



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 27 966 T2** 2006.07.27

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 074 041 B1**

(51) Int Cl.⁸: **H01L 21/20** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 27 966.6**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US99/06172**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 914 021.3**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 1999/049501**

(86) PCT-Anmeldetag: **19.03.1999**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **30.09.1999**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **07.02.2001**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **26.10.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **27.07.2006**

(30) Unionspriorität:

56703 26.03.1998 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

BE, DE, GB, NL

(73) Patentinhaber:

Applied Materials, Inc., Santa Clara, Calif., US

(72) Erfinder:

SAJOTO, Talex, San Jose, US; SELYUTIN, Leonid, San Leandro, US; ZHAO, Jun, Cupertino, US; WOLFF, Stefan, Sunnyvale, US

(74) Vertreter:

v. Fünér Ebbinghaus Finck Hano, 81541 München

(54) Bezeichnung: **HOCHTEMPERATUR-, MEHRSCHICHT-, LEGIERUNGSHEIZANORDNUNG**

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 Halbleiterherstellung. Insbesondere bezieht sich die Erfindung auf eine Vorrichtung zur Ausbildung von Filmen bei Temperaturen von mehr als etwa 450°C. Bei einigen speziellen Ausgestaltungen eignet sich die Erfindung zur Ausbildung von Filmen, die Titan enthalten, wie Titan, Titanitrid und Titandisilicid, bei Temperaturen von bis zu etwa 625°C oder mehr unter Verwendung von chemischen Gasphasenabscheidungsprozessen (CVD). Solche Filme können als Leitermusterschichten, als Zapfen zwischen Leiterschichten, als Diffusionssperrschichten, als Adhäsionsschichten und als Vorläuferschicht für die Silicidbildung verwendet werden. Zusätzlich können andere Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung beispielsweise bei physikalischen Gasphasenabscheidungsprozessen (PVD) zum Legieren von Substratmaterialien und zur Wärmebehandlung von Substratmaterialien verwendet werden.

[0002] Einer der Hauptschritte bei der Herstellung moderner Halbleiterbauelemente ist die Ausbildung verschiedener Schichten, einschließlich dielektrischer Schichten und Metallschichten, auf einem Halbleitersubstrat. Bekanntlich können diese Schichten durch CVD- oder PVD-Prozesse abgeschieden werden. Bei einem herkömmlichen CVD-Prozess werden reaktive Gase der Substratoberfläche zugeführt, wo durch Wärme induzierte chemische Reaktionen (homogen oder heterogen) zur Erzeugung eines gewünschten Films erfolgen. Bei einem herkömmlichen Plasma-CVD-Prozess wird ein kontrolliertes Plasma gebildet, um reaktive Spezies zu zersetzen und/oder anzuregen, damit der gewünschte Film erzeugt wird. Im Allgemeinen können die Reaktionsgeschwindigkeiten bei thermischen und Plasmaprozessen kontrolliert werden, indem eine oder mehrere der folgenden Größen gesteuert werden: Temperatur, Druck, Plasmadichte, Reaktionsteilnehmergasdurchsatz, Leistungsfrequenz, Leistungsstärken, Kammergeometrie und andere. Bei einem beispielsweise PVD-System wird ein Target (eine Platte des Materials, das abgeschieden werden soll) an eine Negativspannungsversorgung (Gleichstrom DC oder Hochfrequenz HF) angeschlossen, während ein dem Target zugewandter Substrathalter entweder geerdet, erdfrei gehalten, vorgespannt, erhitzt, gekühlt wird oder diese Maßnahmen in irgendeiner Weise kombiniert werden. In das PVD-System wird ein Gas, wie Argon, eingeführt, das üblicherweise auf einem Druck zwischen wenigen Millitorr (1 mTorr = 0,133 Pa) und etwa 100 mTorr gehalten wird, um ein Medium zu bilden, bei dem eine Glimmentladung eingeleitet und aufrechterhalten werden kann. Wenn die Glimmentladung beginnt, treffen das Target positive Ionen, und durch Impulsübertragung werden Targetatome entfernt. Diese Targetatome kondensieren darauf folgend zu einem dünnen Film auf dem Subst-

rat, der sich auf dem Substrathalter befindet.

[0003] Die Halbleiterbauelementgeometrien haben sich in der Größe extrem verkleinert, seit solche Bauelemente vor mehreren Jahrzehnten zuerst eingeführt wurden. Seitdem folgten die integrierten Schaltungen insgesamt der Regel zwei Jahre/halbe Größe (häufig als "Moore'sches Gesetz" bezeichnet), was bedeutet, dass sich die Anzahl der Bauelemente, die auf einen Chip passen, alle zwei Jahre verdoppelt. Die heutigen Waferherstellungsanlagen erzeugen routinemäßig Bauelemente mit einer Strukturgröße von 0,35 µm, während die Anlagen von morgen bald Bauelemente mit noch kleineren Strukturgrößen erzeugen werden. Wenn die Strukturgrößen der Bauelemente kleiner werden und die Integrationsdichte zunimmt, werden Ergebnisse immer interessanter, die von der Industrie früher nicht als entscheidend angesehen wurden. Beispielsweise haben Bauelemente mit zunehmend hoher Integrationsdichte Strukturen mit hohen Seitenverhältnissen (beispielsweise mehr als 3:1 oder 4:1). (Das Seitenverhältnis ist als Verhältnis von Höhe zu Abstand von zwei benachbarten Stufen definiert.) Strukturen mit hohem Seitenverhältnis, wie Spalte, müssen bei vielen Anwendungen angemessen mit einer abgeschiedenen Schicht gefüllt werden.

[0004] Es werden zunehmend strenge Erfordernisse bei der Herstellung dieser Bauelemente mit hoher Integration benötigt, um moderne Bauelemente herzustellen, wobei, um diesen Anforderungen zu genügen, herkömmliche Substratbehandlungssysteme unzulänglich werden. Außerdem werden mit der Entwicklung der Bauelementauslegungen fortschrittlichere Behandlungsfähigkeiten bei Substratbehandlungssystemen gefordert, die zur Abscheidung von Filmen aus Materialien verwendet werden, die zur Ausführung dieser Bauelemente benötigt werden. Beispielsweise gehört in zunehmendem Maße die Verwendung von Titan zu den Herstellungsprozessen von integrierten Schaltungen. Titan hat viele erwünschte Eigenschaften für die Verwendung bei einem Halbleiterbauelement. Titan kann als Diffusionsbarriere beispielsweise zwischen einem Verbindungsfeld aus Gold und einem Halbleiter wirken, um eine Migration einer Atomspezies in die nächste zu verhindern. Titan kann auch verwendet werden, die Haftung zwischen zwei Schichten zu verbessern, beispielsweise zwischen Silicium und Aluminium. Weiterhin kann die Entfernung von Titan, das Titandisilicid (Silicid) bildet, wenn es mit Silicium legiert wird, beispielsweise die Bildung von Ohmschen Kontakten ermöglichen. Eine übliche Bauweise eines Abscheidungssystems, das zum Abscheiden beispielsweise eines Titanfilms verwendet wird, ist ein Titanerstäubungs-Abscheidungssystem, das häufig zur Bildung von Bauelementen mit höheren Behandlungs- und Fertigungsanforderungen unzulänglich ist. Insbesondere können Titanerstäubungssysteme zur Ab-

scheidung gleichförmiger konformer Schichten in Spalten mit hohem Seitenverhältnis aufgrund von Schatteneffekten, die beim Zerstäuben auftreten, nicht in der Lage sein. Im Gegensatz zu Zerstäubungssystemen kann ein chemisches Gasphasenabscheidungssystem mit Plasmaverstärkung (PECVD) zur Bildung eines Titanfilms auf einem Substrat mit Spalten mit hohem Seitenverhältnis geeigneter sein. Bekanntlich kann ein Plasma, das eine Mischung aus Ionen und Gasmolekülen ist, durch Anlegen von Energie, beispielsweise Hochfrequenz-(HF-)Energie, an ein Prozessgas in der Abscheidungskammer bei geeigneten Bedingungen gebildet werden, beispielsweise Kammerdruck, Temperatur, HF-Leistung und andere. Das Plasma erreicht eine Schwellenwertdichte zur Bildung eines Selbsterhaltungszustands, was unter Bildung einer Glimmentladung bekannt ist (worauf häufig als "Zündung" oder "Zünden" des Plasmas Bezug genommen wird). Diese HF-Energie steigert den Energiezustand der Moleküle in dem Prozessgas und bildet aus den Molekülen Ionenspezies. Sowohl die erregten Moleküle als auch die Ionenspezies sind gewöhnlich reaktiver als das Prozessgas und bilden somit den gewünschten Film mit größerer Wahrscheinlichkeit. Vorteilhafterweise verstärkt das Plasma auch die Mobilität der reaktiven Spezies über der Oberfläche des Substrats, wenn sich der Titanfilm bildet, und führt zu Filmen, die eine gute Spaltfüllfähigkeit haben.

[0005] Jedoch haben herkömmliche PECVD-Systeme, die Aluminiumheizvorrichtungen verwenden, einige Grenzen bei Verwendung für bestimmte Prozesse, beispielsweise die Bildung eines Titanfilms aus einem Dampf aus beispielsweise Titantrichlorid (TiCl_3). Die Aluminiumkorrosion, Temperaturbegrenzungen, unerwünschte Abscheidung und Fertigungswirkungsgrad sind einige der Probleme bei solchen herkömmlichen PECVD-Systemen, die zur Abscheidung eines Films, wie Titan, verwendet werden können.

[0006] Bei dem als Beispiel herangezogenen Prozess erzeugen Titantrichlorid, das bei Raumtemperatur eine Flüssigkeit ist, und ein Trägergas, wie Helium, das durch diese Flüssigkeit in Form von Blasen hindurchgeht, Dampf, der zu einer Abscheidungskammer transportiert werden kann. Bei einer Substrattemperatur von etwa 600°C scheidet dieser Prozess eine Titanschicht von etwa 100 Å/min ($10 \text{ Å} = 1 \text{ nm}$) ab. Man möchte die Abscheidungsgeschwindigkeit steigern, wobei ein Weg, dies zu tun, darin besteht, die Temperatur des Substrats zu erhöhen.

[0007] Wenn jedoch das Titantrichlorid zur Bildung des Titanfilms dissoziiert, wird in der Kammer Chlor freigesetzt. Insbesondere bildet das Plasma, welches die Titanfilmabscheidung verstärkt, Boratome und -ionen, die in unerwünschter Weise dazu neigen, Aluminiumheizvorrichtungen unter diesen Be-

dingungen zu korrodieren. Die Aluminiumkorrosion schädigt nicht nur die Heizvorrichtung, sondern kann auch im Ergebnis zu einer Behandlungsverschlechterung bezüglich Metallverunreinigung in den Bauelementen und zu einer Teilchenenerzeugung führen.

[0008] Eine Aluminiumheizvorrichtung ist nicht nur empfindlich gegenüber Korrosion durch Chlor, sondern ist insgesamt begrenzt auf Betriebstemperaturen von weniger als etwa 480°C . Aluminium ist ein ungeeignetes Material für Heizvorrichtungen, die bei hoher Temperatur arbeiten, da bei Temperaturen von mehr als etwa 480°C Heizvorrichtungen aus Aluminium weich werden, was möglicherweise zu einer Verwerfung und/oder Beschädigung der Heizvorrichtung führt. Zusätzliche Probleme entstehen, wenn Aluminiumheizvorrichtungen über etwa 480°C bei Vorhandensein eines Plasmas eingesetzt werden. In einer solchen Umgebung kann das Aluminium rückzerstäuben und das Substrat und Kammerbauteile verunreinigen. Außerdem unterliegen Aluminiumheizvorrichtungen, die auch bei niedrigeren Temperaturen mit einigen der chemischen Spezies, die einigen Abscheidungsprozessen zugeordnet sind, wie Chlorverbindungen, die bei einem Titanabscheidungsprozess erzeugt werden, inkompatibel sind, einem stark erhöhten Angriff bei höheren Temperaturen. Chemisches Spezies, wie Chlor, das in Trocken-Reinprozessen verwendet wird, greift die Aluminiumheizvorrichtungen ebenfalls an. Bei Temperaturen von mehr als etwa 480°C können diese chemischen Spezies Aluminiumheizvorrichtungen aggressiver angreifen und korrodieren bei niedrigeren Temperaturen, wodurch die Betriebseinsatzzeit der Heizvorrichtung verringert wird und in unerwünschter Weise ein häufigerer Heizvorrichtungs austausch erforderlich wird. Der Heizvorrichtungs austausch ist nicht nur wegen der Kosten der Heizvorrichtung, sondern auch deswegen teuer, weil der produktive Einsatz der Abscheidungskammer während der Zeit des Austausches der Heizvorrichtung verloren geht.

[0009] Zusätzlich zur Korrosion des Aluminiums, der Erweichung der Heizvorrichtung und den Temperaturgrenzen gehören zu weiteren Problemen bei den Metallabscheidungen in einem PECVD-Behandlungssystem eine unerwünschte Metallabscheidung und diesbezügliche Probleme bei der Fertigungseffizienz. Während die stärkste Filmabscheidung im Allgemeinen an Stellen erfolgt, wo die Temperatur am höchsten ist, tritt eine geringe Abscheidung bei niedrigeren Temperaturen auch bei Abwesenheit eines Plasmas auf. Unerwünschte Metallabscheidungen können eine Vielzahl von Problemen verursachen, beispielsweise eine ungleichförmige Abscheidung, Lichtbogenbildung, verschlechterte Funktion der Kammerbauelemente und/oder Bauelementdefekte. Neben dem Auftreten an Kammerwand- und Bodenflächen kann eine unerwünschte Metallabscheidung an nichtleitenden Komponenten erfolgen, beispiels-

weise keramischen Distanzstücken und Auskleidungen in der Abscheidungskammer oder dem Kammerabsaugweg, die dann leitend werden. Diese unerwünschte leitende Metallabscheidung kann die Form der Glimmentladung sprengen, was zu einer ungleichförmigen Abscheidung über dem Substrat führt. Sie kann auch eine Lichtbogenbildung verursachen, die das Substrat oder die HF-Leistungseinspeisung beschädigen kann. Ferner kann sich Titan an der Heizvorrichtung, in Gas- oder Vakuumöffnungen, was den Durchstrom unerwünscht beschränkt, oder an mechanischen Teilen mit engen Toleranzen zur Störung ihrer Funktion aufbauen. Unerwünschte Abscheidungen, die eine schlechte Bindung an den darunter liegenden Kammerbauteil haben oder die sich auf der Heizeinrichtung aufbauen, können zu Flocken oder anderen Teilchen führen, die auf das Substrat fallen und auf dem Substrat Defekte verursachen und somit die Substratausbeute verringern. Aus diesen und anderen Gründen muss die Kammer periodisch gereinigt werden. Dies erfordert häufig eine wenigstens teilweise Demontage der Kammer und ihr Auswischen. Danach muss die Kammer wieder montiert und "gealtert" werden, d.h. es muss eine Anzahl von Abscheidungszyklen ausgeführt werden, bis gleich bleibende Schichten erhalten werden. Beide Vorgänge nehmen das Abscheidungssystem aus dem Produktionsbetrieb, was ineffizient und unwirtschaftlich ist.

[0010] Als Alternative zur Verwendung von Aluminiumheizvorrichtungen hat man bei einigen Anwendungen keramische Heizvorrichtungen vorgeschlagen. Die Herstellung von keramischen Heizvorrichtungen und ihr Einsatz in Abscheidungsprozessen führt jedoch zu gewaltigen Herausforderungen. Keramische Heizvorrichtungen haben gewöhnlich ein elektrisches Heizelement in einem keramischen Heizkörper aus Materialien wie Aluminiumoxid (Al_2O_3) oder Aluminiumnitrid (AlN), welches das Heizelement vor der korrosiven Umgebung der Abscheidungskammer schützt, während Wärme von dem Heizelement zu dem Substrat übertragen wird. Da sie gewöhnlich härter und spröder als Metalle sind, können keramische Materialien schwierig abtragend bearbeitet werden, so dass sie einen einfachen mechanischen Aufbau haben müssen. Da sie etwas spröde sind, kann Keramik bei einem Wärmeschock, wenn sie wiederholt einem ausreichenden thermischen Gradienten ausgesetzt wird, reißen. Das Reißen kann auch aus der unterschiedlichen Wärmeausdehnung an dem Übergang von der keramischen Heizanordnung zu einem Material mit einem anderen Wärmeausdehnungskoeffizienten entstehen. Auch das Verbinden von keramischen Teilen, die aus dem gleichen Material hergestellt sind, ist eine große Aufgabe, da viele Montageverfahren und -vorrichtungen, die zum Montieren von Metallteilen verwendet werden, wie Schweißen, Verbolzen, Hartlöten und Schrauben, extrem schwierig oder nicht funktionssicher sein können, wenn sie bei keramischen Teilen versucht werden.

cher sein können, wenn sie bei keramischen Teilen versucht werden.

[0011] Das Erreichen einer Temperaturgleichförmigkeit ist ein anderes Problem bei Heizeinrichtungen, die bei hohen Temperaturen in Substratbehandlungssystemen arbeiten. Bekanntlich werden die Abscheidungs- und Ätzzraten von der Temperatur des Substrats beeinflusst. Deshalb kann eine Temperaturdifferenz über einer das Substrat haltenden Heizvorrichtungs Oberfläche zu unterschiedlichen Abscheidungen oder Ätzungen führen. Einige herkömmliche Ätzeinrichtungen verteilen die Wärme nicht gleichförmig über das Substrat. Dieses Problem kann bei höheren Temperaturen entscheidender werden, wo die thermischen Gradienten größer sein können.

[0012] Im Hinblick auf die vorstehenden Ausführungen benötigt man verbesserte Verfahren, Systeme und Vorrichtungen für eine effiziente plasmaverstärkte Abscheidung von Filmen in einer Umgebung mit hoher Temperatur (wenigstens etwa 400°C). Optimal erfordern diese verbesserten Verfahren und Vorrichtungen weniger Kammerreinigung und führen zu einem höheren Substratausstoß. Insbesondere sollen diese Systeme und Verfahren so ausgelegt werden, dass sie mit den Behandlungserfordernissen zur Ausbildung von Bauelementen mit Strukturen mit hohem Seitenverhältnis verträglich sind.

[0013] Diese Erfindung stellt eine Substratbehandlungsvorrichtung mit einer Kammer, mit einem Heizleistungssystem und mit einer Heizanordnung bereit, die eine Oberfläche zum Halten eines Substrats, einen inneren Kern aus einem ersten Metall, einen äußeren Mantel aus einem zweiten Metall, der den inneren Kern umgibt, und ein Widerstandsheizelement aufweist, das symmetrisch zwischen einer oberen Fläche und einer unteren Fläche des äußeren Mantels und in dem inneren Kern angeordnet ist, wobei das erste Metall eine höhere Wärmeleitfähigkeit als das zweite Metall hat. Die Symmetrie der Heizvorrichtung kombiniert mit der thermischen Koppelung erlaubt es, dass die Heizeinrichtung für ein gleichförmiges Heizen gut über 400°C ohne übermäßige thermische Verformung der Heizanordnung sorgt.

[0014] Bei einer speziellen Ausgestaltung hat das Heizelement eine innere Schleife und eine äußeren Schleife, die unabhängig zur Einstellung des Temperaturprofils über der Oberfläche der Heizvorrichtung gesteuert werden können. Ein thermischer Spalt in dem inneren Kern zwischen der inneren Schleife und der äußeren Schleife sorgt für eine thermische Isolation zwischen den jeweiligen Abschnitten des inneren Kerns.

[0015] Bei einer weiteren Ausgestaltung ist in dem Trägerschaft der Heizanordnung ein Isolator so vor-

gesehen, dass die Heizanordnung als Elektrode in einem Plasmaprozess verwendet werden kann. An einem Schaft der Heizanordnung ist ein keramischer Isolator mit einer Auslegerklemme und einem Spanarm befestigt, der den keramischen Isolator nicht einreißt und die unterschiedliche Wärmeausdehnung berücksichtigen kann, die während des Einsatzes auftritt. Bei einer alternativen Ausgestaltung ist ein keramischer Isolator an dem Schaft mit einer Glas-auf-Metall-Dichtung befestigt, wodurch ein gasdichter Schaftinnenraum geschaffen wird.

[0016] Diese Erfindung stellt auch einen Heizsockel zum Erhitzen eines Substrats auf eine Temperatur von wenigstens etwa 400°C bereit, wobei der Heizsockel einen inneren Kern aus einem ersten Metall, einen Mantel aus einem zweiten Metall, der das Metall umgibt, wobei die Wärmeleitfähigkeit des ersten Metalls größer als die Wärmeleitfähigkeit des zweiten Metalls ist, ein Widerstandsheizelement, das in eine Nut in dem inneren Kern so hart gelötet ist, dass das Widerstandselement symmetrisch in dem inneren Kern und dem Mantel ist, einen Stummelschaft, der mit einem unteren Abschnitt des Mantels gekoppelt ist, einen Isolator, der mit dem Stummelschaft durch eine erste Auslegerklemme gekoppelt ist, einen Trägerschaft, der mit dem Isolator durch eine zweite Auslegerklemme gekoppelt ist, und eine Hochfrequenzelektrode aufweist, die elektrisch mit dem inneren Kern, dem Mantel oder dem Stummelschaft gekoppelt ist.

[0017] Diese und weitere Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sowie ihre Vorteile und Eigenschaften werden im Einzelnen in Verbindung mit dem nachstehenden Text und den beiliegenden Figuren beschrieben.

