



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 696 28 942 T2 2004.05.27

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 0 873 491 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 696 28 942.3

(86) PCT-Aktenzeichen: PCT/US96/20261

(96) Europäisches Aktenzeichen: 96 944 885.1

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 97/024572

(86) PCT-Anmeldetag: 23.12.1996

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: 10.07.1997

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 28.10.1998

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: 02.07.2003

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 27.05.2004

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: B01J 10/00

B01J 12/00, B01J 14/00, B01J 15/00,

B01J 16/00, B01J 19/32, B01J 35/02,

F28D 17/02

(30) Unionspriorität:

9876 P 29.12.1995 US  
630958 05.04.1996 US

(73) Patentinhaber:

Lantec Products, Inc., Agoura Hills, Calif., US

(74) Vertreter:

Jeck . Fleck . Herrmann Patentanwälte, 71665  
Vaihingen

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT, BE, CH, DE, ES, FR, GB, IE, IT, LI, NL, SE

(72) Erfinder:

LANG, C., Ko, Agoura Hills, US; HUANG, Jun,  
Lanzhou 730060, CN

(54) Bezeichnung: KERAMISCHER FÜLLKÖRPER MIT KANÄLEN, FÜR THERMISCHE UND KATALYTISCHE BETTEN

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

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

## Beschreibung

### Querverweis zur vorliegenden Patentanmeldung

[0001] Diese Patentanmeldung ist eine Fortsetzungsanmeldung der Anmeldung mit der Seriennummer 08/630 958, angemeldet am 5. April 1996, und der vorläufigen Anmeldung mit der Seriennummer 60/009 876, angemeldet am 29. Dezember 1995.

### Technisches Gebiet

[0002] Die vorliegende Erfindung betrifft Prozesse, die Lagerkörper aus einer tafelförmigen, keramischen Packung zur Erhitzung eines Fluidkörpers und/oder zur Reaktion mit diesem oder diesen Lagerkörper als Träger für einen Katalysator verwenden, und betrifft insbesondere solche Prozesse, die verbesserte, keramische Packungen für die Lagerkörper verwenden.

### Erfindungshintergrund

[0003] Austauschbare Wärmelagerkörper werden dazu verwendet, die Wärme von einem ersten heißen Fluidstrom aufzunehmen und zu speichern und dann die Wärme auf einen zweiten kalten Fluidkörper zu übertragen, bevor eine Reaktion, wie beispielsweise eine Verbrennung, Oxidation, Reduktion oder ein anderer chemischer Prozess, auftritt, unabhängig davon, ob diese Reaktion beim Vorhandensein oder Nichtvorhandensein eines Katalysators stattfindet.

[0004] Ursprünglich wurde Gesteinsgrus als Füllmaterial für den Lagerkörper verwendet. Keramische Sattelfüllkörper und Raschig-Ringe sind seit fahrzeughnten benutzt worden. Wenn die Sattelfüllkörper und Raschig-Ringe unabsichtlich in ein Wärmetauschergehäuse gepackt werden, können sie örtlich in einer Orientierung gestapelt werden, die die Strömung verhindert. Die Strömung durch das Materialbett ist ungleichmäßig, und der Druckabfall in einem Sattelfüllkörper, Gesteinsgrus oder Ringe enthaltenden Wärmetauscher ist relativ hoch, gewöhnlich um 10 Zoll Wassersäule. Ferner können örtlich versperrte Bereiche ein Fluid festhalten, das den Strom eines zweiten Fluids kontaminieren kann oder das in die Umgebung entweichen kann.

[0005] Neuerdings ist im US-Patent 5 352 115 die Verwendung von monolithischen Säulen aus keramischem Material für die Wärmetauschersäulen in einem austauschbaren Wärmeoxidationssystem zur Reinigung von Verbrennungsgas offenbart worden. Die monolithischen Säulen haben einen geringeren Druckabfall und vermindern die Kontamination, die mit dem unabsichtlichen Packen von Sattelfüllkörpern oder Ringen verbunden ist.

[0006] Monolithische Säulen mit einer Katalysatorschicht sind ebenfalls bei katalytischen Prozessen der Synthese oder der Umwandlung von Gasströmen in andere Produkte und bei der Behandlung von Abgasen von Verbrennungsmaschinen oder bei industriellen Prozessen verwendet worden. Die Herstellung von monolithischen Säulen ist jedoch teuer. Ferner sind monolithische Säulen hart und spröde. Nach mehreren Aufheizungs- und Kühlzyklen kann die Säule Belastungsrisse und -brüche zeigen oder in kleine Stücke zersplittern. Die Säule wird betriebsunfähig und muss ausgetauscht werden. Dies kann im Fall von Säulen, die mit edlen oder seltenen Erdmetallen oder metallischen Verbindungen, die beispielsweise Palladium, Rhodium usw. enthalten, beschichtet sind, ziemlich teuer werden. Auch sind die Kanäle der monolithischen Säulen gasdicht, was zu keiner seitlichen Verteilung des Gasstroms in den Kanälen führt.

[0007] Die EP 0 206 067 (Stettner) offenbart einen keramischen Aufbaukörper mit einer Vielzahl von gestapelten Platten, die parallele, auf einer Plattenseite angeordnete Rippen zur Bildung von Strömungskanälen durch den Körper aufweisen.

### Zusammenfassung der Erfindung

[0008] Gemäß der Erfindung ist ein keramisches Packungselement nach Anspruch 1 vorgesehen. Ferner ist gemäß der Erfindung ein Verfahren zur Bildung eines keramischen Packungselementes nach Anspruch 9 vorgesehen.

[0009] Eine Säule mit einem der monolithischen Säule ähnlichen Aufbau ist gemäß der Erfindung zu einem Bruchteil der Kosten für die Herstellung einer monolithischen Säule vorgesehen. Statt die Säule als homogene, einheitlichen Körper herzustellen, ist die Säule durch Stapeln einer Vielzahl von keramischen Platten gebildet. Die keramischen Platten können ausgehärtet oder im ungehärteten Ursprungszustand belassen sein. Die Platten weisen zwischen den Rippen gebildete Nuten auf. Wenn die Platten mit den Rippen und Nuten parallel zu den Rippen und Nuten der Gegenplatte gestapelt werden, wird ein Element gebildet, das eine Vielzahl von Kanälen aufweist, die durch das Element verlaufen.

[0010] Die Rippen auf der Platte können an der gegenüberliegenden Fläche angeklebt sein. Wenn die gegen-

überliegende Platte eben ist und die Rippen die gleiche Höhe haben, kontaktiert die gegenüberliegende Fläche die Endflächen, so dass Kanäle entstehen. Die Kanäle können dem Fluid erlauben, aufgrund der Nichtkontinuität der Bindung zwischen den gegenüberliegenden Flächen seitlich auszutreten. Das Volumen und der Querschnitt des Kanals wird durch das Volumen und den Querschnitt der Nuten bestimmt. Die Platten können flach sein und regelmäßige oder unregelmäßige, polygonale Formen, beispielsweise eine quadratische, rechteckige, dreieckige, fünfeckige, sechseckige oder runde Form, aufweisen. Die Platten können einen regelmäßig welligen Querschnitt oder einen wiederholt vieleckigen Querschnitt aufweisen. Die Platten können die gleiche Größe aufweisen oder im Stapel an Größe zunehmen und/oder abnehmen. Die Platten können zu einem geschlossenen Zylinder gebogen sein, und jede Platte hat einen größeren Durchmesser als die vorhergehende Platte um die Stärke der vorhergehenden Platte. Alle Nuten sind parallel zueinander, so dass die Platten mit ausgerichteten Spalten gestapelt werden können.

[0011] Die Größe der Platten und der durch die Platten gebildeten Elemente hängt von der beabsichtigten Verwendung der Elemente ab. Wenn die Elemente in einem katalytischen, selbstbeweglichen Reaktor verwendet werden sollen, werden die Elemente mit ihren Enden und Seiten derart gestapelt, dass sich eine Säule ergibt. Die Elemente sind gewöhnlich rechteckig und durch quadratische Platten gebildet. Die Platten können eine Höhe und eine Breite aufweisen, die im Bereich von 0,5–12 Zoll (12,7–304,8 mm), üblicherweise 1–4 Zoll (25,4–101,6 mm), liegt. Die Stärke der Platten kann im Bereich von 0,01–1,0 Zoll (0,25–25,4 mm), üblicherweise 1–12 Zoll (25,4–304,8 mm), liegen. Die Höhe der Elemente kann im Bereich von 0,5–50 Zoll (12,7–1270 mm), üblicherweise 1–12 Zoll (25,4–304,8 mm), liegen.

[0012] Wenn die Elemente als regellose Füllkörper in einem Turm verwendet werden sollen, sind die Elemente vorzugsweise vieleckförmig, und sie weisen üblicherweise einen Durchmesser im Bereich von 0,2–5 Zoll (5–127 mm), generell 0,5–3 Zoll (12,7–76,2 mm), auf. Die Nuten können im Querschnitt gebogen, dreieckig oder rechteckig sein. Die Spitze der Rippen kann spitz, flach oder abgerundet sein. Eine flache Spitze wird vorzogen, wenn die größeren Kontaktflächen miteinander verbunden werden, so dass ein geschlossener Kanal entsteht. Die Nuten sind vorzugsweise so schmal wie möglich und sollen so nah wie möglich aneinanderliegen. Üblicherweise weisen die Nuten eine Tiefe und Breite auf, die im Bereich von 0,01–1,0 Zoll (0,25–25,4 mm), vorzugsweise 0,04–0,5 Zoll (1,0–12,7 mm), liegen.

