

SCHWEIZERISCHE Eidgenossenschaft
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH

696 036 A5

(19)

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(51) Int. Cl.: C23C 16/455 (2006.01)
H01J 37/32 (2006.01)
H05H 1/02 (2006.01)
H05H 1/34 (2006.01)

(12) PATENTSCHRIFT

(21) Gesuchsnummer: 01975/98

(22) Anmeldedatum: 04.03.1997

(30) Priorität: 27.03.1996 US 08/624,010

(24) Patent erteilt: 30.11.2006

(45) Patentschrift veröffentlicht: 30.11.2006

(73) Inhaber:
Tokyo Electron Limited,
TBS Broadcast Center 3-6 Akasaka 5-chome
Minato-ku, Tokyo 107 (JP)

(72) Erfinder:
Kaihan Ashtiani, Nanuet, NY 10954 (US)

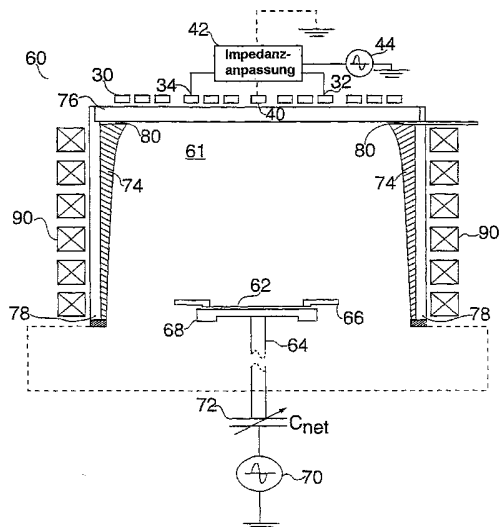
(74) Vertreter:
E. Blum & Co. Patentanwälte, Am Vorderberg 11
8044 Zürich (CH)

(86) Internationale Anmeldung:
PCT/US 1997/003048

(87) Internationale Veröffentlichung:
WO 1997/036022

(54) Induktiv gekoppelte Plasmaquelle.

(57) Eine Vorrichtung (60) zur Bearbeitung mindestens einer Oberfläche eines Bauteils (62) mit einem gleichförmigen Plasma umfasst eine Prozesskammer (61), in welcher das Bauteil (62) angeordnet wird, und eine Plasmaquelle. Die Plasmaquelle umfasst eine dielektrische Platte (76) mit einer ersten Oberfläche, welche Teil einer Innenwand der Prozesskammer bildet und eine elektrische Energiequelle, welche eine Hochfrequenzquelle (44) und eine im Wesentlichen ebene Induktionsspule (30) umfasst, die an einer zweiten Oberfläche der dielektrischen Platte angeordnet ist, und welcher von der Hochfrequenzquelle vorzugsweise durch einen Impedanzanpassungsschaltkreis (42) Energie zugeführt wird. Die im Wesentlichen ebene Induktionsspule weist mindestens zwei spiralförmige Teile auf, welche bezüglich mindestens eines Punktes (40) der im Wesentlichen ebenen Induktionsspule symmetrisch sind und bildet vorzugsweise eine kontinuierliche S-Form. Die Form der Induktionsspule minimiert die kapazitive Kopplung zwischen der Induktionsspule und dem Plasma und damit den Spannungsabfall des Plasmamantels, wodurch die Bearbeitungsfehler an Bauteilen und die Homogenität des Plasmas an der Oberfläche des Bauteils verbessert werden. Ein Impedanzanpassungsschaltkreis, verbunden mit der im Wesentlichen ebenen Induktionsspule und der Hochfrequenzquelle minimiert einen resultierenden Spannungsabfall, der oftmals über die Zuleitungen einer Induktionsspule nach Stand der Technik auftritt und verbessert damit weiter die Plasmahomogenität an der Oberfläche des Bauteils.



Beschreibung

Hintergrund der Erfindung

1. Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf Materialbearbeitung wie z.B. Mikroelektronikherstellung. Insbesondere bezieht sich die Erfindung auf ein Verfahren, eine Vorrichtung und eine Plasmaquelle gemäss Oberbegriff der unabhängigen Patentansprüche.

2. Stand der Technik

[0002] Die Verwendung eines gasförmigen Plasmas in Halbleiterherstellungsprozessen ist wohl bekannt. Im Allgemeinen wird ein zu bearbeitender Wafer in einer Kammer mit zwei gegenüberliegenden Elektroden angeordnet, die parallel zum Wafer orientiert sind. Die Kammer wird dann auf ein vorgegebenes Vakuumniveau evakuiert und ein Niederdruckfüllgas wie Argon wird in die Kammer eingeführt. Sobald das Füllgas in die Kammer eingelassen ist, wird ein elektrisches Feld, typischerweise im Radiofrequenzbereich, zwischen den beiden Elektroden angelegt. Dieses Radiofrequenzfeld induziert einen Elektronenfluss zwischen den Elektroden und energiereiche, von der Kathode emittierte Elektronen kollidieren mit den Atomen oder Molekülen des neutralen Gases und bewirken dessen Ionisation, wobei ein gasförmiges Plasma (oder eine Glimmentladung) nahe der Kathode gebildet wird. Die Ionen dieses gasförmigen Plasmas werden dann dazu benutzt, die Wafer durch Ätzen, Materialabscheidung oder ähnliche derartige Prozesse zu bearbeiten.

[0003] Hochdichteplasmaquellen werden zunehmend in der Materialbearbeitung und insbesondere bei Mikroelektronik-Herstellungsprozessen wie Ionenimplantation, Ätzen und Materialdeposition verwendet. Zu diesen Quellen zählen Elektron-Zyklotron-Resonanz (ECR), Helikon-Wellen und induktiv gekoppelte (ICP) oder kapazitiv gekoppelte (TCP) Plasmaquellen. Diese Quellen können hochdichte Plasmen bei niedrigen Drücken (oftmals weniger als 2×10^{-2} Torr) für eine schnelle Bearbeitung erzeugen, welche bei der Herstellung gegenwärtiger VLSI-Schaltkreisen mit Durchmessern bis zu 200 mm und für zukünftige ULSI-Schaltkreise («ultra large Scale integrated circuits») mit Durchmessern in der Grössenordnung von 300 mm wünschenswert ist.

[0004] Bei den meisten Materialbearbeitungsanwendungen und insbesondere bei der Ätz- oder Abscheidungsherstellung integrierter Schaltkreise aus Halbleitersubstraten oder Wafern ist die Plasmahomogenität über dem Oberflächengebiet des zu bearbeitenden Substrates entscheidend, um sicherzustellen, dass beispielsweise der Ätz- oder Sedimentationsvorgang über die Waferfläche gleichförmig ist. Die Einhaltung der Homogenität der Plasmabearbeitung über die Waferfläche ist andererseits wichtig für die Einhaltung der kritischen Dimensionen der hochaufgelösten Geometrie auf den Wafern.

