



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 20 041 T2** 2004.09.02

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 972 299 B1**

(51) Int Cl.7: **H01J 37/32**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 20 041.1**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US98/05569**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 913 017.4**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 98/044535**

(86) PCT-Anmeldetag: **26.03.1998**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **08.10.1998**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **19.01.2000**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **26.11.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **02.09.2004**

(30) Unionspriorität:  
**828507 31.03.1997 US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT, DE, FR, GB, IE, IT, NL**

(73) Patentinhaber:  
**Lam Research Corp., Fremont, Calif., US**

(72) Erfinder:  
**KENNEDY, S., William, Redwood Shores, US;  
LAMM, J., Albert, Sunnyvale, US; WICKER, E.,  
Thomas, Reno, US; MARASCHIN, A., Robert,  
Cupertino, US**

(74) Vertreter:  
**Dr. Weitzel & Partner, 89522 Heidenheim**

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN UND GERAET ZUR UEBERWACHUNG VON NIEDERSCHLAEGE AUF DER INNEN-  
BERFLAECHE EINER PLASMABARBEITUNGSKAMMER**

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**

## Gebiet der Erfindung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf Verbesserungen in einem Plasmareaktor und auf ein Verfahren des Behandeln eines Substrats in dem Plasmareaktor, wie zum Beispiel durch Plasmaätzen einer Oxidschicht auf eine Halbleiterscheibe (Wafer).

## Hintergrund der Erfindung

[0002] Vakuumbehandlungskammern werden im Allgemeinen für die chemische Gasphasenabscheidung (CVD: Chemical Vapor Deposition) verwendet und zum Ätzen von Materialien auf Substrate, durch Zuführen eines Prozessgases in die Vakuumkammer und durch Anlegen eines HF-Feldes (HF: Hochfrequenz) an das Gas. Beispiele von Parallelplatten-, transformergekoppelten Plasma- (TCP™, auch ICP genannt) und Elektron-Zyklotron-Resonanz-Reaktoren (ICR) sind in den US-Patenten mit den Nummern 4,340,462; 4,948,458 und 5,200,232 desselben Patentinhabers offenbart. Die Substrate werden an ihrem Platz innerhalb der Vakuumkammer während des Behandeln durch Substrathalter gehalten. Herkömmliche Substrathalter umfassen mechanische Klammern und elektrostatische Klammern (ESC). Beispiele für Substrathalter mit mechanischen Klammern und ESC sind in dem US-Patent mit der Nummer 5,262,029 desselben Patentinhabers und in der US-Patentanmeldung desselben Inhabers mit der Nummer 08/401,524, die am 10. März 1995 eingereicht wurde, dargestellt. Substrathalter in der Form einer Elektrode können eine Hochfrequenzleistung (HF-Leistung) in die Kammer zuführen, wie in dem US-Patent mit der Nummer 4,579,618 offenbart ist.

[0003] Plasmareaktoren, in welchen eine Antenne, die an eine Hochfrequenzquelle (HF-Quelle) gekoppelt ist, Gas in einen Plasmazustand innerhalb einer Behandlungskammer energetisiert, sind in den US-Patenten mit den Nummern 4,948,458; 5,198,718; 5,241,245; 5,304,279; 5,401,350; 5,531,834; 5,464,476; 5,525,159; 5,529,657 und 5,580,385 offenbart. In solchen Systemen ist die Antenne von dem Inneren der Behandlungskammer durch ein dielektrisches Element, wie zum Beispiel ein dielektrisches Fenster, eine Gasverteilungsplatte, eine inkapselnde Schicht eines Epoxydharzes oder Ähnliches getrennt, und die HF-Energie wird in die Kammer durch das dielektrische Element zugeführt. Solche Behandlungssysteme können für eine Vielzahl von Halbleiter-Behandlungsanwendungen, wie zum Beispiel Ätzen, Abscheiden, Resist-Strippen, etc. verwendet werden.

[0004] Während einer Oxidätzung einer Halbleiterscheibe in einem Plasmareaktor kann sich Polymer auf der ausgesetzten Oberfläche des dielektrischen Elementes aufbauen/niederschlagen. Weil der Polymeraufbau zunimmt, kann die Gleichförmigkeit des

Behandelns des Substrates beeinflusst werden und/oder das Polymer kann von dem dielektrischen Element abbröckeln. Wenn das dielektrische Element direkt oberhalb des Substrates und der Aufspanneinrichtung (sog. Chuck) positioniert ist, können Polymerteilchen direkt auf das Substrat oder die Aufspanneinrichtung darunter fallen. Dies kann das Substrat ruinieren, was die Ausbeute vermindert, oder Aufspannungsprobleme verursachen. Zudem muss die Bearbeitung/der Prozess gestoppt werden und die Kammer gereinigt werden. Die Verzögerung aufgrund der „Down-Time“ (Stillstandzeit), welche für das Reinigen erforderlich ist, stellt ebenso einen wesentlichen Verlust in der Produktionsausbeute dar. Daher ist die Kontrolle der Ablagerung von Polymer auf dem dielektrischen Element kritisch für das Erreichen einer hohen Ausbeute und das Beibehalten eines Durchsatzes von Substraten in dem Plasmareaktor.

## Zusammenfassung der Erfindung

[0005] Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, den Durchsatz von bearbeiteten Substraten zu vergrößern, wenn Substrate, wie zum Beispiel Halbleiterscheiben (Wafer) kontinuierlich in einem Plasmareaktor prozessiert werden, wobei eine Oberfläche eines dielektrischen Elementes, wie zum Beispiel ein dielektrisches Fenster oder eine Gasverteilungsplatte (GDP: Gas Distribution Plate), dem Substrat gegenübersteht.

[0006] Es ist eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, den Ablagerungs-/Niederschlagsaufbau auf einer inneren Oberfläche in einem Plasmareaktor zu steuern und dabei die Ausbeute an produzierten Substraten zu vergrößern und den Ausfallzeitbedarf zum Reinigen des Reaktors zu verringern.

[0007] Die vorhergehende und andere Aufgaben werden durch ein verbessertes Verfahren und eine Vorrichtung zum Steuern der Spannungs-Stehwelle, welche durch eine Antenne, die von dem Inneren eines Plasmareaktors durch ein dielektrisches Element getrennt ist, hervorgebracht wird, gelöst. Gemäß eines Aspekts der vorliegenden Erfindung hat man festgestellt, dass in dem Bereich oder den Bereichen einer großen Amplitude der Spannungs-Stehwelle der Antenne Ablagerungen von dem dielektrischen Element durch Ionen-Bombardement gereinigt werden. Auf der anderen Seite, bei Regionen entlang der Antenne, in welchen die Amplitude der Stehwellenspannung klein ist, werden Ablagerungen eine dicke, manchmal schlecht anhaftende Schicht aufbauen.

