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

(10) **DE 694 34 773 T2** 2007.06.28

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 154 039 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **694 34 773.6**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 110 845.3**
(96) Europäischer Anmeldetag: **21.01.1994**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **14.11.2001**
(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **21.06.2006**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **28.06.2007**

(51) Int Cl.[8]: ***C23C 16/48*** (2006.01)

(30) Unionspriorität:
7981 **21.01.1993** **US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
BE, DE, FR, GB, IT, NL

(73) Patentinhaber:
Moore Epitaxial, Inc., San Jose, Calif., US

(74) Vertreter:
Wilhelms, Kilian & Partner, 81541 München

(72) Erfinder:
Moore, Gary M., Monte Sereno, CA 95030, US;
Nishikawa, Katsuhito, San Jose, CA 95120, US

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zur schnellen thermischen Behandlung zur Herstellung von Halbleiterwafern**

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

STAND DER TECHNIK

Gebiet der Erfindung

[0001] Diese Anmeldung ist eine Ausscheidungsanmeldung, die von EP 94 907 813.3 abgeleitet ist.

[0002] Diese Erfindung betrifft im Allgemeinen eine Struktur zur Verwendung in einem Reaktor zur Verarbeitung von Halbleiterwafern, insbesondere zur gleichzeitigen Schnellwärmeverarbeitung einer Mehrzahl von Halbleiterwafern und eines einzelnen großen Halbleiterwafers, sowie einen Reaktor für eine derartige Verarbeitung.

[0003] Die Aufdampfung eines Films auf die Oberfläche eines Halbleiterwafers ist ein üblicher Schritt bei der Halbleiterverarbeitung. Typischerweise werden ausgewählte chemische Gase in einer Aufdampfkammer, die einen Halbleiterwafer enthält, gemischt. Herkömmlicherweise wird Wärme angewendet, um die chemische Reaktion der Gase in der Kammer zu beschleunigen und die Oberfläche des Wafers, auf dem der Film aufgedampft wird, zu erwärmen.

[0004] Bei Aufdampfungsprozessen ist es erwünscht, den Waferdurchsatz (d.h. die Anzahl der verarbeiteten Wafer pro Zeiteinheit) zu maximieren, während Filmschichten aufgetragen werden, die eine gleichmäßige Dicke und einen gleichmäßigen spezifischen Widerstand aufweisen. Um eine gleichmäßige Dicke und einen gleichmäßigen spezifischen Widerstand zu erhalten, ist es wichtig, den Wafer auf einer gleichmäßigen Temperatur zu halten.

[0005] Es wurden eine Reihe verschiedener Aufdampfungsreaktoren entwickelt. Im Allgemeinen weist jeder Aufdampfungsreaktor eine Reaktionskammer, ein Waferhandhabungssystem, eine Wärmequellen- und Temperatursteuerung sowie ein Gaszuführungssystem (Einlass, Auslass, Strömungssteuerung) auf.

[0006] Fig. 1A ist eine vereinfachte Querschnittsansicht eines Typs eines Aufdampfungsreaktors **100** des Stands der Technik, der als Horizontalofen bekannt ist, bei dem ein Suszeptor **101** in einem horizontalen Rohr **102** (herkömmlicherweise mit einem rechtwinkligen Querschnitt) positioniert ist, wobei das Innere desselben die Reaktionskammer darstellt.

[0007] Halbleiterwafer **103a**, **103b** und **103c** werden auf der Oberfläche **101a** des Suszeptors **101** angebracht. Eine Wärmequelle **104** erwärmt die Wafer, und es werden Reaktantgase **105** durch das Rohr **102** an den Wafern vorbei geleitet. Der Suszeptor **101** ist, wie in Fig. 1A gezeigt, oftmals geneigt, so dass die Oberfläche **101a** der Strömung des Reaktantgases **105** zugewandt ist und das Problem der Reaktanterschöpfung im Bereich der Wafer, die sich nahe des Strömungsendes der Reaktantgase befinden, **105** minimiert wird.

[0008] Fig. 1B ist eine vereinfachte Orthogonalansicht eines anderen Typs eines Reaktors **110** des Stands der Technik, der als Trommelreaktor bekannt ist, bei dem ein Suszeptor **111** im Inneren eines Glockengefäßes **112**, das die Reaktionskammer abgrenzt, aufgehängt ist. Halbleiterwafer, wie z.B. der Wafer **113**, werden im Wesentlichen vertikal an den Seiten, wie z.B. der Seite **111a** des Suszeptors **111**, angebracht. Die Wärmequelle **114** erwärmt die Wafer, und die Reaktantgase werden durch den Gaseinlass **115** in den oberen Teil des Glockengefäßes **112** eingeleitet. Die Gase strömen über die Oberfläche der Wafer den Suszeptor **111** hinab und werden durch einen Gasauslass (nicht gezeigt) am Boden des Glockengefäßes **112** aus der Reaktionskammer abgelassen.

[0009] Fig. 1C ist eine vereinfachte Querschnittsansicht eines anderen Typs eines Reaktors **120** des Stands der Technik, der als Flachreaktor bekannt ist, bei dem ein vertikal befestigter Suszeptor **121** vom Boden des Glockengefäßes **122**, das die Reaktionskammer abgrenzt, getragen wird. Halbleiterwafer, wie z.B. der Wafer **123**, werden horizontal auf der Oberfläche **121a** des Suszeptors **121** angebracht. Die Wafer werden mittels einer HF-Wärmequelle (nicht gezeigt) erwärmt, und es werden Reaktantgase durch die Suszeptorauflage **125** oberhalb der Wafer in die Reaktionskammer eingeleitet. Die Gase strömen über die Wafer hinab und werden durch einen Gasauslass (nicht gezeigt) am Boden des Glockengefäßes **122** abgelassen.

[0010] Aufdampfungsreaktoren können nach ihren Betriebseigenschaften klassifiziert werden. Beispielsweise kann ein Reaktor entweder ein Kaltwand- oder ein Warmwandreaktor sein. Kaltwandreaktoren werden normalerweise bevorzugt, da sich keine unerwünschten Ablagerungen an den Kammerwänden bilden.

[0011] Ein Reaktor kann auch durch die Zeit charakterisiert werden, die benötigt wird, um den Wafer zu erwärmen und abzukühlen. Herkömmliche Reaktoren benötigen 40 bis 90 Minuten für einen vollständigen Verarbeitungszyklus eines Waferstapels. Im Gegensatz dazu benötigen Schnellwärmeverarbeitungsreaktoren (RTP-Reaktoren) nur 2 bis 15 Minuten für die Verarbeitung eines Wafers. Daher sind Schnellwärmereaktoren durch die Tatsache gekennzeichnet, dass die Zeit des Verarbeitungsvorgangs bedeutend kürzer ist als die Zeit des Verarbeitungsvorgangs eines herkömmlichen Reaktors.

[0012] Herkömmliche Reaktoren wurden für die Verarbeitung einer Mehrzahl von Wafern oder eines einzelnen Wafers in einem Stapel verwendet, während Schnellwärmeverarbeitungsreaktoren für die Verarbeitung von Einzelwaferstapeln verwendet wurden. Schnellwärmeverarbeitungsreaktoren wurden nicht für die Verarbeitung von Stapeln mit mehreren Wafern verwendet, da es die schnellen Temperaturänderungen in den Schnellwärmeverarbeitungsreaktoren schwierig machen, einen gleichmäßigen Temperaturbereich in der Reaktionskammer zu erzielen. Der Bereich der Reaktionskammer, der eine gleichmäßige Temperatur aufweist, beschränkt den Betrieb auf einen einzelnen Wafer, typischerweise mit einem Durchmesser von 8 Zoll (200 mm) oder weniger.

[0013] Während Schnellwärmeverarbeitungsreaktoren für die Verarbeitung eines einzelnen Wafers pro Durchlauf – im Gegensatz zur Verarbeitung von mehreren Wafern in herkömmlichen Reaktoren – verwendet wurden, war die Einzelwaferstapelkapazität des Schnellwärmeverarbeitungsreaktors nur deshalb akzeptabel, weil diese Reaktoren gleichmäßigere spezifische Widerstände und Dicken erreichen, als es mit herkömmlichen Reaktoren möglich ist. Bei herkömmlichen Reaktoren sind Variationen der Dicke und des spezifischen Widerstands von 3–10% erreichbar. Mit Schnellwärmeverarbeitungsreaktoren sind Variationen der Dicke von 1–2% und Variationen des spezifischen Widerstands von 1–5 erreichbar.

[0014] Ein Reaktor kann weiterhin nach der Orientierung der Wafer in der Reaktionskammer charakterisiert werden. Ein vertikaler Reaktor ist ein Reaktor, bei dem die Oberfläche, auf der die Gase abgeschieden werden, im Wesentlichen vertikal ist. Ein horizontaler Reaktor ist ein Reaktor, bei dem die Oberfläche, auf der die Gase abgeschieden werden, im Wesentlichen horizontal ist.

[0015] Ein Reaktor kann ebenfalls nach dem Typ der Wärmequelle, die für die Erwärmung der Wafer verwendet wird, charakterisiert werden. Die Verwendung von Strahlungserwärmung für die Halbleiterverarbeitung ist dem Stand der Technik bekannt und geht zurück auf das Ende der sechziger Jahre.

[0016] Für die Halbleiterverarbeitung wurde eine Mehrzahl von Systemen entwickelt, bei denen entweder eine Strahlungsenergiewärmequelle oder eine HF-Energiewärmequelle und ein Suszeptor verwendet wird. Jedoch bringen beide Vorrichtungen ein oder mehrere Probleme mit sich.

[0017] Sheets, U.S.-Patent Nr. 4,649,261 mit dem Titel „Apparatus for Heating Semiconductor Wafers in Order To Achieve Annealing, Silicide Formation, Reflow of Glass, Passivation Layers, etc.", verwendete zwei Strahlungswärmequellen – eine Wärmequelle, die ungedämpfte Wellen verwendet, und eine gepulste Wärmequelle – um einen stationären Wafer um 200° C bis 500° C pro Sekunde zu erwärmen. Shimizu, U.S.-Patent Nr. 4,533,820 mit dem Titel „Radiant Heating Apparatus", zeigt eine Reaktionskammer, die von einer Mehrzahl planarer Lichtquellen umgeben ist, die einen Halbleiterwafer erwärmen, der von einem Sockel getragen wird. Shimizu berichtete, dass innerhalb von drei Minuten, nachdem die Leuchten eingeschaltet wurden, auf dem Halbleiterwafer ein gleichmäßiger Oxidfilm gebildet wurde.

[0018] Andere Konfigurationen, die duale Strahlungswärmequellen für die Erwärmung eines Halbleiterwafers verwenden, sind beispielsweise in U.S.-Patent Nr. 4,680,451 mit dem Titel „Apparatus Using High Intensity CW Lamps for Improved Heat Treating of Semiconductor Wafer", erteilt an Gat et al. am 14. Juli 1987, und in U.S.-Patent Nr. 4,550,245, mit dem Titel „Light-Radiant Furnace for Heating Semiconductor Wafers", erteilt an Arai et al. am 29. Oktober 1985, gezeigt. Gat et al. berichteten eine Erwärmung eines Vier-Zoll-Wafers auf 700° C in drei Sekunden, Beibehalten der Temperatur für zehn Sekunden und daraufhin Hinunterbringen der Temperatur in drei Sekunden. Arai et al. berichteten das Anlegen von 1600 Watt an jede der Lampen in der Strahlungswärmequelle, um einen Siliziumwafer mit einer Dicke von 450 µm und einer Fläche von 4 Quadratzoll innerhalb von 10 Sekunden ab dem Zeitpunkt des Anlegens des Stroms an die Lampen auf eine Temperatur von 1200° C zu erwärmen.

[0019] Bei einer weiteren Vorrichtung zur Erwärmung eines Halbleiterwafers von Robinson et al., U.S.-Patent Nr. 4,789,771, wird ein Wafer in einer Reaktionskammer über einem Suszeptor gehalten. Infrarotwärmelampen erstrecken sich direkt durch die Reaktionskammer. Diese Gestaltung weist mehrere Nachteile auf. Die Strah-

lungswärmelampen sind den Gasen in der Reaktionskammer ausgesetzt, wodurch sich Ablagerungen auf den Lampen bilden können. Zusätzlich besteht der einzige Kühlungsmechanismus für die Lampen und die Innenflächen der Reflektoren in der Gasströmung durch die Kammer; folglich wird die Lebensdauer der Lampen wahrscheinlich nachteilig beeinflusst. Weiterhin weisen die Lampenreflektoren sowie die Quarzschichten um die Strahlungsenergiekolben eine erhöhte Temperatur auf, so dass sich mit der Zeit Ablagerungen auf den Oberflächen des Kolbens und des Reflektors bilden, wodurch wiederum die Gleichmäßigkeit der Schichten, die auf dem Suszeptor gebildet werden, beeinträchtigt wird. Schließlich sind besondere Mechanismen erforderlich, um die Oberfläche des Suszeptors gleichmäßig zu erwärmen, da der Rotationsmechanismus des Suszeptors, der typischerweise für Strahlungsenergie undurchlässig ist, eine direkte Erwärmung der gesamten unteren Fläche des Suszeptors verhindert.

[0020] Aus EP 476 307 A ist ein Reaktor bekannt, der eine Reaktionskammer, einen drehbaren Suszeptor und eine Wärmeverarbeitungsstrahlungswärmequelle, die außerhalb der Kammer angebracht ist, aufweist. Jedoch kann dieser Reaktor nur ein Einzelsubstrat effektiv verarbeiten.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0021] Gemäß einem Gesichtspunkt der vorliegenden Erfindung wird eine Struktur für die Verwendung in einem Reaktor zum Verarbeiten eines Substrats geschaffen, wobei die Struktur Folgendes umfasst:
einen Suszeptor mit einer ersten Fläche, die für die Montage eines Substrats darauf gestaltet ist; einer zweiten Fläche; und einer Mehrzahl von Öffnungen, die durch den genannten Suszeptor von der genannten ersten Fläche zu der genannten zweiten Fläche verlaufen, wobei jede Öffnung in der genannten Mehrzahl von Öffnungen, die durch den genannten Suszeptor von der genannten ersten Fläche zu der genannten zweiten Fläche verlaufen, eine Fläche hat; und
eine Mehrzahl von Substratauflagezapfen;
wobei ein Substratauflagezapfen beweglich in jeder aus der genannten Mehrzahl von Öffnungen montiert ist und in einer ersten Position die genannten Substratauflagezapfen in dem genannten Suszeptor sitzen, wenn das genannte Substrat von dem genannten Suszeptor getragen wird, und in einer zweiten Position die genannten Substratauflagezapfen das genannte Substrat über der genannten ersten Fläche halten; und
jeder Substratauflagezapfen eine Fläche aufweist, wobei in der genannten ersten Position die Fläche des Substratauflagezapfens mit der Fläche der jeweiligen Öffnung zusammenpasst, um einen Gasstrom durch die genannte Mehrzahl von Öffnungen in dem genannten Suszeptor während der Verarbeitung zu sperren.

[0022] Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung ist eine Mehrzahl von Auflagen bereitgestellt, eine für jeden Substratauflagezapfen, die in dem genannten Reaktor montiert sind, so dass die genannte Mehrzahl von Auflagen die genannte Mehrzahl von Substratauflagezapfen in der genannten zweiten Position halten, wenn der genannte Suszeptor in einer dritten Position ist.

[0023] Der genannte Suszeptor kann in einer vierten Position sein und die Substratauflagezapfen können in der ersten Position sein.

[0024] Bei einer anderen Ausführungsform sind die Fläche der Öffnung und die genannte Fläche des genannten Substratauflagezapfens beide konisch, so dass die genannte konische Fläche des genannten Substratauflagezapfens mit der konischen Fläche der genannten Öffnung in der genannten ersten Position zusammenpasst.

[0025] Gemäß einem anderem Gesichtspunkt der Erfindung wird ein Schnellwärmeverarbeitungsreaktor geschaffen, der eine Struktur gemäß dem ersten Gesichtspunkt umfasst.

[0026] Vorzugsweise ist in einer Schnellwärmeverarbeitungs-Reaktionskammer eine Mehrzahl von Gasdüsen um einen Außenumfang des genannten Suszeptors montiert.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0027] Fig. 1A ist eine vereinfachte Querschnittsansicht eines Horizontalofenreaktors des Stands der Technik.

[0028] Fig. 1B ist eine vereinfachte Orthogonalansicht eines Trommelreaktors des Stands der Technik.

[0029] Fig. 1C ist eine vereinfachte Querschnittsansicht eines Flachreaktors des Stands der Technik.

[0030] Fig. 2A ist eine vereinfachte Querschnittsansicht eines Schnellwärmeverarbeitungsreaktors gemäß einer Ausführungsform zur Verarbeitung einer Mehrzahl von Wafern.

[0031] Fig. 2B ist eine vereinfachte Querschnittsansicht eines Schnellwärmeverarbeitungsreaktors gemäß einer anderen Ausführungsform zur Verarbeitung einer Mehrzahl von Wafern.

[0032] Fig. 2C ist eine vereinfachte Querschnittsansicht eines Schnellwärmeverarbeitungsreaktors gemäß einer anderen Ausführungsform zur Verarbeitung eines großen einzelnen Wafers.

[0033] Fig. 3A ist eine vereinfachte Querschnittsansicht eines Reaktors, in dem Wafer mit einer einzelnen Wärmequelle erwärmt werden und in den Prozessgase von der Seite in die Reaktionskammer eingeblasen werden.

[0034] Fig. 3B ist eine vereinfachte Querschnittsansicht eines Reaktors, in dem Wafer mit einer dualen Wärmequelle erwärmt werden und in den Prozessgase von der Seite in die Reaktionskammer eingeblasen werden.

[0035] Fig. 3C ist eine vereinfachte Querschnittsansicht eines Reaktors, in dem Wafer mit einer einzelnen Wärmequelle erwärmt werden und in den Prozessgase mittig in die Reaktionskammer eingeblasen werden.

[0036] Fig. 3D ist eine vereinfachte Querschnittsansicht eines Reaktors, in dem Wafer mit einer dualen Wärmequelle erwärmt werden und in den Prozessgase mittig in die Reaktionskammer eingeblasen werden.

[0037] Fig. 3E ist eine vereinfachte Querschnittsansicht eines Gefäßes, das eine obere Wand umfasst, die eine gebogene oder „Glocken"-Form aufweist.

[0038] Fig. 3F und Fig. 3G sind jeweils eine Seitenansicht und eine Draufsicht eines Suszeptors, der mit der Erfindung verwendet werden kann, die ein anderes Mittel zur Anbringung eines Wafers auf dem Suszeptor zeigen.

[0039] Fig. 3H ist eine Querschnittsansicht einer oberen Wand eines Gefäßes zur Verwendung mit dem Reaktor.

[0040] Fig. 4A ist eine Querschnittsansicht eines Reaktors gemäß einer anderen Ausführungsform, die entlang des Schnittes 4B-4B aus Fig. 4B genommen ist.

[0041] Fig. 4B ist eine Querschnittsansicht des Reaktors aus Fig. 4A, die entlang des Schnittes 4A-4A aus Fig. 4A genommen ist.

[0042] Fig. 4C ist eine vereinfachte Draufsicht des Reaktors aus Fig. 4A.

[0043] Fig. 5A und Fig. 5B sind jeweils detaillierte Ansichten eines Abschnitts aus Fig. 4A und Fig. 4B.

[0044] Fig. 5C ist eine Unteransicht der Schale, die das Glockengefäß des Reaktors aus Fig. 4A bis Fig. 4C einschließt, wobei die inneren Abschnitte der Schale gezeigt sind.

[0045] Fig. 5D ist eine Draufsicht eines Abschnitts des Reaktors aus Fig. 4A bis Fig. 4C, die die Reaktionskammer und den umgebenden Tisch zeigt.

[0046] Fig. 5E und Fig. 5F sind detaillierte Ansichten eines Abschnitts aus Fig. 4B, die den Suszeptor jeweils in zurückgezogenem und in angehobenem Zustand zeigen.

[0047] Fig. 6 ist eine perspektivische Ansicht zweiter Lampengruppen des Reaktors aus Fig. 4A, Fig. 4B und Fig. 4C.

[0048] Fig. 7A ist eine Querschnittsansicht einer Widerstandsheizung zur Verwendung mit einem Reaktor.

[0049] Fig. 7B ist eine Draufsicht eines Abschnitts der Widerstandsheizung aus Fig. 7A.

[0050] Fig. 7C ist eine seitlich aufgeschnittene Ansicht eines Teils des Abschnitts, der in Fig. 7B gezeigt ist.

[0051] Fig. 7D ist eine detaillierte Ansicht eines Teils des Abschnitts, der in Fig. 7B gezeigt ist.

[0052] Fig. 7E ist eine Querschnittsansicht, die ein Passivwärmeverteilungselement zur Verwendung mit Ausführungsformen des Reaktors aus Fig. 4A, Fig. 4B und Fig. 4C zeigt, bei dem eine einzelne Wärmequelle verwendet wird.

[0053] Fig. 7F ist eine vereinfachte Querschnittsansicht eines Reaktors gemäß einer anderen Ausführungsform, der eine Reflektorplatte umfasst, die an der Bodenwand des Reaktorgefäßes angebracht ist.

[0054] Fig. 8A ist eine Orthogonalansicht eines Abschnitts einer Gaseinblasdüse gemäß einer anderen Ausführungsform.

[0055] Fig. 8B, Fig. 8C und Fig. 8D sind Querschnittsansichten von Gasdüsenspitzen, die mit der Gaseinblasdüse aus Fig. 8A gemäß alternativer Ausführungsformen verwendet werden.

[0056] Fig. 8E und Fig. 8F sind jeweils eine modifizierte Draufsicht und eine Seitenansicht einer Leitschaufel zur Verwendung mit der Gaseinblasdüse aus Fig. 8A gemäß einer Ausführungsform.

[0057] Fig. 8G und Fig. 8H sind jeweils eine modifizierte Draufsicht und eine Seitenansicht einer Leitschaufel zur Verwendung mit der Gaseinblasdüse aus Fig. 8A gemäß einer anderen Ausführungsform.

[0058] Fig. 9A und Fig. 9B sind jeweils eine Draufsicht und eine Querschnittsansicht eines Suszeptorträgers gemäß einer anderen Ausführungsform.

[0059] Fig. 10A und Fig. 10B sind eine Draufsicht und eine Seitenansicht eines Suszeptorträgers gemäß einer anderen Ausführungsform.

[0060] Fig. 10C ist eine Draufsicht eines Suszeptors zur Verwendung mit dem Suszeptorträger aus Fig. 10A und Fig. 10B.

[0061] Fig. 10D ist eine Querschnittsansicht des Suszeptors aus Fig. 10C, die entlang der Schnittlinie 10C-10C genommen ist.

[0062] Fig. 11A, Fig. 11B und Fig. 11C sind ausführliche Querschnittsansichten eines Waferauflagezapfens, der zur Verwendung mit der Erfindung in einen kegelförmigen Abschnitt eines Loches in einem Suszeptor eingesetzt ist.

[0063] Fig. 11D ist eine Draufsicht eines Suszeptors, der drei Taschen zur Aufnahme eines Wafers umfasst, wobei ein Waferumgebungsring in jeder Tasche angeordnet ist.

[0064] Fig. 11E ist eine vereinfachte Querschnittsansicht eines Waferumgebungsrings gemäß der Erfindung, der in Fig. 11D gezeigt ist, wobei der Waferumgebungsring mit Hilfe von Waferauflagezapfen über den Suszeptor aus Fig. 11D angehoben ist.

[0065] Fig. 12A ist eine vereinfachte Draufsicht einer Lampengruppe.

[0066] Fig. 12B ist eine vereinfachte Draufsicht einer alternativen Lampengruppe.

[0067] Fig. 13A und Fig. 13B sind jeweils eine Seitenansicht einer Induktionsspirale, die zur Verwendung in einer Ausführungsform der Erfindung unterhalb eines Suszeptors angeordnet ist, und eine Draufsicht der Induktionsspirale.

[0068] Fig. 14A und Fig. 14B sind jeweils eine Draufsicht und eine Seitenansicht eines Waferumgebungsrings, einer Spindel und eines Wafers, der in einer Tasche eines Suszeptors angebracht ist.

[0069] Fig. 14C ist eine Querschnittsansicht eines robusten Waferumgebungsrings, eines Suszeptoreinsatzes, einer Spindel und eines Wafers, der in einer Tasche eines Suszeptors angebracht ist.

[0070] Fig. 14D ist eine Querschnittsansicht eines Waferumgebungsrings, einer Spindel und eines Wafers, der in einer Tasche eines Suszeptors angebracht ist.

[0071] Fig. 14E ist eine Querschnittsansicht eines Waferumgebungsrings, eines Suszeptoreinsatzes, einer Spindel und eines Wafers, der in einer Tasche eines Suszeptors angebracht ist.

[0072] Fig. 14F ist eine Querschnittsansicht eines Waferumgebungsrings und eines Wafers, der in einer Tasche eines Suszeptors angebracht ist.

[0073] Fig. 14G ist eine Querschnittsansicht eines Suszeptoreinsatzes, eines Waferumgebungsrings und eines Wafers, der in einer Tasche eines Suszeptors angebracht ist.

[0074] Fig. 14H ist eine Querschnittsansicht eines Waferumgebungsrings, einer Spindel, eines Suszeptoreinsatzes und eines Wafers, der in einer Tasche eines Suszeptors angeordnet werden kann.

[0075] Fig. 14I ist eine Querschnittsansicht eines Waferumgebungsrings und eines Wafers, der in einer Tasche eines Suszeptors angeordnet werden kann.

[0076] Fig. 14J ist eine Querschnittsansicht eines Waferumgebungsrings und eines Wafers gemäß einer anderen Ausführungsform, der in einer Tasche eines Suszeptors angeordnet werden kann.

[0077] Fig. 14K ist eine Querschnittsansicht eines Waferumgebungsrings, einer Spindel und eines Wafers gemäß einer anderen Ausführungsform, der in einer Tasche eines Suszeptors angeordnet werden kann.

[0078] Fig. 14L ist eine Draufsicht des Waferumgebungsrings und einer Spindel aus Fig. 14K.

[0079] Fig. 14M ist eine Draufsicht eines Waferumgebungsrings und einer Spindel, die in einer Tasche eines Suszeptors angeordnet werden kann.

[0080] Fig. 14N ist eine Querschnittsansicht eines Waferumgebungsrings und eines Wafers, der in einer Tasche eines Suszeptors angeordnet werden kann.

[0081] Fig. 14O ist eine Querschnittsansicht des Waferumgebungsrings und des Wafers aus Fig. 14N, die die Biegung des Wafers zeigt, die auftreten kann, wenn der Wafer während der Verarbeitung erwärmt wird.

[0082] Fig. 14P ist eine Querschnittsansicht eines Waferumgebungsrings.

[0083] Fig. 14Q und Fig. 14R sind jeweils eine Draufsicht und eine seitlich aufgeschnittene Ansicht eines C-förmigen Abschnitts eines Waferumgebungsrings.

[0084] Fig. 14S ist eine Draufsicht eines Waferumgebungsrings, der einen C-förmigen Abschnitt und einen Paßabschnitt umfasst.

[0085] Fig. 15A, Fig. 15B, Fig. 15C, Fig. 15D und Fig. 15E sind Draufsichten von Suszeptoren zur Verwendung mit der Erfindung, die mögliche Arten der Anbringung eines oder mehrerer Wafer auf einem Suszeptor zeigen.

[0086] Fig. 16A ist eine vereinfachte Ansicht eines Reaktors gemäß der Erfindung, bei dem ein einziger Computer zur Steuerung sowohl der Gasplatte als auch der Reinigungsvorrichtung verwendet wird.

[0087] Fig. 16B ist ein Blockdiagramm, das Schritte in einem Verfahren veranschaulicht, für das ein Reaktor verwendet werden kann.

[0088] Fig. 17 ist eine Draufsicht einer Gruppe von Reaktoren gemäß dem zweiten Gesichtspunkt der Erfindung, von denen jeder zur Durchführung eines bestimmten Halbleiterverfahrens verwendet wird und die um eine abgedichtete Kammer herum angeordnet sind, die einen Roboter enthält, der Wafer zwischen einem Kassettenraum und einem Reaktor oder zwischen zwei Reaktoren befördert.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

[0089] Bezugnahmen in der Beschreibung der Zeichnungen auf Ausführungsformen der Erfindung können Bezugnahmen auf Beispiele sein, mit denen die Struktur der Erfindung verwendet werden kann.

[0090] Ein Schnellwärmeverarbeitungsreaktor (RTP-Reaktor) verarbeitet nicht nur einen einzelnen Halbleiterwafer, sondern auch eine Mehrzahl von Halbleiterwafern. Hierin bezeichnet ein Schnellwärmeverarbeitungsreaktor einen Reaktor, der eine Verarbeitungszykluszeit aufweist, die im Vergleich zur selben Verarbeitungszykluszeit eines herkömmlichen Reaktors kurz ist. Der Schnellwärmeverarbeitungsreaktor dieser Erfindung kann den Wafer oder die Wafer mit einer Rate zwischen 10° C/sec und 400° C/sec erwärmen. Bei einer Ausführungsform erwärmt der Schnellwärmeverarbeitungsreaktor dieser Erfindung den bzw. die Wafer mit einer Rate von 10° C/sec. Bei einer anderen Ausführungsform erwärmt der Schnellwärmeverarbeitungsreaktor dieser Erfindung den bzw. die Wafer mit einer Rate von 10° C/sec. Die schnelle Erwärmung des Wafers stellt einen der Hauptgründe für die kürzere Verarbeitungszykluszeit dar, die den Schnellwärmeverarbeitungsreaktor dieser Erfindung charakterisiert. Der Schnellwärmeverarbeitungsreaktor verarbeitet eine Mehrzahl von Wafern oder einen einzelnen großen Wafer, wie beispielsweise einen Wafer mit einem Durchmesser von 250 mm (10 Zoll), 300 mm (12 Zoll) oder 400 mm (16 Zoll) unter Verwendung einer einzelnen oder einer dualen Wärmequelle. (Im Folgenden werden die Wafergrößen angegeben, ohne ausdrücklich darauf hinzuweisen, dass das angegebene Maß den Durchmesser des Wafers darstellt.) Gemäß einer Ausführungsform werden 125 mm (5 Zoll) und 150 mm (6 Zoll) Wafer zu je drei Stück pro Stapel verarbeitet, und 200 mm (8 Zoll), 250 mm (10 Zoll) und 300 mm (12 Zoll) Wafer werden einzeln verarbeitet. Jedoch könnten größere Stapelgrößen mit Hilfe eines größeren Reaktors verarbeitet werden, bei dem das Prinzip dieser Erfindung angewendet wird. Bei einer anderen Ausführungsform der Erfindung verarbeitet beispielsweise ein Schnellwärmeverarbeitungsreaktor 150 mm (6 Zoll) Wafer in Stapeln zu je vier Wafern, 200 mm (8 Zoll) Wafer in Stapeln zu je drei Wafern, 300 mm (12 Zoll) und 400 mm (16 Zoll) Wafer in Stapeln zu je einem Wafer.

[0091] Fig. 2A ist eine vereinfachte Querschnittsansicht eines Schnellwärmeverarbeitungsreaktors **200** gemäß einer Ausführungsform der Erfindung zur Verarbeitung einer Mehrzahl von Wafern **210**. Die Wafer **210** werden auf dem Suszeptor **201** angebracht, der von dem Suszeptorträger **212** getragen wird. Die Suszeptorpositionssteuerung **202** dreht die Wafer **210** während der Verarbeitung und hebt und senkt den Suszeptor **201** in verschiedene Positionen, um die Wafer **210** zu laden und zu verarbeiten. Die Wärmeregelung **203** regelt eine einzelne Wärmequelle **204**, die die Wafer **210** während der Verarbeitung auf eine im Wesentlichen gleichmäßige Temperatur erwärmt. Die Gasströmungssteuerung **205** regelt die Strömung der Gase in die Reaktionskammer **209** des Reaktors **200** durch den Einlasskanal **206** und den Gaseinblaskopf **207** und läßt die Gase aus der Reaktionskammer **209** durch den Auslasskanal **208** ab.

[0092] Fig. 2B ist eine vereinfachte Querschnittsansicht eines Schnellwärmeverarbeitungsreaktors **220** gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung zur Verarbeitung der Mehrzahl von Wafern **210**. Wie in Fig. 2A umfasst der Reaktor **220** einen Suszeptor **201**, einen Suszeptorträger **212**, eine Suszeptorpositionssteuerung **202**, eine Wärmeregelung **203**, eine Wärmequelle **204**, eine Gasströmungssteuerung **205**, einen Einlass- und einen Auslasskanal **206** und **208**, einen Gaseinblaskopf **207** und eine Reaktionskammer **209**. Der Reaktor **220** umfasst weiterhin eine zweite Wärmequelle **224**, die ebenfalls von der Wärmeregelung **203** geregelt wird.

[0093] Fig. 2C ist eine vereinfachte Querschnittsansicht eines Schnellwärmeverarbeitungsreaktors **240** gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung zur Verarbeitung eines einzelnen großen Wafers **250**. Der Wafer **250** ist auf dem Suszeptor **241** angebracht. Die restlichen Komponenten des Reaktors **240** entsprechen denen des Reaktors **220**. Insbesondere umfasst der Reaktor **240** zwei Wärmequellen **204** und **224**. Während Fig. 2A bis Fig. 2C einen Schnellwärmeverarbeitungsreaktor mit Zentralgaseinblasung, wie unten beschrieben, zeigen, kann bei jedem dieser Schnellwärmeverarbeitungsreaktoren auch eine Mehrzahl von Düsen zur seitlichen Gaseinblasung verwendet werden.

[0094] Bei herkömmlichen Reaktoren des Stands der Technik, die für die simultane Verarbeitung einer Mehrzahl von Wafern oder eines einzelnen großen Wafers verwendet werden, sind lange Aufwärm-, Verarbeitungs- und Abkühlvorgänge erforderlich. Beispielsweise beträgt die Gesamtdauer für das Aufwärmen, die Verarbeitung und das Abkühlen für ein Aufdampfungsverfahren, das eine Erwärmung auf 1100° C erfordert, in einem herkömmlichen Reaktor typischerweise 45–90 Minuten. (In dieser Offenbarung wird ein Aufdampfungsverfahren so definiert, dass es Verfahren umfasst, bei denen auf einem Wafer ein Film wächst.) Bei einem gleichen Verfahren und einer gleichen Temperatur benötigen die Schnellwärmeverarbeitungsreaktoren **200**, **220** und **240** eine wesentlich kürzere Zeit für die Erwärmung, die Verarbeitung und das Abkühlen, d.h. 2–20 Minuten.

[0095] Obwohl die Erwärmungs- und Abkühlzeiten durch die thermische Masse des Suszeptors **201** bei den Reaktoren **200**, **220** und **240** im Verhältnis zu Reaktoren, bei denen kein Suszeptor verwendet wird, verlängert werden, minimiert der Suszeptor **201** die Temperaturunterschiede zwischen dem Zentrum und dem Rand jedes Wafers der Mehrzahl von Wafern **210** (Fig. 2A und Fig. 2B) oder des einzelnen Wafers **250** (Fig. 2C), wo-

durch die stabile Temperaturgleichmäßigkeit in den Wafern **210** oder dem Wafer **250** im Verhältnis zu Reaktoren des Stands der Technik während der Verarbeitung der Wafer **210** oder des Wafers **250** verbessert wird. Wie weiter unten ausführlicher beschrieben wird, sind die Materialien des Suszeptors **201** weiterhin so ausgewählt, dass nachteilige thermische Auswirkungen im Zusammenhang mit dem Suszeptor **201** minimiert werden. Die Wärmequelle **204** (Fig. 2A und Fig. 2C) ist eine Strahlungsenergiewärmequelle. Die Wärmequelle **224** (Fig. 2B und Fig. 2C) ist eine Widerstandsheizung. Alternativ können Durchschnittsfachleute die Wärmequelle **224** der Schnellwärmeverarbeitungsreaktoren **220** oder **240** im Hinblick auf diese Offenbarung als HF-Wärmequelle anstelle einer Widerstandsheizung realisieren.

[0096] In jeder Ausführungsform der Erfindung, die in Fig. 2A bis Fig. 2C gezeigt ist, erhöhen die Wärmequelle **204** (Fig. 2A) oder die Wärmequellen **204** und **224** (Fig. 2B und Fig. 2C) die Temperatur der Wafer **210** oder des Wafers **250** schnell von der Umgebungstemperatur auf die stabile Verarbeitungstemperatur, so dass die Temperatur in den Wafern **210** oder dem Wafer **250** im Wesentlichen gleichmäßig ist, und sie halten die im Wesentlichen gleichmäßige Temperatur für die Dauer des Verfahrens aufrecht. Nach der Verarbeitung werden die Wafer **210** oder der Wafer **250** mit Hilfe von Wasserstoff abgekühlt, woraufhin Stickstoff verwendet wird, um Reaktantgase aus der Reaktionskammer **209** zu beseitigen. Eine schnelle Erwärmung ermöglicht eine schnelle Verarbeitung der Wafer **210** oder des Wafers **250**. Eine im Wesentlichen gleichmäßige Wafertemperatur ist für eine Anzahl von Halbleiterverarbeitungsverfahren von Bedeutung, wie beispielsweise für die Bildung einer Epitaxieschicht, bei der eine im Wesentlichen gleichmäßige Temperatur für die Erreichung einer akzeptabel gleichmäßigen Dicke und eines akzeptabel gleichmäßigen spezifischen Widerstandes entscheidend ist.

[0097] Hierin bezeichnet der Ausdruck „im Wesentlichen gleichmäßige Temperatur" eine Temperaturverteilung, die Verfahrensergebnisse mit einer akzeptablen Qualität für ein bestimmtes Verfahren, das ausgeführt wird, liefert. Beispielsweise muss die Temperaturverteilung bei Epitaxieverfahren ausreichend gleichmäßig sein, um Wafer erzeugen zu können, die hinsichtlich Abgleitung, Gleichmäßigkeit der Dicke und Gleichmäßigkeit des spezifischen Widerstands mindestens Industriestandards entsprechen. Wie weiter unten ausführlicher beschrieben wird, ist die Temperaturgleichmäßigkeit bei dem Schnellwärmeverarbeitungsreaktor dieser Erfindung tatsächlich so beschaffen, dass die Verfahrensergebnisse bei Epitaxieverfahren besser ausfallen als die Industriestandards fordern. Ein wichtiger Gesichtspunkt der Erfindung besteht darin, dass die Anzahl der Komponenten in der Reaktionskammer **209** minimiert wurde. Genauer ausgedrückt, sind die einzigen Komponenten, die in der Reaktionskammer **209** enthalten sind, der Suszeptor **201**, der Suszeptorträger **212**, ggf. die Wärmequelle **224** und der Gaseinblaskopf **207**. Somit wurden mögliche Quellen der Partikelverunreinigung in der Reaktionskammer **209** im Vergleich zu herkömmlichen Reaktoren, die typischerweise die gesamte Suszeptorpositionssteuerung **202** oder einen Teil derselben in der Reaktionskammer **209** enthalten, bedeutend reduziert. Die Schnellwärmeverarbeitungsreaktoren **200**, **220** und **240** können zur Durchführung aller Verfahren verwendet werden, die von Schnellwärmeverarbeitungsreaktoren des Stands der Technik, die nur einzelne Wafer mit einem Maß von 200 mm (8 Zoll) oder weniger verarbeiteten, durchgeführt wurden. Beispielsweise können die Schnellwärmeverarbeitungsreaktoren **200**, **220** und **240** für Ausheil- oder andere Halbleiterverarbeitungsschritte verwendet werden, bei denen dem Wafer keine zusätzlichen Schichten oder Leiterabschnitte hinzugefügt werden.

[0098] Beispielsweise wird durch eine Ausheildauer von etwa zwei Sekunden bei einer Temperatur von etwa 1100° C eine Arsenionendosis von etwa 10^{16} aktiviert, die bei etwa 80 keV implantiert wird, und Schäden werden durch diese beseitigt. Typischerweise dauern Schnellwärmeausheilungen mit den Reaktoren **200**, **220** und **240** einige wenige Sekunden im Bereich von etwa einer Sekunde bis etwa 15 Sekunden, wobei sie Spitzentemperaturen im Bereich von etwa 800° C bis etwa 1200° C aufweisen. Der Anteil des aktivierten Dotanden liegt typischerweise im Bereich von etwa 50% bis etwa 90%. Wie Durchschnittsfachleuten bekannt ist, hängen die spezifische Dauer und die spezifische Spitzentemperatur von der Dosis und der Art des Implantats ab.

[0099] Zusätzlich zum Ausheilen können die Schnellwärmeverarbeitungsreaktoren **200**, **220** und **240** zum Sintern von Metallkontakten verwendet werden. Zur Erreichung eines guten Metall-Halbleiterkontakts nach der Aufdampfung erwärmt einer der Schnellwärmeverarbeitungsreaktoren **200**, **220** und **240** die Metall-Halbleiterkombination auf eine Temperatur, bei der eine Interdiffusion und eine Legierung an der Metall-Halbleiterschnittstelle auftreten. Beispielsweise liegt die Temperatur bei Aluminium entweder in einer inerten oder in einer Wasserstoffatmosphäre typischerweise im Bereich von etwa 450° C bis etwa 500° C bei einer Dauer im Bereich von etwa 5 Sekunden bis etwa 20 Sekunden.

[0100] Alternativ können die Schnellwärmeverarbeitungsreaktoren **200**, **220** und **240** für die Bildung von ohmschen Silizid-Silizium-Kontakten verwendet werden. Bei dieser Anwendung wird eine dünne Metallschicht, nor-

malerweise ein feuerfestes Metall, auf den Wafer aufgedampft, und der Wafer wird in einem der Schnellwärmeverarbeitungsreaktoren **200**, **220** und **240** erwärmt, damit ein Metallsilizid gebildet wird, bei dem das Metall mit dem Silizium in Berührung kommt. Das Metall, das nicht reagiert hat, wird daraufhin weggeätzt. Die Bildung des Metallsilizids ist weder gegenüber der Temperatur noch gegenüber den Zeitintervallen, die bei dem Heizschritt angewendet werden, besonders empfindlich. Bei feuerfesten Metallsiliziden liegt die Temperatur im Bereich von etwa 800° C bis etwa 1100° C, und die Zeitdauer variiert von etwa 1 bis etwa 80 Sekunden.

[0101] Bei den herkömmlichen Verfahren wurden die Schnellwärmeverarbeitungsreaktoren **200**, **220** und **240** lediglich zur Erwärmung eines Halbleiterwafers mit einer bestimmten Schicht oder mit bestimmten Schichten verwendet. Die Schnellwärmeverarbeitungsreaktoren **200**, **220** und **240** können ebenfalls zur Bildung einer bestimmten Schicht auf einer Auflage verwendet werden, wie beispielsweise einer Oxidschicht auf einem Siliziumwafer, verschiedener isolierender, dielektrischer und Passivierungsschichten auf einem Siliziumwafer oder einem Verbundhalbleiterwafer oder einer Epitaxieschicht auf einem Siliziumwafer. Die Schnellwärmeverarbeitungsreaktoren **200**, **220** und **240** können für die Verbundhalbleiterverarbeitung in einem Temperaturbereich von 300–600° C verwendet werden. Die Schnellwärmeverarbeitungsreaktoren **200**, **220** und **240** können ebenfalls für die Produktion von flachen Bildschirmen verwendet werden.

[0102] Zusätzlich können Durchschnittsfachleute die Schnellwärmeverarbeitungsreaktoren **200**, **220** und **240** im Hinblick auf diese Offenbarung für chemische Bedampfungsverfahren, wie beispielsweise Wachstum von Polysilizium, verwenden.

[0103] Beispielsweise kann eine Siliziumepitaxieschicht auf der Oberfläche eines Siliziumwafers gebildet werden. Die Wafer werden auf eine Temperatur zwischen 900° C und 1200° C erwärmt und einem Gasgemisch ausgesetzt, das aus einem Wasserstoffträgergas besteht, das mit einem oder mehreren Reaktivgasen, wie beispielsweise Siliziumausgangsgas oder Dotandausgangsgas, gemischt ist. Eine Siliziumschicht wird auf das Siliziumsubstrat aufgedampft, die dieselbe Kristallorientierung wie das Substrat aufweist.

[0104] Weiter unten werden einzelne Gesichtspunkte der Erfindung ausführlicher beschrieben. Diese Beschreibungen beziehen sich manchmal auf die Verarbeitung von Einzelwaferstapeln und manchmal auf die Verarbeitung von Mehrfachwaferstapeln. Jedoch wird als selbstverständlich vorausgesetzt, dass bei den untenstehenden Beschreibungen ein oder mehrere Wafer in einem einzigen Stapel verarbeitet werden können. Im Allgemeinen umfasst die Erfindung die gleichzeitige Verarbeitung eines oder mehrerer Wafer. Während weiter unten auf bestimmte Stapelgrößen für Wafer einer bestimmten Größe Bezug genommen wird, wird weiterhin als selbstverständlich vorausgesetzt, dass die Erfindung Stapelgrößen umfasst, die von den angegebenen verschieden sind. Im Allgemeinen ist die Erfindung weder auf die Verarbeitung einer bestimmten Stapelgröße für eine gegebene Wafergröße, noch auf die Verarbeitung von Wafern bestimmter Größen beschränkt.

[0105] Fig. 3A, Fig. 3B, Fig. 3C und Fig. 3D sind vereinfachte Querschnittsansichten von Schnellwärmeverarbeitungsreaktoren **300**, **320**, **340** und **360** gemäß der Erfindung. Fig. 3A, Fig. 3B, Fig. 3C und Fig. 3D veranschaulichen die grundlegenden Elemente eines Reaktors gemäß der Erfindung sowie verschiedene mögliche Kombinationen von Wärmequelle und Gaseinblassystem für einen Reaktor gemäß der Erfindung.

[0106] Fig. 3A ist eine vereinfachte Querschnittsansicht des Schnellwärmeverarbeitungsreaktors **300** für die Verarbeitung eines oder mehrerer Halbleiterwafer, wie beispielsweise der Wafer **311**, **312**. Der Reaktor **300** umfasst ein Gefäß **301**, einen Suszeptor **302**, einen Suszeptorträger **304**, eine Strahlungswärmequelle **310** (einschließlich einer Mehrzahl von Lampen **305** und Reflektoren **306**), ein Passivwärmeverteilungselement **307**, Seiteneinblasgasdüsen **314a**, **314b** und Abgasrohre **309a**, **309b**.

[0107] Das Gefäß **301** wird durch den Boden **301a**, die Seitenwand **301b** und die domförmige obere Wand **301c** gebildet. Die Wände **301a**, **301b** und **301c** grenzen die Reaktionskammer **303** ein. Der Boden **301a** und die Seitenwand **301b** bestehen aus rostfreiem Stahl und sind mit Quarz ausgekleidet. Bei einer Ausführungsform ist der Boden **301a** kreisförmig, und die Seitenwand **301b** ist zylindrisch. Die domförmige obere Wand **301c** besteht aus Quarz, so dass von der oberen Wand **301c** verhältnismäßig wenig von der Strahlungsenergie der Strahlungswärmequelle **310** absorbiert wird. Daher passiert die Strahlungsenergie die obere Wand **301c** ungehindert und erwärmt die Wafer **311**, **312** direkt.

[0108] Die Form der oberen Wand **301c** wurde als Kompromiss aus verschiedenen Faktoren gewählt. Wenn die obere Wand **301c** flacher ausgeführt wird, nimmt die Möglichkeit zu, dass die obere Wand zusammenbricht, wenn in der Reaktionskammer **303** ein Vakuum herrscht, d.h. beispielsweise weniger als 100 Torr während eines BICMOS-Verfahrens bei reduziertem Druck. Wenn andererseits die Krümmung der oberen Wand

301c zunimmt, wird die Strahlungswärmequelle **310** weiter von den Wafern **311**, **312** wegbewegt, wodurch wiederum ein größere Energieausgabe von der Strahlungswärmequelle **310** erforderlich ist, um eine gegebene Temperatur der Wafer **311**, **312** aufrechtzuerhalten. Wenn die Krümmung der oberen Wand **301c** zunimmt, nimmt darüber hinaus der Abstand der oberen Wand **301c** von den Wafern **311**, **312** ebenfalls zu, so dass mindestens ein gewisser Anteil der Prozessgase einen längeren Weg nach unten zurücklegen muss und daher eine längere Zeit zur Erwärmung benötigt, bis die Gase auf den Wafern **311**, **312** abgeschieden sind. Die Krümmung der oberen Wand **301c** kann ebenfalls die Strömung der Prozessgase beeinflussen, wenn sie sich auf den Wafern **311**, **312** niederlassen.

[0109] Die exakte Form der oberen Wand **301c** wird durch Testen einer Anzahl verschiedener Formen und durch Wählen der Form empirisch bestimmt, die eine gewünschte Kombination der oben genannten Charakteristiken einbringt, die von der Form der oberen Wand **301c** beeinflusst werden. In Fig. 3A, Fig. 3B, Fig. 3C und Fig. 3D weist die obere Wand **301c** eine Querschnittsform auf, die annähernd einen kreisförmigen Bogen bildet. Fig. 3E ist eine vereinfachte Querschnittsansicht eines Gefäßes **381** gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung, die eine obere Wand **381a** umfasst, die eine gebogene Form bzw. eine „Glocken"-Form aufweist.

[0110] Fig. 3H ist eine Querschnittsansicht einer oberen Wand **371** eines Gefäßes zur Verwendung mit dem Reaktor gemäß der Erfindung. Die Querschnittsform der oberen Wand **371** ist annähernd kreisförmig.

[0111] Die obere Wand **371** weist ein charakteristisches Höhe-zu-Durchmesser-Verhältnis auf (H/D-Verhältnis), das als vertikaler Abstand von der Bodenfläche **371b** des Flansches **371a** zum obersten Punkt auf der Innenseite der oberen Wand **371** definiert ist.

[0112] Vorzugsweise ist die obere Wand **371** so geformt, dass das H/D-Verhältnis zwischen 3 und 5 einschließlich liegt. Die Reaktoren gemäß der Erfindung können in jeder beliebigen Größe mit dem bevorzugten H/D-Verhältnis hergestellt werden.

[0113] Gemäß alternativen Ausführungsformen der Erfindung wird die exakte Form der oberen Wand **371** durch einen Krümmungsradius definiert, der entlang einer Linie gemessen wird, die senkrecht zur oberen Wand **301c** und durch den Mittelpunkt der oberen Wand **301c** verläuft, oder sie wird durch eine Mischung aus zwei oder mehreren Krümmungsradien definiert. Zur Veranschaulichung kann die obere Wand **371** einen Durchmesser **372** zwischen 17,0 Zoll (432 mm) und 22,5 Zoll (572 mm) und einen Krümmungsradius zwischen etwa 12 Zoll (305 mm) und 21 Zoll (533 mm) aufweisen.

