

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4540758号  
(P4540758)

(45) 発行日 平成22年9月8日(2010.9.8)

(24) 登録日 平成22年7月2日(2010.7.2)

(51) Int.Cl.	F I	
<b>H05H 1/46 (2006.01)</b>	H05H 1/46	L
<b>C23F 4/00 (2006.01)</b>	C23F 4/00	A
<b>H01L 21/203 (2006.01)</b>	H01L 21/203	S
<b>H01L 21/205 (2006.01)</b>	H01L 21/205	
<b>H01L 21/302 (2006.01)</b>	H01L 21/302	

請求項の数 19 (全 25 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平9-152711  
 (22) 出願日 平成9年6月10日(1997.6.10)  
 (65) 公開番号 特開平10-125497  
 (43) 公開日 平成10年5月15日(1998.5.15)  
 審査請求日 平成16年5月18日(2004.5.18)  
 (31) 優先権主張番号 08/662,732  
 (32) 優先日 平成8年6月10日(1996.6.10)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)  
 (31) 優先権主張番号 08/661,203  
 (32) 優先日 平成8年6月10日(1996.6.10)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 592010081  
 ラム リサーチ コーポレーション  
 LAM RESEARCH CORPOR  
 ATION  
 アメリカ合衆国、カリフォルニア 945  
 38、フレモント、クッシング パークウ  
 ェイ 4650  
 (74) 代理人 100069981  
 弁理士 吉田 精孝  
 (72) 発明者 ホーランド、ジョーン ピー。  
 アメリカ合衆国、カリフォルニア州 95  
 050、サンタ クララ、エンライト ア  
 ベニュー 617番

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 真空プラズマ加工機

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

真空室(10)内の加工物(32)を処理するための真空プラズマ加工機であって、  
 励磁によってプラズマ状態になり得るガスがガス供給源から供給されるとともに、加工  
 物用のホルダ(30)を有する真空プラズマ処理室(10)と、

前記ホルダ上の加工物を処理可能なプラズマ状態に前記ガスを励起するために設けられ  
 たコイル(24)とを備え、

前記コイルは互いに同心状に配置された複数の巻線(40, 42, 44, 46, 48)  
 を有し、コイルに対する高周波の印加によってコイルは前記ガスをプラズマ状態にし、

前記コイルは、互いに直列に接続されたほぼ円形の複数の円弧形セグメント(44, 4  
 6, 48)と、円弧形セグメント(44, 46, 48)に対して径方向内側に配置された  
 2つ以上の内側円弧形セグメント(40, 42)と、高周波励磁源(26, 28)に接続  
 される第1及び第2励磁端子(52, 54)とを有し、

前記コイルの各円弧形セグメント(44, 46, 48)は、各円弧形セグメント(44  
 , 46, 48)の電流がコイル中心周りの同じ方位角方向に流れるように、各円弧形セグ  
 メント(44, 46, 48)に対応するコイルの一部分がコイル中心の周りに周方向に延  
 び且つコイル中心に対して徐々に外側に向かって延びるように配置されており、

前記第1励磁端子はコイルの一端で内側円弧形セグメントの一端に位置し、

外側の円弧形セグメント(46, 48)はその内側の円弧形セグメント(40, 42,  
 44)に対して半径方向外側に位置し、

10

20

前記第2励磁端子はコイルの他端で前記内側円弧形セグメントと異なる内側円弧形セグメントに設けられ、

磁束密度がコイル及び室の中心部分よりもコイル及び室の外周部分で高くなる磁束を前記室内に発生させ、ほぼ均一なプラズマ束が加工物の被処理表面に入射されるように、前記コイル、前記室及び前記加工物が配置されており、

前記コイルの各励磁端子、前記高周波励磁源及びリアクタンス(80)はコイルの前記各励磁端子、コイルの各巻線及び前記リアクタンスを介して前記高周波励磁源からの電流が流れるように互いに直列に接続されており、前記リアクタンスが各励磁端子のうちの1つに接続されるとともに、前記高周波励磁源が他方の励磁端子に接続されており、

$x$ が前記高周波励磁源に接続された前記コイルの入力端子から測定された距離であり、  
 $x^0$ が前記高周波励磁源の周波数によって決定される定数であり、 $x^0$ が前記高周波励磁源の周波数における前記リアクタンスのインピーダンスによって決定されるゼロからのオフセットであり、 $V_{pkpk}^0$ と $I_{pkpk}^0$ がそれぞれ前記コイル内の高周波波高値電圧及び電流の最大値である場合に、前記コイル内の高周波波高値電圧 $V_{pkpk}(x)$ 及び電流 $I_{pkpk}(x)$ が次式：

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

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

で概算されるように、前記リアクタンスの値、前記コイルの長さ及び前記高周波励磁源の周波数が設定されている

ことを特徴とする真空プラズマ加工機。

#### 【請求項2】

高周波励磁源(26, 28)によって励起されるプラズマで真空室(10)内の加工物(32)を処理する真空プラズマ加工機であって、

ガスを励起してプラズマ状態にするために設けられたコイル(24)を備え、

前記コイルは、互いに同心状に配置されるとともに、互いに直列に接続されたほぼ円形の複数の円弧形セグメント(44, 46, 48)と、円弧形セグメント(44, 46, 48)に対して径方向内側に配置された2つ以上の内側円弧形セグメント(40, 42)と、高周波励磁源(26, 28)に接続される第1及び第2励磁端子(52, 54)とを有し、

前記コイルの各円弧形セグメント(44, 46, 48)は、各円弧形セグメント(44, 46, 48)の電流がコイル中心周りの同じ方位角方向に流れるように、各円弧形セグメント(44, 46, 48)に対応するコイルの一部分がコイル中心の周りに周方向に延び且つコイル中心に対して徐々に外側に向かって延びるように配置されており、

コイルに対する高周波の印加によって前記室内の前記ガスをプラズマ状態にするようにコイルが配置され、

少なくとも1つのリアクタンス(80)、前記高周波励磁源、前記各励磁端子及び前記各巻線はコイルの前記各励磁端子、コイルの各巻線及び前記リアクタンスを介して前記高周波励磁源からの電流が流れるように互いに直列に接続されており、前記リアクタンスが各励磁端子のうちの1つに接続されるとともに、前記高周波励磁源が他方の励磁端子に接続されており、

コイルは各励磁端子の間にある一定の長さを有するとともに、前記高周波励磁源の高周波周波数で前記コイルの長さ方向に沿って電流と電圧の分布が生ずるような回路を有し、少なくとも1つのリアクタンス及びコイル配置は、電流の波高値が各励磁端子付近で比較的低く、各励磁端子から離れたコイル部分で比較的高くなるように構成されている

ことを特徴とする真空プラズマ加工機。

#### 【請求項3】

高周波励磁源(26, 28)によって励起されるプラズマで真空室(10)内の加工物(32)を処理する真空プラズマ加工機であって、

ガスを励起してプラズマ状態にするために設けられたコイル(24)を備え、

前記コイルは、互いに同心状に配置されるとともに、互いに直列に接続されたほぼ円形

の複数の円弧形セグメント(44, 46, 48)と、円弧形セグメント(44, 46, 48)に対して径方向内側に配置された2つ以上の内側円弧形セグメント(40, 42)と、高周波励磁源(26, 28)に接続される第1及び第2励磁端子(52, 54)とを有し、

前記コイルの各円弧形セグメント(44, 46, 48)は、各円弧形セグメント(44, 46, 48)の電流がコイル中心周りの同じ方位角方向に流れるように、各円弧形セグメント(44, 46, 48)に対応するコイルの一部がコイル中心の周りに周方向に延び且つコイル中心に対して徐々に外側に向かって延びるように配置されており、

コイルに対する高周波の印加によって前記室内の前記ガスをプラズマ状態にするようにコイルが配置され、

少なくとも1つのリアクタンス(80)、前記高周波励磁源、前記各励磁端子及び前記各巻線はコイルの前記各励磁端子、コイルの各巻線及び前記リアクタンスを介して前記高周波励磁源からの電流が流れるように互いに直列に接続されており、前記リアクタンスが各励磁端子のうちの1つに接続されるとともに、前記高周波励磁源が他方の励磁端子に接続されており、

コイルは各励磁端子の間にある一定の長さを有するとともに、前記高周波励磁源の高周波周波数で前記コイルの長さ方向に沿って電流と電圧の分布が生ずるような回路を有し、前記各励磁端子は前記コイルの内側部分に位置している

ことを特徴とする真空プラズマ加工機。

#### 【請求項4】

真空室(10)内の加工物(32)を処理するための真空プラズマ加工機であって、高周波の印加によって加工機中のガスをプラズマ状態に励起するための複数の巻線を有するコイル(24)を備え、

前記コイルは、互いに同心状に配置されるとともに、互いに直列に接続されたほぼ円形の複数の円弧形セグメント(44, 46, 48)と、円弧形セグメント(44, 46, 48)に対して径方向内側に配置された2つ以上の内側円弧形セグメント(40, 42)と、高周波励磁源(26, 28)に接続される第1及び第2励磁端子(52, 54)とを有し、

前記コイルの各円弧形セグメント(44, 46, 48)は、各円弧形セグメント(44, 46, 48)の電流がコイル中心周りの同じ方位角方向に流れるように、各円弧形セグメント(44, 46, 48)に対応するコイルの一部がコイル中心の周りに周方向に延び且つコイル中心に対して徐々に外側に向かって延びるように配置されており、

前記コイルが高周波励磁の周波数に対して送電線効果を有するようになる十分な長さを備えることにより、少なくとも1つの電流最大値及び最小値がコイル長さ方向の互いに異なった位置に存在するようにしており、少なくとも数対の隣接巻線からの磁束の磁力線が同じ方向に延びるようにコイルが配置されており、コイルはプラズマに対する電磁界結合係数が最小波高値電流の領域よりも最大波高値電流の領域において低くなるように配置されている

ことを特徴とする真空プラズマ加工機。

#### 【請求項5】

真空室(10)内の加工物(32)を処理するための真空プラズマ加工機であって、励磁によってプラズマ状態になり得るガスがガス供給源から供給されるとともに、加工物用のホルダ(30)を有する真空プラズマ処理室(10)と、

前記ホルダ上の加工物を処理可能なプラズマ状態に前記ガスを励起するために設けられたコイルとを備え、

前記コイルは互いに同心状に配置された複数の巻線を有し、コイルに対する高周波の印加によってコイルは前記ガスをプラズマ状態にし、

コイルは高周波励磁源(26, 28)に接続される第1及び第2励磁端子を有し、

前記コイルの各巻線は、各巻線の電流がコイル中心周りの同じ方位角方向に流れるように、コイルがその中心の周りに周方向に延び且つその中心に対して徐々に外側に向かって

10

20

30

40

50

延びるように配置されており、

前記第 1 励磁端子はコイルの一端に設けられ、

前記第 2 励磁端子がコイルの他端に設けられ、

磁束密度がコイル及び室の中心部分よりもコイル及び室の外周部分で高くなる磁束を前記室内に発生させ、ほぼ均一なプラズマ束が加工物の被処理表面に入射されるように、前記コイル、前記室及び前記加工物が配置されており、

