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

(10) **DE 699 08 101 T2** 2004.02.19

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 064 416 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 08 101.7**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US99/06326**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 912 836.6**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 99/047728**
(86) PCT-Anmeldetag: **22.03.1999**
(87) Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung: **23.09.1999**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **03.01.2001**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **21.05.2003**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **19.02.2004**

(51) Int Cl.[7]: **C23C 16/40**
H01L 21/3105, H01J 37/32

(30) Unionspriorität:
45278 **20.03.1998** **US**

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

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

(72) Erfinder:
ROSSMAN, Kent, San Jose, US

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

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN ZUM BESCHICHTEN UND ÄTZEN EINER DIELEKTRISCHEN SCHICHT**

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

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf die Herstellung von integrierten Schaltkreisen. Insbesondere ist die vorliegende Erfindung gerichtet auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Steigern der Abscheidungsgeschwindigkeit einer konformen, dielektrischen Schicht mit ausgezeichneten Lückenfüllungs-Eigenschaften, die über eine gestufte Oberfläche abgeschieden wird.

[0002] Geometrien von Halbleitereinrichtungen nehmen in ihrer Größe weiter ab und führen zu mehreren Einrichtungen pro Einheitsfläche eines vorgefertigten Wafers. Gegenwärtig werden einige Einrichtungen mit Formdimensionen von bis zu 0,18 μm gefertigt. Zum Beispiel können Leiterbahnen oder -spuren eines gemusterten Wafers um 0,18 μm voneinander getrennt werden, indem Aussparungen oder Lücken vergleichbarer Größe belassen werden. Eine nicht leitfähige Schicht aus dielektrischem Material, wie einem Siliziumdioxid, wird typischerweise über den Ausformungen abgeschieden, um die vorerwähnte Lücke zu füllen und die Formen von anderen Formen des integrierten Schaltkreises in angrenzenden Schichten oder von angrenzenden Formen in der gleichen Schicht zu trennen.

[0003] Ein mit Abnahme der Formdimensionen der integrierten Schaltkreise auftretendes Problem ist, daß es schwierig wird, die Lücken zwischen benachbarten Leiterbahnen vollständig zu füllen. Dieses Problem wird als das Lücken-Füllproblem bezeichnet und wird unten in Verbindung mit den **Fig.** 1 und 2 beschrieben. **Fig.** 1 zeigt eine vertikale Schnittansicht eines Substrats **10**, wie einer Halbleiterplatte, mit einer Schicht von Leiterformen **12**, welche als **14** gezeigte Lücken begrenzen. Die Seitenwände **16** der Lücke werden durch eine Kante benachbarter Leiterformen **12** gebildet. Während der Abscheidung akkumuliert dielektrisches Material **18** auf den Oberflächen **20** der Leiterformen **12** sowie des Substrats **10** und bildet Überhänge **22**, die an den Ecken **24** der Leiterformen **12** liegen. Wenn sich die Abscheidung der dielektrischen Schicht **16** fortsetzt, wachsen die Überhänge **22** typischerweise schneller zusammen als die Lücke **14** gefüllt ist und bis eine dielektrische Schicht **26** geformt ist, wodurch ein innerer Hohlraum **28** erzeugt wird, was in **Fig.** 2 deutlicher gezeigt ist. Auf diese Weise verhindert die dielektrische Schicht **26** eine Abscheidung in den inneren Hohlraum **28**. Der innere Hohlraum **28** kann für die Fertigung, die Funktionsweise und die Zuverlässigkeit der Einrichtung problematisch sein.

[0004] Viele unterschiedliche Techniken wurden durchgeführt, um die Lückenfüllungs-Eigenschaften dielektrischer Schichten zu verbessern, einschließlich Abscheidungstechniken unter Rückätzung (Dep-Ätzung). Eine solche Dep-Ätztechnik beinhaltet ein physikalisches Sputtern der dielektrischen Schicht durch Ionenbeschuß, um die Formation von Lücken während des Abscheidungsprozesses zu verhindern. Die Effekte der Dep-Ätztechniken unter physikalischen Sputtern sind in **Fig.** 3 gezeigt. Wie in **Fig.** 3 gezeigt ist, übertragen auf das dielektrische Material auftreffende Ionen **30** durch Kollision Energie darauf und erlauben Atomen **32**, lokale Bindungskräfte zu überwinden und von diesem weg zu springen. Während der Dep-Ätztechnik füllt dielektrisches Material die Lücke **14** und bildet eine Oberfläche **34**. Die Oberfläche **34** liegt in einer Ebene, die sich schräg zu den Seitenwänden **16** erstreckt und üblicherweise als eine Facette bezeichnet wird. Die Dep-Ätztechnik kann sequentiell angewendet werden, so daß die dielektrische Schicht **26** abgeschieden wird und dann daraufhin geätzt wird, gefolgt durch die Abscheidung zusätzlichen dielektrischen Materials. Alternativ können der Abscheidungsprozeß und der Ätzprozeß konkurrierend auftreten. Ob nun die Abscheidung und der Ätzvorgang sequentiell oder konkurrierend erfolgen, die erstrangigen Effekte auf die Oberfläche des Profils der dielektrischen Schicht **26** sind die gleichen.

[0005] Mit Bezug auf die **Fig.** 3 und 4, nach einer ausgedehnten Dep-Ätztechnik, hat der Bereich der dielektrischen Schicht **26**, der angrenzend an die Ecken **24** positioniert ist, ungeachtet des Abstands zwischen den Leiterformen **12**, eine Oberfläche **34**, die einen schrägen Winkel in Bezug auf die Ebene bildet, in welcher das Substrat **10** liegt. Danach kann eine Planarisierung durch eine ausgedehnte Planarisierung-Ätztechnik herbei geführt werden, bei welcher ein physikalisches Sputtern mit der Abscheidung in Ausgleich gebracht wird, so daß sehr schmale Formen vollständig planarisiert werden. Alternativ kann ein separater Planarisierungsprozeß verwendet werden, der in der Lage ist, die verbleibenden Schritte der großen Formen auszugleichen oder zu beseitigen.

[0006] Typischerweise wird ein chemisches Plasma nutzendes Gasphasenabscheidungs-(CVD)-Verfahren verwendet, um eine dielektrische Schicht unter Verwendung der Dep-Ätztechnik abzuscheiden. Zum Beispiel können ein plasmaverstärktes chemisches Gasphasenabscheidungs-(PECVD)-Verfahren oder ein hochdichtes Plasma nutzendes chemisches Gasphasenabscheidungsverfahren, wie ein chemisches Gasphasenabscheidungsverfahren mit Elektronencyclotronresonanz (ECR-CVD) verwendet werden. Die Plasma-CVD-Verfahren erlauben typischerweise die Abscheidung von Filmen hoher Qualität bei niedrigerer Temperatur und mit schnelleren Abscheidungsgeschwindigkeiten, als sie typischerweise bei Verwendung nur thermisch aktivierter CVD-Verfahren möglich sind. Die Abscheidungsgeschwindigkeiten, die unter Verwendung herkömmlicher Plasma-CVD-Verfahren verfügbar sind, sind jedoch noch relativ niedrig.

[0007] Was benötigt wird, ist ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Abscheiden einer konformen dielek-

trischen Schicht über einer gestuften Oberfläche eines Substrats mit beträchtlich höheren Geschwindigkeiten als dies vorher im Stand der Technik möglich war.

[0008] Die US-A-4,690,746 bezieht sich auf eine plasmaverstärkte chemische Gasphasenabscheidung (PECVD) und eine Ionensputter-Ätzung.

[0009] Die US-A-4,732,761 bezieht sich auf eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Formen eines dünnen Films, wie einen Isolatorfilm, um eine Oberfläche einer Halbleitereinrichtung mit konvexen und konkaven Regionen zu planarisieren.

[0010] Die vorliegende Erfindung liefert ein Verfahren zum Abscheiden einer konformen Schicht auf einem Substrat, das in einer Behandlungskammer angeordnet ist, der ein Druck zugeordnet ist, wobei das Verfahren die Zufuhr eines Abscheidungsgases und eines Inertgases in die Kammer, die Bildung eines Plasmas in der Kammer, die selektive Steigerung der Konzentration des Inertgases in der Behandlungskammer ohne Steigerung des Druckes in der Kammer aufweist und sich dadurch auszeichnet, daß der Schritt der selektiven Steigerung der Konzentration des Inertgases während einer Zeitdauer in einem Bereich von 10 bis 15 Sekunden einschließlich durchgeführt wird.

[0011] Eine dielektrische Schicht kann unter Verwendung eines hochdichten Plasma nutzenden chemischen Gasphasenabscheidungs-(HDP-CVD)-Systems, wie einem Ultima HDP-CVD-System von Applied Materials, Inc., abgeschieden werden. Typischerweise können Lücken mit einem hohen Seitenverhältnis von bis zu 2,5 : 1 auf einem Substrat vorhanden sein, auf welchem die dielektrische Schicht abgeschieden werden soll, wobei das Substrat in einer Behandlungskammer des HDP-CVD-Systems positioniert ist. Abscheidungsgase, wie ein Gas aus einer Siliziumquelle und ein Gas aus einer Sauerstoffquelle, werden zusammen mit einem Inertgas quer über die Oberfläche des Substrats geführt. Ein HF-Quellengenerator und HF-Vorspannungsgenerator stehen jeweils in elektrischer Verbindung mit der Behandlungskammer, um aus den Behandlungsgasen und dem Inertgas ein Plasma zu bilden.

[0012] Ein wichtiger Gesichtspunkt während der Dep-Ätztechnik ist, daß das Abscheidungs-zu-Ätzung-Verhältnis (Dep-Ätzverhältnis) innerhalb eines vorbestimmten Bereichs gehalten wird, um so eine Überätzung und eine Formation von Innenlücken zu verhindern. Die vorliegende Erfindung hält das Dep-Ätzverhältnis innerhalb eines geeigneten Bereichs, um eine Überätzung zu verhindern, während gleichzeitig die Abscheidungsgeschwindigkeit der dielektrischen Schicht gesteigert wird, um eine 100%ige Lückenfüllung der Lücken mit einem Seitenverhältnis von bis zu 2,5 : 1 zu schaffen. Dies wird erreicht durch eine rapide Steigerung der Ätzgeschwindigkeit in der dielektrischen Schicht, welche eine Steigerung der Abscheidungsgeschwindigkeit bei gleichzeitiger Beibehaltung eines geeigneten Dep-Ätzverhältnisses erlaubt. Ganz speziell wurde entdeckt, daß die Ätzgeschwindigkeit in einer dielektrischen Schicht nicht nur abhängig ist von dem Druck der Behandlungskammer, sondern auch von der Konzentration des darin befindlichen Inertgases. Die Ätzgeschwindigkeit hat sich als umgekehrt proportional zu dem Druck in der Behandlungskammer und proportional zu der Konzentration des darin vorhandenen Inertgases ergeben. Durch ein selektives Beenden des Stromes der Abscheidungsgase in die Behandlungskammer, was als eine gestaffelte in-situ Abscheidungstechnik bezeichnet wird, kann der darin vorhandene Druck vermindert oder beibehalten werden, während sich die Inertgaskonzentration erheblich steigert. Auf diese Weise wird die Ätzgeschwindigkeit der dielektrischen Schicht erheblich gesteigert. Die gesteigerte Ätzgeschwindigkeit erlaubt eine Steigerung der Abscheidungsgeschwindigkeit bei Verwendung irgendeiner Abscheidungstechnik, die der Fachwelt bekannt ist. Dies vermindert die notwendige Zeit, um die dielektrische Schicht abzuscheiden, während gleichzeitig ein gewünschtes Dep-Ätzverhältnis beibehalten wird, um der dielektrischen Schicht bessere lückenfüllende Eigenschaften zu verleihen.

[0013] In einer bevorzugten Ausführungsform umfaßt das Gas aus der Silizumquelle ein Silangas, SiH_4, und umfaßt das Gas aus der Sauerstoffquelle ein Gas aus molekularem Sauerstoff, O_2. Die Inertgasquelle ist Argon, Ar. Der HF-Quellengenerator arbeitet bei einer Quellen-Frequenz von etwa 2 MHz und einem Quellen-Leistungspegel zwischen etwa 12 und 16 W/cm^2. Der HF-Vorspannungsgenerator arbeitet bei einer Frequenz von etwa 13,56 MHz und einem Leistungspegel zwischen etwa 7 und 13 W/cm^2. Der Druck der Behandlungskammer kann zwischen etwa 0,3 und 1,3 Pa (2 und 10 Millitorr) betragen, wobei 0,5 bis 0,7 Pa (4 bis 5 Millitorr) der bevorzugte Druckbereich ist. Um die dielektrische Schicht abzuscheiden, werden die Silan-, Sauerstoff und Argongase in die Behandlungskammer geführt. Ganz speziell wird Silan in die Behandlungskammer mit einer Strömungsgeschwindigkeit im Bereich von 40 bis 120 Standard Kubikzentimeter pro Minute (sccm) geführt. Sauerstoff wird in die Behandlungskammer mit einer Strömungsgeschwindigkeit im Bereich von 80 bis 250 sccm geführt, und Argon wird in die Behandlungskammer bei einer Strömungsgeschwindigkeit im Bereich von 40 bis 120 sccm geführt. Während des Abscheidungsverfahrens werden entweder der Silanstrom, der Sauerstoffstrom oder beide wahlweise reduziert, um so die Konzentration des über das Substrat strömenden Argon zu erhöhen. Typischerweise werden der Strom sowohl des Silans als auch des Sauerstoffs für etwa 1,5 Sekunden beendet, währenddessen die Konzentration des in der Behandlungskammer vorhandenen Argons etwa 100% beträgt. Während einer verlängerten Dep-Ätztechnik werden die Strömung entweder des Silans oder des Sauerstoffs oder beider Gase periodisch für eine vor-

bestimmte Zeitdauer reduziert und/oder beendet. Auf diese Weise kann die Ätzgeschwindigkeit wesentlich erhöht werden auf 600 nm pro Minute (6000 Å) pro Minute, was eine Steigerung bei der Abscheidungsgeschwindigkeit auf 1000 nm pro Minute (10.000 Å pro Minute) erlaubt, während gleichzeitig ein geeignetes Dep-Ätzverhältnis beibehalten wird.

