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

(10) **DE 698 15 163 T2** 2004.05.06

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 855 452 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 15 163.1**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 300 508.3**
(96) Europäischer Anmeldetag: **26.01.1998**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **29.07.1998**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **04.06.2003**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **06.05.2004**

(51) Int Cl.[7]: **C23C 16/44**
C23C 16/52

(30) Unionspriorität:

37659 P	**24.01.1997**	**US**
800098	**12.02.1997**	**US**
918706	**22.08.1997**	**US**

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

(73) Patentinhaber:
Applied Materials, Inc., Santa Clara, Calif., US

(74) Vertreter:
v. Füner Ebbinghaus Finck Hano, 81541 München

(72) Erfinder:
Zhao, Jun, Cupertino, California 95014, US; Luo, Lee, Fremont, California 94539, US; Liang, Xiao Jin, Sunnyvale, California 94087, US; Wang, Jia-Xiang, San Jose, California 95129, US; Wolff, Stefan, Sunnyvale, California 94086, US; Sajoto, Talex, San Jose, California 95128, US

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Abscheidung von Titanschichten**

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

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf die Halbleiterbearbeitung. Insbesondere bezieht sich die Erfindung auf Verfahren und Vorrichtungen zum Ausbilden von Filmen mit einem Plasma bei Temperaturen von über etwa 400°C in einer korrodierenden Umgebung. In einigen spezifischen Ausführungsformen ist die Erfindung nützlich für die Ausbildung von Titan enthaltenden Filmen, wie Titan, Titannitrid und Titandisilizid bei Temperaturen von bis zu 625°C oder höher. Solche Filme können als gemusterte Leiterschichten, Leiterstellen zwischen Leiterschichten, Diffusionsbarrierenschichten, Haftschichten und als eine Vorläuferschicht zur Silizidbildung verwendet werden. Zudem können weitere Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung verwendet werden, z. B. um andere Typen von Metallfilmen abzuscheiden, um Substratmaterialien zu legieren und um Substratmaterialien zu vergüten.

[0002] Einer der grundlegenden Schritte bei der Herstellung moderner Halbleitereinrichtungen ist die Ausbildung verschiedener Schichten, einschließlich dielektrischer Schichten und Metallschichten, auf einem Halbleitersubstrat. Es ist allgemein bekannt, dass diese Schichten durch eine chemische Gasphasenabscheidung (CVD) oder eine physikalische Gasphasenabscheidung (PVD) abgeschieden werden können. In einem herkömmlichen thermischen CVD-Verfahren werden reaktionsfähige Gase der Substratoberfläche zugeführt, an welcher wärmeinduzierte chemische Reaktionen (homogene oder heterogene) stattfinden, um einen gewünschten Film zu erzeugen. In einem herkömmlichen Plasma-CVD-Verfahren wird ein kontrolliertes Plasma gebildet, um reaktionsfähige Spezies zu zerlegen und/oder anzuregen, den gewünschten Film zu erzeugen. Im allgemeinen können Reaktionsgeschwindigkeiten in Wärme- und Plasmaverfahren gesteuert werden, indem ein oder mehrere der folgenden Parameter gesteuert werden: Temperatur, Druck, Plasmadichte, Durchsatz eines Reaktionsteilnehmergases, Spannungsfrequenz, Leistungspegel, physische Kammergeometrie und andere. In einem beispielhaften PVD-System ist ein Target (eine Platte aus dem Material, das abgeschieden werden soll) an eine negative Spannungsquelle (Gleichstrom (DC) oder Hochfrequenz (HF)) angeschlossen, während ein dem Target zugewandter Substrathalter entweder geerdet, nicht geerdet, vorgespannt, erwärmt, gekühlt oder in einer Kombination davon behandelt wird. Ein Gas, wie beispielsweise Argon, wird in das PVD-System, das typischerweise auf einem Druck zwischen etwa 0,4 Pa (einigen wenigen Millitorr (mtorr)) und etwa $13{,}3 \times 10^3$ Pa (100 mtorr) gehalten wird, eingeleitet, um ein Medium zu schaffen, in welchem eine Glimmentladung eingeleitet und aufrecht erhalten werden kann. Wenn die Glimmentladung gestartet wird, stoßen positive Ionen an das Target, und Targetatome werden durch Impulsaustausch abgelöst. Diese Targetatome kondensieren dann nachfolgend zu einem dünnen Film auf dem Substrat, welches sich auf dem Substrathalter befindet.

[0003] Die Geometrien von Halbleitereinrichtungen haben in ihrer Größe dramatisch abgenommen, seit solche Einrichtungen erstmals vor mehreren Jahrzehnten eingeführt wurden. Seit damals sind integrierte Schalkreise im allgemeinen der Regel zwei Jahre/halbe Größe (die häufig als "Moore's Law" bezeichnet wird) gefolgt, was bedeutet, dass die Anzahl von Einrichtungen, welche auf einen Chip passen, sich alle zwei Jahre verdoppelt. Heutige Anlagen zur Herstellung von Wafern produzieren regelmäßig Einrichtungen mit einer Formgröße von 0,5 µm und sogar 0,35 µm, und Anlagen von morgen werden bald Einrichtungen mit noch kleineren Formgrößen produzieren. Da die Formgrößen der Einrichtungen kleiner werden und die Integrationsdichte zunimmt, werden Erscheinungen, die vorher von der Industrie nicht als entscheidend angesehen wurden, von größerer Bedeutung. Zum Beispiel haben Einrichtungen mit zunehmend hoher Integrationsdichte Formen mit großen Seitenverhältnissen (z. B. von etwa 6 : 1 oder größer für Einrichtungen mit einer Formgröße von 0,35 µm). (Das Seitenverhältnis ist als das Verhältnis von Höhe-zu-Abstand von zwei aneinander angrenzenden Stufen.) Formen mit hohem Seitenverhältnis, wie beispielsweise Lücken, müssen in vielen Anwendungen mit einer abgeschiedenen Schicht hinreichend gefüllt werden.

[0004] Zunehmend strenge Anforderungen für die Herstellung dieser hoch integrierten Einrichtungen werden benötigt, und herkömmliche Substratbehandlungssysteme werden ungeeignet, um diese Anforderungen zu erfüllen. Zudem werden mit der weiteren Entwicklung der Ausbildung von Einrichtungen weiter gehende Fähigkeiten in Substratbehandlungssystemen erforderlich sein, die verwendet werden, um Filme abzuscheiden, die aus Materialien hergestellt sind, welche zum Implementieren dieser Einrichtungen benötigt werden. Zum Beispiel wird zunehmend die Verwendung von Titan in Herstellungsverfahren für integrierte Schaltkreise aufgenommen. Titan hat viele wünschenswerte Eigenschaften für die Verwendung in einer Halbleitereinrichtung. Titan kann als eine Diffusionsbarriere zwischen einer Goldbond-Anschlussfläche und einem Halbleiter wirken, um eine Migration einer atomaren Spezies in die nächste zu verhindern. Titan kann auch dazu verwendet werden, die Haftung zwischen zwei Schichten, wie beispielsweise zwischen Silizium und Aluminium, zu verbessern. Ferner kann die Verwendung von Titan, welches Titandisilizid (Silizid) bildet, wenn es mit Silizium legiert ist, z. B. die Bildung von ohmschen Kontakten ermöglichen. Ein herkömmlicher Typ eines Abscheidungssystems, das zur Abscheidung eines solchen Titanfilms verwendet wird, ist ein Titansputter-Abscheidungssystem, welches häufig für die Bildung von Einrichtungen mit höheren Behandlungs- und Herstellungsanforderungen nicht geeignet ist. Im

Speziellen kann ein Sputtern zu beschädigten Einrichtungen führen, welche an Funktionsproblemen leiden. Es kann auch sein, dass Titansputtersysteme nicht in der Lage sind, gleichförmige, konforme Schichten in Lücken mit hohem Seitenverhältnis abzuscheiden, und zwar aufgrund von Schatteneffekten, die beim Sputtern auftreten.

[0005] Im Gegensatz zu Sputtersystemen kann ein plasmaverstärktes chemisches Gasphasenabscheidungssystem (PECVD) zur Ausbildung eines Titanfilms auf Substraten mit Lücken mit hohem Seitenverhältnis geeigneter sein. Es ist allgemein bekannt, dass ein Plasma, welches ein Gemisch aus Ionen und Gasmolekülen ist, durch Aufbringen einer Energie, wie einer Hochfrequenz (HF)-Energie, an einem Behandlungsgas in der Abscheidungskammer unter geeigneten Bedingungen, z. B. Kammerdruck, Temperatur, HF-Leistung und anderen, ausgebildet wird. Das Plasma erreicht eine Schwellendichte, bei dem es einen kritischen Zustand bildet, der als Bilden einer Glimmentladung bekannt ist (häufig als "Anstoßen" oder "Zünden" des Plasmas bezeichnet wird). Diese HF-Energie hebt den Energiezustand der Moleküle in dem Behandlungsgas und bildet aus den Molekülen Ionenspezies. Sowohl die angeregten Moleküle als auch die Ionenspezies sind typischerweise reaktionsfähiger als das Behandlungsgas, so dass es wahrscheinlicher ist, dass diese den gewünschten Film ausbilden. In vorteilhafter Weise steigert das Plasma auch die Mobilität der reaktionsfähigen Spezies an der Oberfläche des Substrats, wenn sich der Titanfilm bildet, und führt zu Filmen, welche eine gute lückenfüllende Fähigkeit zeigen.

[0006] Herkömmliche PECVD-Systeme, welche Aluminium-Heizeinrichtungen verwenden, können jedoch einige Beschränkungen zeigen, wenn sie für bestimmte Verfahren verwendet werden, wie beim Ausbilden eines Titanfilms aus einer Gasphase von z. B. Titantetrachlorid ($TiCl_4$). Eine Aluminiumkorrosion, Temperaturbeschränkungen, eine unerwünschte Abscheidung und die Herstellungseffizienz sind einige der Probleme mit solchen herkömmlichen PECVD-Systemen, die verwendet werden können, um einen Film, wie beispielsweise aus Titan, abzuscheiden. In den beispielhaften Verfahren erzeugen Titantetrachlorid, welches bei Raumtemperatur eine Flüssigkeit ist, und ein Trägergas, wie Helium, das durch diese Flüssigkeit hindurch perlt, eine Gasphase, die zu einer Abscheidungskammer befördert werden kann. Ein solches Titan-PECVD-Verfahren kann eine Substrattemperatur von etwa 600°C benötigen, um eine Abscheidungsgeschwindigkeit von etwa 100 Å/min zu erreichen, was unzureichend sein kann, um einen guten Wafer-Durchsatz zu erreichen. Wenn jedoch das Titantetrachlorid dissoziiert, um den Titanfilm zu bilden, wird Chlor in die Kammer freigegeben. Insbesondere bildet das Plasma, welches die Titanfilmabscheidung verbessert, Chloratome und -ionen, die unerwünscht dazu neigen, Aluminium-Heizeinrichtungen und andere Teile der Kammer, wie beispielsweise die Frontplatte, unter diesen Bedingungen zu korrodieren. Die Aluminiumkorrosion kann auch zu Qualitätsverlusten bei der Behandlung in Bezug auf eine Metallverunreinigung in den Einrichtungen führen. Zudem ist die Verwendung eines PECVD-Systems mit einer Aluminium-Heizeinrichtung beschränkt auf einen Betrieb bei Temperaturen von weniger als etwa 480°C, was daher die Filmabscheidungsgeschwindigkeiten, die erreicht werden können, begrenzt. Aluminium ist ein ungeeignetes Material für Heizeinrichtungen, die bei einer hohen Temperatur arbeiten, weil bei einer Temperatur von mehr als etwa 480°C Aluminium-Heizeinrichtungen eine Erweichung zeigen, die möglicherweise zu einer Wölbung der Heizeinrichtung und/oder einer Beschädigung an derselben führen kann. Zusätzliche Probleme treten auf, wenn Aluminium-Heizeinrichtungen oberhalb von etwa 480°C bei Vorhandensein eines Plasmas verwendet werden. In einer solchen Umgebung kann das Aluminium zurück sputtern und das Substrat und die Kammerkomponenten verunreinigen. Ferner zeigen Aluminium-Heizeinrichtungen (und andere Teile der Kammer, wie die Frontplatte), welche sogar bei niedrigeren Temperaturen mit einigen der einigen Abscheidungsverfahren zugeordneten Spezies (wie beispielsweise die in einem Titanabscheidungsverfahren erzeugten Chlorverbindungen) inkompatibel sein können, einen stark erhöhten Angriff bei höheren Temperaturen. Die chemischen Spezies, wie beispielsweise Chlor, die in Trockenreinigungsverfahren verwendet werden, greifen die Aluminium-Heizeinrichtungen auch an. Bei Temperaturen von mehr als etwa 480°C können diese chemischen Spezies Aluminium-Heizeinrichtungen aggressiver angreifen und korrodieren als bei niedrigeren Temperaturen, wodurch die Betriebslebensdauer der Heizeinrichtung verringert wird und unerwünscht ein häufigerer Austausch der Heizeinrichtung erforderlich wird. Ein Austausch der Heizeinrichtung ist teuer, nicht nur wegen der Kosten der Heizeinrichtung, sondern auch deshalb, weil die produktive Nutzung der Ausscheidungskammer für den Zeitraum verloren ist, in welchem die Heizeinrichtung ausgetauscht wird. Während solcher Trockenreinigungsverfahren wird häufig ein Dummy-Wafer auf die Aluminium-Heizeinrichtung geladen, um zu versuchen, den Angriff auf die Heizeinrichtung zu minimieren. Das Be- und Entladen des Dummy-Wafers verbraucht jedoch Zeit und vermindert den Wafer-Durchsatz. Einige Dummy-Wafer, welche durch die Trockenreinigungschemikalien angegriffen werden, sind auch teuer und können einen regelmäßigen Austausch erforderlich machen, was die gesamten Wartungskosten erhöht.

[0007] Zusätzlich zu der Aluminiumkorrosion, der Erweichung der Heizeinrichtung und den Temperaturbegrenzungen beinhalten weitere Punkte bei Metallabscheidungen in einem PECVD-Behandlungssystem eine unerwünschte Metallabscheidung und herstellerbezogene Effizienzprobleme. Obwohl die größte Filmabscheidung im allgemeinen an Stellen

auftritt, an welchen die Temperatur am höchsten ist, wird selbst in Abwesenheit eines Plasmas eine gewisse Abscheidung bei geringeren Temperaturen auftreten. Unerwünschte Metallabscheidungen können vielfältige Probleme bewirken, wie eine unebene Abscheidung, einen Elektronenüberschlag, einen verschlechterten Betrieb von Kammerkomponenten und/oder Defekte an der Einrichtung. Neben dem Auftritt auf der Kammerwand und den Bodenflächen kann eine unerwünschte Metallabscheidung auf nicht leitenden Komponenten auftreten, wie keramischen Abstandhaltern und Auskleidungen innerhalb der Abscheidungskammer oder des Kammer-Abgasweges, welche dann leitend werden. Diese unerwünschte Abscheidung von Leitermetall kann die Form der Glimmentladung zerstören, was zu einer unebenen Abscheidung auf dem Substrat führt. Sie kann auch einen Elektronenüberschlag bewirken, welcher das Substrat und Teile der Kammer, wie die Frontplatte, beschädigen kann. Ferner kann sich Titan auf Teilen der Heizeinrichtung, in Gas- oder Vakuumöffnungen, aufbauen, so dass deren Durchströmung unerwünscht eingeschränkt wird, oder auf mechanischen Teilen mit engen Toleranzen, so dass deren Betriebsweise gestört wird. Unerwünschte Abscheidungen, die sich schwach mit der unterlagernden Kammerkomponente verbunden haben, oder die sich auf der Heizeinrichtung aufgebaut haben, können zu Schuppen und anderen Teilchen führen, die auf das Substrat fallen und auf dem Substrat Defekte verursachen, so dass die Substratausbeute verringert wird. Aus diesen und anderen Gründen muss die Kammer regelmäßig mit Trockenreinigungsverfahren, welche keine Öffnung der Kammer erfordern, und einem präventiven Wartungs-Reinigungsprodukt gereinigt werden, was eine wenigstens teilweise Demontage der Kammer und ein Abwischen derselben erforderlich macht. Die Kammer kann auf verschiedenen Wegen gereinigt werden. Ein "trockenes" Reinigungsverfahren kann ein reaktionsfähiges Gas oder reaktionsfähige Plasmaspezies verwenden, um unerwünschte Abscheidungen von den Kammerkomponenten weg zu ätzen, oder es kann Teilchen mit Plasmaspezies beschießen, um diese lose zu schlagen, so daß sie durch das Abgassystem weg bewegt werden können. Ein "nasses" Reinigungsverfahren kann zusätzlich oder als Alternative zu einer Trockenreinigung durchgeführt werden. Eine Nassreinigung beinhaltet typischerweise eine wenigstens teilweise Demontage der Kammer, welche dann mit Lösungsmitteln abgewischt wird.

[0008] Anschließend muss die Kammer wieder zusammen gebaut werden und kann "reifen gemacht" werden, das heißt, es müssen eine Anzahl von Abscheidungszyklen durchgeführt werden, bis reproduzierbare Schichten erhalten werden. Beide Vorgänge nehmen das Abscheidungssystem aus dem Produktionsbetrieb, was ineffizient und unökonomisch ist, wobei aber Nassreinigungsvorgänge üblicherweise den Durchsatz mehr als Trockenreinigungsvorgänge verändern. Deshalb ist es wünschenswert, ein effizientes Trockenreinigungsverfahren zu haben, um die Häufigkeit von Nassreinigungsvorgängen zu minimieren, so dass mehr Wafer zwischen Reinigungsvorgängen hergestellt werden können. Es ist auch wünschenswert, die Flächen in der Kammer, auf welchen unerwünschte Abscheidungen ausgebildet werden können, zu minimieren. In einigen Abscheidungsverfahren, insbesondere bei Metallabscheidungen, wie Wolfram oder Titan, wird die für die Reinigung der Kammer benötigte Zeit ein Hauptfaktor, der die Wafer-Ausgabemenge des Abscheidungssystems beeinflusst.

[0009] Obwohl keramische Heizeinrichtungen als eine Alternative gegenüber einer Verwendung von Aluminium-Heizeinrichtungen für Abscheidungssysteme, die bei oder oberhalb etwa 440°C arbeiten, vorgeschlagen wurden, bringt die Herstellung von keramischen Heizeinrichtungen und die Verwendung derselben in Abscheidungsverfahren mehrere Herausforderungen mit sich. Solche keramischen Heizeinrichtungen können bei Vorhandensein von Plasma und korrosiven Plasmaspezies, wie Chlorin enthaltende Spezies, die in einem Titan-PECVD-Verfahren und diesen zugeordneten Reinigungsverfahren gefunden werden, in vorteilhafter Weise verwendet werden. Keramische Heizeinrichtungen haben typischerweise ein elektrisches Heizelement innerhalb eines keramischen Heizergehäuses, das aus Materialien, wie Aluminiumoxid (Al_2O_3) oder Aluminiumnitrid (AIN) hergestellt ist, welches das Heizelement vor der korrosiven Umgebung der Abscheidungskammer schützt und gleichzeitig Wärme von dem Heizelement zum Substrat überträgt. Keramische Materialien, die typischerweise härter und spröder als Metalle sind, können schwer maschinell zu bearbeiten sein, so dass sie eine einfache mechanische Ausbildung erforderlich machen. Weil Keramik ein wenig spröde ist, kann Keramik aufgrund eines Thermoschocks zerspringen, falls diese wiederholt einem ausreichenden Wärmegradienten ausgesetzt wird. Ein Zerspringen kann sich auch von der unterschiedlichen Wärmeausdehnung beim Übergang von der keramischen Heizeinrichtungsanordnung zu einem Material mit einem unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeftizienten ergeben. Selbst das Verbinden keramischer Teile, die aus dem gleichen Material hergestellt sind, stellt eine Herausforderung dar, weil viele Montageverfahren und -einrichtungen, die zum Zusammenbauen von Metallteilen verwendet werden, wie Schweißen, Verbolzung, Löten und Verschrauben, unverhältnismäßig schwierig oder unzuverlässig sein können, wenn versucht wird, sie mit keramischen Teilen durchzuführen.

[0010] Im Lichte des Vorstehenden werden verbesserte Prozesse, Verfahren, Systeme und Vorrichtungen für eine effiziente plasmaverstärkte Abscheidung von Filmen in einer korrosiven Umgebung mit hoher Temperatur (wenigstens etwa 400°C) benötigt. Optimalerweise erfordern diese verbesserten Verfahren

und Systeme eine seltenere Kammerreinigung und führen zu einer höheren Substrat-Ausgabemenge. Diese Verfahren und Systeme sollten insbesondere so ausgebildet sein, dass sie mit den Behandlungsanforderungen zum Ausbilden von Einrichtungen mit hohem Seitenverhältnis kompatibel sind.

[0011] Das US Patent Nr. 5,173,327 offenbart ein Verfahren zum Abscheiden von Titan als Film auf einem Substrat, in dem ein Waferhalter erwärmt wird, die benötigen Gase zu einem Wafer auf dem Halter eingeleitet werden und ein HF-Plasma erzeugt wird, während ein konstanter Druck aufrecht erhalten wird und der Waferhalter bis zu einer Betriebstemperatur von 400°c erwärmt wird.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0012] Die vorliegende Erfindung liefert ein Verfahren zum Abscheiden einer Schicht auf einem Substrat, das auf einer Substratträgerfläche einer Heizeinrichtung in einer Substratbehandlungskammer angeordnet ist, wobei bei dem Verfahren die Temperatur der Heizeinrichtung auf eine erste Temperatur eingestellt wird, und sich das Verfahren durch die Schritte auszeichnet, dass die Temperatureinstellung für einen ersten Zeitraum aufrecht erhalten wird, dass die Kammer auf einem Druck zwischen etwa 133,3 bis 1333 Pa gehalten wird und dass danach Gase in die Kammer eingeführt werden, ein Plasma aus den Gasen gebildet wird, und die Temperatur der Heizeinrichtung auf eine zweite Temperatur eingestellt wird, die aufrecht erhalten wird, während die Schicht auf dem Substrat abgeschieden wird, wobei die zweite Temperatur niedriger ist als die erste Temperatur.

[0013] Die vorliegende Erfindung liefert ferner ein Substratbehandlungssystem mit einer Kammer mit einem Kammervolumen, mit einem Gaszuführsystem, das ein Vielzahl von Gasquellen aufweist, wobei wenigstens eine der Vielzahl von Gasquellen, die ein Quellengas liefert, eine Kammer mit einem Kammervolumen aufweist; mit einem Gaszuführsystem, das eine Vielzahl von Gasquellen aufweist, von denen wenigstens eine zum Zuführen eines Quellengases angeordnet ist, das ein Metall oder Halogen aufweist, wobei das Gaszuführsystem im Einsatz das Quellengas mit einem Mengenstrom zur Verwendung in der Kammer zuführt, mit einem Heizsystem, welches einen Heizsockel aufweist, der eine Oberfläche hat, die ein Substrat tragen kann, wobei der Heizsockel eine Heizanordnung aufweist, die in der Lage ist, die Temperatur durch Widerstandbeheizung auf wenigstens etwa 400°C in einem Plasma mit halogenierten Spezies zu bringen, mit einem Plasmasystem, das in der Lage ist, ein Plasma in der Kammer auszubilden, und mit einem Vakuumsystem, das mit der Kammer zur Steuerung des Abgases aus der Kammer verbunden ist und gekennzeichnet ist durch eine Steuersystem mit einem Prozessor und einem Speicher, der ein computerlesbares Medium mit einer computerlesbaren Programmausgestaltung zur Leitung des Betriebs der Abscheidevorrichtung hat, die mit dem Prozessor gekoppelt ist, wobei das computerlesbare Programm aufweist

(i) einen ersten Satz von Instruktionen zum Steuern des Heizsystems, um den Heizsockel auf eine erste Temperatur zu erhitzen und auf der ersten Temperatur zu halten,

(ii) eine zweiten Satz von Instruktionen zum Steuern des Gaszuführsystems, um das Quellengas mit einem ersten Mengenstrom und dann mit einem zweiten Mengenstrom zuzuführen, wobei der zweite Mengenstrom größer ist als der erste Mengenstrom, wodurch ein Thermoschock an der Heizanordnung reduziert wird, und

(iii) einen dritten Satz von Instruktionen für das Steuern des Vakuumsystems, um die Gasabführung aus der Kammer zu steuern, wobei die Kammer, wenn sie sich im Einsatz befindet, auf einem Druck zwischen 133 Pa und 1333 Pa (1 bis 10 torr) gehalten wird, indem das Gaszuführsystem so gesteuert wird, dass das Quellengas bei dem zweiten Mengenstrom abgegeben wird, der um etwa das Zweifache des Kammervolumen pro Minute größer ist.

[0014] Die vorliegende Erfindung liefert vorzugsweise Verfahren und Systeme für die Behandlung von Substraten in einer Kammer zur plasmaverstärkten chemischen Gasphasenabscheidung (PECVD) bei hoher Temperatur (wenigstens 400°C). Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung umfassen ein PECVD-System zum Abscheiden eines Films aus Titan aus einem Gemisch einer Gasphase von Titantetrachlorid und Wasserstoffgas.

[0015] In Übereinstimmung mit einer bevorzugten Ausführungsform wird ein System zum Behandeln von Substraten bereit gestellt, das eine Kammer, ein Gaszuführsystem, ein Steuersystem, einschließlich eines Prozessors und eines Speichers, einen Heizsockel, welcher das Substrat trägt und erhitzt, ein Plasmasystem und ein Vakuumsystem umfasst. Das Gaszuführsystem umfasst mehrere Gasquellen, von denen wenigstens eine ein Quellengas zuführt, das ein Metall und ein Halogen enthält. Der Heizsockel kann das Substrat auf eine Temperatur von wenigstens etwa 400°C in einer Umgebung von chlorinierter Plasmaspezies erhitzen; und der Heizsockel umfasst auch eine HF-Fläche unterhalb des Substratsitzes.

[0016] In Übereinstimmung mit einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des Systems der vorliegenden Erfindung wird eine Heizanordnung bereitgestellt, die für die Verwendung in einer Umgebung aus korrosiver Plasmaspezies und bei Vorhandensein eines Plasmas bei Temperaturen oberhalb etwa 400°c geeignet ist. Die Heizanordnung umfasst eine HF-Elektrode und eine perforierte Metallplatte, ein Heizelement aus einem Metallband und einen keramischen Heizsockel mit einem Keramikgehäuse und einem mit Flansch versehenen Keramikstumpf, der mit dem Keramikgehäuse verbunden ist. Das Kera-

mikgehäuse hat ein obere Oberfläche zum Abstützen eines Substrat, und der mit Flansch versehene Keramikstumpf hat eine bodenseitige Oberfläche. Die HF-Elektrode ist in dem Keramikgehäuse in einem ersten Abstand unterhalb der oberen Oberfläche angeordnet, und das Heizelement ist in dem Keramikgehäuse in einem zweiten Abstand unterhalb der HF-Elektrode angeordnet. In dem mit Flansch versehenen Keramikstumpf ist eine erste Ausnehmung, eine zweite Ausnehmung und eine dritte Ausnehmung ausgebildet. Die Heizanordnung umfasst auch einen ersten Leiter zum Anschluss an die HF-Elektrode, wobei der erste Leiter durch die erste Ausnehmung hindurch gelegt ist und von der Bodenoberfläche des mit einem Flansch versehenen Keramikstumpfes vorsteht, und einen zweiten Leiter und einen dritten Leiter zum Anschluss an die Heizelektrode, wobei der zweite und der dritte Leiter durch die zweite und die dritte Ausnehmung hindurch gelegt sind und von der Bodenoberfläche des mit einem Flansch versehenen Keramikstumpfes vorstehen.

[0017] Diese und weitere Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung, sowie ihre Vorteile und Merkmale sind detaillierter in Verbindung mit dem Text unten und den beigefügten Figuren beschrieben.

[0018] **Fig.** 1A ist ein Blockdiagramm einer Ausführungsform eines Abscheidungssystems gemäß der vorliegenden Erfindung, einschließlich einer vereinfachten Schnittansicht der Abscheidungskammer;

[0019] **Fig.** 1B zeigt eine Schnittstelle zwischen einem Benutzer und einem Prozessor, die das Abscheidungssystem der vorliegenden Erfindung steuern kann;

[0020] **Fig.** 2 ist eine vereinfachte Schnittansicht der Abscheidungskammer gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0021] **Fig.** 3 zeigt eine vereinfachte, teilweise angeschnittene perspektivische Ansicht der Gasströmung über einen Wafer und in das Abgassystem eines Systems gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0022] **Fig.** 4A bis 4E zeigen verschiedene Ausführungsformen von Strömungs-Drosselringen in Bezug zu Wärmeschutzschilden und keramischen Auskleidungen;

[0023] **Fig.** 5 zeigt ein beispielhaftes Blockdiagramm der hierarchischen Steuerstruktur der System-Steuersoftware gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0024] **Fig.** 6 zeigt eine Schnittansicht des keramischen Sockels, der mit einem Metall-Stützschaft für eine Heizanordnung eines Systems gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gekoppelt ist;

[0025] **Fig.** 7A zeigt eine vereinfachte Explosionsdarstellung der in **Fig.** 6 gezeigten Heizanordnung;

[0026] **Fig.** 7B ist eine Aufsicht auf eine HF-Fläche in der Heizanordnung;

[0027] **Fig.** 7C ist eine teilweise vereinfachte Aufsicht auf eine Flachband-Heizelement in der Heizanordnung;

[0028] **Fig.** 8 zeigt eine Schnittansicht eines Keramiksockels einer Heizanordnung mit einem langen keramischen Stützschaft, der für die Verwendung mit einem Reinigungsgas abgedichtet ist;

[0029] **Fig.** 9 zeigt eine vereinfachte Schnittansicht von Einzelheiten der elektrischen Anschlüsse an die HF-Fläche und an das Heizelement innerhalb der Heizanordnung;

[0030] **Fig.** 10 zeigt eine vereinfachte Schnittansicht einer Kupplung, welche eine wärmegedrosselte Kupplung und Klemme umfasst;

[0031] **Fig.** 11 zeigt eine vereinfachte isometrische Ansicht einer Form einer geeigneten wärmegedrosselten Kupplung;

[0032] **Fig.** 12 zeigt eine vereinfachte Explosionsansicht im Schnitt, welche eine Beziehung zwischen dem Stützschaft, der wärmegedrosselten Kupplung mit oberer Klemme und einer Heizanordnung zeigt;

[0033] **Fig.** 13 zeigt eine vereinfachte Schnittansicht einer Sockelschraube und eines Abdeckstopfens;

[0034] **Fig.** 14 ist ein vereinfachtes Diagramm einer bodenseitig mit Leistung versorgten HF-Fläche innerhalb einer Heizanordnung;

[0035] **Fig.** 15 ist ein vereinfachtes Diagramm eines HF-Systems;

[0036] **Fig.** 16A zeigt eine vereinfachte Explosionsansicht der inneren Deckelanordnung für eine Reaktorkammer eines Systems gemäß der Erfindung;

[0037] **Fig.** 16B ist ein vereinfachtes Detail, teilweise im Schnitt, des Brausekopfes und Wärmetauscherdurchgangs des Systems;

[0038] **Fig.** 17 zeigt eine vereinfachte Schnittansicht einer durch ein Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellte Einrichtung;

[0039] **Fig.** 18 ist eine vereinfachte Schnittansicht eines Kontakts in einer durch ein Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellten Einrichtung;

[0040] **Fig.** 19 ist ein Flussdiagramm einer Verfahrenssequenz, die mit einer Ausführungsform der Erfindung verwendet werden kann;

[0041] **Fig.** 20 zeigt Testergebnisse der Temperaturgleichförmigkeit des Heizsockels;

[0042] **Fig.** 21 ist eine graphische Darstellung der Abscheidungsgeschwindigkeit einer Titanschicht gegen ein $TiCl_4$ Gasphasen-Druckverhältnisses unter ansonsten gleichen Abscheidungsbedingungen.

1. CVD-Reaktorsystem

A. Überblick eines beispielhaften CVD-Reaktors

[0043] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind Systeme und Verfahren, die zum Abscheiden von Filmen (wie einem Titanfilm) in einer korrosiven Plasmaumgebung bei Temperaturen von höher als etwa 400°C verwendet werden. Natürlich können solche Systeme und Verfahren, wie sie unten be-

schrieben werden, auch verwendet werden, um andere Filme abzuscheiden, wie beispielsweise Titansilizid, Titannitrid, Bariumstrontiumtitanat (BST), Bleizirkonattitanat (PCT), Polysilizium, Metallsilizide, Metallnitridbarrieren, wie Wolframnitrid, oder andere Filme, zusätzlich zu einem Titanfilm. Solche Filme können verwendet werden, um Metallschichten, Haftschichten, Durchgangskontakte oder andere Schichten auszubilden.

[0044] Mit Bezug auf **Fig.** 1A umfasst das CVD-System **10** eine Reaktor- oder Abscheidungskammer **30**, welche Gase aus einem Gaszuführsystem **89** über Gasleitungen **92A–C** (weitere Leitungen können vorhanden sein, sind aber nicht gezeigt) erhält. Ein Vakuumsystem **88** wird dazu verwendet, in der Kammer einen spezifischen Druck aufrecht zu erhalten, und entfernt gasförmige Nebenprodukte und verbrauchte Gase aus der Kammer. Eine HF-Leistungsversorgungseinheit **5** liefert eine Hochfrequenzleistung an die Kammer für plasmaverstärkte Verfahren. Ein Flüssigkeit-Wärmeaustauschsystem **6** verwendet ein flüssiges Wärmeaustauschmedium, wie Wasser oder ein Wasser/Glycol-Gemisch, um Wärme aus der Reaktorkammer abzuführen und bestimmte Bereiche der Kammer zum Zwecke stabiler Verfahrenstemperaturen auf einer geeigneten Temperatur zu halten. Ein Prozessor **85** steuert den Betrieb der Kammer und Untersysteme über Steuerleitungen **3**, **3A** bis **D** (von denen nur einige gezeigt sind) gemäß Instruktionen, die in einem Speicher **86** gespeichert sind.

[0045] Der Prozessor **85** führt eine System-Steuersoftware aus, welche ein Computerprogramm ist, das in einem mit dem Prozessor **85** gekoppelten Speicher **86** gespeichert ist. Vorzugsweise kann der Speicher **86** ein Festplattenlaufwerk sein, natürlich kann der Speicher **86** aber von anderer Speicherart sein. Zusätzlich zu einem Festplattenlaufwerk (z. B. Speicher **86**) umfasst die CVD-Vorrichtung **10** in einer bevorzugten Ausführungsform ein Diskettenlaufwerk und einen Kartensteckplatz. Der Prozessor **85** arbeitet unter der Steuerung der Systemsteuersoftware, welche Sätze von Instruktionen enthält, die den Zeitablauf, das Gemisch der Gase, den Gasstrom, den Kammerdruck, die Kammertemperatur, die HF-Leistungspegel, die Position des Heizsockels, die Heiztemperatur und andere Parameter eines speziellen Verfahrens diktieren. Weitere Computerprogramme, wie solche, die auf einem Speicherelement gespeichert sind, einschließlich z. B. einer Diskette oder einem anderen Computerprogrammprodukt, das in ein Diskettenlaufwerk oder in ein anderes geeignetes Laufwerk eingeführt ist, können auch verwendet werden, um den Prozessor **85** zu betreiben. Die Systemsteuerungssoftware wird unten im Detail beschrieben. Der Kartensteckplatz enthält einen Einkartencomputer, eine digitale und eine analoge Eingang/Ausgang-Karte, Schnittstellenkarten und Schrittmotor-Steuerkarten. Verschiedene Teile der CVD-Vorrichtung **10** stimmen mit dem Versa Modular European (VME) Standard überein, welcher Platten-, Kartengehäuse- und Verbinderabmessungen und -typen definiert. Der VME-Standard definiert auch die Busstruktur, die einen 16-Bit Datenbus und einen 24-Bit Adressbus aufweist.

