



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 102 29 037 A1 2004.01.29

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 102 29 037.7
(22) Anmeldetag: 28.06.2002
(43) Offenlegungstag: 29.01.2004

(51) Int Cl.7: H01L 21/3065
C30B 33/12, B01J 19/08

(71) Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

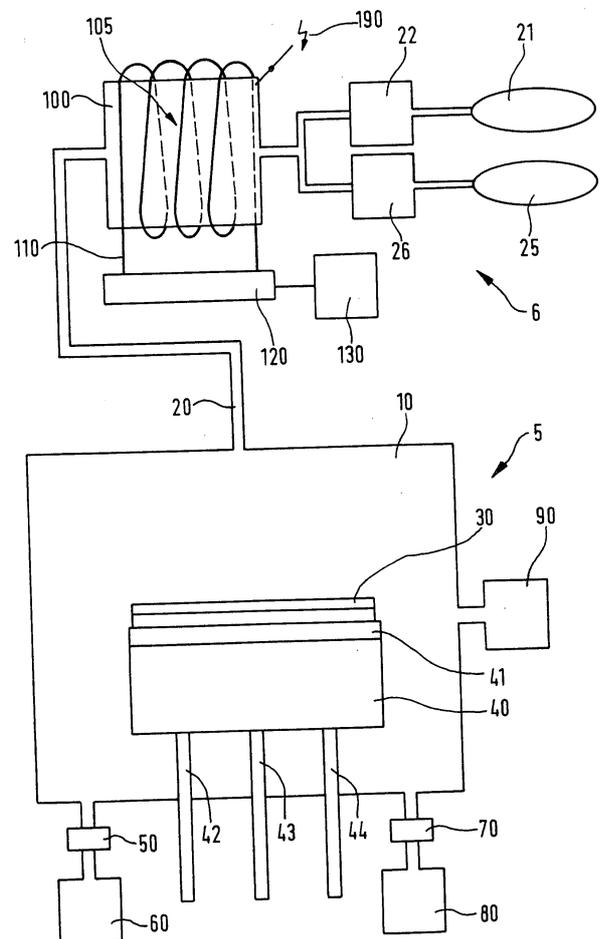
(72) Erfinder:
Laermer, Franz, 71263 Weil der Stadt, DE

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zur Erzeugung von Chlortrifluorid und Anlage zur Ätzung von Halbleitersubstraten mit dieser Vorrichtung**

(57) Zusammenfassung: Es wird eine Vorrichtung (6) und ein Verfahren zur Erzeugung von Chlortrifluorid vorgeschlagen, wobei im Inneren eines Plasmareaktors (100) mit Hilfe von Plasmaerzeugungsmitteln (110, 120, 130, 150, 155, 160, 170, 180) ein hochdichtes Plasma (105) erzeugt wird, und wobei dem Plasmareaktor (100) über Gaszufuhrmittel (21, 22, 25, 26) ein erstes Gas und ein zweites Gas zugeführt wird, die unter dem Einfluss des hochdichten Plasmas (105) in dem Plasmareaktor (100) unter Bildung von Chlortrifluorid miteinander reagieren. Daneben ist ein Gasauslass (20) vorgesehen, mit dem das gebildete Chlortrifluorid aus dem Plasmareaktor (100) abführbar ist. Schließlich wird eine Anlage (5) zur Ätzung von Halbleitersubstraten (30), insbesondere Siliziumwafern, mit einer vorgeschalteten derartigen Vorrichtung (6) vorgeschlagen, wobei die Anlage (5) eine Prozesskammer (10) aufweist, die über den Gasauslass (20) mit dem Plasmareaktor (100) verbunden ist, und wobei das Halbleitersubstrat (30) in der Prozesskammer (10) angeordnet und dem von der Vorrichtung (5) erzeugten gasförmigen Chlortrifluorid ausgesetzt ist.



Beschreibung**Vorteile der Erfindung**

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Erzeugung von Chlortrifluorid und eine Anlage zur Ätzung von Halbleitersubstraten, insbesondere von Siliziumwafern, mit dieser Vorrichtung, nach der Gattung der unabhängigen Ansprüche

Stand der Technik

[0002] Aus DE 199 19 469 A1 oder JP-20010684422 A ist bekannt, dass Silizium durch gasförmiges Chlortrifluorid (ClF_3) spontan geätzt wird, indem nach Adsorption dieser Verbindung auf einer Siliziumoberfläche eine Freisetzung von Fluorradikalen stattfindet, welche mit den Siliziumatomen der zugänglichen Siliziumoberfläche zu spontan flüchtigen Siliziumfluoridverbindungen reagieren. Dabei wächst die Ätzrate mit steigendem Partialdruck des ClF_3 , und es sind Abtragsraten von einigen 10 $\mu\text{m}/\text{min}$ und mehr bei entsprechend hohen Drücken und ausreichender Stoffmengen Zufuhr möglich. Nachteilig bei diesem Gas ist jedoch, dass es vor allem in verflüssigter Form ein sehr gefährlicher Stoff ist.

[0003] Aus Hofmann-Rüdruff Lehrbuch der Anorganischen Chemie, 21. Auflage, 1973, Seiten 259 ff., ist die Synthese von ClF_3 aus Cl_2 und F_2 bekannt. Bei einer Temperatur von 280°C entsteht dabei aus einer Mischung von Cl_2 und F_2 bei Überschuss von F_2 Chlormonofluorid gebildet, dem sich in einem zweiten Schritt weiteres Fluor bis hin zum Chlortrifluorid anlagert.

[0004] Nachteilig bei dieser Reaktion ist die hohe Reaktionstemperatur und die geringe Reaktionsrate. Daher können auf diese Weise nur vergleichsweise geringe Mengen an ClF_3 synthetisiert werden kann, und ein erheblicher Anteil der zugeführten Ausgangsgase Cl_2 und F_2 bleibt ungenutzt bzw. wurde lediglich zu Zwischenprodukten wie FCl umgesetzt.