[0005] Kürzlich wurden ICP-(und TCP-)Plasmaquellen eingeführt, welche relativ gleichförmige Plasmen erzeugen können. Gewisse solcher ICP-(und TCP-)Plasmaquellen basieren auf einer Spiralantennen- oder Induktionsspulen-Geometrie, wie in Fig. 1 zu sehen ist. In ICP-Spulenschaltkreisen gemäss dem Stand der Technik wird ein geerdetes RF-Netzgerät 10, das typischerweise Strom bei einer Betriebsfrequenz von 13,56 MHz liefert, an die Zuleitung 12 der Induktionsspule 20 über einen Widerstandsanpassungsschaltkreis 14 angeschlossen, wobei die Zuleitung 16 geerdet ist (Fig. 2). Die Induktionsspule 20 erzeugt ein zeitlich veränderliches Magnetfeld um sich herum bei der Frequenz der angeschlossenen RF-Energie. Dieses zeitlich veränderliche Magnetfeld wiederum induziert ein elektrisches Feld in der Plasmakammer (nicht dargestellt), gemäss einer der bekannten Maxwell-Gleichungen $\nabla \times \mathbf{E} = -\partial \mathbf{B} / \partial t$. Somit wird ein Strom auch in einem Kreis induziert, wenn der Kreis einem zeitlich veränderlichen Magnetfeld unterworfen ist, und im Falle der Induktionsspule 20 von Fig. 1 wird der resultierende Strom in die Richtung fließen, welche in Fig. 2 zu einem bestimmten Zeitpunkt dargestellt ist. (Wie dem Fachmann bekannt ist, bedeuten eingekreiste «X» (⊗) in Übereinstimmung mit der anerkannten Terminologie, dass der Strom in das Blatt hineinfliesst, wohingegen eingekreiste «Punkte» (⊙) bedeuten, dass der Strom aus dem Blatt herausfliesst. Im Hinblick auf Fig. 1 folgt somit der resultierende Strom durch die ICP-Induktionsspule dem Pfad BCD.)

[0006] Es ist jedoch auch zu erkennen, dass aufgrund der Art und Weise, in welcher die RF-Stromversorgung 10 mit der Spule 20 verbunden ist, ein resultierender Spannungsabfall sich zwischen dem Anschluss 12 und dem Anschluss 16 über die Ebene der Spule 20 entwickeln kann. Solch ein resultierender Spannungsabfall entsteht aufgrund der asymmetrischen Stromeinspeisung durch die Spule 20. Genauer gesagt, wenn Strom durch die Spule 20 von einem Anschluss zum anderen eingespeist wird, geht etwas Leistung an das umgebende Plasma aufgrund der induktiven Kopplung zwischen dem Plasma und der Spule 20 verloren. Dieser Leistungsunterschied zwischen Zuleitung 12 und Zuleitung 16 resultiert in einem entsprechenden Spannungsunterschied zwischen solchen Zuleitungen in der in Fig. 2 gezeigten Richtung. Solch eine Spannung kann unerwünschte Verschlechterungen der Plasmahomogenität und daher im Plasmaprozess verursachen.

[0007] Ein anderes Problem, welches sich aus der Spule von Fig. 1 und 2 gemäss Stand der Technik ergibt, ist die kapazitive Kopplung, welche zwischen dem Plasma und der Spule auftritt. Diese kapazitive Kopplung wiederum bewirkt einen unerwünschten Anstieg der Plasmamantelspannung [d.h. des Spannungsabfalls über den Plasmamantel, welcher die Fläche zwischen der Kathodenoberfläche und der Glimmentladung (oder dem Plasma) nahe der Kathode ist]. Eine Zunahme in der Plasmamantelspannung wird wiederum die Energiemenge erhöhen, mit welcher die Ionen auf das Substrat auftreffen, was oftmals in einer Zunahme beschädigter Bauteile während der Bearbeitung resultiert. Öfters wird eine Faraday-Abschirmung in Apparaten verwendet, welche die Spule gemäss Stand der Technik einsetzen, um die Auswirkungen der

kapazitiven Kopplung zu minimieren. Eine solche Abschirmung wird üblicherweise direkt unterhalb der Spule 20 angeordnet, um einen Teil des elektrischen Feldes und damit der Spannung in gewissen Richtungen im Apparat kurzzuschliessen und dadurch solche kapazitiven Kopplungen zu minimieren. Da jedoch eine Faraday-Abschirmung die Kosten und Komplexität der gesamten Bearbeitungsvorrichtung erhöht, ist sie aus ökonomischer und allgemein herstellungstechnischer Sicht unerwünscht. Es wäre daher wünschenswert, dass eine effiziente und kostengünstigere Plasmaquelle bereitgestellt wird, die ein gleichförmiges Hochdichteplasma bei tiefen Drücken über Materialien mit grossen Oberflächengebieten und insbesondere über Halbleitersubstraten mit grossen Oberflächengebieten erzeugt.

Darstellung der Erfindung

[0008] Es ist daher ein Ziel der vorliegenden Erfindung, für ein Materialbearbeitungsgerät eine verbesserte Homogenität eines Hochdichteplasmas über ein Material mit einer grossen Fläche wie z.B. einen Halbleiterwafer bereitzustellen.

[0009] Es ist ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung, in einem Materialbearbeitungsgerät eine verbesserte Plasmabearbeitungshomogenität an der Oberfläche eines Materials, wie z.B. eines Halbleiterwafers, bereitzustellen.

[0010] Es ist ein weiteres Ziel der Erfindung, in einem Materialbearbeitungsgerät eine spezielle Induktionsspule bereitzustellen, welche eine verbesserte Plasmabearbeitungshomogenität an der Oberfläche eines Halbleiterwafers liefert.

[0011] Es ist ein zusätzliches Ziel der vorliegenden Erfindung, eine spezielle Induktionsspule bereitzustellen, welche eine kapazitive Kopplung zwischen einem Plasma und einer solchen Induktionsspule in einem Materialbearbeitungsgerät minimiert, um die Menge beschädigter Bauteile zu reduzieren, welche während der Bearbeitung von Halbleiterwafern oder anderen Materialien auftreten kann.

[0012] Es ist ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung, in einem Materialbearbeitungsgerät eine spezielle Induktionsspule bereitzustellen, welche die kapazitive Kopplung zwischen einem Plasma und einer solchen Induktionsspule minimiert und dabei die Kosten und Komplexität eines solchen Materialbearbeitungsgerätes reduziert.

[0013] Es ist ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung, in einem Materialbearbeitungsgerät eine spezielle Induktionsspule und einen damit verbundenen Impedanzanpassungsschaltkreis bereitzustellen, um einen resultierenden Spannungsabfall zu eliminieren, der in der Ebene von Induktionsspulen gemäss Stand der Technik in solchen Materialbearbeitungsgeräten auftritt, und um daher die Plasmabearbeitungshomogenität an der Oberfläche eines zu bearbeitenden Materials, wie z.B. eines Halbleiterwafers, zu verbessern.

[0014] Diese Ziele werden durch die Gegenstände der unabhängigen Ansprüche erreicht.

[0015] Daher wird in Übereinstimmung mit einem Aspekt der vorliegenden Erfindung eine Plasmaquelle zur Erzeugung eines Plasmas in einer Bearbeitungskammer angegeben, welches Plasma zur Behandlung von mindestens einer Oberfläche eines Bauteils in der Bearbeitungskammer dient. Die Plasmaquelle umfasst eine dielektrische Platte, deren eine erste Oberfläche Teil einer Innenwand der Bearbeitungskammer ist, und umfasst ferner eine elektrische Energiequelle, die ausserhalb der Bearbeitungskammer angeordnet ist, um Energie durch die dielektrische Platte in die Bearbeitungskammer zu liefern. In einer bevorzugten Ausführungsform umfasst die elektrische Energiequelle eine Radiofrequenz-Stromversorgung und eine im Wesentlichen ebene Induktionsspule, die mindestens zwei spiralförmige Teile aufweist, welche bezüglich mindestens eines Punktes der im Wesentlichen ebenen Induktionsspule symmetrisch sind. Die im Wesentlichen ebene Induktionsspule ist an einer zweiten Oberfläche der dielektrischen Platte zur Erzeugung eines Hochdichteplasmas nahe der Oberfläche des Bauteils angeordnet, um die Oberfläche zu bestrahlen und eine im Wesentlichen gleichförmige Bearbeitungsgeschwindigkeit über die Bauteiloberfläche zu erzeugen.

