



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 601 28 229 T2 2007.08.30

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 300 057 B1

(51) Int Cl.⁸: H05H 1/00 (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: 601 28 229.9

(86) PCT-Aktenzeichen: PCT/US01/20263

(96) Europäisches Aktenzeichen: 01 948 718.0

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 2002/003763

(86) PCT-Anmeldetag: 26.06.2001

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: 10.01.2002

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 09.04.2003

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: 02.05.2007

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 30.08.2007

(30) Unionspriorität:

607326 30.06.2000 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

BE, DE, ES, GB, IE, IT

(73) Patentinhaber:

Lam Research Corp., Fremont, Calif., US

(72) Erfinder:

NI, Tuqiang, Fremont, CA 94555, US; TAKESHITA, Kenji, San Jose, CA 95112, US; CHOI, Tom, San Jose, CA 95133, US; LIN, Frank Y., Fremont, CA 94555, US

(74) Vertreter:

Fiener, J., Pat.-Anw., 87719 Mindelheim

(54) Bezeichnung: Spule für Vakuum-Plasmabehandlungsvorrichtung

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 eingelebt, 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**Bereich der Erfindung**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein Plasmaanlagen mit auf Hochfrequenz (HF) reagierenden Spulen zum Erregen von Gasen in Niederdruckkammern zu Plasmen, die Werkstücke in der Kammer bearbeiten, und speziell eine solche Bearbeitungsanlage mit einer im Wesentlichen flachen Spule, die im Wesentlichen symmetrische und asymmetrische Wicklungen hat, und eine solche Spule. Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zum Plasmabearbeiten von kreisförmigen Werkstücken mit unterschiedlichen Durchmessern und insbesondere ein Verfahren, bei dem dieselbe Kammer bzw. dieselben Kammern mit derselben Geometrie mit HF-Erregerspulen mit unterschiedlichen Umfangsbemaßungen gekoppelt wird bzw. werden, wenn Werkstücke mit verschiedenen Umfangslängen bearbeitet werden.

Stand der Technik

[0002] Ein Bearbeitungsanlagentyp zum Behandeln von Werkstücken mit einem HF-Plasma in einer Niederdruckkammer weist eine auf eine HF-Quelle reagierende Spule auf. Die Spule reagiert auf die HF-Quelle zum Erzeugen magnetischer und elektrischer Felder, die ionisierbares Gas in der Kammer zu Plasma erregen. Gewöhnlich ist die Spule an oder neben einem dielektrischen Fenster, das in einer Richtung verläuft, die allgemein parallel zu einer ebenen horizontal verlaufenden Oberfläche des bearbeiteten Werkstücks ist. Das erregte Plasma kommt zum Ätzen des Werkstücks oder zum Aufbringen von Material mit dem Werkstück in der Kammer in Wechselwirkung. Das Werkstück ist im typischen Fall ein Halbleiter-Wafer mit einer ebenen kreisförmigen Oberfläche oder eine massive dielektrische Platte, z.B. ein in Flachbildschirmen verwendetes rechteckiges Glassubstrat, oder eine Metallplatte.

[0003] US-Patent 4.948.458, Ogle, beschreibt eine Spiralspule mit mehreren Wicklungen zum Erzielen der obigen Ergebnisse. Die Spirale, die allgemein eine archimedische Spirale ist, verläuft radial und umfangsmäßig zwischen ihrem inneren und äußeren Endanschluss, die über ein Impedanzabstimmungsnetz mit der HF-Quelle verbunden sind. Spulen dieses allgemeinen Typs erzeugen oszillierende HF-Felder mit magnetischen und kapazitiven Feldkomponenten, die sich durch das dielektrische Fenster fortsetzen, um Elektronen in dem Gas in einem Teil des Plasmas in der Kammer nahe an dem Fenster zu erhitzen. Die oszillierenden HF-Felder induzieren in dem Plasma Ströme, die Elektronen in dem Plasma erhitzen. Die räumliche Verteilung des magnetischen Feldes in dem Plasmaabschnitt nahe an dem Fenster ist eine Funktion der Summe einzelner Magnetfeld-

komponenten, die jeweils von jeder Wicklung der Spule erzeugt werden. Die von jeder der Wicklungen erzeugte Magnetfeldkomponente ist eine Funktion der Größe des HF-Stroms in jeder Wicklung, die wegen der Übertragungsleitungseffekte der Spule bei der Frequenz der HF-Quelle bei verschiedenen Wicklungen unterschiedlich ist.

[0004] Für von dem Patent '458 von Ogle offenbarte und darauf gestützte Spiralkonstruktionen werden die HF-Ströme in der Spiralspule verteilt, um eine ringförmige Magnetfeldregion in dem nahe an dem Fenster befindlichen Teils des Plasmas zu erzeugen, in welchem die Energie von dem Gas zum Erregen des Gases zu einem Plasma absorbiert wird. Bei niedrigen Drücken im Bereich von 1,0 bis 10 mTorr erzeugt die Diffusion des Plasmas aus der ringförmigen Region Plasmadichtespitzen knapp oberhalb des Werkstücks in zentralen und Umfangsabschnitten der Kammer, so dass die Spitzendichten der Ionen und Elektronen, die das Werkstück bearbeiten, sich in der Nähe der Werkstückmittellinie und des Werkstückumfangs befinden. Bei mittleren Druckbereichen im Bereich von 10 bis 100 mTorr verhindern Gasphasenkollisionen von Elektronen, Ionen und Neutronen in dem Plasma beträchtliche Diffusion der plasmageladenen Partikel außerhalb der Ringregion. Infolgedessen gibt es in einer ringartigen Region des Werkstücks einen relativ hohen Plasmafluss, im mittleren und Umfangsabschnitt des Werkstücks aber niedrige Plasmaflüsse.

[0005] Diese unterschiedlichen Betriebsbedingungen führen zu beträchtlich großen Schwankungen des Plasmaflusses (d.h. der Plasmadichte) zwischen dem Ring und den Volumen inner- und außerhalb des Rings, was zu einer beträchtlichen Standardabweichung des auf das Werkstück auftreffenden Plasmaflusses führt. Ein Maß des auf das Werkstück auftreffenden Plasmaflusses ist die Ätzrate des Werkstücks in Ångström pro Minute; die typische Standardabweichung der Ätzratengleichmäßigkeit einer Spule vom Ogle-Typ beträgt mehr als 3,0%. Die beträchtliche Standardabweichung des auf das Werkstück auftreffenden Plasmaflusses neigt dazu, eine ungleichmäßige Werkstückbearbeitung zu verursachen, d.h. verschiedene Abschnitte des Werkstücks werden in unterschiedlichem Ausmaß geätzt und/oder es werden unterschiedliche Molekülmengen auf sie aufgebracht.

[0006] Es wurden schon viele Spulen zum Verbessern der Gleichmäßigkeit des Plasmas entworfen. Das am 2. Juni 1998 ausgestellte US-Patent 5.759.280, Holland et al., derselben Zessionarin offenbart eine Spule, die in der kommerziellen Ausgestaltung einen Durchmesser von 305,8 mm (12 Zoll) hat und in Verbindung mit einer Niederdruckkammer, die einen Innenwandkreisdurchmesser von 355,6 mm (14,0 Zoll) hat, betrieben wird. Die Spule legt

durch ein Quarzfenster mit einem Durchmesser von 373,4 mm (14,7 Zoll) und einer gleichmäßigen Dicke von 20,3 mm (0,8 Zoll) magnetische und elektrische Felder im Kammerinneren an. Kreisförmige Halbleiter-Wafer-Werkstücke mit einem Durchmesser von 200 mm werden auf einem Werkstückhalter etwa 119,4 mm (4,7 Zoll) unter einer Unterseite des Fensters positioniert, so dass die Mitte jedes Werkstücks mit einer Mittellinie der Spule zusammenfällt.

[0007] Die Spule des Patents '280 erzeugt erheblich kleinere Schwankungen des Plasmaflusses über das Werkstück als die Spule des Patents '458. Die Standardabweichung der Ätzratengleichmäßigkeit, die sich aus dem von der Spule des Patents '280 auf einem 200-mm-Wafer in einer solchen, bei 5 milliTorr betriebenen Kammer erzeugten Plasmafluss ergibt, beträgt etwa 2,0%, eine erhebliche Verbesserung gegenüber der Standardabweichung von etwa 3,0% für eine unter den gleichen Bedingungen betriebene Spule des Patents '458. Die Spule des Patents '280 bewirkt, dass das Magnetfeld dergestalt ist, dass die Plasmadichte in der Mitte des Werkstücks größer als in einem Zwischenteil des Werkstücks ist, wobei sie wiederum die Plasmadichte im Umfang des Werkstücks übersteigt. Die Schwankungen der Plasmadichte in den verschiedenen Abschnitten der Kammer sind bei den gleichen Betriebsbedingungen, die die niedrigere Standardabweichung erzeugen, bei der Spule des Patents '280 viel kleiner als bei der Spule des Patents '458.

[0008] Mit dem Aufkommen von kreisförmigen Halbleiter-Wafern mit 300 mm Durchmesser wurde vorgeschlagen, dass dieselben Niederdruckkammern für die Plasmabearbeitung von kreisförmigen Halbleiter-Wafern mit 200 mm und mit 300 mm Durchmesser verwendet werden. [Fig. 1](#) ist eine Zeichnung einer Bearbeitungsanlage, die zum Bearbeiten von Wafern mit beiden Durchmessern verwendet werden kann. Bearbeitungsanlagen des in [Fig. 1](#) illustrierten Typs sind derart, dass dieselbe Bearbeitungsanlage zu verschiedenen Zeiten für beide Durchmesser verwendet werden kann oder dass Bearbeitungsanlagen, die Kammern mit den gleichen Geometrien haben, zum separaten Bearbeiten von Wafern mit einem Durchmesser von 200 mm und von 300 mm verwendet werden können.