[0018] [Fig. 1A](#) ist ein Blockschaltbild einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, die ein Abscheidesystem mit einem vereinfachten Querschnitt der Abscheidekammer zeigt.

[0019] [Fig. 1B](#) zeigt eine Schnittstelle zwischen einem Nutzer und einem Prozessor, der das Abscheidesystem steuern kann.

[0020] [Fig. 2A](#) ist eine vereinfachte Schnittansicht der Abscheidekammer nach einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0021] [Fig. 2B](#) zeigt einen vereinfachten Querschnitt eines Hubstiftlochs.

[0022] [Fig. 2C](#) zeigt einen vereinfachten Querschnitt einer Abschirmung, die über der Oberseite und den Seiten einer Heizanordnung angeordnet ist.

[0023] [Fig. 3](#) zeigt ein Ablaufdiagramm des hierarchischen Steueraufbaus der Systemsteuer-Software

gemäß einer Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung.

[0024] [Fig. 4A](#) zeigt eine vereinfachte Schnittansicht einer Heizanordnung nach einer Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung.

[0025] [Fig. 4B](#) zeigt eine vereinfachte Schnittansicht eines Hezelements, das in eine Nut hartgelötet ist.

[0026] [Fig. 5](#) ist eine auseinandergezogene Ansicht einiger Bauteile einer Heizanordnung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0027] [Fig. 6](#) ist eine Draufsicht auf ein inneres Kernelement mit Hezelementnuten, Hubstiftlöchern und einer Wärmedrossel.

[0028] [Fig. 7](#) zeigt eine vereinfachte Schnittansicht eines Teils einer Wärmeabschirmung.

[0029] [Fig. 8A](#) zeigt eine vereinfachte Schnittansicht einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung mit einem Hochfrequenzisolator zwischen der Heizanordnung und einem Heizträgerschaft.

[0030] [Fig. 8B](#) ist eine vereinfachte Schnittansicht einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung mit einer Wärmedrossel, die zwischen der Heizanordnung und einem keramischen HF-Isolator angeordnet ist.

[0031] [Fig. 8C](#) zeigt eine vereinfachte Schnittansicht eines Kopplers gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, welche einen wärmedrosselten Koppler und eine Klemme aufweist.

[0032] [Fig. 8D](#) zeigt eine vereinfachte isometrische Ansicht eines wärmedrosselten Kopplers gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0033] [Fig. 9](#) zeigt eine vereinfachte Schnittansicht eines nicht zur vorliegenden Erfindung gehörenden Bauelements.

[0034] [Fig. 10](#) zeigt Versuchsergebnisse der Temperaturgleichförmigkeit des Heizsockels gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0035] [Fig. 11](#) zeigt eine vereinfachte Anordnung, die nicht zur Erfindung gehört und bei der eine Heiz- und Sockelanordnung die Keramik-auf-Metall-Dichtungen aufweist.

1. CVD-Reaktorsystem

A. Überblick über einen beispielsweise CVD-Reaktor

[0036] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind Vorrichtungen, die zum Abscheiden von Filmen, beispielsweise einem Titanfilm, bei einer Temperatur verwendet werden können, die höher als etwa 400°C ist. Natürlich kann eine solche Vorrichtung, wie sie nachstehend beschrieben ist, zum Abscheiden anderer Filme verwendet werden, beispielsweise von Titansilicid, Titannitrid, Barium-Strontium-Titanat (BST), Blei-Zirconat-Titanat (PZT), Polysilicium, Metallsilicide, Metallnitrid-Sperrschichten, wie Wolframnitridd, oder andere Filme zusätzlich zu einem Titanfilm. Solche Filme können zur Bildung von Metallschichten, Adhäsionsschichten, Kontaktlochstopfen oder von anderen Schichten verwendet werden.

[0037] Gemäß [Fig. 1A](#) hat das CVD-System **10** eine Reaktorkammer **30**, die Gase aus einem Gasliefersystem **89** über Gasleitungen **92A** bis **92C** (es können andere Leitungen vorhanden sein, sind jedoch nicht gezeigt) erhält. Zur Aufrechterhaltung eines spezifischen Drucks in der Kammer wird ein Vakuumsystem **88** verwendet, das Gasnebenprodukte und verbrauchte Gase aus der Kammer entfernt. Eine HF-Leistungsversorgung **5** stellt für die Kammer eine HF-Leistung für plasmaverstärkte Prozesse bereit. Ein Wärmeaustauschsystem **6** verwendet ein flüssiges Wärmeübertragungsmedium, wie Wasser oder eine Wasser-Glycolmischung, um Wärme aus der Reaktorkammer zu entfernen, um bestimmte Teil der Kammer geeignet kühl zu halten, damit eine Kammertemperatur für stabile Prozesstemperaturen aufrechterhalten oder, falls erforderlich, Abschnitte der Kammer erwärmt werden können. Ein Prozessor **85** steuert den Betrieb der Kammer und der Untersysteme in Übereinstimmung mit in einem Speicher **86** gespeicherten Instruktionen über Steuerleitungen **3**, **3A**, **3B**, **3C** und **3D** (und andere Steuerleitungen, die nicht gezeigt sind).

[0038] Der Prozessor **85** führt die Systemsteuer-Software aus, die ein Rechnerprogramm ist, das in dem Speicher **86** gespeichert ist, der mit dem Prozessor **85** gekoppelt ist. Vorzugsweise kann der Speicher **86** ein Festplattenlaufwerk sein, natürlich aber auch irgendeine Art von Speicher. Zusätzlich zu einem Festplattenlaufwerk (beispielsweise Speicher **86**) hat die CVD-Vorrichtung **10** bei einer speziellen Ausgestaltung ein Diskettenlaufwerk und einen Karteneinschub. Der Prozessor **85** arbeitet unter der Steuerung der Systemsteuer-Software, die Instruktionssätze enthält, die die Zeitsteuerung, die Mischung von Gasen, den Gasstrom, den Kammerdruck, die Kammertemperatur, HF-Leistungspegel, die Heizsockelposition, die Heizvorrichtungstemperatur und an-

dere Parameter eines speziellen Prozesses vorgeben. Zum Betreiben des Prozessors **85** können auch andere Rechnerprogramme verwendet werden, beispielsweise solche, die in einem anderen Speicher gespeichert sind, wozu beispielsweise eine Diskette oder ein anderes Rechnerprogrammprodukt gehören, das in eine Diskette oder ein anderes geeignetes Laufwerk eingesetzt wird. Die Systemsteuer-Software wird nachstehend im Einzelnen erörtert. Der Karteneinschub enthält einen Ein-Karten-Rechner, analoge und digitale Eingabe-/Ausgabeplatinen, Interface-Platinen und Schrittmotor-Steuerplatinen. Verschiedene Teile der CVD-Vorrichtung **10** entsprechen dem Versa-Modular-European-Standard (VME), der Platine, Kartenkäfig und Anschlussdimensionen und Arten definiert. Der VME-Standard definiert auch die Busstruktur mit einem 16-Bit-Datenbus und einem 24-Bit-Adressenbus.

[0039] Die Schnittstelle zwischen einem Benutzer und dem Prozessor **85** erfolgt über einen CRT-Monitor **93a** und einem Lichtstift **93b**, der in [Fig. 1B](#) gezeigt ist, die eine vereinfachte Darstellung des Systemmonitors ist, der bei der CVD-Vorrichtung **10** verwendet wird, dargestellt als eine der Kammern in einem Mehrkammersystem. Die CVD-Vorrichtung **10** ist vorzugsweise an einer Haupttrahmeneinheit **51** befestigt, die die elektrischen, Installations- und andere Stützfunktionen für die Vorrichtung **10** enthält und bereitstellt. Beispielsweise Haupttrahmeneinheiten, die mit der gezeigten Ausführung einer CVD-Vorrichtung **10** kompatibel sind, sind gegenwärtig im Handel als PRECISION 5000TM- und als CENTURA 5200TM-System von Applied Materials, Inc., Santa Clara, Kalifornien, verfügbar. Das Mehrfachkammersystem hat die Fähigkeit, einen Wafer zwischen seinen Kammern zu überführen, ohne das Vakuum aufzuheben und ohne dass der Wafer feuchten oder anderen Verunreinigungen außerhalb des Mehrkammersystems ausgesetzt werden muss. Ein Vorteil des Mehrkammersystems besteht darin, dass verschiedene Kammern in dem Mehrkammersystem für verschiedene Zwecke bei dem Gesamtprozess verwendet werden können. Beispielsweise kann eine Kammer zum Abscheiden eines Metallfilms, eine andere für eine schnelle thermische Behandlung und wieder eine andere zum Abscheiden einer antireflektiven Schicht verwendet werden. Das Verfahren kann ohne Unterbrechung in dem Mehrkammersystem fortgeführt werden, wodurch eine Verunreinigung von Wafern verhindert wird, die häufig auftritt, wenn Wafer zwischen verschiedenen gesonderten individuellen Kammern (nicht in einem Mehrkammersystem) für verschiedene Teile eines Prozesses überführt werden.

[0040] Bei der bevorzugten Ausführungsform werden zwei Monitore **93a** verwendet, von denen einer in der Reinraumwand für die Betätigungspersonen und der andere hinter der Wand für die Wartungstechniker angebracht ist. Beide Monitore **93a** zeigen

gleichzeitig die gleiche Information an, jedoch ist nur einer lichtstiftwirksam (**93b**). Der Lichtstift **93b** erfasst von der CRT-Anzeige emittiertes Licht mit einem Lichtsensor in der Spitze des Stiftes. Um einen speziellen Schirm oder eine spezielle Funktion auszuwählen, berührt die Bedienungsperson einen bezeichneten Bereich des Anzeigeschirms und drückt den Knopf an dem Stift **93b**. Der berührte Bereich ändert seine Bildpunktfarbe oder es wird ein neues Menü oder ein neuer Schirm angezeigt, was die Verbindung zwischen dem Lichtstift und dem Anzeigeschirm bestätigt. Natürlich können auch andere Vorrichtungen, wie eine Tastatur, eine Maus oder eine andere Hinweis- oder Kommunikationsvorrichtung, anstelle von oder zusätzlich zu dem Lichtstift **93b** verwendet werden, um dem Nutzer die Kommunikation mit dem Prozessor **85** zu ermöglichen.

[0041] Das Gasliefersystem **89** von [Fig. 1A](#) hat eine Gasversorgungsplatte **90** und Gas- oder Flüssigkeitsquellen **91A** bis **91C** (gewünschtenfalls können weitere Quellen hinzugefügt werden), die Gase oder Flüssigkeiten enthalten, die sie abhängig von den gewünschten, für eine spezielle Anwendung verwendeten Prozessen ändern können. Die Flüssigkeitsquellen können auf einer Temperatur gehalten werden, die viel höher ist als die Raumtemperatur, um Quellentemperaturänderungen aufgrund Änderungen der Raumtemperatur zu minimieren. Die Gaszuführungsplatte **90** hat ein Mischsystem, welches die Abscheidungsprozess- und Trägergase (oder verdampfte Flüssigkeiten) von den Quellen **91A** bis **91C** zum Mischen und Führen zu einem zentralen Gaseinlass **44** in einer Gasbeschickungsabdeckplatte **45** über Zuführleitungen **92A** bis **92C** empfängt. Die Flüssigkeitsquellen können erhitzt werden, um einen Dampf bei einem Druck über dem Kammerbetriebsdruck bereitzustellen, oder es kann ein Trägergas, wie He, Ar oder N₂, durch die Flüssigkeit (oder erhitzte Flüssigkeit) als Blasen durchgeführt werden, um einen Dampf zu erzeugen. Insgesamt hat die Zuführleitung für jedes der Prozessgase ein Absperrventil (nicht gezeigt), das dazu verwendet werden kann, den Strom des Prozessgases automatisch oder von Hand abzusperren, sowie eine Massenstromsteuerung (nicht gezeigt), die den Gas- oder Flüssigkeitsstrom durch die Zuführleitungen misst. Wenn in dem Prozess giftige Gase (beispielsweise Ozon oder Halogengase) verwendet werden, können die Absperrventile an jeder Gaszuführleitung in herkömmlichen Ausgestaltungen positioniert werden. Der Durchsatz, mit dem die Abscheidungs- und Trägergase, zu denen beispielsweise Titan-tetrachlorid-(TiCl₄-)Dampf, Helium-(He-)Argon und Stickstoff (N₂) und/oder andere Dotiermittel oder Reaktionsteilnehmerquellen gehören, der Reaktionskammer **30** zugeführt werden, wird ebenfalls von Flüssigkeits- oder Gasmassenstromsteuerungen (MFC) (nicht gezeigt) und/oder durch Ventile (nicht gezeigt) gesteuert. Bei einigen Ausführungsformen weist ein Gasmischsys-

tem (nicht gezeigt) ein Flüssigkeitseinspritzsystem zum Verdampfen von Reaktionsteilnehmerflüssigkeiten auf. In manchen Fällen wird ein Flüssigkeitseinspritzsystem bevorzugt, da es eine bessere Steuerung des Volumens der Reaktionsteilnehmerflüssigkeit, die in das Gasmischsystem eingeführt wird, verglichen mit den Quellen in der Bauweise mit Blasen-durchführung ermöglicht. Die verdampften Gase werden dann in der Gasplatte mit einem Trägergas, wie Helium, vermischt, bevor sie zu der Zuführleitung geliefert werden. Natürlich ist es bekannt, dass auch andere Mischungen als Abscheidungsquellen verwendet werden können.

[0042] Das Wärmeaustauschsystem **6** liefert Kühlmittel zu den verschiedenen Bauelementen der Kammer **30**, um diese Bauelemente während der Hochtemperaturbehandlung zu kühlen. Das Wärmeaustauschsystem **6** wirkt so, dass die Temperatur dieser Kammerbauelemente verringert wird, um eine unerwünschte Abscheidung auf diesen Bauelementen aufgrund des Hochtemperaturprozesses zu minimieren. Das Wärmeaustauschsystem **6** hat Anschlüsse (nicht gezeigt), die Kühlwasser durch einen Kühlwasserverteiler (nicht gezeigt) zu führen, um Kühlmittel zu dem Gasverteilungssystem, einschließlich der Frontplatte **40**, zu liefern (nachstehend erörtert). Ein Wasserdurchsatzdetektor erfasst den Wasserstrom von einem Wärmeaustauscher (nicht gezeigt) zu einer Mantelanordnung.

[0043] Ein widerstandsbeheizter Sockel **32** trägt einen Wafer **36** in einer Wafertasche **34**. Der Sockel **32** kann vertikal zwischen einer Behandlungsposition (gezeigt) und einer unteren Ladeposition (nicht gezeigt) bewegt werden. Es wird ein selbsteinstellender Mechanismus verwendet, wie er im Einzelnen in der US-A-6120609 mit dem Titel "Verbesserter Selbstausrichtender Hubmechanismus" beschrieben ist. In dem Sockel **32** sind Hubstifte **39** (von denen nur einer gezeigt ist) gleitend verschiebbar, werden jedoch durch konische Köpfe an ihren oberen Enden vom Herausfallen abgehalten. Die unteren Enden der Hubstifte **38** können mit einem vertikal bewegbaren Hubring **39** in Eingriff stehen und können so über die Sockeloberfläche angehoben werden. Wenn sich der Sockel **32** in der unteren Ladeposition (etwas niedriger als eine Einführ-/Entfernöffnung **56**) befindet, überführt ein Robotblatt (nicht gezeigt) in Zusammenarbeit mit den Hubstiften und dem Hubring den Wafer **36** in die Kammer **30** hinein und aus ihr heraus durch die Einführ-/Entfernöffnung **56**, die vakuumabgedichtet sein kann, um einen Gasstrom in die Kammer und aus ihr heraus durch die Einführ-/Entfernöffnung **56** zu verhindern. Die Hubstifte **38** heben einen eingeführten Wafer (nicht gezeigt) von dem Robotblatt ab, wonach der Sockel hochsteigt, um den Wafer von den Hubstiften auf die Wafertasche auf der oberen Fläche des Sockels abzuheben. Eine geeignete Robot-Überführungsanordnung ist allgemein in

dem auf Maydan übertragenen US-Patent 4,951,601 beschrieben.

[0044] Der Sockel **32** hebt dann den Wafer **36** weiter in die Behandlungsposition, die sich in unmittelbarer Nähe zu einer Gasverteilungsstirnplatte (im Folgenden "Duschkopf") **40** befindet, die eine große Anzahl von Löchern oder Durchlässen **42** zum Eindüsen des Prozessgases in die Behandlungszone **58** aufweist. Das Prozessgas wird in die Kammer **30** durch einen zentralen Gaseinlass **44** in der Gaszuführdeckplatte **45** zu einem ersten scheibenförmigen Sammler **48** und von dort durch Durchlässe **50** in einer Trennplatte (oder Blockierplatte) **52** zu einem zweiten scheibenförmigen Sammler **54** eingeblasen.

[0045] Wie durch die Pfeile gezeigt ist, wird das Prozessgas aus den Löchern **42** im Duschkopf **40** in die Behandlungszone **58** zwischen dem Duschkopf und dem Sockel eingedüst, so dass es an der Oberfläche des Wafers **36** reagiert. Die Prozessgas-Nebenprodukte strömen dann radial nach außen über den Rand des Wafers **36**. Von dort strömt das Prozessgas durch eine Drosselöffnung **61**, die zwischen der Unterseite eines Ringisolators **62** und der Oberseite der Kammerwand-Auskleidungsanordnung **53** ausgebildet ist, in einen Pumpkanal **60**. Beim Eintreten in den Pumpkanal **60** wird das Abgas um den Umfang der Prozesskammer herum für die Evakuierung durch eine Vakuumpumpe **62** geleitet. Der Pumpkanal **60** ist über eine Auslassöffnung **74** mit einer Pumpkammer **76** verbunden. Wie im Einzelnen nachstehend erläutert wird, schränkt die Auslassöffnung **74** die Strömung zwischen dem Pumpkanal und der Pumpkammer ein. Ein Ventil **78** leitet das Abgas durch eine Abgasöffnung **80** zur Vakuumpumpe **82**. Die Systemsteuerung (in dieser Ansicht nicht gezeigt) steuert ein Drosselventil **83** entsprechend einem Drucksteuerprogramm, das in einem Speicher (nicht gezeigt) gespeichert ist, der ein gemessenes Signal aus einem Drucksensor (nicht gezeigt), beispielsweise einem Manometer, mit einem gewünschten Wert vergleicht, der in dem Speicher gespeichert ist oder entsprechend dem Steuerprogramm erzeugt wird.

[0046] Gemäß [Fig. 2A](#) werden die Seiten des ringförmigen Pumpkanals **60** insgesamt von einem Keramikring **64**, einer Kammerdeckelauskleidung **70**, einer Kammerwandauskleidung **72** und dem Isolator **62** begrenzt. Keramische Kammerauskleidungen sind an sich bekannt und beispielsweise in dem wie üblich übertragenen US-Patent 5,366,585, ausgegeben für Robertson et al., beschrieben. Die Kammerdeckelauskleidung **70** ist auf der Seite des Pumpkanals **60** angeordnet, die einem Deckelrand **66** zugewandt ist, und entspricht der Form der Deckels. Die Kammerwandauskleidung **72** ist auf der Seite des Pumpkanals **60** angeordnet, der dem Hauptkammergehäuse **76** zugewandt ist. Beide Auskleidungen sind vorzugsweise aus Metall, wie Aluminium, herge-

stellt und können kugelgestrahlt sein, um die Haftung irgendeines darauf abgeschiedenen Filmes zu steigern. Die Deckel- und Kammerauskleidungen **70** und **72** sind als ein Satz bemessen. Die Kammerdeckelauskleidung **70** ist lösbar an dem Deckelrand **66** durch eine Vielzahl von Stiften **75** befestigt, die auch die Deckelauskleidung mit dem Deckelrand elektrisch verbinden. Die Kammerwandauskleidung **72** ist jedoch an einer Leiste **65** gehalten, die an der äußeren Oberseite des Keramikrings **64** ausgebildet ist, und ist präzise geformt, so dass sie einen solchen Durchmesser hat, dass ein radialer Spalt **73** zwischen der Kammerwandauskleidung **72** und dem Hauptkammergehäuse **76** und so der axiale Spalt **75** zwischen der Deckel- und Kammerauskleidung gebildet wird.

[0047] Die Drosselöffnung **61** hat eine Breite, die wesentlich kleiner ist als die Tiefe der Behandlungszone **58** zwischen dem Duschkopf **40** und dem Wafer **36**, und ist wesentlich kleiner als die minimalen seitlichen Abmessungen des Umfangspumpkanals **60**, beispielsweise um wenigstens einen Faktor fünf. Die Breite der Drosselöffnung **61** ist klein genug und ihre Länge lang genug, um einen ausreichenden aerodynamischen Widerstand bei dem Betriebsdruck und dem Gasstrom zu erzeugen, so dass der Druckabfall über der Drosselöffnung **61** wesentlich größer ist als irgendwelche Druckabfälle über dem Radius des Wafers oder um den Umfang des ringförmigen Pumpkanals herum. In der Praxis ist es nicht untypisch, dass die Drosselöffnung **61** genug aerodynamischen Widerstand einführt, damit der Druckabfall von der Mitte des Wafers zum Inneren des Pumpkanals nicht mehr als 10% des Umfangsdruckabfalls in dem Pumpkanal beträgt. Die verengte Auslassöffnung **74** hat eine ähnliche Funktion wie die der Drosselöffnung durch Erzeugung eines aerodynamischen Widerstands, indem ein nahezu gleichförmiger Druck um den Umfangspumpkanal **60** herum erzeugt wird.