Aufgabenstellung

[0005] Aufgabe der vorliegenden Erfindung war die Bereitstellung einer Vorrichtung und eines Verfahrens zur Erzeugung von Chlortrifluorid, sowie einer Anlage zur Ätzung von Halbleitersubstraten mit dieser Vorrichtung, bei der Chlortrifluorid als Ätzgas eingesetzt wird, wobei das Verfahren und die Vorrichtung eine Erzeugung von Chlortrifluorid unmittelbar vor Ort erlaubt, so dass eine Bevorratung dieses unter Sicherheitsaspekten kritischen Stoffes, insbesondere in flüssiger Form, vermieden werden kann. Weiter sollte es damit möglich sein, das Chlortrifluorid aus vergleichsweise harmlosen oder unkritischen Ausgangsstoffen effizient und kostengünstig möglichst genau in der zur Ätzung benötigten Menge zu erzeugen.

[0006] Die erfindungsgemäße Vorrichtung hat gegenüber dem Stand der Technik den Vorteil, dass nunmehr Chlortrifluorid bei ClF_3 -basierten Ätzprozessen, insbesondere bei der Ätzung von Siliziumsubstraten, einsetzbar ist, ohne dass dieses als solches bevorratet werden muss. Vielmehr wird das ClF_3 in einer hocheffizienten Plasmareaktion in einem hochdichten Plasma erzeugt, und kann somit unmittelbar nach der Erzeugung einer dem Plasmareaktor zugeordneten Prozesskammer zugeführt werden kann, in der es auf das dort befindliche Halbleitersubstrat einwirkt. Weiter kann das ClF_3 nun aufgrund der effizienten Reaktion auch mit großen Gasflüssen von einigen 100 sccm (sccm = 1 cm^3 Gasfluss/Minute bei Normaldruck) bis hin zu slm (slm = 1 dm^3 Gasfluss/Minute bei Normaldruck) bei der Ätzung eingesetzt bzw. aus der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Erzeugung von ClF_3 entnommen werden.

[0007] Vorteilhaft ist weiter, dass das Chlortrifluorid bei dem erfindungsgemäßen Verfahren und mit Hilfe der erfindungsgemäßen Vorrichtung aus unkritischen, in hoher Reinheit verfügbaren und kostengünstigen, als Precursorgasen bei der Herstellung von ClF_3 dienenden Gasen herstellbar ist. Überdies ist die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Erzeugung von Chlortrifluorid mit der vorhandenen Technologie einfach realisierbar und zuverlässig beherrschbar. Insofern kann diese Vorrichtung als Zusatzmodul jeder geeigneten Ätzkammer bzw. bestehenden Vakuumanlage zur Ätzung von Halbleitersubstraten vorgeschaltet werden oder als Zusatzbauteil in eine übliche Einrichtung zur Versorgung einer Ätzkammer mit Prozessgasen integriert werden.

[0008] Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den in den Unteransprüchen genannten Maßnahmen.

[0009] So ist besonders vorteilhaft, wenn die Erzeugung des hochdichten Plasmas in einer Reaktionskammer induktiv mit Hilfe einer Hochfrequenzanregung oder über eine Mikrowellenanregung mit einem Hohlleiter und einem Magnetron erfolgt.

Zeichnungen

[0010] Die Erfindung wird anhand der Zeichnungen und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Er zeigt **Fig. 1** eine Prinzipskizze einer Anlage zur Ätzung eines Halbleitersubstrates mit einer Vorrichtung zur Erzeugung von Chlortrifluorid mit induktiver Plasmaanregung, und **Fig. 2** eine Prinzipskizze einer alternativen Anlage zur Ätzung eines Halbleitersubstrates mit einer Vorrichtung zur Erzeugung von Chlortrifluorid, wobei die Plasmaanregung über Mikrowellen erfolgt.

Ausführungsbeispiel

Ausführungsbeispiele

[0011] Ein erstes Ausführungsbeispiel für eine Vorrichtung **6** zur Erzeugung von Chlortrifluorid (ClF_3) mit einer nachgeordneten Prozesskammer **10**, in der ein Halbleitersubstrat **30**, vorzugsweise ein Siliziumwafer, der gegebenenfalls mit einer Maskierung und/oder einer Strukturierung versehen ist, geätzt wird, ist schematisch in **Fig. 1** dargestellt. Die Vorrichtung **6** bildet dabei mit der Prozesskammer **10**, mit der sie über einen Gasauslass **20** verbunden ist, und im Weiteren noch erläuterten Anbauteilen eine Ätzanlage **5**.

[0012] Kern der Vorrichtung **6** ist ein Plasmareaktor **100** in Form einer Reaktionskammer. In dieser werden zugeführte Gase, sogenannte "Precursor-Gase", mittels induktiver Hochfrequenzanregung oder alternativ gemäß **Fig. 2** mittels Mikrowellenanregung möglichst weitgehend zu Radikalen aufgebrochen, die sich bei entsprechendem Verhältnis von Fluoranteil zu Chloranteil, d.h. bevorzugt einem Gasfluss von 3:1 der betreffenden Fluorradikale oder entsprechende reaktive Spezies bzw. Chlorradikale oder entsprechende reaktive Spezies freisetzenden Gase, zu ClF_3 verbinden und nachfolgend der Prozesskammer **10** zugeführt werden.

[0013] In einer ersten Variante geht man dazu von den Gasen F_2 und Cl_2 aus, die dem Plasmareaktor **100** über entsprechende Gasflaschen **21**, **25** für F_2 und Cl_2 und den Gasflaschen **21**, **25** jeweils nachgeordnete Massenflussregler **22**, **26** zugeführt werden. Die Reaktion verläuft dabei gemäß: $\text{Cl}_2 \rightarrow 2 \text{Cl}^*$ und $\text{F}_2 \rightarrow 2 \text{F}^*$, F_2^*

Insgesamt erhält man damit: $\text{Cl}^* + \text{F}^*, \text{F}_2, \text{F}_2^* \rightarrow \text{ClF}_3$
 [0014] Durch die hohe Plasmaanregungsdichte, die in einem kleinen Plasmavolumen mittels induktiver Hochfrequenzanregung bzw. Mikrowellenanregung erzielbar ist, d.h. der Erzeugung eines hochdichten Plasmas **105** mit einer Dichte an Radikalen oder reaktiven Spezies von mindestens angeregten 10^{11} Teilchen pro cm^3 , insbesondere mindestens 10^{12} angeregten Teilchen pro cm^3 , gelingt dabei eine nahezu vollständige Umsetzung der Precursorgase Cl_2 und F_2 zu ClF_3 , wenn das Verhältnis der Gasflüsse von Cl_2 zu F_2 auf einen Wert von 1:3 eingestellt ist.

