(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 695 32 488 T2** 2004.11.25

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 680 243 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **695 32 488.8**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **95 302 541.8**
(96) Europäischer Anmeldetag: **18.04.1995**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **02.11.1995**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **28.01.2004**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **25.11.2004**

(51) Int Cl.[7]: **H05B 6/70**
H05B 6/80

(30) Unionspriorität:
236759 **29.04.1994** **US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, SE

(73) Patentinhaber:
Communications & Power Industries, Inc., San Carlos, Calif., US

(74) Vertreter:
Patentanwälte Dr. Solf & Zapf, 81543 München

(72) Erfinder:
Butwell, Robert J., Redwood City, US; Huey, Hugo, Cupertino, US; McCune, Earl William, San Jose, US; Legarra, James R., Redwood City, US; Green, Michael, Palo Alto, US; Wilcox, Ross T., Palo Alto, US

(54) Bezeichnung: **Verbessertes Verfahren zum Beheizen von Behältern für chemische Reaktionen unter Einsatz von Mikrowellenenergie**

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 eingelegt, 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

Gebiet der Erfindung

[0001] Diese Erfindung betrifft ein verbessertes Verfahren und eine verbesserte Vorrichtung zum Bereitstellen einer gleichmäßigen Verteilung von Mikrowellenenergie in einer geschlossenen Umgebung. Insbesondere betrifft sie einen verbesserten Wellenleiterapplikator zur Verwendung beim Bereitstellen einer gleichmäßigen Verteilung von Wärme für einen Reaktionsbehälter.

Hintergrund der Erfindung

[0002] In der chemischen Industrie werden Ziegel-/Keramik-ausgekleidete Behälter üblicherweise verwendet, um ein Mittel bereitzustellen, in welchen Materialien gemischt, und chemische Reaktionen oder andere Prozesse ausgeführt werden, um chemische Zwischen- und Enderzeugnisse herzustellen. Ein derartiger Behälter, der beispielsweise verwendet wird, um Reagenzien aufzunehmen, die einer chemischen Reaktion unterliegen, umfasst üblicherweise ein Metallgehäuse mit einer internen Keramikauskleidung. Der Behälter kann unterschiedliche Größe und Form, abhängig von den speziellen Betriebsparametern aufweisen; typischerweise besitzt er jedoch zylindrische Form und einen Durchmesser in einer Größenordnung von 0,914 m (drei Fuß) oder größer und eine Länge von 3,05 m (zehn Fuß) oder länger. Die Behälter sind speziell dazu ausgelegt, Durchbrüche für den Einlass von Reagenzien und den Auslass der Endreaktionserzeugnisse zu enthalten. Das äußere Metallgehäuse kann aus Stahl, Nickel oder einer Legierung hieraus bestehen oder aus einem anderen geeigneten Material, das sowohl hinsichtlich Haltbarkeit wie Korrosionsbeständigkeit gewählt ist. Die interne Auskleidung kann Glas oder Keramikmaterial sein (beispielsweise Silika, Magnesiumoxid oder Aluminiumoxid oder ein ähnliches wärme- oder chemikalienbeständiges Material). In Reaktoren großer Größe wird die Keramikauskleidung häufig in Form von Ziegeln hergestellt, ausgewählt für die Wärmeisolation und außerdem im Hinblick auf Beständigkeit gegenüber Eingriffen durch chemische Spezien, die in dem Behälter vorhanden sind. Die Innenauskleidung der Keramikschicht, die mit dem Reaktionsgemisch in Kontakt steht, kann dieselbe Zusammensetzung wie das Ziegelmaterial aufweisen oder eine andere Zusammensetzung, die primär auf Grundlage ihrer Kompatibilität mit dem Reaktionsgemisch gewählt ist. Beispielsweise kann es sich bei ihr um Kohlenstoff oder Kohlenstoffziegel für eine verbesserte Beständigkeit gegenüber einem chemischen Angriff handeln, wobei Wärmeisolation hauptsächlich durch die Zwischenschicht aus Keramikziegeln zwischen der Kohlenstoffbeschichteten Auskleidung der Ziegel und der äußeren Metallwand bereitgestellt wird. In diesen Konstruktionen ist typischerweise zumindest eine Zugangsöffnung in der Behälterwandung für Wartungszwecke vorgesehen.

[0003] Reaktionsbehälter ähnlich denjenigen, die vorstehend erläutert sind, werden üblicherweise verwendet, um chemische Reaktionen im Industrie-Maßstab aufzunehmen und zu steuern. Diese Reaktionen müssen häufig bei erhöhten Temperaturen ausgeführt werden, um das Produkt mit guter Ausbeute zu gewinnen. Da der Reaktionsbehälter eine beträchtliche Masse aufweist, muss er auf seine Betriebstemperatur über eine Zeitdauer von Stunden vorgeheizt werden, bevor die Reagenzien zugegeben werden und die gewünschte Reaktion eingeleitet wird. Wenn die Reaktion unterbrochen oder vorläufig beendet wird und der Reaktor abkühlt, muss der Vorheizprozess häufig wiederholt werden, bevor die Reaktion in zufriedenstellender Weise erneut gestartet werden kann. Dieser Heizprozess erzeugt häufig Verbrennungsprodukte und Abflüssigkeiten, die im Hinblick auf die Umwelt unerwünscht sind.

[0004] Ein Beispiel einer derartigen Reaktion ist die Verwendung eines organischen Rohstoffs bei hoher Temperatur zum Ausführen der Synthese eines wertvollen zugesetzten Erzeugnisses. Diese Reaktionen erfordern mitunter besonders harte Bedingungen und sind mit der Wahrscheinlichkeit unerwünschter Nebenprodukte behaftet, wodurch ein Entsorgungsproblem hervorgerufen wird, wenn die Reaktionsbedingungen nicht gut kontrolliert werden. In diesem Zusammenhang bildet die Reaktortemperatur eine extrem Prozessvariable.

[0005] In zahlreichen Fällen herkömmlichen Erwärmens ist beispielsweise die Verbrennung. eines Gemisches aus natürlichem Gas und Luft in dem Reaktionsbehälter nicht praktikabel, weil das Innere des Reaktionsbehälters frei von Wasser gehalten werden muss, bei dem es sich um eines der Nebenprodukte der Verbrennung von natürlichem Gas handelt. Wenn der Reaktorbehälter eine brennbare Auskleidung enthält, beispielsweise Kohlenstoffziegel, führt auf Luft oder Sauerstoff basierte Verbrennung in dem Behälter außerdem mit großer Wahrscheinlichkeit zur Erosion der Auskleidung durch Oxidation in CO und CO_2.

[0006] Ein Verfahren gemäß dem Stand der Technik sieht die Verwendung des Produktionsbehälters selbst als Mittel zum Vorerwärmen des Behälters auf seine korrekte Betriebstemperatur vor. Aufgrund des relativ teuren organischen Rohstoffs, der unter nicht optimalen Bedingungen verbraucht wird, ist diese Prozedur jedoch mit mehreren Nachteilen behaftet und außerdem mit hohen Kosten verbunden. Unerwünschte Nebenreaktionen können außerdem Nebenprodukte während eines Erwärmungsprozesses ausbilden, während der Reaktor auf seine Endtemperatur kommt, jedoch noch kühler als die optimale Temperatur ist. Diese erzeugten Nebenprodukte

müssen, wenn sie gebildet werden, mit beträchtlichen Kosten entsorgt werden, abgesehen von den Kosten, die mit dem verbrauchten Rohstoff einhergehen.

