 verkoppelt wird), und sie ist an beiden Endflächen auf der Seite des hochtemperaturseitigen Wärmetauschers 2 und der Seite des niedertemperaturseitigen Wärmetauschers 3 offen und ist über den hochtemperaturseitigen Wärmetauscher 2 und den niedertemperaturseitigen Wärmetauscher 3 in Kommunikation mit dem Übertragungsrohr 4.

[0026] Das Übertragungsrohr 4 und jede der Zellen 14 sind mit einem Arbeitsfluid gefüllt, das Akustikwellen durch Schwingungen überträgt. Obwohl das Arbeitsfluid Luft sein kann, ist es vorzugsweise Gas, das eine niedrige Viskosität aufweist und weniger reaktiv ist, wie z.B. ein Edelgas, wenn das Übertragungsrohr 4 ein geschlossenes Rohr definiert und ein spezieller Typ des Arbeitsfluids verwendet werden kann. Arbeitsfluid mit einer hohen Viskosität erzeugt oft Reibungswärme mit den Innenwänden des Übertragungsrohrs 4 und jeder Zelle 14 und ist somit nachteilig in Bezug auf die Wärme/Akustikwellen-Umwandlungsfähigkeit (wird später beschrieben). Reaktives Arbeitsfluid produziert eine chemische Änderung und nimmt ab und hat somit einen Nachteil der Schwierigkeit, eine stabile Wärme/Akustikwellen-Umwandlungsfähigkeit zu erreichen.

[0027] Wenn in der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 eine Temperaturdifferenz zwischen den beiden Enden aufgrund des hochtemperaturseitigen Wärmetauschers 2 und des niedertemperaturseitigen Wärmetauschers 3 vorhanden ist, beginnt das Arbeitsfluid in jeder Zelle 14 in der Durchdringungsrichtung der Zellen 14 zu schwingen, und die Schwingungen werden als Akustikwellen außerhalb der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 von der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 über den niedertemperaturseitigen Wärmetauscher 3 übertragen (siehe den dicken Pfeil in der Zeichnung). Solch ein Phänomen des Arbeitsfluids, das in Erwiderung auf eine bestimmte Temperaturdifferenz schwingt, wird selbstinduzierte Schwingungen genannt und ist ein üblicherweise bestens bekanntes Phänomen, das auftritt, wenn ein Temperaturgradient auf ein dünnes Rohr gegeben wird. Ein thermoakustischer Effekt bezieht sich auf eine Erzeugung von Akustikwellen aufgrund der selbstinduzierten Schwingung des Arbeitsfluids, die aus der Wärme resultiert. Das Folgende beschreibt kurz diese selbstinduzierte Schwingung (eine Menge von Dokumenten beschreibt die Details, und beispielsweise Patentdokument 3 bietet außerdem die detaillierte Beschreibung darüber).

[0028] Wenn ein bestimmter Temperaturgradient auf ein dünnes Rohr gegeben wird, dann absorbiert ein Arbeitsfluid innerhalb des dünnen Rohrs auf der Hochtemperaturseite Wärme von der Wandfläche des Rohrs und expandiert von der Hochtemperaturseite zu der Niedertemperaturseite hin. Dann gibt das Arbeitsfluid Wärme an die Wandfläche auf der Niedertemperaturseite ab und wird komprimiert, und kehrt dann zu der Hochtemperaturseite zurück. Solch ein Austausch von Wärme mit der Wandfläche und Expansion/Kompression wird wiederholt, was in einem Schwingen des Arbeitsfluids in der Längsrichtung des Rohrs resultiert. Einfach gesagt kann solch eine Bewegung des Arbeitsfluids als die Bewegung bezeichnet werden, um Wärme zu befördern, um so den Temperaturgradienten an der Wandfläche abzumildern (zu schwächen). Wie aus dieser Beschreibung ebenfalls klar wird, tritt solch ein Phänomen lediglich dann auf, wenn das Rohr so dünn ist, dass die thermischen Effekte von der Wandfläche auf das Arbeitsfluid im Innern groß sind. Das heißt, wenn das Rohr dicker gemacht wird, verringert sich der thermische Effekt von der Wandfläche (d.h. er gelangt näher an einen adiabatischen Zustand), und so tritt solch eine selbstinduzierte Schwingung kaum auf. Dann wird die Dicke des Rohrs ein wichtiger Faktor, um Akustikwellen durch die selbstinduzierte Schwingung zu erzeugen, und die Dicke des Rohrs kann quantitativer eingeschätzt werden basierend auf einem hydraulischen Durchmesser HD, der als $HD = 4 \times S/C$ definiert ist, wobei S die Querschnittsfläche des Rohrs bezeichnet und C den Umfang dieses Abschnitts bezeichnet.

[0029] Da jede der Zellen 14 in der wie oben angegebenen Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 einen ausreichenden kleinen hydraulischen Durchmesser HD aufweist, um eine selbstinduzierte Schwingung zu erzeugen, tritt die selbstinduzierte Schwingung aufgrund der Temperaturdifferenz, wie oben angegeben, an den beiden Endflächen der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 auf. Aufgrund dieser selbstinduzierten Schwingung werden in jeder der Zellen 14 Akustikwellen erzeugt, die zu der Endfläche auf der Seite des niedertemperaturseitigen Wärmetauschers 3 hin wandern. Die erzeugten Akustikwellen wandern durch das Übertragungsrohr 4, wie durch den dicken Pfeil in der Zeichnung gezeigt, und die Energie dieser Akustikwellen kann durch einen nicht dargestellten Energieumwandlungsmechanismus, wie z.B. ein Mikrofon, in Elektrizität umgewandelt werden. Als ein Ergebnis kann die an den hochtemperaturseitigen Wär-

metauscher 2 abgegebene Wärme (z.B. Wärme von dem Abgas) effektiv in der Form von Elektrizität genutzt werden.

[0030] Oben wird der Fall beschrieben, in dem Wärme an die Wärme/Akustikwellen-Umwandlungseinheit 100 abgegeben wird, um, als ein Beispiel, Akustikwellenenergie zu erzeugen. Stattdessen kann Akustikwellenenergie unter Verwendung einer eine ähnliche Struktur aufweisende Wärme/Akustikwellen-Umwandlungseinheit 100 auch in kalte Wärme umgewandelt werden. Eine solche Energieumwandlung in kalte Wärme basiert auf einem Mechanismus (ein Temperaturgradient wird in den Durchgangslöchern aufgrund von Akustikwellen erzeugt), der die Umkehrung des Mechanismus des thermoakustischen Effekts, wie oben angegeben, ist (Akustikwellen werden aus einem Temperaturgradienten in den Durchgangslöchern erzeugt). Wenn beispielsweise Akustikwellen von dem hochtemperaturseitigen Wärmetauscher 2 in dem Zustand, in dem der hochtemperaturseitige Wärmetauscher 2 keine Wärmezufuhr empfängt, in die Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 eintreten, und der niedertemperaturseitige Wärmetauscher 3 bei einer Temperatur der Umgebungstemperatur oder niedriger liegt, wird Wärme an die übertragenen Akustikwellen abgegeben, um einen Temperaturgradienten in der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 zu erzeugen. Als ein Ergebnis wird ein Niedertemperaturzustand derart erzeugt, dass die Temperatur an dem hochtemperaturseitigen Wärmetauscher 2 niedriger als am niedertemperaturseitigen Wärmetauscher 3 ist. Dann kann kalte Wärme in diesem Niedertemperaturzustand durch ein Medium, wie Wasser, abgezogen werden (z.B. als kalte Wärme von Kühlwasser abgezogen werden).

[0031] Das Folgende beschreibt dann die Struktur der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 in weiteren Einzelheiten.

[0032] Die **Fig. 2** ist eine Querschnittsansicht der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 entlang der Linie AA in **Fig. 1** gesehen.

[0033] Wie in **Fig. 2** gezeigt, umfasst die Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 eine Vielzahl von Wabensegmenten 15, die über Bondingschichten 12 gegenseitig gebondet sind, wobei die Wabensegmente jeweils eine Vielzahl von Zellen 14 aufweisen, die durch eine Trennwand 11 begrenzt werden. Diese Bondingschichten 12 werden durch Brennen eines Bondingmaterials 12A (siehe beispielsweise **Fig. 5**), das in einem später beschriebenen Herstellungsverfahren verwendet wird, erhalten. In der vorliegenden Erfindung kann eine umlaufende Wand so angeordnet sein, dass sie die Verbundeinheit der Vielzahl von Wabensegmenten 15 umgibt, und die **Fig. 2** (siehe auch **Fig. 1**) zeigt eine umlaufende Wand 13, die als ein solches Beispiel die Verbundeinheit der Wabensegmente 15 umgibt. Die umlaufende Wand 13 kann aus einem Material hergestellt sein, das das gleiche wie das Material der Trennwand 11 ist.

[0034] Es sollte angemerkt werden, dass es für einen größeren thermoakustischen Effekt vorteilhaft ist, möglichst viele Zellen 14 zu bilden, die selbstinduzierte Schwingungen erzeugende dünne Durchgangslöcher sind. Mit anderen Worten, es ist vorteilhaft, eine große Zelldichte an der Endfläche der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 aufzuweisen. Die Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 weist eine hohe Zelldichte von 620 [Zellen/cm²] oder mehr an jeder Endfläche auf, wodurch ein ausreichender thermoakustischer Effekt ausgeübt werden kann. Wenn umgekehrt die Zelldichte geringer als 620 [Zellen/cm²] ist, dann ist die Anzahl von zu dem thermoakustischen Effekt beitragenden Zellen zu klein, und somit kann daraus ein sehr großer thermoakustischer Effekt nicht erreicht werden. Für eine Zelldichte von 620 [Zellen/cm²] oder mehr ist eine Zelldichte von 770 [Zellen/cm²] besonders bevorzugt.

[0035] Im Allgemeinen ist der hydraulische Durchmesser HD der Durchgangslöcher einer der wichtigen Faktoren, um, wie oben angegeben, Akustikwellen aus selbstinduzierten Schwingungen zu erzeugen, und somit beträgt der hydraulische Durchmesser HD der Zellen 14 in der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 vorzugsweise 0,4 mm oder weniger. Solche Zellen mit einem sehr kleinen hydraulischen Durchmesser HD von 0,4 mm oder weniger, die mit einer hohen Dichte ausgebildet werden, können einen großen thermoakustischen Effekt aus der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 verwirklichen. Wenn umgekehrt der hydraulische Durchmesser HD größer als 0,4 mm ist, kann nur ein kleiner thermoakustischer Effekt erhalten werden, weil die selbstinduzierte Schwingung schwach ist.

[0036] Des Weiteren weist die Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 vorzugsweise ein Verhältnis der offenen Frontfläche in dem Querschnitt der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 als ein Ganzes zu der offenen Frontfläche in dem Querschnitt von jedem Wabensegment der Vielzahl von Wabensegmenten 15 in einer in **Fig. 2** gezeigten zur Durchdringungsrichtung der Vielzahl von Zellen 14 senkrechten Ebene auf, das 0,97% oder mehr beträgt. Hierin bedeutet solch ein Verhältnis von 0,97 oder mehr der

offenen Frontfläche in jeder der Wabensegmente 15, dass die Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 aufgrund der, wie oben angegeben, hohen Zelldichte (mit anderen Worten, der großen offenen Frontfläche) von jedem der Wabensegmente 15 ebenfalls eine hohe Zelldichte aufweisen kann (mit anderen Worten, eine große offene Frontfläche). Wenn das Verhältnis der offenen Frontfläche kleiner als 0,97 ist, ist ein beliebiger Teil der Bondingschichten 12 (wenn die umlaufende Wand 13 vorgesehen ist, die Bondingschichten 12 und die umlaufende Wand 13) dick, und daher ist die Anzahl von zu einem thermoakustischen Effekt beitragenden Zellen klein, und ein sehr großer thermoakustischer Effekt kann daraus nicht erreicht werden. Für das Verhältnis der offenen Frontfläche von 0,97 oder mehr ist das Verhältnis der offenen Frontfläche von 0,99 oder mehr besonders bevorzugt.

[0037] Die offene Frontfläche kann wie folgt erhalten werden. Es wird ein Bild eines zur Durchdringungsrichtung senkrechten Querschnitts durch ein Mikroskop aufgenommen, und die Fläche S1 des Materialteils und die Fläche S2 des Spaltteils werden aus dem aufgenommenen Bild des Querschnitts bestimmt. Dann kann die offene Frontfläche als $S2/(S1+S2)$ basierend auf S1 und S2 erhalten werden. Wenn hierin Poren in der Trennwand vorhanden sind, sollte die Fläche der Poren in dem aufgenommenen Bild in der Fläche S1 des Materialteils enthalten sein.