[0114] Wenn eine Mischung aus Krümmungsradien verwendet wird, beträgt der Krümmungsradius im Mittelpunkt der oberen Wand **371** veranschaulichend zwischen etwa 10 Zoll (254 mm) und 12 Zoll (305 mm), und der Krümmungsradius an der Kante der oberen Wand **371** beträgt veranschaulichend zwischen etwa 13,5 Zoll (343 mm) und 16 Zoll (406 mm). Die Höhe **375** variiert, um sich an den oben beschriebenen Krümmungsradius und die oben beschriebenen H/D-Verhältnisse anzupassen.

[0115] Die Gasleitplatte **373** ist auf einer Quarzeinlage angebracht, die in der Reaktionskammer des Gefäßes benachbart zur Seitenwand angeordnet ist. Die Gasleitplatte **373** besteht beispielsweise aus Quarz, so dass die Gasleitplatte die Temperaturverteilung im Suszeptor **376** und in dem Wafer oder den Wafern so wenig wie möglich beeinträchtigt. Die Gasleitplatte **373** zwingt Gase, die andererseits zwischen dem Suszeptor **376** und der Seitenwand des Reaktors strömen könnten, über die Oberfläche des Suszeptors **376** (und somit über den Wafer oder die Wafer) zu strömen. Die Gasleitplatte **373** verursacht weiterhin eine Geschwindigkeitszunahme des Gases in der Nähe der Kante des Suszeptors **376**, da zwischen dem Suszeptor **376** und der Gasleitplatte **373** eine kleinere Öffnung **374** besteht, als es der Fall wäre, wenn zwischen dem Suszeptor **376** und der Reaktorseitenwand keine Gasleitplatte **373** vorhanden wäre. Die Länge der Gasleitplatte **373** kann beliebig variiert werden, um eine kleinere Öffnung zwischen der Gasleitplatte **373** und dem Suszeptor **376** zu erzeugen und eine Gasströmung zu erzielen, die die gewünschte Verfahrensgleichmäßigkeit einbringt.

[0116] Die Wafer **311**, **312** (Fig. 3A) sind auf einem kreisförmigen Suszeptor **302** in der Reaktionskammer **303** angebracht. Bei einer Ausführungsform ist jeder der Wafer **311**, **312** in einer Aussparung, die manchmal als „Tasche" bezeichnet wird, in dem Suszeptor **302** angebracht. Die Tiefe der Aussparungen ist bei einer Ausführungsform so gewählt, dass die oberen Flächen **311a**, **312a** der Wafer etwa auf gleicher Höhe wie die Oberfläche **302a** des Suszeptors **302** liegen. Der Durchmesser der Aussparungen ist so gewählt, dass ein Suszeptorring (weiter unten ausführlicher beschrieben), der manchmal als „Waferumgebungsring" bezeichnet wird, in jede Aussparung um den entsprechenden Wafer **311** oder **312** passen kann.

[0117] Fig. 3F und Fig. 3G sind jeweils eine Seitenansicht und eine Draufsicht des Suszeptors **382** gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung, die ein anderes Mittel zur Anbringung des Wafers **391** auf dem Suszeptor **382** veranschaulichen. Anstatt in einer Aussparung angebracht zu werden, wie es bei den Wafern **311**, **312** in Fig. 3A, Fig. 3B, Fig. 3C und Fig. 3D der Fall ist, wird der Wafer **391** auf der Oberfläche **382e** des Suszeptors **382** angebracht und seitlich durch Stützen **382a**, **382b**, **382c**, **382d** in Position gehalten. Die Stützen **382a**, **382b**, **382c**, **382d** bestehen beispielsweise aus Quarz. Alternativ können die Stützen **382a**, **382b**, **382c**, **382d** aus Graphit bestehen, wenn der Suszeptor **382** aus Graphit besteht, wie es bei einigen Ausführungsformen der Erfindung der Fall ist, die weiter unten beschrieben werden. Die Stützen **382a**, **382b**, **382c**, **382d** können einstückig mit dem Rest des Suszeptors **382** oder separat gebildet sein und beispielsweise mittels Presspassung in entsprechenden Löchern, die in dem Suszeptor **382** gebildet sind, an dem Suszeptor **382** befestigt werden. Obwohl vier Stützen **382a**, **382b**, **382c**, **382d** gezeigt sind, wird als selbstverständlich vorausgesetzt, dass eine andere Anzahl von Stützen verwendet werden könnte, wie beispielsweise drei.

[0118] Der Suszeptorträger **304** (Fig. 3A) hält den Suszeptor **302** in ausgewählten Positionen in der Reaktionskammer **303**. Der Suszeptorträger **304** wird angehoben oder abgesenkt, um die Position der Wafer **311**, **312** in der Reaktionskammer **303** zu verändern. Bei einer Ausführungsform sind der Suszeptor **302** und das Passivwärmeverteilungselement **307** während des Erwärmens der Wafer **311**, **312** in der Reaktionskammer **303** in einer ersten Position in einer ersten Richtung (der Betriebsposition) angeordnet, und sie werden in einer zweiten Position in der ersten Richtung, die von der ersten Position (der Ladeposition) verschieden ist, angeordnet, wenn die Wafer **311**, **312** aus der Reaktionskammer **303** entnommen oder in diese hineingegeben werden.

[0119] Der Suszeptor **302**, der Suszeptorträger **304** und das Passivwärmeverteilungselement **307** sind in Fig. 3A, Fig. 3B, Fig. 3C und Fig. 3D in der Ladeposition gezeigt. Die Wafer **311**, **312** werden mit Hilfe eines Roboters oder eines Waferhandhabungssystems (nicht gezeigt) durch eine Tür **313**, die in der Seitenwand **301b** gebildet ist, in der Reaktionskammer **303** angeordnet und aus dieser herausgenommen. Die Ladeposition ist so gewählt, dass der Roboter oder das Waferhandhabungssystem leicht in die Reaktionskammer **303** reichen und die Wafer **311**, **312** auf dem Suszeptor **302** anordnen kann.

[0120] Wenn sich der Suszeptor **302** in der Ladeposition befindet, erstrecken sich, wie weiter unten ausführlicher erläutert wird, bei einer Ausführungsform Zapfen (nicht gezeigt) durch entsprechende Löcher, die durch den Suszeptor **302** gebildet sind, um die Wafer **311**, **312** über die Oberfläche **302a** anzuheben. Bei einer weiteren Ausführungsform erstrecken sich Zapfen durch Löcher in dem Suszeptor **302**, um einen Waferumgebungsring anzuheben, auf dem die Wafer **311**, **312** ruhen. Es kann jede beliebe Anzahl von Zapfen verwendet werden, um die Wafer **311**, **312** oder den Waferumgebungsring anzuheben, jedoch sind mindestens drei wünschenswert, damit ein Wafer, wie beispielsweise der Wafer **311**, oder der Waferumgebungsring stabil gehalten wird. Bei einer Ausführungsform werden 3–8 Zapfen verwendet. Da es im Allgemeinen ebenfalls wünschenswert ist, die Anzahl der verwendeten Zapfen zu minimieren, um die mechanische Komplexität zu minimieren, werden in einer weiteren Ausführungsform der Erfindung, bei der die Zapfen die Wafer **311**, **312** anheben, drei Zapfen, die um 120° voneinander entfernt in radialer Richtung um den Suszeptor **302** angeordnet sind, verwendet, um 125 mm (5 Zoll), 150 mm (6 Zoll) und 200 mm (8 Zoll) Wafer zu stützen, und es werden vier Zapfen verwendet, die um 90° voneinander beabstandet sind, um 250 mm (10 Zoll) und 300 mm (12 Zoll) Wafer zu stützen.

[0121] Da die Wafer **311**, **312** über die Oberfläche **302a** angehoben werden, berührt der Roboter bzw. das Waferhandhabungssystem die Oberfläche **302a** des Suszeptors **302** nicht, wenn er bzw. es die Wafer **311**, **312** entnimmt, so dass Kratzer oder andere Beschädigungen an der Oberfläche **302a** vermieden werden. Da die Wafer **311**, **312** zusätzlich über die Oberfläche **302a** angehoben sind, kann der Roboter oder der Waferhandhabungsarm die Wafer **311**, **312** entnehmen, indem jeweils die Waferflächen **311b** und **312b** gestützt werden, wodurch eine Beschädigung der Oberflächen **311a**, **312a** vermieden wird, auf denen sich bei vielen Verfahren, für die die Reaktoren **300**, **320**, **340** und **360** verwendet werden, ein Film abgelagert hat.

[0122] In Fig. 3A sind die Wafer **311**, **312** auf dem Suszeptor **302** angeordnet, woraufhin der Suszeptor **302**, der Suszeptorträger **304** und das Passivwärmeverteilungselement **307** auf die Betriebsposition angehoben werden, so dass die Wafer **311**, **312** sich näher an der Strahlungswärmequelle **310** befinden, wodurch die Strahlungswärmequelle **310** die Wafer **311**, **312** während des Betriebs des Reaktors **300** schneller und effizienter erwärmen kann.

[0123] Während des Betriebs des Reaktors **300** wird der Suszeptor **302**, wie weiter unten ausführlicher beschrieben wird, gedreht. Durch die Drehung des Suszeptors **302** in eine zweite Richtung, die rechtwinklig zur

ersten Richtung verläuft, wird die Position der Wafer **311**, **312** in der Reaktionskammer **303** verändert, während die Wafer **311**, **312** verarbeitet werden. Folglich wird das Verfahren, das in der Reaktionskammer **303** stattfindet, gleichmäßiger ausgeführt, da die Wirkung jeglicher Ungleichmäßigkeiten, die bei Betrieb des Reaktors **300** vorhanden sind, durch die variierende Position der Wafer **311**, **312** im Wesentlichen aufgehoben wird.

[0124] Bei den Ausführungsformen der Erfindung, die in Fig. 3A und Fig. 3C gezeigt sind, werden die Wafer **311**, **312** mit Hilfe einer einzelnen Wärmequelle, und zwar der Strahlungswärmequelle **310**, erwärmt. Die Strahlungswärmequelle **310** umfasst eine Mehrzahl von Lampen **305**, die Strahlungsenergie mit einer Wellenlänge im Bereich von weniger als 1 µm bis etwa 500 µm, vorzugsweise im Bereich von weniger als 1 µm bis etwa 10 µm und insbesondere vorzugsweise von weniger als 1 µm ausstrahlen. Eine Mehrzahl von Reflektoren **306** reflektiert die Strahlungsenergie in Richtung der Wafer **311**, **312**, wobei ein Reflektor **306** benachbart zu jeder Lampe **305** angeordnet ist.

[0125] Die Strahlungswärmequelle **310** ist sowohl wassergekühlt als auch zwangsluftgekühlt, wie weiter unten ausführlicher beschrieben wird. Durch die Kombination aus Wasserkühlung und Zwangsluftkühlung werden die Lampen **305** und die Reflektoren **306** im erforderlichen Betriebstemperaturbereich gehalten.

[0126] Bei den Reaktoren **300** (Fig. 3A) und **340** (Fig. 3C) ist das Passivwärmeverteilungselement **307** unterhalb des Suszeptors **302** in der Nähe des Suszeptors **302** angebracht. Hier ist mit „in der Nähe" so nahe wie möglich gemeint, in Anbetracht der Beschränkungen, die durch den physikalischen Raumbedarf für die Verbindung des Suszeptors **302** mit dem Suszeptorträger **304** auferlegt werden. Durch das Passivwärmeverteilungselement **307** werden Wärmeverluste vom Suszeptor **302** minimiert, wodurch wiederum Wärmeverluste von den Wafern **311**, **312** minimiert werden. Das Passivwärmeverteilungselement **307** ist vorzugsweise aus einem Material hergestellt, das entweder Wärme absorbiert und zum Suszeptor **302** zurückstrahlt, oder das Wärme in Richtung des Suszeptors **302** reflektiert.

[0127] Fig. 3B ist eine vereinfachte Querschnittsansicht des Schnellwärmeverarbeitungsreaktors **320** zur Verarbeitung eines oder mehrerer Halbleiterwafer, wie beispielsweise der Wafer **311**, **312** aus Fig. 3A. Der Reaktor **320** entspricht dem Reaktor **300**, und gleiche Bauteile sind in Fig. 3A und Fig. 3B mit den gleichen Bezugsnummern nummeriert. Bei dem Reaktor **320** wird zur Erwärmung der Wafer **311**, **312** eine duale Wärmequelle verwendet.

[0128] Die zweite Wärmequelle, die Widerstandsheizung **327**, erzeugt Wärme, wenn ein Strom durch die Widerstandselemente fließt, die in der Widerstandsheizung **327** gebildet sind. Der Suszeptor **302** besteht typischerweise aus einem Material, das wenig Wärme absorbiert, wie beispielsweise Quarz, so dass der größte Anteil der Wärme von der Widerstandsheizung **327** auf die Wafer **311**, **312** übertragen wird. Die Strahlungswärmequelle **310** und die Widerstandsheizung **327** halten in den Wafern **311**, **312** eine im Wesentlichen gleichmäßige Temperatur aufrecht.

[0129] Da der Oberflächenbereich am Rand der Wafer **311**, **312** größer ist als in der Mitte der Wafer **311**, **312**, verlieren die Wafer **311**, **312** die Wärme leichter am Rand als in der Mitte. Folglich bestehen bei Abwesenheit einer gewissen Kompensation am Rand der Wafer **311**, **312** größere Temperaturgradienten als in der Mitte der Wafer **311**, **312**. Diese Temperaturgradienten sind unerwünscht und erbringen bei einer Reihe von Halbleiterverarbeitungsprozessen geringere Erträge. Beispielsweise können hohe Temperaturgradienten in dem Wafer bei der Bildung einer Epitaxieschicht eine Ableitung verursachen und die Gleichmäßigkeit der Dicke und des spezifischen Widerstandes nachteilig beeinflussen. Zur Minimierung dieser radialen Temperaturgradienten ist ein thermisch isolierender Suszeptorring (nicht gezeigt) in den Reaktoren **300**, **320**, **340** und **360** um jeden Wafer **311**, **312** angeordnet. Die Suszeptorringe gemäß verschiedener Ausführungsformen der Erfindung werden weiter unten unter Bezugnahme auf Fig. 14A bis Fig. 14S beschrieben.

[0130] Zu Beginn eines Verfahrens werden der Strom im Reaktor **300** (Fig. 3A) oder **320** (Fig. 3B), der an die Lampen **305** angelegt wird, und der Strom im Reaktor **320**, der an die Widerstandsheizung **327** angelegt wird, erhöht, so dass die Temperatur der Wafer **311**, **312** schnell ansteigt. Die Temperatur der Wafer **311**, **312** wird mit Hilfe eines Pyrometers oder mit Hilfe von Thermopaaren (nicht gezeigt) erfasst, wie weiter unten ausführlicher beschrieben wird. Wenn die Temperatur der Wafer **311**, **312** die gewünschte Temperatur erreicht, wird der Strom, der an bestimmte Lampengruppen **305** angelegt wird, verändert, so dass in jedem der Wafer **311**, **312** eine im Wesentlichen gleichmäßige Temperatur erzielt wird.

[0131] Nachdem die Wafer **311**, **312** auf die gewünschte Temperatur erwärmt wurden, werden durch Seiteneinblasgasdüsen **314a**, **314b** Gase in die Reaktionskammer **303** eingeblasen, falls es für das Verfahren, für

das der Reaktor **300** oder **320** verwendet wird, nötig ist. Die Gase strömen an den Wafern **311**, **312**, dem Suszeptor **302** und im Reaktor **320** an der Widerstandsheizung **327** vorbei und werden durch die Abgasrohre **309a**, **309b**, die im Boden **301a** gebildet sind, aus der Reaktionskammer **303** hinausgeleitet.

[0132] Fig. 3C ist eine vereinfachte Querschnittsansicht eines Schnellwärmeverarbeitungsreaktors **340** zur Verarbeitung eines oder mehrerer Halbleiterwafer, wie beispielsweise der Wafer **311**, **312** aus Fig. 3A und Fig. 3B. Wie im Fall des Reaktors **300** (Fig. 3A) wird im Reaktor **340** nur die Wärmequelle **310** zur Erwärmung der Wafer **311**, **312** verwendet. Jedoch strömen die Gase im Fall des Reaktors **340** durch das Gaseinlassrohr **354a** und werden durch den Gaseinblaskopf **354b** in die Reaktionskammer **303** eingeleitet, anstatt, wie im Fall des Reaktors **300**, durch Seiteneinblasgasdüsen **314a**, **314b** eingeleitet zu werden. Wie im Fall der Reaktoren **300** und **320** (Fig. 3B) werden die Gase im Reaktor **340** durch die Abgasrohre **309a**, **309b**, die im Boden **301a** gebildet sind, aus der Reaktionskammer **303** hinausgeleitet.

[0133] Fig. 3D ist eine vereinfachte Querschnittsansicht eines Schnellwärmeverarbeitungsreaktors **360** zur Verarbeitung eines oder mehrerer Halbleiterwafer, wie beispielsweise der Wafer **311**, **312** aus Fig. 3A, Fig. 3B und Fig. 3C. Im Reaktor **360** werden die Wafer **311**, **312** mit Hilfe einer dualen Wärmequelle erwärmt, die eine Strahlungswärmequelle **310** und eine Widerstandsheizung **327** umfasst. Die Gase werden durch das Gaseinlassrohr **354a** und den Gaseinblaskopf **354b** in die Reaktionskammer **303** eingeblasen und durch die Abgasrohre **309a**, **309b** hinausgeleitet.

[0134] Bei einem typischen Halbleiterverarbeitungsverfahren, das die Verwendung von Gasen zur Aufdampfung einer Materialschicht auf einen Halbleiterwafer umfasst, ist es notwendig, mehrere Gasspülungsvorgänge durchzuführen. Wenn die Tür **313** geöffnet wird, um die Wafer **311**, **312** in die Reaktionskammer **303** hineinzugeben oder die Wafer **311**, **312** aus der Reaktionskammer **303** herauszunehmen, tritt die Luft, die den Reaktor **300**, **320**, **340** und **360** umgibt, in die Reaktionskammer **303** ein. Insbesondere muss der Sauerstoff, der in der Luft vorhanden ist, aus der Reaktionskammer **303** entfernt werden, bevor die Wafer **311**, **312** verarbeitet werden. Abhängig vom Reaktor wird Stickstoff durch die Seiteneinblasgasdüsen **314a**, **314b** oder durch den Gaseinblaskopf **354b** in die Reaktionskammer **303** eingeleitet, um den Sauerstoff aus der Reaktionskammer **303** zu beseitigen.

[0135] Daraufhin wird Wasserstoff in die Reaktionskammer **303** eingeleitet, um den Stickstoff zu beseitigen.

[0136] Nach dem Einleiten des Wasserstoffs werden die Wafer **311**, **312** erwärmt und die Prozessgase, wie oben beschrieben, in die Reaktionskammer **303** eingeleitet. Nach Abschluss des Verfahrens wird Wasserstoff zur Beseitigung verbleibender Prozessgase aus der Reaktionskammer **303** verwendet. Daraufhin wird Stickstoff zur Beseitigung des Wasserstoffs verwendet. Die Wasserstoff- und Stickstoffspülgase unterstützen die Abkühlung der Wafer **311**, **312**. Nach der Stickstoffspülung wird, wenn die Wafer **311**, **312** kalt sind, die Tür **313** geöffnet, und die Wafer **311**, **312** werden entnommen.

[0137] Bei Verfahren, die eine Aufdampfung von Silizium bei Verarbeitungstemperaturen von etwa 900–1200° C umfassen, werden die Wafer **311**, **312** nicht auf Umgebungstemperatur, sondern auf eine Temperatur im Bereich von 300° C bis 600° C abgekühlt, abhängig von der Temperatur, auf die die Wafer **311**, **312** während des Verfahrens erwärmt wurden. Typischerweise beträgt die Abkühldauer 2–5 Minuten. Bei einer Ausführungsform werden die Wafer **311**, **312** von etwa 1130° C auf etwa 450° C abgekühlt, wobei die Abkühldauer etwa 2,5–3,5 Minuten beträgt. Bei Verfahren, die bei niedrigeren Temperaturen durchgeführt werden (d.h. unterhalb von etwa 900° C), werden die Wafer **311**, **312** auf etwa 50% der Verarbeitungstemperatur abgekühlt, bevor sie der Reaktionskammer **303** entnommen werden.

[0138] Da die Wafer **311**, **312** nicht ganz auf Umgebungstemperatur abgekühlt werden, wird während des Abkühlens Zeit gespart, wodurch der Waferdurchsatz erhöht wird. Weiterhin kann die Reaktionskammer **303** während eines oder mehrerer der oben beschriebenen Spülungsvorgänge, die vor dem Verfahren stattfinden, erwärmt werden, um die Zeitdauer zu verkürzen, die für die Verarbeitung aufeinanderfolgender Waferstapel erforderlich ist.

[0139] Die Wafer **311**, **312** müssen vor der Entnahme aus der Reaktionskammer **303** mindestens auf eine Temperatur abgekühlt werden, bei der ein Härten der Wafer **311**, **312** gewährleistet ist. Weiterhin muss die Reaktionskammer **303** auf eine Temperatur abgekühlt werden, bei der die Möglichkeit einer Explosion minimiert wird, die stattfinden kann, wenn die Tür **313** zur Entnahme der Wafer **311**, **312** geöffnet wird und etwas Wasserstoff in der Reaktionskammer **303** zurückgeblieben ist.

[0140] Wenn die Reaktoren **300**, **320**, **340** und **360** für Halbleiterverarbeitungverfahren verwendet werden, bei denen Gase zur Aufdampfung einer Materialschicht, wie beispielsweise einer Epitaxieschicht, auf einen Wafer verwendet werden, kann mit der Zeit ebenfalls eine gewisse Abscheidung an Teilen des Reaktors **300**, **320**, **340** und **360**, wie beispielsweise den Wänden **301a**, **301b**, **301c**, auftreten. Wie weiter unten ausführlicher erläutert, sind der Boden **301a** und die Seitenwand **301b** wassergekühlt. Die obere Wand **301c** wird mit Hilfe derselben Luftkühlung gekühlt, die für die Kühlung der Lampen **305** und der Reflektoren **306** verwendet wird. Durch die Kühlung der Wände **301a**, **301b**, **301c** wird die Minimierung des unerwünschten Wachstums von Abscheidungen auf den Wänden **301a**, **301b**, **301c** während der Aufdampfungsverfahren unterstützt.

[0141] Bei herkömmlichen Reaktoren kann „Hochätzen" angewendet werden, um abgeschiedenes Silizium von einigen Teilen des Reaktors – wie beispielsweise den Teilen, die aus Graphit hergestellt sind – zu entfernen, indem ein Gasgemisch, das aus mindestens 90% HCl besteht, 3–20 Minuten lang in die Reaktionskammer **303** eingeblasen wird, wenn die Temperatur der Reaktionskammer **303** 1150–1200° C beträgt. Jedoch werden durch das Hochätzen keine Siliziumabscheidungen von Quarz entfernt. Daher müssen die Quarzkomponenten in herkömmlichen Reaktoren zur Reinigung aus dem Reaktor entfernt werden. Gemäß dem Prinzip dieser Erfindung kann das abgeschiedene Silizium von den Quarzkomponenten auch während des Hochätzens entfernt werden, indem die Temperatur der Wände **301a**, **301b** auf eine Temperatur oberhalb der normalen Betriebstemperatur erhöht wird. Dies kann erfolgen, indem eine Erhöhung der Temperatur des Fluids, das während des Hochätzens für die Kühlung der Wände **301a**, **301b** verwendet wird, zugelassen wird, so dass die Wände **301a**, **301b** weniger wirksam gekühlt werden.

[0142] Bei den Reaktoren **300**, **320**, **340** und **360** sind nur die Wafer **311**, **312**, der Suszeptor **302**, ein Teil des Suszeptorträgers **304**, die Widerstandsheizung **327** (bei den Reaktoren **320** und **360**) oder das Passivwärmeverteilungselement **307** (bei den Reaktoren **300** und **340**), die Seiteneinblasgasdüsen **314a**, **314b** (bei den Reaktoren **300** und **340**) oder der Gaseinblaskopf **354b** und ein Teil des Gaseinlassrohrs **354a** (bei den Reaktoren **320** und **360**) in der Reaktionskammer **303** angeordnet. Reaktoren des Stands der Technik umfassen typischerweise eine größere Anzahl mechanischer Komponenten in der Reaktionskammer als die Anzahl, die in den Reaktoren **300**, **320**, **340** und **360** zu finden ist. Verunreinigungen, die von diesen mechanischen Komponenten ausgehen (einschließlich des Materials, das während vorheriger Aufdampfungen abgeschieden wurde), sind eine bedeutende Quelle für Partikelverunreinigung bei Reaktoren des Stands der Technik. Da die Reaktoren **300**, **320**, **340** und **360** weniger mechanische Komponenten aufweisen als die herkömmlichen Reaktoren, stellt die Partikelverunreinigung bei den Reaktoren **300**, **320**, **340** und **360** ein geringeres Problem dar, da weniger mechanische Komponenten vorhanden sind, die ihre eigenen Verunreinigungen abgeben können, und da es weniger mechanische Komponenten gibt, auf denen sich bei wiederholter Verwendung des Reaktors **300**, **320**, **340** und **360** unerwünschte Abscheidungen bilden können. Daher stellt das Vorhandensein einer verhältnismäßig geringen Anzahl mechanischer Komponenten in der Reaktionskammer **303** der Reaktoren **300**, **320**, **340** und **360** eine wesentliche Verbesserung gegenüber herkömmlichen Reaktoren dar.

[0143] Da zusätzlich eine im Wesentlichen gleichmäßige Temperatur in einem größeren Bereich der Reaktionskammer **303** aufrechterhalten wird, als es bei herkömmlichen Schnellwärmeverarbeitungsreaktoren der Fall ist, ist es mit Hilfe der neuartigen Kombination aus Wärmequelle(n) und Suszeptor möglich, entweder eine Mehrzahl von Wafern (z.B. 125 mm, 150 mm, 200 mm) oder einen einzelnen großen Wafer (z.B. 250 mm, 300 mm, 400 mm) anstelle eines einzelnen kleinen Wafers (z.B. 100 mm, 125 mm, 150 mm) zu verarbeiten, wie es bei herkömmlichen Schnellwärmeverarbeitungsreaktoren der Fall ist. Durch die Fähigkeit, eine Mehrzahl von Wafern zu verarbeiten, wird der Waferdurchsatz bedeutend erhöht, wobei es den Schnellwärmeverarbeitungsreaktoren durch die Fähigkeit, größere Wafer zu verarbeiten, ermöglicht wird, mit dem Industrietrend hin zu größeren Wafern Schritt zu halten.

[0144] Die Reaktoren **300**, **320**, **340** und **360** ermöglichen weiterhin eine gute Wiederholbarkeit der Temperatur von Stapel zu Stapel für eine große Anzahl von Stapeln. Folglich ist es im Verhältnis zu herkömmlichen Schnellwärmeverarbeitungsreaktoren nicht erforderlich, die Reaktoren **300**, **320**, **340** und **360** neu zu kalibrieren, um die gewünschte Temperaturgleichmäßigkeit aufrecht zu erhalten. Da niedrigere Ausfallzeiten für die Kalibrierung vorliegen, wird der Waferdurchsatz im Verhältnis zu herkömmlichen Schnellwärmeverarbeitungsreaktoren erhöht, da ein größerer Prozentanteil der Zeit für die Verarbeitung von Wafern aufgewendet werden kann. Weiterhin können im Vergleich zu herkömmlichen Reaktoren Mehrfachwaferstapel verarbeitet werden, die eine verbesserte Gleichmäßigkeit hinsichtlich der Dicke und des spezifischen Widerstandes aufweisen. Herkömmliche Reaktoren erbringen typischerweise verarbeitete Wafer mit Variationen in der Dicke und des spezifischen Widerstandes von 3–10%. Mit dem Schnellwärmeverarbeitungsreaktor gemäß der Erfindung sind Dickenvariationen von 1-2% und Variationen des spezifischen Widerstandes von 1-5% erreichbar.

[0145] Fig. 4A und Fig. 4B sind ausführlichere Querschnittsansichten des Reaktors **400** gemäß einer Ausführungsform der Erfindung. Fig. 4C ist eine vereinfachte Draufsicht des Reaktors **400**. Die Querschnittsansicht, die in Fig. 4A gezeigt ist, ist entlang des Schnitts 4B-4B aus Fig. 4B genommen. Die Querschnittsansicht, die in Fig. 4B gezeigt ist, ist entlang des Schnitts 4A-4A aus Fig. 4A genommen.

[0146] Bei der folgenden Beschreibung des Reaktors **400** (insbesondere hinsichtlich Fig. 4A, Fig. 4B, Fig. 4C, Fig. 5A, Fig. 5B, Fig. 5C, Fig. 5D, Fig. 5E und Fig. 5F) erscheinen einige Elemente des Reaktors **400** (im Folgenden „fehlende Elemente" genannt) in bestimmten Zeichnungen nicht, obwohl die fehlenden Elemente in der Realität existieren und erscheinen sollten. Die fehlenden Elemente wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit aus den Zeichnungen ausgelassen. Fehlende Elemente, die in einer Zeichnung nicht gezeigt sind, können in einer anderen Zeichnung erscheinen, und Durchschnittsfachleute werden in der Lage sein, aus den Zeichnungen, als Ganzes genommen, zu erkennen, wie die fehlenden Elemente mit den veranschaulichten Elementen in den Zeichnungen, in denen die fehlenden Elemente nicht erscheinen, in Beziehung stehen und erscheinen würden.

[0147] Der Rahmen **450** umfasst, wie weiter unten ausführlicher erörtert wird, ausgewählte Teile des Reaktors **400** und besteht beispielsweise aus kaltgewalztem Stahl **1018**. Wie aus Fig. 4C ersichtlich, ist der Reaktor **400** in verschiedene Abschnitte **400a**, **400b**, **400c**, **400d**, **400e** unterteilt. Abschnitt **400a** nimmt das Gefäß **401**, die Wärmequellen, das Gaseinblassystem und den Suszeptorträger- und -bewegungsmechanismus auf. Abschnitt **400** nimmt eine Gasplatte auf, falls diese für das Verfahren, für das der Reaktor **400** verwendet wird, nötig ist, und die Gasplatte weist die gleiche Fähigkeit auf wie die Gasplatten, die in CVD-Trommelreaktoren des Stands der Technik verwendet werden. Die Gasplatte ist selbstverständlich so konfiguriert, dass sie alle Gase unterstützt und bereitstellt, die für die Verfahren, die in dem Reaktor **400** durchgeführt werden sollen, nötig sind. Abschnitt **400c** nimmt Teile des Abgassystems auf. Abschnitt **400d** nimmt die Stromversorgung und die siliziumgesteuerten Gleichrichter auf, die für den Betrieb der Wärmequellen verwendet werden. Abschnitt **400e** nimmt die restliche Elektronik auf: zusätzliche Stromversorgungseinheiten, einen Computer zur Steuerung der Prozessvariablen (wie beispielsweise Gasströmungen, Energie von den Wärmequellen), elektrische Relais usw.

[0148] Wie in Fig. 4A und Fig. 4B zu sehen ist, ist der Abschnitt **400a** durch den Tisch **451** in zwei Teile unterteilt. Die Schale **452** ist so angebracht, dass sie den Tisch **451** berührt und einen oberen Abschnitt des Gefäßes **401** und die Lampengruppen **405a**, **405b** (Fig. 4A) und **405c**, **405d** (Fig. 4B) einschließt. Wie in Fig. 4B ersichtlich ist, ist die Schale **452** an dem Bügel **453** befestigt, der beispielsweise aus einer Aluminiumlegierung **356** besteht. Der Bügel **453** ist an der linearen Schiene beweglich befestigt. Die lineare Schiene **454** ist bei der Firma Schneeberger Inc. in San Francisco, Kalifornien, mit der Teilenummer 1 MRA 25 658-W1-G3-V1 erhältlich. Der Bügel **453** gleitet auf der linearen Schiene **454** auf und ab, um die Schale **452** im Verhältnis zum Tisch **451** anzuheben und zu senken. Die lineare Schiene **454** ist an der Säule **458** befestigt, die beispielsweise aus kaltgewalztem Stahl mit einer Dicke von 0,125 Zoll (3,18 mm) hergestellt ist. Die Säule **458** ist auf dem Tisch **451** befestigt.

[0149] Während des Betriebes des Reaktors **400** wird die Schale **452** in die Position abgesenkt, die in Fig. 4A und Fig. 4B gezeigt ist, d.h. so, dass die Schale **452** den Tisch **451** berührt. Wenn gewünscht wird, Wartungsarbeiten am Reaktor **400** durchzuführen, wird die Schale **452** vom Tisch **451** angehoben, um den Zugang zu den Komponenten des Reaktors **400**, die zwischen der Schale **452** und dem Tisch **451** angeordnet sind, zu ermöglichen. Weiterhin kann die Schale **452**, wie weiter unten ausführlicher erläutert wird, im Verhältnis zum Bügel **453** um einen oder zwei Zapfen **457a**, **457b** (Fig. 4B) gedreht werden, so dass sich die Schale **452** nicht direkt über dem Tisch **451** befindet, wodurch der Zugang zu den Komponenten des Reaktors **400** noch leichter gemacht wird.

[0150] Die Schale **452** führt im Reaktor **400** verschiedene Funktionen aus. Die Lampengruppen **405a**, **405b**, **405c**, **405d** werden von der Schale **452** getragen. Weiterhin ist die Schale **452**, wie weiter unten beschrieben wird, mit Durchgängen versehen, damit Luft hindurchgeleitet wird und die Lampengruppen **405a**, **405b**, **405c**, **405d** und der obere Abschnitt des Gefäßes **401** gekühlt werden. Wenn die Gase zentral eingeblasen werden (siehe beispielsweise Fig. 3C und Fig. 3D), nimmt die Schale **452** ebenfalls den Gaseinlassschlauch **408a** und andere Bauteile, die in dem Gasverteilungssystem verwendet werden, sowie Kühlwasserschläuche auf, durch die Kühlwasser fließt, um die Lampengruppen **405a**, **405b**, **405c**, **405d** zu kühlen. Schließlich schützt die Schale **452** das Gefäß **401** vor Beschädigungen.

[0151] Die Schale **452** ist aus Aluminium hergestellt und mit einem hochtemperaturbeständigen Teflonlack beschichtet. Der Teflonlack hilft der Schale **452**, den hohen Temperaturen standzuhalten, denen die Schale

452 während der Verarbeitung der Wafer im Reaktor **400** ausgesetzt ist.

[0152] Das Gefäß **401** weist drei Wände auf: einen Boden **401a**, eine Seitenwand **401b** und eine obere Wand **401c**. Der Bereich innerhalb des Gefäßes **401** stellt die Reaktionskammer **403** dar. Die obere Wand **401c** weist einen annähernd kreisförmigen Bogen auf und ist 0,197 Zoll (5 mm) dick. Der höchste Punkt der inneren Fläche der oberen Wand **401c** ist etwa 4,619 Zoll (11,73 cm) von der Oberfläche des Tisches **451**, die die Schale **452** berührt, entfernt. Die Wafer (nicht gezeigt) werden durch die Tür **413** (Fig. 4A), die in der Seitenwand **401b** gebildet ist, in die Reaktionskammer **403** hineingegeben und aus dieser herausgenommen. Die Wafer werden in Aussparungen angeordnet, die im Suszeptor **402** gebildet sind, wie weiter unten ausführlicher beschrieben wird. Der Abstand zwischen dem Suszeptor **402** und der Seitenwand **401b** beträgt etwa 1,5 Zoll (3,8 cm).

[0153] In den weiter oben gezeigten Fig. 2A–Fig. 2C, die vereinfachte Querschnittsansichten verschiedener Reaktoren **200**, **220** und **240** gemäß der Erfindung zeigen, drehte, hob und senkte die Suszeptorpositionssteuerung **202** den Suszeptor **201**. In Fig. 4A und Fig. 4B umfasst diese Suszeptorpositionssteuerung im Reaktor **400** die Motoren **415** und **417**. Der Motor **415** treibt die Welle **416** an, so dass der Suszeptor **402** gedreht wird. Der Motor **417** treibt den Riemen **418** an, der seinerseits die Führungsspindel **428** dreht, so dass die Platte **426** angehoben und gesenkt wird, wodurch der Suszeptor **402** auf- und abbewegt wird. Durch die vertikale Bewegung des Suszeptors **402** kann der Suszeptor **402** in geeigneten Höhen für das Be- und Entladen eines oder mehrerer Wafer sowie für das Verarbeiten eines oder mehrerer Wafer positioniert werden. Wie weiter unten ausführlicher beschrieben wird, erstrecken sich weiterhin Zapfen durch Löcher im Suszeptor **402**, wenn der Suszeptor **402** in die Waferladeposition abgesenkt wird, um den oder die Wafer über den Suszeptor **402** anzuheben, so dass ein einfaches Be- und Entladen des bzw. der Wafer möglich ist.

[0154] Die Widerstandsheizung **407** oder alternativ ein Passivwärmeverteilungselement (das weiter unten ausführlicher beschrieben wird) ist auf einer ringförmigen Graphitwelle **419** angebracht. Die Welle **416** ist in der ringförmigen Welle **419** koaxial angeordnet. Eine Ausgleichsbalgbaugruppe **420** (die weiter unten unter Bezugnahme auf **Fig.** 4E und 4F ausführlicher beschrieben wird), ist zwischen der Platte **426** und dem Boden **401a** angebracht, um den Bereich **427**, der die Welle **416**, die ringförmige Welle **419** und zugehörige Mechanismen umgibt, abzudichten, so dass Gase, die durch Spalte zwischen der Welle **416** und der ringförmigen Welle **419** und zwischen der ringförmigen Welle **419** und dem Boden **401a** aus der Reaktionskammer **403** austreten, aufgefangen werden. Diese Gase werden beseitigt, wie weiter unten ausführlicher beschrieben wird.

[0155] Bei Ausführungsformen der Erfindung, die eine duale Wärmequelle verwenden, wie beispielsweise bei den Reaktoren **220** und **240** aus Fig. 2B und Fig. 2C, werden zum Erwärmen eines oder mehrerer Wafer auf eine im Wesentlichen gleichmäßige Temperatur die Lampengruppen **405a**, **405b**, **405c**, **405d** und die Widerstandsheizung **407** verwendet. Bei Ausführungsformen der Erfindung, die eine einzelne Wärmequelle verwenden, wie beispielsweise bei dem Reaktor **200** aus Fig. 2A, werden nur die Lampengruppen **405a**, **405b**, **405c**, **405d** für die Erwärmung verwendet; bei diesen Ausführungsformen kann ein Passivwärmeverteilungselement (das weiter unten unter Bezugnahme auf Fig. 7E beschrieben wird) verwendet werden, um eine im Wesentlichen gleichmäßige Temperatur in dem Wafer bzw. den Wafern zu erzielen.

[0156] Wie weiter unten ausführlicher beschrieben wird, werden bei den Ausführungsformen der Erfindung mit einer dualen Wärmequelle die Lampengruppen und die Widerstandsheizung **407** elektrisch separat gesteuert, um variable Wärmemengen als Reaktion auf Messungen der Wafertemperatur bereitzustellen. Bei einer Ausführungsform wird die Wafertemperatur nicht direkt erfasst, d.h. kein Temperatursensor berührt die Wafer. Ein optisches Pyrometer, das bei Ircon, Inc. in Niles, Illinois, erhältlich ist und in der Lage ist, Temperaturen im Bereich von 600° C bis 1250° C zu messen, ist im Kopf **455** (Fig. 4B) außerhalb der Schale **452** angebracht. Das Pyrometerwärmeerfassungselementempfängt die abgestrahlte Wärme von innerhalb der Schale **452** durch die Öffnung **456a**, die in der Schale **452** gebildet ist. Die Öffnung **456a** ist mit einem Fenster abgedeckt, das typischerweise aus dünnem Quarz (BaF_2 oder CaF_2) besteht. Eine zweite Öffnung **456b** ist in der Schale **452** gebildet, so dass, falls gewünscht, ein Handpyrometer verwendet werden kann. Die Öffnung **456b** kann ebenfalls dazu benutzt werden, visuell zu überwachen, was in der Reaktionskammer **403** während des Betriebes des Reaktors **400** vor sich geht. Das Pyrometer wird während Testdurchläufen des Reaktors **400** kalibriert, indem die Pyrometermessungen mit Temperaturmessungen eines Testsuszeptors, die mit einem Thermopaar vorgenommen wurden, das den Testsuszeptor berührt, in Beziehung gebracht werden. Zusätzlich zu oder anstelle von Temperaturmessungen mit einem Pyrometer kann die Wafertemperatur mit einem Thermopaardraht gemessen werden, der durch eine Öffnung, wie beispielsweise die Öffnung **425a** (Fig. 4B), die im Gefäß **401** gebildet ist, eingeführt wird, wie weiter unten ausführlicher beschrieben wird. Wie im Fall des Pyrometers wird das Thermopaar während Testdurchläufen des Reaktors **400** kalibriert, indem die Thermopaarmessungen mit Temperaturmessungen von Testwafern, die mit einem anderen Thermopaar vorgenommen wurden, das die

Testwafer berührt, in Beziehung gebracht werden.

[0157] Während des Betriebs des Reaktors **400** werden die Wände **401a**, **401b**, **401c** (Fig. 4A und Fig. 4B) auf einer im Verhältnis zur Betriebstemperatur der Reaktionskammer **403** kühlen Temperatur, wie beispielsweise 600° C, gehalten. Wenn die Wände **401a**, **401b**, **401c** nicht bei dieser kühlen Temperatur gehalten werden, kann sich auf den Wänden **401a**, **401b**, **401c** während eines Aufdampfungsverfahrens im Reaktor **400** ein Film ablagern. Das Wachstum eines Films auf den Wänden **401a**, **401b**, **401c** ist aus verschiedenen Gründen nachteilig. Während des Betriebs des Reaktors **400** absorbiert der Film auf den Wänden **401a**, **401b**, **401c** Wärmeenergie, wodurch die Wärmeverteilung in der Reaktionskammer **403** beeinflusst wird und nicht akzeptable Temperaturgradienten in dem Wafer resultieren können. Zusätzlich kann der Film auf den Wänden **401a**, **401b**, **401c** während des Betriebs des Reaktors **400** Partikel produzieren, die den Wafer verunreinigen.

[0158] Der Boden **401a** und die Seitenwand **401b** werden mittels einer Wasserströmung gekühlt, die durch die Wände **401a** und **401b** strömt, wie weiter unten ausführlicher beschrieben wird. Die Lampengruppen **405a**, **405b**, **405c**, **405d** sind zwangsluftgekühlt und wassergekühlt. Die obere Wand **401c** ist zwangsluftgekühlt. Die Umluft wird mit Hilfe des Motors **422** umgewälzt, der zwei Zentrifugalgebläse **423** (Fig. 4B) antreibt. In Fig. 4B ist nur ein Gebläse gezeigt. Das andere Gebläse befindet sich unmittelbar hinter dem gezeigten Gebläse. Die Zentrifugalgebläse **423** weisen eine Nennleistung von 600 Kubikfuß pro Minute Luft bei einem Verdichtungsdruck von 18 Zoll Wassersäule auf. Während des Betriebs des Reaktors **400** beträgt die Strömungsgeschwindigkeit durch das Kühlsystem **600** Kubikfuß pro Minute. Der Motor **422** und die Gebläse **423**, die für die Erfindung verwendet werden können, sind bei Paxton Products, Inc. in Santa Monica, Kalifornien, mit der Teilenummer RM-87C/184TC erhältlich.

[0159] Die Luft, die Wärme von der Reaktionskammer **403** oder den Lampengruppen **405a**, **405b**, **405c**, **405d** absorbiert hat, wird auf etwa 40–100° C abgekühlt, indem sie durch einen herkömmlichen Wärmetauscher **424** geleitet wird, der mit der Teilenummer **725** bei EG&G Wakefield Engineering in Wake, Massachusetts, erhältlich ist. Der Wärmetauscher **424** ist so ausgelegt, dass er die Luft um etwa 40° C abkühlt. Die Kühlwasserströmungsgeschwindigkeit des Wärmetauschers **424** liegt typischerweise im Bereich von 6 bis 10 Gallonen pro Minute. Die erwärmte Abluft wird zuerst durch die Gebläse **423** und danach durch den Wärmetauscher **424** geleitet. Diese Reihenfolge wird bevorzugt, da sie eine bessere Kühlung bietet, als wenn die erwärmte Abluft durch den Wärmetauscher **424** und danach durch die Gebläse **423** geleitet würde.

[0160] Die Prozessgase werden der Reaktionskammer **403** durch den Gaseinlassschlauch **408a** (Fig. 4B) zugeführt und durch den Gaseinblaskopf **414**, der weiter unten ausführlicher erläutert wird, in die Reaktionskammer **403** eingeblasen. Alternativ strömen die Gase durch den Gaseinlassschlauch **408b** und werden durch eine Mehrzahl von Gaseinblasdüsen, wie beispielsweise die Gaseinblasdüse **421a**, die durch Öffnungen, wie beispielsweise die im Boden **401a** gebildete Öffnung **425b**, eingeführt ist, in die Reaktionskammer **403** eingeblasen, wie weiter unten ausführlicher beschrieben wird. Die Gase strömen an den Wafern auf dem Suszeptor **402** vorbei und werden durch Abgasleitungen **409a**, **409b** (Fig. 4A und Fig. 4B) zur gemeinsamen Abgasleitung **409c** (Fig. 4B) aus der Reaktionskammer **403** hinausgeleitet. Der Druck in den Abgasleitungen **409a**, **409b**, **409c** wird auf etwa 1–5 Zoll Wassersäule unterhalb des Drucks der Reaktionskammer **403** gehalten, so dass die Gase aus der Reaktionskammer **403** hinausgeleitet werden. Die Gase strömen durch die Abgasleitung **409c** in den Abschnitt **400c** des Reaktors **400** und werden schließlich auf herkömmliche Weise aus dem Reaktor **400** hinausgeleitet.

[0161] Nachdem die gebrauchten Reaktantgase aus dem Reaktor **400** hinausgeleitet wurden, werden sie mit Hilfe eines Gaswäschers (nicht gezeigt) gereinigt, wie beispielsweise dem Gaswäscher, der in U.S.-Patent Nr. 4,986,838 mit dem Titel „Inlet System for Gas Scrubber", ausgegeben an Johnsgard am 22. Januar 1991, beschrieben ist, wobei die relevante Offenbarung desselben hierin durch Bezugnahme miteingeschlossen ist.

[0162] Fig. 5A und Fig. 5B sind Ansichten eines Abschnitts aus Fig. 4A und Fig. 4B, die die Schale **452** und die Komponenten des Reaktors **400** zwischen der Schale **452** und dem Tisch **451** detailliert zeigen. Fig. 5C ist eine Unteransicht der Schale **452**, die die inneren Abschnitte der Schale **452** zeigt. Fig. 5D ist eine Draufsicht der Reaktionskammer **403** und des Tisches **451**, die die Kühllufteinlässe **553a**, **553b** und die Kühlluftauslässe **554a**, **554b** zeigt. Fig. 5E und Fig. 5F sind Ansichten eines Abschnitts aus Fig. 4B, die einen Abschnitt des Reaktors **400** unterhalb des Tisches **451** detailliert zeigen. Fig. 5E zeigt den Suszeptor **402** in einer zurückgezogenen Position zum Laden des Wafers **511** auf den Suszeptor **402**, und Fig. 5F zeigt den Suszeptor **402** in einer angehobenen Position zur Verarbeitung des Wafers **511**.

[0163] Wie in Fig. 5A und Fig. 5B gezeigt, befinden sich die Lampengruppen **405a**, **405b**, **405c**, **405d** ober-

halb der oberen Wand **401c**. Jede Lampengruppe **405a**, **405b**, **405c**, **405d** umfasst eine oder mehrere Lampen **505** und die gleiche Anzahl an Reflektoren, einen für jede Lampe **505**, die als Reflektorbaugruppen **506a**, **506b**, **506c**, **506d** einstückig gebildet sind. (Hierin bezeichnet Lampe **505** bzw. Lampen **505** eine typische Lampe bzw. Lampen. Eine oder mehrere bestimmte Lampen werden beispielsweise als Lampe **505a** bezeichnet.) Die Lampengruppen **405a** und **405b** (Fig. 5A) weisen jeweils sieben Lampen **505** auf. Die Lampengruppen **405c** und **405d** (Fig. 5B) weisen jeweils eine Lampe **505** auf. Wie weiter unten ausführlicher erläutert wird, sind in den Reflektorbaugruppen **506a**, **506b**, **506c**, **506d** oberhalb der Lampen **505a**, **505b**, **505d** Schlitze gebildet, wie teilweise in Fig. 5A und Fig. 5B gezeigt ist.

[0164] Die Lampengruppengehäuse **535a**, **535b**, **535c**, **535d** schließen jeweils den größten Teil der Lampengruppen **405a**, **405b**, **405c**, **405d** ein. Die Lampengruppengehäuse **535a**, **535b**, **535c**, **535d** sind links unten, d.h. benachbart zu den Lampen **505**, geöffnet, damit Strahlungsenergie von den Lampen **505** in die Reaktionskammer **403** und Kühlluft in das Gefäß **401** gelangen kann.

[0165] Die Lampengruppengehäuse **535a**, **535b**, **535c**, **535d** sind beispielsweise aus vergoldetem rostfreiem Stahl hergestellt.

[0166] Jede Lampengruppe **405a**, **405b**, **405c**, **405d** ist mit vier Bolzen **504**, die an jedem Ende mit einem Gewinde versehen sind, an der Schale **452** befestigt. Ein mit Gewinde versehenes Ende jedes Bolzens **504** ist in eine passende Gewindebohrung eingeschraubt, die in der Schale **452** gebildet ist. Das andere Ende jedes Bolzens **504** ist in die entsprechende Lampengruppe, wie beispielsweise die Lampengruppe **405a**, eingeschraubt. Bei einer Ausführungsform ist jede Lampengruppe **405a**, **405b**, **405c**, **405d** so angebracht, dass die entsprechenden Montageflächen **515a**, **515b**, **515c**, **515d** einen Winkel von etwa 20° mit dem Suszeptor **402** bilden. Dieser Winkel kann für eine bestimmte Lampengruppe, wie beispielsweise die Lampengruppe **405a**, leicht variiert werden, indem die Position der Ecken der Lampengruppe mit Hilfe von Mitteln, die weiter unten ausführlicher beschrieben werden, in geeigneter Weise eingestellt wird. Diese Veränderung der Winkelausrichtung ist möglich aufgrund der Abstandstoleranz zwischen dem Durchmesser des Gewindeabschnitts des Bolzens **504** und der Gewindebohrung in der Lampengruppe **405a**.