[0009] Die Niederdruckplasma-Werkstückbearbeitungsanlage von [Fig. 1](#) weist Niederdruckkammer **10** auf, die wie ein Zylinder gestaltet ist und eine geerdete Metallwand **12** mit einem Innendurchmesser von 508 mm (20 Zoll), eine Metallgrundplatte **14** und eine kreisförmige obere Plattenstruktur **18** hat, die aus einer dielektrischen Fensterstruktur **19** besteht, die die gleiche Dicke von ihrer Mitte bis zu ihrem Umfang hat sowie einen Durchmesser, der den Innendurchmesser von Kammer **10** übersteigt, so dass das Fenster am oberen Rand der Wand **12** aufliegt. Die Abdich-

tung der Niederdruckkammer **10** erfolgt durch konventionelle Dichtungen (nicht abgebildet). Die Bearbeitungsanlage von [Fig. 1](#) wird im typischen Fall zum Ätzen eines kreisförmigen Halbleiter-Wafers (d.h. einem Substrat) oder zum Aufbringen von Molekülen auf einen solchen Wafer verwendet.

[0010] Ein geeignetes ionisierbares Gas, das auf einen Plasmazustand erregt werden kann, wird von einer Gasquelle (nicht abgebildet) über Öffnung **20** im Fenster **19** dem Innenraum von Kammer **10** zugeführt. Der Innenraum von Kammer **10** wird von einer Vakuumpumpe (nicht abgebildet), die mit Öffnung **22** in Grundplatte **14** verbunden ist, in einem Niederdruckzustand mit einem Druck, der im Bereich von 1–100 mTorr variieren kann, gehalten.

[0011] Das Gas in der Kammer wird von einer geeigneten elektrischen Quelle erregt, um ein Plasma mit einer erheblich gleichmäßigeren Dichte als das von der in dem Ogle-Patent '458 offenbarten Spule erregte Plasma zu erzeugen. Die elektrische Quelle hat eine im Wesentlichen ebene Metallspule **24** mit einem quadratischen Querschnitt und einem hohlen Inneren; Spule **24** ist gewöhnlich aus Vierkantkupferrohr hergestellt. Spule **24** ist unmittelbar über Fenster **19** montiert und wird von HF-Energiequelle **26** erregt, die im typischen Fall eine feste Frequenz von 13,56 MHz hat und gewöhnlich eine feste Amplitudenhüllkurve hat. Der Strom in Spule **24** erzeugt in Kammer **10** in der Nähe von Fenster **19** einen magnetischen Feldfluss, der groß genug ist, um ionisierbares Gas in der Kammer zu einem Plasma zu erregen.

[0012] Das zwischen Ausgangsanschlusspunkten der HF-Quelle **26** und den Erregeranschlusspunkten von Spule **24** zwischengeschaltete Impedanzanpassungsnetz **28** verbindet den Ausgang der HF-Quelle mit der Spule. Das Impedanzanpassungsnetz **28** hat verstellbare Blindwiderstände (nicht abgebildet), die ein Steuergerät (nicht abgebildet) auf bekannte Weise variiert, um die Impedanzanpassung zwischen Quelle **26** und einer Last, die Spule **24** und die von der Spule angetriebenen Plasmalast einschließt, zu erreichen.

[0013] Kreisförmiges Werkstück **32**, das einen Durchmesser von 200 mm oder 300 mm haben kann, ist in Kammer **10** fest an einer Oberfläche eines kreisförmigen Werkstückhalters (d.h. Aufspannvorrichtung oder Auflage) **30** angebracht; die Oberfläche der Werkstück **32** tragenden Aufspannvorrichtung **30** ist parallel zur Oberfläche des Fensters **19**. Aufspannvorrichtung **30**, im typischen Fall vom elektrostatischen Typ, hat einen von zwei verschiedenen Durchmessern, je nach dem Durchmesser des in Kammer **10** zu einem bestimmten Zeitpunkt jeweils bearbeiteten Werkstücks. Werkstück **32** wird gewöhnlich durch Anlegen eines Gleichstrompotenzials einer Gleichstromquelle (nicht abgebildet) an wenigstens eine

Elektrode (nicht abgebildet) der Aufspannvorrichtung elektrostatisch an der Oberfläche der Aufspannvorrichtung **30** aufgespannt.

[0014] HF-Quelle **31** legt eine HF-Spannung mit einer konstanten Amplitudenhüllkurve an Impedanzanpassungsnetz **33** an, das verstellbare Blindwiderstände (nicht abgebildet) aufweist. Anpassungsnetz **33** koppelt den Ausgang von Quelle **31** mit einer Elektrode von Aufspannvorrichtung **30**. Ein Steuergerät (nicht abgebildet) steuert die verstellbaren Blindwiderstände des Anpassungsnetzes **33** zum Anpassen der Impedanz von Quelle **31** an die mit der Elektrode der Aufspannvorrichtung **30** gekoppelte Lastimpedanz. Die an die Elektrode gekoppelte Last ist hauptsächlich das Plasma in Kammer **10**. Wie gut bekannt ist, steht die HF-Spannung, die diese Quelle **31** an die Elektrode von Aufspannvorrichtung **10** anlegt, mit Ladungspartikeln in dem Plasma in Wechselwirkung, um eine Gleichstrom-Vorspannung auf Werkstück **32** zu erzeugen.

[0015] Ein Metallrohr oder -schild **34** mit einem quadratischen Querschnitt, in dem die Spule sitzt, umgibt die ebene Spule **24** und verläuft über die Oberseitenplatte **18**. Schild **34** koppelt von Spule **24** ausgehende elektromagnetische Felder von der Umgebung ab. Der Abstand zwischen Schild **34** und den Umfangsregionen der Spule **24** ist groß genug, um wesentliche Absorption von Magnetfeldern, die von den Umfangsregionen von Spule **24** erzeugt werden, durch Schild **34** zu verhindern.

[0016] Der Durchmesser der zylindrisch gestalteten Kammer **10** relativ zum Außendurchmesser von Spule **24** ist groß genug, um wesentliche Absorption der von den Randregionen der Spule erzeugten Magnetfelder durch Kammerwände **12** zu verhindern. Der Durchmesser der dielektrischen Fensterstruktur **19** ist so viel größer als der Innendurchmesser von Kammer **10**, dass die gesamte obere Oberfläche der Kammer **10** aus der dielektrischen Fensterstruktur **19** besteht.

[0017] Der Abstand zwischen der behandelten Oberfläche von Werkstück **32** und der unteren Oberfläche der dielektrischen Fensterstruktur **19** ist zum Erhalten des gleichmäßigsten Plasmaflusses auf der freiliegenden, bearbeiteten Oberfläche des Werkstücks gewählt. Meist ist der Abstand zwischen der bearbeiteten Werkstückoberfläche und der Unterseite des dielektrischen Fensters etwa 0,3- bis 0,4-mal so groß wie der Durchmesser von Kammer **10**; der Innendurchmesser von Kammer **12** beträgt 508 mm (20 Zoll), der Durchmesser von Spule **24**, die die dem Stand der Technik entsprechende Gestalt des Patents '280 hat, beträgt für einen Wafer mit 200 mm Durchmesser 330,2 mm (13 Zoll), Schild **34** hat eine Länge von 596,9 mm (23½ Zoll) auf jeder Seite und der Abstand zwischen der bearbeiteten Werkstück-

fläche und der Unterseite des dielektrischen Fensters beträgt 152,4 mm (6,0 Zoll).

[0018] Ebene Spule **24** fungiert als Übertragungsleitung zum Erzeugen eines Stehwellenmusters entlang der Länge der Spule. Das Stehwellenmuster weist entlang der Länge der Spule Schwankungen der Größe der HF-Spannungen und -Ströme auf. Die Abhängigkeit des von der Spule erzeugten magnetischen Flusses von der Größe dieser HF-Ströme hat zur Folge, dass unterschiedliche Plasmamengen in verschiedenen Abschnitten von Kammer **10** unterhalb verschiedener Abschnitte der Spule erzeugt werden. Das Übertragungsleitungsverhalten des HF-Stroms in der ebenen Spule **24** vergrößert die von den Spulensegmenten am Rand relativ zu den Spulensegmenten in der Mitte erzeugte Menge magnetischen Flusses. Dieses Ergebnis wird erreicht, indem Spule **24** mit HF erregt wird, so dass die Regionen mit maximalem HF-Strom sich auf den Spulensegmenten am Rand befinden.

[0019] Wie in [Fig. 2](#) illustriert wird, weist die ebene Spule **24** mit der Gestalt des Patents '280 innere, im Wesentlichen halbkreisförmige Schleifen **40**, **42** und im Wesentlichen kreisförmige Randsegmente **46**, **48** und ein im Wesentlichen kreisförmiges Zwischensegment **44** auf. Schleifen **40** und **42** bilden jeweils fast eine halbe Wicklung der Spule **24**, während Schleifen **44**, **46** und **48** jeweils fast eine volle Wicklung bilden; die vollen und halben Wicklungen sind miteinander in Reihe geschaltet. Alle Segmente **40**, **42**, **44**, **46**, **48** sind mit der zentralen Spulenachse **50** koaxial, die wiederum mit der Mittelachse von Kammer **10** und der Mitte von Wafer **32** koinzident ist, wenn der Wafer auf Aufspannvorrichtung **30** aufgespannt ist. Entgegengesetzte Erregeranschlusspunkte **52** und **54** im mittleren Abschnitt der Spule **24** sind durch Anschlussleitungen **48** bzw. **56** über Anpassungsnetz **28** und eine Elektrode von Kondensator **80**, dessen andere Elektrode geerdet ist, mit entgegengesetzten Anschlusspunkten der HF-Quelle **26** gekoppelt. Anschlusspunkt **60** an dem Anschlusspunkt **52** entgegengesetzten Ende von Schleife **40** ist durch Metallband **64**, der sich in einer etwas oberhalb der Ebene von Spule **24** liegenden Region befindet, mit Endanschlusspunkt **66** des äußeren Schleifensegments **48** verbunden. Die Beabstandung zwischen benachbarten Segmenten **40**, **42**, **44**, **46** und **48** und die Beabstandung zwischen Band **64** und dem Rest der Spule **24** ist groß genug, um Lichtbogenbildung zwischen ihnen zu verhindern. Die Radien der äußeren Ränder der Segmente **40**, **42**, **44**, **46** und **48** sind 50,8 mm (2 Zoll), 50,8 mm (2 Zoll), 88,9 mm (3,5 Zoll), 139,7 mm (5,5 Zoll) bzw. 165,1 mm (6,5 Zoll).