[0014] Für ein weiteres Verständnis der Aufgaben und Vorteile der vorliegenden Erfindung sollte Bezug genommen werden auf die folgende detaillierte Beschreibung in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0015] **Fig.** 1 ist eine vertikale Schnittansicht eines Substrats, welche die Akkumulierung eines dielektrischen Materials auf damit verbundenen Leiterformen bei Verwendung von Abscheidungsverfahren des Standes der Technik zeigt;

[0016] **Fig.** 2 ist eine vertikale Schnittansicht des in **Fig.** 1 gezeigten Substrats, die einen dem Abscheidungsverfahren des Standes der Technik zugeordneten inneren Hohlraum zeigt;

[0017] **Fig.** 3 ist eine vertikale Schnittansicht des in den **Fig.** 1 und 2 gezeigten Substrats, in welcher ein Abscheidungsverfahren nach dem Stand der Technik verwendet wird, um den in **Fig.** 2 gezeigten inneren Hohlraum zu beseitigen;

[0018] **Fig.** 4 ist eine vertikale Schnittansicht des in den **Fig.** 1, 2 und 3 gezeigten Substrats, welche die Kontur einer dielektrischen Schicht zeigt, die unter Verwendung eines Abscheidungs-Ätzverfahrens des Standes der Technik abgeschieden wurde;

[0019] **Fig.** 5 ist ein vereinfachtes Diagramm einer Ausführungsform eines HDP-CVD-Systems gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0020] **Fig.** 6 ist ein vereinfachtes Diagramm eines Monitors und eines Leuchtstifts, die in Verbindung mit der beispielsweisen CVD-Behandlungskammer aus **Fig.** 5 verwendet werden können;

[0021] **Fig.** 7 ist ein Flußdiagramm eines beispielhaften Computerprogrammprodukts zur Verfahrenssteuerung, das verwendet wird, um die beispielsweise CVD-Behandlungskammer aus **Fig.** 5 zu steuern;

[0022] **Fig.** 8 ist eine Schnittansicht eines integrierten Schaltkreises, der unter Verwendung der vorliegenden Erfindung ausgebildet ist;

[0023] **Fig.** 9 ist eine Schnittansicht eines Substrats, das bei der vorliegenden Erfindung verwendet wird;

[0024] **Fig.** 10 ist ein Flußdiagramm des Verfahrens nach der vorliegenden Erfindung;

[0025] **Fig.** 11 ist eine Schnittansicht des in **Fig.** 10 gezeigten Substrats, wobei eine lückenfüllende dielektrische Schicht darauf abgeschieden ist;

[0026] **Fig.** 12 ist eine graphische Darstellung, welche die Beziehung zwischen dem Kammerdruck und der Ätzgeschwindigkeit der in **Fig.** 11 gezeigten dielektrischen Schicht zeigt;

[0027] **Fig.** 13 ist eine graphische Darstellung, welche die Beziehung zwischen der Argonkonzentration in einer Behandlungskammer des in **Fig.** 5 gezeigten HDP-CVD-Systems und der Ätzgeschwindigkeit der in **Fig.** 12 gezeigten dielektrischen Schicht zeigt; und

[0028] **Fig.** 14 ist ein Fluißdiagramm einer alternativen Ausführungsform des oben in **Fig.** 10 gezeigten Verfahrens.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

I. Einführung

[0029] In einer Ausführungsform wird eine aus Siliziumdioxid gebildete, konforme, dielektrische Schicht unter Verwendung eines Standard HDP-CVD-Systems auf einem gestuften Substrat abgeschieden. Eine hohe Abscheidungsgeschwindigkeit wird erreicht, indem der Strom des Abscheidungsgases in eine Behandlungskammer, in welcher ein Substrat mit einer gestuften Oberfläche, die mit der konformen dielektrischen Schicht überdeckt werden soll, angeordnet ist, selektiv verringert wird. Durch die selektive Verringerung des Stroms der Abscheidungsgase in die Behandlungskammer wird die Konzentration eines Sputtergases, typischerweise mit Argon, in der Behandlungskammer erhöht, ohne den Druck darin zu steigern. Auf diese Weise kann die Ätzgeschwindigkeit der konformen dielektrischen Schicht, mit besseren lückenfüllenden Charakteristika, stark erhöht werden, um eine Steigerung bei der Abscheidungsgeschwindigkeit derselben zu erlauben, während gleichzeitig ein geeignetes Dep-Ätzverhältnis beibehalten wird.

II. Ein beispielhaftes CVD-System

[0030] **Fig.** 5 zeigt eine Ausführungsform eines HDP-CVD-Systems **36**, in welchem eine dielektrische Schicht gemäß der vorliegenden Erfindung abgeschieden werden kann. Das System **36** umfaßt eine Behandlungskammer **38**, ein Vakuumsystem **40**, ein Plasmaquellensystem **42**, ein Plasmavorspannungssystem **44**, ein Gas-Zuführsystem **46** und ein entfernt angeordnetes Plasma-Reinigungssystem **48**.

[0031] Ein oberer Bereich der Behandlungskammer **38** umfaßt eine Haube **50**, welche aus einem dielektrischen Material hergestellt ist, wie beispielsweise Aluminiumoxid oder Aluminiumnitrid. Die Haube **50** definiert eine obere Abgrenzung einer Plasma behandelnden Region **52**. Die Plasma behandelnde Region **52** ist am Boden durch die obere Oberfläche eines Substrats **54** und das Substrat-Trägerelement **56** begrenzt.

[0032] Über der Haube **50** sind eine Heizplatte **58** und eine Kühlplatte **60** angeordnet und thermisch an diese gekoppelt. Die Heizplatte **58** und die Kühlplatte **60** erlauben eine Steuerung der Haubentemperatur

innerhalb etwa ± 10°C über einen Bereich von etwa 100°C bis 200°C. Dies erlaubt eine Optimierung der Haubentemperatur für die verschiedenen Verfahren. Zum Beispiel kann es wünschenswert sein, die Haube für Reinigungs- und Ätzverfahren auf einer höheren Temperatur zu halten als für Abscheidungsverfahren. Eine genaue Steuerung der Haubentemperatur verringert auch die Flocken- oder Teilchenzahlen in der Behandlungskammer und verbessert die Haftung zwischen der abgeschiedenen Schicht und dem Substrat.

[0033] Der untere Bereich der Behandlungskammer **38** umfaßt ein Gehäuseelement **62**, welches die Behandlungskammer mit dem Vakuumsystem verbindet. Ein Basisbereich **64** des Substrat-Trägerelements **56** ist auf dem Gehäuseelement **62** montiert und bildet eine kontinuierliche innere Oberfläche damit. Die Substrate werden durch einen Schaufelautomat (nicht gezeigt) durch eine Einführ/Entnahme-Öffnung **95** hindurch in der Seite der Behandlungskammer **38** in die Behandlungskammer **38** und aus dieser heraus geführt. Ein Motor (nicht gezeigt) hebt und senkt eine Hebestiftplatte (nicht gezeigt), welche Hebestifte (nicht gezeigt) anhebt und senkt, welche den Wafer anheben und senken. Bei Überführung in die Behandlungskammer **38** werden die Substrate auf die angehobenen Hebestifte geladen und dann zu einem Subtrat-Empfangsbereich **66** des Substrat-Trägerelements **56** abgesenkt. Der Substrat-Empfangsbereich **66** umfaßt ein elektrostatisches Futter **68**, welches das Substrat an dem Substrat-Trägerelement **56** während der Substratbehandlung festlegt.

[0034] Das Vakuumsystem **40** umfaßt ein Drosselgehäuse **70**, welches ein Zweiklappen-Drosselventil **72** aufnimmt und an einem Schieber **74** und einer Turbo-Molekularpumpe **76** angebracht ist. Es sollte angemerkt werden, daß das Drosselgehäuse **70** die Gasströmung nur minimal behindert und ein symmetrisches Pumpen erlaubt, wie dies in der parallel anhängigen, mit übertragenen US Patentanmeldung beschrieben ist, die ursprünglich eingereicht wurde am 12. Dezember 1995 und das zugewiesene Aktenzeichen Nr. 08/574,839 hatte, neu eingereicht wurde am 11. September 1996 und das zugewiesene amtliche Aktenzeichen Nr. 08/12724 unter der Bezeichnung "SYMMETRIC CHAMBER" hat. Der Schieber **74** kann die Pumpe **76** von dem Drosselkörper **70** isolieren und kann auch den Druck in der Behandlungskammer steuern, indem die Kapazität der Austrittsströmung, wenn das Drosselventil **72** vollständig geöffnet ist, beschränkt wird. Die Anordnung des Drosselventils **72**, des Schiebers **74** und der Turbo-Molekularpumpe **76** erlaubt eine genaue und stabile Steuerung der Drucke in der Behandlungskammer von etwa 1 bis 100 Millitorr.

[0035] Das Plasmaquellensystem **42** umfaßt eine obere Wicklung **78** und eine seitliche Wicklung **80**, die auf der Haube **50** montiert sind. Ein symmetrisches Masseschild (nicht gezeigt) reduziert eine elektrische Kopplung zwischen den Wicklungen. Die obere Wicklung **78** wird durch den oberen HF-Quellengenerator **82** mit Leistung versorgt, während die seitliche Wicklung **80** durch einen seitlichen HF-Quellengenerator **84** mit Leistung versorgt wird, was unabhängige Leistungspegel und Frequenzen für den Betrieb jeder Wicklung erlaubt. Dieses Zweiwicklungssystem erlaubt die Steuerung der radialen ionendichte in der Behandlungskammer **38**, wodurch die Plasmagleichförmigkeit verbessert wird. Die seitliche Wicklung **80** und die obere Wicklung **78** koppeln Energie induktiv in die Kammer **38**. In einer spezifischen Ausführungsform liefert der obere HF-Quellengenerator **82** bis zu 2500 W HF-Leistung bei nominal 2 MHz und der seitliche HF-Quellengenerator **84** bis zu 5000 W HF-Leistung bei nominal 2 MHz. Die Betriebsfrequenzen des oberen und des seitlichen HF-Generators können zu der Betriebsnennfrequenz versetzt sein (z. B. 1,7 bis 1,9 MHz bzw. 1,9 bis 2,1 MHz), um den Plasmaerzeugungswirkungsgrad zu steigern.

[0036] Die HF-Generatoren **82** und **84** umfassen digital gesteuerte Synthesizer und arbeiten über einen Frequenzbereich von etwa 1,7 bis etwa 2,1 MHz. Jeder Generator umfaßt eine HF-Steuerschaltung (nicht gezeigt), welche die von der Behandlungskammer und der Wicklung zurück zum Generator reflektierte Leistung mißt und die Betriebsfrequenz so einstellt, daß die geringste reflektierte Leistung erhalten wird, wobei dies im Verständnis eines Durchschnittsfachmannes liegt. Die HF-Generatoren sind typischerweise so ausgebildet, daß sie bei einer Last mit einer charakteristischen Impedanz von 50 Ω arbeiten. Die HF-Leistung kann von Lasten, die eine vom Generator unterschiedliche charakteristische Impedanz haben, reflektiert werden. Diese kann die auf die Last übertragene Leistung verringern. Zudem kann die von der Last zurück zu dem Generator reflektierte Leistung den Generator überlasten und beschädigen. Weil die Impedanz eines Plasmas im Bereich von 5 Ω bis etwa 900 Ω liegen kann, neben anderen Faktoren abhängig von der Plasmaionendichte, und weil die reflektierte Leistung eine Funktion der Frequenz sein kann, erhöht das Einstellen der Generatorfrequenz entsprechend der reflektierten Leistung die von dem HF-Generator an das Plasma übertragene Leistung und schützt den Generator. Ein anderer Weg, die reflektierte Leistung zu verringern und die Effizienz zu verbessern, ist derjenige mit einem Anpassungsnetzwerk.

[0037] Anpassungsnetzwerke **89** und **90** passen die Ausgangsimpedanz der Generatoren **82** und **84** an die Wicklungen **78** bzw. **80** an. Der HF-Steuerschaltkreis kann beide Anpassungsnetzwerke durch Ändern des Wertes der Kondensatoren innerhalb der Anpassungsnetzwerke abstimmen, um den Generator an die Last anzupassen, wenn sich die Last ändert. Der HF-Steuerschaltkreis kann ein Anpassungsnetzwerk abstimmen, wenn die von der Last zurück zu dem Generator reflektierte Leistung einen bestimmten Grenzwert übersteigt. Ein Weg, eine

konstante Anpassung bereit zu stellen und die HF-Steuerschaltung wirksam nicht in die Lage zu versetzen, das Anpassungsnetzwerk abzustimmen, besteht darin, den Grenzwert der reflektierten Leistung oberhalb eines erwarteten Wertes einer reflektierten Leistung einzustellen. Dies kann dabei helfen, ein Plasma unter einigen Bedingungen zu stabilisieren, indem das Anpassungsnetzwerk in seinem letzten Zustand konstant gehalten wird.

[0038] Das Plasmavorspannungssystem **44** umfaßt einen HF-vorspannungsgenerator **86** und ein Vorspannungs-Anpassungsnetzwerk **88**. Das Plasmavorspannungssystem **44** koppelt den Substrat-Empfangsbereich **66** kapazitiv an das Gehäuseelement **62**, welche als komplementäre Elektroden wirken. Das Plasmavorspannungssystem **44** dient dazu, den Transport der Plasmaspezies, die durch Plasmaquellensystem **42** erzeugt wurden, zu der Oberfläche des Substrats zu steigern. In einer spezifischen Ausführungsform liefert der HF-Spannungsgenerator **86** bis zu 5000 W HF-Leistung bei 13,56 MHz.

[0039] Weitere Merkmale können auch dabei helfen, ein Plasma zu stabilisieren. Zum Beispiel kann der HF-Steuerschaltkreis dazu verwendet werden, um die an die Last (Plasma) gelieferte Leistung zu bestimmen, und kann die Generator-Ausgangsleistung erhöhen oder vermindern, um die gelieferte Leistung während der Abscheidung einer Schicht im wesentlichen konstant zu halten.