前記コイルの各励磁端子、前記高周波励磁源及びリアクタンス(80)はコイルの前記各励磁端子、コイルの各巻線及び前記リアクタンスを介して前記高周波励磁源からの電流が流れるように互いに直列に接続されており、前記リアクタンスが各励磁端子のうちの 1 つに接続されるとともに、前記高周波励磁源が他方の励磁端子に接続されており、

x が前記高周波励磁源に接続された前記コイルの入力端子から測定された距離であり、  
 が前記高周波励磁源の周波数によって決定される定数であり、 $x^0$  が前記高周波励磁源の周波数における前記リアクタンスのインピーダンスによって決定されるゼロからのオフセットであり、 $V_{pkpk}^0$  と  $I_{pkpk}^0$  がそれぞれ前記コイル内の高周波波高値電圧及び電流の最大値である場合に、前記コイル内の高周波波高値電圧  $V_{pkpk}(x)$  及び電流  $I_{pkpk}(x)$  が次式：

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

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

で概算されるように、前記リアクタンスの値、前記コイルの長さ及び前記高周波励磁源の周波数が設定されている

ことを特徴とする真空プラズマ加工機。

【請求項 6】

高周波励磁源(26, 28)によって励起されるプラズマで真空室(10)内の加工物(32)を処理する真空プラズマ加工機であって、

ガスを励起してプラズマ状態にするために設けられたコイルを備え、

前記コイルは、第 1 及び第 2 励磁端子と、互いに同心状に配置された複数の巻線を有し

、  
前記コイルの各巻線は、各巻線の電流がコイル中心周りの同じ方位角方向に流れるように、コイルがその中心の周りに周方向に延び且つその中心に対して徐々に外側に向かって延びるように配置されており、

コイルに対する高周波の印加によって前記室内の前記ガスをプラズマ状態にするようにコイルが配置され、

少なくとも 1 つのリアクタンス(80)、前記高周波励磁源、前記各励磁端子及び前記各巻線はコイルの前記各励磁端子、コイルの各巻線及び前記リアクタンスを介して前記高周波励磁源からの電流が流れるように互いに直列に接続されており、前記リアクタンスが各励磁端子のうちの 1 つに接続されるとともに、前記高周波励磁源が他方の励磁端子に接続されており、

コイルは各励磁端子の間にある一定の長さを有するとともに、前記高周波励磁源の高周波周波数で前記コイルの長さ方向に沿って電流と電圧の分布が生ずるような回路を有し、少なくとも 1 つのリアクタンス及びコイル配置は、電流の波高値が各励磁端子付近で比較的 low、各励磁端子から離れたコイル部分で比較的高くなるように構成されている

ことを特徴とする真空プラズマ加工機。

【請求項 7】

高周波励磁源(26, 28)によって励起されるプラズマで真空室(10)内の加工物(32)を処理する真空プラズマ加工機であって、

ガスを励起してプラズマ状態にするために設けられたコイル(24)を備え、

前記コイルは、第 1 及び第 2 励磁端子(52, 54)と、互いに同心状に配置された複数の巻線(44, 46, 48)を有し、

前記コイルの各巻線(44, 46, 48)は、各巻線(44, 46, 48)の電流がコイル中心周りの同じ方位角方向に流れるように、各巻線(44, 46, 48)に対応する

コイルの一部がコイル中心の周りに周方向に延び且つコイル中心に対して徐々に外側に向かって延びるように配置されており、

コイルに対する高周波の印加によって前記室内の前記ガスをプラズマ状態にするようにコイルが配置され、

少なくとも1つのリアクタンス(80)、前記高周波励磁源、前記各励磁端子及び前記各巻線はコイルの前記各励磁端子、コイルの各巻線及び前記リアクタンスを介して前記高周波励磁源からの電流が流れるように互いに直列に接続されており、前記リアクタンスが各励磁端子のうちの1つに接続されるとともに、前記高周波励磁源が他方の励磁端子に接続されており、

コイルは各励磁端子の間にある一定の長さを有するとともに、前記高周波励磁源の高周波周波数で前記コイルの長さ方向に沿って電流と電圧の分布が生ずるような回路を有し、前記各励磁端子は前記コイルの内側部分に位置している

ことを特徴とする真空プラズマ加工機。

【請求項8】

真空室(10)内の加工物(32)を処理するための真空プラズマ加工機であって、

高周波の印加によって加工機中のガスをプラズマ状態に励起するための互いに同心状に配置された複数の巻線を有するコイルを備え、

前記コイルの各巻線は、各巻線の電流がコイル中心周りの同じ方位角方向に流れるように、コイルがその中心の周りに周方向に延び且つその中心に対して徐々に外側に向かって延びるように配置されており、

前記コイルが高周波励磁の周波数に対して送電線効果を有するようになる十分な長さを備えることにより、少なくとも1つの電流最大値及び最小値がコイル長さ方向の互いに異なった位置に存在するようにしており、少なくとも数対の隣接巻線からの磁束の磁力線が同じ方向に延びるようにコイルが配置されており、コイルはプラズマに対する電磁界結合係数が最小波高値電流の領域よりも最大波高値電流の領域において低くなるように配置されている

ことを特徴とする真空プラズマ加工機。

【請求項9】

高周波電圧の大きさが、コイルの第1励磁端子で第1極性の最大値になり、コイルの第2励磁端子で第2極性の最大値になるように、高周波源の電源がコイルの第1及び第2励磁端子に接続されていることを特徴とする請求項1から8までのいずれか1項記載の真空プラズマ加工機。

【請求項10】

コイルは、円弧範囲がほぼ全円の最外側円弧セグメント(48)及び円弧範囲がほぼ全円の次の外側円弧セグメント(46)とを含む円弧範囲がほぼ全円の幾つかの円弧セグメントを備えており、高周波励磁源(26)はコイルに接続されており、最外側円弧セグメント及び次の外側円弧セグメント内の高周波電流がコイルの内側セグメント内の電流よりも大きくなるようにコイルが構成されていることを特徴とする請求項7記載の真空プラズマ加工機。

【請求項11】

高周波励磁源(26、28)がコイルの第1及び第2励磁端子(52、54)に接続されており、コイルは、第1励磁端子での高周波電流の大きさが第2励磁端子での高周波電流の大きさとほぼ同一になるように構成されていることを特徴とする請求項1から10までのいずれか1項記載の真空プラズマ加工機。

【請求項12】

第1及び第2励磁端子の大きさがほぼ等しい電流は、その振幅がコイルの他のいずれの位置の電流よりも小さいことを特徴とする請求項11記載の真空プラズマ加工機。

【請求項13】

コイルの第1及び第2励磁端子(52、54)がコイルの中心領域に配置され、前記高周波励磁源からの電流が前記第1及び第2励磁端子の間において前記各巻線に流れるよう

10

20

30

40

50

に前記第1端子、前記第2励磁端子及び前記各巻線が配置されていることを特徴とする請求項1から4までのいずれか1項記載の真空プラズマ加工機。

【請求項14】

第1及び第2励磁端子は、円弧範囲がほぼ半円の第1及び第2円弧形セグメント(40、42)にそれぞれ接続されており、円弧範囲がほぼ半円の円弧形セグメントはほぼ同一寸法でほぼ同心状に配置されて、第1及び第2励磁端子が互いに隣接配置されていることを特徴とする請求項13記載の真空プラズマ加工機。

【請求項15】

最内側円弧形セグメント(40、42)は、コイルを2等分する中心線の直径方向において両側に配置されており、第1及び第2励磁端子(52、54)における瞬時高周波電圧がほぼ同じ大きさであるが逆の極性になるように、コイルが配置されて高周波励磁源(26、28)に接続されていることを特徴とする請求項13または14記載の真空プラズマ加工機。

10

【請求項16】

コイルの最外側巻線(48)は、端部以外ではコイルから電氣的に絶縁された直線状の導電性ストラップ(64)によって前記1つの内側セグメントに接続されていることを特徴とする請求項13から15までのいずれか1項記載の真空プラズマ加工機。

【請求項17】

コイルは、ほぼ同心状のさらなる第1及び第2円弧形セグメント(44、46)を備えており、これらの各々は円弧範囲が約全円であって、外側円弧形セグメントに直列に接続されていることを特徴とする請求項15記載の真空プラズマ加工機。

20

【請求項18】

密度が室及びコイルの中心部分よりもコイル及び室の周辺部分で高い磁束を室内に発生し、それによってほぼ均一なプラズマ束が加工物の被処理表面に入射されるように、コイル、室及び加工物が配置されており、コイルの最外側円弧形巻線(48)及び次の外側円弧形巻線(46)によって発生する正味磁界が、2つの外側コイル付近ではすべての周方向角度位置及び半径方向位置においてほぼ同一であることを特徴とする請求項1から17までのいずれか1項記載の真空プラズマ加工機。

【請求項19】

密度が室及びコイルの中心部分よりもコイル及び室の周辺部分で高い磁束を室内に発生し、それによってほぼ均一なプラズマ束が加工物の被処理表面に入射されるように、コイル、室及び加工物が配置されており、コイルの最外側円弧形巻線(48)及び次の外側円弧形巻線(46)は、プラズマに対する高周波電圧の正味静電結合が、コイルの内側円弧形セグメントによるプラズマに対する高周波電圧の正味静電結合に較べて小さいことを特徴とする請求項1から18までのいずれか1項記載の真空プラズマ加工機。

30

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、高周波真空プラズマ加工機、特に励磁高周波源の波長に対応した配置で半径方向にずれた円弧形セグメントを備えた複数巻線励磁コイルを備えて、コイル内の分散高周波電流及び電圧が結合されて、ほぼ均一な空間プラズマ束を被処理加工物上に発生させる電磁界を発生できるようにしたそのような加工機に関する。

40

【0002】

【従来の技術】

真空室の外部の装置から高周波磁界を供給することによってプラズマ加工機内のガスを励起してプラズマ状態にする様々な構造体が開発されている。高周波磁界は、容量性電極を含む電界源、電子サイクロトン共鳴器を含む電磁界源、及びコイルを含む誘導すなわち磁界源から誘導されてきた。励磁されたプラズマは、室内の加工物との相互作用によって加工物のエッチングまたはそれへの物質の付着を行う。加工物は、平面的な円形表面を有する半導体ウェハまたは固体誘電体、例えば平面パネル・ディスプレイに使用される矩形の

50

ガラス基板または金属板にすることができる。

【0003】

加工物を誘導結合平面プラズマ(ICPP)で処理する加工機が、特に本発明と同一の譲受人に譲渡されているオウグル(Ogle)の米国特許第4,948,458号に開示されている。オウグル特許では、プラズマを励磁する磁界は、処理中の加工物の平坦表面にほぼ平行方向に延在する単一の平面状誘電体窓上またはその付近に配置された平面コイルから誘導される。コイルは、周波数が1~100MHz(一般的に13.56MHz)の高周波源に共振するように接続されており、高周波源はインピーダンス整合ネットワークによってコイルに接続されている。コイルは、高周波源に共振するように外側及び内側端子を接続した平面線形らせんとして構成されている。コールドラス(Coultas)他の米国特許第5,304,279号は、永久磁石を平面らせんコイルと組み合わせて使用しているプラズマ閉じ込めを用いた同様な装置を開示している。

10

【0004】

クオモ(Cuomo)他の米国特許第5,277,751号及びオウグルの米国特許第5,277,751号は、平面らせんコイルをソレノイド巻きコイルに変更した上記加工機の変例を開示している。ソレノイド巻きコイルは、誘電マンドレル等に巻装されており、複数のらせん状巻線を含み、その一部が誘電体窓表面に沿って延在している。コイルの残りの部分は誘電体窓の上方に延出している。ソレノイド巻きコイルの両端部が高周波励磁源に接続されている。