[0016] Gemäss eines anderen Aspekts der vorliegenden Erfindung wird die Plasmaquelle mitsamt der im Wesentlichen ebenen Induktionsspule in einem Apparat zur Bearbeitung mindestens einer Oberfläche eines Bauteils mit von einem Prozessgas erzeugten Plasma verwendet. Ein solches Gerät kann ein Sputterätzgerät sein und umfasst eine Bearbeitungskammer, welche einen Bearbeitungsraum definiert, und welche mindestens eine Einlassöffnung aufweist, durch welche das Prozessgas in den Bearbeitungsraum eingeführt werden kann, um das Bauteil mit dem Plasma zu bearbeiten. Die Plasmaquelle gemäss vorliegender Erfindung ist an ein Ende der Bearbeitungskammer angekoppelt, um die Bearbeitungskammer abzuschliessen, und induziert die Bildung des Plasmas nahe der Bauteiloberfläche, um die Oberfläche zu bestrahlen und um eine im Wesentlichen homogene Bearbeitungsgeschwindigkeit über die Bauteiloberfläche zu erzeugen.

[0017] Gemäss eines weiteren Aspekts der vorliegenden Erfindung ist ein Impedanzanpassungsschaltkreis zwischen der erfindungsgemässen Plasmaquelle und der Hochfrequenzquelle eingefügt, um eine maximale Energieübertragung zwischen der Induktionsspule und der Hochfrequenzquelle sicherzustellen. In einer bevorzugten Ausführungsform weist die Induktionsspule der vorliegenden Erfindung erste und zweite Zuleitungen auf, die an den Impedanzanpassungsschaltkreis angeschlossen sind, und ist ferner durch den Impedanzanpassungsschaltkreis mit Erde an einem Punkt verbunden, bezüglich dessen die beiden Teile der Induktionsspule symmetrisch sind. Dadurch reduziert sich der resultierende Spannungsabfall über die Ebene der vormals flachen Induktionsspule und dabei verbessert sich die Homogenität des Plasmas sowie der Plasmabearbeitung. Die als neu betrachteten Merkmale der vorliegenden Erfindung werden insbesondere in den folgenden Ansprüchen dargelegt. Die Erfindung selbst kann aber am besten in Bezug auf die folgende Beschreibung zusammen mit den Figuren verstanden werden.

Kurze Beschreibung der Figuren**[0018]**

- Fig. 1 zeigt eine induktiv gekoppelte Plasmaquellen (ICP)-Induktionsspule gemäss Stand der Technik.
- Fig. 2 zeigt einen schematischen Querschnitt der Induktionsspule nach Fig. 1a entlang der Linie AA'; diese Ansicht zeigt auch in gestrichelter Linie eine bekannte Methode, eine RF-Stromquelle an die Spule zur Erzeugung eines veränderlichen Magnetfeldes anzuschliessen, die Stromrichtung durch die Spule und die Richtung des resultierenden Spannungsabfalls, der durch die Art und Weise, in welcher die RF-Stromquelle an die Spule angeschlossen ist, bedingt ist.
- Fig. 3 zeigt ein Ausführungsbeispiel der induktiv gekoppelten Plasmaquellen (ICP) Induktionsspule der vorliegenden Erfindung.
- Fig. 4a zeigt einen schematischen Querschnitt der Induktionsspule von Fig. 3 entlang der Linie AA'; diese Ansicht zeigt auch eine schematische Darstellung des Anschlusses einer RF-Stromquelle an die Induktionsspule durch einen Impedanzanpassungsschaltkreis gemäss einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.
- Fig. 4b zeigt einen Querschnitt der Induktionsspule von Fig. 3 entlang der Linie AA'; diese Ansicht zeigt auch eine schematische Darstellung des Anschlusses einer RF-Stromquelle an die Induktionsspule gemäss einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.
- Fig. 5 zeigt ein Schema eines Sputterätzgerätes, welches die ICP-Induktionsspule nach Fig. 3 verwendet.
- Fig. 6a zeigt eine schematische Darstellung einer magnetischen Multipolstruktur, die um den Sputterapparat von Fig. 5 herum angeordnet ist und zur weiteren Verbesserung der Plasmahomogenität dient.
- Fig. 6b ist eine Draufsicht auf einen vergrösserten Teil 96 des magnetischen Multipols von Fig. 6a und zeigt eine schematische Darstellung des Weges eines Plasmaelektrons entlang der Magnetfeldlinien der Multipolstruktur.

Wege zur Ausführung der Erfindung

[0019] Wie aus Fig. 3 ersichtlich, ist die Induktionsspule 30 gemäss vorliegender Erfindung eine Spule, die eine erste Zuleitung 32 und eine zweite Zuleitung 34 aufweist. Insbesondere kann die Induktionsspule als eine kontinuierliche S-förmige Spule mit einem ersten und zweiten Teil 36, 38 gedacht werden, wobei jeder Teil in einer Spiral- oder Kreisevolventen-Form gebogen ist. Vorzugsweise sind die Teile 36, 38 auch im Wesentlichen identisch und bezüglich mindestens eines Mittelpunktes 40 der Induktionsspule 30 symmetrisch. (Obwohl in Fig. 3 jeder Teil 36, 38 mit drei Windungen zu sehen ist, sei gesagt, dass die Windungszahl in der Induktionsspule 30 innerhalb von Parametern der vorgehenden Beschreibung modifiziert werden kann.) Die Induktionsspule 30 ist vorzugsweise aus hohlem Kupferkabel hergestellt, durch welches Wasser geleitet wird, welches die Induktionsspule 30 kühlt, während die Hochfrequenzleistung durch diese geschickt wird.

[0020] Die Induktionsspule 30 von Fig. 3 kann an eine RF-Energiequelle 44 angeschlossen sein, um von dort Energie zu beziehen, wie aus Fig. 4a und 4b ersichtlich. In dem Ausführungsbeispiel, das in Fig. 4a gezeigt ist, ist der Draht 34 mit Erde verbunden, während der Draht 32 an die RF-Quelle 44 durch einen Impedanzanpassungsschaltkreis 42 angeschlossen ist, der für eine maximale Leistungsübertragung zwischen der RF-Quelle 44 und der Induktionsspule 30 ausgelegt ist. Der Impedanzanpassungsschaltkreis 42 kann entweder der konventionelle L- oder Π -Typ-Schaltkreis sein, wobei der L-Typ angesichts seines höheren Schaltkreis-Q-Faktors, der besseren Unterdrückung von Harmonischen und daher der effizienteren Leistungsübertragung von der Induktionsspule 30 zum Plasma vorgezogen wird. In dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 4a wird daher der resultierende Strom durch die Induktionsspule 30 von der Zuleitung 32 zu der Zuleitung 34 entlang des Pfades EFGHI fließen.