[0020] Segment **48** hat etwas weniger als 360° vom Anschlusspunkt **66** einen zweiten Anschlusspunkt **68**; Anschlusspunkt **68** ist über Band **72** mit Anschlusspunkt **70** von Schleifensegment **46** verbun-

den. Schleife **46** mit einem winkligen Verlauf von fast 360° hat einen über radial und umfangsmäßig verlaufendes Band **78** mit Anschlusspunkt **76** von Schleife **44** verbundenen zweiten Endanschlusspunkt **74**. Schleife **44** mit einem winkligen Verlauf von fast 360° hat einen zweiten Endanschlusspunkt **80**, der über radial und umfangsmäßig verlaufendes Band **82** mit dem Anschlusspunkt **54** entgegengesetzten Anschlusspunkt **62** am Ende des Segments **42** verbunden ist.

[0021] Kondensator **80** mit einer kapazitiven Impedanz $Z_{cap} = 1/(j2\pi fC)$, wobei $j = \sqrt{-1}$, f die Frequenz der HF-Quelle **26** und C die Kapazität von Kondensator **30** ist, verschiebt die Phase und daher die Lage der Spannungs- und Stromverteilung über die gesamte Länge von Spule **24**. Die Spannungs- und Stromverteilung wird in Spule **24** so verschoben, dass die Spule hochfrequente elektrische und Magnetfelder erzeugt, die an der bearbeiteten Oberfläche von Werkstück **32** einen Plasmafluss bereitstellen, der erheblich gleichmäßiger ist als der Fluss, der sich aus der Erregung einer Spule des von Ogle in Patent '498 offenbarten Typs ergibt.

[0022] Die Spannung und der Strom von Spule **24** werden verteilt, indem der Wert des Kondensators **80** so ausgewählt wird, dass der Spitze-Spitze-HF-Strom an Spulenanschlusspunkt **54** ein Minimum ist und dem Spitze-Spitze-HF-Strom an Spulenanschlusspunkt **52** gleicht. Bei dieser Bedingung hat die Spule maximale Spitze-Spitze-HF-Spannungen entgegengesetzter Polarität an Anschlusspunkten **52** und **54** und der maximale HF-Strom der Spule tritt nahe dem leitenden Band **72** auf. Die Verteilung von HF-Spannungen und -Strömen in der Spule kann durch

$$V_{pkpk}^{(x)} = V_{pkpk}^0 \cos[\beta(x + x^\circ)]$$

und

$$I_{pkpk}^{(x)} = I_{pkpk}^0 \sin[\beta(x + x^\circ)]$$

approximiert werden, wobei
 x die lineare Distanz gemessen von Anschlusspunkt **54** der Spule ist,
 β die Winkelfrequenz von HF-Quelle **26** (d.h. $2\pi f$) geteilt durch c , der Lichtgeschwindigkeit, ist,
 x° ein Offset von Null ist, der von dem Wert des Kondensators **80** bestimmt wird, und
 V_{pkpk}^0 und I_{pkpk}^0 die maximalen HF-Spitze-Spitze-Spannungen bzw. -ströme in der Spule sind.

[0023] Der Wert von Kondensator **80** ist so gewählt, dass x° etwa das 0,15-fache der Wellenlänge ($\lambda = c/f$) des in der Spule fließenden HF-Stroms ist.

[0024] Die Randregionen von Spule **24** erzeugen einen größeren magnetischen Fluss als die mittlere

Region der Spule, weil die Größe des Spitze-Spitze-HF-Stroms in dem Randsegment der Spule relativ zu der Größe der Spitze-Spitze-Ströme der zentralen Segmente größer ist. Die maximale Amplitude des Spitze-Spitze-HF-Stroms tritt in dem im Wesentlichen kreisförmigen Schleifensegment **46** auf. Die Amplituden der Spitze-Spitze-HF-Ströme in benachbarten Schleifensegmenten **44** und **48** und in Schleifensegment **46** und die Beabstandung von Schleifensegmenten **44**, **46** und **48** voneinander sind so, dass magnetische Flüsse von diesen drei Schleifensegmenten im Raum kombiniert werden, um unmittelbar unter dem Fenster **19** eine gesamte magnetische Flussdichte mit einem Höchstwert über einen relativ breiten ringförmigen Bereich bereitzustellen. Der ringförmige Bereich verläuft von zwischen Schleifensegmenten **46** und **48** bis zwischen Zwischensegment **44** und innere Segmente **40** und **42**.

[0025] Die Schwankungen der Größe des HF-Stroms, der in verschiedenen Teilen der Spule fließt, sind räumlich gemittelt, um dazu beizutragen, dass verursacht wird, dass ein gleichmäßigeres Plasma auf Wafer **32** auftrifft, als mit der Spule des Ogle-Patents '498 erreicht wird. Zuvor glaubte man, dass das räumliche Mitteln dieser verschiedenen Stromwerte in den verschiedenen Teilen der Spule wesentliche nichtradiale Asymmetrien der Plasmadichte im Wesentlichen verhinderte, besonders an Regionen mit hohem HF-Strom in den Spulensegmenten nahe dem Spulenrand. Der gesamte magnetische Fluss ist auch als eine Funktion von Winkelkoordinate θ beträchtlich konstanter, als dies bei der Spule des Ogle-Patents der Fall ist (in dem θ den Winkel um den Spulenrand relativ zu einem Bezugswinkel repräsentiert, der durch den Spulenmittelpunkt 50° verläuft, z.B. verläuft der Bezugswinkel in [Fig. 2](#) horizontal links vom Mittelpunkt **50**).

[0026] Ein räumlich gemittelter magnetischer Fluss, der entlang einem spezifischen Koordinatenwert θ konstant ist, erzeugt ein Plasma, das entlang θ radial symmetrischer ist, als es bei Plasma der Fall ist, das aus der in dem Ogle-Patent '458 offenbarten Spule resultiert. Die Amplituden der Spitze-Spitze-HF-Ströme in den zwei im Wesentlichen halbkreisförmigen Segmenten **40** und **42** mit gleichem Radius sind bedeutend kleiner als die Amplituden der Ströme in den anderen Segmenten. Segmente **40** und **42** leiten ausreichende magnetische Flüsse ab, die mit den von den anderen Segmenten **44**, **46** und **48** abgeleiteten magnetischen Flüssen räumlich gemittelt werden, so dass der auf der Höhe der bearbeiteten Oberfläche des Werkstücks **32** über den Durchmesser der Kammer erzeugte Plasmafluss erheblich gleichmäßiger ist als der mit der Spule des Ogle-Patents erzielte.

[0027] Das elektrostatische (d.h. kapazitive) Einkoppeln der Spannungen in das Plasma an verschie-

denen Abschnitten von ebener Spule **24** (zum Beispiel zwischen Abschnitten von Schaeifensegmenten **46** und **48** an der gleichen Winkelkoordinatenposition θ) beeinflusst die Gleichmäßigkeit des erzeugten Plasmaflusses. Das kapazitive Einkoppeln dieser Spannungen in das Plasma hängt von der Größe der in den Spulensegmenten auftretenden Spitze-Spitze-Spannungen ab sowie der Dicke und dem dielektrischen Material von Fenster **19**, das die Spule vom Plasma trennt. Der Einfluss der von den HF-Spannungen erzeugten kapazitiven Ströme wird minimiert, indem verursacht wird, dass die höchsten Spitze-Spitze-HF-Spannungen an Anschlusspunkten **52** und **54** stattfinden. Die Geometrie von Spule **24** und die richtige Auswahl des Wertes von Kondensator **80** bewirken, dass die höchsten Spitze-Spitze-HF-Spannungen an Anschlusspunkten **52** und **54** auftreten. HF-Erregung von ebener Spule **24** erzeugt ein im Wesentlichen ebenes Plasma mit einem Fluss, der über Werkstück **32** erheblich gleichmäßiger ist als der, der sich aus der Spule des Ogle-Patents '458 ergibt.