[0013] Die Elemente gemäß der Erfindung enthalten etwa die gleiche Menge an keramischem Material wie ein äquivalent bemessenes, monolithisches Element. Die Herstellungskosten sind jedoch wesentlich geringer. Die gerippten Platten können durch Stanzen, Gießen oder Extrudieren hergestellt werden. Die Platten werden bei einer Ausführung in die gewünschte Form geschnitten und im unbehandelten oder gebrannten Zustand in der Form eines Elements gestapelt. Die aus unbehandelten Platten hergestellten Elemente werden dadurch nachbehandelt, dass der Stapel der unbehandelten Platten gebrannt wird.

[0014] Wenn die Stapel gebrannt werden, verbinden sich die Rippenteile und die in Kontakt mit ihnen stehenden, gegenüberliegenden Rippen oder die gegenüberliegende Wand miteinander. Jedoch wirken die vielen Punkte, bei denen die Rippen sich nicht verbinden, belastungsentspannend, da sie die Ausdehnung und das Zusammenziehen der Platten ausgleichen, so dass die Rippen oder Platten nicht reißen. Dadurch werden Spalten zwischen den Kanälen gebildet. Da die Prozessgase jedoch in derselben Richtung strömen, gibt es keinen Wirksamkeitsverlust. Tatsächlich scheint sich die Stoffübergangswirksamkeit dadurch zu vergrößern, dass eine Querströmung des Gases zwischen den Kanälen erlaubt wird. Die scharfen Kanten der Öffnungen zwischen den Kanälen können die Bindungsschicht stören, so dass der Stoffübergang erhöht wird. Der Stoffübergang und die Belastungsentspannung werden ferner dadurch erhöht, dass Öffnungen in der Wand der Platten vorgesehen sind. Sowohl die seitliche Verbreitung des Fluids zwischen den Kanälen als auch die Öffnungen tragen zur Verminderung des Druckabfalls in der Säule bei. Der wiederholte Kreislauf in den keramischen Säulen kann Risse hervorrufen, die sich am Eingang der Säule entwickeln. Diese Risszerzeugung kann verhindert und der Druckabfall kann weiter vermindert werden, indem die Kanäle an ihren Eingängen in geeigneter Weise durch Fortlassen einer kurzen Länge der Rippen aufgeweitet werden. Die Verteilung des Gases zwischen den Kanälen scheint auch die Verbundströmung zu verbessern.

[0015] Die Elemente können auch dadurch hergestellt werden, dass die Platten zuerst gebrannt werden. Die so behandelten Platten werden dann zu einem Element gestapelt und durch Kleben der vorgebrannten Elemente mit Klebstoff oder durch Zusammenbinden des Stapsels mit Bändern oder Hüllen stabilisiert. Die Bänder oder Hüllen können aus Metall oder aus einem unbeständigen Material, beispielsweise einer organischen Kunststofffolie wie Polyethylen oder Saranhüllen; bestehen. Die unbeständigen, organischen Materialien werden während des Aufwärmens des Wärmetauschers oder der Elementensäule aufgedampft. Die Aufdampfung eines organischen Klebstoffs wie Epoxyharz und/oder die organische Folie führt jedoch zu Kohlenoxidverunreinigungen der Atmosphäre. Es wird vorgezogen, einen nichtorganischen, feuerfesten Klebstoff, beispielsweise Siliziumwasserglas, für das Kleben des Kunststoffs zu verwenden. Das Stapeln der Elemente zu einer geordneten Säule kann dadurch erleichtert werden, dass eine Vielzahl von Elementen zu einem Vieffachelementaufbau gebunden wird, indem die Elemente seitlich und oben und unten zu einem Stapel ausgerichtet werden und dieser Stapel durch Klebstoff oder mechanische Bindemittel, beispielsweise Draht, Maschendraht, Metall-

klipps oder Metallbänder, zusammengebunden wird.

[0016] Die Keramikplatten und Elemente werden im Allgemeinen aus feuerfesten Tonen gebildet, die im Allgemeinen solche Bestandteile wie  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}_2$  usw. enthalten. Das keramische Element wird von den Gasen, die durch den Regenerativwärmetauscher strömen, nicht angegriffen und bleiben bei den während des Prozesses erreichbaren, höchsten Temperaturen fest.

[0017] Eine Prüfung wurde durchgeführt, bei der eine Säule, die aus Elementen gebildet war, die aus gestapelten und mit ihren Kanälen ausgerichteten, gerippten Platten gemäß der Erfindung bestand, mit einer monolithischen Säule verglichen wurde die denselben Oberflächenbereich hatte. Überraschenderweise war die Ergiebigkeit bei Verwendung der gestapelten Elemente gemäß der Erfindung um 20% höher. Es war erwartet worden, dass die Ergiebigkeit niedriger sein würde, weil die unregelmäßigen Flächen der durch Gießen gebildeten Elemente den Strömungswiderstand ansteigen lassen und damit die Ergiebigkeit vermindern würde. Die rauen Flächen stören möglicherweise die in deren Nähe liegende Bindungsschicht und erhöhen die Mischung und Reaktion zwischen den in der Bindungsschicht strömenden Gasen.

[0018] Obwohl diejenigen Elemente, die durch Brennen von unbehandelten Platten nach dem Aufbau zu einem Element gebildet werden, eine Belastungsentspannung an Punkten vorsehen, an denen die Platten nicht aneinanderkleben, wurde festgestellt, dass diejenigen Element, die aus vorgebrannten Platten gebildet werden, dasselbe leisteten und sogar geringere Risserscheinungen aufwiesen. Ferner ist es viel billiger, zuerst die Platten zu brennen und sie dann später zusammenzufügen. Die festen, gebrannten Platten sind auch leichter zu handhaben als die weichen, unbehandelten Platten. Die ortsfesten und festen Rippen einer gebrannten Platte kann auch ohne Verformung der Rippen oder der Platte zusammengedrückt werden. Die weichen, formbaren Rippen einer unbehandelten Platte können gebogen und gestreckt werden, wenn sie unter Kraft gehandhabt oder platziert werden.

[0019] Diese und viele andere Merkmale und damit verbundene Vorteile der Erfindung werden anhand der folgenden, ausführlichen Beschreibung in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen klar werden, so dass die Erfindung besser verstanden werden kann.

#### Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0020] **Fig. 1–8** zeigen perspektivische Ansichten von Platten (die nicht gemäß der Erfindung ausgebildet sind) zur ausschließlichen Information,

[0021] **Fig. 9** zeigt eine Aufriss-Frontansicht eines Stapels aus behandelten Platten gemäß der Erfindung, wobei die Platten durch eine unbeständige Hülle verbunden sind,

[0022] **Fig. 10** zeigt eine Aufriss-Frontansicht eines Stapels aus gebrannten Platten,

[0023] **Fig. 11** zeigt eine perspektivische Ansicht einer Anordnung aus Elementen, die durch Metallbänder zusammengehalten werden,

[0024] **Fig. 12** zeigt eine isometrische Ansicht einer weiteren Ausführung gemäß der Erfindung mit Verbesserungen des Stapels,

[0025] **Fig. 13** zeigt einen Querschnitt längs der Linie 13–13 in **Fig. 12** und

[0026] **Fig. 14** zeigt einen Druckabfallvergleich eines Verpackungsmediums, eines Sattelfüllkörpers von 1 Zoll (25,4 mm) und eines monolithischen Mediums.

#### Ausführliche Beschreibung der Erfindung

[0027] In den **Fig. 1** und **2** ist eine Platte **10** dargestellt, die im unbehandelten oder gebrannten und damit behandelten Zustand sein kann. Die behandelten Platten können gestapelt und miteinander mittels eines Klebstoffs oder einer mechanischen Halterung der gestapelten Platten, wie Schnüre, Bänder, Metallklipps usw., verbunden werden. Die Platten **10** im unbehandelten oder behandelten Zustand können zu einem Element gestapelt werden, wie es in **Fig. 2** gezeigt ist.

[0028] Die Platte **10** weist eine Vielzahl von parallelen Rippen **14**, die von einer oberen Fläche **15** eines Zentralglieds **16** ausgehen, und eine Vielzahl von parallelen Rippen **18** auf, die von einer unteren Fläche **17** des Zentralglieds **16** ausgehen. Nuten **21**, **23** sind zwischen benachbarten Rippen **14**, **14'** und **18**, **18'** gebildet. Gegenüberliegende Endflächen **26**, **28** von Endrippen **14''** und **18''** sind zur Bildung von Endwänden **22**, **24** miteinander verbunden. Die Endflächen **26**, **28** von gegenüberliegenden und benachbarten Zwischenrippen **14**, **18** sind zur Bildung von Kanälen **30** miteinander verbunden, die das gesamte Volumen der Nuten **21** und **23** aufweisen. Die Kanäle **21**, **23** können geschlossen sein. Vorzugsweise kann das Gas durch die Schnittstellen der Endflächen **26**, **28** zum benachbarten Kanal dringen. Wie vorher erörtert wurde, können, statt die Platten **10** derart zu stapeln, dass die gegenüberliegenden Enden **26**, **28** der Rippen **14**, **18** aneinandergrenzen, die Platten derart gestapelt werden, dass die Rippen **14**, **18** in die gegenüberliegenden Nuten **21**, **23** ragen und damit zwei Kanäle in jeder Nut bilden.

