

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4418534号
(P4418534)

(45) 発行日 平成22年2月17日(2010.2.17)

(24) 登録日 平成21年12月4日(2009.12.4)

(51) Int. Cl. F I
 HO 1 L 21/3065 (2006.01) HO 1 L 21/302 I O 1 C
 HO 1 J 37/32 (2006.01) HO 1 J 37/32
 HO 5 H 1/46 (2006.01) HO 5 H 1/46 L

請求項の数 10 (全 52 頁)

(21) 出願番号	特願平9-510647	(73) 特許権者	390040660
(86) (22) 出願日	平成8年8月28日(1996.8.28)		アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド
(65) 公表番号	特表2002-502547(P2002-502547A)		APPLIED MATERIALS, INCORPORATED
(43) 公表日	平成14年1月22日(2002.1.22)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95054 サンタ クララ パウアーズ アベニュー 3050
(86) 国際出願番号	PCT/US1996/014157	(74) 代理人	100101502
(87) 国際公開番号	W01997/008734		弁理士 安齋 嘉章
(87) 国際公開日	平成9年3月6日(1997.3.6)	(72) 発明者	コリンズ ケネス
審査請求日	平成15年8月14日(2003.8.14)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95111 サン ジョーゼ ナイトシャブンウェイ 165
審査番号	不服2008-21016(P2008-21016/J1)		
審査請求日	平成20年8月15日(2008.8.15)		最終頁に続く
(31) 優先権主張番号	08/521,668		
(32) 優先日	平成7年8月31日(1995.8.31)		
(33) 優先権主張国	米国(US)		
(31) 優先権主張番号	08/597,577		
(32) 優先日	平成8年2月2日(1996.2.2)		
(33) 優先権主張国	米国(US)		

(54) 【発明の名称】 平行平板電極を通じて電力を供給する誘電アンテナを有するプラズマ反応装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

製造物加工用プラズマ反応装置であって：

加工チャンバーを規定する反応装置囲い；

前記製造物の加工時においてこれを支持するため前記チャンバー内に設置された基板；

前記基板の上空に設置され、前記反応装置囲いを構成する半導体制窓電極であって、電源に接続される半導体制窓電極；

前記チャンバー内にプラズマ反応ガスを導入するためのガス導入システム；

前記半導体制窓電極に接続された電気端子；及び、

前記半導体制窓電極を通じて前記チャンバー内に誘電結合力を導入するために、前記半導体制窓電極の片側に隣接してかつ前記基板に対向して設置された誘電アンテナを備え、

前記半導体制窓電極は前記誘導アンテナと前記反応装置囲い内部のプラズマ処理領域の間に位置する製造物加工用プラズマ反応装置。

【請求項2】

前記製造物が水平基板であり、かつ前記半導体制窓電極が、前記水平基板に対してほぼ平行でかつ上空に位置する前記反応装置囲い天井部からなり、かつ前記誘電アンテナが前記天井部の上部において前記半導体制窓電極を通じて前記水平基板に対向する位置に設置されていることを特徴とする、請求項1に記載のプラズマ反応装置。

【請求項3】

前記半導体制製造物が水平基板であり、かつ前記半導体制窓電極が、前記水平基板に対し

てほぼ垂直にかつ周囲を取り巻くように設置された前記反応装置囲い側壁部からなり、かつ前記誘電アンテナが前記側壁部に隣接して設置されていることを特徴とする、請求項 1 に記載のプラズマ反応装置。

【請求項 4】

前記水平基板と前記半導体製窓電極とがお互いに逆極となるような方法で、前記水平基板及び、前記半導体製窓電極の前記電気端子に接続したバイアス R F 電源を、さらに有することを特徴とする請求項 2 に記載のプラズマ反応装置。

【請求項 5】

前記半導体製窓電極の前記電気端子を接地して、前記水平基板に平行でかつ上部に位置する接地面を形成することを特徴とする請求項 4 に記載のプラズマ反応装置。

10

【請求項 6】

前記半導体製窓電極の前記電気端子を接地することにより、前記製造物に対する接地面を形成していることを特徴とする請求項 4 に記載のプラズマ反応装置。

【請求項 7】

前記誘電界に対して電力を供給するために、前記 R F 誘電アンテナに接続されたプラズマ源 R F 電源；及び、

一方の極側に前記製造物を、逆極側に前記半導体製窓電極の前記電気端子を接続したプラズマバイアス R F 電源をさらに有することを特徴とする請求項 1 に記載のプラズマ反応装置。

【請求項 8】

20

前記半導体製窓電極が、複数の副部品に分割されていることを特徴とする請求項 1 に記載の反応装置。

【請求項 9】

前記複数の副部品が、同心状であることを特徴とする請求項 8 に記載の反応装置。

【請求項 10】

前記副部品が：

半導体製窓中心円盤部；及び、

前記中心円盤部に対して同心状である半導体製窓端部環状部からなり、

1 つの電源から R F 電力を受信し、かつそれぞれが前記半導体製窓中心円盤部及び半導体製窓端部環状部に接続された一対の R F 電力アウトプットを有する R F 電力分配器を有することを特徴とする請求項 8 に記載の反応装置。

30

【発明の詳細な説明】

発明の背景

技術分野：

本発明は、半導体ウエハ等被加工物を間に挟んだ形で設置される一対の平行平板及び、平行平板のうち一方を通じて反応装置内部に R F 電力を供給する誘電コイルアンテナを有するプラズマ反応装置に関する。

背景技術：

マイクロエレクトロニクス半導体ウエハの加工時に使用される誘電型プラズマ反応装置、例えばオグルによる U S 特許 4 9 4 8 4 5 8 号に開示されているような装置は、平行平板容量型プラズマ反応装置に比較すると、優れた特長を有する。例えば、誘電型プラズマ反応装置においてはイオン密度が高い (10^{11} ions / cm^3 オーダー)。加えて、誘電型プラズマ反応装置においては、製造物又はウエハにバイアスを印加することにより、プラズマイオン密度及びプラズマイオンエネルギーを自在に制御できる。一方、近年一般的に使用されているタイプの容量型プラズマ反応装置はイオン密度が低く (例えば 10^{10} ions / cm^3 オーダー)、また、イオン密度やイオンエネルギーを制御できない。例えば、二酸化シリコンのエッチングに使用される誘電型プラズマエッチング装置においてはイオンの対ニュートラル密度比が高いので、微小な (例えば 0.5 ミクロン程度) エッチングを行う際にエッチング異方性、エッチング形状、及びエッチング選択性等の面で優れたエッチング特性を示す。一方、平行平板型容量型プラズマ反応装置においてはイオンの

40

50

対ニュートラル密度比が低いので通常約0.25ミクロン程度でエッチング停止が起こってしまい、また、エッチング異方性やエッチング形状も劣っている。

先述のUS特許4948458号に開示された誘電型プラズマ反応装置はチャンパー天井部の半導体ウエハに対面する位置に水平コイルを設置しており、これによってウエハ表面上のRF誘電界を最適に均質化するものである。チャンパーの減圧シールであるこの天井部は、例えば石英のように、コイルにより生じるRF誘電界を伝達できる材料すなわち絶縁体でなければならない。酸化アルミニウム等他の絶縁体を使用することも可能であるが、石英を使用した場合に比べるとスパッタリングによる汚染を引き起こしやすい。

容量型プラズマ反応装置の特長は、平行平板電極の間隔を狭くすることによりチャンパーの容量をきわめて小さくでき、比較的高い圧力下(例えば200mTorr)において操作が可能であり、プラズマを製造物上に限定して又は集中して照射しやすい点である。一方、誘電型プラズマ反応装置は、RF誘電界の厚さを確保するためにチャンパーの容量を大きくする必要があり、また、プラズマイオンの再結合によるロスを防ぐために低圧下(例えば10mTorr)で操作し、かつ排気速度をより高める必要がある。上述のUS特許4948458号の実施形態においては、側壁部面積が大きいためにチャンパー容量を大きくする必要が生じている。(上部コイルにより印加されるRF誘電界を存続させるための絶縁体窓が必要であるから)RFの帰る接地部はチャンパー側壁部の他にはないので、チャンパー側壁部は導体である必要があり、かつ接地部又はRF帰面として作用する必要がある。しかし、側壁部にはウエハ出入口のスリットバルブやガス配管口等の不連続部分が多く、接地板としてはあまり適当ではない。このような不連続部は電流分布を不均一化して、ウエハ表面に関与するプラズマイオンの分布をも乱してしまう。

つまり、側壁部へと流れる電流が、ウエハ表面に関与するプラズマイオンの分布を不均一化の原因となるのである。

容量型プラズマ反応装置と誘電型プラズマ反応装置とを組み合わせる一手法として、平行平板型プラズマ反応装置の側壁部周囲に側部コイルを巻き付ける手法が、コリンズらによる欧州特許公報0520519A1に開示されている。サイドコイルによるRF誘電界をチャンパー内に導入するためには、円筒形のチャンパー側壁部は石英等絶縁体でなければならない。このタイプのプラズマ反応装置の主な問題点は、ウエハ表面の加工不均一性を示しがちなことである。例えば、エッチレートはウエハ端部で大きく中心部で小さいのでエッチングプロセスの選択肢が限られてしまう。すなわち、ウエハ端部でエッチングが進行していても中心部付近ではエッチングが停止してしまうのである。チャンパー中心部方向への厚みが比較的小さい(例えば2cm程度、あるいはRF電力の大半が吸収される厚さ)誘電コイルを反応チャンパー側壁部に沿って配置してあること、また、チャンパー内への反応ガスを側面から導入していることにより、エッチャントイオン及びラジカルの生成はチャンパー側壁部付近やウエハ端部付近に限局されている。本明細書に言う「エッチャントイオン及びラジカル」とは、フッ素-水素化炭素イオン及びラジカル並びにフッ素-炭素イオン及びラジカル等、エッチング反応に寄与する種々の化学生成物を指す。選択的エッチングを行う場合には、フリーのフッ素イオン及びラジカルの密度が最小となるように既知の手法により調整を行う。プラズマ電源により生成された活性電子は反応ガスと相互に作用して必要とされるエッチャントイオンやラジカルを生成し、さらに、高精度のエッチングプロセスのポリマー形成反応において必要とされる炭素分子又は原子を生成する。

ウエハの中心部付近におけるエッチングプロセスは、ニュートラルやイオンと衝突・再結合を起こさずにチャンパー側壁部付近からウエハ中心部に到達することのできる活性電子に依存しているため、不均一である。この問題は、エッチングプロセスにおけるポリマー形成反応の役割を考慮するとより分かりやすくなる。バリヤらが「プラズマ重合反応における界面の挙動モデル及びプラズマエッチングへの適用(Journal of electrochemical society, volume 137, No. 8 (August 1990), pp. 2575-2581 at page 1)」において記述しているように、フッ素-炭素(C_xF_x)又はフッ素-水素化炭素化学反応に関するポリマー形成

10

20

30

40

50

反応は、エッチング異方性又は形状及びエッチング選択性を高める目的で、例えば酸化シリコンの一般的エッチングプロセスにおいて適用される。C₂F₆等のフッ素 - 炭素又はフッ素 - 水素化炭素等チャンパー内に導入されるエッチング反応ガスは、プラズマ中の活性電子との非弾性衝突によって分解され、炭素を生成するとともにエッチャントイオン及びラジカルを生成する。上述のように、エッチャントイオン及びラジカルとは例えば、フッ素 - 炭素又はフッ素 - 水素化炭素イオン及びラジカル、及びフリーフッ素イオン及びラジカルをさす。例えばポリシリコン等ある種の材料に関して選択的エッチングを行おうとする場合には、フリーのフッ素イオン及びラジカルはスカベンジングにより完全に消失させなければならない。炭素及び、フッ素 - 炭素又はフッ素 - 水素化炭素のイオンまたはラジカルの少なくとも一部分は、ポリマー形成物質として作用する。また、プラズマ中に存在するものはニュートラル又は未分解物質、及びエッチング副生成物を励起する作用を持つ。ポリマー形成ラジカル及び炭素は、以下の作用によりエッチング形状を向上させる。エッチング形状の側壁部へのポリマー形成（プラズマによって生じる活性な下方イオン流による、垂直面へのポリマー形成）により側壁部のエッチングが阻止され、その結果、異方性を持った（狭くて深い）形状が形成される。

また、ポリマーは通常適正条件下において、エッチングを行おうとする酸化シリコン上には形成されず、一方、前記酸化シリコン層下に存在しておりかつエッチングされずに残されるべきシリコン又はその他の物質上には形成されることから、ポリマー形成イオン及びラジカルが酸化シリコンのエッチング選択性を高める作用をも持つといえる。すなわち、下部にポリシリコン層が存在する酸化シリコン層が完全にエッチングされると、ポリシリコン層に接するプラズマ中のポリマー形成イオン及びラジカルは、ポリマー層を形成してそれ以上のエッチングを阻止する。

エッチングプロセスにおけるこのようなポリマー形成反応は、エッチャントとポリマーとの微妙なバランス調整を必要とし、エッチャントは適切なポリマー形成を妨げないように濃度調整される。その結果、ウエハ端部において調整されたエッチャントイオンとラジカルの比率はウエハ中心部へ移行する間に変化してしまい、ウエハ中心部のエッチイオン濃度が低下してしまう。従って、ウエハ中心部はエッチレートが低下したりエッチング停止が起こったりしてしまう。

ウエハ端部にイオンが多い理由の一つとして、誘電コイルが側壁部上に位置しており、この付近でイオン生成作用を持つ活性電子が生成されること、そしてこの活性電子がウエハ中心部に到達するまでに冷却されたり消費されたりしてしまい、結果としてウエハ中心部付近でエッチャントイオンやラジカルが殆ど生成されなくなることが挙げられる。さらに、側壁部からは反応ガスの供給やプラズマ源電圧の印加を行うので、ここにエッチャントイオンやラジカルが偏在することが挙げられる。側壁部付近（ウエハ端部の上部）で生成されたエッチャントイオン及びラジカルの大半はウエハ中心部に到達するまでに他の物質との衝突により消耗されてしまい、その結果ウエハ中心部のエッチャントイオン密度は低くなってしまふ。

（石英製側壁がエッチングされるので、この高価な石英製側壁の定期的交換が必要となり、装置のコストが上昇してしまうことに注意すべきである。）ウエハ中心部のエッチャントイオンが少ないとポリマーの形成が促進され、特に0.5ミクロン以下のエッチングにおいてはエッチング反応をポリマー形成反応が上回ってエッチング停止を起こしてしまう。また、エッチングサイズが大きくても、エッチング深度が大きい場合やエッチング時間が短い場合において同様のことが起こってしまう。

逆に、選択的エッチングを行おうとする場合においてウエハ端部にエッチャントイオン及びラジカルが多いと、ポリマー形成反応が阻害されてエッチング選択性が低下し、ウエハ端部のエッチレート上昇を招くとともに下層を破壊してしまう。また、チャンパー側壁部及びウエハ周辺部付近の活性電子が上述石英側壁部のエッチング時に生じる酸素と結合して活性プラズマイオン生成が促進され、この活性プラズマイオンがウエハ周辺部付近のフォトレジストマスクを腐食してしまう。その結果、フォトレジストにより規定されるコーナー部分がエッチングされて、所定形状よりも先細りになる現象、すなわちファッセッテ

10

20

30

40

50

ィングを招いてしまう。

従って、ウエ八端部において下層の破壊及びファセティングを阻止することと、ウエ八中心部においてエッチング停止を阻止することとは表裏一体相反するものであって、ウエ八全表面を均一にエッチングするには厳密なパラメータ制御が必要となる。ウエ八周辺部のオーバーエッチを防ぐには他の物質（例えばポリマー形成イオン又はラジカル及び炭素）と反応するプラズマ中のエッチャントイオン及びラジカルの密度を低くすれば良いが、それは一方でウエ八中心部でのエッチング停止を招いてしまう。