[0038] In der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 weisen die Zellen vorzugsweise eine Querschnittsform auf, die senkrecht zur Durchdringungsrichtung der Zellen 14 ist, derart, dass sie eine vieleckige Form ist, deren Ecken gerundet sind, und die Ecken der Form weisen vorzugsweise einen Rundungsradius von 0,02 mm oder mehr und 0,1 mm oder weniger auf. Die **Fig. 2** zeigt ein Beispiel der Form der Zellen 14 in der vergrößerten Ansicht auf der oberen rechten Seite, in der die gezeigten Vierecke gerundete Ecken und einen Rundungsradius von 0,02 mm oder mehr und 0,1 mm oder weniger aufweisen. Ein solcher Rundungsradius von 0,02 mm oder mehr bedeutet eine sanft gerundete Form und kann so einem Stoß, der die Zellen 14 drückend beaufschlagt, ausreichend widerstehen. Dies basiert auf dem gleichen Grund für die Form eines Lochs, wie einem Tunnel, d.h., eine gerundete Form ist gegen eine äußere Kraft aus der Umgebung widerstandsfähiger als eine kantige Form. Wenn der gerundete Teil zu groß ist, dann ist die Trennwand 11 nahe an den Ecken der Zellen 14 dick und folglich nimmt die offene Frontfläche ab und der erhaltene thermoakustische Effekt kann reduziert werden. Dann wird der Krümmungsradius auf 0,1 mm oder weniger eingestellt, wodurch ein hoher thermoakustischer Effekt ebenfalls zur gleichen Zeit beibehalten werden kann.

[0039] Der Rundungsradius an den Ecken der Zellen 14 kann durch Aufnehmen eines vergrößerten Fotos der Zellen 14 in einem zu der Durchdringungsrichtung senkrechten Querschnitt und basierend auf der Querschnittsform der Zellen 14 gemessen werden.

[0040] Die Zellen 14 können in einer zu der Durchdringungsrichtung der Zellen 14 senkrechten Ebene eine Form aufweisen, die sowohl verschiedene Polygone, wie zum Beispiel Dreiecke, Vierecke, Fünfecke und Sechsecke, als auch Ellipsen (einschließlich einer perfekten Kreisform) sind, wobei Dreiecke, Vierecke und Fünfecke und deren Kombinationen bevorzugt sind und Dreiecke und Vierecke besonders bevorzugt sind. Dreiecke und Vierecke sind besonders bevorzugt, weil sie unter den verschiedenen Vieleckformen und elliptischen Zellformen für die Anordnung einer großen Menge von Zellen bei gleichzeitiger Minimierung der Dicke der Trennwand am geeignetsten sind.

[0041] Da in **Fig. 2** die Zellen 14 als ein Beispiel der Form Vierecke sind, sind folglich die Wabensegmente 15 Vierecke. Es wird hier angemerkt, dass die Wabensegmente 15 verschiedene Formen entsprechend der Form der Zellen 14 aufweisen können, solange die Zellen 14 angeordnet werden können, ohne die Trennwand dick zu machen. Wenn beispielsweise die Zellen 14 Quadrate sind, können die Wabensegmente 15 sowohl Rechtecke als auch Quadrate sein. Auf diese Weise können die Wabensegmente 15 der vorliegenden Erfindung verschiedene Formen aufweisen, und vieleckige Formen sind bevorzugt, da sie eine später beschriebene Pressbehandlung erleichtern. Unter den vieleckigen Formen sind Dreiecke und Vierecke besonders bevorzugt, weil sie mit Leichtigkeit regelmäßig angeordnet werden können.

[0042] In der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 weist vorzugsweise jedes Wabensegment der Vielzahl von Wabensegmenten 15 in der zur Durchdringungsrichtung der Vielzahl von Zellen 14 senkrechten Ebene eine Querschnittsfläche von 4 cm² oder mehr und 50 cm² oder weniger auf, und die Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 als ein Ganzes in dieser Ebene weist eine Querschnittsfläche von 25 cm² oder mehr und 1600 cm² oder weniger auf. Wenn die Wabenstruktur mit einer Querschnittsfläche von 25 cm² oder mehr als ein Ganzes hergestellt werden soll, ist es im Allgemeinen schwierig, bei Beibehalten der Maßgenauigkeit eine Extrusion monolithisch auszuführen, und zusätzlich erhöht sich ebenfalls die Schwierigkeit, ein Formwerkzeug für die Extrusion herzustellen. In einem solchen Fall wird die Wabenstruktur

wünschenswerterweise durch Aufteilen in Wabensegmente hergestellt, die jeweils eine Querschnittsfläche von 4 cm² oder mehr und 50 cm² oder weniger aufweisen. Hierin ist eine Wabenstruktur, die 1600 cm² überschreitet, zu groß in den Abmessungen zum Bestücken eines Katalysators für Abgasreinigung oder zum Erreichen eines thermoakustischen Effekts, und eine Vorrichtung, die solch eine Wabenstruktur umfasst, wird ungünstigerweise in der Größe zunehmen. Wenn dann die Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 so hergestellt wird, dass jedes Wabensegment 15 und die Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 als ein Ganzes ihre einem bevorzugten Zahlenbereich zugehörigen Querschnitte aufweisen, wie oben angegeben, dann ist ein segmentartiges Herstellverfahren das effektivste dafür.

[0043] Es gilt, dass L die Länge zwischen beiden Endflächen der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 bezeichnet, und die Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 ein Verhältnis HD/L des hydraulischen Durchmessers HD, wie oben angegeben, zu dieser Länge L aufweist, das 0,005 oder mehr und weniger als 0,02 ist. Wenn HD/L geringer als 0,005 ist, dann ist die Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 verglichen mit dem hydraulischen Durchmesser HD zu lang. Dann wird Arbeitsfluid in jeder Zelle 14 der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 weniger von einer Temperaturdifferenz zwischen beiden Enden der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente beeinträchtigt. In diesem Fall ist ein Wärmeaustausch zwischen dem Arbeitsfluid in jeder Zelle 14 und der Trennwand 11 nicht ausreichend, und somit kann ein ausreichender thermoakustischer Effekt nicht erlangt werden. Wenn andererseits HD/L 0,02 oder mehr ist, dann ist die Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 verglichen 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 der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 übertragen, bevor ein Wärmeaustausch zwischen dem Arbeitsfluid in jeder Zelle 14 und der Trennwand 11 ausreichend wird. Als ein Ergebnis kann ein ausreichender thermoakustischer Effekt noch nicht erlangt werden. Dann wird die Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 so ausgestaltet, dass sie das Verhältnis HD/L von 0,005 oder mehr und weniger als 0,02 aufweist, und somit ist ein Wärmeaustausch zwischen dem Arbeitsfluid in jeder Zelle 14 und der Trennwand 11 ausreichend. Als ein Ergebnis kann die Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 einen ausreichenden thermoakustischen Effekt aufweisen.

[0044] Vorzugsweise ist jedes der Wabensegmente 15 in der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 und sind insbesondere die Trennwände 11 in dem Wabensegment 15 aus einem Material hergestellt, das ein Wärmeausdehnungsverhältnis bei 20 bis 800 °C von 6 ppm/K oder weniger aufweist. Eines der Verfahren, um einen solch niedrigen Zustand des Wärmedehnungsverhältnisses zu verwirklichen besteht darin, „Wabensegmente aus Cordierit“ zu verwenden, das ein niedriges Wärmeausdehnungsverhältnis unter den Keramikmaterialien als das Material der Wabensegmente 15 aufweist. Hierin bezieht sich eine „Wabenstruktur aus Cordierit“ auf eine Wabenstruktur, die hergestellt wird, indem als ein Keramik-Rohmaterial zum Herstellen der Wabenstruktur ein Cordierit-Ausbildungsrohmaterial verwendet wird, das so formuliert ist, dass es eine chemische Zusammensetzung im Bereich von 42 bis 56 Massen-% Siliziumdioxid, 30 bis 45 Massen-% Aluminiumoxid und 12 bis 16 Massen-% Magnesia aufweist, und nach dem Brennen Cordierit bildet.

[0045] Das Wärmeausdehnungsverhältnis kann zum Beispiel gemessen werden, indem von der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 ein Teststück ausgeschnitten wird, das eine Länge von 10 mm oder mehr entlang der Durchdringungsrichtung der Zellen 14 aufweist und eine Fläche eines Querschnitts, die die Durchdringungsrichtung sowie die zu der Durchdringungsrichtung orthogonale Richtung umfasst, die 4 mm² oder mehr und 100 mm² oder weniger beträgt, aufweist, und das Wärmeausdehnungsverhältnis dieses Teststücks in der Durchdringungsrichtung mittels eines Differenzialwärme-Dilatometers unter Verwendung von Quarz als eine Referenzvergleichsprobe gemessen wird.

[0046] Solch ein Wärmeausdehnungsverhältnis bei 20 bis 800°C von 6 ppm/K oder weniger des Materials, das die Trennwand 11 ausmacht, kann Schaden an der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 unterbinden, wenn eine Temperaturdifferenz an den beiden Enden auftritt. Ein Wärmeausdehnungsverhältnis von 4 ppm/K oder weniger ist in dem Wärmeausdehnungsverhältnis von 6 ppm/K oder weniger besonders bevorzugt.

[0047] Dies ist die ausführliche Beschreibung zu der Ausgestaltung der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 der **Fig. 1** und **Fig. 2**.

[0048] Das Folgende beschreibt ein Verfahren zum Herstellen der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 der **Fig. 1** und **Fig. 2**, das eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist.

[0049] Die **Fig. 3** ist ein Ablaufdiagramm, das das Verfahren zum Herstellen der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 der **Fig. 1** und **Fig. 2** zeigt.

[0050] In diesem Herstellverfahren wird zunächst ein Knetmaterial in eine Wabenform extrudiert, wodurch jeder Wabensegment-Formkörper einer Vielzahl von Wabensegment-Formkörpern monolithisch geformt wird (Schritt S1). Dieser Schritt S1 entspricht einem Beispiel eines Formkörper-Umformschritts der vorliegenden Erfindung.

[0051] Die **Fig. 4** zeigt einen Wabensegment-Formkörper 15A.

[0052] Ein Wabensegment-Formkörper 15A wird ein Wabensegment 15 in den **Fig. 1** und **Fig. 2** nach Fertigstellung der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 und weist eine ähnliche Form wie die des Wabensegments 15 auf. Das heißt, der Wabensegment-Formkörper 15A weist ebenfalls eine Trennwand auf, um eine Vielzahl von Zellen zu begrenzen, die von einer ersten Endfläche als die eine Endfläche bis zu einer zweiten Endfläche als die andere Endfläche durchdringen. Hierin beträgt die Wassermenge eines jeden Wabensegment-Formkörpers 15A 30 Massen-% oder mehr. Auf diese Weise enthält der Wabensegment-Formkörper 15A unmittelbar nach der Extrusion sehr viel Wasser und ist flexibel, und daher kann aufgrund seines Eigengewichts oder dergleichen zu einem gewissen Grad eine Verformung auftreten, wie in **Fig. 4** gezeigt.

[0053] Das Folgende beschreibt insbesondere das Herstellen des Wabensegment-Formkörpers 15A sowie Einzelheiten zu dessen Material. Das Folgende beschreibt den Fall, in dem als ein Beispiel jedes der Wabensegmente 15 aus Cordierit gefertigt wird.

[0054] Zunächst werden ein Bindemittel, Dispergiermittel, Porenbildner, Wasser und dergleichen zu einem keramischen Rohmaterial hinzugefügt, um ein Ausbildungsrohmaterial anzusetzen. Das Keramik-Rohmaterial umfasst vorzugsweise eines oder zwei oder mehrere in Kombination von einem Cordierit-Ausbildungsrohmaterial, einem Siliziumcarbid-Kordierit-basierten Verbundmaterial, Aluminiumtitanat, Siliziumcarbid, einem Silizium-Siliziumcarbidbasierten Verbundmaterial, Aluminiumoxid, Mullit, Spinell, Lithiumaluminiumsilikat und einer Fe-Cr-Al-basierten Legierung. Unter diesen ist ein Cordierit-Ausbildungsrohmaterial bevorzugt. Wie oben angegeben, ist das Cordierit-Ausbildungsrohmaterial ein Keramik-Rohmaterial, das so formuliert ist, dass es eine chemische Zusammensetzung in dem Bereich von 42 bis 56 Massen-% Siliziumdioxid, 30 bis 45 Massen-% Aluminiumoxid und 12 bis 16 Massen-% Magnesia aufweist und nach einem Brennen Cordierit bildet. Das Keramik-Rohmaterial ist bevorzugt mit 40 bis 90 Massen-% mit Bezug auf das Ausbildungsrohmaterial als ein Ganzes enthalten.

[0055] Beispielhafte Bindemittel umfassen Methylcellulose, Hydroxypropoxycellulose, Hydroxyethylcellulose, Carboxymethylcellulose oder Polyvinylalkohol. Unter diesen werden Methylcellulose und Hydroxypropoxycellulose bevorzugt zusammen verwendet. Der Gehalt des Bindemittels beträgt bevorzugt 2 bis 20 Massen-% mit Bezug auf das Ausbildungsrohmaterial als ein Ganzes.