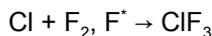
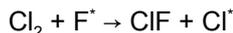
[0015] Fluor ist jedoch kein optimales Precursorgas, da es nicht in hoher Reinheit verfügbar ist, korrosive und hoch-toxische Eigenschaften aufweist, und eine hohe Dissoziationsenergie für die Aufspaltung bzw. Radikalenbildung benötigt.

[0016] In einer zweiten, bevorzugten Variante geht man daher von Precursorgasen aus, die unter Plasmaanregung besonders effizient und leicht und gleichzeitig in großen Mengen Fluorradikale freisetzen. Bevorzugt sind die Gase SF_6 oder NF_3 als Alternative zu F_2 .

[0017] SF_6 gibt unter Plasmaanregung im Mittel zwei Fluorradikale frei und geht dabei in das stabile

SF_4 über. Rekombinationsreaktionen von erzeugten Fluorradikalen mit SF_4 und damit Rückreaktionen zu einem höheren SF_x in Richtung Ausgangsstoff SF_6 , also der Wiedereinfang bereits erzeugter Fluorradikale durch SF_4 , sind unwahrscheinlich, da SF_4 ein stabiles Endprodukt darstellt und daher nur eine vergleichsweise geringe Affinität zu Fluorradikalen aufweist. Diese Eigenschaft zeichnet SF_6 gegenüber anderen Fluorlieferanten wie z.B. Fluorkohlen(wasser)stoffen aus.

[0018] In dem Plasmareaktor **100** wird nun ClF_3 aufgebaut vermöge der Reaktionen: $\text{SF}_6 \rightarrow \text{SF}_4 + 2 \text{F}^*$



[0019] Insgesamt erhält man damit: $3 \text{SF}_6 + \text{Cl}_2 \rightarrow 3 \text{SF}_4 + 2 \text{ClF}_3$

[0020] Dazu wird SF_6 und Cl_2 dem Plasmareaktor **100** in einem Verhältnis der Gasflüsse $\text{SF}_6:\text{Cl}_2$ von 3:1 im Sinne einer stöchiometrischen Umsetzung zu ClF_3 zugeführt.

[0021] Eine gewisse Schwierigkeit bei dieser Reaktion ist die Tatsache, dass SF_6 im hochdichten Plasma **105** teilweise auch zu niedrigeren SF_x Verbindungen ($x = 0, 1, 2, 3$), insbesondere auch zu elementarem Schwefel, abgebaut wird, was bei den bevorzugt eingesetzten möglichst hohen Prozessdrücken in dem Plasmareaktor **100** oder der Prozesskammer **10** zu Ablagerungen oder auch auf dem Halbleitersubstrat **30** zu unerwünschten, eine Ätzung maskierenden Effekten führen kann. Um derartige Schwefelausscheidungen zu umgehen, ist es daher teilweise günstig, dem Plasmareaktor **100** oder alternativ auch erst der Prozesskammer **10** zusätzlich Sauerstoff zuzuführen. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass aufgrund der außerordentlich hohen Selektivität der ClF_3 -Ätzreaktion gegenüber SiO_2 ein Sauerstoffzusatz bei der Ätzung von Silizium dazu führen kann, dass aktivierte Sauerstoffmoleküle oder -radikale die Siliziumoberfläche oxidieren und damit ebenfalls gegenüber der Ätzung mit ClF_3 maskieren.

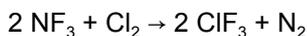
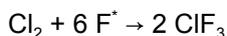
[0022] Das Precursorgas SF_6 ist somit vor allem bei der Ätzung von Siliziumwafern mit ClF_3 nicht optimal, da mit Blick auf eine hohe Konversionseffizienz zu ClF_3 gerade sehr hohe Anregungsdichten, d.h. eine hohe Plasmaleistung in einem vergleichsweise kleinen Volumen, angestrebt werden, und gerade unter diesen Bedingungen vermehrt Schwefelbildung auftritt.

[0023] Im Rahmen einer dritten, besonders bevorzugten Variante wird daher an Stelle von SF_6 unter Anpassung der Gasflüsse NF_3 eingesetzt. Daneben ist, weniger bevorzugt, auch eine Mischung von SF_6 mit NF_3 verwendbar. Das Gas NF_3 hat den Vorteil, dass es bei der Reaktion beispielsweise mit Cl_2 zu ClF_3 keinerlei Rückstände wie Schwefel bilden kann.

Zudem wird Stickstofftrifluorid bei Halbleiterprozessen häufig als Reinigungsgas eingesetzt, d.h. es ist kostengünstig, stabil, in hochreiner Form verfügbar, nicht korrosiv und gilt auch nur als mindergiftig.

[0024] NF_3 verhält sich bei niedrigen Plasmadichten gänzlich anders als bei hohen Plasmadichten. So dominieren bei niedrigen Plasmadichten Bruchstücke der Form NF_x^* , die auch radikalischer Natur sein können (NF_x^*) die Plasmachemie des NF_3 . Deren Merkmale sind eine geringe Selektivität gegenüber Dielektrika, eine vergleichsweise geringe Effizienz des Siliziumabtrags durch relativ geringe Mengen an verfügbaren freien Fluorradikalen aufgrund ausgeprägter Tendenz zu Rekombinationsreaktionen zum Ausgangsprodukt oder zu Zwischenprodukten mit höherem Fluorgehalt, und ein äußerst aggressives Verhalten gegenüber organischen Materialien. Die Summe dieser Eigenschaften macht NF_3 zu einem hervorragenden Reinigungsgas für Plasmadepositionsanlagen und als Scavengergas in Ätzapplikationen, wo die Anregungsdichten in der Regel vergleichsweise niedrig sind. Die Reaktion im Plasma bei niedrigen Plasmadichten verläuft somit gemäß: $\text{NF}_3 \leftrightarrow \text{NF}_x^* + (3-x)\text{F}^*$ mit $x = 1, 2, 3$