[0007] Ein weiteres Verfahren, das im Stand der Technik zum Einsatz kommt, betrifft das Chlorinieren eines kostengünstigen Kohlenwasserstoffs, beispielsweise Methan. Diese Reaktion bildet Kohlenstofftetrachlorid und Wasserstoffchlorid, bei denen es sich in der Vergangenheit um zwei Verbindungen gehandelt hat, die als Erzeugnisses geringen Werts, jedoch als verkaufbar klassifiziert worden sind. Im Hinblick auf die Situation, dass die Bestimmungen sich geändert haben, ist Tetrachlorid selbst als Klasse-II-Substanz unter dem Montreal-Protokoll von 1989 gelistet worden und wird schrittweise ersetzt durch Nicht-CFC-Rohmaterial bis zu 85% bis zum 1. Januar 1995 und vollständig ersetzt bis zum 1. Januar 2000. Obwohl Kohlenstofftetrachlorid, das in der vorstehend genannten Weise hergestellt wird, unter verschiedene Bestimmungen fallen kann, kann die Situation bezüglich Bestimmungen noch stringenter werden. Die Beseitigung der Abhängigkeit des Prozesses von einer Kohlenstofftetrachlorid-Reaktion ist deshalb sehr erwünscht und die Verwendung von Erwärmung mittels Mikrowellen als Ersatz-Heizmittel würde eine signifikante Verbesserung darstellen.

[0008] Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht deshalb darin, eine Einrichtung zur Nutzung elektrisch erzeugter Mikrowellenenergie für die Erwärmung von Reaktionsgefäßen zu schaffen, welche die Bildung von umweltbelastenden unerwünschten Verbindungen vermeidet sowie den Verbrauch von teurem chemischen Rohstoff, der als Heizbrennstoff verwendet wurde.

[0009] Ein Merkmal der vorliegenden Erfindung sieht vor, eine gleichmäßige Verteilung von Mikrowellenenergie bereitzustellen mit einer Energieverteilung im gesamten Behälter in einem Flüsterkorridormodus unter Vermeidung der Bildung lokaler Bereiche hoher Feldintensität und Heißfleckbildung, die daraus resultieren.

[0010] Ein weiteres Merkmal der vorliegenden Erfindung sieht vor, ein Applikatorfenster bereitzustellen, das eine minimale Reflektion bzw. Absorption von Mikrowellenenergie hervorruft, während seine strukturelle Integrität beibehalten wird, während es Wärmeübertragung und chemischem Angriff von den Spezies ausgesetzt ist, die in dem chemischen Behälter vorhanden sind.

Zusammenfassung der Erfindung

[0011] Um die vorstehend genannten Aufgaben zu lösen, wird ein Wellenleiter- und Applikatorsystem in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung bereitgestellt, das an einem Reaktionsbehälter unter tangentialer Neigung in Bezug auf die Behälter-Lateralachse angebracht wird. Mikrowellenenergie, die von dem Applikator auf einer Seite des Behälters ausgetragen wird, durchsetzt die Keramikauskleidung des Behälters auf einer gegenüberliegenden Seite und unterliegt einer internen Reflexion, wenn sie auf das Innere der Metallhülle des Reaktors trifft, und breitet sich zurück aus durch einen Abschnitt der Keramik infolge des Reflexionswinkels und gelangt wieder in das Behälterinnere, wo sie erneut in die Keramikauskleidung an einer gegenüberliegenden Stelle in den Behälter eindringt. Die Mikrowellen dringen weiterhin in die Keramikauskleidung in dem "Flüster-Korridor"-Modus ein, durchsetzen sie und treten aus ihr aus, wodurch ein spiralförmiger, sich in Aufwärtsrichtung ausbreitende Wirbel von Mikrowellenenergie erzeugt wird, der die Energie in der gesamten Keramikauskleidung gleichmäßig verteilt, wo sie teilweise absorbiert wird, was zu einer gleichmäßigen Erwärmung des Reaktionsbehälters führt. Um die Übertragung von Mikrowellenenergie auf den Reaktionsbehälter zu bewirken, nutzt die Erfindung außerdem ein spezielles Wellenleiterfenster, welches die Mikrowelle von dem aggressiven Inhalt des Reaktionsbehälters isoliert, während Mikrowellen wirksam bei minimaler Reflexion bzw. Absorption übertragen werden, was zu einem schnelleren und gleichmäßigeren Erwärmen des Behälters führt, während die Belastung der Umwelt beim Erwärmungsprozess minimal gehalten wird.

[0012] Die Vorrichtung in Übereinstimmung mit der Erfindung ist im Anspruch 1 offenbart. Das Verfahren in Übereinstimmung mit der Erfindung ist im Anspruch 18 offenbart.

Detaillierte Beschreibung der Zeichnungen

[0013] Die Erfindung wird nunmehr unter Bezug auf die anliegenden Zeichnungen näher erläutert; in diesen zeigen:

[0014] **Fig.** 1 den Mikrowellengenerator, die Wellenleiterfenster und das Applikatorsystem gemäß der vorliegenden Erfindung,

[0015] **Fig.** 2A eine Draufsicht auf den Applikator-Mikrowellenleiter gemäß der Erfindung, der mit dem Reaktionsbehälter verbunden ist, unter Darstellung des Ankopplungs- bzw. Startwinkels der Mikrowellenenergie und ihrer Ausbreitung in den "Fluster-Korridor"-Modus,

[0016] **Fig.** 2B eine Schnittansicht der Applikator/Reaktor-Kombination von **Fig.** 2A,

[0017] **Fig.** 3 eine Aufrissansicht der Wellenleiterfenster-Konfiguration gemäß der vorliegenden Erfindung,

[0018] **Fig.** 4A eine Aufrissansicht der Fensterabdichtungs-Konfiguration einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung,

[0019] **Fig.** 4B eine zweite Ausführungsform der Fensterabdichtungs-Konfiguration der vorliegenden Erfindung,

[0020] **Fig.** 4C eine dritte Ausführungsform der Fensterabdichtungs-Konfiguration der vorliegenden Erfindung.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

[0021] In **Fig.** 1 sind die Wellenleiter- und Applikatorkomponenten gemäß einem Beispiel der vorliegenden Erfindung gezeigt und sie umfassen einen Mikrowellengenerator **10**, ausgehend von welchem eine Mikrowelle mit einer Frequenz von etwa 2.500 MHz durch einen Wellenleiter **20** im wesentlichen rechteckiger Konstruktion übertragen bzw. ausgestrahlt wird (beispielsweise auf Grundlage der JIS-Standards WG430 für diesen Frequenzbereich). Andere Frequenzen können genutzt werden, insbesondere solche im Bereich von etwa 850 MHz bis etwa 30 GHz, abhängig von den speziellen Betriebsparametern und den speziellen erforderlichen Anwendungen. Der Wellenleiter ist bevorzugt aus einem Material hergestellt, das haltbar ist, beständig gegenüber chemischem Angriff und das ein guter chemischer Leiter ist, wie etwa Nickel oder Edelstahl, und in der am stärksten bevorzugten Ausführungsform handelt es sich beim ihm um eine dünne Schicht aus einer Goldplattierung **25** auf der Innenseite des Wellenleiters. Der Wellenleiter **20** ist mit dem Mikrowellengenerator **10** vakuumgekoppelt und umfasst ein Ausgangsfenster **40**, das bevorzugt aus Aluminiumoxid hergestellt und stromabwärts vom Generator **10** angeordnet ist, so dass eine Vakuumumgebung **30** in dem Leiter **20** von dem Mikrowellengenerator zu einer stromaufwärtigen Seite des Ausgangfensters **40** vorliegt.