逆にウエ八中心部のエッチング停止を防ぐにはプラズマ中のエッチャントイオンの密度を高くすれば良いが、それは一方でウエ八端部での下層の破壊やファセティングを招いてしまう。従って、ウエ八全表面を均一にエッチングするための条件は非常に厳しいものとなる。

平行平板型プラズマ反応装置においては、反応チャンパー付近又は上部にシリコン等スカベンジング物質を導入することにより、プラズマ中のフリーフッ素密度を制御することができる。物理的エッチング（スパッタリング）又は化学的エッチング又は反応性イオンエッチングによってスカベンジング物質から生じたシリコン原子は、フッ素イオン及びラジカルと結合してプラズマ中のフッ素イオン及びラジカルの密度を低下させる。物理的又は化学的エッチングによって、スカベンジング物質からシリコン原子の生じる速度を制御することにより、プラズマ中のフッ素イオン及びラジカルの量を上述の厳しいエッチング条件に適合させる（例えば減少させる）ことができる。この物理的又は化学的エッチングのエッチレートの制御は、スカベンジング物質の温度及び/又はイオン衝突度の制御により行うことができる。スカベンジング物質表面は、RF電力又は加熱いずれかによって（プラズマ中にシリコン原子を放出するレベルに）活性化される。スカベンジング物質の温度をポリマー形成反応開始温度以下に保持すると、表面にポリマーが蓄積して自身からのシリコン原子放出を阻害する。凝集温度以上に保持すると、表面にポリマーが無くなってプラズマ中にシリコン原子を放出する。スカベンジング物質の温度を上昇すればするほど、プラズマ中に放出されるシリコン原子の量は多くなる。

スカベンジング物質はRF電圧印加によって活性化されるので、そのイオン衝突度は隣接の上部平行平板電極から印加されるRF電位又はバイアスにより決定される。このようにしてフリーフッ素密度を低下させるとエッチレートを低下させるとともにポリマー中の炭素含有量が高める効果があるので、ウエ八端部のエッチング工程においてポリマーによる下層の破壊防止作用を高めることができるが、一方、ウエ八中心部においてはエッチング停止が起こる可能性が高くなってしまふ。逆にフリーフッ素密度を高めるとエッチレートを高めるとともにポリマー中の炭素含有量を低下させてエッチング工程におけるポリマー形成反応の効果を低下させるので、ウエ八中心部におけるエッチング停止は起こりにくいが、一方、ウエ八端部においては下層の破壊に対するポリマーの保護力が低下してしまふ。

プラズマ中のポリマー形成イオン及びラジカルの密度を規定する必要上からも、エッチング条件はきわめて厳しいものとなる。すなわちその条件は、ポリマー形成ラジカル及びイオンがチャンパー天井部又は側壁部（又はスカベンジング物質）上へのポリマー形成反応に使用されてプラズマ中から失われる速度、またはポリマー析出物が天井部又は側壁部（又はスカベンジング物質）からスパッタリングにより失われる速度により規定される。天井部へのポリマー形成反応の速度は、天井部の温度をポリマー形成反応開始温度に対して高くするか低くするかによって決定される。また、ポリマー析出物がエッチングされたりプラズマ中へ放出されたりする速度は、以下の要素により決定される。すなわち、天井部電極から供給されるRF電力、温度、チャンパー圧力、ガス流量、誘導電源電圧、及びその他のパラメータによる。

すなわち、エッチングプロセスの厳しい条件を満たすには、チャンパー天井部又は側壁部又はスカベンジング物質（又はその他）の温度、及び/又は上部/天井部平行平板電極から供給されるRF電力を決定して、プラズマ中のフリーフッ素及びポリマー形成イオン及びラジカルの密度を常に制御しなければならない。

従って、円筒形側壁に巻いた誘電コイルを有する平行平板型プラズマ反応装置は、天井部の電極をウエハ全表面上の均一接地板として使用できる長所を有しているが、一方、プラズマイオン生成がチャンパー側壁部付近に偏在しており、プラズマエッチングがウエハ中心部において弱くウエハ端部において強く進行してしまう欠点がある。上部に水平コイルを有するプラズマ反応装置は、ウエハ表面に關与するRF誘電界がより均一でありプラズマイオン生成がウエハ端部に偏在しないという長所を有しているが、ウエハ上部に均一な接地板がないのでプラズマイオン電流が側壁に向かって流れ、プラズマをゆがめてしまう欠点がある。

本発明の目的は、上部に水平誘電コイルアンテナを有する誘電型プラズマ反応装置と平行平板電極型容量型プラズマ反応装置の長所を組み合わせ、上述の欠点及び問題点のないプラズマ反応装置を提供することである。特に、ウエハ全表面に対する均一なプラズマ加工が可能で、その結果チャンパー圧力等のパラメータの選択範囲を広げてプラズマ加工条件をゆるやかなものにするのが可能な誘電 - 平行平板電極混合型プラズマ反応装置を提供することである。

また、本発明の目的は、ウエハ全表面に対する物理的特性及び/又は電圧の分配がウエハ表面に対して比較的均一で、プラズマイオン生成をチャンパー側壁部付近に偏在せない作用を持つ誘電コイルアンテナを提供すること、及びウエハ全表面近傍に設置されてチャンパー側壁部へのプラズマ電流を阻止する作用を持つ均一接地面を提供することである。

また、プラズマをなるべくウエハ表面上部に接近させてチャンパー側壁部との相互作用をなるべく少なくするような手段で、そのような接地面を使用することを目的とする。

また、本発明の別の目的は、チャンパー側壁部に従来使用されていた石英やセラミックス等消耗部品をなくすあるいは少なくして、チャンパー側壁部付近におけるプラズマイオンの消耗をなくし、かつ高価な部品のエッチングによる消耗を防ぐことである。

また、本発明の別の目的は、上記反応装置において、均一なエッチング及びポリマー生成ガス配合を提供して、ウエハ端部に対するウエハ中心部の加工均一性を向上することである。特に、チャンパー中心部及び/又は端部いずれにしても、ウエハ表面上の加工均一性を高めるような最適な放射位置からガス導入を行うことである。例えば、エッチレートがウエハ中心部で低く端部で高い場合には、天井部の端部ではなく中心部からガス導入を行うのが望ましい。

また、本発明の別の目的は、ウエハ中心部上のRF誘電界をウエハ端部上よりも高める（必要ならば低める）ことにより、ウエハ中心部の加工均一性をウエハ端部よりも高めることである。特に、ウエハ中心部とウエハ端部それぞれのRF誘電界強度を個別に制御してウエハ表面上のRF誘電界放射分布を調整し、ウエハ表面の加工均一性を高めることを目的とする。

半導体ウエハ上の薄膜の選択エッチングに使用される典型的なプラズマ加工チャンパーにおいては、エッチング反応と析出反応が同時進行している。ポリマーは、低温下（ポリマー形成反応開始臨界温度以下）にある表面上、又はイオン衝突が臨界エネルギー（表面上へのポリマー析出を十分に相殺するような臨界イオンエネルギー）以下である表面上に形成される。臨界温度及び臨界イオンエネルギーは、表面の材質により決定される。析出は、加工チャンパー表面と同様にウエハ表面上にも起こる。加工チャンパー表面への析出と同様にウエハ表面上への析出を制御することが、選択エッチングを制御するうえで重要である。反応チャンパー内壁部上へのポリマー析出は、チャンパー壁の材質がウエハの加工と相容れない場合において必要とされる。例えば、チャンパー壁の材質がアルミニウム、加工が二酸化シリコンのプラズマエッチングという場合である。チャンパー壁上へのポリマー析出は、チャンパー壁がプラズマイオンスパッタリングされるのを防いで、プロセスへのアルミニウムの侵入を阻止する。

ポリマー析出を制御する手段は、以下の二つから選択する。：

(1) 加工チャンパー表面を臨界温度以下に保持する、あるいはイオンエネルギーを臨界イオンエネルギー以下に保持して、表面上へのポリマー析出を促す

(2) 加工チャンパー表面を臨界温度以上に保持する、あるいはイオンエネルギーを臨界

10

20

30

40

50

イオンエネルギー以上に保持して、表面上へのポリマー析出を阻止する

手法(1)における問題点は、表面に積層したポリマーを手動式(湿式)又はプラズマ方式(乾式)いずれかの手法で定期的に除去する、あるいは汚染された部品を交換する必要があることである。

さもなくば、ポリマー剥離によってチャンバーが汚染されてしまう。反応チャンバーの清掃中は操業を停止するので生産性が損なわれ、また、操業コストが上昇してしまう。プラズマによるクリーニングを行う場合には、生産性を損なうだけでなくチャンバー内の消耗部品や汚染部品にも無駄が生じる。

手法(2)における問題点は、チャンバー表面素地が露出しているためにその部分がエッチングされてしまうことである。一般に、チャンバー表面材質はアルミニウム又は石英である場合が多い。表面材質がアルミニウムである場合、上述のように表面がエッチングされて副生成物が生じ、ウエハのプラズマ加工時の清浄度を低下させてしまう。表面材質が石英の場合には、表面のエッチング速度が非常に大きく部品交換を頻繁に行う必要があるため、コストが非常に上昇するとともに生産時における時間的な無駄が多い。さらに、ポンピングアニユラス等チャンバー内のより低温な表面にも変化が生じてしまう。

従って、本発明のさらなる目的は、反応チャンバーの定期的な清掃を不要とすることである。また、チャンバーの反応領域表面上へのポリマー堆積を阻止することである。また、その表面上におけるエッチレートを制御することである。さらに、プラズマを加工領域内にとどめて、チャンバー内の加工領域における反応を適切に進行させることである。また、ポンピングアニユラス等チャンバー内の加工領域外にある余剰のポリマー形成物質を

発明の開示

本発明は、加工チャンバーとして使用される反応槽、及び半導体製窓、及び加工時に製造物を支持するチャンバー内基板、及び反応ガスをチャンバー内に導入するためのガス導入システム、及び半導体製窓を通じてチャンバー内部に誘電結合力を導入するためにその窓に隣接してかつ基板に対向する位置に設置された誘電アンテナ、を有する製造物加工用プラズマ反応装置により実現化される。製造物は平板材が望ましく、また、半導体製窓(及び誘電アンテナ)はチャンバー内部又は外部いずれかに設置する。後者(外部取り付け)の場合、半導体製窓は平板材にほぼ平行に配された天井部とし、その上に、半導体製窓を通じて平板材に対面するような形で誘電アンテナを設置する。または、半導体製窓を、通常平板材の周囲に垂直に配された反応槽側壁部とし、誘電アンテナを側壁部に隣接して設置する。天井部の上に設置された誘導アンテナは、平板材に対してほぼ平行に配された弧状に伸びる導体部を有し、かつその形状が板状あるいは半球状いずれかであることが望ましい。側壁部に隣接して設置された誘電アンテナは、側壁部を周回する導体コイルとする。

半導体製窓に電気端子が接続されている実施形態においては、半導体製窓が誘導アンテナのシールドとしてばかりでなく電極としても働く。このときの半導体窓は、半導体製窓電極と呼ばれる。

また、別の実施形態においては、RFバイアス電源が平板材に接続され、かつ半導体製窓電極の電気端子がバイアスRF電源の逆極となるように例えば接地等の方法で接続され、製造物の上部に均一な接地面を形成している。

また、別の実施形態においては、一方が半導体製窓電極もう一方が平板材に接続される2個のアウトプット、及び一般電源からのインプットを有する電力分配器を配している。また、別の実施形態においては、半導体製窓電極に接続された第一電源、及び平板材に接続された第二電源を配している。

また、別の実施形態においては、誘電アンテナは、平板材中心部の上に位置する内部アンテナ、及び平板材端部の上に位置しかつ内部アンテナとは電氣的に絶縁された外部アンテナからなる。この実施形態において、一方が半導体製窓電極もう一方が誘電アンテナに接続された2個のアウトプット、及び一般電極からのインプットを有する電力分配器を配しても良い。または、内部及び外部誘電アンテナにRF電力を分配するRF分配器を配して

10

20

30

40

50

も良い。

また、本発明における一実施形態において、電力分配器は、一方が平板材に接続されもう一方が誘電アンテナに接続された2個のアウトプット、及び一般電源からのインプットを有する。この場合、半導体製窓電極の電気端子をRF接地する。または、独立したRF電源を半導体製窓電極の電気端子に接続しても良い。

また、一つの反応装置内に、上部に誘電アンテナを有する天井部半導体製窓電極、及び側壁部誘電アンテナを有する側壁部半導体製窓電極を組み込んでかまわない。

この場合、天井部誘電誘導アンテナに接続されたアウトプット、及び側壁部誘電アンテナに接続されたアウトプット、及び一般電源に接続されたインプットを有する電力分配器を使用することができる。

10

半導体製窓と製造物が互いに逆極となるように、別個にRF電力を印加しても良い。これは、半導体製窓に接続される第一周波数RF電源及び製造物に接続される第二周波数RF電源、さらに、第一周波数電力を遮断しかつ第二周波数電力を通過させる作用を有し、RF接地と半導体製窓電極との間に接続される第一接地パスフィルター及び、第二周波数電力を遮断しかつ第一周波数電力を通過させる作用を有し、RF接地と製造物との間に接続される第二接地パスフィルターにより実現される。またさらに、第二周波数RF電力を遮断する作用を有する第一整合フィルターを第一RF電源と半導体製窓電極との間に、第一周波数RF電力を遮断する作用を有する第二整合フィルターを第二RF電源と製造物との間に接続してもよい。

また、別の実施形態においては、導体基板が半導体窓外側表面に設置されるとともに電気端子に直接接続されているが、この導体電極は誘電アンテナによる誘電界が貫通できるように複数の孔を有している。導体基板は、開口部により分割される複数の放射状導体分枝を有し、かつ開口部の幅は半導体製窓電極の厚さとほぼ一致することが望ましい。

20

さらに別の実施形態においては、構造的支持機能を持つ基板が半導体製窓電極外側表面に設置される。半導体製窓電極と前記基板の間には必要に応じて導体基板が設置され、この導体基板を電気端子に直接接続する。構造的支持機能を持つ基板は、誘電アンテナを支持するアンテナ支持部としても良い。アンテナ支持部は、絶縁体又は導体（ただし誘電アンテナに対しては絶縁されていること）いずれでも良い。導体の場合は、半導体製窓電極外側表面上の導体基板として設置することができる。また、誘電アンテナ上にアーチ状の細長い導体を設け、かつ導体製アンテナ支持部上に半導体窓電極に面するアーチ状の細長い溝を設け、両者を嵌合する構造としても良い。また、さらに別の実施形態として、導体製アンテナ支持部の、半導体製窓電極に対する面上に複数の凹部を設け、かつ誘電アンテナ上にはそれに嵌合する複数の導体製ターンを設置しても良い。

30

また、別の実施形態においては、誘電アンテナは非同心アーチ形状の導体とする。このような誘電アンテナの一例を挙げると、中心導体部、及びここから外部へと放射する複数の螺旋状部を有するものである。また別の一例を挙げると、外周導体部、及びここから内部へと伸びる複数の螺旋状部を有するものである。