[0029] In den **Fig. 3** und **4** weisen Platten **110** Rippen **114** und Nuten **121** auf, die von der oberen Fläche **122**

eines Trägerglieds **126** der Platte **110** ausgehen. Gezeigt ist, dass die Platten **110** derart gestapelt sind, dass die Endflächen **124** der Rippen **114** an der Rückenfläche **128** der gegenüberliegenden Platte **110'** befestigt sind, so dass ein Element **140** gebildet wird. Die Rückenfläche **128** schließt die Nuten **121** zwischen den Rippen, so dass Kanäle **132** gebildet werden. Die Endrippen **130** sind miteinander verbunden, so dass eine Endwand **134** gebildet wird.

[0030] Einige Platten **114** könnten auch derart gestapelt werden, dass die gegenüberliegenden Rippen einander zugewandt und miteinander verbunden sind, so dass nicht gezeigte, größere Kanäle gebildet werden, oder einige Platten könnten derart gestapelt werden, dass die Rippen in die Nuten ragen und am Boden der Nuten haften, so dass kleinere Kanäle gebildet werden.

[0031] In den **Fig.** 5 und 6 sind eine weitere Platte **310** und ein Element **312** gezeigt. Rippen **314**, **316** und Nuten **318**, **320** sind parallel zu einer diagonalen Zentralrippe **322** gebildet. Endflächen **324**, **326** der Rippen **314**, **316** des Elements **312** stehen wie gezeigt miteinander im Eingriff und bilden Kanäle **328**, **330**. Die Rippen könnten auch mit den Nuten verschachtelt sein, so das kleinere Kanäle gebildet werden, wie sie in **Fig.** 8 gezeigt sind.

[0032] Eine in **Fig.** 7 gezeigte Platte **400** weist eine Vielzahl von parallelen Rippen **402**, die von einer oberen Fläche **404** eines Zentralglieds **406** ausgehen, und eine Vielzahl von parallelen Rippen **408** auf, die von einer unteren Fläche **410** des Zentralglieds **406** ausgehen. Um eine ebene Seitenwand **430** zu bilden, weist eine gegenüberliegende Platte **424** eine Rippe **418'**, **420''** auf jeder Seite des Zentralglieds **428** weniger als die Platte **400** auf. Die erste Rippe **421**, **422** der Platte **424** auf jeder Seite des Zentralglieds **428** ist um eine halbe Nut **432** von der Seitenkante **436** eingerückt. Die Rippen **402**, **408** sind enger als die Nuten **412**, **414** auf der Platte **400** und die Rippen **418**, **420** auf der Platte **424** sind enger als die Nuten **437**, **438**, vorzugsweise belegen sie nicht mehr als ein Drittel des Abstands zwischen den benachbarten Rippen **402**, **408** oder **418**, **420**.

[0033] Wie in **Fig.** 8 gezeigt ist, ist ein Element **460** dadurch aufgebaut, dass die Rippen **402**, **408** in den Nuten **437**, **438** einer gegenüberliegenden Platte **424** angeordnet sind, wobei Endflächen **442**, **444** der Rippen **402**, **408** auf Bodenflächen **446**, **448** von gegenüberliegenden Nuten **437**, **438** aufsitzen. Die Rippen **402**, **408** teilen jede Nut **437**, **438** in zwei Kanäle **450**, **452**. Die Endrippen **454**, **456** schließen die offenen Enden der Platten **424**, so dass kleine Endkanäle **462** gebildet werden. Eine Anordnung aus unbehandelten Platten wird zu einem Element **460** gebrannt. Die Platten **400** und **424** können vorgebrannt sein, zu einem Stapel **460** zusammengefügt und zu einem Element mittels Klebstoff oder durch mechanische Halterungsmaßnahmen zusammengebunden werden, wie es bereits erörtert wurde.

[0034] Die Platten **400**, **424** brauchen keine Rippen aufzuweisen, die von jeder Fläche ausgehen. Die Rückenflächen können eben sein. Die Rückentflächen können mit den Endflächen der Rippen oder mit der Rückenseite einer anderen Platte verklebt sein. Die Nuten können mehr als eine Rippe, beispielsweise 1–4 Rippen, aufnehmen. Das Element kann alle Platten geschachtelt aufweisen, so dass kleinere Kanäle gebildet werden, oder einige Platten können Bereiche mit geschachtelten Rippen und Nuten sowie andere Bereiche aufweisen, in denen die Enden der Rippen mit den Enden von gegenüberliegenden Rippen verbunden sind. Einige Platten können lange Rippen, die in die Nuten ragen, und einige kurze Rippen aufweisen, die an Rippen der gegenüberliegenden Platte anstoßen.

[0035] Elemente, bei denen die Platten miteinander verklebt sind, bilden einen zerbrechlichen Keramikkörper. Obwohl es etwas Bewegungsfreiheit dort gibt, wo eine Rippe nicht mit dem Ende einer gegenüberliegenden Rippe oder mit der Innenfläche des Zentralglieds verklebt ist, kann das Element immer noch reißen, zerbröckeln und sich zersetzen, wenn es während der regenerativen Wärmeverarbeitung wiederholt aufgeheizt und gekühlt wird. In Übereinstimmung mit einer ersten Ausführung gemäß der Erfindung ist das in den **Fig.** 9, 10 gezeigte Element **500** aus geschachtelten Platten **502** gebildet, die nicht durch eine Wärmebehandlung oder Klebstoff miteinander verbunden sind.

[0036] Die Platte **502** weist eine Vielzahl von parallelen Rippen **504** auf, die von einem Zentralträger **506** nach unten verlaufen. Endrippen **507** beginnen und enden gleichzeitig mit dem Ende des Zentralglieds. Rippen **508** laufen vom Zentralträger **506** nach oben. Endrippen **511** sind von Kanten **513** des Zentralträgers um etwa die Breite einer Endrippe **507** eingerückt. Wenn die Platte **502**, **503** gestapelt werden, werden die Endrippen **507** in die eingerückten Räume gesperrt, wodurch das Gleiten des nicht aneinanderhaftenden Platten verhindert wird. Die Endrippen **507** bilden zusammen mit den Zentralträgern Endwände **512**.

[0037] Es würde viel Zeit brauchen, um jede Platte in einer Säule zu platzieren. Ferner kann sich ein Bruch während der Handhabung der einzelnen Platten oder Plattenstapel ereignen, während sie in den Mantel einer RTO- oder katalytischen Säule oder eines Wärmetauschers angeordnet werden. Wie in **Fig.** 10 gezeigt ist, kann ein Plattenstapel durch Umhüllen der Endwände **512** und der oberen Flächen **514** und unteren Flächen **516** der Platten mit einer Hülle **518** aus starkem Kunststoff, vorzugsweise einer Schrumpfhülle, beispielsweise aus Saran, das ein Vinylazetat-Vinylidenchlorid-Polymer ist, zusammengehalten werden. Das Element **520** kann dann als stabile Einheit gehandhabt und in der Säule oder auf der Oberseite und/oder an der Seite von ähnlich gestapelten Elementen angeordnet werden. Wenn Heißgase zum ersten Mal in die Säule eintreten, wird die Hülle in gasförmige Produkte zersetzt, die mit dem Heißgas aus der Säule abgeführt werden.

[0038] Um die Geschwindigkeit des Anordnens der Elemente in einer Säule weiter zu erhöhen, kann, wie nicht gezeigt ist, eine Vielzahl von Elementen **529** durch Metallbänder 522 verbunden werden, so dass eine in **Fig. 11** gezeigte Anordnung **524** gebildet wird.

[0039] Die Elemente und Module können zu Anordnungen von verschiedenen Größen und Formen zusammengefasst werden. Vorzugsweise weist die Anordnung einen rechteckigen Säulenaufbau oder einen Würfelaufbau auf. Die Module können mit seitlichen Modulen, deren Kanäle parallel zueinander verlaufen, und mit oberen und unteren Modulen ausgerichtet werden, deren Kanäle in derselben axialen Ausrichtung verlaufen. Acht Würfelmodule mit 6 Zoll (152,4 mm) bilden eine Würfelanordnung mit einer Seitenlänge von 1 Fuß (304,8 mm).

[0040] Die Verwendung von organischen Folien oder Klebstoffen führt jedoch, wie oben erörtert wurde, zu Verunreinigungen der Umgebung. Restliche Verbrennungsprodukte der organischen Folie können in der Bettung zurückbleiben. Wie in den **Fig. 12** und **13** nach einer zweiten Ausführung gemäß der Erfindung gezeigt ist, sind Platten **540** durch Auftragen eines Films aus einer wässrigen Lösung aus Natriumsilikat oder Kaliumsilikat (Wasserglas) zusammengeklebt. Das Wasser wird aus dem Film während der Trocknung mit Luft, die die Umgebungstemperatur aufweist, verdampft, und es bilden sich Natrium- oder Kaliumsilikatbindungen an den Kontaktstellen zwischen den Endflächen **534** der Rippen **508, 504** und der unteren Fläche **536** der Nuten **538** aus.

[0041] Die einander zugewandten, ungebundenen Flächen erlauben einen seitlichen Übergang des strömenden Gases zwischen benachbarten Kanälen. Dies führt zu einer wirksameren Mischung des Gases und der Flüssigkeit, so dass der Wärme- und Stoffübergang je Volumen der Packung erhöht und der Druckabfall vermindert wird. Weitere Verbesserungen der Wirksamkeit der Mischung und der Belastungsentspannung können dadurch vorgesehen werden, dass Öffnungen **542** in den Platten gebildet werden, um die Verbindung zwischen benachbarten Kanälen zu erhöhen. Ferner wird der Druckabfall dadurch verbessert, dass die Eingangsöffnungen zu den Kanälen derart verbreitert werden, dass ein kurzer Abschnitt der Rippe **544** weggelassen wird.