[0022] Die Mikrowellenenergie tritt aus dem Ausgangsfenster **40** aus und breitet sich lateral stromabwärts zu Quarzfenstern **50** weiter aus, die dazu dienen, den Mikrowellengenerator vom Inhalt des Reaktionsbehälters zu isolieren, wie etwa in Gestalt des Elements **230** in **Fig.** 2A und 2B gezeigt, während eine hochwirksame Übertragung von Mikrowellenenergie zugelassen wird. Die gezeigte Doppelfenster-Konfiguration ist aus Sicherheitsgründen bevorzugt. Im Fall, dass ein Fenster ausfällt, wird das Austreten von Reaktormaterial durch ein zweites stromaufwärtiges Fenster unterbunden und dies wird durch Sensoren (nicht gezeigt) ermittelt, die im Zwischenraum zwischen den beiden Fenstern angeordnet sind. In **Fig.** 3 ist eine Aufrissansicht der Quarzfenster unter Darstellung von Quarzscheiben **60** gezeigt, die senkrecht zur Längsachse des rechteckigen Wellenleiters **20** angeordnet sind und in kurzen Gehäuseabschnitten kreisförmiger Wellenleiter **70** in Tablettenschachtel-Konfiguration angeordnet sind. Quarz ist bevorzugt zur Verwendung als Scheibenmaterial aufgrund seiner hohen Festigkeit und guten Beständigkeit gegenüber chemischem Angriff sowie aufgrund seines kleinen Wärmeausdehnungskoeffizienten, wodurch Quarz eine hervorragende Beständigkeit gegenüber Wärmeschock und Differenzerwärmung gegeben ist.

[0023] In der gezeigten Ausführungsform sind die zwei Quarzfenster in Reihe angeordnet, voneinander beabstandet mit einer ungeraden Anzahl von Viertel-Wellenlängen, um das Auslöschen von Reflexionen zu unterstützen, wobei der Raum **80** zwischen dem rechteckigen Wellenleiterabschnitt zwischen den beiden Tablettenschachteln mit einem trockenen inerten nicht-reaktiven Gas, wie etwa Stickstoff, gefüllt ist. Dieser Abschnitt der Mikrowellenenergie, der reflektiert wird, breitet sich aus zurück zu dem rechteckigen Wellenleiter **20** mit dem Wellenleiterisolator **43**, der eine Rückkopplung der Mikrowelle zum Generator **10** unterbindet, wodurch die Mikrowelle erneut ausgerichtet wird, um den Puffer **45** zu belasten. Es wird bemerkt, dass der Fachmann auf diesem Gebiet der Technik jedoch erkennt, dass ein einziges Fenster ebenfalls als Alternative für diese Ausführungsform ebenso verwendet werden können wie andere Materialien, die dielektrische Eigenschaften äquivalent zu Quarz zeigen, der für die Scheibenelemente in der gezeigten Ausführungsform zum Einsatz kommt.

[0024] Die in **Fig.** 3 gezeigten Quarzscheiben **60** sind bevorzugt aus geschmolzenem Quarz hergestellt und hermetisch abgedichtet durch Dichtungsmittel **90** in dem Tablettenschachtelgehäuse **70** in der Nähe zum peripheren Rand des Gehäuses und in einer Art und Weise, welche die Übertragung von Mikrowellenenergie nicht behindert, wenn diese sich durch die Fenster **50** ausbreitet. Herkömmliche Dichtungstechniken, demnach eine Aluminiumscheibe auf ihrem Außenumfang metallisiert ist und ihre Oberfläche daraufhin direkt in die Metallgehäusebuchse gelötet wird, kann Material, wie etwa Quarz, nicht problemlos eingesetzt werden, aufgrund der großen Disparität der Expansionskoeffizienten geeigneter struktureller Materialien und Quarz. Um die Ausdehnungsfehlanpassung zu kompensieren, wird deshalb die Scheibe **60** in einer Dichtungsausführungsform der Dichtungsmittel **90** mit einer Kompressionsdichtung **100** auf ihrer ebenen Oberfläche versehen, wie im Aufriss von **Fig.** 4A gezeigt. Die Kompressionsdichtungen liegen bevorzugt als O-Ring vor, der aus weichem Material, wie etwa Gold oder dergleichen, hergestellt ist, und sie kommen zwischen der Scheibe **50** und dem Metallflanschabschnitt **110** der Tablettenschachtel **70** zu liegen, die mittels eines Wasserkanals **120** kühl gehalten wird.

Das Flanschelement **110** wird unter Verwendung einer herkömmlichen Unterlegscheibe **192** und eines Bolzens **140** in Kombination oder unter Verwendung herkömmlicher Schweißnähte in Position festgeklemmt.

[0025] In einer alternativen Ausführungsform und wie in **Fig.** 4B gezeigt, weist die Quarzscheibe **60** eine gradierte Glasdichtung **150** auf, die entlang ihrem peripheren Rand angebracht ist. Die Glasdichtung stellt einen Ausdehnungskoeffizienten-Übergangsbereich bereit, der eine herkömmliche Glas-Metall-Dichtung mit einer chemisch beständigen Metallbuchse **160**, wie etwa aus plattiertem Molybdän, zulässt. Die Buchse **160** wird daraufhin am Punkt **170** an einen Hochvakuumflansch **180** geschweißt, der seinerseits über eine UHV-Dichtung **190**, wie etwa Conflat®, mit dem wassergekühlten Tablettenschachtelflansch verschraubt wird.

[0026] Gemäß einer noch weiteren Ausführungsform und wie in **Fig.** 4B gezeigt, ist die Quarzscheibe **60** bevorzugt aus einem Quarzkristall hergestellt und so geschnitten, dass die Richtung mit hohem Ausdehnungskoeffizienten in der Fensterebene zu liegen kommt. Die Scheibe wird daraufhin in einer Ebene an ein strukturelles Metall, wie etwa Edelstahl, ausdehnungsmäßig angepasst, damit die Metallbuchse **160** direkt auf der ebenen Oberfläche der Scheibe **60** an ihrem peripheren Rand angebracht werden kann. Die Anbringung bzw. Halterung **200** kann direkt an der Quarzoberfläche der Scheibe durch solche Verfahren vorgenommen werden, wie etwa Diffusionsbondieren oder Aktivmetall-Löten oder durch zunächst Metallisieren des Kristallquarzes mit beispielsweise Molybdän/Mangan und daraufhin Ausführen eines herkömmliche Goldlegierungs-Lötvorgangs, entweder im Vakuum oder in Wasserstoffatmosphäre. Die Metallbuchse **160** und der Fensteraufbau können über eine Schweißstelle am Punkt **170** mit dem Vakuumflansch **180** in einer Weise verbunden sein, wie dies bei der vorausgehenden Ausführungsform, die in **Fig.** 4B gezeigt ist, der Fall ist.

[0027] Unter erneutem Bezug auf **Fig.** 3 geht stromabwärts von den Quarzfenstern **50** auf der Reaktorseite der Fenster der rechteckige Wellenleiter schlagartig in einen kreisförmigen Wellenleiterapplikator **210** mit großem Durchmesser über. Diese schlagartige Änderung ruft eine Erregung mehrfacher Mikrowellenausbreitungsmoden in dem kreisförmigen Wellenleiter hervor, wodurch die Verteilungsgleichmäßigkeit der Mikrowellenenergie in dem Reaktionsbehälter verbessert wird. Dem Fachmann auf diesem Gebiet der Technik erschließt sich, dass die Änderung des Wellenleiter-Durchmessers für einen kreisförmigen Wellenleiter eine Funktion der Abtrenn-Frequenz f_{00} für die gewünschten Moden, beispielsweise in dem TE_{11}-Modus ist, wobei λ_{00} = 1,7 (Durchmesser). Information, die erforderlich ist, Berechnungen für den Durchmesser durchzuführen, der erforderlich ist, andere Moden höherer Ordnung durchzulassen und im Hinblick auf andere Wellenleitergeometrien zusätzlich zu kreisförmigen Konfigurationen, steht zur Verfügung aus Artikeln, wie etwa Fields and Waves in Communication Electronics, bei Ramo, Whinnery und Van Duzer, veröffentlicht durch John Wiley & Sons, Inc. Unter erneutem Bezug auf **Fig.** 3 ist ein Anpassungselement **220**, wie etwa ein Vorsprung oder eine Iris in der Wandung des rechteckigen Abschnitts des Wellenleiters vorgesehen, um jegliche Fehlanpassung beim Übergang zu kompensieren, um zu verhindern, dass Mikrowellenenergie am Übergang reflektiert wird und entlang dem Wellenleiter und durch die Fenster hindurch sich zurück ausbreitet. In dem Fall, dass Energie reflektiert wird, ist eine Isolationseinrichtung **113** vorgesehen, wie vorstehend angeführt, um die reflektierte Energie erneut auszurichten.