[0046] Die Schnittstelle zwischen einem Benutzer und einem Prozessor **85** erfolgt über einen CRT-Monitor **93a** und einen Leuchtstift **93b**, in **Fig.** 1B gezeigt, welche ein vereinfachtes Diagramm des Systemmonitors und der CVD-Vorrichtung **10** ist und als eine der Kammern in einem Mehrkammersystem dargestellt ist. Die CVD-Vorrichtung **10** ist vorzugsweise an einer Zentraleinheit **95** angebracht, welche elektrische gas- und wasserversorgende und andere unterstützende Funktionen für die Vorrichtung **10** enthält und bereit stellt. Beispielhafte Zentraleinheiten, die mit der dargestellten Ausführungsform der CVD-Vorrichtung **10** kompatibel sind, sind gegenwärtig im Handel von Applied Materials, Inc. aus Santa Clara, California, als Precision 5000™ und Centura 5200™ erhältlich. Das Mehrkammersystem hat die Fähigkeit, einen Wafer zwischen seinen Kammern zu überführen, ohne das Vakuum zu brechen und ohne den Wafer der Feuchtigkeit und anderen Verunreinigungen außerhalb des Mehrkammersystems auszusetzen. Ein Vorteil des Mehrkammersystems besteht darin, dass unterschiedliche Kammern in dem Mehrkammersystem für unterschiedliche Zwecke in dem gesamten Verfahren verwendet werden können. Zum Beispiel kann eine Kammer zur Abscheidung eines Metallfilms verwendet werden, kann eine weitere für eine schnelle Wärmebehandlung verwendet werden und kann noch eine weitere zum Abscheiden einer antireflektierenden Schicht verwendet werden. Das Verfahren kann ohne Unterbrechung innerhalb des Mehrkammersystems fortgeführt werden, wodurch eine Verunreinigung von Wafern verhindert wird, die häufig auftritt, wenn Wafer zwischen verschiedenen separaten Einzelkammern (nicht in einem Mehrkammersystem) für unterschiedliche Teile eines Verfahrens überführt werden.

[0047] In der bevorzugten Ausführungsform werden zwei Monitore **93a** verwendet, von denen einer in der Reinraumwand für die Bediener angebracht ist und der andere hinter der Wand für die Servicetechniker. Beide Monitore **93a** zeigen gleichzeitig die gleich Information an, aber nur ein Leuchtstift **93b** ist frei gegeben. Der Leuchtstift **93b** erfasst ein durch die CRT-Anzeige emittiertes Licht mit einem Lichtsensor in der Spitze des Stiftes. Um ein spezielles Schirmbild oder eine Funktion auszuwählen, berührt der Bediener eine bezeichnete Fläche des Anzeigeschirmes und drückt den Knopf auf dem Stift **93b**. Die berührte Fläche verändert ihre hervor gehobene Farbe, oder ein neues Menü oder Schirmbild wird angezeigt, was die Kommunikation zwischen dem Leuchtstift und dem Anzeigeschirm bestätigt. Natürlich können andere Einrichtungen, wie eine Tastatur, eine Maus oder eine andere Zeige- oder Kommunikationseinrichtung statt eines Leuchtstiftes **93b** oder zusätzlich dazu verwendet werden, um dem Benutzer zu erlau-

ben, mit dem Prozessor **85** zu kommunizieren.

[0048] Wieder auf **Fig.** 1A Bezug nehmend, umfasst das Gaszuführsystem **89** eine Gasversorgungskonsole **90** und Gas- oder Flüssigkeits- oder Feststoffquellen **91A** bis **C** (zusätzliche Quellen können bedarfsweise hinzu gefügt werden), die Gase oder Flüssigkeiten (wie $TiCl_4$) enthalten oder Feststoffe (wie TiI_3), die in Abhängigkeit von den gewünschten Verfahren, die für eine spezielle Anwendung verwendet werden, variieren können. Im allgemeinen umfasst die Versorgungsleitung für jedes der Behandlungsgase ein Absperrventil (nicht gezeigt), das dazu verwendet werden kann, den Strom des Behandlungsgases automatisch oder manuell abzuschalten, sowie einen Massendurchsatzregler (nicht gezeigt), der den Strom eines Gases oder einer Flüssigkeit durch jede der Zuführleitungen hindurch misst. Der Mengenstrom, mit welchem die Behandlungs- und Trägergase (einschließlich z. B. Titantetrachlorid ($TiCl_4$) in Gasphase, Helium (He), Argon und Stickstoff (N_2) und/oder andere Dotierstoff- oder Reaktionsteilnehmerquellen, der Reaktionskammer **30** zugeführt werden, wird auch durch Flüssigkeits- oder Gas-Massendurchsatzregler (MFCs) (nicht gezeigt) auf Temperaturbasis und/oder durch Ventile (nicht gezeigt) gesteuert. Natürlich ist erkannt, dass weitere Verbindungen als Abzeigt) gesteuert. Natürlich ist erkannt, dass weitere Verbindungen als Abscheidungs- und Reinigungsquellen verwendet werden können. In alternativen Ausführungsformen kann der Mengenstrom, mit welchem die Behandlungs- und Trägergase der Reaktionskammer **30** zugeführt werden, auch durch eine feste oder variable Öffnung auf Druckbasis gesteuert werden. Wenn toxische Gase (z. B. Ozon oder halogeniertes Gas) in dem Verfahren verwendet werden, können die verschiedenen Absperrventile auf jeder Gaszuführleitung in herkömmlichen Ausbildungen positioniert sein. Die Gasversorgungskonsole **90** weist ein Mischsystem auf, welches die Abscheidungsbehandlungs- und Trägergase (oder verdampften Flüssigkeiten) von den Quellen **91A** bis **C** zur Mischung erhält und diese über Versorgungsleitungen **92A** bis **C** zu einem zentralen Gaseinlass **44** in einer Gaszuführung-Abdeckplatte **45** schickt. In der spezifischen Ausführungsform kann das Mischsystem, der Eingangsverteiler zum Mischsystem und der Ausgangsverteiler vom Mischsystem zum zentralen Einlass **44** aus Nickel oder aus einem Material wie Aluminiumoxid mit Nickelauflage hergestellt sein.

[0049] Wenn eine Flüssigkeitsquelle verwendet wird, gibt es viele unterschiedliche Wege, ein Quellengas unter Verwendung einer Flüssigkeitsquelle in ein CVD-System einzuführen. Ein Weg ist, die Flüssigkeit in einer Ampulle einzuschließen und zu erhitzen, so dass der Dampfdruck einen stabilen Strom der in Gasphase gebrachten Quelle liefert, der für das Abscheidungsverfahren ausreicht. Die Ampulle ist typischerweise mit der Flüssigkeit nicht ganz gefüllt, sondern hat über der Flüssigkeit einen "Luftraum", der als Dampfreservoir wirkt. Weil der Dampfdruck von der Temperatur der Flüssigkeit abhängig ist, ist eine genaue Temperatursteuerung der Flüssigkeitsquelle wichtig. Es kann ein Massendurchsatzregler (MFC) verwendet werden, um die Ausgabe des Quellengases an die Kammer zu steuern.

[0050] Ein weiterer Weg, ein Quellengas unter Verwendung einer Flüssigkeitsquelle einzuführen, ist, ein Trägergas, wie Helium, durch die Flüssigkeit hindurch perlen zu lassen. Das Trägergas erzeugt über der Flüssigkeit einen Kopfdruck und trägt den Dampf stromabwärts in die Kammer. Die Flüssigkeit kann temperaturgesteuert werden, um einen konstanten Dampf-Partialdruck aufrecht zu erhalten. Es ist wünschenswert, die Flüssigkeit auf oberhalb der höchsten erwarteten Temperatur der Umgebung, in welcher die Ampulle angeordnet ist, zu erhitzen, so dass unter Verwendung nur einer Heizeinrichtung eine konstante Temperatur aufrecht erhalten werden kann. Wie oben diskutiert wurde, kann ein MFC verwendet werden, um das Trägergas/Dampfgemisch zur Kammer zu befördern. Als eine Alternative zur Verwendung eines MFC, welcher nach dem Prinzip einer thermischen Massenüberführung arbeitet und typischerweise für ein spezielles Gas kalibriert ist, kann eine druckregulierende Einrichtung verwendet werden, um die Ausgabe der Gasquelle an die Kammer zu steuern. Eine solche Einrichtung ist eine Öffnung oder Mündung, die so wirkt, dass sie den Gasdurchsatz drosselt und somit erlaubt, dass ein höherer Druck auf einer Seite der Öffnung als auf der anderen aufrecht erhalten werden kann. Durch Steuern des Kammer (Ausgang)-Drucks, des Perlenbildner-Gasdurchsatzes und der Flüssigkeitstemperatur kann eine festgelegte Öffnung einen konstanten Druck über der Flüssigkeit und somit eine konstante Dampfkonzentration in dem Quellengas aufrecht erhalten. Als eine Variation dieser Technik kann eine zusätzliche Gasquelle, wie Argon, das relativ kleine Gasvolumina zu dem Luftraum über der Flüssigkeit beiträgt, genutzt werden, um den Kopfdruck trotz anderer Änderungen, wie z. B. der Temperatur der Flüssigkeit, beizubehalten. Dieses Druckgas kann mit Quellen verwendet werden, die entweder einen MFC oder eine Öffnung am Quellenausgang aufweisen.

[0051] In anderen Ausführungsformen kann das Gasmischsystem ein Flüssigkeits-Injektionssystem umfassen, um ein Quellengas von einer verdampften Flüssigkeitsquelle in der Kammer bereit zu stellen. Ein Flüssigkeits-Injektionssystem verdampft eine gemessene Menge einer Flüssigkeit in einen Trägergasstrom. Da dieser Systemtyp nicht abhängig ist von dem Dampfdruck der für den Vorgang vorgesehenen Flüssigkeit, muss die Flüssigkeit nicht erhitzt werden. Ein Flüssigkeits-Injektionssystem wird in einigen Fällen bevorzugt, da dieses eine bessere Steuerung des Volumens der Reaktionsteilnehmerflüssigkeit, die in das Gasmischsystem eingeführt wird, im Vergleich zu Perlbildnerquellen liefert.

[0052] Das Flüssigkeit-Wärmeaustauschsystem **6** liefert eine Flüssigkeit zu verschiedenen Komponen-

ten der Kammer **30**, um diese Komponenten während der Hochtemperaturbehandlung auf einer geeigneten Temperatur zu halten. Dieses System **6** wirkt dahin gehend, die Temperatur einiger dieser Kammerkomponenten zu vermindern, um eine unerwünschte Abscheidung auf diesen Komponenten aufgrund der Hochtemperaturverfahren zu minimieren. Wie in **Fig.** 1A zu sehen ist, erlauben Wärmeaustauschdurchgänge **79** innerhalb der Gaszuführung-Abdeckplatte **45** der Wärmetauscherflüssigkeit, durch die Gaszuführung-Abdeckplatte **45** hindurch zu zirkulieren, um so die Temperatur der Gaszuführung-Abdeckplatte **45** und angrenzender Komponenten zu halten. Das Flüssigkeit-Wärmeaustauschsystem **6** umfasst Verbindung (nicht gezeigt), welche die Flüssigkeit (wie Wasser) durch einen Verteiler (nicht gezeigt) für die Wärmetauscherflüssigkeit hindurch führen, um die Flüssigkeit an das Gasverteilungssystem mit der Frontplatte **40** zu liefern (wird unten diskutiert). Ein Wasserstromdetektor erfasst den Wasserstrom von einem Wärmetauscher (nicht gezeigt) zur Gehäuseanordnung.

[0053] **Fig.** 2 ist eine Schnittansicht, welche zusätzliche Merkmale der Kammer **30** zeigt. Ein durch eine Widerstandsbeheizung geheizter Sockel **32** trägt einen Wafer **36** in einer Wafertasche **34**. Der Sockel **32** kann zwischen Behandlungspositionen (z. B. wie in **Fig.** 2 gezeigt) und einer unteren Beladeposition vertikal bewegt werden, und zwar unter Verwendung eines selbst einstellenden Hebelmechanismus, der im Detail beschrieben ist in der allgemein übertragenen US Patentanmeldung Nr. 08/738,240 (eingereicht am 25. Oktober 1996 mit den Erfindern Leonid Selyutin und Jun Zhao) unter der Bezeichnung "Self-Aligning Lift Mechanism". Hebestifte **38** sind innerhalb des Sockels **32** gleitfähig angeordnet, werden aber durch konische Köpfe auf ihren oberen Enden an einem Herausfallen gehindert. Die unteren Enden der Hebestifte **38** können mit einem vertikal bewegbaren Hebering **39** in Eingriff stehen und können so über die Oberfläche des Sockels hinaus angehoben werden. Mit dem Sockel **32** in der unteren Ladeposition (leicht tiefer als eine Öffnung **56**), überführt eine (nicht gezeigte) Roboterklinge in Kooperation mit dem Hebestiften und dem Hebering den Wafer **36** durch die Öffnung **56**, die vakuumversiegelt sein kann, um den Fluss des Gases in oder aus der Kammer durch die Öffnung **56** zu verhindern, in die Kammer oder aus dieser heraus. Hebestifte **38** heben einen (nicht gezeigten) eingeschobenen Wafer von der Roboterklinge, und dann hebt sich der Sockel, um den Wafer von den Hebestiften auf die Wafertasche auf der oberen Oberfläche des Sockels zu heben. Eine geeignete Roboterüberführungseinrichtung ist im allgemein übertragenen US-Patent 4,951,601, das an Maydan erteilt wurde, beschrieben.

[0054] Durch die Verwendung des selbst ausrichtenden Hebemechanismus hebt der Sockel **32** den Wafer **36** weiter in die Behandlungsposition, die sich in großer Nähe zu einer Gasverteilungsfrontplatte (nachfolgend "Brauseplatte") **40** befindet. Das Prozessgas wird in den Reaktor **30** durch einen zentralen Gaseinlass **44** in einer Gaszuführ-Abdeckplatte **45** in einen ersten scheibenförmigen Raum **48** injiziert und dann durch Kanäle **51** in einer Prallplatte (oder Gasblockierplatte) **62** in einen zweiten scheibenförmigen Raum **54** zum Brausekopf **40**. Der Brausekopf **40** umfasst eine große Anzahl von Löchern oder Kanälen **42** für das Ausstoßen des Prozessgases in die Behandlungszone **58**.

[0055] Wie durch die Pfeile gezeigt ist, spritzt das Prozessgas von den Löchern **42** im Brausekopf **40** in die Behandlungszone **58** zwischen dem Brausekopf und dem Sockel, um so an der Oberfläche des Wafers **36** zu reagieren. Das Prozessgas fließt dann radial nach außen über den Rand **36** und einen Strömungsdrosselring **46** (der unten detaillierter beschrieben wird), der auf dem oberen Umfang des Sockels **32** angeordnet ist, wenn sich der Sockel **32** in der Behandlungsposition befindet. Von dort fließt das Prozessgas durch eine Drosselöffnung **50**, die zwischen dem Boden eines ringförmigen Isolators **52** und dem oberen Teil der Kammerwandauskleidungsvorrichtung **53** ausgeformt ist, in den Pumpkanal **60**. Nach dem Eintritt in den Pumpkanal **60** wird das Abgas um den Umfang der Behandlungskammer geführt, um durch die Vakuumpumpe **82** evakuiert zu werden. Der Pumpkanal **60** ist durch die Abgasöffnung **74** mit einem Pumpverteilkanal **76** verbunden. Wie unten detaillierter diskutiert wird, beschränkt die Abgasöffnung **74** den Fluss zwischen dem Pumpkanal und dem Pumpverteilkanal. Das Ventil **78** führt das Abgas durch die Abgasentlüftung **80** zu einer Vakuumpumpe **82**. Ein Drosselventil **83** wird durch die (in dieser Ansicht nicht gezeigte) Systemsteuerung gemäß einem Drucksteuerprogramm, das in einem (nicht gezeigten) Speicher gespeichert ist, das ein gemessenes Signal von einem (nicht gezeigten) Drucksensor, wie einem Manometer, mit einem gewünschten Wert, der im Speicher gespeichert ist, oder der während des Steuerprogramms erzeugt wird, vergleicht, gesteuert.

[0056] Die Seiten des ringförmigen Pumpkanals **60** werden allgemein durch einen keramischen Ring **64**, eine Kammerdeckelauskleidung **70**, eine Kammerwandauskleidung **72** und einen Isolator **52** gebildet. Keramische Kammerauskleidungen sind an sich bekannt, wie das beispielsweise im allgemein übertragenen US-Patent 5,366,585, das an Robertson et al. erteilt wurde, beschrieben ist.

[0057] Die Kammerdeckelauskleidung **70** ist auf der Seite des Pumpkanals **60**, die zu einem Deckelrand **66** zeigt, platziert und passt sich der Form des Deckels an. Die Kammerwandauskleidung **72** ist auf der Seite des Pumpkanals **60**, der zum Hauptkammerkörper **11** zeigt, platziert. Beide Auskleidungen sind vorzugsweise aus einem Metall, wie Aluminium, hergestellt, und sie können glasgestrahlt werden, um die Anhaftung eines auf ihnen abgeschiedenen Films zu erhöhen. Die Deckel- und Wandkammerauskleidun-

gen **70** und **72** sind größenmäßig als ein Satz ausgebildet. Die Kammerdeckelauskleidung **70** ist abnehmbar am Deckelrand **66** durch eine Vielzahl von Stiften **75A** befestigt, die ebenso die Deckelauskleidung elektrisch mit dem Deckelrand verbinden. Die Kammerwandauskleidung **72** ist jedoch auf einer Leiste **65**, die oben außen auf dem Keramikring **64** ausgebildet ist, abgestützt, und sie ist präzise so geformt, dass sie einen solchen Durchmesser aufweist, dass eine radiale Lücke **73** zwischen der Kammerwandauskleidung **72** und dem Hauptkammerkörper **11** ausgebildet wird, und so dass eine axiale Lücke **75A** zwischen dem Deckel und den Kammerauskleidungen ausgebildet wird. Eine Drosselöffnung **50**, die vollständig (ohne Unterbrechung) ringförmig ist, ist zwischen dem Isolator **52** und dem Strömungsdrosselring **46** ausgebildet.

[0058] Die Drosselöffnung **50** weist eine wesentlich geringere Breite als die Tiefe der Behandlungszone **58** zwischen dem Brausekopf **40** und dem Wafer **36** auf, und sie ist wesentlich kleiner als die minimalen seitlichen Abmessungen des Umfangspumpkanals **60**, beispielsweise mindestens um einen Faktor von fünf. Die Breite der Drosselöffnung **50** wird klein genug und ihre Länge wird lang genug gemacht, um einen ausreichenden aerodynamischen Widerstand beim Betriebsdruck und dem Gasfluss zu schaffen, so dass der Druckabfall über der Drosselöffnung **50** wesentlich größer als jeder Druckabfall über dem Radius des Wafers oder um den Umfang des ringförmigen Pumpkanals ist. In der Praxis ist es nicht untypisch, dass die Drosselöffnung **50** eine ausreichende aerodynamische Impedanz einführt, so dass der Druckabfall von der Mitte des Wafers zum Pumpkanal nicht mehr als 10% des umfangsmäßigen Druckabfalls innerhalb des Pumpkanals beträgt. Die beschränkte Abgasöffnung führt eine Funktion aus, die ähnlich der Drosselöffnung ist, indem sie eine aerodynamische Impedanz schafft, die einen nahezu gleichförmigen Druck um den umfangsmäßig verlaufenden Pumpkanal **60** schafft.

[0059] Motoren und optische Sensoren (nicht gezeigt) werden verwendet, um die Position beweglicher mechanischer Einrichtungen, wie des Drosselventils **83** und des Sockels **32**, zu bewegen und zu bestimmen. Faltenbalge (nicht gezeigt), die am Boden des Sockels **32** und dem Kammerkörper **11** befestigt sind, bilden eine bewegliche gasdichte Abdichtung um den Sockel. Das Sockelhebesystem, die Motoren, der Schieber, das Plasmasystem, das ein optionales entferntes Plasmasystem **4** einschließen kann (das verwendet werden kann, um eine Kammerreinigungsmöglichkeit unter Verwendung eines entfernten Plasmas, das beispielsweise unter Verwendung einer Mikrowellenquelle ausgebildet wird, zu liefern), und andere Systemkomponente werden durch den Prozessor **85** über Steuerleitungen **3** und **3A–D**, von denen einige gezeigt sind, gesteuert.

[0060] **Fig.** 3 ist eine vereinfachte, teilweise geschnittene perspektivische Ansicht des Sockels **32**, der Auskleidungen **70** und **72**, des Isolators **52**, des Rings **64** und des Pumpkanals **60**. Diese Figur zeigt den Fluss des Prozessgases aus den Düsen **42** im Brausekopf **40** zum Wafer **36** und dann den radial nach außen gerichteten Fluss **84** über den Wafer **36**. Danach wird der Gasfluss nach oben über die Oberseite des Drosselrings **46** in den Pumpkanal **60** abgelenkt. Im Pumpkanal **60** fließt das Gas entlang dem Umfangsweg **86** zur Vakuumpumpe.

[0061] Pumpkanal **60** und seine Komponente sind gestaltet, um die Wirkungen einer unerwünschten Filmabscheidung zu minimieren, indem sie das Prozessgas und seine Nebenprodukte in das Abgassystem lenken. Ein Versuch, unerwünschte Abscheidungen zu reduzieren, verwendet ein Spülgas, um kritische Gebiete, wie die Keramikteile und den Rand und die Rückseite der Heizeinrichtung zu bedecken. Eine andere Lösung besteht darin, das Abgassystem so zu gestalten, dass es den Fluss des reaktionsfähigen Gases weg von den kritischen Gebieten richtet. Der Abgasfluss kann "tote Zonen" bilden, wo nur wenig Gasbewegung auftritt. Diese toten Zonen nähern sich einer Spülgasdecke an, dadurch dass sie reaktionsfähige Gase in diesem Gebiet ersetzt und die unerwünschten Abscheidungen reduziert.

[0062] Ein System gemäß der vorliegenden Erfindung verhindert eine unerwünschte Abscheidung auf dem Sockel, wobei andere Teile der Kammer auf anderen Wegen abgeschirmt werden. Insbesondere wird der Strömungsdrosselring **46** verwendet, um den Gasfluss über den Sockel hinaus zum Boden der Kammer zu minimieren. Die Abscheidung von Titan unter Verwendung von Titantetrachlorid (wie das detaillierter unten beschrieben wird) weist Mengenströme auf, die wesentlich höher sind als bei konventionellen Verfahren, die in konventionellen Abscheidungssystemen verwendet werden, um andere Filme, die Titan aufweisen, auszubilden. Beispielsweise kann ein Titanabscheidungsverfahren einen Mengenstrom von ungefähr 15 Liter/Minute notwendig machen, wohingegen beispielsweise das Abscheiden einer Titannitridschicht aus Tetrakis-Dimethylamido-Titan in einem ähnlichen PECVD-System einen Mengenfluss von ungefähr 5 Liter/Minute erfordern kann. Der Drosselring kann Teile der oberen Seite und des Randes des Sockels bedecken, so dass unerwünschte Filme sich auf dem Ring statt auf dem Sockel oder auf dem Boden der Kammer abscheiden, oder der Strömungsdrosselring kann auch als ein Rand oder ein Schattenring dienen, indem er sich leicht über den Rand des Wafers erstreckt, um eine Abscheidung auf dem Rand des Wafers zu verhindern. Vorteilhafterweise minimiert der Strömungsdrosselring das Risiko einer unerwünschten Abscheidungen (mit den zugehörigen Problemen), die ansonsten bei diesen höheren Mengenströmen, die den Fluss des Spülgases und das Muster der toten Zonen ändern können, auftreten könnten. Der Kammerdeckel **66** kann leicht für ein Reinigen entfernt werden, um so einen Zugang zum relativ preisgünstigen Dros-

selring zu liefern, der dann herausgehoben und gründlich unter Verwendung chemischer und/oder mechanischer Verfahren gereinigt werden kann.

[0063] Der Strömungsdrosselring **46** bildet auch eine Gasöffnung mit dem Keramikring **64** ähnlich den Drossel- und Abgasöffnungen, die oben diskutiert wurden. Ein Kanal **61** wird zwischen dem Strömungsdrosselring **46** und dem Keramikring **64** ausgebildet. Die Kommunikation des Gases zwischen den Teilen des Kammervolumens über und unter dem Wafersockel kann durch das Variieren der Länge und der Breite des Kanals **61** gesteuert werden.

[0064] Der Strömungsdrosselring **46** kann aus mehreren Materialien in Abhängigkeit vom speziellen Verfahren und seinen chemischen Abscheidungs- und Reinigungseigenschaften hergestellt werden. Der Ring sollte aus einem Material hergestellt werden, das mit den vorkommenden chemischen Vorgängen kompatibel ist. Eine andere Betrachtung besteht in der thermischen Leitfähigkeit des Rings, die gewählt werden kann, um den thermischen Verlust vom Rand des Sockels und des Wafers zu erhöhen oder zu erniedrigen. In durch Plasma verstärkten Verfahren kann ein elektrisch leitender Ring die Plasmaform ändern, oder er kann eine Bogenbildung zu anderen Kammerkomponenten oder zum Wafer ermöglichen. Bei einer Titanablagerung kann der Drosselring aus geschmolzenem Silika hergestellt werden, da dieses Material eine relativ geringe Wärmeleitfähigkeit besitzt, und da es elektrisch nicht leitend ist. Der Strömungsdrosselring kann alternativ aus Titan für ein Abscheidungsverfahren für eine Titan enthaltende Schicht gemacht werden, da das Ringmaterial die abgeschiedene Schicht nicht kontaminieren wird.

[0065] Unter erneutem Bezug auf **Fig.** 1A wird der Strömungsdrosselring **46** durch den Sockel **32** während der Behandlung abgestützt, wie das oben erwähnt wurde. Wenn der Sockel für das Entladen und Laden des Wafers abgesenkt wird, so sitzt der Drosselring auf dem Keramikring **64** in der Leiste **69**. Wenn der Sockel, der den nächsten Wafer abstützt, in die Behandlungsposition angehoben wird, so nimmt er den Strömungsdrosselring auf. Bei den Druckwerten, die in der Kammer für die auf Titan basierenden Prozesse gemäß den Ausführungsformen der Erfindung verwendet werden, ist die Schwerkraft ausreichend, um sowohl den Wafer (der in der Wafertasche angeordnet ist) als auch den Drosselring auf dem Sockel zu halten.

[0066] Die **Fig.** 4A bis 4E zeigen verschiedene Merkmale der Ausführungsformen eines Systems gemäß diesem Aspekt der Erfindung. Die verschiedenen in den **Fig.** 4A bis 4E gezeigten Merkmale können kombiniert oder getrennt verwendet werden. Die **Fig.** 4A zeigt eine Ausführungsform, in der der Drosselring **746** im wesentlichen die Lücke zwischen der Heizeinrichtung **33** und der keramischen Auskleidung **764** füllt, wobei er den Rand der Heizeinrichtung **33** und den Hitzeschild **731** bedeckt. Die **Fig.** 4B zeigt eine andere Ausführungsform, in der sich der Hitzeschild **231** um den Rand der Heizeinrichtung **33** wickelt. In einem anderen Aspekt dieser Ausführungsform weist die keramische Auskleidung **264** eine Leiste **265** auf, um den Drosselring **264** aufzunehmen, wenn der Sockel **33** abgesenkt wird. Im Gegensatz zur Ausführungsform, die in **Fig.** 4B gezeigt ist, zeigt die **Fig.** 4C eine andere Ausführungsform, in der die Keramikringauskleidung **364** dicker ist und sich weiter zum Rand der Heizeinrichtung erstreckt, um somit die Lücke **366** zwischen der Heizeinrichtung und der keramischen Auskleidung zu reduzieren. Der Strömungsdrosselring **346** belegt zusätzliches Volumen im Spalt **366** und erstreckt sich, um den Rand der Heizeinrichtung **33** und den Hitzeschild **331** aus Quarzgut zu bedecken. Der innere Durchmesser des Rings **346** der **Fig.** 4C erstreckt sich auch so, dass er an den Rand der Wafertasche stößt, um den Sockelrand außerhalb der Tasche abzuschirmen, um somit die Abscheidung auf dem Sockelrand zu minimieren. **Fig.** 4D zeigt eine Ausführungsform, bei der der innere Durchmesser des Drosselrings **446** den äußeren Durchmesser des Wafers **36** überlappt. Spülgaskanäle (nicht gezeigt) können in den Drosselring **446** aufgenommen werden, um Spülgas, das unterhalb der Heizeinrichtung **33** herkommt, zum Rand des Wafers **36** zu liefern. Ähnlich zur Ausführungsform der **Fig.** 4D zeigt **Fig.** 4E eine Ausführungsform, bei der der innere Durchmesser des Drosselrings **646** sich so erstreckt, dass er den äußeren Rand des Wafers **36** überlappt, um als ein Rand- oder Schattenring als auch als ein Strömungsdrosselelement zu dienen. Die Distanz, um die sich der innere Durchmesser des Drosselrings **646** erstreckt, um den äußeren Rand des Wafers **36** zu überlappen, kann bei den verschiedenen Ausführungsformen variieren. Zusätzlich kann der Ring **646** mehrere, beispielsweise drei, Buckel **647** (die in einem relativ gleichmäßigen Abstand angeordnet sein können, um eine Stabilität zu liefern) aufweisen, um einen Raum zwischen dem Wafer/Sockel und dem Ring **646** zu haben, so dass ein wesentlicher Teil des Rings **646** den Heizsockel **33** nicht berührt. Alternativ können die Buckel **647** durch eine ringförmigen Vorsprung ersetzt werden, um den Raum zwischen dem Wafersockel und dem Ring **646** zu liefern. Somit wird der Ring **646** durch den Kontakt mit dem Heizsockel nicht übermäßig heiß, um die Abscheidung auf dem Ring **646** zu minimieren. Ein anderer Aspekt ist der kegelförmige Bodenteil **648** des Rings **646**, der die Ausrichtung und das Einpassen des Rings **646** zwischen den Sockel und die Kammerauskleidung **264** erleichtert. Jede kegelförmige Seite des kegelförmigen Bodenteils **648** schützt auch den Sockel **33** beziehungsweise die Auskleidung **264** gegenüber einem Brechen, durch einen Aufschlag während der Aufnahme. In einigen Ausführungsformen kann es sein, dass nur eine der beiden Seiten kegelförmig zuläuft.

[0067] Der Strömungsdrosselring, der in den **Fig.** 4A bis 4E gezeigt ist, liefert auch den Vorteil der Reduzierung des gesamten Kammervolumens und

somit der Reduzierung des gesamten Gebiets in der Kammer, das gereinigt werden muss, und somit eine Reduzierung der Aufenthaltszeit des Gases. Weiterhin minimiert der Strömungsdrosselring auch die Wahrscheinlichkeit des Fließens von Gas von der Behandlungszone in das Kammervolumen unterhalb des Sockels am Boden der Kammer, um somit unerwünschte Abscheidungen in diesem Gebiet zu reduzieren, um die Trockenreinigungseffizienz zu erhöhen.

[0068] Einige Aspekte der CVD-Vorrichtung, die oben diskutiert wurden, sind gleich wie bei einer beispielhaften CVD-Kammer, wie sie im Detail in der allgemein übertragenen US-Patentanmeldung mit der Seriennummer 08/348,273 (die am 30. November 1994 eingereicht wurde, und bei der die Erfinder Zhao et al. sind) beschrieben ist. Andere Aspekte eines CVD-Systems **10** gemäß der vorliegenden Erfindung werden unten detaillierter beschrieben.

B. Systemsteuerung

[0069] Die Verfahren für das Abscheiden des Films und für das trockene Reinigen der Kammer können unter Verwendung eines Computerprogrammprodukts, das durch den Prozessor **85** ausgeführt wird, implementiert werden. Der Computerprogrammkode kann in jeder konventionellen vom Computer lesbaren Programmiersprache, wie beispielsweise der 68000 Assemblersprache, C, C++, Pascal, Fortran oder einer anderen Sprache, geschrieben sein. Ein geeigneter Programmkode wird in eine einzige Datei oder mehrere Dateien unter Verwendung eines konventionellen Texteditors eingegeben und in einem vom Computer verwendbaren Medium, wie einem Speichersystem des Computers, gespeichert oder verkörpert. Wenn der eingegebene Kodetext eine höhere Programmiersprache darstellt, so wird der Kode kompiliert, und der sich ergebende Compilerkode wird dann mit einem Objektkode verbunden, der mit Windows Library-Routinen vorkompiliert wurde. Um den verbundenen kompilierten Objektkode auszuführen, ruft der Systemnutzer den Objektkode auf, was das Computersystem veranlasst, den Kode in den Speicher zu laden, von wo die CPU den Kode liest und ausführt, um die Aufgaben durchzuführen, die im Programm angegeben sind.

[0070] **Fig.** 5 ist ein illustrierendes Blockdiagramm der hierarchischen Steuerstruktur der Systemsteuersoftware, des Computerprogramms **160**, gemäß einer spezifischen Ausführungsform. Unter Verwendung einer Lichtstiftschnittstelle gibt der Nutzer eine Verfahrensatznummer und eine Verfahrenskammernummer in ein Verfahrensauswahlunterprogramm **161** in Erwiderung auf Menüs oder Schirmbilder, die auf dem Kathodenstrahlmonitor dargestellt werden, ein. Die Verfahrensätze, die vorbestimmte Sätze von Verfahrensparametern darstellen, die notwendig sind, die spezifizierten Verfahren auszuführen, werden durch vordefinierte Satznummern identifiziert. Das Verfahrensauswahlunterprogramm **161** identifiziert (i) die gewünschte Verfahrenskammer, und (ii) den gewünschten Satz von Verfahrensparametern, die benötigt werden, um die Verfahrenskammer für das Durchführen des gewünschten Verfahrens zu betreiben. Die Verfahrensparameter für das Durchführen eines spezifischen Verfahrens beziehen sich auf Verfahrenszustände, wie beispielsweise die Zusammensetzung des Prozessgases und die Mengenströme, die Temperatur, den Druck, die Plasmazustände wie hoch- und niederfrequente HF-Leistungspegel und die Hochfrequenzen und die Niederfrequenzen (und zusätzlich Mikrowellenerzeugungsleistungspegel für Ausführungsformen, die mit entfernten Mikrowellenplasmasystemen ausgerüstet sind), den Kühlgasdruck und die Kammerwandtemperatur. Das Verfahrensauswahlunterprogramm **161** steuert welcher Typ des Verfahrens (Abscheidung, Waferreinigung, Kammerreinigung, Kammergettern, Reflow) zu einer gewissen Zeit in der Kammer **30** durchgeführt wird. In einigen Ausführungsformen kann es mehr als ein Verfahrensauswahlunterprogramm geben. Die Verfahrensparameter werden dem Nutzer in Form einer Anleitung geliefert und sie können unter Verwendung der Lichtstift/Kathodenstrahlröhrenmonitor-Schnittstelle eingegeben werden.

[0071] Die Signale für das Überwachen des Verfahrens werden durch die analoge Eingabekarte und die digitale Eingabekarte der Systemsteuerung geliefert, und die Signale für das Steuern des Verfahrens werden auf der analogen Ausgabekarte und der digitalen Ausgabekarte des CVD-Systems **10** ausgegeben.

[0072] Ein Verfahrensablaufunterprogramm **162** umfasst einen Programmkode für das Annehmen der identifizierten Verfahrenskammer und den Satz von Verfahrensparametern vom Verfahrensauswahlunterprogramm **161** und für die Steuerung des Betriebs der verschiedenen Verfahrenskammern. Mehrere Nutzer können Verfahrenssatznummern und Verfahrenskammernummern eingeben, oder es kann ein einziger Nutzer mehrere Verfahrensatznummern und Verfahrenskammernummern eingeben, so dass das Ablaufunterprogramm **162** arbeitet, um die ausgewählten Verfahren in der gewünschten Sequenz zeitlich zu steuern. Vorzugsweise umfasst das Ablaufunterprogramm **162** einen Programmkode, um die Schritte (i) des Überwachens des Betriebs der Verfahrenskammern, am zu bestimmen, ob die Kammern verwendet werden, (ii) der Bestimmung, welche Verfahren in den verwendeten Kammern ausgeführt werden, und (iii) der Ausführung der gewünschten Verfahren auf der Basis der Verfügbarkeit der Verfahrenskammer und dem Typ des Verfahrens, das ausgeführt werden soll, durchzuführen. Es können konventionelle Verfahren der Überwachung der Verfahrenskammern, wie das Polling, verwendet werden. Bei der zeitlichen Steuerung, welches Verfahren ausgeführt werden soll, kann das Ablaufunterprogramm **162** gestaltet werden, den aktuellen Zustand der verwendeten Verfahrenskammer im Vergleich mit den

gewünschten Verfahrenszuständen für ein ausgewähltes Verfahren oder das "Alter" jeder speziellen durch den Nutzer eingegebenen Anforderung oder irgend einen anderen relevanten Faktor, den ein Systemprogrammierer für das Bestimmen der zeitlichen Prioritäten einzuschließen wünscht, zu berücksichtigen.