[0028] Mit der zunehmenden Verkleinerung der Merkmale von integrierten Schaltkreisen haben wir festgestellt, dass die Gleichmäßigkeit des auf einen 200-mm-Wafer fallenden Plasmas, das von der in Verbindung mit [Fig. 2](#) beschriebenen Spule erzeugt wird, häufig unzulänglich ist. Es gibt eine mit dem Prozessor von [Fig. 1](#) gebildete asymmetrische diametrale Plasmaflussverteilung auf den 200-mm-Wafern, wenn das Plasma von der beschriebenen Spule mit 13-Zoll-Durchmesser erregt wird. Die Asymmetrie reicht aus, um Halbleiterbausteine mit 0,18-Mikrometer-Merkmalen, die auf einem 200-mm-Halbleiterwafer ausgebildet sind, zu beeinträchtigen. Insbesondere stellten wir fest, dass die Ätzrate auf dem kreisförmigen 200-mm-Polysilizium-Wafer **71**, wie in [Fig. 3](#) gezeigt, regionenmäßig **72**, **74**, **76**, **78** und **80** ist, wenn der Wafer bei einem Niederdruck von etwa 20 mTorr in der beschriebenen Bearbeitungsanlage von [Fig. 1](#) geätzt wurde, während Gas in der Bearbeitungsanlage von der mit einer HF-Quelle von 13,56 MHz **26** verbundenen Spule von [Fig. 2](#) zu einem Plasma erregt wurde. Der Umfang von Wafer **71** weist eine Positionierungseinkerbung auf die in [Fig. 3](#) als Punkt **73** gezeigt wird. Eine Positionierungsvorrichtung (nicht abgebildet) setzte Wafer **71** in Kammer **10** ein, so dass die Einkerbung um etwa 10° im Uhrzeigersinn von der durch den Wafer-Mittelpunkt **70** verlaufenden vertikalen Linie **75**, [Fig. 3](#), versetzt war.

[0029] Mittelpunkt **70** von Wafer **71** ist von Region **72** umgeben, die eine maximale Ätzrate von 2378 Ångström pro Minute hat. Region **72** ist etwas asymmetrisch, sie erstreckt sich vom Mittelpunkt **70** weiter nach links als nach rechts, wie in [Fig. 3](#) illustriert wird. Region **72** ist von Region **74** mit einer Ätzrate zwischen 2378 und 2396 Ångström pro Minute umge-

ben. Region **74** verläuft, eine Bogenlänge von etwa 100° am linken Rand des Wafers entlang überspannend, bis zum linken Rand des Wafers **71**. Region **74** erstreckt sich auch etwas nach rechts von Region **72** und hat innerhalb des Wafers eine ungefähr kreisförmige Umfangskontur.

[0030] Allgemein halbmondförmige Regionen **76**, **78** und **80** rechts sowie ober- und unterhalb von Mittelpunkt **70** und Region **74** stellen jeweilige Ätzraten in den Bereichen von 2398–2418 Ångström pro Minute, 2418–2438 Ångström pro Minute bzw. über 2438 Ångström pro Minute dar. Region **76** hat eine Bogenlänge am Randbezirk von Wafer **71** von etwa 30° über und etwa 15° unter Mittelpunkt **70** am Randbezirk des Wafers; Region **78** hat eine Bogenlänge am Randbezirk des Wafers **71** von etwa 15° über Mittelpunkt **70** und etwa 20° unter Mittelpunkt **70**, während Region **80** eine Bogenlänge von etwa 170° am rechten Rand des Wafers entlang hat. Allgemein variiert die Ätzrate vom linken Rand von Region **76** zum Randbezirk von Region **80** am Rand des Wafers entlang monoton.

[0031] Wafer **71** hat eine durchschnittliche Ätzrate von 2412 Ångström pro Minute und eine Ungleichmäßigkeit von 1,4% bei einer Standardabweichung von einem Sigma. Dieser hohe Grad an Gleichmäßigkeit war häufig ausreichend für die Bearbeitung von 200-mm-Wafern vom Stand der Technik mit Merkmalen, die größer als 0,18 Mikrometer waren, d.h. zum Ätzen von Materialien von solchen Wafers und zum Aufbringen von Materialien auf den Wafers. Da aber Fortschritte bei integrierten Schaltungen zu Merkmalen von nur 0,18 Mikrometern und weniger geführt haben, genügt die mit der Spule von [Fig. 2](#) erreichte, in [Fig. 3](#) illustrierte Gleichmäßigkeit nicht immer.

[0032] Eine Analyse von [Fig. 3](#) ergibt eine Asymmetrie der mit Regionen **76**, **78** und **80**, die alle im Wesentlichen rechts vom Mittelpunkt **70** liegen, sowie Regionen **72** und **74** assoziierten Plasmadichte. Wir haben erkannt, dass das Verringern der mit Regionen **76**, **78** und **80** assoziierten Plasmadichteschwankungen es sehr wahrscheinlich möglich macht, dass die Gleichmäßigkeit der Plasmadichte um ein größeres Maß erhöht werden kann als sich mit der in [Fig. 2](#) illustrierten Spule erreichen lässt.

[0033] EP 0813227 offenbart eine Spule, die ein Plasma einer HF-Niederdruckplasmaanlage für eine bearbeitete Werkstückoberfläche in einer Kammer erregt, die mehrere bogenförmige radial verlaufende Wicklungen aufweist. Die Spule, die Kammer und das Werkstück sind angeordnet, um in der Kammer einen magnetischen Fluss zu erzeugen, der eine wesentlich größere Dichte in Randabschnitten der Spule und der Kammer als in einem mittleren Abschnitt der Kammer und der Spule hat, so dass ein im Wesentlichen gleichmäßiger Plasmafluss auf eine bear-

beitete Oberfläche des Werkstücks auftrifft.

[0034] US 6028285 offenbart eine Vorrichtung zum Erzeugen eines Plasmas in einer Niederdruckkammer, die eine Quelle hochdichten Plasmas umfasst, wobei die Quelle eine obere Schicht und eine untere Schicht umfasst, die elektrisch so miteinander verbunden und voneinander abstandet sind, um die von der Quelle erzeugten Felder, somit die Gleichmäßigkeit des Plasmas, einzustellen, wobei die obere und die untere Schicht von einer Mehrzahl leitfähiger Schleifen gebildet werden.

[0035] Dementsprechend ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine neue und verbesserte Niederdruckplasmaanlage und HF-Plasmaerreger-spule zum Erreichen von hoch gleichmäßigem Plasmafluss (d.h. Plasmadichte) auf einem kreisförmigen Werkstück bereitzustellen.

[0036] Eine zusätzliche Aufgabe der Erfindung ist das Bereitstellen einer neuen und verbesserten Plasmaanlage mit einem RF-Plasma, das von einer Spule erregt wird, die eine neue und verbesserte Geometrie zum Erreichen einer größeren Gleichmäßigkeit der Plasmadichte auf einem kreisförmigen Werkstück hat.

[0037] Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, eine neue und verbesserte Plasmaanlage und Spule bereitzustellen, die Wafer mit einer Ungleichmäßigkeit von weniger als 1,4 bei einer Standardabweichung von einem Sigma ätzen können.

[0038] Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, eine neue und verbesserte Plasmaanlage bereitzustellen, die eine neue und verbesserte HF-Erreger-spule hat, die insbesondere zur Verwendung in hergestellten integrierten Schaltungen ausgeführt ist, die Merkmale von nur 0,18 Mikrometern und weniger haben.

Zusammenfassung der Erfindung

[0039] Nach einem Aspekt der vorliegenden Erfindung ist eine Niederdruckplasmaanlage zum Bearbeiten kreisförmiger Werkstücke gemäß Anspruch 10 vorgesehen.

[0040] Nach einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung ist eine im Wesentlichen ebene Spule gemäß Anspruch 1 vorgesehen.

[0041] Die obigen und weitere Aufgaben, Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden bei Betrachtung der folgenden ausführlichen Beschreibungen mehrerer spezifischer Ausgestaltungen davon offensichtlich, besonders wenn sie in Verbindung mit den Begleitzzeichnungen betrachtet werden.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0042] Wie beschrieben, ist [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung einer Niederdruckplasmaanlage, die für die verbesserte Spule der vorliegenden Erfindung anwendbar ist.

[0043] Wie beschrieben, ist [Fig. 2](#) eine Draufsicht einer Spule, die im Wesentlichen die gleiche Gestalt wie in dem bereits erwähnten Patent von Holland et al. beschrieben hat.

[0044] Wie beschrieben, ist [Fig. 3](#) eine Draufsicht der Ätzraten eines mit der Spule von [Fig. 2](#) in der Bearbeitungsanlage von [Fig. 1](#) bearbeiteten Wafers;

[0045] [Fig. 4](#) ist eine schematische Draufsicht einer Spule zur Verwendung bei der Bearbeitung eines Wafers mit 200 mm Durchmesser gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung;

[0046] [Fig. 5](#) ist eine Draufsicht der in [Fig. 4](#) schematisch dargestellten Spule;

[0047] [Fig. 6](#) ist eine Draufsicht der Ätzrate eines mit der Spule von [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) in der Bearbeitungsanlage von [Fig. 1](#) bearbeiteten Wafers;

[0048] [Fig. 7](#) ist eine Draufsicht einer Spule zur Verwendung in der Bearbeitungsanlage von [Fig. 1](#), wenn ein Wafer mit einem Durchmesser von 300 mm bearbeitet wird; und

[0049] [Fig. 8](#) ist eine schematische Draufsicht einer weiteren Ausgestaltung einer Spule gemäß der vorliegenden Erfindung.

Ausführliche Beschreibung der [Fig. 4](#) bis [Fig. 8](#)

[0050] Die Spule von [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#), die anstelle der Spule von [Fig. 2](#) in der Bearbeitungsanlage von [Fig. 1](#) verwendet wird, ist der Spule von [Fig. 2](#) insofern sehr ähnlich konfiguriert, als die Spule der [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) einen Außendurchmesser von 330,2 mm (13 Zoll) hat und einen Mittelpunkt **50**, im wesentlichen halbkreisförmige Wicklungssegmente **40**, **42**, fast kreisförmige Wicklung **44** und fast kreisförmige Wicklung **48** aufweist. Die Segmente **40**, **42**, **44** und **48** liegen jeweils auf einem Radius von Mittelpunkt **50**, so dass Segmente **40** und **42** dem Mittelpunkt am nächsten liegen; Wicklung **44** ist ein Radius, der größer als der Radius der Segmente **40** und **42** ist, und Wicklung **48** ist weiter vom Mittelpunkt **50** entfernt als jeder andere Teil der Spule. Erregeranschlusspunkte **52** und **54** befinden sich an ersten Enden der Segmente **40** bzw. **42**, während zweite Enden **60** und **62** der Segmente **40** und **42** durch radial und umfangsmäßig verlaufende Metallstreifen **64** und **82**, die vorzugsweise aus dem gleichen Material wie Segmente

40 und **42** und die Wicklungen der Spule hergestellt sind, jeweils mit Endpunkten **66** bzw. **81** oder Anschlusspunkten von Wicklungen **48** bzw. **44** verbunden sind; das Material ist im typischen Fall Kupfer.