[0028] In **Fig.** 2A und 2B ist ein kreisförmiger Wellenleiterapplikator sowohl in Draufsicht wie in Schnittansichten gezeigt und mit dem Reaktionsbehälter **230** desjenigen Typs verbunden, der dem Fachmann auf diesem Gebiet geläufig ist. Der Applikator ist über eine existierende Inspektionsöffnung oder einen anderen existierenden Durchbruch mittels einer modifizierten Abdeckplatte **240** derart verbunden, dass eine kurze Länge des Abschlussendes **250** des kreisförmigen Wellenleiters in den Reaktionsbehälter vorsteht. Das Applikator-Abschlussende sollte so positioniert werden, dass die Mikrowelle sich ausbreiten kann und die Energiedichte abnimmt, so dass sie an der gegenüberliegenden Seitenwand reflektiert werden kann, anstatt anfänglich auf eine Seitenwand benachbart zu dem Applikator aufzutreffen. Der kreisförmige Wellenleiterapplikator **210** ist über eine Abdeckplatte **240** in einer Weise angebracht, dass das Innere des Behälters minimal gestört wird, unter einem Neigungswinkel α in Bezug auf die Lateralachse des Behälters, bezeichnet mit der Schnittlinie A-A und gewinkelt in einer Position β in Richtung auf die Seitenwand des Behälters in einer tangentialen Konfiguration in Bezug auf die Lateralachse. Diese Konfiguration erlaubt es, dass die Mikrowellenenergie unter einem Winkel in etwa tangential zur Außenhülle **260** des Reaktionsbehälters gestartet wird, mit einer Komponente ihres Richtungsvektors entlang der Behälter-Längsachse. Die Winkel α und β sind als Funktion der Behältergeometrie derart festgelegt, dass die reflektierte Mikrowelle nicht zurück in Richtung auf den Applikator reflektiert wird, wenn sie sich durch den Behälter ausbreitet.

[0029] Die gestartete Mikrowellen-Wellenfront **265** tritt in den Reaktionsbehälter ein und dringt in die Behälter-Keramikauskleidung **270** anfänglich ein, bis sie die Innenseite der äußeren Metallhülle **260** erreicht, wo die Energie intern reflektiert wird und sich zurück durch die Keramikauskleidung ausbreitet. Die

reflektierte Mikrowelle **275** tritt aus der Keramikoberfläche erneut aus und tritt in den Behälter erneut ein, wo sie fortgesetzt in die Keramikauskleidung eindringt und dieser austritt und einen Prozentsatz ihrer Energie in Form von Wärme durch jede Reflexion verliert, wenn sie sich im Bereich des Innern des Reaktionsbehälters ausbreitet, und zwar in einer Art und Weise, die als Flüster-Korridor-Modus bezeichnet werden kann, weil die Mikrowelle kontinuierlich reflektiert und zu einem bestimmten Ausmaß gestreut wird durch die Metallwandung.

[0030] Der spiralförmige Pfad der gestarteten Mikrowelle resultiert aus ihrem sich in Aufwärtsrichtung ausbreitenden Energiewirbel, der eine sehr gleichmäßige Energieverteilung für die Keramikauskleidung des Reaktors bereitstellt. Die Ausbreitung in Art eines Flüster-Korridors stellt sicher, dass Mikrowellen die Keramik in unterschiedlichen Punkten immer wieder durchsetzen, bis die Mikrowellenenergie absorbiert und in Wärme umgewandelt ist, wodurch die Bildung lokaler Bereiche hoher Feldintensität vermieden wird, die zu heißen Flecken führen könnten. Diese Prozedur ist erfolgreich, wenn lediglich ein geringer Prozentsatz der Energie während eines Durchlaufs durch die Keramik absorbiert wird, weil nahezu keine Energie zurück in den Applikator infolge der gewinkelten Anbringung reflektiert wird.

[0031] In der am stärksten bevorzugten Ausführungsform wird eine elektrisch leitfähige feuerfeste Auskleidung, wie etwa Kohlenstoff- oder kohlenstoffreiche Ziegel als Innenauskleidung **280** verwendet, wobei die Keramikauskleidung **270** als Isolator wirkt, der zwischen der Innenauskleidung und dem Metallgehäuse zu liegen kommt. Wenn die Mikrowelle sich in der vorstehend erläuterten Weise ausbreitet, wird die Energie ausschließlich durch die Kohlenstoff-Innenauskleidung sowohl reflektiert wie absorbiert. Die durch die absorbierte Energie erzeugte Wärme wird in der Auskleidung **280** zurückgehalten und daran gehindert, sich durch die Isolationsschicht zu verteilen, die durch die Keramikauskleidung **270** bereitgestellt ist. Hierdurch wird der Behälter effizienter erwärmt und Energieverlust aufgrund eines Auftreffens der Mikrowelle auf dem äußeren Metallgehäuse wird vermieden. Für diese spezielle Ausführungsform kann ein Übergang 210 im Wellenleiter-Durchmesser zur Erregung von mehrfachen Mikrowellen-Ausbreitungsmoden noch genutzt werden. Er ist jedoch nicht erforderlich für ein wirksames Erwärmen aufgrund des Einbaus der Innenauskleidung **280**.

[0032] Während die Erfindung in Verbindung mit wenigen speziellen Ausführungsformen erläutert wurde, erschließen sich dem Fachmann auf diesem Gebiet zahlreiche Alternativen, Modifikationen und Abwandlungen angesichts der vorstehend angeführten Erläuterung. Die Erfindung soll sämtliche solcher Alternativen, Modifikationen und Abwandlungen als in den Umfang der anliegenden Ansprüche fallend umfassen.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum gleichmäßigen Verteilen von Mikrowellenenergie in einem geschlossen Behälter, aufweisend:
– Eine Einrichtung (**10**) zum Erzeugen von Mikrowellen,
– einen Wellenleiter (**20**), der mit der Mikrowellenerzeugungseinrichtung an einem ersten Ende betriebsmäßig verbunden ist und eine Einrichtung (**210**) aufweist, um eine Erregung multipler Mikrowellenausbreitungsmodi in einem zweiten Ende (**250**) hervorzurufen, wobei das zweite Ende mit dem geschlossen Behälter in einer gewinkelten Konfiguration unter Bezug auf die Lateralachse des Behälters integral verbindbar ist, um eine Mikrowellenenergie-Spiralreflexion zu induzieren, die sich im gesamten Behälter in einem Flüsterkorridormodus ausbreitet, und – eine transparente Mikrowellenisolationseinrichtung (**50**), die zwischen der Mikrowellenerzeugungseinrichtung und dem geschlossenen Behälter betriebsmäßig positionierbar ist, wobei die Isolationseinrichtung ein Gehäuse (**70**) und eine transparente Mikrowellenbarriere (**60**) aufweist, die an dem Gehäuse durch eine Dichtungseinrichtung (**90**) zur Kompensation thermischer Expansion fest angebracht ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Einrichtung (**210**) zum Hervorrufen einer Erregung multipler Mikrowellenausbreitungsmodi eine Durchmesservergrößerung des Wellenleiters (**20**) am zweiten Ende ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, wobei der Querschnittswellenleiter am ersten Ende rechteckig und am zweiten Ende (**250**) kreisförmig ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, wobei die Wellenleiterdurchmesservergrößerung eine Funktion der Eckfrequenz ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 2, wobei das zweite Ende mit dem geschlossenen Behälter in einer tangentialen geneigten Winkelkonfiguration verbunden ist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, wobei ein Abschlussende des zweiten Endes (**250**) des Wellenleiters im Innern des geschlossenen Behälters derart positioniert ist, dass eine startende Mikrowelle anfängliches Aufprallen auf einer Seitenwand des Behälters benachbart zu dem Abschlussende vermeidet.

7. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die transparente Mikrowellenbarriere (**60**) eine Quarzscheibe ist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, wobei der Quarz geschmolzener Quarz ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 7, wobei der Quarz kristalliner Quarz ist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 1, außerdem aufweisend einen geschlossenen Behälter (**230**) mit einer inneren elektrisch leitenden feuerfesten Auskleidung (**280**) und einer Isolationsauskleidung (**270**) benachbart unter der inneren Auskleidung.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, wobei die innere Auskleidung (**280**) ein auf Kohlenstoff basierendes Material ist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
– die Mikrowellenerzeugungseinrichtung (**10**) dazu ausgelegt ist, eine Mikrowelle zwischen etwa 850 MHz und etwa 30 GHz zu erzeugen, – das erste Ende des Wellenleiters (**20**) einen ersten Durchmesser aufweist, und das zweite Ende (**250**) einen zweiten Durchmesser größer als der erste Durchmesser aufweist, wobei das erste Ende mit der Mikrowellenerzeugungseinrichtung (**10**) betriebsmäßig verbunden ist, und wobei das zweite Ende integral verbindbar mit der Reaktionsbehälter (**230**) ist, und in Bezug auf die Lateralachse des Reaktionsbehälters eine tangential gewinkelte Konfiguration einnimmt, um ein Mikrowellenenergie-Spiralreflexionsmuster zu induzieren, das sich im gesamten Reaktionsbehälter in einem Flüsterkorridormodus ausbreitet, und
– die transparente Mikrowellenisolationseinrichtung (**50**) zwischen dem Wellenleiter und dem Reaktionsbehälter betriebsmäßig in Verbindung bringbar ist, wobei die Isolationseinrichtung ein Gehäuse (**70**) und ein dielektrisches Material umfasst, das in dem Gehäuse ist senkrecht zur Längsachse des Wellenleiters durch eine Dichtungseinrichtung (**90**) zum Kompensieren thermischer Expansion fest angebracht.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, wobei das erste Ende des Wellenleiters (**20**) rechteckigen Querschnitt aufweist und das zweite Ende des Wellenleiters kreisförmigen Querschnitt aufweist.

14. Vorrichtung nach Anspruch 12, wobei die tangential gewinkelte Konfiguration in Bezug auf die Laterialachse des Behälters unter einem geneigten versetzten Winkel verläuft.

15. Vorrichtung nach Anspruch 12, außerdem aufweisend einen Reaktionsbehälter, der eine innere elektrisch leitende feuerfeste Auskleidung (**230**) und eine Isolationsauskleidung (**270**) benachbart unterhalb der inneren Auskleidung aufweist.

16. Vorrichtung nach Anspruch 15, wobei der erste Durchmesser und der zweite Durchmesser des Wellenleiters (**20**) in etwa gleich sind.

17. Vorrichtung nach Anspruch 12, wobei das dielektrische Material Quarz ist.

18. Verfahren zum Heizen eines Reaktorbehälters (**230**) unter Verwendung von Mikrowellenenergie, aufweisend die Schritte:
– Erzeugen einer Mikrowelle,
– Erregen multipler Ausbreitungsmodi der Mikrowelle,
– Leiten der erregten Mikrowelle in dem Reaktorbehälter unter einer versetzten Winkelposition relativ zu der Lateralachse des Behälters, um ein Spiralreflexionsmuster zu induzieren, das sich durch den Behälter in einem Flüsterkorridormodus ausbreitet.

19. Verfahren nach Anspruch 18, wobei die erregte Mikrowelle unter einem versetzten, geneigten Startwinkel unter Bezug auf die Behälterlateralachse gerichtet ist.

20. Verfahren nach Anspruch 16, wobei der Versetzungswinkel das anfängliche Auftreffen einer gestarteten Mikrowelle auf einer benachbarten Behälterseitenwand vermeidet.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