[0073] Wenn das Ablaufunterprogramm **162** einmal bestimmt, welche Verfahrenskammer und welche Verfahrenssatzkombination als nächstes auszuführen ist, so initiiert das Ablaufunterprogramm **162** die Ausführung des eingestellten Verfahrens, indem es die speziellen Verfahrenssatzparameter an ein Kammerverwaltungsunterprogramm **163a–c** gibt, das mehrere Verarbeitungsaufgaben in einer Verfahrenskammer **30** gemäß dem Verfahrenssatz, der durch das Ablaufunterprogramm **162** bestimmt wurde, steuert. Beispielsweise umfasst das Kammerverwaltungsunterprogramm **163b** einen Programmkode für das Steuern der CVD-Operationen in der Verfahrenskammer **30**. Das Kammerverwaltungsunterprogramm **163b** steuert auch die Ausführung verschiedener Kammerkomponentenunterprogramme, die den Betrieb der anderen Kammerkomponenten steuern, die notwendig sind, um den ausgewählten Verfahrenssatz auszuführen. Beispiele von Kammerkomponentenunterprogrammen sind das Substratpositionierunterprogramm **164**, das Prozessgassteuerunterprogramm **165**, das Drucksteuerunterprogramm **166**, das Heizeinrichtungssteuerunterprogramm **167** und das Plasmasteuerunterprogramm **168**. In Abhängigkeit von der spezifischen Konfiguration der CVD-Kammer umfassen einige Ausführungsformen alle obigen Unterprogramme während andere Ausführungsformen nur einige der Unterprogramme einschließen können. Fachleute werden leicht erkennen, dass andere Kammersteuerunterprogramme eingeschlossen werden können in Abhängigkeit davon, welche Verfahren in der Verfahrenskammer **30** durchgeführt werden sollen. Im Betrieb steuert das Kammerverwaltungsunterprogramm **163b** zeitlich ausgewählt die Verfahrenskomponentenunterprogramme gemäß dem speziellen Verfahrenssatz, der ausgeführt wird, oder ruft diese auf. Das Kammerverwaltungsunterprogramm **163b** steuert die Verfahrenskomponentenunterprogramme zeitlich ähnlich wie das Ablaufunterprogramm **162** zeitlich steuert, welche Verfahrenskammer **30** und welcher Verfahrenssatz als nächstes ausgeführt werden sollen. Typischerweise umfasst das Kammerverwaltungsunterprogramm **163b** die Schritte der Überwachung der verschiedenen Kammerkomponenten, der Bestimmung, welche Komponenten betrieben werden müssen, auf der Basis der Verfahrensparameter für den auszuführenden Verfahrenssatz, und das Initiieren der Ausführung eines Kammerkomponentenunterprogramms in Erwiderung auf die Schritte der Überwachung und Bestimmung.

[0074] Der Betrieb der speziellen Kammerkomponentenunterprogramme wird nun unter Bezug auf **Fig.** 5 beschrieben. Das Substratpositionierunterprogramm **164** umfasst einen Programmkode für das Steuern der Kammerkomponenten, die verwendet werden, um das Substrat auf den Sockel **32** zu laden, und optional, um das Substrat auf eine gewünschte Höhe in der Kammer **30** zu heben, um den Abstand zwischen dem Substrat und dem Brausekopf **40** zu steuern. Wenn ein Substrat in die Behandlungskammer **30** geladen wird, so wird die Heizeinrichtung **33** abgesenkt, um das Substrat in der Wafertasche **34** zu empfangen, und sie wird dann auf die gewünschte Höhe angehoben. Im Betrieb steuert das Substratpositionierunterprogramm **164** die Bewegung des Sockels **32** in Erwiderung auf durch das Verfahren festgelegte Parameter in Bezug auf die Stützhöhe, die vom Kammerverwaltungsunterprogramm **163b** überführt werden.

[0075] Das Prozessgassteuerunterprogramm **165** weist einen Programmkode für das Steuern der Prozessgaszusammensetzung und der Mengenflüsse auf. Das Prozessgassteuerunterprogramm **165** steuert die offene/geschlossene Position der Sicherheitsabsperrventile und steuert auch die Massendurchsatzregler nach oben oder unten, um die gewünschten Gasdurchsätze zu erhalten. Das Prozessgassteuerunterprogramm **165** wird durch das Kammerverwaltungsunterprogramm **163b** aufgerufen, wie das bei allen Kammerkomponentenunterprogrammen der Fall ist, und empfängt Unterprogrammparameter, die sich auf die gewünschten Gasdurchsätze beziehen, von der Kammerverwaltung. Typischerweise arbeitet das Prozessgassteuerunterprogramm **165** durch das Öffnen der Gaszuführleitungen und das wiederholte (i) Ablesen der notwendigen Massendurchsatzregler, (ii) das Vergleichen der Messwerte mit den gewünschten Durchsätzen, die vom Kammerverwaltungsunterprogramm **163b** empfangen werden, und (iii) das Einstellen der Durchsätze der Gaszuführleitungen, wenn es notwendig ist. Weiterhin umfasst das Prozessgassteuerunterprogramm **163** die Schritte der Überwachung der Gasdurchsätze im Hinblick auf nicht sichere Durchsätze, und das Aktivieren der Sicherheitsabsperrventile, wenn ein nicht sicherer Zustand detektiert wird. Das Prozessgassteuerunterprogramm **165** steuert auch die Gaszusammensetzung und die Durchsätze für die Spülgase als auch für die Abscheidungsgase in Abhängigkeit vom gewünschten Verfahren (Reinigen oder Abscheiden oder ein anderes Verfahren), das ausgewählt wird. Alternative Ausführungsformen könnten mehr als ein Prozessgassteuerunterprogramm aufweisen, wobei jedes Unterprogramm einen spezifischen Typ eines Verfahrens oder spezifische Sätze von Gasleitungen steuert.

[0076] In einigen Verfahren wird ein inertes Gas, wie Stickstoff oder Argon, in die Kammer **30** eingeführt, um den Druck in der Kammer zu stabilisieren, bevor die reaktionsfähigen Prozessgase eingeführt werden. Für diese Verfahren ist das Prozessgassteuerunterprogramm **165** programmiert, damit es die

Schritte für das Einführen des inerten Gases in die Kammer **30** für eine Zeit, die notwendig ist, um den Druck in der Kammer zu stabilisieren, einschließt, wobei dann die oben beschriebenen Schritte ausgeführt werden. Zusätzlich würde, wenn ein Prozessgas von einem flüssigen Vorläuferstoff, beispielsweise $TiCl_4$, verdampft werden muss, das Prozessgassteuerunterprogramm **165** so geschrieben werden, dass es die Schritte für das Perlen eines Zuführgases, wie Helium, durch den flüssigen Vorläuferstoff in einem Gasspüler (bubbler) oder für das Einführen eines Trägergases, wie Helium, in ein Flüssigkeitsinjektionssystem, einschließt. Wenn ein Gasspüler für diesen Typ des Verfahrens verwendet wird, reguliert das Prozessgassteuerunterprogramm **165** den Fluss des Zuführgases, den Druck im Gasspüler und die Gasspülertemperatur, um die gewünschten Prozessgasdurchsätze zu erhalten. Wie oben diskutiert wurde, werden die gewünschten Prozessgasdurchsätze zum Prozessgassteuerunterprogramm **165** als Prozessparameter überführt. Weiterhin umfasst das Prozessgassteuerunterprogramm **165** die Schritte für das Erhalten des notwendigen Zuführgasdurchsatzes, des Gasspülerdrucks, und der Gasspülertemperatur für den gewünschten Prozessgasdurchsatz durch den Zugriff auf eine gespeicherte Tabelle, die die notwendigen Werte für einen vorgegebenen Prozessgasdurchsatz aufweist. Wenn die notwendigen Werte erhalten wurde, so werden der Zuführgasdurchsatz, der Gasspülerdruck und die Gasspülertemperatur überwacht, mit den notwendigen Werten verglichen und entsprechend eingestellt.

[0077] Das Heizeinrichtungssteuerunterprogramm **167** umfasst einen Programmkode für das Steuern der Temperatur eines Heizelements **107**, das verwendet wird, um mit einer Widerstandsbeheizung den Sockel **32** (und jedes sich darauf befindende Substrat) zu erhitzen. Das Heizeinrichtungssteuerunterprogramm **167** wird auch durch das Kammerverwaltungsunterprogramm aufgerufen und empfängt einen Zieltemperaturparameter oder einen Sollwerttemperaturparameter. Das Heizeinrichtungssteuerunterprogramm misst die Temperatur durch das Messen der Spannungsausgabe eines Thermoelements, das im Sockel **32** angeordnet ist, das Vergleichen der gemessenen Temperatur mit der Sollwerttemperatur und das Erhöhen oder Erniedrigen des Stroms, der an die Heizeinheit angelegt wird, um die Sollwerttemperatur zu erhalten. Die Temperatur wird aus der gemessenen Spannung erhalten, indem die entsprechende Temperatur in einer gespeicherten Umwandlungstabelle nachgeschaut wird oder indem die Temperatur unter Verwendung eines Polynoms vierter Ordnung berechnet wird. Wenn eine eingebettete Schleife verwendet wird, um den Sockel **32** zu erhitzen, so steuert das Heizeinrichtungssteuerunterprogramm **167** allmählich eine rampenförmiges Ansteigen/Abfallen eines Stroms, der an die Schleife angelegt wird. Zusätzlich kann ein eingebauter Sicherungsmodus eingeschlossen sein, um die Prozesssicherheit zu detektieren, wobei sie den Betrieb der Heizeinheit abschalten kann, wenn die Behandlungskammer **30** nicht passend eingestellt wurde. Ein alternatives Verfahren einer Heizvorrichtungssteuerung, das verwendet werden kann, verwendet einen Herabfahrungssteueralgorithmus, der in der parallelen allgemein übertragenen US-Patentanmeldung Nr. 08/746657 mit dem Titel "Systems and Methods for Controlling the Temperature of a Vapor Deposition Apparatus", bei der Jonathan Frankel als Erfinder angegeben ist und die am 13. November 1996 eingereicht wurde, beschrieben ist.

[0078] Der Widerstand des Heizelements kann als eine Alternative zur Verwendung eines Thermoelements verwendet werden, um so möglicherweise das Thermoelement von der Heizeinrichtung zu eliminieren. Durch das Charakterisieren des Widerstands eines speziellen Heizelements über der Temperatur und das Messen des Stroms, der durch das Heizelement bei einer Betriebsspannung gezogen wird, kann die Temperatur des Heizelements während des Betriebs bestimmt werden. Vorzugsweise wird ein Testwafer mit Temperatursensoren verwendet, um die Temperatur des Heizelements mit der Temperatur, die an der Oberfläche eines Wafers herrscht, zu korrelieren. Das Messen der Spannung beim Betriebsstrom würde eine ähnliche Information liefern. In jedem Fall würde die Steuerung die Spannungs-Strom-Daten des Heizelements statt der Ausgangsspannung des Thermoelements verwenden.

[0079] Ein Plasmasteuerunterprogramm **168** umfasst einen Programmkode für das Einstellen von niedrig- und hochfrequenten HF-Leistungspegeln, die an die Prozesselektroden in der Kammer **30** und die Heizeinrichtung **32** angelegt werden, und für das Einstellen der niedrigen und hohen HF-Frequenz, die verwendet wird. Wie bei den vorher beschriebenen Kammerkomponentenunterprogrammen wird das Plasmasteuerunterprogramm **168** durch das Kammerverwaltungsunterprogramm **163b** aufgerufen. Bei Ausführungsformen, die einen entfernten Plasmagenerator **4** einschließen, würde das Plasmasteuerunterprogramm **168** auch einen Programmkode für das Steuern des entfernten Plasmagenerators einschließen.

C. Keramische Heizeinrichtung

[0080] **Fig.** 6 ist eine vereinfachte Querschnittsansicht des Sockels und des Schaftes für das Abstützen eines Substrats **36**. Der Sockel **32** umfasst eine Heizeinrichtung **33**. Der Sockel **32** kann aus Materialien hergestellt sein, die mit den Gebrauchstemperaturen von mindestens ungefähr 400°C und mehr beim Vorhandensein einer korrodierenden Plasmaumgebung kompatibel sind. Beispielsweise kann in einigen Ausführungsformen rostfreier Stahl, eine Legierung "Hastelloy™", eine Legierung "Haynes™ **242**" oder Keramik verwendet werden.

[0081] Gemäß einer spezifischen Ausführungsform

kann eine keramische Heizeinrichtung eine geringere thermische Masse als eine ähnliche Heizeinrichtung, die aus Metall hergestellt ist, liefern. Dies ermöglicht eine schnellere Reaktionszeit auf Änderungen der Leistung einer Temperatursteuerung. Da eine keramische Heizeinrichtung weniger Wärme speichert, wird sie schneller abkühlen, wenn beispielsweise die Kammer für Wartungszwecke auseinandergebaut werden muss. Bei einigen Anwendungen kann es nützlich sein, dass die keramische Heizeinrichtung schnell auf thermische Übergangszustände, die in den Prozessen auftreten (beispielsweise eine Waferüberführung oder eine Änderung des Gasflusses und des Drucks), reagieren kann.

[0082] **Fig.** 7A ist eine vereinfachte Explosionsdarstellung der Heizeinrichtung **33**. Die obere Platte **101** ist eine Keramik, wie AIN, und sie wird so hergestellt, dass sie die (nicht gezeigte) Wafertasche auf ihrer Oberfläche mit einer Tiefe von ungefähr 0,029 Inch als auch die Waferhebestiftlöcher **102A** einschließt. Die HF-Ebene **103** liegt unter der oberen Platte **101** und umfasst mehrere Waferhebestiftlöcher **102B**. Mindestens drei Hebestifte sollten mit einer entsprechenden Anzahl von Hebestiftlöchern verwendet werden. **Fig.** 7B ist eine Aufsicht auf die HF-Ebene **103**, die den Ort der Waferhebestiftlöcher **102B** und der Perforationen **229** zeigt. Die HF-Ebene **103** kann aus jedem geeigneten leitenden Material, das mit den Leitfähigkeits- und Leistungserfordernissen der HF-Felderzeugung, dem Herstellungsverfahren und der relativen thermischen Ausdehnung der HF-Ebene und den Keramikplatten konsistent ist, hergestellt werden. In diesem Beispiel wird die HF-Ebene **103** aus einem Molybdänblech mit einer Dicke von ungefähr 0,125 mm (5 mil) hergestellt, wobei es mit Löchern mit einem Durchmesser von 2,25 mm (90 mil) mit einem Abstand von Zentrum zu Zentrum von 0,5 cm (200 mil) perforiert wird. Die HF-Ebene **103** weist einen äußeren Durchmesser auf, der ungefähr 0,5 cm (0,2 Inch) größer als der Durchmesser des Wafers ist. Die Perforationen werden unter Verwendung eines Lasers, wobei ein mittels eines rechnergestützten Entwurfs CAD) gesteuerter oder numerisch mit einem Computer (CNC) gesteuerter Laser eingeschlossen sind, eines chemischen Ätzen, das photolithographische Ätztechniken einschließt, einer elektro-erosiven Bearbeitung (EDM) oder anderer geeigneter Techniken ausgebildet. Wolfram oder andere feuerfeste Materialien können verwendet werden, um die HF-Ebene herzustellen. Molybdän wird gegenüber Wolfram bevorzugt, da Molybdän beispielsweise einen thermischen Ausdehnungskoeffizient aufweist, der enger zu dem von AIN passt. Auch ist Molybdän verformbarer, widersteht der Korrosion in bevorzugten Abscheidungskammerumgebungen besser und ist leichter als Wolfram in die Form dünner Bleche zu bringen. Insbesondere beträgt der thermische Ausdehnungskoeffizient von AIN ungefähr $5{,}5 \times 10^{-6}$/°C, was sehr dicht am thermischen Ausdehnungskoeffizient von Molybdän liegt, der bei ungefähr $5{,}55 \times 10^{-6}$/°C liegt, während der thermische Ausdehnungskoeffizient von Wolfram ungefähr $5{,}6 \times 10^{-6}$/°C beträgt.

[0083] Die Perforationen in der HF-Ebene **103** ermöglichen es der oberen AIN-Platte, sich direkt mit der zweiten AIN-Platte **105** zu verbinden, was Keramik-zu-Metall-Bindungen vermeidet. Die Wahl des Durchmessers und des Abstands der Löcher in der HF-Ebene **103** wird optimiert, indem die Anforderungen des Zwischenkeramikverbindungsverfahrens (das unten diskutiert wird) mit solchen der Gleichförmigkeit des HF-Felds in ein Gleichgewicht gebracht werden. Es ist wichtig, ein ausreichendes gesamtes Perforationsgebiet zu liefern, um eine zuverlässige Zwischenkeramikbindung zu erhalten. Ein Gebiet, das äquivalent der oben beschriebenen bevorzugten Ausführungsform ist, kann durch das Erniedrigen der Anzahl der Löcher und das Erhöhen ihres Durchmessers oder durch das Erhöhen der Anzahl der Löcher und das Erniedrigen ihres Durchmessers erzielt werden. Die Dicke der HF-Ebene **103** wird gemäß dem Material der Ebene **103** und dem Zwischenkeramikverbindungsverfahren so ausgewählt, dass die thermische Ausdehnung der HF-Ebene die Zwischenkeramikbindungen innerhalb der Perforationen nicht bricht. Gemäß spezifischen Ausführungsformen kann eine obere Grenze der Dicke für eine Molybdänebene bei ungefähr 0,357 mm (15 mil) liegen, während die untere Grenze der Dicke bei ungefähr 0,075 mm (3 mil) liegen kann. Dieser Bereich der Dicke liefert einen geeigneten geringen elektrischen Widerstand, um ein gleichförmiges Feld beim HF-Betriebsleistungspegel zu bilden, während sie dennoch einen geeigneten Pegel der HF-Leistung tragen kann.

[0084] Ein perforiertes Blech wird bei vielen Anwendungen gegenüber einem Gitter bevorzugt, da lokalisierte "heiße Punkte" im Blech zu lokalisierten höherem Widerstand führen, der über dem Blech verteilt werden kann. Ähnliche heiße Punkte in einem Gitter neigen jedoch dazu, einzelne Gitterstränge zu erhitzen, die dazu neigen, die Hitze entlang des Strangs zu verteilen, da sich die Siebstrangkreuzpunkte Punktkontakten nähern und diese im Vergleich zu einem Blech eine schlechte Wärmeleitung aufweisen. Dies führt oft zu einer Überhitzung der Gitterstränge, einer Beschädigung des Strangs und einer Reduzierung der Lebensdauer der HF-Gitterelektrode. Zusätzlich können die überhitzten oder beschädigten Stränge in einem Gitter Unregelmäßigkeiten im HF-Feld verursachen. Ein perforiertes Blech neigt dazu, eine Beschädigung in dieser Hinsicht selbst zu begrenzen und es liefert ein überlegenes HF-Feldmuster. Ein anderer Vorteil bei der Verwendung eines Blechs im Vergleich zur Verwendung eines Gitters besteht darin, dass wenn die Gittergröße zunimmt, auch der Abstand zwischen den Drähten zunimmt. Dies begrenzt den wirksamen spezifischen HF-Flächenwiderstand des Gitters. Beispielsweise weist ein Molybdänblech mit einer Dicke von ungefähr 0,1 bis 0,125 mm (4 bis 5 mil) einen spezifischen Flächenwiderstand auf, der grob äquivalent einem minimalen

spezifischen Flächenwiderstand eines Molybdängitters mit einer Dicke von Spitze zu Spitze, die viel größer als 0,125 mm (5 mil) ist, ist. Zusätzlich ist eine HF-Elektrode, die aus einem Blech hergestellt ist, flacher als eine Gitterelektrode, was eine dünnere Schicht der Keramik zwischen dem Wafer und der HF-Elektrode und eine gleichförmigere plasmaverstärkte Behandlung während der Abscheidung ermöglicht. In der spezifischen Ausführungsform beträgt die Distanz zwischen der HF-Ebene **103** und dem Wafer vorzugsweise weniger als ungefähr 1,25 mm (50 mil), wobei sie zwischen ungefähr 0,95 mm und 1,05 mm (38 bis 42 mil) liegt. In anderen Beispielen kann diese Distanz variieren.

[0085] Unter erneutem Bezug auf **Fig.** 7A isoliert eine AIN-Platte **105** die HF-Ebene **103** vom Heizelement **107**. Das Heizelement **107** wird aus Molybdän hergestellt, wobei aber andere ähnliche Materialien, wie Wolfram, verwendet werden könnten. Das Heizelement wird aus einem Molybdänblech mit einer Dicke von ungefähr 0,125 mm (5 mil) unter Verwendung eines Lasers, der einen CAD- oder CNC-Laser einschließt, eines chemischen Ätzens, das photolithographische Ätztechniken einschließt, EDM oder andere Techniken herausgeschnitten. **Fig.** 7C ist eine vereinfachte Aufsicht auf das Heizelement **107**. Die Dicke, die für das Heizelement **107** gewählt wird, sollte vorzugsweise innerhalb der Grenzen des Keramikherstellungsverfahrens liegen, wie das oben diskutiert wurde. Die Breite und die Länge des Heizelements **107** wird so gewählt, dass sie der Spannungsversorgung entspricht, wie das aus dem Stand der Technik wohl bekannt ist, um eine geeignete Leistungsausgabe von der Heizeinrichtung zu erzielen, und um einen passenden Inter-Heizelement-Abstand für die Keramik-Keramik-Bindung zu liefern. Beispielsweise wird ein 0,125 mm (5 mil) dickes Heizelement, das eine Breite von ungefähr 2,25 mm (90 mil) und eine Länge von ungefähr 8,25 m (325 Inch) aufweist, einen Widerstand zwischen ungefähr 2,25 und 3,25 Ohm (Ω), vorzugsweise von ungefähr 2,5 Ω bei Raumtemperatur aufweisen und es kann bis zu ungefähr 4 Kilowatt (kW) erzeugen. Es ist wichtig, die Änderung des spezifischen Widerstands des Heizelements über seinem vorgesehenen Betriebsbereich zu berücksichtigen. Beispielsweise kann sich der Widerstand eines Molybdänheizelements um ungefähr das 4,3-fache erhöhen, wenn es von Raumtemperatur auf ungefähr 700°C erhitzt wird.

[0086] Vorzugsweise wird das Element in einem Sinusmuster innerhalb des Heizelements geschnitten, wie das in **Fig.** 7C gezeigt ist, und nicht in Form von einfachen Bögen (nicht gezeigt), da Bögen mit einem Sinusmuster steifer sind und somit während der Herstellung leichter ausgerichtet werden können. Der Stromfluss ändert die Richtung, jedes Mal wenn ein Bogen sich zurück **233** auf den benachbarten Bogen des Elements faltet, um somit die Magnetfelder zu minimieren, die durch den Strom des Heizelements erzeugt werden können, und die eine nicht gleichförmige Abscheidung durch ein Änderung der Plasmaeigenschaften verursachen können. Eine ähnliche Löschung der Magnetfelder tritt zwischen den Sinusbögen innerhalb eines Bogens auf. Die Herstellung des Heizelements aus einem Bleck statt der Verwendung eines Gitters oder einer Drahtspule liefert ein Heizelement mit einem größeren Verhältnis des Oberflächengebiets zum Querschnittsgebiet. Dies liefert ein Heizelement, das die Hitze effizienter zum Wafer überträgt, indem es dieselbe Hitze an den Wafer mit einer niedrigeren Elementtemperatur als eine ähnliche Ausgestaltung in Form eines Gitters liefert. Dies wiederum minimiert den Bruch des Heizelements, um somit die Lebensdauer des Heizelements zu verlängern. Zusätzlich kann die Breite des Heizelements **107** gemäß dem gewünschten thermischen Profil variiert werden, oder es kann der Abstand zwischen den Elementen geändert werden, um die Elementdichte einzustellen, indem beispielsweise das CNC-Laserprogramm eingestellt wird. Dies kann eine Heizeinrichtung mit einer überlegenen Gleichförmigkeit der Temperatur oder eine Heizeinrichtung mit einem speziellen thermischen Profil liefern.

[0087] Unter erneutem Bezug auf **Fig.** 7A hat die zweite AIN-Platte **105** ein Durchführungsloch **106A** und ein Thermoelementloch **104B** zusätzlich zu vier Hebestiftlöchern **102C** gemäß einer spezifischen Ausführungsform. Das Heizelement **107** liefert die Wege für die Hebestiftlöcher **102D** für die HF-Durchführung und für das Thermoelement **470** in **Fig.** 6 nahe dem Zentrum des Heizelements. An jedem Ende des Heizelements **107** sind Heizkontakte **112**, wie man das in **Fig.** 7C sieht, vorgesehen. Eine dritte AIN-Platte **108** liegt zwischen dem Heizelement **107** und der Bodenschicht **109**, an der der AIN-Heizstumpf **110** befestigt ist. Die Bodenschicht **109** wird während des Druckbindungsverfahrens, wie es unten diskutiert wird, ausgeformt. In einer bevorzugten Ausführungsform ist der sich ergebende Stapel (ohne den Stumpf) ungefähr 13,9 mm (0,546 Inch) dick, was eine Heizeinrichtung mit einer geringen thermischen Masse ergibt. Die gesamte Einrichtung kann kürzer oder länger sein, wobei der äußere Durchmesser kleiner oder größer ist, in Abhängigkeit von den Beschränkungen der Gestaltung der speziellen Anwendung. In diesem Beispiel liefert eine Dicke von ungefähr 5,71 mm (2,25 Inch) einen ausreichenden Raum zwischen dem Flansch auf dem Stumpf und der Bodenplatte, um eine Kupplungsklammer (die unten besprochen wird) und ein Hitzeschild aus Quarzgut (das auch unten besprochen wird) einzupassen. Ein dünneres Hitzeschild oder eine dünnere Klammer würden einen kürzeren Stumpf ermöglichen. Der Stumpf ist vorzugsweise kurz, um den thermischen Gradienten über die keramische Heizeinrichtung zu reduzieren, und auch damit die Kupplung das Absenken des Sockels nicht behindert.

[0088] Vorzugsweise sind die obere AIN-Platte **101**, die zweite AIN-Platte **105**, die dritte AIN-Platte **108** und der AIN-Stumpf **110** aus heiß gepresstem AIN

geformt. Die Platten werden flach und parallel geschliffen, wenn es notwendig ist, und geschliffen, um die Heiz- und HF-Ebenen-Elektroden (die unten beschrieben werden) aufzunehmen. Ausrichtungslöcher (nicht gezeigt) werden durch die obere AIN-Platte **101**, die zweite AIN-Platte **105** und die dritte AIN-Platte **108** ungefähr entlang der Zentrallinien der Hebestiftlöcher gebohrt. Die obere AIN-Platte **101**, die zweite AIN-Platte **105**, die dritte AIN-Platte **108** und der AIN-Stumpf **110** werden sandgestrahlt oder glasgestrahlt, um ihre Oberfläche aufzurauen. Die HF-Ebene wird auf die AIN-Platte **101** unter Verwendung eines (nicht gezeigten) AIN-Bandes gelegt. Das heißt, ein Band, das aus einem Pulver, bei dem es sich um dasselbe AIN-Material handelt, das verwendet wird, um die heißt gepressten AIN-Platten zu bilden, und einem organischen Bindemittel geformt ist, wird über der HF-Ebene **103**, die auf der oberen AIN-Platte **101** liegt, platziert. Das AIN-Band ist ungefähr 10 bis 20 mil dick, und es können ein oder zwei Schichten verwendet werden, was zu einer dünnen gleichförmigen Schicht des AIN über der HF-Ebene **103** führt. Alternativ kann das AIN-Band über einer Form, wie einer Form aus "Mylar™", aufgelegt werden, so dass die Ausrichtungslöcher frei gemacht werden, bevor das AIN-Band auf die HF-Ebene **103** überführt wird. Als zweites wird dann die AIN-Platte **105** über dem aufgelegten Aufbau der AIN-Platte **101**, der HF-Ebene **103** und dem AIN-Band platziert. Als nächstes wird das Heizelement **107** auf der zweiten AIN-Platte **105** platziert, die mit dem AIN-Band aufgelegt ist, ähnlich der HF-Ebene **103** und der oberen AIN-Platte **101**. Drittens wird die AIN-Platte dann über dem aufgelegten (nicht gezeigten) Heizelement platziert. Ausrichtungsstifte, die beispielsweise aus Graphit hergestellt sein können, können durch die Ausrichtungslöcher platziert werden, um die Ausrichtung der oberen AIN-Platte **101**, der HF-Ebene **103**, der zweiten AIN-Platte **105**, des Heizelements **107** und der dritten AIN-Platte **108** zu erleichtern. Die Heiz- und HF-Elektroden werden dann in ihren vorher geschliffenen Orten platziert (was detaillierter unten beschrieben wird). Dieser Stapel der oberen AIN-Platte **101**, der RF-Ebene **103**, des AIN-Bandes, der zweiten AIN-Platte **105**, des Heizelements **107**, des AIN-Bands und der dritten AIN-Platte wird dann in einer Pressverbindungsform mit der AIN-Platte **101** an einem Ende der Form platziert, wobei eine Oberfläche der dritten AIN-Platte **108** am anderen Ende der Form freigelegt bleibt. Die (nicht gezeigte) Druckbindungsform liefert einen Hohlraum, um den Stapel, der im vorhergehenden Satz beschrieben wurde, aufzunehmen. Die Druckbindungsform kann beispielsweise aus Graphit hergestellt sein und sie kann den Stapel so begrenzen, dass ein im wesentlichen einseitiger Druck ungefähr rechtwinklig zu den Hauptoberflächen des Stapels aufgebracht werden kann. Eine Schicht AIN-Pulvers wird dann auf die (nicht gezeigte) freigelegte Oberfläche der dritten Platte **108** aufgebracht, und eine (nicht gezeigte) erste Pressbindungsplatte, die beispielsweise aus Graphit hergestellt ist, wird auf dieser Schicht des AIN-Pulvers platziert. Die erste Pressbindungsplatte weist ein Loch von ungefähr der Größe des Stumpfs **110** der Heizeinrichtung auf, durch die der Stumpf **110** der Heizeinrichtung platziert wird. Eine zweite Druckbindungsplatte wird über der ersten Druckbindungsplatte und dem Stumpf **110** der Heizeinrichtung platziert.

[0089] Eine (nicht gezeigte) Hydraulikpresse bringt einen Druck von ungefähr 177,8 kg/cm^2 (2500 psi) zwischen der zweiten Druckbindungsplatte und der Druckbindungsform auf. Gleichzeitig wird der Stapel und der Stumpf **110** der Heizeinrichtung auf eine Temperatur von ungefähr 1700°C erhitzt. Diese Zustände werden für ungefähr 30 bis 90 Minuten, vorzugsweise für ungefähr 60 Minuten gehalten. Unter diesen Zuständen wird das AIN-Band plastisch und fließt, um die Perforationen in der HF-Ebene **103** und die Zwischenelement-Räume des Heizelements **107** zu füllen, und verbindet die AIN-Platten miteinander. Während des Druckbindens verdichtet sich das AIN-Band auf ungefähr die Hälfte seiner ursprüngliche Dicke. Zusätzlich wird das AIN-Pulver, das vorher als die dritte AIN-Platte aufgebracht wurde, plastisch, bildet die Bodenschicht **109** und verteilt den Druck, der auf die dritte AIN-Platte **108** von der ersten Druckbindungsplatte aufgebracht wird, gleichmäßiger. Nach dem Druckbinden können andere Operationen, die das Schleifen und Bohren einschließen, durchgeführt werden, um die Form der Keramikkomponenten zu modifizieren. Beispielsweise können die Ausrichtungslöcher ausgebohrt werden, um Hebestiftlöcher zu werden, und der Stumpf der Heizeinrichtung kann geschliffen werden, um einen Flansch auf seinem unteren Teil auszubilden.

[0090] Mehrere Sätze von Druckbindungsformen, Stapeln und Druckbindungsplatten können in einer einzigen Presse angeordnet werden, so dass mehrere Heizeinrichtungen gleichzeitig ausgebildet werden können. Für eine gegebene Pressengröße wird eine kürzere Gesamthöhe der Heizeinrichtung es ermöglichen, eine größere Anzahl ähnlicher kürzerer Heizeinrichtungen in einer einzigen Operation durch Druck zu verbinden. Somit ermöglichen Ausformungen der Heizeinrichtungen mit kürzeren Stümpfen, dass im Vergleich zu Gestaltungen mit längeren Stümpfen eine größere Anzahl von Heizeinrichtung durch Druck verbunden werden können. Abgesehen davon dass Keramikheizeinrichtungen mit kürzeren Stümpfen robuster sind, sind sie leichter und effizienter herzustellen als Heizeinrichtungen mit langen keramischen Schäften.

[0091] In einem anderen Beispiel können Teilaufbauten aus einer ersten AIN-Platte, eine HF-Ebene, einer zweiten AIN-Platte, einem Heizelement und einer dritten AIN-Platte aber ohne den Stumpf der Heizeinrichtung durch Druck verbunden werden, wie dies oben beschrieben ist. Der Stumpf der Heizeinrichtung kann nachfolgend in einer getrennten Ope-

ration an dem Teilaufbau befestigt werden. Dies ist insbesondere wünschenswert, wenn der Stumpf der Heizeinrichtung lang ist, wie das im vorhergehenden Absatz besprochen wurde.

[0092] In einem alternativen Beispiel, wie es in **Fig.** 8 gezeigt ist, kann ein Keramikstützschaft **821** an der Heizeinrichtung **833** befestigt werden. Dies eliminiert die Notwendigkeit für eine Hitzedrosselung, da der Boden des Schafts relativ kühl ist, und es ermöglicht die Verwendung von gasdichten O-Ring-Dichtungen **810A**, **810B**, **810C** und **810D**, um den Boden des Schaftes abzudichten. Das Vorsehen eines kürzen Schaftendes **805** (das aus einem guten thermischen Leiter, wie Aluminium, hergestellt ist) und das Vorsehen von Hitzeaustauschkanälen (nicht gezeigt), durch die Wasser oder eine andere Flüssigkeit fließen kann, kühlt weiter die O-Ring-Dichtungen. Alternativ kann eine (nicht gezeigte) gekühlte Platte mit dem Schaftende **805** verbunden werden, um eine Kühlung zu liefern. Die O-Ring-Dichtung **810A** dichtet den Keramikschaft **821** zum Schaftende **805** hin ab. Die O-Ring-Dichtung **810B** bildet eine Dichtung um das federbeaufschlagte, sich in einem Gehäuse befindliche Thermoelement **870**, und die O-Ring-Dichtung **810C** dichtet die HF-Elektrode **859** ab. Ähnliche (nicht gezeigte) O-Ring-Dichtungen dichten die Heizelementelektroden (nicht gezeigt) ab, und die O-Ring-Dichtung **810D** dichtet den Stopfen **806** aus "Vespel™" zum Schaftende **805** ab.

[0093] Der HF-Abstandsschaft **856** erstreckt sich über den unteren Rand des Keramikschaftes **821**, so dass eine Drahtspule **858** auf den HF-Schaft **856** gekrimpt werden kann, und die HF-Elektrode **859**, der HF-Schaft **856**, die HF-Elektrode **859** und die Drahtspule **858** sind vorzugsweise aus Nickel hergestellt. Die Drahtspule **858** bietet eine Zugentlastung, um die Wahrscheinlichkeit des Brechens der Heizeinrichtung **833** oder der gelöteten Verbindung **855** während des Zusammenbaus des thermischen Kreises zu reduzieren. Ähnliche (nicht gezeigte) Spulen verbinden die (nicht gezeigten) Heizstäbe mit ihren jeweiligen (nicht gezeigten) Heizelektroden. Obwohl der HF-Abstandsschaft **856**, das eingekapselte Thermoelement **870** und die (nicht gezeigten) Heizeinrichtungsabstandsschäfte ziemlich steif sind, kann ein isolierender Stopfen **808**, wie ein Stopfen aus "Vespel™", eingeschlossen werden, um eine elektrische Isolation zu liefern, um ein Kurzschließen der Verdrahtung zu verhindern. C-Ring-Klips **826**, die mit jeder Elektrode verwendet werden, werden verwendet, um zu verhindern, dass die Bodenelektroden hineingeschoben oder herausgezogen werden. Eine Endkappe **809** kann mit dem Schaftende **805** verschraubt sein, um die O-Ringe **810B–D** zusammen zu drücken.

[0094] Das Thermoelement **870** erstreckt sich über das Heizelement **807** hinaus bis direkt unterhalb die HF-Ebene **803**. Dies platziert das Thermoelement zwischen das Heizelement **807** und das (nicht gezeigte) Substrat, weiter innerhalb der thermischen Masse der Heizeinrichtung, als das bei einem flachen Thermoelement der Fall wäre, und ermöglicht eine bessere Temperatursteuerung.

[0095] Eine Spülleitung **853** ermöglicht es, dass der Keramikschaft **821** auf einen Druck über den Kammerdruck mit einem Spülgas, wie Stickstoff, Argon oder einem anderen Gas, gebracht werden kann. Das Spülgas schützt die Komponenten innerhalb des Schaftes, wie die Lötverbindung **855**, gegenüber einer Oxidation oder Korrosion, insbesondere bei erhöhten Temperaturen. Die Lötverbindung **855** verbindet die HF-Ebene **803**, die beispielsweise aus Molybdän oder Wolfram bestehen kann, mit dem HF-Abstandsschaft **856**. Ähnliche (nicht gezeigte) Lötverbindungen können das Heizelement und die Heizelementabstandsschäfte verbinden. Der unter Druck gesetzte Keramikschaft **821** unterdrückt auch eine HF-Bogenbildung zwischen dem HF-Abstandsschaft **821** und anderen Komponenten. Die Spülleitung **853** kann einen Aluminium-zu-rostfreiem-Stahl-Übergangsstück **854** einschließen, wie das oben beschrieben wurde. Lötverbindungen, wie sie oben diskutiert wurden, können auch an Ort und Stelle eutektisch durch eine Legierung verbunden sein, wie das unten beschrieben wird.