また、別の実施形態においては、誘電アンテナは3次元螺旋構造、あるいは2個の螺旋による同心状3次元構造、又は積層螺旋構造等非平面構造を有する。

ガス導入システムは、平板材上部の半導体製窓電極を貫通する一对のガス導入ポートを有することが望ましい。これらガス導入ポートは、ウエハ中心部上に集約され及び/又はウエハ端部に分配される。中央ガス供給部は、半導体製窓電極外側表面でシールされており、中央ガス供給部と半導体製窓電極との間にガス分岐部を形成し、このガス分岐部がガス導入ポートを取り囲むような構造になっている。一実施形態においては、半導体製隔壁をガス分岐部中に配することにより、中央ガス供給部付近とガス導入ポート付近とに分岐する一对の副分岐部を形成し、かつガス導入ポートから分岐して半導体製隔壁間を通過するガス供給通路を形成している。

40

ポリマー析出によってチャンパー内部表面を不活性化する必要をなくすために、全半導体製の加工領域をチャンパー内に設けても良い。例えば、半導体製窓又は天井部分から下方へと広がる全半導体製のスカートを設置して、ウエハ上部の加工領域にプラズマを囲い込

50

むと良い。加工領域を囲んでいるこの半導体材料は、二酸化シリコンエッチング等のプラズマ加工を阻害しないこと、すなわちチャンパー内のプラズマに接触しても加工プロセス汚染物質を生成しないことが要求される。一実施形態においては、半導体製囲いは、ポリマー析出を避ける目的で温度制御されている。

また、別の実施形態においては、半導体製囲いに適切な電気バイアスを印加してイオン衝突又はスパッタを促進することにより、半導体製囲い上へのポリマー析出を回避している。また、別の実施形態においては、温度調節と、電気バイアスによるスパッタリングとを組み合わせることで回避している。スパッタリングは、半導体製囲い上へのポリマー析出を阻止するのに必要な最低温度を低下させる作用を持つ。これら実施形態においては、反応チャンパー内部の定期的清掃が殆ど必要なく、反応装置における生産効率が大幅に上昇する点において、技術革新が見られる。

10

プラズマが反応領域外に外れてしまわないように、反応領域とポンプアニユラスとの空間にプラズマ制御磁石を設置しても良い。別の実施形態においては、プラズマを反応領域内に導入するためのプラズマ制御磁石はウエハスリットバルブの周囲に配されている。

プラズマ制御磁石に代えてあるいは加えて、狭いあるいは高形状比の通路（例えばウエハの出入りを可能とするような）により、プラズマの漏洩を防ぐことができる。あるいは、又は加えて、そのような通路を曲折したものにし、かつ隔壁を設けることにより、プラズマの漏洩を防ぐことができる。

チャンパー反応領域から（例えばチャンパーのポンピングアニユラス内に）移動してきたポリマー形成物質を制御するためには、反応領域外部の表面（例えばポンピングアニユラス内部表面）をポリマーの凝集及び析出が起こる温度すなわちポリマー凝集温度以下に保持する。その表面は、着脱可能冷却ライナーとしても良い。

20

そのような表面を持つ領域（例えばポンピングアニユラス）はウエハ上のプラズマ反応領域から隔離されているので、電気バイアス印加、プラズマ加熱印加、広範な温度変化、又はイオン衝突がなく、そこに堆積していたポリマー形成物質は剥落してしまう。その剥落によりプラズマ中へのポリマー再放出が起こり、かつウエハの汚染が起こってしまう。

ウエハ周辺部と中心部との加工不均一性（例えばエッチレートの不均一性）を解消して均一な加工を行うためには、半導体窓をお互いが電気絶縁された内側及び外側（周辺部と中心部または側壁部と天井部）に分割し、特性の異なるプラズマ源電力をそれぞれに供給すると良い。R F電力は両者に対して分配供給しても、別々に供給してもよい。加えて、R F誘電コイルについても同様にお互いが電気絶縁された2つのコイルに分割し、プラズマ源電力を個別に供給すると良い。上部R F誘電コイルと同様、側部誘電コイルをも半導体製スカートに巻き、かつ上部コイルと別個に電力供給を行っても良く、このときの半導体製囲いはR F電力供給電極、及び上部コイルと側部コイルとの誘電結合力の窓として作用する。

30

ウエハ中心部及び端部それぞれに対してガス供給部を設け、条件を選択して半導体製囲い中心部と端部それぞれに異なる供給速度及び/又は混合比のプラズマ反応ガスを供給することにより、加工均一性を改善することも可能である。端部ガス供給口はウエハ端部上部のプラズマ配合に寄与し、一方、中心部ガス供給口はウエハ中心部上部のプラズマ配合に寄与する。

40

端部ガス供給口は、ウエハ中心部に面する側壁部からの複数のガス導入口、又はウエハ端部に下向きに対面するようにして天井部に設置された複数のガス導入口、又はウエハ端部に上向きに対面するようにしてウエハ支持部に設置された複数のガス導入口を有する。中心部ガス供給口は、ウエハ中心部上部の1個のガス導入口、又はウエハ中心部上空に分配された複数のガス導入口、又はシャワーヘッドとする。

本発明の別の実施形態においては、半導体製囲いに電気バイアスを全く供給していないが、この場合には囲いが半導体製である必要はない。例えば、窒化シリコン等の絶縁体であっても良い。また、ポリマー凝集温度に関する温度制御を正確に行うためには熱伝導性の高い材料を用いる必要がある。ウエハ支持部周囲の環状部についても、ポリマー堆積を防ぐために温度制御を行う。この環状部は半導体材料製とする。あるいは、窒化シリコン又

50

は石英等絶縁体製とする。

【図面の簡単な説明】

図 1 は、水平なシリコン製天井部の上に水平コイルアンテナを設けたプラズマ反応装置の第一の実施形態を示す図である。

図 2 は、図 1 のシリコン製窓を送信及び受信 R F コイルの間に設置した場合における、送信 R F コイルに対する受信 R F コイルの電力伝導係数を標準化して示したグラフである。

図 3 は、シリコン製窓が円筒形である場合の、送信 R F コイルに対する受信 R F コイルの電力伝導係数を標準化して示したグラフである。

図 4 は、シリコン製天井部とウエハ支持部とに電力を分配した場合の一実施形態を示す図である。

図 5 は、ウエハ支持部、上部誘電コイル、及びシリコン製天井部に対して個別に R F 電源を設けた場合の一実施形態を示す図である。

図 6 は、上部誘電アンテナが同心状の内部及び外部コイルに分割し、個別に電力供給を行う場合の一実施形態を示す図である。

図 7 は、円筒形シリコン製側壁周囲に巻かれた側部誘電コイルを使用する場合の一実施形態を示す図である。

図 8 は、図 7 に準じ、かつ 1 個の R F 電源からの電力をシリコン製側壁とウエハ支持部とに分配する場合の一実施形態を示す図である。

図 9 は、シリコン製側壁、ウエハ支持部、及び側部誘電コイルに対して個別に R F 電源を設置した場合の一実施形態を示す図である。

図 10 は、シリコン製天井部と上部誘電コイル、及びシリコン製側壁と側部誘電コイルを併用する場合の一実施形態を示す図である。

図 11 は、図 10 に準じ、かつシリコン製側壁とウエハ支持部とに電力を分配する場合の一実施形態を示す図である。

図 12 は、シリコン製天井部、シリコン製側壁、上部誘電アンテナ、及び側部誘電アンテナに対して個別に R F 電力を供給する場合の一実施形態を示す。

図 13 A は、図 1 に準じ、かつ半球状シリコン製天井部を有する場合の一実施形態を示す図である。

図 13 B は、図 4 に準じ、かつ半球状シリコン製天井部を有する場合の一実施形態を示す図である。

図 13 C は、図 5 に準じ、かつ半球状シリコン製天井部を有する場合の一実施形態を示す図である。

図 13 D は、図 6 に準じ、かつ半球状シリコン製天井部を有する場合の一実施形態を示す図である。

図 14 は、半球状シリコン製天井部を有し、かつその天井部に配置された同じく半球状の誘電アンテナが、円筒形側壁に巻かれた円筒形部分に接続されている場合の一実施形態を示す図である。

図 15 は、図 14 に準じ、誘電アンテナの半球状部分と円筒形部分とが絶縁されており、かつ個別に R F 電力を供給する場合の一実施形態を示す図である。

図 16 は、図 6 に準じ、かつ一般 R F 電源からの電力を内部及び外部誘電アンテナに分配する場合の一実施形態を示す図である

図 17 A は、図 15 に準じ、かつ一般 R F 電源からの電力を誘電アンテナの半球状部分と円筒形部分とに分配する場合の一実施形態を示す図である。

図 17 B は、半球状の内部及び外部誘電アンテナを有し、一般 R F 電源からの電力をそれらに分配する場合の一実施形態を示す図である。

図 18 は、図 10 に準じ、かつ一般 R F 電源からの電力を上部誘電アンテナと側部誘電アンテナとに分配する場合の一実施形態を示す図である。

図 19 は、図 1 に準じ、かつ一般 R F 電源からの電力を上部誘電アンテナとシリコン製天井部とに分配する場合の一実施形態を示す図である。

図 20 は、図 1 に準じ、かつ一般 R F 電源からの電力を上部誘電アンテナとウエハ支持部

10

20

30

40

50

とに分配する場合の一実施形態を示す図である。

図 2 1 は、図 1 3 A に準じ、かつ半球状天井部を有し、一般 R F 電源からの電力を上部誘電アンテナとこの半球状天井部とに分配する場合の一実施形態を示す図である。

図 2 2 は、図 1 3 A に準じ、かつ半球状天井部を有し、一般 R F 電源からの電力を上部誘電アンテナとウエハ支持部とに分配する場合の一実施形態を示す図である。

図 2 3 は、ウエハ支持部とシリコン製天井部に対して個別に R F 電力を供給し、かつこのときお互いの逆極となるようにする場合の一実施形態を示す図である。

図 2 4 は、図 2 3 に準じ、かつシリコン製天井部が半球状である場合の一実施形態を示す図である。

図 2 5 A は、導体基板を有するシリコン製天井部の一実施形態を示す側面図である。

10

図 2 5 B は、導体基板の一実施形態を示す上面図である。

図 2 5 C は、導体基板の別の実施形態を示す上面図である。

図 2 6 は、支持基板と結合されたシリコン製天井部の一実施形態を示す側面図である。

図 2 7 は、図 2 6 に準じ、かつ支持基板が上部誘電アンテナを支持する絶縁体製支持部である場合の一実施例を示す側面図である。

図 2 8 は、アンテナ支持部が導体である場合の一実施例を示す側面図である。

図 2 9 は、図 2 8 に準じ、かつ導体製アンテナ支持部が内部及び外部上部誘電アンテナを内合する一對の同心状開口部を有する場合の一実施形態を示す側面図である。

図 3 0 A は、上部誘電アンテナが非同心状である場合の一実施例を示す上面図である。

図 3 0 B、3 0 C は、図 3 0 A の誘電アンテナがとりうる水平及び半球状形態を示す側面図である。

20

図 3 1 A は、誘電アンテナが非同心状である場合の別の実施形態を示す上面図である。

図 3 1 B、3 1 C は、図 3 1 A の誘電アンテナがとりうる水平及び半球状形態を示す側面図である。

図 3 2 は、上部誘電アンテナにおける 2 つの円筒形螺旋構造を示す側断面図である。

図 3 3 は、図 1 6 に示された内部及び外部アンテナを図 3 2 に示される一對の同心状円筒形螺旋構造とした場合の側断面図である。

図 3 4 は、上部誘電アンテナが積層構造である場合の側断面図である。

図 3 5 A から図 3 5 E は、シリコン製天井部の中央ガス供給部の一実施形態を示す図である。 図 3 5 A は中央ガス供給部の底面透視図、図 3 5 B は環状シール部の底面透視図、図 3 5 C は図 3 5 B のシール部側断面図、図 3 5 D はガス供給孔を示すシリコン天井部上面透視図、図 3 5 E は図 3 5 D のシリコン製天井部部分側断面図である。

30

図 3 6 A は、シリコン製天井部の中央ガス供給部が、シリコンウエハ隔壁により分割された一對のガス通路を有する場合の一実施形態を示す断面図である。

図 3 6 B は、図 3 6 A に準ずる別の実施形態を示す図である。

図 3 7 A は、図 1 の実施形態におけるファラデーシールドの方法を示す図である。

図 3 7 B は、図 3 7 A のファラデーシールドの上面図である。

図 3 8 A は、半球状天井部を有する図 1 0 の実施例におけるファラデーシールドの方法を示す図である。

図 3 8 B は、円筒形半導体制窓電極及び誘電アンテナを有する図 7 - 9 におけるファラデーシールドの方法を示す図である。

40

図 3 9 A は、本発明における望ましい一形態を示す詳細側断面図である。

図 3 9 B は、上部誘電アンテナに使用される導体の垂直断面図である。

図 4 0 は、半導体制窓及び誘電アンテナをチャンバー内部に設置する場合の一実施形態を示す図である。

図 4 1 A は、図 4 0 に準じ、かつ半導体制窓が半球状である場合の一実施形態を示す図である。

図 4 1 B は、図 4 0 に準じ、かつ半導体制窓及び誘電コイルが円筒形である場合の一実施例を示す図である。

図 4 2 及び図 4 3 はそれぞれ、半導体制窓を分割した場合の一実施形態における側面図及

50

び断面図である。

図 4 4 は、図 4 2 に準じ、かつ半導体制窓が半球状である場合の一実施形態を示す図である。

図 4 5 は、半導体制窓電極とそれから分割された側壁部電極とに R F 電力を分配する場合の一実施形態を示す図である。

図 4 6 及び図 4 7 は、図 4 2 及び図 4 4 を修正し、分割半導体制窓電極の外側部分を接地し、かつ R F 電力を分割半導体制窓電極中心部分とウエハ支持部とに分配した場合の一実施形態を示す図である。