[0025] Bei hohen Anregungsdichten bzw. Plasmadichten dominieren dagegen Fluorradikale und N_2 als Endprodukte. In diesem Fall wird NF_3 im Plasma vollständig aufgebrochen, was zur hocheffizienten Bildung von Fluorradikalen und Stickstoffmolekülen führt, wobei letztere aufgrund ihrer hohen chemischen Stabilität bei den weiteren Betrachtungen vernachlässigt werden können. Insbesondere wird durch Bildung des stabilen N_2 -Moleküls eine nachfolgende Einfangreaktion von Fluorradikalen mit Rückreaktion in Richtung Ausgangsprodukte verhindert, d.h. die Tendenz zu Rekombinationsreaktionen ist ähnlich wie im Fall des SF_6 durch das stabile Endprodukt N_2 nur schwach ausgeprägt. Auch im Fall der Reaktionen des erzeugten ClF_3 mit Silizium kann die Gegenwart von Stickstoff vernachlässigt werden. Die Reaktion im Plasma bei hohen Plasmadichten verläuft somit gemäß: $2 \text{NF}_3 \rightarrow \text{N}_2 + 6 \text{F}^*$



[0026] Für eine optimale stöchiometrische Umsetzung ist das optimale Verhältnis der Gasflüsse von NF_3 zu Cl_2 2:1.

[0027] Für den Einsatz in dem Plasmareaktor **100** mit hoher Anregungsdichte, d.h. in dem ein hochdichtes Plasma **105** vorliegt, ist NF_3 somit ein besonders vorteilhaftes Gas, das gemeinsam mit Cl_2 als weiterem Gas zur hocheffizienten ClF_3 -Generation führt. Es liefert unter diesen Bedingungen große Mengen an Fluorradikalen und führt nicht zur Bildung von unerwünschten Verunreinigungen oder Rückständen.

[0028] Als Alternative zu Cl_2 als Reaktionspartner des NF_3 bzw. auch des SF_6 oder F_2 eignet sich weiter

auch gasförmiger Chlorwasserstoff (HCl). Dieses Gas hat gegenüber Cl_2 den Vorteil, dass es ungefährlicher ist, d.h. sich durch seinen sauren Geruch sofort bemerkbar macht, und weniger giftig ist. Zudem ist HCl deutlich weniger korrosiv als Chlor, jedoch muss auch hier ein Zusammentreffen mit Feuchtigkeit stets sorgfältig vermieden werden. Ein Einsatz von HCl gemeinsam mit NF_3 führt zur Bildung von ClF_3 , wobei in einer Nebenreaktion gasförmiger Fluorwasserstoff (HF) gebildet wird, vermöge der Reaktionsgleichung: $4 \text{NF}_3 + 3 \text{HCl} \rightarrow 3 \text{ClF}_3 + 3 \text{HF} + 2 \text{N}_2$

[0029] Das optimale Verhältnis der Gasflüsse von NF_3 : HCl ist 4:3 für eine stöchiometrische Umsetzung. Dem erzeugten Chlortrifluorid ist nun neben unbeachtlichem Stickstoff auch noch HF als Endprodukt beigemischt. Da anhydrides (trockenes) HF im allgemeinen bei der Ätzreaktion des ClF_3 mit Silizium nicht stört und ohne Gegenwart von Feuchtigkeit auch Oxide nicht angreift bzw. Metallflächen nicht korrodiert, kann dieses Begleitgas in der Regel toleriert werden. Falls HF als Gasbestandteil unerwünscht sein sollte, lässt es sich aus dem im Plasmareaktor erzeugten Gas auch selektiv mit Hilfe eines geeigneten Filters, beispielsweise durch Adsorption an Alkalifluoriden oder Metallfluoriden ($\text{NaF} + \text{HF} \rightarrow \text{NaHF}_2$), entfernen.

[0030] Die Durchführung des zuletzt vorgestellten Verfahrens wird nun im Detail im Zusammenhang mit **Fig. 1** weiter erläutert. Dazu wird zunächst das Gas NF_3 aus einem ersten Gasreservoir **21**, beispielsweise einer Gasflasche, und das Gas Cl_2 oder HCl aus einem zweiten Gasreservoir **25**, beispielsweise einer Gasflasche, über einen zugeordneten ersten Massenflussregler **22** bzw. einen zugeordneten zweiten Massenflussregler **26** entnommen und dem Plasmareaktor **100** zugeführt, worin durch hochdichte Plasmaanregung dieser beiden zugeführten Precursorgase und durch Umsetzung der Plasmabruchstücke zu ClF_3 sowie N_2 und, im Fall von HCl , auch HF erzeugt wird, welches über den Gasauslass **20**, der auch als Verbindungsrohr bezeichnet werden kann bzw. dient, der eigentlichen Prozesskammer **10** zur Ätzung des Halbleitersubstrates **30** zugeführt wird.

[0031] Der Gasauslass **20** ist bevorzugt in Form eines metallischen Rohres ausgeführt und trennt das hochdichte Plasma **105** bzw. den Plasmareaktor **100** von der Prozesskammer **10**. Damit wird zumindest ein Teil der geladenen Teilchen in dem hochdichten Plasma **105** auf dem Weg von dem Plasmareaktor **105** zu der Prozesskammer **10** in dem Gasauslass **20** entladen und somit die Prozesskammer **10** von dem Plasmareaktor **100** elektrisch entkoppelt. Weiter können in den Gasauslass **20** alternativ oder zusätzlich auch metallische Netze eingesetzt sein, die der voll-ständigen bzw. weiteren elektrischen Entkopplung der Prozesskammer **10** von dem Plasmareaktor **100** dienen.