[0021] Obwohl die Induktionsspule von Fig. 3 an eine RF-Quelle 44 wie in Fig. 4a angeschlossen sein kann, wird sie vorzugsweise an eine solche Quelle wie in Fig. 4b gezeigt angeschlossen. In dieser Ausführungsform ist die Zuleitung 32 mit einem ersten Anschluss eines Impedanzanpassungsschaltkreises 42 verbunden, während der Draht 34 mit einem zweiten Anschluss des Impedanzanpassungsschaltkreises 42 verbunden ist. Wiederum kann es sich bei dem Impedanzanpassungsschaltkreis entweder um einen L- oder einen Π -Typ-Schaltkreis handeln, wobei der L-Typ bevorzugt wird. Wenn eine asymmetrische Stromzuführung gewünscht wird, kann die letzte Stufe des Impedanzanpassungsschaltkreises 42 ein Transformator mit zentraler Erdung sein; d.h. Punkt 40 der Induktionsspule 30 ist mit Erde verbunden (in Fig. 5 mit gestrichelten Linien dargestellt). Alternativ hierzu kann der Transformator einen zentralen Anschluss aufweisen, der mit der RF-Quelle 44 verbunden ist, wobei die Zuleitungen 32, 34 mit Erde verbunden sind. Als Ergebnis dieser Schaltkreis-Konfiguration wird ein erster Strom durch die Induktionsspule 30 von der Zuleitung 32 zum Impedanzanpassungsschaltkreis 42 entlang des Pfades EFG fließen. Zusätzlich wird ein zweiter Strom von der Zuleitung 34 zum Impedanzanpassungsschaltkreis 42 entlang des Pfades IHG fließen (Fig. 4b).

[0022] Es ist Folgendes zu erkennen: Weil die Ströme in entgegengesetzte Richtungen durch jeden der beiden entgegengesetzt gewundenen Teile 36, 38 der vorgeschlagenen Induktionsspule 30 (Fig. 4b) fließen, neigen die dabei erzeugten elektrischen Felder dazu, einander aufzuheben, wodurch die kapazitive Kopplung zwischen der Spule und dem Plasma minimiert wird. Daher wird aufgrund der minimierten kapazitiven Kopplung der Spannungsabfall über den Plasmamantel reduziert und dadurch die Anzahl beschädigter Bauteile verringert, die während der Bearbeitung auftreten kann. Darüber hinaus macht die minimierte kapazitive Kopplung eine Faraday-Abschirmung überflüssig, wie sie im Zusammenhang mit der Induktionsspule 20 gemäss Stand der Technik aus Fig. 1 Verwendung findet. Die Eliminierung der Faraday-Abschirmung reduziert die Kosten und Komplexität einer Induktionsspule und des zugehörigen Schaltkreises. Ferner kann angesichts der im Wesentlichen ebenen Ausführung der Induktionsspule 30 gemäss der vorliegenden Erfindung eine solche Induktionsspule 30 sehr leicht für grosse Bearbeitungsflächen, wie z.B. zur Bearbeitung eines 300-mm-Wafers in der Mikroelektronik-industrie, skaliert werden.

[0023] Darüber hinaus wird wegen des symmetrischen Anschlusses des Stromes an die Spule 30 durch das Anpassungsnetzwerk 42 nach Fig. 4b der resultierende Spannungsabfall eliminiert, der normalerweise über die Ebene der Induktionsspule 20 gemäss Stand der Technik nach Fig. 1 auftreten würde. Dies resultiert in einem nicht kapazitiven Plasma und damit einer tieferen Plasmamantelspannung. Wie zuvor diskutiert wird eine tiefere Plasmamantelspannung ihrerseits die Energiemenge reduzieren, mit welcher die Ionen auf das Substrat auftreffen und dadurch die Anzahl beschädigter Bauteile verbessern, welche während der Bearbeitung auftreten.

[0024] Eine Anwendung der Induktionsspule 30 gemäss der vorliegenden Erfindung wird unter Bezugnahme auf einen Gebrauch in der Sputterätzanlage nach Fig. 5 erklärt. Es ist dabei die Meinung, obwohl die Erklärung der Anwendung der Induktionsspule 30 in Bezug auf eine Sputterätzanlage 60 gegeben wird, dass der Gebrauch der Induktionsspule 30 nicht hierauf begrenzt ist und in anderen Materialbearbeitungsanwendungen wie bekannt im Stand der Technik z.B. bei Ionenimplantation und Plasmadeposition angewendet werden kann.

[0025] Bekanntermassen verwendet der Prozess der Sputterätzung ionisierte Teilchen eines geladenen gasförmigen Plasmas, um eine Substrat- oder Waferoberfläche zu bombardieren und damit Teilchen von der Oberfläche zu entfernen oder zu sputtern. Im Detail wird ein Substrat oder Wafer 62 während des Sputterätzprozesses auf eine Grundplatte 64 an einem Ende der Sputterätzkammer 61 der Vorrichtung 60 angebracht und vorzugsweise mittels eines elektrostatischen Spannfutters oder einer Waferklemme 66 in Position gehalten. Eine Vorspannung wird dann durch Anlegen einer Hochfrequenzleistung von einer Quelle 70 bei einer Frequenz von beispielsweise 13,56 MHz über eine Wafer-Plattform 68 angelegt, welche auf der Grundplatte 64 ruht. Ein isolierender Kondensator 72 ist zwischen der Hochfrequenzquelle 70 und der Wafer-Plattform 68 angeschlossen, um die DC-Komponenten des Hochfrequenzsignals von der Hochfrequenzquelle 70 abzublocken. Ein zylindrisches Quarzrohr 74 wird in den inneren Durchmesser der Sputterätzkammer 61 eingeführt, um die Kammerwände vor dem Material zu schützen, welches vom Wafer 62 entfernt wird. Dieses Quarzrohr 74 kann in regelmässigen Wartungsintervallen geputzt oder ersetzt werden.

[0026] Eine Plasmaquelle inklusive einer dielektrischen Platte 76 und der Induktionsspule 30 gemäss vorliegender Erfindung (Fig. 3) wird am anderen oder oberen Ende der Sputterätzkammer 61 angeordnet. Die dielektrische Platte 76, welche vorzugsweise in einem Abstand von 7–20 cm von der Waferplattform 68 angeordnet ist, wird mit der metallischen Kammerwand 78 der Sputterätzkammer 61 verbunden, um eine zuverlässige Vakuumdichtung zu erreichen. Wie aus Fig. 5 ersichtlich, ruht die Induktionsspule 30 direkt auf der dielektrischen Platte 76, wobei beide vorzugsweise im Wesentlichen eben sind. Jedoch kann die dielektrische Platte 76 eine im Allgemeinen konvexe innere Oberfläche aufweisen, die sich in die Sputterätzkammer 61 erstreckt, und eine im Allgemeinen konkave äussere Oberfläche, deren Verlauf die Induktionsspule 30 nachfolgt, was in grösserem Detail in der US-Patentanmeldung 08/410 362 Ghanbari, «Sputter Etching Apparatus with Plasma Source Having a Direct Pocket and Contoured Plasma Source», ausgeführt ist, welche Anmeldung dem Patentbewerber der vorliegenden Erfindung eignet.

[0027] Im Betrieb wird die Sputterätzkammer 61 auf ein Basisvakuumniveau von beispielsweise 1×10^{-7} Torr von einer Vakuumpumpe wie z.B. einer Turbomolekularpumpe oder Kryopumpe (nicht dargestellt) gepumpt und ein Plasmagas, vorzugsweise Argon für Sputterätzanwendung, wird durch Gaseinlassöffnungen 80 nahe des Oberteils der Sputterätzkammer 61 typischerweise bei einer Durchströmrates von 10 bis 100 sccm eingeführt und erzeugt einen Betriebsdruck der typischen Grössenordnung von 1×10^{-3} – 40×10^{-3} Torr. Dieser Betriebsdruck wird durch einen Absperrschiebermechanismus (nicht dargestellt) gesteuert, welcher die Verweildauer des Füllgases in der Sputterätzkammer 61 kontrolliert.