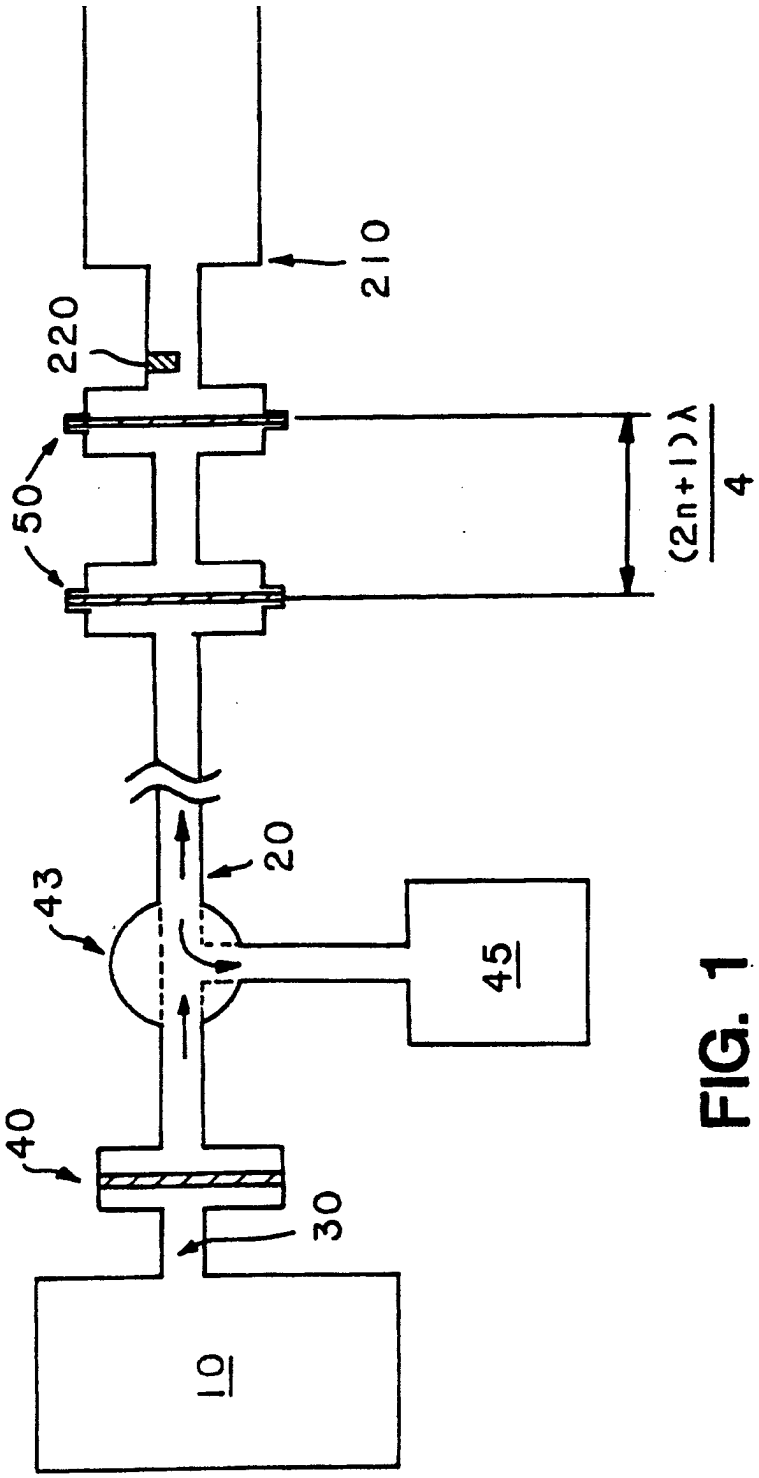


FIG. 1

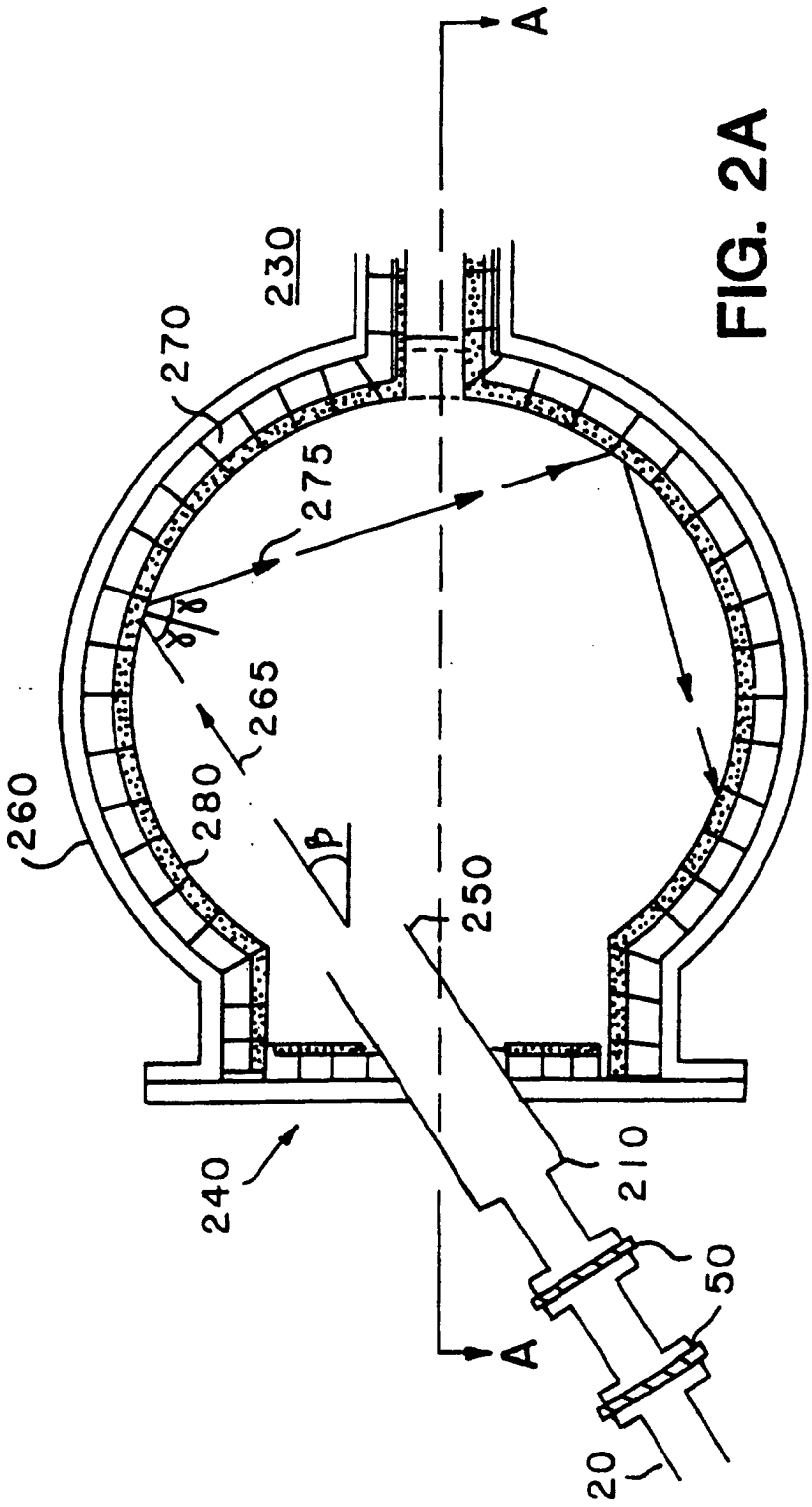


FIG. 2A

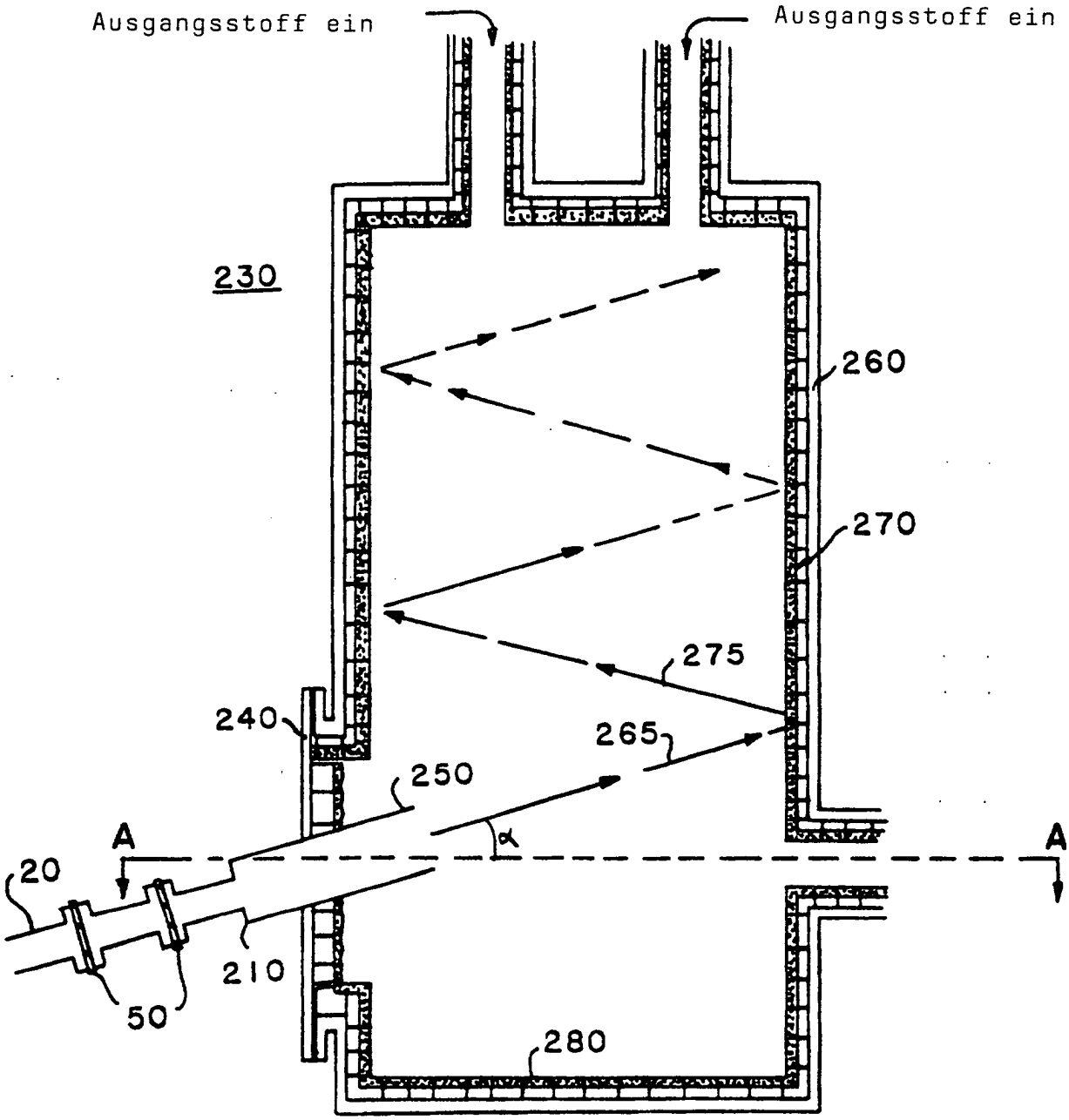

Ausgangsstoff ein
Ausgangsstoff ein
230
260
270
275
240
265
250
A
A
α
20
210
50
280