[0042] Ein bekanntes Packungsmodul gemäß der **Fig. 7** wurde dadurch präpariert, dass ein Stapel aus behandelten, mit Wasserglas beschichteten Keramikplatten durch Luft getrocknet wurde, um ein Modul zu bilden. Die Rippen wiesen eine Höhe von etwa 7,0 mm auf, hatten abgerundete Enden und hatten einen Abstand von etwa 7,24 mm voneinander.

[0043] Das Modul hatte die folgenden Abmessungen und physikalischen Eigenschaften:

#### Phyikalische Abmessungen

Schichtstärke	1,5 mm
Modulgesamtabmessungen	12" x 12" x 4" (304,8 x 304,8 x 101,6 mm)
Spezifischer Flächenbereich	210 Fuß <sup>2</sup> /Fuß <sup>3</sup> (688 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )
Gewicht	72 Pfund/Fuß <sup>3</sup> (1153 kg/m <sup>3</sup> )
Fehlstellenanteil	60%

#### Physikalische Eigenschaften

Spezifische Schwerkraft	2,25–2,35
Wasserabsorption (ASTM C373)	≤ 0,5%
Säurewiderstandskraft Wasserverlust (ASTM C279)	≤ 4%
Maximale Arbeitstemperatur	2350°F (1288°C)
Wärmekapazität	0,22 BTU/Pfund °F (920,5 Joule/kg °K)
Kaltbruchkraft	15000 Pfund/Fuß <sup>2</sup> (22,3 kPa)

[0044] Die Leistungsfähigkeit des Packungsmoduls wurde mit einem monolithischen Keramikmedium und mit Sattelkörpern von 1 Zoll (25,4 mm) und 0,5 Zoll (12,7 mm) verglichen. Die in **Fig. 14** gezeigten Daten sind ein Vergleich der Druckabfälle der drei Packungsmedien, wobei ein Luftstrom mit einer Temperatur von 70°F (21°C) verwendet wurde.

[0045] Die Medientiefe zum Erreichen einer RTO-Wärmewiedergewinnung von 95% bei 200 fpm für Sattelkörper beträgt fast 2 2/3 mal so viel wie bei dem Medium gemäß der Erfindung, und die Medientiefe für ein monolithisches Medium beträgt 1 2/3 mal so viel wie bei dem Vielschichtmedium MLM gemäß der Erfindung.

[0046] Das MLM-Medium gemäß der Erfindung ist das wirksamste und kostenärmste Wärmewiedergewinnungsmedium für regenerative Wärmeoxidationssysteme (RTO). Die Betriebsdaten bestätigen, dass das MLM die erste wesentliche Verbesserung bei 1-Zoll-Sattelkörpern seit Jahrzehnten ist. Das MLM sorgt für extrem

hohe Wärmewirksamkeiten. Die neue MLM-Packung überflügelt alle anderen keramischen Medien beim Wärmetausch, bei der Energiewirksamkeit und beim Druckabfall. Sie vermindert Kapital- und Betriebskosten. Das MLM hat den Labor- und Feldtest bestanden, und die Ergebnisse waren hervorragend. Das MLM heizt schneller auf und kühl schneller ab; im Vergleich mit Sattelkörpern weist die dünne Schichtform des MLM viel mehr ihres Materials in 1 mm der Fläche auf. Wegen der untereinander verbundenen Kanäle (im Gegensatz zu isolierten, einzelnen Kanälen in monolithischen Körpern) strömt auch das Gas in alten Richtungen. Dadurch wird sowohl die Wärmeübertragung erhöht als auch die Verstopfungsneigung vermindert. Die MLM-Packung ist ein technischer Durchbruch. Mit den verminderten Kapital- und Betriebskosten und der größeren Wirksamkeit wird sich das MLM selbst bald durchsetzen.

[0047] Das MLM-Packungsmaterial ist, wie angenommen werden kann, einer der größten Fortschritte auf dem Gebiet der Packungsentwicklung seit Jahrzehnten, wobei eine hohe Flexibilität bei Entwurfsänderungen vorhanden ist. Das MLM kann bei der RTO verwendet werden und ist auch bei Stoffübergangsanwendungen nützlich, die korrosive Ströme und hohe Temperaturen wie bei der Absorption und dem Trocknen in einer Schwefelsäureanlage, beim Bergbau, bei der Mineralwiedergewinnung, Laugung, Auflösung und der Absorption in einer petrochemischen Anlage umfassen.

[0048] Es sei darauf hingewiesen, dass nur bevorzugte Ausführungen gemäß der Erfindung beschrieben werden sind und dass zahlreiche Ersetzungen, Änderungen und Abwandlungen erfolgen können, ohne vom Schutzmfang, der in den folgenden Ansprüchen definiert ist, abzuweichen.

### Patentansprüche

1. Keramisches Verpackungselement aus einem Stapel von mindestens zwei Platten (502, 540) mit einer ersten Oberfläche und einer zweiten Oberfläche, wobei

- die ersten und zweiten Oberflächen auf einer Vielzahl von Platten eine Vielzahl von parallelen Rippen (508, 504) aufweisen, die von den ersten und zweiten Oberflächen ausgehen,
- eine Vielzahl der genannten Rippen in derselben Ebene Endflächen (534) aufweist und die Rippen (508, 504) auf entgegengesetzten Oberflächen der Platten miteinander verschränkt sind, wodurch eine Vielzahl von parallelen, im Wesentlichen geschlossenen Kanälen gebildet ist,
- Mittel zur Verriegelung einer Platte mit einer benachbarten Platte vorgesehen sind, um die Bewegung der Platten in einer Richtung zu verhindern, die senkrecht zu den Kanälen steht,
- die genannten Mittel Endrippen (508) aufweisen, die anschließend an die Seiten einer ersten Platte angeordnet und um die Dicke von Endrippen (507) eingerückt sind, die auf den Seiten einer entgegengesetzten Platte angeordnet sind, wobei, wenn die Platten (502, 540) mit den eingerückten Endrippen der ersten Platte, die an die Endrippen (507) der entgegengesetzten Platte anschließt, derart zusammengebaut sind, dass eine Bewegung senkrecht zu den Kanälen verhindert wird, eine fortlaufende Wand durch die genannten, zusammenwirkenden Endrippen (507, 508) der Platten gebildet ist,

**dadurch gekennzeichnet**, dass

- die auf den ersten Oberflächen der genannten Vielzahl von Platten gebildeten Rippen parallel zu denjenigen Rippen liegen, die auf den zweiten Oberflächen der genannten Vielzahl von Platten gebildet sind, so dass alle genannten Kanäle parallel zueinander angeordnet sind,
- mindestens einige der genannten Vielzahl von Platten Öffnungen (542) aufweisen, die durch die genannten Platten zwischen den genannten Rippen geführt sind, und
- mindestens Teile von mindestens einigen der Endflächen (534) der genannten Rippen einen Abstand von den ersten und zweiten Oberflächen der Platten aufweisen, so dass ein Gasquerstrom zwischen den Kanälen erlaubt wird.

2. Keramisches Verpackungselement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass es ferner Mittel zum Ankleben von einigen der genannten Endflächen an eine erste Oberfläche einer benachbarten Platte aufweist, wobei diese Mittel ein anorganischer Klebstoff (532) sind.

3. Keramisches Verpackungselement nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Klebstoff Natrumsilikat ist.

4. Keramisches Verpackungselement nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Rippen auf der ersten Oberfläche einer entgegengesetzten zweiten Platte einen größeren Abstand als die Breite der Rippen auf der ersten Oberfläche der ersten Platte aufweisen.

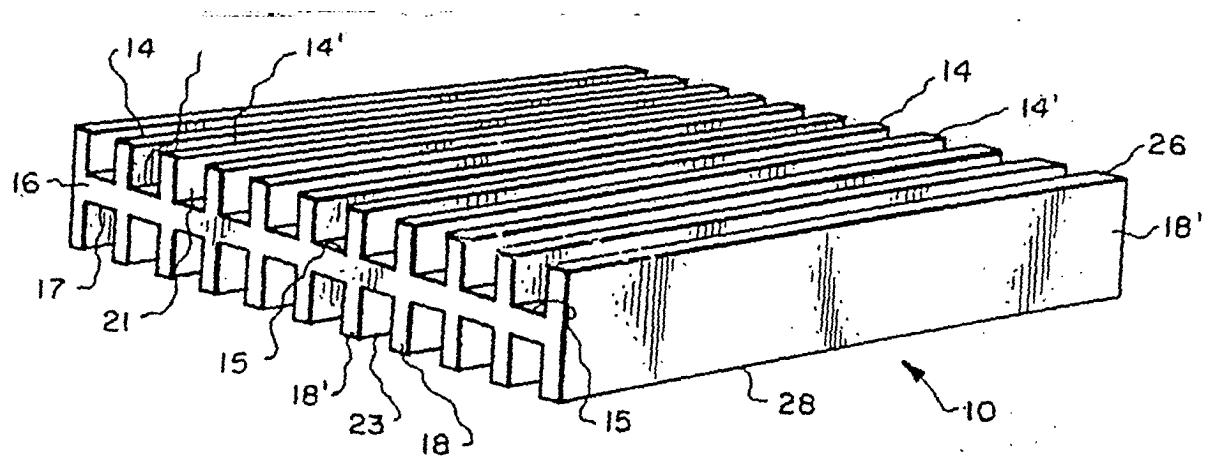
5. Keramisches Verpackungselement nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Kanäle einen vergrößerten Eingang aufweisen.