[0167] Es versteht sich von selbst, dass die Lampengruppen **405a**, **405b**, **405c**, **405d** in anderen Winkelausrichtungen als 20° angebracht werden können. Bei einer Ausführungsform der Erfindung ist jede Lampengruppe **405a**, **405b**, **405c**, **405d** aufgrund der Form der oberen Wand **401c** des Reaktors **400**, der in Fig. 4A, Fig. 4B, Fig. 4C, Fig. 5A, Fig. 5B, Fig. 5E und Fig. 5F gezeigt ist, so angebracht, dass die entsprechenden Montageflächen **515a**, **515b**, **515c**, **515d** mit dem Suszeptor **402** einen Winkel von 10° bis 40° bilden. Andere Winkelbereiche sind für Reaktoren gemäß der Erfindung geeignet, die ein Gefäß mit einer anders geformten oberen Wand aufweisen.

[0168] Fig. 6 ist eine perspektivische Ansicht der Lampengruppen **405b** und **405d**. Jede Lampengruppe, wie beispielsweise die Lampengruppe **405b**, umfasst einen Lampenrahmen, wie beispielsweise die Lampenrahmen **605b**, **605d**, eine Reflektorbaugruppe, wie beispielsweise die Reflektorbaugruppen **506b**, **506d**, eine oder mehrere Lampen **505** (in Fig. 6 nicht gezeigt) und einen oder mehrere Sätze von Lampenklammern **617**. Jede Reflektorbaugruppe, wie beispielsweise die Reflektorbaugruppe **506b**, ist mittels Muttern und Schrauben an einer Lampengruppe, wie beispielsweise der Lampengruppe **405b**, befestigt. In jedem Reflektor der Reflektorbaugruppe **506b** sind Schlitze **618** gebildet, damit Kühlluft durch die Reflektorbaugruppe **506b** und danach an den Lampen **505** vorbeiströmen kann, wie weiter unten ausführlicher beschrieben wird. Gegenüberliegende Enden jeder Lampe **505** sind an einer der Lampenklammern **617** befestigt, die ihrerseits am Lampenrahmen **605b** mit Muttern und Schrauben befestigt sind.

[0169] Die Bolzen **504** sind in jede der vier Ecken, wie beispielsweise die Ecken **615a**, **615b**, **615c**, **615d**, eines Lampenrahmens, wie beispielsweise des Lampenrahmens **605b**, eingeschraubt. Ein Abstandshalter, eine Kontermutter und eine Mutter (die in Fig. 6 nicht gezeigt sind) sind auf das Gewindeende jedes Bolzens **504** geschraubt, das in den Lampenrahmen **605b** eingeschraubt wird. Die Abstandshalter können verschiedene Längen aufweisen, so dass die Position einer Lampengruppe, wie beispielsweise der Lampengruppe **405b**, im Verhältnis zur Schale **452** (Fig. 5A und Fig. 5B) variiert werden kann. Bei einer Ausführungsform des Reaktors **400** verläuft die Mittellinie der am nächsten angeordneten Lampen **505a**, **505b**, **505c**, **505d** etwa 4,31 Zoll (10,95 cm) von der Oberfläche des Tisches **451** entfernt, auf dem die Schale **452** angebracht ist, und die Mittellinie der am entferntesten angeordneten Lampen **505e**, **505f** verläuft etwa 6,31 Zoll (16,0 cm) von derselben Oberfläche des Tisches **451** entfernt. Jedoch können diese Abstände für eine Winkelausrichtung der Lampengruppen **405a**, **405b**, **405c**, **405d** von 20° um etwa 2 Zoll (5,08 cm) vergrößert oder verkleinert werden.

[0170] Der Strom wird mittels hochtemperaturbeständigem Draht von Abschnitt **400d** (Fig. 4C) des Reaktors **400** zu den Lampen **505** geleitet. Der hochtemperaturbeständige Draht wird durch die Öffnungen **556a**, **556b** geführt, die im Tisch **451** (Fig. 5D) gebildet sind. Der Draht für zwei Lampengruppen, wie beispielsweise die Lampengruppen **405b**, **405d**, verläuft durch eine der Öffnungen **556a**, **556b**, und der Draht für die anderen beiden Lampengruppen, wie beispielsweise die Lampengruppen **405a**, **405c**, verläuft durch die andere der Öffnungen **556a**, **556b**.

[0171] Wie in Fig. 6 gezeigt, tritt der hochtemperaturbeständige Draht durch Militäranschlüsse, wie beispielsweise die Militäranschlüsse **604a**, **604b**, die in Leitplatten **610** angebracht sind, in die Schale **452** ein. (In Fig. 6 ist nur eine Leitplatte **610** gezeigt, jedoch versteht es sich, dass eine ähnliche Leitplatte **610** vorhanden ist, die zu den Lampengruppen **405a**, **405c** gehört.) Der hochtemperaturbeständige Draht ist in der Schale **452** zu Drahtbündeln, wie beispielsweise den Drahtbündeln **611a**, **611b**, zusammengebunden. Das Drahtbündel **611a** enthält die hochtemperaturbeständigen Drähte für die Lampen **505** in der Lampengruppe **405b**, und das Drahtbündel **611b** enthält die hochtemperaturbeständigen Drähte für die Lampen **505** in der Lampengruppe **405d**.

[0172] Ein Abstandshalter, eine Kontermutter, ein Kabelanschluss und eine Mutter, wie beispielsweise der Abstandshalter **606a**, die Kontermutter **607a**, der Kabelanschluss **608a**, die Mutter **609a**, sind auf jede der Mehrzahl von Schrauben, wie beispielsweise die Schrauben **616a**, die in den Lampenrahmen **605b** eingeschraubt sind, geschraubt. Für jede Lampe **505** gibt es eine Schraube. Die Schraube **616a** stellt durch den elektrisch isolierenden Abstandshalter **606a** hindurch (der bei einer Ausführungsform aus Keramik besteht) die elektrische Verbindung zwischen der entsprechenden Lampe **505** und dem Kabelanschluss **608a** her. Ein elektrisch leitender Draht **619a**, einer der hochtemperaturbeständigen Drähte im Drahtbündel **611a**, verbindet den Kabelanschluss **608a** (und somit eine Lampe **505**) mit dem Militäranschluss **604a** und schließlich mit einer externen Stromquelle.

[0173] Wie zuvor bemerkt, sind die Lampengruppen **405a**, **405b**, **405c**, **405d** wassergekühlt. Kühlwasser, das von einer externen Wasserversorgung bereitgestellt wird, strömt durch die Kupferrohrleitung, wie beispielsweise die Rohrleitung **612**, die an der Rückseite einer jeden Lampengruppe **405a**, **405b**, **405c**, **405d** befestigt ist. Die Rohrleitung **612** ist mittels Schnellverbindern **613a**, **613b** an der Leitplatte **610** befestigt. Das Kühlwasser wird durch den Rohrleitungsabschnitt **612a** eingeleitet. Das Kühlwasser wird durch die Rohrleitung **612** zur Rückseite der Lampengruppe **405b** geleitet, wo die Rohrleitung **612**, obwohl in Fig. 6 nicht sichtbar, schlangenlinienförmig über den größten Teil der rückseitigen Fläche der Lampengruppe **405b** geführt ist, um ein großes Ausmaß an Wasserkühlung der Lampengruppe **405b** zu erzielen. Daraufhin fließt das Kühlwasser zur Rohrleitung **612** an der Rückseite der Lampengruppe **405d**, danach fließt es durch die Rohrleitung **612** zum Rohrleitungsabschnitt **612b** und wird in den Wasserabfluss der externen Wasserversorgung zurückgeleitet. Die Strömungsgeschwindigkeit des Kühlwassers beträgt bei einer Ausführungsform etwa 1,5 Gallonen pro Minute.

[0174] Die Lampen **505** versorgen den Wafer **511** (Fig. 5E und Fig. 5F) in der Reaktionskammer **403** mit Strahlungsenergie, um den Wafer **511** zu erwärmen. Die Lampen **505** sind beispielsweise Quarzhalogenlampen. An jede der Lampen **505** wird eine Spannung angelegt, die eine Erwärmung des Wolframfilaments bewirkt, so dass Strahlungsenergie in einem kurzen Wellenlängenbereich, wie beispielsweise im Bereich von weniger als 1 µm bis etwa 500 µm, erzeugt wird. Quarzhalogenlampen, die für die Verwendung mit der Erfindung geeignet sind, sind bei Ushio American, Inc. of Torrance, Kalifornien 90502 mit der Modellnummer QIR 480-6000E erhältlich. Die Spezifikationen für diese Lampen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

TABELLE 1

Spezifikationen für Strahlungsenergielampen 505

Nenn-spannung (V)	Nenn-leistung (W)	Farbtem-peratur (°K)	maximale Gesamt-länge (mm)	maximale Licht-länge (mm)	Durch-messer der Glühlam-pe (mm)
480	6000	3150	300	248	11

[0175] Jede Lampe **505** ist in einem parabolischen vergoldeten hochglanzpolierten Reflektor montiert. Jeder Reflektor weist entlang der Länge der jeweiligen Lampe **505** eine parabolische Querschnittsform auf. Die Reflektoren dienen der Maximierung der Wärmemenge, die auf die Reaktionskammer **403** und somit auf den Wafer **511** übertragen wird. Strahlungsenergie, die von den Lampen **505** in einer Richtung abgestrahlt wird, die von der Reaktionskammer **403** weg weist, wird von den Reflektoren zur Reaktionskammer **403** zurückgeworfen. Darüber hinaus wird Energie, die von der Reaktionskammer **403** reflektiert wird, wiederum von den Reflektoren in Richtung der Reaktionskammer **403** reflektiert. Allgemein können die Reflektoren jede beliebige Form und Ausrichtung aufweisen, die keine Begrenzung der Lebensdauer der Glühlampen in den Lampen **505** und keine ungleichmäßige Temperaturverteilung im Wafer **511** zur Folge hat.

[0176] Wie oben bemerkt, sind sämtliche Reflektoren für jede Lampengruppe **405a**, **405b**, **405c**, **405d** im Reaktor **400** einstückig als Reflektorbaugruppen **506a**, **506b**, **506c**, **506d** gebildet. Die Reflektorbaugruppen **506a**, **506b**, **506c**, **506d** sind im Handel bei Epitaxial Services in Sunnyvale, Kalifornien, mit der Teilenummer 90145 erhältlich. Eine andere Reflektorbaugruppe, die für die Verwendung mit dieser Erfindung geeignet ist, ist bei Vector Technology Group, Inc. in Santa Clara, Kalifornien, unter dem Namen Spiral-Array Reflector Extended (Teilenummer 90145) erhältlich.

[0177] Zusätzlich zu den Reflektorbaugruppen **506a**, **506b**, **506c**, **506d** sind die Reflektoren **517** (Fig. 5A und Fig. 5B) mittels Schrauben am Klemmring **401d** befestigt. Die Reflektoren **517** bestehen aus Blech, wie beispielsweise aus rostfreiem Stahl, und sind mit einem reflektierenden Material, wie beispielsweise Gold, Nickel oder Silber beschichtet. Typischerweise ist die gesamte Oberfläche der Reflektoren **517** beschichtet, es ist jedoch nur erforderlich, dass die Oberfläche der Reflektoren **517**, die in die Reaktionskammer **403** weist, beschichtet ist. Die Reflektoren **517** sind am gesamten Umfang der Reaktionskammer **403** angebracht und so positioniert, dass sie Energie zum Suszeptor **402** reflektieren.

[0178] Die obere Wand **401c** besteht aus Quarz, so dass ein verhältnismäßig geringer Anteil der Strahlungsenergie der Lampen **505** von der oberen Wand **401c** absorbiert wird, wodurch der größte Teil der Strahlungsenergie durch die Reaktionskammer **403** direkt auf den Wafer **511** übertragen werden kann. Wie am besten aus Fig. 5E und Fig. 5F ersichtlich ist, ist die obere Wand **401c** mittels eines Gewindeelements **549** festgeklemmt, das sich durch den Klemmring **401d** in eine Gewindebohrung erstreckt, die im Tisch **451** gebildet ist. Der Klemmring **401d** besteht aus rostfreiem Stahl. Zwei O-Ringe **551a**, **551b** sind im Tisch **451** in Rillen angeordnet, so dass, wenn das Gewindeelement **549** nach unten festgezogen wird, die O-Ringe **551a**, **551b** zusammengedrückt werden und eine Abdichtung zwischen dem Tisch **451** und der oberen Wand **401c** hergestellt wird. Eine weitere Abdichtung zwischen dem Klemmring **401d** und der oberen Wand **401c** wird durch den O-Ring **551c** hergestellt.

[0179] Zusätzlich zur oben beschriebenen Wasserkühlung werden die Lampen **505** und die Reflektorbaugruppen **506a**, **506b**, **506c**, **506d** durch eine Umluftströmung gekühlt. Unter Bezugnahme auf Fig. 5C tritt kühle Luft durch Lufteinlässe **553a**, **553b** in einen Hohlraum ein, der im oberen Teil der Schale **452** gebildet ist. Die Lufteinlässe **553a**, **553b** weisen einen Durchmesser von 3 Zoll (7,6 cm) auf. Die kühle Luft gelangt durch sechs Luftöffnungen **555a**, **555b**, **555c**, **555d**, **555e**, **555f** in den Bereich zwischen der Schale **452** und dem Gefäß **401**. Wenn die Luft durch den Bereich zwischen der Schale **452** und dem Gefäß **401** strömt, strömt die Luft über die Reflektorbaugruppen **506a**, **506b**, **506c**, **506d** und die Lampen **505** und kühlt diese. Daraufhin strömt die Luft an der oberen Wand **401c** des Gefäßes **401** vorbei und kühlt die obere Wand **401c**.

[0180] Unter Bezugnahme auf Fig. 5D tritt die erwärmte Luft aus dem Bereich zwischen der Schale **452** und dem Gefäß **401** durch Luftauslässe **554a**, **554b**, die in dem Tisch **451** gebildet sind, aus. Die Luftauslässe **554a**, **554b** weisen einen Durchmesser von 4 Zoll (10,2 cm) auf. Wie weiter oben unter Bezugnahme auf Fig. 4B beschrieben ist, wird die erwärmte Luft daraufhin zum Wärmetauscher zurückgeführt, in dem die Luft gekühlt wird. Die gekühlte Luft wird daraufhin in den Bereich zwischen der Schale **452** und dem Gefäß **401** zurückgeführt, um die Lampen **505**, die Reflektorbaugruppen **506a**, **506b**, **506c**, **506d** und die obere Wand **401c** erneut zu kühlen.

[0181] Bei Ausführungsformen der Erfindung, die, wie weiter unten ausführlicher beschrieben wird, eine HF-Wärmequelle unterhalb des Suszeptors **402** verwenden, wird die Spirale der HF-Wärmequelle durch Wasser, das durch die Spirale strömt und von unterhalb des Gefäßes **401** bereitgestellt wird, gekühlt.

[0182] Wie in Fig. 5D gezeigt, weist der Tisch **451** zwei Abschnitte auf. Der Tischabschnitt **451a** besteht aus Aluminium, und der Tischabschnitt **451b** besteht aus rostfreiem Stahl **316**. Für den Tischabschnitt **451b** wird rostfreier Stahl verwendet, da dieser eine gute Korrosionsbeständigkeit und die Fähigkeit aufweist, den hohen

Temperaturen standzuhalten, denen der Tischabschnitt **451b** ausgesetzt wird.

[0183] Wie oben bemerkt, ist die Schale **452** am Bügel **453** (Fig. 4B) befestigt, so dass die Schale **452** zu beiden Seiten des Reaktors **400** vom Tisch **451** weggeschwenkt werden kann. Wie in Fig. 5C ausführlich veranschaulicht, sind die Zapfen **457a** und **457b** durch Löcher, die in den Befestigungsabschnitten **552a**, **552b** (manchmal als "Vorsprünge" bezeichnet) der Schale **452** gebildet sind, und durch passende Löcher, die im Bügel **453** gebildet sind (in Fig. 5C nicht gezeigt), eingeführt, um die Schale **452** lateral im Verhältnis zum Bügel **453** in Position zu halten. Die Schale **452** wird durch die Enden **453a**, **453b** des Bügels **453** (siehe Fig. 4B), die beide Enden der Befestigungsabschnitte **552a**, **552b** der Schale **452** berühren, vertikal in Position gehalten. Die Schale **452** wird vom Tisch **451** weggeschwenkt, indem einer der Zapfen **457a**, **457b** entfernt wird und die Schale **452** um den anderen der Zapfen **457a**, **457b** gedreht wird. Da zwei Zapfen **457a** und **457b** bereitgestellt sind, kann die Schale **452** in beide Richtungen geöffnet werden, so dass der Zugang zum Gefäß **401** und zu den Komponenten des Reaktors **400** in der Schale **452** unter einer großen Anzahl von Benutzungsbedingungen des Reaktors **400** leicht vorgenommen werden kann.

[0184] Die Seitenwand **401b** und der Boden **401a** sind in Fig. 5E und Fig. 5F gezeigt. Die Seitenwand **401b** und der Boden **401a** bestehen beide aus rostfreiem Stahl und sind zusammengeschweißt. Die Quarzauskleidungen **501a** und **501b** sind in der Reaktionskammer **403** jeweils benachbart zum Boden **401a** und zur Seitenwand **401b** angeordnet. Die Auskleidungen **501a** und **501b** schützen jeweils den Boden **401a** und die Seitenwand **401b** während der Verarbeitung des Wafers **511** im Reaktor **400** vor Gasabscheidungen. Die Auskleidungen **501a**, **501b** bestehen aus transparentem Quarz mit einer kugelgestrahlten Oberfläche, die in die Reaktionskammer **403** weist. Die kugelgestrahlte Oberfläche bewirkt, dass Filme, die an den Auskleidungen **501a**, **501b** abgeschieden werden, an den Auskleidungen **501a**, **501b** haften bleiben, anstatt abzublättern, wie es sonst der Fall wäre. Demgemäß werden Verunreinigungen, die eine Folge des Abblätterns sind, vermieden, und nach längerem Gebrauch des Reaktors **400** können die Auskleidungen **501a** und **501b** aus der Reaktionskammer **403** entfernt werden und beispielsweise mit Hilfe einer Säureätzung gereinigt werden.

[0185] Wie aus Fig. 5D ersichtlich, sind durch den Boden **401a** Öffnungen **425a**, **425b**, **425c**, **425d** gebildet. Die Öffnungen **425a**, **425b**, **425c**, **425d** weisen jeweils einen Durchmesser von 0,75 Zoll (1,9 cm) auf. Jede der Öffnungen **425a**, **425b**, **425c**, **425d** kann zum Einführen eines Thermopaars in die Reaktionskammer **403** verwendet werden, um Temperaturmessungen vorzunehmen. Jede der Öffnungen **425a**, **425b**, **425c**, **425d** kann während der Reinigung nach der Verarbeitung ebenfalls zum Einleiten von zusätzlichen Reinigungsgasen in die Reaktionskammer **403** verwendet werden, so dass der Wafer **511** schneller gekühlt wird. Jede der Öffnungen **425a**, **425b**, **425c**, **425d** kann ebenfalls vor oder während der Reinigung, die vor oder nach der Verarbeitung stattfindet, zum Einleiten von Luftstrahlen auf den Wafer **511** verwendet werden, damit vermieden wird, dass sich Partikel auf dem Wafer **511** ansammeln.

[0186] Bei einer Ausführungsform der Erfindung ist das Thermopaar **525** (Fig. 5E und Fig. 5F) durch eine der Öffnungen **425a**, **425b**, **425c**, **425d** (zur Veranschaulichung Öffnung **425a**) eingeführt.

[0187] Das Thermopaar **525** umfasst den Thermopaardraht, der mit Quarz ummantelt ist, wobei die Spitze des Thermopaardrahts freiliegt. Der Thermopaardraht kann beispielsweise Thermopaardraht vom Typ K sein. Der Thermopaardraht ist mit Quarz ummantelt, um ihm Steifigkeit zu verleihen, so dass die Position des Thermopaardrahts in der Reaktionskammer **403** leichter gesteuert werden kann und die Qualitätsminderung des Thermopaardrahts verlangsamt wird, die daraus resultiert, dass der Thermopaardraht Wasserstoff ausgesetzt wird, der in der Reaktionskammer **403** vorhanden ist. Die Spitze des Thermopaardrahts kann mit Graphit abgedeckt werden, damit der Thermopaardraht besser gegen die Wasserstoffatmosphäre in der Reaktionskammer **403** geschützt wird.

[0188] Der Graphit weist eine ausreichende thermische Leitfähigkeit auf, so dass die Temperaturmessfähigkeit des Thermopaardrahts nicht wesentlich beeinträchtigt wird.

[0189] Das Thermopaar **525** kann in der Reaktionskammer **403** in jeder gewünschten Höhe angeordnet werden, indem das Thermopaar **525** durch die Öffnung **525a** auf- oder abbewegt wird. Bei einer Ausführungsform wird das Thermopaar **525** etwa 1 Zoll (2,54 cm) über der oberen Fläche des Suszeptors **402** angeordnet. Zusätzlich kann das Thermopaar **525** in jede gewünschte Position gedreht werden. Bei einer Ausführungsform der Erfindung ist das Ende **525a** des Thermopaars **525** abgewinkelt, und das Thermopaar **525** ist gedreht, so dass das Ende **525a** näher am Suszeptor **402** angeordnet ist, als es der Fall wäre, wenn das Thermopaar **525** gerade wäre.

[0190] Fig. 7A ist eine Querschnittsansicht einer Widerstandsheizung **407**, die aus drei identischen Abschnitten **707a**, **707b**, **707c** besteht, wobei die Querschnittsansicht das Schema des Widerstandselements zeigt. Fig. 7B und Fig. 7C sind jeweils eine Draufsicht und ein seitlicher Aufriss von Abschnitt **707a** der Widerstandsheizung **407**. Fig. 7D ist eine detaillierte Ansicht des Teils von Abschnitt **707a**, der in Fig. 7B durch die unterbrochene Linie A dargestellt ist. Die Widerstandsheizung **407** wird von Union Carbide Advance Ceramics Corp., in Cleveland, Ohio, auf Bestellung hergestellt und ist unter Vorlage der Zeichnungen, die in Fig. 7A, Fig. 7B, Fig. 7C und Fig. 7D gezeigt sind, und unter Angabe der Teilenummer E10005 erhältlich.

[0191] Jeder Abschnitt, wie beispielsweise der Abschnitt **707a**, der Widerstandsheizung **407** besteht aus drei Schichten: zwei äußere Schichten aus Keramik und eine innere Schicht aus Graphit. Fig. 7A ist eine Querschnittsansicht der Widerstandsheizung **407**, die die Graphitschicht zeigt. Die Graphitschicht ist so gemustert, dass elektrisch isolierende Bereiche, wie beispielsweise der Bereich **708**, Abschnitte der Graphitschicht, wie beispielsweise die Abschnitte **709a**, **709b**, voneinander trennen, so dass der Graphit einen labyrinthartigen Weg bildet. Die Widerstandsheizung **407** erzeugt Wärme, wenn ein Strom durch diesen labyrinthartigen Weg fließt. Die elektrisch isolierenden Bereiche, wie z.B. der Bereich **708**, können beispielsweise aus Keramik bestehen. Alternativ können die elektrisch isolierenden Bereiche, wie z.B. der Bereich **708**, Rillen sein, die in der Graphitschicht gebildet sind. In diesem letzteren Fall sorgt Luft in den Rillen für die nötige elektrische Isolierung.

[0192] Der Durchmesser der Widerstandsheizung **407** beträgt 14,0 Zoll (35,6 cm) und die Dicke beträgt 0,5 Zoll (1,27 cm). Die Widerstandsheizung wird mit Drehstrom betrieben. Bei einer Spannung von 240 Volt kann ein Strom von 46 Ampere erzeugt werden; bei 480 Volt kann ein Strom von 92 Ampere erzeugt werden.

[0193] Ein Loch **710** ist in der Widerstandsheizung **407** mittig gebildet, damit die Welle **516** (Fig. 5E und Fig. 5F) durch die Widerstandsheizung **407** hindurchgeführt werden kann und den Suszeptor **402** stützen kann, wie weiter unten ausführlicher erläutert wird. In der Widerstandsheizung **407** ist eine Mehrzahl von Löchern, wie z.B. die Löcher **711a**, **711b**, gebildet, damit Befestigungsstäbe, wie z.B. die Befestigungsstäbe **512a**, **512b** (Fig. 5E und Fig. 5F), die beim Be- und Entladen des Wafers **511** verwendet werden, hindurchgeführt werden können, wie weiter unten ausführlicher beschrieben wird. Obwohl zwölf Löcher, wie z.B. die Löcher **711a**, **711b**, in der Widerstandsheizung **407** gezeigt sind, versteht es sich, dass zur Anpassung an ein bestimmtes Be- und Entladeschema für Wafer jede Anzahl von Löchern gebildet werden kann. Jedes der Löcher, wie z.B. die Löcher **711a**, **711b**, weist einen Durchmesser von 0,375 Zoll (0,953 cm) auf, d.h. etwas größer als der Durchmesser der Befestigungsstäbe, wie z.B. der Befestigungsstäbe **512a**, **512b**. Die Löcher, wie z.B. die Löcher **711a**, **711b**, sind so angeordnet, dass sie den Positionen der entsprechenden Befestigungsstäbe, wie z.B. der Befestigungsstäbe **512a**, **512b**, entsprechen.

[0194] Wie aus Fig. 7A und Fig. 7B ersichtlich ist und weiter unten ausführlicher beschrieben wird, sind drei Molybdänspindeln **714a**, **714b**, **714c** im Abschnitt **707a** der Widerstandsheizung **407** angeordnet. Die Spindel **714a** stellt zwischen einer externen Stromversorgung und dem Graphitwiderstandselement im Abschnitt **707a** der Widerstandsheizung **407** eine elektrische Verbindung her. Die Spindeln **714b** und **714c** werden für die elektrische Verbindung zwischen dem Abschnitt **707a** und jeweils den Abschnitten **707b** und **707c** verwendet. Wie aus Fig. 7A ersichtlich, stehen die Spindel **714b** von Abschnitt **707a** und die Spindel **714d** von Abschnitt **707b** mit der Buchse **712**, die aus Molybdän oder Graphit besteht und im Boden der Keramikschicht der Widerstandsheizung **407** angeordnet ist, in Kontakt, um zwischen den Graphitwiderstandselementen in den Abschnitten **707a** und **707b** eine elektrische Verbindung herzustellen. Die gleichen Verbindungen bestehen, um die Abschnitte **707a** und **707c** sowie die Abschnitte **707b** und **707c** zu verbinden.

[0195] In Fig. 7B ist der Mittelpunkt der Molybdänspindeln **714b**, **714c** jeweils um 6,614 Zoll (16,80 cm) vom Mittelpunkt der Widerstandsheizung **407** und um 0,375 Zoll (0,953 cm) von den entsprechenden Seiten **717a** und **717b** von Abschnitt **707a** beabstandet. Der Mittelpunkt der Molybdänspindel **714a** ist um 0,813 Zoll (2,07 cm) vom Mittelpunkt der Widerstandsheizung **407** und um 0,407 Zoll (1,03 cm) von der Seite **717a** von Abschnitt **707a** beabstandet. Der Durchmesser des Kopfes jeder Molybdänspindel, wie z.B. der Spindeln **714a**, **714b**, **714c**, beträgt 0,359 Zoll (0,912 cm), und unter Bezugnahme auf Fig. 7C beträgt die Dicke 0,2 Zoll (0,508 cm). Benachbart zum Boden der Spindeln **714b** und **714c** ist ein 0,125 Zoll (0,318 cm) dicker Schlitz **715** gebildet, durch den der elektrische Draht mit den Spindeln **714b** und **714c** verbunden ist, um zwischen den Abschnitten **707a**, **707b** und **707c** der Widerstandsheizung **707**, wie oben beschrieben, eine elektrische Verbindung herzustellen. Bei dem Reaktor **400** ist die Oberfläche **713** (Fig. 7C) benachbart zum Suszeptor **402** angeordnet.

[0196] Wie aus Fig. 5E und Fig. 5F ersichtlich, ist die Widerstandsheizung **407** auf der Quarzauskleidung **508**

angebracht und mit einer Quarzabdeckung **507** abgedeckt. Die Oberfläche der Quarzabdeckung **507**, die dem Suszeptor **402** zugewandt ist, ist um etwa 0,875 Zoll (2,22 cm) unter dem Suszeptor angeordnet. Die Schicht **508** schützt die Widerstandsheizung **407** während der Verarbeitung des Wafers **511** vor Gasabscheidungen. Die Abdeckung **507** schützt die Widerstandsheizung **407** ebenfalls vor Gasabscheidungen. Dies bietet einen Vorteil, da die Quarzschicht **508** und die Quarzabdeckung **507** einfacher gereinigt werden können als die Widerstandsheizung **407**. Wie bei der Quarzauskleidung **501**, die oben erörtert wurde, können die Quarzschicht **508** und die Quarzabdeckung **507** nach längerem Gebrauch des Reaktors **400** aus der Reaktionskammer **403** entnommen und gereinigt werden.

[0197] Da die Schicht **508** und die Abdeckung **507** aus Quarz bestehen, absorbieren die Schicht **508** und die Abdeckung **507** darüber hinaus verhältnismäßig wenig von der Wärme, die von der Widerstandsheizung **407** übertragen wird. Somit wird durch die Abdeckung **507** ermöglicht, dass der größte Teil der Wärme von der Widerstandsheizung **407** auf den Wafer **511** übertragen wird, wobei die Schicht **508** nicht als Wärmeableiter wirkt, der vom Wafer **511** Wärme wegleitet.

[0198] Da sich die Widerstandsheizung **407** innerhalb der Reaktionskammer **403** befindet, muss eine elektrische Versorgungsleitung mit einer hohen Spannung in die Reaktionskammer **403** geleitet werden. Jedoch kann die Temperatur in der Reaktionskammer **403** während des Betriebes des Reaktors **400** etwa 1200° C erreichen. Diese hohe Temperatur überschreitet die Isolierungstemperaturspezifikation für handelsübliche elektrische Drähte. Beispielsweise wird bei einer Ausführungsform der Erfindung der elektrische Draht Firezone **101**, der bei Bay Associates of Redwood City, Kalifornien, erhältlich ist und Nennwerte von 399° C und 600 Volt aufweist, für die Stromversorgung der Widerstandsheizung **407** verwendet. Weiterhin ist bei vielen Verfahren Wasserstoff in der Reaktionskammer **403** vorhanden. Falls die Isolierung auf dem Draht ausfällt, besteht die Gefahr, dass ein elektrischer Lichtbogenüberschlag in der Reaktionskammer **403** zu einer Explosion führt.

[0199] Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung werden die obengenannten Probleme der Stromversorgung gelöst, indem Kanäle, wie z.B. der Kanal **419a** (Fig. 5E und Fig. 5F) in der ringförmigen Welle **419** bereitgestellt werden, die sich vom Boden der Widerstandsheizung **407** nach außerhalb der Reaktionskammer **403** erstrecken. Die Kanäle, wie z.B. der Kanal **508a**, sind durch die Quarzschicht **508** hindurch gebildet. Der Kanal **508a** ist mit Kanal **419a** verbunden. Die Molybdänspindeln, wie z.B. die Spindel **524a**, befestigen die Widerstandsheizung **407** an der Quarzschicht **508**. Die Spindel **524a** berührt die Graphitwiderstandselemente der Widerstandsheizung **407** und erstreckt sich in den Kanal **508a**. Molybdän wurde aufgrund seiner hohen elektrischen Leitfähigkeit und seiner guten Korrosions- und Wärmebeständigkeit (die Spindel **524a** hält Temperaturen von bis zu 1370° C stand) als Material für die Spindel **524a** gewählt. Der elektrisch leitfähige Draht, der für eine Umgebung mit einer Temperatur von 400° C ausgelegt ist, wird von außerhalb der Reaktionskammer **403** durch die Kanäle **419a** und **508a** zur Spindel **524a** geführt. Auf diese Weise wird elektrischer Strom von außerhalb der Reaktionskammer **403** durch die Widerstandselemente der Widerstandsheizung **407** geleitet, ohne den elektrischen Draht einer Umgebung mit einer unzulässig hohen Temperatur oder einer Wasserstoffatmosphäre auszusetzen. Da die Widerstandsheizung **407** mit Drehstrom versorgt wird, werden, wie oben beschrieben, drei Sätze Kanäle und Spindeln verwendet, um die Stromzuführung in die Reaktionskammer **403** zu leiten.

[0200] Wie oben beschrieben, wird bei einigen Ausführungsformen der Erfindung nur eine einzelne Strahlungswärmequelle über der Reaktionskammer verwendet. Bei diesen Ausführungsformen ist es wünschenswert, eine Materialschicht unter dem Suszeptor anzuordnen, die die Wärme zum Wafer zurückstrahlt bzw. reflektiert. Ein solches Passivwärmeverteilungselement wirkt bei der Aufrechterhaltung einer im Wesentlichen gleichmäßigen Temperatur in den zur verarbeitenden Wafern unterstützend.

[0201] Fig. 7E ist eine Querschnittsansicht der Welle **416**, die den Suszeptor **402** trägt, auf dem der Wafer **511** angebracht ist. Bei einer Ausführungsform des Reaktors **400** ist das Passivwärmeverteilungselement **727**, das beispielsweise ein Tuch oder eine Platte sein kann, zwischen dem Tuchträger **728** und der Tuchabdeckung **729** angeordnet. Das Passivwärmeverteilungselement **727** kann beispielsweise aus Graphit, Metall oder Siliziumkarbid bestehen. Bei einer Ausführungsform der Erfindung besteht das Passivwärmeverteilungselement **727** aus Siliziumkarbid. Bei einer anderen Ausführungsform besteht das Passivwärmeverteilungselement **727** aus Graphit, der mit Siliziumkarbid beschichtet ist. Das Passivwärmeverteilungselement **727** weist denselben Durchmesser auf wie der Suszeptor **402**, d.h. 14 Zoll (35,6 cm).

[0202] Bei einer Ausführungsform der Erfindung bestehen der Tuchträger **728** und die Tuchabdeckung **729** jeweils aus der Quarzschicht **508** und der Quarzabdeckung **507**, wie oben unter Bezugnahme auf Fig. 5E und Fig. 5F beschrieben ist. Die Quarzschicht **508** ist 0,625 Zoll (1,59 cm) dick, und die Quarzabdeckung **507** ist

0,125 Zoll (0,318 cm) dick. Die Quarzabdeckung **507** erstreckt sich knapp über die untere Oberfläche der Quarzschicht **508** hinaus, damit eine Verunreinigung des Passivwärmeverteilungselements **727** durch Partikel besser vermieden wird. Jedoch sollte sich die Quarzabdeckung **507** nicht soweit erstrecken, dass die Quarzabdeckung **507** auf den Boden **401a** stößt, wenn die Quarzabdeckung **507**, das Passivwärmeverteilungselement **727** und die Quarzschicht **508** mit dem Suszeptor **402** zur Be- und Entladung des Wafers **511** (Fig. 5E) abgesenkt werden.

[0203] Fig. 7F ist eine vereinfachte Querschnittsansicht eines Reaktors **700** gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung, der die Reflektorplatte **730** umfasst, die am Boden **301a** des Gefäßes **301** befestigt ist. Der Reaktor **700** entspricht dem Reaktor **300** (Fig. 3A), und gleiche Bauteile sind mit denselben Bezugsnummern bezeichnet. Beim Reaktor **700** ist die Reflektorplatte **730** außerhalb der Reaktionskammer **303** beispielsweise mittels Muttern und Schrauben am Boden **301a** des Gefäßes **301** befestigt. Der Boden **301a** besteht aus Quarz, so dass Energie von den Lampen **305**, die die Reaktionskammer **303** verlässt, in die Reaktionskammer **303** reflektiert wird. Die Reflektorplatte **730** kann beispielsweise aus einer vergoldeten oder vernickelten Platte aus rostfreiem Stahl bestehen. Bei dieser Ausführungsform der Erfindung wurden sowohl die Widerstandsheizung **327** (Fig. 3B und Fig. 3D) als auch das Passivwärmeverteilungselement **307** (Fig. 3A und Fig. 3C) und die zugehörigen Auflagen und Abdeckungen (Fig. 5E und Fig. 5F) aus dem Reaktor **300** ausgelassen, so dass die Seitenwand **301b** kürzer gehalten werden kann, als es sonst der Fall wäre. Das bedeutet, dass die Energie, die von der Reflektorplatte **730** zum Suszeptor **302** reflektiert wird, stärker ist, da die Reflektorplatte **730** näher am Suszeptor **402** angeordnet werden kann.

[0204] Wie oben bemerkt, werden der Boden **401a** und die Seitenwand **401b** des Gefäßes **401** durch eine Wasserströmung gekühlt, die durch den Boden **401a** und die Wand **401b** fließt. Wie aus Fig. 5E und Fig. 5F ersichtlich, sind im Boden **401a** Kanäle **503c** gebildet, und die Seitenwand **401b** ist mit einem Hohlraum **503a** gebildet. Sowohl die Kanäle **503a** als auch der Hohlraum **503c** enthalten Prallbleche, die die Wasserströmung so leiten, dass der Boden **401a** und die Seitenwand **401b** gleichmäßig gekühlt werden. Zusätzlich fließt im Hohlraum **503b**, der im Tisch **451** gebildet ist, Wasser zur Kühlung der O-Ringe **551a**, **551b**. Das Wasser wird mit einem Druck von etwa 80 psi von einer externen Wasserversorgung von unterhalb des Gefäßes **501** durch herkömmliche Rohrleitungen zu den Hohlräumen **503a**, **503b** und dem Kanal **503c** geleitet, wobei die Strömungsgeschwindigkeit des Wassers mit Hilfe eines herkömmlichen Ventils geregelt wird. Bei einer Ausführungsform der Erfindung beträgt die Wasserströmungsgeschwindigkeit durch jeden Kanal **503c** und die Hohlräume **503a**, **503b** etwa 1,3 Gallonen pro Minute.

[0205] Wenn der Wafer **511** auf eine vorbestimmte Temperatur erwärmt worden ist, wird ein Gasgemisch mit Hilfe eines der beiden herkömmlichen Verfahren in die Reaktionskammer **403** eingeleitet: Zentraleinblasung der Gase in der Mitte der domförmigen oberen Wand **401c** oder Seiteneinblasung der Gase durch seitliche Öffnungen. Eine Gasleitung verbindet die Gasplatte mit einem herkömmlichen T-Ventil, das unter dem Tisch **451** angeordnet ist. Das Ventil wird zum Umschalten zwischen dem Zentraleinblasverfahren und dem Seiteneinblasverfahren verwendet.

[0206] Bei dem Zentraleinblasverfahren strömen die Gase durch das Gaseinlassrohr **408a** (Fig. 5B) und werden durch Öffnungen, die im Gaseinblaskopf **514** (Fig. 5A und Fig. 5B) gebildet sind, abhängig von den verwendeten Gasen mit einer Geschwindigkeit von 3–150 slm in die Reaktionskammer **403** eingeblasen. Der Gaseinblaskopf **514** unterscheidet sich von dem Gaseinblaskopf **414**, der in Fig. 4B gezeigt ist. Im Allgemeinen kann ein Gaseinblaskopf zur Verwendung für die Erfindung jede beliebige Form aufweisen, wie z.B. eine Duschkopfform, eine konische Form oder eine Kugelform.

[0207] Von oberhalb des Gefäßes **401** aus gesehen, ist der Gaseinblaskopf **514** mittig im Gefäß **401** angeordnet. Der Gaseinblaskopf **514** kann aus Quarz oder Graphit bestehen. Graphit wird verwendet, wenn eine Vorerwärmung der Gase gewünscht wird, wenn sie in die Reaktionskammer **403** eintreten. Das Gaseinlassrohr **408a** besteht aus rostfreiem Stahl und weist einen Durchmesser von 0,25 Zoll (0,64 cm) auf. Die Gase strömen am Suszeptor **402** und der Widerstandsheizung **407** vorbei durch die Reaktionskammer **403** abwärts und werden durch Abgasrohre **409a** und **409b** (Fig. 4A und Fig. 4B), die im Boden **401a** angeordnet sind, aus der Reaktionskammer **403** ausgestoßen.

[0208] Bei dem Seiteneinblasverfahren strömen die Gase durch das Gaseinlassrohr **408b** (Fig. 5B) und werden durch Öffnungen **521a**, **521b**, **521c** (Fig. 5D), die im Boden **401a** gebildet ist, über eine Mehrzahl von Gaseinblasdüsen, wie z.B. die Gaseinblasdüse **421a** (Fig. 5E und Fig. 5F), die um den Umfang der Reaktionskammer **403** angeordnet sind, in die Reaktionskammer **403** eingeleitet. (Im Folgenden werden Gaseinblasdüsen im Allgemeinen als Gaseinblasdüsen **421** bezeichnet, obwohl eine solche numerische Bezeichnung in den

Figuren nicht erscheint.) Von oben gesehen sind die Öffnungen **521a**, **521b**, **521c** symmetrisch im Boden **401a** nahe der Kante des Bodens **401a** und um 120° radial voneinander beabstandet gebildet. Die Mittellinie der Öffnungen **521a**, **521b**, **521c** ist 0,725 Zoll (1,84 cm) von der Seitenwand **401b** entfernt. Der Durchmesser der Öffnungen **521a**, **521b**, **521c** beträgt 0,75 bis 1,25 Zoll (1,9 bis 3,2 cm). Bei einer Ausführungsform beträgt der Durchmesser der Öffnungen **521a**, **521b**, **521c** 0,875 Zoll (2,22 cm). Die Gaseinblasdüsen **421** können durch den Boden **401a** gedreht und auf- und abbewegt werden, so dass die Gase je nach Wunsch in verschiedenen Höhen und/oder Richtungen in die Reaktionskammer **403** eingeblasen werden. Die Gaseinblasdüsen **421** könnten, falls gewünscht, an anderen Stellen in die Reaktionskammer **403** eintreten, wie z.B. durch die Seitenwand **401b** oder die obere Wand **401c**. Der Ort und die Richtung der Gasabgabe in die Reaktionskammer **403** sind von größerer Bedeutung als die jeweilige Art und Weise, mit der die Gaseinblasdüsen **421** in die Reaktionskammer **403** eintreten.

[0209] Die Gase werden durch die Gaseinblasdüsen **421**, abhängig von den verwendeten Gasen, mit Strömungsgeschwindigkeiten von 10 bis 200 slm in die Reaktionskammer **403** eingeleitet. Bei einer Ausführungsform liegen drei Gaseinblasdüsen **421** vor, die aus Quarz bestehen und eine einzelne kreisförmige Öffnung mit einem Durchmesser von 0,180 Zoll (0,46 cm) aufweisen. Es wird vorausgesetzt, dass die Verwendung einer anderen Anzahl von Gaseinblasdüsen **421** innerhalb des Bereichs der Erfindung liegt. Beispielsweise können zur Erzielung einer gewünschten Gasströmung durch die Reaktionskammer **403** 2 bis 10 Gaseinblasdüsen **421** in vorteilhafter Weise verwendet werden. Darüber hinaus können die Gasdüsen **421** mehr als eine Öffnung aufweisen, und die Form der Öffnung kann anders als kreisförmig sein. Zusätzlich könnten die Gaseinblasdüsen **421** aus rostfreiem Stahl oder Graphit anstatt aus Quarz bestehen.

[0210] Fig. 8A ist eine orthogonale Ansicht eines Abschnitts der Gaseinblasdüse **821** gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung. Die Gaseinblasdüse **821** entspricht der Gaseinblasdüse **421**. Die Gasdüsenspitze **801** ist an einem Ende des Gasdüsenrohrs **805** befestigt, indem die Gasdüsenspitze **801** am Gasdüsenrohr **805** beispielsweise angeschweißt ist. Alternativ könnte ein Gewindeabschnitt an der Gasdüsenspitze **801** gebildet sein, und die Gasdüsenspitze **801** könnte in eine entsprechende, mit Gewinde versehene Aussparung, die im Gasdüsenrohr **805** gebildet ist, eingeschraubt werden. Sowohl die Gasdüsenspitze **801** als auch das Gasdüsenrohr **805** können beispielsweise aus Quarz, rostfreiem Stahl oder Graphit hergestellt werden.

[0211] Fig. 8B ist eine Querschnittsansicht einer Gasdüsenspitze **803** zur Verwendung mit der Gaseinblasdüse **821** gemäß einer Ausführungsform der Erfindung. Der Hohlraum **803d** ist mittig in der Gasdüsenspitze **803** gebildet. In einer Richtung gesehen, die parallel zur allgemeinen Gasströmungsrichtung durch die Gasdüsenspitze **803** verläuft, kann der Hohlraum **803d** beispielsweise eine kreisförmige oder quadratische Querschnittsform aufweisen. Der Hohlraum **803d** verengt sich von einer ersten Breite **803c** auf eine zweite Breite **803a**, die die Breite der Öffnung darstellt, von der aus die Gase am Ende **803e** der Gasdüsenspitze **803** ausgestoßen werden. Bei einer Ausführungsform der Erfindung beträgt die Breite **803a** etwa 0,125 Zoll (3,18 mm), der Winkel **803b** etwa 45° und die Breite **803c** etwa 0,375 Zoll (9,53 mm).

[0212] Fig. 8C ist eine Querschnittsansicht einer Gasdüsenspitze **813** zur Verwendung mit der Gaseinblasdüse **821** gemäß einer Ausführungsform der Erfindung. Der Hohlraum **813f** ist mittig in der Gasdüsenspitze **813** gebildet. In einer Richtung gesehen, die parallel zur allgemeinen Gasströmungsrichtung durch die Gasdüsenspitze **813** verläuft, kann der Hohlraum **813f** beispielsweise eine kreisförmige oder quadratische Querschnittsform aufweisen. Der Hohlraum **813** verengt sich von einer ersten Breite **813e** auf eine zweite Breite **813c** und erweitert sich wieder auf eine Breite **813b**. Die Öffnung am Ende **813g** der Gasdüsenspitze **813**, aus der die Gase ausgestoßen werden, weist eine Breite **813b** auf. Bei einer Ausführungsform der Erfindung beträgt die Breite **813e** etwa 0,375 Zoll (9,53 mm), der Winkel **813d** beträgt etwa 45°, die Breite **813c** beträgt etwa 0,125 Zoll (3,18 mm), der Winkel **813a** beträgt etwa 60° und die Breite **813b** beträgt etwa 0,25 Zoll (6,35 mm).

[0213] Fig. 8D ist eine Querschnittsansicht der Gasdüsenspitze **823** zur Verwendung mit der Gaseinblasdüse **821** gemäß einer Ausführungsform der Erfindung. Der Hohlraum **823b** ist mittig in der Gasdüsenspitze **823** gebildet. In einer Richtung gesehen, die parallel zur allgemeinen Gasströmungsrichtung durch die Gasdüsenspitze **823** verläuft, kann der Hohlraum **823f** beispielsweise eine kreisförmige oder quadratische Querschnittsform aufweisen. Anders als die Gasdüsenspitzen **803** und **813** weist der Hohlraum **823a** der Gasdüsenspitze **823** eine konstante Breite **823a** auf, die bei einer Ausführungsform der Erfindung etwa 0,25 Zoll (6,35 mm) beträgt. Vorzugsweise wird die Gasdüsenspitze **823** bei einer Ausführungsform eines Gaseinblaskopfes **821** verwendet, der eine der Ausführungsformen einer Leitschaufel umfasst, wie weiter unten unter Bezugnahme auf Fig. 8E bis Fig. 8H beschrieben wird.

[0214] Fig. 8E und Fig. 8F sind jeweils eine modifizierte Draufsicht und eine Seitenansicht einer Leitschaufel

802 zur Verwendung mit der Gaseinblasdüse **821** gemäß einer Ausführungsform der Erfindung. Die Leitschaufel **802** umfasst die Leitschaufelplatten **802a** und **802b**, die beispielsweise mittels Schweißen einstückig an den Innenwänden des Gasdüsenrohrs **805** gebildet sind. Wie in Fig. 8F ersichtlich, sind die Leitschaufelplatten **802a** und **802b** in einem Winkel zueinander angeordnet. Bei einer Ausführungsform beträgt der Winkel **802e** etwa 90°. Fig. 8E ist eine "modifizierte" Draufsicht, da die Leitschaufelplatten **802a** und **802b** komplanar anstatt in einem Winkel zueinander gezeigt sind, um die Form der Leitschaufelplatten **802a** und **802b** besser zu veranschaulichen. In den Leitschaufelplatten **802a** und **802b** sind jeweils Ausschnitte **802c** und **802d** gebildet. Wie in Fig. 8E gezeigt, sind die Ausschnitte **802c** und **802d** nahezu halbkreisförmig, jedoch können andere Formen verwendet werden. Darüber hinaus sind die Ausschnitte **802c** und **802d** bei der Ausführungsform, die in Fig. 8E gezeigt ist, so gebildet, dass die Ausschnitte **802c** und **802d** einander nicht überlappen und jeder Ausschnitt **802c** oder **802d** in einer oberen Hälfte der jeweiligen Leitschaufelplatte **802a** oder **802b** gebildet ist. Jedoch muss dies nicht notwendigerweise der Fall sein.

[0215] Fig. 8G und Fig. 8H sind jeweils eine modifizierte Draufsicht und eine Seitenansicht der Leitschaufel **812** zur Verwendung mit der Gaseinblasdüse **821** gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung. Die Leitschaufel **812** umfasst die Leitschaufelplatten **812a** und **812b**, die einstückig gebildet sind. Wie aus Fig. 8H ersichtlich, sind die Leitschaufelplatten **812a** und **812b** in einem Winkel zueinander angeordnet. Bei einer Ausführungsform beträgt der Winkel **812e** etwa 45°. Fig. 8G ist eine "modifizierte" Draufsicht, da die Leitschaufelplatten **812a** und **812b** komplanar anstatt in einem Winkel zueinander gezeigt sind, um die Form der Leitschaufelplatten **812a** und **812b** besser zu veranschaulichen. In den Leitschaufelplatten **812a** und **812b** sind jeweils Löcher **812c** und **812d** gebildet. Wie in Fig. 8G gezeigt, sind die Löcher **812c** und **812d** nahezu kreisförmig, jedoch können andere Formen verwendet werden.

[0216] Die Ausführungsformen der Gaseinblasdüse **821**, die oben beschrieben wurden, umfassen je eine Gasdüsenspitze mit einem Innenquerschnitt variabler Breite sowie eine Leitschaufel, die am Ende des Gasdüsenrohrs gebildet ist, an dem die Gasdüsenspitze befestigt ist. Diese Ausführungsformen einer Gaseinblasdüse bewirken die Abgabe eines Nebels aus der Gaseinblasdüse. Der Nebel ist erwünscht, um sicherzustellen, dass sich eine Verteilung von Gasen auf der Waferoberfläche niederlässt, die zur Gewährleistung ausreichend gleichmäßiger Eigenschaften der Schicht, die auf die Waferoberfläche aufgedampft wird, wie z.B. spezifischer Widerstand und Dicke, angemessen ist. Gemäß der Erfindung kann im Allgemeinen eine Gaseinblasdüse **821** mit einer Gasdüsenspitze und/oder einer Leitschaufel, wie oben beschrieben, gebildet werden, die einen Nebel erzeugt, der die gewünschte Gleichmäßigkeit bietet. Weiterhin umfasst die Erfindung weitreichend jedes Gaseinblassystem, das in der Reaktionskammer des Reaktors einen Gasnebel erzeugt.