[0008] Dementsprechend stellt die vorliegende Erfindung ein Verfahren des Reduzierens des Ablagerungsaufbaus auf einer inneren Oberfläche einer Plasma-Behandlungskammer zur Verfügung, in welcher Substrate behandelt werden, die Plasma-Behandlungskammer umfasst eine Antenne und ein dielektrisches Element, welches die Antenne von einem Inneren der Plasma-Behandlungskammer

trennt, gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

(a) das Erzeugen von Plasma in dem Inneren der Plasma-Behandlungskammer durch Anlegen eines Hochfrequenz-Stromes an die Antenne, wobei ein Teil des Hochfrequenz-Stromes kapazitiv in das Plasma durch eine Spannungs-Stehwelle gekoppelt wird; und

(b) das Steuern des Ablagerungsaufbaus auf der inneren Oberfläche des dielektrischen Elementes durch Verschieben einer Position einer Maximalspannungs-Amplitude der Spannungs-Stehwelle entlang der Antenne, so dass ein Ausmaß eines Ionen-Bombardements auf der inneren Oberfläche des dielektrischen Elementes variiert wird und eine gleichförmige Substratbehandlung während des sequentiellen Behandeln von Substraten in der Plasma-Behandlungskammer erzielt werden kann.

[0009] Die Erfindung erstreckt sich ferner auf eine Plasma-Behandlungskammer, umfassend:

einen Substrathalter zum Tragen eines Substrates innerhalb eines Inneren der Plasma-Behandlungskammer;

ein dielektrisches Element, welches eine ausgesetzte Oberfläche aufweist, die einer Reaktionszone benachbart einem Substrat, welches auf dem Substrathalter gehalten wird, gegenübersteht;

eine Gaszufuhr zum Zuführen von Prozessgas in die Reaktionszone;

eine Antenne zum Zuführen von Hochfrequenz-Energie in das Innere der Plasma-Behandlungskammer und zum Energetisieren des Prozessgases in einen Plasmazustand zum Behandeln eines Substrates, wobei ein Bereich der Hochfrequenz-Energie kapazitiv in das Plasma durch eine Spannungs-Stehwelle gekoppelt wird; und

eine elektrische Schaltung, welche die Position einer maximalen Spannungsamplitude der Spannungs-Stehwelle entlang der Antenne verschiebt, so dass ein Ausmaß eines Ionen-Bombardements auf die innere Oberfläche des dielektrischen Elementes variiert wird, und das gleichförmige Substratbehandeln während des sequentiellen Behandeln von Substraten in der Plasma-Behandlungskammer erzielt werden kann.

[0010] Gemäß einer beispielhaften Ausführung der Erfindung wird der Wert der Abschlussimpedanz der Antenne variiert, um die Position der Amplituden der hohen Spannung und der niedrigen Spannung der Stehwelle auf der Antenne zu steuern. Gemäß dieser Ausführung der Erfindung wird der Wert des Abschlusskondensators variiert, so dass die Bereiche des niedrigen und hohen Ionen-Bombardements sich über das dielektrische Element bewegen.

[0011] Gemäß einer beispielhaften Ausführung, wenn der Abschlusskondensator sich auf einem hohen Wert befindet, wird ein zentraler Reinigungsbe- reich ausgebildet und ein Ablagerungsaufbau tritt in einem äußeren Bereich, welcher den zentralen Be-

reich umschließt, auf. Bei niedrigen Kondensatorwerten unterliegt der zentrale Bereich einem Ablagerungsaufbau und der äußere Bereich wird durch Ionen-Bombardement gereinigt. Durch Steuern des Ionen-Bombardements von diesen Regionen können die Gleichförmigkeit und das Anhaften des Ablagerungsaufbaus auf dem dielektrischen Element gesteuert werden.

[0012] Gemäß einer beispielhaften Ausführung kann der Abschlusskondensator zweimal oder öfter variiert werden, kontinuierlich variiert werden oder auf einen gewünschten Wert während des Behandeln eines individuellen Substrates gesetzt werden, wie zum Beispiel während eines Oxidätzens einer Halbleiterscheibe (zum Beispiel Silizium-Wafer) in dem Plasmareaktor und/oder während eines Reinigungsdurchlaufs, welcher dem Ätzschritt folgt. Der Abschlusskondensator kann zum Beispiel auf einem Wert während des Behandeln (zum Beispiel während eines Wafer-Ätzprozesses) betrieben werden, und der Kondensator kann auf einem unterschiedlichen Wert während eines Reinigungsschrittes (zum Beispiel während eines Sauerstoff-Reinigungsdurchlaufes) betrieben werden.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0013] Die Erfindung wird in größerem Detail mit Bezug auf die begleitenden Zeichnungen beschrieben, in welchen sich entsprechende Elemente mit den selben Bezugszeichen versehen sind und in welchen:

[0014] die **Fig. 1** eine querschnittene Ansicht einer Vakuum-Behandlungskammer ist, welche einen Einsatz (Liner), einen Fokusring, eine Gasverteilungsplatte aufweist, gemäß einer beispielhaften Ausführung der Erfindung;

[0015] die **Fig. 2** eine Draufsicht einer Gasverteilungsplatte mit 89 Löchern gemäß einer beispielhaften Ausführung der Erfindung ist;

[0016] die **Fig. 3** eine Antenne in der Form einer flachen spiralförmigen Spule gemäß einer beispielhaften Ausführung der Erfindung darstellt;

[0017] die **Fig. 4a bis 4b** Darstellungen von Ablagerungsaufbaumustern (gezeigt mit Querschraffierungen) sind, mit Variation in der Abschlusskapazität;

[0018] die **Fig. 5** eine beispielhafte Schaltungsanordnung für eine Antenne in der Form der spiralförmigen Spule, die in der **Fig. 3** gezeigt ist, darstellt;

[0019] die **Fig. 6** die Wirkung der Variationen des  $C_4$ -Wertes der Schaltung, welche in der **Fig. 5** gezeigt ist, auf Werte von  $C_1$ ,  $C_2$  und  $C_3$  darstellt, welche die reflektierte Leistung minimieren;

[0020] die **Fig. 7** die Wirkung der Variationen des  $C_4$ -Wertes auf die Antennenspannungsamplitude und die HF-Spannung der Bodenelektrode darstellt; und

[0021] die **Fig. 8** die Wirkung der Variationen des  $C_4$ -Wertes auf die Antennenstromamplitude und den HF-Strom der Bodenelektrode darstellt.

### Detaillierte Beschreibung der vorzuziehenden Ausführungen

[0022] Die Erfindung stellt Verbesserungen bei der Reduzierung der Teilchenkontamination von Substraten, wie zum Beispiel Halbleiterscheiben (zum Beispiel Silizium-, Galliumarsenid-Wafer, etc.), Substrate für Flachbildschirme und Ähnlichem, zur Verfügung. Zudem stellt die Erfindung das gleichförmige und wiederholbare Behandeln von sequentiell behandelten Substraten zur Verfügung, wobei extrem lange kontinuierliche Prozessabläufe (zum Beispiel über 100, vorzugsweise über 1000 und noch eher vorzuziehen über 2000 Wafer-Durchläufe) zwischen Abschaltungen zum Reinigen des Reaktors zugelassen werden.