[0056] Der Gehalt (die Menge) an Wasser, wie oben angegeben, beträgt vorzugsweise 30 Massen-% oder mehr mit Bezug auf das Ausbildungsrohmaterial als ein Ganzes. Wenn hierin die Wassermenge 45 Massen-% überschreitet, wird der Wabensegment-Formkörper 15A eine sehr schlechte Formerhaltungseigenschaft aufweisen und daher beträgt die Wassermenge vorzugsweise 30 bis 45 Massen-%.

[0057] Beispiele des verwendeten Dispergiermittels umfassen Ethylenglykol, Dextrin, Fettsäureseife und Polyalkohol. Sie können alleine oder in Kombination von zwei oder mehreren Arten verwendet werden. Der Gehalt des Dispergiermittels beträgt vorzugsweise 5 Massen-% oder weniger mit Bezug auf das Ausbildungsrohmaterial als ein Ganzes.

[0058] Beispiele des verwendeten Porenbildners umfassen Stärke, schäumbares Harz, wasserabsorbierbares Harz oder Silicagel.

[0059] Als Nächstes wird ein Knetmaterial durch ein Kneten des Ausbildungsrohmaterials angesetzt. Ein Verfahren zum Ansetzen eines Knetmaterials durch ein Kneten des Ausbildungsrohmaterials ist nicht besonders beschränkt. Zum Beispiel kann ein Knetter oder ein Vakuumzwangsmischer für diesen Zweck verwendet werden.

[0060] Als Nächstes wird das Knetmaterial extrudiert, wodurch ein Wabensegment-Formkörper 15A geformt wird, der eine Trennwand umfasst, die eine Vielzahl von Zellen begrenzt. Für diese Extrusion wird vorzugsweise ein Formwerkzeug verwendet, das eine Form in Übereinstimmung mit den Merkmalen der Struktur, wie dem hydraulischen Durchmesser und der Form der Zellen 14, und der Zelldichte des Wabensegments 15 und der Form des Wabensegments 15, wie oben angegeben, aufweist. Ein bevorzugtes Material des Formwerkzeugs ist Hartmetall, das einen Verschleißwiderstand aufweist. Werte des hydraulischen Durchmessers oder dergleichen von jeder Zelle 14 des Wabensegment-Formkörpers 15A werden unter Berücksichtigung einer Kontraktion bestimmt, die während eines Trocknens und Brennens erzeugt wird, was später ebenfalls beschrieben wird.

[0061] Wenn hierin ein Wabensegment-Formkörper 15A zum Erreichen eines Wabensegments 15 mit einer hohen Zelldichte und einem sehr kleinen hydraulischen Durchmesser jeder Zelle 14, wie oben angegeben, für einen größeren thermoakustischen Effekt extrudiert wird, indem einfach ein herkömmliches Verfahren, so wie es ist, für eine herkömmliche Wabenstruktur 15 zum Bestücken eines Katalysators für Abgasreinigung, die frei von solchen Einschränkungen ist, verwendet wird, dann werden die folgenden zwei Probleme auftreten.

[0062] Das erste Problem ist, dass Knetmaterial, das bei einer hohen Temperatur extrudiert wird, während einer Extrusion an den Löchern in dem Formwerkzeug anhaftet, was leicht ein Verstopfen erzeugt. Dieses Problem wird ebenfalls durch das oben angegebene Patentedokument JP-2012-237295 in Paragraph [0021] erwähnt.

[0063] Das zweite Problem ist, dass ein Formwerkzeug, das für ein Wabensegment, das eine hohe Zelldichte und einen sehr kleinen hydraulischen Durchmesser von jeder Zelle, wie in dem oben angegebenen Wabensegmenten 15, aufweist, zwangsweise einen sehr dünnen und minutiösen Teil (typischerweise einen Teil von ungefähr 0,3 mm in der Dicke) umfasst. Dann wird oftmals ein solch minutiöser Teil durch viskose Reibung während einer Knetmaterialextrusion beschädigt (z.B. zerrissen).

[0064] Im Gegensatz dazu weist das Herstellverfahren der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 die folgende Ausgestaltung auf, um diese zwei Probleme zu lösen.

[0065] Für das erste Problem wird vor der Extrusion unter Verwendung eines Formwerkzeugs (nachfolgend als Real-Formwerkzeug bezeichnet), das für das Wabensegment 15, das eine hohe Zelldichte und einen kleinen hydraulischen Durchmesser von jeder Zelle 14 aufweist, geeignet ist, ein Knetmaterial unter Verwendung eines anderen Formwerkzeugs (nachfolgend als Dummy-Formwerkzeug bezeichnet) extrudiert, das eine sehr kleine Dicke der Rippen hat, die 0,04 mm oder mehr und 0,09 mm oder weniger beträgt. Die „Dicke der Rippen“ bezieht sich hier auf die Dicke der Trennwand des Wabensegment-Formkörpers 15A und bedeutet eine Schlitzbreite des Formwerkzeugs. Jeder Schlitz des Formwerkzeugs ist ein Loch, um das Knetmaterial abzuführen und die Form jedes Trennwandteils an den herzustellenden Wabensegmenten 15 zu bestimmen. Im Folgenden bedeutet die „Dicke von Rippen“ die Schlitzbreite. Die Extrusion unter Verwendung eines Dummy-Formwerkzeugs kann vorab diejenigen Komponenten des Knetmaterials entfernen, die dazu neigen, das Verstopfen zu verursachen. Dann wird für das der Extrusion unterworfenen Knetmaterial eine Extrusion durch ein Real-Formwerkzeug ausgeführt, wodurch ein Verstopfen, wie oben angegeben, unterbunden werden kann. Hierin entspricht das Dummy-Formwerkzeug, wie oben angegeben, einem Beispiel eines „ersten Formwerkzeugs“ der vorliegenden Erfindung und das Real-Formwerkzeug, wie oben angegeben, entspricht einem Beispiel eines „zweiten Formwerkzeugs“ der vorliegenden Erfindung.

[0066] Das zweite Problem wird gelöst, indem die Viskosität des für die Extrusion verwendeten Knetmaterials im Vergleich zu einer Viskosität eines für eine herkömmliche Wabenstruktur zum Bestücken eines Katalysators für Abgasreinigung verwendeten Knetmaterials stark reduziert wird, um so die viskose Reibung zu reduzieren. Während insbesondere die Wassermenge in einem Knetmaterial, das zum Herstellen eines herkömmlichen Wabensegments für eine Wabenstruktur zum Bestücken eines Katalysators für Abgasreinigung verwendet wird, normalerweise 27 Massen-% nicht überschreitet, weist das Knetmaterial nach Extrusion unter Verwendung des Dummy-Formwerkzeugs, wie oben angegeben, die Wassermenge von 30 Massen-% oder mehr auf, wie oben angegeben. Auf diese Weise vermeidet das Herstellverfahren der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 das zweite Problem, da die Wassermenge des für die Extrusion verwendeten Knetmaterials größer ist und die Viskosität des Knetmaterials niedriger ist als diejenige in den herkömmlichen Knetmaterialien. Wenn die Wassermenge 30 Massen-% oder mehr beträgt, besteht im Allgemeinen das Problem, die Form des Wabensegment-Formkörpers zu erhalten. Das Herstellverfahren der Wär-

me/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 umfasst jedoch einen Formgebungsschritt, der, wie später beschrieben, separat ausgeführt wird, und dies ist kein großes Problem.

[0067] Mit Rückbezug auf die **Fig. 3** werden die Beschreibungen zu der nachfolgenden Bearbeitung des durch Extrusion erhaltenen Wabensegment-Formkörpers 15A im Folgenden fortgesetzt.

[0068] Als Nächstes wird ein flüssiges Bondingmaterial auf die Seitenflächen des Wabensegment-Formkörpers 15A (Schritt S2 in **Fig. 3**) aufgetragen. Hierin kann das verwendete „flüssige Bondingmaterial“ ein Bondingmaterial in einer Lösungsform sein oder ein Bondingmaterial sein, das einen in einer Lösung gelösten Feststoff umfasst. Unter solche Bondingmaterialien wird ein schlammförmiges Bondingmaterial bevorzugt, da es leicht mit einer gleichmäßigen Dicke aufgetragen wird. Nachfolgend kann ein schlammförmiges Bondingmaterial als „Bondingmaterialschlämme“ bezeichnet werden. Hierin ist die Bondingmaterialschlämme vorzugsweise ein schlammförmiges Material, das ein Material umfasst, das das gleiche Material wie das des Knetmaterials des Wabensegment-Formkörpers 15A ist, und besonders bevorzugt das gleiche Material in Schlammform ist.

[0069] Die **Fig. 5** zeigt den Wabensegment-Formkörper 15A von **Fig. 4**, auf dessen Seitenflächen ein flüssiges Bondingmaterial aufgetragen ist.

[0070] Wie in **Fig. 5** gezeigt, wird ein flüssiges Bondingmaterial 12A auf die Seitenflächen des Wabensegment-Formkörpers 15A von **Fig. 4** aufgetragen. Zu diesem Zeitpunkt wird das flüssige Bondingmaterial 12A aufgrund der Fließfähigkeit des flüssigen Bondingmaterials 12A mühelos auf die Seitenflächen des Wabensegment-Formkörpers 15A als die Bondingflächen dünn aufgetragen. Daher wird die Bondingmaterialschicht nach dem Auftragen des Materials auf die Seitenflächen nicht dick sein.

[0071] Mit Rückbezug auf die **Fig. 3** werden die Beschreibungen fortgesetzt.

[0072] Als Nächstes wird eine Vielzahl von Wabensegment-Formkörpern 15A so angeordnet, dass die Seitenflächen der Wabensegment-Formkörper 15A in Kontakt miteinander gebracht werden, und diese Anordnung ergibt eine Wabensegment-Verbundeinheit (Schritt S3 in **Fig. 3**). Der Schritt S2, wie oben angegeben, in Kombination mit diesem Schritt S3 entspricht einem Beispiel eines Verbundeinheits-Ausbildungsschritts der vorliegenden Erfindung. Hierin werden der Schritt S2 und dieser Schritt S3 in dem Zustand ausgeführt, in dem die Wassermenge von jedem Wabensegment-Formkörper 15A bei 30 Massen-% oder mehr gehalten wird.

[0073] Die **Fig. 6** zeigt eine Wabensegment-Verbundeinheit 1A, die durch Anordnen der Wabensegment-Formkörper 15A erhalten wird, auf deren Seitenflächen das flüssige Bondingmaterial 12A aufgetragen wurde, sodass deren Seitenflächen in Kontakt miteinander gebracht werden.

[0074] Aufgrund der Verformung des Wabensegment-Formkörpers 15A, wie oben bei Schritt S1 in **Fig. 3** angegeben, weist die die Anordnung der Vielzahl von Wabensegment-Formkörpern 15A umfassende Wabensegment-Verbundeinheit 1A ebenfalls Spalte zwischen den Wabensegment-Formkörpern 15A auf, wie in **Fig. 6** gezeigt, und die Seitenflächen der Wabensegment-Verbundeinheit 1A sind nicht sehr flach.

[0075] Mit Rückbezug auf **Fig. 3** werden die Beschreibungen fortgesetzt.

[0076] Als Nächstes wird eine Pressbehandlung an den Seitenflächen der in **Fig. 6** gezeigten Wabensegment-Verbundeinheit ausgeführt, um die Wabensegment-Verbundeinheit 1A zu formen (Schritt S4 in **Fig. 3**). Dieser Schritt S4 entspricht einem Beispiel eines Verbundeinheits-Formgebungsschritts der vorliegenden Erfindung.

[0077] Die **Fig. 7** zeigt schematisch ein Beispiel der Pressbehandlung an den Seitenflächen der Wabensegment-Verbundeinheit 1A in **Fig. 6**.

[0078] In dem Beispiel von **Fig. 7** ist eine der Ecken der Wabensegment-Verbundeinheit 1A in **Fig. 6** in eine rechteckige Ecke einer Halterung 6, die zwei den rechten Winkel bildende Böden aufweist, eingepasst, und dann wird die Pressbehandlung an der Wabensegment-Verbundeinheit 1A ausgeführt. Beispielsweise wird auf zwei an der Halterung 6 angeordnete Seitenflächen der Wabensegment-Verbundeinheit 1A, die nicht mit den zwei Böden der Halterung 6 in Kontakt kommen, durch zwei Presselemente 5 (**Fig. 7** zeigt nur deren T-förmigen Querschnitt), die jeweils ein flach geformtes Presselement aufweisen, Druck ausgeübt.

[0079] Die Pressbehandlung, die unter Verwendung der zwei einen rechten Winkel bildenden Böden aufweisenden Halterung 6 ausgeführt wird, wird hier als ein Beispiel der Pressbehandlung erklärt, wobei jedoch die vorliegende Erfindung nicht auf dieses Beispiel beschränkt ist. Eine Druckbeaufschlagung kann in verschiedenen Formen angewendet werden, solange wie der Druck auf Seitenflächen einer Wabensegment-Verbundeinheit ausgeübt werden kann. In einer einfachsten Druckbeaufschlagungsform kann beispielsweise die Wabensegment-Verbundeinheit 1A von **Fig. 6** auf einen flachen Boden gesetzt werden, um eine der Seitenflächen der Wabensegment-Verbundeinheit 1A in Kontakt mit dem flachen Boden zu bringen, und dann kann Druck auf die übrigen drei Seitenflächen ausgeübt werden.