[0028] Wenn ein stabiler Betriebsdruck erreicht ist, wird Leistung von einer Hochfrequenzquelle 44 an die Induktionsspule 30 durch einen Anpassungsschaltkreis 42 (welcher vorzugsweise der Anpassschaltkreis 42 von Fig. 4b ist, aber auch der Anpassschaltkreis gemäss Fig. 4a sein kann) angelegt. Die Hochfrequenzquelle 44 liefert vorzugsweise Leistung bei einer Betriebsfrequenz von 2–13,56 MHz. Wie weiter oben diskutiert, erzeugt die Hochfrequenzenergie durch die Induktionsspule 30 ein zeitlich veränderliches Magnetfeld in Nähe der Spule 30 und dieses wiederum induziert ein elektrisches Feld E in der Sputterätzkammer 61 gemäss der Gleichung $\nabla \times E = -\partial B / \partial t$. Dieses induzierte elektrische Feld E beschleunigt eine kleine Zahl Elektronen, welche sich in der Sputterätzkammer 61 als Ergebnis der Ionisierung des neutralen Gases durch kosmische Strahlen und andere elektromagnetische Quellen in der Umgebung befinden. Die beschleunigten Elektronen können mit neutralen Gasmolekülen kollidieren und Ionen und weitere Elektronen erzeugen. Dieser Vorgang setzt sich fort und erzeugt eine Elektronen- und Ionenlawine und generiert dabei ein Plasma in der Sputterätzkammer 61 in

der Fläche der Induktionsspule 30 unterhalb der dielektrischen Platte 76. Das Plasma diffundiert danach und füllt die Sputterätzkammer 61.

[0029] Während das Plasma in Richtung der Waferplattform 68 diffundiert, werden gasförmige Ionen im Plasma (z.B. Argonionen) und in Nähe der Waferplattform 68 dorthin beschleunigt wegen der Vorspannung, die sich an der Plattform 68 durch eine weitere RF-Quelle 70 entwickelt, welche kapazitiv an diese gekoppelt ist. Die beschleunigten Argonionen treffen den Wafer und entfernen oder sputtern Material vom Wafer 62 weg. Die geätzten Nebenprodukte werden aus der Sputterätzkammer 61 von der Vakuumpumpe (nicht dargestellt) abgepumpt.

[0030] Der Sputterätzapparat 60 kann eine magnetische Multipolstruktur 90 in seiner Umgebung aufweisen, wie durch die gestrichelten Linien in Fig. 6a dargestellt, um die Plasmahomogenität zu erhöhen. Wie in Fig. 6a ersichtlich, umgibt die magnetische Multipolstruktur 90 den Sputterätzapparat 60 und hat vorzugsweise vertikal ausgerichtete längliche Gebiete 92, 94, welche länglichen Gebiete alternierende Polaritäten haben. Eine vergrößerte Ansicht des Teiles 96 ist in Fig. 6b gezeigt, wie er sich darstellt, wenn man vom oberen Teil der Sputterätzapparatur 60 nach unten auf die Waferplattform 68 schaut. Das resultierende Magnetfeld oder die magnetische Spitze, die durch diese magnetische Multipolstruktur 90 gegeben ist, begrenzt die Elektronenpfade 102 auf die Feldlinien 100, wie dargestellt in Fig. 6b und funktioniert gemäss den gleichen Konzepten und Prinzipien wie denen des wohlbekannten «magnetischen Spiegels». Folglich wird die Verweilzeit der Elektronen in der Kammer 61 erhöht und ihre Verlustrate an das umgebende innere Kammerquarzrohr 74 reduziert. Eine Reduktion der Elektronenverlustrate bewirkt einen Anstieg der Plasmadichte in Nähe der Grenzen der Induktionsspule 30, wo die Plasmadichte dazu tendiert, am dünnsten zu sein. Durch Erhöhung der Plasmadichte an den Grenzen der Induktionsspule 30 wird die Plasmahomogenität und die Homogenität des Prozesses verbessert.

[0031] Es wird daher deutlich, dass in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung eine Ausführungsform oben angegeben ist, welche vollständig die Aufgaben, Ziele und Vorteile erfüllt. Obwohl die Erfindung in Verbindung mit spezifischen Ausführungsbeispielen beschrieben worden ist, ist es offensichtlich, dass viele Alternativen, Modifikationen, Änderungen und Variationen den Fachleuten angesichts der obigen Beschreibung augenscheinlich sind. Zum Beispiel, während die Erklärung der Anwendung der Induktionsspule gemäss vorliegender Erfindung im Hinblick auf eine Sputterätzapparatur gegeben wird, ist der Gebrauch der erfindungsgemässen Induktionsspule nicht darauf beschränkt, und sie kann in anderen Materialbearbeitungsanwendungen, die aus dem Stand der Technik bekannt sind, angewandt werden, wie zum Beispiel bei Ionenimplantation und Plasmadeposition. Ferner kann, obwohl die Induktionsspule gemäss Erfindung und die dielektrische Platte, auf welcher sie ruht, vorzugsweise im Wesentlichen eben sind, die dielektrische Platte eine im Allgemeinen konvexe innere Oberfläche aufweisen, welche in die Sputterätzkammer hineinragt, und eine im Allgemeinen konkave äussere Oberfläche, an deren Kontur die Induktionsspule gemäss vorliegender Erfindung angepasst ist. Weitere Ausführungsbeispiele ergeben sich für den Fachmann von alleine. Dementsprechend ist es beabsichtigt, dass die vorliegende Erfindung alle solchen Alternativen, Modifikationen und Variationen umfasst, welche in den Schutzbereich der folgenden Ansprüche fallen.