[0023] Beim Plasmaätzen von Substraten können Merkmale in Schichten aus verschiedenen Materialien auf Substraten, wie zum Beispiel Silizium-Wafern, geätzt werden. Bei solchen Ätzprozessen kann eine Gasverteilungsplatte verwendet werden, um die räumliche Verteilung der Gasströmung in das Volumen des Reaktors über der Ebene des Substrats zu steuern. In dem TCP™ 9100™ Plasmaätzreaktor, welcher von der LAM Research Incorporated erhältlich ist, ist die Gasverteilungsplatte eine kreisförmige Platte, welche direkt unterhalb des TCP™ Fensters positioniert ist, welches ebenso die vakuumabdichtende Fläche am oberen Ende des Reaktors in einer Ebene oberhalb und parallel zu einer Halbleiterscheibe (Wafer) ist. Die Gasverteilungsplatte ist gegen einen Gasverteilungsring abgedichtet, der an dem Umfang der Gasverteilungsplatte positioniert ist, wobei ein O-Ring verwendet wird. Der Gasverteilungsring führt Gas von einer Quelle in das Volumen ein, welches durch die Gasverteilungsplatte, eine Innenseitenoberfläche eines Fensters, welches unter einer Antenne in der Form einer flachen spiralförmigen Spule, die HF-Energie in den Reaktor zuführt, liegt, und den Gasverteilungsring definiert wird. Die Gasverteilungsplatte beinhaltet ein Feld von Löchern/Bohrungen eines vorgegebenen Durchmessers, welche sich durch die Platte erstrecken. Die räumliche Verteilung der Löcher durch die Gasverteilungsplatte kann variiert werden, um die Ätzgleichförmigkeit der Schichten, welche geätzt werden sollen, zu optimieren, beispielsweise eine Photorealist-Schicht, eine Siliziumdioxid-Schicht und ein unterliegendes Material auf dem Wafer. Die Querschnittsform der Gasverteilungsplatte kann variiert werden, um die Verteilung von HF-Leistung in das Plasma in dem Reaktor zu manipulieren. Der Werkstoff der Gasverteilungsplatte muss ein Dielektrikum sein, um zu ermöglichen, dass diese HF-Leistung durch die Gasverteilungsplatte in den Reaktor gekoppelt wird. Ferner ist es für den Werkstoff der Gasverteilungsplatte wünschenswert, dass er hochwiderstandsfähig gegenüber chemischem Sputter-Ätzen in Umgebungen, wie zum Beispiel Sauerstoff oder einem Hydrofluorcarbongas-Plasma, ist, um ein Zu-

sammenbrechen und die resultierende Teilchenerzeugung, welche damit verbunden ist, zu vermeiden. [0024] Eine Vakuumbehandlungskammer gemäß einer Ausführung der vorliegenden Erfindung ist in der Fig. 1 dargestellt. Die Vakuumbehandlungskammer **10** umfasst einen Substrathalter **12** in der Form einer Bodenelektrode, welche eine elektrostatische Klemmkraft für ein Substrat **13** zur Verfügung stellt, sowie eine HF-Vorspannung für ein Substrat, welches darauf getragen wird, und einen Fokusring **14** zum Beschränken von Plasma in einem Bereich über dem Substrat, während es He-rückgekühlt wird. Eine Energiequelle zum Aufrechterhalten eines hochdichten Plasmas (zum Beispiel mit  $10^{11}$  bis  $10^{12}$  Ionen/cm<sup>3</sup>) in der Kammer, wie zum Beispiel eine Antenne **18** in der Form einer flachen spiralförmigen Spule, die durch eine geeignete HF-Quelle und eine geeignete HF-Impedanzanpassungsschaltung mit Leistung versorgt wird, koppelt induktiv HF-Energie in die Kammer **10**, so dass ein hochdichtes Plasma zur Verfügung gestellt wird. Die Kammer umfasst eine geeignete Vakuumpumpeinrichtung zum Halten des Inneren der Kammer auf einem gewünschten Druck, zum Beispiel unterhalb von 6,7 Pa (50 mTorr), typischerweise auf 0,1 bis 2,7 Pa (1 bis 20 mTorr). Ein im wesentlichen ebenes dielektrisches Fenster **20** einer gleichförmigen Dicke ist zwischen der Antenne **18** und dem Inneren der Behandlungskammer **10** vorgesehen und bildet die Vakuumwand an dem oberen Ende der Behandlungskammer **10** aus. Eine Gasverteilungsplatte, im Allgemeinen Brausekopf (Showerhead) **22** genannt, ist unter dem Fenster **20** vorgesehen und umfasst eine Vielzahl von Öffnungen, wie zum Beispiel kreisförmige Bohrungen (nicht gezeigt) zum Zuführen von Prozessgas, welches durch die Gaszufuhr **23** zugeführt wird, in die Prozesskammer **10**. Ein konischer Einsatz **30** erstreckt sich ausgehend von der Gasverteilungsplatte und umschließt den Substrathalter **12**.

[0025] Die Antenne **18** kann mit einem Kanal **24** versehen sein, durch welchen ein Temperatursteuerfluid geleitet wird, über die Einlass- und Auslasskanäle **25**, **26**. Die Antenne **18** und/oder das Fenster **20** können jedoch durch andere Techniken gekühlt werden, wie zum Beispiel durch Blasen von Luft über die Antenne und das Fenster, durch Durchleiten eines Kühlmediums durch oder in einem Wärmeübertragungskontakt mit dem Fenster und/oder der Gasverteilungsplatte, etc.

[0026] Beim Betrieb wird ein Wafer auf dem Substrathalter **12** positioniert und wird typischerweise durch eine elektrostatische Klammer, eine mechanische Klammer oder andere Klammerungsmechanismen am Platz gehalten, wenn He-Rückkühlung angewendet wird. Prozessgas wird dann in die Vakuumbehandlungskammer **10** zugeführt, durch Leiten des Prozessgases durch eine Lücke zwischen dem Fenster **20** und der Gasverteilungsplatte **22**. Geeignete Gasverteilungsplattenanordnungen, das heißt Brausekopf-Anordnungen, sind in den US-Patentan-

meldungen mit den Anmeldenummern 08/509,080; 08/658,258 und 08/658,259 desselben Inhabers offenbart. Die Gasverteilungsplatte kann verschiedene Ausführungen aufweisen, von denen ein Beispiel in der **Fig. 2** gezeigt ist. Die Gasverteilungsplatte **22**, welche in der **Fig. 2** gezeigt ist, umfasst 89 Bohrungen **41** und vier Wulste **42** nahe der Mitte derselben, um einen Durchlass für eine Zufuhr von Prozessgas zwischen der Gasverteilungsplatte und dem dielektrischen Fenster zur Verfügung zu stellen. Die Gasverteilungsplatte, der Einsatz und/oder der Fokusring können in den Kammern der Typen montiert werden, welche in den US-Patentanmeldungen mit den Anmeldenummern 08/658,261 und 08/658,262 desselben Inhabers offenbart sind. Eine vollständige Beschreibung eines Prozesses zum Produzieren von Halbleitersubstraten zur Verwendung mit der vorliegenden Erfindung ist in der US-Patentanmeldung mit der Anmeldenummer 08/722,371 desselben Inhabers offenbart.