図 4 8 A は、ウエハ上部の加工領域にプラズマを囲い込む作用を持った全半導体制囲いを有するプラズマ反応装置の一実施形態を示す断面図である。

図 4 8 B は、図 4 8 B に準じ、かつウエハ支持部に対して水平でなく垂直方向にプラズマ分離を行う場合の一実施形態を示す断面図である。

図 4 8 C は、図 4 8 A に準じ、かつ周波数が個別に設定される場合の一実施形態を示す図である。

図 4 9 は、図 4 8 A に準じ、かつ全半導体制囲いが単一体である場合の一実施形態を示す断面図である。

図 5 0 は、図 4 8 A に準じ、かつ半導体制囲いが円盤状中心部及び、円筒形スカート部を有する環状側部に分割されている場合の一実施形態を示す断面図である。

図 5 1 は、図 4 8 A に準じ、かつ半導体制囲いが円盤状中心部、環状側部、及び円筒形スカート部に分割されている場合の一実施形態を示す断面図である。

図 5 2 は、図 5 0 に準じ、かつ分割された内部及び外部誘電コイルを有する場合の一実施形態を示す図である。

図 5 3 は、図 5 1 に準じ、かつ分割された内部及び外部誘電コイルを有する場合の一実施形態を示す図である。

図 5 4 は、図 4 8 A に準じ、かつ半導体制囲いの円筒形スカート部周囲に巻かれた円筒形誘電コイルを有する場合の一実施形態を示す図である。

図 5 5 は、図 4 9 に準じ、かつ半導体制囲いの円筒形スカート部周囲に巻かれた円筒形誘電コイルを有する場合の一実施形態を示す図である。

図 5 6 は、図 5 0 に準じ、かつ半導体制囲いの円筒形スカート部周囲に巻かれた円筒形誘電コイルを有する場合の一実施形態を示す図である。

図 5 7 は、図 5 1 に準じ、かつ半導体制囲いの円筒形スカート部周囲に巻かれた円筒形誘電コイルを有する場合の一実施形態を示す図である。

図 5 8 は、図 4 8 A に準じ、かつ半導体制囲いの天井部分が半球状の場合の一実施形態を示す側面図である。

図 5 9 は、図 4 9 に準じ、かつ半導体制囲いの天井部分が半球状の場合の一実施形態を示す側面図である。

図 6 0 は、図 5 0 に準じ、かつ半導体制囲いの天井部分が半球状の場合の一実施形態を示す側面図である。

図 6 1 は、図 5 1 に準じ、かつ半導体制囲いの天井部分が半球状の場合の一実施形態を示す側面図である。

図 6 2 は、図 5 2 に準じ、かつ半導体制囲いの天井部分が半球状の場合の一実施形態を示す側面図である。

図 6 3 は、図 5 3 に準じ、かつ半導体制囲いの天井部分が半球状の場合の一実施形態を示す側面図である。

図 6 4 は、図 5 4 に準じ、かつ半導体制囲いの天井部分が半球状の場合の一実施形態を示す側面図である。

図 6 5 は、図 5 5 に準じ、かつ半導体制囲いの天井部分が半球状の場合の一実施形態を示す側面図である。

図 6 6 は、図 5 6 に準じ、かつ半導体制囲いの天井部分が半球状の場合の一実施形態を示す側面図である。

10

20

30

40

50

図 6 7 は、図 5 7 に準じ、かつ半導体製囲いの天井部分が半球状の場合の一実施形態を示す側面図である。

図 6 8 A は、図 4 8 - 6 7 の実施形態において必要に応じて使用されるプラズマ制御磁石の第一の形態を示す図である。

図 6 8 B は、図 4 8 - 6 7 の実施形態において必要に応じて使用されるプラズマ制御磁石の第二の形態を示す図である。

図 6 8 C は、図 4 8 - 6 7 の実施形態において必要に応じて使用されるプラズマ制御磁石の第三の形態を示す図である。

図 6 8 D は、図 4 8 - 6 7 の実施形態において必要に応じて使用されるプラズマ制御磁石の第四の形態を示す図である。

図 6 8 E は、図 4 8 - 6 7 の実施形態において必要に応じて使用されるプラズマ制御磁石の第五の形態を示す図である。

図 6 9 は、図 4 8 A に準じ、かつ誘電結合部を有する場合の一実施形態を示す側断面図である。

発明の最適な実施形態

発明の基本概念

図 1 に示されるように、プラズマ反応装置は円筒形側壁部 1 0 5 及び円盤状の天井部 1 1 0 及び底部基板 1 1 5 に囲まれた密封円筒形チャンパー 1 0 0 を有する。ウエハ支持部 1 2 0 は、反応装置内で加工される半導体基板又は製造物 1 2 5 を支持している。

ウエハ支持部 1 2 0 は、本書参照文中に記されている、1 9 9 5 年 7 月 2 6 日登録、及び特許明細書受託者譲渡、及び出願中のケネス S . 、コリンズらによる U . S . 特許明細書 Serial No . 0 8 / 「電流密度変動を伴うプラズマ電源」において開示されているように、ウエハ支持部 1 2 0 は静電支持部としても良い。バイアス RF 電源 1 3 0 は、一般的に用いられる形態のインピーダンス整合回路 1 3 5 を通じてウエハ支持部 1 2 0 に RF 電力を供給する。このようなインピーダンス整合回路は、例えばコリンズらによる U . S . パテント 5 3 9 2 1 4 8 号及び同 5 1 8 7 4 5 4 号において開示されている。ウエハ支持部付近に設置されたガス導入口 1 3 7 は、例えば $C_x F_x$ ガスのようなエッチャントガス等加工用ガスを供給する。真空ポンプ 1 4 0 は、チャンパー 1 0 0 が所定の圧力となるように排気を行う。天井部 1 1 0 上において絶縁体製アンテナ支持部 1 4 7 中に保持される上部誘電コイルアンテナ 1 4 5 は、先述とは別のインピーダンス整合回路 1 5 5 を通じてプラズマ RF 電源 1 5 0 に接続されており、RF 電力を天井部 1 0 からチャンパー内へと導入する。

ウエハ 1 2 5 の全表面上のバイアス RF 電力が回帰する均一な回帰接地部を設けて側壁部 1 0 5 へ流れる電流をなるべく少なくするために、天井部 1 1 0 は接地される。しかし、この実施形態においては、天井部 1 1 0 は 2 つの作用を有していなければならない。すなわち、： (a) 接地可能な導体としての作用、及び (b) 上部コイルアンテナ 1 4 5 による RF 誘電界を透過する絶縁体としての作用、である。この 2 つの作用を満たすために、天井部 1 1 0 は例えばシリコン等の半導体製とする。シリコン製天井部 1 1 0 は、絶縁体 1 5 8 によってチャンパー内の導体製部品と絶縁されている。シリコン製天井部 1 1 0 は、半導体製であり、従って電極又は接地面として作用するのに十分な導電性を有していると考えられる。プラズマをウエハ 1 2 5 に近接して垂直方向に制御し、かつウエハ 1 2 5 上部に (例えば側壁部 1 0 5 よりも) 近接した位置に接地面を設けて側壁部 1 0 5 へのプラズマ電流をなるべく少なくする目的から、シリコン製天井部 1 1 0 はウエハに対してその直径よりも短い距離内すなわちウエハ直径の数分の一程度 (例えば直径 2 0 c m のウエハに対して数センチ程度) に設置されることが望ましい。具体的には、最大 2 0 c m、最小 1 c m、より望ましくは 2 ~ 1 0 c m の範囲とする。

天井部 1 1 0 は、シリコン等半導体材料製の半導体製窓であることが望ましい。しかし、他の一般的な半導体、例えばシリコンカーバイド、ゲルマニウム、ゲルマニウム砒素あるいはインジウム燐等 III - V 族半導体、水素カドミウムテルル等 II - III - V 族半導体を使用しても良い。シリコン製窓電極の抵抗値を左右する含有不純物の室温における含有許容

10

20

30

40

50

レベルについては、グローブによる Physics of Semiconductors, page 113 図4.14のグラフに記述されている。シリコン製窓110の温度は、それが絶縁体として作用する温度よりも高く、かつ導体として作用する温度よりも低くなるよう管理されなければならない。そのような温度範囲は、グローブによる Physics of Semiconductors, page 113 図4.8の、n-タイプシリコン中へ集中する電子の温度に対する作用を示すグラフに記述されている。このグラフによれば、シリコンは100K以下では絶縁体として作用し、600K以上では導体として作用する。従って、シリコン製天井部110は、キャリア電子の集中が一定状態であるような温度範囲、すなわち100Kから600Kの温度範囲に管理されることが望ましい。

10

図1のプラズマ反応装置は、側壁部に巻かれたコイルを有する従来型の反応装置に比較して、上部コイルアンテナ145より生じたプラズマ源電力をウエハ全表面上に均一に分配する点が優れている。従って、プラズマイオン生成が側壁部に偏在せず、プラズマイオンはウエハ表面上に均一に分配される。前述のU.S.パテント4948458号に開示されているような絶縁体天井部上に上部コイルアンテナを有するプラズマ反応装置においては側壁部への電流が生じるのに対し、本発明のプラズマ反応装置においては接地された天井部電極110により側壁部105へのプラズマ電流が減少あるいは制限され、プラズマイオンの均一性が高められる。また、ウエハと天井部とを近接して設置することによりウエハとプラズマイオン生成領域との距離が縮められ、プラズマの再結合による損失が減少し、かつチャンパー内圧力が高い状態での操業が可能となる（例えば50 - 200 mTorrの範囲）。チャンパー内圧力がそのように高くなると、加工プロセスにおける各種パラメータたとえばエッチ選択性等の範囲を広げやすい。図1のプラズマイオン反応装置における（上部コイルアンテナ145により達成された）プラズマの均一性は、（ウエハ125に近接して設置され、接地されたシリコン製天井部110により達成された）チャンパー側壁部への電流の減少によるものであり、ウエハ中心部と端部との加工（例えばエッチング）均一性を高め、加工条件設定範囲の可能性を広げるものである。特に、ウエハ端部におけるオーバーエッチや貫通を起こりにくくし、同時にウエハ中心部における微小サイズエッチング時のエッチング停止を起こりにくくする。また、ウエハ端部におけるエッチング形状劣化の原因となる、フォトレジストマスクエッジ部のファセット及び腐食を防止する。従って、図1のプラズマ反応装置は、わずかな負荷あるいは無負荷状態において、優れたエッチ形状及びエッチ選択性等を有する微小サイズのエッチングをウエハ全表面上に行うことを可能とする。

20

30

さらに、側壁部105は加工時の反応に関与しないので、反応装置部品の消耗及びそれに伴う操業コストを減少させることができる。従って、本発明は技術上画期的な進歩性を有している。

しかし、図1の反応装置を実現化するためには解決すべき重要な問題が種々存在している。第一に、シリコン製天井部110が、上部コイルアンテナ145により生じる誘電界のチャンパー100への透過を妨げるのではないかという点が挙げられる。例えば、シリコン製天井部110の誘電率は、RF誘電界が透過するには大きすぎる恐れがある。この点は、シリコン製天井部110に含有される不純物、又はシリコン製天井部110の温度に依存すると考えられる。また、シリコン製天井部110を透過しようとするRF誘電界の厚さが天井部の厚さ以下であれば、RF誘電界は天井部を透過することができないのではないかと考えられる。また、チャンパー内のプラズマを透過しようとするRF誘電界の厚さがチャンパーの高さ（例えばウエハの最高部と電極との距離）以上であれば、RF誘電電力はプラズマと効率的に結合することができないのではないかと考えられる。

40

第二の問題点は、天井部110がウエハ125に近接して設置されているので天井部110付近のプラズマシースとウエハ付近のプラズマシースとが十分に分離されず、プラズマが上下にショートしてしまう恐れがあることである。また、バイアスRF電源130のRF帰路中に天井部110に使用されているシリコンを挿入すると、RFバイアス電力が過度に損失されてしまう恐れがある。従って、RF誘電界を過度に損失させたり減衰さ

50

せたりせず、適切に又は実用的に操業可能な半導体製窓の抵抗値はないと考えられる。

この問題は、以下に記述する解析によって解決又は改善される。

プラズマを透過しようとする誘電界の厚さが十分小さいので、電力はプラズマに効果的に吸収される：

上部コイルアンテナ145から生じるRF誘電界の厚さは、天井部とウエハとの距離よりずっと小さい(例えばウエハ直径又はそれ以下)ので、コイルアンテナ145から生じる電力はプラズマと効果的に結合する。このときのRF誘電界の厚さには2つの形態があり、まずプラズマ源RF角周波数がプラズマモーメント伝導弾性衝突周波数よりも小さい場合で衝突厚さと言われるもの、及びプラズマ源RF角周波数がプラズマモーメント伝導弾性衝突周波数よりも大きい場合で非衝突厚さと言われるものがある。

10

プラズマを透過しようとするRF誘電界の衝突厚さ c は、次式により算出される。：

$$(1) \quad c = (2 \cdot m / \omega) \cdot c \left[(e^2 n_e) / (\epsilon_0 m_e) \right]^{-1/2}$$

ここで、

$m = 1.4 \cdot 10^7 \text{ sec}^{-1}$ は、温度300K、チャンパー圧力5mTorrにおけるアルゴンプラズマの電子-ニュートラルモーメント伝導衝突周波数、

$\omega = 12.57 \cdot 10^6 \text{ radians / sec}$ は、コイルアンテナ用誘電界RF電源の角周波数、

$c = 3 \cdot 10^8 \text{ meters / sec}$ は、光速、

$e = 1.6022 \cdot 10^{-19} \text{ coulomb}$ は、電荷、

$n_e = 5 \cdot 10^{17} \text{ meters}^{-3}$ は、適切な電子密度、

20

$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ farads / meter}$ は自由空間における許容電荷、

$m_e = 9.1095 \cdot 10^{-31} \text{ Kg}$ は、電子質量である。

これらを式1に代入し、：

$$(2) \quad c = 1.1 \text{ cm}$$

が、衝突厚さとして求められる。

プラズマを透過しようとするRF誘電界の非衝突厚さ p は、次式により算出される。：

$$(3) \quad p = c \left[(e^2 n_e) / (\epsilon_0 m_e) \right]^{-1/2}$$

前記の各値を式3に代入し、：

$$(4) \quad p = 0.8 \text{ cm}$$

が、非衝突厚さとして求められる。以上のように、どちらのケースにおいてもRF誘電界の厚さはウエハと天井部との距離に比べてかなり小さいので、RF源電力はプラズマに効果的に吸収される。

30

シリコン製の天井部を透過しようとする誘電界の厚さは天井部の厚さよりも十分に大きいので、誘電界は天井部を透過することができる。：

コイルアンテナ145より生じるRF誘電界は、シリコン中において、シリコン製天井部の厚さ1インチ(2.54cm)よりもはるかに大きい厚さを有している。従って、RF誘電界は、抵抗による損失が殆どない状態でシリコン製天井部110を透過することができる。無限大の水平シリコン板に入射するRF誘電界の厚さの近似値を次式により算出することができる。：

$$= [f \cdot \mu]^{-1/2}$$

40

ここで、

$f = 2 \text{ MHz}$ は、コイルアンテナ145に接続されたRF電源130の周波数、

$\mu = 4 \cdot 10^{-7} \text{ Henri es / meter}$ は、シリコン板の透磁率、

$\epsilon = 3.33 \cdot 10^{-1} \text{ meters}^{-1}$ は、30-cmの抵抗値を持つシリコン板の誘電率を示す。

上記各値を式に代入して、：

$$= 0.195 \text{ m}$$

が得られる。

RF誘電界の厚さはシリコン天井部110の8倍の厚さであり、従って、シリコン製天井部110がRF誘電界に対して高い誘電率を有していなくても、RF誘電界はチャンパー

50

100内に透過するのに十分な厚さを有している。

シリコン製天井部はRF誘電界に対して低い誘電率を有する：

室温において30 - cmの抵抗値を示し、直径13.5インチ厚さ1インチの円盤状に成形されたシリコン製天井部110を透過しようとするRF誘電界の透過率について、シリコン製天井部の相対する面に2個の誘電コイルを配置し、一方を周波数可変型RF電源に接続し、もう一方を多チャンネル型アナライザに接続して周波数を1kHzから10MHzの範囲で走査し、室温において測定を行った。多チャンネル型アナライザの出力結果を図2に示す。「マグニチュード」と記された曲線は、縦軸に受信信号と送信信号の強度比をとって上端を基本単位として下方に0.1単位ずつ減少するように目盛をふっており、横軸に周波数をとって左端を1MHz右端を10MHzとしている。「フェーズ」と記された曲線は、縦軸に受信信号と送信信号との角位相差をとって上端を20°として下方に20°ずつ減少するように目盛りをふってある。図2のグラフは、シリコン板を透過するRF電力が2MHz以下の周波数においては全く損失されず、かつ2MHz以上の周波数においても殆ど損失されないことを示している。

10

図2においては円盤状のシリコン板についての結果を示したが、図3に12.3インチの外径、1センチの壁厚を有する円筒形シリコンについて室温で同様の計測を行った結果を示す。