[0096] **Fig.** 9 ist eine vereinfachte teilweise angeschnittene Ansicht der Heizeinrichtung **33**, die eine Form elektrischer Verbindungen mit der HF-Ebene und dem Heizelement zeigt. Es gibt vier Löcher im Stumpf der Heizeinrichtung senkrecht zur Hauptfläche der Heizeinrichtung. Zwei dieser Löcher enthalten Heizeinrichtungsabstandselemente **115**. Ein drittes Loch enthält ein HF-Abstandselement **117**. Das vierte Loch enthält die Thermoelementeinrichtung (**470** in **Fig.** 6, in **Fig.** 9 nicht gezeigt). Die Thermoelementeinrichtung ist ein doppelt ummanteltes Thermoelement, das durch eine Feder vorgespannt ist, so dass es gegen die obere Seite eines (nicht gezeigten) Sacklochs in der oberen AIN-Platte **101** gedrückt wird, und ein Steuersignal für die Heizeinrichtungssteuerung (nicht gezeigt) liefert. Molybdänheizelementelektroden **119** und die HF-Elektrode **118** werden in den Heizelektrodentaschen **116** und den HF-Elektrodentaschen **120A** beziehungsweise **120B** vor dem Druckverbinden des Stapels, wie das oben beschrieben wurde, platziert. Die Heizelektrodentaschen **116** und die HF-Elektrodentaschen **120A** und **120B** sind nur aus Gründen der besseren Darstellung größer als die Heizelektroden **119** und die HF-Elektrode gezeigt. Es ist wahrscheinlich, dass sich die Metallelektroden nach dem Druckbindungsverfahren in engem Kontakt mit dem umgebenden Keramikmaterial befinden, da das Molybdän unter den Zuständen der Druckbindung plastisch wird. Ebenso verschweißt die Molybdän-HF-Elektrode **118** sich im wesentlichen mit der Molybdän-HF-Ebene **103** während des Druckbindungsverfahrens, was auch die Heizelektroden **119** mit dem Heizelement **107** tun. Obwohl die Elektroden so gezeigt sind, dass sie aus einem

einzigen Stück bestehen, sollte verständlich sein, dass ähnliche Elektroden aus mehreren Stücken ausgebildet werden können. Weiterhin kann die Form der Elektroden geändert werden. Beispielsweise kann die HF-Elektrode **118** ohne den HF-Elektrodenflansch **118E** ausgebildet werden. Weiterhin ist die HF-Elektrode **118** gezeigt, wie sie sich über das Heizelement **107** hinaus erstreckt, wie das bevorzugt wird, wobei sie aber kürzer sein kann, so dass sich der HF-Abstandsschaft **117** dichter zur HF-Ebene **103** erstreckt.

[0097] Nach dem Pressbindungsverfahren werden Löcher durch den Stumpf **110** der Heizeinrichtung und anderes Keramikmaterial, das über der HF-Elektrode **118** liegt, gebohrt, um die Molybdänelektroden frei zu legen. Die Nickelabstandsschäfte **115** der Heizeinrichtung und der HF-Abstandsschaft **117** werden an der Stirn angesenkt, um die Wolframbutzen **227A** beziehungsweise **227B** aufzunehmen. Die Nickelheizelementabstandsschäfte **115** und der Nickel-HF-Abstandsschaft **117** mit den Wolframbutzen **227A** und **227B** werden dann in die Heizelektroden **119** beziehungsweise die HF-Elektrode **119** eingeschoben. In einem alternativen Beispiel können Wolframringe **228A** und **228B** zusätzlich in die gebohrten Löcher vor dem Einschieben der Heizschäfte **115** und des RF-Schafts **117** platziert werden. Wie in **Fig.** 9 gezeigt ist, sind die Kontakte zwischen den Schäften **115** und **117** und den Elektroden **119** und **118** im wesentlichen koplanar und sie befinden sich auf der Seite des Heizelements **107** entgegengesetzt zur HF-Ebene **103**, wobei dies aber nicht notwendigerweise der Fall sein muss. Es ist jedoch wünschenswert, den Nickel-Molybdän-Übergang weg von der HF-Ebene **103** zu bewegen, um eine thermische Belastung der HF-Ebene zu vermeiden.

[0098] Die gesamte Einrichtung wird dann auf eine Temperatur erhitzt, die ausreicht, um ein geschmolzenes Eutektikum zu bilden. Wenn reines Nickel und reines Molybdän verwendet wurden, so würde sich ein Nickel-Molybdän-Eutektikum bei einer Temperatur von 1315°C ausbilden. Wenn jedoch kommerziell erhältliches Nickel **200** verwendet wurde, so würde sich ein Mehrelement-Eutektikum bei einer Temperatur leicht unterhalb 1315°C ausbilden. Es ist nur erforderlich, eine kleine Menge des Eutektikums auszubilden, und deswegen wird die Verfahrenszeit vorzugsweise auf einem Minimum gehalten. Zehn Minuten bei der Verfahrenstemperatur sind ausreichend, um die Molybdän- und Nickelkomponenten zu verbinden. Das Nickel-Molybdän-System ist insbesondere wünschenswert wegen der ausgezeichnete Korrosionsfestigkeit des Eutektikums, die ähnlich einer Legierung "Haynes™ **242"** ist, die es in der Anwesenheit von Halogenspezies, die in einigen Abscheidungsumgebungen gebräuchlich sind, aufweist, wie das oben diskutiert wurde. Wolframbatzen **227A** und **227B** bilden eine Wolframquelle, die das Ausmaß der Ausbildung des Nickel-Molybdän-Eutektikums begrenzen, indem sie sich teilweise im geschmolzenen Eutektikum lösen und im wesentlichen die sich ergebende Legierung verfestigen. Wolframringe **228A** und **228B**, so sie vorhanden sind, begrenzen weiter das Ausmaß der Ausbildung der Nickel-Molybdän-Eutektikum-Phase. Teilweise behindern sie das Ansaugen des geschmolzenen Eutektikums an den Nickelschäften nach oben und weg von der Verbindung.

D. Hitzedrossel und Kupplung

[0099] Gemäß einem spezifischen Beispiel ist eine Heizeinrichtung **33**, wie man das in **Fig.** 6 sieht, an dem Stützschaft **121** unter Verwendung einer Kupplung **122** befestigt. Die Kupplung **122**, die aus rostfreiem Stahl oder einem ähnlichen Metall hergestellt ist, wird verwendet, um die keramische Heizeinrichtung am Metallschaft zu befestigen. **Fig.** 10 zeigt eine vereinfachte Querschnittsansicht der Kupplung **122**, die eine hitzegedrosselte Kupplung **123** und eine zweistückige obere Klammer **124** einschließt. **Fig.** 11 zeigt eine vereinfachte dreidimensionale Ansicht der hitzegedrosselten Kupplung **123**, dem Bodenteil der **Fig.** 10. Ein unterer Flansch **125** der hitzegedrosselten Kupplung **123** hat mit Gewinde versehene Sacklöcher **126**, so dass die Kupplung auf den Stützschaft aufgeschraubt werden kann. Eine obere Tasche **127** nimmt einen (nicht gezeigten) Flansch des Stumpfs der Heizeinrichtung, der auf der Taschenfläche **128**, befestigt durch die obere Klammer (**124** in **Fig.** 10), sitzt, auf, und er wird am Umfang durch Spannarme **129** gehalten. Unter nochmaligem Bezug auf die **Fig.** 10 weist die obere Tasche **127** eine Ausrichtungsflachstelle (**454** in **Fig.** 11), die einer Flachstelle auf dem Umfang des Flansches des Stumpfs der Heizeinrichtung entspricht, auf. Natürlich sollte die obere Tasche **127** der Form des Flansches des Stumpfs der Heizeinrichtung entsprechen, und andere Ausrichtungsmechanismen können verwendet werden. Die obere Klammer **124** umfasst zwei "C-förmige" Hälften **124A** und **124B**, die um den Flansch des Stumpfs der Heizeinrichtung zusammen gebracht werden, bevor sie an der hitzegedrosselten Kupplung befestigt werden. Der Schlitz **130** wird im wesentlichen koplanar zur Taschenfläche **128** geschnitten, wobei ein ungeschnittenes Verbindungsstück gegenüber der Spannungsschraube **131** belassen wird, so dass die Spannung von der Spannungsschraube **131** die Spannungsarme **129** zusammen zieht, um den Flansch des Stumpfs der Heizeinrichtung zu halten. Ein (nicht gezeigtes) Abstandselement mit einer Form, die ähnlich dem Schlitz **130** ist, kann in den Schlitz **130** eingeschoben werden, um die Spannungsarme **129** zu stützen und den Gasfluss durch den Schlitz **130** zu reduzieren. Paare von Zugentlastungsschlitzen **132** werden in die Spannungsarme **129** eingearbeitet (jeder Schlitz in einem Paar von Zugentlastungsschlitzen wird auf entgegengesetzten Seiten des Arms **129** eingearbeitet), um die verfügbare Spannung, die sich aus der Belastung ergibt, die durch die Spannungs-

schraube aufgebracht wird, zu erhöhen, und um es den Spannungsarmen zu ermöglichen, eine Umfangsspannung weiterhin aufzubringen, wenn sich die Einrichtung aufheizt, da die Klammer, die aus Metall ist, sich mehr ausdehnen wird als der Flansch des Stumpfs der Keramikheizeinrichtung. In diesem Beispiel sind vier Paare Zugentlastungsschlitze gezeigt, wobei aber diese Anzahl gemäß den Materialien und der Form der Klammer eingestellt werden kann. Die Zugentlastungsschlitze sind ungefähr 40 mil breit, und sie werden ungefähr 2,54 mm (0,1 Inch) der ungefähr 7,62 mm (0,3 Inch) des Zugarms eingeschnitten.

[0100] Das Ende der Zugentlastungsschlitze kann abgerundet sein, um die Spannungskonzentration im Scheitel des Schlitzes zu reduzieren und um die Herstellbarkeit zu verbessern.

[0101] Wie in **Fig.** 10 gezeigt ist, ist die hitzegedrosselte Kupplung **123** so hergestellt, dass sie eine dünne Bahn **133** zwischen der oberen Tasche **127** und dem unteren Flansch **125** lässt. Diese Bahn, die ungefähr 0,50 bis 2,54 mm (20 bis 100 mil) dick ist, vorzugsweise ungefähr 1,00 bis 1,50 mm (40 bis 60 mil) dick ist, wirkt in spezifischen Beispielen als ein Pfad eines hohen thermischen Widerstands zwischen der Heizeinrichtung und dem Stützschaft. Die Bahn weist eine wirksame Länge zwischen ungefähr 1,5 bis 2,5 cm (0,6 bis 1,0 Inch) auf, wobei die Höhe des vertikalen Bahnteils zwischen ungefähr 0,5 bis 1,25 cm (0,2 bis 0,5 Inch) in spezifischen Beispielen liegt. Im gezeigten Beispiel fließen ungefähr 25 Watt der Leistung zwischen einer Heizeinrichtung, die bei einer Temperatur von 625°C arbeitet, und dem Stützschaft, dessen unteres Ende eine Temperatur von ungefähr 50°C aufweist. Andere Formen der Kupplung **122** können bei sogar noch höheren Temperaturen verwendet werden, wobei die gesamte Länge der Bahn **133** für Anwendungen mit höherer Temperatur für eine gegebene Bahndicke länger ist, oder wobei die Bahndicke für eine vorgegebene Länge reduziert wird. Die Bahn sollte ausreichend mechanisch steif aber auch dünn genug sein, um eine Hitzedrosselung zu bewirken. Die Verwendung der Kupplung **122** ermöglicht es der Heizeinrichtung, thermisch über dem Schaft zu "schwimmen", um somit eine breite Auswahl von Materialien für eine Verwendung im Schaft zu ermöglichen, um die Leistung zu reduzieren, die von der Heizeinrichtung geliefert wird, die erforderlich ist, die Wafertemperatur zu halten, mit einer verbesserten Gleichförmigkeit der Temperatur bei einer nicht kompensierten Gestaltung des Heizelements. Da weniger Hitze von der Heizeinrichtung durch den Sockel und den Schaft heranfließt, besteht eine geringere Wahrscheinlichkeit der Ausbildung eines kalten Punktes über dieser möglichen Wärmeleitung, um somit die Gleichförmigkeit der Wafertemperatur zu verbessern. Die Verwendung der Kupplung **122** reduziert auch den thermischen Gradienten, der über der keramischen Heizeinrichtung erzeugt wird, was das Brechen der Heizeinrichtung reduziert, um somit die Lebensdauer der Heizeinrichtung zu erhöhen. Die Verwendung der Kupplung **122** führt auch zu einer kürzeren, kompakteren Heizeinrichtung, die leichter als die Heizeinrichtungen mit längeren keramischen Stümpfen oder keramischen Stützschäften herzustellen ist.

[0102] Die obere Klammer **124** ist mit der hitzegedrosselten Kupplung **123** mit Klemmschrauben (die in dieser Ansicht nicht gezeigt sind), die durch Löcher **451** in der oberen Klammer **124** und durch Löcher **452** in der hitzegedrosselten Kupplung **123** angeordnet sind, verbunden. Die Löcher **451** sind Sacklöcher in der oberen Klammer **124**. Der untere Flansch **125** hat Zugangslöcher **134**, die größer als die Klemmschrauben sind, um einen Zusammenbau von unten zu ermöglichen. In dieser Version sind die Zugangslöcher **134** gegenüber den Gewindelöchern **126** im unteren Flansch **125** versetzt, wobei sie aber koaxial ausgebildet sein können, wenn die Gewindelöcher ausreichend groß sind, um den Zugang zu den oberen Klemmschrauben zu ermöglichen. In einigen Beispielen sitzt ein äußerer Ausrichtungsrand **135** der oberen Klammer in einem äußeren Ausrichtungssims **136** der hitzegedrosselten Kupplung, um eine relativ glatte Oberfläche entlang dem äußeren Durchmesser der Klammer zu bilden (siehe **Fig.** 10 und 13). In anderen Ausführungsformen kann der äußere Rand **135** auf der oberen Klammer auf dem festen unteren Rand (wobei in diesen kein Sims **136** eingeformt ist) der hitzegedrosselten Kupplung **123** sitzen und über diesem hängen, so dass der äußere Durchmesser der oberen Klammer **124** leicht größer als der äußere Durchmesser der hitzegedrosselten Kupplung **123** ist. Eine einseitig befestigte Unterlegscheibe **137** ist als Teil der oberen Klammer **124** ausgebildet, und Schrauben, die in Durchgangslöchern **451** in der oberen Klammer **124** und Löchern **452** in der hitzegedrosselten Kupplung **123** angeordnet sind, üben einen Druck auf den Flansch des Stumpfes der Heizeinrichtung (in dieser Ansicht nicht gezeigt) aus, um diesen in der oberen Tasche der Hitzedrossel zu halten. In der spezifischen Ausführungsform weist die einseitig befestigte Unterlegscheibe eine Dicke von ungefähr 10 bis 20 mil auf, und sie weist Zugentlastungsschlitze **138** auf, die in ihr geschnitten sind, so dass ein geeigneter Druck auf den Stumpf der keramischen Heizeinrichtung aufrecht gehalten werden kann, ohne diesen zu brechen. Die Zugentlastungsschlitze können eine ähnliche allgemeine Form wie die, die in die Zugarme eingeschnitten sind (wurde oben besprochen), aufweisen.

[0103] **Fig.** 12 ist eine vereinfachte dreidimensionale Explosionsdarstellung, die zeigt, wie die obere Klammer **124** (es ist nur einer der beiden C-Abschnitte gezeigt) den Flansch **139** des Stumpfes der Heizvorrichtung in der oberen Tasche **127** in der hitzegedrosselten Kupplung **123**, die vom Schaft **121** gestützt wird, hält.

[0104] Die Kupplung **122** verbindet eine keramische Heizeinrichtung mit einem metallischen Stützschaft.

Eine Alternative würde darin bestehen, eine Hitzedrossel und eine Kupplung in einen Stützschaft einzubauen, um eine Heizeinrichtung mit dem Schaft zu verbinden und von ihm thermisch zu isolieren (befestigt unter Verwendung der Kupplung). In einem zusätzliches Beispiel kann ein keramisches Abstandselement zwischen einer Metallheizeinrichtung und einem Stützschaft eingebaut werden, um eine elektrische Isolation zwischen der Metallheizeinrichtung, die als eine HF-Elektrode verwendet werden kann, und dem geerdeten Stützschaft zu liefern. Eine hitzegedrosselte Kupplung könnte beispielsweise auf einem oder beiden Enden des keramischen Abstandselements verwendet werden, um beide Vorteile einer sicheren und zuverlässigen Verbindung des keramischen Elements mit der Metallheizeinrichtung und/oder dem Stützschaft zu liefern und den Wärmefluss von einem Element zum nächsten zu vermindern.

E. Komponenten des Heizsockels

[0105] Unter erneutem Bezug auf **Fig.** 6 wird nun der Sockel **32** im Detail beschrieben. Der Sockel dient dazu, den Wafer in die Behandlungsposition in der Vakuumkammer **30** zu heben, und den Wafer während der Behandlung zu erhitzen. Obwohl der Heizsockel, der hier beschrieben ist, insbesondere für Verfahren, die bei Temperaturen von 400°C oder mehr und bis zu ungefähr 750°C und mehr arbeiten, speziell geeignet ist, sollte angemerkt werden, dass der Sockel **32** für eine Vielzahl von Behandlungskammern, bei denen es sich nicht um die beispielhafte hier beschriebene und gezeigte PECVD-Kammer handelt, für eine Verwendung modifiziert oder direkt in diesen platziert werden kann. Beispielsweise kann der Heiz/Hebeaufbau **40** in anderen CVD-Kammern oder allgemein in anderen Halbleiterbehandlungskammern verwendet werden.

[0106] Zusätzliche Merkmale helfen die Heizeinrichtung vom Stützschaft thermisch zu isolieren. Ein Quarzguthitzeschild **231** reduziert den Wärmeverlust vom Boden der Heizeinrichtung. Der Hitzeschild kann eine unerwünschte Abscheidung auf die Oberfläche der Heizeinrichtung reduzieren, und er kann leicht und getrennt gereinigt und erneut montiert werden, um somit die Zeit zwischen den Reinigungen zu erhöhen und die Lebensdauer der Heizeinrichtung zu verlängern. Wie oben diskutiert wurde und in den **Fig.** 4A bis 4E gezeigt ist, kann der Hitzeschild in verschiedenen Konfigurationen hergestellt werden. In einer (nicht gezeigten) Ausführungsform wird ein Spülgas zwischen den Hitzeschild und die Bodenplatte der Heizeinrichtung aufgebracht, das dann zwischen dem Strömungsdrosselring und dem Rand der Heizeinrichtung fließt, um die Abscheidung auf den Rand des Wafers zu reduzieren.

[0107] Der Hitzeschild ist aus Quarzgut hergestellt, besteht aus einem scheibenartigen Stück (das optional eine Wand um den äußeren Scheibenumfang aufweist, um die Seitenränder des Sockels zu umgeben) mit einem inneren Durchmesser, um den Stumpf des Sockels aufzunehmen und Löchern für die Waferhebestifte. Der Hitzeschild **431** weist mindestens zwei Löcher auf, die auf seiner Bodenoberfläche an Punkten im inneren Durchmesser angeordnet sind, so dass der Schild **431** an seinem Platz durch Nickelausrichtungsstifte **140** im Ring **141** gehalten werden kann. Der Ring **141** ist aus Aluminium hergestellt und am Stützschaft **121** mit Schrauben **142** befestigt. Ein Quarzgutisolator **143** reduziert weiter den Strahlungswärmeverlust von der Heizeinrichtung zum Stützschaft durch eine Platzierung direkt unter der Bodenplatte der Heizeinrichtung. Der Isolator **143** besteht aus zwei halbkreisförmigen Stücken. Da er durch die Bodenplatte der Heizeinrichtung, den Stumpf der Heizeinrichtung, den Stützschaft und die obere Klammer beschränkt wird, braucht der Quarzgutisolator **143** keine Befestigungsvorrichtungen. Sowohl der Hitzeschild **431** als auch der Isolator **143** reduzieren den Wärmeverlust vom Heizsockel, und sie reduzieren auch das Kammervolumen und somit die Pumpzeit.

[0108] In einem Beispiel ist der Stützschaft **121** mit Stopfen **144**, **145A–C** und **146**, jeder mit vier Durchgangslöchern, die den vier Löchern im Stumpf der Heizeinrichtung entsprechen, gefüllt. Die massiven Stopfen nehmen im wesentlichen das gesamte Volumen innerhalb des Schaftes ein und reduzieren somit die Möglichkeit einer HF-Bogenbildung, die ansonsten insbesondere im Vakuum in hohlen Schäften auftreten könnte. Der Quarzgutstopfen **144** reduziert die Wärmeleitung und die keramischen Stopfen **145A–C** und **146** liefern nicht nur eine Führung für das Einschieben/das Herausholen des Thermoelements, sondern sie dienen auch als elektrische Isolation zwischen den Elektroden. Die Stopfen reduzieren weiter das Pumpvolumen im Vergleich zu einem hohlen Schaft, der bei typischen Betriebsdruckwerten evakuiert werden müsste. Die massiven Stopfen reduzieren nicht nur das notwendige Pumpen, sondern sie minimieren auch das Volumen, das während des Druckzyklus ausgetauscht wird, um somit den Transport von Verunreinigungen und korrodierenden Spezies zwischen der Kammer und dem Schaft zu reduzieren. Der oberste Quarzgutstopfen **144** liefert weiter eine thermische Isolation zwischen der Heizeinrichtung **33** und dem keramisch verstopften Stützschaft **121**. Die Stopfen **145A–C** und **146** können aus Quarzgut, Keramik oder einem Polymermaterial in Abhängigkeit von der maximalen Betriebstemperatur hergestellt werden. In diesem Beispiel sind die Stopfen **145A–C** und **146** aus Keramikmaterial auf Aluminiumbasis hergestellt. In anderen Ausführungsformen können die Stopfen **145A–C** und **146** durch einen einzigen langen Stopfen, durch weniger oder mehr Stopfen oder durch ein Füllmaterial mit einem hohen spezifischen elektrischen Widerstand, wie einem keramischen Füllmaterial, ersetzt werden. Das untere Abstandselement **147** ist aus "Vespel™" her-

gestellt. Die untere Endkappe **148** ist aus "Delrin™" hergestellt. Sowohl das Abstandselement **147** als auch die Endkappe **148** haben darin ausgebildete Kanäle, um die Verdrahtung im Schaft aufzunehmen. C-Ring-Klips **771**, die mit jeder Elektrode verwendet werden, werden verwendet, um zu verhindern, dass die Bodenelektroden hineingeschoben oder herausgezogen werden. Zusätzlich dichtet ein O-Ring **773** das Ende des Schaftes **121** und das untere Abstandselement **147** ab, und O-Ringe **775** (die mit jeder Elektrode verwendet werden) liefern Dichtungen zwischen dem unteren Abstandselement **147** und der Endkappe **148**. Somit kann der Schaft für ein Einführen eines Spülgases gasdicht sein.

[0109] Keramische Auskleidungsabschnitte **149** liefern einen zusätzlichen Schutz gegenüber Korrosion für die Heizdrähte **150** und die HF-Durchführung (in dieser Ansicht nicht gezeigt) und unterdrücken eine Bogenbildung, insbesondere da die Auskleidungsverbindungen **151** gegenüber den Stopfenverbindungen **152** versetzt sind. Die Auskleidungsabschnitte **149** können durch eine einzige lange Auskleidung für jede der Verdrahtungs-, Spül- und Thermoelementkanäle ersetzt werden. Von einem Einlassrohr **153** kann Spülgas aufgebracht oder ein Vakuum gezogen werden. Das Einlassrohr **153** ist aus Aluminium hergestellt und ist mit dem Aluminiumstützschaft **121** verschweißt. Ein Aluminiu-zurostfreiem-Stahl-Übergangsglied **154** verbindet den Gasleitungsanschluss **155** aus rostfreiem Stahl mit dem Aluminiumeinlassrohr. Die Übergänge werden typischerweise auf den Innendurchmesser des Stützschaftes begrenzt und müssen somit kompakt sein. Ein Verschweißen und eine Explosionsverbindung werden auch typischerweise verwendet, um die Übergangsverbindungen von Aluminium zum rostfreien Stahl herzustellen.

[0110] Nickelstäbe **156**, die vom Stumpf der Heizeinrichtung **33** vorstehen, können in der Länge variieren, wie man das in den **Fig.** 1A, 2 und 6 sieht. Die Stäbe **156** sind kurz, um das Herstellen der Heizeinrichtung **33** zu erleichtern und um den Zusammenbau der Stopfen **145A–C** und des Isolators **144** mit der Heizeinrichtung **33** zu erleichtern. Die Stäbe **156** erstrecken sich in einigen Ausführungsformen vorzugsweise ungefähr 2 bis 5 Inch über den Stumpf der Heizeinrichtung hinaus. Die Heizeinrichtungsversorgungsleitung **150** ist am Nickelstab **156** mit einer Krimpverbindung **157** befestigt. Die Länge der Stäbe **156** bestimmt, wo die Verbindung **157** sich in Bezug auf die Stopfen und Stopfenverbindungen befindet. Die Heizeinrichtungsversorgungsleitungen können innerhalb der keramischen Auskleidung **149** spulenförmig ausgebildet werden, um eine Zugentlastung während des Zusammenbaus und der thermischen Zyklenbildung bei hohen Temperaturen zu liefern. Die HF-Leistungsversorgungsleitung (nicht gezeigt) ist in ähnlicher Weise wie die Heizeinrichtungsversorgungsleitungen spulenförmig ausgebildet. Alle elektrischen Leitungen innerhalb des Sockels sind spulenförmige Streifen, wobei aber auch ein spulenförmiger Draht als eine Alternative verwendet werden kann. Die spulenförmig ausgebildeten Leitungen liefern mehr als die passenden Mengen der Verdrahtung, die benötigt werden, und sie minimieren das Brechen der Heizeinrichtung. Ohne die Verwendung dieser spulenförmigen Leitungen, die die Spannung lösen, die durch die Ausdehnung des Nickelstabs verursacht wird, kann es sein, dass sich die Nickelstäbe gegen die obere Keramikplatte des Sockels ausdehnen und den Sockel brechen. Weiterhin vermeidet die Verwendung der spulenförmigen Leitungen das Risiko eines Bruchs des Sockels durch nach oben gerichtete Kräfte, die durch das Einschieben externen Verbindungselemente verursacht werden.

[0111] **Fig.** 13 zeigt eine Querschnittsansicht der Schraube **158**, die den Stützschaft **121** mit der thermisch gedrosselten Kupplung **123** verbindet, in Bezug auf die obere Klammer **124**. Der Abdeckstopfen oder die Kappe **159**, die eingeschraubt ist (unter Verwendung eines Schraubenziehers, der in den Schlitz **455** passt), nachdem die Schraube **158** eingeschraubt wurde, schützt die Schraube **158** gegenüber der korrodierenden Umgebung der Kammer. Der Abdeckstopfen **159**, der als ein Stopfen für das Loch in der Stützschaftoberfläche dient, ist aus einem Metall hergestellt, das ähnlich dem des Stützschaftes ist, in diesem Fall einer Aluminiumlegierung. Das Material, das für den Stopfen **159** verwendet wird, weist vorzugsweise gute Korrosionseigenschaften auf. Die Verwendung desselben Materials für den Stopfen **159** und den Schaft ist wünschenswert, da das Material für beide dieselbe Ausdehnung aufweist, und das Risiko einer galvanischen Reaktion durch die Verwendung zweiter unterschiedlicher Metalle reduziert wird. Ähnliche Abdeckstopfen (die nicht gezeigt sind), können für ähnliche Zwecke verwendet werden, um die Schrauben, die den Ring mit dem Stützschaft verbinden, abzudecken.

[0112] Die Struktur, die in **Fig.** 13 gezeigt ist, weist einen äußeren Ausrichtungssims **136**, der in der hitzegedrosselten Kupplung **123** ausgebildet ist, auf, wobei die obere Klammer **124** darauf sitzt, so dass der äußere Ausrichtungsrand **135** und die hitzegedrosselte Kupplung **123** eine flache Oberfläche bilden, die von der inneren Oberfläche des Schafts **121** getrennt ist. Diese Lücke verhindert den Kontakt zwischen dem Schaft **121** und der Kupplung **122**. Diese Lücke sollte auch groß genug sein, um den Unterschied in den thermischen Ausdehnungskoeffizienten zu berücksichtigen als auch um eine thermische Isolation zu liefern, um den Wärmeverlust vom Flansch **139** des Stumpfs der Heizeinrichtung zum Schaft **121** zu minimieren. In Beispielen, bei denen die hitzegedrosselte Kupplung **123** keinen Sims **136** aufweist, und die obere Klammer **124** einen größeren äußeren Durchmesser als die hitzegedrosselte Kupplung **123** aufweist, so dass der Rand **135** über den massiven Rand der hitzegedrosselten Kupplung **123** passt, kann die innere Oberfläche des Schafts **121** so bearbeitet werden, dass ein Raum die Kupp-

lung 122 vom Schaft **121** trennt.

F. HF-Versorgungssystem

[0113] **Fig.** 14 ist ein vereinfachtes Diagramm des HF-Leistungsversorgungssystems eines Systems gemäß der Erfindung, das eine vereinfachte Querschnittsansicht der Heizeinrichtung **202** und einen Stützschaft **203** einschließt. In der gezeigten Konfiguration sind sowohl die Kammer **204** als auch der Brausekopf **205** geerdet, und die HF-Ebene **206** wird mit Leistung versorgt. In alternativen Konfigurationen kann der Brausekopf **205** mit Leistung versorgt werden, während die HF-Ebene **206** geerdet wird, oder es kann die Leistung zum Brausekopf **205** und zur HF-Ebene **206** "aufgespalten" werden, das heißt jeder kann HF-Leistung empfangen, relativ zur Kammer **205**, die sich auf Erdpotential befindet. In einer nochmals anderen Konfiguration kann eine HF-Frequenz auf den Brausekopf **205** angewandt werden, während eine andere HF-Frequenz auf die HF-Ebene **206** angewandt wird. Die in **Fig.** 14 gezeigte Konfiguration produziert etwas, das als ein "bodenseitig mit Leistung versorgtes" Plasma bekannt ist. Die alternative Konfiguration, bei der die Stirnplatte mit Leistung versorgt wird, und bei der die HF-Ebene geerdet wird, erzeugt etwas, das als "von oben mit Leistung versorgtes" Plasma bekannt ist, wobei dies in einigen Anwendungen bevorzugt wird. Zusätzlich kann das Plasmasystem auch die Anwendung einer Gleichvorspannung (zusätzlich zur HF-Leistung) zwischen der HF-Ebene **206** und dem Brausekopf **205** einschließen, um die Abscheidung und die Eigenschaften des Films zu optimieren.

[0114] Die HF-Ebene **206** liegt innerhalb der Heizeinrichtung **202** unterhalb des Wafers **36**, wie das in **Fig.** 14 gezeigt ist. Der HF-Generator **207** liefert HF-Leistung an die HF-Ebene **206** durch das Anpassungsnetz **208**. Eine HF-Durchführung **209** isoliert die HF-Versorgungsleitung **210** von der Kammer **204**. Heizelementdurchführungen **218**, die der HF-Durchführung **209** entsprechen oder sich von ihr unterscheiden können, isolieren die Heizvorrichtungsleitungen **212** von der Kammer **204**. Eine gewisse HF-Energie stellt kapazitiv eine Verbindung von der HF-Ebene **206** zum Heizelement **211** und von der HF-Versorgungsleitung **210** zu den Heizvorrichtungsversorgungsleitungen **212** durch parasitäre Kapazitäten **213** beziehungsweise **214** her. Somit sind sowohl die HF-Durchführung **209** als auch die Heizelementdurchführungen **218** Hochspannungsdurchführungen, um den produzierten HF-Spannungen zu widerstehen. Die parasitären Kapazitäten **213** und **214**, die nur aus Gründen der Darstellung als Kondensatoren gezeigt sind, sind keine diskreten Kondensatoren, sondern stellen vielmehr kapazitive Kopplungswirkungen, die von der Nähe der jeweiligen Leiter herrühren, dar. Stopfen (nicht gezeigt) innerhalb des Stützschaftes **203**, die aus einer soliden Keramik, einer porösen Keramik oder Quarzgut hergestellt sein können, wie das oben diskutiert wurde, liefern eine Gleichspannungsisolation (oder Gleichspannungsblockierung) zwischen der HF-Leitung **210** und den Heizeinrichtungsleitern **212**. So dicht als möglich an der Basis des Stützschaftes **203** angeordnet, blockiert das Filter **215** HF-Energie, die auf die Heizeinrichtungsversorgungsleitungen eingekoppelt ist, die ansonsten strahlen kann und eine Funkfrequenzinterferenz oder eine elektromagnetische Interferenz mit anderen Systemkomponenten, wie der Steuerung, verursachen kann. Das Filter **215** liefert eine hohe Impedanz bei der HF-Frequenz auf beiden Heizeinrichtungsversorgungsleitungen **212** und ist so optimiert, dass es seine hohe Impedanz bei der Betriebsfrequenz oder den Betriebsfrequenzen des Abscheidungssystems aufweist, während es eine geringe Impedanz bei der Frequenz der Heizeinrichtungsleistungsversorgung **216**, die im allgemeinen eine sehr viel niedrigere Frequenz, wie beispielsweise ungefähr 60 Hz darstellt, aufweist. Die Heizvorrichtungsleistungsversorgung **216** wird mit einer Wechselstromquelle **217** (AC) mit Leistung versorgt. Das Filter **215** liefert die Funktionen des Schutzes der Heizeinrichtungsversorgung **216**, des Reduzierens des elektronischen Rauschens und der Interferenz und des Haltens der HF-Energie in der Kammer. Die hohe Impedanz für die HF-Energie, die vom Filter **215** geliefert wird, ermöglicht auch eine effizientere Überführung der HF-Energie vom Generator **207** zum (nicht gezeigten) Plasma. Ein Filter mit einer niedrigen Impedanz bei HF kann ausreichend HF-Energie durch die Heizeinrichtungsleistungsversorgung **216** schieben, so dass ein Plasma nicht gezündet wird (eine Glühentladung wird aufgebaut). Der HF-Generator kann bei allen Frequenzen zwischen ungefähr 100 kHz und ungefähr 500 kHz, vorzugsweise bei ungefähr 400 kHz oder bei einer Frequenz von ungefähr 13,56 MHz oder bei anderen Frequenzen arbeiten.

[0115] **Fig.** 15 ist ein Diagramm eines Abscheidungssystems gemäß der vorliegenden Erfindung, das zwei verschiedene HF-Systeme verwendet, wobei jedes eine andere Frequenz liefert. In dieser Ausführungsform liefert das hochfrequente HF-System **219** Leistung an einen Brausekopf **205** bei einer höheren Frequenz, bei beispielsweise ungefähr 13,56 MHz, als die Frequenz, die vom niederfrequenten HF-System **220** an die HF-Ebene **206** geliefert wird, beispielsweise 100 bis 500 kHz. Das hochfrequente HF-System **219** umfasst ein Hochpassfilter **221**, das es einer hochfrequenten HF-Leistung ermöglicht, vom hochfrequenten HF-Generator **222** zum Brausekopf **205** zu fließen, während es die niederfrequente HF-Energie vom Eintreten in den hochfrequenten HF-Generator **222** blockiert. Das Tiefpassnebenschlussfilter **223** liefert einen Pfad zur Erde für die niederfrequente Energie, um es somit dem Brausekopf **205** zu ermöglichen, als eine komplementäre (geerdete) Elektrode zur HF-Ebene **206** bei der niedrigeren HF-Frequenz zu dienen. Das Tiefpassdurch-

gangsfilter **224** ermöglicht es der HF-Energie vom niederfrequenten HF-Generator **225** zur HF-Ebene **206** zu fließen, während es die hochfrequente HF-Energie von einem Eintreten in den niederfrequenten HF-Generator **225** blockiert. Das Hochpassnebenschlussfilter **226** liefert einen Pfad zur Erde für die hochfrequente HF-Energie, so dass die HF-Ebene **206** als eine komplementäre Elektrode zum Brausekopf **205** bei der hohen HF-Frequenz dienen kann. Gemäß anderer Ausführungsformen kann die hohe HF-Frequenz der HF-Ebene **206** geliefert werden, während die niedrige HF-Frequenz zum Brausekopf **205** geliefert werden kann. In diesem Fall würden das hochfrequente HF-System **219** und das niederfrequente HF-System **220** transponiert werden. Anpassungsnetzwerke **227** und **228** können zwischen jedem HF-Generator und seinem jeweiligen Durchlassfilter hinzugefügt werden, um die Leistungsüberführung von den Generatoren zu ihren Lasten zu verbessern. Anpassungsnetzwerke **227** und **228** können mit den Durchlassfiltern **224** beziehungsweis **221** integriert werden.