[0080] Die **Fig. 8** zeigt den Zustand der Wabensegment-Verbundeinheit 1A nach der Pressbehandlung bei Schritt S4 in **Fig. 3**.

[0081] Als ein Ergebnis der Pressbehandlung bei Schritt S4 von **Fig. 3**, werden, wie in **Fig. 8** gezeigt, die meisten der Spalten zwischen den Wabensegment-Formkörpern 15A entfernt, sodass die Seitenflächen der Wabensegment-Verbundeinheit 1A flach werden.

[0082] Hierin wird ähnlich den Schritten S2 und S3 die Pressbehandlung bei Schritt S4 ebenfalls in dem Zustand ausgeführt, in dem die Wassermenge von jedem Wabensegment-Formkörper 15A bei 30 Massen-% oder mehr gehalten wird.

[0083] Eines der Verfahren zum Halten der Wassermenge bei 30 Massen-% oder mehr in diesen Schritten, wie oben angegeben, umfasst das Kürzen der Bearbeitungszeit von der Ausbildung eines Knetmaterials bei Schritt S1 bis zur Pressbehandlung bei Schritt S4, wie oben angegeben (z.B. innerhalb weniger Stunden). Ein weiteres Verfahren umfasst das Ausführen dieser Schritte in einer Umgebung ohne Hochtemperatur (z.B. Temperaturumgebung der Umgebungstemperatur oder niedriger). Ein Verfahren zum tatsächlichen Überprüfen, ob die Wassermenge bei 30 Massen-% oder mehr gehalten werden kann, umfasst: Ermitteln der Masse der Wabensegment-Formkörper 15A unmittelbar nach dem Formen, und der Gesamtmasse des verwendeten flüssigen Bondingmaterials 12A (eine Differenz, die durch Subtrahieren der Masse des gesamten nicht verwendeten und übriggelassenen flüssigen Bondingmaterials 12A von der Gesamtmasse des angesetzten flüssigen Bondingmaterials 12A erhalten wird); und Vergleichen deren Summe mit der Masse der Wabensegment-Verbundeinheit 1A nach der Pressbehandlung. In diesem Fall kann eine Verringerung der Masse als die verringerte Menge (verdunstete Menge) des Wassers betrachtet werden. Wenn die Wassermenge, die erhalten wird, wenn diese verringerte Menge von der ursprünglichen Wassermenge subtrahiert wird, immer noch 30 Massen-% oder mehr beträgt, dann kann geschätzt werden, dass die Wassermenge jedes Wabensegment-Formkörpers 15A bei 30 Massen-% oder mehr während der Schritte von Schritt S1 bis Schritt S4 gehalten werden kann. Ein weiteres Verfahren umfasst: Umformen eines weiteren Wabensegment-Formkörpers 15A zum Überprüfen einer verringerten Wassermenge, Belassen des Wabensegment-Formkörpers 15A in derselben Umgebung wie der Umgebung der Schritte S1 bis S4 während der Schritte S1 und S4, und Überprüfen der verringerten Wassermenge des Wabensegment-Formkörpers 15A zum Überprüfen einer verringerten Wassermenge. In diesem Fall kann eine Verringerung der Masse, die durch Vergleichen der Masse dieses Wabensegment-Formkörpers 15A zum Überprüfen einer verringerten Wassermenge zum Zeitpunkt, wenn die Pressbehandlung, wie oben angegeben, beendet ist, mit der Masse des Wabensegment-Formkörpers 15A zum Überprüfen einer verringerten Wassermenge zum Zeitpunkt, wenn der Wabensegment-Formkörper zum Überprüfen einer verringerten Wassermenge hergestellt wird, erhalten wird, als die verringerte Menge (verdunstete Menge) von Wasser betrachtet werden. Wenn die Wassermenge, die erhalten wird, wenn diese verringerte Menge von der ursprünglichen Wassermenge subtrahiert wird, immer noch 30 Massen-% oder mehr ist, dann kann geschätzt werden, dass die Wassermenge von jedem Wabensegment-Formkörper 15A, der die Wabensegment-Verbundeinheit 1A ausmacht, bei 30 Massen-% oder mehr während der Schritte von Schritt S1 bis Schritt S4 gehalten werden kann.

[0084] Der Zustand des Haltens der Wassermenge bei 30 Massen-% oder mehr bedeutet, dass das Trocknen nicht sehr weit fortgeschritten ist und jeder Wabensegment-Formkörper 15A noch ausreichende Flexibilität aufweist. Selbst wenn die Wabensegment-Formkörper 15A, die die Wabensegment-Verbundeinheit 1A ausmachen, noch Verformung aufweisen, kann daher eine solche Verformung leicht durch die Pressbehandlung korrigiert werden, wie in **Fig. 7** gezeigt.

[0085] Des Weiteren wird während dieser Pressbehandlung die Wabensegment-Verbundeinheit unter einen großen Anpressdruck von 0,005 kg/cm² oder mehr geformt.

[0086] Es wird hier angemerkt, dass, wenn eine herkömmliche, segmentiert strukturierte Wabenstruktur (siehe z.B. Patentdokumente 4 und 5) hergestellt wird, selbst dann, wenn das Formen eines ungebrannten Wabensegment-Verbundeinheit durch die Pressbehandlung ausgeführt wird, nur ein kleiner Anpressdruck von weniger als $0,002 \text{ kg/cm}^2$ angewendet werden kann. Der Grund hierfür ist, dass wenn ein Anpressdruck von $0,002 \text{ kg/cm}^2$ oder mehr ausgeübt wird, die in der Druckbeaufschlagungsrichtung der die Wabensegment-Verbundeinheit ausmachenden ungebrannten Wabensegment-Formkörper gelängte Trennwand eine Knickverformung erzeugen wird, sodass die Wabensegment-Formkörper zusammenfallen können.

[0087] Im Gegensatz dazu weist der Wabensegment-Formkörper 15A in **Fig. 6** eine hohe Zelldichte auf, weil er den Wabensegmenten 15 in **Fig. 1** entspricht, die eine hohe Zelldichte von $620 \text{ [Zellen/cm}^2]$ oder mehr aufweisen, um einen hohen thermoakustischen Effekt auszuüben. Daher weist der Wabensegment-Formkörper 15A ein höheres Maß an Widerstandsfähigkeit gegen Knickverformung (Knickfestigkeit) auf als das der herkömmlichen Wabensegment-Formkörper (z.B. Patentdokumente 4 und 5). In dem Herstellverfahren von **Fig. 3** wird eine Pressbehandlung mit einem großen Anpressdruck von $0,005 \text{ kg/cm}^2$ oder mehr ausgeführt, wobei eine derart hohe Knickfestigkeit ausgenutzt wird, und daher kann ein großer Effekt zum Korrigieren der Verformung in dem Wabensegment-Formkörper 15A durch die Pressbehandlung erzielt werden. Wenn der Anpressdruck $0,05 \text{ kg/cm}^2$ überschreitet, kann selbst ein Wabensegment-Formkörper 15A, der den Wabensegmenten 15 mit einer Zelldichte von $620 \text{ [Zellen/cm}^2]$ oder mehr entspricht, abhängig von der Zelldichte zusammenfallen, da ein solcher Anpressdruck zu groß ist. Daher beträgt der Anpressdruck während der Pressbehandlung $0,005 \text{ kg/cm}^2$ oder mehr und $0,05 \text{ kg/cm}^2$ oder weniger. Es wird hier angemerkt, dass wenn ein Wabensegment-Formkörper 15A einem Wabensegment 15 mit einer Zelldichte, die $620 \text{ [Zellen/cm}^2]$ stark überschreitet, entspricht, ein Anpressdruck ausgeübt werden kann, der $0,05 \text{ kg/cm}^2$ überschreitet, da eine höhere Zelldichte ein höheres Maß an Widerstandsfähigkeit gegen Anpressdruck bedeutet.

[0088] Wenn die Verformung eines die Wabensegment-Verbundeinheiten ausmachenden Wabensegment-Formkörpers nicht ausreichend korrigiert wird, werden im Allgemeinen die Seitenflächen des Wabensegment-Formkörpers als die Bondingflächen mit den benachbarten Wabensegment-Formkörpern gekrümmt sein. In diesem Fall muss die Schicht des Bondingmaterials zwischen dem Wabensegment-Formkörper und den benachbarten Wabensegment-Formkörpern dicker gemacht werden, um eine von der Krümmung der Bondingflächen resultierende Verschlechterung der Bondingfestigkeit zwischen den Wabensegmenten oder eine Verschlechterung der Genauigkeit der Anordnung der Wabensegmente in der Wabenstruktur als das Endprodukt zu unterbinden.

[0089] Da im Gegensatz dazu gemäß dem Herstellverfahren von **Fig. 3** die Verformung der Wabensegment-Formkörper 15A aufgrund einer ausreichenden Wassermenge und eines großen Anpressdrucks genug korrigiert werden kann, besteht eine geringere Notwendigkeit, das Bondingmaterial zwischen den Wabensegment-Formkörpern 15A dick zu machen. Die Schicht des Bondingmaterials zwischen den Wabensegment-Formkörpern 15A kann dann dünn auf ein minimales Maß gebracht werden, das die ausreichende Bondingfestigkeit gewährleistet. Als ein Ergebnis ist es gemäß dem Herstellverfahren von **Fig. 3** möglich, in der Gesamtheit der Wabenstruktur der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente, die das Endprodukt ist, die hohe Zelldichte derart zu verwirklichen, dass die hohe Zelldichte eines jeden Wabensegments ohne Einflüsse des Bondingmaterials genutzt wird. Während auf diese Weise gemäß dem Herstellverfahren von **Fig. 3** eine hohe Bondingfestigkeit erreicht werden kann, da eine ungebrannte Wabensegment-Verbundeinheit 1A nach dem Bonden zusammen gebrannt wird, kann auch ein hoher thermoakustischer Effekt aufgrund einer Wabenstruktur mit hoher Zelldichte erreicht werden.

[0090] Hierin kann das Maß dahingehend, wie die Zelldichte jedes Wabensegments in der Gesamtheit der Wabenstruktur der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 wiedergegeben werden kann, durch ein Verhältnis der offenen Frontfläche des Querschnitts in der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 als ein Ganzes zu der offenen Frontfläche des Querschnitts jedes Wabensegments 15 in einer zur Durchdringungsrichtung der Zellen 14 senkrechten Ebene bewertet werden. Wie oben beschrieben weist insbesondere die Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 in den **Fig. 1** und **Fig. 2** ein solches Verhältnis von $0,97$ oder mehr auf, und daher kann ein Zustand sehr nahe am Wert „1“ erreicht werden.

[0091] Mit Rückbezug auf **Fig. 3** werden die Beschreibungen fortgesetzt.

[0092] Als Nächstes wird die Wabensegment-Verbundeinheit 1A nach der Formgebung getrocknet (Schritt S5 in **Fig. 3**). Ein Verfahren zum Trocknen ist nicht besonders beschränkt, und beispielhafte Verfahren umfassen ein Elektromagnetwellen-Erwärmungsverfahren, wie zum Beispiel ein Mikrowellenwärmetrocknen und ein Hochfrequenzinduktions-Erwärmungstrocknen, und ein externes Erwärmungsverfahren, wie zum

Beispiel ein Heißlufttrocknen und ein Heißdampftrocknen. Nachdem eine bestimmte Menge des Wassers durch ein Elektromagnetwellen-Erwärmungsverfahren getrocknet werden kann, wird dies von einem externen Erwärmungsverfahren gefolgt, um das verbleibende Wasser zu trocknen. In diesem Fall wird bevorzugt, dass, nachdem 30 bis 90 Massen-% von Wasser mit Bezug auf die Wassermenge vor einem Trocknen durch ein elektromagnetisches Erwärmungsverfahren entfernt ist, ein externes Erwärmungsverfahren folgt, um die Wassermenge auf 3 Massen-% oder weniger zu reduzieren. Ein bevorzugtes Elektromagnetwellen-Erwärmungsverfahren ist ein Induktionswärmetrocknen, und ein bevorzugtes externes Erwärmungsverfahren ist ein Heißlufttrocknen.