6. Keramische Verpackungselementanordnung mit einer Vielzahl von im Anspruch 1 definierten Verpackungselementen, deren Kanäle in der Anordnung miteinander ausgerichtet sind, und mit Mitteln zum Zusammenhalten der Verpackungselemente.

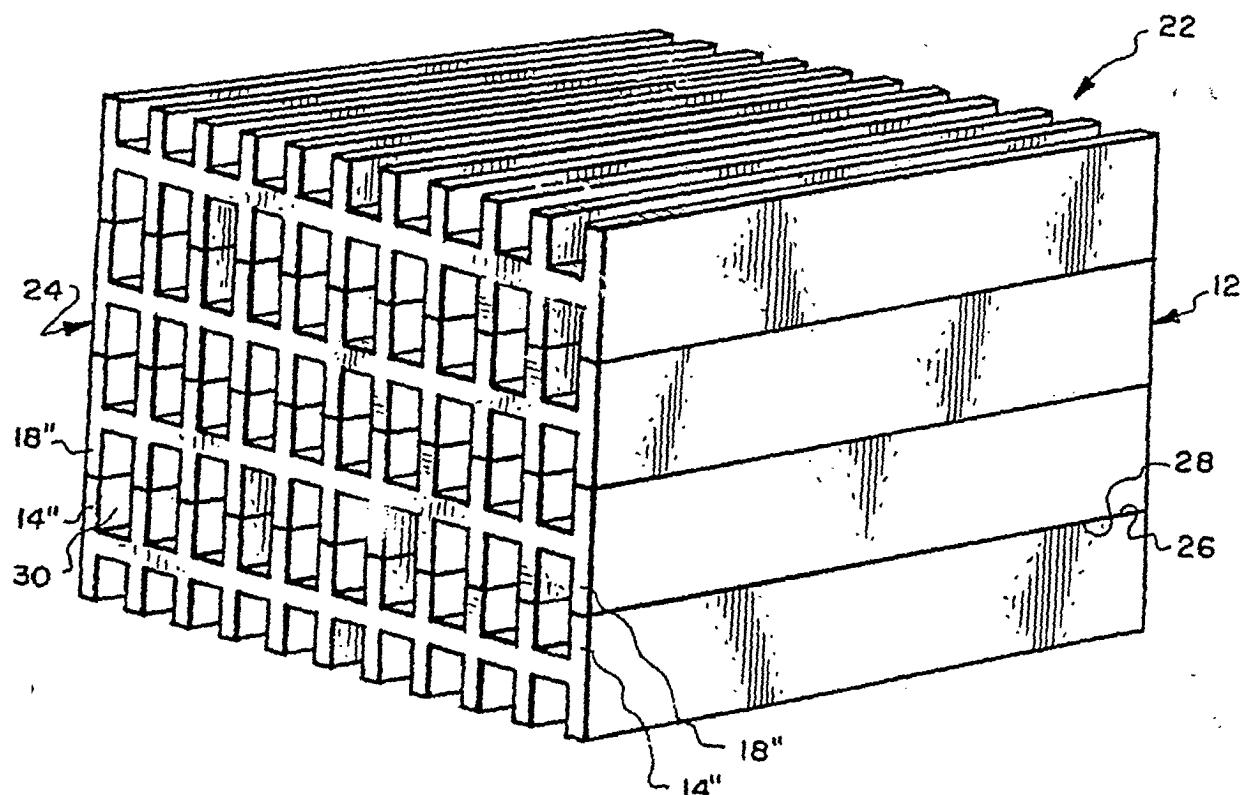
7. Verfahren zur Bildung eines keramischen Verpackungselements nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch folgende Schritte:

- auf ersten und zweiten Oberflächen einer Vielzahl von keramischen Platten (**502, 540**) wird eine Vielzahl von parallelen, durchlaufenden Rippen (**504, 508**) mit parallelen Rillen zwischen diesen gebildet,
- Öffnungen (**542**) werden durch die genannten Platten zwischen den genannten Rippen bei mindestens einigen der genannten Vielzahl von Platten gebildet,
- die Platten (**502, 540**) werden derart gestapelt, dass die Rippen (**504, 508**) auf entgegengesetzten Platten mit den äußeren Endflächen der Rippen miteinander verschrankt werden, die die entgegengesetzte erste Oberfläche kontaktieren, um im Wesentlichen geschlossene, parallele Kanäle zu bilden, wobei mindestens Teile von mindestens einigen der Endflächen (**534**) der genannten Rippen einen Abstand von den ersten und zweiten Oberflächen der Platten aufweisen, so dass ein Gasquerstrom zwischen den Kanälen erlaubt wird,
- benachbarte Platten werden durch Einrücken einer Endrippe (**508**) auf einer ersten Platte um die Breite einer entgegengesetzten Endrippe (**507**) miteinander verriegelt.