G. Gasverteilungssystem

[0116] **Fig.** 16A zeigt eine vereinfachte Explosionsansicht eines inneren Deckelaufbaus **171**. Der innere Deckelaufbau **170** umfasst einen Gaskasten **173**, eine Gasdispersionsplatte (oder Gasblockierplatte) **172**, eine Gasverteilungsplatte **40**, einen keramischen Isolatorring **52** und einen Kammerdeckel **66** mit (nicht gezeigten) Abdichtelementen, wie O-Ringe, die zwischen verschiednen Teilen des Aufbaus **170** angeordnet sind. Der innere Deckelaufbau **170** umfasst auch einen Gasdurchführungskasten **173**, der Gaskanäle **175** (teilweise gezeigt), die sich von einem Gaseinlassverteilrohr **176** zu einem Mischgebiet innerhalb des Gausauslassverteilrohrs **177** für eine Verwendung im Gaskasten **173** erstrecken, aufnimmt. Gaskanäle **175** liefern Gase zum Mischgebiet, wo die Gase gemischt werden, bevor sie durch das Einlassrohr **44** geliefert werden. Der Gasdurchführungskasten **173**, das Gaseinlassverteilrohr **176** und das Gasauslassverteilrohr **177** sind aus Nickel oder in einigen speziellen Ausführungsformen einem Material, wie Aluminiumoxid, das mit Nickel beschichtet ist, hergestellt. Für die Plasmaverfahren ermöglicht der Gasdurchführungskasten **173** auch das Anlegen einer Hochspannungs-HF-Leistung an den Gaskasten **173**, ohne eine Zerlegung des Gases und ohne eine Gasabscheidung im Gasverteilungssystem. Einen beispielhaften Gasdurchführungskasten kann man im allgemein übertragenen US-Patent 4,872,947 von Wang finden.

[0117] Eine Gasdispersionsplatte **172** ist eine allgemeine kreisförmige Platte, die die untere Oberfläche des Gaskastens **173** bildet. Die Platte **172** umfasst eine Vielzahl von Dispersionslöchern für das Dispergieren des Gases durch diese in den Raum (**54** in **Fig.** 2), der zwischen der Platte **172** und dem Brausekopf **40** ausgebildet ist. Ein anderer Raum (**48** in **Fig.** 2) ist innerhalb des Gaskastens **173** auf der Seite der Platte **172** entgegengesetzt zum Brausekopf **40** angeordnet. Das Material, das für die Gasdispersionsplatte **172** gewählt wird, muss für das vorgesehene Verfahren geeignet sein. Während beispielsweise Aluminium für nicht korrodierende Abscheidungen bei niedrigen Temperaturen geeignet sein kann, so ist ein Nickel enthaltendes Metall für eine Chlorumgebung hoher Temperatur passender. Die Dispersionslöcher (nicht gezeigt) in der Platte **172** werden gewöhnlicherweise einen Durchmesser von ungefähr 0,25 bis 1,00 mm (10 bis 40 mil) aufweisen.

[0118] Wie man in **Fig.** 16A sieht, so wird die Größe und die Anordnung der Gasverteilungslöcher **42** im Brausekopf **40** in Abhängigkeit von den Verfahrenseigenschaften variieren. Beispielsweise können die Löcher **42** einen gleichförmigen Abstand aufweisen, um eine gleichförmige Verteilung von Gasen auf den Wafer zu liefern. Andererseits können die Löcher **42** einen nicht gleichförmigen Abstand aufweisen und nicht gleichförmig angeordnet sein, wenn dieses gewünscht wird. Die Löcher **42** werden gewöhnlicherweise einen Durchmesser im Bereich von ungefähr 0,13 bis 2,54 mm (5 bis 100 mil) und vorzugsweise im Bereich von ungefähr 0,25 bis 1,25 mm (10 bis 50 mil) aufweisen. Zusätzlich kann, während der Brausekopf **40** konventionellerweise aus einer Aluminiumlegierung hergestellt ist, ein Eloxieren oder eine andere Oberflächenbehandlung (wie eine Beschichtung mit Titan, eine Beschichtung mit Siliconcarbid oder eine Nickelbeschichtung) notwendig sein, um den Brausekopf von einem korrodierenden Angriff der Chlorspezien bei erhöhten Temperaturen zu schützen. In einem solchen Fall sollten die Löcher **42** anfänglich so hergestellt werden, dass der Durchmesser nach der Oberflächenbehandlung den gewünschten Wert darstellt. Alternativ kann der Brausekopf **40** aus einem korrosionsbeständigen, leitenden Material, wie Nickel, Titan oder Graphit, das auch einer Oberflächenbehandlung unterzogen werden kann, hergestellt werden. Vorzugsweise sind die Gasverteilungslöcher **42** gestaltet, um die Gleichförmigkeit der Abscheidung auf dem Halbleiterwafer zu fördern. Die Löcher (als auch die oben diskutierte Temperatur des Brausekopfs) sind auch gestaltet, um die Ausbildung von Abscheidungen auf der äußeren Oberfläche (der Bodenoberfläche) der Stirnplatte zu vermeiden, und insbesondere um die Abscheidung weicher Abscheidungen auf dieser Oberfläche, die während und nach der Verarbeitung herabfallen und auf den Wafer tropfen könnten, zu vermeiden. In einer beispielhaften Ausführungsform besteht die Lochanordnung aus allgemein konzentrischen Ringen der Löcher **42**. Die Distanzen zwischen benachbarten Ringen (der Abstand zwischen den Ringen) sind ungefähr gleich, und der Abstand von Loch zu Loch innerhalb jedes Rings ist ungefähr gleich. Eine vollständigere Beschreibung einer geeigneten Anordnung der Gasverteilungslöcher kann man im all-

gemein übertragenen US-Patent 4,872,974 von Wang finden.

[0119] **Fig.** 16A zeigt auch einen keramischen Isolatorring **52**, der den inneren Deckelaufbau vom Deckelrand elektrisch isolieren kann. Dies ermöglicht, dass HF-Leistung an den inneren Deckelaufbau und nicht an den Deckelrand angelegt wird, so dass die HF-Felder primär vom inneren Deckelaufbau, insbesondere dem Brausekopf **40** zur komplementären HF-Elektrode ausgehen. Der Isolatorring **52** ermöglicht auch, eine Vorspannung, wie eine Gleichspannungsvorspannung, an den Brausekopf **40** unabhängig von jeder Vorspannung, die mit dem Kammerkörper oder dem Deckelrand verbunden ist, anzulegen.

[0120] Der innere Deckelaufbau **170** wird durch einen (nicht gezeigten) Klemmbalken, der gegen die Oberseite des Gaseingabeverteilrohrs **176** drückt, um den Aufbau gegen den Kammerdeckel **66** zu halten, zusammengehalten. Die gestrichelten Linien zeigen, wie der Gaskasten **173** in den Brausekopf **40** passt, der in den Isolatorring **52** passt, der in den Kammerdeckel **66** passt. O-Ringe (nicht gezeigt) bilden gasdichte Abdichtungen zwischen diesen inneren Deckelkomponenten.

[0121] Die Temperatur des Wafers wird typischerweise durch die Heizeinrichtung **33** über einer minimalen Abscheidungstemperatur gehalten, so dass die Prozessgase an der Waferoberfläche miteinander reagieren und auf dieser eine Schicht abscheiden. Insbesondere wird ein elektrischer Strom durch die Leiterdrähte 150 zum Heizelement **107** geführt, um den Wafer auf eine Temperatur von ungefähr 200 bis 800°C gemäß den spezifischen Ausführungsformen aufzuheizen. In der bevorzugten Ausführungsform wird die Temperatur so gesteuert, wie das oben für das Heizeinrichtungssteuerunterprogramm **167** beschrieben wurde. Während dieses Verfahrens empfängt der Deckelaufbau **170** die Wärme aus verschiedenen Quellen, die die durch ihn hindurch gehenden Gase, den erhitzten Halbleiterwafer und die Waferheizquelle einschließen. Um die Komponenten des Deckelaufbaus **170** unter der minimalen Abscheidungstemperatur zu halten und somit Gasreaktionen und eine Abscheidung auf diesen Komponenten zu vermeiden, wird eine Wärmetauschflüssigkeit in Wärmetauschkanäle (in **Fig.** 16A nicht gezeigt), die im Gaskasten **173** und dem Brausekopf **40** ausgebildet sind, eingeführt. Wie in **Fig.** 16B gezeigt ist, so weist der Brausekopf **40** einen Hitzetauschkanal **203** auf, um die Temperatur des Brausekopf zu reduzieren, der sich durch seine Nähe zum Heizsockel, der auf Temperaturen von mindestens 400°C oder mehr erhitzt wird, erhitzen kann. Durchgänge (nicht gezeigt) verbinden den Wärmetauschkanal **203** mit den Wärmetauschkanälen im Gaskasten **173**. Eine unerwünschte Abscheidung und eine Verstopfung der Gasverteilungslöcher **42** wird durch das Reduzieren der Temperatur des Brausekopfs minimiert.

N. Abgassystem

[0122] Unter Bezug auf **Fig.** 1A umfasst eine Ventileinrichtung (Drosselventilsystem) ein Absperrventil **78** und ein Drosselventil **83**, die entlang einer Ausströmungsleitung **178** für das Steuern des Durchflusses der Gase durch den Pumpkanal **60** angeordnet sind. Der Druck innerhalb der Behandlungskammer **30** wird mit (nicht gezeigten) Kapazitätsmanometern überwacht und durch das Variieren des Flussquerschnittsgebiets der Leitung **178** mit dem Drosselventil **82** gesteuert. Vorzugsweise empfängt der Prozessor **85** Signale von den Manometern, die den Kammerdruck anzeigen. Der Prozessor **85** vergleicht den gemessenen Druckwert mit Solldruckwerten, die durch (nicht gezeigte) Bedienpersonen eingegeben werden, und bestimmt die notwendige Einstellung des Drosselventils, die erforderlich ist, um den gewünschten Druck innerhalb der Kammer zu halten. Der Prozessor **85** überträgt ein Einstellsignal an einen (nicht gezeigten) Ansteuermotor, der das Drosselventil auf eine Einstellung bringt, die dem Solldruckwert entspricht. Für eine Verwendung mit der vorliegenden Erfindung geeignete Drosselventile sind in der parallelen allgemein übertragenen Patentanmeldung mit der Seriennummer 08/672,891 mit dem Titel "Improved Apparatus and Methods for Controlling Process Chamber Pressure", die am 28. Juni 1996 eingereicht wurde, beschrieben.

[0123] Bei Verfahren, die hohe Gasdurchsätze erfordern, wie beispielsweise bei der Abscheidung von Titan aus $TiCl_4$, muss jedoch die Kapazität des Abgassystem erhöht werden. Dies umfasst das Erhöhen des Querschnittsgebiets der Abgasöffnung **80** als auch das Erhöhen der Durchmesser der Ausströmungsleitung **178** und des Drosselventils **83**. In einer Ausführungsform wurde, um einen Gasfluss von ungefähr 15 Liter/Minute bei einem Kammerdruck von ungefähr 650 Pascal psm (5 torr) aufzunehmen, der Abgasauslass **80** auf einen Durchmesser von ungefähr 5 cm (2 Inch) von einem Durchmesser von ungefähr 3,7 cm (1,5 Inch), der für ein Verfahren mit 5 Liter/Minute geeignet wäre, erhöht. Im selben Beispiel wurden die Durchmesser des Drosselventils und der Ausströmungsleitung in ähnlicher Weise von ungefähr 3,7 cm (1,5 Inch) auf ungefähr 5 cm (2 Inch) erhöht. Diese Durchmesser können in anderen Ausführungsformen in Abhängigkeit vom Gasfluss anders sein.

[0124] Das Absperrventil **78** kann verwendet werden, um die Behandlungskammer **30** von der Vakuumpumpe **82** zu isolieren, um die Reduktion des Kammerdrucks durch die Pumpaktion der Pumpe zu minimieren. Wie man in **Fig.** 1A sieht, so kann das Absperrventil **78** zusammen mit dem Drosselventil **83** auch verwendet werden, um die (nicht gezeigten) Massendurchsatzregler der VCD-Vorrichtung **10** zu kalibrieren. In einigen Verfahren wird eine flüssiger Ausgangsstoff verdampft und dann in die Behandlungskammer **30** mit einem Trägergas geliefert. Die

Massendurchsatzregler werden verwendet, um den Durchsatz des Gases oder der Flüssigkeit in die Kammer **30** zu überwachen. Während der Kalibrierung der MFCs beschränkt oder begrenzt das Absperrventil **78** den Gasfluss zum Drosselventil **83**, um den Druckanstieg in der Kammer **30** zu maximieren, was die MFC-Kalibrierung erleichtert.

[0125] Die Beschreibung des CVD-Systems, die oben präsentiert wurde, soll nur darstellend sein und sie soll nicht notwendigerweise als eine Begrenzung des Umfangs der vorliegenden Erfindung betrachtet werden. Das beispielhafte CVD-System **10** ist ein Vakuumkammersystem mit einem einzelnen Wafer. Andere CVD-Systeme, die Mehrwafer-Kammersysteme sind, können jedoch in anderen Ausführungsformen der Erfindung verwendet werden. Es sollte jedoch verständlich sein, dass obwohl gewisse Merkmale der Erfindung als ein Teil einer CVD-Kammer in einem Mehrkammerverarbeitungssystem gezeigt und beschrieben sind, die Erfindung nicht notwendigerweise in dieser Art beschränkt sein soll. Das heißt, es können verschiedene Aspekte der Erfindung in einer Vielzahl von Behandlungskammern, wie Ätzkammern, Diffusionskammern oder dergleichen, verwendet werden. Variationen des oben beschriebenen Systems, wie Variationen in der Gestalt, in der Gestaltung der Heizeinrichtung, dem Ort der HF-Leistungsverbindungen, des Softwarebetriebs und der Struktur, spezifischer Algorithmen, die in einigen Softwareunterprogrammen verwendet werden, der Konfiguration der Gaseinlassleitungen und der Ventile, und andere Modifikationen sind möglich. Weiterhin sind die spezifischen Abmessungen, die oben beschrieben wurden, für die spezifischen Ausführungsformen vorgesehen, wobei aber natürlich andere Ausführungsformen andere Abmessungen aufweisen können. Zusätzlich können einige Ausführungsformen der Erfindung in anderen Substratbehandlungsgeräten, die eine CVD-Ausrüstung, wie CVD-Geräte mit einen Elektronenzyklotronresonanzplasma (ECR), CVD-Geräte mit einem induktiv gekoppelten HF-Plasma hoher Dichte oder dergleichen, verwendet werden. Die Verfahren für das Ausbilden der Schichten, wie einem Titanfilm, müssen nicht notwendigerweise auf irgend ein spezifisches Gerät oder irgend ein spezifisches Plasmaanregungsverfahren beschränkt sein.

II. Hochtemperaturmehrschrittverfahren das das CVD-Reaktorsystem verwendet

A. Beispielhafte Strukturen und Anwendungen

[0126] **Fig.** 17 zeigt eine vereinfachte Querschnittsansicht einer integrierten Schaltung **900**. Wie gezeigt ist, so umfasst die integrierte Schaltung **900** NMOS und PMOS Transistoren **903** und **906**, die durch eine Feldoxidregion **920**, die durch eine lokale Oxidation des Siliziums (LOCOS) oder eine andere Technik ausgebildet werden, voneinander getrennt und elektrisch isoliert sind. Alternativ können die Transistoren **903** und **906** durch eine flache Grabenisolation (nicht gezeigt) getrennt und elektrisch voneinander isoliert sein, wenn die Transistoren **903** und **906** beide NMOS oder beide PMOS sind. Jeder Transistor **903** und **906** umfasst eine Source-Region **912**, eine Drain-Region **915** und eine Gate-Region **918**.

[0127] Eine dielektrische Vormetallschicht (PMD-Schicht) **921** trennt die Transistoren **903** und **906** von der Metallschicht **940**, wobei Verbindungen zwischen der Metallschicht und den Transistoren durch Kontakte **924** hergestellt werden. Die Metallschicht **940** ist eine von vier Metallschichten **940**, **942**, **944** und **946**, die in der integrierten Schaltung **900** vorhanden sind. Jede Metallschicht **940**, **942**, **944** und **946** ist von den benachbarten Metallschichten durch jeweilige dielektrische Zwischenmetallschichten **927**, **928** und **929** getrennt. Benachbarte Metallschichten sind an ausgewählten Öffnungen durch Durchführungen **926** verbunden. Über der Metallschicht **946** sind ebenen gemachte Passivierungsschichten **930** abgeschieden. Die CVD-Vorrichtung **10** kann verwendet werden, um Filme abzuscheiden, die beispielsweise als Metallschichten **940**, **942**, **944** oder **946** verwendet werden. Diese Schichten können aus mehreren Unterschichten, wie einer Titanschicht und einer darunter liegenden Aluminium-, Gold-, Platin- oder Wolframschicht, bestehen. Die CVD-Vorrichtung **10** kann auch verwendet werden, um Kontakte **925** oder Anschlüsse in der Struktur der Vorrichtung abzuscheiden.

[0128] **Fig.** 18 ist eine Querschnittsansicht einer beispielhaften Kontaktstruktur (wie eines Kontakts **924** oder einer Durchführung **923** der **Fig.** 17), mit der Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung verwendet werden können. Wie man in **Fig.** 18 sieht, so wird eine Oxidschicht **950**, typischerweise SiO_2, in einer Dicke von ungefähr 1 µm über einem Substrat **952**, das eine Oberfläche kristallinen Siliziums oder Polysiliziums aufweist, abgeschieden. Die Oxidschicht **950** kann als ein Vormetalldielektrikum oder als ein Zwischenebenendielektrikum dienen, wobei aber um einen elektrischen Kontakt zwischen den Ebenen zu liefern, ein Kontaktloch **954** durch die Oxidschicht **950** geätzt wird, um mit einem Metall, wie Aluminium, gefüllt zu werden. In fortgeschrittenen integrierten Schaltungen ist das Kontaktloch **954** schmal, oft kleiner als ungefähr 0,35 um, und weist ein Seitenverhältnis von ungefähr 6 : 1 oder größer auf. Das Füllen eines solchen Lochs ist schwierig, wobei aber ein gewisses Standardverfahren entwickelt wurden, bei denen das Loch **954** zuerst angepasst mit einer Titanschicht **956** beschichtet wird, und die Titanschicht **956** dann angepasst mit einer Titannitridschicht **958** beschichtet wird. Danach wird eine Aluminiumschicht **960** abgeschieden, wobei dies oft durch eine physikalisch Gasphasenabscheidung geschieht, um das Kontaktloch **954** zu füllen und um elektrische Verbindungsleitungen zur oberen Ebene zu liefern. Die Ti-Schicht **956** liefert eine Klebeschicht

für das darunter liegende Silizium und das Oxid der Seitenwände. Es kann auch mit dem darunter liegenden Silizium silizidiert werden, um einen ohmschen Kontakt auszubilden. Die TiN-Schicht **958** verbindet sich gut mit der Ti-Schicht **956**, und die Aluminiumschicht **960** benetzt das TiN gut, so dass das Aluminium das Kontaktloch **954** besser füllen kann, ohne einen eingeschlossenen Hohlraum zu bilden. Die TiN-Schicht **956** wirkt auch als eine Barriere, um zu verhindern, dass das Aluminium **960** in das Silizium **952** wandert und seine Leitfähigkeit beeinträchtigt. In einer Durchführungsstruktur, in der das Substrat **952** das Merkmal einer Aluminiumoberfläche einschließt, kann es sein, dass die Ti-Schicht **956** nicht benötigt wird. Obwohl die elektrische Leitfähigkeit des Titans und des Titannitrids nicht annähernd so hoch sind wie die des Aluminiums ist, so sind sie in dünnen Schichten dennoch ausreichend leitend, um einen guten elektrischen Kontakt zu liefern. Bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung können verwendet werden, um die Ti-Schicht **956** abzuscheiden, und andere Ausführungsformen können verwendet werden, um die TiN-Schicht **958** als auch andere Schichten abzuscheiden.

[0129] Es sollte verständlich sein, das die vereinfachte integrierte Schaltung **900** der **Fig.** 17 und die Kontaktstruktur der **Fig.** 18 nur für illustrative Zwecke dienen. Ein Fachmann könnte das vorliegende Verfahren für die Herstellung anderer integrierten Schaltungen, wie Mikroprozessoren, anwenderspezifische integrierte Schaltungen (ASICs), Speichervorrichtungen und dergleichen als auch für diskrete Vorrichtungen implementieren. Weiterhin kann die vorliegende Erfindung auf PMOS-, NMOS-, CMOS, bipolare oder BiC-MOS-Einrichtungen angewandt werden. Obwohl Anwendungen in Bezug auf die Abscheidung von Metallfilmen oben diskutiert wurden, kann die vorliegende Erfindung auch in anderen Anwendungen, wie bei der intermetallischen Abscheidung, der spontanen Ausbildung eines intermetallischen Films aus einer Metallabscheidung oder bei einer Abscheidung eines dotierten Films, verwendet werden. Insbesondere kann das Verfahren vorteilhafterweise auf die CVD von Metalloxiden, wie BST und PZT, angewandt werden. Die Erfindung ist natürlich auf viele andere Typen von Metall-CVD-Verfahren anwendbar und sie sollte auch in dielektrischen CVD-Anwendungen und anderen Plasmaanwendungen verwendbar sein.

B. Beispielhafte Verfahren

[0130] **Fig.** 19 zeigt ein Flussdiagramm der Schritte in beispielhaften Verfahren, die im obigen PECVD-System verwendet werden können, um Filme, wie Titanfilme, auf Substraten abzuscheiden, gemäß den Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung. Diese beispielhaften Verfahren verwenden eine plasmaverstärkte chemische Gasphasenabscheidung (PECVD), um Titanfilme mit Abscheidungsraten bis zu ungefähr 200 Å/min bis zu ungefähr 400 Å/min oder mehr aus einem verdampften flüssigen $TiCl_4$ Ausgangsstoff zu produzieren, im Gegensatz zu anderen Verfahren, die Titanfilme mit Raten von ungefähr 100 Å/min erzeugen. Es wird angenommen, dass die erhöhten Abscheidungsraten durch die Steuerung des Flüssigkeitszuführsystems, die Effizienz, die sich aus den Trockenreinigungsverfahren ergibt, und die korrosionsresistenten Hochtemperaturkammerkomponenten, wie die Stirnplatte, die Heizeinrichtung (wie die keramischen Heizeinrichtungen, die oben beschrieben wurden) und anderen, ergibt. Die erhöhten Abscheidungsraten ermöglichen eine kürzere Behandlungszeit pro Wafer und somit einen größeren Waferdurchsatz des Abscheidungssystems. Das elektrische Widerstandsheizelement, das in der keramischen Heizeinrichtung verwendet wird, liefert beispielsweise höhere Temperaturen als die, die typischerweise mit anderen konventionellen CVD-Systemen erreicht werden können. Ein beispielhaftes Substratbehandlungssystem, das für das Durchführen dieser Verfahren geeignet ist, ist das TixZ-System (das für 200 mm Wafer ausgerüstet oder auf 300 mm Wafer oder Wafer mit anderen Größen skalierbar ist), das von Applied Materials, Inc. aus Santa Clara, Kalifornien, erhältlich ist.

[0131] Der Durchsatz der Reaktionsteilnehmer- und Quellgase für dieses Verfahren ist ungefähr drei mal größer als der Durchsatz für ähnliche Verfahren, wie eine Titannitridabscheidung aus einem organometallischen Ausgangsstoff, wie Tetrakis-Dimethylamido-Titan. Somit weisen der Abgasauslass **80** und das Drosselventil **83**, wie das in **Fig.** 1A gezeigt ist, vergrößerte Querschnittsflächen gegenüber PECVD-Systemen des Stands der Technik mit ähnlichem Kammervolumen auf, wie das oben diskutiert wurde. Wie oben beschrieben wurde, so sind der Brausekopf **40** und die Prallplatte **52** ebenfalls hergestellt, um den erhöhten Gasfluss aufzunehmen. Zusätzlich ist gemäß einer spezifischen Ausführungsform, da die Abscheidung des Titan aus $TiCl_4$ Chlorgas, Chlorionen und Hydrochlorsäure als Nebenprodukte erzeugt, die Prallplatte (oder die Blockierplatte) **52** aus Nickel hergestellt, und der Brausekopf **40** ist aus eloxiertem Aluminium hergestellt. Weiterhin umfasst wegen der hohen Temperatur der Reaktion der Brausekopf **40** Hitzetauschkanäle **81**, die die Abscheidung auf dem Brausekopf reduzieren, und die die Korrosion des Brausekopfs durch Chlorspezies insbesondere beim Vorhandensein eines Plasmas reduzieren. Während dieses Verfahrens wird die Wafertemperatur konstant gehalten, und das Drosselventil ist vollständig offen. Da das Drosselventil nicht auf der Basis einer Druckmessung gesteuert wird, wird der Kammerdruck unter anderem durch das Einfließen der Reaktionsteilnehmer-, Quellen- und Spülgase, die Rate der Kombination oder Disoziierung dieser Gase und der Pumpkapazität festgelegt. Der Kammerdruck kann zwischen ungefähr 130 bis 1350 Pascal (1 bis 10 torr) während der Abscheidung liegen, wobei er aber in der spezifischen Ausführungs-

form vorzugsweise bei ungefähr 600 bis 650 Pascal (4,5 bis 5 torr) liegt.

[0132] Der erste Schritt im Verfahren besteht in der Einstellung der Temperatur (Schritt **1008**). Während dieses Schritts wird die Kammer mit einem nicht korrodierenden Gas, wie Argon, auf einen Druck gebracht, der über dem Druck liegt, bei dem die Abscheidung auftreten wird. Dies kann Leerstellen oder Hohlräume innerhalb der Kammer, insbesondere im Inneren des Heizsockels, mit einem Spülgas vorladen. Dieses Spülgas wird dann ausgasen, wenn der Kammerdruck auf den Abscheidungsdruck von ungefähr 600 Pascal psm (4,5 torr) in einer spezifischen Ausführungsform reduziert wird (Schritt **1009**), um somit das Einschließen von Prozessgasen, die Teile des Heizsockels oder der Kammer korrodieren können, zu minimieren. Das Verfahren kann vorzugsweise bei Temperaturen zwischen ungefähr 400 bis 750°C, noch besser bei ungefähr 625°C in einer spezifischen Ausführungsform durchgeführt werden. Im Schritt 1008 wird die Temperatur anfänglich auf ungefähr 635°C eingestellt, und der Wafer wird in die Kammer geladen. Die anfängliche Temperatur wird höher eingestellt als die Verfahrenstemperatur, da die Prozessgase die Heizeinrichtung und den Wafer kühlen werden, wenn sie beginnen zu fließen. Das anfängliche Erhitzen des Wafers über die Verfahrenstemperatur wird zu einer kürzeren Waferzykluszeit führen und es reduzierten den thermischen Schock für die Heizeinrichtung, der sich aus dem thermischen Gradienten zwischen dem Heizelement und der Oberfläche des Heizelements ergibt, der gewöhnlicherweise auftritt, wenn die Heizleistung erhöht wird, um die Heizeinrichtung zurück auf die Verfahrentemperatur zu bringen, nachdem der Gasfluss begonnen hat.

[0133] Ungefähr 15 Sekunden nach dem Laden des Wafers wird die Temperatur auf die Betriebstemperatur, in diesem Fall auf ungefähr 625°C, eingestellt, wenn das Spülgas, wie beispielsweise Argon, in die Kammer eingeleitet wird (Schritt **1009**). Das gleichzeitige Reduzieren der Solltemperatur der Heizeinrichtung (in Schritt **1009**), während die Gasflüsse initiiert werden, ermöglicht es, die thermische Kapazität der Heizeinrichtung für einen Teil der Kühlung, die vom Beginn des Gasflusses herrührt, zu berücksichtigen. Auf diese Weise wird die Temperaturabweichung von der Betriebstemperatur reduziert, und es wird weniger Leistung der Heizeinrichtung benötigt, um die Heizeinrichtung wieder auf die Betriebstemperatur zu bringen. Wenn beispielsweise beim Beginn des Gasflusses die Solltemperatur ungefähr 625°C beträgt (was es erforderlich macht, ungefähr 50% der maximalen Leistung der Heizeinrichtung aufrecht zu halten), so kann die Leistungssteuerung der Heizeinrichtung 100% der maximalen Leistung an das Heizelement liefern, um die Heizeinrichtung wieder auf ungefähr 625°C zu bringen. Wenn die ursprüngliche Solltemperatur ungefähr 635°C beträgt, wobei diese bei ungefähr 625°C beim Beginn des Gasflusses liegt, so kann es sein, dass die Leistungssteuerung der Heizeinrichtung nur ungefähr 65% der maximalen Leistung liefern muss, um die Heizeinrichtung wieder auf 625°C zu bringen, um somit den thermischen Gradienten zwischen dem Heizelement und der Oberfläche der Heizeinrichtung zu reduzieren. Die exakten Größen der Leistung werden unter anderem mit der thermischen Kapazität der Heizeinrichtung, dem Typ der Leistungssteuerung und den Gasflüssen variieren.

[0134] Geeignete Durchsätze des Spülgases liegen bei ungefähr 500 bis 3000 sccm, vorzugsweise bei ungefähr 1000 sccm für eine Kammer mit einem Volumen von ungefähr 5,5 Liter. Während dieser Zeit wird der Wafer ungefähr 14 mm (550 mil) vom Brausekopf entfernt gehalten, und die Kammer wird nach unten gepumpt auf ungefähr 600 Pascal (4,5 torr), indem das Drosselventil vollständig geöffnet wird. Bei dieser Ausführungsform des Verfahrens wird das Drosselventil während der restlichen Zeit offen gehalten, aber es kann in eine gesteuerten oder geregelten (geregelt von einer Messung eines Drucksensors) Weise teilweise geschlossen werden. Es ist verständlich, dass größere oder kleine Durchlässe für größere oder kleinere Kammern passend sein werden. In einer Ausführungsform wird Spülgas in die Kammer über ein (nicht gezeigtes) Bodenventil gegeben, so dass der untere Teil der Kammer (der Teil, der niedriger als der Strömungsdrosselring liegt) mit Spülgas bedeckt wird, um eine unerwünschte Abscheidung in dieser Region zu verhindern. Ein Plasmagas, wie Argon, wird gleichzeitig in die Kammer über den Brausekopf mit einem Durchsatz von ungefähr 1000 bis 10000 sccm, vorzugsweise von ungefähr 5000 sccm gegeben (Schritt **1009**). Das Plasmagas wird leicht in ein Plasma durch eine passende Anwendung einer HF-Energie geformt. Die Mischung des Plasmagases mit den Reaktionsteilnehmer- und den Quellgasen erleichtert die Ausbildung eines Plasmas aus den Reaktionsteilnehmer- und Quellgasen. Gleichzeitig wird ein Reaktionsteilnehmergas, wie Wasserstoff (N_2), mit einem anfänglichen Durchsatz angeschaltet (Schritt **1009**). Das Reaktionsteilnehmergas erniedrigt die Energie, die für die Zersetzung des Quellgases notwendig ist, um den gewünschten Film zu bilden, und es reduziert auch die Korrosivität der Nebenprodukte der Abscheidung, indem es einen Teil des Chlors in Chlorwasserstoff (HCl) umwandelt statt es als Cl^- oder Cl_2 zu belassen. Der Durchsatz des Reaktionsteilnehmergases wird in Inkrementen stufenförmig nach oben gefahren (oder alternativ rampenförmig) von einem anfänglichen Durchsatz bis zu einem endgültigen Durchsatz. Dies reduziert den thermischen Schock für die Heizeinrichtung, da der endgültige Durchsatz des Reaktionsteilnehmergases ziemlich hoch ist und den Wafer übermäßig abkühlen würde, wenn er auf einmal angeschaltet würde. Dieses gestufte oder rampenförmige Anschalten des Gases kann insbesondere bei Gasen, wie Helium oder Wasserstoff, wichtig sein, da diese Gase hohe Wärmeleitungseigenschaften zei-

gen. Der anfängliche Durchsatz des Reaktionsteilnehmergases kann in einigen spezifischen Ausführungsformen ungefähr 11% des endgültigen Durchsatzes betragen. Dieser Zustand wird für ungefähr 5 Sekunden gehalten.

[0135] Im nächsten Schritt wird der Gasfluss des Reaktionsteilnehmergases auf ungefähr 32% des endgültigen Durchsatzes erhöht (Schritt **1011**). Nach einer Wartezeit von ungefähr 5 Sekunden, wird der Fluss des Reaktionsteilnehmergases auf ungefähr 53% des endgültigen Durchsatzes erhöht, und das Quellgas wird angeschaltet (Schritt **1012**). Vorzugsweise ist in spezifischen Ausführungsformen das Verhältnis des Reaktionsteilnehmergases zum Quellgas kleiner als ungefähr 250 : 1. In einer Ausführungsform besteht das Quellgas aus Heliumgas, das durch einen flüssigen Ausgangsstoff von Titan-Tetrachlorid ($TiCl_4$), der auf ungefähr 60°C erhitzt wurde, geperlt wird. Der gesamte Druck über der Flüssigkeit ist eine Kombination des Heliumdrucks und des Dampfdrucks. Das Erwärmen der Flüssigkeit $TiCl_4$ auf ungefähr 60°C führt zu einem $TiCl_4$ Dampfdruck von ungefähr 8000 Pascal (60 torr).

[0136] Der Fluss des Heliums durch den Gasspüler wird auf ungefähr 2000 sccm eingestellt. Der sich ergebende kombinierte Fluss des $TiCl_4$ Dampfes und des Heliums entspricht einem Durchsatz von 58 sccm durch einen Massendurchsatzregler (MFC) (der für $TiCl_4$ Dampf kalibriert ist) auf der Ausgabequellleitung. Fachleute werden verstehen, dass MFC für spezielle Gase kalibriert werden, und dass das Ändern der relativen Druckwerte zwischen dem Druck des Heliumgasspülers und dem Ausgabedruck des Helium-plu-$TiCl_4$-Dampfs die Konzentration des $TiCl_4$-Dampfes im Quellgas ändern könnte, sogar wenn der MFC kontinuierlich einen "Fluss" von 58 sccm steuert. Weiterhin führt das Erhitzen des $TiCl_4$ auf höhere Temperaturen nicht nur zu höheren Dampfdruckwerten, sondern es ändert auch die Konzentration des $TiCl_4$-Dampfes im Quellgas für einen vorgegebenen "Fluss". Es ist wünschenswert, den Heliumdruck, den Ausgabequelldruck und die $TiCl_4$ Temperatur so zu wählen, dass eine stabile $TiCl_4$-Dampflieferung erzeugt wird, die zu einer hohen Filmabscheidungsrate führt. Das Drosselventil zwischen der Kammer und der Vakuumpumpe wird offen gehalten, um die maximale Abgaskapazität zu liefern. Bei den obigen Durchsätzen beträgt der sich ergebende Kammerdruck ungefähr 530 bis 650 Pascal (4 bis 5 torr) für das speziell verwendete Abscheidungssystem. Die relativen Flüsse des $TiCl_4$-Dampfes und des N_2 werden gewählt, um die Ausbildung der sich ergebenden Titanschicht bei diesen Zuständen und der gegebenen verfügbaren Abgaskapazität zu optimieren. Eine größere Kapazität würde einen höheren Gesamtdurchsatz erlauben, und somit könnte eine größere Menge $TiCl_4$-Dampfes zur Abscheidungskammer geliefert werden. In ähnlicher Weise würde die Erhöhung des Flusses des H_2 relativ zum Fluss des $TiCl_4$-Dampfes in einem System mit einer festen Abgaskapazität die Menge des $TiCl_4$-Dampfes, die an die Kammer geliefert wird, reduzieren.

[0137] Als eine Alternativ zur MFC-Steuerung auf Temperaturbasis kann ein Steuersystem auf Druckbasis verwendet werden. Beispiele von Steuerungen auf Druckbasis umfassen Druckregler, Steuerungen mit fester Öffnung (Mündung) und Steuerungen mit variabler Öffnungen, wie das oben diskutiert wurde. Die Einfachheit eines Steuersystems mit fester Öffnung kann bei Dämpfen, wie $TiCl_4$, die leicht in einer MFC-Steuerung kondensieren und/oder diese verstopfen können, um so ihren thermischen Messmechanismus zu stören, wünschenswert sein. Beispielsweise kann eine Öffnung von 7,5 mm (29,2 mil), die zwischen einem flüssigen Rohstoff $TiCl_4$ und der Abscheidungskammer platziert ist, eine stabile Lieferung des $TiCl_4$-Dampfes an die Kammer aufrecht halten. In anderen Ausführungsformen kann die Öffnung zwischen ungefähr 6,35 bis 10,2 mm (25 bis 40 mil) liegen, um hohe Abscheidungsraten zu erzielen. In dieser Ausführungsform wird die Kammer bei einem Druck von ungefähr 600 Pascal (4,5 torr) gehalten durch das Einstellen des Drosselventils mit der Drucksteuerung gemäß dem gemessenen Kammerdruck. Wenn der flüssige Rohstoff auf ungefähr 60°C erwärmt wird, und man Helium durch die Flüssigkeit mit ungefähr 400 sccm perlt, so wird die Öffnung einen stabilen Druck von ungefähr 14600 Pascal (110 torr) über dem flüssigen Rohstoff bei einem Öffnungsausgangsdruck von ungefähr 600 Pascal (4,5 torr) halten. Geeignete Dampfdurchsätze können auch ohne die Verwendung eines Perlgases erzielt werden, insbesondere wenn der flüssige Rohstoff auf eine Temperatur erhitzt wird, die einen ausreichenden Dampfdruck liefert, um eine stabile Abscheidungsrate aufrecht zu halten.