[0048] Zum Bewegen und Bestimmen der Position von beweglichen mechanischen Anordnungen, wie einem Drosselventil **83** und dem Sockel **32**, werden Motoren und optische Sensoren (nicht gezeigt) verwendet. An dem Boden des Sockels **32** und des Kammergehäuses **76** befestigte Balge (nicht gezeigt) bilden eine bewegliche Gasdichteabdichtung um den Sockel herum. Das Sockelhubsystem, die Motore, der Schieber, das Plasmasystem einschließlich des fakultativen Fern-Plasmasystems **4** (das verwendet werden kann, um eine Kammerreinigungsfähigkeit zu erhalten, indem ein Fernplasma verwendet wird, das beispielsweise unter Verwendung einer Mikrowellenquelle gebildet wird) und andere Systemkomponenten werden von dem Prozessor **85** über Steuerleitungen **3** und **3A** bis **3D** gesteuert, von denen nur einige gezeigt sind.

[0049] [Fig. 2A](#) zeigt zusätzliche Merkmale einer

beispielsweisen Kammer. Der Sockel **32** hat eine Heizanordnung **33** und einen Trägerschaft **25**. An die Unterseite der Heizanordnung ist ein mehrschichtiges Heizschild **31** angeschraubt und verringert den Wärmeverlust von der Unterseite und den Seitenflächen der Heizanordnung. Die Heizanordnung **33** hat einen inneren Kern **12** und einen äußeren Mantel **13**. Der innere Kern ist aus einem Metall hergestellt, das eine höhere Wärmeleitfähigkeit als das Metall hat, das zur Herstellung des Mantels verwendet wird. Diese Ausgestaltung dient wenigstens zwei Zwecken. Erstens dient der innere Kern zur Ausbreitung von Wärme längs der Kern-Mantel-Trennfläche, wodurch die Temperaturgleichförmigkeit an der Oberfläche des Mantels verbessert wird. Zweitens schließt der innere Kern die gegenüberliegenden Mantelflächen thermisch zusammen, wodurch ein Verformen der Heizanordnung verringert wird, wie es nachstehend im Einzelnen erörtert wird. Mehrfach-Widerstandsheizelemente (beispielsweise zwei bei einer speziellen Ausgestaltung), nämlich ein äußeres Heizelement **14A** und ein inneres Heizelement **14B**, sind in der Mittelebene des inneren Kerns angeordnet. Die Vorteile der vorliegenden Erfindung können jedoch auch verwirklicht werden, wenn ein einziges Heizelement verwendet würde. In einem Hubstiftloch **20**, das zu einer Hubstiftlochauskleidung **37** ausgerichtet ist, liegt ein Hubstift **38**. Bei einer speziellen Ausgestaltung sind sowohl der Hubstift **38** als auch die Hubstiftlochauskleidung **37** aus Keramikmaterial hergestellt, um Verschleiß und Reibung bei hohen Temperaturen sowie eine Teilchenerzeugung verglichen mit Metallkomponenten zu reduzieren.

[0050] Die Hubstiftlochauskleidung wird durch einen C-Ring **21**, wie in [Fig. 2B](#) gezeigt, an Ort und Stelle gehalten, der in eine Nut in dem Mantel schnappt. Um das Hubstiftloch herum ist ein Hubstiftlochspalt **22** belassen, um der unterschiedlichen Wärmeausdehnung zwischen dem inneren Kern und dem Mantel Rechnung zu tragen. Eine Hubstiftlochhülse **23**, die gewöhnlich aus dem gleichen Metall wie der Mantel hergestellt ist, dichtet den inneren Kern innerhalb des Mantels an dem Hubstiftloch ab. Weitere Einzelheiten der Heizanordnung **33** werden nachstehend beschrieben.

[0051] [Fig. 2C](#) zeigt eine vereinfachte Schnittansicht einer Heizanordnung **33** mit einem Schild **84**, der über der Oberseite und den Seiten der Heizanordnung angeordnet ist. Die Schildplatte kann eine Abdeckplatte simulieren, um den Heizmantel während der Plasmabehandlung oder -reinigung oder gegenüber korrosiven Prozessumgebungen zu schützen, oder kann verwendet werden, um eine Verunreinigung aufgrund von Zurückzerstäubung zu reduzieren. Der Schild besteht gewöhnlich aus einem anderen Material als das Material, aus dem der Heizmantel hergestellt ist, und kann beispielsweise Aluminiumnitrid oder Quarzglas sein, wenn ein Korrosions-

widerstand gewünscht ist, der sich von dem des Mantelmaterials unterscheidet, oder kann ein anderes Material sein, wenn die Wahl des Schildmaterials weniger Probleme hinsichtlich Kammer- oder Waferverunreinigung darstellen würde.

[0052] Einige Aspekte der oben erörterten CVD-Vorrichtung sind einer beispielsweisen CVD-Kammer gemein, wie sie im Einzelnen in der US-A-5558717 beschrieben ist. Andere Aspekte der CVD-Vorrichtung werden nachstehend weiter im Einzelnen beschrieben.

B. Systemsteuerung

[0053] Die Prozesse zum Abscheiden des Films und zur Trockenreinigung der Kammer können unter Verwendung eines Rechnerprogrammprodukts erfolgen, das von dem Prozessor **85** ([Fig. 1A](#)) ausgeführt wird. Der Rechnerprogrammcode kann in irgendeiner herkömmlichen rechnerlesbaren Programmiersprache beschrieben werden, beispielsweise 68000 Assembler-Sprache, C, C++, Pascal, Fortran oder einer anderen Sprache. Ein geeigneter Programmcode wird in eine Einzeldatei oder in Mehrfachdateien unter Verwendung eines herkömmlichen Texteditors eingegeben und in einem rechnernutzbaren Medium, wie einem Speichersystem des Rechners, gespeichert oder ausgeführt. Wenn der eingegebene Code-Text eine höhere Programmiersprache ist, wird der Code übersetzt und der sich ergebende Compiler-Code wird dann mit einem Objektcode von vorkompilierten Windows-Bibliotheksprogrammen verbunden. Zur Ausführung des verbundenen kompilierten Objektcodes ruft der Systemnutzer den Objektcode auf, was das Rechnersystem dazu veranlasst, den Code in seinen Speicher zu laden, von dem aus die CPU den Code liest und ausführt, um die in dem Programm angegebenen Aufgaben durchzuführen.

[0054] [Fig. 3](#) ist ein illustratives Blockschaltbild der hierarchischen Steuerstruktur der Systemsteuer-Software des Rechnerprogramms **160** gemäß einer speziellen Ausgestaltung. Unter Verwendung einer Lichtstiftschnittstelle gibt ein Nutzer eine Prozesseinstellnummer und eine Prozesskammernummer in die Prozessselektor-Subroutine **161** ansprechend auf Menüs oder Schirme ein, die auf dem CRT-Monitor angezeigt werden. Die Prozesseinstellungen, die vorgegebene Einstellungen von Prozessparametern sind, die erforderlich sind, um spezifizierte Prozesse auszuführen, werden durch vorgegebene Einstellnummern angegeben. Die Prozessselektor-Subroutine **161** erkennt (i) die gewünschte Prozesskammer und (ii) die gewünschte Einstellung von Prozessparametern, die benötigt werden, um die Prozesskammer zur Ausführung des gewünschten Prozesses zu betreiben. Die Prozessparameter zur Ausführung eines spezifischen Prozesses beziehen sich auf Prozessbedingungen, wie beispielsweise Prozessgaszusam-

mensetzung und Durchsätze, Temperatur, Druck, Plasmabedingungen, wie Hoch- und Niederfrequenz-HF-Leistungspegel sowie Hochfrequenz- und Niederfrequenz-HF-Frequenzen (und zusätzlich Mikrowellengenerator-Leistungspegel für Ausgestaltungen, die mit Fern-Mikrowellenplasmasystemen versehen sind) auf den Kühlgasdruck und die Kammerwandtemperatur. Die Prozessselektor-Subroutine **161** steuert, welche Art von Prozess (Abscheidung, Waferreinigung, Kammerreinigung, Kammer-Gettern, Rückströmen) zu einer bestimmten Zeit in der Kammer **30** ausgeführt wird. Bei einigen Ausführungsformen können mehr als eine Prozessselektor-Subroutine vorhanden sein. Die Prozessparameter werden für den Nutzer in Form eines Rezepts bereitgestellt und können unter Verwendung der Lichtstift-/CRT-Monitorschnittstelle eingegeben werden.

[0055] Die Signale zum Überwachen des Prozesses werden von der Analog-Eingabetafel und der Digital-Eingabetafel der Systemsteuerung bereitgestellt, während die Signale zum Steuern des Prozesses an der Analog-Ausgabeplatte und der Digital-Ausgabeplatte des CVD-Systems **10** ausgegeben werden.

[0056] Eine Prozesssequenzer-Subroutine **162** hat einen Programmcode zum Akzeptieren der identifizierten Prozesskammer und des Satzes von Prozessparametern aus der Prozessselektor-Subroutine **161** und zum Steuern der Vorgänge in den verschiedenen Prozesskammern. Mehrfachnutzer können Prozesseinstellnummern oder Prozesskammernummern eingeben, oder Einzelnutzer können Mehrfachprozess-Einstellnummern und Prozesskammernummern eingeben, so dass die Sequenzer-Subroutine **162** so arbeitet, dass der ausgewählte Prozess der gewünschten Sequenz festgelegt wird. Vorzugsweise hat die Sequenzer-Subroutine **162** einen Programmcode zur Ausführung der Schritte (i) Überwachen des Betriebs der Prozesskammern, um zu bestimmen, ob die Kammern verwendet werden, (ii) Bestimmen, welche Prozesse in den verwendeten Kammern ausgeführt werden, und (iii) Ausführen des gewünschten Prozesses basierend auf der Verfügbarkeit einer Prozesskammer und der Art des auszuführenden Prozesses. Es können herkömmliche Verfahren zur Überwachung der Prozesskammern verwendet werden, beispielsweise das Abfragen. Wenn zeitlich festgelegt wird, welcher Prozess auszuführen ist, kann die Sequenzer-Subroutine **162** so ausgelegt sein, dass sie die gegenwärtige Bedingung der zu verwendenden Prozesskammer im Vergleich mit den gewünschten Prozessbedingungen für einen ausgewählten Prozess oder das "Alter" jeder spezieller nutzereingegebenen Forderung oder irgendeinen anderen relevanten Faktor, den ein Systemprogrammierer zur Bestimmung von Zeitablaufprioritäten eingeschlossen haben möchte, in Betracht zieht.

[0057] Wenn die Sequenzer-Subroutine **162** einmal bestimmt hat, welche Prozesskammer und welche Prozesseinstellungskombination als nächste ausgeführt werden, beginnt die Sequenzer-Subroutine **162** mit der Ausführung der Prozesseinstellung, indem die speziellen Prozesseinstellungsparameter einer Kammerleitungs-Subroutine **163a** bis **163c** zugeführt werden, die mehrere Prozessaufgaben in einer Prozesskammer **30** gemäß der Prozesseinstellung steuert, die von der Sequenzer-Subroutine **162** bestimmt wurde. Beispielsweise hat die Kammerleitungs-Subroutine **163b** einen Programmcode zum Steuern der CVD-Vorgänge in der Prozesskammer **30**. Die Kammerleitungs-Subroutine **163b** steuert auch die Ausführung verschiedener Kammerkomponenten-Subroutinen, die den Betrieb der Kammerkomponenten steuern, die erforderlich sind, um die ausgewählte Prozesseinstellung durchzuführen. Beispiele für Kammerkomponenten-Subroutinen sind eine Substratpositionier-Subroutine **164**, eine Prozessgassteuer-Subroutine **165**, eine Drucksteuerungs-Subroutine **166**, eine Heizungssteuerungs-Subroutine **167** und eine Plasmasteuerungs-Subroutine **168**. Abhängig von der speziellen Ausgestaltung der CVD-Kammer haben einige Ausführungsformen alle der vorstehenden Subroutinen, während andere Ausführungsformen nur einige der Subroutinen aufweisen können. Der Fachmann erkennt leicht, dass andere Kammersteuer-Subroutinen abhängig davon vorgesehen werden können, welche Prozesse in der Prozesskammer **30** auszuführen sind. In Betrieb steuert die Kammerleitungs-Subroutine **163b** die Prozesskomponenten-Subroutinen seitlich selektiv oder ruft sie selektiv in Übereinstimmung mit der speziellen auszuführenden Prozesseinstellung auf. Die Kammerleitungs-Subroutine **163b** steuert die Prozesskomponenten-Subroutinen zeitlich ähnlich wie die Sequenzer-Subroutine **162** zeitlich steuert, welche Prozesskammer **30** und welche Prozesseinstellung als nächste auszuführen sind. Gewöhnlich gehören zu der Kammerleitungs-Subroutine **163b** die Schritte der Überwachung der verschiedenen Kammerkomponenten, der Bestimmung, welche Komponenten basierend auf den Prozessparametern für die auszuführende Prozesseinstellung zu betreiben sind, und das Beginnen der Ausführung einer Kammerkomponenten-Subroutine ansprechend auf den Überwachungs- und Bestimmungsschritt.

[0058] Der Betrieb der speziellen Kammerkomponenten-Subroutinen wird nun unter Bezug auf [Fig. 3](#) beschrieben. Die Substratpositionier-Subroutine **164** hat einen Programmcode zum Steuern der Kammerkomponenten, die dazu eingesetzt werden, das Substrat auf den Sockel **62** zu laden und fakultativ das Substrat auf eine gewünschte Höhe in der Kammer **30** anzuheben, um den Abstand zwischen dem Substrat und dem Duschkopf **40** zu steuern. Wenn ein Substrat in die Prozesskammer **30** geladen ist, wird die Heizanordnung **33** abgesenkt, um das Substrat in

einer Wafertasche **34** aufzunehmen, und dann auf die gewünschte Höhe angehoben. In Betrieb steuert die Substratpositionier-Subroutine **164** die Bewegung des Sockels **32** ansprechend auf die auf die Trägerhöhe bezogenen Prozesseinstellungsparameter, die von der Kammerleitungs-Subroutine **163b** übertragen werden.

[0059] Die Prozessgassteuer-Subroutine **165** hat einen Programmcode zum Steuern der Prozessgaszusammensetzung und der Durchsätze. Die Prozessgassteuer-Subroutine **165** steuert die Offen-/Schließposition der Sicherheitsabsperrentile und fährt auch die Massenstromsteuerungen nach oben/nach unten, um den gewünschten Gasdurchsatz zu erhalten. Die Prozessgassteuer-Subroutine **165** wird wie alle Kammerkomponente-Subroutinen durch die Kammerleitungs-Subroutine **163b** aufgerufen und empfängt von der Kammerleitung auf die gewünschten Gasdurchsätze bezogene Subroutinenprozessparameter. Gewöhnlich arbeitet die Prozessgassteuer-Subroutine **165** so, dass Gaszuführleitungen geöffnet werden und wiederholt (i) die erforderlichen Massenstromsteuerungen abgelesen werden, (ii) die Ablesungen mit den gewünschten Durchsätzen verglichen werden, die von der Kammerleitungs-Subroutine **163b** erhalten werden, und (iii) die Durchsätze der Gaszuführleitungen wie erforderlich eingestellt werden. Weiterhin gehören zu der Prozessgassteuerungs-Subroutine **163** die Schritte der Überwachung der Gasdurchsätze hinsichtlich gefährlicher Durchsätze und die Aktivierung der Sicherheitsabsperrentile, wenn ein gefährlicher Zustand erfasst wird. Die Prozessgassteuer-Subroutine **165** steuert auch die Gaszusammensetzung und die Durchsätze von Reinigungsgasen sowie von Abscheidungsgasen abhängig von dem gewünschten Prozess (Reinigung oder Abscheidung oder anderer Prozess), der gewählt ist. Alternative Ausführungsformen können mehr als eine Prozessgassteuer-Subroutine haben, wobei jede Subroutine eine spezielle Prozessart oder spezielle Einstellungen der Gasleitungen steuert.

[0060] Bei einigen Prozessen strömt ein Inertgas, wie Stickstoff oder Argon, in die Kammer, um den Druck in der Kammer zu stabilisieren, bevor reaktive Prozessgase eingeführt werden. Für diese Prozesse ist die Prozessgassteuer-Subroutine **165** so programmiert, dass sie die Schritte aufweist, das Inertgas in die Kammer für einen Zeitraum strömen zu lassen, der erforderlich ist, um den Druck in der Kammer zu stabilisieren, und dann werden die oben beschriebenen Schritte ausgeführt. Wenn ein Prozessgas aus einem Flüssigkeitsvorläufer, beispielsweise TiCl_4 , verdampft werden soll, ist zusätzlich die Prozessgassteuer-Subroutine **165** so geschrieben, dass sie die Schritte aufweist, ein Fördergas, wie Helium, durch den Flüssigkeitsvorläufer in einer Blasenbildungsanordnung in Form von Blasen hindurchzuführen, oder

ein Trägergas, wie Helium, in ein Flüssigkeitseinspritzsystem einzuführen. Wenn für diese Prozessart eine Blasendurchführeinrichtung verwendet wird, reguliert die Prozessgassteuer-Subroutine **165** den Strom des Fördergases, den Druck der Blasenbildungseinrichtung und die Temperatur der Blasenbildungseinrichtung, um die gewünschten Prozessgasdurchsätze zu erhalten. Wie vorstehend erörtert, werden die gewünschten Prozessgasdurchsätze zur Prozessgassteuer-Subroutine **165** als Prozessparameter überführt. Weiterhin gehören zur Prozessgassteuer-Subroutine **165** die Schritte, den erforderlichen Fördergasdurchsatz, den Druck und die Temperatur der Blasenbildungseinrichtung für einen gewünschten Prozessgasdurchsatz durch Zugriff auf eine gespeicherte Tabelle zu erhalten, die die erforderlichen Werte für einen gegebenen Prozessgasdurchsatz enthält. Wenn die erforderlichen Werte einmal erhalten sind, werden der Fördergasdurchsatz, der Druck und die Temperatur der Blasenbildungseinrichtung überwacht, mit den erforderlichen Werten verglichen und entsprechend eingestellt.

[0061] Die Drucksteuer-Subroutine **166** hat einen Programmcode zum Steuern des Drucks in der Kammer **30** durch Regulieren der Öffnungsgröße des Drosselventils in dem Auslasssystem der Kammer. Die Öffnungsgröße des Drosselventils wird so eingestellt, dass der Kammerdruck auf einem gewünschten Wert bezogen auf den gesamten Prozessgasstrom, die Größe der Prozesskammer und den Pumpeinstellpunktdruck für das Auslasssystem gesteuert wird. Wenn die Drucksteuer-Subroutine **166** aufgerufen wird, wird der gewünschte oder Zieldruckwert als Parameter aus der Kammerleitungs-Subroutine **163b** erhalten. Die Drucksteuer-Subroutine **166** misst den Druck in der Kammer **30** durch Ablesen von einem oder mehreren herkömmlichen Druckmessern, die mit der Kammer verbunden sind, vergleicht den gemessenen Wert/die gemessenen Werte mit dem Zieldruck, erhält Proportional-, Integral- und Differentialwerte (PID) entsprechend dem Zieldruck aus einer gespeicherten Drucktabelle und stellt das Drosselventil entsprechend den PID-Werten ein, die aus der Drucktabelle erhalten wurden. Alternativ kann die Drucksteuer-Subroutine **166** so geschrieben werden, dass sie das Drosselventil auf eine spezielle Öffnungsgröße öffnet oder schließt, um die Pumpleistung in der Kammer **30** auf den gewünschten Wert zu regulieren.

[0062] Die Heizungssteuer-Subroutine **167** hat einen Programmcode zum Steuern der Temperatur eines jeden der Heizelemente **14A** und **14B**, die für eine Widerstandserhitzung des Sockels **32** (und irgendeines darauf befindlichen Substrats) verwendet werden. Die Heizungssteuer-Subroutine wird ebenfalls von der Kammerleitungs-Subroutine aufgerufen und empfängt einen Ziel- oder Einstellpunkt-Temperaturparameter. Die Heizungssteuer-Subroutine

misst die Temperatur durch Messen des Spannungsausgangs eines in dem Sockel **32** angeordneten Thermoelements, vergleicht die gemessene Temperatur der Einstellpunkttemperatur und erhöht oder verringert den an die Heizeinheit angelegten Strom, um die Einstellpunkttemperatur zu erhalten. Die Temperatur wird aus der gemessenen Spannung erhalten, indem die entsprechende Temperatur in einer gespeicherten Umwandlungstabelle aufgesucht oder die Temperatur unter Verwendung eines Polynoms vierter Ordnung berechnet wird. Wenn eine eingebaute Leitungsschleife zum Erhitzen des Sockels **32** verwendet wird, steuert die Heizungssteuer-Subroutine **167** allmählich ein Hochfahren/Herunterfahren des an die Leitungsschleife angelegten Stroms. Zusätzlich kann ein eingebauter Sicherheitsmodus vorgesehen werden, um einen Prozesssicherheitsnachweis zu erfassen, wobei der Modus den Betrieb der Heizeinheit abschalten kann, wenn die Prozesskammer **30** nicht richtig eingestellt ist. Ein alternatives Verfahren einer Heizungssteuerung, das verwendet werden kann, benutzt einen Rampensteueralgorithmus, der in der US-A-5968587 beschrieben ist.