[0027] Wenn man sich nun der **Fig. 3** zuwendet, ist eine Darstellung einer TCP™ Spule **50** gezeigt, welche über einem Plasma **52** positioniert ist, welches durch die Spule erzeugt wurde. Das äußere Ende der Spule **50** ist an einen variablen Abschlusskondensator **60** angeschlossen, welcher jeweils eine Ausgangsspannung und -strom  $V_0$  und  $I_0$  aufweist. Das innere Ende der Spule ist an eine HF-Leistungsversorgung angeschlossen, welche HF-Leistung durch den Abgleichschaltkreis **65** zuführt, so dass das innere Ende der Spule jeweils eine Eingangsspannung und -strom von  $V_1$  und  $I_1$  aufweist. Die Abgleichschaltungen, wie zum Beispiel **65**, sind dem Fachmann bekannt und werden daher vorliegend nicht weiter beschrieben. Als eine verlustbehaftete Übertragungsleitung bringt die TCP™ Spule **50** eine Spannungsstehwelle hervor, welche entlang ihrer Länge durch Variieren der Abschlussimpedanz der Spule verschoben werden kann. In dem Beispiel, welches in der **Fig. 3** gezeigt ist, wird die Abschlussimpedanz durch den Kondensator **60** zur Verfügung gestellt. Es ist jedoch naheliegend für den Fachmann, dass die Versetzung der Spannungsstehwelle durch andere Techniken erreicht werden kann.

[0028] In einem Bereich der Spule **50**, welcher eine Stehwelle mit hoher Spannungsamplitude (das heißt Spitzenspannung) hervorbringt, gibt es einen entsprechenden Bereich eines hohen Ionen-Bombardements auf der Gasverteilungsplatte **22**. Im Bereich dieses hohen Ionen-Bombardements verbleibt die Gasverteilungsplatte relativ frei von einem Polymeraufbau. In anderen Regionen, in welchen das Ionen-Bombardement gering ist, kann ein Aufbau von Polymer auftreten. In anderen Worten, in den Bereichen der Spule **50**, in denen die Spitzenspannung hoch ist, wird der Polymeraufbau in benachbarten Bereichen auf der inneren Oberfläche der Gasverteilungsplatte minimiert.

[0029] Die Position der größten Spannungsamplitude der Stehwelle kann entlang der Spule **50** durch

Manipulieren der Abschlussimpedanz versetzt werden. In einer beispielhaften Ausführung wird der Kondensator verwendet, um die Abschlussimpedanz zu variieren. Durch Variieren des Wertes der Kapazität des Kondensators **60** können die Bereiche mit einem hohen und geringen Ionen-Bombardement über der Oberfläche der Gasverteilungsplatte **22** bewegt werden, um ein Reinigen der Platte **22** zu bewirken.

[0030] Gemäß einer beispielhaften Ausführung der Erfindung hat man festgestellt, dass, wenn der Abschlusskondensator auf einen niedrigen Wert gesetzt wurde, das dielektrische Element **70** einen inneren Bereich **72** eines Polymeraufbaus umfasst und einen äußeren relativ sauberen Bereich **74**, wie in der **Fig. 4a** gezeigt ist. Durch Anheben der Kapazität des Kondensators **16** kann der Bereich des Polymeraufbaus in einen äußeren Bereich **76** verschoben werden, und der vorherige Aufbau auf dem inneren Bereich kann durch ein Ionen-Bombardement des Bereiches reduziert werden, um einen relativ sauberen inneren Bereich **78** auszubilden, wie in der **Fig. 4b** gezeigt ist. Gemäß der Erfindung kann die Kapazität gesteuert und/oder variiert werden, um die sauberen Zonen über die innere Oberfläche eines dielektrischen Elementes, wie zum Beispiel die Gasverteilungsplatte, zu bewegen, um einen Ablagerungsaufbau zu unterdrücken.

[0031] Die Kapazität des regelbaren/variablen Kondensators **60** kann zum Beispiel elektromechanisch durch eine Steuerschaltung **68** gesteuert werden. Gemäß dieser Ausführung der Erfindung können wenigstens zwei Steuerschemata implementiert werden. Ein erstes Steuerschema variiert systematisch die Kapazität des Kondensators **60** während des Behandeln, wie zum Beispiel bei einem Ätzschritt oder einem Sauerstoff-Reinigungsschritt. Gemäß einer vorzuziehenden Ausführung wird die Kapazität auf demselben Weg in jedem Durchlauf geändert, um ein gleichförmiges und wiederholbares Prozessieren von sequentiell behandelten Substraten auszuführen. Ein zweites Steuerverfahren betreibt den Kondensator **60** auf einem Wert während eines Bearbeitungsdurchlaufes und einem zweiten Wert während des Sauerstoff-Reinigungsdurchlaufes. Alternativ könnte, in dem Fall, in dem das Substrat eine kleinere Größe als die Antenne aufweist, die Kapazität auf einen Wert gesetzt werden, welcher einen gleichförmigen Aufbau von Ablagerungen auf einem Bereich des dielektrischen Elementes erreicht, welcher gleich groß mit dem des Substrates ist. In diesem Fall kann ein gleichförmiges Substratbehandeln erzielt werden, gefolgt von einem optionalen Reinigungsschritt, um den Ablagerungsaufbau zu entfernen. Die **Fig. 5** bis **8** stellen Details einer Schaltung dar, welche verwendet werden kann, um die TCP™ Spule, welche in der **Fig. 1** gezeigt ist, zu betreiben. Wie in der **Fig. 5** gezeigt ist, liegt die Antenne in der Form einer TCP™ Spule vor, welche mit HF-Leistung durch eine Schaltungsanordnung versorgt wird, die die Kondensatoren  $C_1$ ,  $C_2$  und  $C_3$  mit einem Abschlusskondensator

Ca, der an einen Ausgang der Spule angeschlossen ist, umfasst. Die **Fig. 6** stellt die Wirkung der Variationen des  $C_4$ -Wertes (normalisiert) der Schaltung, welche in der **Fig. 5** gezeigt ist, auf normalisierte Werte von  $C_1$ ,  $C_2$  und  $C_3$  dar, welche die reflektierte Leistung minimieren. Für eine automatische Abstimmung (Autotuning) können  $C_2$  und  $C_3$  geregelt angetrieben (servo driven) sein, und  $C_3$  kann manuell eingestellt werden. Die **Fig. 7** stellt die Wirkung der Variationen des  $C_4$ -Wertes (normalisiert) auf die Antennenspitzenspannung (normalisiert) und die Bodenelektrode-HF-Spannung (normalisiert) dar. Die optimierten Werte von  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  und  $C_4$  werden von vielen Faktoren abhängen, wie zum Beispiel dem Typ des Substrates, welches prozessiert werden soll, dem Typ der Antenne, dem Typ des Prozesses, welcher ausgeführt werden soll, etc.