【0005】

これらの誘導源は、コイルで発生して誘電体窓を介して結合させた誘導磁界を振動させることによって誘導体窓の真空側付近のプラズマ領域内にある電子を加熱することによってプラズマを励磁する。プラズマ電子を加熱する誘導電流は、平面コイル内の高周波電流で発生した高周波磁界から誘導される。磁界の空間分布は、コイルの各巻線によって発生する磁界の合計によって決まる。各巻線によって発生する磁界は、各巻線内の高周波電流の大きさによって決まる。オウグルの'458号特許に開示されているらせん構造の場合、らせんコイル内の高周波電流は、電力がプラズマに吸収されるリング形領域を生じるように分布する。リング形領域は、誘電体窓の真空側と接している。1.0~10ミリの低圧では、リング形領域からのプラズマの拡散によって、室の中央部分内において室の中心線に沿って窓から離れる方向にプラズマ密度のピークが生じる。10~100ミリの中間圧力範囲では、プラズマ内の電子、イオン及び中性子の気相衝突によって、プラズマ帯電粒子の環状領域の外側への大幅な拡散が阻止される。その結果、加工物のリング形領域内のプラズマ束が非常に高密度になるが、加工物の中心及び周辺部分では低密度になる。従って、リングとリングの内側及び外側部分の間に相当に大きいプラズマ束のばらつきがある。

20

30

【0006】

チェン(Chen)他の米国特許第5,226,967号は、平面らせんコイルの中心から離れた半径方向領域におけるプラズマ密度の低下の悪影響に注目している。チェンの'967号特許では、平面コイルによって発生してプラズマに結合した磁界の強さが室の中心線に沿って低下する。誘電体窓の中心部分を窓の他の領域より厚くすることによって、このように低下させている。約20ミリメートルまでの圧力では、プラズマ内へ延出している固体誘電体の厚さの増加によって、高周波電力を吸収するリング形領域が大径化方向へ移動する。リング形領域の位置の移動によって、このプラズマ発生領域の拡散特性が変化して、被処理基板表面の直径全体にわたって、特に基板の周辺領域で拡散が均一化する。

40

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

'967号特許の装置では、誘電体窓を支持している電磁シールドが、コイルの中心付近のプラズマ束を減少させる。このプラズマ束密度の低下は、シールドがコイルとコイルに加えられた高周波電流から生じた電磁界との結合を低下させるためである。平面コイルの最大直径の巻線によって発生した磁界は、電磁シールドと最大巻線とが互いに非常に接近

50

している場合、窓を支持している電磁シールド内に高周波電流を誘発することが多い。シールドに結合された電力は、(1)プラズマの高周波励磁の結合効率の低下、(2)コイルの最大直径の巻線によって発生した磁界は内側巻線ほど多くの磁束をプラズマに結合させないことによるリング形電力吸収領域の小径化方向への移動を引き起こす。約20ミリトールまでほぼ均一になるのは、窓が最も厚いコイルの中心の下方の領域内へ帯電粒子が拡散する結果である。しかし、圧力が約20ミリトールより高くなると、帯電粒子の拡散が大幅に減少するので、高周波励磁が小さいコイルの中心の下方のプラズマ束が、コイルの下方の他の領域のプラズマ束よりも減少する。従って、加工物の様々な部分でプラズマ束が不均一になる。

#### 【0008】

平面コイルが高周波電力をプラズマに結合させるリング形領域は、平面らせんの内側巻線を取り除くことによって大径化方向へ移動させることができる。フクサワ他は、「誘導結合プラズマにおける高周波自己バイアス特性」と題する論文(1993年12月の応用物理学のジャパニーズ・ジャーナル第32号(1993年)第6076~6079ページ、第1部、No.12(B))において、プラズマ加工機内のガスを励起してプラズマ状態にするための単巻線平面らせんコイルを開示している。ここに開示されているコイルは、内寸が120mm、外寸が160mm、厚さが0.5mmであり、真空容器の上部として機能している誘電プレートの周辺付近に配置されている。単巻線コイルの明らかな目的は、均一プラズマ密度の半径方向分散を行うことである。しかし、フクサワ他の論文の図6に示されているように、特にプラズマエッチングに必要な1キロワット程度の高周波励磁電力の場合、10ミリトールの比較的低いプラズマ加工機圧力でもプラズマ密度は特に均一ではない。フクサワ他の論文に開示されているように単巻線源を1キロワットで高周波励磁する場合、プラズマは室の中心から約4.0cmの位置に実質的なプラズマ密度ピーク( $7.5 \times 10^{11}$ イオン $\text{cm}^{-3}$ )を生じる。このピークは中心軸線の一方側だけに発生するので、プラズマの空間分布に大きな非半径方向非対称を生じる。フクサワ他の論文に開示されている単巻線らせんは、オウグルの'458号特許に開示されている完全らせんに較べて結合領域を大径化方向へ移動させる。フクサワ他の論文の装置はさらに、完全らせんによって発生するプラズマ密度の空間分布の半径方向不均一性と同程度か、それを上回る非半径方向非対称も示す。また、単巻線コイルは、室の周辺付近のリング形プラズマ発生領域から室の中心へのプラズマ移動を拡散に頼っているため、このコイルが作動できる圧力範囲も限定される。約10ミリトールの圧力では、プラズマ内の帯電粒子と非帯電粒子との衝突によって、室の中心領域でプラズマ密度が激しく低下する。

#### 【0009】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明の1つの態様によれば、真空プラズマ加工機は、高周波付勢にตอบสนองして加工機内のガスを励起してプラズマ状態にする複数の円弧形巻線を備えたコイルを設けている。コイルは、半径方向にずれた内側及び外側セグメントを含み、外側セグメントから誘導された磁束がコイルの中心部分から誘導された磁束よりも大きくなるように構成されている。改良型コイルから誘導された磁束の空間分布は、加工物と相互作用するプラズマ成分の空間分布の非半径方向非対称をほぼなくすように整えられている。コイルの磁束を空間的に整えることによって、1~100ミリトールの圧力の場合に空間的に均一なプラズマ束を励磁することができる。真空室は、電磁シールドに対するコイルの周辺部分からの磁束の結合を減少させるように最適化される。

#### 【0010】

コイルは、高周波電源の周波数(すなわち波長)において送電線効果によってコイルの長さに沿って大きな定在波パターンを発生することができる十分な長さを備えている。送電線効果のため、少なくとも1つの高周波電流最大値が、コイルの形状長さに沿ったいずれかの位置に存在する。各コイル・セグメントによって発生する磁界(これはプラズマを励磁するための誘導磁界を発生する)は、そのセグメント内に発生している高周波電流の大きさに比例する。その結果、高周波電源に接続された単一ループでは、コイルの高周波電

10

20

30

40

50

流最大値の場所に対応した位置でプラズマ密度の非半径方向最大値が発生すると予想される。この形式の非半径方向最大値がフクサワ他の論文のデータに見られる。複数のリング・セグメントを備えたコイルの場合、プラズマ密度の空間分布は、セグメントの配置と各セグメント内に発生する高周波電流のレベルの両方によって決まる。オウグルの ' 4 5 8 号特許に開示されている多素子型らせんコイルの場合、磁束の空間的平均がプラズマを発生し、誘電体窓の真空側の中心付近にリング形プラズマ発生領域がある。らせんの一部分に発生している高周波電流最大値によって非半径方向非対称が発生する度合いはわずかにすぎない。

#### 【 0 0 1 1 】

本発明の改良式平面コイルでは、少なくとも数対の隣接コイル巻線の異なった領域からの磁束が加法的になるように、内側及び外側コイル・セグメントが配置されている。これらの異なった領域は互いに隣接しているので、それらからの磁束が合計されて、加工物被処理表面全体に均一なプラズマ束を発生する値に平均化される。コイルのセグメントは、内側巻線によって発生する磁束よりも多くの磁束が外側巻線によって発生するように配置されている。外側巻線に最大磁束を、内側巻線に最小磁束を得ることによって、リング形プラズマ発生領域の外径が延びる。これらのセグメントの各々について直径寸法を適当に選択することによって、加工物被処理表面に拡散してそれと均一に相互作用するプラズマ発生領域を発生する平面コイルが得られる。これらのリング・セグメントの直径は、広い作動圧力範囲、一般的に1ミリトールから100ミリトールまでの範囲で加工物被処理表面全体にこの均一束が発生するように調整される。

#### 【 0 0 1 2 】

加工物被処理表面全体に均一プラズマ束を発生するためには、室のアスペクト比、すなわち加工物被処理表面と誘電プレートの底部（室の上部）の間の距離に対する円筒室の直径の比を正確に選択する必要がある。正確なアスペクト比であれば、室の上部のリング形プラズマが加工物表面に拡散して、加工物被処理表面上に空間的に均一なプラズマ束が得られる。

#### 【 0 0 1 3 】

このため、1つの実施例では、コイルを上に取り付ける室の上表面を2cmの均一厚さの37.3cm直径の円形水晶プレートの窓だけで構成する。プラズマ室は、内径が35.6cmの金属壁を備えた円筒形容器である。平面コイルの外径は約30.5cmである。コイルの底面と室の上表面（水晶プレートの底面で定められる）との間に生じる約2.5cmのギャップによって、コイルの外側巻線内の磁束が金属室壁に大きく結合することが避けられる。平面コイルを取り囲む金属電磁シールド封入容器が、室壁の外径を越えた位置に設けられて、コイルの外側巻線内の磁束がシールド封入容器に大きく結合しないようにしている。プラズマ容器が円筒形であることは、加工物被処理表面上での均一プラズマ束の発生に役立つ。プラズマ発生領域から加工物までの間隔は、広範囲の作動圧力で加工物被処理表面上に均一束が発生できるように最適化される。上記のコイル及び室の直径の場合、誘電プレートの真空側と被処理加工物の上表面との間の間隔が約12cmである。

#### 【 0 0 1 4 】

コイルの送電線効果のため、空間的に平均化された高周波電流がコイル内に発生して、広範囲の作動圧力で均一なプラズマ励磁を行うことができる。コイルからプラズマへの容量結合の量は十分に小さいので、加工物被処理表面上でのプラズマ束の均一性を大幅に低下させることはない。主誘導結合プラズマ源における少量の容量結合は、放電作用に有益であることがわかっている。誘電プレートを介してコイル上の高周波電圧をプラズマに容量結合させることは、(1)プラズマ放電の開始、及び(2)定常プラズマ放電の安定化に必要である。これは、容量結合は、主に低エネルギーの誘導放電内に少量の高エネルギー電子を導入するからである。プラズマに対するコイルの結合全体を低下させることなくこの程度の容量結合を設けることができるように、コイルの高周波電圧空間分布が最適化される。1つの実施例では、容量結合の最適化が、主に容量結合ピーク（すなわち、最高高周波電圧の点）がコイル中心のコイル端子にくるようにコイルを励磁することによって行われ

る。これらの端子は、高周波励磁源に接続されている。

【0015】

本発明の別の態様によれば、真空プラズマ加工機は、高周波付勢に応答して加工機内のガスを励起してプラズマ状態にする、半径方向にずれた複数の巻線を備えたコイルを設けており、コイルによって定められた領域の中心部分から誘導された磁束がコイルによって定められた他の領域から誘導された磁束よりも少なくなるように、コイルが配置されている。従来の技術と同様に、好ましくはコイルを加工機の外側に配置して、コイルの周辺部分からガスに結合する磁束をコイルの内側部分からガスに結合する磁束より少なくするシールドによって包囲する。