[0138] Als nächstes wird das Reaktionsteilnehmergas auf seinen endgültigen Durchsatz von ungefähr 9500 sccm eingestellt (Schritt **1013**), der für ungefähr fünf Sekunden gehalten wird, bevor der Wafer in seine Behandlungsposition in ungefähr 10,2 mm (400 mil) Entfernung von der Brausekopfdüse (Schritt **1014**) gebracht wird. Dieser Zustand wird für zusätzliche fünf Sekunden gehalten, um es dem Gasflussmuster zu ermöglichen, sich zu stabilisieren, und dann wird die HF-Leistung angeschaltet (Schritt **1015**). Die HF-Frequenz kann zwischen ungefähr 300 bis 450 kHz, vorzugsweise bei ungefähr 400 kHz bei einem Leistungspegel zwischen ungefähr 200 und 2000 Watt, vorzugsweise von ungefähr 700 Watt liegen. Diese Zustände, die die Verwendung von Argon einschließen, errichten ein stabiles Plasma, ohne dass zusätzliche Vorrichtungen, um eine Glühentladung zu zünden, wie eine Ultraviolettquelle oder ein Funkengenerator, benötigt werden. Alternative Ausführungsformen können eine höherfrequente HF-Quelle verwenden, die beispielsweise bei ungefähr 13,56 MHz arbeitet. Diese Quelle kann alternativ oder zusätzlich zur niedrigeren HF-Quelle verwendet

werden. Ein Titanfilm wird auf dem Wafer mit einer Rate von ungefähr 200 Å/min abgeschieden. Somit wird das Halten dieser Verfahrenszustände für ungefähr 100 Sekunden zu einem Titanfilm mit einer Dicke von ungefähr 300 Å führen.

[0139] Nachdem der gewünschte Film abgeschieden wurde, werden die Quell- und Reaktionsteilnehmergase abgeschaltet (Schritt **1016**). Die Plasmaleistung wird auf einen niedrigeren Leistungspegel (ungefähr 43% des für die Abscheidung verwendeten Leistungspegels) innerhalb von ungefähr 2 Sekunden reduziert (Schritt **1017**), und nochmals auf ungefähr 20% innerhalb von ungefähr 2 Sekunden reduziert (Schritt **1018**), und dann schließlich auf ungefähr 7% innerhalb von ungefähr 2 Sekunden reduziert (Schritt **1019**), wonach die HF-Leistung abgeschaltet wird (Schritt **1020**). Während dieser Zeit bleibt das Drosselventil offen. Die Heizeinrichtung wird herabgefahren, um den Wärmeverlust zu den kälteren Wänden der Kammer, insbesondere der Stirnplatte und dem Deckel, zu reduzieren. Diese Plasmaspülsequenz dient dazu, größere Teilchen, die sich auf der Kammer und verschiedenen Kammerkomponenten gebildet haben, zu lösen. Die Plasmaleistung, das Plasmagas und das Spülgas werden dann abgeschaltet, und die Kammer wird heruntergepumpt (Schritt **1021**) vor dem Entladen des bearbeiteten Wafers (Schritt **1010**). Nachdem der Wafer entfernt ist, wird die Temperatur auf ungefähr 635°C voreingestellt (Schritt **1022**), bevor der nächste Wafer geladen wird (Schritt **1023**). Obwohl das Plasmareinigungsverfahren an Ort und Stelle als ein dreischrittiges Verfahren beschrieben ist, könnte dieses Verfahren mit weniger oder mehr Schritten durchgeführt werden, oder es könnte als ein kontinuierliches Herabfahren mit einer konstanten oder variablen Änderungsrate der HF-Leistung durchgeführt werden.

[0140] Zusätzlich zur Plasmaspülreinigung, die nach jeder Abscheidung auf dem Wafer durchgeführt wird, werden zusätzliche Reinigungsverfahren verwendet, um die Waferverunreinigung zu vermeiden. Ein Trockenreinigungsverfahren (das ohne ein Öffnen des Kammerdeckels durchgeführt wird) wird periodisch an der Kammer nach einer gewissen Anzahl von Abscheidungsverfahren auf dem Wafer durchgeführt. Gemäß der vorliegenden Erfindung ist während dieses Reinigungsverfahrens kein Wafer (beispielsweise ein Dummy-Wafer) in der Kammer. Das Trockenreinigungsverfahren kann zwischen jeweils "X"-Wafern, vorzugsweise 1 bis 25 Wafern, durchgeführt werden. Die Trockenreinigung kann in einer speziellen Ausführungsform beispielsweise zwischen 3 bis 5 Wafern ausgeführt werden. Es ist wünschenswert, das Trockenreinigungsverfahren effizient zu halten, so dass es die gesamten Waferausgabe des Systems nicht signifikant verschlechtert. Ein beispielhaftes Reinigungsverfahren gemäß einer spezifischen Ausführungsform wird detaillierter nachfolgend beschrieben.

[0141] Unter erneutem Bezug auf **Fig.** 19, ist, wenn X (wobei beispielsweise X = 3) Wafer behandelt wurden, die Kammer für eine Trockenreinigung fällig (Schritt **1024**). Zuerst wird die Heizeinrichtung weiter weg vom Brausekopf in eine Distanz von ungefähr 17,8 mm (700 mil) bewegt (Schritt **1025**) und bei der Verfahrenstemperatur von 625°C gehalten. Die Kammer wird auf einem Reinigungsdruck, der zwischen ungefähr 13,3 und 1330 Pascal (0,1 und 10 torr), vorzugsweise bei weniger als 650 Pascal (5 torr) und bei ungefähr 80 Pascal (0,6 torr) in einer spezifischen Ausführungsform liegt, gehalten. Dies minimiert den Wärmefluss vom der Heizeinrichtung zum Brausekopf, um somit den Brausekopf relativ zur Heizeinrichtung zu kühlen. Die Kammer wird mit einem Spülgas, wie Argon, bei einem Druck (höher als der Verfahrensdruck) zwischen ungefähr 650 und 2000 Pascal (5 bis 15 torr), vorzugsweise von ungefähr 2000 Pascal (15 torr) in einer spezifischen Ausführungsform gereinigt (Schritt **1026**), und dann nach unten auf ungefähr 80 Pascal (0,6 torr) gepumpt (Schritt **1027**). Das Reinigen bei einem höheren Druck als sowohl des herabgepumpten Drucks als auch des Abscheidungsdrucks füllt den Heizsockel mit Argongas, das nachfolgend ausgast, um das Reinigungsprozessgas von einer Infiltrierung der Heizeinrichtung oder des Sockels abzuhalten. Das Chlorgas (Cl_2) wird dann in die Kammer mit einer Rate von ungefähr 200 sccm zusätzlich zum Argongas geleitet (Schritt **1028**), was die Plasmaausbildung unterstützt, wie das oben diskutiert wurde. Als nächstes wird ein Plasma mit einer Leistung von ungefähr 400 Watt gezündet (Schritt **1029**). Dieser Zustand wird für ungefähr 80 Sekunden gehalten, wobei während dieser Zeit die Chlorspezies mit unerwünschten Abscheidungen reagiert, und die Argonplasmaspezies physisch Abscheidungen bombardiert, um diese Abscheidungen von den Kammerkomponenten zu ätzen. Unerwünschte Abscheidungen von den Abscheidungsverfahren sind im allgemeinen am dicksten über den heißesten freigelegten Teilen der Kammer, das sind die oberen Oberflächen der Heizeinrichtung, die nicht durch einen Wafer bedeckt sind, oder die nicht durch einen Strömungsdrosselring abgeschirmt werden. Durch das Bewegen der Heizeinrichtung weg vom Brausekopf gewährleisten die oben angegebenen Zustände ein ausreichendes Reinigen aller Kammerkomponenten ohne ein übermäßiges Ätzen irgendwelcher dieser Komponenten, insbesondere des Brausekopfs. Nach der Plasmareinigung wird das Chlorgas abgeschaltet, und die Plasmaleistung wird auf ungefähr 50 Watt reduziert, um eine Plasmaspülung für ungefähr 5 Sekunden durchzuführen (Schritt **1030**). Die Temperatur wird dann auf ungefähr 635°C voreingestellt (Schritt **1031**) in Vorbereitung für die Bearbeitung von X Wafern durch das Laden des nächsten Wafers in die Kammer (**1032**), und die Kammer wird für ungefähr 15 Sekunden ausgepumpt. Natürlich wird erkennbar, dass "nasse Reinigungen" oder präventive Wartungsreinigungen (die zwischen jeweils Hunderten oder Tau-

senden von behandelten Wafern auftreten) durch das Öffnen des Kammerdeckels, um die verschiedenen Teile der Kammer manuell zu reinigen, durchgeführt werden können.

[0142] Das Durchführen des periodischen Trockenreinigungsverfahrens zwischen den Waferabscheidungen minimiert die Frequenz dieser präventiven Wartungsreinigungen, die oft sehr zeitaufwendig sind. Weiterhin liefert das Trockenreinigungsverfahren eine reinere Kammer und es wird angenommen, dass die Verfahrensabläufe in der Kammer effizienter sind und zu schnelleren Abscheidungsraten beitragen.

III. Testergebnisse und Messungen

[0143] Es wurden Experimente durchgeführt, um die Abscheidungsverfahren und die Vorrichtung, die für die schnelle Abscheidung eines Titanfilms oder eines anderen Films mit guten Lückenfülleigenschaften geeignet ist, auszuwerten. Diese Experimente wurden in einem TixZ Abscheidungssystem (das von Applied Materials Inc. hergestellt wird), das eine widerstandsbeheizte keramische Heizeinrichtung aufweist und für einen 200 mm Wafer konfiguriert ist, durchgeführt. Die experimentellen Bedingungen wurden im allgemeinen gewählt, um die Bedingungen während der Abscheidung eines Titanfilms auf einem Wafer gemäß einer oben beschriebenen Ausführungsform mit den unten angegebenen Ausnahmen anzunähern.

[0144] **Fig.** 20 ist ein Diagramm, das die gemessene Gleichförmigkeit der Temperatur über einem 200 mm Siliziumwafer **1002** zeigt, wenn er auf eine Solltemperatur von 625°C auf einer widerstandsbeheizten AIN-Heizeinrichtung (wie der oben beschriebenen AIN-Heizeinrichtung mit kurzen Stummel) bei einem Kammerdruck von ungefähr 660 Pascal (**5** torr) und einem Abstand von ungefähr 400 mil zwischen dem Brausekopf und dem Wafer **1002** erhitzt wurde. Wie man in **Fig.** 20 sieht, so reichen die Temperaturwerte an verschiedenen Orten des Wafers **1002** von einem Minimum von 552,6°C (Bezugszahl **1004**) bis zu einem Maximum von 565,8°C (**1006**), was zu einer Temperaturvariation von 13,2 °C führt. Die Gleichförmigkeit der Temperatur wird gemäß der folgenden Gleichung definiert:

Gleichförmigkeit der Temperatur = ±(Δ Temperatur/(2 × Temperatur)) × 100%

wobei die Temperatur in °C angegeben ist. Unter Verwendung dieser Gleichung beträgt die Gleichförmigkeit der Temperatur über dem Wafer ±1,2%. Die keramische Heizeinrichtung der vorliegenden Erfindung zeigt somit eine gute gleichförmige Heizfähigkeit.

[0145] **Fig.** 21 ist eine graphische Darstellung, die die Beziehung der Abscheidungsrate einer Titanschicht zu der Konzentration des $TiCl_4$-Dampfes in der Quellenausgabe unter ähnlichen Verfahrensbedingungen, wie sie oben für eine flüssigen $TiCl_4$ Ausgangsstoff, der mit Helium durchperlt wird, diskutiert wurden, zeigt. Das Dampfdruckverhältnis ist das Verhältnis des $TiCl_4$ Dampfdrucks zum gesamten Druck über der Flüssigkeitsquelle, wobei es den Heliumdruck von der Gasspülerversorgung einschließt. Für beide Abscheidungen wurde die Flüssigkeitsquelle bei einer Temperatur von ungefähr 60°C gehalten, was einen $TiCl_4$-Dampfdruck von ungefähr 8000 Pascal (60 torr) schafft. Beide Abscheidungen wurden bei ungefähr demselben Kammerdruck unter Verwendung derselben Öffnung mit festem Öffnungsdurchmesser, um den gesamten Druck über der Flüssigkeit auf ungefähr 16000 Pascal (120 torr) zu steuern, durchgeführt. Der Fluss des Heliumgasspülergases wurde variiert, um verschiedene $TiCl_4$-Dampfdruckverhältnisse zu erzeugen. Wie in **Fig.** 21 gezeigt ist, so verdoppelt eine Verdopplung des Dampfdruckverhältnisses in dieser Region die Abscheidungsrate. Obwohl die Beziehung in dieser Region linear erscheint, kann sie über den gesamten Bereich der Dampdruckverhältnisse linear oder auch nicht linear sein. Weiterhin kann das Steuern des Dampfdruckverhältnisses durch andere Mittel, wie das Steuern der Temperatur (und somit des Dampfdrucks) des flüssigen $TiCl_4$ Ausgangsstoffs, erzielt werden. Beispielsweise kann das Erhöhen der Temperatur des flüssigen Ausgangsstoffs auf 70°C einen $TiCl_4$-Dampfdruck von ungefähr 12000 Pascal (90 torr) erzeugen. Bei einem konstanten Heliumgasspülerdurchsatz kann das Erhöhen der Temperatur des flüssigen Ausgangsstoffs das Dampfdruckverhältnis erhöhen, um somit die Menge des $TiCl_4$, die zur Abscheidungskammer geliefert wird, zu erhöhen. Das Erhöhen des Durchmessers der Öffnung in einem druckgesteuerten System, wie das oben diskutiert wurde, kann auch das Druckverhältnis erhöhen und somit die Menge des $TiCl_4$, das zur Kammer geliefert wird. Die Öffnungsdurchmesser können im Bereich zwischen ungefähr 0,64 und 1,0 mm (25 bis 40 mil) in spezifischen Ausführungsformen liegen. Das Erhöhen des Öffnungsdurchmessers von beispielsweise ungefähr 0,7 mm (29 mil) bis ungefähr 8,9 mm (35 mil) kann die Abscheidungsrate von ungefähr 200 Å/Minute auf 400 Å/Minute erhöhen. Das Ändern der Abscheidungsparameter, wie beispielsweise des Kammerdrucks oder der Wafertemperatur, können zu anderen Abscheidungsraten führen. Die Verwendung einer druckbasierten Steuerung für die Ausgabe eines Quellgases an die Kammer (wie eines Gasspülers, um ein Quellgas von einem verdampften flüssigen Ausgangsstoff, das in die Kammer über eine Öffnungsweite eingeführt wird) führt zu einer guten Steuerung der Abscheidungsrate als auch der Stabilität und der Zuverlässigkeit im Abscheidungsverfahren.

[0146] Es sollte verständlich sein, dass die obige Beschreibung illustrierend und nicht einschränkend sein soll. Fachleute werden viele Ausführungsformen erkennen, wenn sie die obige Beschreibung betrach-

ten. Beispielsweise wurde die Erfindung primär im Hinblick auf eine Titanverfahrensrezeptur dargestellt, wobei sie aber nicht darauf beschränkt ist. Beispielsweise kann der Film, der gemäß anderen Ausführungsformen ausgebildet wird, ein Titansilizidfilm, ein Titannitridfilm, ein anderer Metallfilm, ein dotierter Film, ein dielektrischer Film oder ein anderer Film sein. Als ein anderes Beispiel ist das Plasmagas, das für die spezifische Ausführungsform verwendet wird, Argon, wobei aber auch andere Gase, wie BCl_3 und CiF_3 auch als Plasmagas in anderen Ausführungsformen verwendet werden kann. Natürlich wird erkennbar, dass dieselbe oben diskutierte CVD-Vorrichtung verwendet werden kann, um Filme bei Temperaturen abzuscheiden, die niedriger als ungefähr 400°C sind, als auch bei Temperaturen, die über 625°C betragen. Es wird auch erkennbar, dass die Erfindung nicht auf die spezifischen Dimensionen, die oben für die verschiedenen spezifischen Ausführungsformen beschrieben wurden, begrenzt ist. Auch können andere Materialien neben denen, die oben für spezifische Ausführungsformen beschrieben wurden, für die verschiedenen Komponenten der Kammer, wie der Stirnplatte, die aus Nickel, Graphit oder anderen Materialien hergestellt sein kann, verwendet werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Abscheiden einer Schicht auf einem Substrat, das auf einer Substratträgerfläche einer Heizeinrichtung in einer Substratbehandlungskammer angeordnet ist, wobei bei dem Verfahren die Temperatur der Heizeinrichtung auf eine erste Temperatur eingestellt wird und sich das Verfahren durch die Schritte auszeichnet,
– dass die Temperatureinstellung für einen ersten Zeitraum aufrechterhalten wird,
– dass die Kammer auf einem Druck zwischen etwa 133,3 bis 1.333 Pa gehalten wird, und
– dass danach Gase in die Kammer eingeführt werden, ein Plasma aus den Gasen gebildet wird und die Temperatur der Heizeinrichtung auf eine zweite Temperatur eingestellt wird, die aufrechterhalten wird, während die Schicht auf dem Substrat abgeschieden wird, wobei die zweite Temperatur niedriger ist als die erste Temperatur.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei welchem während des Abscheidens der Schicht der Durchsatz an Reaktionsteilnehmergas, das in die Substratbehandlungskammer eingeführt wird, von einem Anfangsdurchsatz auf einen Enddurchsatz in Inkrementen abgestuft oder linear angeglichen wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, bei welchem der Durchsatz des Reaktionsteilnehmergases von dem ersten Durchsatz auf einen Zwischendurchsatz erhöht wird, der kleiner ist als der zweite Durchsatz, bevor ein Quellengas zur Bildung des Plasmas eingeführt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, bei welchem das Durchsatzverhältnis von Reaktionsteilnehmergas zu Quellengas kleiner als 100 : 1 ist.

5. Verfahren nach Anspruch 1, bei welchem die in die Kammer eingeführten Gase ein Reaktionsteilnehmergas und ein metallisches Quellengas aufweisen.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei welchem die Temperatur der Heizeinrichtung auf die zweite Temperatur gleichzeitig mit dem Einführen der Gase in die Kammer reduziert wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei welchem die erste und die zweite Temperatur größer als 500°C sind.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei welchem die erste und zweite Temperatur größer als 600°C sind.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei welchem das Plasma angrenzend an das Substrat durch Anlegen von HF-Energie gebildet wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei welchem das Plasma aus Mikrowellenenergie gebildet wird.

11. Substratbehandlungssystem
– mit einer Kammer mit einem Kammervolumen,
– mit einem Gaszuführsystem, das eine Vielzahl von Gasquellen aufweist, von denen wenigstens eine zum Zuführen eines Quellengases angeordnet ist, das ein Metall und ein Halogen aufweist, wobei das Gaszuführsystem im Einsatz das Quellengas mit einem Mengenstrom zur Verwendung in der Kammer zuführt,
– mit einem Heizsystem, welches einen Heizsockel aufweist, der eine Oberfläche hat, die ein Substrat tragen kann, wobei der Heizsockel eine Heizanordnung aufweist, die in der Lage ist, die Temperatur durch Widerstandsbeheizung auf wenigstens etwa 400°C in einem Plasma mit halogenierten Spezies zu bringen,
– mit einem Plasmasystem, das in der Lage ist, ein Plasma in der Kammer auszubilden,
und
– mit einem Vakuumsystem, das mit der Kammer zur Steuerung des Abgases aus der Kammer verbunden ist,
gekennzeichnet
– durch ein Steuersystem mit einem Prozessor und einem Speicher, der ein computerlesbares Medium mit einer computerlesbaren Programmausgestaltung zur Leitung des Betriebs der Abscheidevorrichtung hat, die mit dem Prozessor gekoppelt ist, wobei das computerlesbare Programm
– einen ersten Satz von Instruktionen zum Steuern des Heizsystems, um den Heizsockel auf eine erste

Temperatur zu erhitzen und auf der ersten Temperatur zu halten,
– einen zweiten Satz von Instruktionen zum Steuern des Gaszufuhrsystems, um das Quellengas mit einem ersten Mengenstrom und dann mit einem zweiten Mengenstrom zuzuführen, wobei der zweite Mengenstrom größer ist als der erste Mengenstrom, wodurch ein Thermoschock an der Heizanordnung reduziert wird, und
– einen dritten Satz von Instruktionen zum Steuern des Vakuumsystems aufweist, um die Gasabführung aus der Kammer zu steuern, wobei die Kammer, wenn sie sich im Einsatz befindet, auf einem Druck zwischen 133 Pa und 1333 Pa (1 bis 10 Torr) gehalten wird, indem das Gaszufuhrsystem so gesteuert wird, dass das Quellengas bei dem zweiten Mengenstrom abgegeben wird, der um etwa das Zweifache des Kammervolumens pro Minute größer ist.

12. Substratbehandlungssystem nach Anspruch 11, bei welchem das Plasmasystem einen HF-Generator und eine HF-Ebene aufweist, die in dem Heizsockel in einem Abstand unter der Oberfläche angeordnet ist.

13. Substratbehandlungssystem nach Anspruch 11, bei welchem das Plasmasystem ein Mikrowellenplasmasystem aufweist.

14. Ein Substratbehandlungssystem nach Anspruch 11, bei welchem der erste Satz von Instruktionen eine erste Teilmenge von Instruktionen zum Steuern des Heizsystems, um den Heizsockel auf eine zweite Temperatur in einem ersten Zeitraum zu erhitzen, wobei die erste Temperatur niedriger ist als die zweite Temperatur, und eine zweite Teilmenge von Instruktionen zum Steuern des Heizsystems aufweist, um den Heizsockel auf die erste Temperatur in einem zweiten Zeitraum nach dem ersten Zeitraum zu erhitzen.

15. Substratbehandlungssystem nach Anspruch 14, bei welchem die zweite Temperatur um weniger als etwa 5% größer als die erste Temperatur und der zweite Zeitraum weniger als etwa 20 s beträgt.

16. Substratbehandlungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 15, bei welcher das Gaszufuhrsystem ein Flüssigkeitszufuhrsystem mit einem auf Druckbasis arbeitenden Steuereinlass zum Einführen des Quellengases in die Kammer ist, wobei das Quellengas eine verdampfte Flüssigkeitsquelle aufweist und wobei der auf Druck basierende Steuereinlass eine Austrittsöftnungsgröße im Bereich zwischen etwa 0,6 mm und 1,0 mm (25–40 mil) hat und das Quellengas Titantetrachlorid ist, das mit gasförmigem Helium verdampft ist.

Es folgen 23 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

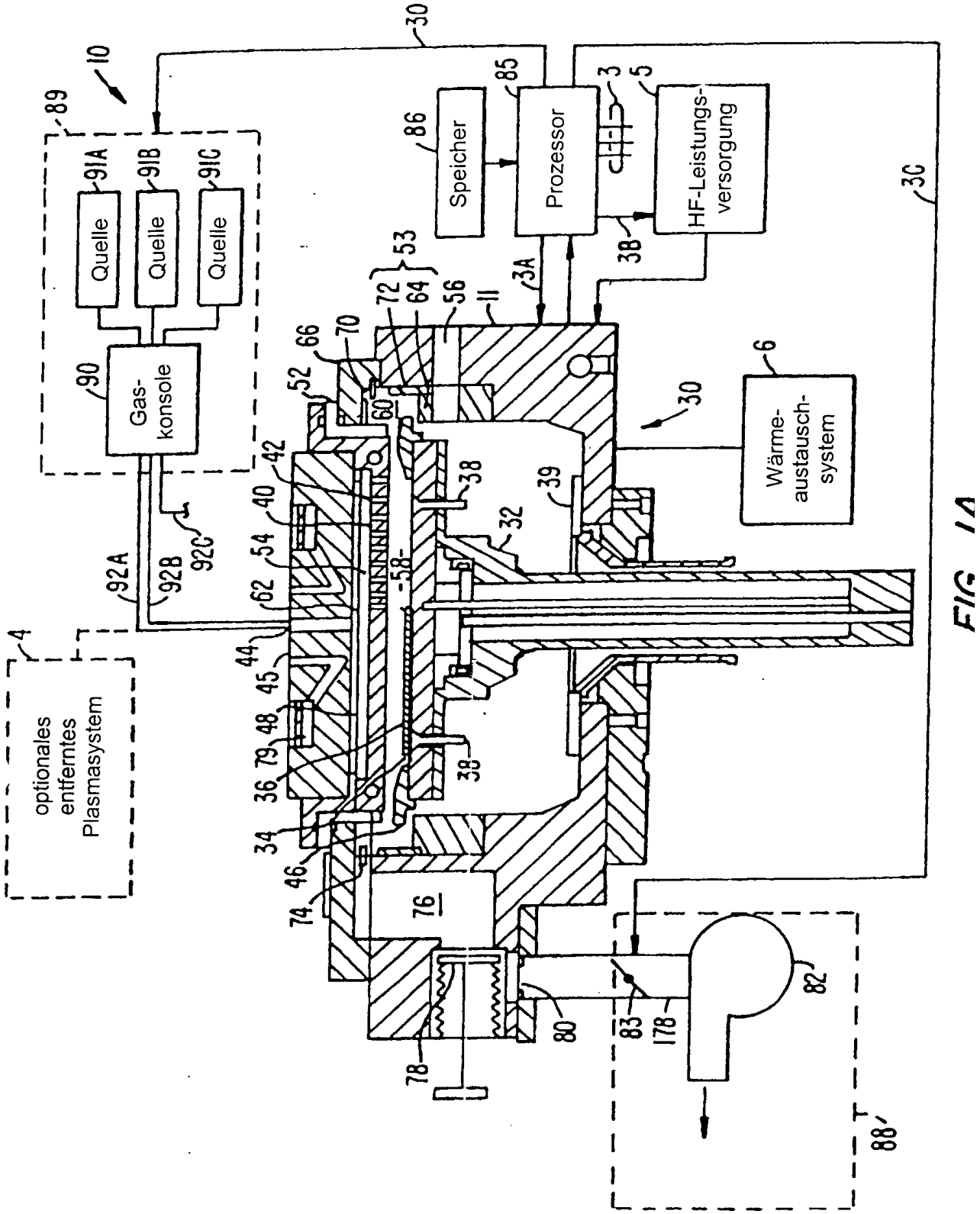

FIG. 1A

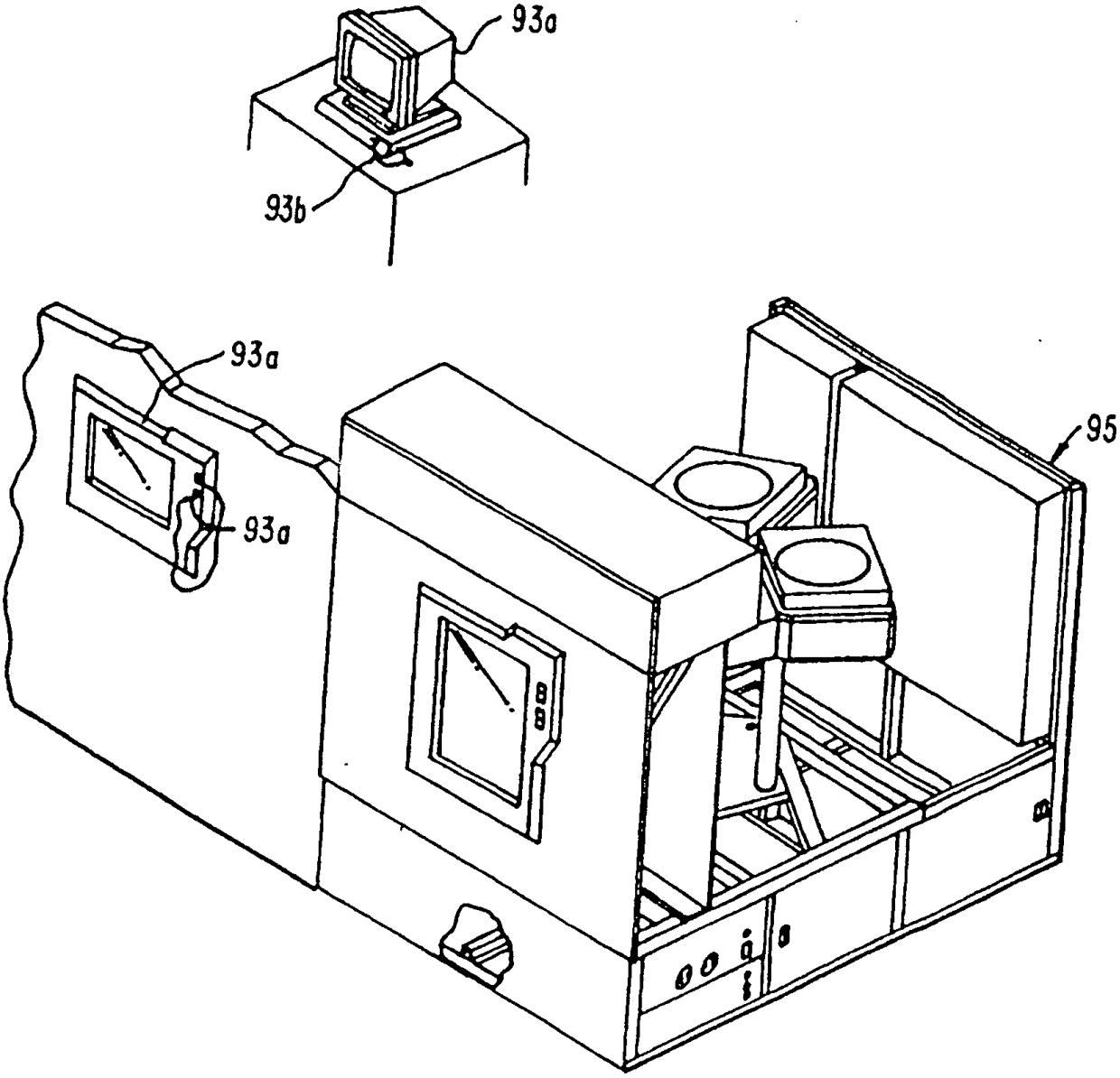

FIG. 1B.

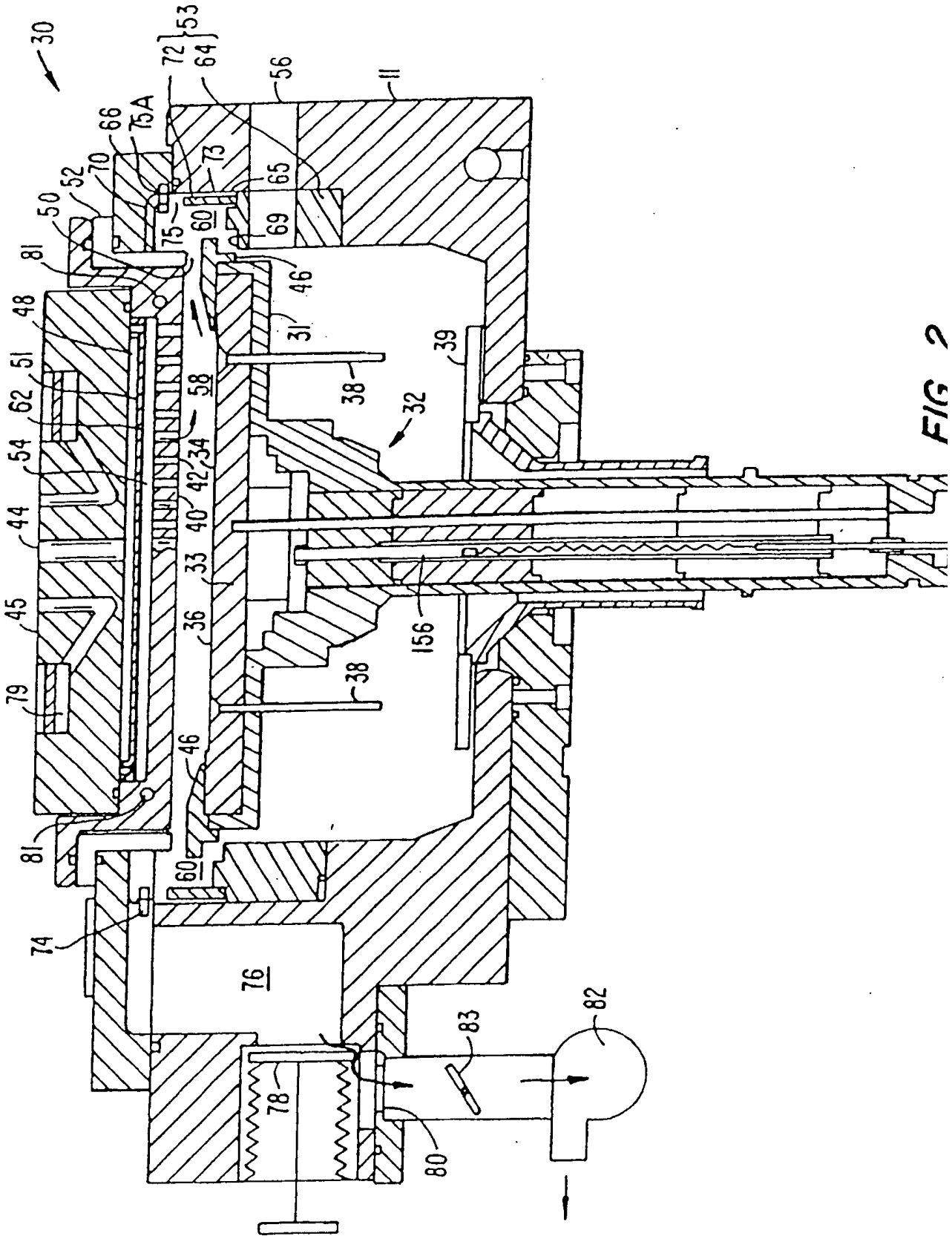
30
72
53
64
56
11
66
75A
70
52
50
81
73
65
75
60
69
46
48
31
39
51
62
58
38
32
54
34
42
40
44
33
45
36
156
79
38
46
81
60
74
76
83
82
78
80

FIG 2

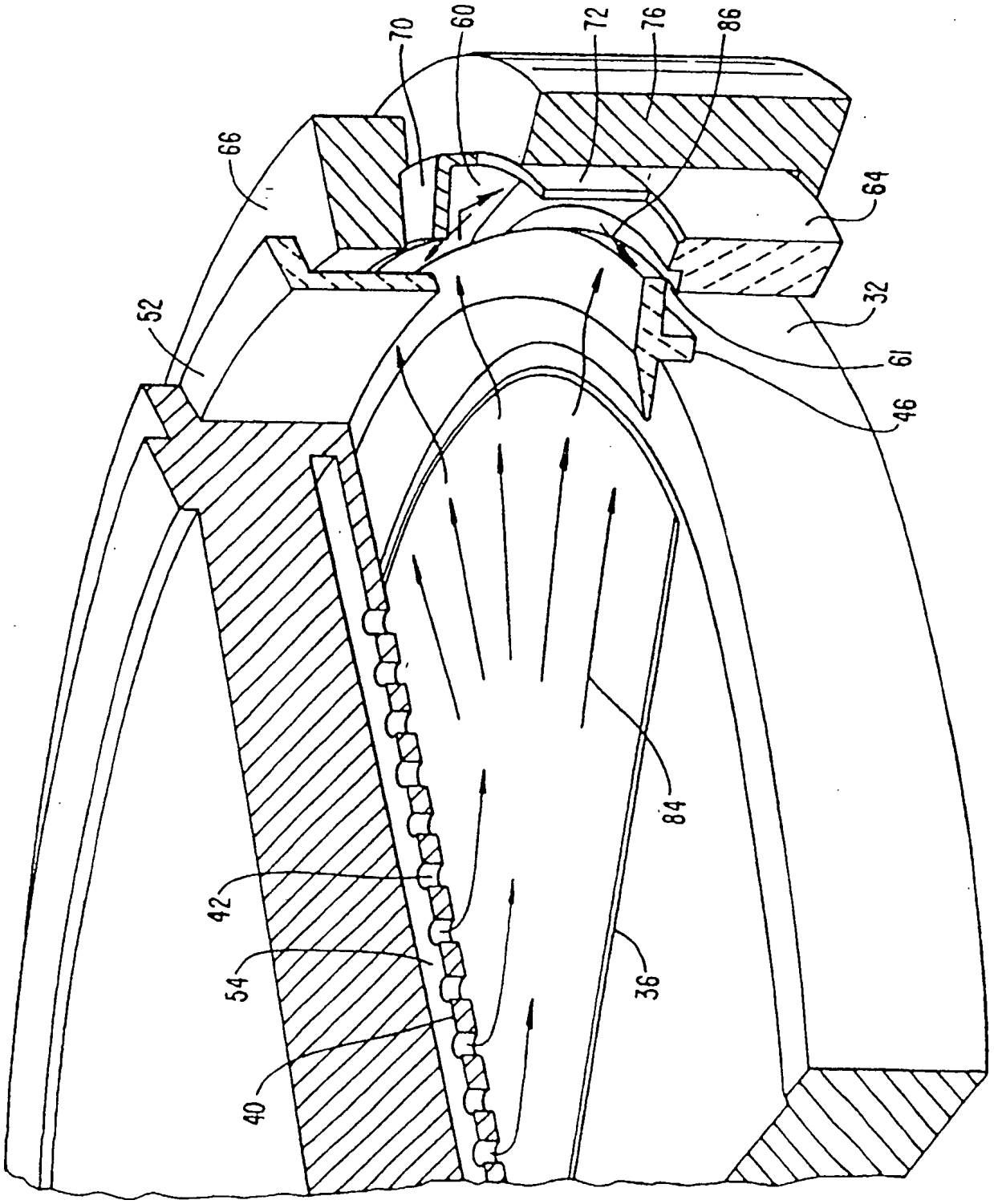

FIG 7

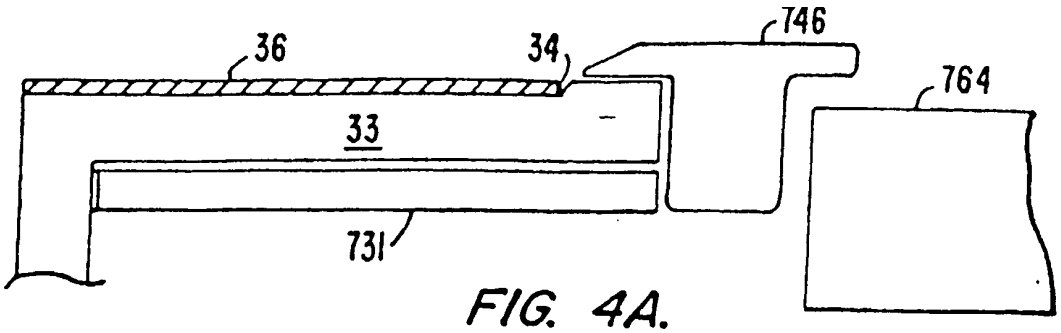

FIG. 4A.