[0032] Die Bodenelektrode wird verwendet, um eine große HF-Vorspannung (Biss) an das Substrat, welches behandelt wird, anzulegen. Zum Beispiel ist es üblich, einen 4 MHz HF-Strom an die Bodenelektrode anzulegen. Die HF-Spannung und der Strom an der Bodenelektrode werden durch die Reaktorimpedanz mit einem Plasma, welches in dem Reaktor aufgebaut ist, bestimmt. Die **Fig. 7** zeigt, dass die HF-Spannung auf die Bodenelektrode eine Funktion des  $C_4$ -Wertes ist. Die Änderungen in der HF-Spannung auf der Bodenelektrode haben keine Hauptwirkung auf die Behandlung eines Substrats. Wie in der **Fig. 8** gezeigt ist, wird die Gleichstrom-Spannung (das heißt HF-Vorspannung) auf der Bodenelektrode negativer, wenn die Plasmaerzeugung in Richtung der Kammerwände für höhere  $C_4$ -Werte verschoben wird.

[0033] Es wird besonders erwähnt, dass die oben beschriebenen Ausführungen nur für illustrative Zwecke zur Verfügung gestellt wurden, und dass andere Ausführungen sich selber dem Fachmann vorschlagen werden. Zum Beispiel können andere Antennen als die oben beschriebene flache spiralförmige Spule **50** verwendet werden, um das Ionen-Bombardement der Gasverteilungsplatte zu steuern. Zum Beispiel kann mehr als eine Antenne verwendet werden und/oder die Antenne kann nichtebene Konfigurationen aufweisen oder eine nichtspiralförmige Form haben. Wenn eine spiralförmige Spule verwendet wird, kann die Anzahl von Windungen derselben ausgewählt werden, basierend auf der Größe des Substrates, welches behandelt werden soll. Zudem, während die Erfindung im Hinblick auf die Steuerung der Kapazität des Kondensators **60** beschrieben worden ist, können andere Techniken verwendet werden, um das Ionen-Bombardement auf die Gasverteilungsplatte zu steuern. Zum Beispiel können Induktivitäten verwendet werden, um die Spule **50** abzuschließen und um eine variable Impedanz gemäß der vorliegenden Erfindung zur Verfügung zu stellen. Ferner kann zusätzlich oder anstelle des Variierens der Abschlussimpedanz die Stehwelle durch elektrische Komponenten modifiziert werden, die an andere Bereiche

der Spule angeschlossen sind (zum Beispiel die optionale Schaltungskomponente **90**, wie sie in gepunkteten Linien in der **Fig. 3** gezeigt ist).

[0034] Das Vorhergehende hat die Prinzipien, vorzuziehende Ausführungen und Betriebsmodi der vorliegenden Erfindung beschrieben. Die Erfindung soll jedoch nicht so ausgelegt werden, dass sie durch die besonderen diskutierten Ausführungen beschränkt wird. Somit sollen die oben beschriebenen Ausführungen eher als illustrativ betrachtet werden denn als restriktiv, und es soll angenommen werden, dass Variationen an diesen Ausführungen durch Facharbeiter ausgeführt werden können, ohne von dem Schutzzumfang der vorliegenden Erfindung abzuweichen, wie er durch die nachfolgenden Ansprüche definiert wird.

### Patentansprüche

1. Ein Verfahren des Reduzierens von einem Ablagerungsaufbau auf einer inneren Oberfläche einer Plasma-Behandlungskammer (**10**), in welcher Substrate behandelt werden, wobei die Plasma-Behandlungskammer (**10**) eine Antenne (**18**) und ein dielektrisches Element (**20**), welches die Antenne von einem Inneren der Plasma-Behandlungskammer trennt, umfasst, gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

(a) das Erzeugen von Plasma in dem Inneren der Plasma-Behandlungskammer (**10**) durch Anlegen eines Hochfrequenz-Stromes an die Antenne (**18**), wobei ein Teil des Hochfrequenz-Stromes kapazitiv in das Plasma durch eine Spannungs-Stehwelle gekoppelt wird; und

(b) das Steuern des Ablagerungsaufbaus auf der inneren Oberfläche des dielektrischen Elementes (**20**) durch Verschieben einer Position einer Maximalspannungs-Amplitude der Spannungs-Stehwelle entlang der Antenne, so dass ein Ausmaß eines Ionen-Bombardements auf die innere Oberfläche des dielektrischen Elements variiert wird und eine gleichförmige Substratbehandlung während des sequentiellen Behandelns von Substraten in der Plasma-Behandlungskammer erzielt werden kann.

2. Ein Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei der Steuerungsschritt ausgeführt wird, während ein Substrat (**13**) in der Plasma-Behandlungskammer (**10**) behandelt wird.

3. Das Verfahren gemäß Anspruch 2, wobei die Spannungs-Stehwelle auf der Antenne (**18**) durch Variieren einer Abschlussimpedanz der Antenne verschoben wird.

4. Das Verfahren gemäß Anspruch 3, wobei die Abschlussimpedanz durch Variieren der Kapazität eines Abschlusskondensators (**60**), der an der Antenne angeschlossen ist, gesteuert wird.

5. Das Verfahren gemäß Anspruch 4, wobei die Kapazität auf einem Wert gehalten wird, welcher ein geringeres Bombardement auf einem zentralen Bereich der inneren Oberfläche als auf einem äußeren Bereich, welcher die innere Oberfläche umschließt, verursacht.

6. Das Verfahren gemäß Anspruch 4, wobei die Kapazität von einer ersten Kapazität auf eine zweite Kapazität angehoben wird, wobei die zweite Kapazität ein größeres Ionen-Bombardement auf einem inneren Bereich der inneren Oberfläche als auf einem äußeren Bereich der inneren Oberfläche verursacht, und die erste Kapazität ein größeres Ionen-Bombardement auf dem äußeren Bereich als auf dem inneren Bereich verursacht.

7. Das Verfahren aus Anspruch 4, wobei die Kapazität während des Ätzens eines einzelnen Substrates, während eines Sauerstoff-Reinigungsdurchlaufs oder einer Kombination davon variiert wird.

8. Das Verfahren aus Anspruch 4, wobei die Kapazität während des Behandelns eines Substrats auf einem ersten Wert gehalten wird und während des Reinigungsschrittes auf einem zweiten Wert, während das Substrat in der Plasmabehandlungskammer verbleibt.

9. Das Verfahren gemäß Anspruch 4, wobei die Kapazität von einem ersten Wert während des Ätzens eines Substrats auf einen zweiten Wert während eines Sauerstoff-Reinigungsdurchlaufes angehoben wird.

10. Ein Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei ein Substrat (**13**) in dem Inneren der Plasma-Behandlungskammer (**10**) durch Berühren einer ausgesetzten Oberfläche des Substrates mit dem Plasma behandelt wird, wobei die Behandlung Ablagerungen produziert, welche stärker auf einem ersten Bereich einer inneren Oberfläche des dielektrischen Elementes abgelagert werden als auf einem zweiten Bereich der inneren Oberfläche des dielektrischen Elementes, umfassend die folgenden Schritte:

(a) das Zuführen von Prozessgas in das Innere der Plasma-Behandlungskammer;

(b) das Energetisieren des Prozessgases in einen Plasmazustand durch Zuführen einer Hochfrequenz-Energie zu der Antenne (**18**);

(c) die Hochfrequenz-Energie weist eine erste Spannungsamplitude in einem ersten Bereich der Antenne auf und eine zweite Spannungsamplitude in einem zweiten Bereich der Antenne, wobei die erste Spannungsamplitude größer ist als die zweite Spannungsamplitude; und gekennzeichnet durch den folgenden Schritt:

(d) das Verschieben der Positionen der ersten und zweiten Spitzenamplituden auf der Antenne (**18**), so dass die Ablagerungen stärker auf dem zweiten Be-

reich der inneren Oberfläche des dielektrischen Elementes abgelagert werden, während die Ablagerungen auf dem ersten Bereich der inneren Oberfläche des dielektrischen Elementes reduziert werden.