Patentansprüche

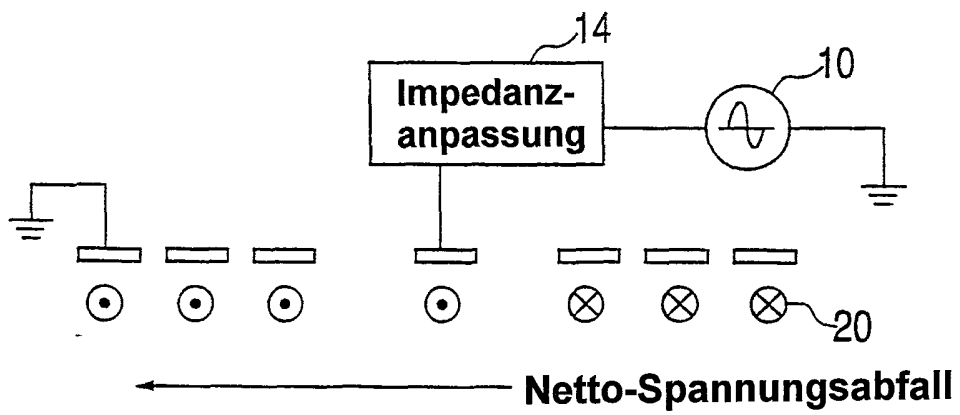
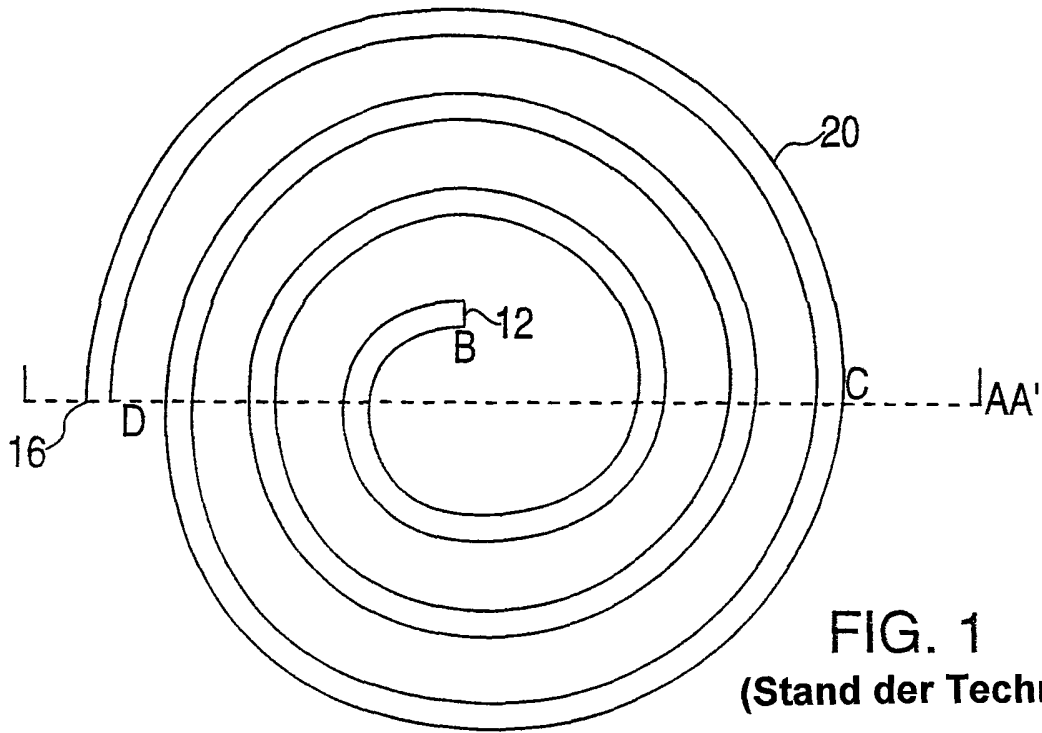
1. Plasmaquelle zur Erzeugung eines Plasmas, insbesondere eines Hochdichteplasmas, in einer Prozesskammer (61), welches Plasma zur Bearbeitung mindestens einer Oberfläche eines in der Prozesskammer angeordneten Bauteils (62) dient, wobei die Plasmaquelle gekennzeichnet ist durch eine dielektrische Platte (76) mit einer ersten Oberfläche, welche einen Teil einer Innenwand der Prozesskammer bildet; eine elektrische Energiequelle, zur Anordnung ausserhalb der Prozesskammer und zur Lieferung von Energie durch die dielektrische Platte in einen Bearbeitungsprozessraum der Prozesskammer für eine Wechselwirkung mit einem Prozessgas zur Bildung von Plasma, wobei die elektrische Energiequelle eine Induktionsspule (30) mit mindestens zwei spiralförmigen Teilen (36, 38) umfasst, welche bezüglich mindestens eines Punktes (40) der Induktionsspule symmetrisch sind und wobei die Induktionsspule an einer zweiten Oberfläche der dielektrischen Platte zur Erzeugung eines Plasmas nahe der Oberfläche des Bauteils angeordnet ist, um die Oberfläche zu beaufschlagen und eine im Wesentlichen gleichförmige Bearbeitungsrate über die Bauteiloberfläche zu erzeugen.
2. Plasmaquelle nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die elektrische Energiequelle eine erste Hochfrequenzquelle (44) umfasst.
3. Plasmaquelle nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Hochfrequenzquelle (44) in einem Frequenzbereich von 2–13.56 MHz arbeitet.
4. Plasmaquelle nach einem der Ansprüche 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass sie des Weiteren einen Schaltkreis (42) verbunden mit der Induktionsspule (30) zur Impedanzanpassung der Induktionsspule und der ersten Hochfrequenzquelle (44) umfasst.
5. Plasmaquelle nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Impedanzanpassungsschaltkreis (42) einen L-Typ-Schaltkreis umfasst.
6. Plasmaquelle nach einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Induktionsspule (30) eine erste und zweite Zuleitung (32, 34) aufweist, und dass der Impedanzanpassungsschaltkreis (42) einen ersten Anschluss

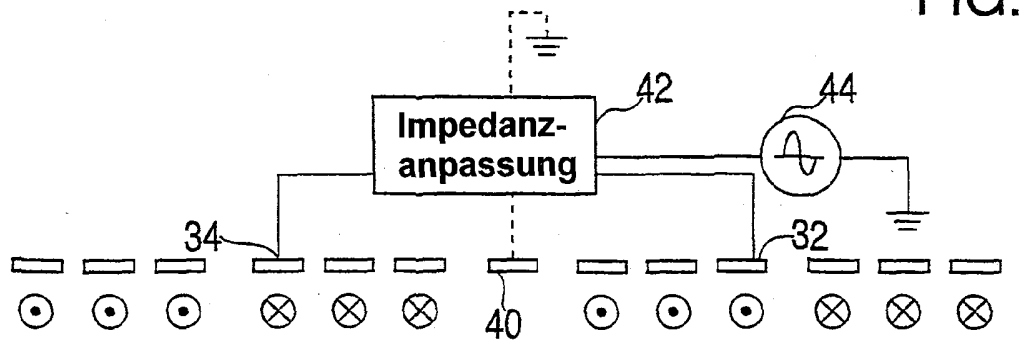
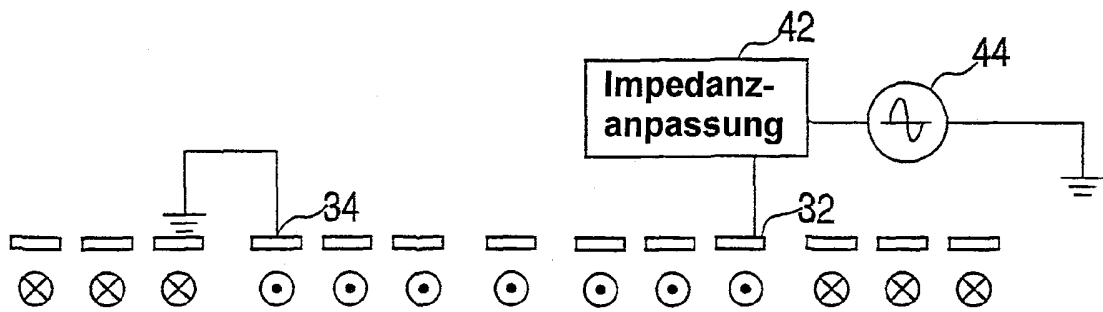
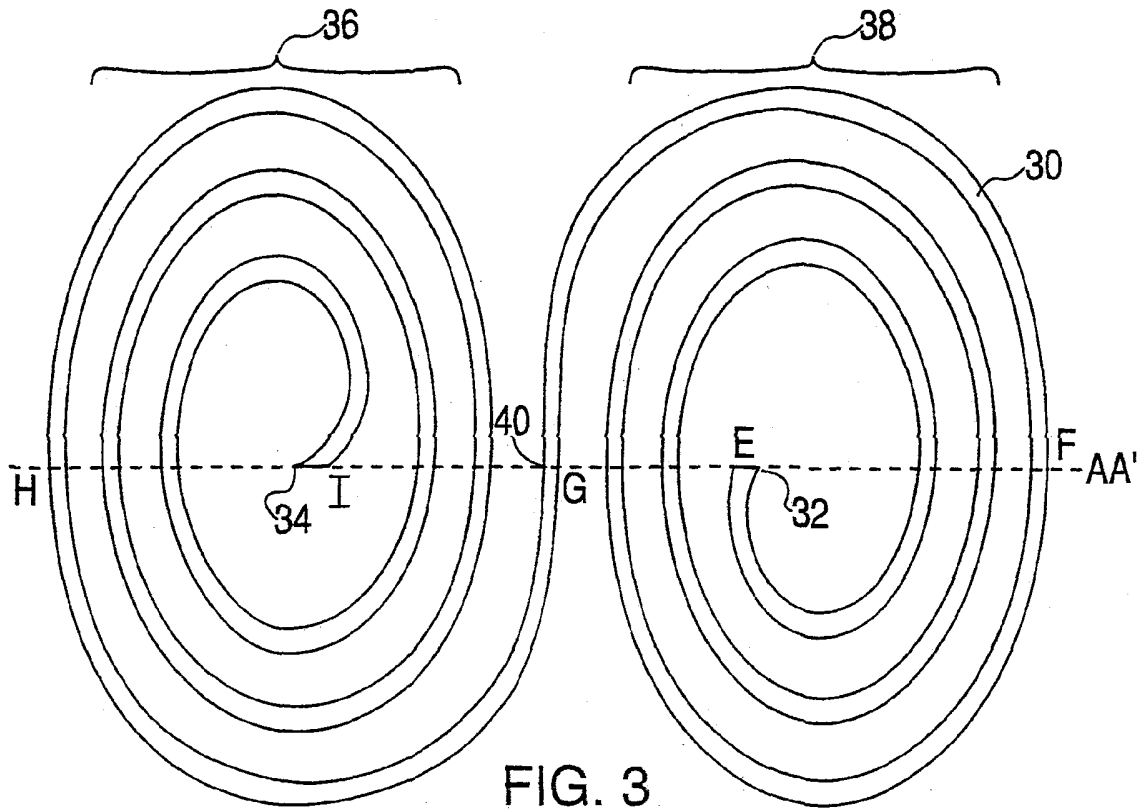
verbunden mit der ersten Hochfrequenzquelle (44) und einen zweiten Anschluss verbunden mit der ersten Zuleitung (32) der Induktionsspule (30) aufweist.