円筒形シリコンの周囲には、円筒形シリコンに囲まれた部分にRF電力を伝達するために5回巻きの送信コイルが巻かれている。外径2.3インチ、長さ3インチの8回巻き受信コイルを円筒形空間中心部に配置して測定を行った。「マグニチュード」と記された曲線は、縦軸に受信信号と送信信号の強度比をとって上端を基本単位として下方に0.1単位ずつ減少するように目盛をふっており、横軸に周波数をとって左端を1MHz右端を10MHzとしている。「フェーズ」と記された曲線は、縦軸に受信信号と送信信号との角位相差をとって上端を20°として下方に20°ずつ減少するように目盛りをふってある。図3のグラフは、シリコン板を透過するRF電力が2MHz以下の周波数においては全く損失されず、かつ2MHz以上の周波数においても殆ど損失されないことを示している。従って、シリコン製天井部110は、RF誘電界に対して透明であると言える。

20

シリコン製天井部は幅広い温度範囲においてRF誘電界に対して低い誘電率を有する。

図2及び3に示された上述の測定を、シリコンの温度範囲200 から250 において行ったところ、結果は同様のものであった。すなわち、シリコン製天井部110の温度は必要に応じて、ポリマー析出温度及びフッ素スカベンジングプロセス等に適合する広い温度範囲で設定することが可能であるとわかった。しかし、300 以上においては、シリコン製天井部110が導体の特性を示すようになり、コイルアンテナ145より生じるRF誘電界がチャンバー100内に到達するのを妨げてしまう。天井部110には、高抵抗値を持つシリコン(例えば室温において30 - cm)を使用することが望ましい。

30

また、例えば0.01 - cmの抵抗値を持つシリコンを使用する場合には、RF誘電界の周波数をkHz領域あるいはそれ以下に落とすことにより誘電界を透過させると良い。

また、天井部の厚さを小さくしても良い。

シリコン製天井部は、バイアスRF電源への回帰進路においていかなる損失をも生じさせない

40

誘電界の厚さがシリコン板の厚さよりもはるかに大きくかつシリコン板の背後に完全な導体制接地面があると仮定して、シリコン板平滑面上の通常電流に対するシリコン板の抵抗値を算出することにより、バイアス電源130へのRF回帰進路途中へのシリコン天井部110挿入によるRF電力損失の小さいことが明らかとなる。この抵抗値は、ウエハ支持部120の作用点におけるRF誘電率に比較してはるかに小さい値であり、従って、シリコン製天井部を挿入してもバイアスRF電力損失は殆ど生じない。

表面を流れる通常電流に対するシリコン板の抵抗値 $R_{s,lab}$ は、次式により算出される。：

$$R_{s,lab} = t (d / 2)^{-2/}$$

ここで、

$t = 0.0254$ mは、シリコン板の厚さ、

50

$d = 0.318 \text{ m}$ は、シリコン板において電流に影響する範囲の直径、

$= 0.30 \text{ m}$ は室温において30 の抵抗値を持つシリコンの誘電率を示す。

上記各値を上式に代入して R_{slab} の値が求められる。：

$$R_{\text{slab}} = 0.096$$

ウエハ支持部 120 の作用点における誘電率 Z を、図1に示される典型的平行電極型プラズマ反応装置を用いて（コイルアンテナから生じる 2.0 MHz プラズマ電源 RF 誘電界、及びウエハ支持部に供給された 1.8 MHz の RF バイアスにより）測定した結果、角度 50.1° において 38.7 であった。

作用点における真の誘電率は、：

$$Re(z) = 38.7 \cos(50.1^\circ (180/\text{deg})) \sim 24$$

10

シリコン製天井部の挿入により生じる RF 電力の損失比は、：

$$R_{\text{slab}} / Re(z) = 0.096 / 24 = 0.004$$

であり、ごく微量である。従って、RF バイアス電源130へのRF回帰進路中にシリコン板を挿入しても、抵抗値は殆ど増加しない。

プラズマDCシースの厚さは天井部とウエハとのショート回避するのに十分なだけ小さい。

プラズマの周辺部には、イオン密度がプラズマイオン密度から急激に0になる場所、すなわちシースが存在する。仮にウエハ表面上のシースがチャンバ-天井部のシースと接触すると、チャンバ-内にはプラズマが存在しなくなる。高電圧プラズマDCシースの厚さ S は次式により算出される。：

20

$$S = (2^{1/2} / 3) [(\epsilon_0 \cdot T_e) / (e \cdot n_e)]^{1/2} (2 \cdot V_0 / T_e)^{3/4}$$

ここで、

$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-14} \text{ farads/cm}$ は、自由空間における電子許容量、

$T_e = 5 \text{ eV}$ は、マクスウェル分布を仮定した場合における電子の平均温度、

$e = 1.6022 \cdot 10^{-19} \text{ coulomb}$ は、電荷、

$n_e = 5 \cdot 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ は、シース近傍におけるプラズマ中の平均電子密度、

$V_0 = 300 \text{ Volts}$ は、プラズマシース上のDC電圧を示す。

上記各値を上述の式に代入し、：

$$S = 0.04 \text{ cm}$$

を得る。従って、プラズマシースの厚さは、ウエハと天井部との距離に対して極めて小さく、上部と下部のショートは殆ど起こり得ない。

30

透過するRF電力の減衰が小さくなるような半導体製窓電極抵抗値の範囲は広い。：

半導体製窓を透過するRF誘電界の減衰による損失が少なくなるような半導体窓の抵抗値の範囲を特定するためには、半導体製窓の厚さ、RF誘電界の周波数、及び半導体製窓の厚さに対するRF誘電界厚さの最小比を特定しなければならない。第一の実施例として、半導体製窓の厚さ $T = 0.0254 \text{ meter}$ 、RF周波数 f は $2 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1}$ 、半導体製窓の厚さに対するRF厚さの最小比は $r = 5$ とする。このときの半導体製窓の最小抵抗値は、

$\mu = 4 \cdot 10^{-7} \text{ Henri es/meter}$ が半導体製窓の透磁率であり、

$S = r \cdot T$ が半導体製窓におけるRF誘電界の厚さであると仮定して算出される。従って

40

、最小抵抗値 μ_{min} は次式により算出される。：

$$\mu_{\text{min}} = S^2 \cdot f \cdot \mu$$

上記各値を上式に代入し、最小抵抗値：

$$\mu_{\text{min}} = 12.735 \text{ cm}$$

を得る。

次に、上記と同じ実施例における最大抵抗値を算出する。以下の解析を行うに当たって、半導体製窓の背後にはRF誘電界を透過するような水平接地面が存在すると仮定する。また、RFバイアスプラズマ負荷誘電率における実測値の計算値に対する比、最低限許容できる損失量 L 、及びプラズマと有効に作用しうる半導体製窓直径 d を規定しなければならない。この実施例におけるRFバイアスプラズマ誘電率実測値の比 R は、：

50

$$R = - 2 5、$$

許容可能な損失量は (1 0 0 % = 1 として)

$$L = 0 . 0 1$$

プラズマと有効に作用しうる半導体制窓の直径は、プラズマが有効に作用する範囲 A が $A = (d / 2) ^ 2$ により算出されることから、

$$d = 0 . 3 1 8$$

である。

最大抵抗値 R_{max} は次式により算出される。：

$$R_{max} = L \cdot R \cdot A / T$$

上記各値を上式に代入し、：

$$R_{max} = 7 8 . 1 7 2 \quad - \text{cm}$$

を得る。

従って、本実施例において半導体制窓に許容される抵抗値の範囲は 1 2 . 7 3 5 - cm から 7 8 . 1 7 2 - cm である。

第二の実施例では、半導体制窓の厚さを 1 0 分の 1 の $T = 0 . 0 0 2 5 4 \text{ meters}$ とする。このとき、 R_{min} は 0 . 1 2 7 - cm に減少し、かつ R_{max} は 7 8 1 . 7 1 9 - cm に増大する。

第三の実施例は、第二の実施例に準じるが、RF 誘電界の周波数を 1 0 0 K H z ($f = 0 . 1 \cdot 1 0 ^ 6 \text{ s}^{-1}$) とする。このとき、 R_{min} は 0 . 0 0 6 - cm に減少するが、 R_{max} は 7 8 1 . 7 1 9 - cm で (第二の実施例と) 変わらない。

第四の実施例は、第一の実施例に準じるが、誘電界の周波数を 1 0 M H z ($f = 1 0 \cdot 1 0 ^ 6 \text{ s}^{-1}$) とする。このとき、 R_{min} が 6 3 . 6 7 5 - cm に増大する一方で R_{max} が 7 8 . 1 7 2 - cm に減少し、他の実施例に比較して抵抗値の許容範囲が狭くなる。

上述のように、抵抗値の許容範囲は広いことがわかった。半導体制窓が厚さ 2 . 5 4 cm のシリコン板で、かつ RF 誘電界の RF 周波数が 2 M H z の場合において、望ましい抵抗値は 3 0 - cm である。

発明の別の実施形態

図 1 の実施形態においてはシリコン製天井部 1 1 0 が接地されていたが、図 4 の実施形態においては RF 電源 1 3 0 より出力された電力が電力分配器 1 6 0 によってウエハ支持部 1 2 0 とシリコン製天井部 1 1 0 とに分配されている。接地回路を進路を設けるために、側壁部 1 0 5 は接地された導体とする。図 5 においては、シリコン製天井部 1 1 0 はウエハ支持部 1 2 0 のものとは別個に設けられた RF 電源 1 6 5 により、インピーダンス整合回路 1 7 0 を通じて制御される。また、図 1 の実施形態においては単独のコイルが誘電アンテナ 1 4 5 として作用しているが、図 6 においては誘電アンテナ 1 4 5 がウエハ中心部上の内部コイル 1 7 5 及びウエハ端部上の外部コイル 1 8 0 からなり、かつ個別に制御される複数個 (この場合 2 個) の誘電コイルにより形成されている。図 6 の実施形態においては、内部及び外部コイル 1 7 5、1 8 0 は、それぞれ別個のプラズマ源 RF 電源 1 8 5、1 9 0 により制御される水平な同心状のコイルである。2 個の RF 電源 1 8 5、1 9 0 を異なる特性を持つ電力で作動させることにより、チャンパー 1 0 0 内のプラズマにバリエーションを持たせることができる。図 6 の実施形態の代表例においては、内部及び外部コイルはそれぞれ 9 回巻きとしている。平行直列コンデンサ 1 9 5、2 0 0 をそれぞれ内部コイル 1 7 5 の入力側、出力側端部に接続し、かつ平行直列コンデンサ 2 0 0、2 1 0 をそれぞれ外部コイル 1 8 5 の入力側、出力側端部に接続することにより、一定のインピーダンス整合が実現される。

一実施例においては、プラズマ源 RF 電源 1 5 5 は 2 . 0 M H z、2 6 0 0 W a t t、バイアス RF 電源 1 3 0 は 1 . 8 M H z、1 6 0 0 W a t t を出力し、C2F6 ガスは 1 0 0 c c のアルゴンとともに 3 0 s c c m でチャンパー 1 0 0 内に供給され、チャンパー 1 0 0 内の圧力は 6 . 5 m T o r r、シリコン製天井部 1 1 0 の温度は 2 0 0 に管理される。この条件下において、内部コイル 1 7 5 に接続された平行直列コンデンサ 1 9 5、2 0 0 はそれぞれ 8 . 1 9 6 9 9 n a n o F a r a d s、2 . 1 2 6 3 1 n a n o F a r a d s

10

20

30

40

50

の電気容量を有し、一方、外部コイル180に接続された平行直列コンデンサ205、210はそれぞれ4.45572 nanoFarads、1.09085 nanoFaradsの電気容量を有する。

内部あるいは外部コイルのどちらか一方をショートさせることにより、もう一方の入力側インピーダンスを計測することができる。上記の条件下において計測を行った結果、内部コイル175における複合インピーダンスは複合平面角 - 12°において51、外部コイル180における複合インピーダンスは複合平面角 - 8.6°において51.8であった。従って、これらインピーダンスはRF電源185及び190の出力部における規定値50にほぼ整合されている。

図7の実施形態においては、側壁部105はシリコン製側壁部215に代えられており、その周囲に巻かれかつインピーダンス整合回路155を通じてプラズマ源電源150に接続された誘電コイル215により誘電結合を行っている。また、シリコン製側壁部215は接地されている。図4、図8の実施形態において示されるように、バイアス電源130より生じるRF電力を電力分配器160によりウエハ支持部120とシリコン製側壁部215とに分配しても良い。また、図5、図9の実施形態においては、シリコン製側壁部215に対して、整合回路170を通じて専用のRF電源165から電力供給を行う。また、図10の実施形態においては、図1におけるシリコン製天井部110及び上部コイルアンテナ145と、図7におけるシリコン製側壁部215及び側部コイルアンテナ220とを併設する。また、図11の実施形態においては、図8に示されたものと同様の電力分配器160を図10において適用し、バイアス電源130より供給された電力を側壁部215とウエハ支持部120に分配する。図12の実施形態は、図9の実施形態に対して図1の実施形態における上部コイルアンテナ145及びシリコン製天井部110を適用したものである。

図13A、13B、13C及び13Dはそれぞれ図1、4、5、及び6の実施形態において、水平シリコン製天井部110及び水平誘電コイルアンテナ145を半球状シリコン製天井部230及び半球状コイルアンテナ235に置き換えた場合を示している。

一実施形態において、半球状コイルアンテナ235は螺旋状に巻かれた形状である。図14は、半球状コイルアンテナ235を半球状天井部230頂点部付近から順に巻いていき、半球状天井部230の底部に達した後引き続き側壁部105周囲にも巻いている実施形態を示す。この実施形態においては、少なくともコイルアンテナ235に巻かれる側壁部105は、石英等絶縁体製あるいはシリコン等半導体製でなければならない。図15は、図10の実施形態における水平シリコン製天井部110及び水平コイルアンテナ145を図13Aに示されるような半球状シリコン製天井230及び半球状コイルアンテナ235に代えた場合の実施形態を示す。

図16は、プラズマ源RF電源150より生じた電力を、図6の実施形態における内部及び外部コイルアンテナ175、180に対して電力分配器250により分配する場合を示している。RF電力分配器は、コリンズらによりU.S.特許5349313号に開示されている。上記参照文のコリンズらによる出願中特許明細書において開示されているように、内部及び外部コイルアンテナ175、180間の電力比をコントローラ260により変化させ、ウエハ中心部上とウエハ端部上のプラズマイオン密度を均一化することができる。

図17Aは、図15の実施形態に準じ、かつプラズマ源電源150から生じるRF電力を電力分配器250により側部コイル220と半球状上部コイル235とに分配する場合の実施形態を示している。図17Bは、内部(上部)半球状コイル270及び外部(下部)半球状コイル280を半球状シリコン製天井部230上に配した場合の実施形態を示す。電力分配器250により、プラズマ源電源150から生じるRF電力を内部及び外部コイル270、280に分配している。

図17Bにおけるシリコン製天井部230及びウエハ支持部120は、図13A、13B、又は13Cのいずれかの実施形態と同様に配線されるものとする。図18は、プラズマ源RF電源から生じる電力を電力分配器250により図10における上部コイルアンテナ145と側部コイルアンテナ220とに分配する場合の実施形態を示している。

10

20

30

40

50

図19は、プラズマ源RF電源150から生じる電力を電力分配器250により上部コイルアンテナ145とシリコン製天井部110とに分配する場合の実施形態を示している。図19の実施形態においてウエハ支持部120は、接地される、あるいはインピーダンス整合回路135を通してバイアスRF電源130に接続される、のいずれかの形態を取りうる。図20は、プラズマ源RF電源150から生じる電力を電力分配器250により上部コイルアンテナ145とウエハ支持部120とに分配する場合の実施形態を示している。図20の実施形態においてシリコン製天井部110は、接地される、あるいは整合回路135を通して、独立して設けられたRF電源130に接続される、のいずれかの形態を取りうる。図21は図19に準じるが、図19における水平シリコン製天井部110及び水平コイルアンテナ145の代わりに半球状シリコン製天井部230及び半球状コイルアンテナ235を使用する場合の実施形態を示している。図22は図20に準じるが、図20における水平シリコン製天井部110及び水平コイルアンテナ145の代わりに半球状シリコン天井部230及び半球状コイルアンテナ235を使用する場合の実施形態を示している。