[0217] Bei einer Ausführungsform sind die Gaseinblasdüsen **421** so ausgerichtet, dass die Gasströmungen von den Gaseinblasdüsen **421** auf einen Punkt knapp unterhalb der oberen Wand **401c** gerichtet werden, so dass die Gasströmungen aufeinander stoßen, wodurch eine Gasströmung erzeugt wird, die daraufhin auf den Wafer **511** absinkt, so dass eine gleichmäßige Aufdampfung erreicht wird. Alternativ können die Gaseinblasdüsen **421** so ausgerichtet sein, dass die Gasströmungen zur oberen Wand **401c** gerichtet werden und mit der Krümmung der oberen Wand **401c** zusammenwirken, so dass eine weitere Gasströmung erzeugt wird, die auf den Wafer **511** absinkt. Da die Gase die Strecke von den Gaseinblasdüsen **421** zur oberen Wand **401c** und von der oberen Wand **401c** zum Suszeptor **402** zurücklegen, sind die Gase zu dem Zeitpunkt, zu dem sie den Wafer **511** erreichen, gut erwärmt. Die Gase strömen am Suszeptor **402** und der Widerstandsheizung **407** vorbei durch die Reaktionskammer **403** abwärts und werden durch die Abgasöffnungen **509a** und **509b** ausgestoßen.

[0218] Während des Betriebes des Reaktors **400** treten die Gase möglicherweise durch Spalte zwischen der Welle **416** und der ringförmigen Welle **419** sowie zwischen der ringförmigen Welle **419** und dem Boden **401a** (Fig. 5E und Fig. 5F) aus der Reaktionskammer **403** aus. Dieses Austreten wird soweit wie möglich minimiert, indem die Abstände zwischen der Welle **416** und der ringförmigen Welle **419** sowie zwischen der ringförmigen Welle **419** und dem Boden **401a** so gering wie möglich gehalten werden. Der Mindestabstand zwischen der Welle **416** und der ringförmigen Welle **419** beträgt bei dieser Ausführungsform etwa 0,062 Zoll (1,6 mm). Der Abstand zwischen der ringförmigen Welle **419** und dem Boden **401a** beträgt 0,031 Zoll (0,8 mm).

[0219] Wie oben bemerkt, dichtet die herkömmliche Ausgleichsbalgbaugruppe **420**, die mit der Teilenummer SK-1601-6009 bei Metal Fab. Corp. in Ormond Beach, Florida, erhältlich ist, zusätzlich den Bereich **427** (siehe Fig. 4A und Fig. 4B), der die Welle **416**, die ringförmige Welle **419** und die zugehörigen Mechanismen umgibt, ab, um austretende Gase aufzufangen. Die Ausgleichsbalgbaugruppe **420** weist einen akkordeonartigen Abschnitt **420b** (Fig. 5E und Fig. 5F) auf, der zwischen die beiden Flanschabschnitte geschweißt ist (nur der obere Flanschabschnitt **420a** ist in Fig. 5E und Fig. 5F gezeigt). Der Abschnitt **420b** besteht aus rostfreiem Stahl-

blech und wird zusammengedrückt und auseinandergezogen, wenn der Suszeptor **402** abgesenkt und angehoben wird. Die Flanschabschnitte, wie z.B. der obere Flanschabschnitt **420a**, bestehen ebenfalls aus rostfreiem Stahl. Der obere Flanschabschnitt **420a** ist mit dem Boden **401a** verschraubt. Der untere Flanschabschnitt (nicht gezeigt) ist an der Platte **426** (Fig. 4B) befestigt.

[0220] Die Ausgleichsbalgablassvorrichtung **526** beseitigt Gase aus dem Bereich **427**. In den Bereich **427** wird durch die Ausgleichsbalgablassvorrichtung **526** Spülgas mit einem Druck eingeleitet, der höher ist als der Druck in der Reaktionskammer **403**. Folglich werden Gase, die andernfalls aus der Reaktionskammer **403** austreten würden, in die Reaktionskammer **403** zurückgedrückt. Das Spülgas tritt ebenfalls in die Reaktionskammer **403** ein, da jedoch das Spülgas durch den Boden **403a** in die Unterseite der Reaktionskammer **403** eintritt und die Strömung in der Reaktionskammer **403** abwärts in Richtung der Abgasleitungen **409a**, **409b** gerichtet ist, wird das Spülgas durch die Abgasleitungen **409a**, **409b** schnell aus der Reaktionskammer **403** ausgestoßen. Das restliche Spülgas im Bereich **427** sowie sonstige Prozessgase, die in den Bereich **427** ausgetreten sind, werden durch das Abgasrohr **527** abgelassen. Bei einer Ausführungsform erzeugt eine Unterdruckpumpe einen Unterdruck von etwa 10 Torr im Abgasrohr **527**, um die Beseitigung von Gasen und Partikeln aus dem Bereich **427** zu unterstützen. Während der Verarbeitung des Wafers **511** im Reaktor **400** wird Wasserstoff als Spülgas verwendet, das durch die Ausgleichsbalgablassvorrichtung **526** geleitet wird, da etwas Spülgas in die Reaktionskammer **403** eintritt. Nach der Verarbeitung des Wafers **511** wird Stickstoff als Spülgas verwendet.

[0221] Wie in Fig. 5E und Fig. 5F gezeigt, wird der Suszeptor **402** von der Welle **516** getragen. Das Ende der Welle **516**, das dem Ende gegenüberliegt, das an der Unterseite des Suszeptors **402** befestigt ist, weist eine konische Form auf und ist mittels eines Zapfens (nicht gezeigt) in eine konisch geformte Aussparung eingesetzt und an dieser befestigt, die an einem Ende der Welle **416** gebildet ist. Durch die Passung zwischen dem konischen Ende der Welle **516** und der konischen Aussparung der Welle **416** wird gewährleistet, dass der Suszeptor **402** waagerecht bleibt (d.h. dass er nicht wackelt), wenn die Welle **416** während des Betriebs des Reaktors **400** gedreht wird. Es ist wichtig, den Suszeptor **402** waagerecht zu halten, um sicherzustellen, dass Materialschichten, die auf den Wafer **511** während des Betriebs des Reaktors **400** aufgedampft werden, gleichmäßig auf der Oberfläche des Wafers **511** aufgedampft werden.

[0222] Alternativ könnte die Welle **516** mit einem zylindrischen Ende anstatt mit einem konischen Ende und die Welle **416** mit einem zylindrischen Passloch gebildet werden, wenn festgestellt wird, dass eine solche Verbindung ein Wackeln des Suszeptors **402** verringert, wenn sich dieser dreht. Wichtig ist, dass die Verbindung der Wellen **416** und **516** so beschaffen ist, dass der Suszeptor **402** während der Drehung des Suszeptors **402** waagerecht bleibt.

[0223] Bei einer alternativen Ausführungsform ist das Ende der Welle **516**, das in die Welle **416** eingesetzt ist, zylindrisch und weist einen sechskantigen Querschnitt auf. Eine passende sechskantige Aussparung ist in der Welle **416** gebildet. Die Welle **516** wird durch das Gewicht des Suszeptors **402** in der Aussparung, die in der Welle **416** gebildet ist, in Position gehalten. Durch die Passung zwischen dem sechskantigen Ende der Welle **516** und der sechskantigen Aussparung der Welle **416** wird gewährleistet, dass der Suszeptor **402** in Bezug auf die Zapfen, die dazu verwendet werden, den Wafer **511** (gemäß einer Ausführungsform der Erfindung, die weiter unten ausführlicher beschrieben wird) über den Suszeptor **402** anzuheben, korrekt ausgerichtet ist, so dass sich diese Zapfen durch die entsprechenden Löcher im Suszeptor **402** erstrecken können. Alternativ könnte das Ende des Suszeptors **516** eine andere Querschnittsform aufweisen, wie z.B. eine quadratische Form, die den Suszeptor **402** korrekt ausgerichtet hält. Das Ende des Suszeptors minimiert ebenfalls das Wackeln des Suszeptors **402**, so dass die Oberfläche des Suszeptors **402**, die den Wafer **511** trägt, während der Drehung des Suszeptors **402** waagerecht gehalten wird.

[0224] Die Welle **516** kann beispielsweise aus Quarz, Graphit oder jedem beliebigen Keramikmaterial bestehen, das den Betriebsbedingungen in der Reaktionskammer **403** standhält (d.h. hohe Temperatur, gashaltige Atmosphäre). Bei einer Ausführungsform der Erfindung besteht die Welle **516** aus Quarz. Verglichen mit Graphit absorbiert Quarz verhältnismäßig wenig Wärme, so dass, wenn die Welle **516** aus Quarz besteht, eine geringere Wahrscheinlichkeit besteht, dass sich die Welle **516** erwärmen und möglicherweise Temperaturungleichmäßigkeiten im Wafer **511**, der auf dem Suszeptor **402** angebracht ist, hervorrufen wird. Die Welle **416** besteht beispielsweise aus rostfreiem Stahl.

[0225] Bei der Ausführungsform der Erfindung, die in Fig. 5E und Fig. 5F gezeigt ist, ist erwünscht, dass der Träger für den Suszeptor **402** in zwei Abschnitten gebildet ist, d.h. den Wellen **416** und **516**, da die Welle **516** bei der bevorzugten Ausführungsform einstückig mit dem Suszeptor **402** gebildet ist. Wie weiter unten beschrieben wird, ist es wünschenswert, verschiedene Suszeptoren **402** für die Verarbeitung verschieden großer

Wafer, wie z.B. des Wafers **511**, zu verwenden. Daher muss die Suszeptorauflage mit zwei Wellen **416** und **516** gebildet sein, so dass die Welle **516** leicht von der übrigen Suszeptorauflage getrennt werden kann, wenn gewünscht wird, zu einem anderen Suszeptor **402** zu wechseln.

[0226] Fig. 9A und Fig. 9B sind eine Draufsicht und eine Querschnittsansicht der Suszeptorauflage **916** gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung. Die Suszeptorauflage **916** umfasst die Suszeptorauflagewelle **916a** sowie drei Arme **916b**, **916c**, **916d**, die sich rechtwinklig zu und an einem Ende der Suszeptorauflagewelle **916a** erstrecken. Die Arme **916b**, **916c**, **916d** weisen zueinander denselben Abstand auf.

[0227] Die Schlitze **916e** sind an gegenüberliegenden Seiten der Welle der Suszeptorauflage **916** gebildet. In der Welle sind Passfedern gebildet, in die die Welle der Suszeptorauflage **916** passt, so dass das Drehmoment verteilt und ein Brechen der Suszeptorauflage **916** verhindert wird.

[0228] Am Ende jedes Arms **916b**, **916c**, **916d** ist ein Sockel gebildet, der in ein entsprechendes Loch passt, das in der Unterseite des Suszeptors gebildet ist. Die Sockel halten den Suszeptor lateral in Position.

[0229] Fig. 11D, die weiter unten ausführlicher beschrieben wird, veranschaulicht einen Suszeptor **1102**, der auf einer Suszeptorauflage **916** angebracht ist. Wie aus Fig. 11D ersichtlich ist, erstrecken sich die Arme **916b**, **916c**, **916d** etwa über die Hälfte des Abstands vom Mittelpunkt des Suszeptors **1102** zur Kante des Suszeptors **1102**. Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung erstrecken sich die Arme **916b**, **916c**, **916d** über ein Fünftel bis zwei Drittel des Abstands vom Mittelpunkt des Suszeptors **1102** zur Kante des Suszeptors **1102**.

[0230] Die Suszeptorauflage **916** berührt den Suszeptor nur an den Sockeln, die am Ende der Arme **916b**, **916c**, **916d** gebildet sind. Dies ist wünschenswert, damit nur die Sockel die Wärmeverteilung auf der Rückseite des Suszeptors beeinflussen. Wie aus Fig. 11D ersichtlich, sind die Sockel so angeordnet, dass sie nicht unterhalb der Wafer **1101a**, **1101b**, **1101c** liegen. Allgemein ist eine Suszeptorauflage, die der Suszeptorauflage **916** entspricht, gemäß der Erfindung so gebildet, dass die Sockel den Suszeptor nicht an einer Stelle berühren, die unterhalb eines Wafers liegt, der auf dem Suszeptor angeordnet ist.

[0231] Eine Suszeptorauflage, wie z.B. die Suszeptorauflage **916**, die unter Bezugnahme auf Fig. 9A und Fig. 9B beschrieben ist, weist verschiedene Vorteile gegenüber einer Suszeptorauflage auf, die Arme aufweist, die sich zur Kante des Suszeptors erstrecken. Erstens ist ein solcher Suszeptor kostengünstiger, da zur Herstellung der Suszeptorauflage weniger Material benötigt wird. Zweitens können die Arme mit einem kleineren Querschnitt hergestellt werden (wodurch weniger Material verwendet wird), während eine angemessene konstruktive Integrität beibehalten wird, da sich die Arme über eine kürzere Entfernung erstrecken.

[0232] Fig. 10A und Fig. 10B sind eine Draufsicht und eine Seitenansicht der Suszeptorauflage **1016** gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung. Die Suszeptorauflage **1016** umfasst die Auflagewelle **1016a**, von der aus sich der Auflagearm **1016b** erstreckt. Am Ende des Auflagearms **1016b** ist die Suszeptorbefestigung **1016c** gebildet.

[0233] Fig. 10C ist eine Draufsicht des Suszeptors **1002** zur Verwendung mit der Suszeptorauflage **1016** aus Fig. 10A und Fig. 10B. Fig. 10D ist eine Querschnittsansicht des Suszeptors aus Fig. 10C, die entlang; der Schnittlinie 10C-10C genommen ist. Ein Wafer (nicht gezeigt) ist in einer Aussparung **1002a** angeordnet, die im Suszeptor **1002** gebildet ist. Ein Suszeptorauflageschlitz **1002b** ist durch den Suszeptor **1002** hindurch gebildet. Der Auflagearm **1016b** passt in den Suszeptorauflageschlitz **1002b**. Der abgewinkelte Abschnitt des Suszeptorauflageschlitzes **1002b** liegt am Auflagearm **1016b** an, um den Suszeptor **1002** vertikal in Position zu halten. Der abgewinkelte Abschnitt und die Seitenwände des Suszeptorauflageschlitzes **1002b** liegen am Auflagearm **1016b** an, um den Suszeptor **1002** lateral in Position zu halten. Alternativ kann der Auflagearm **1016b** einstückig mit dem Suszeptor **1002** gebildet sein.

[0234] Als Teil der Verarbeitung des Wafers **511** mit dem Reaktor **400** ist es erforderlich, den Wafer **511** vor Beginn des Verfahrens auf dem Suszeptor **402** in der Reaktionskammer **403** anzuordnen und den verarbeiteten Wafer **511** nach Abschluss des Verfahrens aus der Reaktionskammer **403** herauszunehmen. Wenn gewünscht wird, den Wafer **511** aus der Reaktionskammer **403** zu entnehmen oder ihn in die Reaktionskammer **403** hineinzugeben, wird der Suszeptor **402** in eine bestimmte Position gedreht (die als "Ausgangsposition" bezeichnet wird), die die Entnahme des Wafers **511** ermöglicht. Wenn der Wafer **511** auf den Suszeptor **402** gelegt oder diesem entnommen wird, wird der Suszeptor **402** in eine Position nahe des Bodens **401a** abgesenkt.

[0235] Fig. 5E zeigt den Suszeptor **402** in einer abgesenkten Position, die eine Vorbereitung für das Laden

des Wafers **511** auf den Suszeptor **402** darstellt. Eine Mehrzahl von Befestigungsstäben, wie z.B. die Befestigungsstäbe **512a**, **512b**, ist am Boden **401a** befestigt. Die Befestigungsstäbe, wie z.B. der Befestigungsstab **512a**, bestehen aus rostfreiem Stahl oder Graphit. Entsprechende Löcher, wie z.B. die Löcher **531a**, **532a** und **533a**, die dem Befestigungsstab **512a** entsprechen, sind jeweils in der Widerstandsheizung **407**, der Quarzschicht **508** und dem Suszeptor **402** gebildet. Waferauflagezapfen, wie z.B. die Waferauflagezapfen **513a**, **513b**, sind in zylindrischen Aussparungen befestigt, die für die Waferauflagezapfen **513a**, **513b** in den Enden der Befestigungsstäbe, wie z.B. den Befestigungsstäben **512a**, **512b**, gebildet sind. (Im Folgenden werden die Befestigungsstäbe, die Waferauflagezapfen und die entsprechenden Löcher im Allgemeinen als Befestigungsstäbe **512**, Waferauflagezapfen **513** und Löcher **531**, **532** und **533** bezeichnet, obwohl diese numerischen Bezeichnungen in den Figuren nicht erscheinen, außer wenn auf einen bestimmten Befestigungsstab, einen bestimmten Waferauflagezapfen oder ein bestimmtes entsprechendes Loch, beispielsweise den Befestigungsstab **512a**, Bezug genommen wird.) Wenn sich der Suszeptor **402** in der Position befindet, die in Fig. 5E gezeigt ist, erstrecken sich die Befestigungsstäbe **512** durch die Löcher **531**, **532**, **533** und greifen in die Waferauflagezapfen **513** ein, so dass die Waferauflagezapfen **513** über die Oberfläche des Suszeptors **402** angehoben werden, auf der der Wafer **511** angebracht werden soll.

[0236] Die Tür **413** (in Fig. 5E und Fig. 5F nicht gezeigt), durch die der Wafer **511** in die Reaktionskammer **403** hineingegeben und aus dieser herausgenommen wird, ist an einer Seite des Gefäßes **401** vorgesehen. Der Wafer **511** kann entweder mit Hilfe eines Robotersystems oder eines manuellen mechanischen Systems auf dem Suszeptor **402** angeordnet oder von diesem entfernt werden. Wenn das Robotersystem verwendet wird, ist der Roboter so programmiert, dass der Roboterarm um die korrekte Distanz ausfährt, um den Wafer **511** aufzunehmen oder den Wafer **511** akkurat in einer vorbestimmten Position auf dem Suszeptor **402** anzuordnen. Wenn das manuelle System verwendet wird, sind mechanische Anschläge angeordnet, um die Bewegung des Waferhandhabungsarms zu begrenzen, so dass der Arm, wenn er gegen die Anschläge stößt, korrekt positioniert ist, um den Wafer **511** von dem Suszeptor **402** zu nehmen oder ihn auf diesem anzuordnen. Somit wird mit beiden Systemen eine gute Steuerung der Positionierung des Wafers **511** auf dem Suszeptor **402** erreicht.

[0237] Nachdem der Wafer **511** auf den Waferauflagezapfen **513** positioniert ist, wird der Waferhandhabungsarm aus der Reaktionskammer **403** entfernt und die Tür **413** geschlossen. Der Suszeptor **402** wird in die Position angehoben, in der der Suszeptor **402** während der Verarbeitung des Wafers **511** (Fig. 5F) gehalten wird. Wenn der Suszeptor **402** angehoben ist, werden die Befestigungsstäbe **512** durch die Löcher **531**, **532**, **533** zurückgezogen. Die Waferauflagezapfen **513** werden durch die Löcher **533** zurückgezogen. Schließlich werden die Waferauflagezapfen **513** zurückgezogen, so dass die kegelförmigen Enden der Waferauflagezapfen **513** in den kegelförmigen Abschnitten der Löcher **533** aufsitzen. Zu diesem Zeitpunkt schließen die Waferauflagezapfen **513** mit der Oberfläche des Suszeptors **402**, auf der der Wafer **511** angebracht ist, bündig ab, so dass der Wafer **511** auf dem Suszeptor **402** ruht.

[0238] Fig. 11A ist eine ausführliche Querschnittsansicht des Waferauflagezapfens **513**, der im kegelförmigen Abschnitt des Lochs **533** im Suszeptor **402** zu dem Zeitpunkt aufsitzt, zu dem der Befestigungsstab **512** gerade weit genug zurückgezogen ist, um ein Aufsitzen des Waferauflagezapfens **513** zu ermöglichen.

[0239] Fig. 11B ist eine ausführliche Querschnittsansicht des Waferauflagezapfens **1113** gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung zu dem Zeitpunkt, zu dem der Befestigungsstab **1114** weit genug zurückgezogen ist, um ein Aufsitzen des Waferauflagezapfens **1113** zu ermöglichen. Der Waferauflagezapfen **1113** weist einen zylindrischen Kopf auf, der in einer zylindrischen Aussparung **1133a** aufsitzt, die im Suszeptor **1103** gebildet ist. Der Waferauflagezapfen **1113** umfasst weiterhin eine zylindrische Welle, die sich durch das Loch **1133b** erstreckt, das im Suszeptor **1103** gebildet ist. In der zylindrischen Welle ist eine zylindrische Aussparung vorgesehen, in die sich der Befestigungsstab **1114** erstreckt. Alternativ könnte die zylindrische Welle mit einem geringeren Durchmesser und ohne Aussparung gebildet sein und sich in eine Aussparung erstrecken, die in einer passenden Welle gebildet ist, die den Befestigungsstab **1114** ersetzen würde. Der Befestigungsstab **1114** und der Waferauflagezapfen **1113** wirken wie oben für den Waferauflagezapfen **513** und den Befestigungsstab **512** beschrieben.

[0240] Fig. 11C ist eine ausführliche Querschnittsansicht des Waferauflagezapfens **1123** gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung zu dem Zeitpunkt, zu dem der Befestigungsstab **1122** weit genug zurückgezogen ist, um ein Aufsitzen des Waferauflagezapfens **1123** zu ermöglichen. Der Waferauflagezapfen **1123** ist kegelförmig und weist eine Vertiefung auf, die in der Spitze des Kegels gebildet ist. Der Waferauflagezapfen **1123** sitzt in einer kegelförmigen Aussparung **1143a**, die im Suszeptor **1104** gebildet ist. Der Befestigungsstab **1122** erstreckt sich durch das Loch **1143b**, das durch den Suszeptor **1104** hindurch gebildet ist und passt in

die Vertiefung, die im Waferauflagezapfen **123** gebildet ist. Der Befestigungsstab **1122** und der Waferauflagezapfen **1123** wirken in gleicher Weise, wie oben für den Waferauflagezapfen **513** und den Befestigungsstab **512** beschrieben.

[0241] Die Waferauflagezapfen **513**, **1113** oder **1123** bestehen aus Quarz, Siliziumkarbid oder Graphit. Vorzugsweise bestehen die Waferauflagezapfen **513**, **1113** oder **1123** aus demselben Material wie der entsprechende Suszeptor **402**, **1103** oder **1104** (oder zumindest wie der Bereich des Suszeptors **402**, **1103** oder **1104**, der die Waferauflagezapfen **513**, **1113** oder **1123** umgibt), so dass die Wärmeübertragungseigenschaften der Waferauflagezapfen **513**, **1113** oder **1123** dieselben sind wie die des umgebenden Suszeptors **402**, **1103** oder **1104**. Die Waferauflagezapfen **513**, **1113** oder **1123** müssen passgenau im ausgesparten Abschnitt der Löcher im Suszeptor **402**, **1103** oder **1104** sitzen, so dass die Reaktantgase nicht in die Löcher strömen können.

[0242] Wie weiter unten ausführlicher beschrieben wird, benötigen Wafer unterschiedlicher Größen jeweils einen anderen Suszeptor **402**, da die Wafer je nach Wafergröße an verschiedenen Stellen auf dem Suszeptor **402** angeordnet werden. Weiterhin variiert die Anzahl und die Position der Befestigungsstäbe **512**, der Waferauflagezapfen **513** und der Löcher **531**, **532**, **533** mit dem jeweiligen verwendeten Suszeptor **402**. Demzufolge werden verschiedene Befestigungsstäbe **512** zum Anheben und Absenken der Wafer unterschiedlicher Größen verwendet.

[0243] Die Positionen der Befestigungsstäbe **512** für jede Wafergröße sind in Fig. 5D gezeigt. Für 125 mm (5 Zoll), 150 mm (6 Zoll) und 200 mm (8 Zoll) werden die Befestigungsstäbe **512b**, **512d** und **512e** verwendet. Wahlweise können die Befestigungsstäbe **512a**, **512b**, **512c** und **512d** für 200 mm (8 Zoll) Wafer verwendet werden. Für 250 mm (10 Zoll) Wafer werden die Befestigungsstäbe **512a**, **512c**, **512f** und **512g** verwendet. Für 300 mm (12 Zoll) Wafer werden die Befestigungsstäbe **512f**, **512g**, **512h** und **512i** verwendet.

[0244] Wie weiter unten ausführlicher beschrieben wird, werden bei anderen Ausführungsformen der Erfindung ein Waferumgebungsring bzw.

[0245] Waferumgebungsringe in der Tasche bzw. den Taschen, die im Suszeptor gebildet sind, so angeordnet, dass jeder Waferumgebungsring einen Wafer umgibt, der in der Tasche angeordnet ist, und mindestens unter einem Abschnitt des Wafers liegt. Bei diesen Ausführungsformen können die Waferauflagezapfen, die den oben beschriebenen entsprechen, so gebildet sein, dass sie beim Absenken des Suszeptors den Waferumgebungsring berühren und anheben. Der Wafer bzw. die Wafer können daraufhin im Waferumgebungsring angeordnet werden, und der Suszeptor kann angehoben werden, so dass der Wafer bzw. die Wafer im Waferumgebungsring sitzen. Nach der Verarbeitung des Wafers bzw. der Wafer wird der Suszeptor wieder abgesenkt, und die Waferauflagezapfen heben den Waferumgebungsring über den Suszeptor an. Da der Waferumgebungsring bzw. die Waferumgebungsringe mindestens unter einem Abschnitt des Wafers bzw. der Wafer liegen, werden die Wafer ebenfalls über den Suszeptor angehoben, so dass die Wafer leicht aus der Reaktionskammer entnommen werden können.

[0246] Fig. 11D ist eine Draufsicht des Suszeptors **1102** gemäß der Erfindung zum Halten von drei Wafern. Die Waferumgebungsringe **1101a**, **1101b**, **1101c**, die weiter unten ausführlicher beschrieben werden, werden in entsprechenden Taschen des Suszeptors **1102** angeordnet. Der Suszeptor **1102** ruht auf der Suszeptorauflage **916**.

[0247] Fig. 11E ist eine vereinfachte Querschnittsansicht des Waferumgebungsrings **1101a**, der mit Hilfe der Waferauflagezapfen **1112a**, **1112b**, **1112c**, **1112d** über den Suszeptor **1102** angehoben ist. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde die Suszeptorauflage **916** aus Fig. 11E ausgelassen. Die Waferauflagezapfen **1112a**, **1112b**, **1112c**, **1112d** sind mit der Auflagezapfenplatte **1115** einstückig gebildet. Alternativ können die Waferauflagezapfen **1112a**, **1112b**, **1112c**, **1112d** an die Auflagezapfenplatte **1115** angeschweißt oder in Löcher eingeschraubt sein, die in der Auflagezapfenplatte **1115** vorgesehen sind. Die Auflagezapfenplatte **1115** ist am Boden **401a** des Gefäßes **401** beispielsweise mit Muttern und Schrauben befestigt, oder die Auflagezapfenplatte **1115** kann am Boden **401a** verstiftet sein.

[0248] Bei einer Ausführungsform weist die Rückseite jedes Waferumgebungsrings, wie z.B. des Waferumgebungsrings **1101a**, Vertiefungen auf, in die entsprechende Waferauflagezapfen, wie z.B. die Waferauflagezapfen **1112a**, **1112b**, **1112c**, **1112d**, passen, wenn der Suszeptor **1102** abgesenkt wird, so dass die Waferauflagezapfen **1112a**, **1112b**, **1112c**, **1112d** den Waferumgebungsring **1101a** berühren. Entsprechend weist jeder der Waferauflagezapfen, wie z.B. die Waferauflagezapfen **1112a**, **1112b**, **1112c**, **1112d**, einen kegelförmigen Kopf auf, der in die entsprechende Vertiefung passt, die im Waferumgebungsring **1101a** gebildet ist. Die Wa-

ferauflagezapfen **1112a**, **1112b**, **1112c**, **1112d** bestehen beispielsweise aus Quarz, Graphit, Keramik oder rostfreiem Stahl. Obwohl vier Waferauflagezapfen gezeigt sind, könnten drei oder fünf oder mehr verwendet werden.

[0249] Wie aus Fig. 5E und Fig. 5F ersichtlich, ist nahezu nichts von der Suszeptorauflagekonstruktion der Reaktionskammer **403** ausgesetzt. Nur ein kleiner Abschnitt der Welle **516** und ein veränderlicher Abschnitt der ringförmigen Welle **419** (abhängig von der Position des Suszeptors **402**) sind der Reaktionskammer **403** ausgesetzt. Der mittlere Abschnitt der Welle **516** ist von einer Quarzschicht **507** umgeben, die ebenfalls dazu dient, die Welle **416** und den unteren Abschnitt der Welle **516** im Wesentlichen gegen die Reaktionskammer **403** abzudichten. Da die Widerstandsheizung **407** mit dem Suszeptor **402** angehoben oder abgesenkt wird, trifft dies zu, gleich ob sich der Suszeptor **402** in einer abgesenkten Position, wie in Fig. 5E, oder in einer angehobenen Position, wie in Fig. 5F, befindet.

[0250] Es ist von Bedeutung, dass sich beide Motoren **415** und **417** (Fig. 4A und Fig. 4B) außerhalb der Reaktionskammer **403** befinden. Da die meisten Komponenten der Konstruktion zum Tragen und Bewegen des Suszeptors **402** außerhalb der Reaktionskammer **403** angeordnet sind, gibt es im Vergleich zu herkömmlichen Reaktoren weniger Oberflächen, auf denen sich die Prozessgase unerwünschterweise ablagern können. Somit sind bei nachfolgenden Verwendungen des Reaktors **400** weniger Verunreinigungsstoffe vorhanden, die die Materialschicht, die auf den Wafer **511** aufgedampft wird, nachteilig beeinflussen können oder die Erwärmungseigenschaften des Reaktors **400** verändern können.

[0251] Wie oben angemerkt, kann der Suszeptor **402** gedreht werden. Der Suszeptor **402** kann sowohl im Uhrzeigersinn als auch gegen den Uhrzeigersinn gedreht werden. Durch die Drehung des Suszeptors **402** wird die Position jedes Punktes auf der Oberfläche des Wafers **511** (abgesehen von einem Punkt, der mit der Drehachse des Suszeptors **402** übereinstimmt) im Verhältnis zur durchschnittlichen Gasströmung, die an dem Wafer **511** vorbeiströmt, während des Betriebes des Reaktors **400** fortwährend verändert. Demzufolge werden die Auswirkungen von Ungleichmäßigkeiten bei der Erwärmung oder der Gasverteilung, die andernfalls Ungleichmäßigkeiten in einem Film, der auf dem Wafer **511** aufgedampft wird, sowie Versetzungen und Abgleitung auf dem Wafer **511** hervorrufen würden, wesentlich vermieden. Durch die Drehung werden die Ungleichmäßigkeiten bei der Erwärmung oder der Gasverteilung über die obere Fläche **511a** des Wafers **511** (Fig. 5F) verteilt anstatt ihre Konzentration auf einer bestimmten Stelle zu ermöglichen. Typischerweise wird der Suszeptor **402** mit einer Drehzahl von 0,5 bis 30 U/min gedreht. Die genaue Drehzahl wird als Teil des "Einstellungsverfahrens" des Reaktors **400** empirisch bestimmt, nachdem der Reaktor **400** für eine spezifische Anwendung bestimmt wurde.

[0252] Wie aus Fig. 5E und Fig. 5F ersichtlich, ist die Widerstandsheizung **407** an der ringförmigen Welle **419** befestigt, so dass die Widerstandsheizung **407** um einen geringen Abstand unterhalb des Suszeptors **402** angeordnet ist. Obwohl die Widerstandsheizung **407** und der Suszeptor **402** einander nicht berühren dürfen, da die Drehung des Suszeptors **402** zwischen dem Suszeptor **402** und der Widerstandsheizung **407** Verschleiß verursachen würde, der unerwünschte Partikel erzeugen und möglicherweise den Suszeptor **402** oder die Widerstandsheizung **407** beschädigen würde, besteht idealerweise ein minimaler Abstand zwischen der Widerstandsheizung **407** und dem Suszeptor **402**. Bei einer Ausführungsform ist die Widerstandsheizung **407** etwa 0,5 Zoll (1,3 cm) unterhalb des Suszeptors **402** angeordnet. Da sich die Widerstandsheizung **407** mit dem Suszeptor **402** auf- und abbewegt, wenn der Suszeptor **402** in der Reaktionskammer **403** auf- und abbewegt wird, liefert die Widerstandsheizung **407** dem Wafer **511** für einen gegebenen Leistungspegel unabhängig von der Position des Suszeptors **402** in der Reaktionskammer **403** dieselbe Wärmemenge.

[0253] Zu Beginn der Verarbeitung des Wafers **511** im Reaktor **400** liefern die Lampen **505** und die Widerstandsheizung **407** Wärme, so dass die Temperatur des Wafers **511** so schnell und gleichmäßig wie möglich erhöht wird, ohne übermäßige Spannungen im Wafer zu erzeugen. Von jeder der Lampen **505** und der Widerstandsheizung **407** können unterschiedliche Wärmemengen geliefert werden. Die Wärmemenge, die von jeder Lampe **505** und der Widerstandsheizung **407** geliefert wird, ist basierend auf einer zuvor vorgenommenen Temperaturkalibrierung vorherbestimmt. Wenn die Temperatur im Reaktor **400** eine Temperatur innerhalb des Betriebsbereiches des Temperatursensors des Reaktors, wie z.B. des Thermopaars **525**, erreicht, werden die Lampengruppen **505** und die Widerstandsheizung **407**, basierend auf der gemessenen Temperatur im Reaktor **400**, separat geregelt, um je nach Bedarf variierende Wärmemengen bereitzustellen und eine im Wesentlichen gleichmäßige Temperatur im Wafer **511** aufrechtzuerhalten, wenn der Wafer **511** auf die Verarbeitungstemperatur gebracht wird.

[0254] Eine Mehrzahl von gesteuerten Siliziumgleichrichtern (SCRs) steuert den Strom, der an beide Wärme-

quellen angelegt wird, und somit die Wärmemenge von jeder der Wärmequellen. Bei der Ausführungsform der Erfindung, die in Fig. 4A, Fig. 4B, Fig. 5A, Fig. 5B, Fig. 5C, Fig. 5D, Fig. 5E und Fig. 5F gezeigt ist, werden sieben gesteuerte Siliziumgleichrichter verwendet. Die gesteuerten Siliziumgleichrichter 1 und 2 steuern die Widerstandsheizung **407**. Da die Wärmemenge, die von der Widerstandsheizung **407** erzeugt wird, direkt proportional zur Größe der Spannung, die an die Heizelemente der Widerstandsheizung **407** angelegt wird, und zur Stärke des Stroms ist, der durch die Heizelemente der Widerstandsheizung **407** fließt, ändern die gesteuerten Siliziumgleichrichter 1 und 2 die Stärke des Stroms, der durch die Heizelemente der Widerstandsheizung **407** fließt, um die Wärmemenge zu vergrößern oder zu verringern, die von der Widerstandsheizung **407** geliefert wird. Die gesteuerten Siliziumgleichrichter 3 bis 7 steuern je eine Lampengruppe **505**. Die Strahlungsenergie jeder Lampe **505** ist direkt proportional zur Spannung, die an die Lampe **505** angelegt wird, und zum Strom, der durch die Lampe **505** fließt. Daher steuert jeder der gesteuerten Siliziumgleichrichter 3 bis 7 den Strom, der durch die zugehörigen Lampen **505** fließt, um die Wärmemenge, die von diesen Lampen **505** geliefert wird, zu verändern.

[0255] Fig. 12A ist eine vereinfachte Draufsicht einer Lampengruppe **1200** von Lampen **505** gemäß einer Ausführungsform der Erfindung. Wie zuvor erwähnt, sind sechzehn Lampen **505** vorgesehen, d.h. **505a**, **505b**, **505c**, **505d**, **505e**, **505f**, **505g**, **505h**, **505i**, **505j**, **505k**, **505l**, **505m**, **505n**, **505o**, **505p**. Die sechzehn Lampen **505** sind in fünf Gruppen angeordnet. Der gesteuerte Siliziumgleichrichter **3** betreibt zwei Seitenlampen **505a** und **505b**. Der gesteuerte Siliziumgleichrichter **4** betreibt die vier äußersten Lampen **505c**, **505d**, **505m** und **505p** in der mittleren Reihe der Lampen **505**. Der gesteuerte Siliziumgleichrichter **5** betreibt die beiden mittleren Lampen **505e** und **505f** in der mittleren Reihe. Der gesteuerte Siliziumgleichrichter **6** betreibt die Lampen **505g**, **505h**, **505i** und **505j**, und der gesteuerte Siliziumgleichrichter **7** betreibt die Lampen **505k**, **505l**, **505n** und **505o**.

[0256] Gemäß der Erfindung können die Lampen **505** parallel oder in einer Kombination aus Reihen-/Parallelschaltung geschaltet werden. Bei der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind alle Lampen **505** parallel geschaltet und werden mit einer 480 Volt-Stromversorgung betrieben. Wenn beispielsweise zwei Lampen **505** in Reihe geschaltet wären, wäre es nötig, für den Betrieb der Lampen **505** eine 960 Volt-Stromversorgung zu verwenden.

[0257] Die Steuerung der Lampen **505** und der Widerstandsheizung **407** zur Veränderung der Wärmemenge, die von denselben während des Betriebes des Reaktors **400** geliefert wird, erfolgt mit Hilfe eines Computers. Wenn der Reaktor **400** zu Beginn des Betriebes beginnt, sich zu erwärmen, steuert der Computer jede Lampengruppe **505** und die Widerstandsheizung automatisch gemäß parametrischen Informationen, die im Computer gespeichert sind, und basierend auf vorherigen Temperaturkalibrierungen, die mit dem Reaktor **400** durchgeführt wurden. Die parametrischen Informationen, die aus den Kalibrierungsdurchläufen erhalten wurden, werden vom Computer verwendet, um die Ströme des gesteuerten Siliziumgleichrichters und der Widerstandsheizung zu verändern, um die korrekten räumlichen und zeitlichen Wärmeverteilungen zu erzielen, die für die Aufrechterhaltung einer im Wesentlichen gleichmäßigen Temperatur im Wafer **511** während der anfänglichen Erwärmung des Wafers **511** erforderlich sind.

[0258] Mit Hilfe der Computersteuerung kann eine Anzahl verschiedener Leistungsanstiegsgeschwindigkeiten während der anfänglichen Erwärmung des Wafers **511** festgelegt werden. Bei einer Ausführungsform der Erfindung können bis zu 30 verschiedene Anstiegsgeschwindigkeiten während der anfänglichen Erwärmung verwendet werden, indem der Computer zuvor in geeigneter Weise programmiert wird. Die verwendeten Leistungsanstiegsgeschwindigkeiten werden mit Hilfe einer Reihe von Testläufen des Reaktors **400** empirisch bestimmt, so dass eine im Wesentlichen gleichmäßige Temperatur im Wafer **511** aufrechterhalten wird und, falls es für das Verfahren angemessen ist, eine Abgleitung des Wafers minimiert wird.

[0259] Wenn die Temperatur in der Reaktionskammer **403** ein Niveau erreicht, bei dem der verwendete Temperatursensor genau arbeitet (z.B. 800 bis 1100° C, falls das Thermopaar **525** als Temperatursensor verwendet wird), schaltet der Computer von der oben beschriebenen automatischen Steuerung auf die Feedback-Steuerung um. Die erfasste Temperatur wird vom Computer überwacht und zusammen mit den gespeicherten parametrischen Informationen bezüglich der Lampen **505** und der Widerstandsheizung **407** dazu verwendet, die Ströme der gesteuerten Siliziumgleichrichter und der Widerstandsheizung **407** angemessen einzustellen, um die Wärmeabgabe der Lampen **505** und der Widerstandsheizung **407** in geeigneter Weise zu steuern und die Temperaturverteilung im Wafer **511** innerhalb der vorbestimmten Grenzwerte aufrechtzuhalten. Der Strom, der an die Lampen **505** angelegt wird, wird als Ganzes erhöht oder verringert; jedoch ist das Leistungsverhältnis zwischen den Lampen typischerweise auf einen Wert, der von 1 verschieden ist, festgelegt, so dass eine Erhöhung des Stroms, der an die Lampen **505** angelegt wird, unterschiedliche Ausmaße der Erhöhung an ein-

zelnen Lampengruppen gemäß den (während der Kalibrierungsläufe) vorherbestimmten Leistungsverhältnissen der Lampengruppen zur Folge hat.

[0260] Eine Seitenansicht der mittleren Lampenreihe **505** aus Fig. 12A ist in Fig. 5A zu sehen. Die Lampen **505**, die sich nahe der Mitte der Reihe (und somit oberhalb der Mitte des Suszeptors **402**) befinden, wie z.B. die Lampen **505e** und **505f**, sind weiter von der Oberfläche des Suszeptors **402** und daher von der Oberfläche **511a** (Fig. 5F) des Wafers **511** entfernt angeordnet als die Lampen **505**, die sich an beiden Enden der Reihe befinden, wie z.B. die Lampen **505c** und **505d**. Obwohl erwartet werden könnte, dass die Lampen **505c** und **505d** so betrieben werden, dass sie mehr Wärme liefern als die Lampen **505e** und **505f**, so dass der Kante **511c** (Fig. 5F) des Wafers **511** mehr Wärme bereitgestellt wird und dem bekannten Wärmeverlust an der Waferkante **511c** entgegengewirkt und eine im Wesentlichen gleichmäßige Temperatur im Wafer **511** aufrechterhalten wird, ist dies folglich nicht notwendigerweise der Fall, da die Wärme von den Lampen **505e** und **505f**, verglichen mit den Lampen **505c** und **505d**, einen längeren Weg zurücklegen muss, bevor sie vom Wafer **511** absorbiert wird.

[0261] Bei Ausführungsformen des Reaktors **400** ohne Widerstandsheizung **407** und mit Passivwärmeverteilungselement **727** (Fig. 7E) werden die Lampen **505a**, **505b**, **505c**, **505d** (Fig. 5A und Fig. 5B), die auf die Kante **511c** des Wafers **511** gerichtet sind, während der anfänglichen Erwärmung des Wafers **511** so gesteuert, dass sie etwa 20 bis 30% mehr Energie abstrahlen als die Lampen **505e** und **505f**, die auf einen Bereich nahe des Mittelpunkts des Wafers **511** gerichtet sind. Wenn die Reaktionskammer **403** die Verarbeitungstemperatur erreicht, werden die Lampen **505a**, **505b**, **505c**, **505d** so gesteuert, dass sie etwa doppelt soviel Energie abstrahlen wie die Lampen **505e** und **505f**. Die anderen Lampen **505** werden so gesteuert, dass sie eine Wärmemenge abstrahlen, die zwischen dem Energieniveau der Lampen **505a**, **505b**, **505c**, **505d** und dem der Lampen **505e** und **505f** liegt. Die genaue Energiemenge, die von den anderen Lampen **505** abgestrahlt wird, wird empirisch bestimmt, so dass Waferabgleitung minimiert und ein akzeptabel gleichmäßiger spezifischer Widerstand erzeugt wird. Es hat sich herausgestellt, dass durch die oben genannten Verhältnisse der Energiemenge, die von verschiedenen Lampengruppen abgestrahlt wird, eine im Wesentlichen gleichmäßige Temperatur im Wafer **511** (bzw. in jedem Wafer, wenn mehr als ein Wafer verarbeitet wird) erzeugt wird, wenn der Wafer **511** erwärmt wird.

[0262] Bei anderen Ausführungsformen der Erfindung, die die Widerstandsheizung **407** (Fig. 4A, Fig. 4B, Fig. 5E, Fig. 5F) anstelle des Passivwärmeverteilungselements **727** umfassen, besteht ein ähnliches Verhältnis zwischen den abgestrahlten Energiemengen der einzelnen Lampen **505**. Die angemessenen Leistungsverhältnisse können mit Hilfe verschiedener Kalibrierungsläufe empirisch bestimmt werden. Es wäre zu erwarten, dass die mittleren Lampen **505e** und **505f** im Verhältnis zu den äußersten Lampen **505a**, **505b**, **505c**, **505d** mehr Energie liefern als bei Ausführungsformen, bei denen die Widerstandsheizung **407** nicht vorhanden oder nicht in Betrieb ist.

[0263] Es ist von Bedeutung, anzumerken, dass die Lampengruppe **1200**, die in Fig. 12A gezeigt ist, Ausführungsformen der Erfindung mit oder ohne Widerstandsheizung **407** aufnimmt. Die Lampengruppe **1200** ist in beiden Ausführungsformen dieselbe; es ist lediglich nötig, Temperaturkalibrierungsläufe durchzuführen, um die angemessenen Leistungsverhältnisse für die jeweiligen Lampengruppen **505** zu ermitteln, so dass eine im Wesentlichen gleichmäßige Temperatur im Wafer **511** aufrechterhalten wird.

[0264] Zusätzlich können Reaktoren gemäß der Erfindung, die größer als der Reaktor **400** sind, die Lampengruppen **1200** verwenden, wobei es wiederum lediglich nötig ist, Temperaturkalibrierungsläufe durchzuführen, um die angemessenen Leistungsverhältnisse der Lampen zu bestimmen und eine im Wesentlichen gleichmäßige Temperatur im Wafer zu erreichen. Solche größeren Reaktoren könnten dazu verwendet werden, größere Wafer oder pro Durchlauf mehr Wafer einer gegebenen Größe zu verarbeiten, als es mit dem Reaktor **400** möglich ist.

[0265] Alternativ können bei Reaktoren, die ausreichend größer als der Reaktor **400** sind, zusätzliche Lampen zur Lampengruppe **1200** hinzugefügt werden. Beispielsweise könnten eine oder mehrere zusätzliche Lampen an jeder Seite der Lampengruppe **1200** hinzugefügt werden, d.h. zu den benachbarten Lampen **505a**, **505b**, **505c**, **505d**. Zusätzlich können bei Reaktoren, die wesentlich größer als der Reaktor **400** sind, diagonal positionierte Lampen an den Ecken der Lampengruppe **1200** hinzugefügt werden, um die "Lücken" zu füllen, die sich an den Ecken ergeben, wenn nach und nach Lampen an den Enden der Lampengruppe **1200** hinzugefügt werden. Wiederum werden für die oben genannten Lampengruppen Kalibrierungsläufe durchgeführt, um die geeignete Steuerung der Lampen **505** zu bestimmen und während der Verarbeitung, die am Wafer **511** vorgenommen wird, eine im Wesentlichen gleichmäßige Temperatur im Wafer **511** zu erreichen.

[0266] Fig. 12B ist eine vereinfachte Draufsicht der Lampengruppe **1250** gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung. Die Lampen **1250a** bis **1250r** sind in einer Reihe angeordnet, die sich über den Suszeptor **1202** in einer Richtung gesehen erstreckt, die senkrecht zur Oberfläche des Suszeptors **1202** verläuft, in dem der Wafer oder die Wafer positioniert sind. Die Lampen **1250s** und **1250t** sind senkrecht an und auf einer Seite der Lampenreihe **1250a** bis **1250r** positioniert, und die Lampen **1250u** und **1250v** sind an und auf einer gegenüberliegenden Seite der Lampenreihe **1250a** bis **1250r** angeordnet. Die Lampen **1250w** bis **1250z** sind diagonal in einer Ecke der Lampengruppe **1250** in der "Lücke" angeordnet, die an jeder Ecke der Lampengruppe **1250** besteht.

[0267] Bei einer alternativen Ausführungsform der Erfindung ist anstelle der Verwendung der Widerstandsheizung **407** unterhalb des Suszeptors **402** eine Hochfrequenzwärmequelle (HF-Wärmequelle), die eine Induktionsspirale umfasst, unterhalb des Suszeptors **402** angeordnet. Fig. 13A und Fig. 13B sind eine Seitenansicht der Induktionsspirale **1311**, die unterhalb des Suszeptors **402** angeordnet ist, und eine Draufsicht der Induktionsspirale **1311** gemäß einer Ausführungsform der Erfindung. Die Spirale **1311** ist im Wesentlichen in einer Ebene gewickelt, die parallel zur Ebene des Suszeptors **402** verläuft. Wie aus Fig. 13A ersichtlich, weisen die Windungen der Spirale **1311** einen variierenden Abstand vom Suszeptor **402** auf. An der Kante des Suszeptors **402** verlaufen die Windungen der Spirale **1311** verhältnismäßig nahe am Suszeptor **402**. In Richtung des Mittelpunkts des Suszeptors **402** entfernen sich die Windungen der Spirale **1311** verhältnismäßig weiter vom Suszeptor **402**. In der Nähe des Mittelpunktes des Suszeptors **402** verlaufen die Windungen der Spirale **1311** wieder verhältnismäßig nahe am Suszeptor **402**.

[0268] Durch die Spirale **1311** wird elektrischer Strom geleitet, der in der Nähe der Spirale **1311** ein elektromagnetisches Feld induziert. Dieses elektromagnetische Feld induziert seinerseits im Suszeptor **402** einen elektrischen Strom. Dieser Strom erzeugt im Suszeptor **402** Wärme. Wie bekannt ist, steht die Stromverteilung (und somit die Wärmeverteilung) im Suszeptor **402** in Funktion zum Abstand zwischen den Windungen der Spirale **1311**, dem Abstand zwischen einer gegebenen Windung der Spirale **1311** und dem Suszeptor **402** und der Frequenz des Stroms, der durch die Spirale **1311** fließt. Daher sind diese Parameter so eingestellt, dass im Suszeptor **402** eine gewünschte Temperaturverteilung erzielt wird.

[0269] Wenn eine HF-Wärmequelle verwendet wird, muss der Suszeptor **402** aus Graphit (anstatt aus Quarz) bestehen, um die Energie von dem elektromagnetischen Feld zu absorbieren, das durch den Wechselstrom in der Spirale **1311** erzeugt wird. Da der Graphitsuszeptor **402** Energie absorbieren muss, um den Wafer **511** zu erwärmen, der auf dem Suszeptor **402** angebracht ist, wird mehr Zeit benötigt, um ein gewünschtes Temperaturniveau zu erreichen, als es mit der Kombination aus Widerstandsheizung **407** und Quarzsuszeptor **402** der Fall ist.