[0093] Als Nächstes wird das Vorhandensein von Spalten zwischen der Vielzahl von Wabensegment-Formkörpern 15A, die die Wabensegment-Verbundeinheit 1A nach dem Trocknen ausmachen, bestimmt (Schritt S6 in **Fig. 3**). Diese Bestimmung kann beispielsweise durch visuelles Beobachten der Wabensegment-Verbundeinheit 1A oder durch Beobachten eines aufgenommenen vergrößerten Bildes der Wabensegment-Verbundeinheit 1A ausgeführt werden. Alternativ wird Licht, wie z.B. Laserlicht, auf die Wabensegment-Verbundeinheit 1A appliziert, während die Bestrahlungsposition auf der Wabensegment-Verbundeinheit 1A geändert wird, und eine Änderung des reflektierten Lichts wird durch ein Gerät analysiert, wodurch das Vorhandensein oder das Nichtvorhandensein der Spalte bestimmt werden kann. Wenn bestimmt wird, dass ein Spalt vorhanden ist (Ja bei Schritt S6 in **Fig. 3**), wird, wie oben angegeben, das Bindematerial in den Spalt eingeführt, um den Spalt für die Korrektur zu füllen (Schritt S7 in **Fig. 3**). Die Wabensegment-Verbundeinheit 1A wird dann nach der Korrektur gebrannt (Schritt S8 in **Fig. 3**). Wenn im Gegensatz dazu bestimmt wird, dass kein Spalt vorhanden ist (Nein bei Schritt S6 in **Fig. 3**), wird die Wabensegment-Verbundeinheit 1A direkt gebrannt (Schritt S8 in **Fig. 3**).

[0094] Es ist bevorzugt, eine Kalzination vor einem Brennen durchzuführen, um das Bindemittel und dergleichen zu entfernen. Die Kalzination wird vorzugsweise bei 400 bis 500°C für 0,5 bis 20 Stunden in der Umgebungsatmosphäre durchgeführt. Verfahren zur Kalzination oder einem Brennen (Hauptbrennen) sind nicht besonders beschränkt, und sie können unter Verwendung eines elektrischen Ofens, eines Gasofens oder dergleichen durchgeführt werden. Als die Brennbedingungen wird vorzugsweise bei 1300 bis 1500°C für 1 bis 20 Stunden in einer inerten Atmosphäre von Stickstoff, Argon oder dergleichen erwärmt, wenn zum Beispiel ein auf Silizium-Siliziumcarbid basiertes Verbundmaterial verwendet wird. Wenn ein oxidbasiertes Material verwendet wird, wird vorzugsweise bei 1300 bis 1500°C für 1 bis 20 Stunden in einer Sauerstoffatmosphäre erwärmt.

[0095] Wenn es schließlich notwendig ist, dass die Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 eine gewünschte Form haben soll, dann wird der Umfangsteil oder die Länge der Wabensegment-Verbundeinheit 1A nach dem Brennen nach Bedarf beschnitten, um die Form zu korrigieren. Nach dem Schneiden kann eine umlaufende Wand 13 (siehe **Fig. 2**) nach Bedarf geformt werden. Hierin kann das verwendete Material der umlaufenden Wand das gleiche Material sein wie das des Bondingmaterials, wie oben beschrieben. Alternativ kann ein Material verwendet werden, das üblicherweise für das äußere Beschichtungsmaterial verwendet wurde. Wenn es nicht notwendig ist, den umlaufenden Teil der Wabensegment-Verbundeinheit nach dem Brennen zu schneiden, kann ein Bondingmaterial auf den umlaufenden Teil aufgetragen werden, um, wie oben angegeben, nach dem Trocknen und vor dem Brennen eine umlaufende Wand zu bilden. In diesem Fall kann das Bondingmaterial am umlaufenden Teil beim Brennen, wie oben angegeben, auch mitgebrannt werden, wodurch die Festigkeit verbessert werden kann.

[0096] Durch diese Schritte wird die Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente 1 schließlich fertiggestellt.

(Beispiele)

[0097] Das Folgende beschreibt die vorliegende Erfindung insbesondere durch Beispiele, und die vorliegende Erfindung ist in keiner Weise auf diese Beispiele beschränkt.

(Beispiel 1)

[0098] Eine Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente von Beispiel 1 wurde wie folgt hergestellt.

[0099] Cordierit-Ausbildungsrohmaterial wurde als das Keramik-Rohmaterial verwendet, und 1 Massenteil Porenbildner, 6 Massenteile organisches Bindemittel und 0,5 Massenteile eines Dispergiermittels wurden mit

ihren Dispergiermedien zu 100 Massenteilen des Cordierit-Ausbildungsrohmaterials hinzugefügt, worauf ein Mischen und Kneten folgte, um ein Knetmaterial anzusetzen.

[0100] Das verwendete Cordierit-Ausbildungsrohmaterial enthielt 38,9 Massenteile Talkum mit einer durchschnittlichen Partikelgröße von 3 µm, 40,7 Massenteile Kaolin mit einer durchschnittlichen Partikelgröße von 1 µm, 5,9 Massenteile Aluminiumoxid mit einer durchschnittlichen Partikelgröße von 0,3 µm und 11,5 Massenteile Böhmit mit einer durchschnittlichen Partikelgröße von 0,5 µm. Hierin bezieht sich die durchschnittliche Partikelgröße auf einen mittleren Durchmesser (d50) in der Partikelverteilung eines jeden Rohmaterials.

[0101] Wasser wurde als Dispergiermedium verwendet. Hierin wurde die Wassermenge so eingestellt, dass die Wassermenge in dem Knetmaterial 35 Massen-% betrug.

[0102] Hydroxypropylmethylcellulose wurde als das organische Bindemittel verwendet. Ethylenglykol wurde als das Dispergiermittel verwendet.

[0103] Als Nächstes wurde das erhaltene Knetmaterial unter Verwendung eines Formwerkzeugs extrudiert, sodass eine Vielzahl von Wabensegment-Formkörpern mit einer Vierecksäulenform als die Gesamtform hergestellt wurde, wobei die Zellen eine viereckige Form aufwiesen, die nahezu quadratisch war, und der Wabensegment-Formkörper eine Oberseite und eine Unterseite aufwies, die nahezu eine Quadratform mit einer Seitenlänge von 23 mm hatten.

[0104] Während dieser Extrusion wurde vor der Extrusion unter Verwendung eines regulären Formwerkzeugs entsprechend der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente von Beispiel 1 das Knetmaterial unter Verwendung eines Dummy-Formwerkzeugs mit einer Rippendicke von ungefähr 0,07 mm extrudiert, wie oben angegeben. Dann wurde unter Verwendung des Knetmaterials nach der Extrusion mittels dieses Dummy-Formwerkzeugs die Extrusion unter Verwendung des Real-Formwerkzeugs durchgeführt.

[0105] Als Nächstes wurde eine Bondingmaterialschlämme, die angesetzt wurde, indem das Knetmaterial in eine Schlammform (insbesondere eine 20 Massen-% einer Knetmaterial-Feststoffkomponente enthaltende Schlämme, wie oben angegeben) gebracht wurde, auf die Seitenflächen eines jeden Wabensegment-Formkörpers aufgetragen, und es wurde eine aus einem Satz von Wabensegment-Formkörpern von 3×3=9 in der Länge und der Breite bestehende Wabensegment-Verbundeinheit gebildet, wie in **Fig. 2** gezeigt.

[0106] Als Nächstes wurden, in ähnlicher Weise wie in **Fig. 7**, die zwei Seitenflächen der Wabensegment-Verbundeinheit in Kontakt mit den Böden der Halterung gebracht und eine Pressbehandlung mit einem Anpressdruck von 0,007 kg/cm² wurde an den übrigen zwei Seitenflächen durch die Presselemente, die jeweils den flach geformten Pressteil aufweisen, ausgeführt, um die Wabensegment-Verbundeinheit zu formen. Nach dem Formen hatte die Wabensegment-Verbundeinheit eine Vierecksäulenform mit einer Oberseite und einer Unterseite, die nahezu ein Quadrat mit einer Seitenlänge von 70 mm waren.

[0107] Hierin war die Zeitspanne, die für das Ansetzen des Knetmaterials bis zum Formen der Wabensegment-Verbundeinheit erforderlich war, sehr kurz, innerhalb 1 Stunde, und diese Schritte wurden in einem Raum bei Umgebungstemperatur ausgeführt. Daher war das Trocknen in jedem der Wabensegment-Formkörper in der Wabensegment-Verbundeinheit nach dem Formen kaum fortgeschritten, und deren Wassermenge wurde als nahezu die gleiche wie die 35 Massen-% während des Ansetzens angesehen. Tatsächlich wurde die Masse eines jeden Wabensegment-Formkörpers unmittelbar nach dem Formen und die Gesamtmasse der bei jedem Schritt verwendete Bondingmaterialschlämme festgestellt, und deren Summe wurde mit der Masse der Wabensegment-Verbundeinheit nach der Pressbehandlung verglichen. Als ein Ergebnis war eine Differenz in der Masse beinahe Null. Es wird hier angemerkt, dass die Gesamtmasse der verwendeten Bondingmaterialschlämme durch Subtrahieren der Masse der gesamten Bondingmaterialschlämme, die nicht verwendet wurde und übrigblieb, von der Gesamtmasse der angesetzten Bondingmaterialschlämme erhalten wurde.

[0108] Diese Wabensegment-Verbundeinheit wurde durch einen Mikrowellentrockner getrocknet und wurde dann durch einen Heißlufttrockner vollständig getrocknet. Dann wurde die Wabensegment-Verbundeinheit nach dem Trocknen daraufhin überprüft, ob ein Spalt zwischen der Vielzahl von diese Wabensegment-Verbundeinheit ausmachenden Wabensegment-Formkörpern vorhanden ist oder nicht. Aufgrund der Pressbehandlung wurden keine offensichtlichen Spalte gefunden; es wurde jedoch ein teilweiser feiner Spalt gefunden, der nach dem Trocknen erzeugt wurde, und ein solch feiner Spalt wurde durch Einführen der Bondingmaterialschlämme korrigiert. Beide Endflächen der Wabensegment-Verbundeinheit wurden nach der Korrektur

tur beschnitten, um so die Länge anzupassen, und nach dem Schneiden wurde die Wabensegment-Verbund-einheit durch einen Heißlufttrockner hauptsächlich an den Schnittflächen getrocknet.

[0109] Schließlich wurde das Brennen in der Temperaturumgebung bei 1445 °C für 5 Stunden ausgeführt. Nach dem Brennen hatte die Wabensegment-Verbund-einheit eine Vierecksäulenform mit einer Oberseite und einer Unterseite, die die nahezu eine Quadratform mit einer Seitenlänge von 68 mm hatten. Nach dem Brennen wurde der umlaufende Teil des Waben-Formkörpers nach Bedarf beschnitten, um die Form so zu korrigieren, dass sie eine Rundsäulenform mit einem Durchmesser von 59 mm war. Dann wurde ein äußeres Beschichtungsmaterial auf die umlaufende Fläche des Waben-Formkörpers nach dem Schneiden aufgetragen, worauf ein Trocknen folgte, wodurch eine umlaufende Wand so ausgebildet wurde, dass sie einen Außendurchmesser von 60 mm aufwies. Hierin war das äußere Beschichtungsmaterial eine Schlämme, die durch Hinzufügen von einem organischen Bindemittel, einem schäumbaren Harz und einem Dispergiermittel zu einem Rohmaterial, das Cordieritpartikel und Silikasil enthielt, angesetzt wurde, zu der Wasser zugegeben wurde und die geknetet wurde. Als ein Verfahren zum Auftragen des äußeren Beschichtungsmaterials wurde das Beschichtungsmaterial beispielsweise mit einem Gummispachtel aufgetragen, während der Waben-Formkörper nach dem Schneiden auf einem Rad gedreht wurde.

[0110] Durch diese Schritte wurde eine Wärme/Akustikwellenkomponente fertiggestellt.

[0111] In der fertiggestellten Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente war jede Zelle ein Quadrat mit ungefähr der gleichen Größe und die Zellen waren regelmäßig mit einer ähnlichen Periode an der Endfläche jedes Wabensegments angeordnet. Die Zelldichte jedes Wabensegments in der zur Durchdringungsrichtung der Zellen senkrechten Ebene (senkrechten Ebene) war 775 [Zellen/cm²].

[0112] Hierin wurde die Zelldichte jedes Wabensegments durch Aufnehmen eines vergrößerten Fotos des Querschnitts der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente in der oben angegebenen senkrechten Ebene, Berechnen der Zelldichte für jedes Wabensegment und Ermitteln des arithmetischen Mittels aller Wabensegmente erhalten. Insbesondere wurde in der Querschnittsfläche jedes Wabensegments, die die Zelldichte des vergrößerten Fotos des Querschnitts enthält, zuerst ein Bereich von 1 cm² für jedes der Wabensegmente ausgewählt. Dann wurde die Anzahl von Zellen in jedem Bereich gezählt und dann wurde der Wert des arithmetischen Mittels der Zellenanzahl für alle der Wabensegmente berechnet.