[0063] Eine Plasmasteuer-Subroutine **168** hat einen Programmcode zum Einstellen von Nieder- und Hochfrequenz-HF-Leistungspegeln, die an die Prozesselektroden in der Kammer **30** und die Heizanordnung **32** angelegt sind, und zum Einstellen der verwendeten Nieder-HF-Frequenz. Wie bei den vorher beschriebenen Kammerkomponenten-Subroutinen wird die Plasmasteuer-Subroutine **168** durch die Kammerleitungs-Subroutine **163b** aufgerufen. Für Ausgestaltungen mit einem Fern-Plasmaerzeuger **4** hat die Plasmasteuer-Subroutine **168** auch einen Programmcode zum Steuern des Fern-Plasmaerzeugers.

C. Legierungs-Heizanordnung

[0064] [Fig. 4A](#) ist eine vereinfachte Schnittansicht einer Ausführungsform eines Heizsockels **32** nach der vorliegenden Erfindung. Der innere Kern kann aus einem oberen Innenkernelement **12A** und einem unteren Innenkernelement **12B** hergestellt werden. Bei einer speziellen Ausgestaltung sind sowohl das obere Kernelement **12A** als auch das untere Kernelement **12B** aus Kupfer hergestellt, obwohl andere Materialien mit guter Wärmeleitfähigkeit verwendet werden können. Das obere Innenkernelement **12A** ist durch spanabhebende Bearbeitung mit Heizelementnuten **401** für die Aufnahme von inneren und äußeren Heizelementen **14A** und **14B** versehen. Das untere Innenkernelement **12B** ist für die Aufnahme eines Kühlrohrs **402** spanabhebend bearbeitet. Das Kühlrohr **402** ist thermisch mit dem unteren Kernelement so gekoppelt, dass Kühlmedien in dem Rohr Wärme aus der Heizanordnung abziehen können. Die Umwälzung von Kühlmedien in dem Kühlrohr verringert die Zeit, die erforderlich ist, um die Heizan-

ordnung bei einer Betriebstemperatur auf eine niedrigere Temperatur abzukühlen, damit die Heizanordnung bequem gehandhabt werden kann. Als Kühlmedien können Gas oder Flüssigkeit verwendet werden. Ein flüssiges Kühlmedium sollte so ausgewählt werden, dass der Siedepunkt der Flüssigkeit für die höchste erwartete Temperatur geeignet ist. Zu geeigneten Flüssigkeiten können Perfluorether, Ethylen-glycol, Mineralöl und Wasser oder Wassermischungen gehören. Bei einigen Anwendungen kann es vorteilhaft sein, ein Gas als Kühlmedium zu verwenden, bis die Heizanordnung zur Verwendung eines flüssigen Kühlmediums ausreichend abgekühlt ist. Bei einer speziellen Ausgestaltung wird ein rostfreies Kühlrohr in die Kühlrohrnut **403** im unteren Kernelement **12B** hartgelötet. An einer Kühlrohrschweißverbindung **405** ist eine Kühlrohrverlängerung **406** an einen Kühlrohrstutzen **404** angeschweißt, nachdem die Heizanordnung fertiggestellt worden ist, jedoch vor dem Schweißen des Trägerschafts **25** an die Heizanordnung. Dies ermöglicht, dass die Gesamthöhe der Heizanordnung während der Herstellung der Heizanordnung kurz gehalten wird, wodurch Kosten eingespart werden, insbesondere während der Hartlötvorgänge, da mehr Heizungen in einem einzigen Ofen während eines Prozessdurchgangs gestapelt werden können.

[0065] Bei einer speziellen Ausgestaltung kann sowohl in dem oberen Innenkernelement **12A** als auch in dem unteren Innenkernelement **12B** eine thermische Unterbrechung **407** ausgeführt werden. Die thermische Unterbrechung isoliert das äußere Heizelement **14A** von dem inneren Heizelement **14B**, wobei eine Doppelzonenbeheizung der Heizanordnung **33** vorgesehen wird. Das innere Heizelement **14B** kann getrennt von dem äußeren Heizelement **14A** betrieben und gesteuert werden, um entweder eine gleichförmige Erhitzung über der Oberfläche der Heizanordnung herzustellen. In den Schaft **25** steht, wie nachstehend erörtert, ein Heizelementstutzen **408** vor (in [Fig. 4A](#) ist nur einer von vieren gezeigt). Eine Thermoelementanordnung **409** sorgt für ein Rückkoppelungssignal zur Steuerung der Leistung für die Heizelemente. Bei einer speziellen Ausgestaltung bildet ein einziges, federvorgespanntes, voll ummanteltes Thermoelement das Rückkoppelungssignal sowohl für das äußere Heizelement **14A** als auch das innere Heizelement **14B**, wobei gesonderte Leistungssteuerschaltungen (nicht gezeigt) die elektrische Leistung für die Elemente bereitstellen.

[0066] Die ummantelte Heizanordnung ist aus einer Metalllegierung mit einer Wärmeleitfähigkeit hergestellt, die kleiner ist als die Wärmeleitfähigkeit des Materials des inneren Kerns, und ist für die erwarteten Kammerbedingungen geeignet. Für die Kammerbedingungen, zu denen eine korrosive Umgebung

bei hoher Temperatur gehört, sind Chrom, Molybdän und Nickel enthaltende Legierungen häufig geeignete Mantelmaterialien. Diese Materialien können schwierig spanabhebend zu bearbeiten sein.

[0067] Bei einer speziellen Ausführungsform ist der Mantel aus drei Stücken einer Legierung C-22 (51,6% Nickel, 21,5% Chrom, 13,5% Molybdän und 4% Wolfram, 5,5% Eisen, 2,5% Kobalt und 1% Mangan mit geringen Mengen an Vanadium, Silicium, Kohlenstoff und anderen Elementen) hergestellt, von der eine ähnliche Legierung unter dem Namen HASTELLOY vertrieben wird, obwohl auch andere Legierungen verwendet werden können, beispielsweise die Legierung C-276. Die Herstellung eines Mantels aus dieser Legierung ermöglicht die Verwendung der Heizung für Temperaturen von wenigstens 700°C. Legierungen mit mehr als 10% Nickel und mehr als 3% Molybdän können für Umgebungen besonders geeignet sein, die Chloridionen enthalten, da diese Legierungen einen guten bis hervorragenden Widerstand gegen Chlor-induzierte Spannungskorrosionsrisse haben. Die Legierung C-22, die etwa siebenmal härter als übliche rostfreie Stähle ist, ist etwas schwierig spanabhebend zu bearbeiten. Deshalb werden Heizanordnungen mit einfachen Formen für die spanabhebende Bearbeitung bevorzugt.

[0068] Gemäß einer speziellen Ausgestaltung ist eine obere Mantelplatte **13A** mit einer unteren Mantelplatte **13B** mit einem Mantelring **13C** verbunden. Diese Anordnung vereinfacht die Anforderungen an die spanabhebende Bearbeitung. Bei bevorzugten Ausführungsformen ist der Mantelring **13C** an der oberen Mantelplatte **13A** einer Umfangsschweißung **410** angeschweißt, wofür eine Elektronenstrahlschweißung (E-Beam) verwendet wird. Der Mantelring **13C** sitzt in einer Mantelringleiste **412**, die in geeigneter Weise mitten durch die Dicke der oberen Mantelplatte **13A** geschnitten ist. Diese Ausgestaltung verringert eine Mantelverformung bei den Betriebstemperaturen. Der Mantelring **13C** ist vorzugsweise durch Elektronenstrahlschweißung an die untere Mantelplatte **13B** an einer vertikalen Schweißung **411** angeschweißt. Bei der speziellen Ausgestaltung hat das für das Material des inneren Kerns verwendete Kupfer einen höheren Wärmeausdehnungskoeffizienten (beispielsweise $18 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) als die Legierung C-22 (beispielsweise $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$), die für den Mantel verwendet wird. Deshalb dehnt sich beim Aufheizen der Heizanordnung der innere Kern aus Kupfer stärker als der Mantel aus der Legierung C-22 aus.

[0069] Die Dicke der oberen Mantelplatte und der unteren Mantelplatte sind so gewählt, dass sie eine ausreichende Mantelfestigkeit bieten, so dass sich der Mantel nicht übermäßig verformt. Bei einer speziellen Ausgestaltung ist der innere Kern (aus dem oberen Innenkernelement **12A** und dem unteren In-

nenkernelement **12B**) etwa 1 Zoll (1 Zoll = 2,54 cm) dick, während die obere und untere Mantelplatte jeweils etwa 0,35 Zoll dick sind. Ein Verformen der Heizanordnung wird weiterhin durch die Auswahl der Stellen der Umfangsschweißung **410** und der Vertikalschweißung **411** verringert. Das Verhältnis des vertikalen Abstands zwischen diesen Schweißungen (d.h. die Höhe des Mantelrings **13C**) zu der Dicke des inneren Kerns (des oberen und unteren Innenkernelements **12A** und **12B**) ist vorzugsweise äquivalent zu dem Verhältnis zwischen dem Wärmeausdehnungskoeffizienten und des Materials des inneren Kerns und dem Wärmeausdehnungskoeffizienten des Mantelmaterials nach der Gleichung:

Abstand zwischen Mantelringschweißungen $\geq (T_c\text{-Kern})/(T_c\text{-Mantel}) \times \text{Kerndicke}$,

wobei $T_c\text{-Kern}$ der Wärmeausdehnungskoeffizient des Kernmaterials und $T_c\text{-Mantel}$ der Wärmeausdehnungskoeffizient des Mantelmaterials ist.

[0070] In der Praxis kann der vertikale Abstand zwischen den Schweißungen größer als die Wärmeausdehnungskoeffizienten des Kern- und Mantelmaterials multipliziert mit der Dicke des inneren Kerns sein, um die Wärmeausdehnung der oberen und unteren Mantelplatte zu berücksichtigen. Auf jeder Seite verbleibt zwischen dem inneren Kern und dem Mantelring entsprechend der höchsten beabsichtigten Betriebstemperatur ein Randspalt **413** von etwa 40 bis 80 mil (1 mil = $2,54 \times 10^{-5}$ m). Die Heizanordnung wird zusammenhartgelötet, wie nachstehend erörtert, im Gegensatz zu einigen herkömmlichen Heizanordnungsstrukturen, bei denen eine Kupferplatte mit einer Platte aus rostbeständigem Stahl verbolzt wurde. Bei einer solchen herkömmlichen Heizanordnungsstruktur hat Kupfer einen Wärmeausdehnungskoeffizienten, der zu dem einiger rostfreier Stähle ähnlich ist, so dass diese beiden Materialien für einen Einsatz über einen begrenzten Temperaturbereich miteinander verschraubt werden können. Die Betriebslebensdauer (Anzahl der Heizzyklen) einer solchen herkömmlichen Heizanordnung ist jedoch häufig durch die Betriebsunsicherheit begrenzt, die durch Lösen der Schrauben aufgrund des thermischen Zyklus und durch Reißen um die Schraubenlöcher herum verursacht wird, was sich aufgrund eines zu großen Drehmoments an den Schrauben und einer thermischen Spannung ergibt. Bei der Heizanordnung der vorliegenden Ausgestaltung beseitigt die Hartlötung nicht nur ein Reißen und eine Schraubbolzenstörung, sondern sorgt auch für eine überlegene thermische Koppelung zwischen den Heizanordnungsschichten, wodurch die Wärmeverteilung und ein thermischer Kurzschluss, wie oben erörtert, verbessert werden. Das Zusammenhartlöten der Heizanordnung erlaubt auch neben der Verwendung von rostfreiem Stahl und Kupfer den Einsatz von unähnlichen Metallen.

[0071] **Fig. 4B** ist eine Schnittansicht eines Heizelements (inneres und äußeres) und eines Abschnitts des oberen Innenkernelements **12A**. Das Heizelement **14** kann eine Höhle **501** aus rostfreiem Stahl aufweisen, das einen Nickelchromheizdraht **503** einschließt, der von einem elektrisch isolierenden Kern **502** umgeben ist. Der isolierende Kern **502** kann beispielsweise aus Magnesiumoxid bestehen. Das Heizelement **14** ist goldplattiert, bevor es in die Heizelementnut **401** in dem oberen Innenkernelement **12A** mit einem Hartlötspurver, wie es von ALTAIR TECHNOLOGIES, INC. unter der Nummer A100905 verkauft wird, oder mit einem ähnlichen Hartlötspurver oder mit einem Hartlötspurver gelötet wird, das etwa 95% Kupfer und etwa 5% Gold aufweist und die Heizelementnut gleichmäßig ausfüllt. Das Hartlöten erfolgt bei etwa 1030°C und sorgt für eine thermische Koppelung des Heizelements **14** mit dem oberen Innenkernelement **12A**, indem das Heizelement **14** mit dem Hartlot **504** nahezu umschlossen wird. Diese thermische Koppelung verbessert den Wärmeübergang von dem Heizelement zu dem inneren Kern und verringert auch heiße Stellen längs der Oberfläche des Heizelementmantels **501**, wodurch die Lebensdauer der Heizung verlängert wird.

[0072] Nach dem Hartlöten des Heizelements/der Heizelemente in das obere Innenkernelement wird die obere Innenkernbaugruppe aus dem oberen Innenkernelement und den Heizelementen spanabhebend bearbeitet, um eine glatte Oberfläche zu erhalten. Die Baugruppe wird dann an die untere Innenkernplatte **12B**, **Fig. 4A**, hartgelötet. Gleichzeitig wird das Kühlrohr **402** in die Kühlrohrnut **403** in das untere Innenkernelement **12B** hartgelötet. Für diesen Vorgang kann eine Gold-Kupfer-Hartlötmasse in Pastenform verwendet werden. Die Innerer-Kern-Baugruppe der oberen Innenkern-Untergruppe und der untere innere Kern und das Kühlrohr werden dann spanabhebend bearbeitet, um eine glatte Oberflächenfeinbearbeitung zu erhalten, eine Verformung zu beseitigen, die während des Hartlötens aufgetreten sein kann, Oberflächenverunreinigungen zu beseitigen und die Innerer-Kern-Baugruppe auf die gewünschte Größe zu reduzieren.

[0073] Die Innerer-Kern-Baugruppe ist mit der oberen Mantelplatte **13a** und der unteren Mantelplatte **13B** mit einer Schicht von etwa 35% Gold-65% Kupfer-Hartlotlegierung, die zu einer Folie gerollt worden ist, zwischen der Innenkernanordnung und der oberen Mantelplatte und eine weitere solche Hartlotfolie zwischen der inneren Kernanordnung und der unteren Mantelplatte angeordnet. Unter Verwendung von Keramikdistanzstücken werden die Hubstiftlöcher ausgerichtet. Die Hubstiftlöcher in dem inneren Kern sind etwas größer als die Hubstiftlöcher in den Mantelplatten, um eine zusätzlich Ausdehnung des inneren Kerns zu ermöglichen. Nach dem Hartlöten werden die Mantelplatten spanabhebend bearbeitet, um

den Mantelring **13C** aufzunehmen. Wie oben erörtert, wird die Oberseite des Mantelrings **13C** an die Mitte der oberen Mantelplatte **13a** angeschweißt. Dies verringert eine durch Schweißen induzierte Restspannung. Der Mantelring **13C** kann an die obere Mantelplatte und die untere Mantelplatte beispielsweise durch Verwendung eines Elektronenstrahl-Schweißverfahrens angeschweißt werden. Mit der oberen und unteren Mantelplatte werden Hubstiftlochhülsen **23**, **Fig. 2B**, verschweißt, um den inneren Kern in dem Mantel abzudichten. Die Hubstiftlochhülsen können aus dem gleichen Material wie die obere und die untere Mantelplatte hergestellt sein.

[0074] Gemäß **Fig. 4A** ist eine Kühlrohrverlängerung **406** an den Kühlrohrstutzen **402** so angeschweißt, dass sich das Kühlrohr über den Schaft **25** hinauserstreckt, nachdem der Schaft mit der Heizanordnung verbunden ist. In ähnlicher Weise wird eine Heizdrahtverlängerungsstange **414** an den Heizdrahtstutzen **415** (es ist nur einer von vier gezeigt) angeschweißt, während ein Thermoelementführlrohr **418** aus dem gleichen oder einem ähnlichen Material wie der Heizmantel an der Heizanordnung angeschweißt wird. Der Heizsockelschaft **25** wird dann mit der Heizanordnung **33** verschweißt. Das Schweißen erzeugt sichere Verbindungen, die sowohl während des Heizungsbetriebs als auch während der darauf folgenden Fertigungsprozesse auf hohe Temperaturen erhitzt werden können. Ein solcher nachfolgender Fertigungsprozess kann Flammsprühen oder ein anderes Mittel zum Beschichten eines anderen Metalls oder Keramik mit Titan sein. Das Beschichten der Heizanordnung mit einer Schicht, die mit einem beabsichtigten Abscheidungsprozess verträglich ist, kann die Verunreinigung auf der abgeschiedenen Schicht reduzieren, die Teilchenbildung verringern und den Korrosionswiderstand verbessern. Ein Keramikrohr **416** isoliert die Heizdrahtverlängerungsstange **414** elektrisch gegenüber anderen Bauteilen. Ein isolierender Stopfen **417**, der aus einem Hochtemperaturkunststoff, wie VESPEL™, Polyetherketon ("PEEK") einschließlich Gasfaser- und Kohlenstofffaser-verstärktem PEEK, TEFLON™ oder DELRIN™ als Beispiel hergestellt sein kann, stützt die verschiedenen Heizsockelkomponenten dort ab, wo sie aus dem Heizsockelschaft **25** austreten. Der Schaft **25** und die Heizanordnung **33** sind so verbunden, dass sich der Innenraum des Schafts auf Umgebungsdruck über dem Betriebskammerdruck befinden kann.

[0075] **Fig. 5** zeigt eine auseinandergezogene Ansicht der oberen Mantelplatte **13A**, des oberen Innenkernelements **12A**, des unteren Innenkernelements **12B** und der unteren Mantelplatte **13B**. Es sind auch weitere Merkmale der Heizanordnung gezeigt, insbesondere das Muster des äußeren Heizelements **14A** und des inneren Heizelements **14B**, von denen jedes eine Doppelschleife bildet, die durch einen thermi-

schen Spalt **407A** getrennt sind. In dieser Ansicht sind alle vier Heizelementstutzen **408** zu sehen. **Fig. 6** ist eine geschnittene Draufsicht des oberen Innenkernelements **12A** und zeigt weiterhin das Muster der Heizelementnuten **401** und des thermischen Spalts **407A** sowie Hubstiftlöcher **20B**.

[0076] **Fig. 7** ist eine Teilschnittansicht, die zusätzliche Einzelheiten des Wärmeschilds **31** gemäß einer spezifischen Ausgestaltung zeigt. Bei der speziellen Ausgestaltung ist das Wärmeschild aus der gleichen Legierung wie der Heizanordnungsmantel hergestellt, was jedoch nicht erforderlich ist. Die Schildplatten sind an einem Haltedistanzring **706** an vertikalen Schweißungen **707** und **708** angeschweißt. Der Haltedistanzring **706** hat ein Bolzen- oder Schraubenloch **709** zum Befestigen des Wärmeschilds **31** an der Unterseite der Heizanordnung (in dieser Ansicht nicht gezeigt). Eine Distanzlippe **710** hält die obere Schildplatte **704** in einem vorgegebenen Abstand vom Boden der Heizanordnung, um die Wärmeübertragung durch Leitung zu verringern und so den Wirkungsgrad des Wärmeschilds zu verbessern. An die untere Schildplatte **702** kann an einer Radialschweißung **703** ein äußerer Schildring **701** angeschweißt werden oder kann einfach auf der Schildplatte sitzen. Wenn der äußere Schildring nicht angeschweißt oder auf andere Weise an der Schildplatte befestigt ist, können verschiedene äußere Schildringe zum Einstellen des Gasstromwiderstands verwendet werden, oder der äußere Schildring kann aus einem Material bestehen, das nicht leicht an die Schildplatte, beispielsweise ein keramisches Material, anschweißbar ist. Der äußere Schildring **701** ist an die obere Schildplatte **704** mit einer vertikalen Schweißung **705** angeschweißt. Bei bevorzugten Ausgestaltungen sind die Schweißungen **703** und **705** Elektronenstrahlschweißungen.

[0077] Der Wirkungsgrad des Wärmeschilds **31** kann dadurch erhöht werden, dass die Anzahl der Schildplatten vergrößert wird. Die Wärmeübertragung durch Strahlung durch eine Reihe von Schildplatten ändert sich grob entsprechend der Beziehung $1/(1 - n)$, wenn n die Anzahl der Schildplatten ist. Eine zunehmende Anzahl von Schildplatten verringert die Strahlungswärmeübertragung durch den Schild und reduziert den Wärmeverlust aus der Heizanordnung. Deshalb wird die Leistungsanforderung an die Heizung, eine gegebene Temperatur zu erreichen, reduziert, und die Temperaturdifferenz zwischen den Seiten der Heizanordnung wird verringert. Der äußere Schildring **701** trägt dazu bei, den Wärmeverlust an dem Rand der Heizanordnung zu reduzieren, wodurch die Waferrandabkühlung verringert und die Prozessgleichförmigkeit verbessert wird.