11. Das Verfahren gemäß Anspruch 10, wobei das dielektrische Element ein Gasverteilungselement (**22**) aufweist, welches eine ausgesetzte Oberfläche aufweist, die dem Substrat gegenüber steht, wobei das Gasverteilungselement Gasverteilungslöcher aufweist, durch welche das Prozessgas in eine Reaktionszone benachbart zu dem Substrat strömt, wobei das Prozessgas durch die Gasverteilungslöcher in die Plasma-Behandlungskammer strömt und in einem Plasmazustand benachbart zu der ausgesetzten Oberfläche des Gasverteilungselementes gehalten wird, durch induktives Koppeln von Hochfrequenzenergie aus der Antenne durch das Gasverteilungselement.

12. Das Verfahren gemäß Anspruch 10, weiterhin umfassend das Behandeln von zusätzlichen Substraten in der Plasma-Behandlungskammer durch Wiederholen der Schritte (a) bis (d).

13. Das Verfahren gemäß Anspruch 10, wobei während des Behandlungsschrittes die Antenne eine im wesentlichen ebene spiralförmige Spule (**50**) umfasst, welche das Prozessgas in den Plasmazustand energetisiert, und das Prozessgas ein oder mehrere Halogene umfasst, die Gase beinhalten, welche das Substrat während des Behandlungsschrittes ätzen.

14. Das Verfahren gemäß Anspruch 10, wobei während des Behandlungsschrittes das Plasma ein hochdichtes Plasma (**42**) umfasst, und die Substrate durch Ätzen einer Schicht auf den Substraten mit dem hochdichten Plasma behandelt werden, während des Zuführens einer Hochfrequenz-Vorspannung zu den Substraten.

15. Das Verfahren gemäß Anspruch 10, wobei die Positionen der ersten und zweiten Spitzenamplituden durch Variieren einer Abschlussimpedanz auf der Antenne verschoben werden.

16. Eine Plasma-Behandlungskammer, umfassend:

einen Substrathalter (**12**) zum Tragen eines Substrates (**13**) innerhalb eines Inneren der Plasma-Behandlungskammer (**10**);

ein dielektrisches Element (**20**), welches eine ausgesetzte Oberfläche aufweist, die einer Reaktionszone benachbart zu einem Substrat (**13**), welches auf dem Substrathalter (**12**) getragen wird, gegenübersteht; eine Gaszufuhr zum Zuführen von Prozessgas in die Reaktionszone hinein;

eine Antenne (**18**) zum Zuführen von Hochfrequenz-Energie in das Innere der Plasma-Behandlungskammer hinein und zum Energetisieren des

Prozessgases in einen Plasmazustand zum Behandeln eines Substrates, wobei ein Bereich der Hochfrequenz-Energie kapazitiv in das Plasma durch eine Spannungs-Stehwelle gekoppelt wird; gekennzeichnet durch eine elektrische Schaltung, welche die Position einer maximalen Spannungsamplitude der Spannungs-Stehwelle entlang der Antenne verschiebt, so dass ein Ausmaß eines Ionen-Bombardements auf die innere Oberfläche des dielektrischen Elementes variiert wird, und das gleichförmige Substratbehandeln während des sequentiellen Behandelns von Substraten in der Plasma-Behandlungskammer erzielt werden kann.

17. Die Plasma-Behandlungskammer gemäß Anspruch 16, wobei das dielektrische Element ein Gasverteilungselement (**22**) umfasst, und die elektrische Schaltung einen Abschlusskondensator (**60**) umfasst, der elektrisch an einen Ausgang der Antenne angeschlossen ist.

18. Die Plasma-Behandlungskammer gemäß Anspruch 16, wobei das dielektrische Element ein dielektrisches Fenster umfasst, und die Antenne eine im wesentlichen ebene spiralförmige Spule (**50**) benachbart zu dem Fenster umfasst, wobei die Spule die Hochfrequenz-Energie durch das Fenster zuführt, um das Prozessgas zu energetisieren.

19. Die Plasma-Behandlungskammer gemäß Anspruch 16, wobei das dielektrische Element ein Gasverteilungselement umfasst, die Plasma-Behandlungskammer ein dielektrisches Fenster benachbart zu einer äußeren Oberfläche des Gasverteilungselementes umfasst, das Gasverteilungselement eine Vielzahl von Gasauslässen aufweist, die sich durch die ausgesetzte Oberfläche erstrecken, und eine Vielzahl von Gasverteilungskanälen in der äußeren Oberfläche, wobei die äußere Oberfläche in Kontakt mit dem dielektrischen Fenster steht, und die Gasverteilungskanäle das Prozessgas zu den Gasauslässen zuführen.

20. Die Plasma-Behandlungskammer gemäß Anspruch 19, wobei das dielektrische Fenster und/oder das Gasverteilungselement eine im wesentlichen gleichförmige Dicke und eine im wesentlichen ebene Konfiguration aufweist.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