10

図23は、シリコン製天井部110及びウエハ支持部120がお互いにRF接地回帰部として作用し合っている場合の実施形態を示している。天井部110及びウエハ支持部120はそれぞれRF周波数 f_1 、 f_2 のRF電源300、305によりインピーダンス整合回路280、290を通して制御され、かつそれぞれRFフィルター320、325を通して接地されている。

分離フィルター310、315は、RF電源300、305のそれぞれについて、一方から生じるRF電力が他方に伝達するのを防ぐ作用を有する。RF接地フィルター320、325は、天井部110及びウエハ支持部120のそれぞれについて一方からチャンバー100内に放射されるRF電力を他方に接地回帰させる作用を有する。また同時にRF接地フィルター320、325は、天井部110及びウエハ支持部120のそれぞれについて供給されたRF電力が直接接地部にショートするのを防ぐ作用を有している。また特に、シリコン製天井部110とRF周波数 f_1 のRF電源300との間に接続されている分離フィルター310は、周波数 f_1 のRF電力を通過させ周波数 f_2 のRF電力を阻止する作用を有している。ウエハ支持部120とRF周波数 f_2 のRF電源305との間に接続されている分離フィルター315は、周波数 f_2 のRF電力を通過させ周波数 f_1 のRF電力を阻止する作用を有している。シリコン製天井部110と接地部との間に接続されている接地フィルター320は、周波数 f_2 のRF電力を通過させ周波数 f_1 のRF電力を阻止する作用を有している。ウエハ支持部120と接地部との間に接続されている分離フィルター325は、周波数 f_1 のRF電力を通過させ周波数 f_2 のRF電力を阻止する作用を有している。

20

30

インピーダンス整合回路280、290は前述のとおり一般的なタイプのものであり、電流電圧センサー、又は実際の入力インピーダンスを一般的な方法で計測することが可能なインピーダンス整合変換器（図示せず）を使用している。RF電源300、305の一方から生じるRF電力が他方のインピーダンス整合回路の作用を阻害しないようにするために、インピーダンス整合変換器とインピーダンス整合回路280、290への入力部との間に整合分離フィルター330、335をそれぞれ接続する。 f_1 整合回路280の入力部に設置された整合分離フィルター330は、周波数 f_1 のRF電力を通過させ周波数 f_2 のRF電力を阻止する作用を有している。 f_2 整合回路290の入力部に接続された整合分離フィルター335は、周波数 f_2 のRF電力を通過させ周波数 f_1 のRF電力を阻止する作用を有している。

40

上述の種々のRFフィルター310、315、320、325、330、335は、受容型リアクタンス素子（コンデンサ及び誘電素子）を使用して既知の技術により製作すれば良い。周波数 f_1 、 f_2 に大きな開き（例えば1オクターブ）がある場合には、種々のRFフィルター310、315、320、325、330、335は、周波数を適正な範囲にカットする作用を持ったハイパス及びロウパスフィルターとして作用する。逆に、周波数 f_1 、 f_2 の開きが小さい場合には、種々のRFフィルター310、315、320、32

50

5、330、335は、適切な周波数を中心とする周波数帯のバンドパス又はバンド遮断フィルターとして作用する。

図24は図23に準じるが、図23における水平シリコン製天井部110及び水平コイルアンテナ145の代わりに半球状シリコン製天井部230及び半球状コイルアンテナ235を使用する場合の実施形態を示している。

図25Aは、シリコン製天井部110の上部表面又は下部表面上に導体基板400を設置する場合の実施形態を示している。シリコン製天井部110の下部表面の電流分布を均一にするために、シリコン製天井部110に印加される電位（接地、又はRF電源のアウトプットのいずれか）が直接導体基板400にも印加される。導体基板400は、例えばアルミニウムや銅など電気伝導度の大きい材料により製作することが望ましい。さらに、上部コイルアンテナ145のRF誘電界により渦電流が生じてRF誘電界が導体基板400を透過できなくなってしまうことを防ぐために、導体基板400には十分な開口部を設けなければならない。例えば、図25Bの上面図において示されるように、導体基板400を、中心導体部410から放射状に伸びる複数の導体アーム部405を有する星型の形状とすれば良い。導体アーム部405間の空間又は開口部415の幅は、シリコン製天井部110の厚さに応じて決定するのが望ましい。

このような形状により、電流分布を均一にするとともに、シリコン製天井部110を透過する垂直電流を生じさせることができる。図25Bに示された導体アーム部は、製作を容易にする目的からセラミックス上にラミネートしたシリコン製ケースに封入するのが望ましい。図25Cは導体基板400が導体環状部420及びそこから中心点430に向かって伸びる複数の導体アーム部425からなる先とは別の実施形態を示している。導体アーム部425間の開口部435の幅は、図25Cに示されるように、シリコン製天井部110の厚さに応じて決定される。電氣的接触は、環状部420全体にわたってなされることが望ましい。また、導体環状部420は、RF誘電界の有効放射領域外に設置することが望ましい。

構造を完全なものにして10以上に及ぶ破壊防止安全因子を確立するためには、直径13インチ(32cm)のウエハに対してシリコン製天井部110は厚さ1インチ(2.54cm)とすることが望ましい。しかし、シリコン製天井部110の厚さを大幅に小さく(例えば数分の一インチ)するために、図26において、シリコン製天井部110及び導体基板400とセラミックス板等の支持基板500とを接着する方法が示されている。上部誘電コイルアンテナ支持部147は、支持基板500上に設置されている。シリコン製天井部110の温度制御を行うために、ヒーター層510がアンテナ支持部147上に、さらに冷却板520がヒーター層510上に設置されている。図27は、セラミックス等高強度の材料を用いてアンテナ支持部147を製作し、かつシリコン製天井部110及び導体基板400を直接アンテナ支持部147に接着することにより、支持基板500とアンテナ支持部147の機能を1つにまとめる方法を示している。

図28は、例えばアルミニウム又は銅等の導体からなる、アンテナ支持部147による一実施形態を示している。この実施形態においては、絶縁体材料146が誘電コイルアンテナ145巻部と導体製アンテナ支持部147との間に配されている。コイルアンテナ145により生じるRF誘電界が導体製アンテナ支持部147によって妨げられるのを防ぐために、導体製アンテナ支持部147の下面147aに溝型開口部550を設け、そこにアンテナ145の各ターンを入れ込むようにする。図28における導体製アンテナ支持部147は、シリコン製天井部110の支持基板及び導体基板として使用しても良く、この場合にはシリコン製天井部110を直接図28における導体製アンテナ支持部147に接着する。しかし、図28におけるシリコン製天井部110と導体製アンテナ支持部147との間に星型形状の導体基板400を挿入する方が、より望ましい。図29は、図6又は16に示された内部及び外部コイルアンテナ175、180それぞれを入れ込むために、2つの広幅同心環状開口部560、565を有する導体製アンテナ支持部147による別の実施形態を示している。環状開口部560、565は、アンテナ支持部の下面147aに開口しているので、RF誘電界が妨げられることはない。この実施形態

10

20

30

40

50

においては、図 2 8 のように、導体制アンテナ支持部は、シリコン製天井部 1 1 0 の導体基板として（星型形状導体基板 4 0 0 の代わりに）、かつシリコン製天井部 1 0 0 の支持基板として（支持基板 5 0 0 の代わりに）使用することができる。しかし、導体制アンテナ支持部 1 4 7 とシリコン製天井部 1 1 0 との間に星型形状の導体基板 4 0 0 を挿入し、これをシリコン製天井部 1 1 0 とともに導体アンテナ支持部 1 4 7 に接着する方が、より望ましい。

これまでは、上部コイルアンテナ 1 4 5 を、1 個の同心状螺旋巻、あるいは内部及び外部同心状螺旋巻 1 7 5、1 8 0 からなるものとして述べてきた。図 3 0 A、3 0 B、及び 3 0 C は、上部コイルアンテナ 1 4 5 がとりうる非同心状巻形状を示している。特に、図 3 0 A においては、周囲全般が等電位となるような低誘電率かつ低抵抗の外部環状導体部 6 0 0 を設けている。外部環状導体部 6 0 0 から内部方向に、複数の螺旋状導体部 6 1 0 が伸びており、中心点 6 2 0 において連結している。（RF 電源 1 5 0 より生じる）プラズマ源 RF 電力が、外部導体 6 0 0 と中心点 6 2 0 とに供給されている。図 3 0 B における螺旋状導体部 6 1 0 は水平平板状であるが、図 3 0 C に示されるように、螺旋状導体部 6 1 0 が半球状になっている半球状天井部 2 3 0 を使用してもかまわない。本明細書開示の種々の実施形態において示される半球形状は、非線形、又は半球、又は円錐、又は円錐の一部分のように数種の弧を反復したもの、又は 2 つの異なる輻射線の組み合わせのいずれであっても（本明細書においてすでに述べたように）かまわない。

図 3 1 A、3 1 B 及び 3 1 C は、非同心状上部コイルアンテナの別の実施形態を示している。図 3 1 B は水平平板状の場合、図 3 1 C は半球状の場合を示している。複数のアーチ状導体アーム部 7 1 0 が外部環状導体部 7 0 0 から内部方向に、エンド 7 1 5 a、7 1 5 b、7 1 5 c まで伸びている。また、複数のアーチ状導体アーム部 7 3 0 が中心点 7 2 0 から外部方向に、エンド 7 4 0 a、7 4 0 b、7 4 0 c まで伸びている。図 1 6 の実施形態において行われていたように、分配器 2 5 0 の一方の出力からの RF 電力は外部環状導体部 7 0 0 とエンド 7 1 5 とに供給され、もう一方の出力からの RF 電力は中心点 7 2 0 とエンド 7 4 0 とに供給される。

誘電アンテナの導体部は、適切な 3 次元形状を選択して形成する。例えば、図 3 2 は、コイルアンテナ 1 4 5 の非水平又は 3 次元形状の一実施形態として、同一の導体材料からなる外部円筒形螺旋 8 0 0 及び内部円筒形螺旋 8 1 0 と呼ばれる二重同心円筒形螺旋巻を示している。図 3 3 は、図 3 2 に示された内部二重同心円筒形螺旋巻 8 2 0 及び外部二重同心円筒形螺旋巻 8 3 0 からなる二重同心円筒形螺旋巻を、図 1 6 の実施形態において、内部及び外部水平コイル 1 7 0、1 8 0 に代えて上部誘電アンテナとして使用する方法を示している。

図 3 4 は、図 1 における誘電アンテナ 1 4 5 における非水平形状の別の実施形態として、積層部 8 4 0 a、8 4 0 b、8 4 0 c からなる螺旋巻 8 5 0 を示している。

上述のように、ウエハ中心部とウエハ端部におけるプラズマエッチ加工不均一性を高めてしまう因子の一つとして、プラズマ反応ガス分布の不均一性が挙げられる。そのようなガス分布不均一性は、ガス導入口 1 3 7 からウエハ支持部脇にガス導入を行っているためにウエハ周辺部付近で比較的エッチャントガスが多く、一方、ウエハ中心部で比較的エッチャントガス少ないことに起因するものである。この問題に関しては、図 3 5 A、3 5 B、3 5 C、3 5 D 及び 3 5 E の実施形態において、シリコン製天井部 1 1 0 に中央ガス供給システムを設け、ウエハ中心部に対してウエハ上部よりエッチガスを導入することにより解決をはかっている。

図 3 5 D においては、厚さ 1 インチのシリコン製天井部 1 1 0 の上部表面に、深さ約 0 . 3 3 インチ、直径 3 . 5 インチの開口部 9 0 0 が形成されている。図 3 5 E に示されるように、開口部 9 0 0 の上部表面には、直径 0 . 2 0 インチ、深さがシリコン天井部 1 1 0 厚さの 8 0 % の孔 9 1 0 が 2 2 個対称的配置のもとに形成されることが望ましい。また、孔 9 1 0 と同心状で直径 0 . 0 3 0 インチの小孔 9 2 0 が、シリコン製天井部 1 1 0 の下部表面にレーザードリルによって形成されている。図 3 5 A 及び 3 5 B に示されるように、円盤形状のガス供給部 9 3 0 は、シリコン製天井部 1 1 0 上部表面に形成された開口部

10

20

30

40

50

900にぴったりと嵌合する構造となっている。ガス供給部930の下部表面には、ガス供給管を形成する深さ0.01インチ直径3.3インチの開口部940が形成されている。中央ガス供給口950は、ガス供給部930の中心部を通過して開口部940側に貫通している。ガス供給部の下部表面端部コーナ部分には、深さ0.143インチ中心方向への幅0.075インチのステップ960が形成されている。ステップ960は、その形状に合うように形成された環状テフロンシール970を嵌合する環状溝部となっている。テフロンシール970は、図35Cに示されるようなU型の断面形状であるものが望ましい。またテフロンシール970中に環状鉄線強化材975を設けることにより、テフロンシール970が強化される。

図35A-Eの中央ガス供給シリコン製天井部110は、電気制御装置260により電力分配器250を通じてそれぞれ制御及び調整される内部及び外部誘電コイルアンテナ175、180との併用により、図16の実施形態におけるシリコン製天井部110に適用することが可能である。この方法の利点は、図35A-Eの中央ガス供給シリコン製天井部110からウエハ表面全体に供給されるエッチャントガスの均一分布によって反応装置中心部と端部のエッチ均一性が向上すること、また、さらなるエッチ不均一性についても、上述コリンズらの出願に開示されている方法で制御装置260を使用して内部及び外部コイルアンテナ175、180への供給電力比率を適宜調整することによって大いに改善されることである。

その結果、微小寸法エッチングにおいてエッチング形状、エッチング選択性、及びエッチレートを損なわずに、ウエハ中心部 - 周辺部エッチ均一性をかつてない水準に高めることができる。

図36Aは、中央ガス供給シリコン製天井部110について、プラズマから保護するためにより望ましい実施形態を示している。この実施形態においては、シリコン製天井部110の開口部900の環状エッジ部分に沿って、ショルダー980が配置されている。ショルダー980上にはシリコンウエハ985が配置され、このシリコンウエハ985がシリコン天井部110上部の開口部900とガス供給部930下部の開口部940の2つにチャンバーを分割している。シリコンウエハ985は、シリコン製天井部110のガス供給孔910の脇に配置された複数の貫通ガス供給孔986を有している。このようにシリコンウエハ985を挿入することにより、チャンバー内のプラズマイオンが孔920を通過して上方に拡散しガス供給部930に至る直通路を除去することができる。すなわち、ガス供給部930をプラズマの攻撃から保護するのに適している。ガス供給部930は、半導体、又はRF誘電界を余り減衰させないような絶縁体、又はその直径が誘電アンテナの空間部の直径よりもかなり小さい場合にはステンレス鋼等導体いずれかにより製作する。図35A-E及び図36Aの実施形態においては、ガス供給孔910、920は天井部110の中心部付近にまとめられている。しかし、必要に応じて孔910、920を中心部から端部へと配置、あるいは中心部でなく端部にまとめて配置する実施形態をとってもかまわない。