【0016】

一定の構造では、高周波励磁源からの高周波電流が並列に送られる複数の並列セグメントを設けている。これらのセグメントの各々は、領域の中心点の直径方向において両側に複数の円弧形部分を備えている。円弧形部分の各々は、領域の中心点から離れている。異なったセグメントの空間的に隣接した部分を通る電流が同一方向に流れるように、セグメントが配置されて電源に接続されている。好ましくは、セグメントを電源に接続する共通接点は、その領域の中心部分に位置している。

【0017】

本発明のさらなる態様によれば、プラズマで加工物を処理する装置は、プラズマを形成すると共に、加工物を位置決めする真空室を有している。真空室は、加工物が処理される間は少なくとも60ミリの圧力にあり、電磁エネルギーを透過させる密封窓を備えている。室の外側に配置されたほぼ平面的なコイルが高周波源に反応して、高周波源によって励磁されたコイルから誘導された高周波磁界が窓を介して結合してプラズマを励磁する。コイルを金属シールドが取り囲んで、コイルからの一部のエネルギーが、窓を介して結合するのではなくシールドと結合することによって、コイルから室の周辺にほぼ整合した室の領域に結合するエネルギーが、コイルから窓の中心にほぼ整合した室の領域に結合するエネルギーに比べて大幅に減少する傾向がある。コイルは、プラズマを受ける加工物の表面全体にわたってプラズマ束がほぼ均一になるようにプラズマを励磁できるようにする、プラズマ及び加工物に対する配置及び位置を備えている。

【0018】

1つの実施例では、コイルは、シールド付近に少なくとも1つの周辺巻線を、また周辺巻線の内側に少なくとも1つのさらなる巻線を備えている。コイルは、コイルによって定められた領域の中心部分から誘導された磁束が、中心部分より外側の領域内のコイルから誘導された磁束より相当に少なくなるように配置されている。好ましくはこの実施例では、コイルは複数の巻線を、すべて窓の中心から離してシールドに近接させて設けている。

【0019】

コイルは、直径方向において対向側に位置する第1及び第2端子によって電源に接続されており、窓の中心から離れてシールドに近接した位置に2つの巻線（すなわち第1及び第2巻線）だけを備えている。1つの実施例では、巻線は、窓の中心に対して同心状の円形パターンになっている。第1及び第2巻線の各々は、近接した第1及び第2端部を備えている。第1及び第2巻線の第1端部は、それぞれ第1及び第2端子に接続されている一方、第1及び第2巻線の第2端部は互いに電気接続されている。

【0020】

同心状巻線の1つが周辺巻線であり、別の1つが他のすべての巻線の内側にある。各巻線は近接した第1及び第2端部を備えており、周辺巻線の第1端部が第1端子に位置し、他のすべての巻線より内側の巻線の第1端部が第2端子に位置している。周辺巻線の第2端部をそれに隣接した内側の巻線の端部に接続し、他のすべての巻線より内側の巻線の第2端部をそれに隣接した巻線の端部に接続するようにして、巻線のその他の端部を互いに接続することによって、巻線が互いに直列に接続されている。

【0021】

場合によっては、最大電流の領域におけるプラズマに対する電磁界結合係数が最小電流の

10

20

30

40

50

領域におけるものよりも低くなるように、コイルを配置する。これは、最大電流の領域における自己インダクタンスを最小電流の領域よりも低くすることによって行うことができる。あるいは、最大電流の領域における加工物からの距離が最小電流の領域よりも長くなるようにコイルを配置する。すなわち、最小電流の領域よりも最大電流の領域が加工物の平面から上方に高くなるようにコイルを配置する。

#### 【 0 0 2 2 】

本発明の上記及びさらなる特徴及び利点は、添付の図面を参照した特定の実施例に関する以下の詳細な説明から明らかになるであろう。

#### 【 0 0 2 3 】

##### 【発明の実施の形態】

図 1 を参照しながら説明すると、半導体、誘電体または金属基板のエッチングまたは基板への分子の付着を行うために使用することができるプラズマ加工機は、接地された金属壁 1 2 と、金属の底端部壁 1 4 と、中心から周辺部まで同一厚さの誘電体窓構造体 1 9 で構成された円形の上部プレート構造体 1 8 とを備えた円筒形の真空室 1 0 を備えている。真空室 1 0 は従来のガスケット（図示せず）によって密封されている。

#### 【 0 0 2 4 】

励磁されてプラズマ状態になることができる適当なガスが、ガス供給源（図示せず）から側壁 1 2 のポート 2 0 を介して室 1 0 内へ導入される。室の内部は、側壁 1 2 のポート 2 2 に接続された真空ポンプ（図示せず）によって 1 ~ 1 0 0 ミリトールの範囲で変更可能な圧力で真空状態に維持されている。あるいは、ポート 2 2 を端部プレート 1 4 に配置してもよい。室内のガスは、適当な電源によって空間的に均一なプラズマ状態に励磁される。電源は、一般的に窓 1 9 のすぐ上に取り付けられて高周波電源 2 6 によってインピーダンス整合ネットワーク 2 8 を介して励磁されるほぼ平面的なコイル 2 4 を備えている。一般的に、高周波電源 2 6 の周波数は 1 3 . 5 6 M H z である。加工物 3 2 が、室 1 0 内において窓 1 9 の表面に平行な基板プラテン 3 0 の表面に固定される。加工物 3 2 は、直流電源（図示せず）によって与えられる直流電位を利用して基板プラテン 3 0 の表面に静電気で固定される。

#### 【 0 0 2 5 】

平面コイル 2 4 を取り囲んで上端部プレート 1 8 の上方へ金属管すなわち缶状のシールド 3 4 が延在して、コイル 2 4 内に発生した磁界を周囲環境から電磁的デカップリングしている。図 2 の（ A ）及び（ B ）の実施例では、シールド 3 4 とコイル 2 4 の周辺領域との間の距離が、コイル 2 4 の周辺領域で発生した磁界のシールド 3 4 による著しい吸収を防止することができる長さになっている。

#### 【 0 0 2 6 】

円筒形の室 1 0 の直径は、コイル 2 4 の周辺領域で発生した磁界の室壁 1 2 による吸収を防止することができる大きさである。誘電体窓構造体 1 9 の直径が室 1 0 の直径よりも大きい場合、室 1 0 の上表面全体が誘電体窓構造体 1 9 で構成されている。加工物 3 2 の被処理表面と誘電体窓構造体 1 9 の下表面との間の距離は、加工物の露出被処理表面上に得られるプラズマが最も均一になるように選択される。図 2 の（ A ）及び（ B ）に示されている本発明の好適な実施例では、加工物の被処理表面と誘電体窓の下表面との間の距離が室 1 0 の直径の約 0 . 3 ~ 0 . 4 倍になっている。

#### 【 0 0 2 7 】

高周波電源 2 6 の周波数と、電源に接続された端部端子間の平面コイル 2 4 の長さは、高周波送電線理論を用いてコイル内に発生する高周波電圧及び電流の作用を推定できるように定められる。平面コイルの各小セクションはその周囲の誘電体との組み合わせで、プラズマに対してゼロ以外の有限キャパシタンスを有するので、送電線効果が平面コイル内に発生する。各コイル・セクションは、コイルの長さ方向の分散インダクタンス及び分散キャパシタンスによって表される電気装置を形成する。平面コイルによって形成された送電線の特性インピーダンスは、平面コイルを形成している導電材料の断面の寸法及び形、すなわち形状と共に、窓の材料の誘電定数及び厚さによって決まる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 8 】

平面コイルが送電線として作用することによって、コイルの長さ方向に定在波パターンが発生し、これによってコイルの長さ方向に高周波電圧及び電流の大きさにばらつきが生じる。コイルによって発生した磁束がこれらの高周波電流の大きさに依存している結果、コイルの様々な部分の下側の室 10 の様々な部分に発生するプラズマの量が異なる。その結果、平面コイルを使用して均一なプラズマを誘導するためには、コイルの各部分に流れる高周波電流の大きさのばらつきを空間的に平均化する必要がある。コイルの様々な部分のこれらの異なった電流値を空間的に平均化することによって、特にコイル 24 の周辺付近のコイル・セグメントの高周波電流領域でプラズマ密度が非半径方向に非対称になるのを防止することができる。平面コイル 24 内の高周波電流の送電線作用によって、中心のコイル・セグメントよりも周辺コイル・セグメントによって発生する磁束の量が増加する。この結果は、最大高周波電流の領域が周辺コイル・セグメントに位置するようにコイル 24 を高周波で励磁することによって得られる。

10

## 【 0 0 2 9 】

図 2 の ( A ) 及び ( B ) に示されている好適な実施例では、平面コイル 24 はほぼ半円形の内側ループ 40 及び 42 と、ほぼ円形の周辺セグメント 46 及び 48 と、ほぼ円形の中間セグメント 44 とを備えている。ループ 40 及び 42 は、コイル 24 の半巻き部分を形成するが、ループ 44、46 及び 48 の各々は、ほぼ完全な 1 巻き部分を形成しており、1 巻き及び半巻き部分は互いに直列に接続されている。すべてのセグメント 40、42、44、46 及び 48 は、室 10 の中心軸線に一致した中央のコイル軸線 50 と同軸的である。コイル 24 の中央部分の両励磁端子 52 及び 54 は、それぞれリード線 56 で整合ネットワーク 28 を介して高周波電源 26 の両端子に、リード線 58 でコンデンサ 80 の一方の電極を接続されており、コンデンサの他方の電極は接地されている。セグメント 40 の端子 52 の反対側の端部の端子 60 を導電性ストラップ 64 が外側ループ・セグメント 48 の端部端子 66 に接続しており、この導電性ストラップ 64 は、コイル 24 の平面よりわずかに上方の領域に配置されて、その下方に延在しているいずれのコイル・セグメントとも接触していないので、このストラップは、端子 60 及び 66 を除いてコイル 24 から電氣的に絶縁されている。セグメント 48 は、端子 66 から 360° の位置よりわずかに手前に第 2 端子 68 を備えている。端子 68 は、ストラップ 72 を介してループ・セグメント 46 の端子 70 に接続されている。ループ 46 は、約 360° の角度範囲を有しており、ストラップ 78 を介してループ 44 の端子 76 に接続された第 2 端部端子 74 を備えている。ループ 44 は、約 360° の角度範囲を有しており、ストラップ 82 を介してセグメント 42 の端子 54 の反対側の端部端子 62 に接続された第 2 端部端子 80 を備えている。

20

30

## 【 0 0 3 0 】

ほぼ円形のループ・セグメント 44、46 及び 48 の寸法は、電源 26 によってコイル 24 に供給される高周波電圧及び電流の波長と、加工物の寸法とによって決定される。コイル内の高周波の波長は、自由空間波長の一定の割合（一般的に 0.5 ~ 0.7）である。コイル 24 の好適な実施例では、加工物 32 の直径が円形ループ 46 の直径より小さいが、円形ループ 44 の直径より大きい。好適な実施例では、最外側ループ・セグメント 48 の直径は、コイル内の高周波電圧及び電流の波長の約 0.0248 倍である。ループ・セグメント 46 の直径はこの波長の約 0.0207 倍であり、ループ・セグメント 44 の直径はこの波長の約 0.0146 倍である。半円形のリング・セグメント 40 及び 42 の同一半径は、波長の約 0.00413 倍である。ループ・セグメント 48、46、44、40 及び 42 の有効送電線長さは、それぞれコイル内の高周波電流の波長の約 0.078 倍、0.065 倍、0.046 倍、0.013 倍及び 0.013 倍であるため、コイルの全長は波長の約 0.22 倍である。