[0270] Der Reaktor **400** kann zur Verarbeitung einzelner Wafer oder einer Mehrzahl von Wafern verwendet werden. Da der oder die zu verarbeitenden Wafer in einer Aussparung im Suszeptor angebracht werden, ist für jede unterschiedliche Wafergröße ein anderer Suszeptor, wie z.B. der Suszeptor **402**, erforderlich, da Anzahl und Größe der Aussparungen unterschiedlich sind. Ein anderer Suszeptor **402** ist auch aufgrund der unterschiedlichen Anzahl der Waferauflagezapfen **513** (Fig. 5E und Fig. 5F) erforderlich, die zum Anheben der verschiedenen Wafergrößen über den Suszeptor **402** verwendet werden. Typischerweise stellt dies kein Hindernis für das Erreichen eines hohen Waferdurchsatzes dar, da die Stapel einer bestimmten Wafergröße normalerweise aufeinanderfolgend verarbeitet werden, wodurch die Anzahl der erforderlichen Suszeptorwechsel minimiert wird. Jeder Suszeptor, wie z.B. der Suszeptor **402**, weist einen Durchmesser von 14 Zoll (35,6 cm) und eine Dicke von etwa 0,375 bis 0,5 Zoll (0,95 bis 1,27 cm) auf (wobei diese von den Maßen an der Stelle der Waferaussparungen verschieden sind).

[0271] Der Suszeptor **402** kann aus Quarz bestehen. Wenn der Suszeptor **402** aus Quarz besteht, ist die Oberfläche des Suszeptors **402**, die den Lampen **505** zugewandt ist, kugelgestrahlt, um die Wärmehaltung zu erhöhen. Die Oberfläche des Suszeptors **402**, die der Widerstandsheizung **407** oder dem Passivwärmeverteilungselement **727** zugewandt ist, ist beispielsweise durch Flammenpolieren oder mechanisches Polieren transparent gemacht, wodurch durch den Suszeptor **402** hindurch mehr Wärme zum Wafer **511** gelangen kann.

[0272] Bei der Ausführungsform der Erfindung, bei der die Wärmequelle unterhalb des Suszeptors **402** die Widerstandsheizung **407** ist, besteht der Suszeptor **402** vorzugsweise aus Quarz, der verhältnismäßig wenig von der Wärme der Widerstandsheizung **407** absorbiert. Der größte Anteil der Wärme wird durch den Quarz auf den Wafer **511** übertragen, wodurch der Wafer bzw. die Wafer verhältnismäßig schnell erwärmt werden können (in der Größenordnung von 15 bis 30 Sekunden).

[0273] Bei Ausführungsformen der Erfindung, bei denen eine HF-Wärmequelle unterhalb des Suszeptors **402** verwendet wird, muss der Suszeptor **402** aus Graphit bestehen, damit die HF-Energie absorbiert und Wärme erzeugt wird, die auf den Wafer **511** übertragen werden kann. Wenn der Suszeptor **402** aus Graphit besteht, ist der Suszeptor **402** mit einer dünnen Beschichtung aus Siliziumkarbid beschichtet, damit eine Verunreinigung des Wafers **511** mit Kohlenstoff vermieden wird, wenn der Wafer **511** auf dem Suszeptor **402** aufsitzt.

[0274] Wie bereits mehrmals angemerkt wurde, ist die Aufrechterhaltung einer im Wesentlichen gleichmäßigen Temperatur im Wafer **511** für eine akkurate Verarbeitung des Wafers **511** von wesentlicher Bedeutung. Insbesondere kann die Wärmeabgabe vom Wafer **511** an der Kante **511c** des Wafers **511** an die Umgebung mit niedrigerer Temperatur in der Reaktionskammer **403** große Temperaturgradienten an der Kante **511c** hervorrufen, die ein unerwünschtes Phänomen verursachen, das bei der Epitaxialverarbeitung als "Abgleitung" bekannt ist. Daher besteht ein besonderer Bedarf für ein Mittel zur Steuerung der Temperatur an der Kante **511c** des Wafers **511**.

[0275] Fig. 14A und Fig. 14B sind eine Draufsicht und eine Seitenansicht des Suszeptors **402**, auf dem der Waferumgebungsring **1401** und der Wafer **1404** gemäß einer Ausführungsform der Erfindung in der Tasche **1403** angebracht sind. In der Mitte des Waferumgebungsrings **1401** ist ein Loch gebildet. Eine vertieft angeordnete Platte ist benachbart zum Loch gebildet und wird von der Waferkantenkontaktfläche **1401f** und der Waferrückseitenkontaktfläche **1401e** eingegrenzt. Der Waferumgebungsring **1401** ist so um die Spindel **1402** angeordnet, dass die Waferrückseitenkontaktfläche **1401e** des Waferumgebungsrings **1401** mit der Waferrückseitenkontaktfläche **1402a** der Spindel **1402** im Wesentlichen komplanar ist.

[0276] Die Spindel **1402** kann mit dem Suszeptor **402** einstückig gebildet sein, oder die Spindel **1402** kann als separates Teil gebildet sein, das in die Tasche **1403** eingesetzt wird. Im Folgenden wird der Begriff "Spindel" in der folgenden Beschreibung der Erfindung zur Bezeichnung eines Elements verwendet, das mittig in einer Tasche eines Suszeptors angeordnet ist und einstückig mit dem Suszeptor oder separat von demselben gebildet sein kann. Der Begriff "Suszeptoreinsatz" wird zur Bezeichnung eines Elements verwendet, das mittig in einer Tasche eines Suszeptors angeordnet ist und separat vom Suszeptor gebildet ist. Weiterhin bezeichnet der Begriff "Spindel", wie er typischerweise hierin verwendet wird, ein Element, das dicker als ein "Suszeptoreinsatz" ist, jedoch muss dies nicht der Fall sein, und in einigen Fällen können die Spindel und der Suszeptoreinsatz dieselbe Dicke aufweisen. Im Allgemeinen bezeichnen die Begriffe "Spindel" und "Suszeptoreinsatz" Elemente, die einander im Wesentlichen entsprechen, und die Verwendung des einen oder des anderen Begriffs kann die separate oder einstückige Bildung des Elements mit dem Suszeptor oder die Bildung des Elements mit beliebigen Dicken umfassen.

[0277] Der Wafer **1404** ist auf der Waferrückseitenkontaktfläche **1401e** des Waferumgebungsrings **1401** und der Waferrückseitenkontaktfläche **1402a** der Spindel **1402** so angebracht, dass die obere Fläche **1404a** des Wafers **1404** im Verhältnis zur ringförmigen oberen Fläche **1401d** des Waferumgebungsrings **1401** leicht vertieft angeordnet ist.

[0278] Der Waferumgebungsring **1401** ist im Handel bei Midland Materials Research of Midland, Michigan erhältlich. Der Waferumgebungsring **1401** besteht aus einem Material mit einer verhältnismäßig geringen thermischen Leitfähigkeit, wie beispielsweise Graphit oder Siliziumkarbid. Wenn Graphit verwendet wird, ist der Waferumgebungsring **1401** mit Siliziumkarbid beschichtet. Das Siliziumkarbid wirkt unterstützend bei der Minimierung der Partikelverunreinigung, da das Siliziumkarbid verhindert, dass Kohlenstoff aufgrund von Abblättern des Graphits vom Graphit auf den Wafer wandert. Die Siliziumkarbidbeschichtung wird ausreichend dick ausgelegt, um eine Verunreinigung des Wafers **1404** mit Kohlenstoff, der vom Graphit abblättert, zu verhindern. Die exakte Dicke der Siliziumkarbidbeschichtung ist eine geschützte Information von Midlands Materials Research.

[0279] Weiter unten können bei zusätzlichen Ausführungsformen der Erfindung verschiedene Komponenten, wie z.B. der Waferumgebungsring, die Spindel und der Suszeptoreinsatz, aus Graphit bestehen. Wenn eine dieser Komponenten aus Graphit besteht, ist es wünschenswert, die Komponente in der oben beschriebenen Weise und aus den oben beschriebenen Gründen mit Siliziumkarbid zu beschichten.

[0280] Für einen Suszeptor **1402** mit einem Durchmesser von 14 Zoll (356 mm) und eine Tasche **1403**, die groß genug ist, um einen 8 Zoll (200 mm) Wafer zu halten, weist die ringförmige obere Fläche **1401d** des Waferumgebungsrings **1401** zur Veranschaulichung eine Breite **1401a** von 0,125 Zoll (3,18 mm), eine Dicke **1401b** des Waferumgebungsrings **1401** unterhalb des Wafers **1404** von 0,10 Zoll (2,54 mm) und eine Breite **1401c** zwischen der Fläche der äußeren Kante **1401g** und der Fläche der inneren Kante **1401h** des Waferum-

gebungsrings **1401** von 0,60 Zoll (15,2 mm) auf. Andere Breiten **1401a**, Dicken **1401b** und Breiten **1401c** können verwendet werden.

[0281] Die Spindel **1402** kann beispielsweise aus Graphit, Siliziumkarbid oder Quarz bestehen. Graphit und Siliziumkarbid sind für eine bessere Wärmeübertragung auf die Rückseite **1404b** des Wafers **1404** und/oder zur Verhinderung der Wärmeübertragung von derselben erwünscht.

[0282] Quarz ermöglicht eine geringe oder keine Wärmeübertragung auf die Rückseite **1404b** des Wafers **1404** bzw. verhindert die Wärmeübertragung von der Rückseite **1404b** des Wafers **1404** kaum oder überhaupt nicht. Da jedoch der Wärmeverlust hauptsächlich an der Kante **1404c** des Wafers **1404** ein Problem darstellt, kann durch die Verwendung von Quarz für die Spindel **1402**, d.h. unterhalb der Mitte des Wafers **1404**, und durch die Verwendung von Graphit oder Siliziumkarbid für den Waferumgebungsring **1401**, d.h. unterhalb und um die Kante **1404c** des Wafers **1404**, die gewünschte Temperaturgleichmäßigkeit im Wafer **1404** bereitgestellt werden.

[0283] Der Waferumgebungsring **1401** (und die Waferumgebungsringe gemäß zusätzlicher Ausführungsformen der Erfindung, die unten beschrieben werden) hält den Wafer **1404** in der Tasche **1403** des Suszeptors **402** in Position. Insbesondere wird durch das Vorhandensein des Waferumgebungsrings **1401** um die Kante **1404c** des Wafers **1404** ein Aufrechterhalten einer Temperatur in der Nähe der Kante **1404c** des Wafers **1404** unterstützt, die im Wesentlichen der Temperatur im übrigen Teil des Wafers **1404** entspricht.

[0284] Fig. 14C ist eine Querschnittsansicht des Suszeptors **402**, auf dem der Waferumgebungsring **1401**, der Suszeptoreinsatz **1417**, die Spindel **1412** und der Wafer **1404** in der Tasche **1403** gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung angebracht sind. Nachdem der Waferumgebungsring **1401** in der Tasche **1403** angeordnet ist, wird der Suszeptoreinsatz **1417** innerhalb der Tasche **1403** in das Loch, das mittig durch den Waferumgebungsring **1401** gebildet ist, eingesetzt. Die Spindel **1412**, die ein- bis dreimal so dick sein kann wie der Suszeptoreinsatz **1417**, wird in dem Loch im Waferumgebungsring **1401** auf der Oberseite des Suszeptoreinsatzes **1417** so angeordnet, dass die Waferkontaktfläche **1412a** der Spindel **1412** mit der Waferkontaktfläche **1401e** des Waferumgebungsrings **1401** im Wesentlichen komplanar ist. Der Wafer **1404** ist im Waferumgebungsring **1401** auf der Waferkontaktfläche **1401e** des Waferumgebungsrings **1401** und der Waferkontaktfläche **1412a** der Spindel **1412** angeordnet.

[0285] Die Spindel **1412** und der Suszeptoreinsatz **1417** können beispielsweise aus Quarz, Siliziumkarbid oder Graphit bestehen. Typischerweise besteht die Spindel **1412** aus Quarz und der Suszeptoreinsatz **1417** aus Graphit oder Siliziumkarbid oder umgekehrt.

[0286] Der Suszeptoreinsatz **1417** kann alternativ eine starre Platte oder ein flexibles Tuch sein. Bei einer Ausführungsform der Erfindung ist der Suszeptoreinsatz **1417** eine Graphitplatte, die mit Siliziumkarbid mit einer Gesamtdicke von etwa 0,125 Zoll (3,18 mm) beschichtet ist.

[0287] Bei einer anderen Ausführungsform der Erfindung ist der Suszeptoreinsatz **1417** eine Siliziumkarbidplatte mit einer Dicke zwischen 0,0001 Zoll (0,0025 min) und 0,125 Zoll (3,18 mm). Die Siliziumkarbidplatte kann dünner ausgelegt werden als die oben beschriebene Graphitplatte, da die Siliziumkarbidplatte Biegungen besser standhält als die Graphitplatte, wenn die Platte den extremen Temperaturen der Verfahren ausgesetzt wird, für die der Reaktor gemäß der Erfindung typischerweise verwendet wird. Die dünnere Siliziumkarbidplatte ermöglicht eine schnellere Erwärmung und Abkühlung des Wafers **1404**. Jedoch ist die Graphitplatte kostengünstiger in der Herstellung als die Siliziumkarbidplatte.

[0288] Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung besteht der Suszeptoreinsatz **1417** aus einem Siliziumkarbidtuch. Das Siliziumkarbidtuch ist kostengünstiger in der Herstellung als die Siliziumkarbidplatte, erzeugt jedoch möglicherweise eine stärkere Partikelverunreinigung als die Platte.

[0289] Fig. 14D ist eine Querschnittsansicht eines Waferumgebungsrings **1421**, einer Spindel **1422** und eines Wafers **1404**, die in der Tasche **1403** des Suszeptors **402** angebracht sind, gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung. Der Waferumgebungsring **1421** ist um die Spindel **1422** in der Tasche **1403** des Suszeptors **402** angeordnet. Im Gegensatz zum Waferumgebungsring **1401** (Fig. 14A bis Fig. 14C) ist der Waferumgebungsring **1421** nicht mit einer Platte benachbart zum Loch gebildet, das mittig durch den Waferumgebungsring **1421** gebildet ist. Stattdessen erstrecken sich die Fläche der inneren Kante **1421c** und die Fläche der äußeren Kante **1421d** des Waferumgebungsrings **1421** von der oberen Fläche **1421a** zur unteren Fläche **1421b** des Waferumgebungsrings **1421**. Der Wafer **1404** ist auf der Waferrückseitenkontaktfläche **1422a** der Spindel

1422 positioniert und wird durch den Kontakt zwischen der Fläche der inneren Kante **1421c** des Waferumgebungsrings **1421** und der Kante **1404c** des Wafers **1404** lateral in Position gehalten.

[0290] Die Spindel **1422** kann einstückig mit dem Suszeptor **402** gebildet sein, oder die Spindel **1422** kann als separates Teil gebildet sein und in die Tasche **1403** eingesetzt sein. Die Spindel **1422** kann beispielsweise aus Graphit, Siliziumkarbid oder Quarz bestehen. Wenn die Spindel **1422** mit dem Suszeptor **402** einstückig gebildet ist, besteht die Spindel **1422** aus demselben Material wie der Suszeptor **1402**. Der Waferumgebungsring **1421** besteht beispielsweise aus Siliziumkarbid oder Graphit.

[0291] Fig. 14E ist eine Querschnittsansicht des Waferumgebungsrings **1421**, des Suszeptoreinsatzes **1437**, der Spindel **1432** und des Wafers **1404**, die in der Tasche **1403** des Suszeptors **402** angebracht sind, gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung. Der Waferumgebungsring **1421** ist in der Tasche **1403** angeordnet. Der Suszeptoreinsatz **1437** ist in dem Loch angeordnet, das durch den Waferumgebungsring **1421** hindurch gebildet ist. Die Spindel **1432** ist auf der Oberseite des Suszeptoreinsatzes **1437** in dem Loch angeordnet, das mittig im Waferumgebungsring **1421** gebildet ist. Der Wafer **1404** ist auf der Waferrückseitenkontaktfläche **1432a** der Spindel **1432** angeordnet und wird durch den Kontakt zwischen der Fläche der inneren Kante **1421c** des Waferumgebungsrings **1421** und der Kante **1404c** des Wafers **1404** lateral gehalten.

[0292] Der Waferumgebungsring **1421**, der Suszeptoreinsatz **1437** und die Spindel **1432** bestehen aus denselben Materialien wie der Waferumgebungsring **1401**, der Suszeptoreinsatz **1417** und die Spindel **1412** (Fig. 14C). Zusätzlich kann der Suszeptoreinsatz **1437** wie der Suszeptoreinsatz **1417** entweder als flexibles Tuch oder als starre Platte gebildet sein.

[0293] Fig. 14F ist eine Querschnittsansicht des Waferumgebungsrings **1441** und des Wafers **1404**, die in der Tasche **1403** des Suszeptors **402** angebracht sind, gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung. Der Waferumgebungsring **1441** ist in der Tasche **1403** angeordnet. Im Waferumgebungsring **1441** ist durch die Waferrückseitenkontaktfläche **1441a** und die Waferkantenkontaktfläche **1441b** eine Aussparung abgegrenzt. Der Wafer **1404** ist in der Aussparung im Waferumgebungsring **1441** so positioniert, dass sich die obere Fläche **1404a** des Wafers **1404** etwas unterhalb der oberen Fläche **1441c** des Waferumgebungsrings **1441** befindet. Der Waferumgebungsring **1441** kann beispielsweise aus Siliziumkarbid oder Graphit bestehen.

[0294] Fig. 14G ist eine Querschnittsansicht eines Suszeptoreinsatzes **1457**, eines Waferumgebungsrings **1451** und eines Wafers **1404**, die in der Tasche **1403** des Suszeptors **402** angebracht sind, gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung. Der Suszeptoreinsatz **1457** ist so in der Tasche **1403** positioniert, dass er die gesamte Bodenfläche der Tasche **1403** bedeckt. Der Waferumgebungsring **1451** ist auf der Oberseite des Suszeptoreinsatzes **1457** in der Tasche **1403** angeordnet. Im Waferumgebungsring **1451** ist durch die Waferrückseitenkontaktfläche **1451a** und die Waferkantenkontaktfläche **1451b** eine Aussparung abgegrenzt. Der Wafer **1404** wird so in der Aussparung im Waferumgebungsring **1451** positioniert, dass die obere Fläche **1404a** des Wafers **1404** etwas unterhalb der oberen Fläche **1451c** des Waferumgebungsrings **1441** liegt.

[0295] Der Waferumgebungsring **1451** kann aus demselben Material wie der Waferumgebungsring **1441** (Fig. 14F) bestehen. Der Suszeptoreinsatz **1457** besteht beispielsweise aus Graphit. Wie oben kann der Suszeptoreinsatz **1457** entweder als flexibles Tuch oder als starre Platte gebildet sein.

[0296] Fig. 14H ist eine Querschnittsansicht des Waferumgebungsrings **1401**, der Spindel **1433**, des Suszeptoreinsatzes **1417** und des Wafers **1404**, die in der Tasche **1403** des Suszeptors **402** angeordnet werden können (Fig. 14A bis Fig. 14G), gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung. Wie oben unter Bezugnahme auf Fig. 14B beschrieben, kann die Spindel **1433** ein separates Teil sein, oder die Spindel **1433** kann mit dem Suszeptor **402** einstückig gebildet sein. Die Konfiguration aus Fig. 14H entspricht der Konfiguration aus Fig. 14C, abgesehen davon, dass die Positionen der Spindel **1412** und des Suszeptoreinsatzes **1417** in Fig. 14C den Positionen der Spindel **1433** und des Suszeptoreinsatzes **1417** in Fig. 14H gegenüberliegen. Die oben ausgeführte Erörterung bezüglich Fig. 14C trifft ebenfalls auf Fig. 14H zu. Übereinstimmend mit der oben ausgeführten Erörterung können die Spindel **1433** und der Suszeptoreinsatz **1417** jede beliebige Dicke aufweisen und können bei einer Ausführungsform dieselbe Dicke aufweisen.

[0297] Fig. 14I ist eine Querschnittsansicht eines Waferumgebungsrings **1461** und eines Wafers **1404**, die in der Tasche **1403** des Suszeptors **402** angeordnet werden können (Fig. 14A bis Fig. 14G), gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung. Der Waferumgebungsring **1461** entspricht dem Waferumgebungsring **1441** (Fig. 14F), abgesehen davon, dass der Hohlraum **1461a** in der Bodenfläche **1461b** des Waferumgebungsrings **1461** gebildet ist.

[0298] Der Hohlraum **1461a** ist vorzugsweise in Bezug auf die Aussparung **1461c**, die in der oberen Fläche **1461d** des Waferumgebungsrings **1461** gebildet ist, in dem der Wafer **1404** angeordnet wird, symmetrisch gebildet. Der Hohlraum **1461a** weist über seine gesamte Ausdehnung hinweg eine gleichmäßige Tiefe auf, so dass der Hohlraum **1461a**, senkrecht zur Ebene aus Fig. 14I gesehen, eine rechteckige Querschnittsform aufweist. Bei einer Ausführungsform weist der Hohlraum **1461a**, parallel zur Welle **516** (Fig. 5E und Fig. 5F) des Suszeptors **402** gesehen, eine kreisförmige Querschnittsform auf, so dass der Hohlraum **1461a** zylindrisch ist, jedoch können andere Querschnittsformen, wie z.B. ein Quadrat, verwendet werden.

[0299] Fig. 14J ist eine Querschnittsansicht eines Waferumgebungsrings **1471** und des Wafers **1404**, die in der Tasche **1403** des Suszeptors **402** (Fig. 14A bis Fig. 14G) angeordnet werden können, gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung. Der Waferumgebungsring **1471** entspricht dem Waferumgebungsring **1461**, abgesehen davon, dass der Hohlraum **1471a**, im Gegensatz zum Hohlraum **1461a**, keine gleichmäßige Tiefe über seine gesamte Ausdehnung aufweist. Stattdessen nimmt die Tiefe des Hohlraums **1471a** von der Kante des Hohlraums **1471a** zum Mittelpunkt des Hohlraums **1471a** schrittweise ab, so dass der Hohlraum **1471a**, senkrecht zu Fig. 14J gesehen, eine dreieckige Form aufweist. Bei einer Ausführungsform weist der Hohlraum **1471a**, parallel zur Welle **516** (Fig. 5E und Fig. 5F) des Suszeptors **402** gesehen, eine kreisförmige Querschnittsform auf, so dass der Hohlraum **1461a** kegelförmig ist; andere Querschnittsformen, wie z.B. ein Quadrat, können verwendet werden.

[0300] Es versteht sich, dass andere Waferumgebungsringe gemäß der Erfindung mit einem Hohlraum gebildet werden können, der eine andere Form aufweist als die, die bei den Waferumgebungsringen **1461** und **1471** gezeigt sind. Im Allgemeinen kann der Hohlraum in jeder Form gebildet werden, die die Aufrechterhaltung einer gleichmäßigen Temperatur an der Rückseite **1404b** (Fig. 14B) des Wafers **1404** bewirkt.

[0301] Fig. 14K und Fig. 14L sind eine Querschnittsansicht und eine Draufsicht des Waferumgebungsrings **1481**, der Spindel **1402** und des Wafers **1404**, die in der Tasche **1403** des Suszeptors **402** (Fig. 14A bis Fig. 14G) angeordnet werden können, gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung. Aus Gründen einer besseren Veranschaulichung des Waferumgebungsrings **1481** ist der Wafer **1404** in Fig. 14L nicht gezeigt. Wie oben kann die Spindel **1402** ein separates Teil sein, das in der Tasche **1403** des Suszeptors **402** angeordnet ist, oder die Spindel **1402** kann mit dem Suszeptor **402** einstückig gebildet sein. Der Waferumgebungsring **1481** und die Spindel **1402** bestehen aus den Materialien, die oben für den Waferumgebungsring **1401** und die Spindel **1402** (Fig. 14A und Fig. 14B) beschrieben sind.

[0302] Die Gesamtform des Waferumgebungsrings **1481** entspricht der des Waferumgebungsrings **1401**. Jedoch sind bei dem Waferumgebungsring **1481** Rillen **1481a** in der Waferrückseitenkontaktfläche **1481b** des Waferumgebungsrings **1481** gebildet. Die Rillen **1481a** sind am Umfang um das mittig gebildete Loch im Waferumgebungsring **1481**, in dem die Spindel **1402** angeordnet ist, gebildet.

[0303] Fig. 14M ist eine Draufsicht des Waferumgebungsrings **1482** und der Spindel **1402**, die in der Tasche **1403** des Suszeptors **402** (Fig. 14A bis Fig. 14G) angeordnet werden können, gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung. Zur besseren Veranschaulichung des Waferumgebungsrings **1482** ist der Wafer **1404** in Fig. 14M nicht gezeigt. Der Waferumgebungsring **1482** entspricht dem Waferumgebungsring **1481**, abgesehen davon, dass Rillen **1482a** anstatt am Umfang, wie beim Waferumgebungsring **1481**, radial um das mittig gebildete Loch im Waferumgebungsring **1481** gebildet sind.

[0304] Durch die Bildung der Rillen **1481a** oder **1482a** im Waferumgebungsring **1481** oder **1482** wird ein größerer Oberflächenbereich des Waferumgebungsrings **1481** oder **1482** erreicht, der der Rückseite **1404b** (Fig. 14K) des Wafers **1404** im Bereich der Kante **1404c** des Wafers **1404** ausgesetzt ist. Daher findet zwischen dem Wafer **1404** und dem Waferumgebungsring **1481** oder **1482** nahe der Kante **1404c** des Wafers **1404** eine bessere Wärmeübertragung statt, als es andernfalls der Fall wäre, wodurch die Überwindung des oben beschriebenen Problems des Wärmeverlustes an der Kante **1404c** des Wafers **1404** unterstützt und die Aufrechterhaltung einer gleichmäßigen Temperatur im Wafer **1404** ermöglicht wird.

[0305] Die Rillen **1481a** oder **1482a** können beispielsweise durch Fräsen gebildet werden. Zur Veranschaulichung können die Rillen **1481a** oder **1482a** eine Tiefe von 0,030 Zoll (0,76 mm) und eine Breite von 0,020 Zoll (0,51 mm) aufweisen. Allgemeiner ausgedrückt, können die Rillen **1481a** und **1482a** jede Breite und Tiefe aufweisen, von denen sich zeigt, dass damit eine Aufrechterhaltung der Temperaturgleichmäßigkeit nahe der Kante **1404c** des Wafers **1404** erreicht werden kann.

[0306] Obwohl in Fig. 14L zwei Rillen **1481a** und in Fig. 14M 39 Rillen **1482a** gezeigt sind, versteht es sich,

dass jede beliebige Anzahl von Rillen in beiden Ausführungsformen gebildet werden kann, die in Fig. 14L und Fig. 14M gezeigt sind. Obwohl die Rillen **1481a** in Fig. 14K mit einer quadratischen Querschnittsform gezeigt sind, versteht es sich weiterhin, dass sowohl die Rillen **1481a** als auch die Rillen **1482a** andere Querschnittsformen aufweisen können, wie z.B. eine rechteckige Form oder eine V-Form. Obwohl weiterhin die Rillen **1481a** so gezeigt sind, dass sie fortlaufend um den Umfang des Lochs gebildet sind, das mittig im Waferumgebungsring **1481** gebildet ist, muss dies nicht notwendigerweise der Fall sein. Ebenso brauchen die Rillen **1482a** nicht von der äußeren Kante **1482b** der Aussparung, die den Wafer **1404** hält, zur inneren Kante **1482c** des Waferumgebungsrings **1482**, wie in Fig. 14M gezeigt, gebildet sein.

[0307] Fig. 14N ist eine Querschnittsansicht des Waferumgebungsrings **1491** und des Wafers **1404**, die in der Tasche **1403** des Suszeptors **402** (Fig. 14A bis Fig. 14G) angeordnet werden können, gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung. Bei dem Waferumgebungsring **1491** weist die Aussparung, in der der Wafer **1404** positioniert ist, anstelle einer flachen Platte wie bei den oben beschriebenen Ausführungsformen eine abgeschrägte Platte **1491a** auf.

[0308] Fig. 14O ist eine Querschnittsansicht des Waferumgebungsrings **1491** und des Wafers **1404**, die die Biegung des Wafers **1404** veranschaulicht, die auftreten kann, wenn der Wafer **1404** während der Verarbeitung erwärmt wird. Durch die Bildung der abgeschrägten Platte **1491a** wird ermöglicht, dass der Bereich benachbart zur Kante **1404c** des Wafers **1404** mit der abgeschrägten Platte **1491a** in Kontakt bleibt, wenn der Wafer **1404** beginnt, sich zu biegen. Folglich wird eine gleichmäßigere Temperatur im Bereich der Kante **1404c** des Wafers **1404** aufrechterhalten als in dem Fall, in dem die Platte des Waferumgebungsrings flach ist. Vorzugsweise wird der Winkel der abgeschrägten Platte **1491a** so gewählt, dass er etwa dem Winkel nahe der Kante des Wafers **1404** entspricht, wenn sich der Wafer **1404** während der Erwärmung biegt. Zur Veranschaulichung kann dieser Winkel etwa 4,7° für einen Waferumgebungsring betragen, der mit einem 6 Zoll (150 mm) Wafer verwendet wird, und der Winkel kann etwa 4,1° für einen Waferumgebungsring betragen, der mit einem 8 Zoll (200 mm) Wafer verwendet wird.

[0309] Obwohl in Fig. 14N und Fig. 14O nicht gezeigt, könnte die Spindel unterhalb des Wafers 1404 im mittig gebildeten Loch im Waferumgebungsring **1491** positioniert sein. Weiterhin könnte die Spindel eine Oberfläche benachbart zum Wafer **1404** aufweisen, die so geformt ist, dass sie sich an die erwartete Krümmung des Wafers **1404** anpasst, wenn sich der Wafer **1404** bei der Erwärmung biegt.

[0310] Fig. 14P ist eine Querschnittsansicht des Waferumgebungsrings **1492** gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung. Der Waferumgebungsring **1492** ist mit einer abgeschrägten Platte **1492a** gebildet, auf der der Wafer **1404** ruht. Zusätzlich sind in der abgeschrägten Platte **1492a** am Umfang Rillen **1492b** gebildet. Die Rillen **1492b** bieten dieselbe Wirkung wie oben in Bezug auf die Rillen **1481a** (Fig. 14K und Fig. 14L) beschrieben. Die Rillen **1492b** könnten auch radial in der abgeschrägten Platte **1492a** gebildet sein, wie in Fig. 14M gezeigt. Die Rillen **1492b** können mit Hilfe der Verfahren gebildet werden, die oben in Bezug auf die Rillen **1481a** und **1482a** beschrieben sind. Die Abmessungen der Rillen **1492b** können, wie oben für die Rillen **1481a** und **1482a** beschrieben, bestimmt werden.

[0311] Bei den oben beschriebenen Ausführungsformen aus Fig. 14A bis Fig. 14P sind die spezifischen Abmessungen des Waferumgebungsrings, der Spindel und des Suszeptoreinsatzes empirisch bestimmt, um Abgleitungen zu minimieren und eine im Wesentlichen gleichmäßige Temperatur im Wafer **1404** aufrechtzuerhalten. Wenn des Weiteren Quarz anstelle von Siliziumkarbid oder Graphit verwendet werden kann, hängt die Wahl von dem Ergebnis der Abwägung der gewünschten Wärmehaltung von Graphit oder Siliziumkarbid gegen die unerwünschte thermische Trägheit dieser Materialien ab. Wenn weiterhin Quarz für eine Spindel oder einen Waferumgebungsring verwendet wird, kann die Oberfläche des Quarzes kugelgestrahlt oder transparent sein. Kugelstrahlung hat zur Folge, dass der Quarz mehr Wärme halten kann. Obwohl in Fig. 14A bis Fig. 14P Ausführungsformen der Erfindung beschrieben sind, bei denen ein einzelner Wafer auf dem Suszeptor angeordnet ist, versteht es sich schließlich, dass die oben beschriebenen Konstruktionen mit Suszeptoren verwendet werden können, auf denen mehr als ein Wafer angebracht ist, indem eine der Konstruktionen in jeder Tasche angeordnet wird, in der ein Wafer angeordnet wird.

[0312] Fig. 14Q und Fig. 14R sind eine Draufsicht und ein seitlicher Aufriss des C-förmigen Abschnitts **1495** eines Waferumgebungsrings gemäß einer Ausführungsform der Erfindung. Der Waferumgebungsring gemäß dieser Ausführungsform besteht aus zwei Teilen: einem C-förmigen Abschnitt **1495** und einem Gegenabschnitt (nicht gezeigt), der zu dem C-förmigen Abschnitt **1495** passt, um einen kreisförmigen Waferumgebungsring zu bilden. Auf der Waferrückseitenkontaktfläche **1495f**, die im Verhältnis zur oberen Fläche **1495g** des Waferumgebungsrings vertieft angeordnet ist, ruht ein Wafer. In der Suszeptorkontaktfläche **1495e** mit C-förmigem

Querschnitt **1495** sind Vertiefungen **1495a**, **1495b**, **1495c**, **1495d** gebildet.

[0313] Wie oben unter Bezugnahme auf Fig. 11A und Fig. 11B beschrieben, berühren die Waferauflagezapfen **1112a**, **1112b**, **1112c**, **1112d** die Vertiefungen **1495a**, **1495b**, **1495c**, **1495d**, wenn der Suszeptor abgesenkt wird, wodurch der C-förmige Abschnitt **1495** vom Suszeptor angehoben wird. Der Wafer, der auf der Waferrückseitenkontaktfläche **1495f** ruht, wird mit dem C-förmigen Abschnitt **1495** angehoben. Jedoch bleibt der Gegenabschnitt im Suszeptor sitzen, wenn der C-förmige Abschnitt **1495** angehoben wird. Somit bleibt an der Stelle, an der sich der Gegenabschnitt befand, ein offener Bereich zurück, und ein Roboterarm oder ein Waferhandhabungssystem kann sich leicht durch diesen offenen Bereich erstrecken, um den Wafer aus dem C-förmigen Abschnitt **1495** herauszuheben und zu entfernen.

[0314] Die Fläche der inneren Kante **1495h** und die Fläche der äußeren Kante **1495i** des C-förmigen Abschnitts **1495** sind abgeschrägt, so dass die Suszeptorkontaktfläche **1495e** eine geringere Breite aufweist als die Breite, die sich aus der Waferrückseitenkontaktfläche **1495f** und der oberen Fläche **1495g** zusammensetzt. Die Seiten der Tasche des Suszeptors sind abgeschrägt, so dass sie zur Fläche der inneren Kante **1495h** und zur Fläche der äußeren Kante **1495i** des C-förmigen Abschnitts **1495** passen. Durch das Abschrägen der Kontaktfläche zwischen dem C-förmigen Abschnitt **1495** und dem Suszeptor wird ein guter Sitz des C-förmigen Abschnitts **1495** erreicht, wenn der C-förmige Abschnitt **1495** auf dem Suszeptor ruht, so dass keine Gase zwischen dem C-förmigen Abschnitt **1495** und dem Suszeptor austreten und die Rückseite des Wafers verunreinigen können. Durch das Abschrägen werden weiterhin die Installation und die Entnahme des Waferumgebungsrings aus dem Suszeptor erleichtert. Es ist zu beachten, dass der Gegenabschnitt entsprechende abgeschrägte Flächen aufweist.

[0315] Die Kanten **1495j** und **1495k** am offenen Ende des C-förmigen Abschnitts **1495** sind ebenfalls von der Waferrückseitenkontaktfläche **1495f** und der oberen Fläche **1495g** zur Suszeptorkontaktfläche **1495e** einwärts abgeschrägt. Der Gegenabschnitt des Waferumgebungsrings ist mit entsprechenden abgeschrägten Kanten versehen. Wiederum wird durch die Abschrägung der Kontaktfläche zwischen dem C-förmigen Abschnitt **1495** und dem Gegenabschnitt ein guter Sitz des C-förmigen Abschnitts **1495** am Gegenabschnitt erreicht. Die Kanten **1495j** und **1495k** müssen einwärts abgeschrägt sein, so dass der C-förmige Abschnitt **1495** den Gegenabschnitt nicht anhebt, wenn der Suszeptor zur Vorbereitung für das Laden oder Entladen eines Wafers abgesenkt wird. Der Gegenabschnitt wird durch Zapfen, die in entsprechende Löcher passen, die im Gegenabschnitt und im Suszeptor gebildet sind, lateral auf dem Suszeptor in Position gehalten.

[0316] Bei einer alternativen Ausführungsform sind der C-förmige Abschnitt **1495**, die Seiten der Tasche des Suszeptors und der Gegenabschnitt mit geraden Kanten anstatt mit abgeschrägten Kanten gebildet.

[0317] Fig. 14S ist eine Draufsicht eines Waferumgebungsrings **1497** gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung, der einen C-förmigen Abschnitt **1498** und einen Gegenabschnitt **1499** umfasst. Der C-förmige Abschnitt **1498** umfasst einen Rand **1498a** und einen Boden **1498b**. Ebenso umfasst der Gegenabschnitt **1499** einen Rand **1499a** und einen Boden **1498b**. Der Waferumgebungsring **1497** entspricht dem Waferumgebungsring, der oben unter Bezugnahme auf Fig. 14Q und Fig. 14R beschrieben wurde, abgesehen davon, dass sich die Böden **1498b** und **1499b** vollständig unter dem Wafer erstrecken anstatt, wie bei dem Waferumgebungsring aus Fig. 14Q und Fig. 14S, nur teilweise. Der Waferumgebungsring kann aus denselben Materialien, wie oben für den Waferumgebungsring aus Fig. 14Q und Fig. 14S beschrieben, bestehen.

[0318] Bei dem Reaktor **400** gibt es einen Bereich mit einer im Wesentlichen gleichmäßigen Temperatur in der Mitte der Reaktionskammer **403**, aus dem hinaus sich der oder die Wafer, die verarbeitet werden sollen, nicht erstrecken dürfen, wenn während der Verarbeitung eine im Wesentlichen gleichmäßige Temperatur im Wafer bzw. in den Wafern aufrechterhalten werden soll. Jedoch können ein oder mehrere Wafer innerhalb dieses Bereichs mit einer im Wesentlichen gleichmäßigen Temperatur an jeder Stelle des Suszeptors **402** angebracht werden. Fig. 15A, Fig. 15B und Fig. 15C sind Draufsichten von drei Suszeptoren **1502**, **1522** und **1542** zur Verwendung mit dem Reaktor **400**, die drei mögliche Arten der Anbringung eines oder mehrerer Wafer veranschaulichen.

[0319] In Fig. 15A ist der Wafer **1511** so angebracht, dass der Mittelpunkt **1511a** des Wafers **1511** nicht mit dem Mittelpunkt **1502a** des Suszeptors **1502** übereinstimmt. Bei einer Ausführungsform liegt der Mittelpunkt **1511a** 2 Zoll (5,08 cm) vom Mittelpunkt **1502a** entfernt. Durch den großen Bereich, der eine Temperaturgleichmäßigkeit aufweist und im Reaktor **400** festgelegt ist, wird eine im Wesentlichen gleichmäßige Temperatur im Wafer **1511** aufrechterhalten, selbst wenn der Wafer **1511** nicht auf dem Suszeptor **402** zentriert ist, d.h. wenn der Wafer **1511** nicht innerhalb der Reaktionskammer **403** zentriert ist. Diese außermittige Anbringung ist wün-

schenswert, da die Entfernung, die der Waferladearm zurücklegen muss, um den Wafer **1511** zu laden und zu entladen, minimiert ist, wenn der Suszeptor **1502** in die korrekte Position gedreht ist, wodurch die Möglichkeit, dass Probleme bei dem Waferhandhabungsverfahren auftreten (wie z.B. Fehlausrichtung des Wafers **1511** auf dem Suszeptor **1502**), verringert wird.

[0320] In Fig. 15B ist der Wafer **1531** so angebracht, dass der Mittelpunkt **1531a** des Wafers **1531** mit dem Mittelpunkt **1522a** des Suszeptors **1522** übereinstimmt und daher innerhalb des Bereiches mit einer im Wesentlichen gleichmäßigen Temperatur in der Reaktionskammer **403** in etwa zentriert ist. Aufgrund dieser Zentrierung können die Wafer **1531**, die mit dem Suszeptor **1522** verarbeitet werden, größer sein als die Wafer **1511**, die mit dem Suszeptor **1502** verarbeitet werden.

[0321] In Fig. 15C sind die Wafer **1551**, **1552**, **1553** symmetrisch auf dem Suszeptor **1542** angeordnet. Bei einer Ausführungsform sind die Mittelpunkte **1551a**, **1552a**, **1553a** der Wafer **1551**, **1552**, **1553** um 3,783 Zoll (9,609 cm) vom Mittelpunkt **1542a** des Suszeptors **1542** entfernt angeordnet. Die Mittelpunkte **1551a**, **1552a**, **1553a** der Wafer **1551**, **1552**, **1553** sind in einem Winkel α von 120° zueinander um den Umfang des Suszeptors **1542** angeordnet. Da mehr als ein Wafer gleichzeitig verarbeitet wird, ist die Maximalgröße der Wafer **1551**, **1552**, **1553** geringer als die Maximalgröße des Wafers **1531** in Fig. 15B, um die Wafer **1551**, **1552**, **1553** innerhalb des Bereiches mit einer im Wesentlichen gleichmäßigen Temperatur in der Reaktionskammer **403** zu halten.

[0322] Obwohl Fig. 15A, Fig. 15B und Fig. 15C entweder einen oder drei Wafer auf einem Suszeptor zeigen, können ebenfalls Suszeptoren, auf denen zwei, vier oder mehr Wafer angebracht sind, mit Reaktoren gemäß der Erfindung verwendet werden. Jedoch ist die Anzahl der Wafer, die gleichzeitig verarbeitet werden kann, durch die Größe der Wafer, die verarbeitet werden, begrenzt.

[0323] Fig. 15D und Fig. 15E sind Draufsichten von Suszeptoren **1562** und **1582** zur Verwendung mit dem Reaktor **400**, auf dem drei 150 mm (6 Zoll) Wafer **1571a**, **1571b**, **1571c** und ein 200 mm (8 Zoll) Wafer **1591** angebracht sind. In Fig. 15D sind Löcher **1563a**, **1563b**, **1563c**, **1563d**, **1563e**, **1563f**, **1563g**, **1563h**, **1563l** durch den Suszeptor **1562** gebildet, damit die Waferauflagezapfen **513** ausfahren können, um den Wafer **1571a**, **1571b**, **1571c** über den Suszeptor **1562** anzuheben. Jeder Wafer **1571a**, **1571b**, **1571c** wird angehoben, indem der Suszeptor **1562** so gedreht wird, dass sich der Wafer **1571a**, **1571b** oder **1571c** über den Befestigungsstäben **512b**, **512c**, **512d** (Fig. 5D) in Position befindet. In Fig. 15E sind Löcher **1583a**, **1583b**, **1583c**, **1583d**, **1583e** durch den Suszeptor **1582** gebildet, damit die Waferauflagezapfen **513** ausfahren können, so dass sie den Wafer **1591** über den Suszeptor **1582** anheben können. Der Wafer **1591** wird angehoben, indem der Suszeptor **1582** so gedreht wird, dass sich der Wafer **1591** in einer Position oberhalb der Befestigungsstäbe **512a**, **512b**, **512c**, **512d**, **512e** befindet. Zum Anheben des Wafers **1591** können die Befestigungsstäbe **512a**, **512b**, **512c**, **512d** oder die Befestigungsstäbe **512b**, **512c**, **512e** verwendet werden.

[0324] Wie zuvor beschrieben, werden Reaktantgase von einer Gasplatte durch das Gaseinlassrohr **408a** und entweder einen Gaseinblaskopf, wie z.B. den Gaseinblaskopf **414** oder die Gaseinblasdüsen **421** in die Reaktionskammer **403** eingeleitet und durch Abgasleitungen **409a**, **409b**, **409c** aus dem Reaktor **400** hinaus zu einem Gaswäscher geleitet, der die Gase reinigt, bevor sie an die Atmosphäre abgegeben werden. Bei herkömmlichen Reaktoren wurden separate Computer zur individuellen Steuerung des Gasverteilungssystems und des Gaswäschers verwendet.

[0325] Fig. 16A ist eine vereinfachte Ansicht eines Reaktors **1600** gemäß der Erfindung, bei dem ein einzelner Computer **1610** zur Steuerung sowohl der Gasplatte **1601** als auch des Gaswäschers **1606** verwendet wird. Die Reaktantgase werden von der Gasplatte **1601** durch den Gaseinlass **1602** zur Reaktionskammer **1603** geleitet. Die Gase strömen durch die Reaktionskammer **1603** am Wafer **1604** vorbei und werden durch die Abgasleitung **1605** zum Gaswäscher **1606** hinausgeleitet. Der Gaswäscher **1606** reinigt die Gase und gibt sie über die Gaswäscherabgasleitung **1607** an die Atmosphäre ab.

[0326] Der Computer **1610** steuert den Typ und die Strömungsgeschwindigkeit der Gase, die von der Gasplatte **1601** über die Gasverteilungssteuerungsleitung **1608** gemäß vom Bediener spezifizierter Daten, die im Computer **1610** für das gewünschte Verfahren gespeichert sind, geliefert werden. Ebenso steuert der Computer **1610** den Reinigungsvorgang des Gaswäschers **1606** über die Gaswäschersteuerungsleitung **1609** gemäß anderer vom Bediener spezifizierter Daten, die im Computer **1610** gespeichert und für die verwendeten Prozessgase angemessen sind. Somit wird die Computersteuerung der Gasverteilung und -reinigung, die zusammenhängende Vorgänge sind, bei dem Reaktor 1600 im Gegensatz zu herkömmlichen Reaktoren vereinfacht, da die Daten für jeden Vorgang mit Hilfe einer einzigen Vorrichtung gespeichert und verarbeitet werden.

[0327] Bei einer Ausführungsform dieser Erfindung steuert der Prozesscomputer, wie oben beschrieben, die Stromunterbrecher, die bei dem Betrieb des Reaktors verwendet werden, sowie die Temperaturprozesssteuerungen, die Stromsteuerung usw. Während der Reaktor dieser Erfindung viele neuartige Eigenschaften aufweist, entspricht der Betrieb des Prozesscomputers dem anderer Reaktoren, wenn die neuartigen Eigenschaften, die hierin beschrieben sind, in Betracht gezogen werden.

[0328] Bei einer anderen Ausführungsform umfasst der Prozesscomputer zusätzlich zur Prozesssteuerung des Reaktors eine Datenbank mit statistischen Daten für jeden Prozesslauf sowie die Reaktorkonfiguration für jeden Prozesslauf. Wenn die Datenbank genügend Daten für eine bedeutende statistische Analyse enthält, übernimmt der Prozesscomputer vollständig die Steuerung des Prozesszyklus'. Der Bediener des Reaktors gibt einfach Informationen bezüglich der Stapelgröße, des gewünschten Prozesses und der erforderlichen Wafergleichmäßigkeiten ein. Der Prozesscomputer nimmt diese Informationen und analysiert die Datenbank, um die korrekten Prozessparameter für den Lauf zu bestimmen. Daraufhin konfiguriert der Prozesscomputer den Reaktor automatisch und führt den Prozess automatisch aus, um die Ergebnisse zur erzielen, die der Bediener des Reaktors spezifiziert hat.

[0329] Im Gegensatz zu Systemen des Stands der Technik, die einen Computer für den Reaktor, ein anderen Computer zur Steuerung der Gasbehälter und noch einen weiteren Computer zur Steuerung der Gaswäscher aufwiesen, bearbeitet der Prozesscomputer dieser Erfindung des Weiteren alle diese Vorgänge. Somit kann der Bediener des Reaktors von einem einzigen Bedienungspult aus je nach Bedarf die Gasplatte für die Bereitstellung von Gasen in einer bestimmten Reihenfolge für ein bestimmtes Verfahren konfigurieren, und er kann den Gaswäscher für die Verarbeitung der Abgase konfigurieren. Die Zentralisierung dieser Vorgänge in einem einzelnen Computer verringert die Hardware-Kosten und, was noch mehr von Bedeutung ist, verringert den Zeitaufwand, der für die Konfiguration des gesamten Systems erforderlich ist, wodurch die Stapelzykluszeit weiter verbessert wird.

[0330] Fig. 16B ist ein Blockdiagramm, das die Schritte in einem Prozess **1650** veranschaulicht, für den der Reaktor gemäß der Erfindung verwendet werden kann. Bei dem Prozess **1650** kann es sich um ein chemisches Aufdampfungsverfahren zur Aufdampfung beispielsweise einer Epitaxieschicht oder einer Schicht aus Polysilizium handeln. Es versteht sich, dass ein Reaktor gemäß der Erfindung für Prozesse verwendet werden kann, die von dem Prozess **1650** verschieden sind, einschließlich Prozessen, die weiter oben ausführlicher beschrieben sind.

[0331] In Schritt **1651** werden ein oder mehrere Wafer in die Reaktionskammer des Reaktors geladen, wie weiter oben ausführlicher beschrieben ist. In Schritt **1652** wird eine Stickstoffspülung durchgeführt, wie weiter oben ausführlicher beschrieben ist, gefolgt von einer Wasserstoffspülung, wie ebenfalls weiter oben ausführlicher beschrieben ist. In Schritt **1654** werden der oder die Wafer auf 900 bis 1200° C erwärmt. In Schritt **1655** wird gasförmiges HCl eingeleitet, um die korrekte Strömungsgeschwindigkeit festzulegen, und es wird eine weitere Wasserstoffspülung durchgeführt. In Schritt **1656** werden der oder die Wafer mit dem gasförmigen HCl geätzt, damit jegliche nativen Oxide auf der Oberfläche des Wafers oder der Wafer, die verarbeitet werden sollen, entfernt werden. In Schritt **1657** wird eine weitere Wasserstoffspülung durchgeführt, die Prozesstemperatur wird festgelegt und die Prozessgase werden eingeleitet, um die korrekte Gasströmungsgeschwindigkeit festzulegen. In Schritt **1658** werden die Prozessgase in die Reaktionskammer eingelassen und auf die Oberfläche des Wafers oder der Wafer aufgedampft, wie weiter oben ausführlicher beschrieben ist. In Schritt **1659** werden der bzw. die Wafer abgekühlt und die Prozessgase aus der Reaktionskammer mit Wasserstoff hinausgespült, wie ebenfalls oben ausführlicher beschrieben ist. In Schritt **1660** wird der Wasserstoff aus der Reaktionskammer gespült, wie oben beschrieben ist. Schließlich werden in Schritt **1661** der bzw. die Wafer aus der Reaktionskammer entnommen, wie oben beschrieben ist.