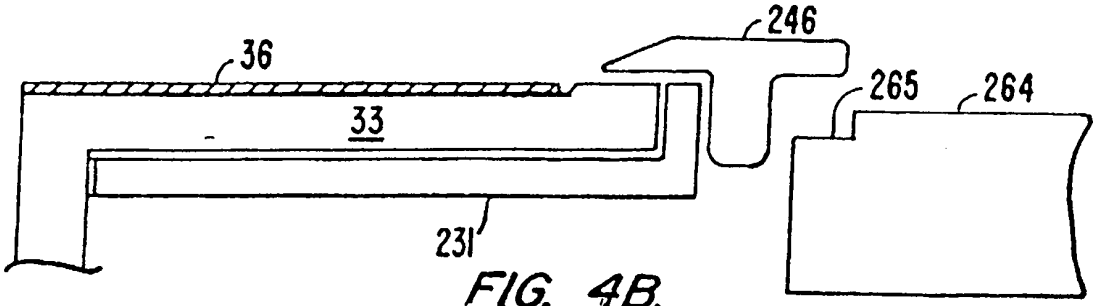

FIG. 4B.

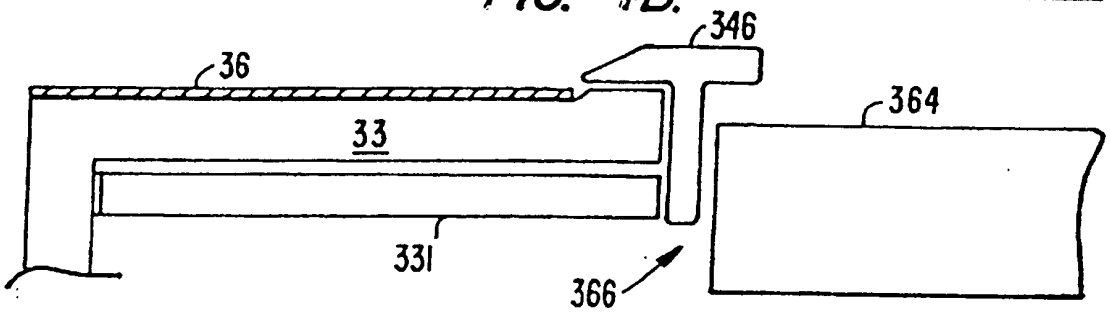

FIG. 4C.

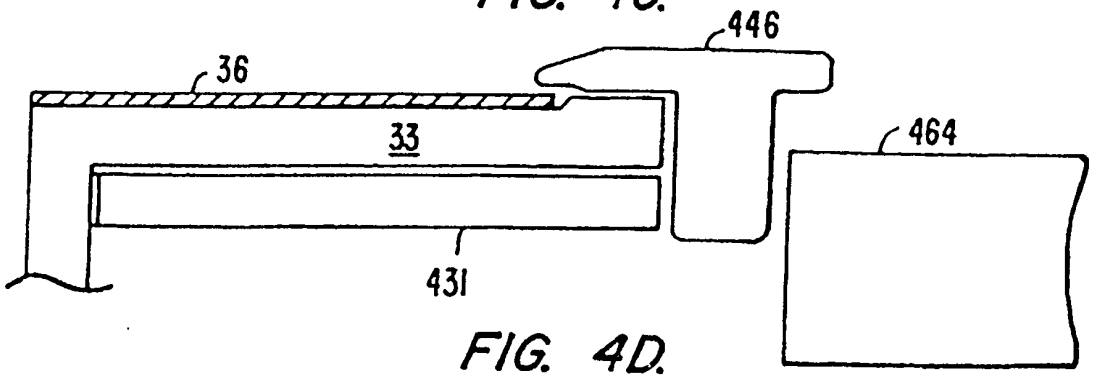

FIG. 4D.

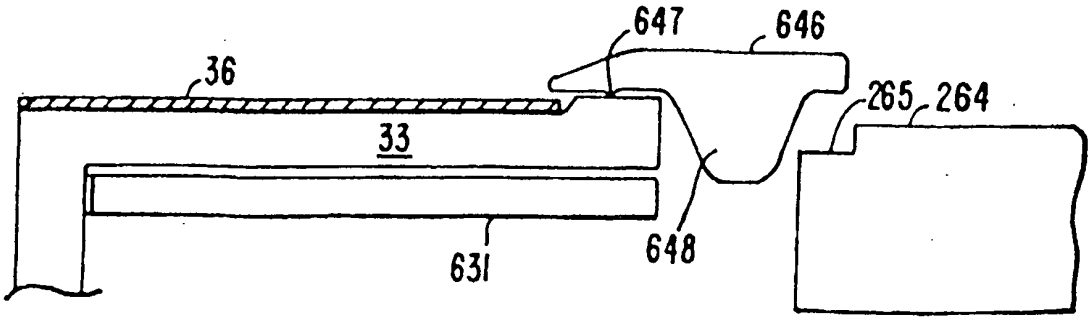

FIG. 4E.

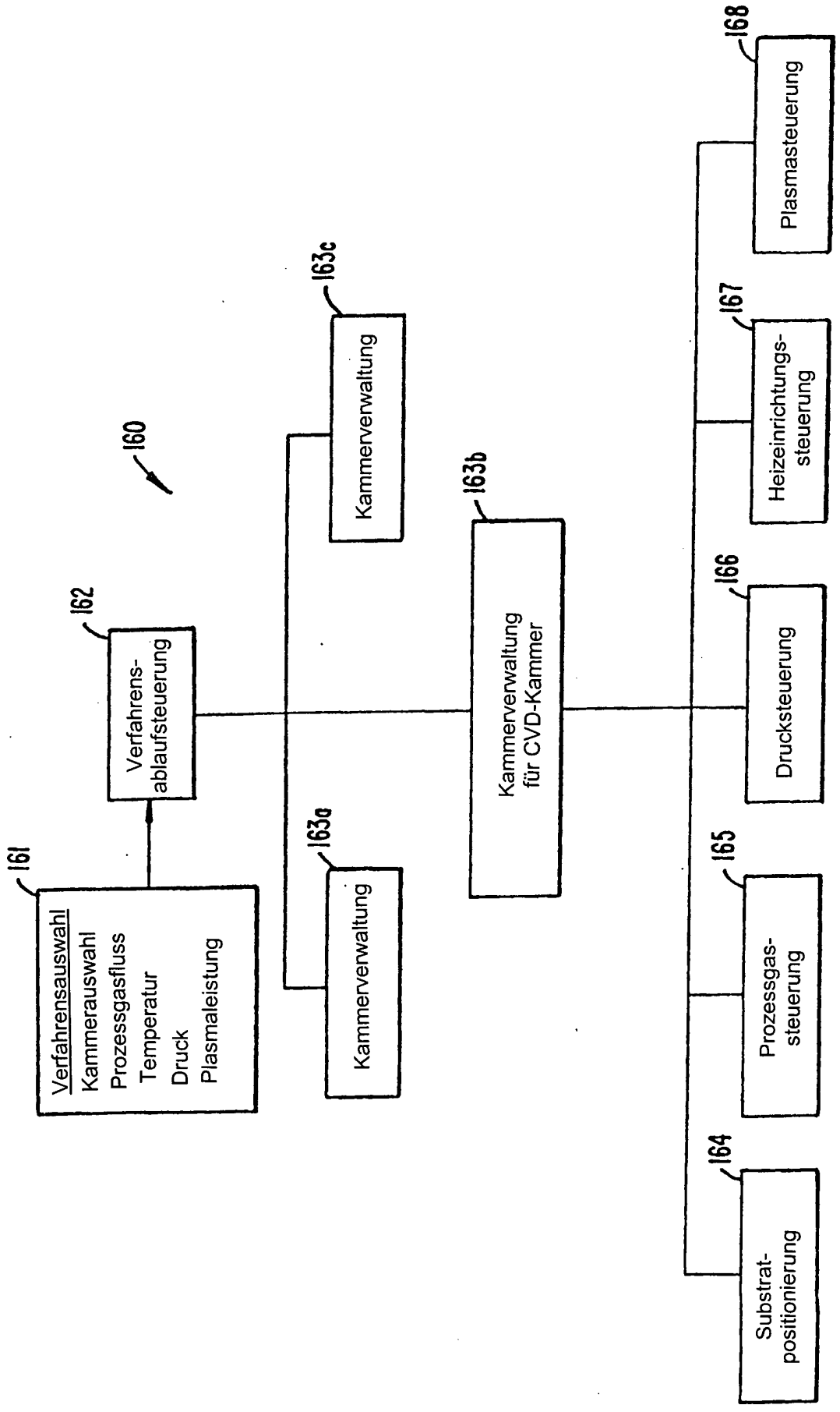
160
161
Verfahrensauswahl
Kammerauswahl
Prozessgasfluss
Temperatur
Druck
Plasmaleistung
162
Verfahrens-
ablaufsteuerung
163a
Kammerverwaltung
163b
Kammerverwaltung
für CVD-Kammer
163c
Kammerverwaltung
164
Substrat-
positionierung
165
Prozessgas-
steuerung
166
Drucksteuerung
167
Heizeinrichtungs-
steuerung
168
Plasmasteuerung

FIG. 5.

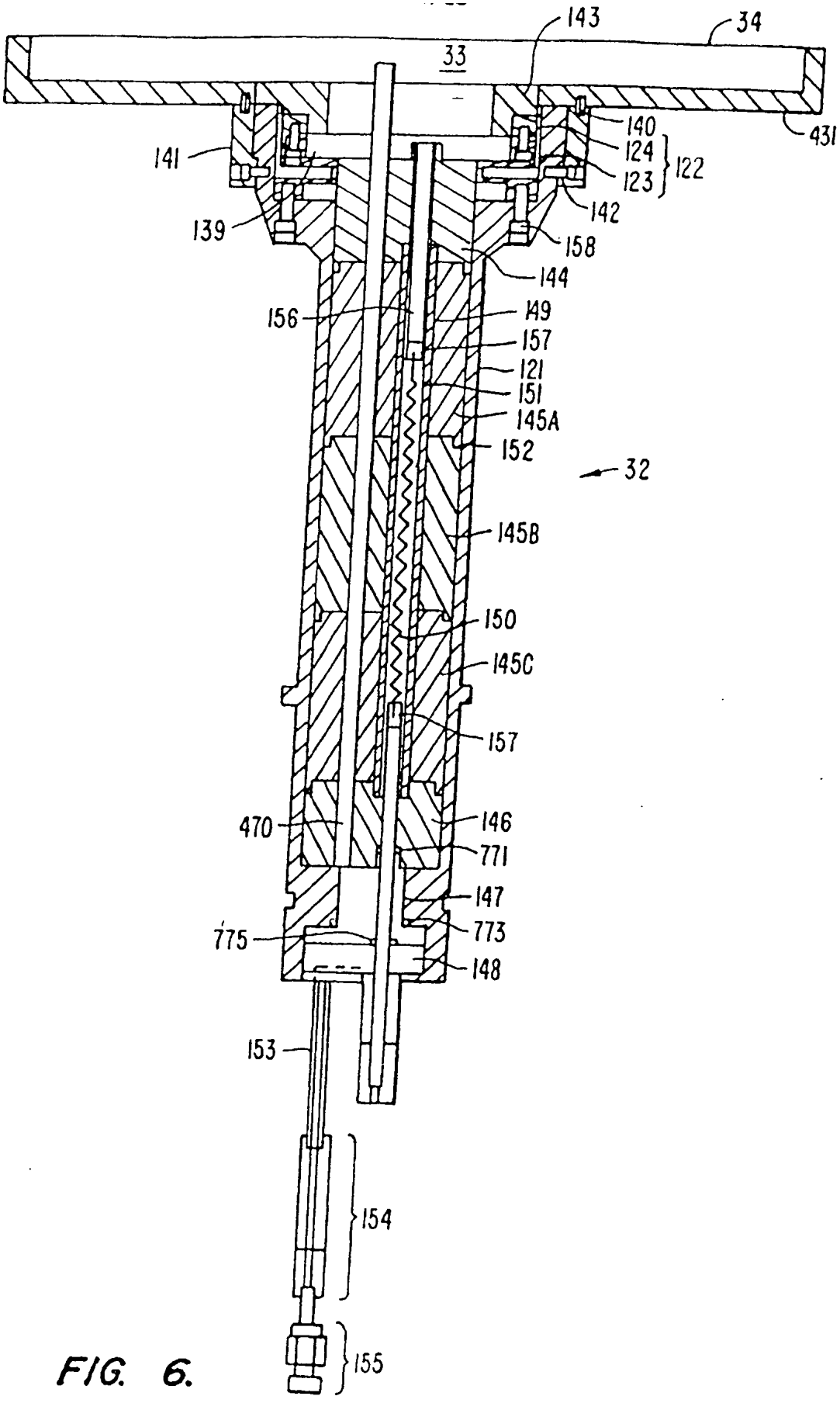
143
34
33
431
140
124
123
122
141
142
139
158
144
156
149
157
121
151
145A
152
32
145B
150
145C
157
470
146
771
147
775
773
148
153
154
155

FIG. 6.

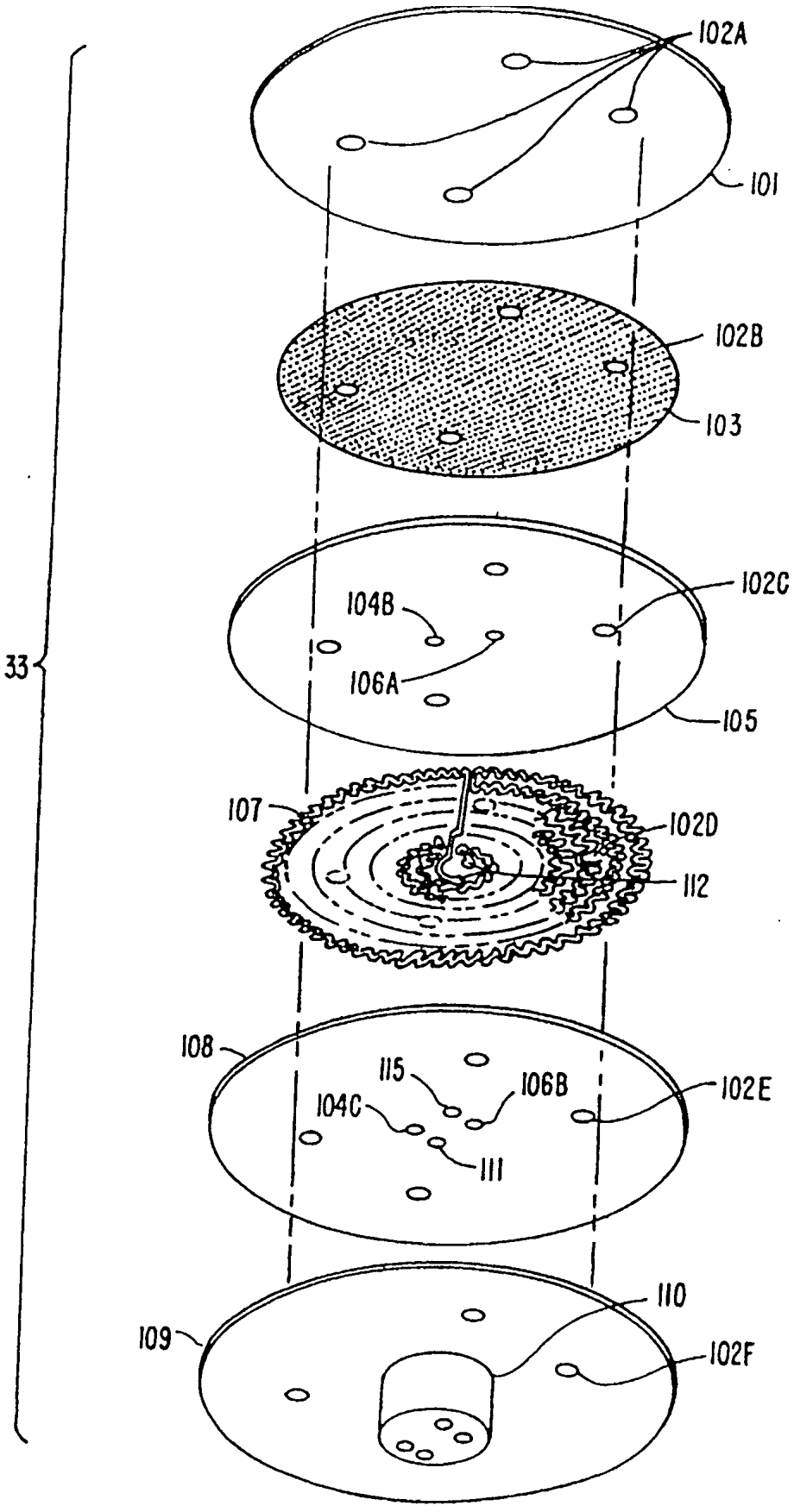
102A
101
102B
103
102C
104B
106A
105
33
107
102D
112
108
115
106B
102E
104C
111
110
109
102F

FIG. 7A.

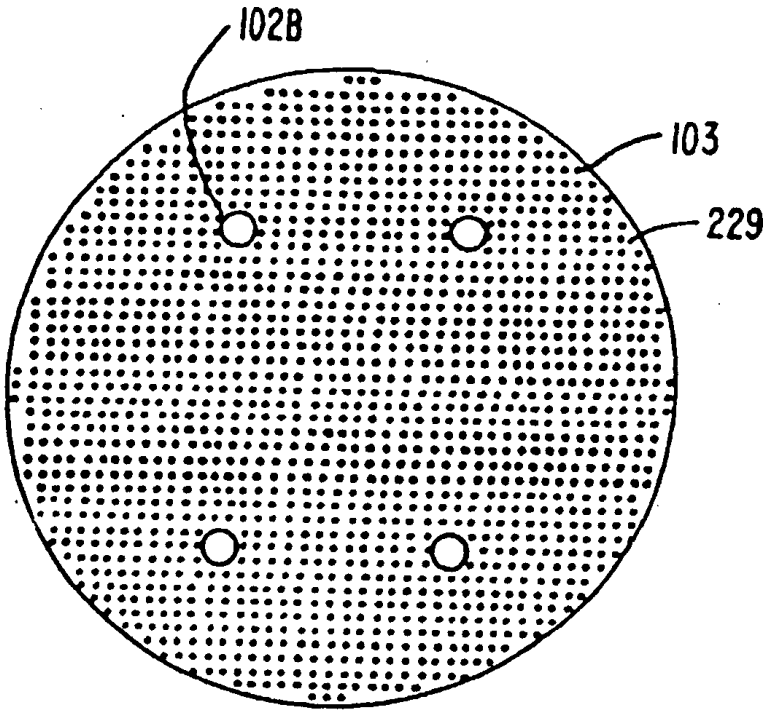

FIG. 7B.

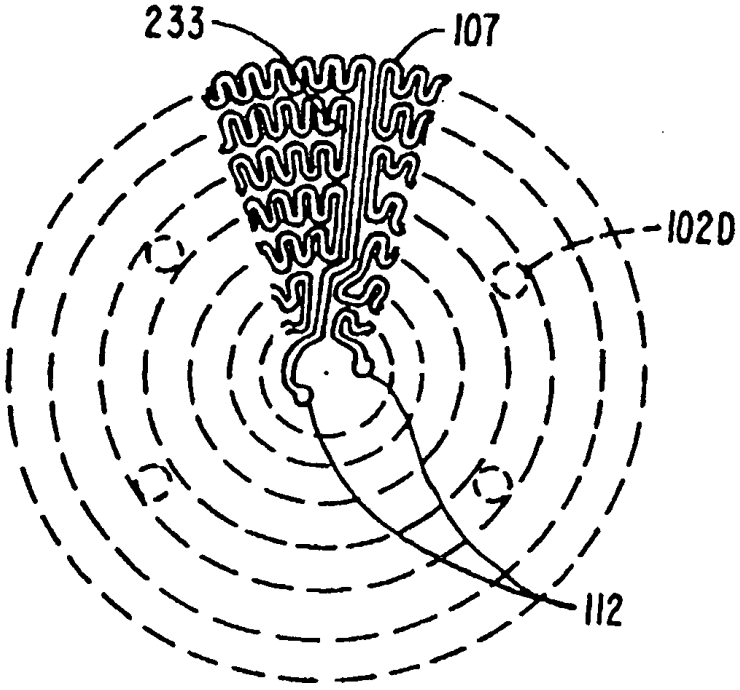

FIG. 7C.

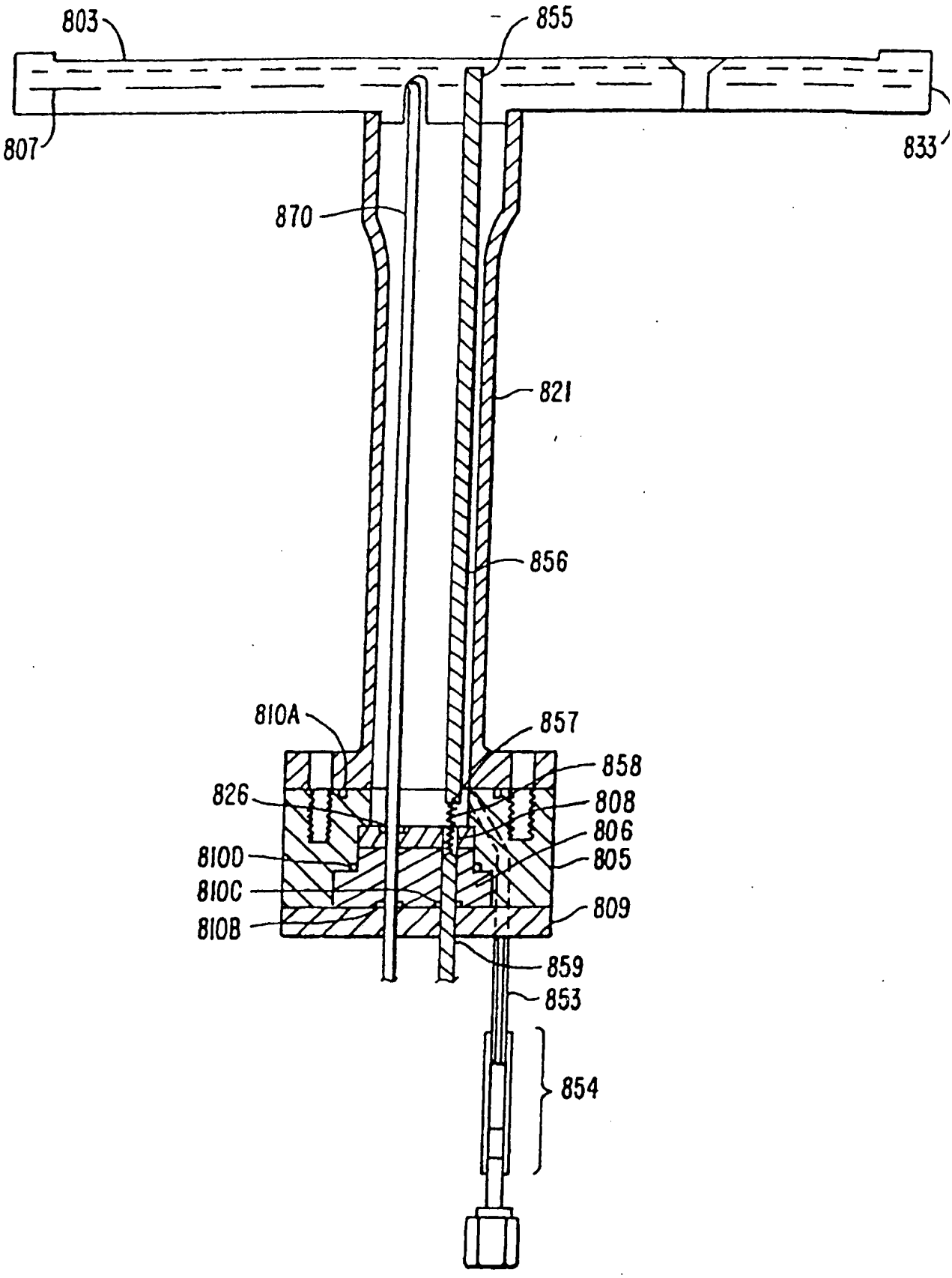
803
855
807
833
870
821
856
810A
857
858
826
808
806
810D
805
810C
809
810B
859
853
854

FIG. 8.

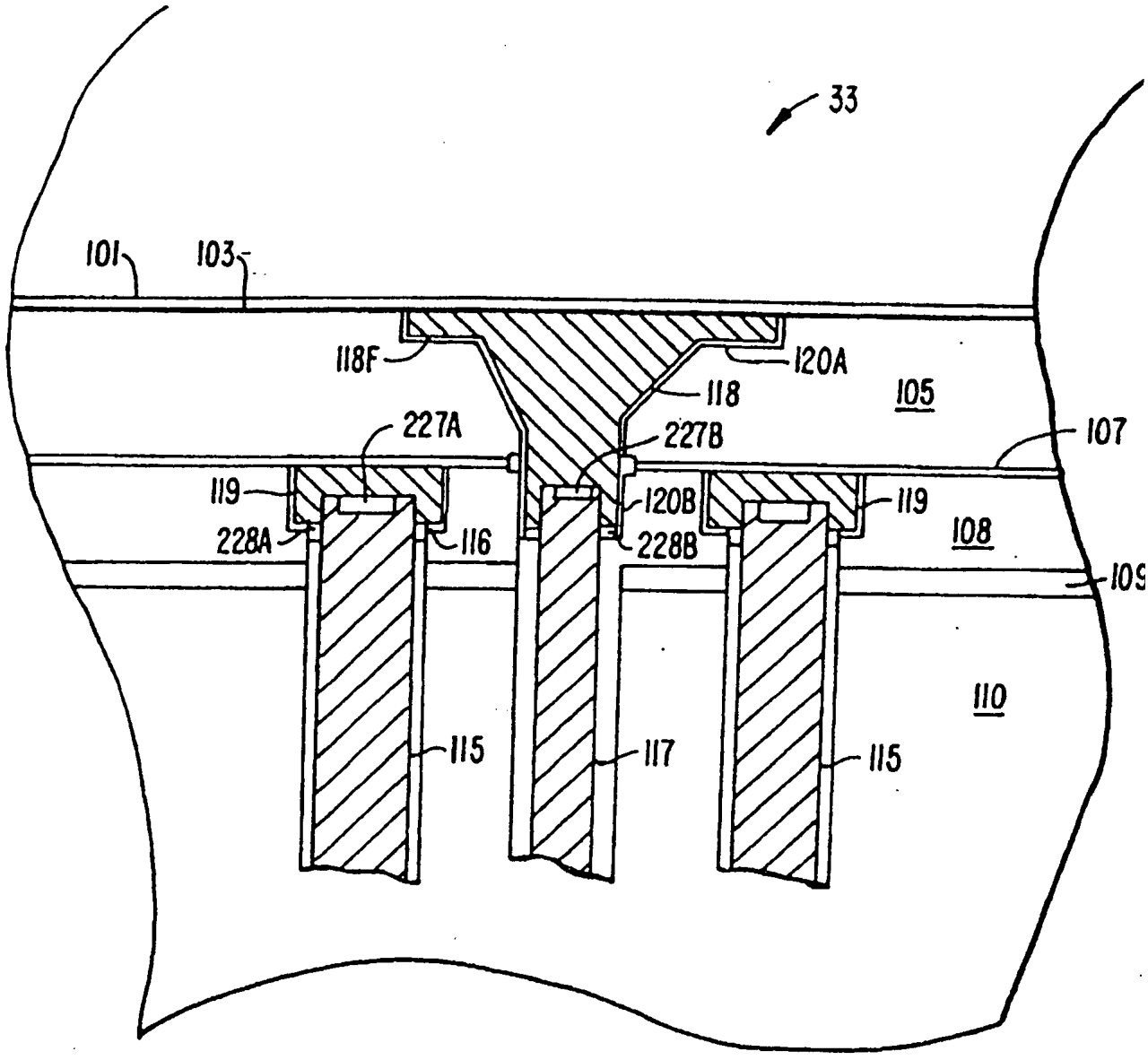
33
101
103
118F
120A
118
105
227A
227B
107
119
120B
119
228A
116
228B
108
109
110
115
117
115

FIG. 9.

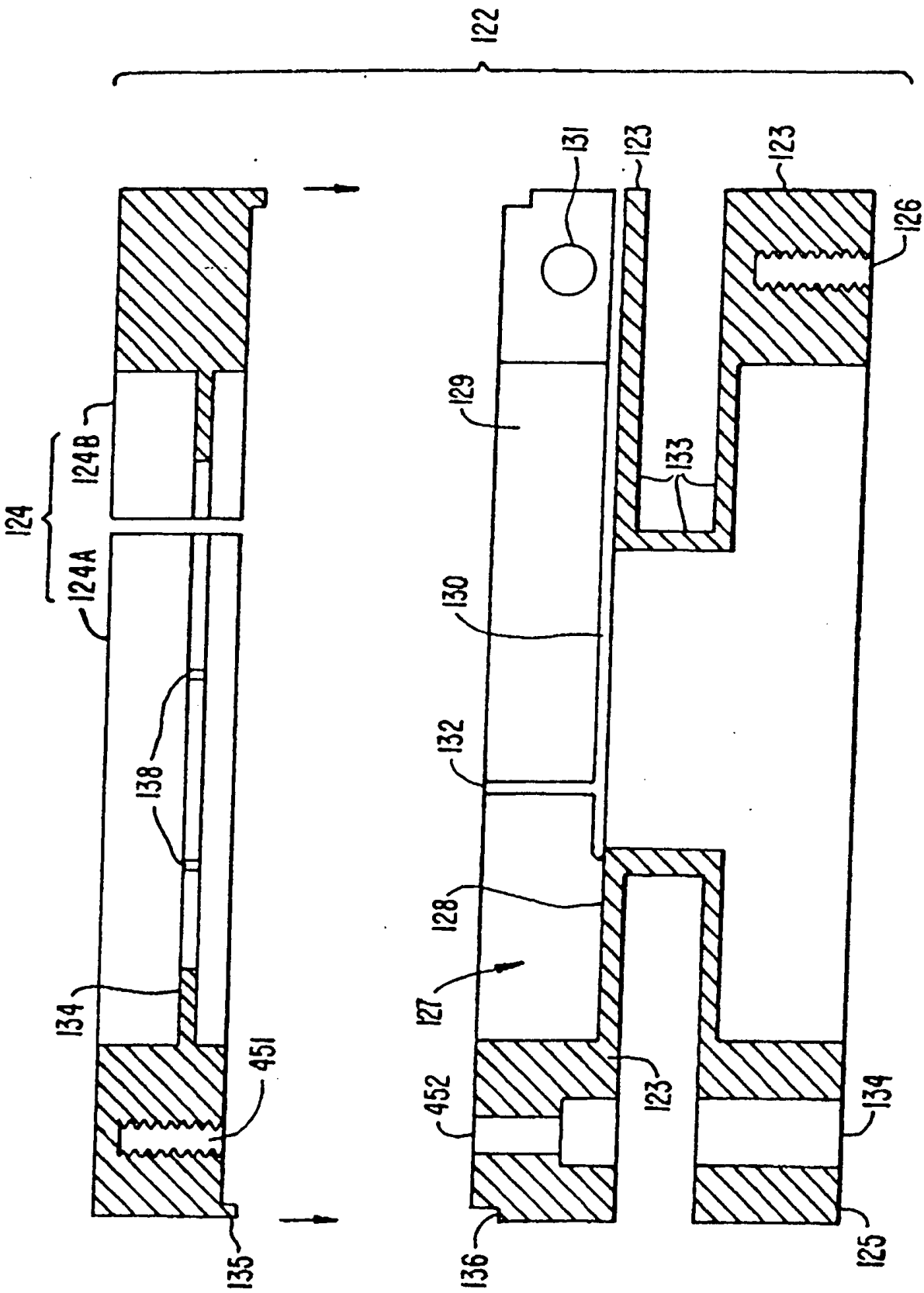
122
124
124B
124A
138
134
451
135
131
123
123
126
129
133
130
132
128
127
452
123
134
136
125

FIG 10

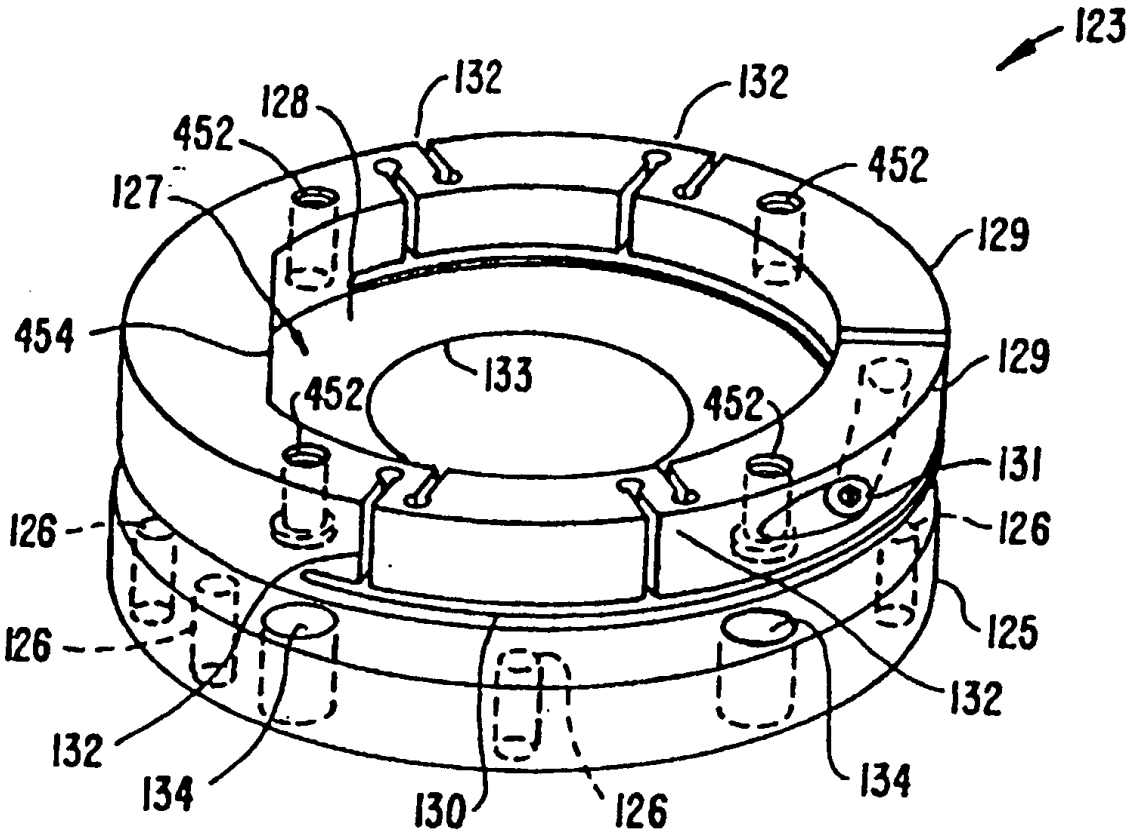
123
132
132
128
452
452
127
129
454
133
452
452
129
131
126
126
126
125
132
132
134
130
126
134

FIG. 11.