[0113] Wenn jede Zelle ein Quadrat ist, ist hierin der hydraulische Durchmesser HD jeder Zelle gleich der Länge von einer Seite des Quadrats basierend auf der Definition ($HD=4 \times S/C$, wobei S die Querschnittsfläche der Zelle bezeichnet und C den Umfang dieses Abschnitts bezeichnet). Da in diesem Fall im Allgemeinen der Vergleichsausdruck der Zelldichte $(Zellen/cm^2) \times (HD)^2 \leq 1$ gilt, dann gilt bei einer Zelldichte von 620 [Zellen/cm²] oder mehr $HD \leq (1/620[Zellen/cm^2])^{1/2} \approx 0,0401$. Das heißt, wenn die Zelldichte 620 [Zellen/cm²] oder mehr beträgt, dann wird der hydraulische Durchmesser ungefähr 0,4 mm oder kleiner sein. Eine solche Beziehung zwischen der Zelldichte und dem hydraulischen Durchmesser gilt nur in dem speziellen Fall, in dem die Zellen Quadrate der gleichen Größe sind, und im Allgemeinen sind die Zelldichte und der hydraulische Durchmesser HD jeder Zelle gegenseitig unabhängige Parameter.

[0114] Die Zelldichte von Beispiel 1 war, wie oben angegeben, 775 [Zellen/cm²], was 620 [Zellen/cm²] oder mehr war, und daher war auch der hydraulische Durchmesser HD jeder Zelle 0,4 mm oder kleiner.

[0115] Des Weiteren wurde die offene Frontfläche des Querschnitts jedes Wabensegments und die offene Frontfläche des Querschnitts der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente als ein Ganzes basierend auf dem vergrößerten Foto des Querschnitts erhalten, wie oben angegeben, und es wurde das Verhältnis der offenen Frontfläche in dem Querschnitt der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente als ein Ganzes zur offenen Frontfläche im Querschnitt jedes Wabensegments berechnet. Der Mindestwert dieser Verhältnisse war 0,98.

[0116] Hierin wurde die offene Frontfläche erhalten, wie oben angegeben, indem aus dem vergrößerten Foto des Querschnitts die Fläche S1 des Materialteils und die Fläche S2 des Spaltteils für den Querschnitt des Wabensegments als auch den Querschnitt der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente als ein Ganzes erhalten wurden, und sie als $S2/(S1+S2)$ basierend auf S1 und S2 erhalten wurde. Da das verwendete Bondingmaterial das gleiche Material wie das der Trennwände in Schlämmenform war, dürfte eine Grenze im Querschnitt des Wabensegments nicht klar sein. In diesem Fall wurde eine die entlang des Umfangs des Wabensegments angeordneten Zellen umfassende minimale Fläche grob als die Fläche des Wabensegments im Querschnitt angesehen, und die offene Frontfläche wurde erhalten. Es wird angemerkt, dass auf-

grund dessen, dass die Endfläche der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente im Wesentlichen senkrecht zur Durchdringungsrichtung der Zellen ist, die offene Frontfläche im Querschnitt, wie oben angegeben, als die offene Frontfläche der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente in der Endfläche angesehen werden kann.

[0117] Des Weiteren wurde die Verformung der Zellformen der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente von Beispiel 1 in dem vergrößerten Foto des Querschnitts beobachtet, wobei das Maß an Knickverformung an den Trennwänden, die durch das Formen durch die Pressbehandlung, wie oben beschrieben, erzeugt wurde, in den zwei Ebenen bewertet wurde, die „Praktisch keine Probleme“ und „Praktisch Probleme“ umfassten.

[0118] Des Weiteren wurde der Umwandlungswirkungsgrad der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente von Beispiel 1 durch das folgende Experiment erhalten.

[0119] Die Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente von Beispiel 1 wurde in ähnlicher Weise wie die Ausgestaltung von **Fig. 1** in ein Übertragungsrohr eingesetzt, und ein hochtemperaturseitiger Wärmetauscher und ein niedertemperaturseitiger Wärmetauscher wurden an den beiden Enden angebracht. Obwohl nicht in **Fig. 1** dargestellt, wurde hierin ein gerades geschlossenes Rohr als das Übertragungsrohr verwendet und es wurde ein Mikrofon mit dem in Fortbewegungsrichtung der Akustikwellen (siehe dicken Pfeil in **Fig. 1**) vorderen Ende des Übertragungsrohrs verbunden. Als hochtemperaturseitiger Wärmetauscher wurde ein Wärmetauscher verwendet, der dazu eingerichtet ist, den Zustrom von Abgas von einem Automobil bei ungefähr 500 °C aufzunehmen und die Temperatur der Endfläche der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente auf der Seite des hochtemperaturseitigen Wärmetauschers auf ungefähr 500 °C zu halten. Für solch einen Wärmetauscher kann beispielsweise der in Patentedokument 1 beschriebene verwendet werden. Als niedertemperaturseitiger Wärmetauscher wurde ein Wärmetauscher verwendet, der eine geschichtete Gitterstruktur, die eine Vielzahl von überlappenden Kupfer-Gitterplatten aus Metall umfasst, aufweist, der dazu eingerichtet ist, Wärme mit Luft auszutauschen und die Temperatur der Endfläche der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente auf der Seite des niedertemperaturseitigen Wärmetauschers bei ungefähr 60 °C zu halten. Die Ausgestaltung eines solchen Wärmetauschers ist üblicherweise bestens bekannt. Als Arbeitsfluid wurde Heliumgas bei 10 atm verwendet.

[0120] In einem solchen experimentellen System konnte Abgas eines Automobils bei ungefähr 500 °C in den hochtemperaturseitigen Wärmetauscher für 10 Minuten einströmen, und die Temperatur des aus dem hochtemperaturseitigen Wärmetauschers ausströmende Abgases, dessen Temperatur etwas abfiel, wurde gemessen. Basierend auf einer Temperaturänderung zu diesem Zeitpunkt wurde die in dieses experimentelle System strömende Wärmemenge berechnet. Die durch das wie oben angegebene Mikrofon erhaltene Elektrizität wurde basierend auf der von einem thermoakustischen Effekt aufgrund der Temperaturdifferenz zwischen den beiden Enden der Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente erzeugten Akustikwellenenergie gemessen. Dann wurde der Messwert der Elektrizität durch den im Voraus bekannten Energieumwandlungswirkungsgrad (Wirkungsgrad, um die Akustikwellenenergie in elektrische Leistung umzuwandeln) des Mikrofons dividiert, wodurch ein Schätzwert der Akustikwellenenergie erhalten wurde. Dann wurde basierend auf diesem Schätzwert der Akustikwellenenergie und der in das Leistungserzeugungssystem einströmenden Wärmemenge, wie oben angegeben, der Wirkungsgrad der Energieumwandlung von Wärme zu Akustikwellenenergie erhalten.

[0121] Dann wurden die Ergebnisse des Mindestwerts der Verhältnisse der offenen Frontfläche, der Grad der Knickverformung und der Energieumwandlungswirkungsgrad in umfassender Weise beurteilt. Diese umfassende Beurteilung wurde basierend auf den zwei Ebenen, die „praktisch ausreichend“ und „praktisch unzureichend“ umfassen, erstellt.

(Beispiel 2, Beispiel 3, Vergleichsbeispiel 1 und Vergleichsbeispiel 2)

[0122] Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponenten wurden durch Herstellungsverfahren von Beispiel 2, Beispiel 3, Vergleichsbeispiel 1 und Vergleichsbeispiel 2 hergestellt, die sich von dem Herstellungsverfahren von Beispiel 1, wie oben angegeben, nur dadurch unterscheiden, dass das Formwerkzeug für die Extrusion unterschiedlichen Werten der Zelldichte entspricht. Das heißt, in diesem Beispiel 2, Beispiel 3, Vergleichsbeispiel 1 und Vergleichsbeispiel 2 war die Wassermenge von jedem Wabensegment-Formkörper 35 Massen-%, was die gleiche wie in Beispiel 1 war, und der Anpressdruck während der Druckbeaufschlagung war ebenfalls 0,007 kg/cm², was der gleiche wie in Beispiel 1 war. Die Dicke der Trennwände stimmte mit diesem Beispiel 2, Beispiel 3, Vergleichsbeispiel 1 und Vergleichsbeispiel 2 überein.

[0123] Dann wurden, ähnlich wie in Beispiel 1, der Mindestwert der Verhältnisse der offenen Frontfläche, der Grad der Knickverformung und der Energieumwandlungs-Wirkungsgrad für die durch die Herstellverfahren von Beispiel 2, Beispiel 3, Vergleichsbeispiel 1 und Vergleichsbeispiel 2 hergestellten Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponenten erhalten. Dann wurde, ähnlich wie Beispiel 1, eine umfassende Beurteilung dazu erstellt.

[0124] Die folgende Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse von Beispiel 1, Beispiel 2, Beispiel 3, Vergleichsbeispiel 1 und Vergleichsbeispiel 2, wie oben angegeben, sowie die Werte der Parameter.

[0136] [Tabelle 1]

	Zelldichte (Zellen/cm ²)	Mindestwert von (gesamte offene Frontfläche/ offene Frontfläche des Segments)	Grad der Knickverformung an der Trennwand	Wirkungsgrad der EnergieUmwandlung (%)	Umfassende Beurteilung (praktisch)
Bsp. 1	775	0,98	praktisch kein Problem	35	ausreichend
Bsp. 2	620	0,98	praktisch kein Problem	30	ausreichend
Bsp. 3	930	0,98	praktisch kein Problem	36	ausreichend
Vgl. - Bsp. 1	186	0,99	praktisch ein Problem	5	nicht ausreichend
Vgl. - Bsp. 2	600	0,99	praktisch kein Problem	15	nicht ausreichend

[0125] Wie aus einem Vergleich in Tabelle 1 zwischen Beispiel 1, Beispiel 2, und Beispiel 3, die eine Zelldichte von 620 [Zellen/cm²] oder mehr aufweisen, und dem Vergleichsbeispiel 1 und Vergleichsbeispiel 2, die eine Zelldichte geringer als 620 [Zellen/cm²] aufweisen, hervorgeht, zeigen Beispiel 1, Beispiel 2 und Beispiel 3 einen ausreichend hohen Energieumwandlungs-Wirkungsgrad im Vergleich zu Vergleichsbeispiel 1 und Vergleichsbeispiel 2. Insbesondere kann die Knickverformung an den Trennwänden aufgrund der Pressbehandlung in Vergleichsbeispiel 1 nicht ignoriert werden, weil die Zelldichte klein ist (als „praktisch mit Problemen“ beurteilt). Im Gegensatz dazu wies die Knickverformung an den Trennwänden in Beispiel 1, Beispiel 2 und Beispiel 3 kein Problem auf (als „praktisch keine Probleme“ beurteilt).

[0126] Hinsichtlich dieser Ergebnisse waren die umfassenden Beurteilungen zu Vergleichsbeispiel 1 und Vergleichsbeispiel 2 „praktisch nicht ausreichend“, wohingegen die umfassenden Beurteilungen zu Beispiel 1, Beispiel 2 und Beispiel 3 zu „praktisch ausreichend“ führten. Dies zeigt, dass die Zelldichte von 620 [Zellen/cm²] oder mehr zu einem großen thermoakustischen Effekt führt und notwendig ist, um eine Widerstandsfähigkeit gegen einen großen Anpressdruck während der Pressbehandlung zu verwirklichen.

(Beispiele 4 bis 6 und Vergleichsbeispiel 3)

[0127] Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponenten wurden durch Herstellverfahren der Beispiele 4 bis 6 und Vergleichsbeispiel 3 hergestellt, die sich von dem Herstellverfahren von Beispiel 1, wie oben angegeben, nur durch die Wassermenge in dem Knetmaterial unterscheiden. Das heißt, in diesen Beispielen 4 bis 6 und in Vergleichsbeispiel 3 war die Zelldichte eines jeden Wabensegments 775 [Zellen/cm²], was die gleiche wie in Beispiel 1 war, und der Anpressdruck während der Druckbeaufschlagung war ebenfalls 0,007 kg/cm², was der gleiche wie in Beispiel 1 war.

[0128] Dann wurden, ähnlich wie in Beispiel 1, der Mindestwert der Verhältnisse der offenen Frontfläche, der Grad der Knickverformung und der Energieumwandlungs-Wirkungsgrad für die durch die Herstellverfahren dieser Beispiele 4 bis 6 und dem Vergleichsbeispiel 3 hergestellten Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponenten erhalten. Dann wurde, ähnlich wie zu Beispiel 1, eine umfassende Beurteilung dazu erstellt.

[0129] Die folgende Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse der Beispiele 4 bis 6 und des Vergleichsbeispiels 3, wie oben angegeben, sowie die Werte der Parameter.