[0332] Da, wie oben bemerkt, ein Reaktor gemäß der Erfindung für eine Reihe von Halbleiterverarbeitungprozessen verwendet werden kann, ist es möglich, eine Gruppe von Reaktoren zusammenzustellen, um eine sequentielle Reihe von Schritten in einem Halbleiterverarbeitungprozessfluss auszuführen. Fig. 17 ist eine Draufsicht einer Gruppe von Reaktoren **1710**, **1720**, **1730**, **1740** gemäß der Erfindung, die zur Durchführung eines bestimmten Halbleiterverarbeitungsprozesses verwendet werden (wie z.B. Aufdampfung, Ausheilen usw.). Die Reaktoren **1710**, **1720**, **1730**, **1740** sind um die abgedichtete Kammer **1705** angeordnet, in der sich ein Roboter **1704** befindet. Eine Mehrzahl von Waferkassetten **1702a**, **1702b**, **1702c**, die je eine Mehrzahl von aufeinandergestapelten Wafern enthalten, ist im Kassettenraum **1703** benachbart zu Raum **1701** angeordnet.

[0333] Die Waferkassetten **1702a**, **1702b**, **1702c** werden zuerst vom Reinraum **1701** zum Kassettenraum **1703** befördert. Ein Computersteuerungssystem wird dazu verwendet, den Roboter **1704** anzuweisen, der Wa-

ferkassette, wie z.B. der Waferkassette **1702a**, aus dem Kassettenraum **1703** einen geeigneten Wafer zu entnehmen und ihn in eine geeignete Reaktionskammer, wie z.B. die Reaktionskammer **1740a**, eines Reaktors, wie z.B. des Reaktors **1740**, einzugeben. Der Roboter **1704** wird ebenfalls so gesteuert, dass er Wafer von einer Reaktionskammer, wie z.B. der Reaktionskammer **1740a**, zu einer anderen Reaktionskammer, wie z.B. der Reaktionskammer **1720a**, befördert. Folglich kann mit Hilfe des Roboters **1704** und einer Gruppe von Reaktoren, wie z.B. den Reaktoren **1710**, **1720**, **1730**, **1740** gemäß der Erfindung, ein Halbleiterprozessfluss automatisiert und schnell durchgeführt werden. Obwohl in Fig. 17 vier Reaktoren **1710**, **1720**, **1730**, **1740** gezeigt sind, versteht es sich, dass zwei, drei, fünf oder mehr Reaktoren gemäß der Erfindung in gleicher Weise angeordnet werden können.

[0334] Wie oben unter Bezugnahme auf den Reaktor **400** aus Fig. 4A und Fig. 4B angemerkt, ist es wünschenswert, die Schale **452** des Reaktors **400** vom Gefäß **401** wegdrehen zu können, wenn am Reaktor **400** Wartungsarbeiten durchgeführt werden sollen. Räumliche Beschränkungen können es günstiger erscheinen lassen, die Schale **452** zur einen oder zur anderen Seite des Reaktors **400** zu drehen. Gemäß der Erfindung kann die Schale **452** leicht zu beiden Seiten des Reaktors **400** gedreht werden. In Fig. 17 ist der Reaktor **1720** mit einer Schale **1720b** gezeigt, die zu einer ersten Seite des Reaktors **1720** gedreht ist, und der Reaktor **1740** ist mit einer Schale **1740b** gezeigt, die zu einer zweiten Seite des Reaktors **1740** gedreht ist.

[0335] Weiter oben wurden verschiedene Ausführungsformen der Erfindung beschrieben. Die Beschreibungen sollen dem Zweck der Veranschaulichung und nicht der Einschränkung dienen. Somit wird für Durchschnittsfachleute deutlich, dass bestimmte Modifikationen an der beschriebenen Erfindung vorgenommen werden können, ohne vom Bereich der Ansprüche, die weiter unten dargelegt sind, abzuweichen.

Patentansprüche

1. Struktur für die Verwendung in einem Reaktor zum Verarbeiten eines Substrats, wobei die Struktur Folgendes umfasst:
einen Suszeptor (**402**) mit einer ersten Fläche, die für die Montage eines Substrats darauf gestaltet ist; einer zweiten Fläche; und einer Mehrzahl von Öffnungen (**533**), die durch den genannten Suszeptor (**402**) von der genannten ersten Fläche zu der genannten zweiten Fläche verlaufen, wobei jede Öffnung (**533**) in der genannten Mehrzahl von Öffnungen (**533**), die durch den genannten Suszeptor (**402**) von der genannten ersten Fläche zu der genannten zweiten Fläche verlaufen, eine Fläche hat; und
eine Mehrzahl von Substratauflagezapfen (**513**);
wobei ein Substratauflagezapfen (**513**) beweglich in jeder aus der genannten Mehrzahl von Öffnungen (**533**) montiert ist und in einer ersten Position die genannten Substratauflagezapfen (**513**) in dem genannten Suszeptor (**402**) sitzen, wenn das genannte Substrat von dem genannten Suszeptor (**402**) getragen wird, und in einer zweiten Position die genannten Substratauflagezapfen (**513**) das genannte Substrat (**402**) über der genannten ersten Fläche halten; und
jeder Substratauflagezapfen (**513**) eine Fläche aufweist, wobei in der genannten ersten Position die Fläche des Substratauflagezapfens (**513**) mit der Fläche der jeweiligen Öffnung (**533**) zusammenpasst, um einen Gasstrom durch die genannte Mehrzahl von Öffnungen in dem genannten Suszeptor (**402**) während der Verarbeitung zu sperren.

2. Struktur nach Anspruch 1, die ferner Folgendes umfasst:
eine Mehrzahl von Auflagen (**512**), eine für jeden Substratauflagezapfen (**513**), die in dem genannten Reaktor (**400**) montiert sind, so dass die genannte Mehrzahl von Auflagen (**512**) die genannte Mehrzahl von Substratauflagezapfen (**513**) in der genannten zweiten Position halten, wenn der genannte Suszeptor (**402**) in einer dritten Position ist.

3. Struktur nach Anspruch 2, wobei die genannte Mehrzahl von Substratauflagezapfen (**513**) in der genannten ersten Position ist, wenn der genannte Suszeptor in einer vierten Position ist.

4. Struktur nach Anspruch 1, 2, oder 3, wobei die genannte Fläche der genannten Öffnung (**533**) und die genannte Fläche des genannten Substratauflagezapfens (**513**) beide konisch sind, so dass die genannte konische Fläche des genannten Substratauflagezapfens (**513**) mit der konischen Fläche der genannten Öffnung (**533**) in der genannten ersten Position zusammenpasst.

5. Schnellwärmeverarbeitungsreaktor, der eine Struktur nach einem der Ansprüche 1 bis 4 umfasst.

6. Schnellwärmeverarbeitungsreaktor nach Anspruch 5, der ferner eine Mehrzahl von Gasdüsen umfasst,

die um einen Außenumfang des genannten Suszeptors montiert sind.

Es folgen 45 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

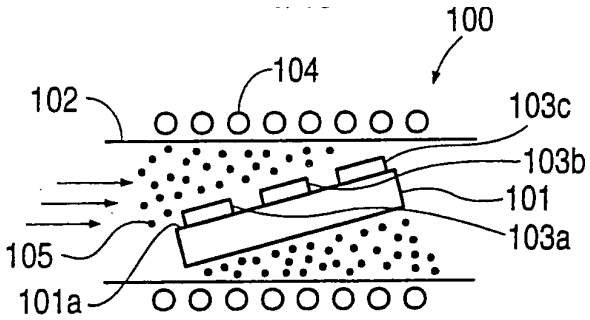

FIG. 1A
STAND DER TECHNIK

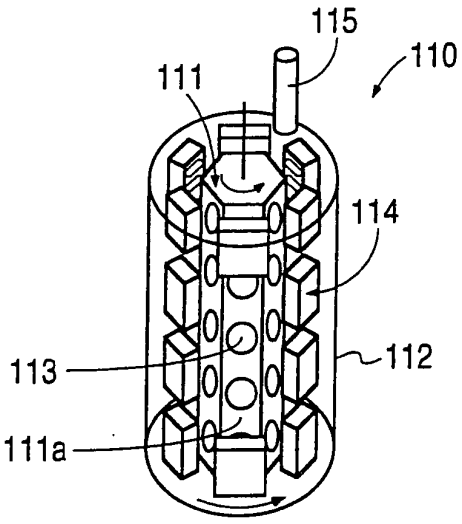

FIG. 1B
STAND DER TECHNIK

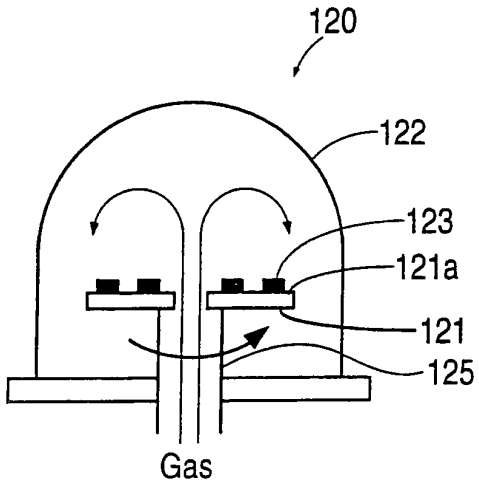

FIG. 1C
STAND DER TECHNIK

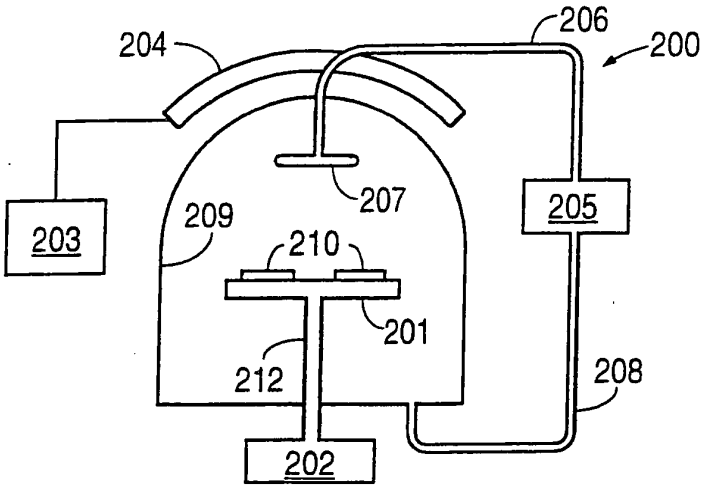

FIG. 2A

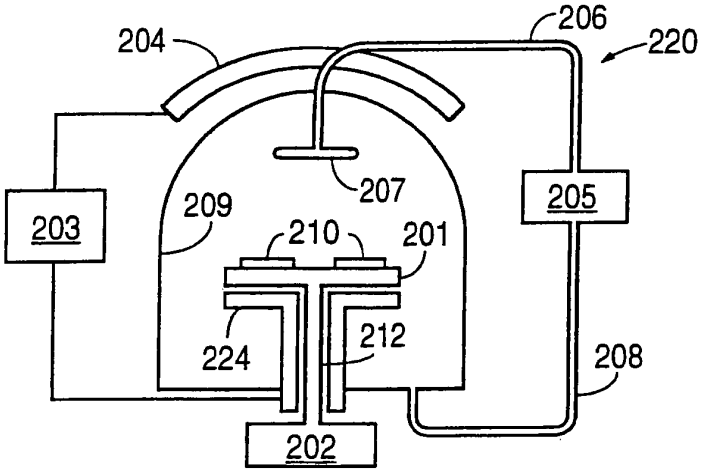

FIG. 2B

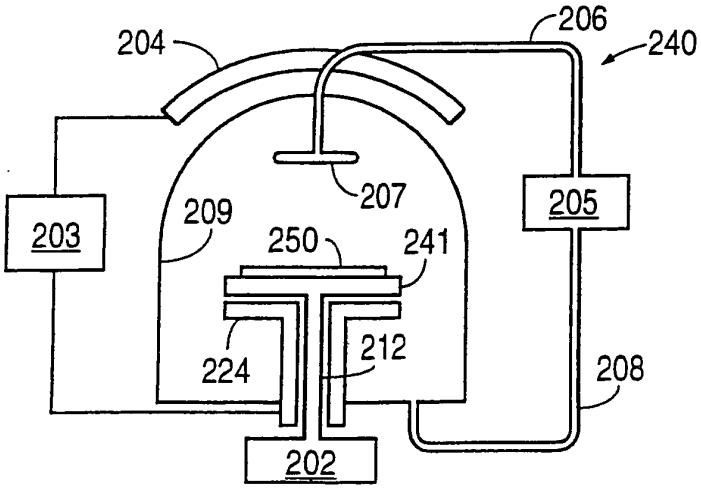

FIG. 2C

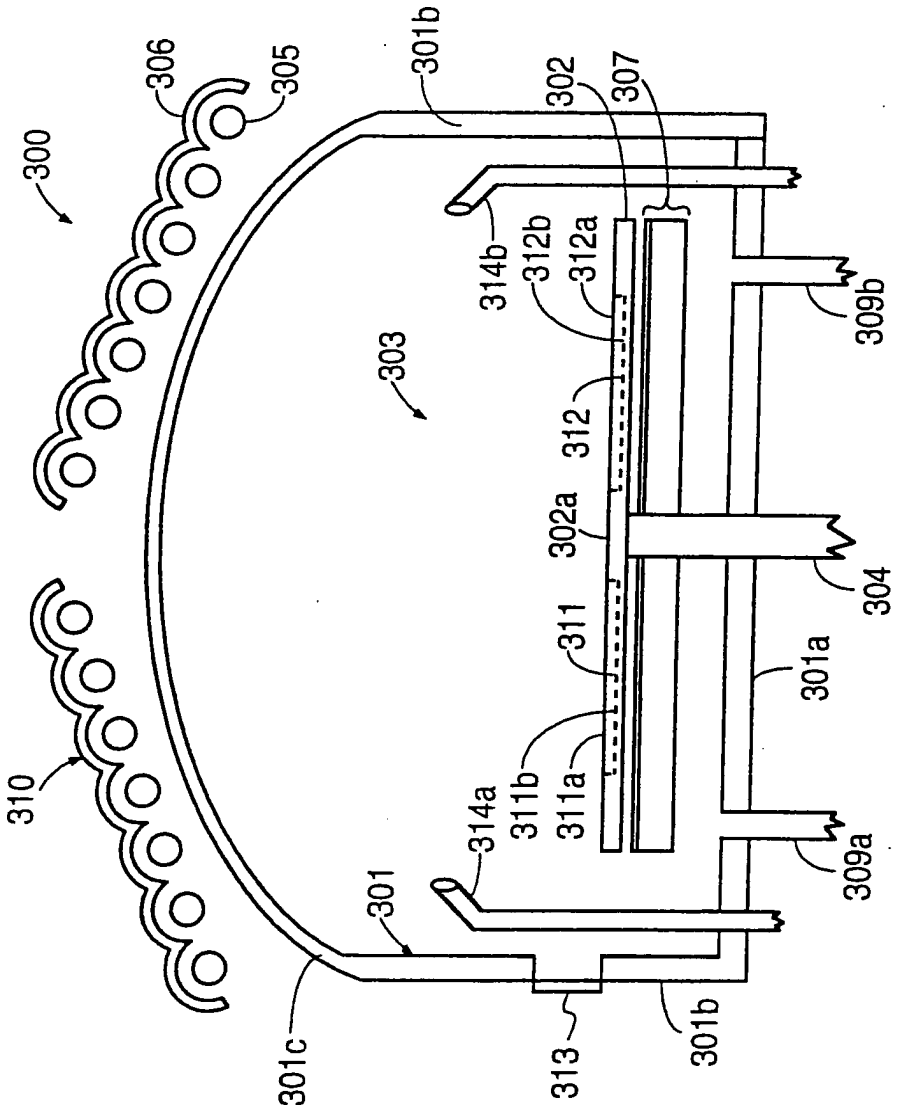
300
306
305
301b
302
307
314b
312b
312a
309b
303
312
302a
304
311
301a
310
314a
311b
311a
309a
301
301c
313
301b

FIG. 3A

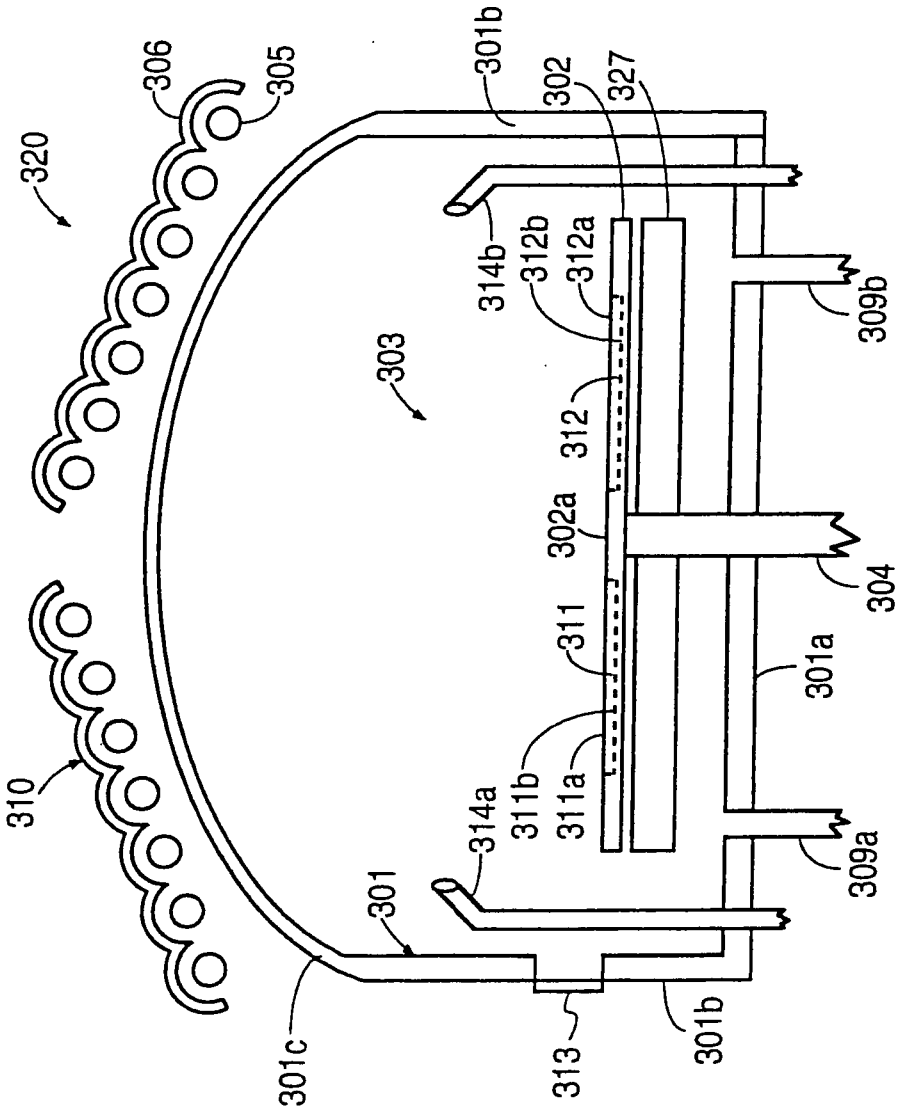
320
306
305
301b
302
327
314b
312b
312a
309b
303
312
302a
304
311
301a
310
311b
311a
314a
309a
301
301c
313
301b

FIG. 3B

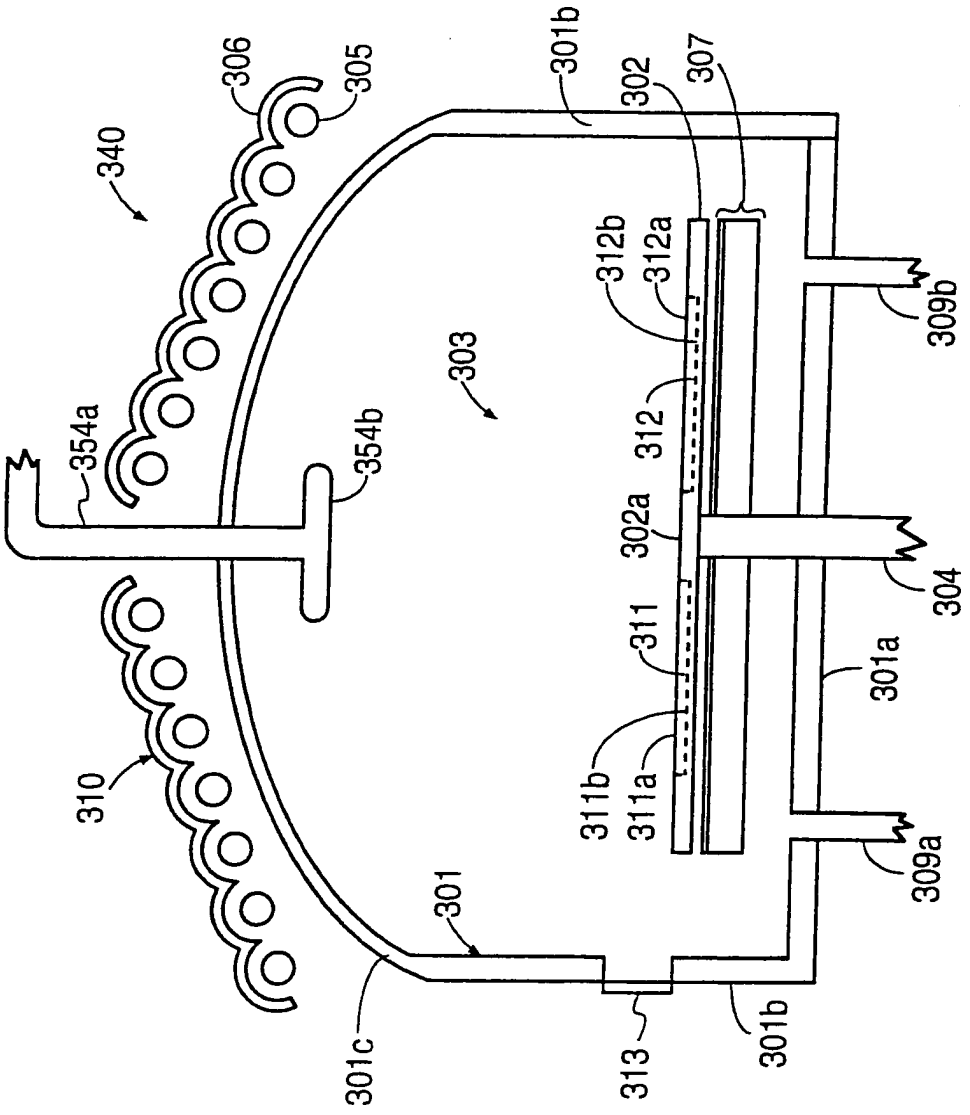
340
306
305
301b
302
307
312b
312a
309b
303
354a
354b
312
302a
304
311
301a
310
311b
311a
309a
301
301c
313
301b

FIG. 3C

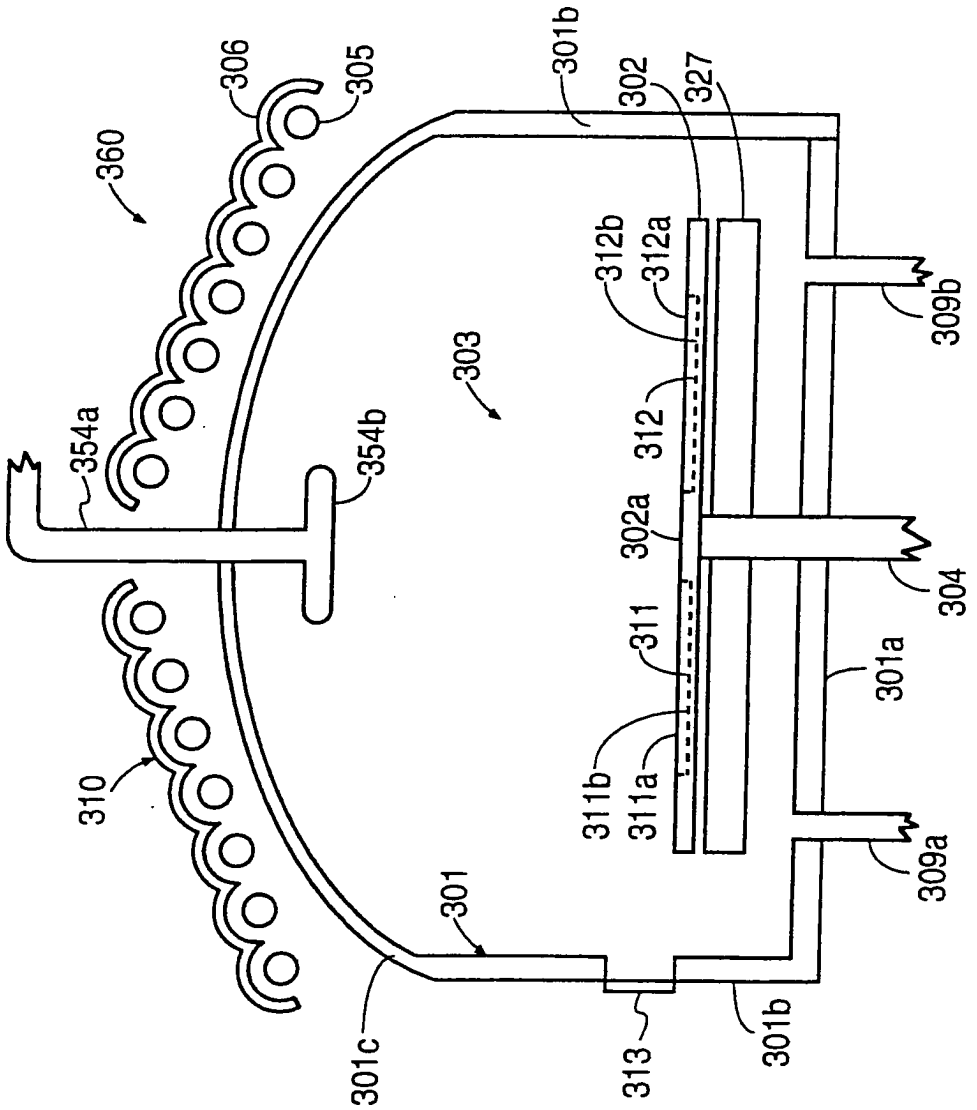
360
306
305
301b
302
327
312b
312a
309b
303
354a
354b
312
302a
304
311
301a
310
311b
311a
309a
301
301c
313
301b

FIG. 3D

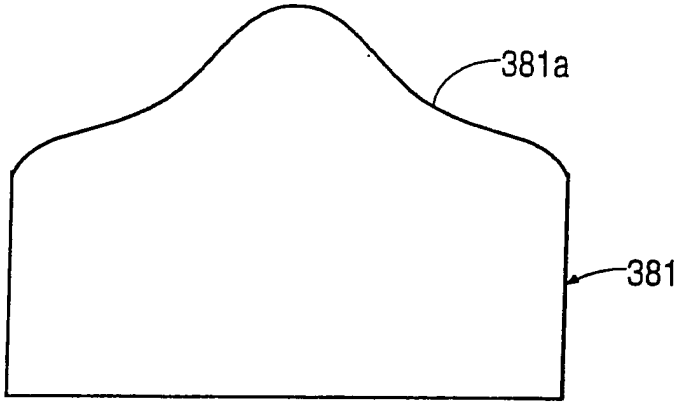

FIG. 3E

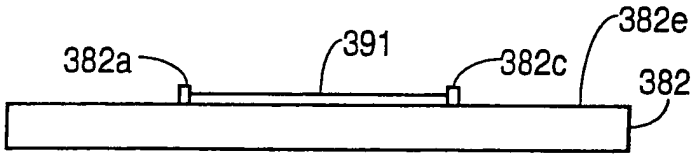

FIG. 3F

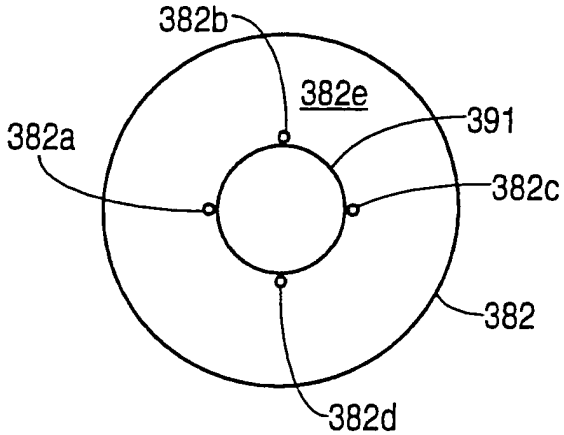

FIG. 3G

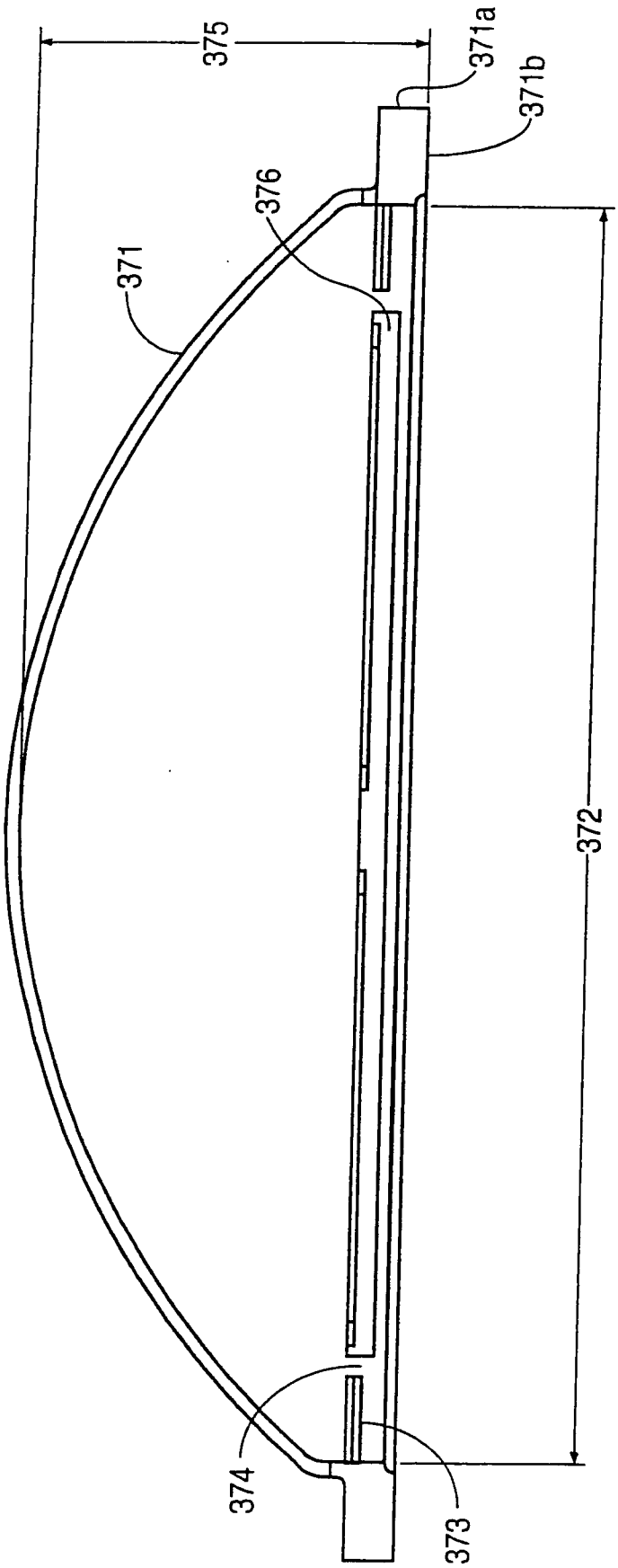

FIG. 3H

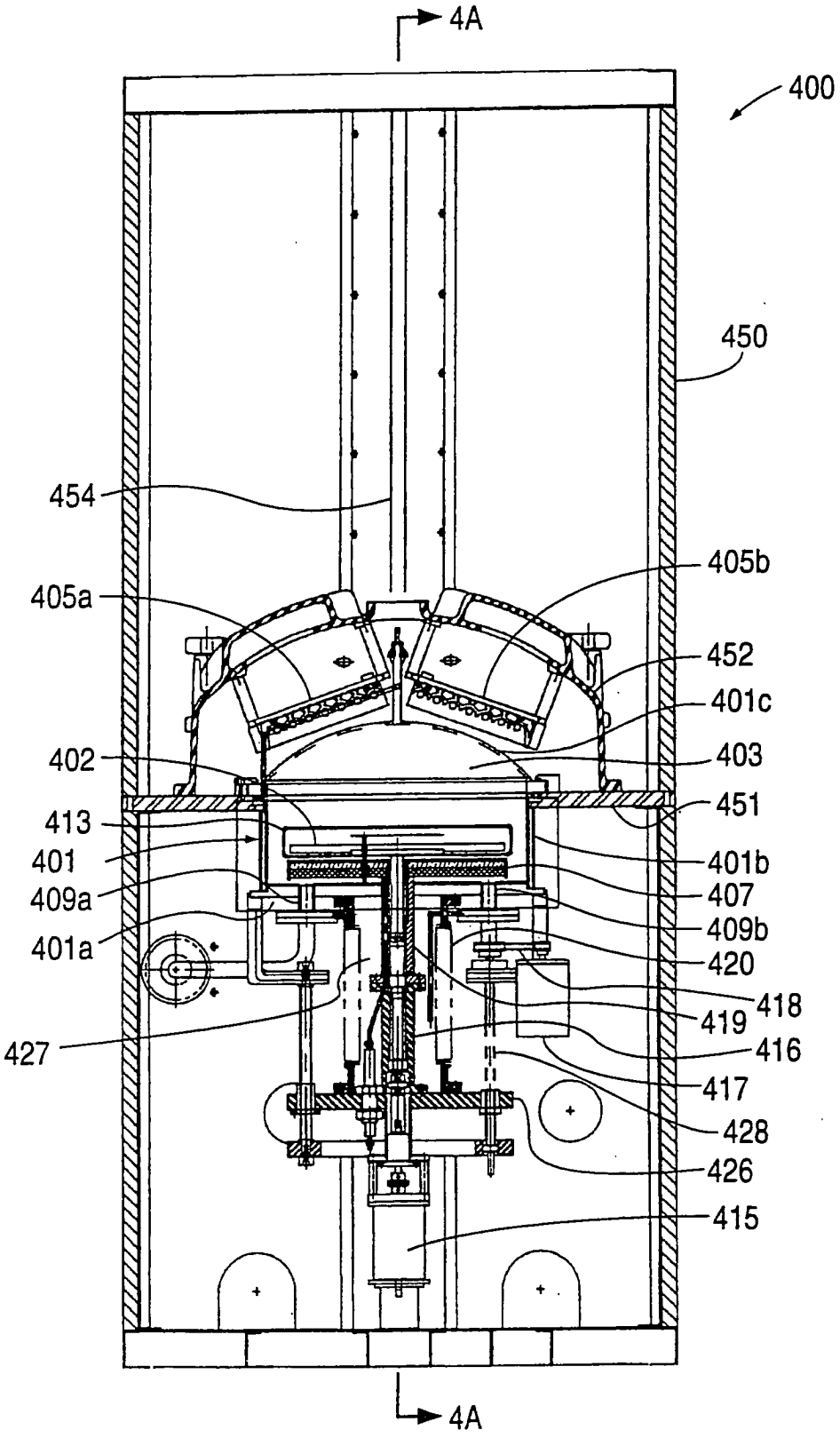
4A
400
450
454
405b
405a
452
401c
402
403
451
413
401b
401
407
409a
409b
401a
420
418
419
427
416
417
428
426
415
4A

FIG. 4A

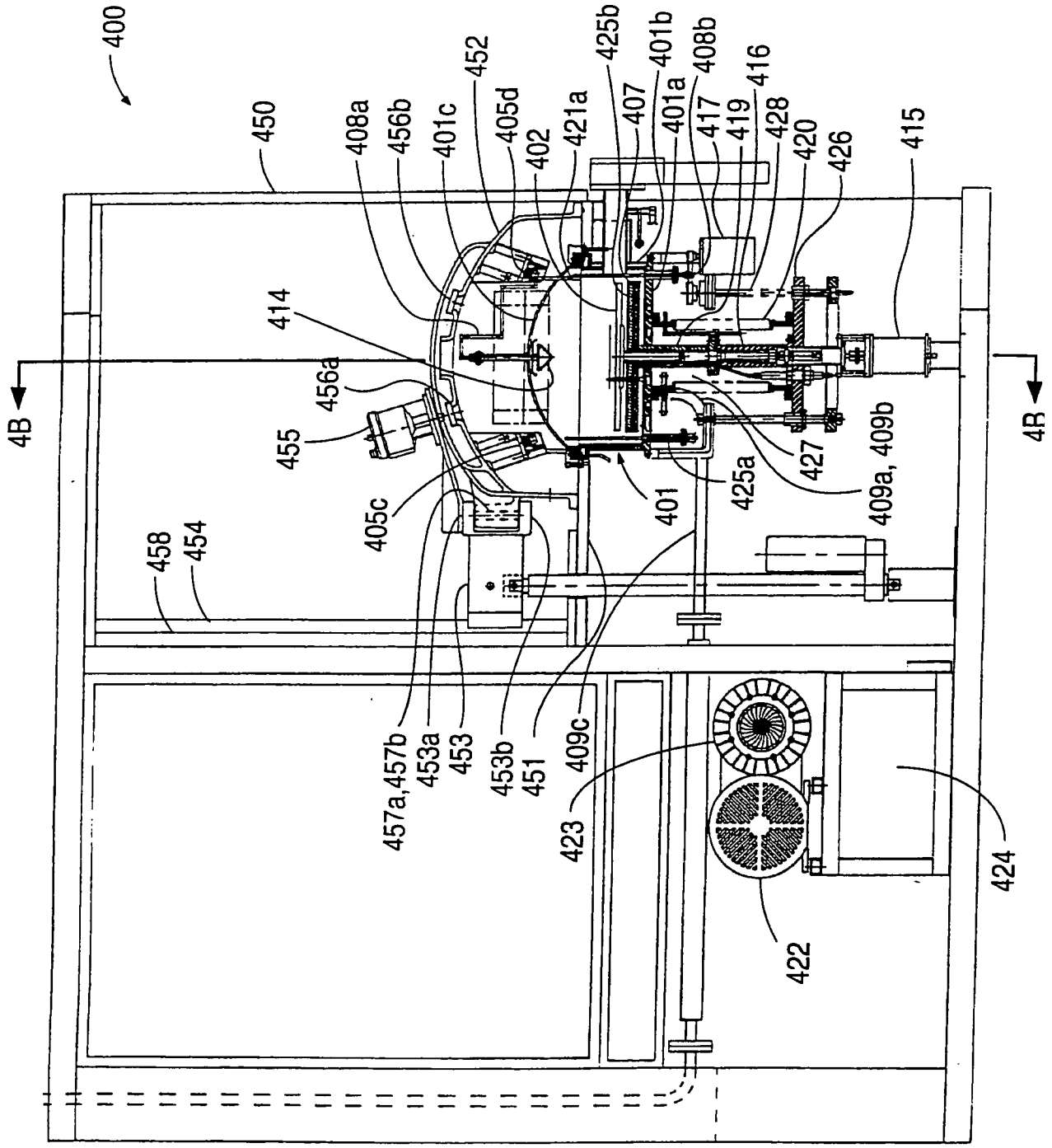
400
450
408a
456b
401c
452
405d
402
421a
425b
407
401b
401a
408b
417
416
419
428
420
426
415
414
456a
455
405c
458
454
457a,457b
453a
453
453b
451
409c
423
401
425a
427
409a, 409b
422
424
4B
4R

FIG. 4B

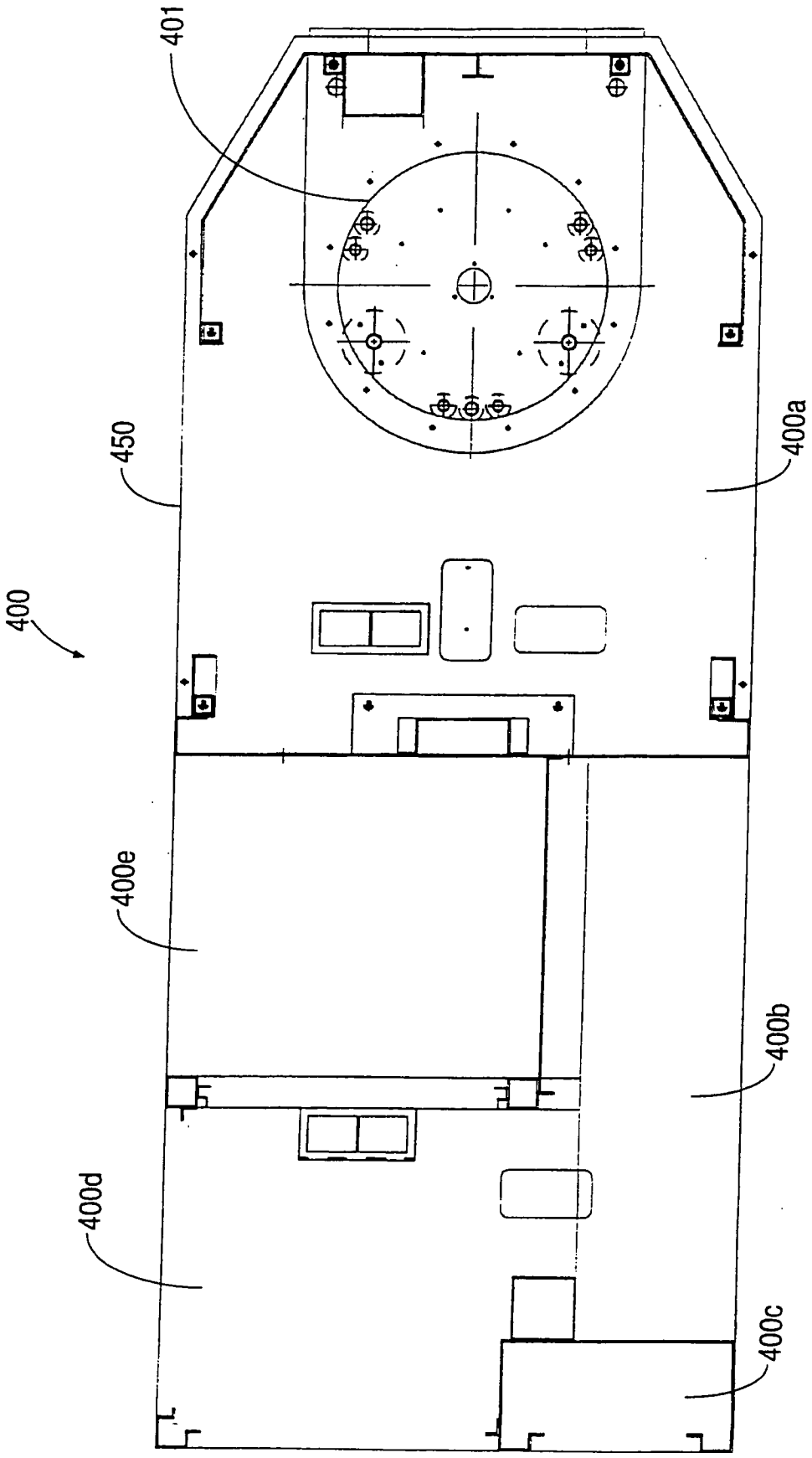

FIG. 4C

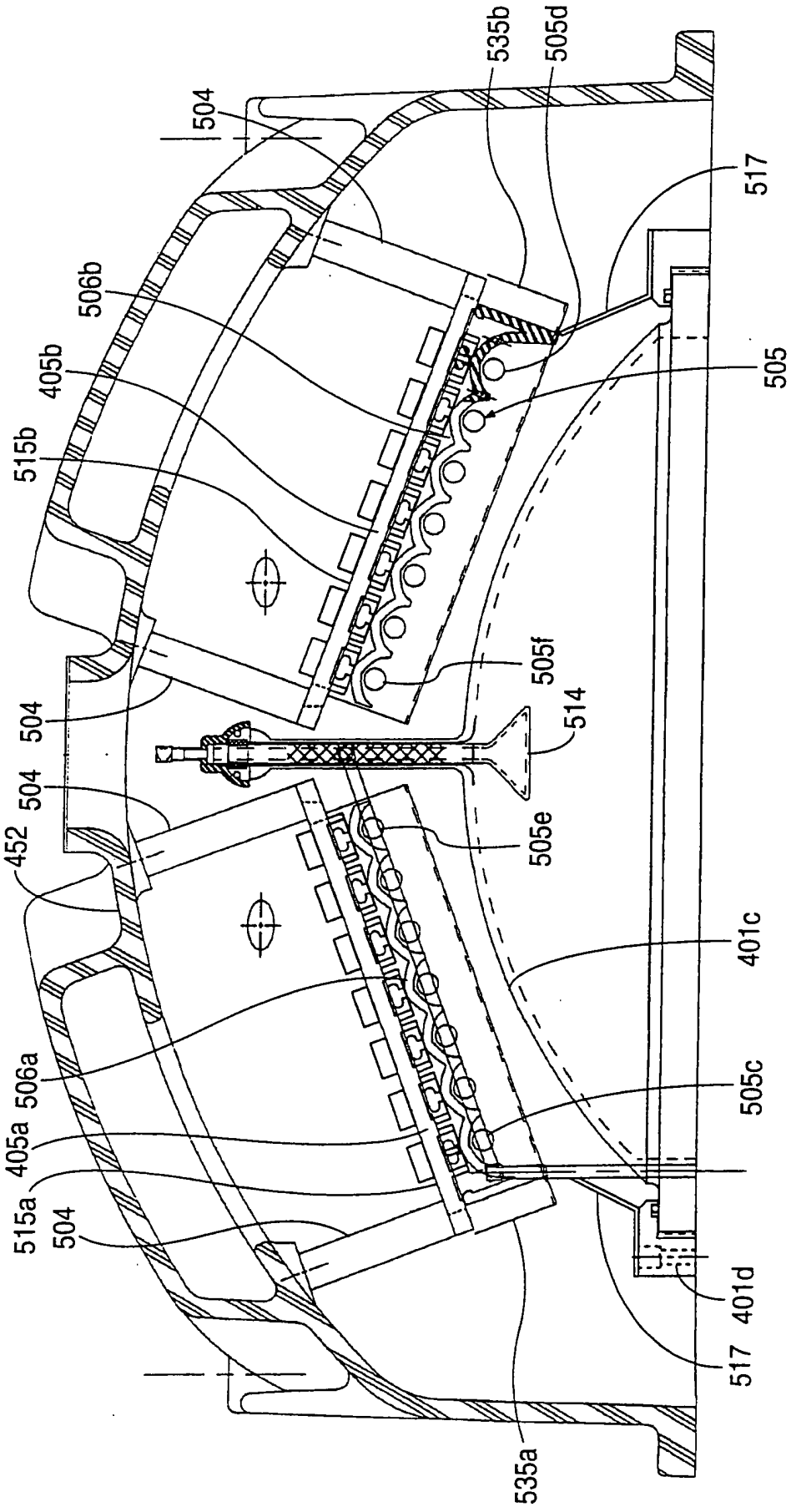
535b
505d
504
517
506b
405b
505
515b
505f
514
504
504
452
505e
401c
506a
505c
405a
515a
504
401d
517
535a

FIG. 5A

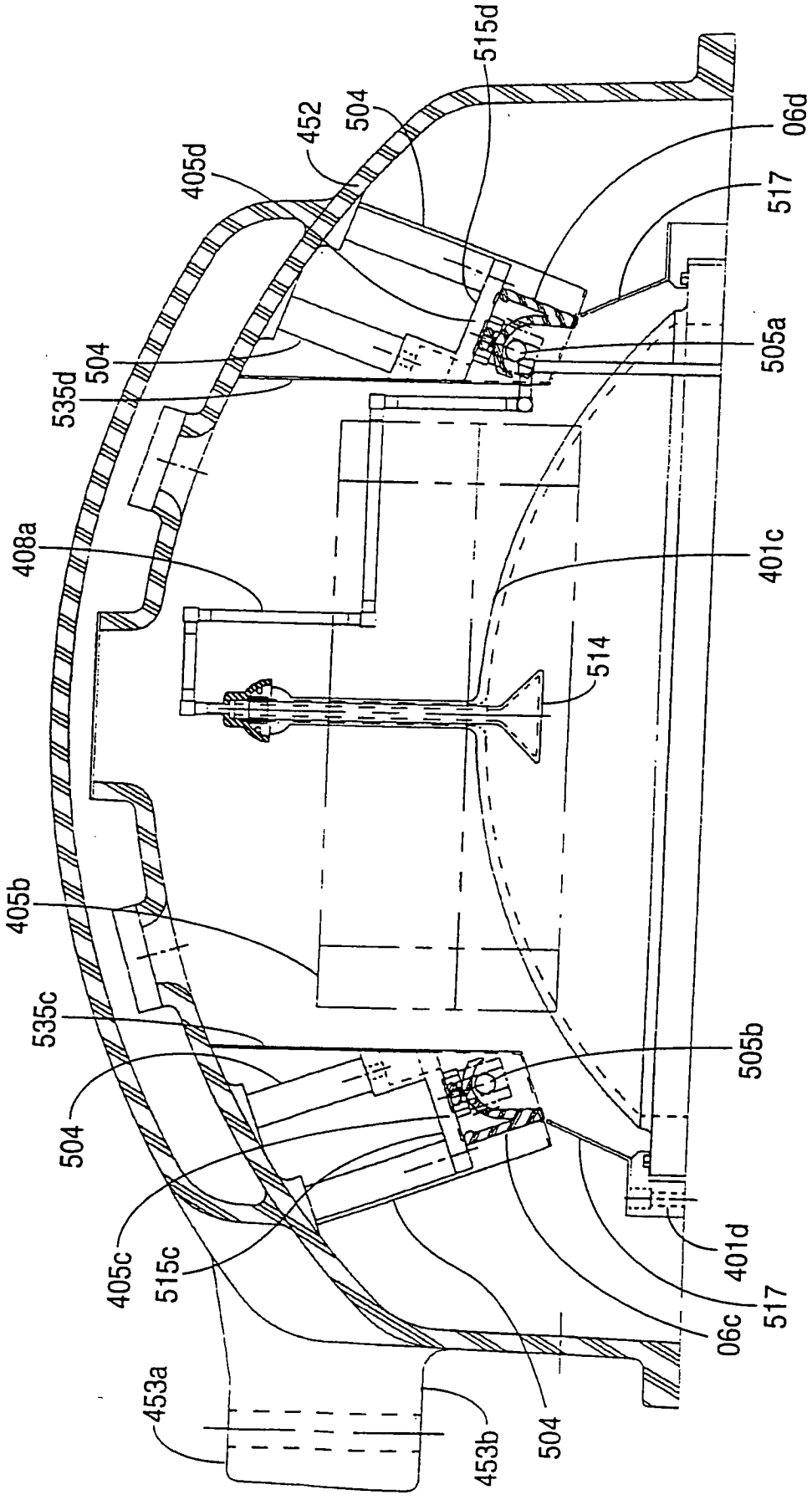
515d
452
504
405d
06d
517
504
505a
535d
408a
401c
514
405b
535c
505b
504
405c
515c
401d
517
06c
453a
453b
504