ガス供給孔910、920が天井部110の端部付近に配置されている実施形態は、図36Bに示されている。

図37Aは、例えば図1等水平シリコン製天井部110を使用している実施形態に対して、上部誘電アンテナ145とシリコン製天井部110との間に、絶縁及び接地されたファラデーシールド990を挿入する場合の実施形態を示している。ファラデーシールドは、図37Bの上面図に示されるような最も一般的な形状で、従来、誘電アンテナ145とプラズマとの誘電結合を減少させるのに使用されてきたものを使用する。図38Aは、例えば図13A等半球状シリコン製天井部230を使用している実施形態に対して、上部誘電アンテナ145とシリコン製天井部230との間に、絶縁及び接地されたファラデーシールド990を挿入する場合の実施形態を示している。図38Bは、円筒形側壁半導体窓電極215及び円筒形側部誘電アンテナ220を使用している図7-9の実施形態に対して、誘電アンテナ220と円筒形側壁半導体窓電極215との間に、円筒形ファラデーシールド990を挿入する場合の実施形態を示している。

10

20

30

40

50

図39Aは、上記プラズマエッチング反応装置各部品について、その望ましい配置を示したものである。図39Bは、上部コイルアンテナとしての作用を有し、かつ水等クーラントで内部を満たしているチューブ形状の導体の断面図である。

上記各実施形態においては、半導体窓をRF電源又は接地部等電位を有する部分と接続し、半導体製窓を電極として使用していた。しかし、そのような電気接続及び、半導体製窓の電極としての使用は、必ずしも必要なわけではない。

事実、半導体製窓は、電極として使用されずに電気的接続のない状態に置かれてもかまわないのである。しかし必要なしといえども、電極として使用するには確実に利点がある。まず第一の利点は、半導体製窓の半導体材料（例えばシリコン）は、従来の典型的プラズマ装置の天井部に使用されてきた他の材料（例えば石英又はアルミニウム）に比べて汚染源になりにくいということである。第二の利点は、半導体製窓がフッ素のスキャベンジャーとして作用することである。すなわち、半導体製窓は誘電アンテナのシールドとして作用すると同時にフッ素のスキャベンジャーとして作用するものである。

上述の実施形態の中には、半導体製窓電極及び上部コイル誘電体をチャンパー内部に設置するように修正を加えることのできるものがある。この場合、半導体製窓電極はチャンパーの囲いの一部ではなく、囲いの天井部の下に設置されるものである。図40は、図1、4-12、16、18-20、23及び37Aの実施形態において示された水平半導体製窓電極の代わりに、チャンパー100内部において、チャンパー天井部106から分離する形でその直下に水平半導体窓電極110及び水平誘電アンテナ145を設置する場合の実施形態を示している。図41Aは、図13A-15、17A、17B、21、22、24及び38の実施形態において示された半球状半導体製窓電極の代わりに、チャンパー100内部において、チャンパー天井部106から分離する形でその直下に半球状半導体製窓電極230及びそれに一致する形状の誘電アンテナ235を設置する場合の実施形態を示している。図41Bは、図7-9の実施形態において示された円筒形半導体製窓電極の代わりに、チャンパー100内部に円筒形半導体製窓電極230及び円筒形誘電アンテナ235を設置する場合の実施形態を示している。

上記実施形態における半導体製窓は単一構造体として示されていたが、複数の部品に分割してもかまわない。特に、図42及び43においては、（例えば図1又は40に示された水平半導体製窓電極110に準じる）水平半導体製窓電極110が中心円盤部110a及び円盤部110aの周囲に同心状に配置された端部環状部110bから成り立っている。円盤部110a及び環状部110bは、シリコン又はその他上述の半導体等、同一半導体材料で製作するのが望ましい。一実施形態として円盤部110a及び環状部110bに対して適宜異なるレベルのRF電力を供給することにより、中心部と端部のエッチング性の比が改善される。この方法は、1つのRF電源150から分配器160に電力を供給し、そこから円盤部110a及び環状部110bにRF電力を分配することにより実現される。この方法においては、RF接地部（図42には図示せず）に接続された導体側壁部等、第3の端子（例えば接地された電極）が必要となる。一例として、ウエハ中心部付近のエッチレートがウエハ端部付近に対して大きい場合、電力分配器160は半導体製電極の中心円盤部110aに対してより多くの電力を供給し、一方、周辺環状部110bに対しては電力供給を少なくする。さらに、中心部と端部のエッチ性を改善するためには、図6、13D、16又は17Bにおける分割内部及び外部誘電アンテナ部品が分割半導体製窓電極110a、110bにそれぞれ接続されることが望ましい。特に図42においては、図16において示された内部及び外部誘電アンテナ175、180を半導体製窓電極の中心円盤部110a及び端部環状部110bに接続せる実施形態を示している。図16において示されるように、電力分配器250は、内部及び外部誘電アンテナ175、180にそれぞれ接続したRF電力アウトプットを有する。

図44は、図42に準じ、かつ分割型半導体製窓電極が弧状あるいは半球状の形状である場合の実施形態を示している。図44において、半導体製窓電極中心円盤部110aに相当するものは半球状部中心部品であり、周辺環状部110bがに相当するものは半球状部外部部品及びそれと一体の円筒形基底部である。図45は図44の実施形態を修正したも

10

20

30

40

50

ので、半球部の曲率を小さくしたために中心円盤部 110a が事実上水平となり、環状部 110b が事実上円筒形側壁となっている。

以上、図 42 - 45 の電力分配器に必要とされる第 3 の端子を接地された側壁としてきたが、これを半導体製窓の周辺環状部 110b とし、RF 電力を半導体製窓の中心円盤部 110a とウエハ支持部 120 等他の物体とに分配するように変更を行っても良い。図 46 及び 47 はそれぞれ図 42 および図 44 にこのような修正を加えた場合を示している。図 45 の実施形態に対してこのような修正を加えた場合には、図 13B の実施形態と同様のものになる。図 46 及び 47 の実施形態においては、電力分配器 250 の RF 電力アウトプットが半導体製窓の中心円盤部 110a 及びウエハ支持部 120 にそれぞれ接続され、半導体製窓の周辺環状部 10b が接地されている。

半導体製窓電極におけるプラズマ相互作用有効領域は、半導体製窓とウエハ/ウエハ支持部とのプラズマ相互作用有効領域比を変化させることにより調整可能である。この領域比には 3 種類が存在する。：

(1) 対称形：プラズマ相互作用有効領域がほぼ同じ（領域比が約 1）であり、ウエハと半導体製窓電極は同一のプラズマ RF 電流密度及び、RF 及び DC シース電圧を有する；

(2) 半対称形：領域比が 1 から因子により 2 及び 4 までの範囲であり、小領域電極における電流密度及び、RF 及び DC シース電圧が大領域電極のものより大きく、その差は領域比の増大に伴ってますます広がっていく。；

(3) 完全非対称形：領域比が 2 から 4 の範囲を超えており、電流密度及び、RF 及び DC シース電圧は領域比が増大しても殆ど変化せず、飽和状態に達している。

最後のケース（ケース 3）においては、半導体製窓電極又はウエハ/ウエハ支持部のいずれか、プラズマ相互作用有功領域の小さい方に、より大きなシース電圧降下及び RF 電流密度が見られる。RF 電流密度及びシース電圧降下が大きくなると、相互作用領域が減少した方の部品（半導体窓又はウエハ/ウエハ支持部）に印加される RF バイアスも増大する。半導体製窓に関してそのような現象が起こると、スカベンジャー物質のプラズマ中へのスパッタリング速度及び、半導体製電極表面上へのポリマー形成速度に影響を及ぼす。また、ウエハ/ウエハ支持部に関してそのような現象が起こると、通常バイアス RF 電力により影響される加工パラメータ、例えばエッチレート、エッチ形状、及びエッチ選択性等に影響を及ぼす。

2 以上の電極を有する反応装置内において、プラズマ相互作用有功領域比を調整する場合にも同様の原理が適用される。例えば図 23 及び 24 の実施形態において実際に、4 個の電極を、1 つの周波数において操作されかつ接地されている 2 個の電極に置き換えている。作動/接地電極は、先の段落において概説したような作用を有する領域比を変更することにより、それぞれ解析される。

また別の例として、円筒形側壁部等第 3 の電極が接地部あるいは別個の RF 電源等に接続されている図 4 - 12 の実施形態においても、接地電極（例えば円筒形側壁部）と RF 電源に接続された他の端子との接地回帰電流配分が、それら端子間の位相差及びプラズマ相互作用有功領域比等動的因子により決定される場合を除けば、同様の解析が適用される。

2 つの RF 作動電極間において決定された位相差を一定に持続するためには、ケネス S、コリンズらによる U. S. 特許 5349313 号に開示された発明を適用するとよい。

一对の RF 作動要素（電極あるいは誘電アンテナ）間において必要とされる位相関係を確立することにより、それらに RF 電力を分配することが可能となる。例えば、分割された誘電アンテナ部品を有する図 16、17A、17B 及び 18 の実施形態においては、2 つのアンテナ部品間の電力分配を、それぞれに印加する RF 電圧を変化させることにより調整可能であることは上述のとおりである。しかし、電力分配はアンテナ部品それぞれに印加する RF 電圧の位相角を変化させることによっても調整可能である。同様に、分割された半導体製窓部品を有する図 42 - 47 の実施形態においては、2 つの半導体製窓部品間の電力分配は、それらにそれぞれ印加する RF 電圧を変化させることにより調整可能であることは上述のとおりである。しかし、電力分配は半導体製窓部品それぞれに印加する RF 電圧の位相角を変化させることによっても調整可能である

10

20

30

40

50

図48Aは、図1に類似であるが、上部半導体製窓電極の概念を発展させて円盤状半導体製天井部1020から下方に広がる半導体製スカート1010としたプラズマ反応装置であり、半導体製スカート1010と天井部1020とは絶縁体製の絶縁リング1022によりお互いに絶縁されるとともに、反応チャンパー内の加工領域1035内にプラズマを囲い込む作用を持つ全半導体製囲いを構成している。図1の実施形態と同様に、コイル誘電体1040が半導体製窓1020上に設置されている。スカート1010は円筒形としても良い。円筒形スカート1010と一体成形され、その基底部から内側に放射状に伸びている環状半導体脚部1011を随意に設けても良い。環状部1050は、脚部1011の内側放射エッジ部付近から、加工用ウエハ1065のウエハ支持部1060へと達し、
両者間に複雑形状の高形状比溝を形成している。ウエハ支持部1060は静電支持部を有
することが望ましい。環状部1050を設置する目的の一つは、ウエハ支持部1060付
近のプラズマが狭い(高形状比)溝又は通路1051を通過して加工領域1035からポン
ピングアニユラス107に到達するまでに、通路に沿った壁面に再結合させることであ
る。別の実施形態として、環状部1050を重なり隔壁構造として溝1051を複雑な曲
がった形状とすることにより、ポンピングアニユラス1070に移動するプラズマイオン
をそれに沿って流動させるようにすることができる。

10

ポンピングアニユラス1070は、ウエハスリットバルブ1075を貫通して加工領域1035へと通じており、また、ポンプ1080により吸引される。スリットバルブ1075からのプラズマ漏洩を防止してプラズマイオンと内部表面との再結合を促進するために
、スリットバルブ1075の形状は、可能な限り狭い開口部を有する高形状比のものにする。

20

図48Aに示される望ましい一実施形態においては、半導体製囲い1030はチャンパーの真空境界となっている。また、金属製真空囲いの中にそのような半導体製囲いを設置し、半導体製囲いそれ自身は真空境界となさない方法をとることも可能である。後者の実施形態は、従来技術における反応チャンパーに適用すると有効であろう。

図48Aの全半導体製加工チャンパー囲いを使用すると、いくつかの利点がある。第一に、加工領域1035を囲っている全半導体製表面は、ポリマー堆積による保護の必要性がなく、プラズマ加工中において露出したままでかまわない点が挙げられる。なぜならば、プラズマと半導体表面との相互作用によりウエハのプラズマ加工に対する有害物質が生成
されることがないためである。また、この相互作用による副生成物は揮発性で、ポンプ1080によって容易に排気される。加工領域1035を囲っている全半導体製表面を保護する必要性がないということは、表面清掃のために反応装置操業を中止する必要性がないということであり、これは大きな利点である。

30

加工領域1035を囲っている表面上へのポリマー堆積を防ぐには、2つの方法がある。第一の方法は、この表面をポリマー凝集開始温度よりも高い温度に保持する方法である。そのために、天井部1020及びスカート1010は、例えば半導体等、比較的高い熱伝導率を有する材料で製作する。または半導体以外の材料、例えば窒化シリコン、窒化アルミニウム、石英、又はアルミナ等絶縁体としても良い。半導体材料を使用する実施形態においてはシリコンを使用することが望ましいが、シリコンカーバイド等他の半導体材料を使用してもかまわない。

40

シリコンの化学反応を含むプラズマ加工(例えば二酸化シリコンのエッチング)に対してはシリコンの使用が望ましい。なぜならば、その工程においてシリコン製窓1030は、ウエハのエッチレートと比較してごくゆっくりとしたペースでエッチングされる(ウエハ表面において二酸化シリコンが1 μ mエッチングされる間にシリコン製囲いは約3 エッチングされる)からである。つまり、シリコン製囲い1030表面がある程度の量(例えば1mm)エッチングされるまでには、約35000枚のウエハ加工が可能である。半導体製窓1030のエッチング許容量は、2つの因子によって決定される。:(a)装置構造強度上要求される囲い1030の厚さ、及び(b)コイルアンテナより生じてチャンパー内に導入されるRF誘電界に対して影響を及ぼすような厚さ変化量、である。もし本明細書上述の半導体材料選択指針に従うならば、厚さ変化量が10%以下の場合にはウエハ

50

の加工に影響を及ぼすようなRF誘電界の変化は生じないと考えられる。

アルミニウム又はポリシリコンのプラズマエッチ加工のように塩素化学反応を含む加工において、シリコン製壁は非常に速く（その速度はプラズマ加工の基本的パラメータ制御方法によって決定される）エッチングされるので、このような場合には、シリコン又は半導体材料を適用することが最善策とはいえない。しかし、発明の実行に当たっては（もしそれ自身にRF電位が印加されていなければ）加工領域囲い1030に対して必ずしも半導体材料を使用する必要はなく、窒化シリコン等、高強度な非半導体材料を代わりに使用しても良い。

半導体天井部1020の温度を（例えばポリマー析出を防止するための）設定温度に保持する目的から、接触型又は非接触型の温度制御装置を設置しても良い。

10

図面には非接触型温度装置が示されているが、この装置は、天井部1020上の誘電コイル1040を内包する絶縁層1112の上に設置されたヒーター層1110、及び断熱エアギャップ1114を隔ててヒーター層1110上に設置された冷却板1120を有している。ヒーター層1110は従来型の電気加熱素子（図48Aには図示せず）を有し、一方、冷却板1120は内蔵水冷ジャケット1122を有している。冷却板1120の冷却能力は天井部1020のプラズマ加熱を冷却するのに十分なものであり、ヒーター層1110の加熱能力は冷却板1120による冷却を相殺するのに十分なものとする。また、従来型の温度センサー/制御装置（図48Aには図示せず）により、ヒーター層1110の抵抗加熱素子に流れる電流の制御を行う。

半導体製スカート1010の温度を（例えばポリマー析出を防止するための）設定温度に保持する目的から、接触型又は非接触型の温度制御装置を設置しても良い。図面には接触型温度装置が示されているが、この装置は、スカート1010の周回上に、必要に応じて設置された絶縁層1112aを通じて、接触するように設置されたヒーターリング1110aを有している。また、冷却リング1120aがスカート1010に接触して設置されている。必要に応じて、冷却リング1120aとスカート1010の間に絶縁層を設けても良い。ヒーターリング1110aは従来型の電気加熱素子1110bを有し、一方、冷却リング1120aは内蔵水冷ジャケット1122aを有している。冷却リング1120aの冷却能力はスカート1010のプラズマ加熱を冷却するのに十分なものであり、ヒーターリング1110aの加熱能力は冷却リング1120aによる冷却を相殺するのに十分なものである。