D. HF-Isolator und Koppler

[0078] **Fig. 8A** ist eine vereinfachte Schnittansicht

einer weiteren Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung zur Verwendung einer Heizanordnung als Plasmaelektrode. Die Heizanordnung **833** ist ähnlich zu der oben beschriebenen Heizanordnung, hat jedoch kein Kühlrohr, da Hochfrequenzenergie (HF), die als Leistung für die Heizanordnung zur Verwendung als Elektrode eingesetzt wird, über das Kühlmittel an andere Teile der Kammer einkoppeln, die Kammer beschädigen, ein elektromagnetisches Rauschen, das die Kammersteuerung beeinträchtigt, erzeugen oder ein Sicherheitsrisiko für das Personal bilden könnte und, weil nicht ausreichend Raum in dem Schaft bei dieser Ausführungsform vorhanden ist, eine gesonderte isolierte Elektrode herausbringen würde. Das Heizelement hat dieses Problem nicht, weil der Heizdraht **815** von den HF-Feldern durch den Heizelementkern (in dieser Ansicht nicht gezeigt) isoliert ist. Eine HF-Elektrode kann mit der Heizanordnung beispielsweise durch Schweißen oder Verbolzen verbunden werden.

[0079] Ein Isolator **802** kann aus einem Material hergestellt werden, das eine ausreichende dielektrische Durchschlagstärke bei der beabsichtigten Betriebstemperatur bereitstellt, beispielsweise Aluminiumoxid, Aluminiumnitrid, TEFLONTM, VESPELTM, PEEK oder Quarzglas, um den Trägerschaft aus Metall, der geerdet sein kann, die Heizanordnung, die mehrere kV wiegen kann, zu isolieren. Zwischen der Heizung und dem Isolator kann eine thermische Drossel angeordnet werden, um die Benutzung von Materialien für niedrigere Temperaturen zu ermöglichen. Der Isolator **802** ist mit einem kurzen Schaft **825A** des Heizsockels **832** durch ein Auslegerverbindungsstück **803** verbunden. Das Auslegerverbindungsstück hat zwei C-förmige Teile, die um den Isolator **802** herumpassen und mit dem kurzen Schaft **825A** verbolzt oder verschraubt werden können. Ein ähnliches Verbindungsstück **804** verbindet den Isolator mit dem Trägerschaft **825B**, der aus dem gleichen oder einem anderen Material als die Heizanordnung **833** oder der kurze Schaft **825A** bestehen kann. Das Auskragverbindungsstück **803** hat einen dünnen Steg **805**, der eine Druckkraft auf den Isolatorflansch **806** über dem Betriebstemperaturbereich ausübt, ohne dass der Isolator oder der Flansch reißen. Ein Isolationsspalt **807** muss ausreichend groß sein, um eine Lichtbogenbildung zwischen dem Auskragverbindungsstück **803** und dem Verbindungsstück **804** bei den Betriebsdrücken und Spannungen der Kammer, wie sie beim Stand der Technik bekannt sind, zu verhindern. Der Innenraum des Trägerschafts kann mit Keramikstopfen oder einem anderen dielektrischen Material gefüllt werden, um die Bildung eines elektrischen Lichtbogens innerhalb des Schafts zu unterdrücken.

[0080] **Fig. 8B** ist eine vereinfachte Schnittansicht einer weiteren Ausgestaltung, bei der die Heizanordnung **833** an dem Trägerschaft **821** unter Verwen-

ung eines Verbindungsstücks **822** befestigt ist. Das Verbindungsstück **822**, das aus rostfreiem Stahl oder einem ähnlichen Metall hergestellt ist, wird zum Befestigen der Heizanordnung an dem keramischen Isolator **802** verwendet. Diese Ausgestaltung ermöglicht es, dass die Heizanordnung von dem Trägerschaft zur Verwendung bei Plasmaeinsätzen elektrisch isoliert ist.

[0081] [Fig. 8C](#) zeigt eine vereinfachte Schnittansicht des Verbindungsstücks **822**, das ein Verbindungsstück **823** mit Wärmedrossel und eine zweiteilige untere Klemme **824A** hat, während [Fig. 8D](#) eine vereinfachte isometrische Ansicht des Verbindungsstücks **823** mit Wärmedrossel zeigt. Wie in [Fig. 8B](#) zu sehen ist, ist ein oberer Flansch **899** des Verbindungsstücks **823** mit Wärmedrossel in einem Stummelschaft **898** der Heizung verbolzt. Gemäß [Fig. 8C](#) nimmt eine obere Tasche **827** einen Isolator (in dieser Figur nicht gezeigt) auf, der durch die obere Klemme **824** festgelegt wird, und wird auch am Umfang durch Spannarme **829A** und **829B** gehalten, wie es in [Fig. 8D](#) gezeigt ist. [Fig. 8D](#) zeigt auch, dass die obere Tasche **827** ein Ausrichtflachstück **854** hat, das einem Flachstück am Umfang des Isolatorflansches entspricht. Die obere Tasche **827** sollte der Form des Isolatorflansches entsprechen, wobei andere Ausrichtmechanismen verwendet werden können. Die obere Klemme **824** hat zwei "C"-förmige Hälften **824A** und **824B**, die um den Isolatorflansch herum angebracht werden, bevor sie an dem Verbindungsstück mit Wärmedrossel befestigt werden. Im Wesentlichen koplanar zu der Taschenfläche **828** ist ein Schlitz **830** eingeschnitten, wobei gegenüber einer Spannschraube **831** ein nicht eingeschnittener Kord bleibt, so dass die Spannung von der Spannschraube **831** die Spannarme **829A** und **829B** zusammenzieht, um den Isolatorflansch zu halten. In den Schlitz **830** kann ein Distanzstück (nicht gezeigt) mit einer zum Schlitz **830** ähnlichen Form gelegt werden, um die Spannarme **829A** und **829B** zu halten und um den Gasstrom durch den Schlitz **830** zu reduzieren. In die Spannarme **829** ist spanabhebend ein Paar von Entspannungsschlitz **832** eingearbeitet (jeder Schlitz eines Paares von Entspannungsschlitz ist von gegenüberliegenden Seiten der Arme **829** aus spanabhebend eingearbeitet), um die verfügbare Spannung zu erhöhen, die sich aus der durch die Spannschraube **831** angelegten Spannung ergibt, und um es den Spannarmen zu ermöglichen, weiterhin eine Ringspannung anzulegen, wenn sich die Anordnung aufheizt und sich die Klemme, die aus Metall besteht, stärker als der Isolatorflansch ausdehnt. Bei dieser Ausgestaltung sind vier Paare von Entspannungsschlitz gezeigt, wobei diese Anzahl entsprechend den Materialien und der Konstruktion der Klemme eingestellt werden kann. Die Entspannungsschlitz sind etwa 40 mil breit und sind innerhalb etwa 0,1 Zoll von den etwa 0,3 Zoll des Spannarms bei einer speziellen Ausgestaltung geschnitten. Bei einigen Aus-

führungen können die Enden der Entspannungsschlitz abgerundet sein, um eine Spannungskonzentration am Scheitel des Schlitzes zu verringern und um die Herstellbarkeit zu verbessern.

[0082] Wie in [Fig. 8C](#) gezeigt ist, wird das Verbindungsstück **823** mit Wärmedrossel so hergestellt, dass ein dünner Steg **833** zwischen der unteren Tasche **829** und dem oberen Flansch **899** bleibt. Dieser Steg, der in einem Bereich von etwa 20 bis 100 mil, bei speziellen Ausgestaltungen etwa 40 bis 60 mil dick ist, wirkt als Pfad eines hohen Wärmewiderstands zwischen der Heizanordnung und der Trägerschaft. Der Steg hat eine effektive Länge zwischen etwa 0,6 und 1,0 Zoll, wobei die Höhe des vertikalen Stegabschnitts bei speziellen Ausgestaltungen in einem Bereich von etwa 0,2 bis 0,5 Zoll liegt. Bei der gezeigten Ausführungsform fließen etwa 25 W Leistung zwischen einer Heizanordnung, die bei einer Temperatur von etwa 625°C arbeitet, und dem Trägerschaft, dessen unteres Ende etwa eine Temperatur von etwa 50°C hat. Bei noch höheren Temperaturen können andere Ausführungen eines Verbindungsstücks **822** verwendet werden, wobei entweder die Gesamtlänge des Stegs **833** für Einsätze bei höherer Temperatur für eine gegebene Stegdicke größer ist oder für eine gegebene Länge die Stegdicke verringert wird. Der Steg sollte mechanisch ausreichend steif, jedoch auch dünn genug sein, um die Wärmedrossel zu bilden. Die Verwendung des Verbindungsstücks **822** ermöglicht es, dass die Heizanordnung thermisch über dem Schaft "schwebt", wodurch eine breitere Auswahl von Materialien zur Verwendung bei dem Schaft möglich und die dem Heizelement gelieferte Leistung verringert wird, die erforderlich ist, um die Wafertemperatur bei einer verbesserten Temperaturgleichförmigkeit bei einer nicht kompensierten Heizelementkonstruktion aufrechtzuerhalten. Da weniger Wärme von der Heizung durch den Sockel und nach unten in dem Schaft fließt, ist die Chance geringer, dass sich über dieser Potenzialwärmeleitung ein kalter Fleck bildet, wodurch die Wafertemperaturgleichförmigkeit verbessert wird. Die Verwendung des Verbindungsstücks **822** verringert auch den thermischen Gradienten, der über der Heizanordnung erzeugt wird, was die Rissbildung bei der Heizanordnung verringert und dadurch die Einsatzzeit der Heizanordnung steigert.

[0083] Die obere Klemme **824** ist mit dem Verbindungsstück **823** mit Wärmedrossel durch Klemmschrauben (in dieser Ansicht nicht gezeigt) verbunden, die durch Löcher **851** hindurch in der unteren Klemme **824** und Löcher **852** hindurch in dem Verbindungsstück **823** mit Wärmedrossel angeordnet sind. Die Löcher **851** sind in der unteren Klemme **824** Sacklöcher. Der obere Flansch **899** hat Zugangslöcher **834**, die größer als die Klemmschrauben sind, so dass eine Montage von oben möglich ist. Bei dieser Version sind die Zugangslöcher **834** zu den Ge-

windelöchern **826** in dem oberen Flansch **899** versetzt, können jedoch koaxial sein, wenn die Gewindelöcher ausreichend groß sind, um einen Zugang zu den unteren Klemmschrauben zu ermöglichen. Bei einigen Ausgestaltungen sitzt eine äußere Ausrichtlippe **835** an der unteren Klemme in einem äußeren Ausrichtsims **836** des Verbindungsstücks mit Wärmedrossel zur Bildung einer relativ glatten Oberfläche längs des Außendurchmessers der Klemme. Bei anderen Ausführungsformen kann die äußere Lippe **835** an der unteren Klemme in dem massiven oberen Rand (ohne einen darin ausgebildeten Sims **136**) des Verbindungsstücks **823** mit Wärmedrossel sitzen und darüber hängen, so dass der Außendurchmesser der unteren Klemme **824** etwas größer als der Außendurchmesser des Verbindungsstücks **823** mit Wärmedrossel ist. Als Teil der unteren Klemme **824** ist spanabhebend eine Auskragsscheibe **837** ausgearbeitet, wobei durch die Löcher **851** in der oberen Klemme **824** und Löcher **852** in dem Verbindungsstück **823** mit Wärmedrossel angeordnete Schrauben einen Druck auf den Heizungsstummelflansch (in dieser Ansicht nicht gezeigt) ausüben, um ihn fest in der oberen Tasche der Wärmedrossel zu halten. Bei der speziellen Ausgestaltung ist die Auskragsscheibe etwa 10 bis 20 mil dick und hat Entspannungsschlitze **838**, die so in sie geschnitten sind, dass ein geeigneter Druck auf den Isolator aufrechterhalten werden kann, ohne ihn zu zerbrechen. Die Entspannungsschlitze können in ihrer allgemeinen Form ähnlich zu denen sein, die in die Spannarme (vorstehend erörtert) geschnitten sind. Das Verbindungsstück mit Wärmedrossel kann spanabhebend als Teil des Stummelschafts der Heizanordnung gearbeitet werden, da jedoch einige Heizungsmaterialien schwierig spanabhebend zu bearbeiten sind, wie vorstehend erörtert, kann die Fertigung des Verbindungsstücks aus einem gesonderten Metallteil, wie rostfreiem Stahl, bevorzugt werden. Alternativ kann ein Verbindungsstück mit Wärmedrossel an der Heizungsplatte angeschweißt oder auf andere Weise befestigt werden.

[0084] Gemäß [Fig. 8B](#) kann zur Koppelung des Isolators **802** an dem Trägerschaft **821** eine ähnliche Anordnung verwendet werden. Der Trägerschaft **821** braucht nicht aus dem gleichen Material wie der Heizungsstummelschaft **898** hergestellt zu werden. Das Verbindungsstück **822** und der Isolator **802** verringern die Wärme, die nach unten in dem Trägerschaft fließt, so dass der Trägerschaft die hohen Temperaturen nicht aushalten muss, denen der Heizungsstummelschaft **898** widerstehen können muss. Dementsprechend kann eine untere Tasche **897** und können untere Klemmarme (nur einer gezeigt) spanabhebend als Teil des Trägerschaftes **821** ausgearbeitet werden oder es kann ein zweites Verbindungsstück mit oder ohne Verbindungsdrössel verwendet werden, um den Isolator **802** mit dem Trägerschaft **821** zu verbinden. Wenn eine Wärmedrossel verwen-

det werden muss, wird sie vorzugsweise zwischen dem Isolator und der Heizanordnung angeordnet, um den Wärmeverlust aus der Heizanordnung und die zyklische Wärmebelastung des Isolators zu reduzieren.

[0085] Wenn der Heizungsschaft in einer korrosiven Umgebung eingesetzt werden soll, verhindert eine Vakuumdichtung an den Verbindungen zwischen der Heizanordnung, dem Verbindungsstück mit Wärmedrossel, dem Isolator und dem Trägerschaft, dass die Innenseite des Schafts der Kammerumgebung ausgesetzt wird. Zusätzlich oder alternativ kann ein Spülgas in den Innenraum des Schafts strömen, um einen positiven Druck in dem Schaft verglichen mit dem Kammerdruck zu erzeugen. Wenn der Heizungsschaft in einer nicht korrosiven Umgebung eingesetzt werden soll, ist es nicht wichtig, das Innere des Schafts abzudichten.

[0086] Eine nicht in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung stehende Anordnung, die einen abgedichteten Trägerschaft hat, der eine HF-Isolation für eine Metall-Heizeinrichtung bildet, ist in [Fig. 11](#) gezeigt. Die Metall-Heizeinrichtung, beispielsweise eine Heizeinrichtung aus Aluminium, rostfreiem Stahl oder einem Verbund mit einem Kupferkern oder einem Mantel aus rostfreiem Stahl, kann von dem Trägerschaft durch Verwendung einer Kombination von Übergängen HF-isoliert werden. Ein abgedichteter Trägerschaft ermöglicht es, dass der Innenraum des Trägerschafts auf einem anderen Druck als die Kammer gehalten wird, indem ein Spülgas durch eine Öffnung (nicht gezeigt) eingeführt wird. Das Halten des Innenraums des Trägerschafts auf einem höheren Druck als in der Kammer kann dazu beitragen, beispielsweise die Lichtbogenbildung in dem Trägerschaft zu unterdrücken. Alternativ oder zusätzlich kann der Innenraum des Schafts mit Keramikstopfen oder einem anderen dielektrischen Material gefüllt werden, um die Lichtbogenbildung zu unterdrücken. Das Abdichten des Trägerschafts von der Kammer verringert auch den Austausch von Gasen zwischen dem Schaftinnenraum und der Kammer während des Druckzyklus. Dies kann die Bauelemente, wie den Heizdraht, innerhalb des Schafts vor potenziell korrosiven Gasen schützen, die in der Kammer vorhanden sind, und die Verunreinigung verringern, die aus dem Schaftinnenraum in die Kammer während der Substratbehandlung strömt.

[0087] In [Fig. 11](#) ist eine Aluminium-Heizeinrichtung **1101** an einen Aluminiumstummelschaft **1102** angeschweißt, der mit einer Stummelschaftverlängerung **1103** aus rostfreiem Stahl verbunden ist. Der Übergang **1104** von Aluminium auf rostfreien Stahl kann beispielsweise durch Hartlöten oder durch Explosionsbindung erreicht werden. Die Explosionsbindung wird bevorzugt, wenn die beabsichtigte Betriebstemperatur der Heizeinrichtung eine Hartlötverbindung

erweichen oder schmelzen würde. Die Stummel-schaftverlängerung **1103** aus rostfreiem Stahl wird dann an ein erstes Distanzstück **1105** aus der Metall-legierung, die unter dem Namen KOVAR® verkauft wird, durch Elektrodenstrahl angeschweißt. Das erste Distanzstück **1105** ist mit einem Keramikisolator **1106** verbunden, wobei Verfahren verwendet werden, die im Stand der Technik zur Bildung von Kera-mikdichtungen aus KOVAR® bekannt sind. Der Kera-mikisolator **1106** wird mit einem zweiten Distanzstück **1107** verbunden, das ebenfalls aus der unter dem Namen KOVAR® verkauften Metalllegierung herge-stellt ist, wobei eine ähnliche Technik verwendet wird. Vor der Ausbildung der Metall-Keramik-Dichtungen zwischen dem Isolator und dem ersten und zweiten Distanzstück wird das zweite Distanzstück an einen unteren Trägerschaft **1108**, der aus rostfreiem Stahl besteht, durch Elektronenstrahl angeschweißt. Die Metall-Keramik-Dichtungen können beide in einem einzigen Verfahrensschritt gebildet werden. Aus der Basis **1114** des unteren Trägerschafts **1108** treten Heizelektroden **1109** (von denen nur eine gezeigt ist) mit einem Heizelektrodenisolator **1110** sowie eine HF-Elektrode **1111** mit einem HF-Elektrodenisolator **1112** hervor. Der Heizelektrodenisolator **1110** und der HF-Elektrodenisolator **1112** können beispielsweise Aluminiumoxidrohre sein. Der Innenraum des Trägerschafts kann mit Umgebungs-(Raum-)Druck in Verbindung stehen oder abgedichtet sein. Wenn es der beabsichtigte Einsatz (Temperatur) der Heizanordnung zulässt, können O-Ringe verwendet werden, um eine gasdichte Abdichtung um die Heizelektroden und die HF-Elektrode herum zu bilden. Alternativ können Durchgänge **1113** mit einer Glas-Metall- oder Keramik-Metall-Dichtung verwendet werden, um den Innenraum des Schafts abzudichten. Die Durchgänge brauchen nicht hermetisch zu sein, insbesondere wenn die verwendeten Prozessgase kein Umgebungs- oder Sicherheitsrisiko darstellen. Hermetische Durchgänge ergeben jedoch zusätzliche Sicherheit, wenn eine der Schaftdichtungen leckt.

E. Auslasssystem

[0088] Gemäß [Fig. 1A](#) hat eine Ventilanordnung (Drosselventilsystem) ein Sperrventil **78** und ein Drosselventil **83**, die längs einer Abfuhrleitung **178** angeordnet sind, um den Durchsatz der Gase durch einen Pumpkanal **60** zu steuern. Der Druck in der Behandlungskammer **30** wird von Kapazitätsmanometern (nicht gezeigt) überwacht und durch Ändern der Querschnittsfläche der Leitung **178** mit dem Drosselventil **83** gesteuert. Der Prozessor **85** empfängt vorzugsweise Signale von den Manometern, die den Kammerdruck anzeigen. Der Prozessor **85** vergleicht den gemessenen Druckwert mit Solldruckwerten, die von Bedienungspersonen (nicht gezeigt) eingegeben werden, und bestimmt die notwendige Einstellung des Drosselventils, die erforderlich ist, um den gewünschten Druck in der Kammer aufrechtzuerhalten.

Der Prozessor **85** überträgt ein Drucksignal auf einen Antriebsmotor (nicht gezeigt), der das Drosselventil in eine Einstellung bringt, die dem Solldruckwert entspricht. Geeignete Drosselventile für die Verwendung bei der vorliegenden Erfindung sind in der in üblicher Weise übertragenen anhängigen Anmeldung Ser. No. 08/672,891 mit dem Titel "Verbesserte Vorrichtung und verbesserte Verfahren zum Steuern des Prozesskammerdrucks" (Anwaltsakte

891/DCVD-II/MBE), eingereicht am 28. Juni 1996, beschrieben, deren vollständige Offenbarung hier durch Referenz eingeschlossen ist. Bei Prozessen, die hohe Gasdurchsätze erfordern, beispielsweise bei der Abscheidung von Titan aus TiCl_4 , muss jedoch die Leistung des Auslasssystems gesteigert werden. Dazu gehört eine Erhöhung der Querschnittsfläche der Auslassöffnung **80** sowie eine Vergrößerung der Durchmesser der Abfuhrleitung **178** und des Drosselventils **83**. Um einen Gasstrom von etwa 15 l/min bei einem Kammerdruck von etwa 5 Torr aufnehmen zu können, wird bei einer Ausführungsform die Auslassöffnung **80** von einem Durchmesser von etwa 1 Zoll auf einen Durchmesser von etwa 2 Zoll vergrößert, was für einen Prozess von 5 l/min geeignet ist. Bei dem gleichen Beispiel wurden die Durchmesser des Drosselventils und der Abfuhrleitung in gleicher Weise von etwa 1 Zoll auf etwa 2 Zoll erhöht. Diese Durchmesser können bei anderen Ausführungsformen abhängig von dem Gasstrom differieren.