40

## 【 0 0 3 1 】

$j = (-1)^{1/2}$ 、 $f$  が高周波電源 26 の周波数、 $C$  がコンデンサ 80 のキャパシタンスである時、容量性インピーダンス  $Z_{cap} = 1 / (j 2 \pi f C)$  であるコンデンサ 80 が移

50

相すると、コイル 2 4 の全長にわたって電圧及び電流分布位置が移動する。コイルが加工物 3 2 の被処理表面上に均一なプラズマ束を与える高周波電界及び磁界を発生するように、電圧及び電流分布をコイル 2 4 内で移動させる。好適な実施例では、コイル端子 5 4 における波高値高周波電流が最小で、コイル端子 5 2 における波高値高周波電流に等しくなるようにコンデンサ 8 0 の値を選択することによって、コイル 2 4 の電圧及び電流を分散させる。この条件では、コイルは端子 5 2 及び 5 4 で逆の極性の最大波高値高周波電圧となり、コイルの最大高周波電流が導電性ストラップ 7 2 付近に発生する。コイル内の高周波電圧及び電流の分布は次式のように概算される。

【 0 0 3 2 】

$$V_{pkpk}(x) = V_{pkpk}^0 \cos [ (x + x^0) ] \quad (1)$$

$$I_{pkpk}(x) = I_{pkpk}^0 \sin [ (x + x^0) ] \quad (2)$$

但し、 $x$  は、コイルの入力端子 5 4 から測定した直線距離、

$\theta$  は、高周波電源 2 6 の角周波数 (すなわち  $2\pi f$ ) を光の速度  $c$  で割った値、 $x^0$  は、コンデンサ 8 0 の値で決定されるゼロからのオフセット、

$V_{pkpk}^0$  及び  $I_{pkpk}^0$  は、それぞれコイルに加えられた最大高周波波高値電圧及び電流である。コイルの好適な実施例では、コンデンサ 8 0 の値は、 $x^0$  がコイルを流れる高周波電流の波長 ( $\lambda = c / f$ ) の約 0.15 ~ 0.16 倍になるように選択される。コイル 2 4 の好適な実施例の場合の高周波電圧及び電流の計算値及び測定値の分布が、コイルの長さの関数としてそれぞれ図 5 A 及び図 5 B に示されている。

【 0 0 3 3 】

コイルの周辺セグメントの波高値高周波電流の方が中心セグメントの波高値電流より大きいと、コイル 2 4 の周辺領域で発生する磁束の方がコイルの中心領域で発生する磁束よりも大きい。好適な実施例では、波高値高周波電流の最大振幅は、ほぼ円形のループ・セグメント 4 6 で発生する。隣接のループ・セグメント 4 4 及び 4 8 とループ・セグメント 4 6 の波高値高周波電流の振幅、及びループ・セグメント 4 4、4 6、4 8 の互いの間隔は、これらの 3 ループ・セグメントからの磁束が空間内で結合して、窓 1 9 の真下でループ・セグメント 4 6 及び 4 8 間から中間セグメント 4 4 及び内側セグメント 4 0、4 2 間まで延在する比較的広い環状領域にわたって最大値を有する合計磁束密度が得られるように定められる。合計磁束はまた、角座標  $\theta$  の関数として比較的一定である。

【 0 0 3 4 】

角座標  $\theta$  は、室 1 0 の中心軸線を中心にした点線 1 0 0 から反時計回り方向への空間的角変位を表す。端子 6 0、8 0、7 4 及び 6 8 は、線 1 0 0 の一方側でそれから等角距離に位置しているのに対して、端子 6 2、7 6、7 0 及び 6 6 は、線 1 0 0 の他方側でそれから等角距離に位置している。従って、例えばコイル・セグメント 4 8 は、 $\theta = 0^\circ$  よりわずかに大きい角度  $\theta_1$  から  $\theta = 360^\circ$  よりわずかに小さい角度  $\theta_2$  までの  $360^\circ$  よりわずかに小さい空間的角範囲を備えている。端子 5 2 及び 5 4 は、それぞれ  $180^\circ$  よりわずかに大きい角度  $\theta_3$  及び小さい角度  $\theta_4$  に位置している。特定座標値  $\theta_0$  に沿って一定である空間平均化磁束は、 $\theta_0$  に沿って半径方向に対称的なプラズマを与える。2 つのほぼ半円形の同一半径のセグメント 4 0 及び 4 2 内の波高値高周波電流の振幅は、他のセグメントの電流の振幅よりも相当に小さい。セグメント 4 0 及び 4 2 は、その他のセグメント 4 4、4 6 及び 4 8 から誘導された磁束と空間的に平均化される十分な磁束を誘導するので、室の直径にわたって加工物 3 2 の被処理表面の高さにほぼ均一なプラズマ束が発生する。各セグメント内の波高値高周波電流の振幅が角距離  $\theta$  の関数として図 6 にグラフ表示されている。

【 0 0 3 5 】

図 6 からわかるように、コイル 2 4 の高周波波高値電流の最高値は、(1) ループ・セグメント 4 6 全体、(2) ループ・セグメント 4 8 の端子 6 8 (セグメント 4 8 がストラップ 7 2 を介してセグメント 4 6 に接続される位置) から  $\theta = 180^\circ$  よりわずかに小さい角度  $\theta_4$  までの部分、すなわち  $180^\circ$  を幾分超える角度範囲の部分、(3) ループ・セグメント 4 4 の端子 7 6 (セグメント 4 4 がストラップ 7 8 を介してセグメント 4 6 に接

10

20

30

40

50

続される位置)から角度 $\theta$ までの部分、すなわち $180^\circ$ より幾分狭い角度範囲の部分である。最低電流は、端子52及び54(ここでは同じ)の位置と、内側ループ40及び42に沿った位置である。この電流分布のため、コイル24の内側ループ・セグメント40及び42から誘導された磁束は、外側ループ部分46及び48からの磁束より相当に小さくなり、加工物上に均一なプラズマ束を与えるのに役立つ。

#### 【0036】

平面コイル24の様々な部分間(例えばループ・セグメント46及び48の同一角座標位置 $\theta$ にある部分間)に発生する電圧とプラズマとの静電(すなわち容量)結合が、発生プラズマ束の均一性に影響を与えることがわかっている。これらの電圧とプラズマとの容量結合は、コイル・セグメントに発生する波高値電圧の大きさと共に、コイルをプラズマから隔てる窓19の厚さ及び誘電材料によって決まる。コイルの好適な実施例では、端子52及び54に最高の高周波波高値電圧を発生させることによって、高周波電圧で発生した容量性電流の影響を最小にしている。コイル24の形状と、コイルに直列に接続されたコンデンサ80の値の適切な選択によって、そのような結果が得られる。同一長さで同一半径の内側半円形セグメント40及び42は、それらの端部の端子52及び54が線100の直径方向において両側に位置するように向きが定められている。端子52及び54をこれらの場所に配置することによって、これらの高い高周波波高値電圧点の効果が最小になる。これは、いつでも端子52及び54における電圧は振幅がほぼ互いに同一であるが、逆の極性であるためである。このため、2つの逆極性電圧の効果がプラズマ内でほぼ相殺される。コイルによって発生した磁界をプラズマに十分に結合させながら、コイル24の様々な部分間の高周波電圧とプラズマとの静電結合を最小に抑えるため、誘電体窓19を水晶にして、厚さをほぼ0.8インチにするのが好ましい。

#### 【0037】

平面コイル24を高周波励磁することによって、基板32の全体にわたって、多くの場合にディスク形になる比較的均一な束のほぼ平面的なプラズマが発生する。形状に関係なく、基板32の外縁部寸法をプラズマ加工機室10の内部寸法よりわずかだけ小さくする。コイル24は、基板32の被処理表面に入射するプラズマ束の密度が基板全体の平均プラズマ密度の $\pm 2.5\%$ 以内になるように構成される。コイル24の中心部分の磁束がコイルの周辺及び中間部分から誘導される磁束よりも小さいため、この均一性が得られる。コイル24の形状及び高周波励磁方法によって、1~100ミリトールの圧力範囲内で基板32の被処理表面上に均一なプラズマ束が得られる。

#### 【0038】

図4は、プラズマ加工機室10の好適な実施例について、2.0~30.0ミリトールの範囲内の様々な圧力において200mm直径のディスク形基板の表面の上方1.0cmで測定した測定イオン電流均一性を示すグラフである。図3からわかるように、基板全体の平均プラズマ密度の $\pm 2.5\%$ 以内のプラズマ密度均一性がある。図3は、200mmウェハ半導体を平面コイル24の上記の好適な実施例を用いて15ミリトールでエッチングした場合のエッチング速度の空間的ばらつきを示す上面図である。図3からわかるように、基板は2.3%程度の均一性でエッチングされている。

#### 【0039】

図7~図13、及び図16の実施例では、窓18、コイル24及びシールド34は、コイル及びシールドの直径が図2A及び図2Bの実施例の場合よりも互いに近くなり、コイルから、特にコイルの周辺領域から誘導された高周波エネルギーの多くをシールドが吸収するように構成されている。図7~図13、及び図16の各実施例では、コイルの少なくとも一方の端子がリアクタンスに接続されている。方程式(1)及び(2)を満たしてコイル長さに沿って少なくとも1つの電流最大値を発生するように、リアクタンスが選択され、コイル長さが定められる。

#### 【0040】

このため、コイル24の周辺部分から室10内のシールド34寄り側壁12に近いガスに結合する磁束の量が、室10のその他のガスに結合する磁束よりも少なくなる傾向があ

10

20

30

40

50

る。従って、室10の内側部分のガスは、室の周辺部分のプラズマ束よりも相当に大きい束のプラズマになるように励起される傾向がある。室10の周辺及び加工物32の周辺付近のプラズマ束が、室及び基板の中心の方のプラズマ束よりも相当に小さくなる傾向がある。従って、基板のエッチング及び基板への物質の付着は、基板の中央部分とその周辺部分よりも大きくなる傾向がある。これは特に、室10の高圧真空作動、すなわち15～60ミリの圧力で作動する時に言える。

#### 【0041】

図7～図13、及び図16の実施例によれば、平面コイル24の高周波励磁から得られる平面プラズマは、プラズマ加工機室10の内部寸法よりも縁部寸法が幾分小さい基板32の露出被処理表面の全体にわたって比較的均一である。図7～図13及び図16の実施例では、コイル24は、基板に入射するプラズマの密度が基板の被処理表面全体で平均プラズマ束密度の約±2.5%以内になるように構成される。図7～図13及び図16の各コイルにおいてコイル24の中心部分の磁束を従来技術よりも減少させ、それによって中心部分の磁束をコイルの周辺及び中間部分から誘導される磁束よりも小さくすることによって、この均一性が得られる。コイルの中心部分の磁束を最小にすることによって、基板全体にわたるプラズマ束がほぼ一定に保持される。図7～図16の実施例の平面コイル24は、プラズマ・ホット・スポットが発生しやすいコイル部分から誘導される磁束が最小になるように構成されている。

#### 【0042】

図7は、2つの電氣的に並列なセグメント110及び112をそれぞれリード線114及び116によってリード線56を介して端子52に接続されている形式の平面コイル24の上面図である。リード線114及び116の接続は、これらのリード線内の電流が室10内のプラズマにほとんど影響しないように行われる。そのような結果は、リード線56、114及び116を窓19及びコイルの平面に直交する方向に延在するように配置するか、リード線114及び116をコイルの平面に平行となるが、コイルとリード線との間に金属ディスク118を介在させることによってコイルから電氣的及び磁氣的に絶縁されるように配置することによって達成することができる。それぞれコイル及びリード線に接触したディスク118の両側の平面は、誘電被膜(図示せず)で被覆されている。リード線56は、誘電被覆金属ディスク118の中心位置の端子に接続されている。