[0040] Das Gas-Zuführsystem **46** umfaßt eine Mehrzahl von Gasquellen **100a**, **100b**, **100c**, **100d** und **100e**. In einer Ausführungsform umfassen die vorerwähnten Gasquellen Silan, molekularen Sauerstoff, Siliziumfluorid bzw. Argon. Das Gas-Zuführsystem **46** liefert Gase aus mehrere Quellen über Gas-Zuführleitungen **92** (nur einige von diesen sind gezeigt) an die Behandlungskammer zum Behandeln des Substrats. Die Gase werden in die Behandlungskammer **38** durch einen Gasring **94**, eine obere Düse **96** und ein oberes Belüftungsloch **98** hindurch eingeführt. Ganz speziell liefern die Gasquellen **100a** und **100d** ein Gas an die obere Düse **96** über Strömungsregler **120a** bzw. **120c** und Gas-Zuführleitungen **92**. Das Gas von der Gasquelle **100b** wird zu dem Gas-Belüftungsloch **98** über Strömungsregler **120b** geliefert. Die obere Düse **96** und das obere Belüftungsloch **98** erlauben eine unabhängige Steuerung der oberen und seitlichen Gasströme, was die Filmgleichförmigkeit verbessert und eine feine Einstellung der Filmabscheidung und Dotierparameter erlaubt. Das obere Belüftungsloch **98** ist eine kreisförmige Öffnung um die obere Düse **96** herum, durch welche Gas von dem Gas-Zuführsystem in die Behandlungskammer strömen kann.

[0041] Das Gas wird in dem Gasring **94** von jeder der vorerwähnten Gasquellen über Strömungsregler **102a**, **102b**, **102c**, **102d** und **102e** und Gas-Zuführleitungen **92** bereit gestellt. Der Gasring **94** hat eine Mehrzahl von Gasdüsen **106** und **108** (von denen nur zwei gezeigt sind), welche eine gleichförmige Gasströmung über das Substrat bereit stellen. Die Düsenlänge und der Düsenwinkel können durch Verändern des Gasrings **94** verändert werden. Dies erlaubt ein Zuschneiden des Gleichförmigkeitsprofils und des Gasnutzungswirkungsgrades für ein bestimmtes Verfahren innerhalb einer einzelnen Behandlungskammer. In einer spezifischen Ausführungsform hat der Gasring **94** eine Gesamtzahl von vierundzwanzig Gasdüsen, zwölf erste Gasdüsen **108** und zwölf zweite Gasdüsen **106**. Typischerweise sind die Gasdüsen **108** (nur einige davon sind gezeigt) koplanar zu den und kürzer als die zweiten Gasdüsen **106**.

[0042] In einigen Ausführungsformen können leicht entzündliche, toxische oder korrosive Gase verwendet werden. In diesen Fällen kann es wünschenswert sein, ein in den Gas-Zuführleitungen nach einer Abscheidung verbleibendes Gas zu eliminieren. Dies kann unter Verwendung eines Dreiwege-Ventils, wie einem Ventil **112**, erreicht werden, um die Behandlungskammer **38** von der Zuführleitung **92a** zu isolieren und um die Zuführleitung **92a** z. B. an eine Vakuum-Vorrichtung **114** zu entlüften. Wie in **Fig.** 5 gezeigt ist, können andere ähnliche Ventile, wie **112a** und **112b**, an anderen Gas-Zuführleitungen eingebaut sein. Solche Dreiwege-Ventile können so nahe wie praktisch möglich an der Behandlungskammer **38** angeordnet werden, um das Volumen der unbelüfteten Gas-Zuführleitung (zwischen dem Dreiwege-Ventil und der Behandlungskammer) zu minimieren. Zudem können Zweiwege (Ein-Aus)-Ventile (nicht gezeigt) in einem Massendurchsatzregler (MFC) und der Behandlungskammer oder zwischen einer Gasquelle und einem MFC angeordnet werden.

[0043] Das entfernt angeordnete Plasma-Reinigungssystem **48** mit Mikrowellengenerator wird so bereit gestellt, daß es Komponenten der Behandlungskammer von Abscheidungsresten periodisch reinigt. Das Reinigungssystem umfaßt einen entfernt angeordneten Mikrowellengenerator **124**, der ein Plasma aus einer Reinigungsgasquelle **100e**, wie Fluor, Stickstofftrifluorid oder Äquivalente in einer Reaktorkammer **126** erzeugt. Die von diesem Plasma resultierenden reaktiven Spezies werden über ein Applizierrohr **130** durch einen Reinigungsgas-Zuführanschluß **128** hindurch zu der Behandlungskammer **38** befördert. Die Materialien, die verwendet werden, um das Reinigungsplasma aufzunehmen (z. B. die Kammer **126** und das Applizierrohr **130**) sollten gegenüber einem Angriff durch das Plasma resistent sein. Der Abstand zwischen der Reaktorkammer **126** und dem Zuführanschluß **128** sollte so kurz gehalten werden, wie dies praktisch möglich ist, da die Konzentration erwünschter Plasmaspezies mit dem Abstand von der Reaktorkammer **126** annehmen kann. Das Erzeugen des Reinigungsplasmas in einer entfernt liegenden Kammer erlaubt die Verwendung eines effizienten Mikrowellengenerators und setzt Komponenten der Behandlungskammer nicht den Temperaturen, der Strahlung oder dem Beschuß der Glühentladung aus, die in einem in situ Plasma vor-

handen sein kann. Folglich müssen relativ empfindliche Komponenten, wie das elektrostatische Futter **68**, nicht mit einem Dummy-Wafer abgedeckt oder in anderer Weise geschützt werden, wie dies mit einem in situ Plasma-Reinigungsverfahren erforderlich sein kann. Während des Reinigungsverfahrens oder anderer Verfahren kann der Schieber **74** geschlossen sein, um die Turbo-Molekular-Vakuumpumpe **76** von der Behandlungskammer zu trennen. In dieser Konfiguration liefert die Vorleitung **114** ein Prozeßvakuum, das durch entfernt liegende Vakuumpumpen erzeugt wird, welche typischerweise mechanische Vakuumpumpen sind. Das Trennen der Turbo-Molekularpumpe von der Behandlungskammer mit dem Schieber schützt die Turbo-Molekularpumpe vor korrosiven Verbindungen oder anderen potentiell schädlichen Effekten, die sich aus der Reinigung der Behandlungskammer oder aus anderen Verfahren ergeben.

[0044] Ein Systemregler **132** regelt das Betriebssystem **36** und enthält einen prozessor **134** in elektrischer Verbindung dazu, um den Betrieb desselben zu regeln. Typischerweise ist der prozessor **134** Teil eines Single-Board Computers (SBC), der analoge und digitale Eingang/Ausgangs-Karten, Schnittstellenkarten und Schrittmotor-Steuerkarten enthält. Verschiedene Komponenten des CVD-System **36** entsprechen dem Versa Modultar European (VME) Standard, welcher Platinen, Kartenkäfig sowie Anschlußtyp und Abmessungen definiert. Der VME-Standard definiert auch die Busstruktur als einen 16-bit Datenbus und einen 24-bit Adreßbus. Der prozessor **134** führt eine System-Steuersoftware aus, welche ein Computerprogramm ist, das in einem Speicher **136**, der elektronisch mit dem prozessor **134** gekoppelt ist, gespeichert ist. Es kann ein Typ einer Speichereinrichtung verwendet werden, wie beispielsweise ein Festplattenlaufwerk, ein Floppy-Disk-Laufwerk, Kartenrack oder ein Kombination davon. Die System-Steuersoftware enthält Befehlssätze, welche das Timing, das Mischen der Gase, den Druck in der Behandlungskammer, die Temperatur in der Behandlungskammer, die Mikrowellen-Leistungspegel, die Sockelposition und andere Parameter des Verfahrens diktieren, was unten mit Bezug auf **Fig.** 7 vollständiger diskutiert wird.

[0045] Mit Bezug auf **Fig.** 6 erfolgt die Schnittstelle zwischen dem Benutzer und dem Prozessor **134** über einen CRT-Monitor **138** und einen Leuchtstift **140**. In der bevorzugten Ausführungsform werden zwei Monitore **138** und **138'** verwendet, die jeweils einen damit verbundenen Leuchtstift **140** bzw. **140'** aufweisen. Eine der Monitore **138** ist in einer Reinraumwand **144** für die Bediener und der andere hinter der Wand für Servicetechniker montiert. Die CRT-Monitore **138** und **138'** können gleiche Informationen wiedergeben, aber nur einer der Leuchtstifte **140** und **140'** ist während einer gegebenen Zeit zur Dateneingabe in der Lage. Würde der Leuchtstift **140** verwendet, um mit dem prozessor **134** zu kommunizieren, würde ein Bediener diesen auf den Schirm des CRT-Monitors **138** setzen. Ein Lichtsensor (nicht gezeigt), der an der Spitze des Leuchtstifts **140** angeordnet ist, erfaßt das durch den CRT-Monitor **138** emittierte Licht. Um einen speziellen Schirm oder eine spezielle Funktion auszuwählen, berührt der Bediener eine bezeichnete Fläche des CRT-Monitors **138** und drückt einen Knopf (nicht gezeigt) auf dem Leuchtstift **140**. Die berührte Fläche liefert eine sichtbare Antwort, wie eine Änderung in der Farbe oder ein neues Menü oder ein neues wiedergegebenes Schirmbild, was die Kommunikation zwischen dem Leuchtstift **140** und CRT-Monitor **138** bestätigt. Es können weitere Eingabeeinrichtungen, wie eine Tastatur, Maus oder eine andere Zeige- oder Kommunikationseinrichtung, können anstelle des Leuchtstiftes **140** oder zusätzlich zu diesem verwendet werden, um dem Benutzer zu erlauben, mit dem prozessor **134** zu kommunizieren.

[0046] Das Verfahren zum Abscheiden des Films kann unter Verwendung eines Computerprogrammprodukts implementiert werden, das durch den prozessor **134** ausgeführt wird. Der Computerprogrammcode kann in irgendeiner herkömmlichen computerlesbaren Programmiersprache geschrieben sein, z. B. 68000 Assembler-Sprache C, C++, Pascal, Fortran oder andere. Ein geeigneter Programmcode wird in eine einzelne Datei oder in mehrere Dateien unter Verwendung eines herkömmlichen Texteditors gegeben und gespeichert oder in einem für einen Computer nutzbaren Medium verkörpert, wie dem in **Fig.** 5 gezeigten Speicher **136**. Falls der eingegebene Codetext in einer höheren Programmiersprache erfolgt, wird der Code kompiliert, und der resultierende Compiler-Code wird dann mit einem Objektcode vorkompilierter Window™ Bibliotheksroutinen verknüpft. Um den verknüpften, kompilierten Objektcode des Systems auszuführen, ruft der Benutzer den Objektcode auf, wodurch der prozessor **134** veranlaßt wird, den Code in den Speicher **136** zu laden. Der prozessor **134** liest dann den Code und führt diesen aus, um die in dem Programm identifizierten Aufgaben durchzuführen.

[0047] **Fig.** 7 zeigt ein beispielhaftes Blockdiagramm der hierarchischen Steuerstruktur der System-Steuersoftware **146**. Ein Benutzer gibt unter Verwendung der Leuchtstift-Schnittstelle in Antwort auf Menüs oder Bildschirme, die auf dem CRT-Monitor wieder gegeben werden, eine Verfahren-Einstellnummer und eine Behandlungskammernummer in eine Verfahrensauswahl-Subroutine **148** ein. Die Verfahrenseinstellungen sind vorbestimmte Einstellungen von Verfahrensparametern die notwendig sind, um spezifische Verfahren auszuführen und durch vordefinierte Einstellnummern identifiziert werden. Die Verfahrensauswahl-Subroutine **148** identifiziert (i) die gewünschte Behandlungskammer in einem Mehrkammersystem und (ii) die gewünschte Einstellung der Verfahrensparameter, die benötigt werden, um die Behandlungskammer zum Durchführen des gewünschten Verfahrens zu betreiben. Diese Verfah-

rensparameter zum Durchführen eines spezifischen Verfahrens beziehen sich auf Verfahrensbedingungen, wie beispielsweise Prozeßgaszusammensetzung und -durchsätze, Temperatur, Druck, die Plasmazustände, wie HF-Leistungspegel, und Behandlungskammer-Temperatur, und werden dem Benutzer in Form einer Formulierung zur Verfügung gestellt. Die Parameter, die durch die Formulierung spezifiziert sind, werden unter Verwendung der Leuchtstift/CRT-Monitor-Schnittstelle eingegeben.

[0048] Die Signale zum Überwachen den Verfahrens werden durch die analogen und digitalen Eingangsplatinen der Systemsteuerung bereitgestellt, und die Signale zum Steuern des Verfahrens werden an den analogen und digitalen Ausgangsplatinen der Systemsteuerung ausgegeben.

[0049] Eine Verfahren-Sequenzer-Subroutine **150** umfaßt einen Programmcode zum Akzeptieren der identifizierten Behandlungskammer und Einstellung der Verfahrensparameter aus der Verfahren-Selektor-Subroutine **148**, und zwar zum Zwecke des Steuerns der Betriebsweise der verschiedenen Behandlungskammern. Mehrere Nutzer können Verfahrenseinstellnummern und Behandlungskammer-Nummern eingeben oder ein Nutzer kann mehrere Verfahrenseinstellnummern und Behandlungskammer-Nummern eingeben, so daß die Sequenzer-Subroutine **150** dahin gehend arbeitet, die gewählten Verfahren in der gewünschten Reihenfolge zu stellen. Vorzugsweise umfaßt die Sequenzer-Subroutine **150** einen Programmcode, um die Schritte durchzuführen, (i) Überwachen des Betriebs der Behandlungskammern, um festzustellen, ob die Behandlungskammern benutzt werden, (ii) Bestimmen, welche Verfahren in den benutzten Behandlungskammern ausgeführt werden, und (iii) Ausführen des gewünschten Verfahrens basierend auf der Verfügbarkeit einer Behandlungskammer und des auszuführenden Verfahrenstyps. Es können herkömmliche Verfahren zum Überwachen der Behandlungskammern verwendet werden, wie durch Abruf. Bei der Planung, welches Verfahren ausgeführt werden soll, kann die Sequenzer-Subroutine **150** so ausgebildet sein, daß sie den gegenwärtigen Zustand der benutzten Behandlungskammer im Vergleich mit den gewünschten Verfahrensbedingungen für ein ausgewähltes Verfahren, das "Alter" jeder speziellen nutzerseitig eingegebenen Anforderung oder irgendeinen anderen relevanten Faktor in Betracht zieht, den ein Systemprogrammierer zur Festlegung von Aufstellungsprioritäten einschließen möchte.

[0050] Nachdem die Sequenzer-Subroutine **150** bestimmt, welche Kombination aus Behandlungskammer und Verfahrenseinstellung als nächstes auszuführen ist, veranlaßt die Sequenzer-Subroutine **150** die Ausführung der Verfahrenseinstellung durch Weiterleitung der speziellen Verfahrenseinstellung-Parameter zu den Behandlungskammer-Manager-Subroutinen **152**, **154** und **156**, welche mehrere Behandlungsaufgaben in der Behandlungskammer **38** steuern und mögliche weiterer Behandlungskammern (nicht gezeigt) gemäß der durch die Sequenzer-Subroutine **150** bestimmten Verfahrenseinstellung steuern.