[0051] Der Hauptunterschied zwischen den Spulen von [Fig. 2](#) und [Fig. 4](#) ist, dass die Spule von [Fig. 4](#) asymmetrische Wicklung **182** aufweist, die bogenförmige Segmente **184**, **185** und **186** aufweist. Segmente **184** und **185** liegen am gleichen Radius vom Mittelpunkt **50** entlang, während Segment **186** auf einem Radius liegt, der näher am Mittelpunkt **50** liegt als Segmente **184** und **185**. Das heißt, dass Segmente **184** und **185** entlang einem Bogen liegen, der von einem ersten Radius vom Mittelpunkt **50** definiert wird, während Segment **186** entlang einem Bogen liegt, der von einem zweiten Radius vom Mittelpunkt **50** definiert wird, wobei der zweite Radius kleiner als der erste Radius ist. In der bevorzugten Ausgestaltung befinden sich die Außenränder von Segmenten **184** und **185** auf einem 5,5 Zoll (13,97 cm) von Punkt **50** entfernten Radius, während sich der Außenrand von Segment **186** auf einem Radius befindet, der 4,5 Zoll (11,43 cm) von Punkt **50** entfernt ist. Die Radien der Segmente **40** und **42** und der Wicklungen **44** und **48** sind die gleichen wie die der Spule von [Fig. 2](#). Die Außenränder der Segmente **40** und **42** befinden sich auf Radien, die 2 Zoll (5,08 cm) vom Mittelpunkt **50** entfernt sind, während die Außenränder der Wicklungen **44** und **48** sich auf Radien befinden, die 3,5 Zoll (8,89 cm) bzw. 6,5 Zoll (16,51 cm) vom Mittelpunkt **50** entfernt sind. Segmente **40**, **42**, **184**, **185** und **186** sowie Wicklungen **44** und **48** sind im Wesentlichen koplanar, so dass ihre Unterseiten entweder gleichmäßig von der Oberseite des dielektrischen Fensters **19** der Bearbeitungsaufgabe von [Fig. 1](#) beabstandet oder mit ihr in Anlage sind, so dass die kapazitive Kopplung von allen Segmenten der Spule der [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) mit Regionen innerhalb der Bearbeitungsanlage unmittelbar unter dem Fenster im Wesentlichen gleich ist.

[0052] Entgegengesetzte Enden **190** von Segment **186** sind mit Enden **192** bzw. **194** von Segmenten **184** bzw. **185** durch radial und umfangsmäßig verlaufende Metallstreifen **88** bzw. **90** verbunden. Segmente **184**, **185** und **186** verlaufen jeweils bogenförmig im Winkel von etwa 60°, 160° bzw. 130°. Der Wafer, der in der Kammer von [Fig. 1](#) bearbeitet wird, ist relativ zu der Spule von [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) positioniert, so dass die Wafereinkerbung um etwa 10° im Uhrzeigersinn von einer Mittelpunkt **50** schneidenden vertikalen Linie versetzt ist und von den Erregeranschlusspunkten **52** und **54** an den Enden der Segmente **42** und **44** gleich weit beabstandet ist. Metallstreifen **78** verbindet Ende **47** von Segment **184**, das Streifen **88** entgegengesetzt ist, mit den Ende der äußeren Wicklung **48**, die nicht mit innerem Segment **40** verbunden ist, während Metallstreifen **72** die Enden von Wicklung **44** und Segment **85** miteinander verbindet.

[0053] Wenn die Spule von [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) über Fenster **19** in der Bearbeitungsanlage von [Fig. 1](#) angeordnet ist, sind die Ätzraten des 200-mm-Wafers **93**, der in der gleichen Position wie Wafer **71** auf der elektrostatischen Aufspannvorrichtung **30** aufgespannt ist, wie von Regionen **94**, **96**, **98**, **100**, **102**, **104** und **106** von [Fig. 6](#) gezeigt. Wafer **93** wurde in derselben Kammer unter denselben Bedingungen wie Wafer **71** von [Fig. 3](#) geätzt, außer dass der Wafer **93** von [Fig. 5](#) auf durch die Erregung der Spule von [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) resultierendes Plasma reagierte, während die Ätzmuster von [Fig. 3](#) das Ergebnis von HF-Erregung der in [Fig. 2](#) illustrierten Spule sind. Es wurden dieselben Ätzmittel eingesetzt und die Wafer wurden an derselben Stelle positioniert, so dass Positionierungseinkerbung **95** in dem Wafer von [Fig. 5](#) und 10° im Uhrzeigersinn von einer in [Fig. 6](#) vertikal ab Wafer-Mittelpunkt **90** verlaufenden Linie versetzt war, die vertikal auf Spulen-Mittelpunkt **50** ausgerichtet war.

[0054] Die durchschnittliche Ätzrate von Wafer **93**, wie in [Fig. 6](#) illustriert, betrug 2468 Ångström pro Minute bei einer Ungleichmäßigkeit von 0,8% bei einer Standardabweichung von einem Sigma. Region **94**, die Mittelpunkt **92** umgibt, hat eine Ätzrate von 2467 Ångström pro Minute oder weniger, während Region **96**, die Region **94** umgibt und sich rechts von Mittelpunkt **92** erstreckt, eine Ätzrate im Bereich von 2467–2477 Ångström pro Minute hat. Region **100**, die Region **96** umgibt und über eine Bogenlänge von etwa 180° entlang einem beträchtlichen Abschnitt des Randbezirks von Wafer **93** verläuft, hat einen Ätzratenbereich zwischen 2477 und 2487 Ångström pro Minute. Region **98**, die sich im oberen linken Quadranten des Wafers befindet und sich über eine Bogenlänge von etwa 20° am Waferrandbezirk entlang erstreckt, hat den gleichen Ätzratenbereich wie Region **96**. Regionen **102**, **104** und **106** mit einer Ätzrate von über 2487 Ångström pro Minute nehmen kleine Sektoren entlang gewissen peripheren Abschnitten von Wafer **93** ein, so dass Region **102** etwa 70° allgemein entlang dem unteren rechten Quadranten des Waferrands verläuft, Region **104** allgemein entlang etwa 60° des oberen rechten Quadranten des Wafers verläuft und Region **106** etwa 10° entlang dem Rand des Wafers links von Mittelpunkt **92** verläuft.

[0055] Die Spule der [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) erzeugt Plasmadichten auf Wafer **93** mit etwa den gleichen Mechanismen wie zuvor in Verbindung mit der Spule von [Fig. 2](#), die Plasmadichten auf Wafer **71** erzeugt. Die relativ zu Wafer **71** größere Plasmadichtegleichmäßigkeit, die Wafer **93** ätzt, wird erreicht, indem die Gestalt der Spule von [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) auf der Basis der asymmetrischen Regionen **72**–**80** von [Fig. 3](#) eingestellt wird.

[0056] Ein Vergleich von [Fig. 3](#) und [Fig. 6](#) lässt er-

kennen, dass die Ätzratensymmetrie, die in Wafer **71** von [Fig. 3](#) in Regionen **76**, **78** und **80** bestand, in der Ätzrate von Wafer **93** von [Fig. 6](#) nicht vorhanden ist. Die Ätzrate des Wafers von [Fig. 6](#) ist beträchtlich gleichmäßiger als die Ätzrate des Wafers von [Fig. 3](#) und weist die mit Regionen **76**, **78** und **80** assoziierte versetzte, d.h. asymmetrische Charakteristik nicht auf. Region **100** dominiert die Ätzrate von [Fig. 6](#) und erstreckt sich über etwa 50% der Fläche des Wafers.

[0057] Wenn die Kammer von [Fig. 1](#) zum Bearbeiten von kreisförmigen 300-mm-Wafern verwendet wird, wird die Spule von [Fig. 5](#) durch Spule **100** von [Fig. 7](#) ersetzt. Spule **100** von [Fig. 7](#) weist, wie die Spulen der [Fig. 2](#) und [Fig. 5](#), vier Wicklungen **101–104** auf, die alle mit dem Spulenmittelpunkt **106** konzentrisch sind. Innere geteilte Wicklung **101** weist zwei getrennte Segmente **112** und **114** auf die Erregeranschlusspunkte **108** bzw. **110** aufweisen, die mit dem Ausgangsanschlusspunkt des Anpassungsnetzes **28** bzw. Kondensators **80**, [Fig. 1](#), verbunden sind. Radial und umfangsmäßig verlaufende Streifen **116**, **118** und **120** verbinden benachbarte Paare der Wicklungen **101–104** miteinander, so dass Streifen **116** Segment **112** von Wicklung **101** mit einem ersten Ende von Wicklung **102** verbindet, Streifen **118** das zweite Ende von Wicklung **102** mit einem ersten Ende von Wicklung **103** verbindet und Streifen **120** ein zweites Ende von Wicklung **103** mit einem ersten Ende von Wicklung **104** verbindet. Streifen **122** verbindet das zweite Ende von Wicklung **104** mit dem Ende von Abschnitt **112** von Wicklung **101**, der nicht mit einem Ausgangsanschlusspunkt von Anpassungsnetz **28** verbunden ist.