FIG. 5B

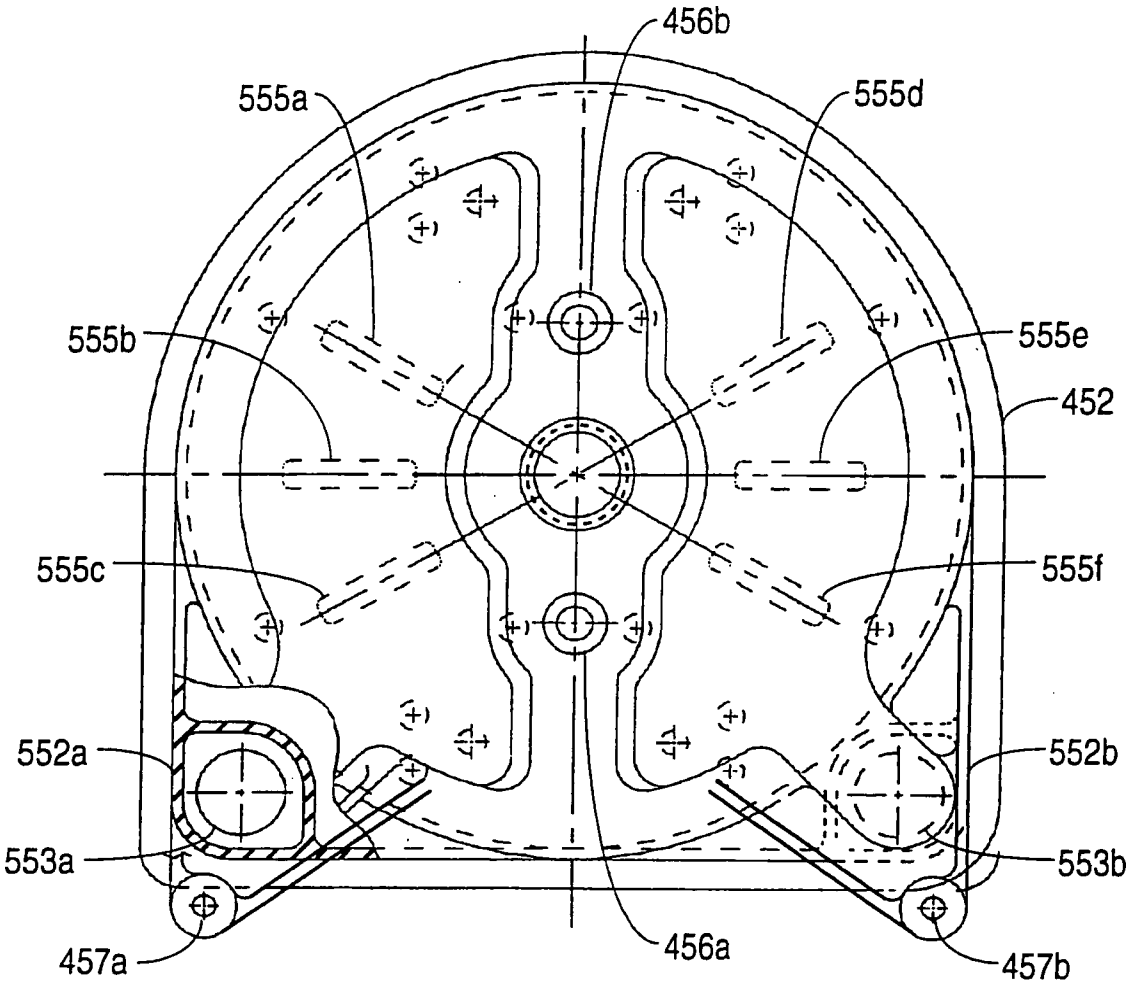
456b
555a
555d
555b
555e
452
555c
555f
552a
552b
553a
553b
457a
456a
457b

FIG. 5C

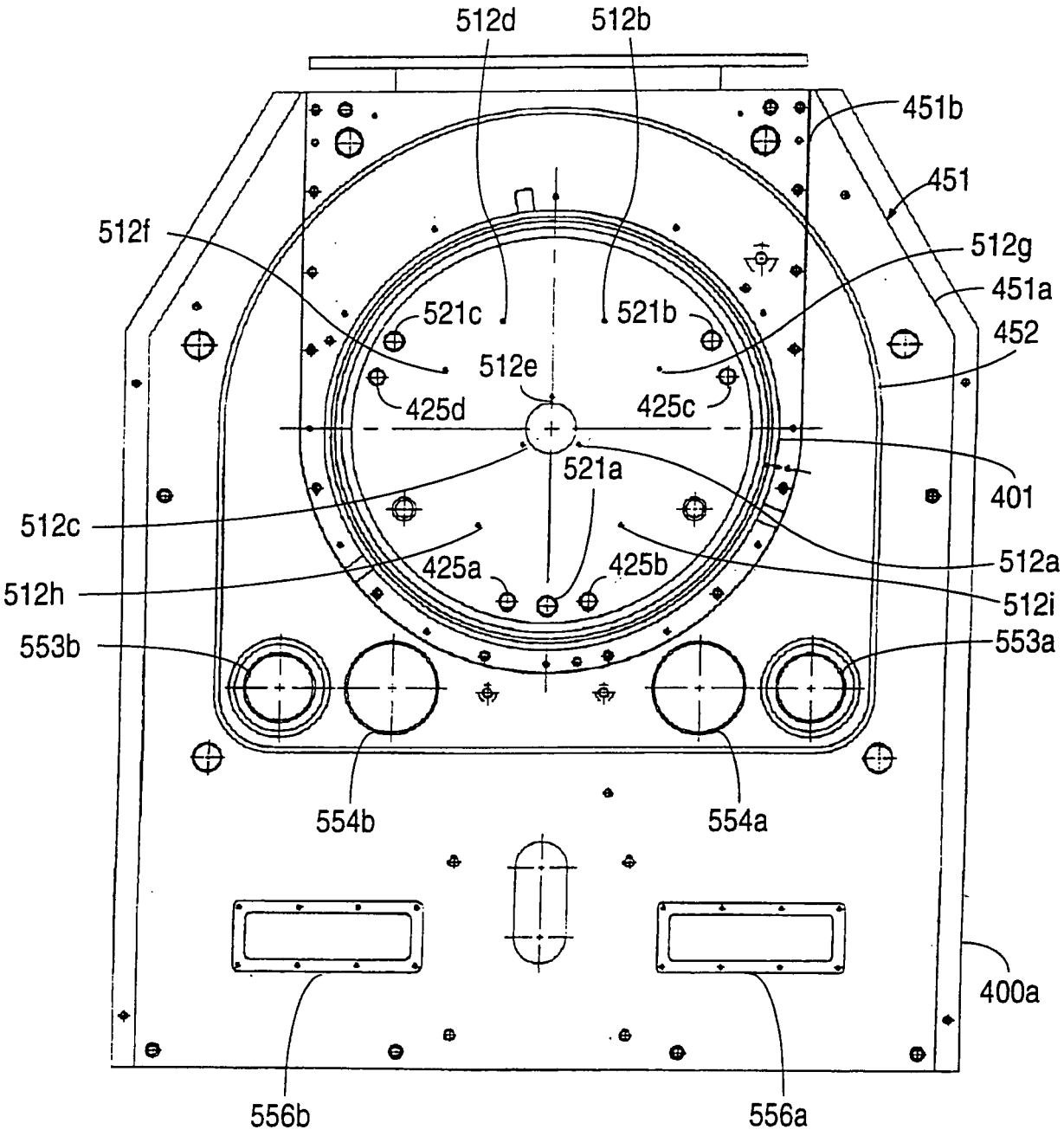
512d
512b
451b
451
512f
512g
451a
521c
521b
452
512e
425d
425c
521a
401
512c
512a
425a
425b
512h
512i
553b
553a
554b
554a
400a
556b
556a

FIG. 5D

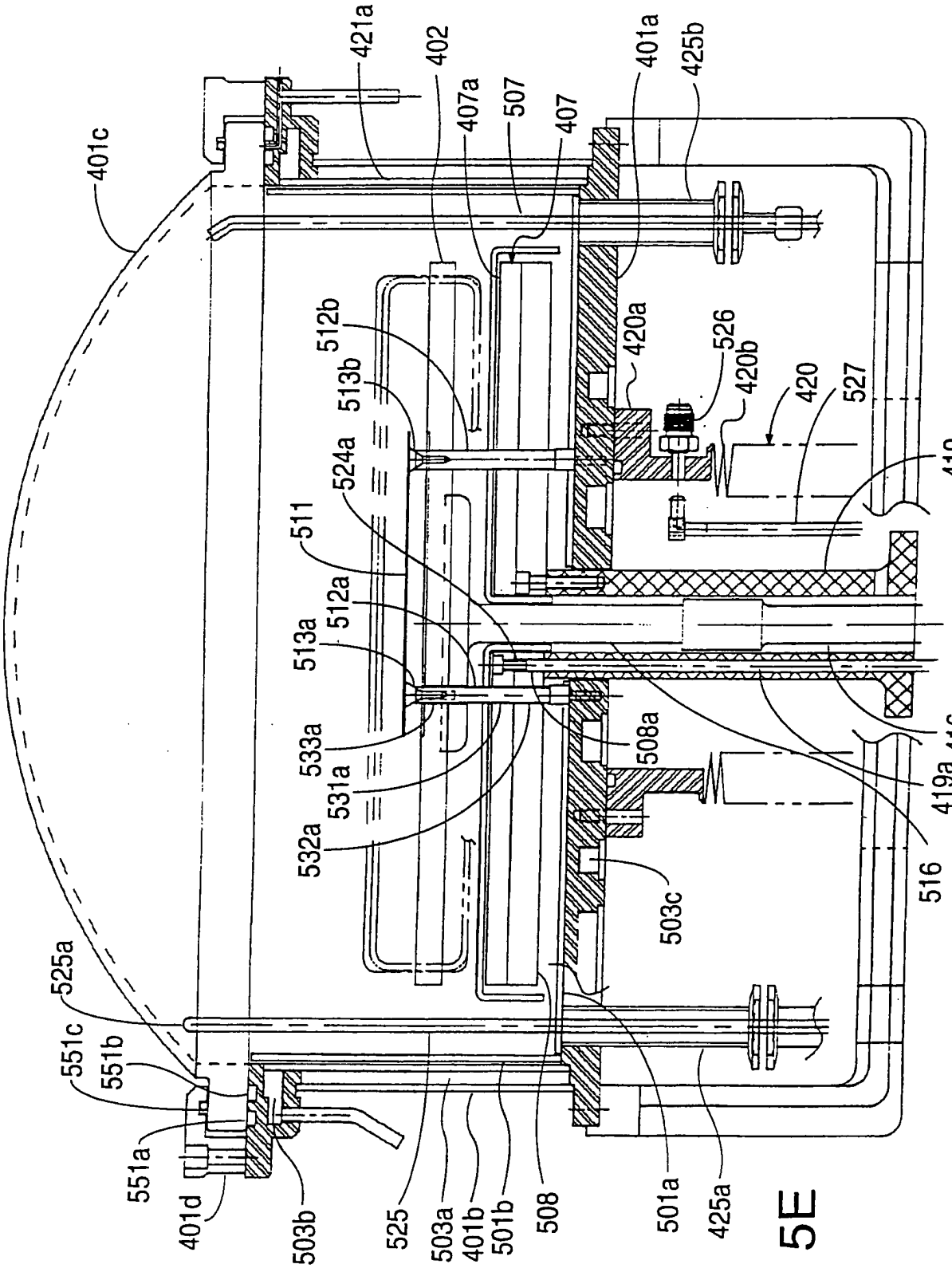
401c
421a
402
407a
507
407
401a
425b
512b
513b
524a
511
512a
513a
533a
531a
532a
420a
526
420b
420
527
419
508a
416
419a
516
503c
525a
551c
551b
551a
401d
503b
525
503a
401b
501b
508
501a
425a

FIG. 5E

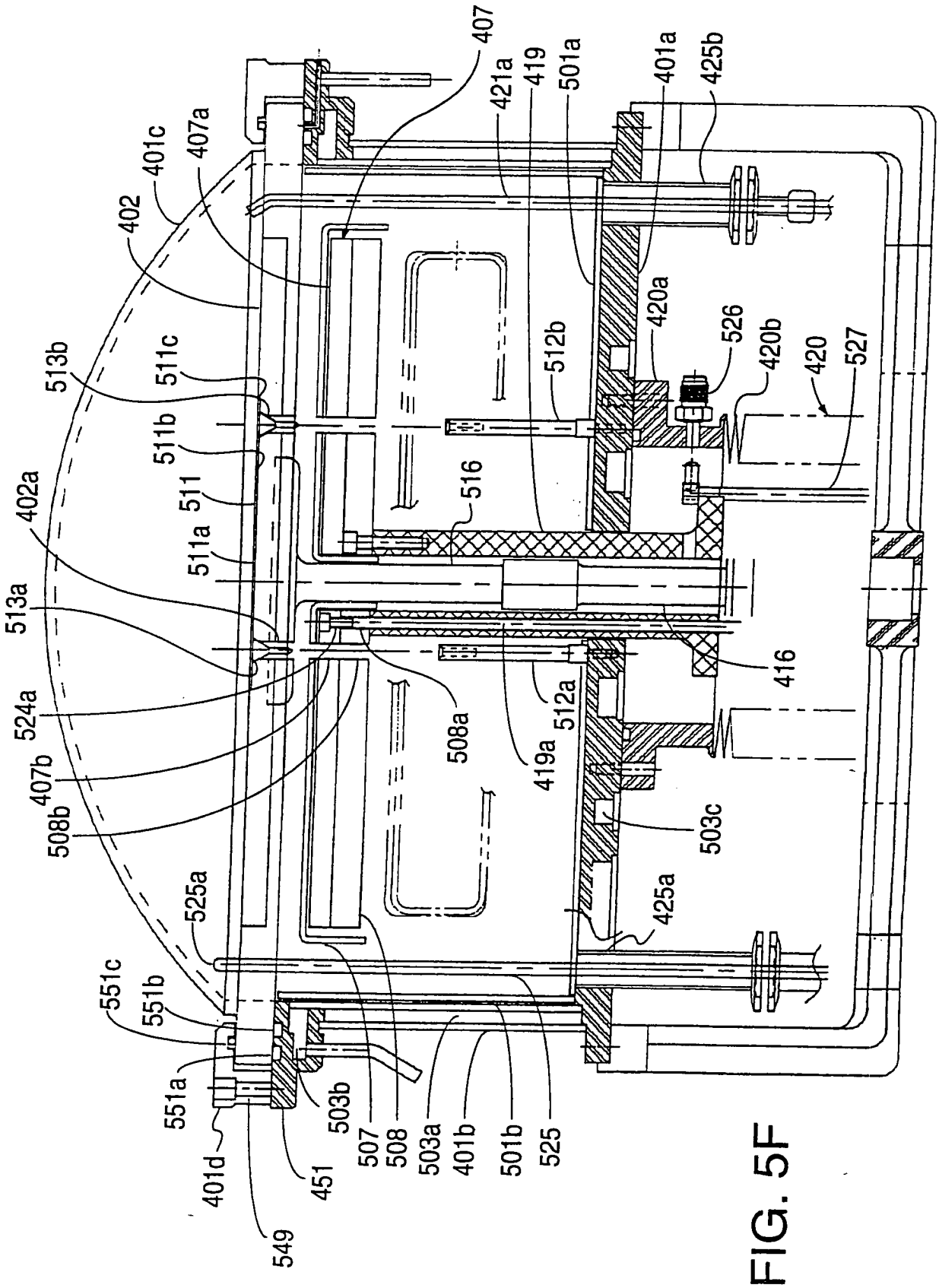
407
421a
419
501a
401a
425b
401c
407a
402
420a
526
420b
420
527
513b
511c
512b
511b
516
511
402a
511a
513a
416
524a
512a
508a
407b
419a
508b
503c
525a
425a
551c
551b
551a
503b
507
508
503a
401b
501b
525
401d
451
549

FIG. 5F

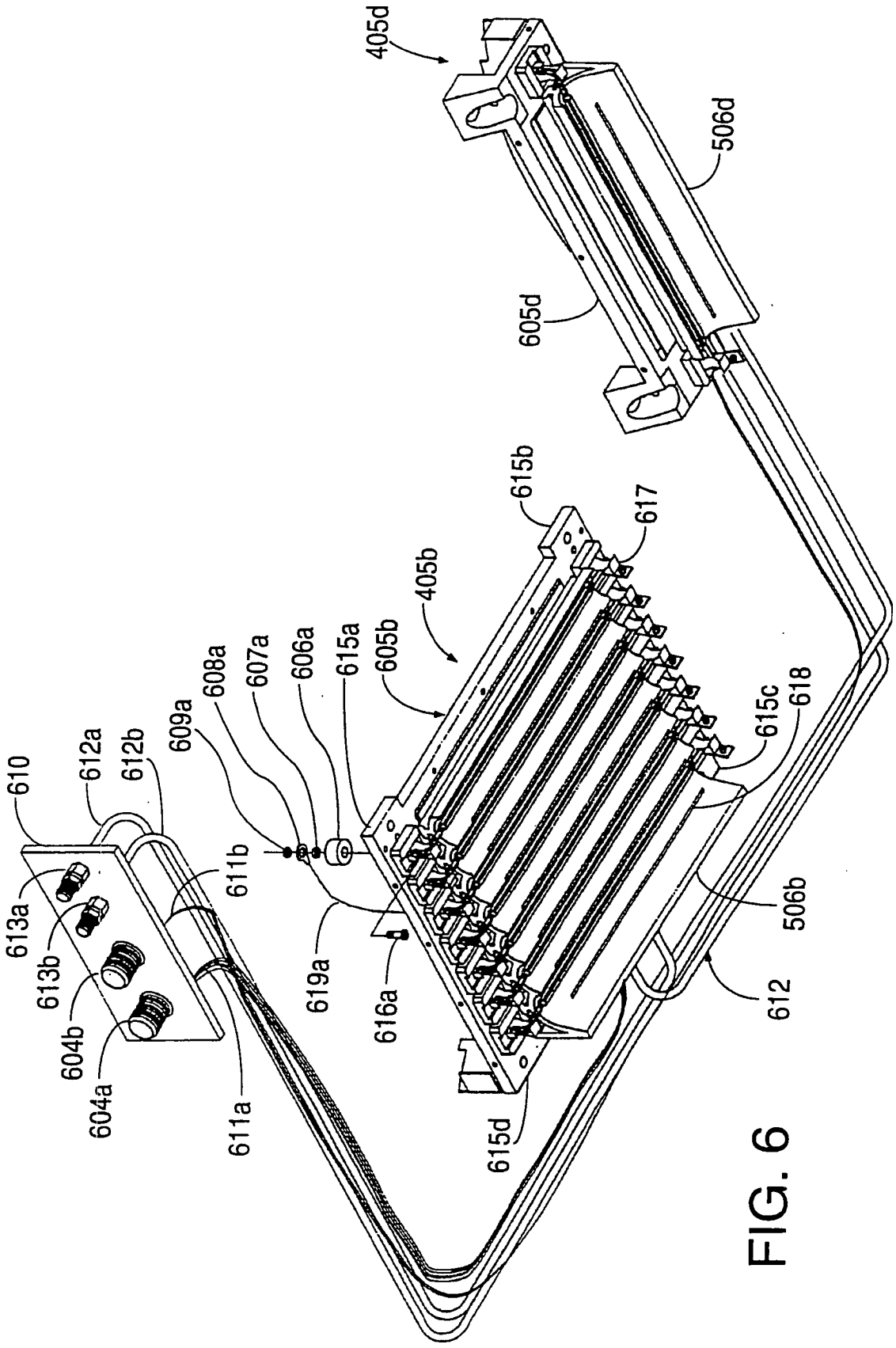
405d
506d
605d
615b
617
405b
605b
615a
606a
607a
608a
609a
610
612a
612b
611b
613a
613b
604b
604a
611a
619a
616a
615c
618
506b
612
615d

FIG. 6

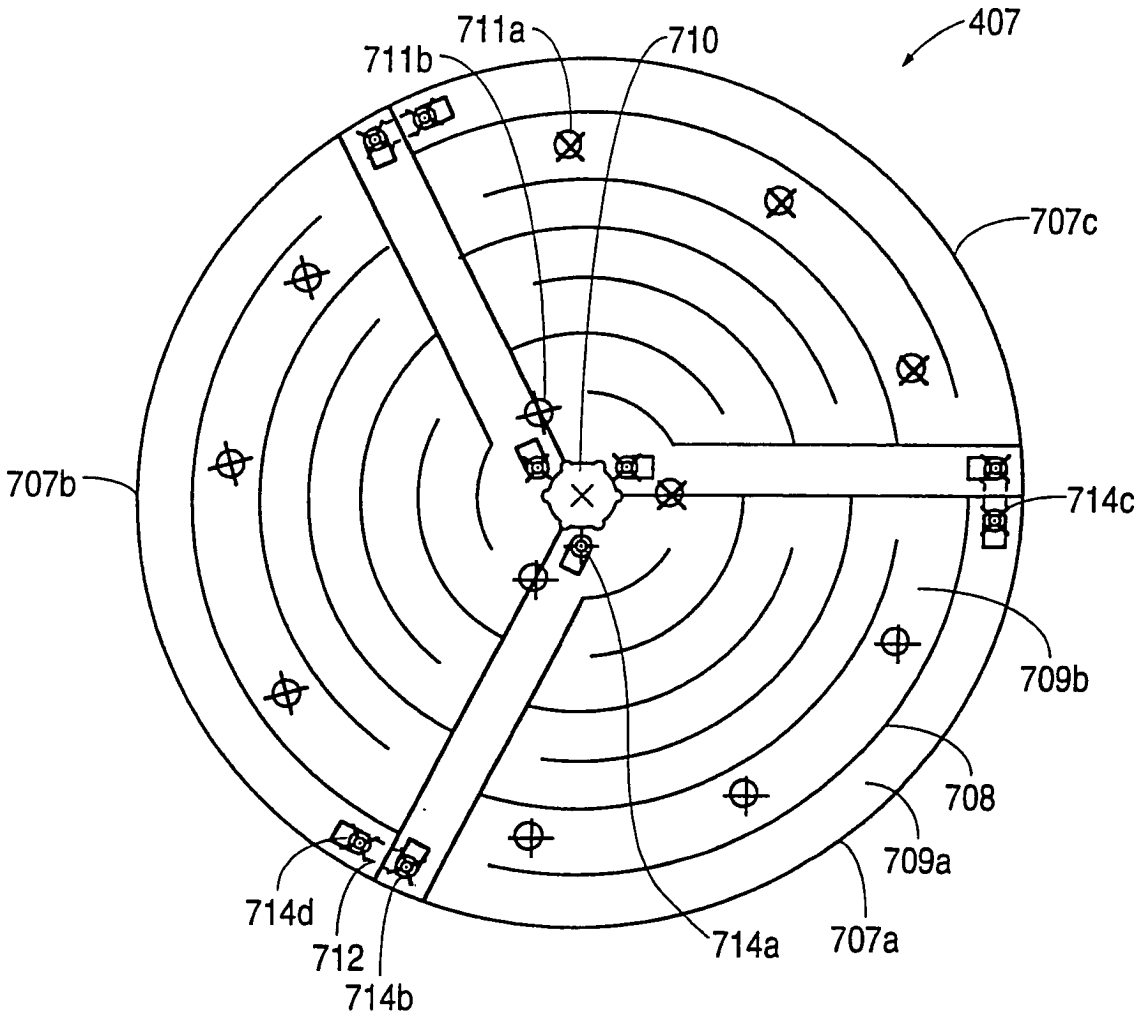
407
711a
710
711b
707c
707b
714c
709b
708
709a
714d
712
714b
714a
707a

FIG. 7A

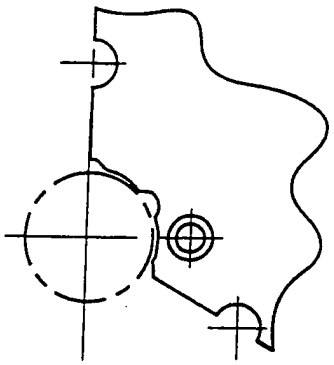

FIG. 7D

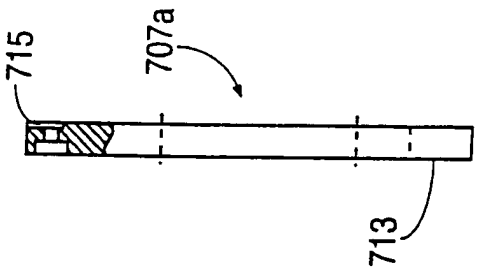

FIG. 7C

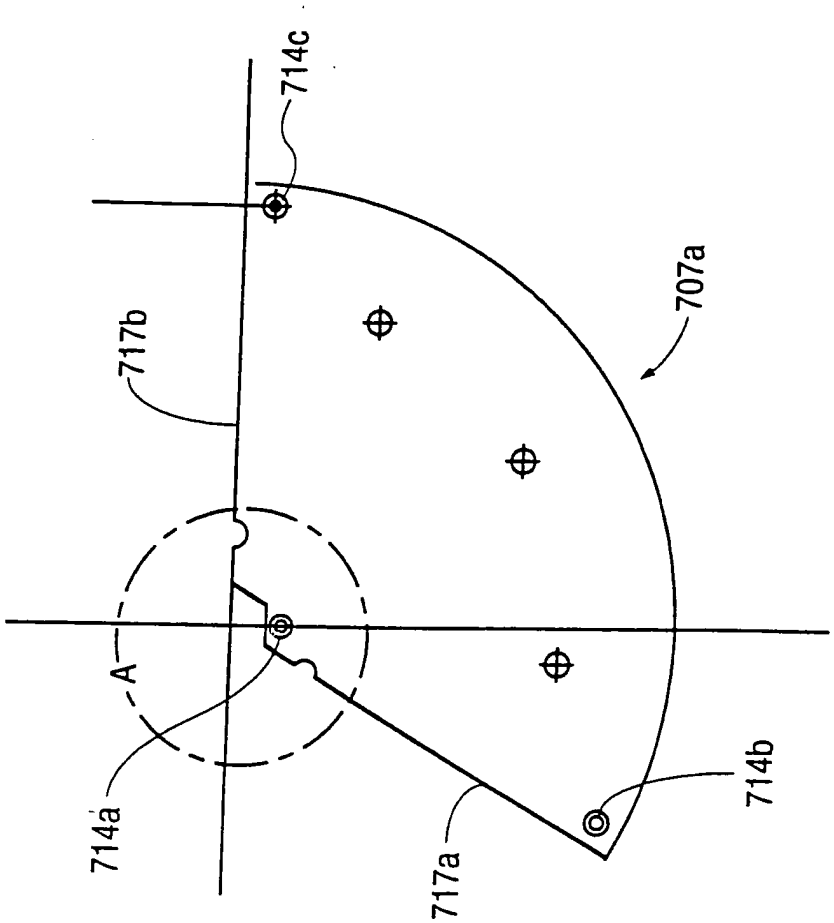

FIG. 7B

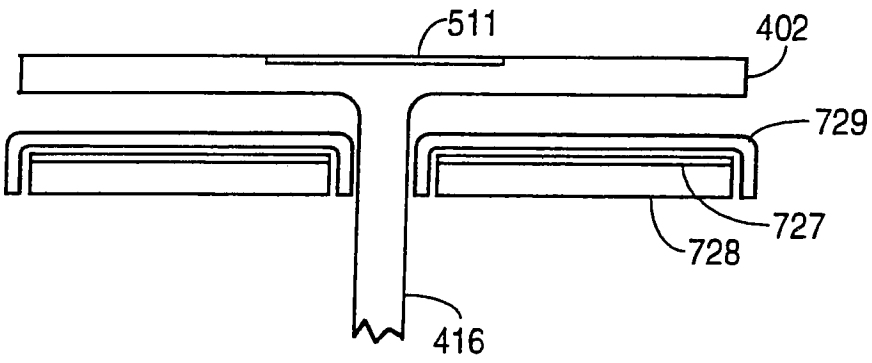

FIG. 7E

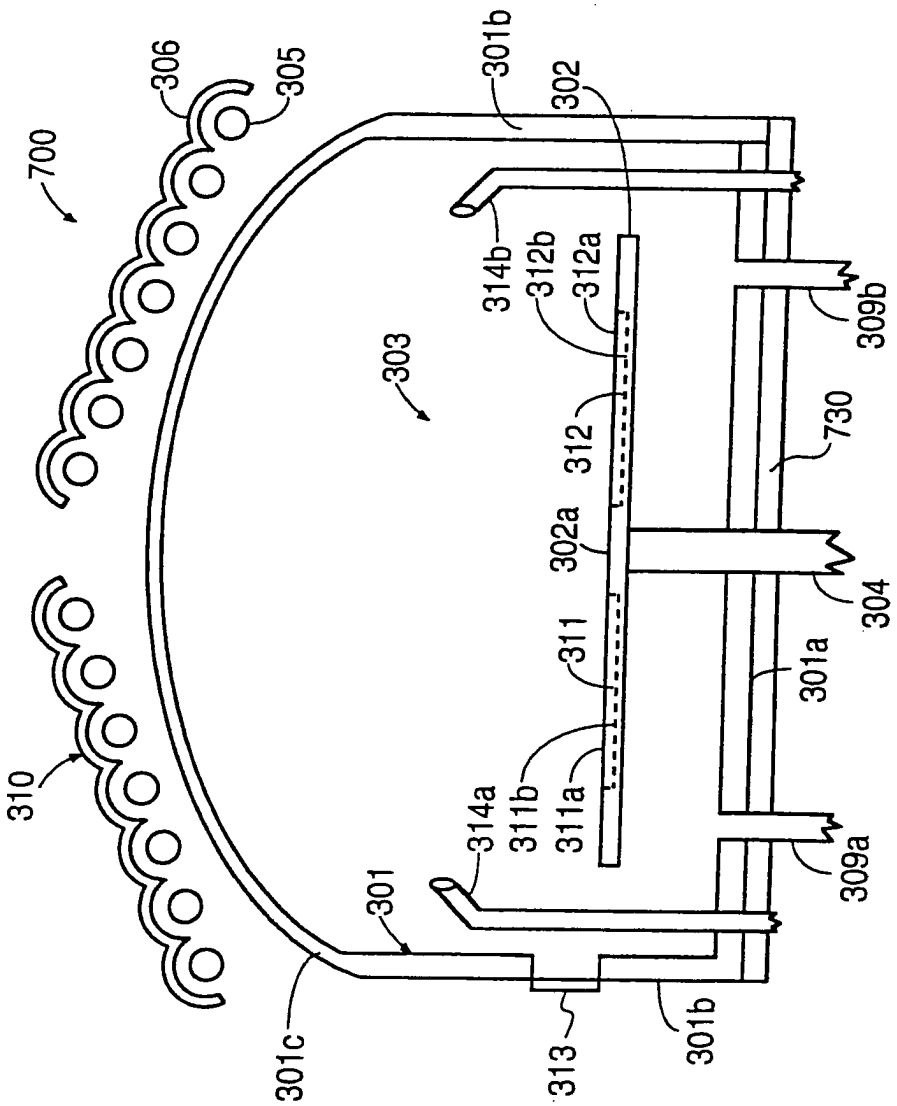
700
306
305
301b
302
314b
312b
312a
309b
303
312
730
302a
304
311
301a
310
314a
311b
311a
309a
301
301c
313
301b

FIG. 7F

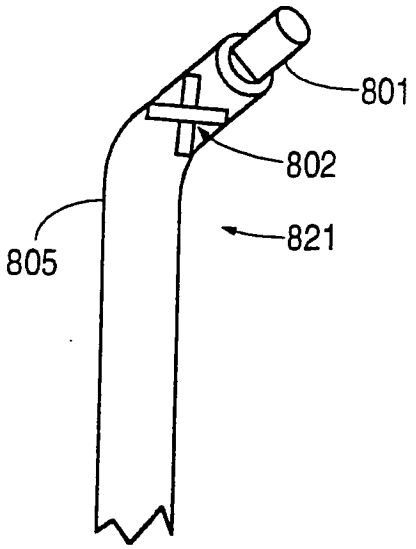

FIG. 8A

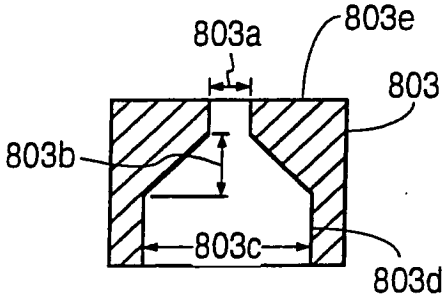

FIG. 8B

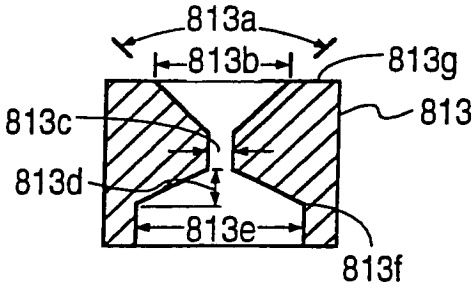

FIG. 8c

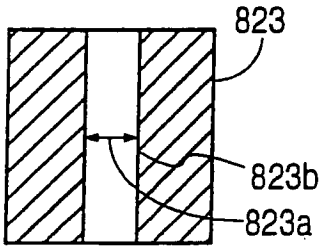

FIG. 8D

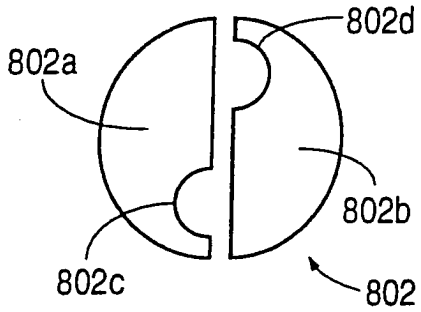

FIG. 8E

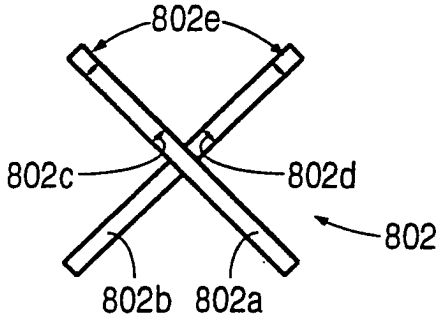

FIG. 8F

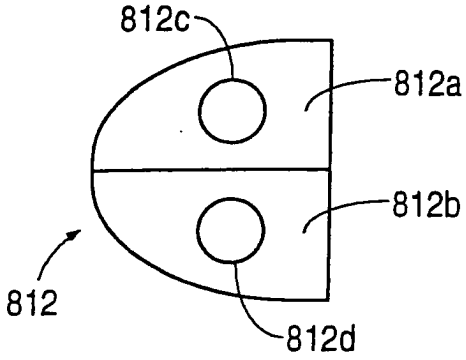

FIG. 8G

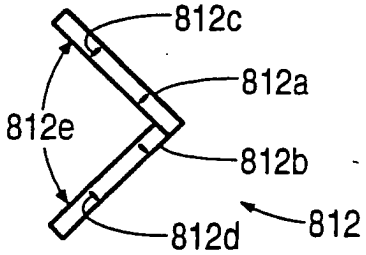

FIG. 8H

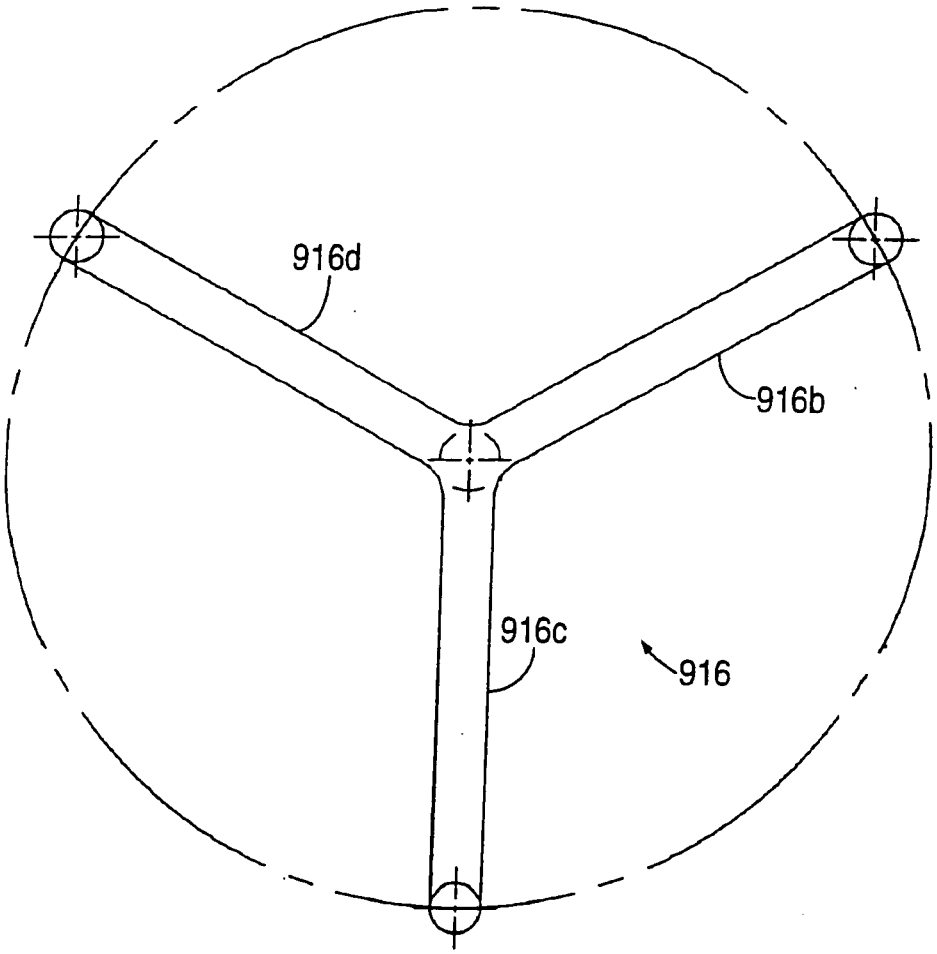

FIG. 9A

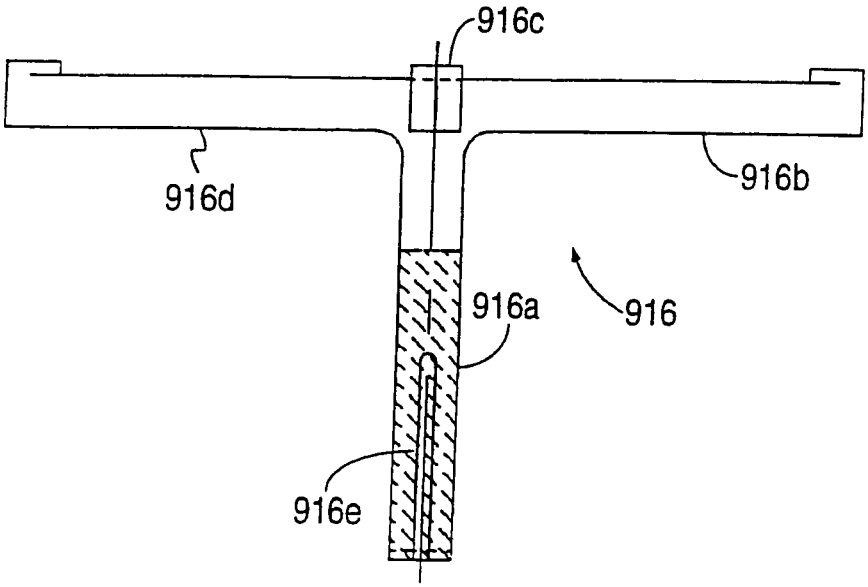

FIG. 9B

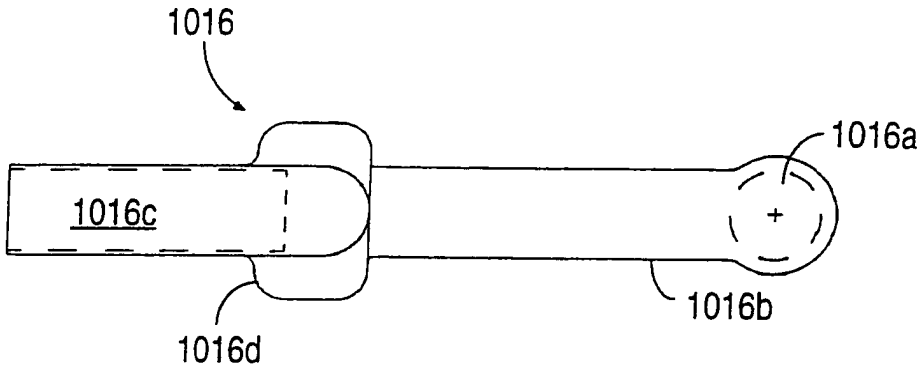

FIG. 10B

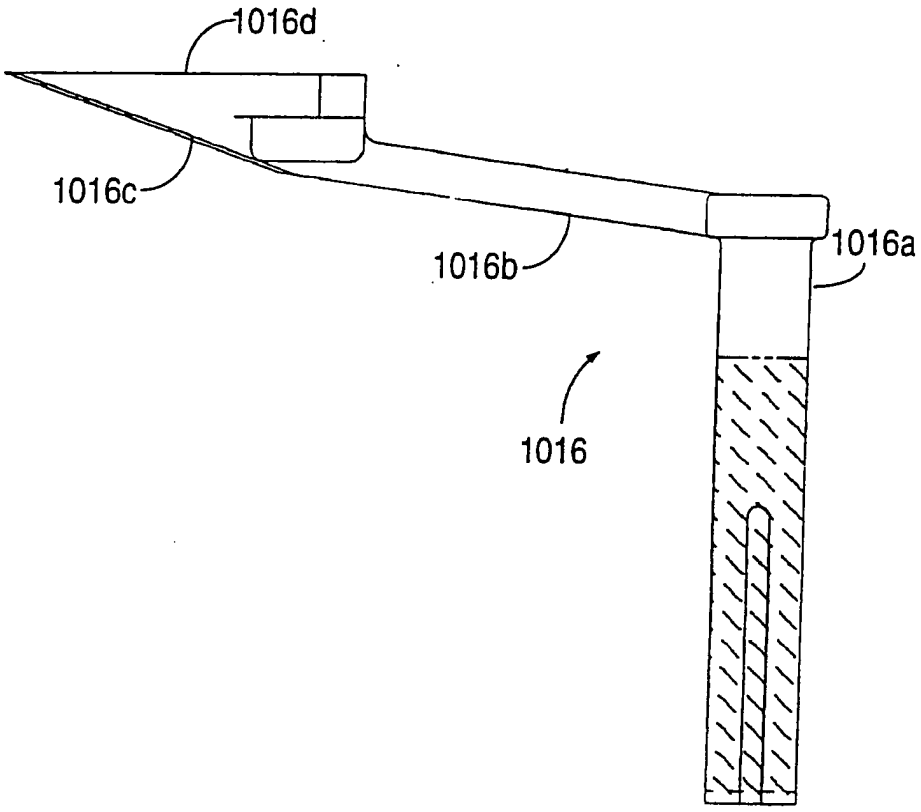

FIG. 10A

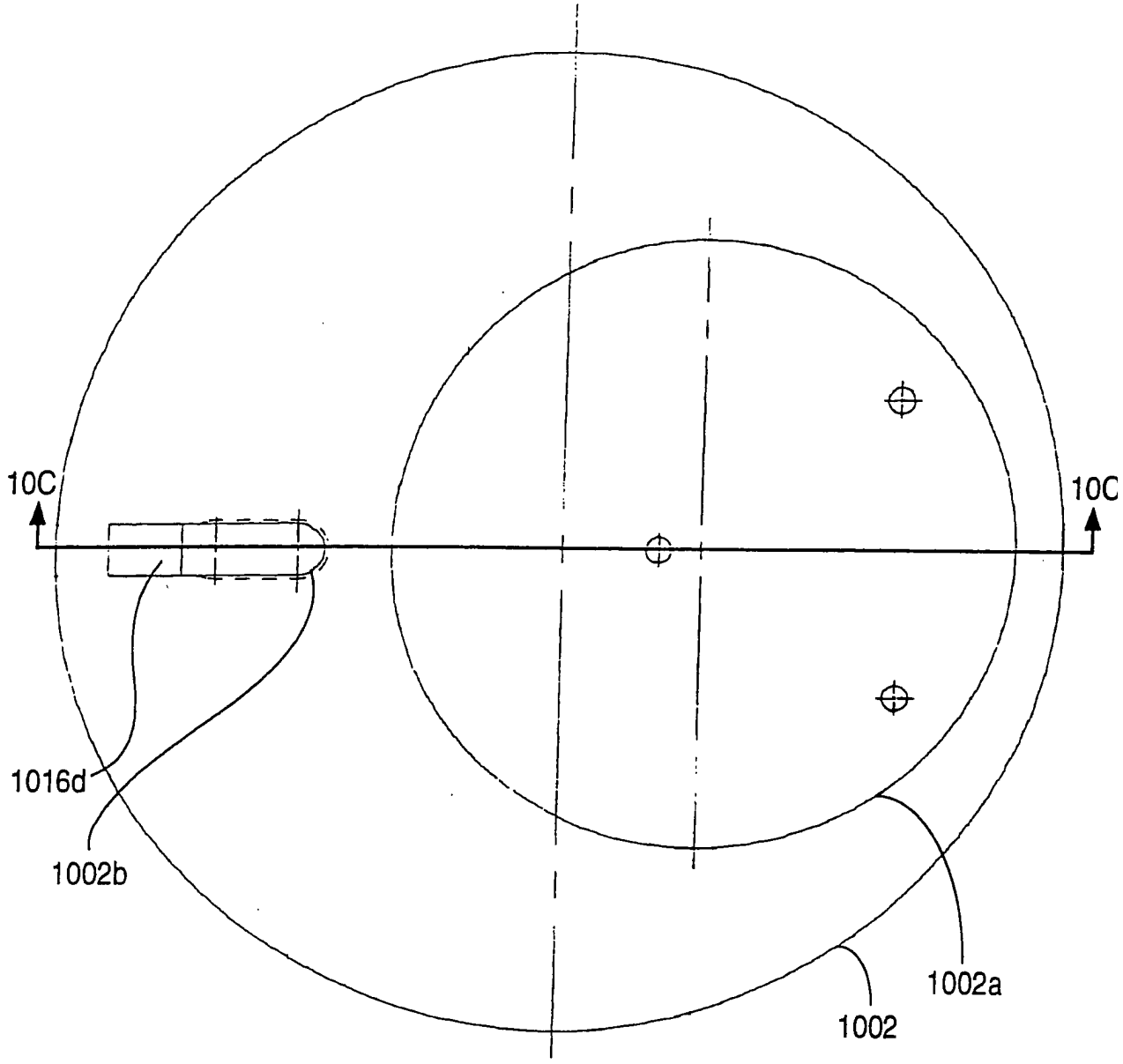

FIG. 10C

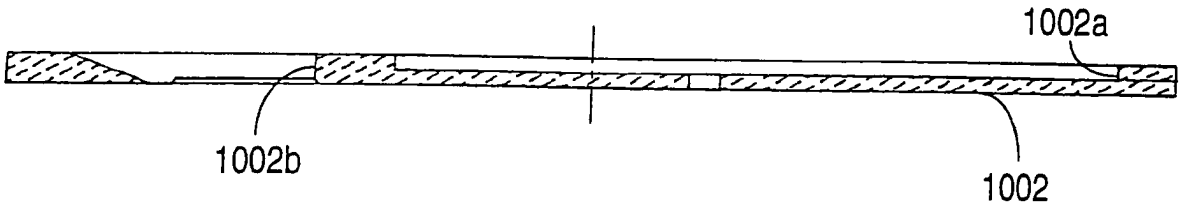

FIG. 10D

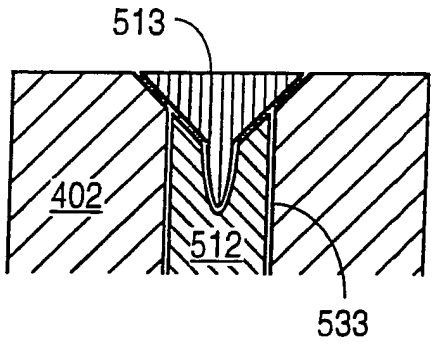

FIG. 11A

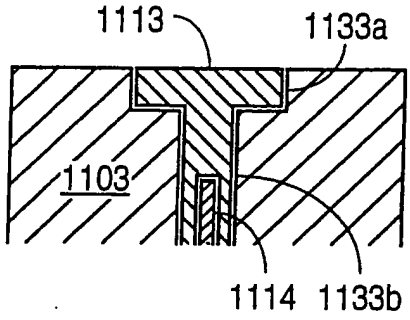

FIG. 11B

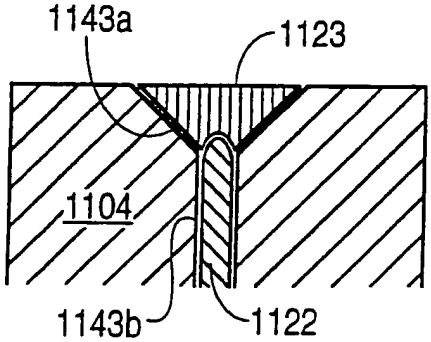

FIG. 11C

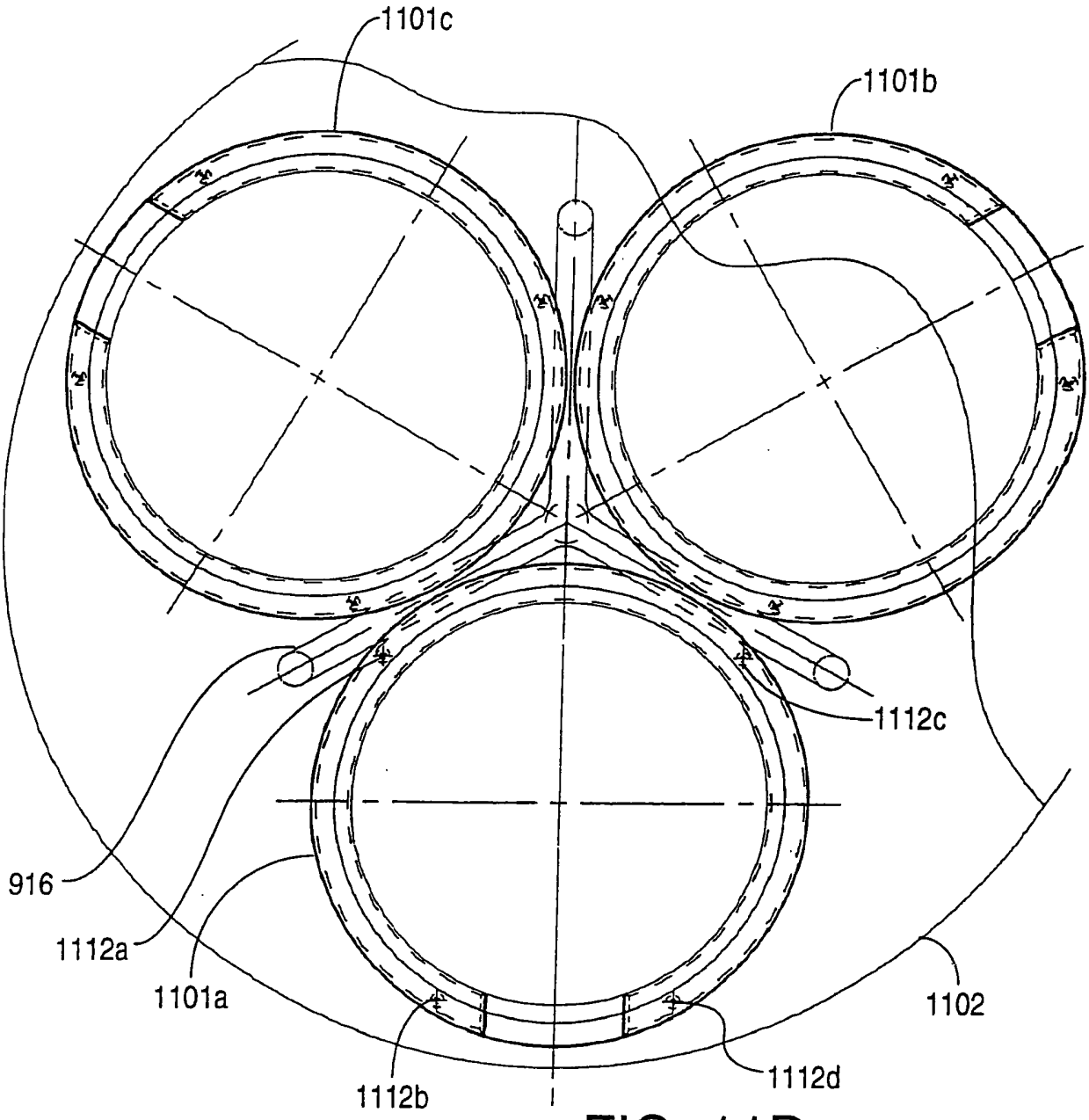

FIG. 11D

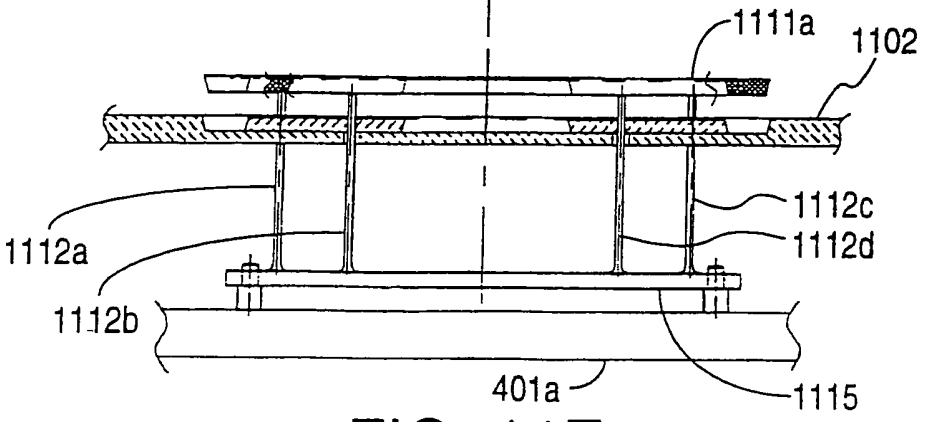

FIG. 11E

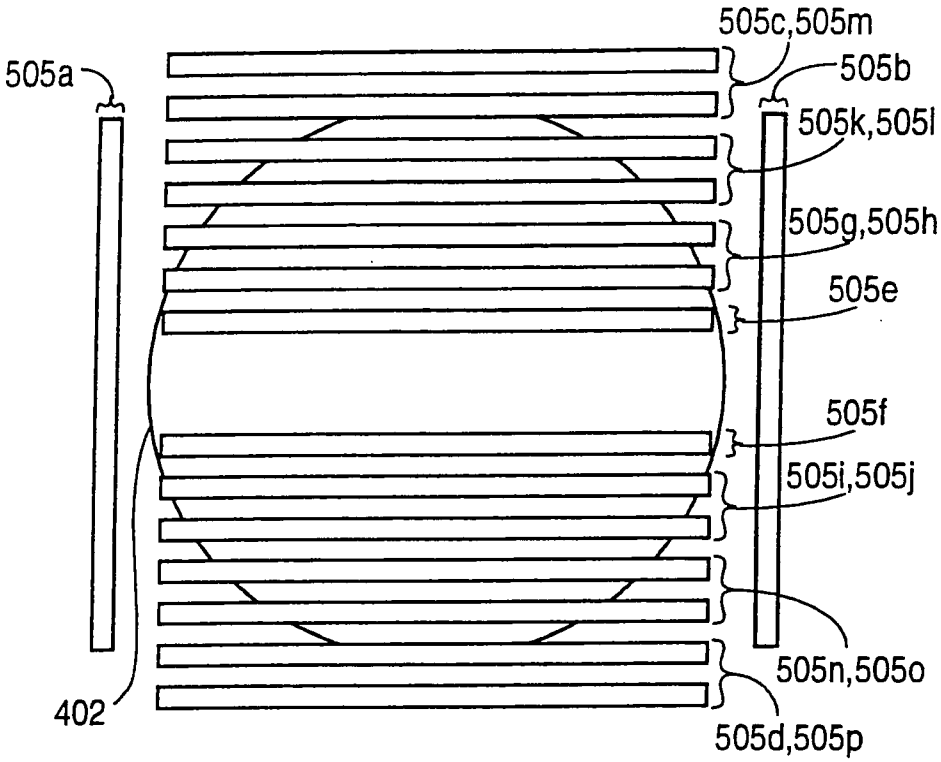
505c,505m
505a
505b
505k,505l
505g,505h
505e
505f
505i,505j
505n,505o
402
505d,505p