[0051] Beispiele der Behandlungskammerkomponenten-Subroutinen sind eine Substratpositionierung-Subroutine **158**, Verfahrensgassteuerung-Subroutine **160**, Drucksteuerung-Subroutine **162** und Plasmasteuerung-Subroutine **164**. Fachleute erkennen, daß weitere Subroutinen zur Steuerung der Behandlungskammer in Abhängigkeit davon, welche Verfahren in der Behandlungskammer **38** durchgeführt werden sollen, enthalten sein können. Im Betrieb stellt die Behandlungskammer-Manager-Subroutine **152** die Verfahrenskomponenten-Subroutinen in Übereinstimmung mit der speziellen Verfahrenseinstellung, die gerade ausgeführt wird, selektiv auf und ruft diese auf. Die Aufstellung durch die Behandlungskammer-Manager-Subroutine **152** wird in einer Weise durchgeführt, die ähnlich derjenigen ist, die von der Sequenzer-Subroutine **150** beim Aufstellen verwendet wird, welche Behandlungskammer und welche Verfahrenseinstellung auszuführen ist. Typischerweise umfaßt die Behandlungskammer-Manager-Subroutine **152** die Schritte zum Überwachen der verschiedenen Behandlungskammerkomponenten, zum Bestimmen, welche Komponenten basierend auf den Verfahrensparametern für die auszuführende Verfahrenseinstellung ausgeführt werden müssen und zum Veranlassen einer Ausführung der Behandlungskammerkomponenten-Subroutine in Abhängigkeit von den Überwachungs- und Bestimmungsschritten.

[0052] Mit Bezug auf beide **Fig.** 5 und 7 umfaßt die Substratpositionierung-Subroutine **158** einen Programmcode zum Steuern der Behandlungskammerkomponenten, die verwendet werden, um das Substrat **54** auf das Substrat-Halteelement **68** zu laden. Die Substratpositionierung-Subroutine **158** kann auch die Überführung eines Substrats in eine Behandlungskammer **38** von z. B. einem PECVD-Reaktor oder einem anderen Reaktor in dem Mehrkammersystem steuern, nachdem eine andere Behandlung beendet worden ist.

[0053] Die Behandlungsgas-Steuerung-Subroutine **160** hat einen Programmcode zum Steuern der Behandlungsgaszusammensetzung und -durchsätze. Die Subroutine **160** steuert die Öffnungs-/Schließ-Position der Sicherheits-Absperrventile und schiebt auch die Massendurchsatzregler nach oben/unten, um die gewünschten Gasdurchsätze zu erhalten. Alle Subroutinen der Behandlungskammerkomponenten, einschließlich der Behandlungsgas-Steuerung-Subroutine **160**, werden durch die Behandlungskammer-Manager-Subroutine **152** aufgerufen. Die Subroutine **160** erhält von der Behandlungsgas-Manager-Subroutine **152** die auf die gewünschten Gasdurchsätze bezogenen Behandlungsparameter.

[0054] Typischerweise arbeitet die Behandlungs-

gas-Steuerung-Subroutine **160** durch Öffnen der Gasversorgungsleitungen und durch ein wiederholtes (i) Ablesen der benötigten Massendurchsatzregeler, (ii) Vergleichen der Ablesungen mit den von der Behandlungskammer-Manager-Subroutine **152** erhaltenen gewünschten Durchsätzen und (iii) Einstellen der Durchsätze der Gasversorgungsleitungen, wie dies erforderlich ist. Ferner kann die Behandlungsgas-Steuerung-Subroutine **160** Schritte umfassen zum Überwachen der Gasdurchsätze auf unsichere Durchsatzmengen und zum Aktivieren der Sicherheits-Absperrventile, wenn ein unsicherer Zustand erfaßt wird.

[0055] In einigen Verfahren wird ein Inertgas, wie Argon, in die Behandlungskammer **13** geführt, um den Druck in der Behandlungskammer zu stabilisieren, bevor reaktive Verfahrensgase in die Behandlungskammer eingeführt werden. Für diese Verfahren ist die Behandlungsgas-Steuerung-Subroutine **160** so programmiert, daß sie Schritte zum Zuführen des Inertgases in die Behandlungskammer **38** über eine Zeitdauer umfaßt, die notwendig ist, um den Druck in der Behandlungskammer zu stabilisieren. Die oben beschriebenen Schritte können dann ausgeführt werden.

[0056] Zudem, wenn ein Behandlungsgas von einem flüssigen Vorläufer, z. B. Tetraethoxysilan (TEOS), abgedampft wird, kann die Behandlungsgas-Steuerung-Subroutine **160** Schritte zum Hindurchperlen eines Zuführgases, wie Helium, durch den flüssigen Vorläufer in einer Rühreinheit oder zum Einführen des Heliums in ein Flüssigkeits-Einspritzventil umfassen. Für diesen Verfahrenstyp regelt die Verfahrensgas-Steuerung-Subroutine **160** die Strömung des Zuführgases, den Druck in dem Rührwerk und die Rührtemperatur, um die gewünschten Behandlungsgas-durchsätze zu erhalten. Wie oben diskutiert, werden die gewünschten Behandlungsgasdurchsätze der Behandlungs-Steuerung-Subroutine **160** als Verfahrensparameter übermittelt.

[0057] Ferner umfaßt die Behandlungsgas-Steuerung-Subroutine 160 Schritte zum Erhalt des notwendigen Zuführgasdurchsatzes, Brodeldrucks und Brodeltemperatur für den gewünschten Behandlungsgasdurchsatz, indem auf eine gespeicherte Tabelle, welche die notwendigen Werte für einen gegebenen Behandlungsgasdurchsatz enthält, zugegriffen wird. Sobald die notwendigen Werte erhalten sind, werden der Zuführgasdurchsatz, der Brodeldruck und die Brodeltemperatur überwacht, mit den notwendigen Werten verglichen und entsprechend eingestellt.

[0058] Die Behandlungsgas-Steuer-Subroutine **160** kann auch den Strom eines Wärmeübertragungsgases, wie Helium (He), durch die inneren und die äußeren Durchgänge in den Waferhalter mit einer unabhängigen Heliumsteuerung (IHC)-Subroutine (nicht gezeigt) steuern. Der Gasstrom koppelt das Substrat thermisch an den Halter. In einem typischen Verfahren wird der Wafer durch das Plasma und durch die chemischen Reaktionen, welche die Schicht bilden, erhitzt, und das He kühlt das Substrat durch den Halter, welcher wassergekühlt sein kann. Dies hält das Substrat unter einer Temperatur, welche bereits vorhandene Formen auf dem Substrat beschädigen kann.

[0059] Die Drucksteuerung-Subroutine **162** umfaßt einen Programmcode zum Steuern des Drucks in der Behandlungskammer **38**, indem die Größe der Öffnung des Drosselventils **72** in dem Austrittsbereich der Behandlungskammer geregelt wird. Es gibt wenigstens zwei grundlegende Verfahren zum Steuern der Behandlungskammer mit dem Drosselventil. Das erste Verfahren bezieht sich auf die Charakterisierung des Behandlungskammerdruckes, so wie es sich, neben anderem, auf den gesamten Behandlungsgasstrom, die Größe der Behandlungskammer und die Pumpkapazität bezieht. Das erste Verfahren hält das Drosselventil **72** in eine fixierte Position. Das Einstellen des Drosselventils **72** in einer fixierten Position kann eventuell zu einem stationären Druck führen.

[0060] Alternativ können der Behandlungskammerdruck beispielsweise mit einem Manometer gemessen und die Position des Drosselventils **72** entsprechend der Drucksteuerung-Subroutine **162** eingestellt werden, in der Annahme, daß der Steuerpunkt innerhalb der Grenzen liegt, die durch die Gasströme und die Ausströmkapazität eingestellt sind. Das erstere Verfahren kann zu schnelleren Behandlungskammer-Druckänderungen führen, da die Messungen, Vergleiche und Berechnungen, die mit dem letzteren Verfahren verbunden, sind nicht abgerufen werden. Das erstere Verfahren kann wünschenswert sein, wenn eine präzise Steuerung des Behandlungskammerdruckes nicht erforderlich ist, während das letztere Verfahren wünschenswert sein kann, wenn ein genauer, wiederholbarer und stabiler Druck erwünscht ist, wie während der Abscheidung einer Schicht.

[0061] Wenn die Drucksteuerung-Subroutine **162** aufgerufen ist, wird der gewünschte (oder angestrebte) Druckpegel als ein Parameter von der Behandlungskammer-Manager-Subroutine **152** erhalten. Die Drucksteuerung-Subroutine **162** arbeitet dahin gehend, den Druck in der Behandlungskammer **38** durch Einlegen ein oder mehrerer herkömmlicher Druckmanometer, die mit der Behandlungskammer verbunden sind, zu messen, den/die Meßwert(e) mit dem Zieldruck zu vergleichen, Proportional, Integral- und Differential (PID)-Werte aus einer gespeicherten Drucktabelle entsprechend dem Zieldruck zu erhalten und das Drosselventil **72** entsprechend den aus der Drucktabelle erhaltenen PID-Werte einzustellen. Alternativ kann die Drucksteuerung-Subroutine **162** das Drosselventil **72** auf eine spezielle Öffnungsgröße öffnen oder schließen, um den Druck in der Behandlungskammer **38** auf einen gewünschten Druck oder Druckbereich zu regeln.

[0062] Die Plasmasteuerung-Subroutine **164** umfaßt einen Programmcode zum Steuern der Fre-

quenz und der Leistungsausgabe-Einstellung der HF-Generatoren **82** und **84** und zum Abstimmen der Anpassungsnetzwerke **88** und **90**. Die Plasmasteuerung-Subroutine **164** wird, wie die vorher beschriebenen Behandlungskammer-Komponenten-Subroutinen, durch die Behandlungskammer-Manager-Subroutine **152** aufgerufen.

[0063] Ein Beispiel eines Systems, welches einige oder alle der oben beschriebenen Subsysteme und Routinen beinhalten kann, wäre ein Ultimasystem, hergestellt durch Applied Materials, das für die praktische Umsetzung der vorliegenden Erfindung ausgestaltet ist.

III. Beispielsweiser Aufbau

[0064] **Fig.** 8 zeigt eine vereinfachte Schnittansicht eines integrierten Schaltkreises **166**, der die Merkmale der vorliegenden Erfindung aufweist. Wie in **Fig.** 8 gezeigt ist, umfaßt der integrierte Schaltkreis **166** NMOS- und PMOS-Transistoren **168** und **170**, welche voneinander durch eine Feldoxidregion **172** getrennt und elektrisch isoliert sind. Jeder Transistor **168** und **170** umfaßt eine Source-Region **174**, eine Gate-Region **176** und eine Drain-Region **178**.

[0065] Eine dielektrische Vormetallschicht **180** trennt die Transistoren **180** und **170** von einer Metallschicht **182**, wobei Verbindungen zwischen der Metallschicht **182** und den Transistoren durch Kontakte **184** hergestellt sind. Die Metallschicht **182** ist eine von vier Metallschichten **182**, **186**, **188** und **190**, die in dem integrierten Schaltkreis **166** enthalten sind. Jede Metallschicht **182**, **186**, **188** und **190** ist von benachbarten Metallschichten durch jeweiligen dielektrische Intermetallschichten **192**, **194** und **196** getrennt und können durch Behandlungsschritte, wie Aluminiumabscheidung und Musterung, geformt werden. Aneinander angrenzende Metallschichten sind an ausgewählten Öffnungen durch Durchgänge **198** miteinander verbunden. Über der Metallschicht **190** sind planarisierte Passivierungsschichten **200** abgeschieden.

[0066] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind besonders nützlich für dielektrische Intermetall (IMD)-Schichten, finden aber Anwendungen in jeder der in dem integrierten Schaltkreis **166** gezeigten dielektrischen Schichten. Der vereinfachte integrierte Schaltkreis **166** ist nur für darstellende Zwecke gedacht. Der Durchschnittsfachmann könnte das vorliegende Verfahren für die Fertigung anderer integrierter Schaltkreise implementieren, wie Mikroprozessoren, applikationsspezifische integrierte Schaltkreise (A SICs), Speichereinrichtungen und dergleichen. Zudem kann das Verfahren der vorliegenden Erfindung bei der Fertigung integrierter Schaltkreise unter Verwendung anderer Technologien, wie BiCMOS, NMOS, bipolar und andere, verwendet werden.

IV. Versetzte In-Situ-Abscheidung

[0067] Mit Bezug auf die beiden **Fig.** 5 und 9 kann das Verfahren der vorliegenden Erfindung verwendet werden, um dielektrische Schichten auf dem in dem (HDP-CVD) System **36** positionierten Substrat **56** abzuscheiden. Obwohl das Substrat praktisch irgendeine Topographie haben kann, hat das Substrat **54** typischerweise gestufte Oberflächen und sind ein oder mehrere Filmschichten auf ihm abgeschieden, wie bei **202** und **204** gezeigt. Die Filmschicht **202** ist typischerweise aus einem leitfähigen Material geformt, in dem ein oder mehrere Durchgänge **206** ausgebildet sind, bevor eine Abscheidung einer dielektrischen Schicht unter Verwendung der vorliegenden Erfindung erfolgt. Der Durchgang **206** kann ein Seitenverhältnis von bis zu 2,5 : 1 oder mehr haben, wobei das Längenverhältnis definiert ist als die Höhe des Durchgangs **206**, H, geteilt durch die Breite, W, des Durchgangs **206**.