[0058] Spule **100** von [Fig. 7](#) unterscheidet sich von den Spulen von [Fig. 2](#), [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#), weil Wicklungen **101–104** von Spule **100** von den Geometrien der Wicklungen der in den [Fig. 2](#), [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) illustrierten Spulen verschiedene Geometrien haben. Insbesondere sind Wicklungen **103** und **104** beide kreisförmig und haben Außenrandradien von 8 Zoll (20,32 cm) bzw. 6,5 Zoll (16,51 cm). Wicklungen **101** und **102** von Spule **100** unterscheiden sich von den zwei inneren Wicklungen der Spulen von [Fig. 2](#), [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#), weil Wicklungen **100** und **102** in Bezug auf Mittelpunkt **106** asymmetrisch sind. Spulenabschnitte **112** und **114** von Wicklung **101** und **102** weisen Abschnitte **126**, **128** und **130** auf, die Kreissegmente mit jeweiligen Außenradien von 2 Zoll (5,08 cm), 2 Zoll (5,08 cm) bzw. 3,75 Zoll (9,53 cm) relativ zu Mittelpunkt **106** aufweisen. Jeder der Abschnitte **126**, **128** und **130** hat eine Bogenlänge von 180° auf der Seite der Spule **100**, die der Seite der Spule gegenüberliegt, wo sich die Streifen **116**, **118**, **120** und **122** befinden.

[0059] Wie in [Fig. 7](#) illustriert, weist Spule **100** einen horizontalen Durchmesser **131** und einen vertikalen Durchmesser **133** im rechten Winkel zueinander auf.

Streifen **116–120** schneiden vertikalen Durchmesser **133**, während die Enden von kreisförmigen Abschnitten **126**, **128** und **130** horizontalen Durchmesser **131** schneiden. Abschnitte **112** und **114** von geteilter Wicklung **101** weisen relativ gerade Segmente **132** bzw. **134** auf die vom horizontalen Durchmesser **131** nach oben und etwas nach innen in Richtung auf vertikalen Durchmesser **133** verlaufen. Gerade Segmente **132** und **134** haben eine Mittellinie, die um etwa 10° vom vertikalen Durchmesser **133** versetzt ist. Segment **132** verläuft von horizontaler Achse **131** nach oben, so dass die Spitze des Endpunktes von Segment **132** um 2,25 Zoll (5,71 cm) vom horizontalen Durchmesser **131** verschoben ist, während der gerade Abschnitt von Segment **134** davon 3,25 Zoll (8,26 cm) oberhalb von Durchmesser **131** endet.

[0060] Wicklung **102** weist gerade Segmente **140** und **142** rechts und links von vertikalem Durchmesser **133** auf. Jedes der Segmente **140** und **142** neigt sich im Winkel von etwa 10° einwärts in Richtung auf vertikalen Durchmesser **133**. Daher sind Segmente **140** und **142** im Wesentlichen parallel zu Segment **136** bzw. **138**. Der gerade Abschnitt von Segment **142** endet an einem Punkt, der sich 86,4 mm (3,4 Zoll) über horizontalem Durchmesser **131** befindet, während der gerade Abschnitt von Segment **142** an einem Punkt endet, der sich etwa 88,9 cm (3,5 Zoll) oberhalb von horizontalem Durchmesser **131** befindet.

[0061] Aus dem Vorangehenden weist Spule **100** zwei symmetrische äußere Wicklungen **103** und **104** und zwei asymmetrische innere Wicklungen **101** und **102** auf. Die asymmetrische Beziehung ermöglicht es Spule **100**, die Neigung zu radialer asymmetrischer Flussverteilung zu überwinden, die die Spule von [Fig. 2](#) aufweist, während die größeren Durchmesser von Wicklungen **103** und **104** es Spule **100** ermöglichen, eine Plasmadichte zu erzeugen, die auf kreisförmigen 300-mm-Wafern im Wesentlichen gleichmäßig ist.

[0062] Die andere bedeutende Änderung, die beim Umändern der Kammer von [Fig. 1](#) von einer Bearbeitungsanlage für 200-mm-Wafer in eine Bearbeitungsanlage für 300-mm-Wafer zusätzlich zu der Umänderung der Spule von der Spule von [Fig. 5](#) in die Spule von [Fig. 7](#) vorgenommen werden muss, ist das Ändern der Größe der elektrostatischen Aufspannvorrichtung, die einen Sockel für die 200-mm- und die 300-mm-Werkstücke bildet. Die 200-mm-Aufspannvorrichtung eignet sich nicht für 300-mm-Wafer, weil die mit einer Aufspannvorrichtung für 200-mm-Wafer auf die Randbezirksabschnitte des Wafers ausgeübte elektrostatische Aufspannkraft nicht ausreicht, um den 300-mm-Wafer in seiner Lage festzuhalten. Eine elektrostatische Aufspannvorrichtung für einen 300-mm-Wafer kann nicht für einen 200-mm-Wafer verwendet werden, weil es unbedingt erforderlich ist,

dass der Wafer die Elektroden der Aufspannvorrichtung völlig bedeckt.

[0063] [Fig. 8](#) ist eine schematische Draufsicht einer weiteren Ausgestaltung einer Spule mit symmetrischen und asymmetrischen Wicklungen, die in einer Bearbeitungsanlage des in [Fig. 1](#) gezeigten Typs verwendet werden kann. Die Spule von [Fig. 8](#) hat eine der Spule von [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) ähnliche Gestalt, außer dass Wicklung **210** in der Spule von [Fig. 8](#) Wicklung **182** in der Spule von [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) ersetzt. Wicklung **210** von [Fig. 8](#) ist eine im Wesentlichen kreisförmige Wicklung mit einem nach links und oberhalb von Mittelpunkt **50** verschobenen Mittelpunkt **212**. Der Radius von Wicklung **120** liegt zwischen den Radien von Wicklungen **44** und **48** und beträgt vorzugsweise etwa 139,7 mm (5½ Zoll). Daher ist Abschnitt **216** rechts von Wicklung **210** ziemlich nahe an der rechten Seite von Wicklung **44**, aber ziemlich weit entfernt von der rechten Seite von Wicklung **48**. Im Gegensatz dazu befindet sich Abschnitt **218** links von Wicklung **210** ziemlich nahe an der linken Seite von Wicklung **48** und ist von dem linken oberen Abschnitt von Wicklung **44** beträchtlich beabstandet. Die Beabstandung zwischen dem linksseitigen Abschnitt **218** von Wicklung **210** und der linken Seite von Wicklung **48** muss groß genug sein, um eine Lichtbogenbildung zu verhindern.

[0064] Es wurden zwar mehrere spezifische Ausgestaltungen der Erfindung beschrieben und illustriert, es ist aber klar, dass an den Details der speziell illustrierten und beschriebenen Ausgestaltungen Abweichungen vorgenommen werden dürfen. Die Erfindung ist gemäß den angehängten Ansprüchen definiert. Beispielsweise könnte kreisförmige Wicklung **210** von [Fig. 8](#) durch eine elliptische Wicklung mit einer Platzierung ähnlich der Platzierung von Wicklung **210** oder durch andere Wicklungen ersetzt werden, die eine (bis auf die Unterbrechung für Verbindungen mit den benachbarten Wicklungen) geschlossene asymmetrische Konfiguration haben, die zum Verrin- gern der Plasmadichtenungleichmäßigkeit von [Fig. 3](#) angeordnet ist.

Patentansprüche

1. Im Wesentlichen ebene Spule (**24**) zum Anlegen eines HF-Plasmaerregerfeldes an ionisierbares Gas einer Niederdruckplasmaanlage (**10**) für ein kreisförmiges Werkstück (**32**), das für das Platzieren an einer bestimmten Stelle auf einem Werkstückhalter (**30**) ausgeführt ist, wobei die Spule mehrere im Wesentlichen kreisförmische konzentrische Wicklungen (**40, 42, 44, 48**), die einen gemeinsamen Mittelpunkt (**50**) haben, wobei die genannten Wicklungen im Wesentlichen kreisförmig sind, außer dort, wo sie mit einer anderen Wicklung der genannten Spule verbunden sind, und eine/mehrere weitere Wicklungen (**182**) umfasst, deren äußerer Rand asymmetrisch

um den genannten Mittelpunkt angeordnet ist, da- durch gekennzeichnet, dass der innere Rand der ge- nannten einen/mehreren weiteren Wicklungen auch asymmetrisch um den genannten Mittelpunkt ange- ordnet ist.

2. Spule nach Anspruch 1, bei der die mehreren Wicklungen in Reihen geschaltete kreisförmige Wicklungen (**40, 42, 44, 48**) mit unterschiedlichen Durch- messern und zentral angeordneten Erregeran- schlusspunkten (**52, 54**) sind.

3. Wicklung nach Anspruch 1 oder 2, bei der die eine/mehreren weiteren Wicklungen bogenförmige Abschnitte (**184, 186**) mit unterschiedlichen Abstän- den von dem Mittelpunkt aufweisen.

4. Spule nach Anspruch 3, bei der die eine/meh- reren weiteren Wicklungen den ersten und zweiten der genannten bogenförmigen Abschnitte (**184, 186**) aufweisen, wobei der erste und der zweite Abschnitt (**184, 186**) Ränder haben, die Sektoren von Kreisen mit verschiedenen Radien und einem gemeinsamen Mittelpunkt (**50**) sind, der im Wesentlichen der glei- che wie der Mittelpunkt (**50**) der mehreren Wicklun- gen ist.

5. Spule nach Anspruch 4, bei der es drei der mehreren Wicklungen (**40, 42, 44, 48**) gibt, wobei die eine/mehreren weiteren Wicklungen (**182**) sich zwis- chen den mehreren Wicklungen (**48, 44**) befinden, die den größten und den zweitkleinsten Radius ha- ben, wobei die Erregeranschlusspunkte (**52, 54**) sich an der Wicklung (**40, 42**) mit dem kleinsten Radius befinden, wobei die Wicklungen mit zunehmend grö- ßerer Trennung von dem Mittelpunkt (**50**) direkt miteinander verbunden sind, wobei die Wicklungen mit dem größten und dem kleinsten Radius direkt mitein- ander verbunden sind (**64**).