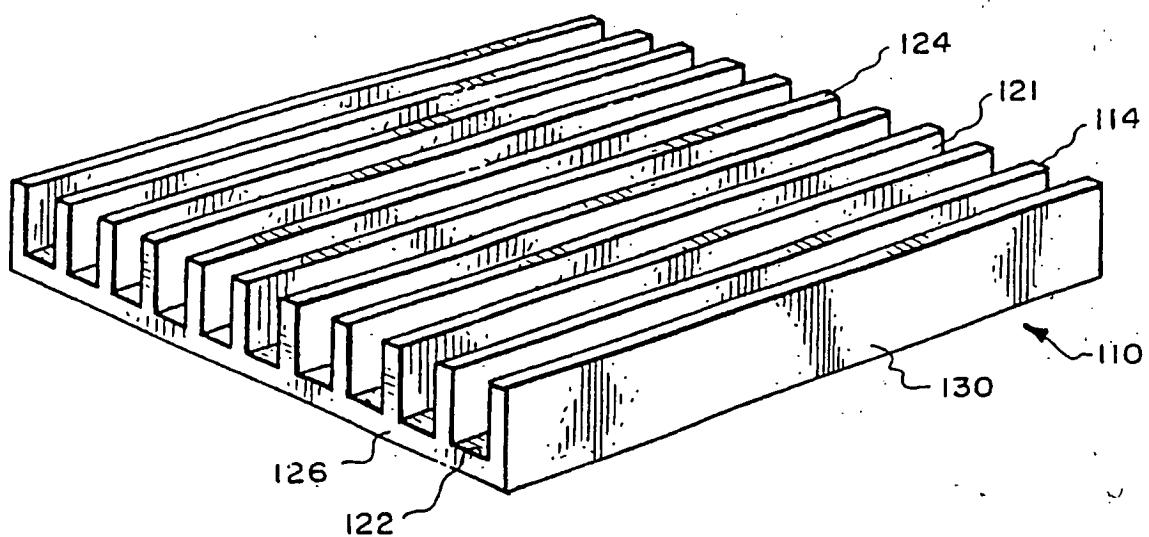
Es folgen 8 Blatt Zeichnungen



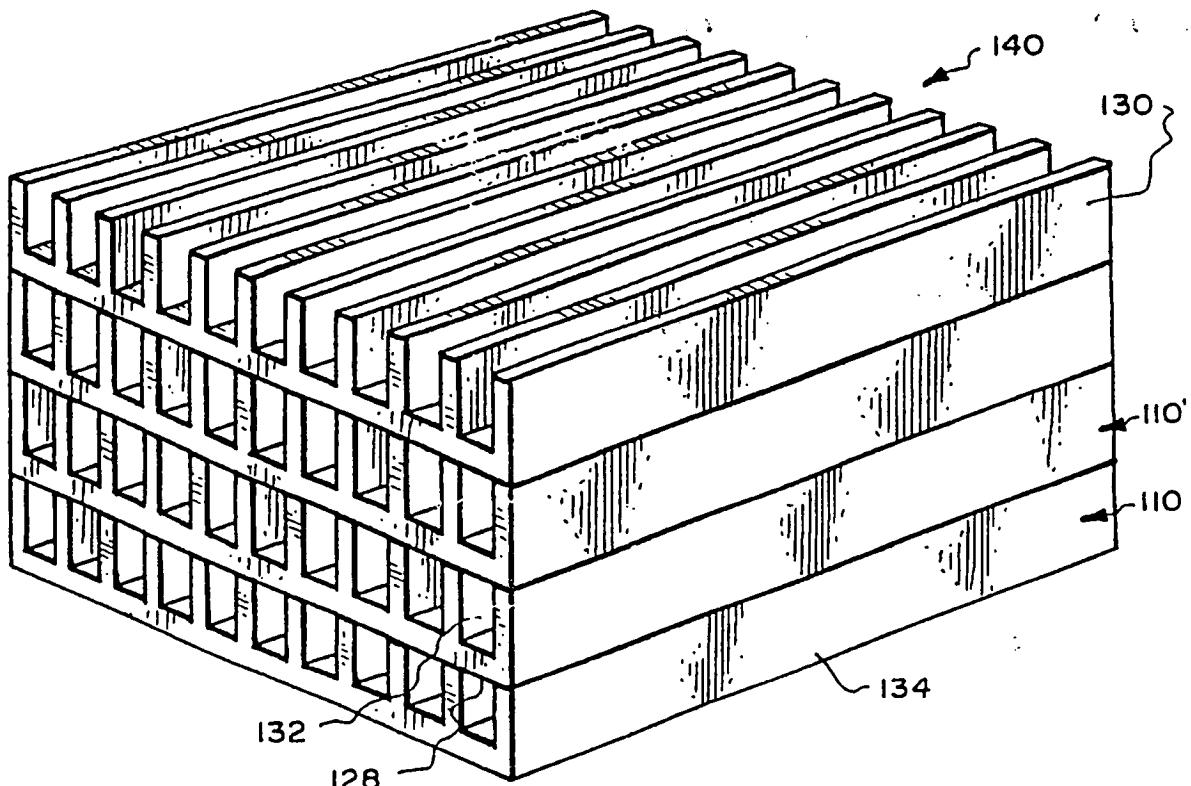
*Fig. 1.*



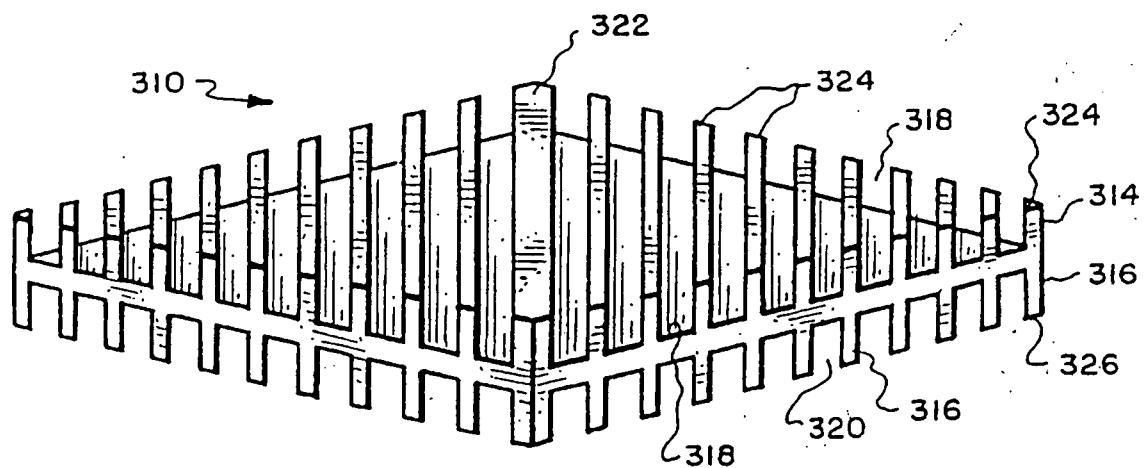
*Fig. 2.*



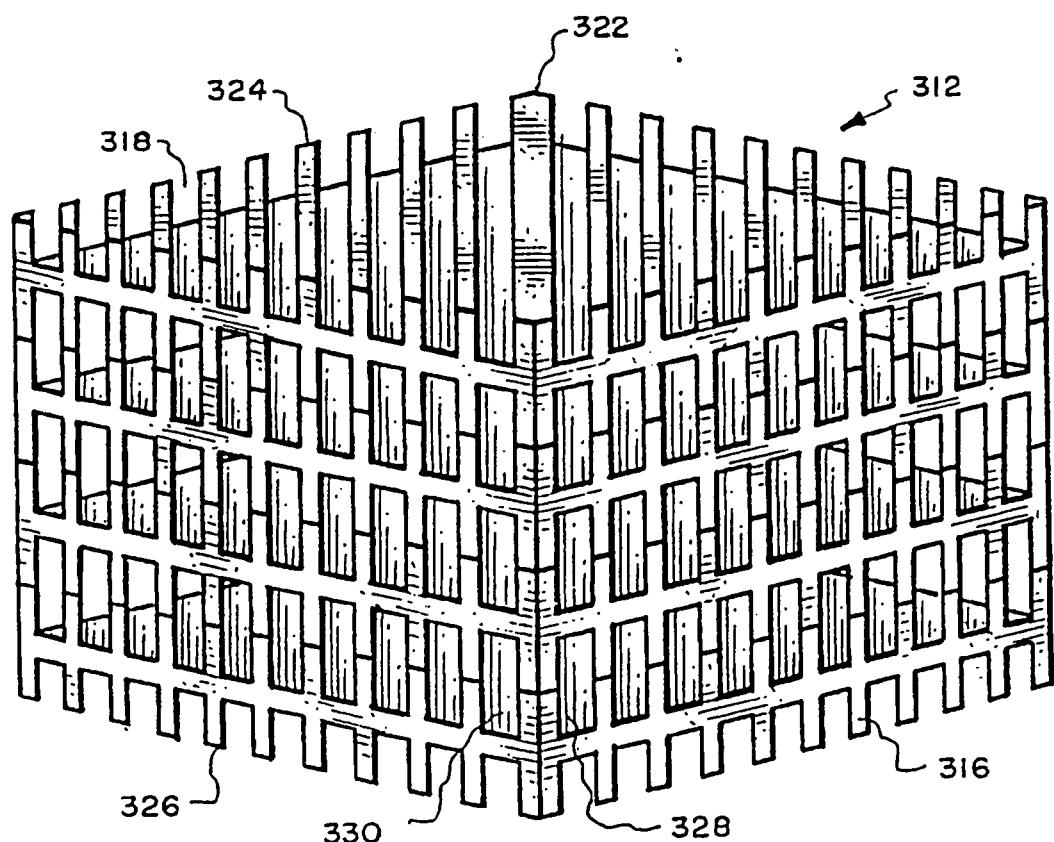
*Fig. 3.*



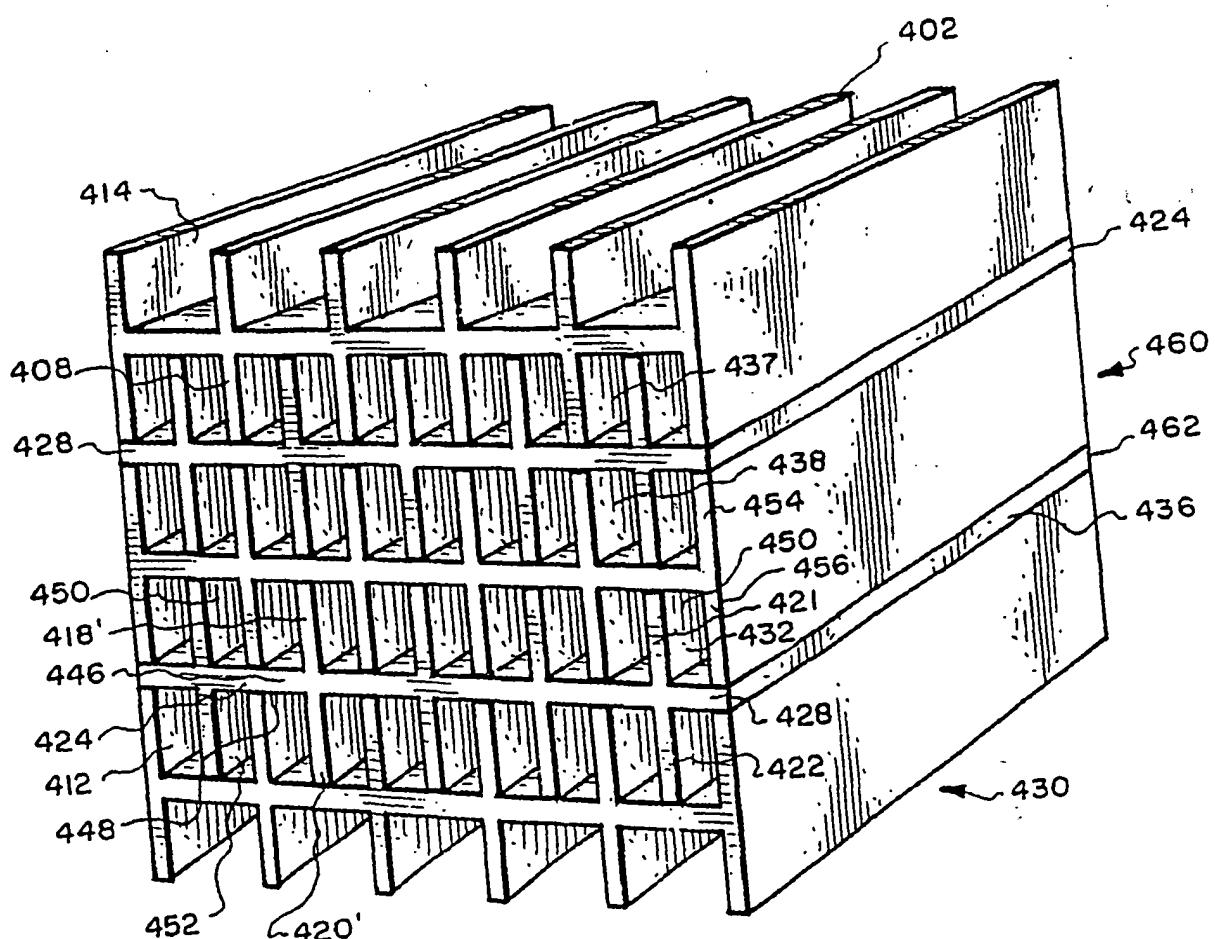
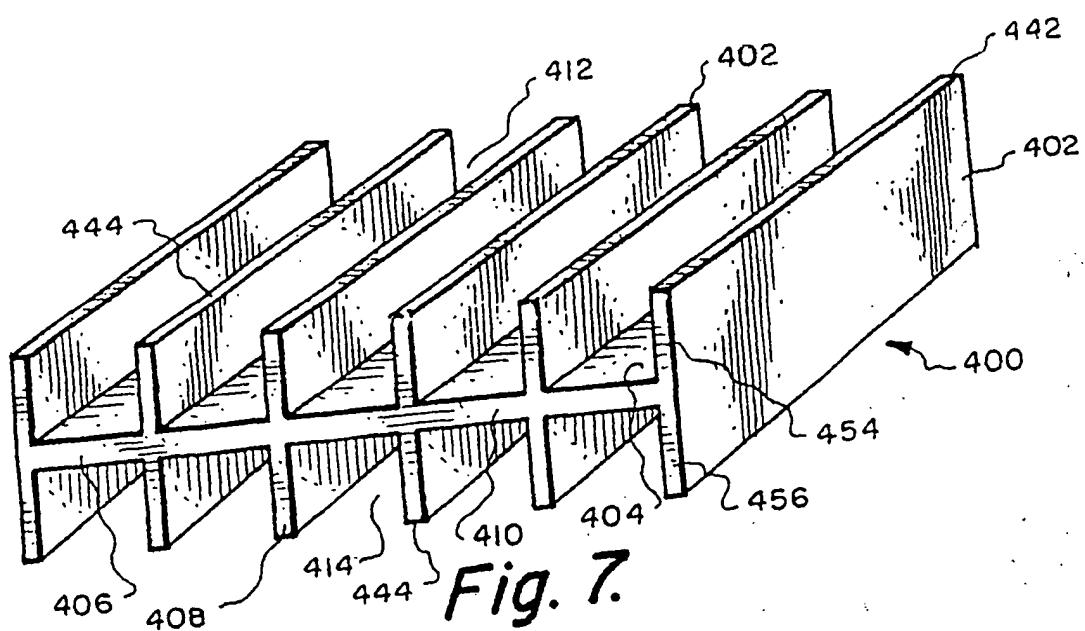
*Fig. 4.*