[0068] Mit Bezug auf die **Fig.** 5, 9 und 10 umfaßt das Verfahren einen Schritt **208**, währenddessen das Substrat **54** in der Behandlungskammer **38** nahe der Plasma-Behandlungsregion **52** positioniert ist. Auf den Schritt **208** folgend wird während des Schritts **210** ein Inertgas in die Behandlungskammer **38** einströmen gelassen. Nachdem das Inertgas in die Behandlungskammer **38** geführt worden ist, wird am Schritt **212** ein Plasma gezündet. Dem Schritt **212** folgend wird am Schritt **214** ein Abscheidungsgas in die Behandlungskammer **38** eingeleitet. Das vorerwähnte Inertgas umfaßt typischerweise einen Strom aus Argongas, Ar. Das Abscheidungsgas besteht z. B. aus einem Silizium-Quellengas, wie einem Silangas, SiH_4, und einem Sauerstoff-Quellengas, wie einem Gas aus molekularem Sauerstoff, O_2. Während des Schritts **210** wird vorgezogen, daß der Durchsatz von Argon im Bereich von 40 bis 120 sccm liegt. Der Durchsatz des Silangases liegt im Bereich von 40 bis 120 sccm und das Sauerstoffgas wird in die Behandlungskammer mit einem Durchsatz im Bereich von 80 bis 250 sccm strömen gelassen. Das vorerwähnte Plasma wird durch die HF-Quellengeneratoren **82** und **84** gebildet, die ein HF-Feld in der Plasma-Behandlungsregion **52** mit einer Frequenz von etwa 2 MHz und einem Leistungsniveau zwischen etwa 12 bis 16 W/cm^2 erzeugen, und die HF-Vorspannungsgeneratoren **86** ein HF-Feld mit einer Frequenz von etwa 13,56 MHz und einem Leistungsniveau zwischen etwa 7 bis 13 W/cm^2 erzeugen. Typischerweise wird der Druck in der Behandlungskammer zwischen etwa 0,3 und 1,3 Pa (zwischen 2 und 10 Millitorr) beibehalten, wobei 0,5 bis 0,7 Pa (4 bis 5 Millitorr) der bevorzugte Druckbereich ist. Während des Schritts **214** wird die dielektrische Schicht **215** über den Schichten **202** und **204** abgeschieden, um die Lücke **206** zu füllen (in **Fig.** 9 und 11 gezeigt) und wird gleichzeitig ausgebildet, was primär den Ionen zuzuschreiben ist, welche aus dem Argongas erzeugt werden. Die Quellenkomponenten des Plas-

mas dissoziieren die Atome und Moleküle der Gase in der Behandlungskammer in ein Plasma, und die Vorspannungskomponente des Plasmas bewegt die Plasmaspezies zu der Oberfläche der gerade abgeschiedenen dielektrischen Schicht und von dieser weg. Die Vorspannungskomponente befördert Abscheidungsionen zu der dielektrischen Schichtoberfläche für eine Kombinierung darin und ein Sputtern davon weg.

[0069] Ein wichtiger Gesichtspunkt ist, wenn die Abscheidung der dielektrischen Schicht **214** unter Verwendung einer Dep-Ätztechnik erfolgt, das Beibehalten eines geeigneten Dep-Ätzverhältnisses, um eine Überätzung der dielektrischen Schicht **215** und eine Formation von inneren Hohlräumen zu verhindern. Für Zwecke dieser Anmeldung ist das Dep-Ätzverhältnis wie folgt definiert:

$D/E = D_S/[D_S - D_{(S+B)}]$

wobei D/E das Dep-Ätzverhältnis ist, D_S die Abscheidungsgeschwindigkeit mit nur angelegter HF-Quelle ist und $D_{(S+B)}$ die Abscheidungsgeschwindigkeit mit sowohl angelegter HF-Quelle als auch HF-Vorspannung ist. Der für das Dep-Ätzverhältnis vorgeschlagene Bereich ist typischerweise abhängig von dem größten Seitenverhältnis, das auf der Substratoberfläche vorhanden ist. Es hat sich herausgestellt, daß mit einem 2,5 : 1 Seitenverhältnis das Dep-Ätzverhältnis innerhalb des Bereichs von 2,8 : 1 bis 3,2 : 1 gehalten werden sollte. In Übereinstimmung mit dieser Erkenntnis kann ein Dep-Ätzverhältnis von weniger als 2,8 : 1 zu einer Überätzung der Stufenoberfläche führen und kann ein Dep-Ätzverhältnis über 3,2 : 1 zu der Formation von inneren Hohlräumen führen.

[0070] Das Dep-Ätzverhältnis kann in einer Anzahl von Wegen variiert werden. Zum Beispiel kann das Dep-Ätzverhältnis entweder durch Steigerung der Abscheidungsgeschwindigkeit bei einer im wesentlichen konstanten Ätzgeschwindigkeit oder durch Vermindern der Ätzgeschwindigkeit bei einer im wesentlichen konstanten Abscheidung erhöht werden, was beides zu einem erhöhten Dep-Ätzverhältnis führt. Umgekehrt kann das Dep-Ätzverhältnis durch Vermindern der Abscheidungsgeschwindigkeit bei einer im wesentlichen konstanten Ätzgeschwindigkeit oder durch Steigerung der Ätzgeschwindigkeit bei einer im wesentlichen konstanten Abscheidungsgeschwindigkeit vermindert werden. Ein Variieren der HF-Vorspannungsenergie beeinflußt auch das Dep-Ätzverhältnis. Ganz speziell wird angenommen, daß durch ein Vermindern der HF-Vorspannungsenergie die Ätzgeschwindigkeit vermindert wird und die Abscheidungsgeschwindigkeit erhöht wird, wodurch das Dep-Ätzverhältnis erhöht wird. Durch Erhöhen der HF-Vorspannungsenergie kann das Dep-Ätzverhältnis in einer analogen Weise vermindert werden. Es wird jedoch vorgezogen, die HF-Vorspannungsenergie zu variieren, weil diese optimiert wurde, um eine Plasmagleichförmigkeit zu erhalten. Ein Variieren der HF-Vorspannungsenergie könnte die Plasmagleichförmigkeit verschlechtern, was die Qualität einer abgeschiedenen dielektrischen Schicht verschlechtern könnte.

[0071] Mit Bezug auf die beiden **Fig.** 10 und 11 erlaubt das vorliegende Verfahren eine wesentliche Steigerung sowohl der Abscheidungsgeschwindigkeit als auch der Ätzgeschwindigkeit, während ein geeignetes Dep-Ätzverhältnis beibehalten wird und ohne daß die Plasmagleichförmigkeit beeinflußt wird, das heißt, ohne Änderung der HF-Vorspannungsenergie. Das Verfahren macht dies durch ein wahlweises Verringern des Stroms in die Behandlungskammer **38** entweder der Silanquelle oder der Sauerstoffquelle oder von beiden im Schritt **216**. Auf diese Weise nutzt das vorliegende Verfahren den Vorteil einer Entdeckung, daß die Ätzgeschwindigkeit der dielektrischen Schicht **215** nicht nur abhängig ist von dem Druck der Behandlungskammer, sondern auch von der Konzentration des darin befindlichen Inertgases. Ganz speziell wurde herausgefunden, daß für eine gegebene HF-Vorspannungsleistung die Ätzgeschwindigkeit umgekehrt proportional zu dem Druck in der Behandlungskammer ist und proportional zu der Konzentration des darin vorhandenen Inertgases ist. Zum Beispiel zeigt die in **Fig.** 12 gezeigte Kurve **218**, daß bei einem Kammerdruck von 8 Pa (60 Millitorr) die Ätzgeschwindigkeit einer dielektrischen Schicht geringer ist als 20 nm pro Minute (200 Å pro Minute). Ein Kammerdruck von 1,3 Pa (10 Millitorr) andererseits liefert eine Ätzgeschwindigkeit für eine dielektrische Schicht über 60 nm pro Minute (600 Å pro Minute), was eine dreifache Steigerung ist. Wie durch die Kurve **220** in **Fig.** 13 gezeigt ist, beeinflußt die Argonkonzentration in der Behandlungskammer **38** auch die Ätzgeschwindigkeit. Wie durch die Kurve **220** gezeigt ist, gibt es bei einem Argonkonzentrationsniveau im Bereich von 20% bis 80% eine vernachlässigbare Änderung in der Ätzgeschwindigkeit der dielektrischen Schicht. Bei Argongas-Konzentrationsniveaus, die 100% erreichen, wird die Ätzgeschwindigkeit der dielektrischen Schicht jedoch stark gesteigert und erreicht nahezu 120 nm pro Minute (1.200 Å pro Minute). Dies erlaubt eine Steigerung der Abscheidungsgeschwindigkeit unter Verwendung geeigneter Mittel, die den Fachleuten bekannt sind, z. B. die Steigerung des Durchsatzes der Abscheidungsgase, bei gleichzeitiger Beibehaltung eines geeignetes Dep-Ätzverhältnisses. Falls dies vorgezogen wird, kann die Abscheidungsgeschwindigkeit unter Verwendung der vorliegenden Erfindung stark gesteigert werden, während gleichzeitig ein konstantes Dep-Ätzverhältnis beibehalten wird.

[0072] Mit Bezug auf die **Fig.** 5, 10 und 11 wurde erkannt, daß, um aus den vorerwähnten Konzepten einen Vorteil zu ziehen, die Ätzgeschwindigkeit der dielektrischen Schicht durch selektives Vermindern des Stromes der Abscheidungsgase in die Behandlungskammer **38** stark gesteigert werden kann. Auf diese Weise kann der darin vorhandene Druck vermindert oder beibehalten werden, während gleichzeitig die Inertgaskonzentration wesentlichen gesteigert

wird. Eine Steigerung der Ätzgeschwindigkeit, wie oben diskutiert, erlaubt die Steigerung des Durchsatzes der Abscheidungsgase in die Behandlungskammer **38**, wodurch die Abscheidungsgeschwindigkeit erhöht wird, während gleichzeitig ein gewünschtes Dep-Ätzverhältnis beibehalten wird. Dies vermindert die Zeit, die notwendig ist, den dielektrischen Film abzuscheiden, während gleichzeitig überlegene lückenfüllende Charakteristika des dielektrischen Films beibehalten werden. Schließlich werden, nachdem das Plasma bei **212** gezündet wurde, die Siliziumquellen- und Sauerstoffquellengase für eine vorbestimmte Zeitdauer, welche abhängig ist, sowohl von den vorhandenen Plasmaspezies als auch der gewünschten Dicke der resultierenden dielektrischen Schicht, in die Behandlungskammer **38** strömen gelassen. Zum Beispiel kann mit dem vorerwähnten Plasma eine dielektrische Schicht mit einer Dicke von annähernd 100 nm (10.000 Å) innerhalb von 90 bis 120 Sekunden gebildet werden.

[0073] In einer bevorzugten Ausführungsform tritt der Schritt **216** etwa 60 bis 70 Sekunden nach dem Schritt **214** auf. Während des Schritts **216** wird der Strom sowohl des Siliziumquellengases als auch des Sauerstoffquellengases simultan für etwa 10 bis 15 Sekunden beendet, wodurch sich die Konzentration des in der Behandlungskammer **38** vorhandenen Argons 100% annähern kann. Danach werden, wie in Schritt **222** gezeigt, das Siliziumquellengas und das Sauerstoffquellengas wieder in die Behandlungskammer **38** mit dem oben in Bezug zu Schritt **210** beschriebenen Durchsatz strömen gelassen. Die Durchsätze der Silizium- und Sauerstoffquellengase können während einer längeren Dep-Ätztechnik periodisch verringert werden, indem die Schritte **216** und **222** wiederholt werden, wie dies im Schritt **224** gezeigt ist. Auf diese Weise kann die Ätzgeschwindigkeit der dielektrischen Schicht **215** wesentlichen gesteigert werden, während ein geeignetes Abscheidung-zu-Ätz-Verhältnis (Dep-Ätzverhältnis) beibehalten wird. Mit dem oben beschriebenen Verfahren kann die Ätzgeschwindigkeit am Schritt **216** bis zu 600 nm pro Minute (6.000 Å pro Minute) oder mehr betragen. Dies erlaubt eine Steigerung in der Abscheidungsgeschwindigkeit bei den Schritten **214** und **222** auf mehr als 1.000 nm pro Minute (10.000 Å pro Minute).

[0074] Wie oben erwähnt, kann eine gesteigerte Ätzgeschwindigkeit der dielektrischen Schicht **215** nur durch Verminderung des Stromes eines von dem Silangas oder dem Sauerstoffgas erhalten werden. Als Ergebnis dessen kann das in **Fig.** 14 gezeigt Verfahren zum Abscheiden einer dielektrischen Schicht verwendet werden. Der Schritt **308** ist identisch zum Schritt **208**, der oben in **Fig.** 10 beschrieben wurde. Der Schritt **310** aus **Fig.** 14 umfaßt jedoch die Zuführung sowohl eines Inertgases als auch eines Sauerstoffquellengases in die Behandlungskammer **38**, wie in **Fig.** 5 gezeigt ist. Am Schritt **312** wird das Plasma darin gebildet, wie oben mit Bezug auf Schritt **212** diskutiert wurde und in **Fig.** 11 gezeigt wurde. Danach wird in dem in **Fig.** 14 gezeigten Schritt **314** das Silanquellengas in die in **Fig.** 5 gezeigte Behandlungskammer **38** geführt. Beim Schritt **316** wird der Strom des Silans vermindert, um so eine gewünschte Ätzgeschwindigkeit der gerade abgeschiedenen dielektrischen Schicht zu erhalten. Am Schritt **322** wird der Strom der Silangasquelle wieder auf den Durchsatz der Silangasquelle am Schritt **314** gebracht. Der Durchsatz des Siliziumquellengases kann während einer längeren Dep-Ätztechnik periodisch verringert werden, indem die Schritte **316** und **322** wiederholt werden, wie dies als Schritt **324** gezeigt ist, um eine dielektrische Schicht gewünschter Dicke zu erhalten. Das Verfahren kann variiert werden, um sowohl die Abscheidung als auch die Ätzgeschwindigkeiten bedarfsweise zu steuern. Der Schutzbereich der Erfindung sollte deshalb nicht mit Bezug auf die obige Beschreibung bestimmt werden, sondern sollte statt dessen mit Bezug auf die angehängten Ansprüche bestimmt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Abscheidung einer konformen Schicht auf einem Substrat, das in einer Behandlungskammer angeordnet ist, die einen damit verbundenen Druck aufweist, wobei das Verfahren folgende Stufen umfasst:
Zufuhr eines Abscheidungsgases und eines Inertgases zur Kammer,
Bildung eines Plasmas in der Kammer und
selektive Steigerung der Konzentration des Inertgases in der Behandlungskammer ohne Steigerung des Druckes in derselben,
dadurch gekennzeichnet, dass der Schritt der selektiven Steigerung der Konzentration des Inertgases während einer Zeitdauer in einem Bereich von 10 bis 15 Sekunden einschließlich durchgeführt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Schritt der selektiven Steigerung der Konzentration des Inertgases die Verminderung des Abscheidungsgases in der Kammer während der genannten Zeitdauer umfasst.