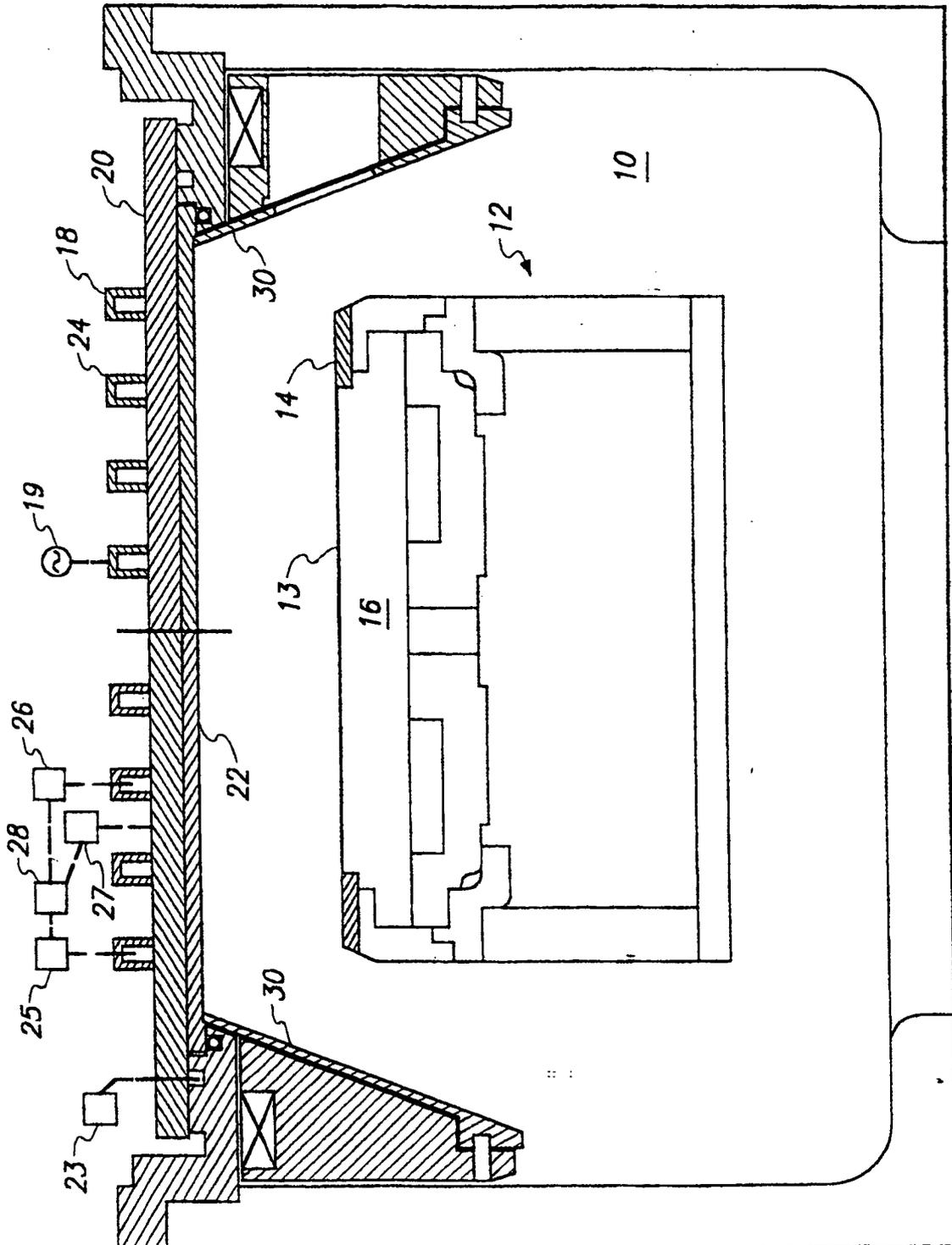


FIG. 1

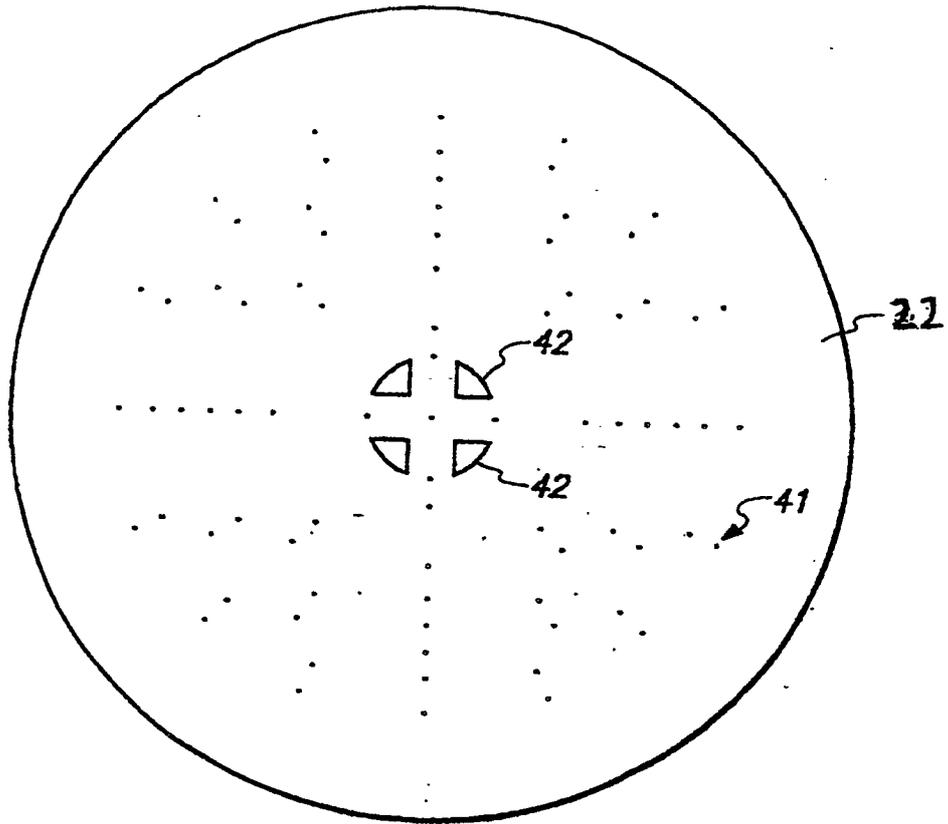


FIG. 2

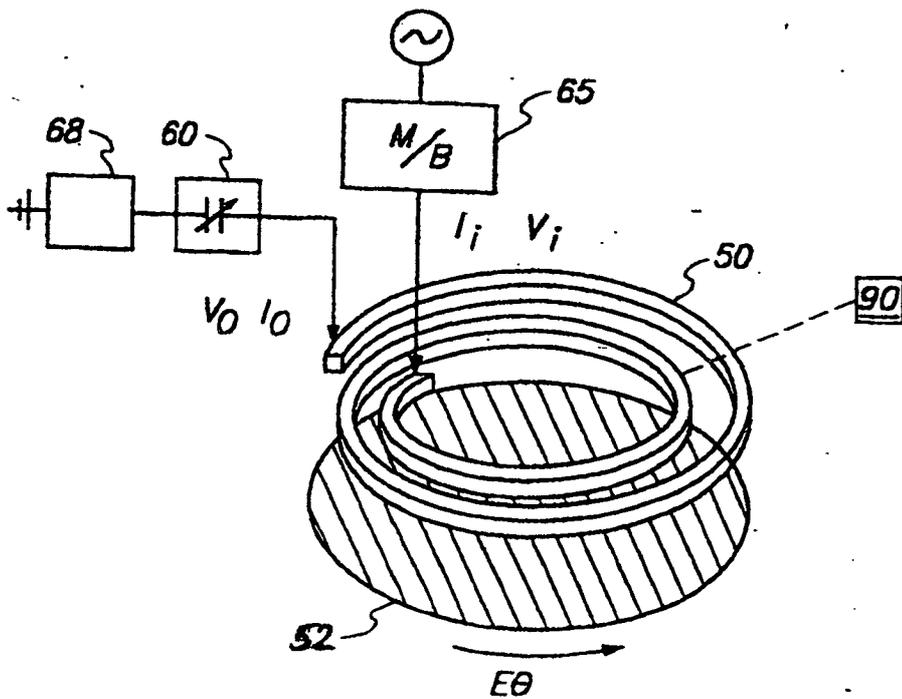


FIG. 3

FIG. 4a

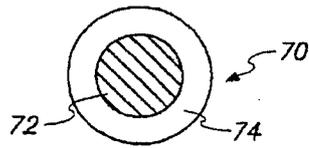


FIG. 4b

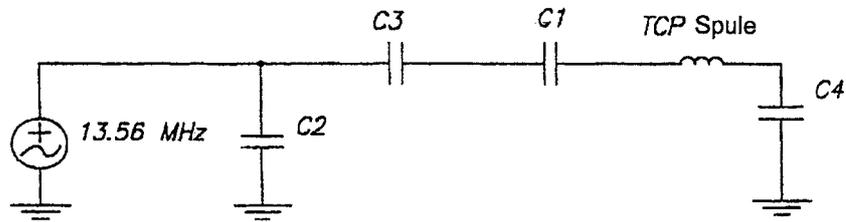
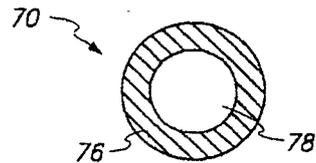