6. Spule nach Anspruch 3 oder 5, bei der die Ge- stalt der einen/mehreren weiteren Wicklungen ein Kreis (**210**) mit einer Mitte (**212**) ist, die von dem Mit- telpunkt (**50**) der mehreren Wicklungen in Richtung auf eine Seite der Spule verschoben ist.

7. Spule nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei der die eine/mehreren weiteren Wicklungen (**182**) ei- nen ersten Abschnitt (**186**), der ein Sektor eines Krei- ses mit einer Mitte ist, die mit dem Mittelpunkt der mehreren Wicklungen zusammenfällt, einen zweiten Abschnitt (**88**), der ab einem ersten Ende des ersten Abschnitts im Wesentlichen gerade verläuft, und ei- nen dritten Abschnitt (**90**), der ab einem zweiten Ende des ersten Abschnitts im Wesentlichen gerade verläuft, aufweisen.

8. Spule nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei der die der Mitte der mehreren Wicklungen am nächsten befindliche Wicklung in ein erstes und ein

zweites Segment (**40, 42**) geteilt ist, die ein drittes bzw. ein vierter Ende (**52, 54**) haben, wobei das dritte und das vierte Ende mit der HF-Quelle verbunden sind.

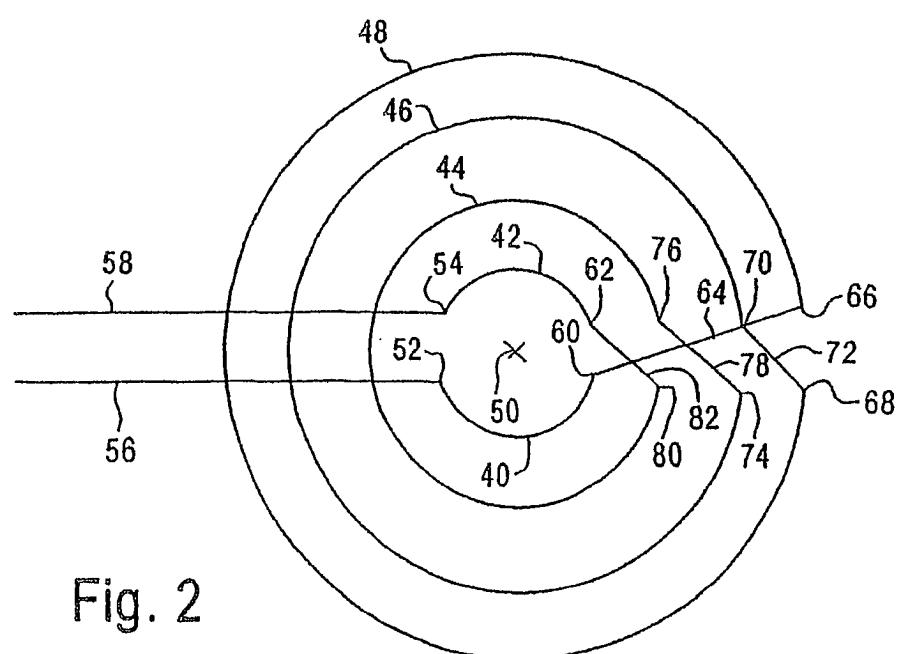
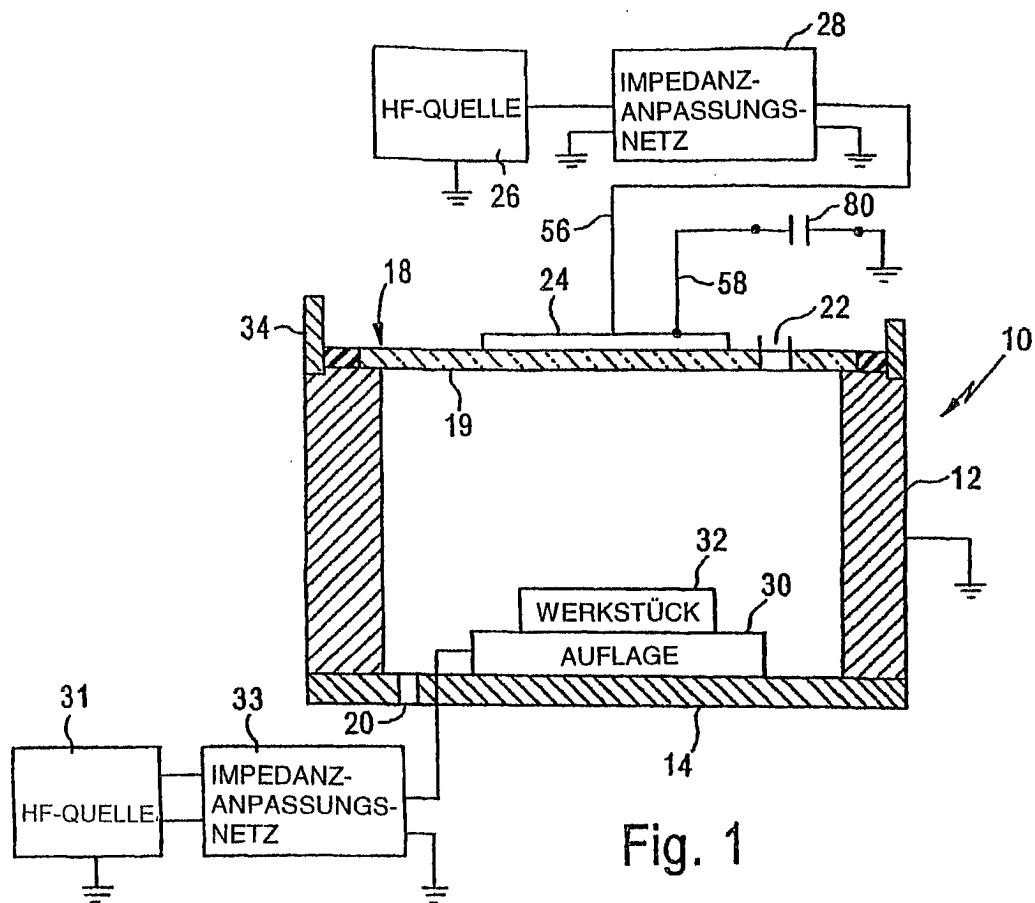
9. Spule nach einem der Ansprüche 1, 2 oder 8 in Abhängigkeit von Ansprüchen 1 oder 2, wobei die Spule eine erste und eine zweite (**101, 102**) der genannten einen/mehreren weiteren Wicklungen aufweist, wobei die erste (**101**) der genannten einen/mehreren weiteren Wicklungen sich näher an dem Mittelpunkt (**106**) der mehreren Wicklungen befindet als die zweite (**102**) der genannten einen/mehreren weiteren Wicklungen, wobei die genannten einen/mehreren weiteren Wicklungen beide die in Anspruch 7 definierte Gestalt haben, wobei die Sektoren (**112, 130**) der Kreise der beiden genannten einen/mehreren weiteren Wicklungen bogenförmig ausgerichtet sind, wobei die geraden Abschnitte (**132, 134, 140, 142**) von beiden der genannten einen/mehreren weiteren Wicklungen im Wesentlichen parallel zueinander verlaufen, wobei die erste (**101**) und die zweite (**102**) der genannten einen/mehreren weiteren Wicklungen zu der Spule gehören, die dem Spulenmittelpunkt am nächsten liegt.

10. Niederdruckplasmaanlage zum Bearbeiten von kreisförmigen Werkstücken (**32**), die Folgendes umfasst:

eine Niederdruckkammer (**10**) zum Bearbeiten der Werkstücke mit einem Plasma,
einen Werkstückhalter (**30**) in der Kammer,
wobei die Kammer so angeordnet ist, dass die Werkstücke sich während der Bearbeitung an einer bestimmten Stelle auf dem Werkstückhalter befinden,
eine im Wesentlichen ebene Spule (**24**) nach einem der Ansprüche 1 bis 9 zum Erregen von ionisierbarem Gas in der Kammer zu einem Plasma und
eine HF-Quelle (**26**) zum Anlegen von Plasma-HF-Erregerspannung an die Spule.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