[0089] Das Absperrventil **78** kann dazu verwendet werden, die Prozesskammer **30** von einer Vakuumpumpe **82** zu trennen, um die Verringerung des Kammerdrucks aufgrund der Pumpwirkung der Pumpe zu minimieren. Wie in [Fig. 1A](#) zu sehen ist, kann das Absperrventil **78** zusammen mit dem Drosselventil **83** auch dazu verwendet werden, die Massenstromsteuerungen (nicht gezeigt) der CVD-Vorrichtung **10** zu steuern. Bei einigen Prozessen wird eine Flüssigquelle verdampft und dann die Prozesskammer **30** zusammen mit einem Trägergas abgegeben. Die Massenstromsteuerungen werden dazu verwendet, den Durchsatz des Gases oder der Flüssigkeit in die Kammer **30** zu überwachen. Während der Eichung der Massenstromsteuerungen beschränkt oder begrenzt das Absperrventil **78** den Gasstrom zum Drosselventil **83**, um die Druckzunahme in der Kammer **30** zu maximieren, was die Massenstromsteuerungserleichtert.

[0090] Die vorstehend gelieferte Beschreibung des CVD-Systems dient hauptsächlich allgemeinen darstellenden Zwecken und sollte nicht notwendigerweise als Begrenzung des Umfangs der vorliegenden Erfindung angesehen werden. Das beispielsweise CVD-System **10** ist ein Einzelwafer-Vakuummkammer-system. Es können jedoch auch andere CVD-Systeme, die Mehrfachwafer-Kammersysteme sind, in anderen Ausführungen der Erfindung Verwendung fin-

den. Obwohl bestimmte Merkmale der Erfindung als Teil einer CVD-Kammer in einem Mehrkammer-Behandlungssystem gezeigt und beschrieben sind, ist natürlich die Erfindung nicht notwendigerweise darauf beschränkt. D.h., dass verschiedene Aspekte der Erfindung in einer Vielzahl von Behandlungskammern verwendet werden können, beispielsweise Ätzkammern, Diffusionskammern oder dergleichen. Änderungen des vorstehend beschriebenen Systems sowie Änderungen in Konstruktionen, der Heizungsanlegung, der Stelle der HF-Leistungsanschlüsse, des Software-Betriebs und -Aufbaus, der spezifischen, bei einigen Software-Subroutinen verwendeten Algorithmen, der Ausgestaltung der Gaseinlassleitungen und Ventile sowie andere Modifizierungen sind möglich. Die speziellen vorstehend beschriebenen Abmessungen sind weiterhin für spezifische Ausgestaltungen vorgesehen, jedoch können andere Ausführungsformen andere Abmessungen haben. Außerdem können einige Ausgestaltungen der Erfindung in anderen Substratbehandlungsvorrichtungen Verwendung finden, wozu eine CVD-Ausrüstung gehört, wie Elektron-Cyclotron-Resonanz-(ECR-)Plasma-CVD-Vorrichtungen, induktionsgekoppelte HF-CVD-Vorrichtungen mit hochdichtem Plasma oder dergleichen. Die Verfahren zur Bildung von Schichten, wie Titan und anderen, muss nicht notwendigerweise auf irgendwelche spezifische Vorrichtungen oder auf irgendein spezielles Plasmaerregungsverfahren beschränkt sein.

F. Aufbauten und Anordnungen, die nicht zur Erfindung gehören

[0091] [Fig. 9](#) zeigt eine vereinfachte Schnittansicht einer integrierten Schaltung **900**. Wie gezeigt, hat die integrierte Schaltung **900** NMOS- und PMOS-Transistoren **903** und **906**, die durch einen Feldoxidbereich **920**, der durch lokale Oxidation von Silicium (LOCOS) oder ein anderes Verfahren gebildet wird, voneinander getrennt und elektrisch isoliert sind. Alternativ können die Transistoren **903** und **906** durch eine flache Grabenisolation (nicht gezeigt) voneinander getrennt und elektrisch isoliert sein, wenn die Transistoren **903** und **906** beide NMOS oder beide PMOS sind. Jeder Transistor **903** und **906** hat einen Source-Bereich **912**, einen Drain-Bereich **915** und einen Gate-Bereich **928**.

[0092] Eine dielektrische Prämetall-(PMD)-Schicht **921** trennt die Transistoren **903** und **906** von einer Metallschicht **940** mit Anschlüssen zwischen der Metallschicht **940** und den Transistoren, die durch Kontakte **924** gemacht werden. Die Metallschicht **940** ist eine von vier Metallschichten **940**, **942**, **944** und **946**, die in die integrierte Schaltung **900** eingeschlossen sind. Jede Metallschicht **940**, **942**, **944** und **946** ist von den benachbarten Metallschichten durch jeweilige dielektrische Intermetallschichten **927**, **928** und **929** getrennt. Benachbarte Metallschichten sind an

ausgewählten Öffnungen durch Kontaktlöcher **926** verbunden. Über der Metallschicht **946** sind planarisierte Passivierungsschichten **930** angeordnet. Die CVD-Vorrichtung **10** kann zum Abscheiden von Filmen verwendet werden, die beispielsweise als Metallschichten **940**, **942**, **944** oder **946** eingesetzt werden. Diese Schichten können aus mehreren Unterschichten bestehen, beispielsweise einer Titanschicht, die unter einer Aluminium-, Gold-, Platin- oder Wolframschicht liegt. Die CVD-Vorrichtung **10** kann auch dazu verwendet werden, Kontakte **924** oder Pfropfen in der Bauelementstruktur abzuscheiden.

[0093] Natürlich dient die vereinfachte integrierte Schaltung **900** von [Fig. 9](#) lediglich Darstellungszwecken. Der Fachmann kann die vorliegende Erfindung für die Herstellung von anderen integrierten Schaltungen einsetzen, wie Mikroprozessoren, anwendungsspezifischen integrierten Schaltungen (ASICs), Speicherbauelementen und dergleichen, sowie diskreten Bauelementen. Außerdem kann sie auch auf PMOS-, NMOS-, CMOS-, bipolare oder BiCMOS-Bauelemente angewendet werden. Obwohl vorstehend auf die Abscheidung von Metallfilmen bezogene Anwendungen erörtert sind, kann die vorliegende Erfindung auch bei anderen Anwendungen eingesetzt werden, beispielsweise einer intermetallischen Abscheidung oder einer spontanen Bildung eines intermetallischen Films aus einer Metallabscheidung. Insbesondere kann der Prozess in vorteilhafter Weise auf die CVD von Metalloxiden, wie BST und PZT, Anwendung finden. Die Erfindung ist natürlich auch bei vielen anderen Arten von Metall-CVD-Prozessen einsetzbar und zweckmäßig bei dielektrischen CVD- und anderen Plasmaverwendungen.

II. Versuchsergebnisse und Messungen

[0094] Zur Abschätzung der Temperaturgleichförmigkeit über der Oberfläche eines Wafers unter Verwendung einer Heizanordnung, wie sie im Wesentlichen in [Fig. 4A](#) gezeigt ist, wurden Versuche durchgeführt. Die Versuche wurden in einem TiZ-Abscheidungssystem (hergestellt von Applied Materials, Inc.) ausgeführt, das für einen 200-mm-Wafer gestaltet war. Die Versuchsbedingungen wurden insgesamt in Annäherung an Bedingungen während der Abscheidung eines Titanfilms auf einem Wafer gewählt.

[0095] [Fig. 10](#) ist eine Darstellung, die die gemessene Temperaturgleichförmigkeit über einem Siliciumwafer **1002** mit 200 mm zeigt, wenn er auf eine Solltemperatur von 625°C auf einer widerstandsbeheizten Legierungsheizanordnung bei einem Kammerdruck von etwa 5 Torr und bei einem Abstand von etwa 400 mil zwischen dem Duschkopf und dem Wafer **1002** erhitzt wurde. Wie in [Fig. 10](#) zu sehen ist, reichen die Temperaturwerte an den verschiedenen Stellen des Wafers **1002** von einem Minimum von

539,7°C (Bezugszeichen **1004**) bis zu einem Maximum von 550,4°C (**1006**), was eine Temperaturänderung von 10,7°C ergibt. Die Temperaturgleichförmigkeit ist entsprechend der folgenden Gleichung definiert:

Temperaturgleichförmigkeit = $\pm(\Delta\text{Temperatur}/(2 \times \text{Temperatur})) \times 100\%$

wobei die Temperatur in °C eingesetzt wird. Gemäß dieser Definition ist die Temperaturgleichförmigkeit über dem Wafer $\pm 0,86\%$. Diese Temperaturgleichförmigkeit ist vielen anderen Heizungen überlegen, insbesondere bei solchen hohen Temperaturen. Da die hohen Temperaturen in der Nähe des Mitte des Wafers auftreten und da diese Ausgestaltung der Heizung eine Doppelzonenfähigkeit hat, ist es weiterhin wahrscheinlich, dass eine noch bessere Gleichförmigkeit möglich ist, wenn die Leistung der inneren Spule bezogen auf die Leistung der äußeren Spule bei dieser Temperatur verringert wird.

[0096] Natürlich soll die vorstehende Beschreibung lediglich darstellend und nicht beschränkend sein. Bei der Durchsicht der vorstehenden Beschreibung werden für den Fachmann viele Ausgestaltungen ersichtlich. Die Erfindung wurde hier beispielsweise hauptsächlich bezüglich eines Titanprozessrezepts veranschaulicht, ist jedoch nicht so beschränkt. Beispielsweise kann der gebildete Film ein Titansilicidfilm, ein Titannitridfilm oder ein Film aus einem anderen Metall oder Dielektrikum sein, wozu Barium-Strontium-Titanat-, Blei-Zirconat-Titanat- und Siliciumoxidfilme gehören. Man weiß natürlich, dass die gleiche vorstehend erörterte CVD-Vorrichtung zum Abscheiden von Filmen bei Temperaturen verwendet werden kann, die niedriger als etwa 400°C sind, sowie bei Temperaturen über 625°C, insbesondere wenn ein hohes Ausmaß der Temperaturgleichförmigkeit erwünscht ist. Zusätzlich können verschiedene Aspekte der vorliegenden Erfindung für andere Anwendungen zum Einsatz kommen. Der Fachmann kennt andere Äquivalente oder alternative Verfahren der Schichtabscheidung. Der Rahmen der Erfindung sollte deshalb nicht unter Bezug auf die obige Beschreibung, sondern durch die beiliegenden Ansprüche bestimmt werden.

Patentansprüche

1. Substratbehandlungsvorrichtung (**10**)

- mit einer Kammer (**30**)
- mit einem Heizleistungssystem und
- mit einer Heizanordnung (**33**, **833**), die
- eine Oberfläche zum Halten eines Substrats,
- einen inneren Kern (**12**) aus einem ersten Metall,
- einen äußeren Mantel (**13**) aus einem zweiten Metall, der den inneren Kern umgibt, und
- ein Widerstandsheizelement aufweist, das symmetrisch zwischen einer oberen Fläche und einer unteren

Fläche des äußeren Mantels und in dem inneren Kern angeordnet ist,

- wobei das erste Metall eine höhere Wärmeleitfähigkeit als das zweite Metall hat.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei welcher der innere Kern an den Mantel hartgelötet ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, bei welcher das erste Metall Kupfer und das zweite Metall wenigstens etwa 3% Molybdän und wenigstens etwa 10% Chrom aufweist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei welcher das erste Metall Kupfer und das zweite Metall eine Legierung mit der folgenden Zusammensetzung aufweist: 51,6% Nickel, 21,5% Chrom, 13,5% Molybdän, 4% Wolfram, 5,5% Eisen, 2,5% Kobalt, und 1% Mangan bei kleinen Mengen von Vanadium, Silizium, Kohlenstoff und anderen Elementen.

5. Vorrichtung nach Anspruch 1, welche weiterhin einen mehrschichtigen Hitzeschild aus Metall aufweist, der an der Unterseite der Heizanordnung angeordnet ist, um den Wärmeverlust vom Boden der Heizanordnung zu verringern.

6. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei welcher das Heizelement ein erstes Heizelement (**14A**) und ein zweites Heizelement (**14B**) aufweist, wobei das erste Heizelement von einer ersten Heizsteuerung und das zweite Heizelement von einer zweiten Heizsteuerung gesteuert werden und der innere Kern einen Wärmespalt (**407**) hat, der einen ersten Abschnitt des inneren Kerns und einen zweiten Abschnitt des inneren Kerns begrenzt, und der eine Wärmeisolierung zwischen dem ersten Abschnitt des inneren Kerns und dem zweiten Abschnitt des inneren Kerns bildet.

7. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei welcher die Heizanordnung ein Kühlrohr (**402**) aufweist, das ein Kühlmedium zu der Heizanordnung fördert, um das Kühlen der Heizanordnung zu erleichtern.

8. Heizsockel (**832**) zum Erhitzen eines Substrats auf eine Temperatur von wenigstens etwa 400°C

- mit einem inneren Kern aus einem ersten Metall,
- mit einem Mantel aus einem zweiten Metall, der das erste Metall umgibt, wobei die Wärmeleitfähigkeit des ersten Metalls größer als die Wärmeleitfähigkeit des zweiten Metalls ist,
- mit einem Widerstandsheizelement, das in eine Nut in dem inneren Kern so hartgelötet ist, dass das Widerstandselement symmetrisch in dem inneren Kern und dem Mantel ist,
- mit einem Stummelschaft (**825A**), der mit einem unteren Abschnitt des Mantels gekoppelt ist,
- mit einem Isolator (**802**), der mit dem Stummelschaft durch eine erste Auslegerklemme (**803**) gekoppelt ist,

- mit einem Trägerschaft (**825B**), der mit dem Isolator durch eine zweite Auslegerklemme (**804**) gekoppelt ist, und
- mit einer Hochfrequenzelektrode, die elektrisch mit dem inneren Kern, dem Mantel oder dem Stummelschaft gekoppelt ist.

9. Heizsockel nach Anspruch 8, welcher weiterhin ein Verbindungsstück aufweist, das wenigstens einen Spannarm (**829A**, **829B**) hat, der in der Lage ist, eine Ringspannung um einen Umfang des Isolators (**802**) über einen vorgegebenen Betriebstemperaturbereich des Heizsockels aufrechtzuerhalten.

10. Heizsockel nach Anspruch 8, welcher weiterhin wenigstens eine Wärmedrossel zwischen dem Stummelschaft und dem Trägerschaft aufweist.