#### 【0043】

コイル・セグメント110及び112の各々は、それぞれ円弧範囲が約175°で半径が異なったほぼ半円形の3つの直列接続コイル部分を備えている。3つの半円形部分は、幾分円周方向に傾いた半径方向に延在する2つの直線状リード線で互いに接続されている。このため、コイル・セグメント110は、円周方向に傾いた半径方向に延在する直線状リード線124及び125で互いに接続されている、軸線120からの半径がそれぞれ $R_1$ 、 $R_2$ 及び $R_3$ のコイル部分121、122及び123を備えている。コイル部分121及び123は、基材の中心軸線120の同じ第1側に位置しており、コイル部分122は軸線の直径方向の反対の第2側に位置している。同様であるが逆に、コイル・セグメント112は、円周方向に傾いた半径方向に延在する直線状リード線130及び131で互いに接続されている、軸線120からの半径がそれぞれ $R_1$ 、 $R_2$ 及び $R_3$ のコイル部分127、128及び129を備えている。コイル部分128は直径方向においてコイル部分127及び129の反対側に位置しており、これらのコイル部分127及び129は軸線120のコイル部分122と同じ側にある。コイル部分121及び127の共通半径 $R_1$ は、ディスク118の半径よりわずかに大きいため、半円形コイル部分121及び127からの磁束が室10内へ効果的に結合する。半径 $R_1$ 、 $R_2$ 及び $R_3$ の値は、室10内のプラズマで処理する基材の半径に対応させる。例えば、半径が10cmの円形基板を加工する場合、 $R_1$ 、 $R_2$ 及び $R_3$ の値は7.5cm、10cm及び12.5cm程度である。

#### 【0044】

中心軸線120の特定側のほぼ半円形部分121～123及び127～129の各々の端部点はほぼ整合しており、円周方向に傾いた半径方向に延在する直線状のリード線124

10

20

30

40

50

、125、129及び130に接続されている。コイル部分121～130は、電流が軸線120の一方側のコイル部分を同じ第1方向に、軸線の反対側のコイル部分を反対の第2方向に流れるように空間的配置されている。外側すなわち周辺コイル部分123及び128の端部は、それぞれ適当な可変インピーダンス132及び134を介してリード線58に接続された端子に接続されている。図示の実施例では、インピーダンス132及び134が、それぞれ抵抗133及び135に直列に接続されたコンデンサ131及び133として構成されているが、誘導性インピーダンスを用いることもできる。インピーダンス132及び134の値が、コイルの2部分121～123及び127～129内に発生する高周波定在波の位置を設定する。コイルの端部点に発生する高周波電流の大きさは、インピーダンス132及び134の形式及び値を適当に調節することによって同一値に設定されることが多い。

10

#### 【0045】

並列のコイル・セグメント110及び112の送電線特性のため、これらのセグメント内に電流及び電圧の最大値及び最小値がある。電流最大値は、外側コイル部分123及び129内で互いに直径方向に向き合っており、コイル・セグメント110及び112の端部点から約30空間度にある。(1)電流最大値が金属缶34に最も接近したコイル部分内に発生すること、(2)軸線120の特定側のコイル部分内を同一方向に流れる電流から生じるコイル部分からの磁束の加法的効果、及び(3)コイルによって定められた領域の中心に最小磁束が存在し、この磁束は室10内の窓のすぐ下側でガスに結合されるように $R_1$ の値が定められているため、室10内の窓のすぐ下側のガスに結合する磁束は、室の周辺よりも室の中心で低くなる。窓19のすぐ下側では、室の中間部分と周辺部分との間の磁束が比較的均一である。従って、窓19のすぐ下側のプラズマ束には、室の周辺部分の窓のすぐ下側のプラズマ束よりも小さくなる傾向がある。プラズマ束は、窓19から離れた領域では室の中心に向かって拡散し、基板32の露出した被処理表面全体で比較的均一になる。

20

#### 【0046】

図7と同様であるが、3つの並列コイル・セグメント131、132及び133を設けた別の並列コイル配置が図8に示されており、各セグメントの一端部はリード線56に接続された端子に接続され、第2端部は可変インピーダンス137を介してリード線58で端子54に接続されている。各インピーダンス137は、図7のインピーダンス132及び134と同様であって、それらと同じ機能を実行するように調整されている。コイル・セグメント131～133の各々は、第1、第2及び第3の円弧形整合部分を備えており、その各々は120°よりわずかに小さい、すなわち約117°の円弧範囲であって、円周方向に傾いて半径方向に延出した2つの直線部分を備えている。第1、第2及び第3の円弧形部分は、半径がそれぞれ $R_1$ 、 $R_2$ 及び $R_3$ である。コイル・セグメント131～133は、高周波電流が整合円弧形部分を同一方向に流れることによって被処理基材上に加法的磁束関係及びプラズマ束の均一性が得られるように配置されている。コイル・セグメント131～133内の電流最大値は、コイル・セグメントの端部点から約30空間度の半径 $R_3$ の部分に生じる。このため、半径 $R_3$ のコイル・セグメント内の磁束が最大であり、金属缶34が室10内に結合する磁束を減少させようとする傾向を抑える。

30

40

#### 【0047】

図9に示されている好適な並列構造は、4つのコイル・セグメント141～144を備えており、それぞれがリード線56に接続された端子に接続されていると共に、可変インピーダンス145を介してリード線58に接続された端子に接続されており、各インピーダンス145は図7のインピーダンス132及び134と同じ機能を実行するように調整されている。コイル・セグメント141～144の各々は、4つのコイル部分を備えている。各コイル部分は、円弧範囲が約90°であって、値が順次大きくなる異なった半径 $R_4$ 、 $R_5$ 、 $R_6$ を備えている。半径 $R_4$ 、 $R_5$ 、 $R_6$ のコイル部分は、円周方向に傾いてほぼ半径方向に延在する直線状のコイル部分で互いに接続されており、個々のコイル・セグメントにおいてこれらは互いに90°ずれている。コイル・セグメント141～144では、

50

個々のコイル・セグメントの円弧形部分を連結する円周方向に傾いた半径方向の直線セグメントが、それらの長手方向軸線が互いに平行になるように整合している。

【0048】

コイル・セグメント141～144の配置、及びそれらとリード線56及び58に接続された端子との接続は、軸線120に対して同一象限内にあるこれらのコイル・セグメントを流れる電流が同一方向になるように行われる。半径 $R_4$ は、セグメント141～144の円弧形部分を流れる電流から生じる磁束が互いに相殺する傾向を持つように選択される。これによって、コイルによって定められた領域の中心に誘導される磁束が比較的小さくなる。しかし、半径 $R_5$ 、 $R_6$ 及び $R_7$ は、コイル・セグメント142～144の同一象限の隣接部分を流れる電流から生じる磁束が加算されて、室10の周辺部の磁界に対する缶34の影響を抑えることができるように選択される。このため、 $R_4$ 、 $R_5$ 、 $R_6$ 及び $R_7$ の値は、20cm半径の基板の場合にそれぞれ30cm、25cm、15cm及び4cmであることが好ましい。電流最大値は、コイル・セグメント141～144の半径 $R_7$ の外側すなわち周辺部分の、各コイル・セグメントの端部から約30空間度の位置に発生する。

10

【0049】

さらなる変更例の上面図が図10に示されており、これでは、外側コイル・セグメント151がリード線56に接続された端子に接続され、またリード線58に接続された接地端子に可変インピーダンス154で接続された2つの並列コイル・セグメント152及び153と電氣的に直列に接続されている。各インピーダンス154は、図7に関連して説明したインピーダンス132及び134と同様に構成されて、それらと同じ機能を実行するように調整されている。コイル・セグメント151～153の各々は、円弧範囲が360°よりわずかに小さく、値が順次小さくなる異なった半径 $R_8$ 、 $R_9$ 及び $R_{10}$ を備えており、1つの好適な実施例では、25cm半径の基板の場合の半径 $R_8$ 、 $R_9$ 及び $R_{10}$ がそれぞれ約26.7cm、25cm及び24cmである。コイル・セグメント151の端子56の反対側の端部点156が、中心の軸方向端子158に接続されており、この端子158は半径方向のリード線159及び160でコイル・セグメント152及び153の端部点161及び162に接続されている。リード線157及び158を流れる電流から生じる磁束は、図7で説明したような絶縁金属ディスクによって室10内のガスから遮蔽されている。

20

30

【0050】

コイル・セグメント151～153の隣接部分内の瞬時電流は同一方向に流れ、これらの電流から生じる磁束は加法的である。缶34の磁束減衰特性に打ち勝つため、コイル・セグメント151内の電流の値は、コイル部分152及び153の各々を流れる個別電流の2倍である。図10のコイルで誘導される磁束は、コイルの中心で最小値になる。コイルの中心のリード線158よりも缶34の方に相当に近いコイル・セグメント151～153を流れる電流から生じる磁束の結合加法的効果のため、室内のプラズマ束が比較的一定になる。

【0051】

図11は、本発明のさらなる変更例の上面図であり、平面コイル24は2つの円形セグメント160、162を備えており、それぞれ円弧範囲が360°よりわずかに小さく、室10及び被処理基板の中心を通る共通の中心軸線164からの比較的大きい半径が $R_{11}$ 及び $R_{12}$ である。コイル・セグメント160及び162は、それぞれリード線56及び58に接続された端部端子166及び168を備えている。コイル・セグメント160及び162の他方の端部は、円周方向に傾いた半径方向の直線状リード線170によって互いに接続されている。半径 $R_{11}$ は被処理基板の半径よりわずかに大きく、 $R_{12}$ はそれよりわずかに小さくなっている。

40

【0052】

コイル・セグメント160及び162は、これらの2つのコイル・セグメントの隣接した扇形部分を流れる電流が同一方向に流れて、室10内のガスと相互作用する加法的磁束を

50

与えるように配置されている。セグメント 160 及び 162 によって形成されたコイルは、1つの円形コイルであると見なされる。半径  $R_{12}$  の値を十分に大きくして、軸線 164 の両側で対向方向に流れる電流が発生する磁束を互いに十分に離すことによって、大きな相殺効果を避ける一方、コイルの中心の磁束が外側コイル・セグメント 162 によって定められる領域の他のいずれの部分よりも小さくなるようにすることができる。一般的に、これらの結果を得るための  $R_{11}$  の最小値は 5 cm である。コイル・セグメント 160 及び 162 で発生した合計磁束は、缶 34 が磁束の周辺部分を減衰させようとする傾向を抑えるのに十分な大きさである。セグメント 160 及び 162 によって形成されたコイルの中空性のため、それらを通る電流から生じる磁束は、プラズマ束を被処理表面の直径全体にわたって比較的均一にすることができる。

10

## 【0053】

図 12 は、3つの円形セグメント 171、172 及び 173 を用いたさらなる中空コイルの実施例の上面図であり、これらのセグメントは室 10 及び被処理基板 32 の中心に一致した中心軸線 174 からそれぞれ半径方向距離  $R_{13}$ 、 $R_{14}$ 、 $R_{15}$  だけ離れている。 $R_{13}$ 、 $R_{14}$ 、 $R_{15}$  の値は順次小さくなり、最小半径の  $R_{15}$  は 5 cm である。一般的に、被処理基板 32 の半径はほぼ  $R_{14}$  (すなわち  $R_{13}$  と  $R_{15}$  の間) であるため、コイル・セグメント 172 は被処理基板の外周にほぼ一致するが、コイル・セグメント 171 及び 173 は、被処理基板の外周のそれぞれ外側及び内側に位置している。