[0032] Die **Fig. 1** zeigt dazu einen induktiv gekoppelten, hochfrequenzerregten Plasmareaktor **100**, wobei um ein Rohr aus Quarzglas oder bevorzugt ei-

ner Aluminiumoxidkeramik, das zur Vermeidung von Partikelgeneration bevorzugt innenwandig poliert ist, eine Spule **110** gewickelt ist, mit der eine Hochfrequenzleistung bzw. ein hochfrequentes elektromagnetisches Wechselfeld in das Innere des Reaktors **100** eingekoppelt wird. Dieses treibt darin über einen großen Arbeitsbereich des Drucks und der Gasflüsse ein hochdichtes induktives Plasma **105**. Die Ankopplung der von einem Hochfrequenzgenerator **130** erzeugten Hochfrequenz an die Spule **110** geschieht über ein übliches Anpassnetzwerk **120**, eine sogenannte "Matchbox", die die Impedanzanpassung des Ausgangs des Hochfrequenzgenerators an das induktive Plasma **105** gewährleistet. Bevorzugte Hochfrequenzleistungen liegen je nach Gasfluss bei 200 Watt bis 3 kW, wobei beispielsweise eine Frequenz von 13,56 MHz eingesetzt wird. Die Gasflüsse der Precursorgase NF_3 und Cl_2 oder HCL in den Plasmareaktor **100** liegen bevorzugt bei 100 sccm bis 1 slm NF_3 und entsprechend dem optimalen stöchiometrischen Mischungsverhältnis von 2:1 gegenüber Cl_2 bzw. 4:3 gegenüber HCL bei 50 sccm bis 500 sccm Cl_2 bzw. 75 sccm bis 750 sccm HCL. Die Arbeitsdrücke im Plasmareaktor **100** entsprechen den in der Prozesskammer **10** bevorzugt eingesetzten Drücken, d.h. sie liegen zwischen 1 mbar und 100 mbar, vorzugsweise 10 mbar bis 30 mbar. Bei diesem Druck lassen sich hochdichte induktive Plasmen in Rohren mit Querschnitten von einigen cm bis etwa 10 cm und entsprechend hoher Anregungsdichte noch stabil betreiben. Das Zünden des hochdichten Plasmas **105** kann durch eine in die Prozesskammer **100** integrierte Hilfselektrode **190**, insbesondere in Form einer Metallspitze, erleichtert werden, die mit Hochspannungspulsen, beispielsweise von einem Induktor oder einer Zündspule, beaufschlagt wird.

[0033] Die Fig. 2 zeigt eine zweite Möglichkeit zur Erzeugung des hochdichten Plasmas **105**. Dazu wird erneut ein rohrförmiger Plasmareaktor **100** aus Quarzglas oder bevorzugt einer Aluminiumoxidkeramik verwendet, wobei auf eine gute Oberflächenqualität, d.h. polierte Innenwände des Plasmareaktors **100** insbesondere im Fall der Ausführung aus Aluminiumoxidrohr zu achten ist. Dies führt zu besonders günstigen Mikrowelleneigenschaften des Plasmareaktors **100**, da die Mikrowellenleitung über die gesamte Länge des rohrförmigen Reaktors **100** in einer Grenzschicht zwischen dielektrischer Wandung und erzeugtem Plasma ("Surfatron-Effekt") sehr sensibel auf die Oberflächenqualität reagiert. Darüber hinaus wird bevorzugt eine besonders hochwertige Aluminiumoxidkeramik mit einem Al_2O_3 -Anteil von mehr als 99,5 %, vorzugsweise mehr als 99,9 %, eingesetzt, um unerwünschte Mikrowellenabsorptionen zu vermeiden und den Surfatron-Effekt zu verstärken.

[0034] Der rohrförmige Plasmareaktor **100** durchquert gemäß Fig. 2 in einer gekreuzten Anordnung einen Mikrowellenhohlleiter **150**, der über einen Zirkulator **160** zur Modenfeldanpassung und Trennung von Vorwärts- und Rückwärtsleistung aus einem Ma-

gnetron **170** mit Mikrowellenleistung gespeist wird. Zusätzlich verfügt der Hohlleiter **150** über einen einstellbaren Hohlleiterabschluss **180**, einen sogenannten "Terminator", sowie Abstimmeelemente **155**, sogenannte "studs", zur Anpassung an das im Plasmareaktor **100** generierte hochdichte Plasma **105** und zur optimalen Einstellung des Surfatron-Effekts. Insofern bildet sich durch Expansion des Mikrowellenfeldes zumindest nahezu auf der gesamten Länge des rohrförmigen Plasmareaktors **100** das hochdichte Plasma **105** aus. Der Hohlleiter **150** ist an geeigneter Stelle durchbohrt, so dass der Plasmareaktor **100** hindurch gesteckt werden kann. Im Übrigen sind natürlich geeignete, nicht dargestellte Mikrowellenabschirmungen gegen die Umgebung vorzusehen, um einen sicheren Betrieb zu ermöglichen. In einer longitudinalen Anordnung befindet sich der Plasmareaktor **100** innerhalb des Hohlleiters **150**, also zwischen den Abstimmeelementen **155** und dem Hohlleiterabschluss **180**.

[0035] Durch Abgleich der Abstimmeelemente **155** und entsprechender Positionierung des Hohlleiterabschlusses **180** wird erreicht, dass sich der Plasmareaktor **100** in einem günstigen Feldbereich befindet und damit eine effiziente Plasmaanregung sichergestellt ist. Es werden bevorzugt Mikrowellenleistungen von 200 W bis 6 kW bei einer Frequenz von vorzugsweise 2,45 GHz eingesetzt, da bei dieser Frequenz kostengünstige Magnetrons **170** großer Leistung verfügbar sind. Auch hier kann das Zünden des hochdichten Plasmas **105** kann durch eine in die Prozesskammer **100** integrierte Hilfselektrode **190** wie vorstehend erläutert erleichtert werden.

[0036] Die Prozesskammer **10** weist sowohl bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 als auch gemäß Fig. 2 eine Substratelektrode **40** auf, auf der ein Siliziumwafer als Halbleitersubstrat **30** geklemmt werden kann. Bevorzugt erfolgt diese Klemmung über eine Klemmeinrichtung **41**, beispielsweise einen elektrostatischen Chuck, durch die auch die aufliegende Seite des Halbleitersubstrates **30** vor den Gasen in der Prozesskammer **10** geschützt ist. Die aufliegende Seite des Halbleitersubstrates **30** wird ferner bevorzugt mit He beaufschlagt, um eine gute thermische Anbindung an die Substratelektrode **41** und eine zusätzliche Isolation gegen die Gase der Prozesskammer **10** zu erreichen.