Es folgen 17 Blatt Zeichnungen

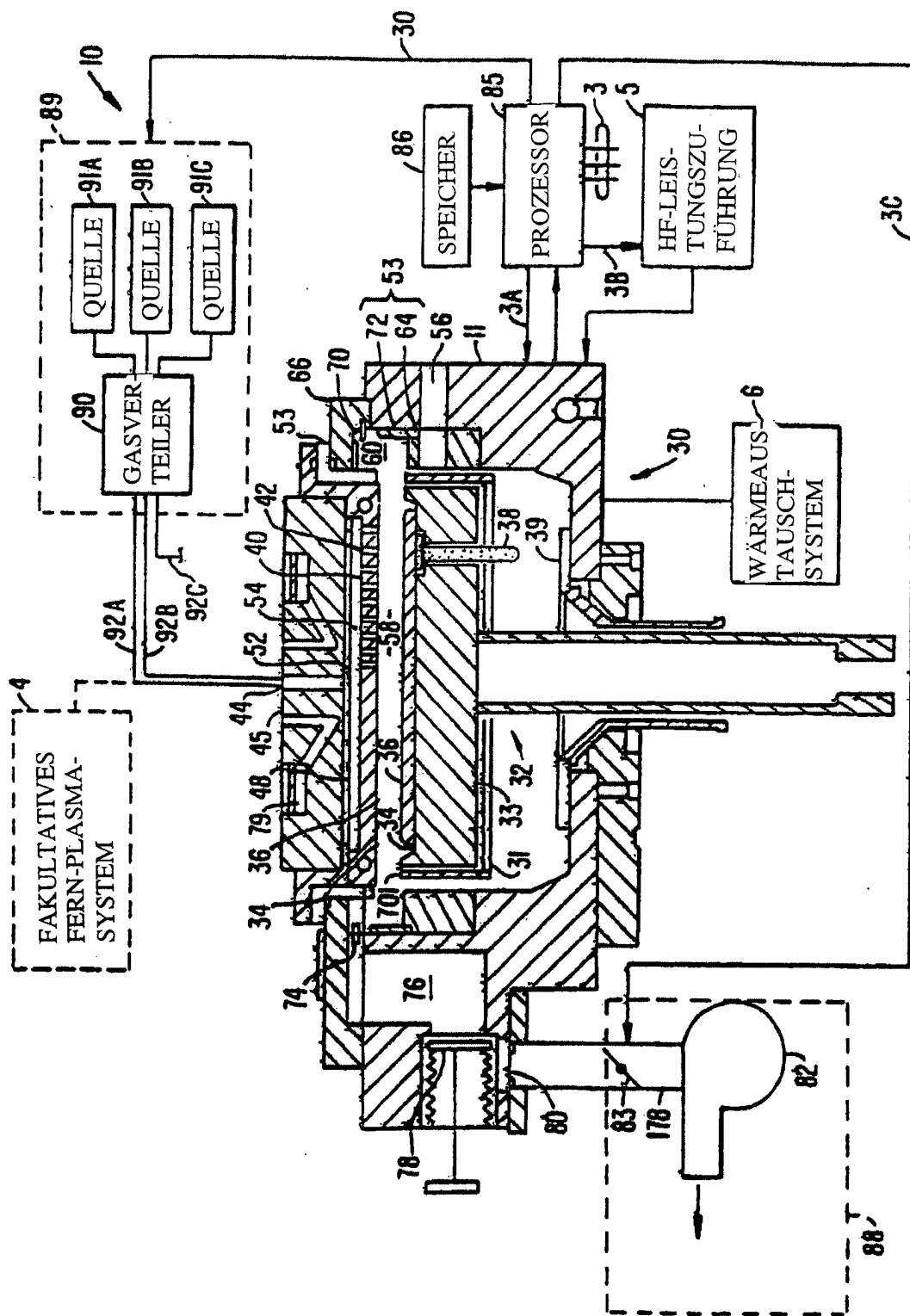


FIG. 1A

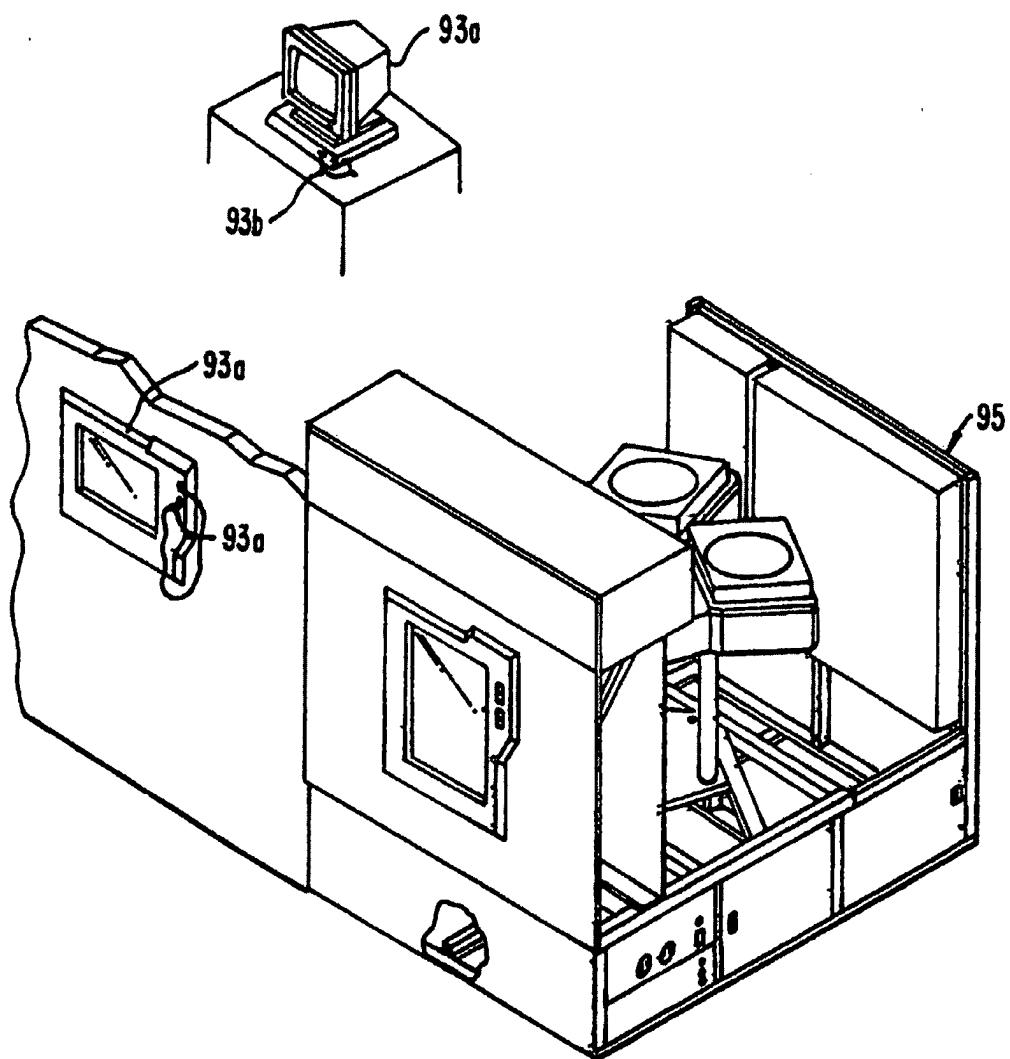


FIG. 1B

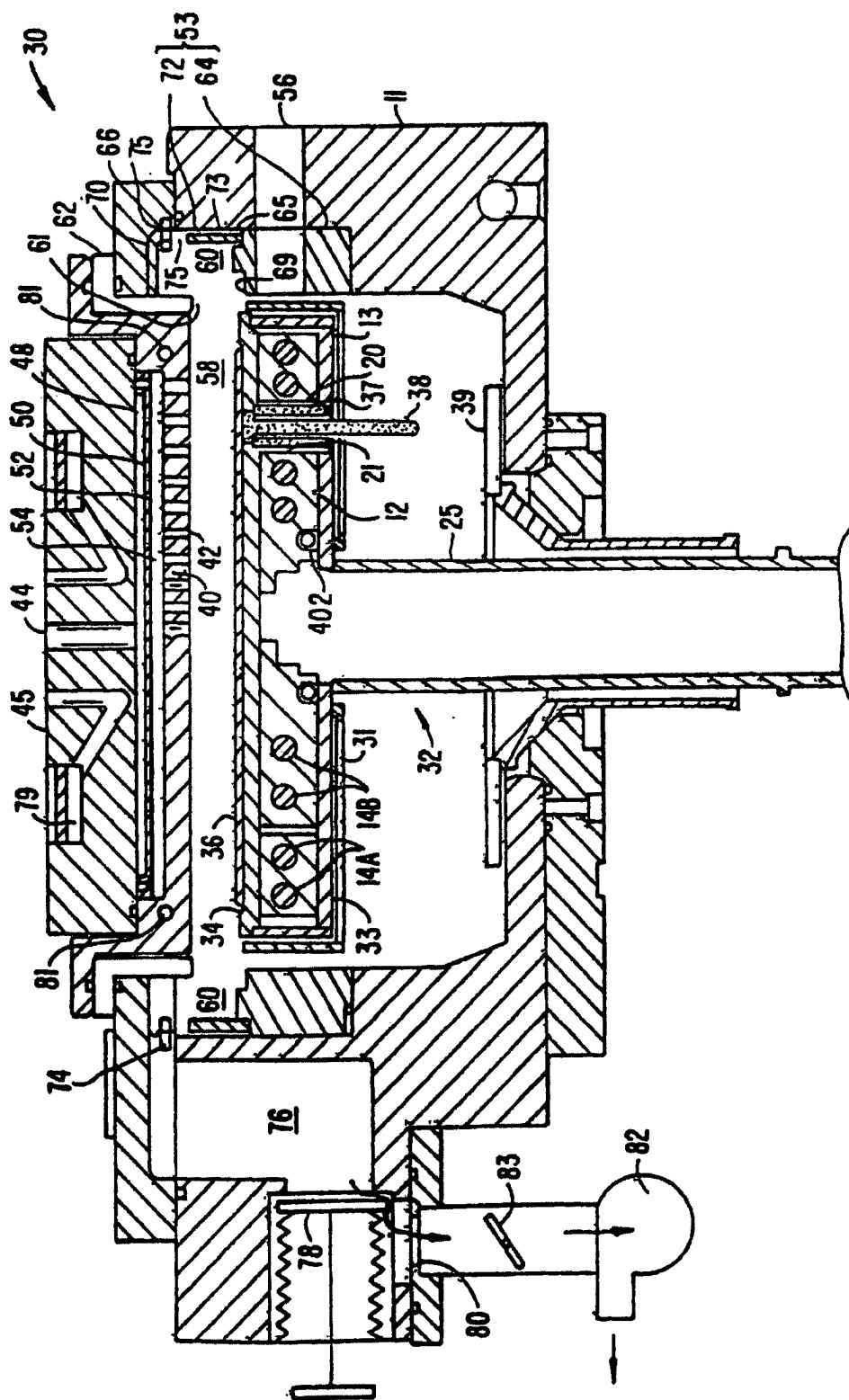


FIG. 2A

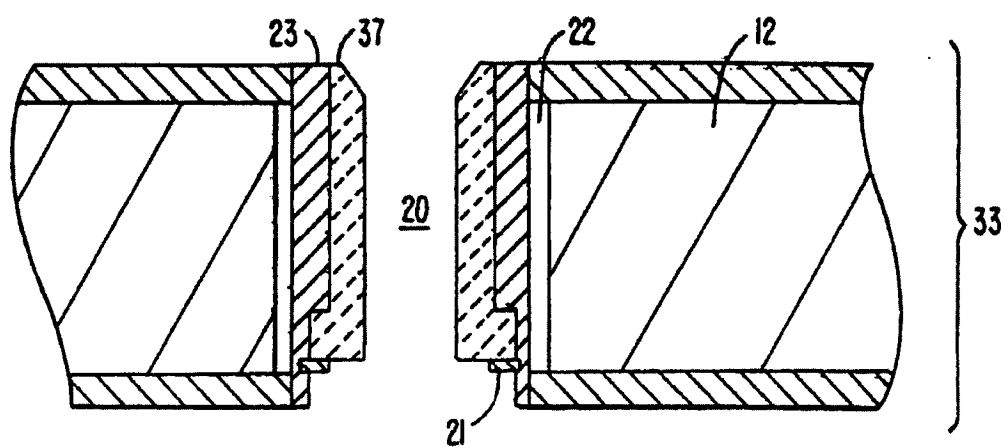


FIG. 2B

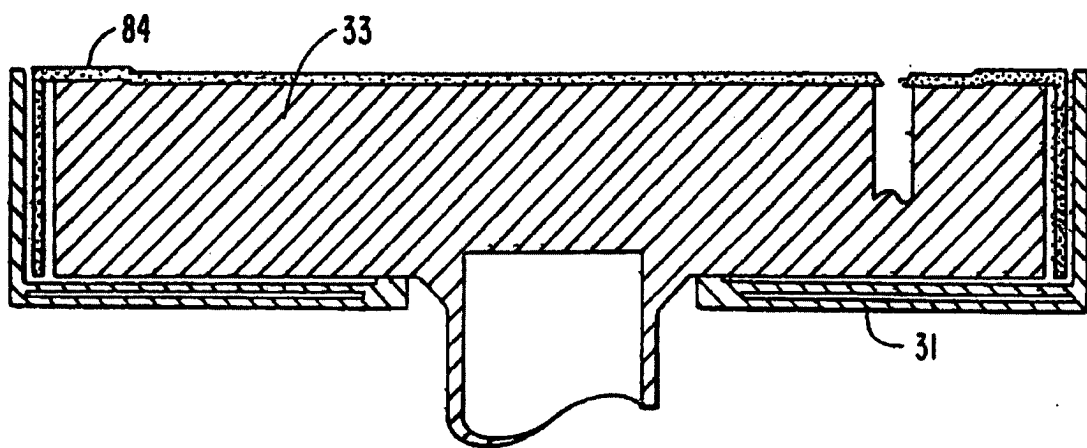


FIG. 2C

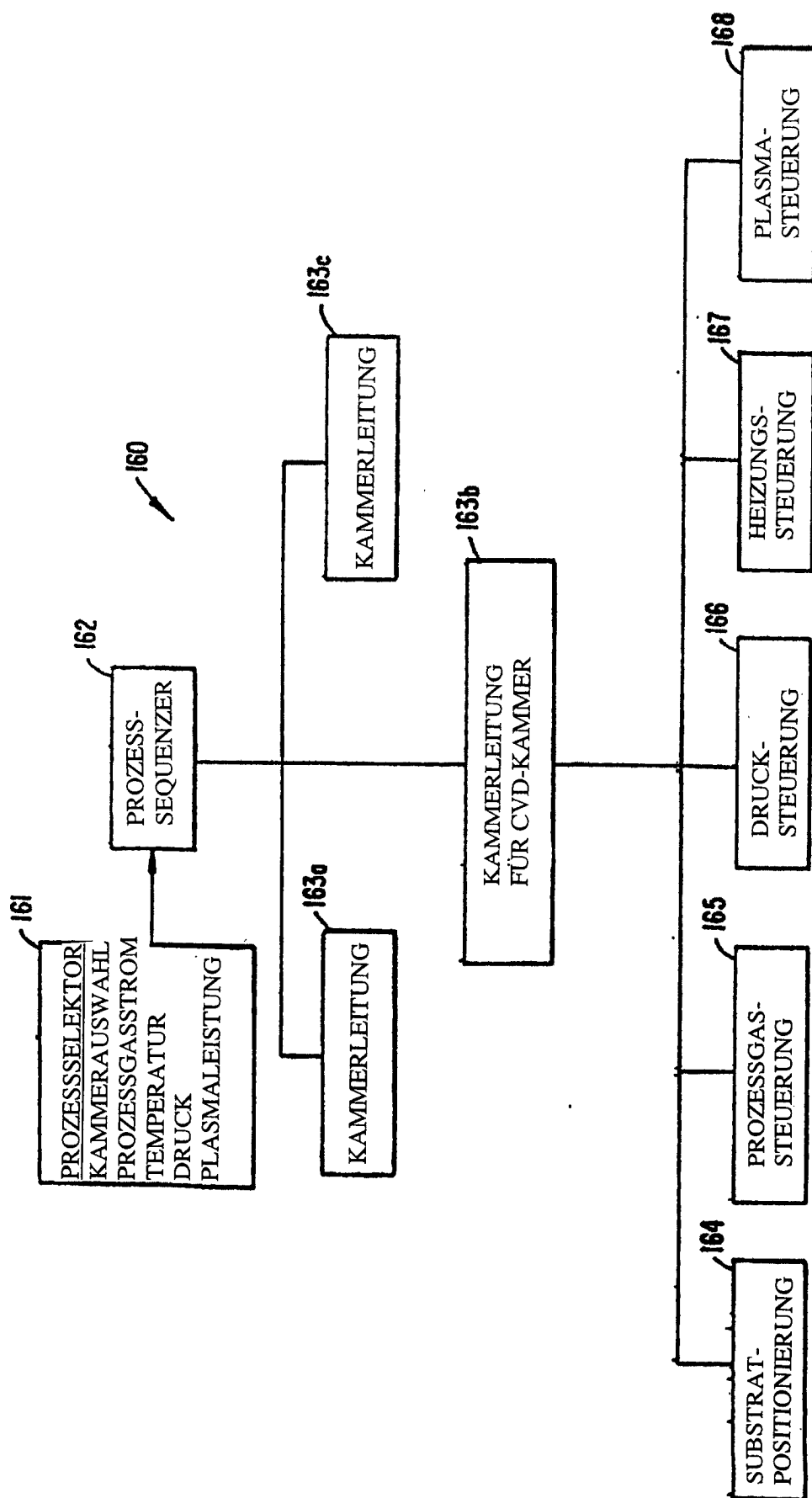


FIG. 3

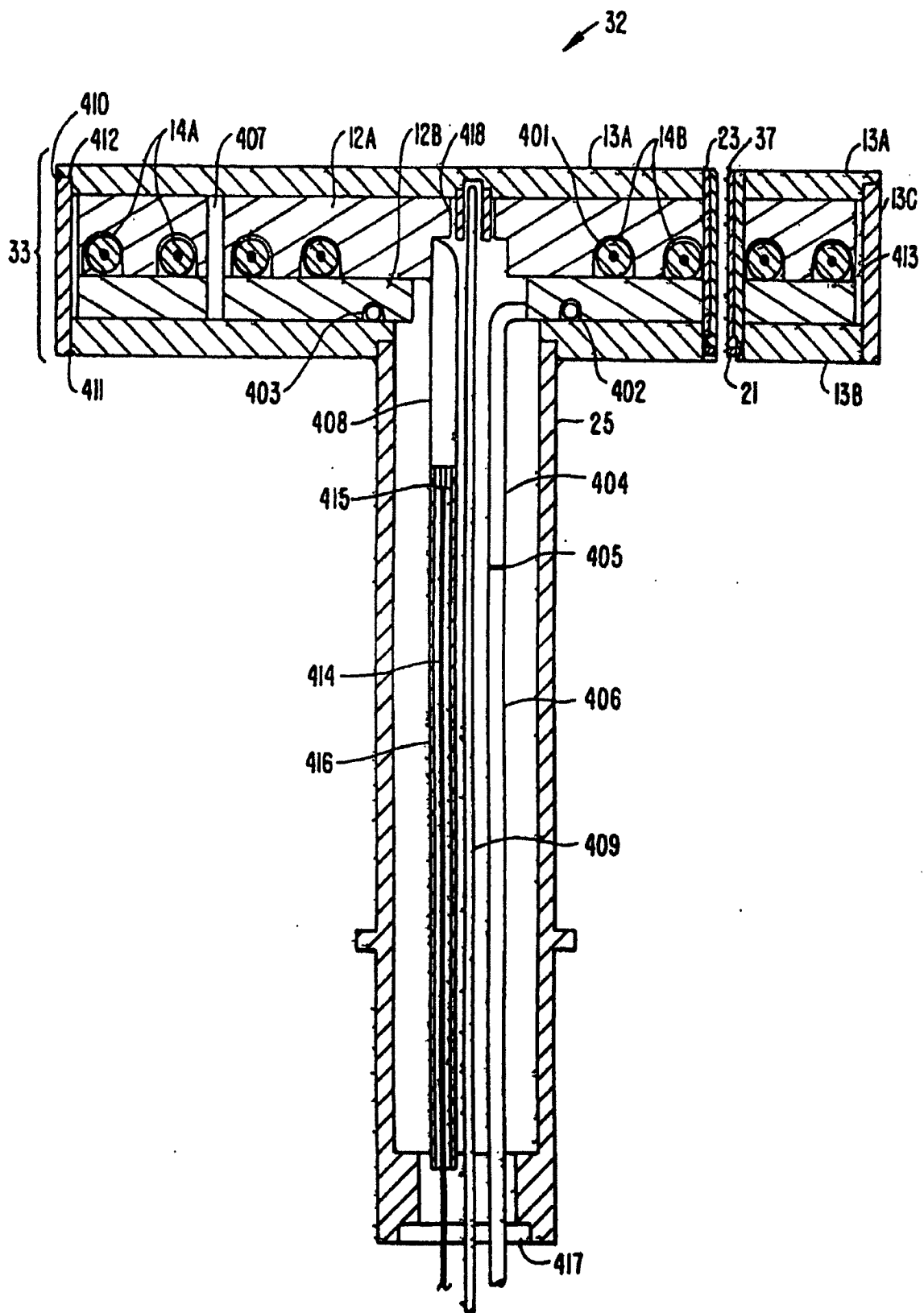


FIG. 4A

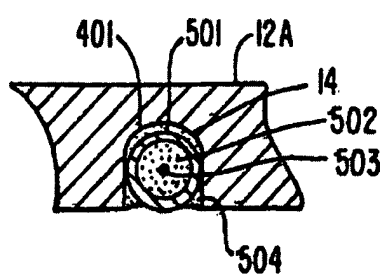


FIG. 4B

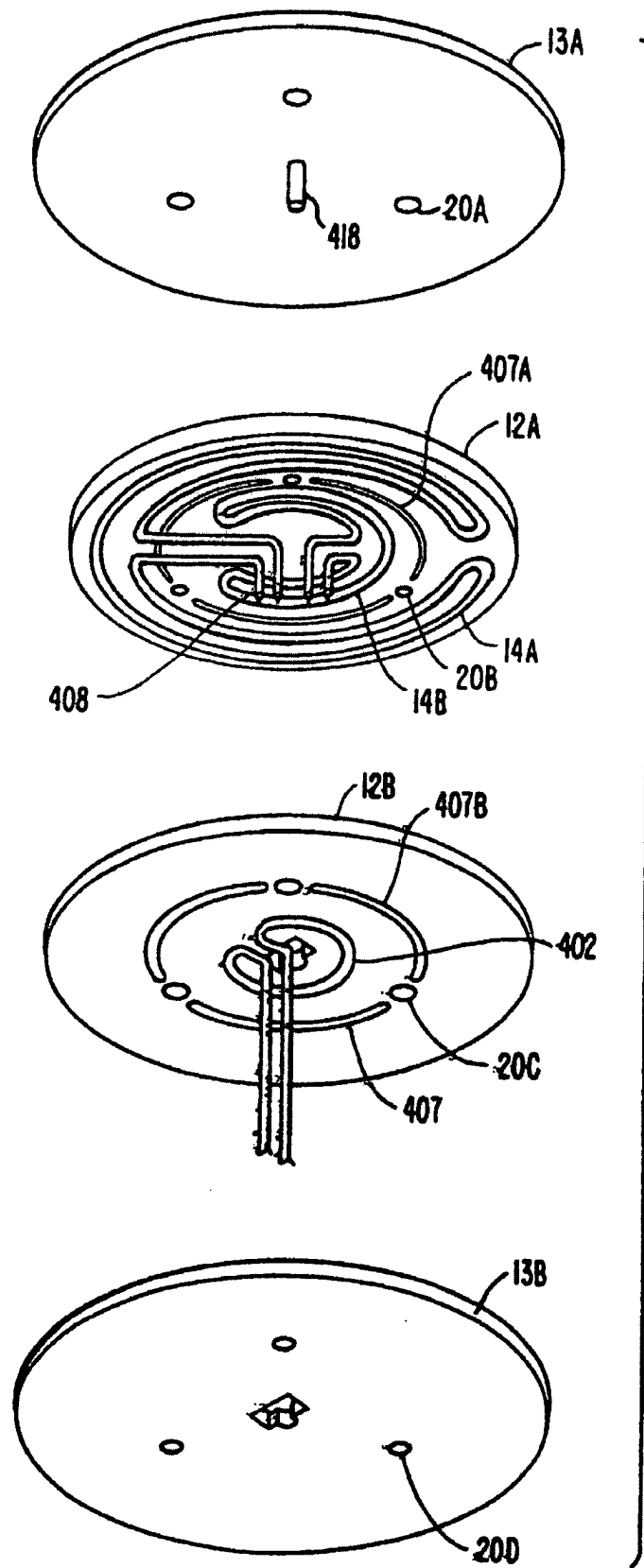