*Fig. 5.*



*Fig. 6.*



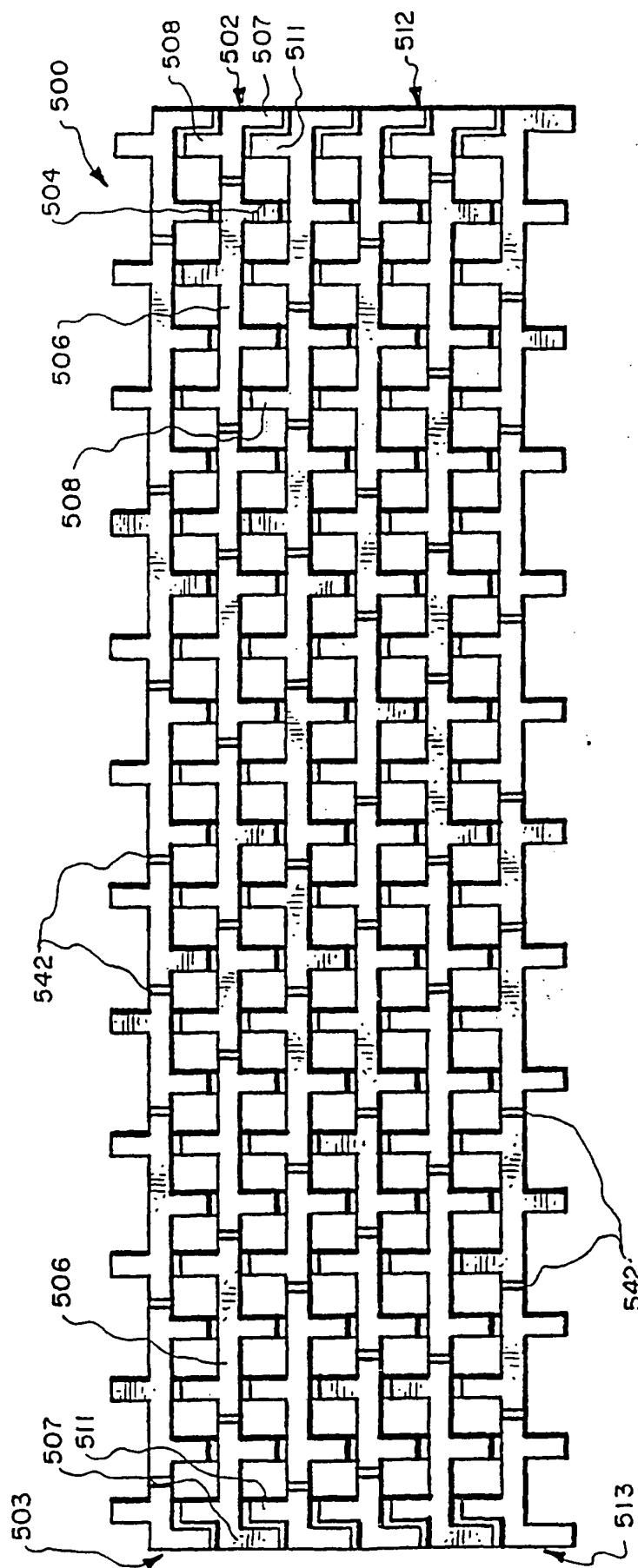
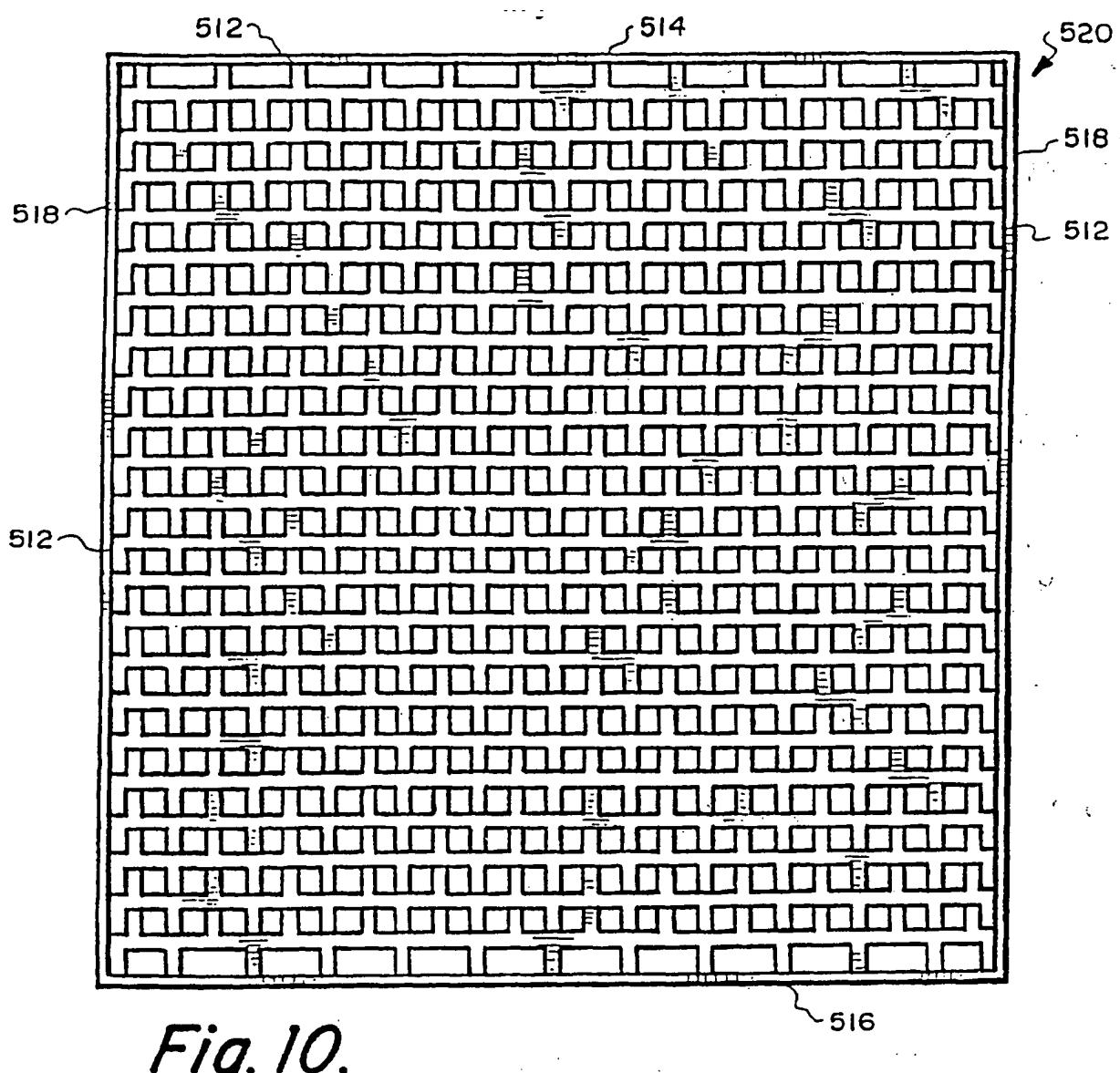
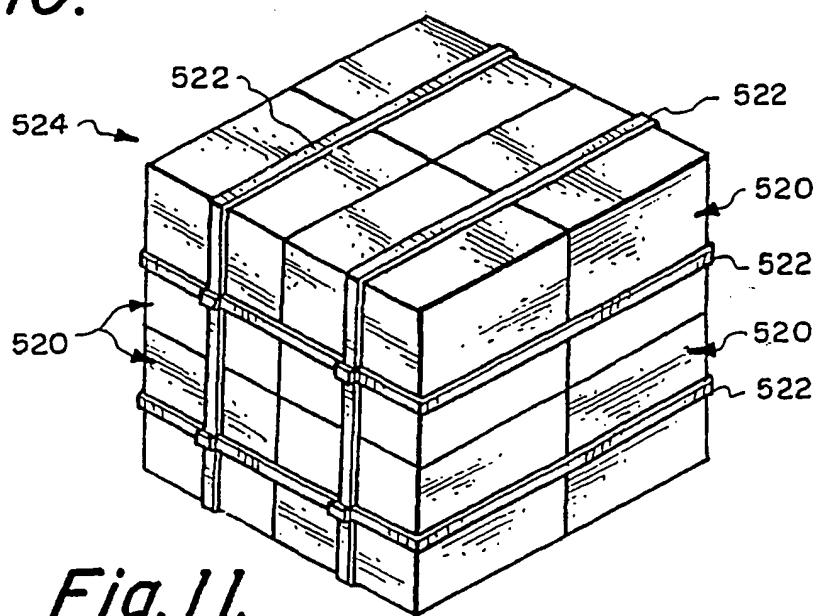