FIG. 2B

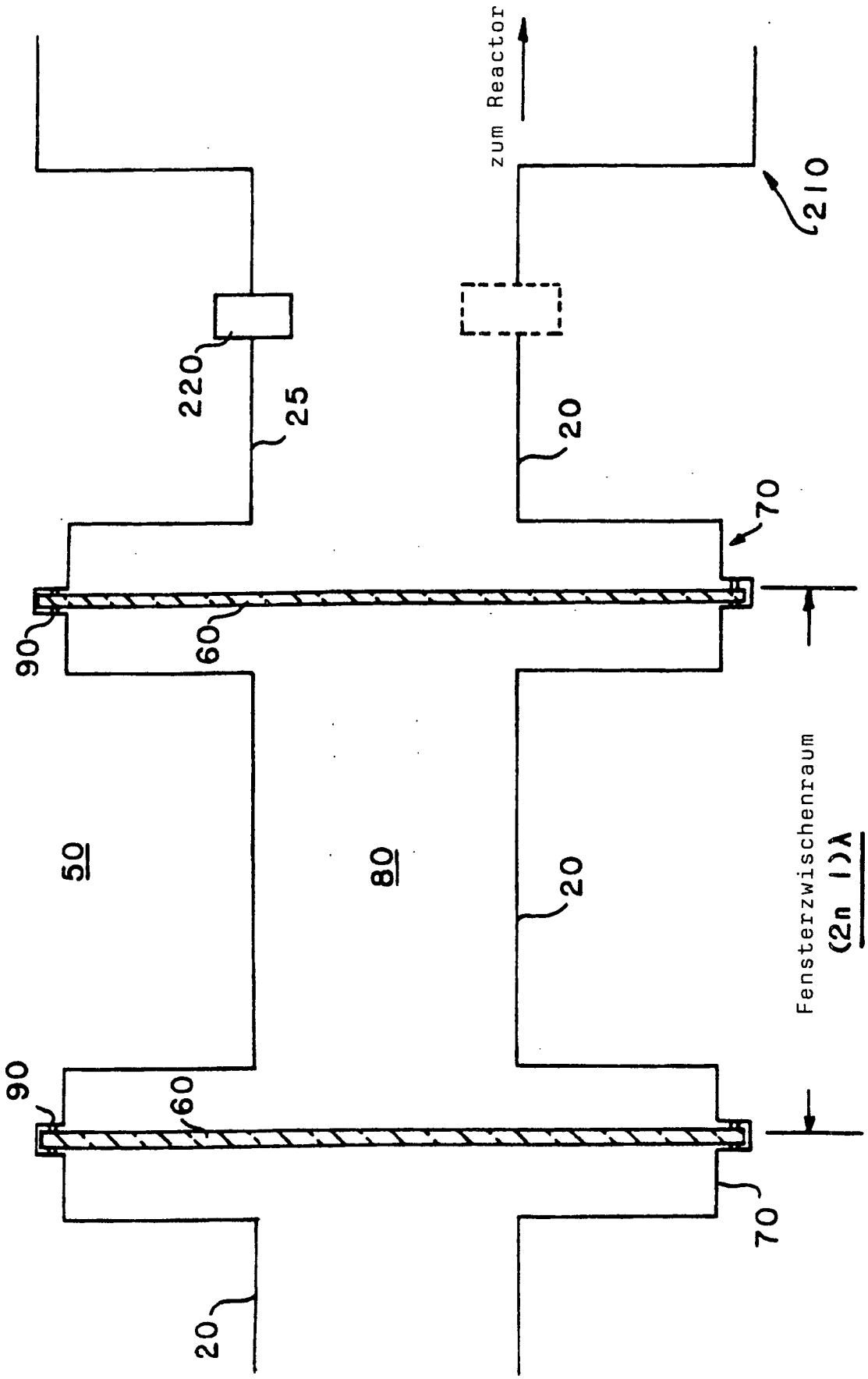

zum Reactor
210
220
25
20
70
90
60
50
80
20
Fensterzwischenraum
(2n 1)λ/4
90
60
70
20