3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem der Schritt der selektiven Steigerung der Konzentration des Inertgases den Ausschluss des Abscheidungsgases aus der Kammer während der genannten Zeitdauer umfasst.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem der Schritt der selektiven Steigerung der Konzentration des Inertgases die periodische Verminderung des Abscheidungsgases in der Kammer umfasst.

5. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem der Schritt der selektiven Steigerung der Konzentration

des Inertgases den periodischen Ausschluss des Abscheidungsgases aus der Kammer umfasst.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem das Abscheidungsgas eine Sauerstoffquelle und eine Siliziumquelle umfasst.

7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem die Siliziumquelle Silan ist.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, bei dem die Sauerstoffquelle molekulares Sauerstoffgas ist.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem das Inertgas Argongas ist.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem das Abscheidungsgas einen Strom aus einer Sauerstoffquelle und einen Strom aus einer Siliziumquelle umfasst und der Schritt der selektiven Steigerung der Konzentration des Inertgases die selektive Verminderung des Flusses der Siliziumquelle und des Flusses der Sauerstoffquelle während der genannten Zeitdauer umfasst.

11. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem der Schritt der selektiven Steigerung der Konzentration des Inertgases den Abbruch des Stroms der Siliziumquelle und des Stroms der Sauerstoffquelle während der genannten Zeitdauer umfasst.

12. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem der Schritt der selektiven Steigerung der Konzentration des Inertgases die gleichzeitige Verminderung des Stroms der Siliziumquelle und des Stroms der Sauerstoffquelle während der genannten Zeitdauer umfasst.

13. Verfahren nach Anspruch 12, bei dem der Schritt der selektiven Steigerung der Konzentration des Inertgases die Verminderung des Stroms der Siliziumquelle und des Stroms der Sauerestoffquelle umfasst, so dass das in der Kammer vorliegende Gasgemisch eine Inertgaskonzentration von annähernd 100% aufweist.

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

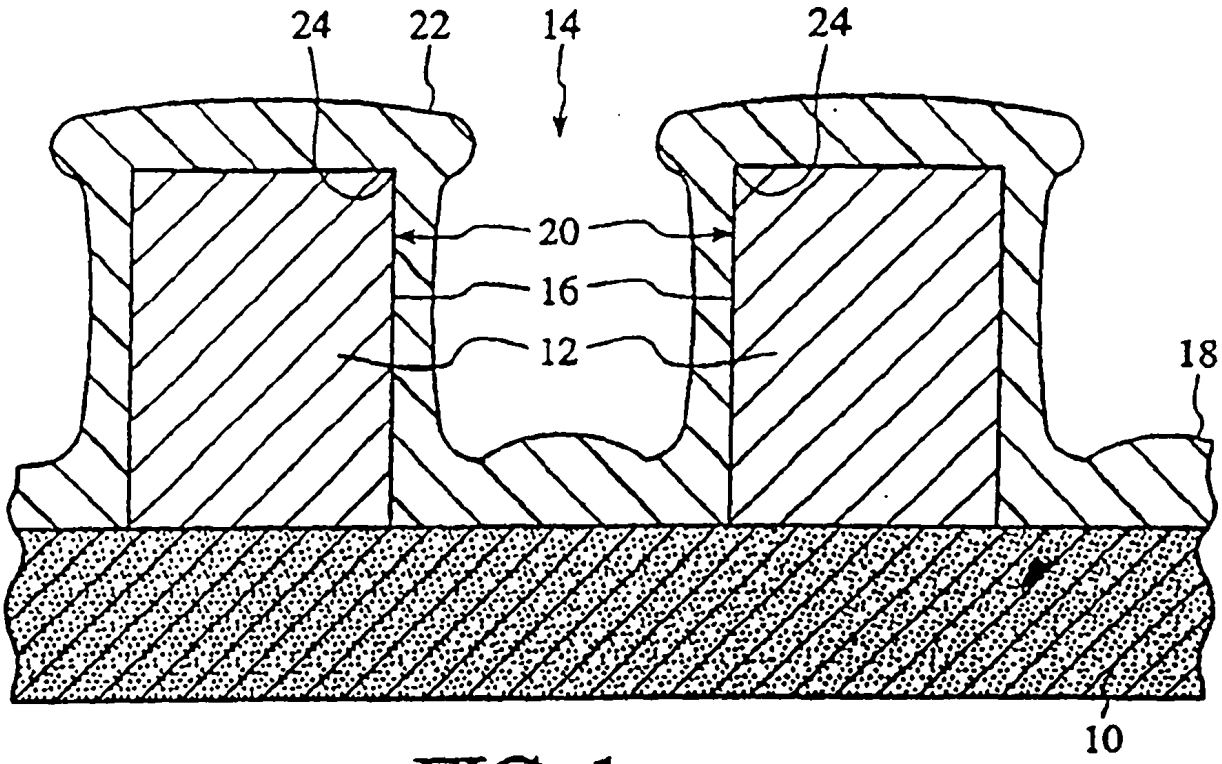

FIG. 1 (STAND DER TECHNIK)

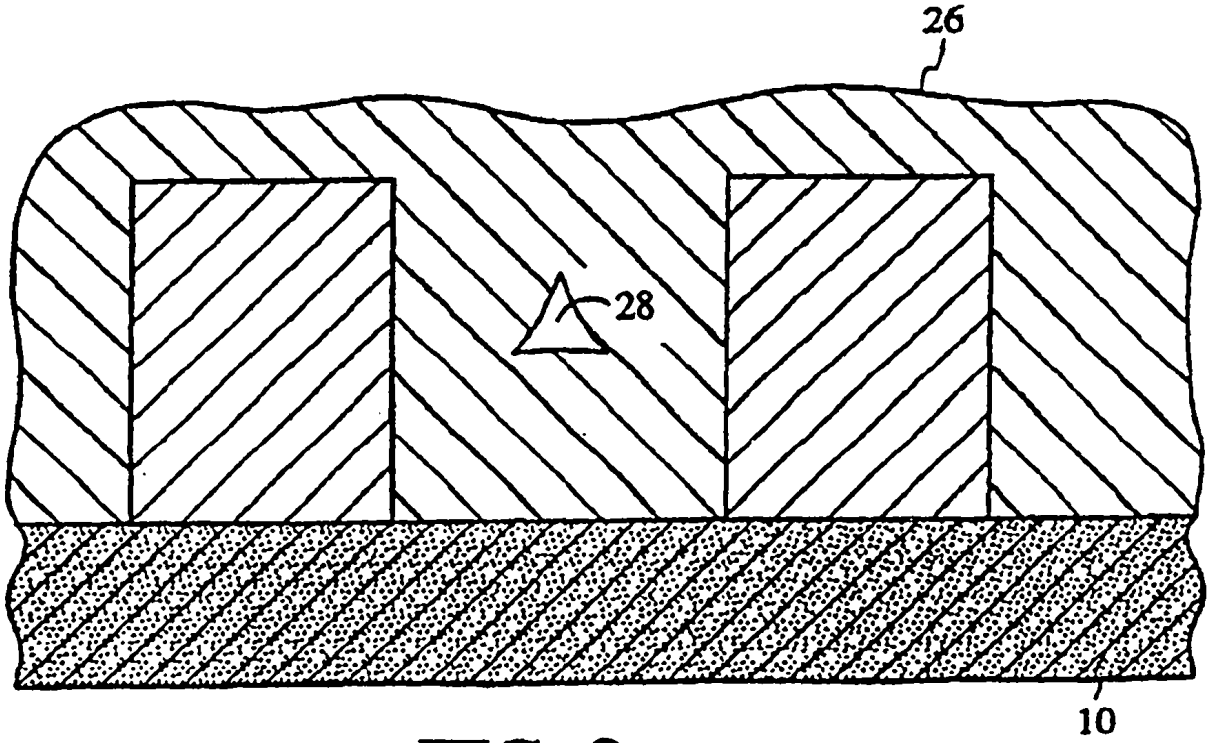

FIG. 2 (STAND DER TECHNIK)

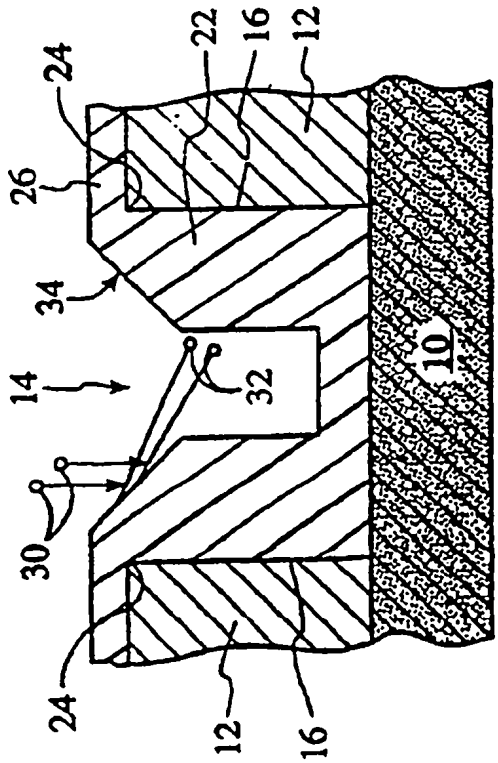

FIG. 3
(STAND DER TECHNIK)

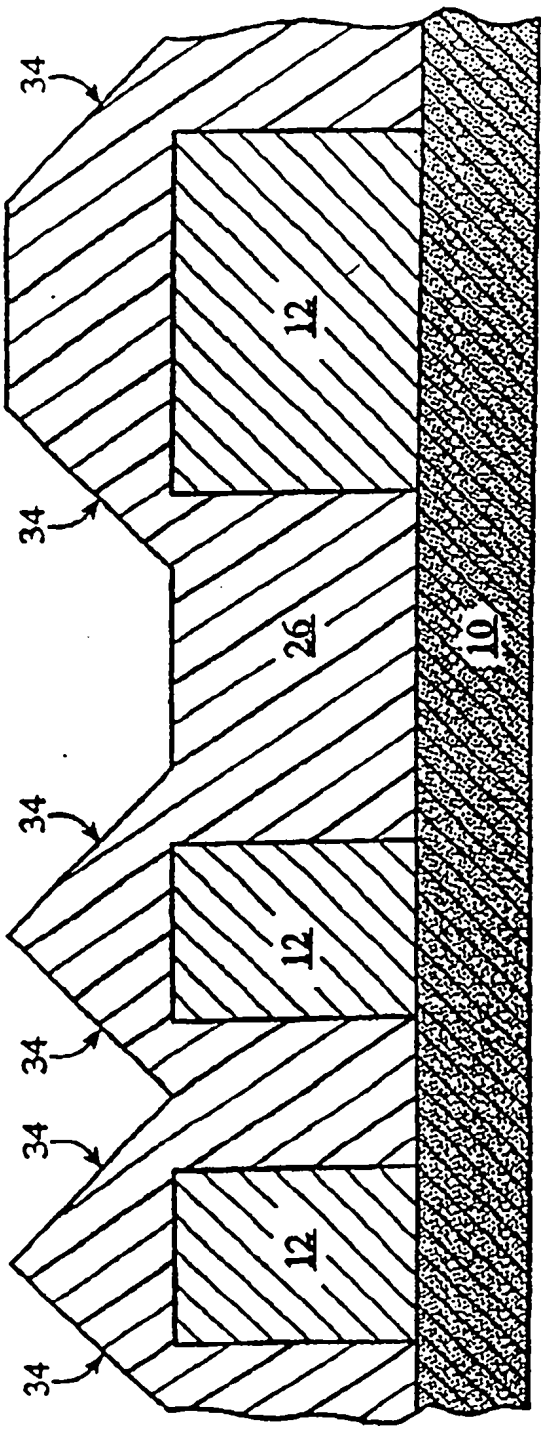

FIG. 4
(STAND DER TECHNIK)

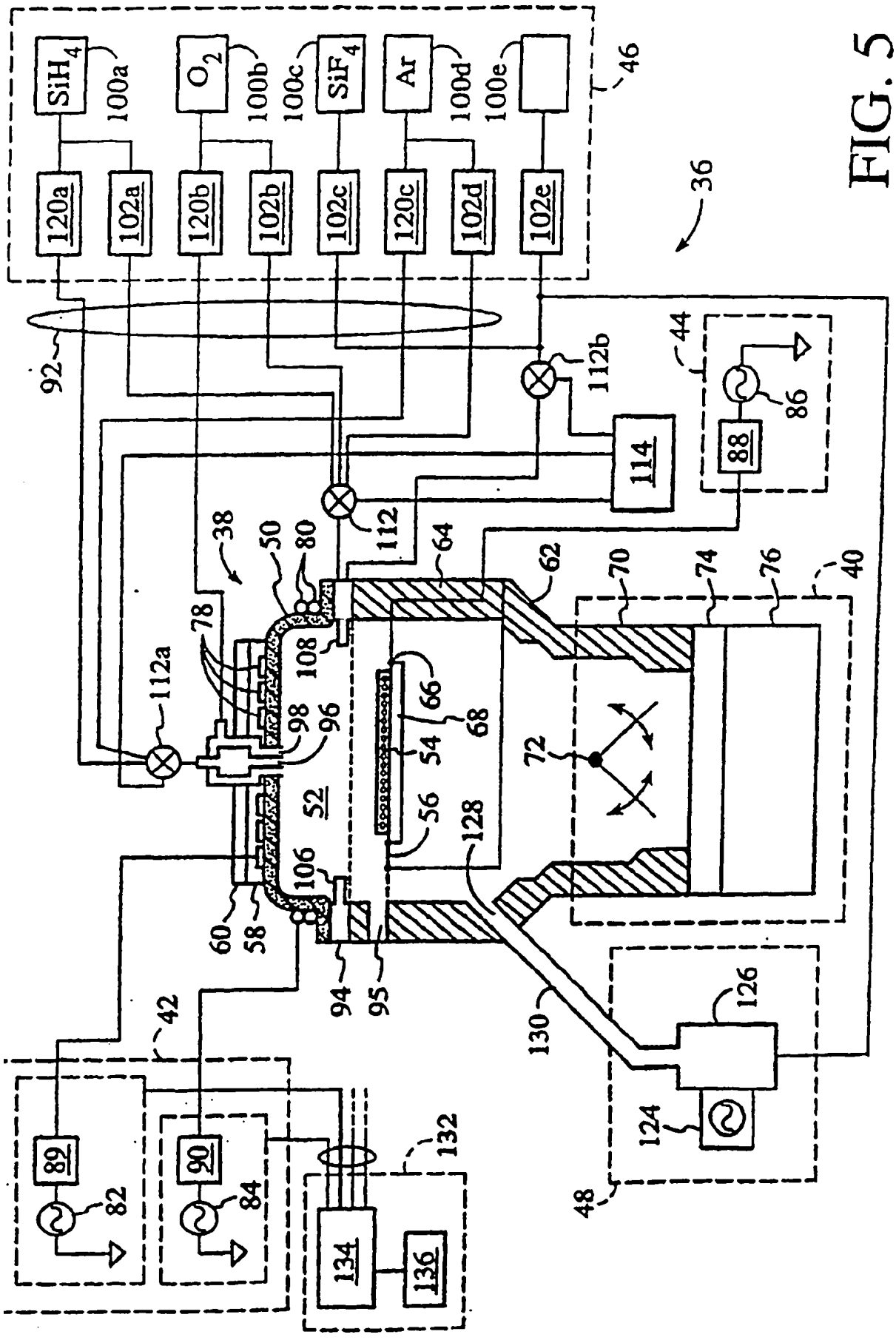
SiH4
O2
SiF4
Ar
100a
100b
100c
100d
100e
46
36
120a
102a
120b
102b
102c
120c
102d
102e
92
112b
114
44
86
88
112
38
50
80
64
62
70
74
76
40
78
112a
108
66
68
54
72
98
96
52
56
128
106
60
58
94
95
130
126
124
48
42
89
90
82
84
132
134
136