## 【0054】

コイル・セグメント 171 及び 173 は、それぞれリード線 56 及び 58 に接続された端部端子 175 及び 176 を備えている。コイル・セグメント 171 及び 173 の端部端子 175 及び 176 の反対側の端部は、それぞれ円周方向に傾いた半径方向の直線リード線 177 及び 178 によってコイル・セグメント 172 の端部に接続されている。

20

## 【0055】

電流はコイル・セグメント 171、172 及び 173 の隣接扇形部分内を同一方向に流れるので、これらのコイル・セグメントから誘導された磁束は加法的で、缶 34 の効果を抑えることができ、被処理基板上に比較的均一なプラズマ磁束を与える。これによって得られた磁界は、軸線 174 上及びその付近が最小値となり、コイル・セグメント 172 付近がピーク値になる。中空コイルの中心と磁束がピーク値になるコイル・セグメント 172 の下側との間の磁束の変動は、被処理基板上のプラズマ束がほぼ  $\pm 2.5\%$  で一定になるように定められる。

30

## 【0056】

図 7 ~ 図 12 の実施例のすべてにおいて円周方向に傾いた半径方向に延在したリード線は、半径方向だけではなくこれらの両方向に延在しているが、半径方向のリード線にすると、比較的大きい高周波電流 (例えば 10 台のアンペア) を搬送する導体に直角の曲がりが必要になるためである。図 7 ~ 図 12 のコイルに直角の曲がり設けることは、そのような曲がりから生じる高周波磁界の性質の点から不都合である。直角の曲がり、高周波電流路に非常に急激な変化を生じる。急激な電流路の変化は、大きな磁界を発生しやすく、これは室 10 内の磁界及びプラズマ束の均一性に悪影響を与えるであろう。

40

## 【0057】

図 13 は、3巻きの等辺らせんとして構成された中空コイル 180 の上面図であり、最小半径の内側端部端子 182 は軸線 181 からかなり離れている。軸線 181 は、室 10 及び被処理加工物の共通軸線と一致している。コイル 180 の 3巻きは、中心軸線 181 からの平均半径が  $R_{13}$ 、 $R_{14}$  及び  $R_{15}$  であって、 $R_{14}$  が基板の半径とほぼ同じであり、 $R_{13}$  は  $R_{14}$  より幾分小さく、 $R_{15}$  はそれより幾分大きい。らせんコイル 180 の端部端子 182 及び 183 は、それぞれリード線 56 及び 58 に接続されている。端部端子 182 は、 $R_{13}$  よりわずかに少ない量だけ中心軸線 181 から半径方向にずれている一方、端部端子 183 は、 $R_{15}$  をわずかに超える量だけ軸線 181 から半径方向にずれている。端部端子 182 及び 183 は、軸線 181 から延出したほぼ同一の半径方向線上に位置している。コイル 180 の 3巻きを通る電流は、室 10 内のプラズマに加法的磁束を発生するため

50

、室 10 の半径  $R_{13}$  及び  $R_{15}$  間の領域において磁束がほぼ一定になる。

【 0058 】

端部端子 182 と軸線 181 とが比較的大きく離れていることと、巻線 171 ~ 173 内の電流の関係から、図 13 のコイルの中心の磁束が最小であり、磁束はそれから増加して、外側巻線 171 に近い室 10 の外側領域で最大になる。缶 34 の磁束遮蔽性のため、室 10 の外側で巻線 171 に近接した磁束の大部分が室 10 内のプラズマと結合しない。その結果、均一な磁界がプラズマの外側部分に結合され、低磁界がプラズマの中心部分に結合される。室 10 内において室壁に幾分近く窓 19 に接した高いプラズマ束は室の中心の方へ拡散するため、加工物の被処理表面に入射するプラズマ束はほぼ均一である。拡散が発生するのは、2 領域でのプラズマ束（プラズマ密度とプラズマ粒子速度の積）の差異のため、また（1）加工物被処理表面と窓 19 の下面との間の空間、及び（2）室 10 の内壁の直径の相対値のためである。

10

【 0059 】

図 13 のらせんコイル配置及び図 11 及び図 12 の円形コイル配置は、所望の巻数に変更することができる。また、基板に入射するプラズマ束の必要な均一性が得られるように、コイルの中心の開放領域の大きさを調節することができる。

【 0060 】

図 7 ~ 図 13 の平面コイルからの誘導結合に応答してプラズマが室 10 内に発生する効率は、コイル内を流れるプラズマ高周波電流間の電磁結合の量と、プラズマに結合される高周波磁束の振幅とによって決定される。結合は、主に 2 つの要素、すなわち（1）コイルをプラズマから隔離する材料の誘電定数と、（2）コイル及びプラズマ間の分離距離によって決まる。

20

【 0061 】

図 7 ~ 図 13 の実施例の各々のコイルの送電線効果のため、コイルの様々な部分における高周波高値電流の大きさが異なっている。本発明の 1 つの特徴は、図 7 ~ 図 13 の平面コイル内の高周波電流が変動するのにも関わらず、空間的に均一なプラズマ束が室 10 内に得られることである。均一なプラズマ束は、最大高周波高値電流のコイル部分間の電磁結合を減少させることによって得られる。本発明の 1 つの態様によれば、平面コイルを誘導体窓 19 に対して傾斜させることによって、最大及び最小電圧レベルのコイル部分から異なった電磁結合が得られる。

30

【 0062 】

図 7 ~ 図 13 の各々に示されている形式の平面コイルは、誘導体窓 19 に平行な向きに取り付けられており、室 10 内のプラズマに 2 つの不均一成分、すなわちコイル、誘導体窓、真空室及び基材の共通中心からの半径方向距離を  $R$ 、特定の半径方向向きに対して測定した角度を  $\theta$  とする時、（1）半径方向成分  $f(R)$  と、（2）角度成分  $f(\theta)$  を生じる。ほとんどの場合、1 対の互いに直交する軸線 A 及び B を、角度依存プラズマ不均一性  $f(\theta)$  が軸線 A に偽線形依存関係を持ち、軸線 B からほぼ独立するように選択する。角度依存性のプラズマ不均一性を最小限に抑えるため、コイルを軸線 B に沿って配置して、コイルの平面と誘導体窓 19 との間の距離が、最大プラズマ束に対応した領域で最大になるようにする。コイル平面と窓 19 との間を約  $9 \sim 18^\circ$  の傾斜角度にすれば、最も均一なプラズマ束を発生できると考えられる。

40

【 0063 】

図 7 ~ 図 13 の平面コイルを、コイル平面が窓 19 の平面に平行になるように配置したとすると、室 10 内のプラズマ束が図 14 の三日月形領域 188 内で最大になりやすくなるであろう。領域 188 は、円の円周の扇形と同様な曲率の円弧縁部 189 と、189 側よりも相当に小さい曲率の円弧縁部 187 とを備えている。両縁部 187 及び 189 は、軸線 A でほぼ二等分されるため、領域 188 は軸線 A に沿って最大幅を備えており、この軸線 A はほぼ室の軸線 190 に沿って軸線 B と交差する。

【 0064 】

この傾向を抑えるため、図 7 ~ 図 13 のいずれの平面コイルも、コイルの周縁部が軸線 A

50

と、軸線 190 を中心として、曲率が縁部 189 よりも相当に大きい円周になるようにした半径の円の円周 191 との交点で窓 19 に接するように、窓 19 に対して上向きに傾斜させることができる。平面コイルの直径方向の反対縁部は、コイルが接する円上の点の反対側で軸線 A と円周 191 とが交わる点にほぼ整合してその上方に位置している。軸線 B を挟んで領域 188 の反対側にある軸線 A と平面コイルは三日月形領域 188 から離れているので、領域 188 が形成される傾向が全般的に抑えられ、被処理加工物表面上にほぼ均一なプラズマ束が得られる。

#### 【0065】

これを達成するための構造が、図 15 に概略的に示されており、図 7 ~ 図 13 に示されている形状のいずれでもよい平面コイル 190 の平面が、窓 19 の上方へ  $9^{\circ}$  ~  $18^{\circ}$  傾斜している。コイル 190 は、電流が最大波高値となる場所が領域 188 の真上に位置して、最大電流の影響を軽減し、被処理基板上のプラズマ束を均一にするように配置されている。

10

#### 【0066】

缶 34 の影響及び波高値電流のばらつきから生じる磁界のばらつきを抑えながら、比較的均一な密度のプラズマを発生する磁界を提供する別の方法として、図 7 ~ 図 13 のコイルの自己インダクタンスをコイルの長さ方向に沿った位置の関数として変化させるものがある。公知のように、ワイヤの自己インダクタンスは、ワイヤの断面積に反比例する。本発明の 1 つの態様は、この原理に基づいて、室 10 の周辺で磁界を最大にし、室の中心で磁界を最小にし、領域 188 の磁界を減少させる。

20

#### 【0067】

図 16 の実施例ではこの効果は、図 12 のコイルと同じ全体形状のらせんコイル 192 を、(1) 中心軸線 192 に近い内側端子 194 及びその付近で最小断面積、(2) 周辺部分 198 で最大断面積、(3) 領域 188 に垂直方向に整合したコイル部分 202 を除いた中間部分 200 で平均断面積、(4) 領域 188 の上方のコイル部分 202 で平均より小さい断面積(最小断面積より大きい)になるように構成することによって達成される。この原理は、図 2 ~ 図 13 のコイル実施例のいずれにも適当に利用することができる。好ましくは、コイルを形成する一定幅の矩形断面のワイヤ・リード線の厚さを増減させることによって、断面積を変化させる。他の同様な変更構造も利用でき、例えば一定厚さの矩形断面のリード線の幅の変化、矩形断面リード線または正方形断面リード線の厚さ及び幅の変化、または円形断面リード線の直径の変化がある。

30

#### 【0068】

図 2 ~ 図 13 のコイルを窓 19 の上方の多くの異平面上に配置し、(1) コイル周辺部分が窓の平面に最も接近し、(2) コイル内側端子及びそれに最も近いコイル部分を他のいずれのコイル部分よりも窓の平面から最も離し、(3) 領域 188 に垂直方向に整合していない中間部分 200 を窓の平面から平均的な分離距離にし、(4) 領域 188 に垂直方向に整合したコイル部分の窓の平面からの分離距離を、窓の平面から最も離れたコイル部分とコイル及び窓間の平均的分離距離の間にすることによっても同様な効果を得ることができる。しかし、この方法の明らかな欠点は、そのようなコイルの製造及び維持に伴った難しさに関するものである。

40

#### 【0069】

以上に本発明の特定の実施例を説明してきたが、添付の請求項に定義された発明の精神の範囲内において上記実施例の詳細に様々な変更を加えることができることは明らかである。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明を用いた形式の真空プラズマ加工機の概略図である。

【図 2】図 1 の加工機に含まれる平面コイルの好適な実施例のそれぞれ (A) 上面図及び (B) 斜視図であり、コイルは分割形中心部分と、コイルの周辺部近くの 1 組のリング部材と、中間直径位置の第 3 リング部材とを備えている。