[0142] [Tabelle 2]

	Wassermenge (Massen-%)	Mindestwert von (gesamte offene Frontfläche/ offene Frontfläche des Segments)	Grad der Knickverformung an der Trennwand	Wirkungsgrad der EnergieUmwandlung (%)	Umfassende Beurteilung (praktisch)
Bsp. 4	43	0,99	praktisch kein Problem	35	ausreichend
Bsp. 5	41	0,99	praktisch kein Problem	35	ausreichend t
Bsp. 6	30	0,97	praktisch kein Problem	35	ausreichend
Vgl. - Bsp. 3	28	0,95	praktisch kein Problem	28	nicht ausreichend

[0130] Wie aus einem Vergleich in Tabelle 2 zwischen den Beispielen 4 bis 6, die die Wassermenge in dem Knetmaterial von 30 Massen-% oder mehr aufweisen, und dem Vergleichsbeispiel 3, das die Wassermenge in dem Knetmaterial von weniger als 30 Massen-% aufweist, hervorgeht, zeigen die Beispiele 4 bis 6 einen ausreichend hohen Energieumwandlungs-Wirkungsgrad im Vergleich zum Vergleichsbeispiel 3. Da im Vergleichsbeispiel 3 die Wassermenge in dem Knetmaterial klein war, wurde tatsächlich eine Verformung der Wabensegment-Formkörper während der Pressbehandlung nicht genug korrigiert, und somit musste die Bondingschicht dicker gemacht werden. Als ein Ergebnis war das Verhältnis der offenen Frontfläche dieses Beispiels sehr viel kleiner als das der Beispiele 4 bis 6. Dies verursachte vermutlich den niedrigen Energieumwandlungs-Wirkungsgrad von Vergleichsbeispiel 3.

[0131] Hinsichtlich dieser Ergebnisse waren die umfassenden Beurteilungen zu Vergleichsbeispiel 3 „praktisch nicht ausreichend“, wohingegen die umfassenden Beurteilungen zu den Beispielen 4 bis 6 zu „praktisch ausreichend“ führten. Dies zeigt, dass eine Wassermenge von 30 Massen-% in dem Knetmaterial notwendig ist, um einen großen thermoakustischen Effekt zu verwirklichen.

(Beispiele 7 bis 10 und Vergleichsbeispiel 4)

[0132] Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponenten wurden durch Herstellverfahren der Beispiele 7 bis 10 und Vergleichsbeispiel 4 hergestellt, die sich von dem Herstellverfahren von Beispiel 1, wie oben angegeben, nur durch den für die Pressbehandlung verwendeten Anpressdruck unterschieden. Das heißt, in diesen Beispielen 7 bis 10 und dem Vergleichsbeispiel 4 war die Zelldichte eines jeden Wabensegments 775 [Zellen/cm²], was die gleiche wie in Beispiel 1 war, und die Wassermenge eines jeden Wabensegment-Formkörpers war 35 Massen-%, was die gleiche wie in Beispiel 1 war.

[0133] Dann wurden, ähnlich wie in Beispiel 1, der Mindestwert der Verhältnisse der offenen Frontfläche, der Grad der Knickverformung und der Energieumwandlungs-Wirkungsgrad für die durch die Herstellverfahren dieser Beispiele 7 bis 10 und dem Vergleichsbeispiel 4 hergestellten Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponenten erhalten. Dann wurde, ähnlich wie zu Beispiel 1, eine umfassende Beurteilung dazu erstellt.

[0134] Die folgende Tabelle 3 zeigt die Ergebnisse der Beispiele 7 bis 10 und des Vergleichsbeispiels 4, wie oben angegeben, sowie die Werte der Parameter.

[0148] [Tabelle 3]

	Anpressdruck (kg/cm ²)	Mindestwert von (gesamte offene Frontfläche/ offene Frontfläche des Segments)	Grad der Knickverformung an der Trennwand	Wirkungsgrad der EnergieUmwandlung (%)	Umfassende Beurteilung (praktisch)
Bsp. 7	0,005	0,97	praktisch kein Problem	35	ausreichend

	Anpress- druck (kg/cm ²)	Mindestwert von (gesamte offene Frontflä- che/ offene Frontfläche des Segments)	Grad der Knickverfor- mung an der Trenn- wand	Wirkungsgrad der EnergieUm- wandlung (%)	Umfassende Beur- teilung (praktisch)
Bsp. 8	0,01	0,99	praktisch kein Prob- lem	35	ausreichend
Bsp. 9	0,05	0,99	praktisch kein Prob- lem	35	ausreichend
Vgl.-Bsp. 4	0,004	0,96	praktisch kein Prob- lem	29	nicht ausreichend
Bsp. 10	0,06	0,99	praktisch ein Problem	10	nicht ausreichend

[0135] Wie aus einem Vergleich in Tabelle 3 zwischen den Beispielen 7 bis 9, die den für die Pressbehandlung verwendeten Anpressdruck von 0,005 kg/cm² oder mehr aufweisen, und dem Vergleichsbeispiel 4, das den für die Pressbehandlung verwendeten Anpressdruck von 0,005 kg/cm² oder weniger aufweist, hervorgeht, zeigen die Beispiele 7 bis 9 einen ausreichend hohen Energieumwandlungswirkungsgrad im Vergleich zum Vergleichsbeispiel 4. Da im Vergleichsbeispiel 4 der für die Pressbehandlung verwendete Anpressdruck klein war, wurde tatsächlich eine Verformung der Wabensegment-Formkörper während der Pressbehandlung nicht genug korrigiert, und somit musste die Bondingschicht dicker gemacht werden. Als ein Ergebnis war das Verhältnis der offenen Frontfläche dieses Beispiels sehr viel kleiner als das der Beispiele 4 bis 6. Dies verursachte vermutlich den niedrigen Energieumwandlungs-Wirkungsgrad von Vergleichsbeispiel 4.

[0136] Wie aus einem Vergleich in Tabelle 3 zwischen den Beispielen 7 bis 9, die den für die Pressbehandlung verwendeten Anpressdruck von 0,05 kg/cm² oder weniger aufweisen, und dem Beispiel 10, das den für die Pressbehandlung verwendeten, 0,05 kg/cm² überschreitenden Anpressdruck aufweist, hervorgeht, kann die Knickverformung an den Trennwänden in Beispiel 10 aufgrund der Pressbehandlung nicht ignoriert werden, weil der für die Pressbehandlung verwendete Anpressdruck zu groß war (wurde als „praktisch mit Problemen“ beurteilt). Im Gegensatz dazu wies die Knickverformung an den Trennwänden in den Beispielen 7 bis 9 keine Problem auf (als „praktisch keine Probleme“ beurteilt). Das heißt, selbst ein Wabensegment mit einer hohen Zelldichte von 775 [Zellen/cm²] weist nicht genug Widerstandsfähigkeit für den 0,05 kg/cm² überschreitenden Anpressdruck auf.

[0137] Hinsichtlich dieser Ergebnisse waren die umfassenden Beurteilungen zu Vergleichsbeispiel 4 und Beispiel 10 „praktisch nicht ausreichend“, wohingegen die umfassenden Beurteilungen zu den Beispielen 7 bis 9 zu „praktisch ausreichend“ führten. Dies zeigt, dass der für die Pressbehandlung verwendete Anpressdruck von 0,005 kg/cm² oder mehr notwendig ist, um einen großen thermoakustischen Effekt zu verwirklichen, wobei jedoch der Anpressdruck von 0,05 kg/cm² oder weniger zumindest für eine Zelldichte von 775 [Zellen/cm²] bevorzugt ist.

[0138] Die vorliegende Erfindung ist wirksam, um einen hohen thermoakustische Effekt in einer segmentiert strukturierten Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente zu erreichen.

Bezugszeichenliste

- 1 Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente
- 1A Wabensegment-Verbundeinheit
- 2 hochtemperaturseitiger Wärmetauscher
- 3 niedertemperaturseitiger Wärmetauscher
- 4 Übertragungsrohr
- 5 Presselement
- 6 Halterung
- 11 Trennwand

12	Bondingschicht
12A	Bondingmaterial
13	umlaufende Wand
14	Zelle
15	Wabensegment
15A	Wabensegment-Formkörper
100	Wärme/Akustikwellen-Umwandlungseinheit

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen einer Wabenstruktur, die eine Vielzahl von Wabensegmenten (15) umfasst, die jeweils eine Trennwand (11) aufweisen, die eine Vielzahl von Zellen (14) begrenzt, Folgendes umfassend:

einen Formkörper-Umformschritt zum monolithischen Formen eines jeden von einer Vielzahl von Wabensegment-Formkörpern (15A), der eine Trennwand (11) aufweist, um eine Vielzahl von Zellen (14) zu begrenzen, die sich von einer ersten Endfläche als die eine Endfläche zu einer zweiten Endfläche als die andere Endfläche erstrecken, durch Extrudieren eines Knetmaterials in eine Wabenform;

einen Verbundeinheits-Ausbildungsschritt zum Bilden einer Wabensegment-Verbundeinheit (1A) durch Auftragen eines flüssigen Bondingmaterials (12A) auf die Seitenflächen der Vielzahl von beim Formkörper-Umformschritt geformten Wabensegment-Formkörpern (15A), und Anordnen der Vielzahl von Wabensegment-Formkörpern (15A) derart, dass die Seitenflächen miteinander in Kontakt gebracht werden;

einen Verbundeinheits-Formgebungsschritt zum Formen der Wabensegment-Verbundeinheit (1A) durch Ausführen einer Pressbehandlung an den Seitenflächen der beim Verbundeinheits-Ausbildungsschritt gebildeten Wabensegment-Verbundeinheit (1A); und

einen Trocknungs-/Brennschritt zum Trocknen und Brennen der beim Verbundeinheits-Formgebungsschritt geformten Wabensegment-Verbundeinheit (1A), wobei

die Vielzahl von beim Formkörper-Umformschritt geformten Wabensegment-Formkörpern (15A) eine Wassermenge von 30 Massen-% oder mehr aufweist, der Verbundeinheits-Ausbildungsschritt und der Verbundeinheits-Formgebungsschritt ausgeführt werden, um die Wabensegment-Verbundeinheit (1A) zu bilden und zu formen, während die Wassermenge von jedem der Wabensegment-Formkörper (15A) bei 30 Massen-% oder mehr gehalten wird, jedes der die Wabenstruktur ausmachenden Wabensegmente (15) in einem zur Erstreckungsrichtung der Vielzahl von Zellen (14) senkrechten Querschnitt eine Zelldichte aufweist, die 620 Zellen/cm² oder mehr beträgt, und in dem Verbundeinheits-Formgebungsschritt die Pressbehandlung an den Seitenflächen der Wabensegment-Verbundeinheit (1A) mit einem Anpressdruck in einem Bereich von 0,005 kg/cm² bis 0,05 kg/cm² ausgeführt wird.

2. Verfahren zum Herstellen einer Wabenstruktur nach Anspruch 1, wobei die Wabenstruktur eine Wärme/Akustikwellen-Umwandlungskomponente (1) ist, die als die Vielzahl von Wabensegmenten (15) eine Vielzahl von Wabensegmenten (15) umfasst, die jeweils eine Trennwand (11) aufweisen, die eine Vielzahl von Zellen (14) begrenzt, deren Inneres mit einem Arbeitsfluid gefüllt ist, das schwingt, um Akustikwellen zu übertragen, und die zwischen der Trennwand (11) und dem Arbeitsfluid ausgetauschte Wärme und eine aus den Schwingungen des Arbeitsfluids resultierende Energie von Akustikwellen wechselseitig umwandelt.

3. Verfahren zum Herstellen einer Wabenstruktur nach einem der Ansprüche 1 oder 2 wobei der Trocknungs-/Brennschritt umfasst, nach dem Trocknen der beim Verbundeinheits-Formgebungsschritt geformten Wabensegment-Verbundeinheit (1A) und vor dem Brennen das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein eines Spalts zwischen der Vielzahl von Wabensegment-Formkörpern (15A), die nach dem Trocknen die Wabensegment-Verbundeinheit (1A) ausmachen, zu bestimmen, und wenn bestimmt wird, dass ein Spalt vorhanden ist, das Bondingmaterial (12A) in den Spalt einzuführen, um den Spalt zu korrigieren und dann die Wabensegment-Verbundeinheit (1A) zu brennen.

4. Verfahren zum Herstellen einer Wabenstruktur nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei ein hydraulischer Durchmesser HD jeder Zelle (14) in jedem der Vielzahl von Wabensegmenten (15) 0,4 mm oder weniger beträgt, wobei der hydraulische Durchmesser HD als $HD = 4 \times S/C$ definiert ist, wobei S eine Fläche eines Querschnitts von jeder Zelle (14) in einer zu der Erstreckungsrichtung der Zellen (14) senkrechten Ebene bezeichnet und C einen Umfang des Querschnitts bezeichnet.

5. Das Verfahren zum Herstellen einer Wabenstruktur nach Anspruch 4 wobei der Formkörper-Umformschritt umfasst, die Vielzahl der Wabensegment-Formkörper (15A) zu formen, indem ein Knetmaterial unter Verwendung eines ersten Formwerkzeugs extrudiert wird, das einen Schlitz mit einer Breite in einem Bereich von 0,04 mm bis 0,09 mm aufweist, und das extrudierte Knetmaterial unter Verwendung eines zweiten Formwerkzeugs, das einen Schlitz mit einer Form aufweist, die einer Form der Trennwand (11) von einem jeden der Vielzahl von Wabensegment-Formkörpern (15A) entspricht, in eine Wabenform extrudiert wird.

6. Verfahren zum Herstellen einer Wabenstruktur nach einem der Ansprüche 1 bis 5 wobei das bei dem Verbundeinheits-Ausbildungsschritt aufgetragene Bondingmaterial (12A) angesetzt wird, indem ein Material, das das gleiche Material umfasst wie das des Knetmaterials, das für die Extrusion der Vielzahl von Wabensegment-Formkörpern (15A) beim Formkörper-Umformungsschritt verwendet wird, in eine Schlämmeform verarbeitet wird.