FIG. 3

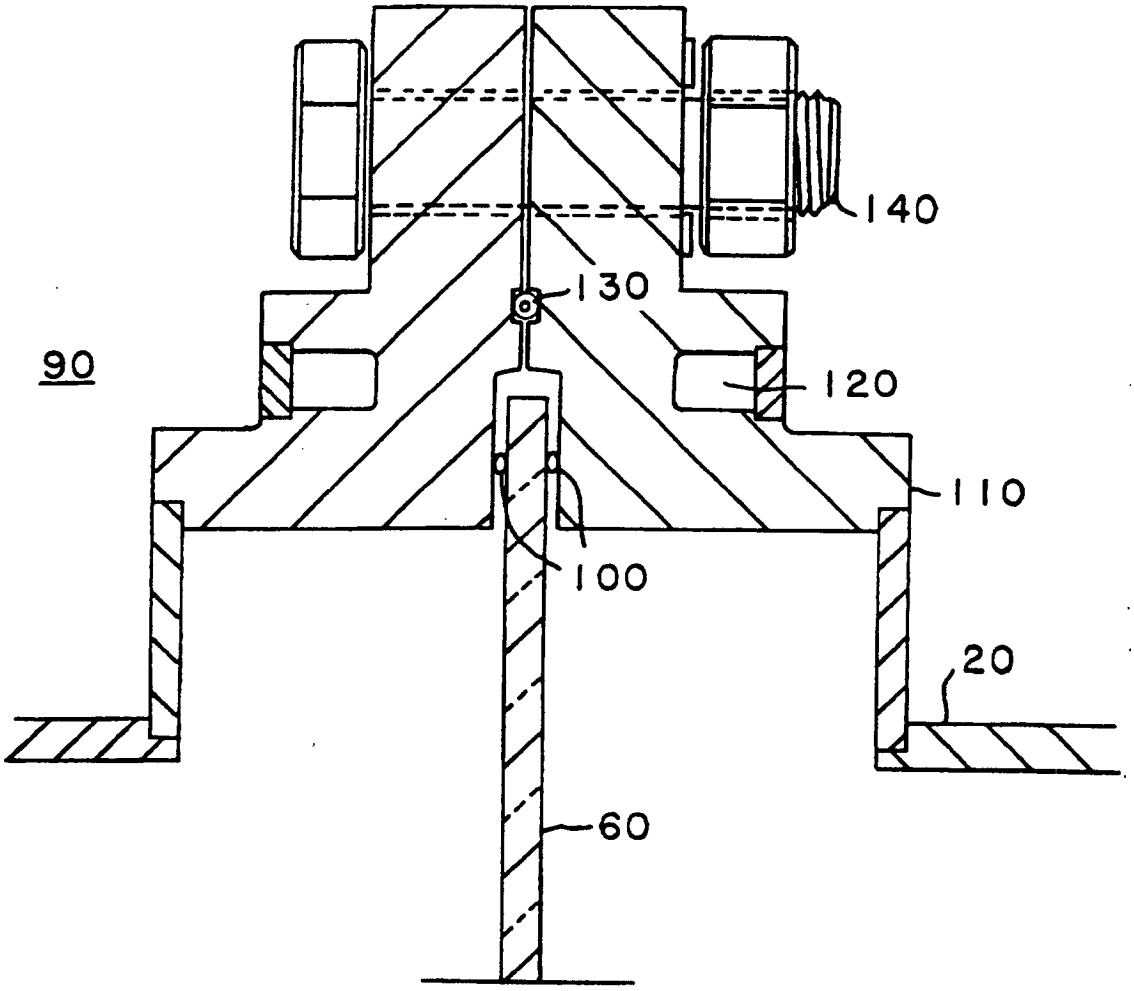


FIG. 4A

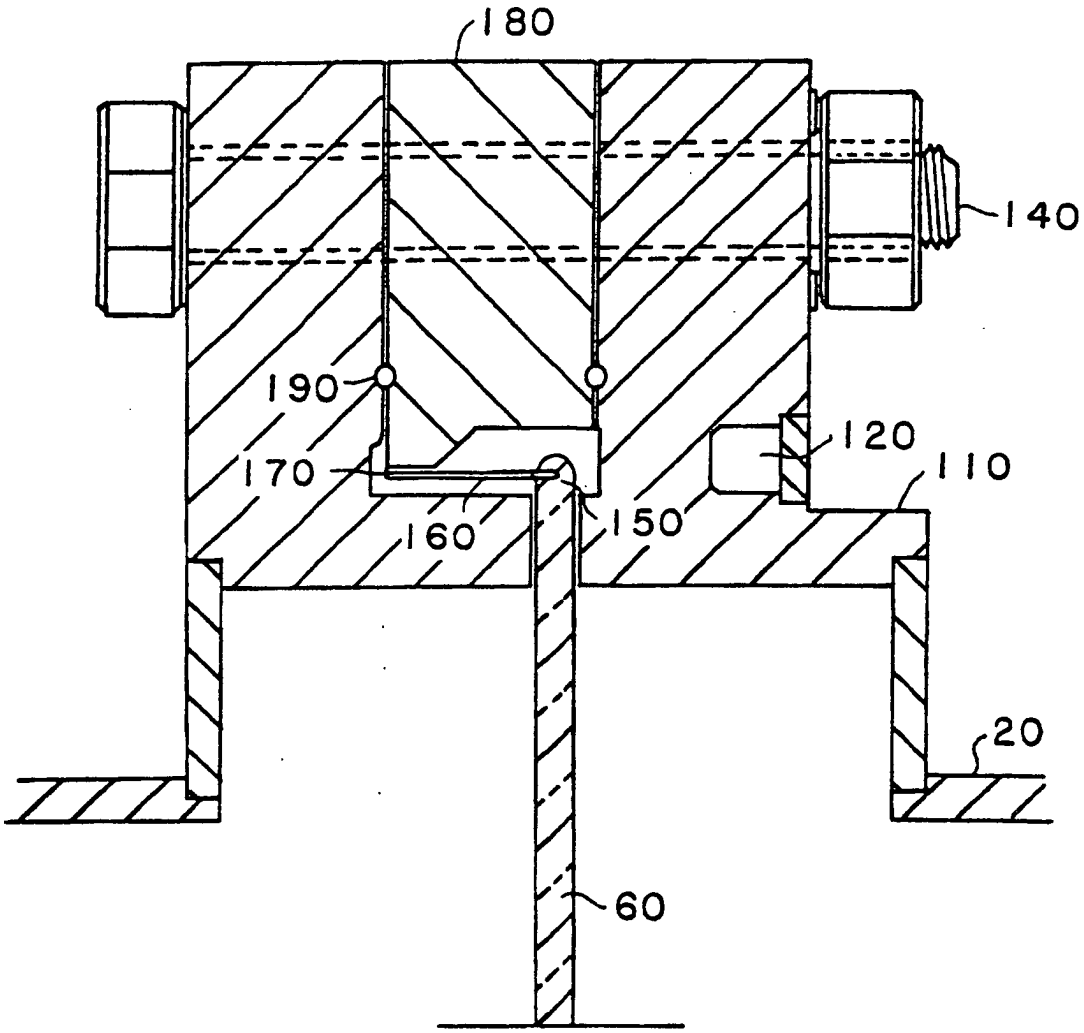


FIG. 4B

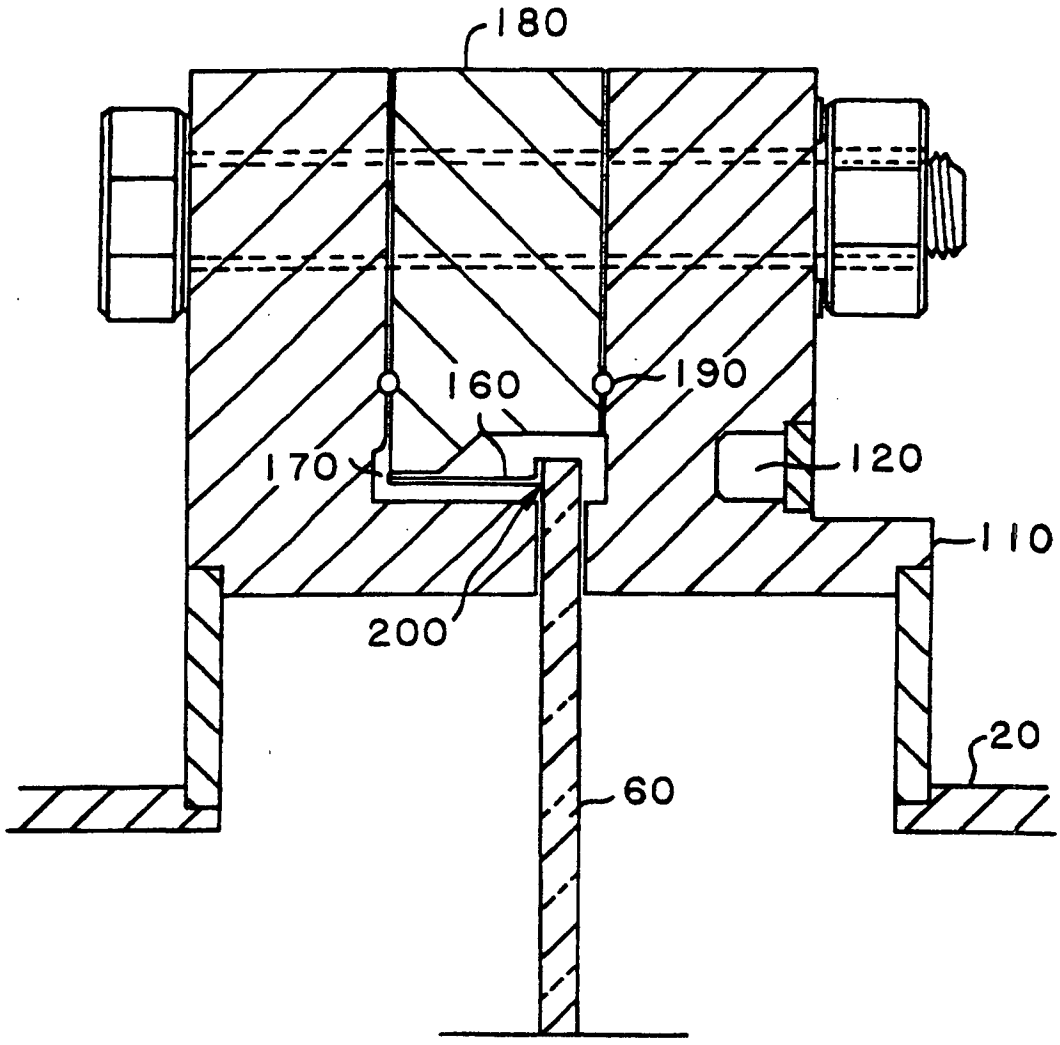


FIG. 4C