[0037] Die Substratelektrode **40** weist ferner elektrische Zuführungen bzw. Abführungen **42** für die Klemmeinrichtung **41** und eine gegebenenfalls vorgesehene elektrische Heizung auf, die in der Substratelektrode **41** zur Temperaturkontrolle bzw. Temperatureinstellung vorgesehen sein kann. Bevorzugt können über die elektrischen Zuführungen bzw. Abführungen **42** auch Messdaten nach Außen übertragen werden, beispielsweise die Elektrodentemperatur oder der Heliumrückseitendruck.

[0038] Des weiteren weist die Substratelektrode **40** eine Gaszufuhr bzw. Gasabfuhr **43** auf, über die vorzugsweise He als Konvektionsmedium zur Kühlung

des Halbleitersubstrates **30** mit einem einstellbaren Druck zu- bzw. abführbar ist.

[0039] Eine weitere Zufuhr bzw. Abfuhr **44** erlaubt die Zirkulation eines Kältemittels durch die Substratelektrode **40**, um deren Temperatur einzustellen und insbesondere eine auf dem Halbleitersubstrat **30** entstehende Reaktionswärme aus einer exothermen Ätzreaktion abzuführen. Die Substrattemperatur beträgt bevorzugt -30°C bis 30°C für optimale Ätzbedingungen und Maskenselektivität. Als Kältemittel können Fluorinerts[®] oder Ethylenglykol-Wassergemische eingesetzt werden.

[0040] Die Prozesskammer **10** weist weiter zwei Pumpstände mit einer ersten Pumpe **60**, insbesondere einer Turbomolekularpumpe, und einer zweiten Pumpe **80**, insbesondere einer Drehschieberpumpe, auf, die in dem Sinne gekoppelt sein können, dass die Drehschieberpumpe **80** zeitweise auch als Vorpumpe für die Turbomolekularpumpe **60** dienen kann. Die Drehschieberpumpe **80**, die vorzugsweise als Trockenläuferpumpe ausgeführt ist, dient zum "Roughing" der ganzen Anlage **5** nach einem Belüften und als Prozesspumpe, um die Prozessgase während der Durchführung eines Ätzprozesses abzupumpen. Zur Druckregelung dient ein Regelventil **70**. Die Druckmessung geschieht über einen Druckmesser **90**, der als Baratron bzw. als kombiniertes Baratron und Ionivac ausgeführt sein kann. Druckmesser **90** und Regelventil **70** werden dazu benützt, um den gewünschten Prozessdruck von vorzugsweise 5 bis 100 mbar, insbesondere 10 bis 30 mbar, während der Prozessierung des Halbleitersubstrates **30** stabil einzustellen.

[0041] Die Turbopumpe **60** in Verbindung mit einem Absperrventil **50** dient dazu, vor und nach der Prozessierung ein möglichst gutes Endvakuum zu erreichen, beispielsweise besser als 10^{-4} Pa. Dies ist wichtig, da, wie erwähnt, einerseits Restfeuchtigkeit in der Prozesskammer **10** oder auf dem Halbleitersubstrat **30** den durchgeführten Ätzprozess stört, andererseits aber auch Reste der Prozessgase vor dem Ausladen des Halbleitersubstrates **30** beseitigt werden sollten. Während des Prozesses wird die Turbopumpe **60** über das Absperrventil **50** von der Prozesskammer **10** abgetrennt, da sie bei Prozessdrücken im mbar-Bereich nicht einsetzbar ist.

[0042] Im Folgenden wird die Prozessierung eines Siliziumwafers als Halbleitersubstrat **30** in der Prozesskammer **10** mit den erläuterten Anbauteilen, die die Ätzanlage **6** bilden, der die erläuterte Vorrichtung **5** zur Erzeugung von ClF_3 vorgeschaltet ist, weiter im Detail erläutert.

[0043] Dazu wird, der, Siliziumwafer zunächst in die Ätzanlage **6** eingeschleust und auf der Substratelektrode **40** geklemmt. Die Turbopumpe **60** pumpt nun so lange die Kammer **10** und die daran angeschlossene Mimik der Gasversorgung mit dem Plasmareaktor **100**, bis das gewünschte Basisvakuum erreicht ist. Dann wird das Ventil **50** geschlossen und die Turbopumpe **60** ausgeschaltet. Mittels der Massenfluss-

regler **22**, **26** werden nun die gewünschten Mengen der Prozessgase zugeführt, beispielsweise 100 sccm bis 1 slm NF_3 und 50 sccm bis 500 sccm Cl_2 oder 75 sccm bis 750 sccm HCl . Außerdem wird die Plasma-reaktion in dem Plasmareaktor **100** nach Stabilisierung der Gasflüsse durch Einschalten des Hochfrequenzgenerators **130** an die induktive Plasmaquelle bzw. die Spule **110** bzw. durch Einschalten des Magnetrons **170** an die Hohlleiteranordnung **150** gestartet. Der Druck in der Prozesskammer **10** und damit auch in dem vorgeschalteten Plasmareaktor **100** wird mittels des Druckmessers **90** gemessen und mittels der Kombination aus Drehschieberpumpe **80** und Regelventil **70** auf dem gewünschten Wert stabilisiert. Der Siliziumwafer wird dann durch die Zufuhr des in dem Plasmareaktor **100** aus den Precursorgasen generierten ClF_3 geätzt. Danach wird die Hochfrequenz- bzw. Mikrowellenzufuhr zum Plasmareaktor **100** abgeschaltet, die Prozessgaszufuhr gestoppt und die Prozesskammer **10** sowie die Mimik der Gasversorgung mit dem Plasmareaktor **100** leer gepumpt. Zuletzt übernimmt die Turbopumpe **60** bei geöffnetem Ventil **50** das Pumpen auf einen möglichst niedrigen Enddruck, beispielsweise besser als 10^{-4} Pa. Dabei ist das Regelventil **70** vor der Drehschieberpumpe **80** geschlossen, d.h. die Drehschieberpumpe **80** kann während dieser Zeit als Vorpumpe für die Turbopumpe **60** eingesetzt werden. Ist der Basisdruck erreicht, wird der Siliziumwafer in eine angeschlossene Schleusenvorrichtung ausgeladen.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Erzeugung von Chlortrifluorid mit einem Plasmareaktor (**100**) und Plasmaerzeugungsmitteln (**110**, **120**, **130**, **150**, **155**, **160**, **170**, **180**), mit denen im Inneren des Plasmareaktors (**100**) ein hochdichtes Plasma (**105**) erzeugbar ist, wobei Gaszufuhrmittel (**21**, **25**, **22**, **26**) vorgesehen sind, mit denen dem Plasmareaktor (**100**) ein erstes Gas und ein zweites Gas zuführbar sind, die unter dem Einfluss des hochdichten Plasmas (**105**) in dem Plasmareaktor (**100**) unter Bildung von Chlortrifluorid miteinander reagieren, und wobei ein Gasauslass (**20**) vorgesehen ist, mit dem das gebildete Chlortrifluorid aus dem Plasmareaktor (**100**) abführbar ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Plasmaerzeugungsmittel eine Spule (**110**), ein Anpassnetzwerk (**120**) und einen Hochfrequenzgenerator (**130**) umfassen.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Plasmaerzeugungsmittel einen Mikrowellenhohlleiter (**150**), Abstimmelemente (**155**), ein Magnetron (**170**), einen Zirkulator (**160**) sowie einen Hohlleiterabschluss (**180**) umfassen.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Plasmareaktor (**100**) ein