FIG. 5

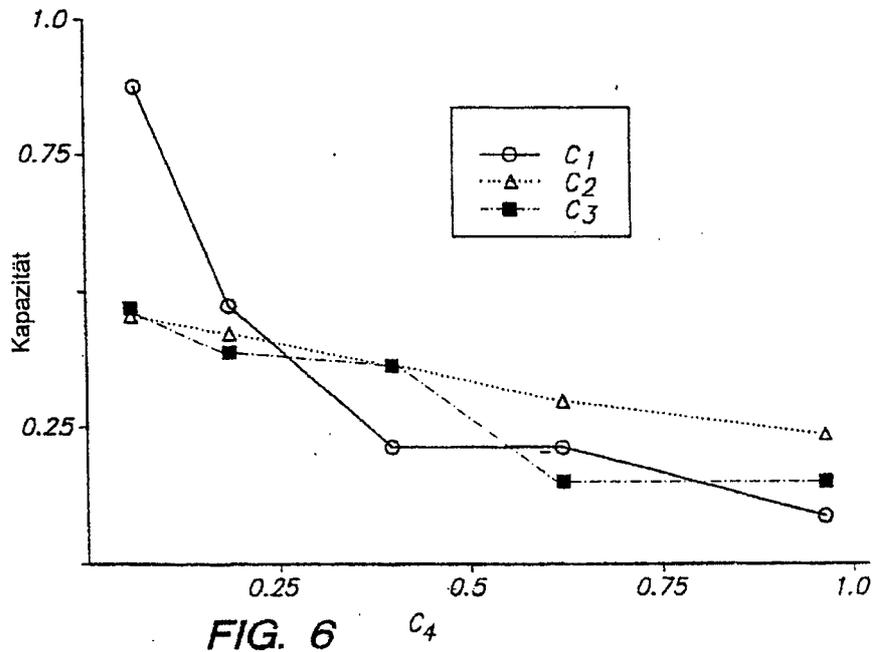


FIG. 6

4 MHz Spitze-Spitze HF Spannungs-Boden-Elektrode

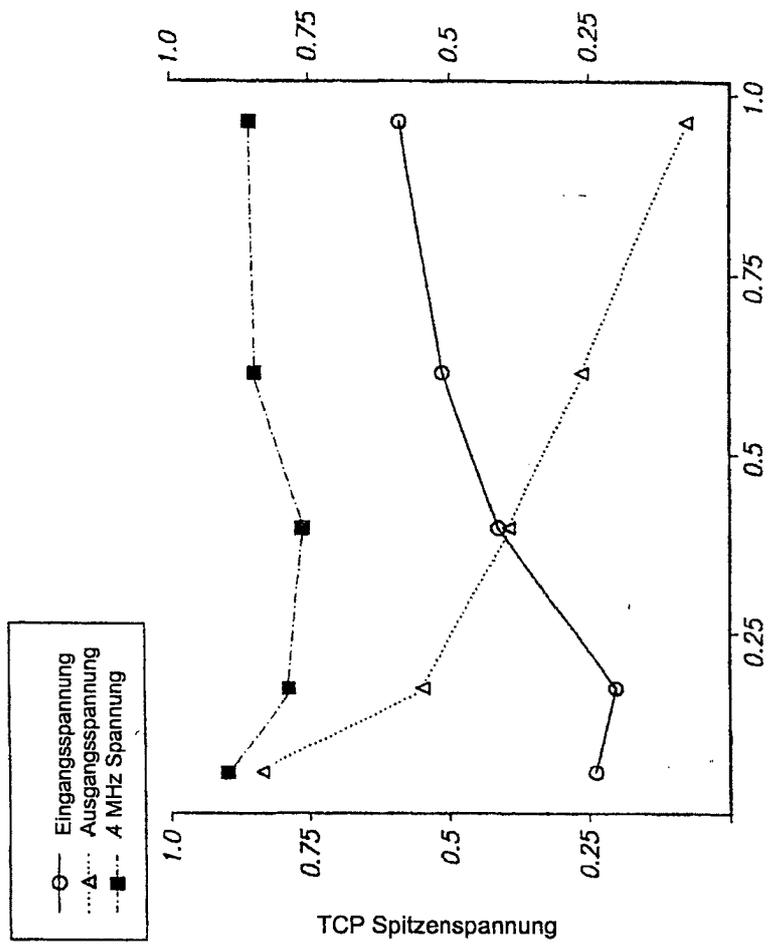


FIG. 7

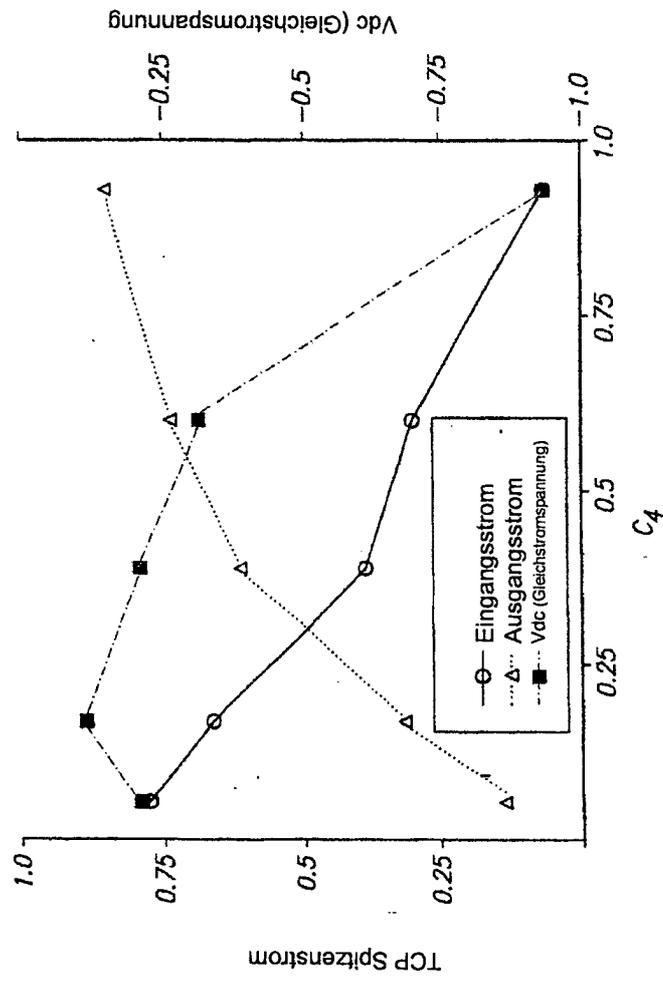


FIG. 8