7. Plasmaquelle nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Zuleitung (34) der Induktionsspule (30) mit Erde verbunden ist.
8. Plasmaquelle nach einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Induktionsspule (30) eine erste und zweite Zuleitung (32, 34) aufweist, und dass der Impedanzanpassungsschaltkreis (42) einen ersten Anschluss verbunden mit der ersten Hochfrequenzquelle (44), einen zweiten Anschluss verbunden mit der ersten Zuleitung (32) der Induktionsspule und einen dritten Anschluss verbunden mit der zweiten Zuleitung (34) der Induktionsspule aufweist.
9. Plasmaquelle nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Induktionsspule (30) durch den Impedanzanpassungsschaltkreis (42) mit Erde an einem Punkt (40) verbunden ist, bezüglich dessen die mindestens zwei spiralförmigen Teile (36, 38) der Induktionsspule symmetrisch sind, wobei ein erster Strom von der ersten Zuleitung (32) der Induktionsspule zum Impedanzanpassungsschaltkreis und ein zweiter Strom von der zweiten Zuleitung (34) der Induktionsspule zum Impedanzanpassungsschaltkreis fließt.
10. Plasmaquelle nach einem der Ansprüche 4 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Impedanzanpassungsschaltkreis (42) einen Transformator umfasst.
11. Plasmaquelle nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Transformator einen zentralen Anschluss verbunden mit Erde aufweist.
12. Plasmaquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Induktionsspule (30) zwei spiralförmige Teile (36, 38) umfasst.
13. Plasmaquelle nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die zwei spiralförmigen Teile (36, 38) ein S-förmiges Muster bilden.
14. Plasmaquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Induktionsspule (30) im Wesentlichen eben ist.
15. Vorrichtung mit einer Plasmaquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 14 zur Bearbeitung mindestens einer Oberfläche eines Bauteils (62) mit Plasma, insbesondere mit Hochdichteplasma, welches von dem Prozessgas gebildet wird, gekennzeichnet durch die Prozesskammer (61), welche den Prozessraum definiert und mindestens eine Einlassöffnung (80) aufweist, durch welche das Prozessgas in den Prozessraum eingelassen werden kann, um das Bauteil in der Prozesskammer mit dem Plasma zu bearbeiten; wobei die Plasmaquelle an ein Ende der Prozesskammer gekoppelt ist, um die Prozesskammer abzudichten und die Bildung des Plasmas zu induzieren.
16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Induktionsspule (30) an der zweiten Oberfläche der dielektrischen Platte (76) ausserhalb der Prozesskammer (61) angeordnet ist.
17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15 oder 16, gekennzeichnet weiter durch eine Platte (68), die in der Prozesskammer (61) zum Tragen eines Bauteils (62) angeordnet ist; und eine zweite Hochfrequenzquelle (70) zur Beaufschlagung des Bauteils mit Hochfrequenzenergie.
18. Vorrichtung nach Anspruch 17, gekennzeichnet ferner durch einen isolierenden Kondensator (72), wobei die zweite Hochfrequenzquelle (70) das Bauteil (62) durch den isolierenden Kondensator (72) beaufschlagt.
19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 17 und 18, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Hochfrequenzquelle (70) bei einer Frequenz von 13.56 MHz arbeitet.
20. Verfahren zum Betrieb einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15 bis 19 zwecks Bearbeitung mindestens einer Oberfläche eines Bauteils (62) mit Plasma, insbesondere Hochdichteplasma, gekennzeichnet durch folgende Schritte: Anordnen des Bauteils in der Prozesskammer (61); Einführen des Prozessgases durch die mindestens eine Einlassöffnung (80) in die Prozesskammer bei einem kontrollierten Betriebsdruck; Ankoppeln der Plasmaquelle an das Ende der Prozesskammer zur Abdichtung der Prozesskammer und zur Induktion der Plasmabildung.
21. Verfahren nach Anspruch 20, gekennzeichnet des Weiteren durch den Schritt des Anschliessens der Energiequelle mit der Induktionsspule (30), um dieser Energie zuzuführen.
22. Verfahren nach Anspruch 21, gekennzeichnet des Weiteren durch die Schritte: Verbinden des ersten Anschlusses des Impedanzanpassungsschaltkreises (42) an die Energiequelle und Verbinden des zweiten Anschlusses des Impedanzanpassungsschaltkreises an die erste Zuleitung (32) der Induktionsspule (30), wobei ein Stromfluss von der ersten Zuleitung der Induktionsspule zur zweiten Zuleitung (34) der Induktionsspule bewirkt wird.
23. Verfahren nach Anspruch 22, gekennzeichnet des Weiteren durch den Schritt: Anschliessen der zweiten Zuleitung (34) der Induktionsspule (30) an Erde.
24. Verfahren nach Anspruch 21, gekennzeichnet des Weiteren durch die Schritte: Verbinden des ersten Anschlusses des Impedanzanpassungsschaltkreises (42) mit der Energiequelle; Verbinden des zweiten Anschlusses des Impe-

danzanpassungsschaltkreises mit der ersten Zuleitung (32) der Induktionsspule (30) und Verbinden des dritten Anschlusses des Impedanzanpassungsschaltkreises mit der zweiten Zuleitung (34) der Induktionsspule.