FIG. 5

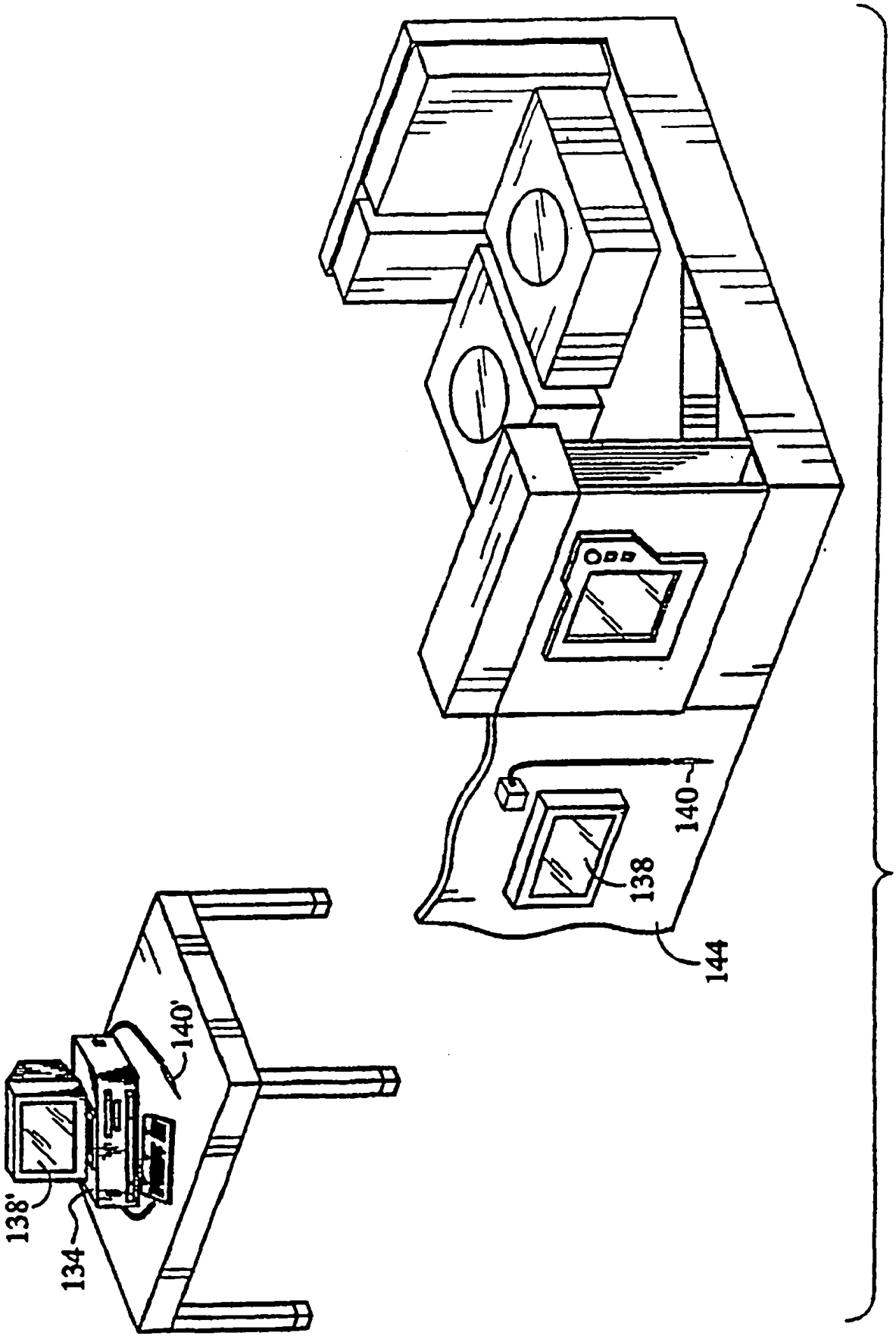

FIG. 6

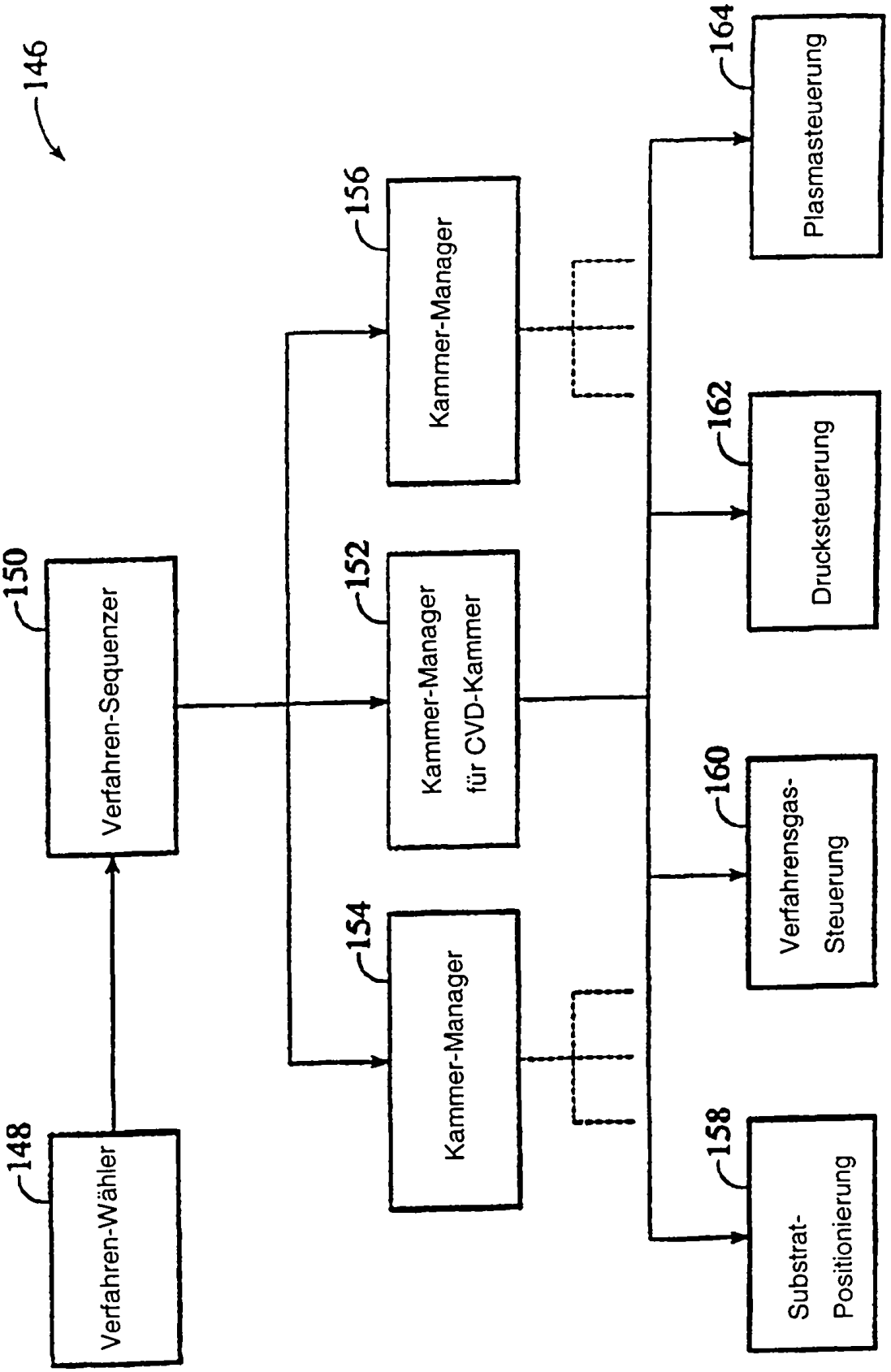
146
148
Verfahren-Wähler
150
Verfahren-Sequenzer
152
Kammer-Manager für CVD-Kammer
154
Kammer-Manager
156
Kammer-Manager
158
Substrat-Positionierung
160
Verfahrensgas-Steuerung
162
Drucksteuerung
164
Plasmasteuerung

FIG. 7

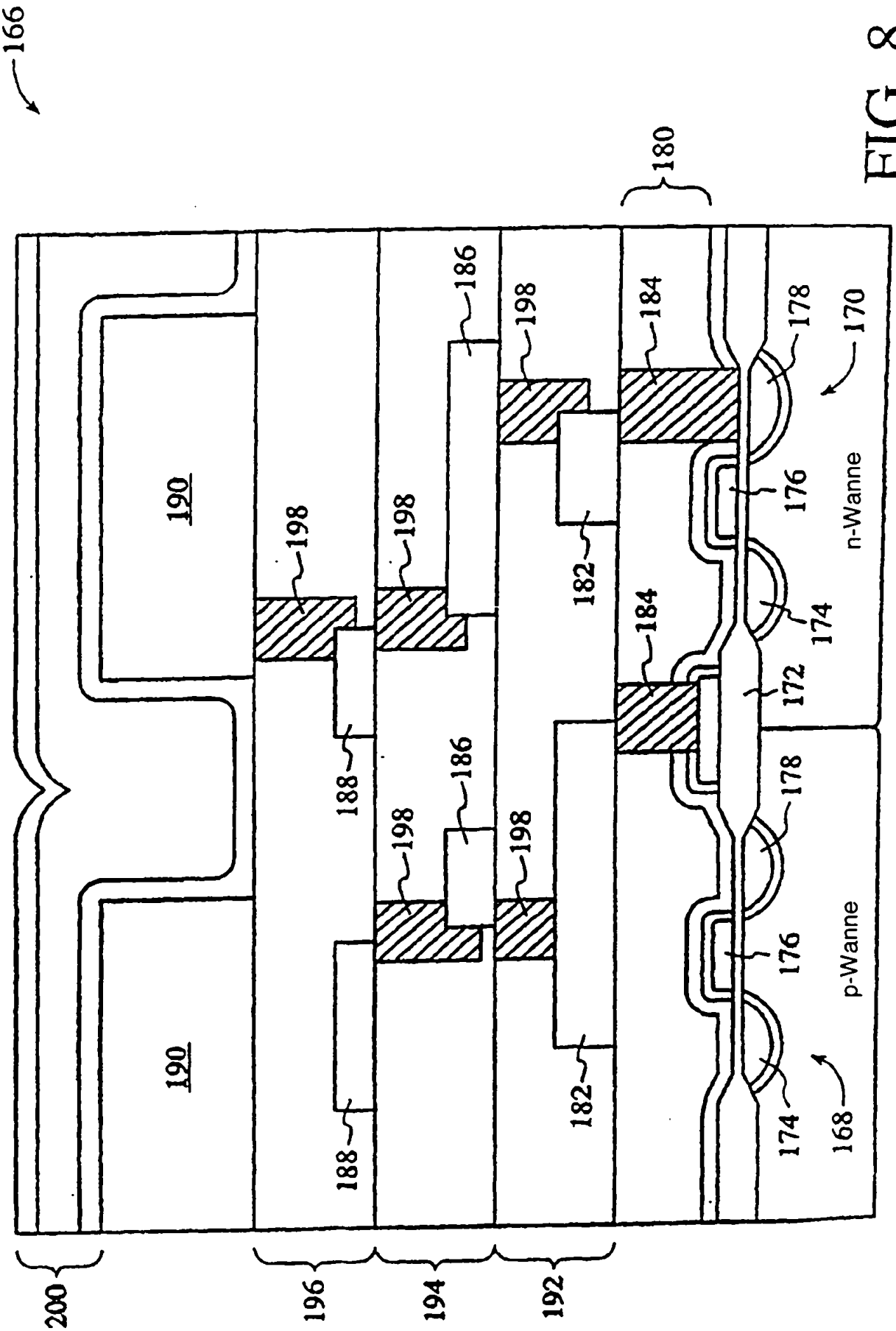
166
180
190
190
198
198
198
198
198
186
186
188
188
182
182
184
184
178
178
176
176
174
174
172
170
168
n-Wanne
p-Wanne
200
196
194
192