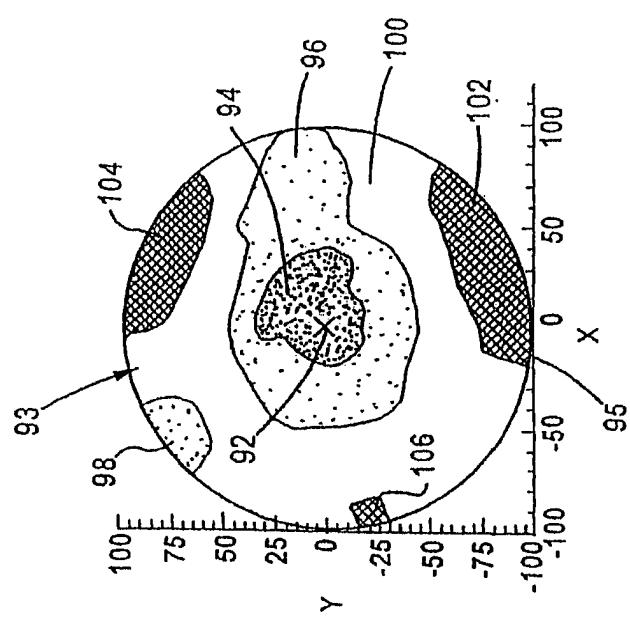


FIG. 6

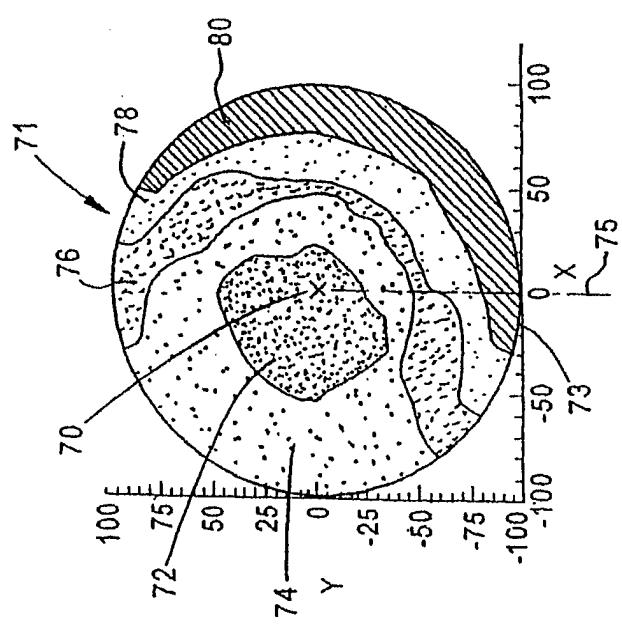


FIG. 3

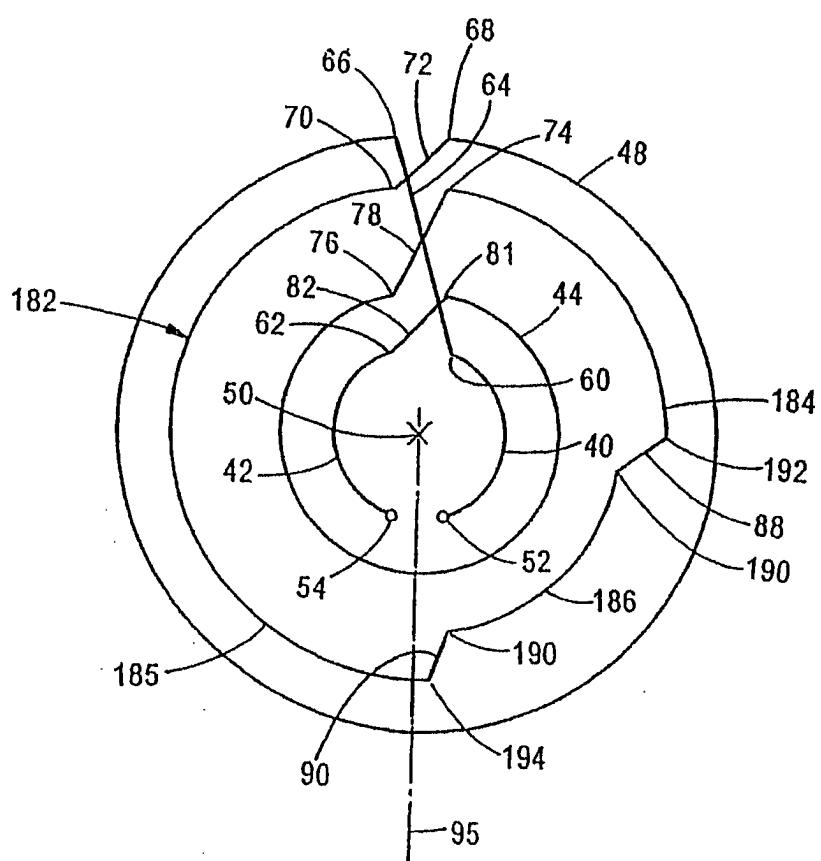


FIG. 4

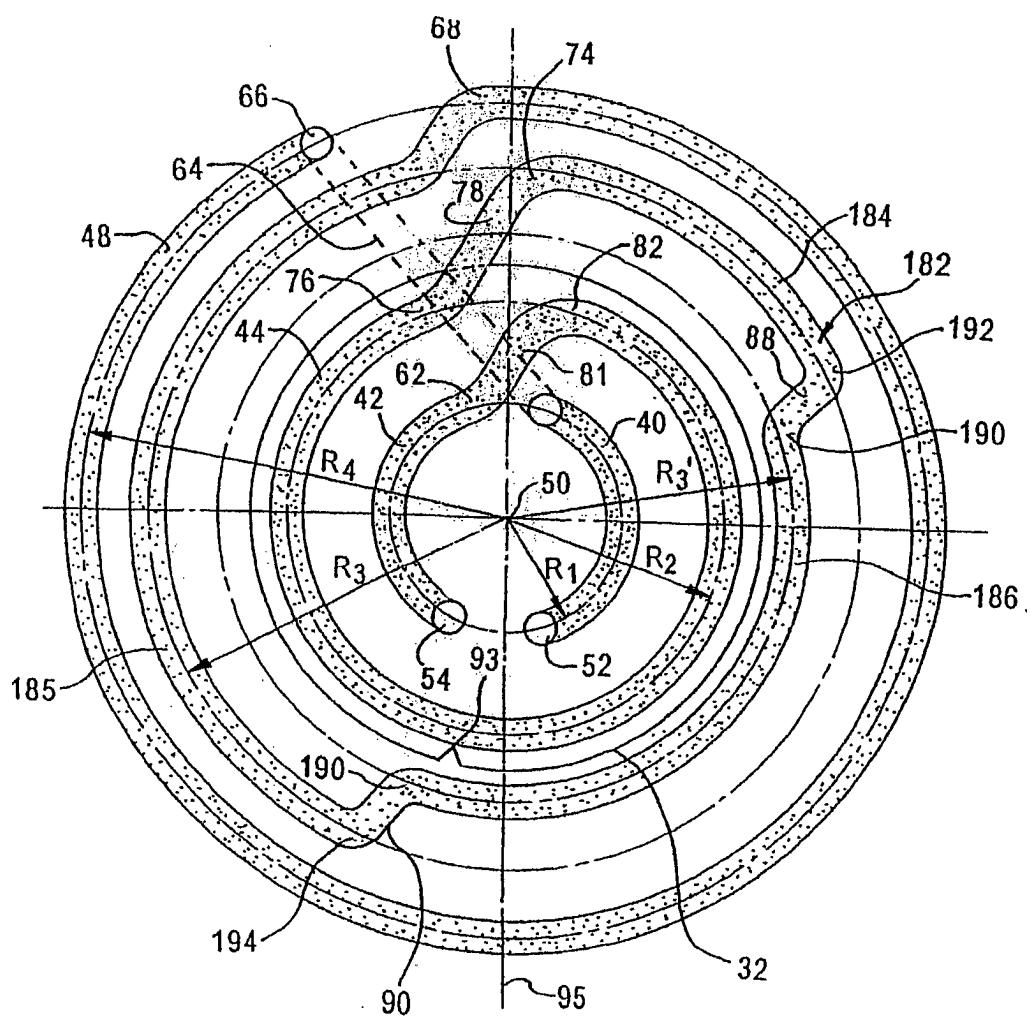


FIG. 5

FIG. 7

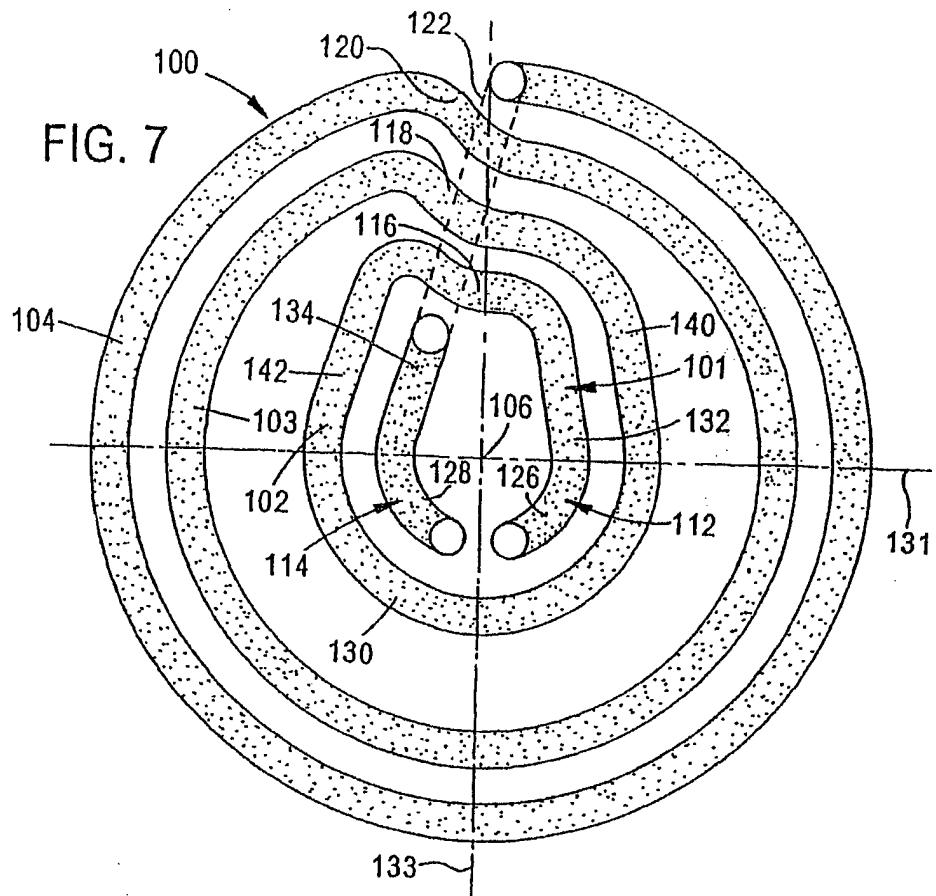


FIG. 8