25. Verfahren nach Anspruch 24, gekennzeichnet des Weiteren durch den Schritt: Anschliessen der Induktionsspule (30) durch den Impedanzanpassungsschaltkreis (42) an Erde an einem Punkt (40), bezüglich dessen die mindestens zwei spiralförmigen Teile (36, 38) der Induktionsspule symmetrisch sind, wobei ein erster Strom von der ersten Zuleitung (32) der Induktionsspule zum Impedanzanpassungsschaltkreis und ein zweiter Strom von der zweiten Zuleitung (34) der Induktionsspule zum Impedanzanpassungsschaltkreis fliesst.





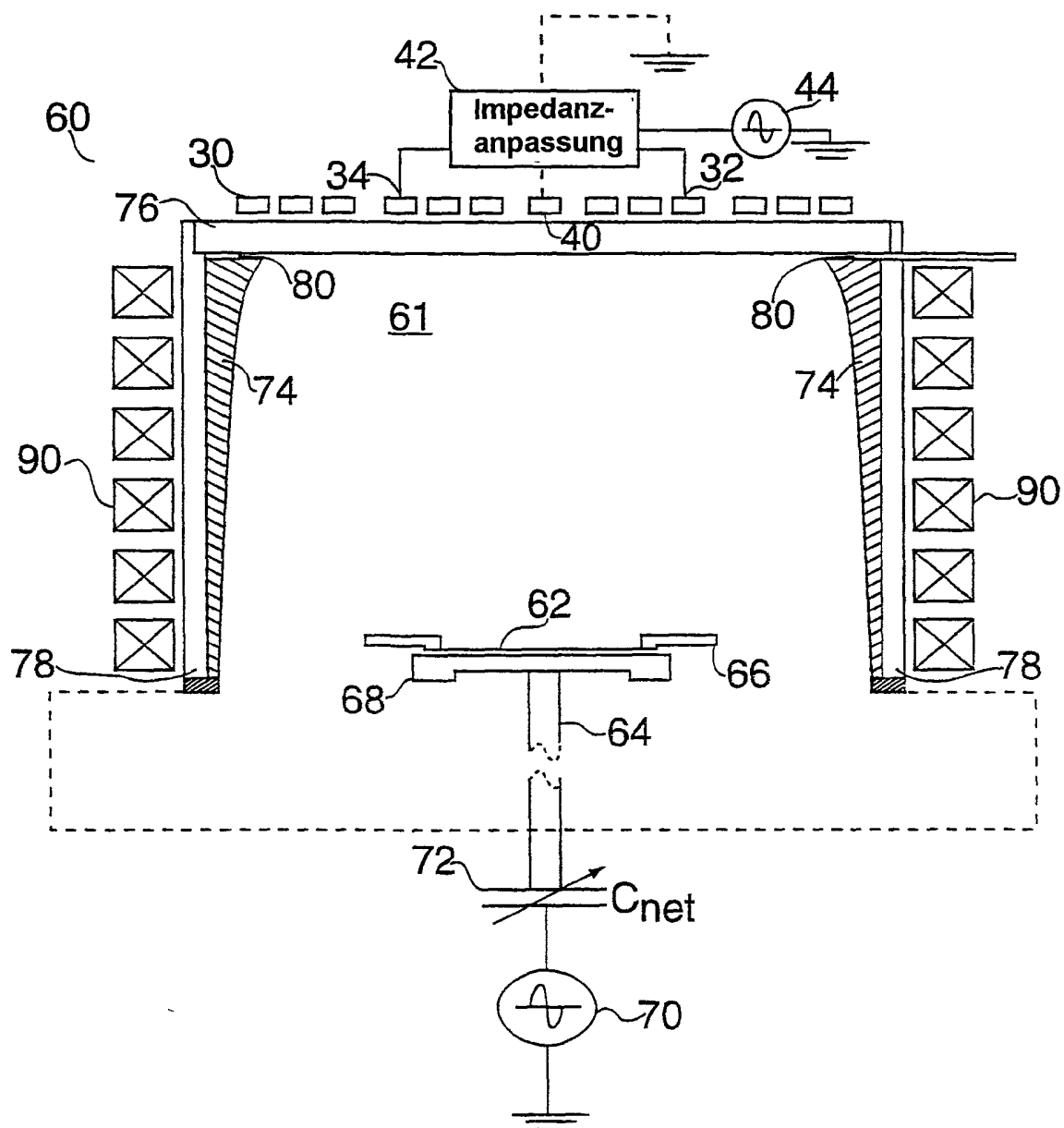


FIG. 5

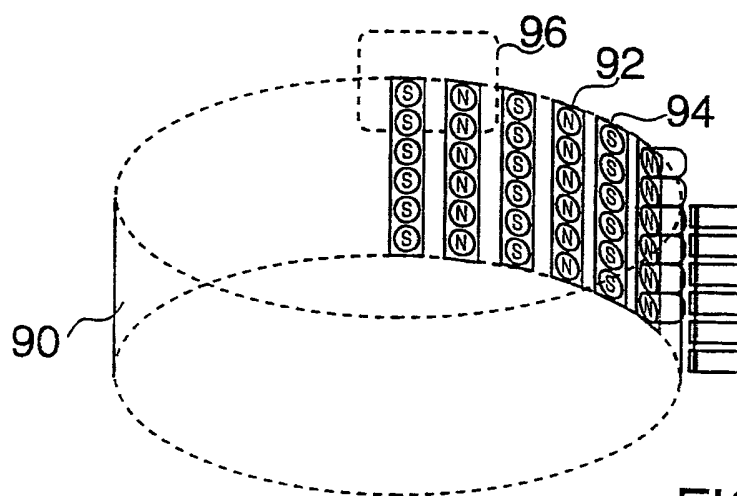


FIG. 6a

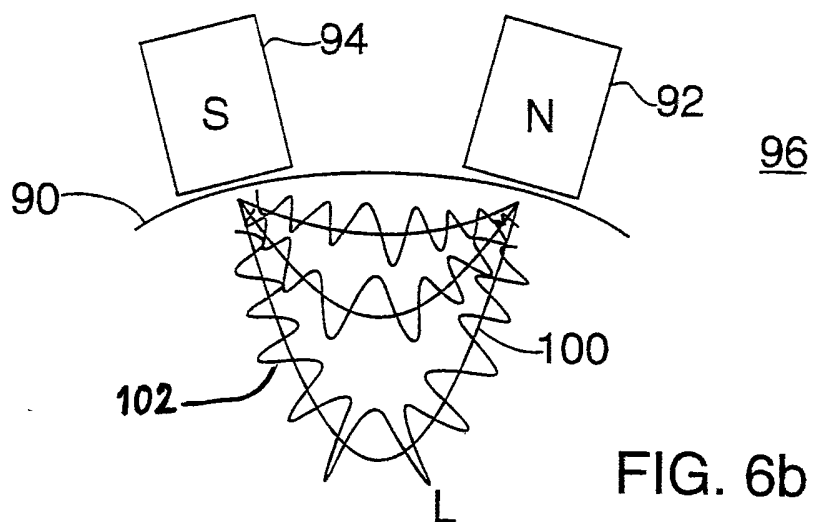


FIG. 6b