【図 3】図 2 (A) 及び (B) の平面コイルを用いて図 1 の室内で処理された 200 mm

50

ウェハの場合のエッチング速度の空間的ばらつきを示す図である。

【図4】2.0～3.0ミリの作動圧力において加工物の表面付近の領域で測定した、図2(A)及び(B)のコイルで発生したイオン密度均一性の測定値のグラフである。

【図5】図1の室内のプラズマの励磁中に図2(A)及び(B)の平面コイルにそれぞれ発生する高周波電圧及び電流の測定値及び計算値を示すグラフである。

【図6】図2(A)及び(B)の平面コイルの各セグメントに生じる高周波電流の計算値をコイル平面で測定した角距離の関数として示すグラフである。

【図7】図1の加工機に使用される別の平面コイルの上面図であり、コイルには2つの電氣的に並列なセグメントが設けられ、それらの中心接続部は共通であるが、高周波源との周辺接続部は直径方向に対向している。

10

【図8】電氣的に並列な3つのセグメントを設けた平面コイルの上面図であり、1つの中心接続部と、互いに約120°の間隔を置いた3つの周辺高周波励磁源接続部とを備えている。

【図9】電氣的に並列な4つのセグメントを設けた平面コイルの上面図であり、1つの中心接続部と、互いに約90°の間隔を置いた4つの周辺高周波励磁源接続部とを備えている。

【図10】周辺セグメントを2つの並列な内側セグメントと直列に接続した平面コイルの上面図である。

【図11】2つの円形周辺部分を備えた平面コイルの上面図である。

【図12】3つの円形周辺部分を備えた平面コイルの上面図である。

20

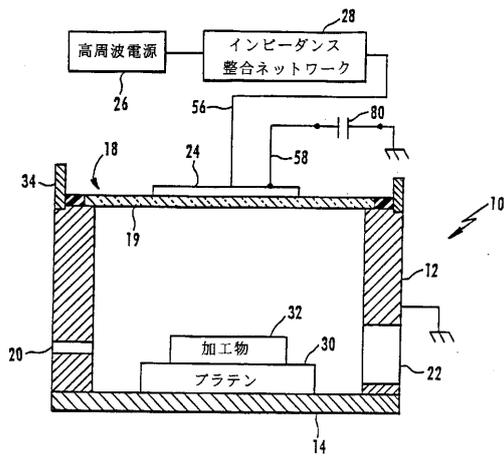
【図13】中心に巻線を備えていない平面らせんコイルの上面図である。

【図14】図1の真空プラズマ加工機の窓に平行な平面上に位置する時に図7～図13に示されたいずれのコイルによるプラズマ励磁によっても生じるプラズマ束の図である。

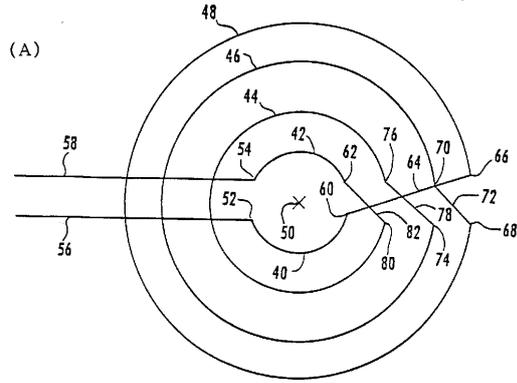
【図15】図1のプラズマ加工機の誘電体窓に対して傾斜させた平面コイルの斜視図である。

【図16】断面積を変化させたコイルによって長さ方向に沿って自己インダクタンス値を変化させたコイルの上面図である。

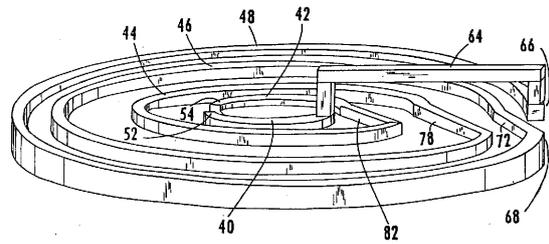
【図1】



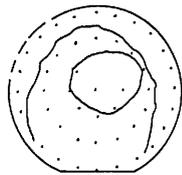
【図2】



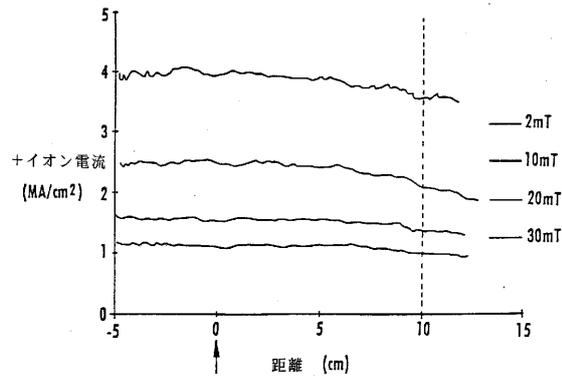
(B)



【図3】

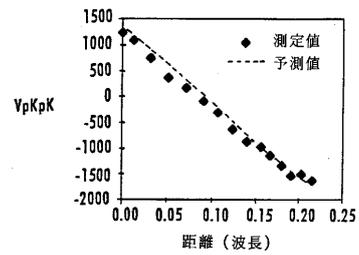


【図4】

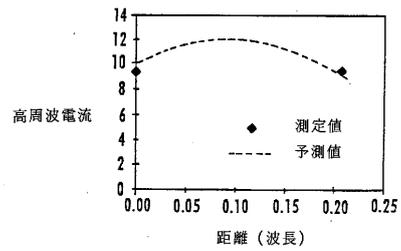


【図5】

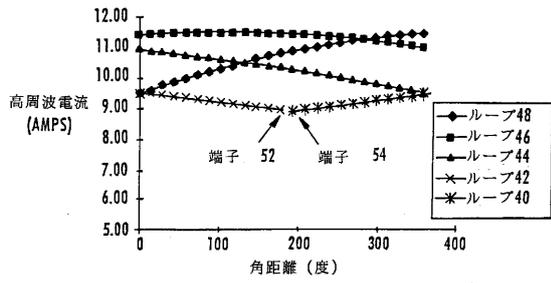
(A)



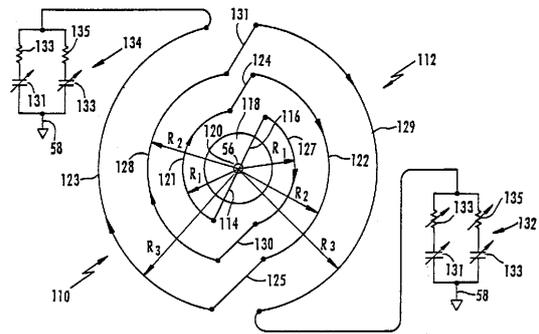
(B)



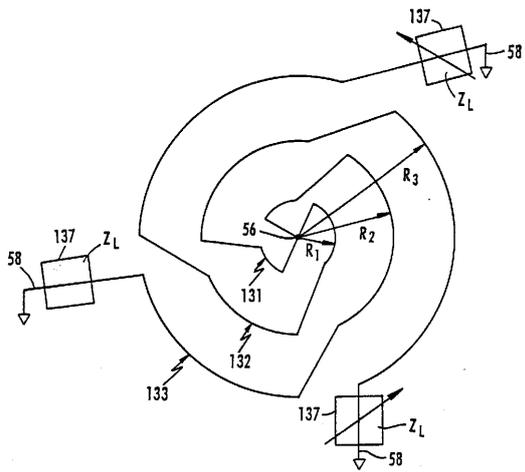
【図6】



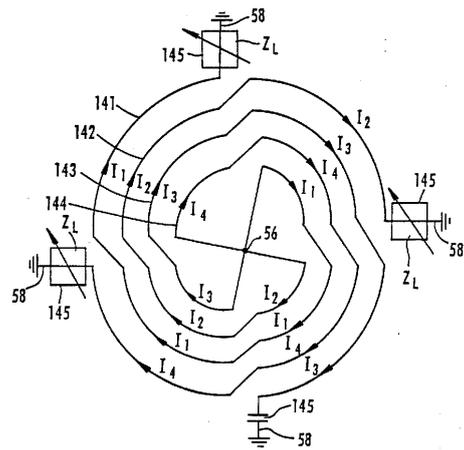
【図7】



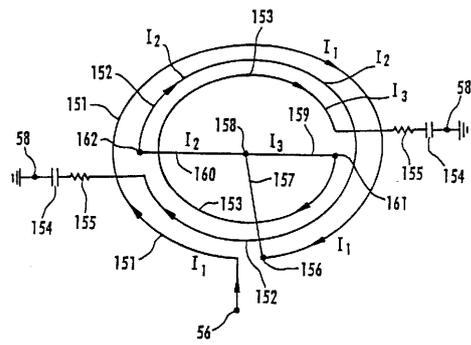
【図8】



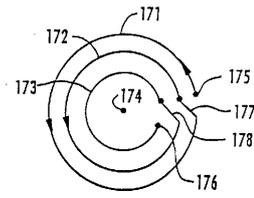
【図9】



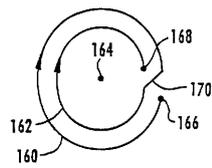
【 図 1 0 】



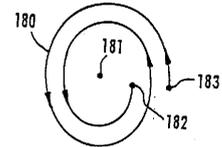
【 図 1 2 】



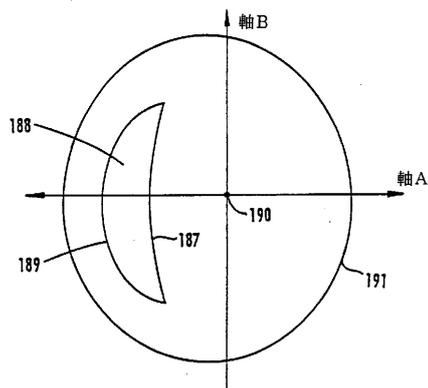
【 図 1 1 】



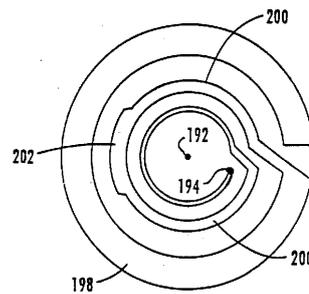
【 図 1 3 】



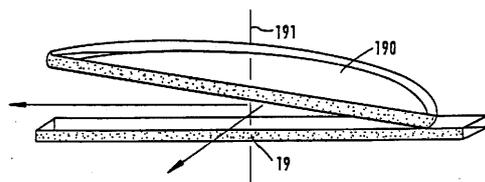
【 図 1 4 】



【 図 1 6 】



【 図 1 5 】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
C 2 3 C 16/50 (2006.01) C 2 3 C 16/50

(72)発明者 バーンズ、マイケル エス.  
アメリカ合衆国、カリフォルニア州 9 4 1 4 7、サンフランシスコ、ピー . オー . ボックス 4  
7 1 1 8 2

審査官 林 靖

(56)参考文献 特開平 0 3 - 0 7 9 0 2 5 ( J P , A )  
特表平 0 7 - 5 0 8 1 2 5 ( J P , A )  
特開平 0 6 - 2 6 7 9 0 3 ( J P , A )  
特開平 0 8 - 0 6 4 3 9 5 ( J P , A )  
特開平 0 9 - 0 6 9 3 9 9 ( J P , A )  
特開昭 6 2 - 2 1 3 3 0 3 ( J P , A )  
特開平 0 8 - 0 5 0 9 9 8 ( J P , A )  
特開平 0 2 - 2 3 5 3 3 2 ( J P , A )  
米国特許第 0 5 4 0 1 3 5 0 ( U S , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H05H 1/46  
C23C 16/50  
C23F 4/00  
H01L 21/203  
H01L 21/205  
H01L 21/302