FIG. 8

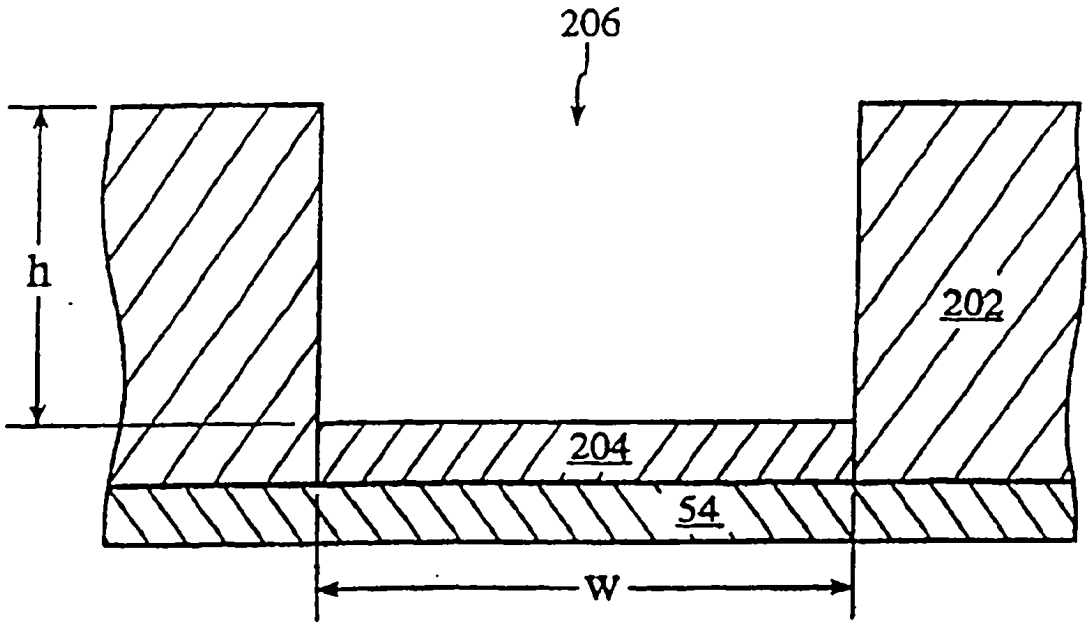
206
h
202
204
54
w

FIG. 9

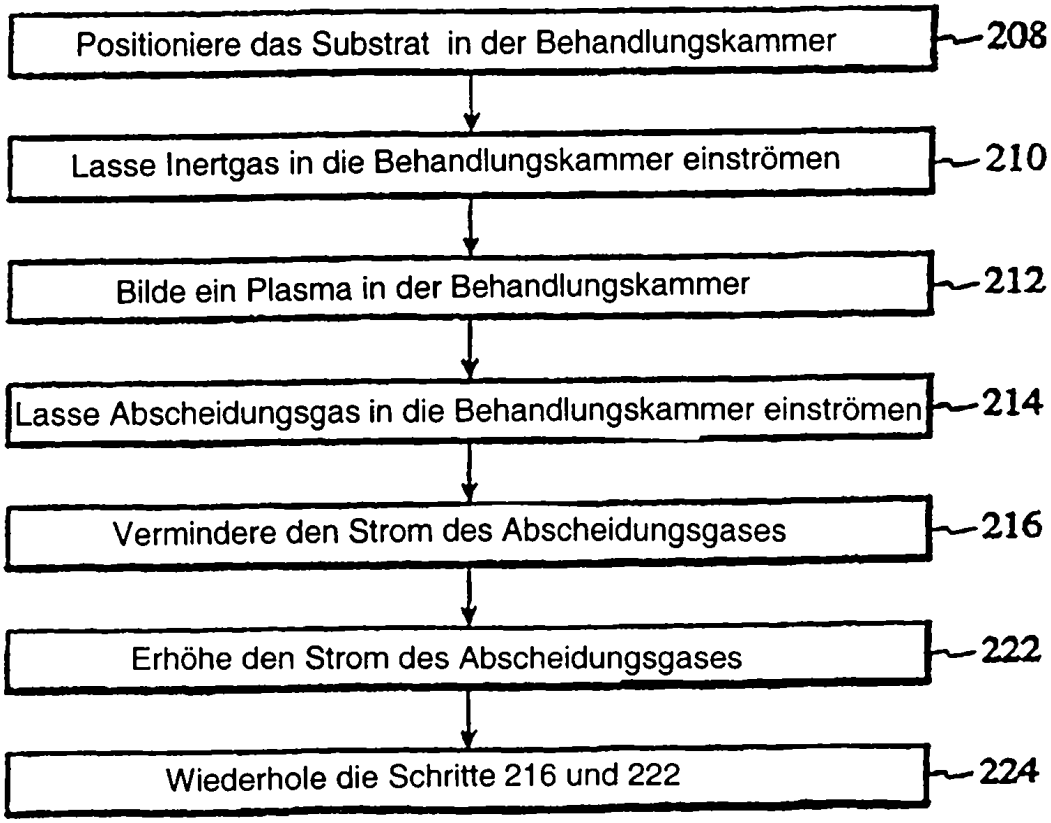
Positioniere das Substrat in der Behandlungskammer
208
Lasse Inertgas in die Behandlungskammer einströmen
210
Bilde ein Plasma in der Behandlungskammer
212
Lasse Abscheidungsgas in die Behandlungskammer einströmen
214
Vermindere den Strom des Abscheidungsgases
216
Erhöhe den Strom des Abscheidungsgases
222
Wiederhole die Schritte 216 und 222
224

FIG. 10

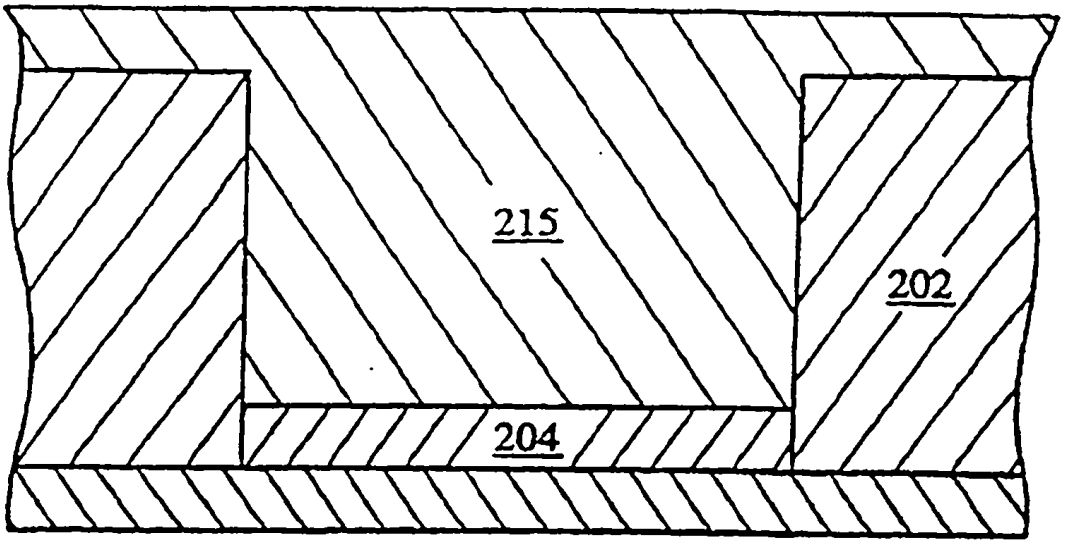
215
202
204

FIG. 11

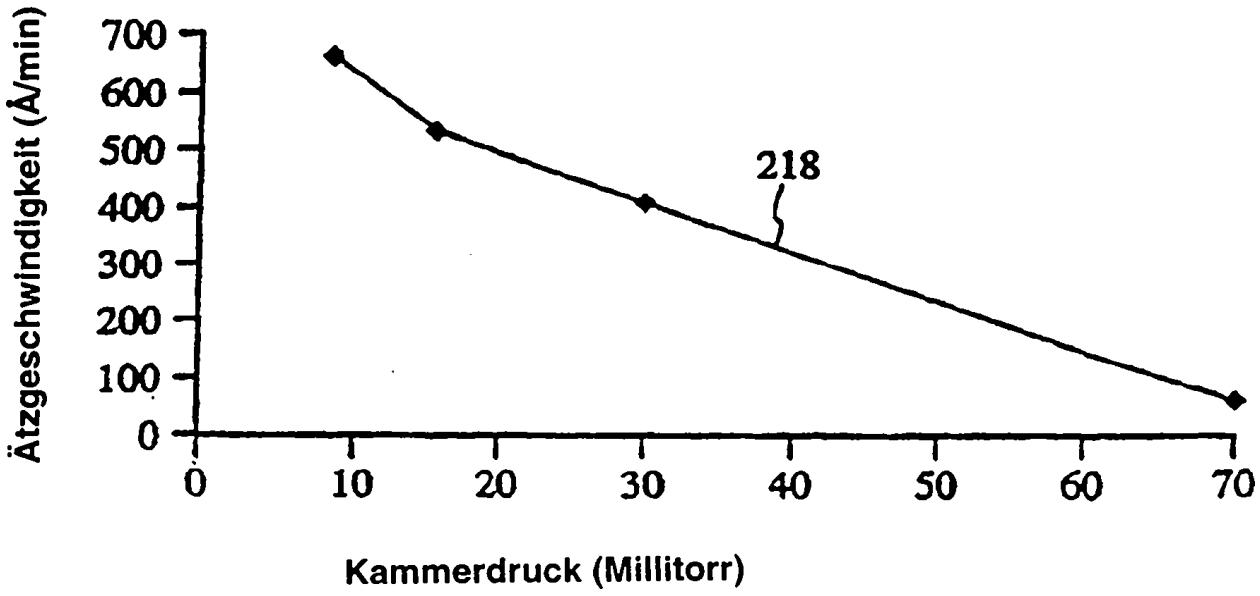
Ätzgeschwindigkeit (Å/min)
700
600
500
400
300
200
100
0
0
10
20
30
40
50
60
70
218
Kammerdruck (Millitorr)

FIG. 12

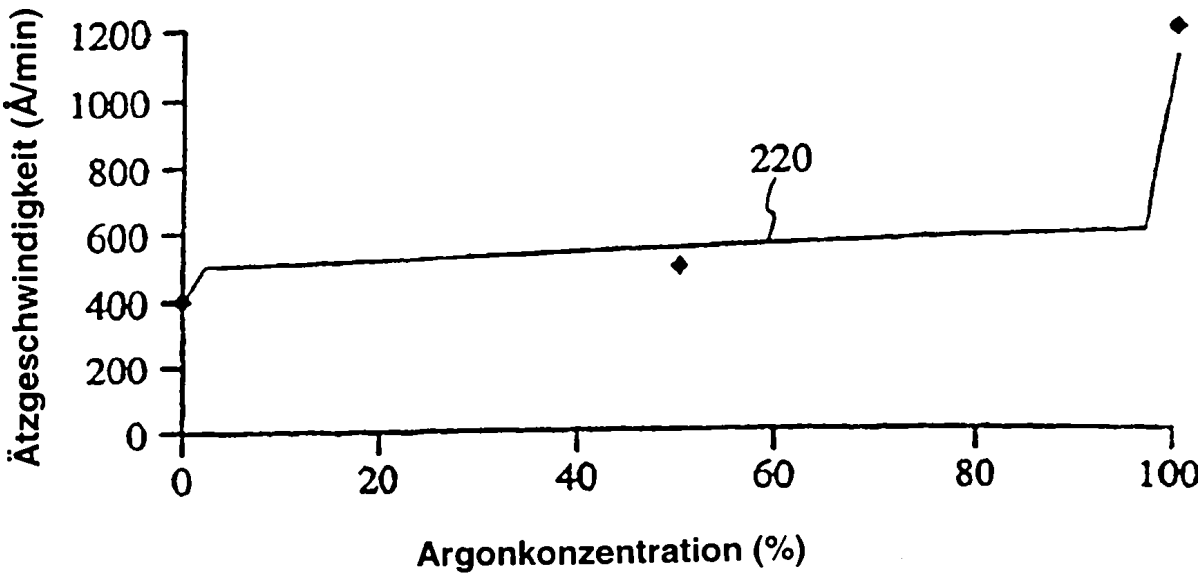
Ätzgeschwindigkeit (Å/min)
1200
1000
800
600
400
200
0
220
0
20
40
60
80
100
Argonkonzentration (%)

FIG. 13

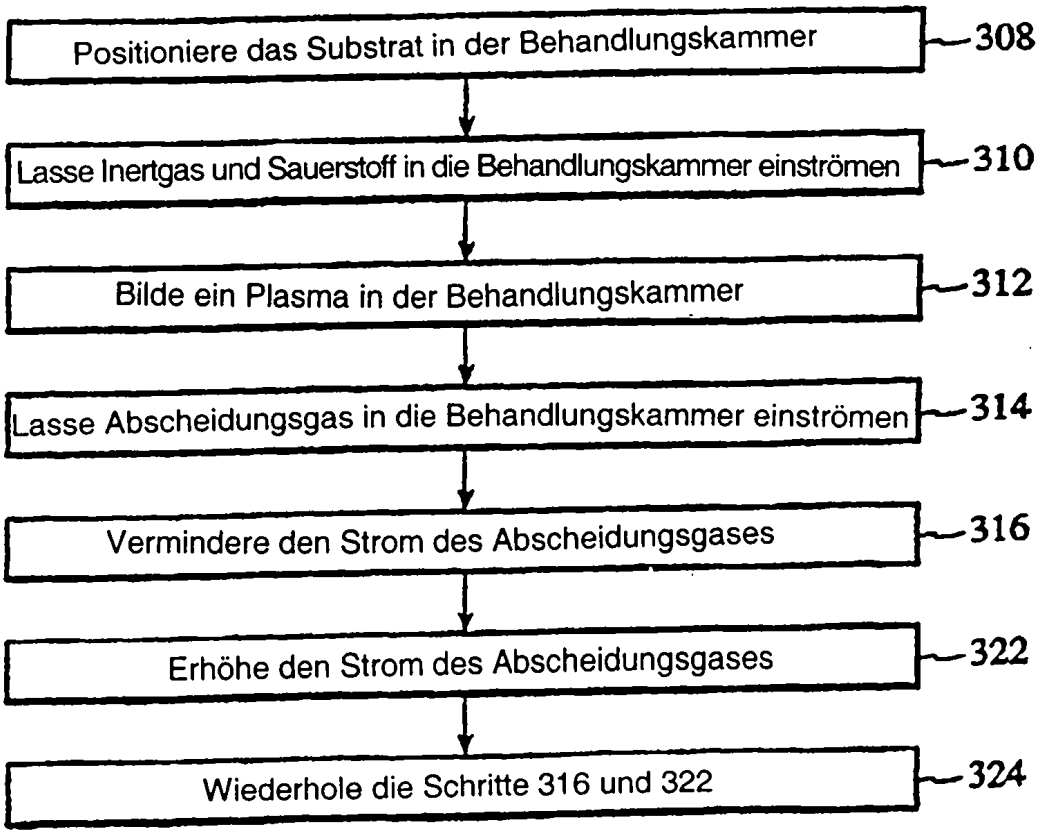
Positioniere das Substrat in der Behandlungskammer
308
Lasse Inertgas und Sauerstoff in die Behandlungskammer einströmen
310
Bilde ein Plasma in der Behandlungskammer
312
Lasse Abscheidungsgas in die Behandlungskammer einströmen
314
Vermindere den Strom des Abscheidungsgases
316
Erhöhe den Strom des Abscheidungsgases
322
Wiederhole die Schritte 316 und 322
324

FIG. 14