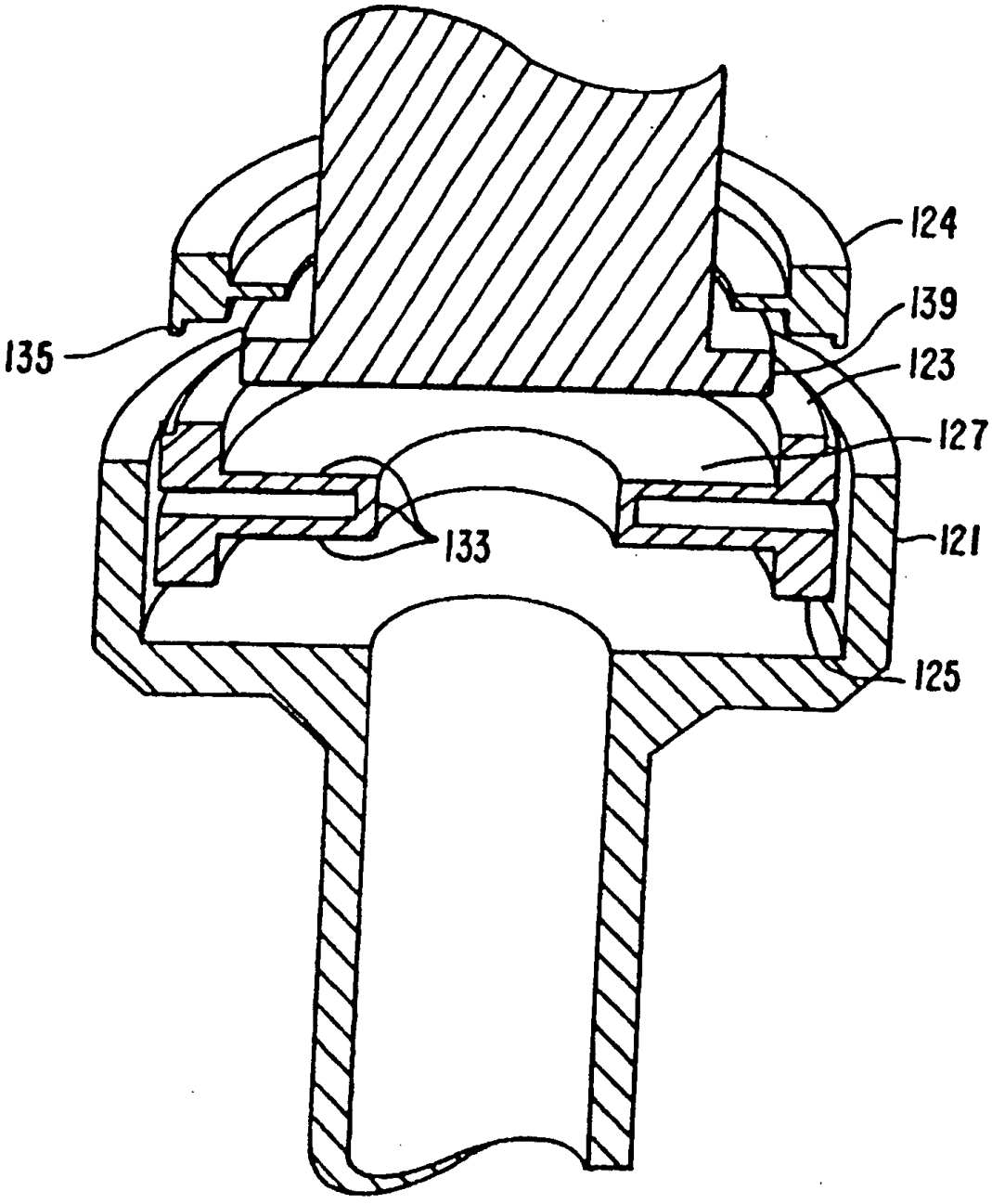

FIG. 12.

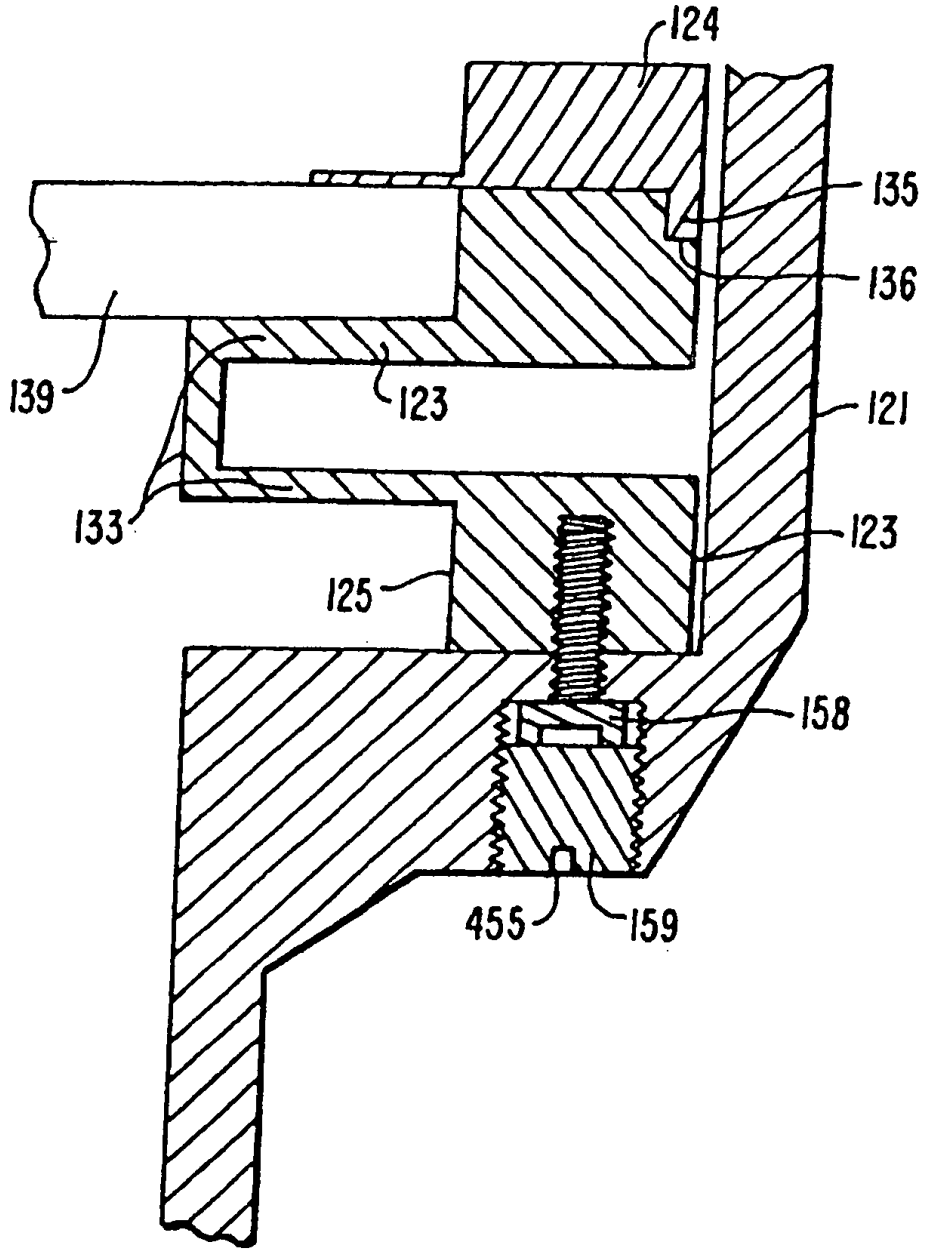

FIG. 13.

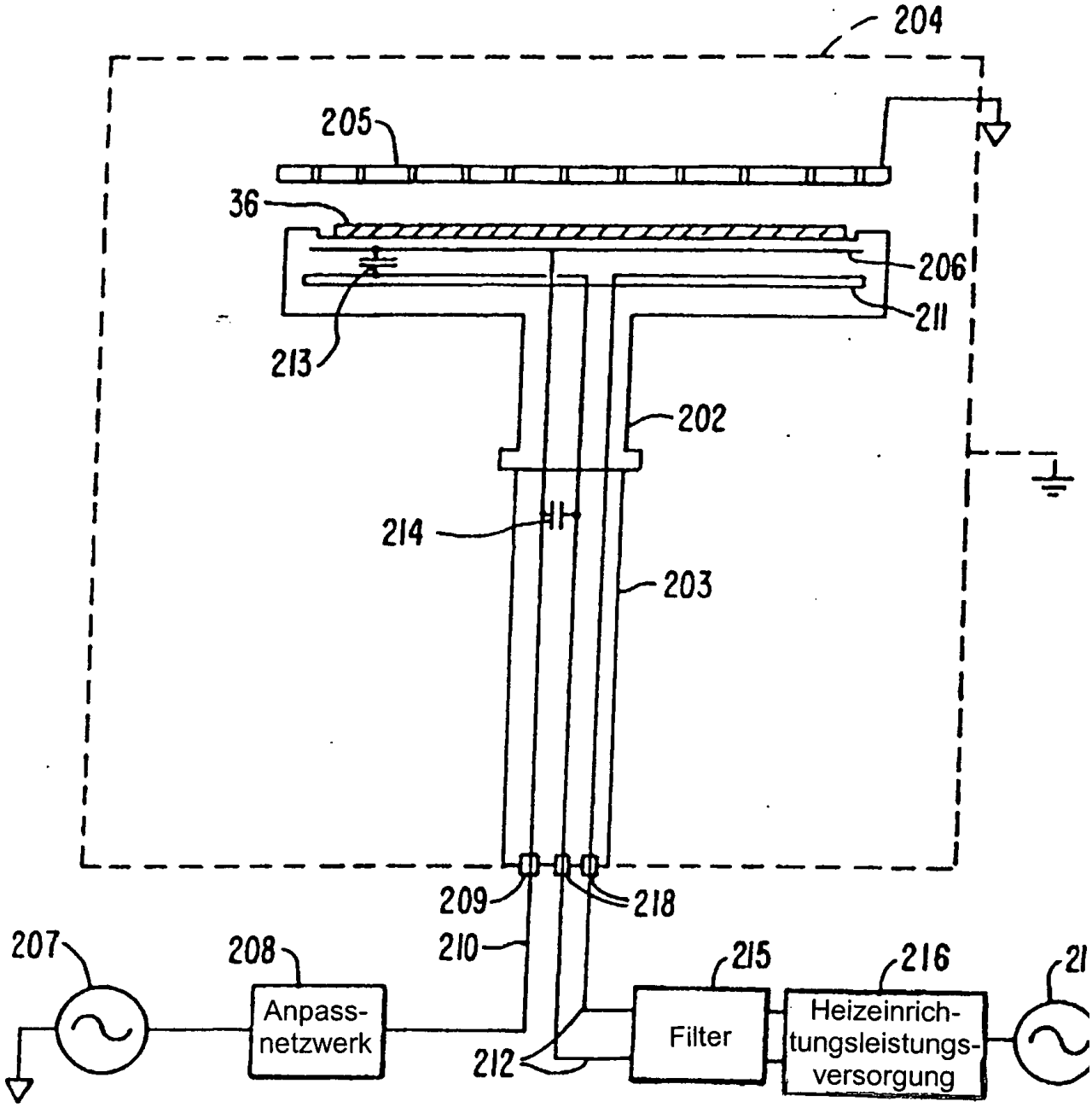
204
205
36
206
211
213
202
214
203
209
218
210
207
208
215
216
21
Anpass-
netzwerk
Filter
Heizeinrich-
tungsleistungs-
versorgung
212

FIG. 14.

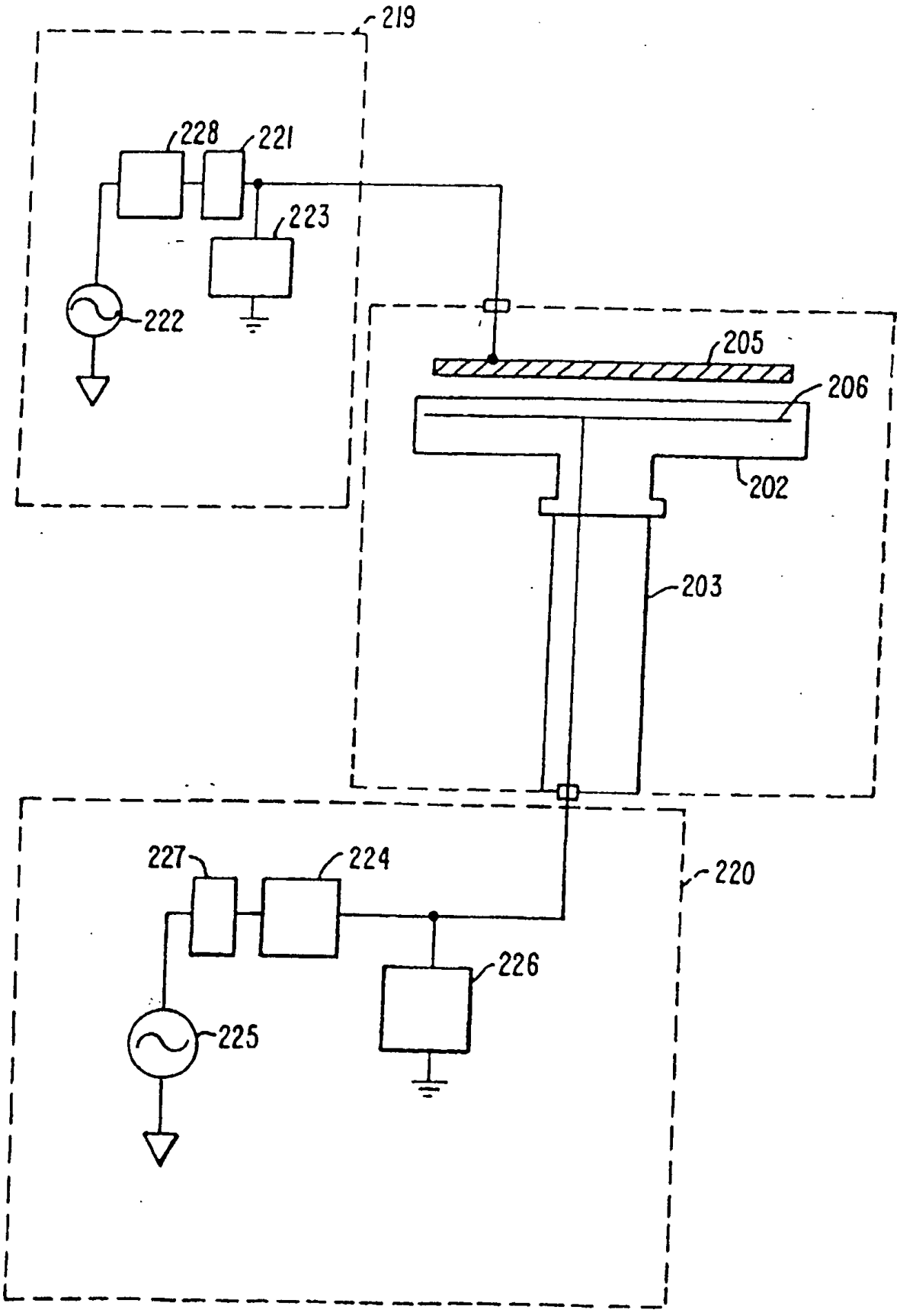

FIG. 15.

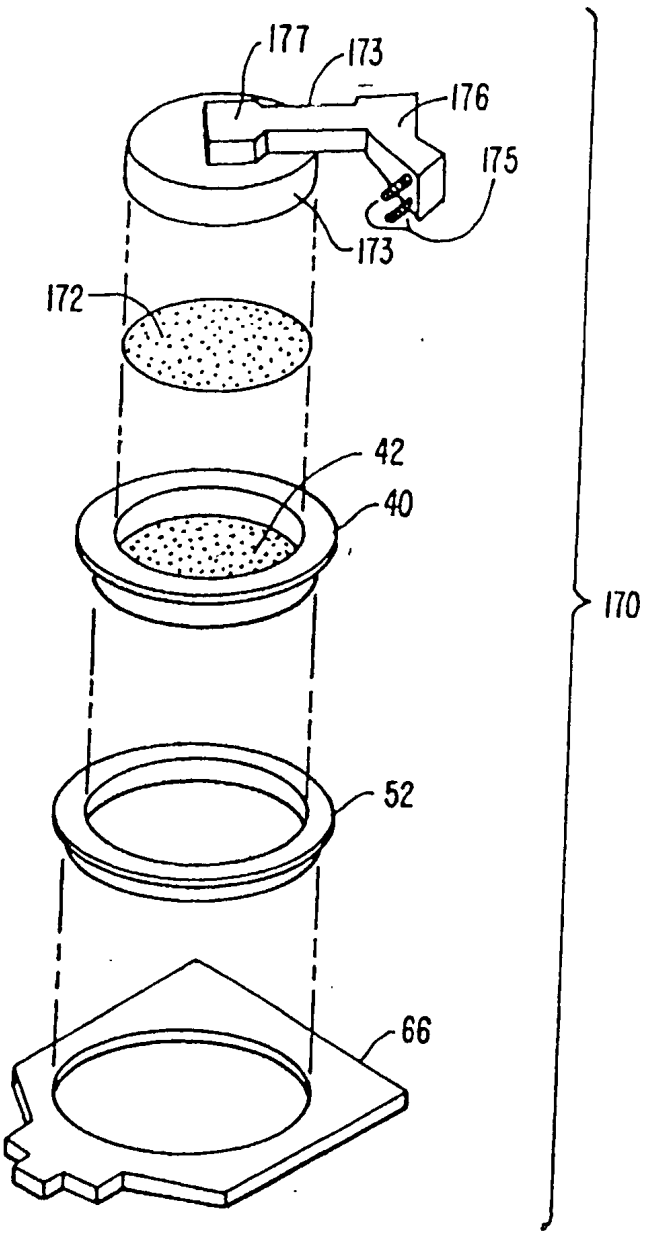

FIG. 16A.

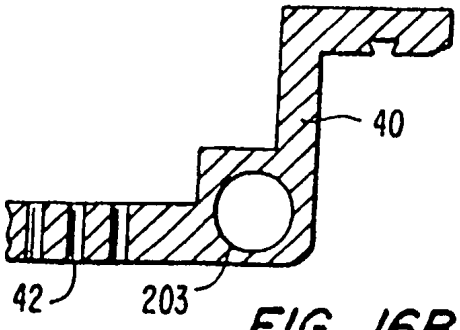

FIG. 16B.

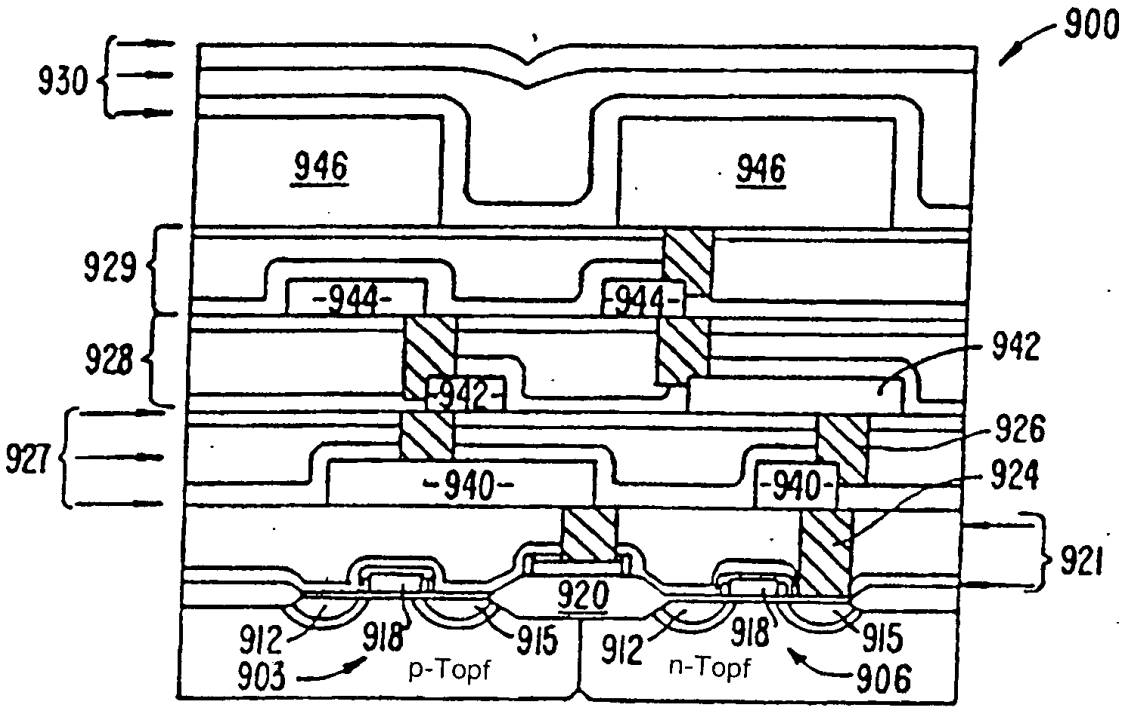
900
930
946
946
929
-944-
-944-
928
942
942
926
927
-940-
-940-
924
921
920
912
918
915
912
918
915
903
p-Topf
n-Topf
906

FIG. 17.

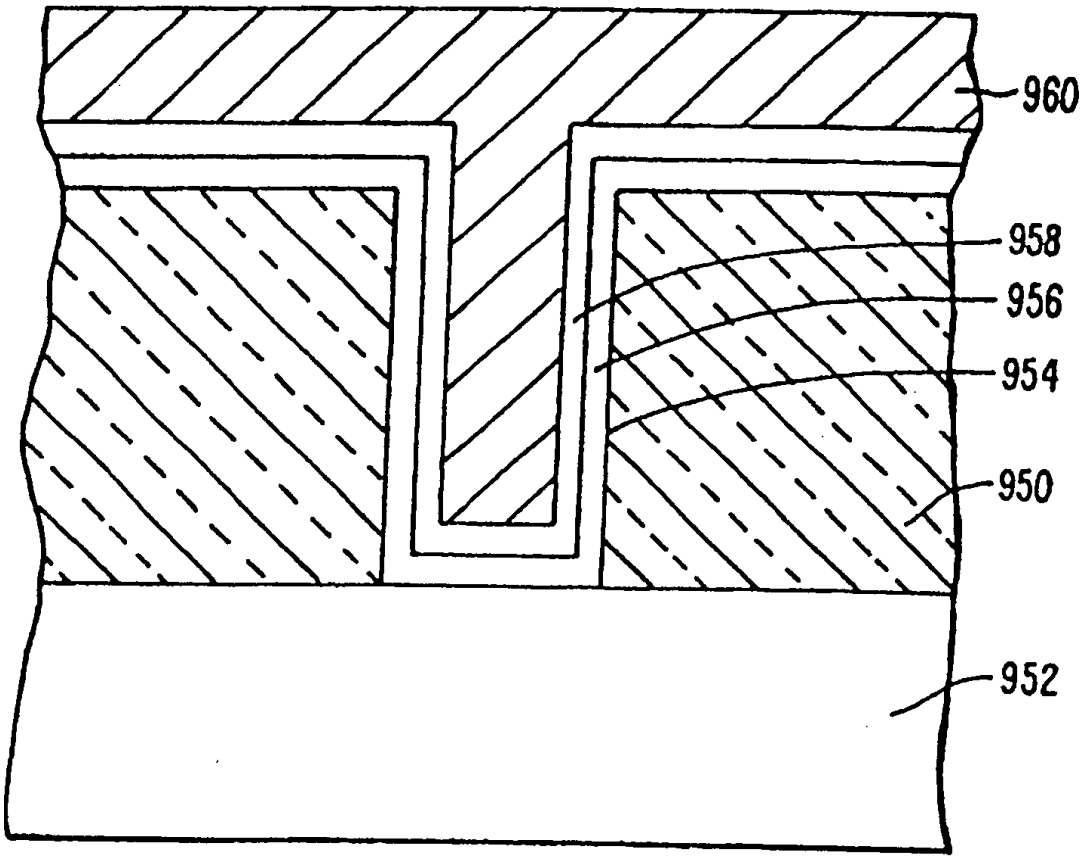

FIG. 18.

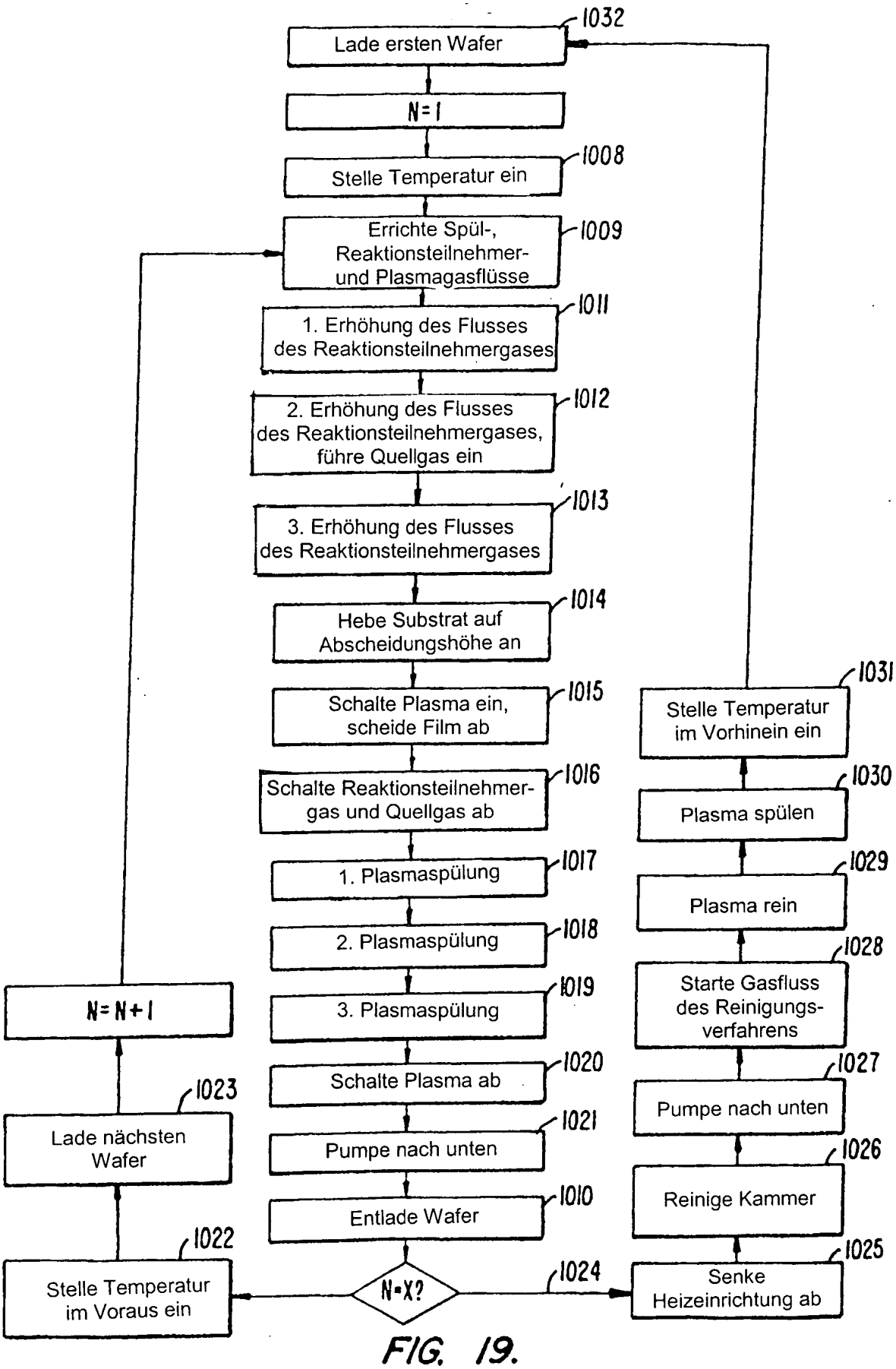
1032
Lade ersten Wafer
N=1
1008
Stelle Temperatur ein
1009
Errichte Spül-, Reaktionsteilnehmer- und Plasmagasflüsse
1011
1. Erhöhung des Flusses des Reaktionsteilnehmergases
1012
2. Erhöhung des Flusses des Reaktionsteilnehmergases, führe Quellgas ein
1013
3. Erhöhung des Flusses des Reaktionsteilnehmergases
1014
Hebe Substrat auf Abscheidungshöhe an
1015
Schalte Plasma ein, scheide Film ab
1016
Schalte Reaktionsteilnehmer-gas und Quellgas ab
1017
1. Plasmaspülung
1018
2. Plasmaspülung
1019
3. Plasmaspülung
1020
Schalte Plasma ab
1021
Pumpe nach unten
1010
Entlade Wafer
N=X?
1024
1025
Senke Heizeinrichtung ab
1026
Reinige Kammer
1027
Pumpe nach unten
1028
Starte Gasfluss des Reinigungs-verfahrens
1029
Plasma rein
1030
Plasma spülen
1031
Stelle Temperatur im Vorhinein ein
1022
Stelle Temperatur im Voraus ein
1023
Lade nächsten Wafer
N=N+1

FIG. 19.

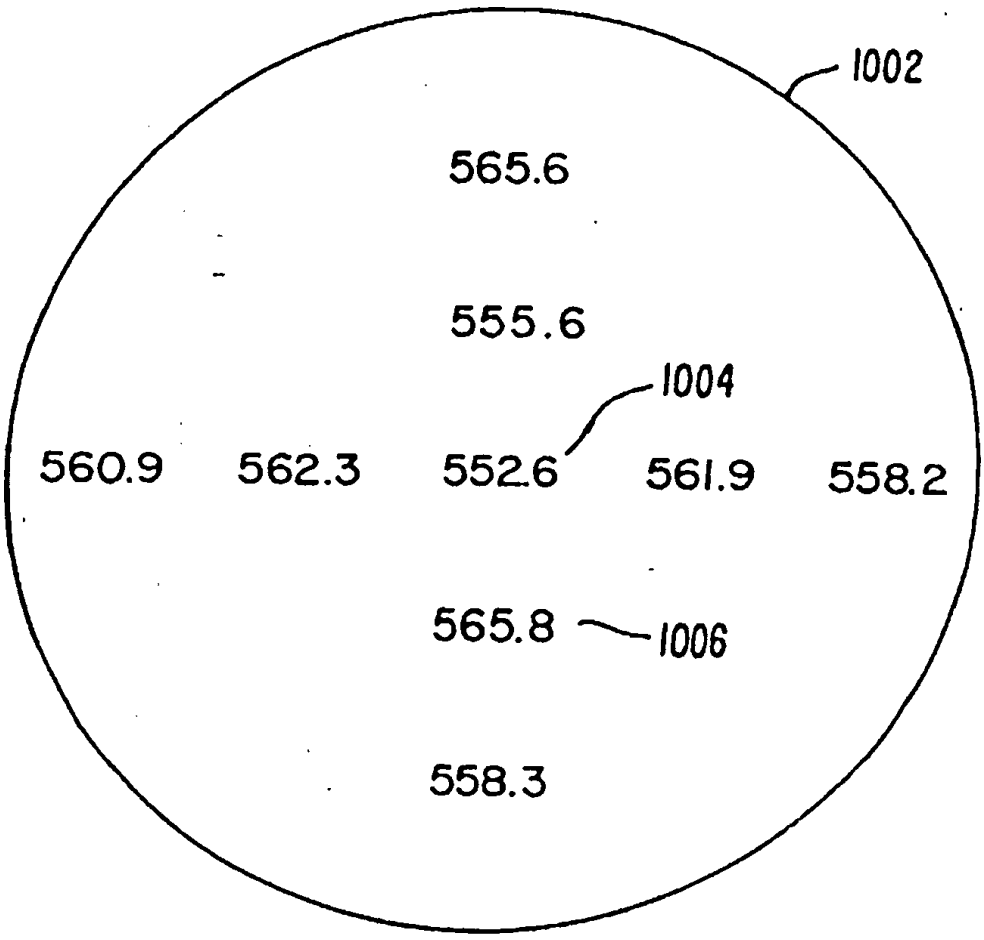

FIG. 20.

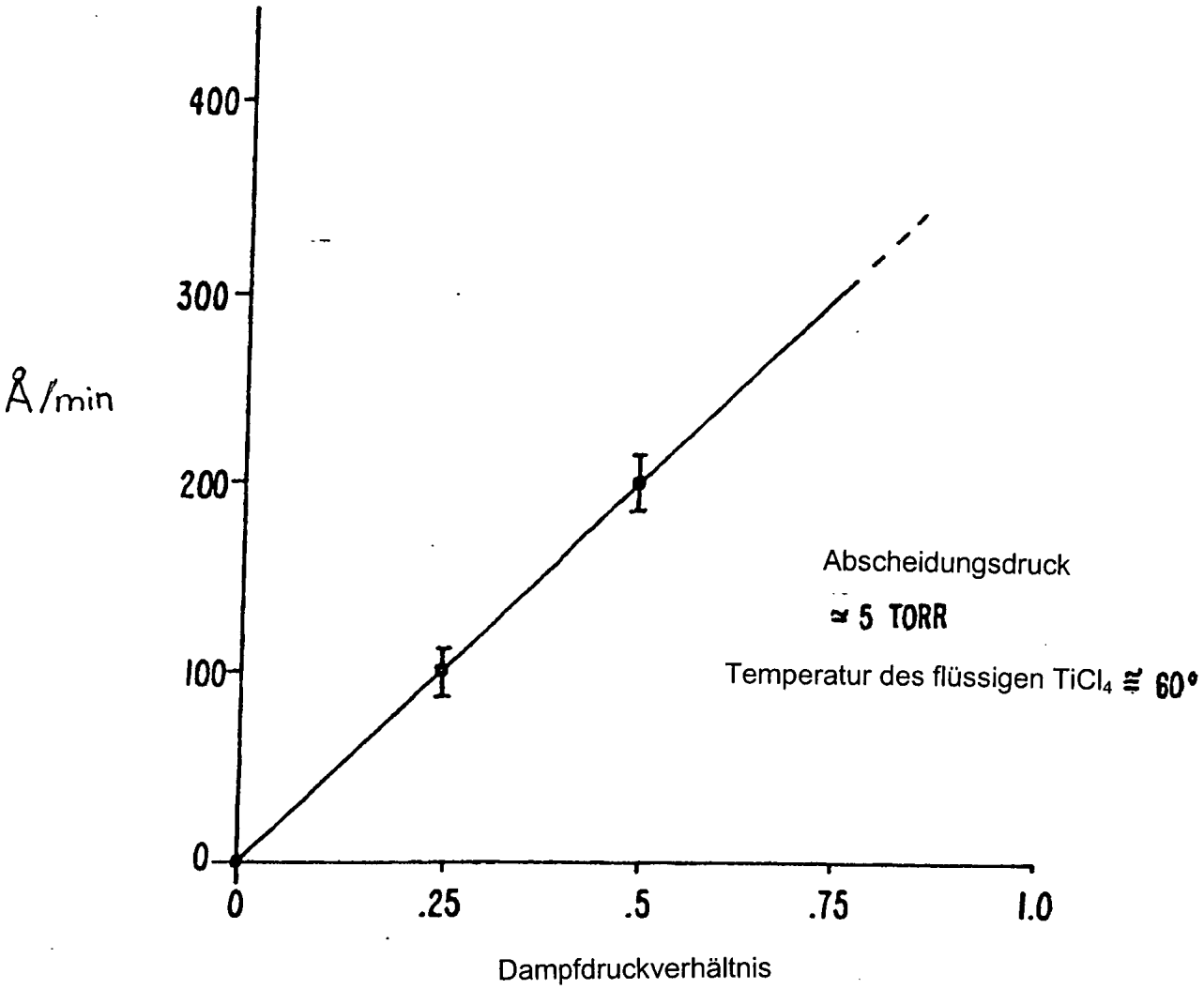
400
300
200
100
0
Å/min
0
.25
.5
.75
1.0
Dampfdruckverhältnis
Abscheidungsdruck
≃ 5 TORR
Temperatur des flüssigen TiCl4 ≅ 60°

FIG. 21.