Quarzrohr oder einen hohlen Quarzkörper, insbesondere mit polierter Innenwand, oder ein Keramikrohr oder einen hohlen Keramikkörper, insbesondere mit polierter Innenwand und/oder aus Aluminiumoxid, umfasst.

5. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Gaszufuhrmittel (**21**, **22**, **25**, **26**) einen ersten Massenflussregler (**22**) umfassen, mit der die Menge des ersten Gases, das dem Plasmareaktor (**100**) zugeführt wird, einstellbar ist, und dass die Gaszufuhrmittel (**21**, **22**, **25**, **26**) einen zweiten Massenflussregler (**26**) umfassen, mit der die Menge des zweiten Gases, das dem Plasmareaktor (**100**) zugeführt wird, einstellbar ist.

6. Anlage zur Ätzung von Halbleitersubstraten, insbesondere Siliziumwafern, mit einer Vorrichtung (**6**) nach einem der vorangehenden Ansprüche, der eine Prozesskammer (**10**) zugeordnet ist, die über den Gasauslass (**20**) mit dem Plasmareaktor (**100**) verbunden ist, wobei das Halbleitersubstrat (**30**) in der Prozesskammer (**10**) angeordnet und dem von der Vorrichtung (**5**) zur Erzeugung von Chlortrifluorid erzeugten gasförmigen Chlortrifluorid ausgesetzt ist.

7. Verfahren zur Erzeugung von Chlortrifluorid, wobei in einem Plasmareaktor (**100**) ein hochdichtes Plasma (**105**) erzeugt wird, und wobei dem Plasmareaktor (**100**) ein erstes Gas und ein zweites Gas geführt werden, die unter dem Einfluss des hochdichten Plasmas (**105**) in dem Plasmareaktor (**100**) unter Bildung von Chlortrifluorid miteinander reagieren.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das hochdichte Plasma (**105**) mittels induktiver Hochfrequenzanregung oder Mikrowellenanregung erzeugt wird,

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass als erstes Gas ein Gas eingesetzt wird, das Cl_2 oder HCl enthält oder daraus besteht, und dass als zweites Gas ein Gas eingesetzt wird, das NF_3 , F_2 , SF_6 enthält oder daraus besteht.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass dem Plasmareaktor (**100**) oder einer dem Plasmareaktor (**100**) nachgeordneten Prozesskammer (**10**) als weiteres Gas Sauerstoff zugeführt wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das erzeugte Chlortrifluorid mittels eines dem Plasmareaktor (**100**) nachgeschalteten Filters von weiteren Gasbestandteilen, insbesondere Fluorwasserstoff getrennt wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Gas und das zweite Gas dem Plasmareaktor (**100**) derart zu-

geführt werden, dass in dem hochdichten Plasma (**105**) Fluoratome und Chloratome, insbesondere in Form von Radikalen oder reaktiven Spezies, im Verhältnis 3:1 vorliegen.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass das hochdichte Plasma (**105**) mit einer Dichte an Radikalen oder reaktiven Spezies von mindestens 10^{11} Teilchen pro cm^3 , insbesondere mindestens 10^{12} Teilchen pro cm^3 , erzeugt wird.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