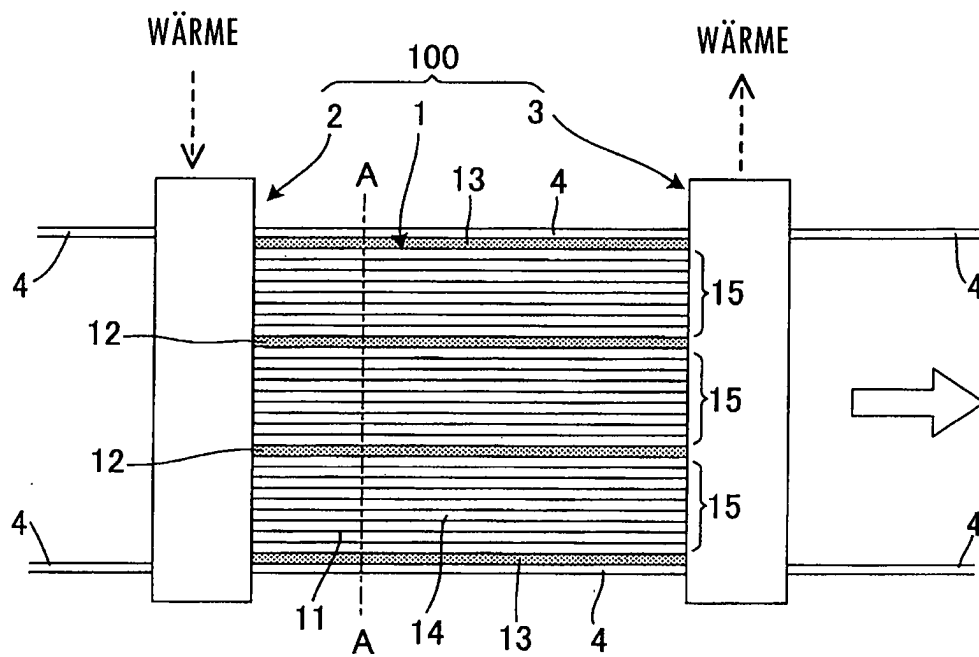
7. Verfahren zum Herstellen einer Wabenstruktur nach einem der Ansprüche 1 bis 6 wobei die Vielzahl von Wabensegmenten (15) aus Cordierit gefertigt ist.

8. Verfahren zum Herstellen einer Wabenstruktur nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei jedes der Vielzahl von Wabensegmenten (15) in einer zur Erstreckungsrichtung der Vielzahl von Zellen (14) senkrechten Ebene eine Querschnittsfläche in einem Bereich von 4 cm² bis 50 cm² aufweist und die Wabenstruktur als ein Ganzes in der Ebene eine Querschnittsfläche in einem Bereich von 25 cm² bis 1600 cm² aufweist.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG.1



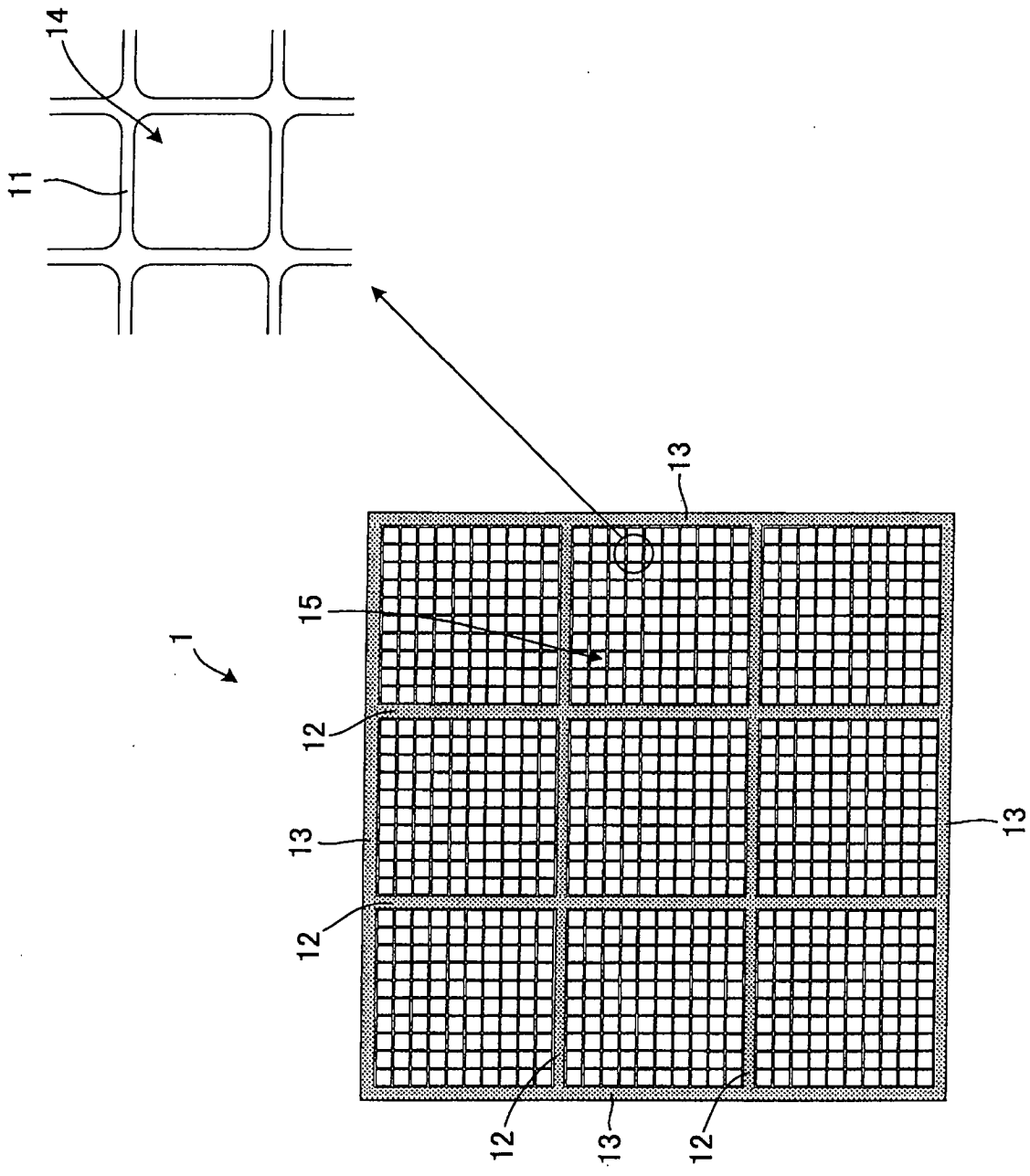


FIG.2

FIG.3

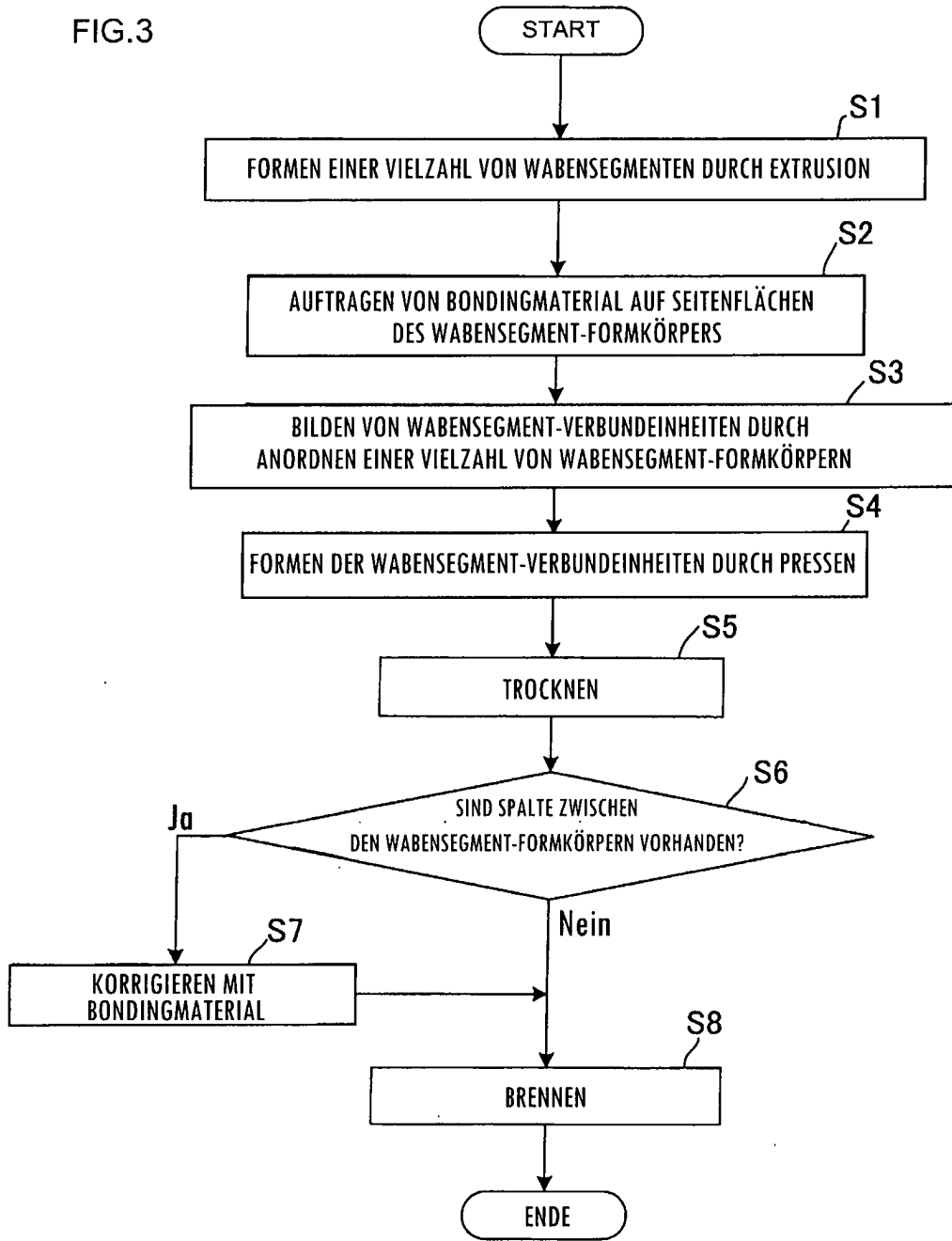


FIG.4

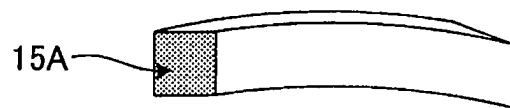


FIG.5

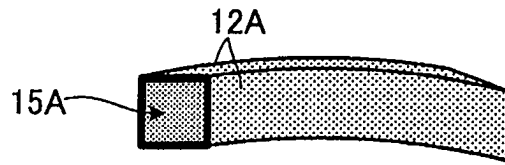


FIG.6

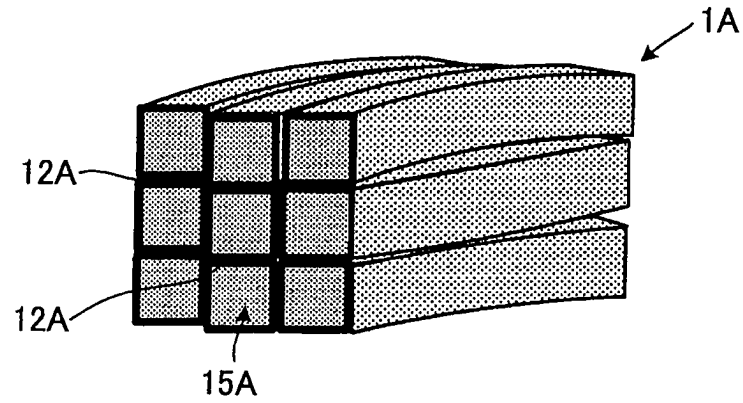


FIG.7

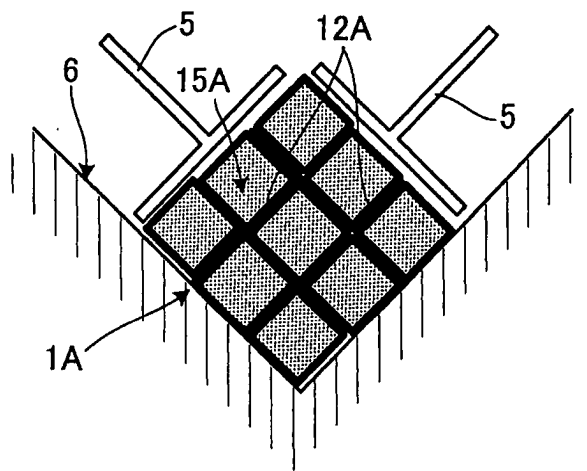


FIG.8