FIG. 5

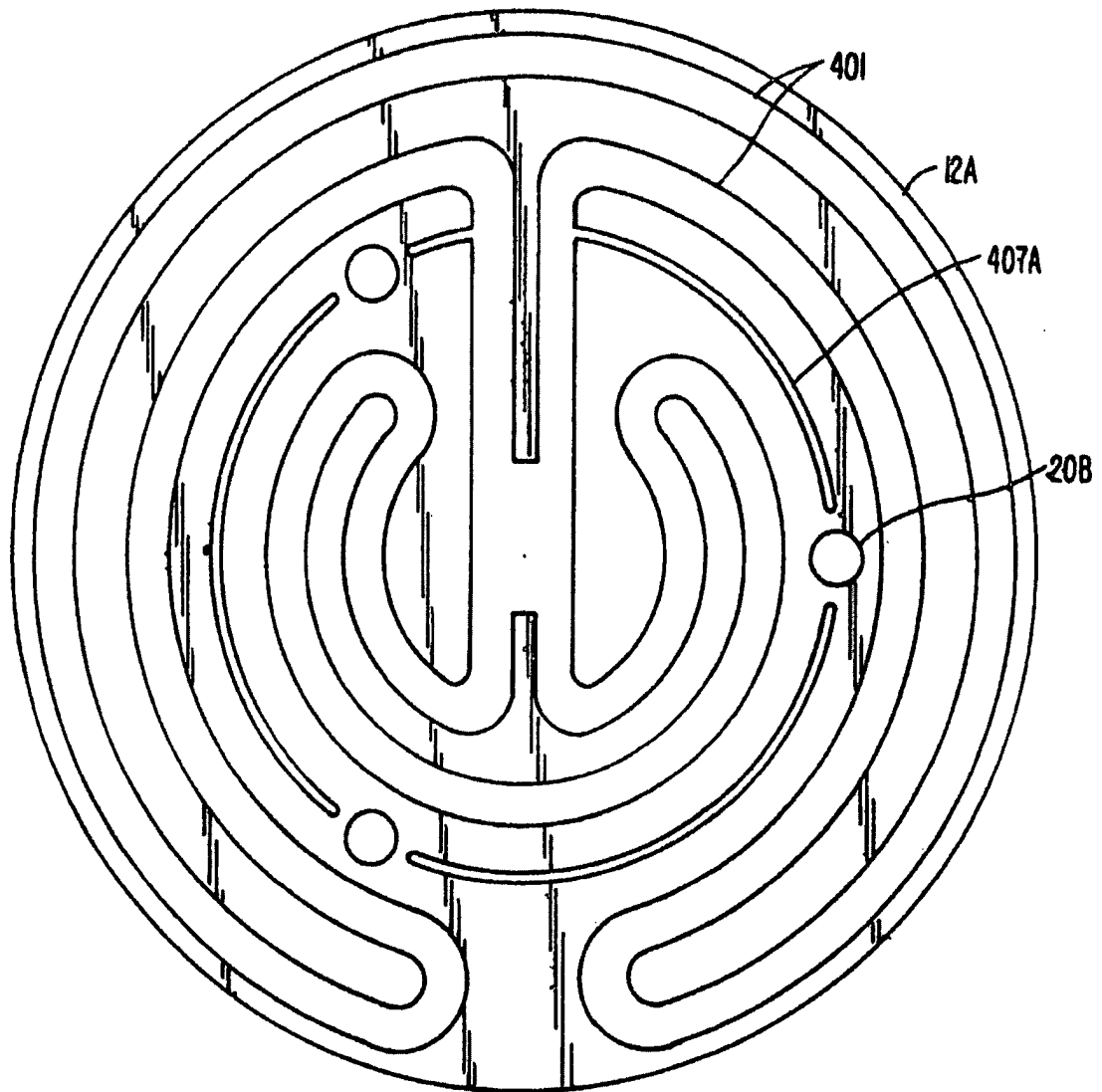


FIG. 6

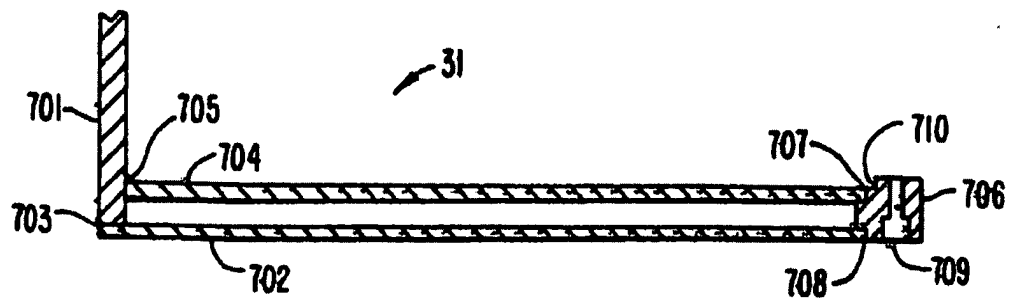
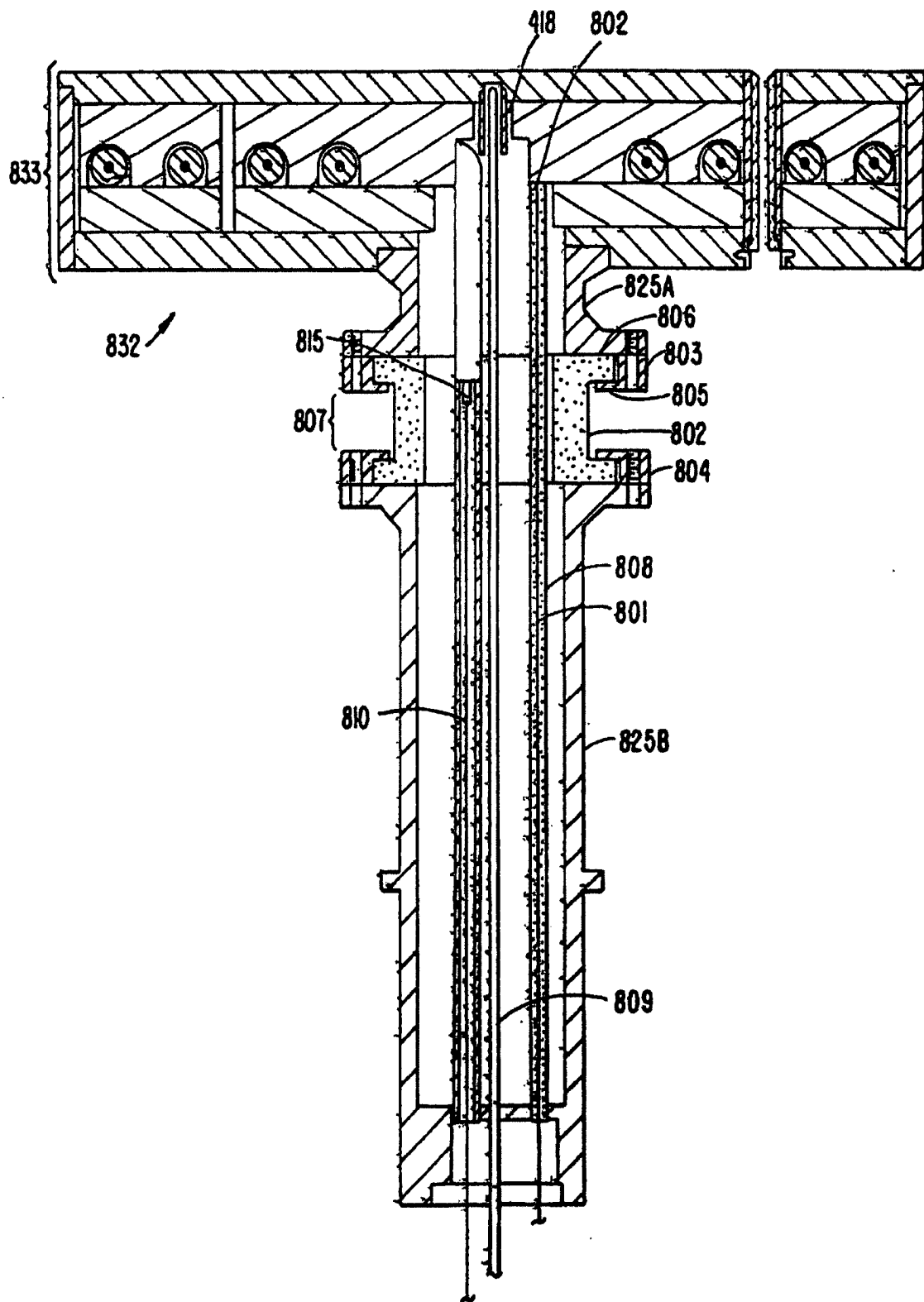


FIG. 7



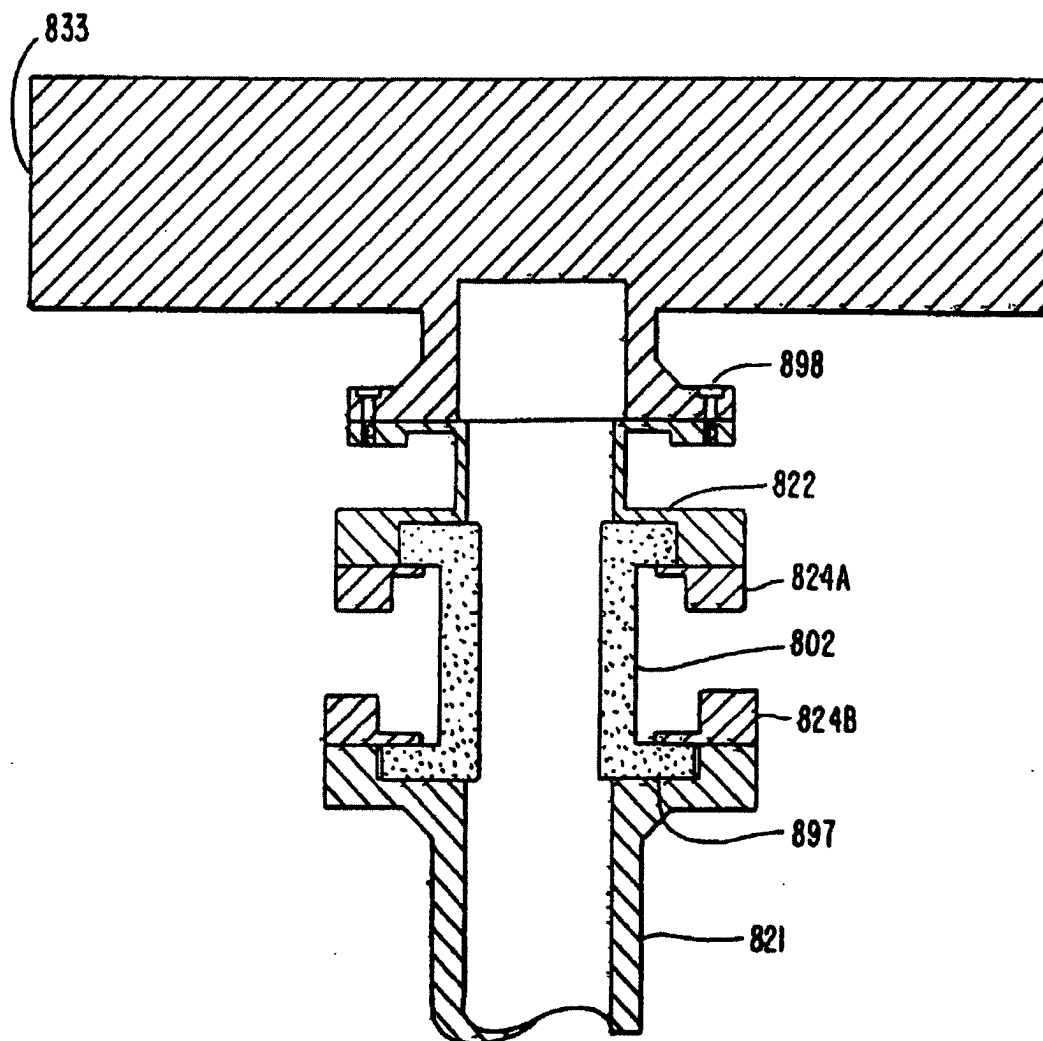


FIG. 8B

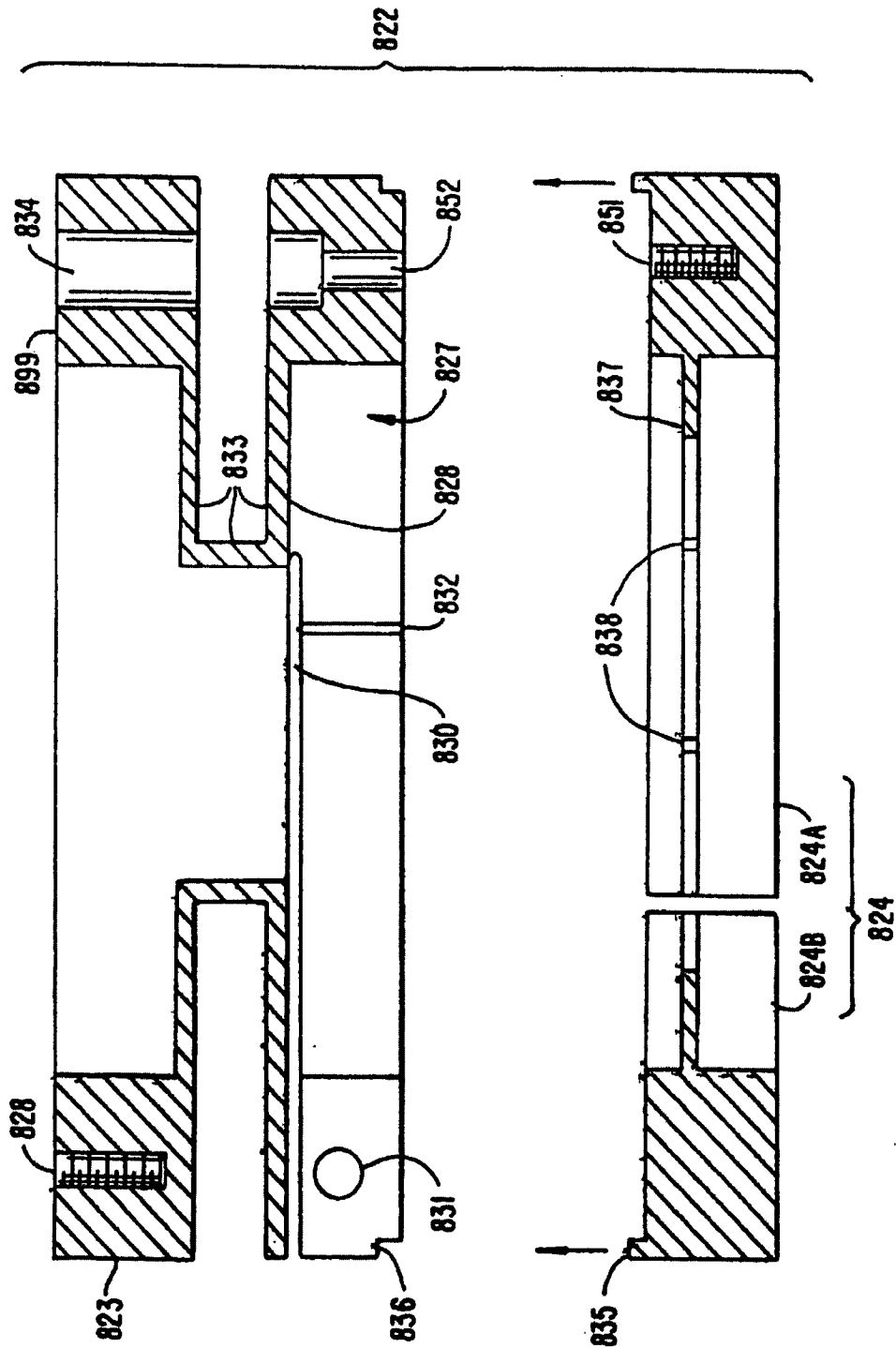


FIG. 8C

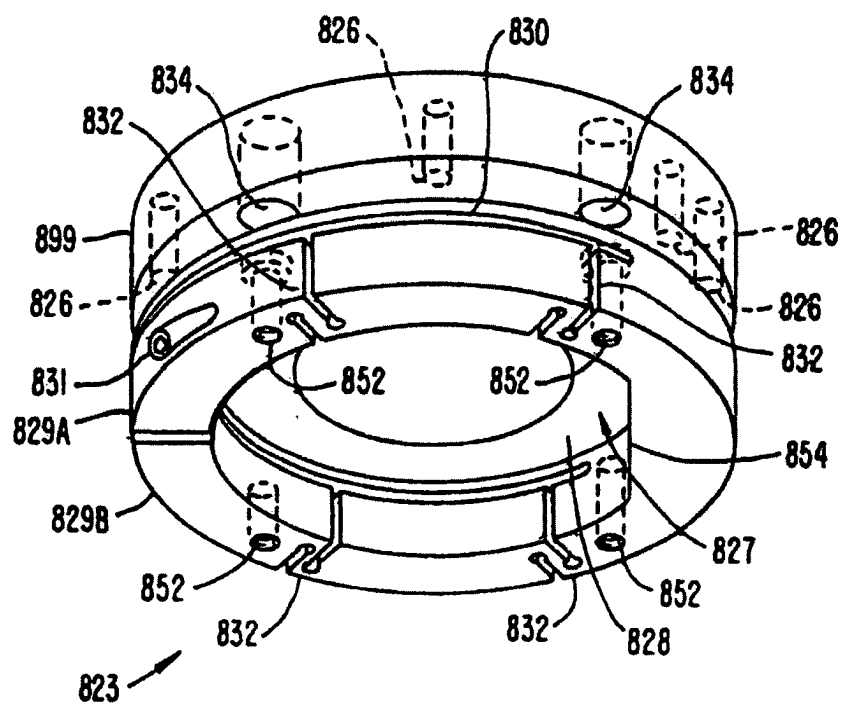


FIG. 8D

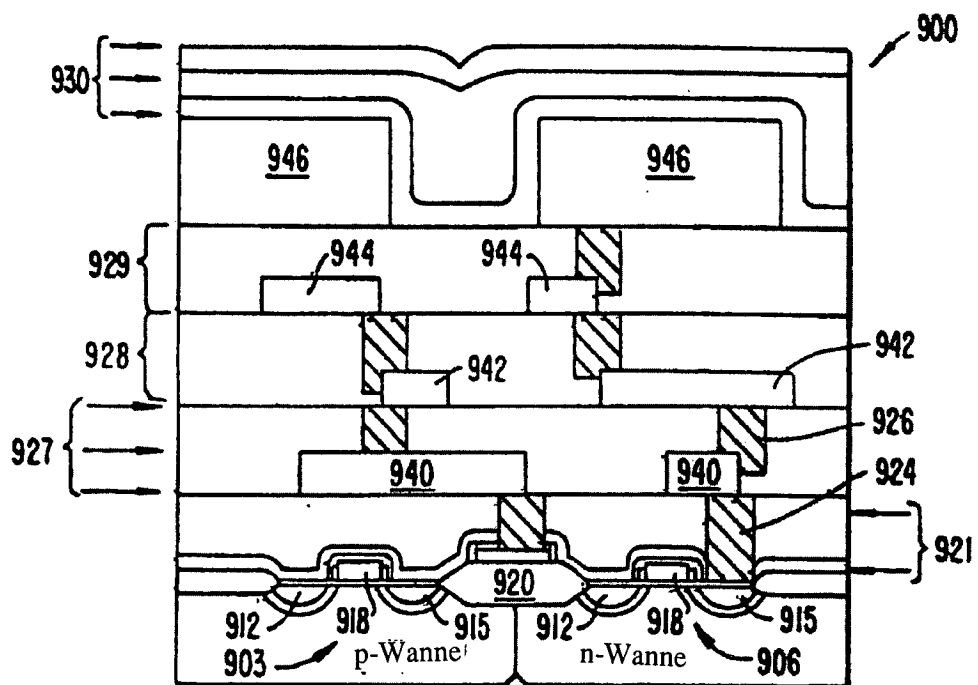


FIG. 9

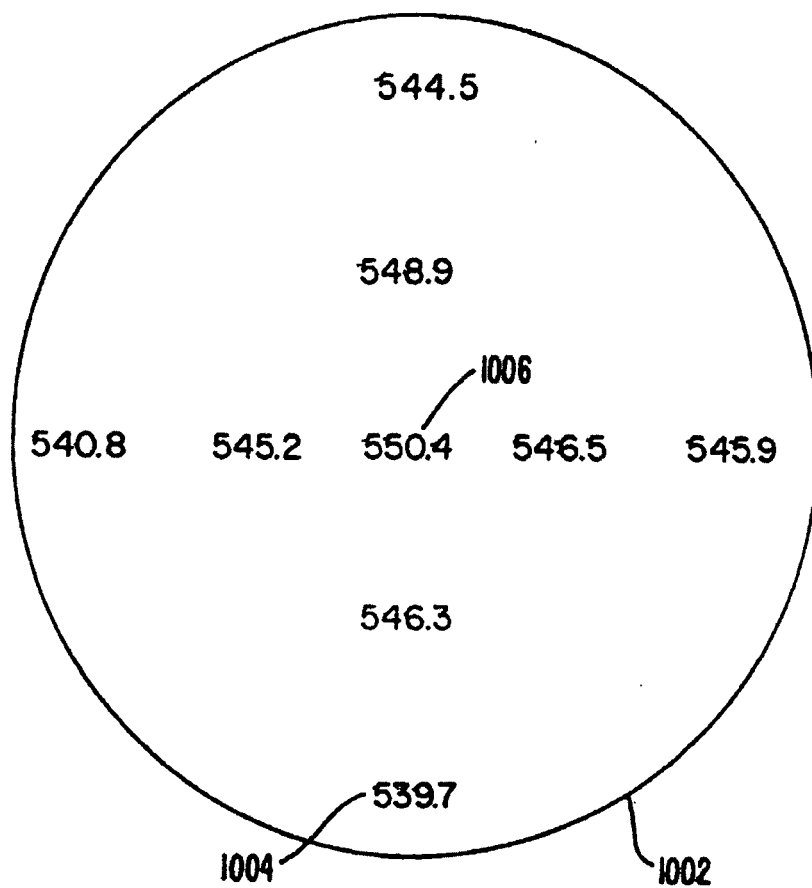


FIG. 10

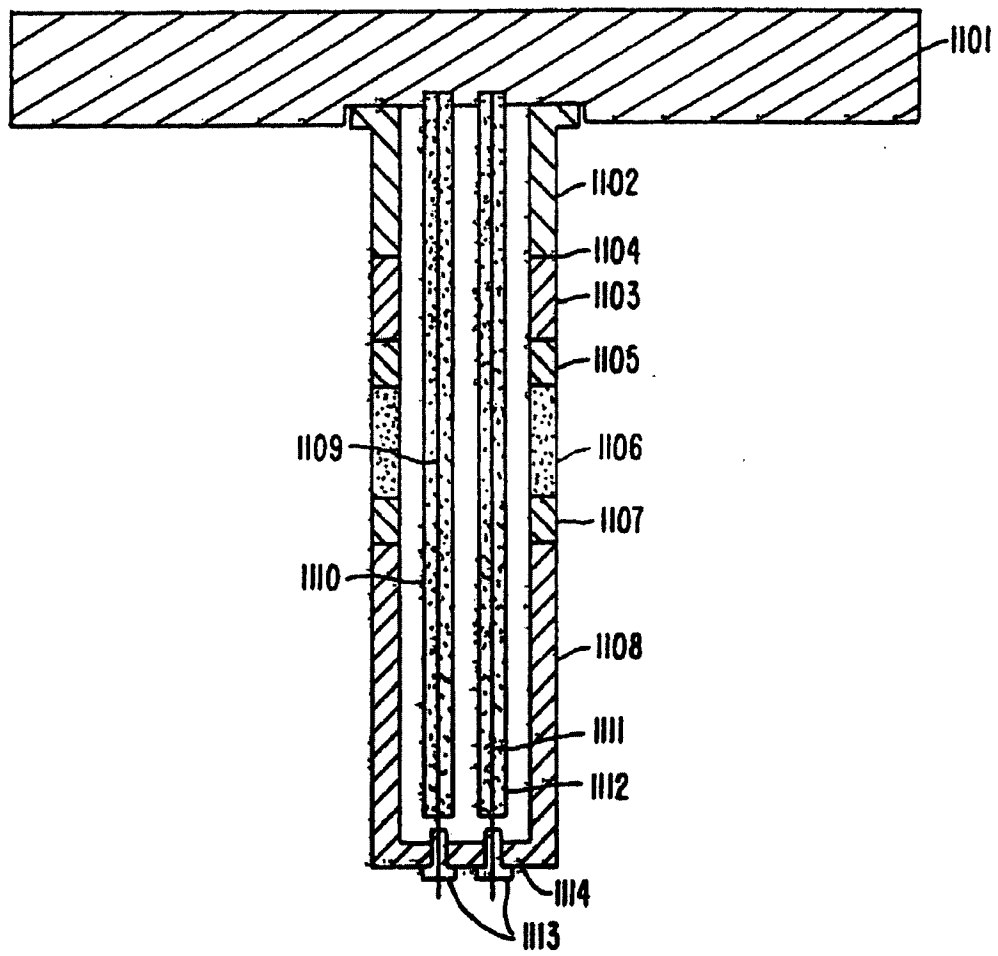


FIG. 11