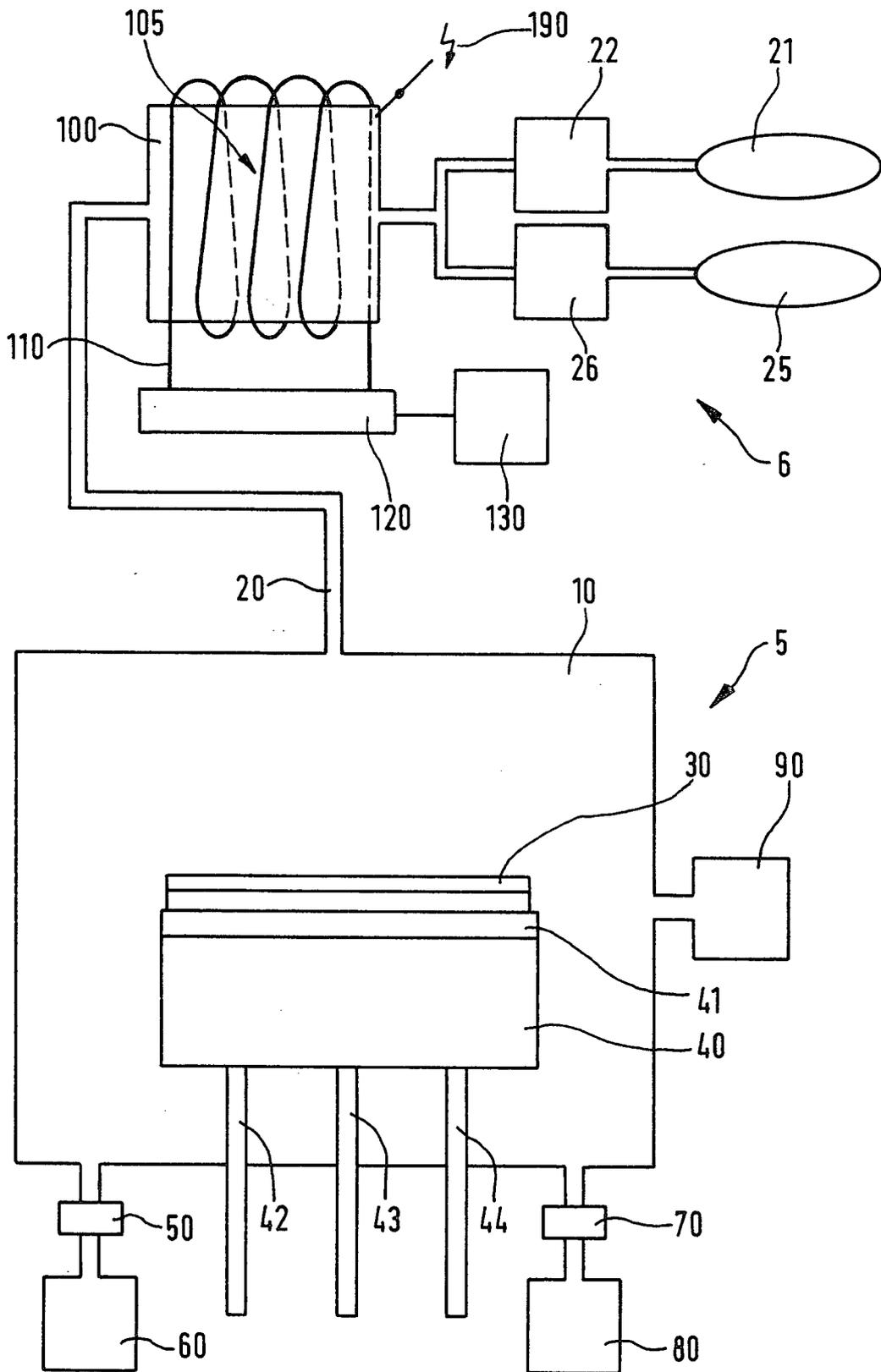


FIG. 1

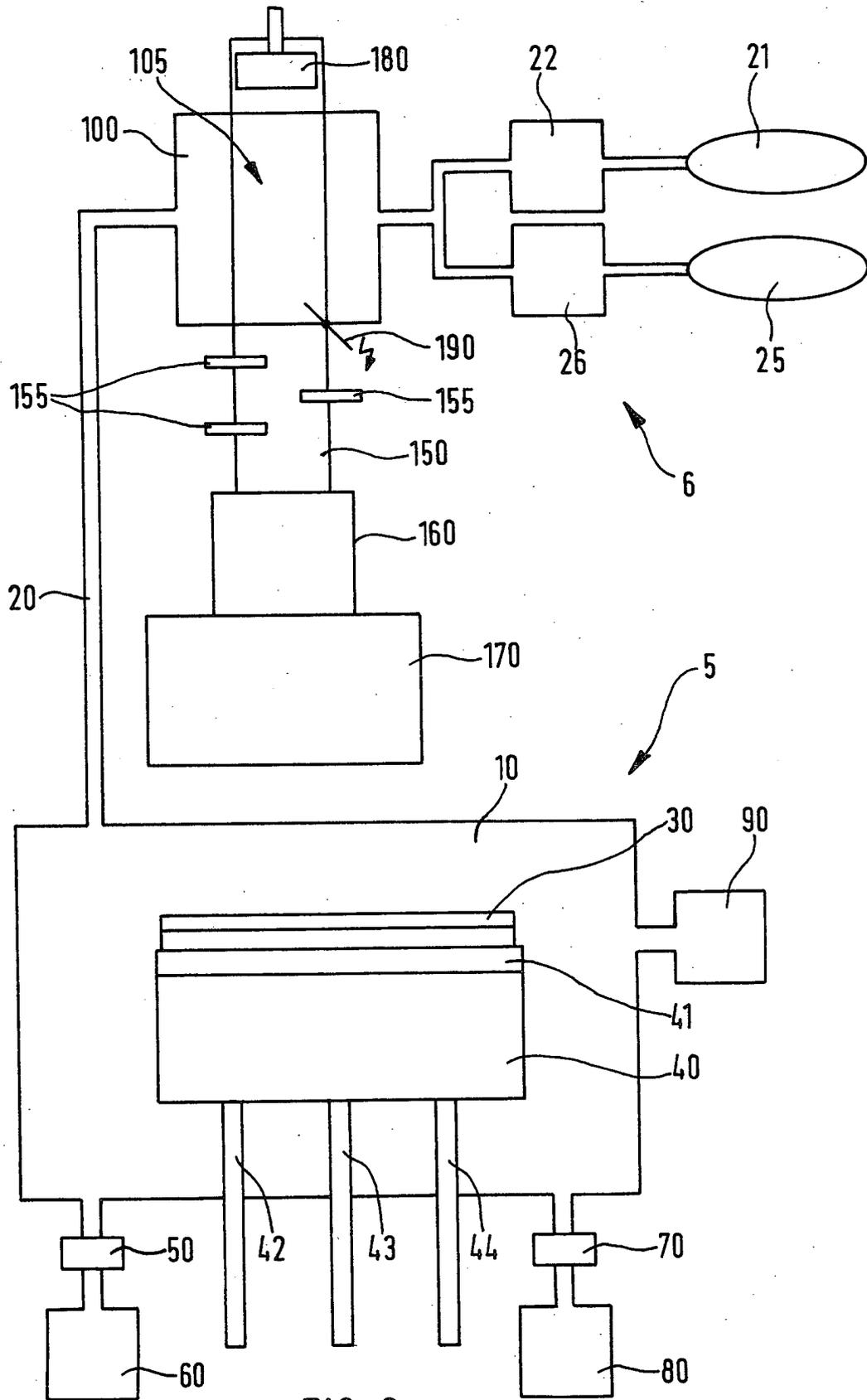


FIG. 2