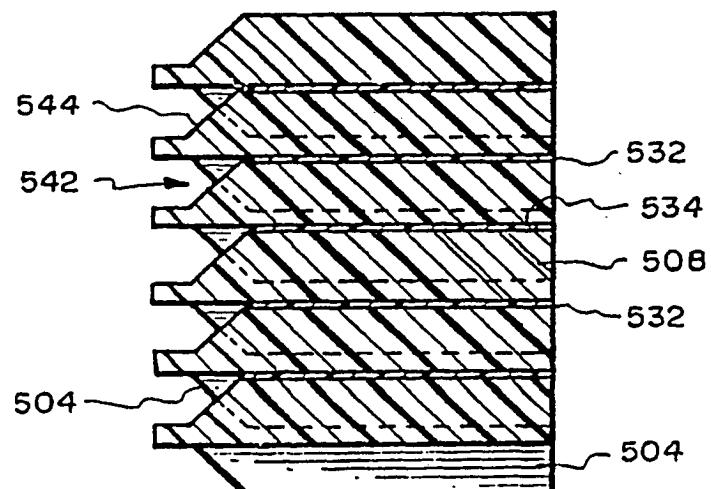
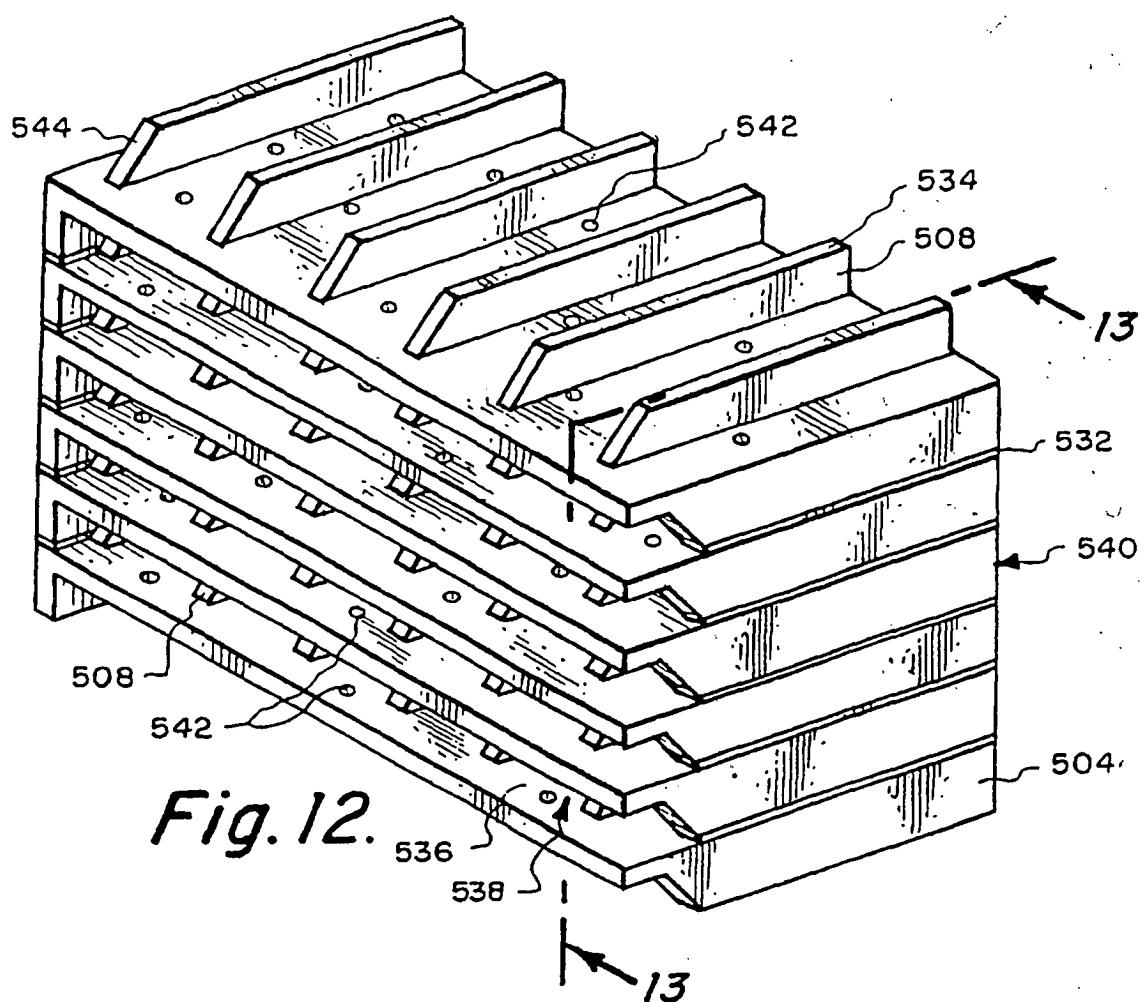
Fig. 9.



*Fig. 10.*



*Fig. 11.*



*Fig. 13.*

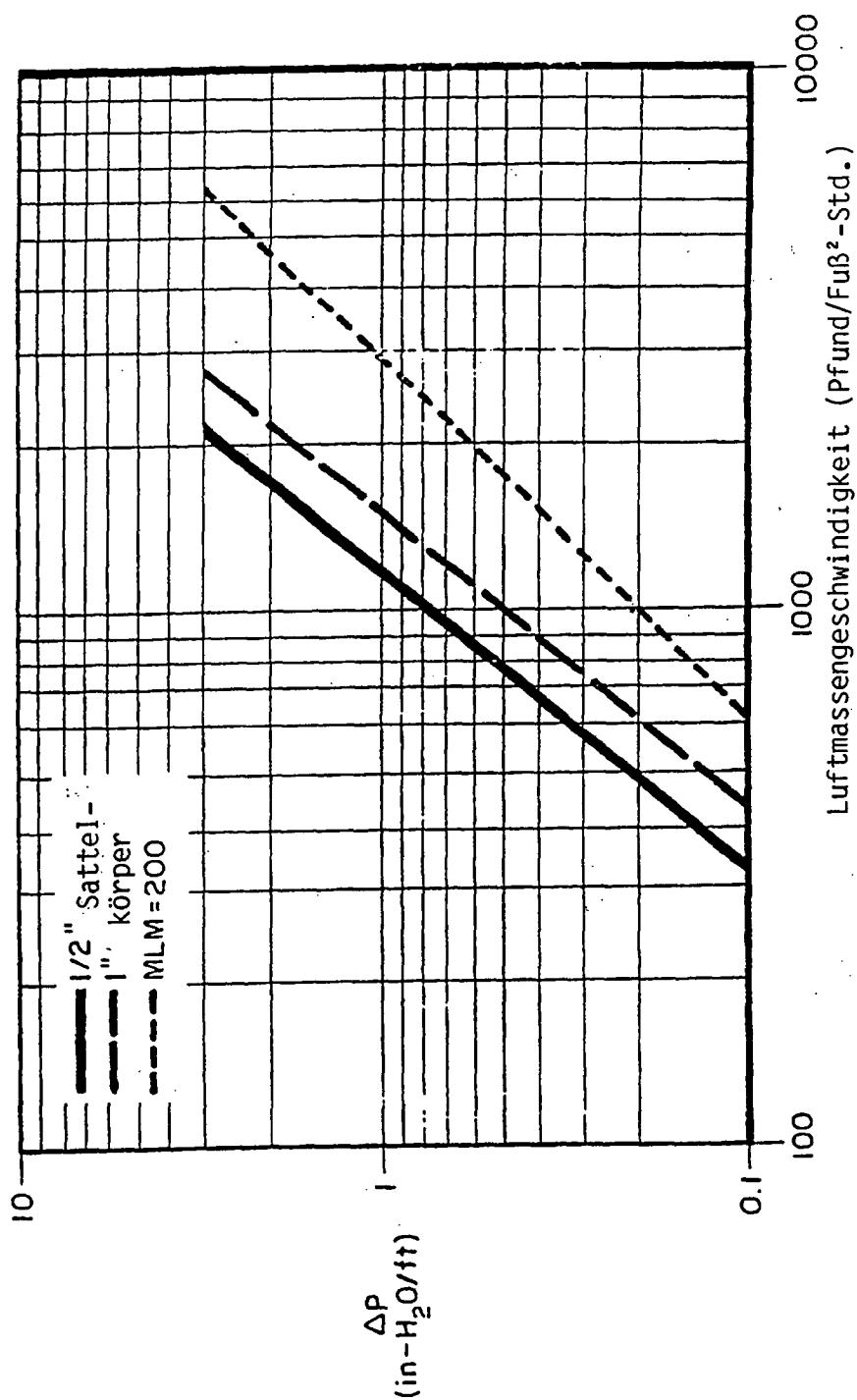


Fig. 14.