FIG. 12A

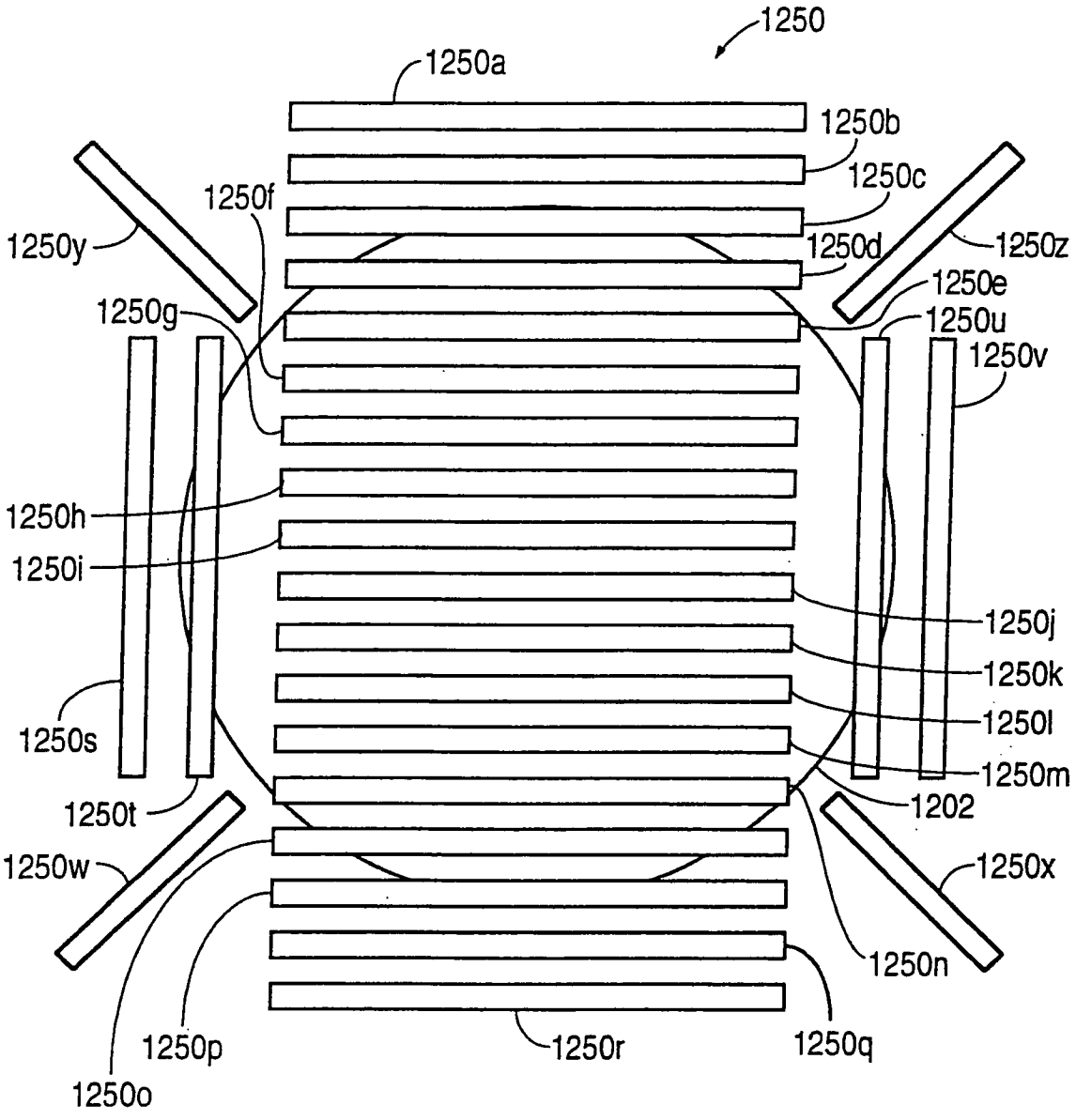
1250
1250a
1250b
1250c
1250d
1250e
1250f
1250g
1250h
1250i
1250j
1250k
1250l
1250m
1250n
1250o
1250p
1250q
1250r
1250s
1250t
1250u
1250v
1250w
1250x
1250y
1250z
1202

FIG. 12B

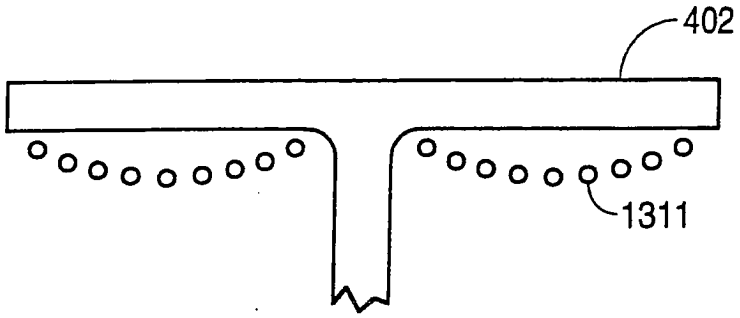

FIG. 13A

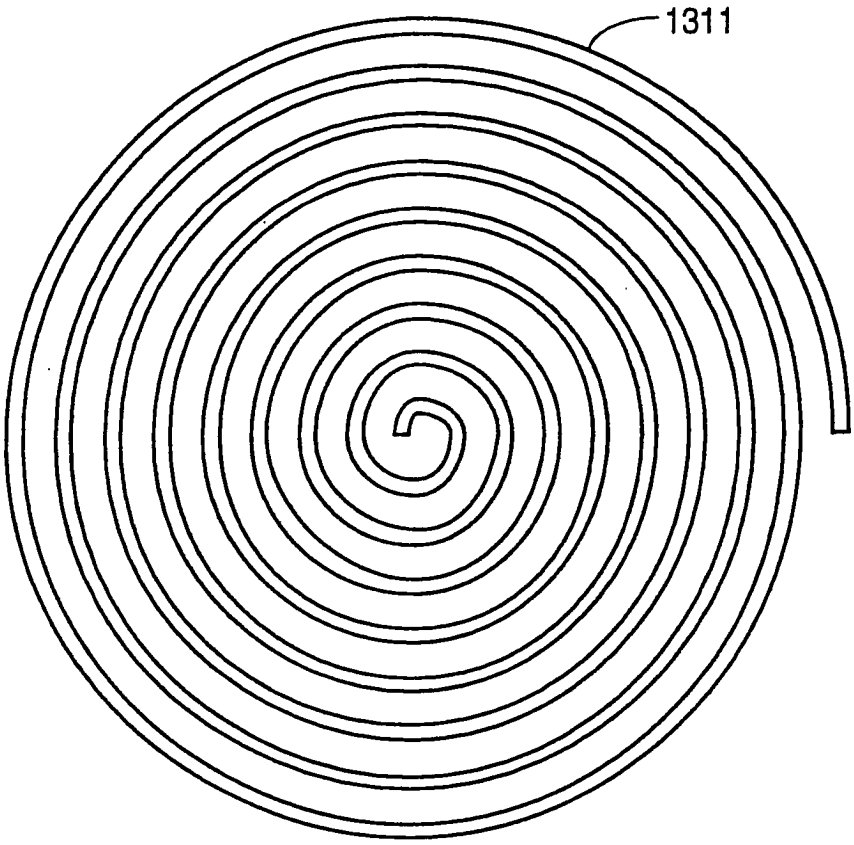

FIG. 13B

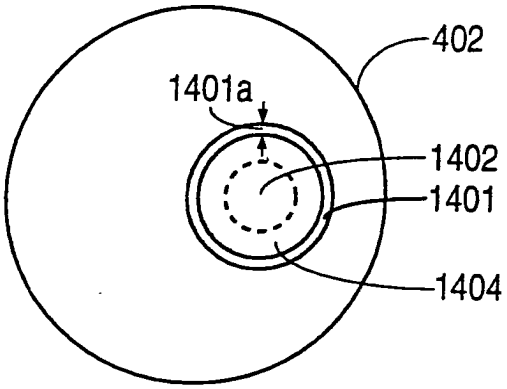

FIG. 14A

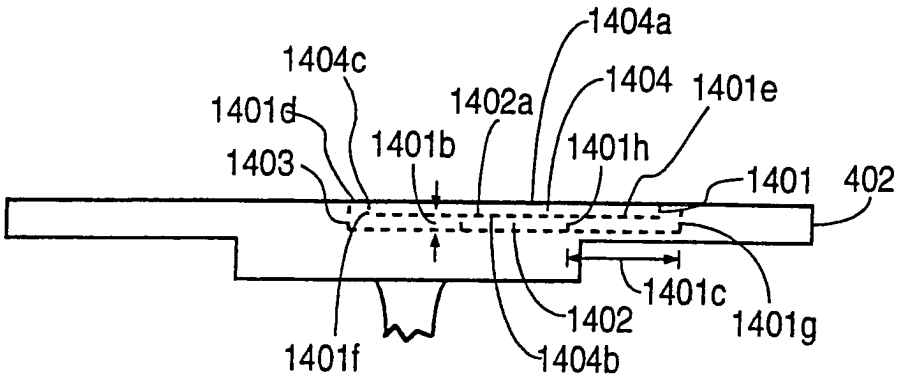

FIG. 14B

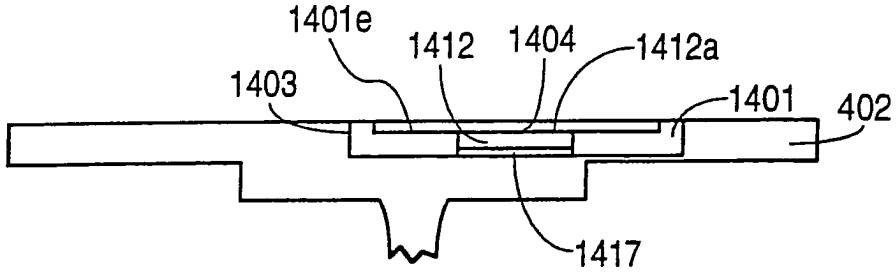

FIG. 14C

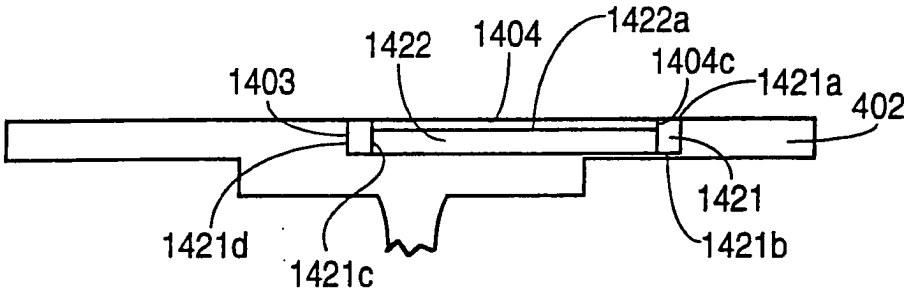

FIG. 14D

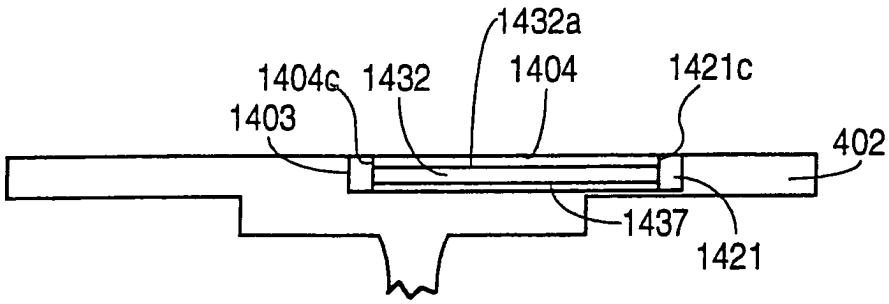

FIG. 14E

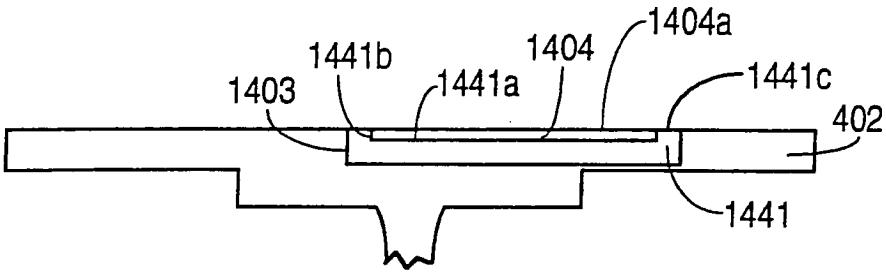

FIG. 14F

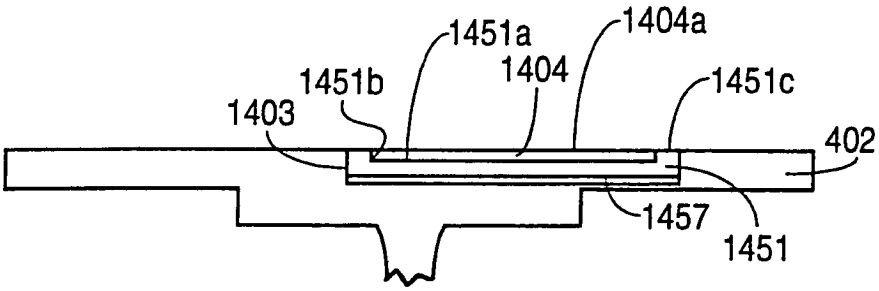

FIG. 14G

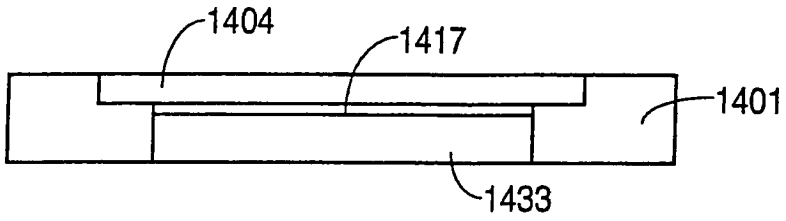

FIG. 14H

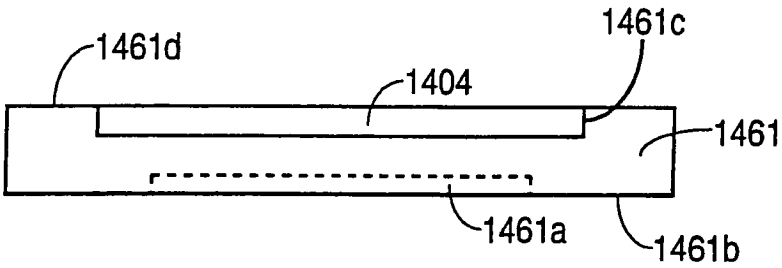

FIG. 14I

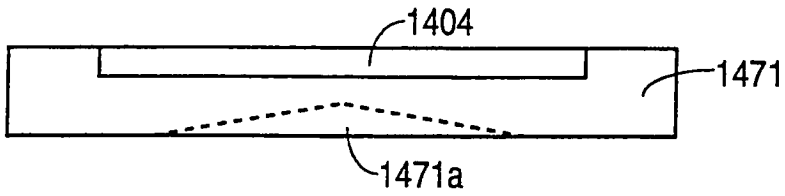

FIG. 14J

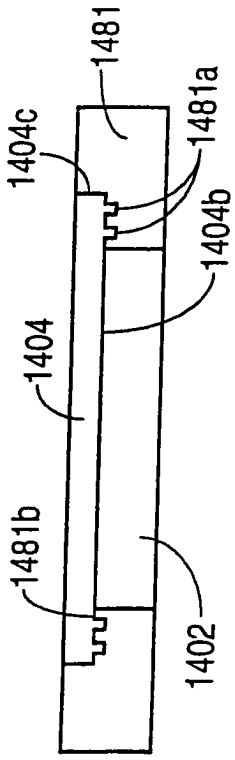

FIG. 14K

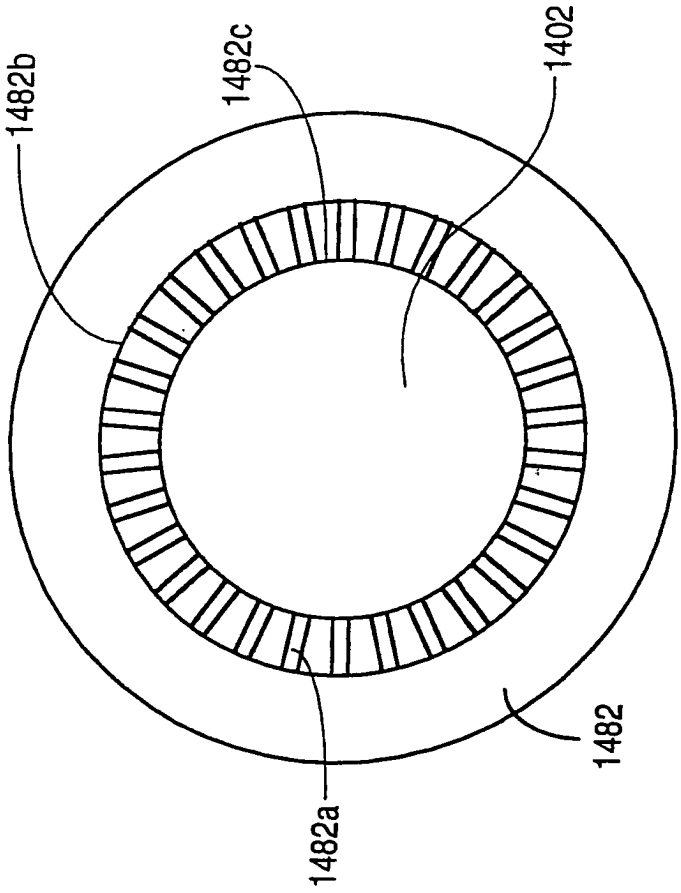

FIG. 14M

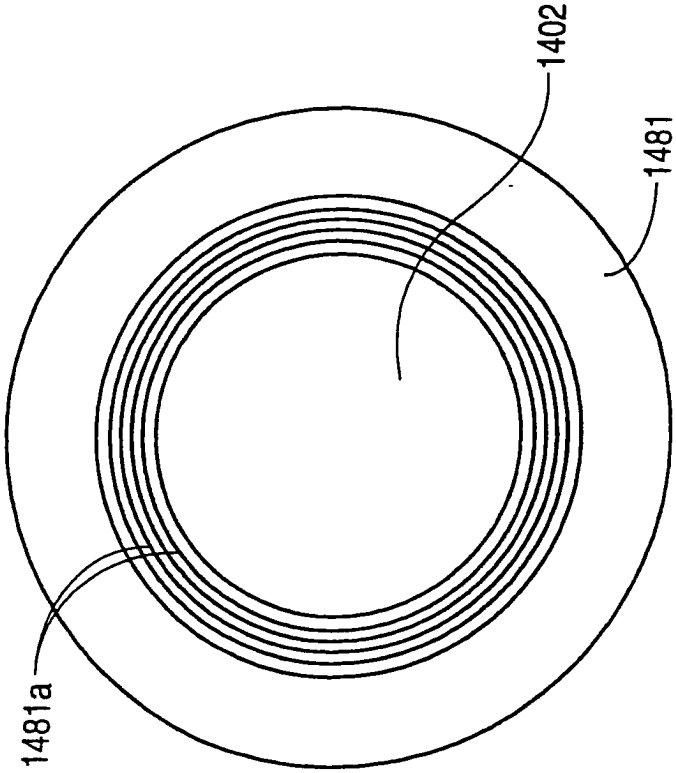

FIG. 14L

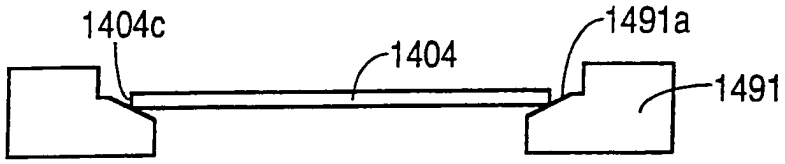

FIG. 14N

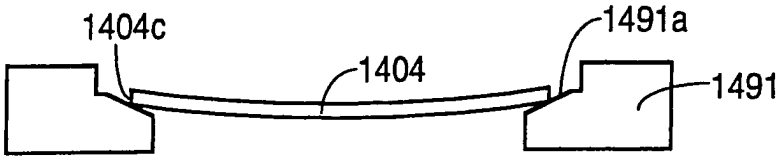

FIG. 14O



FIG. 14P

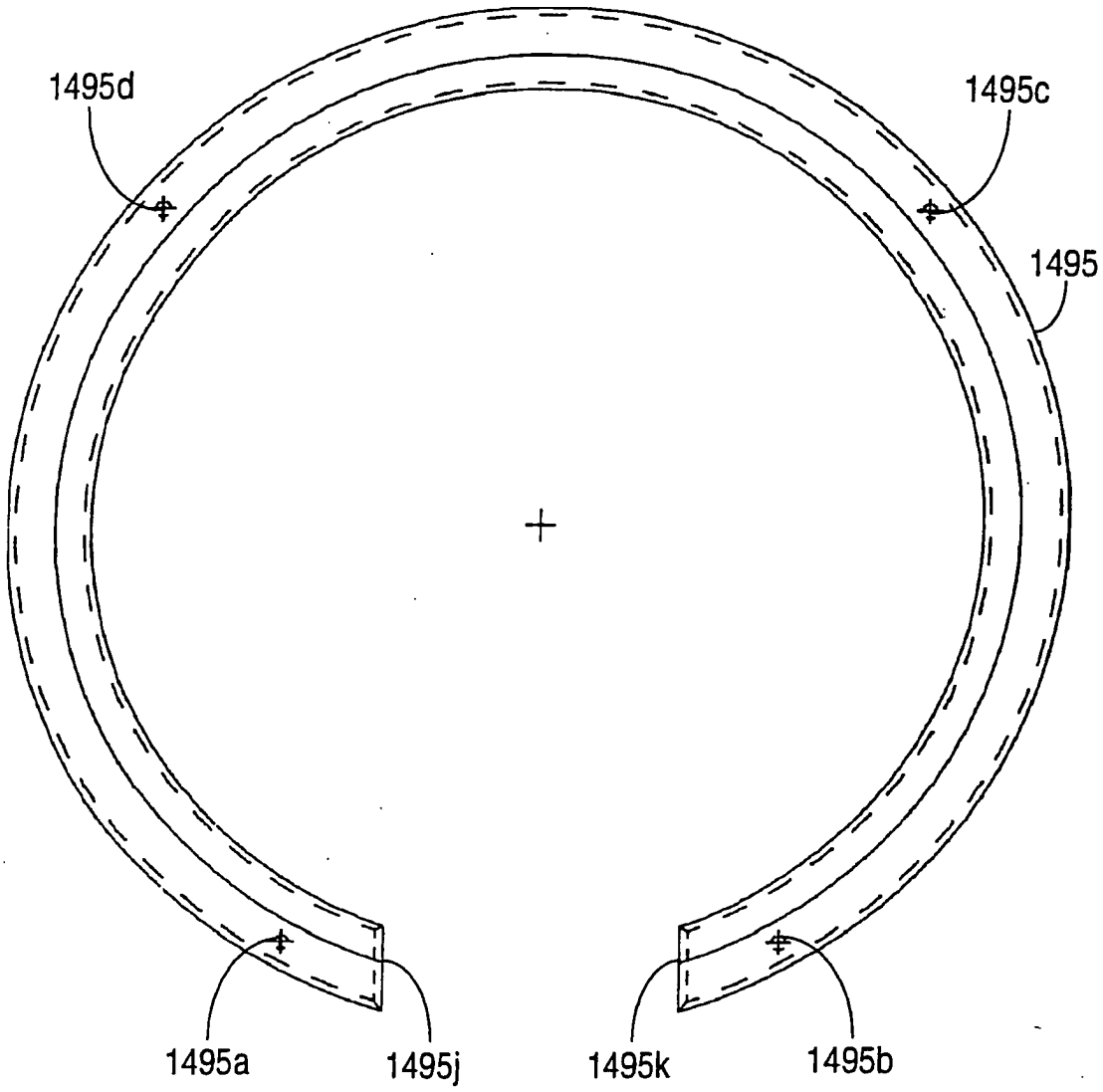

FIG. 14Q

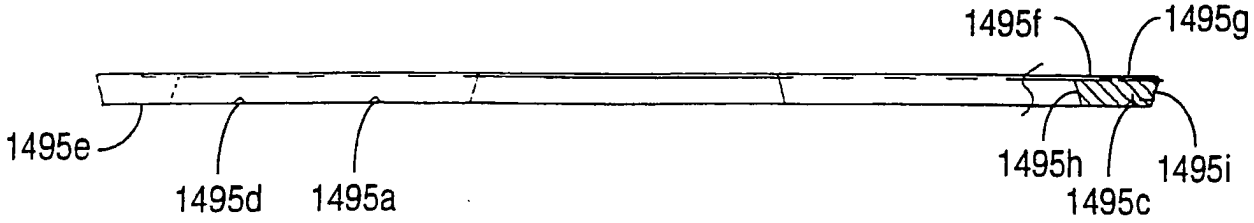

FIG. 14R

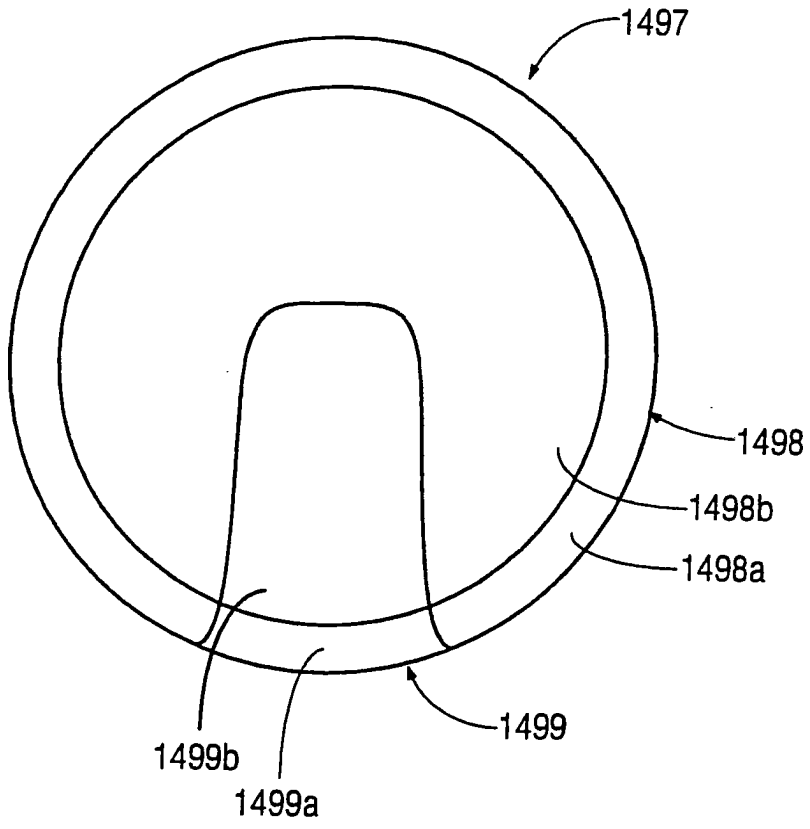

FIG. 14S

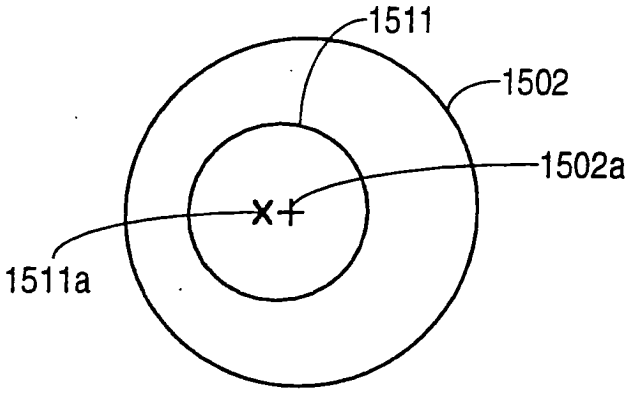

FIG. 15A

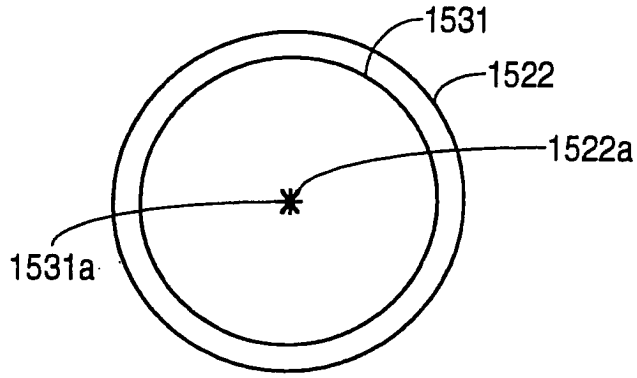

FIG. 15B

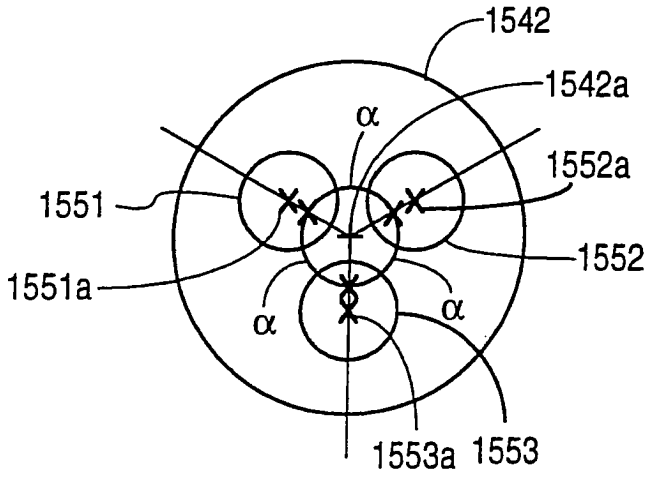

FIG. 15C

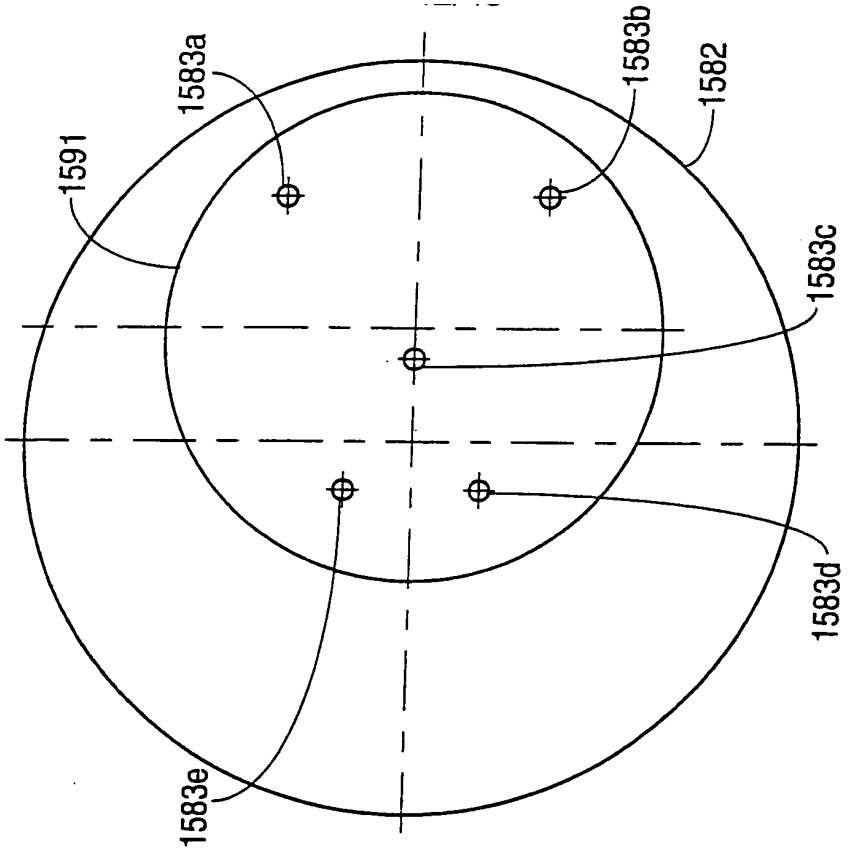

FIG.15E

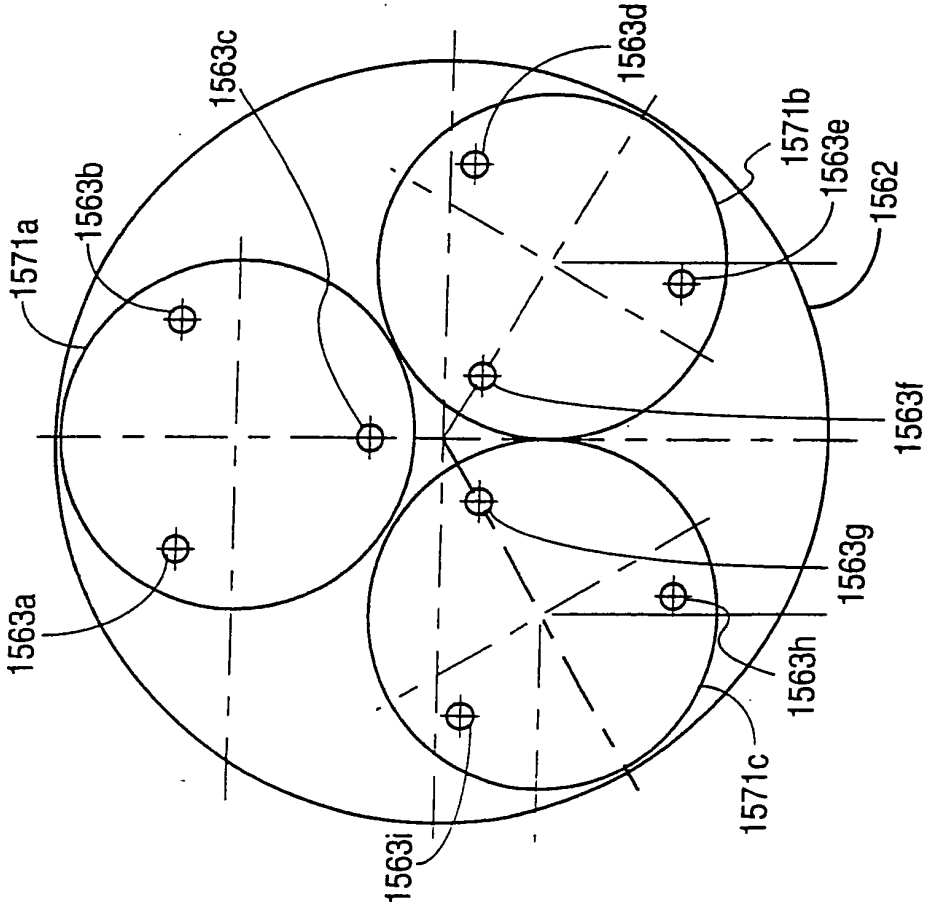

FIG.15D

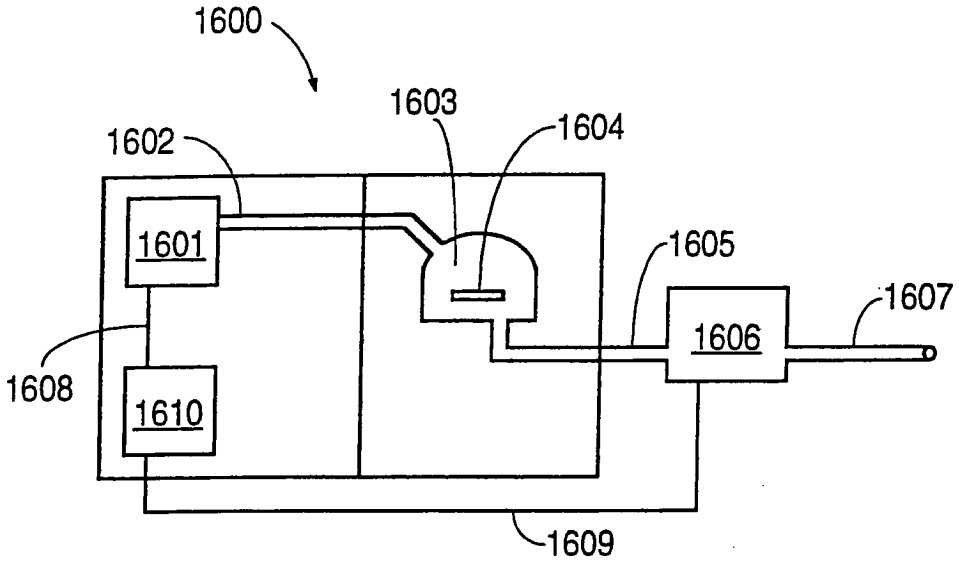

FIG. 16A

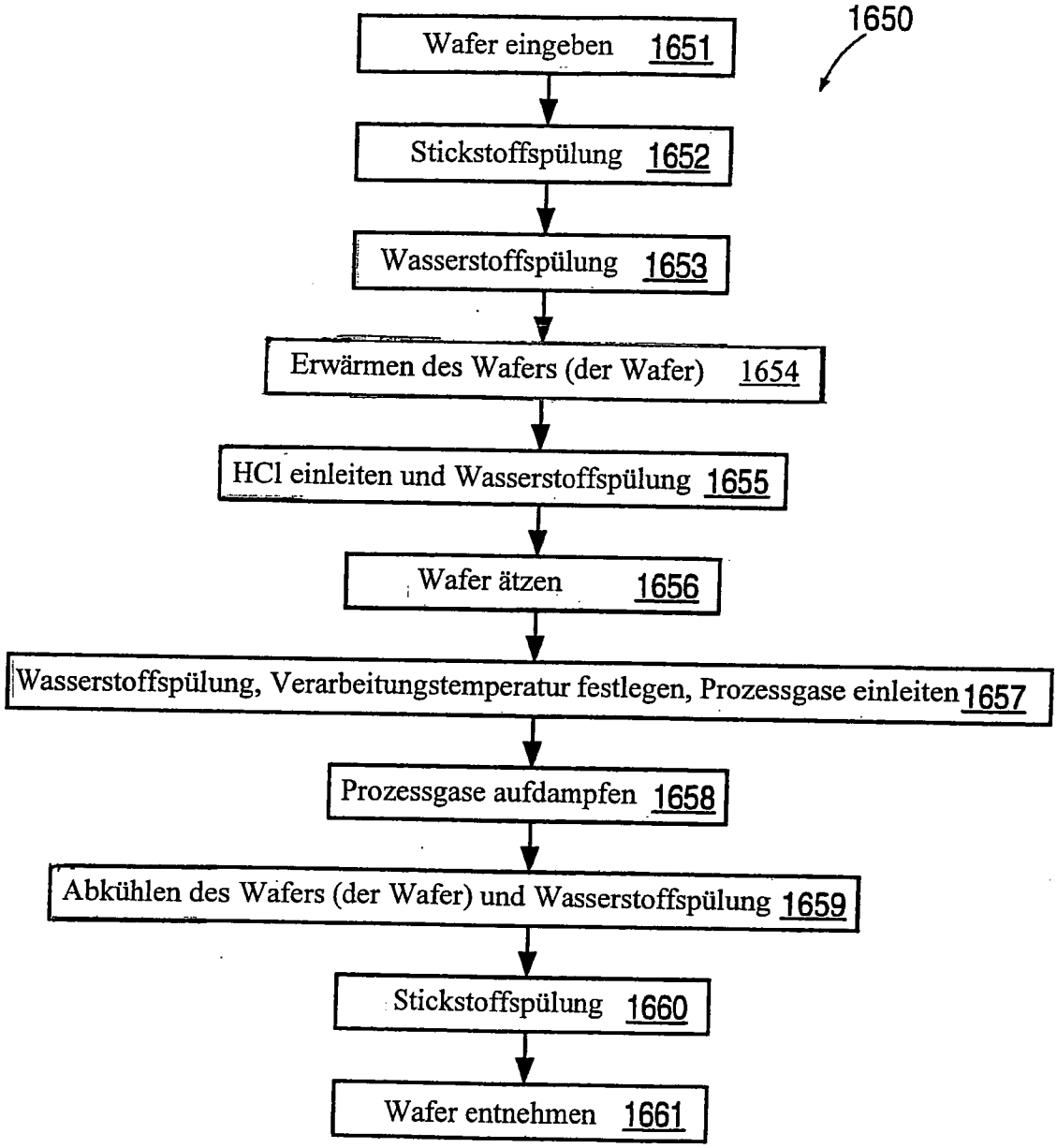
1650
Wafer eingeben 1651
Stickstoffspülung 1652
Wasserstoffspülung 1653
Erwärmen des Wafers (der Wafer) 1654
HCl einleiten und Wasserstoffspülung 1655
Wafer ätzen 1656
Wasserstoffspülung, Verarbeitungstemperatur festlegen, Prozessgase einleiten 1657
Prozessgase aufdampfen 1658
Abkühlen des Wafers (der Wafer) und Wasserstoffspülung 1659
Stickstoffspülung 1660
Wafer entnehmen 1661

FIG. 16B

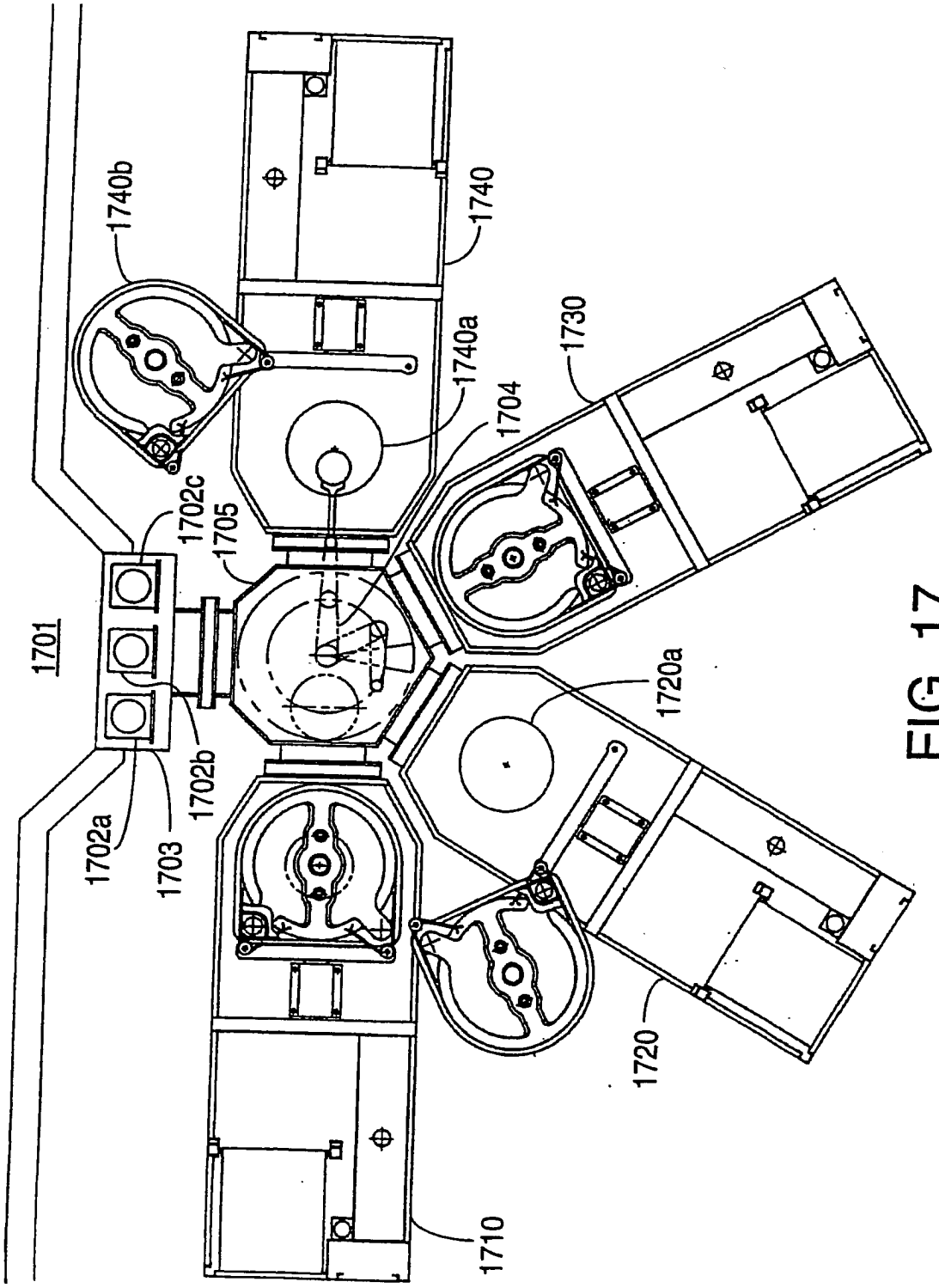
1740b
1740
1740a
1730
1704
1702c
1705
1701
1720a
1702b
1702a
1703
1720
1710

FIG. 17