20

30

また、従来型の温度センサー/制御装置（図48Aには図示せず）により、ヒーターリング1110aの抵抗加熱素子に流れる電流の制御を行う。

加工領域1035を囲う表面上へのポリマー析出を防ぐ第二の手段は、プラズマ中イオンと表面とのイオン衝突を十分に増大させるためのRF電位をその表面に印加することである。このときのイオン衝突力は、表面上からのポリマー離脱が析出を上回るのに十分なものでなければならない。そのためには円盤状天井部1020及び円筒形スカート1010が、供給されるRF電力に対して電極として作用するだけの導電性を有していなければならない。従って、天井部1020及びスカート1010は半導体とすることが望ましい。一方、金属製とすると、加工領域1035中のプラズマに暴露されて、チャンバー及びウエハを汚染する副生成物を生じてしまうので、好ましくない。また、天井部1020中の導体が、誘電コイル1040により生じたRFプラズマ源電力の天井部1020透過を妨げることからも、天井部1020及びスカート1010に対しては導電性（金属）材料よりも半導体を使用することが望ましい。

40

発明の実施に当たっては、ポリマー析出を防ぐ2つの手段（温度制御、及び窓電極へのRF電位印加によるスパッタリングの促進）を併用することが望ましい。半導体製囲い1030へのRF電位印加によって表面へのイオン衝突又はスパッタリングを促進すると、好都合なことに、表面へのポリマー析出阻止に必要な温度を低める効果がある。例えば、従来技術においてポリマー析出阻止のために通常必要とされていた温度は265であったが、高バイアス電圧によって100にまで低下することができる、すなわち本発明により、従来よりも低温での操業が可能となり、かつ加工領域1035中の表面へのポリマー析

50

出を防ぐことが可能となる。

逆に、半導体製囲い1030の表面温度を上昇することにより、表面へのポリマー析出を防ぐために必要なイオン衝突力又はスパッタリング度数を低下することができる、とも言える。例として、半導体製囲い1030を200に保持した場合には、半導体製天井部1020に印加されるRF電力が0.1MHzにおいて500W、ウエハ支持部1060に印加されるバイアス電力が1.8MHzにおいて1400W、コイルアンテナ1040に印加される電力が2.0MHzにおいて3000Wとなる。本発明におけるこの最良の実施形態においては、誘電アンテナとしてコイルアンテナ1040を使用しているが、他の型のアンテナを使用しても良く、必ずしもコイルアンテナに限定されない。

上述したように、ウエハ支持部1060におけるプラズマ漏洩は、環状部1050すなわち高形状比の開口部及び/又は複雑形状通路を配することによって防がれる。また、上述のように、スリットバルブ1075の形状についても、同様の目的から高形状比の開口部とする。側壁部とウエハ支持部との間にあり環状部1050に覆われている隙間、のみならず加工ガス注入口等他の種類の通路をも含めて、そのような高形状比の開口部は、プラズマイオン漏洩を自ずと防いでいる。しかしスリットバルブ1075は、半導体ウエハ1065の出入りが簡便な大きさとする必要があり、その結果そこからのプラズマイオン漏洩を引き起こしやすい。そこで、プラズマが加工領域1035からスリットバルブ1075等大きな隙間を通して漏洩してくるのを防ぐために、スリットバルブ1075界面上の対向しあう位置に磁性リング2130、2135等磁石を必要に応じて設置して、スリットバルブ開口部を横切る磁束を生じさせている。スリットバルブ1075に接近するプラズマイオン、電子又は荷電粒子は、通常磁束線に沿ってかつそれ自身の速度に応じて加速され、その結果、スリットバルブ1075中で進路から外れて側壁部に衝突し、ポンピングアニユラス1070へと到達するまでに再結合によって消滅してしまう。

このような現象により、イオンがスリットバルブ1075を通過する確率は磁石2130、2135の磁束密度、イオン及び粒子の電荷、重量及び速度に応じて低下する。複数の磁石を使用すると、開口部を横切る磁束を最大化するとともにチャンバー内をウエハ1065へと進行する磁束を最小化できる利点がある。磁石2130、2135はプラズマ中の最重量イオンに効果を及ぼすに十分な磁力を有していることが望ましい。開口部を横切る磁束密度は、例えば、プラズマ中の電子エネルギー、プラズマイオンエネルギー、プラズマ反応チャンバーの圧力、及びその他各種のプラズマ加工パラメーターにもよるが、約50ガウス又はそれ以上とする。一例を挙げると、チャンバーの圧力5~10mT、電子密度 $1 \sim 5 \times 10^{11} \text{ electrons/cm}^3$ において開口部に100~200ガウスの磁束密度を付与すると、磁石から2cmの距離におけるイオン飽和電流は約75%低下する。磁石は100又は少なくともキュリー温度以下に冷却されること、及び例えば高強度材料(窒化シリコン等)内に封入されてプラズマから遮断されることが望ましい。磁石2130、2135の別の実施形態について、本明細書の以下において説明する。

磁石2130、2135は、荷電-ニュートラルポリマー形成物質を含めた荷電-ニュートラルラジカル及び粒子がスリットバルブ1075を通過することを妨げない。従って、ポンピングアニユラス1070内にはポリマーが積層すると考えられる。ポンピングアニユラス1070内のそれらポリマーを捕獲及び制御するためには、スリットバルブ1075を通過してきたポリマー形成物質の析出温度よりも、ポンピングアニユラス1070を低温に保持しなければならない。

アルミニウム、陽極化アルミニウム、又はシリコンをプラズマスプレーしたアルミニウム等で製作されており、かつ冷却槽2155と熱的に結合されている着脱可能冷却ライナー2150により、ポンピングアニユラス1070が覆われていることが望ましい。この形態の特長は、ポンピングアニユラス1070の冷却ライナー2150上に積層しているポリマーがプラズマイオンによって破壊されず、プラズマ加熱に影響されず、かつスパッタされてチャンバー1030内に汚染物質を生じることがない点である。従って、冷却ライナー2150上に厚いポリマー析出層が形成されてもチャンバー汚染の危険はないと考えられる。その結果、冷却ライナー2150はごく長い周期でしか清掃、又は交換の必要が

10

20

30

40

50

なく、この点に大きな利点がある。ポリマー析出速度がきわめて小さく、ポンピングアニユラス表面に積層したポリマーについて、ウエハ30000～40000枚の加工に対して1回以下の除去しか必要ない場合には、冷却ライナー2150は必ずしも必要ではない。

環状部1050表面上へのポリマー積層を防ぐためには、環状部1050と熱伝導状態にある加熱槽2170及び冷却槽2175を含む従来型温度制御装置によって環状部1050の温度をポリマー析出温度以上に保持する。

本発明の別の実施形態によれば、それぞれ天井部1020の中心部及び端部に設置された中心部及び端部ガス供給口2200、2210は、独立して設置されたガス供給部2220、2225からプラズマ反応ガスを供給される。この形態においては、ウエハ中心部及びウエハ端部におけるガス流量及びガス混合比をそれぞれ調整することにより、ウエハ中心部とウエハ端部との加工不均一性を解消する。

すなわち、例えばガス供給部2220がウエハ中心部に対してある組成のプラズマ反応ガスのある流量において供給し、一方、ガス供給部2225はウエハ端部に対して別の組成のプラズマ反応ガスを別の流量において供給するものである。図面においてはガス供給部2220がウエハ中心部上部にある1本のガス導入管2220と接続されているが、ウエハ中心部上部に設置された分枝状ガス導入管あるいはシャワーヘッドを接続することによりウエハ中心部上のガス流を制御してもよい。また図面においては、ガス供給部2225が、側壁部又はスカート1010を貫通してウエハ端部へと放射状に広がる分枝状ガス導入管に接続されているが、天井部1020を通過してウエハ端部へと下方にあるいは環状部1050を貫通してウエハ端部上空へと伸びるガス導入管に接続することによりウエハ端部上のガス流を制御してもよい。

プラズマ源RF電力は、コイル端子2310、2320を通じて誘電コイル1040に供給される。バイアスRF電力は、支持部端子2330を通じてウエハ支持部1060に供給される。RF電力又は接地電位は、端子2340を通じて(円盤状天井部1020及び円筒形スカート1010を含む)半導体製囲い電極1030に供給される。本明細書においては、(例えば図1、5、19、又は23において示されたように)半導体製窓囲い1030、誘電コイル1040、及びウエハ支持部1060に対して個別にRF電力を供給するための種々の手段、又は(例えば図4、18、19、又は20において示されたように)一般RF電源によるRF電力を分配して供給するための種々の手段を開示してきたが、これらはすべて図48Aの実施形態に対して適用することが可能である。さらに、本明細書においては、(例えば図30A、30B、30C、31A、31B、31C、32、33、又は34において示されたように)種々の誘電コイル形状を開示してきたが、これらはすべて図48Aの実施形態に対して適用することが可能である。

このように、図48Aの実施形態は、3つの独立した電極、(a)ウエハ支持部160、(b)半導体製天井部1020、及び(c)半導体製スカート1010を有するものである。これら3つの「電極」はそれぞれ、その「電極」とプラズマとの必要とされる相互作用に応じて他の2つの電極よりも有効領域を大きくしても小さくしてもかまわない。そのようにして、3つの「電極」のうち1つの有効領域を他の2つに対して増大あるいは減少することにより、その電極におけるプラズマイオン流及びエネルギーは他の2つに対して異なる割合で配分することができる。特に、電極の有効領域を他の2つに対して小さくすると、そのプラズマイオン流及びエネルギーは他の2つに対して大きくなる。このようにして電極とプラズマとの相互作用を制御するための別の手段を得ることができ、例えば望ましい電極-プラズマ相互作用を実現するために必要なRFバイアス電力又は温度条件を緩和することができる。本発明の一実施形態における電極-プラズマ相互作用の望ましい一例として、2つの半導体製電極(例えばスカート1010及び天井部1020)を含めて半導体製囲い内側表面上への材料析出を防ぐことが望ましい。このようにして半導体製電極に汚染物質(例えばポリマー形成物質)が析出しない状態を保つと、電極から剥落した析出物によるウエハの汚染が防がれるとともに、電極が被覆されていない状態におかれているのでプラズマ加工化学反応への関与に際しても好都合である。例えば、電極がシリ

10

20

30

40

50

コン含有材料であり、かつプラズマ加工がフッ素含有加工ガスを使用する酸化シリコンエッチング加工である場合には、スパッタされたシリコン材料が電極からプラズマ中に供給され、フッ素をスカベンジすることができる。いずれの場合においても、必要なRFバイアス電力又は必要な電極温度は、ある「電極」に関する以下の3つのパラメータのうち1つ、あるいはいくつか、あるいはすべてを調整することによって条件が緩和される。：

(a) ある電極に供給されるRFバイアス電力、(b) その電極の温度、及び(c) 他の電極の有効領域に対するある電極の有効領域。すなわち、ある電極の温度をできるだけ低下し、かつその電極に供給するRFバイアス電力を最小とし、にもかかわらずその電極上への(ポリマー形成物質のような)材料析出を防ぎたい場合には、その電極の有効領域を縮小して電極のプラズマイオン流及びエネルギーを増大させることによってそれを達成すれば良い。この手段を用いれば、有効領域を設定することにより必要なRFバイアス電力及び温度を緩和して電極とプラズマとの適切な相互作用を実現することが可能である。

図48Aの実施形態において、誘電コイル1040をお互いが電気絶縁された内部及び外部誘電コイルに分割しても良い。例えば、そのような内部及び外部誘電コイルは、図52において内部及び外部誘電コイル2410及び2420として示されている。そのような内部及び外部誘電コイルを半導体製電極と併用しつつそれぞれ別個に操作するための種々の手段を(例えば図6, 16に示されるように)本明細書上記に開示してきたが、それらはすべて図48Aの実施形態を実行する場合に適用可能である。ウエハと天井部との距離が小さいような特殊な場合において外部コイルアンテナ2420を独自に制御すると、例えば外部誘電コイル2420に供給するRFプラズマ源電力を内部誘電コイル2410よりも減少させることにより、ウエハと天井部との距離が短いことに起因してウエハ端部に比べて小さくなっていたウエハ中心部上部のプラズマ密度が増大されるような点が有利である。

図48Aの実施形態においてはポンピングアニユラス1070の側部に位置する加工領域1035について種々検討を行ったが、図48Bにおいては円筒形スカート1010中心軸に平行でポンプ1080方向に対して下向きに位置する加工領域について検討を行っている。必要に応じて設置される環状磁石2130a、2135aは、加工領域1035からポンピングアニユラスへの下向きのプラズマ漏洩を防ぐ。図48Aの実施形態においては、プラズマ漏洩をより一層防ぐために開口部1075を比較的高形状比としていたので、漏洩したプラズマイオン又は電子は通路を完全に通過するまでに開口部1075の内部表面に衝突及び吸収されていた。プラズマ漏洩を減少させる別の手段としては、開口部1051を貫通し、かつ環状部1050とスカート1110底部との間に形成された複雑な形が挙げられる。図に示されるように、環状部1050とスカート1110底部とは重なり合った階層構造---重なり合った隔壁構造---をとっているため、そこを通過するプラズマは複雑形状通路に沿ってギャップ1051を通過することになり、その結果、プラズマが表面に衝突する確率が上昇する。

図48Aにおいては、円筒形スカート1010は円盤状天井部120と電気絶縁されているが、両者をそれぞれ端子2340及び2340aを通じて別個のRF電源に接続しても良い。そうすると、円筒形スカート1010の端子2340aに対してRF電位を印加することによりウエハ端部付近のプラズマ状態を制御し、かつそれとは別に、円盤状天井部1020の端子2340に別個のRF電位を印加することによりウエハ中心部付近のプラズマ状態を制御することができる。半導体製窓囲いにおけるお互いに電気絶縁された2つの部品のRF電位を制御するために本明細書中上記に開示してきた(例えば図42、46、10、11、又は12において示されるような)種々の手段は、すべて図48Aの実施形態を実行する際に適用可能である。

スカート1010、天井部1020、及びウエハ支持部1060は別個の電極として使用することができるので、そのうちの1つを他の2つに対して電氣的に接地し、接地されない2つについては同一の又は別個の電源により作動させることができる。例えば、図48Cに示されるように、周波数f1の第一RF電源3010は半導体製天井部電極1020に接続され、また、フィルター3020及び3030がそれぞれ周波数f2及びf3の結

10

20

30

40

50

合 R F 電力のインピーダンス整合回路 3 0 3 5 への還流を防いでいる。周波数 f_2 の第二 R F 電源 3 0 4 0 は半導体製天井部スカート 1 0 1 0 に接続され、また、フィルター 3 0 5 0 及び 3 0 6 0 がそれぞれ周波数 f_1 及び f_3 の結合 R F 電力のインピーダンス整合回路 3 0 6 5 への還流を防いでいる。周波数 f_3 の第三 R F 電源 3 0 4 0 はウエハ支持部 1 0 6 0 に接続され、また、フィルター 3 0 8 0 及び 3 0 9 0 がそれぞれ周波数 f_1 及び f_2 の結合 R F 電力のインピーダンス整合回路 3 0 9 5 への還流を防いでいる。図 4 8 C の実施形態は、必要に応じて 3 つの素子 1 2 0、1 0 1 0、又は 1 0 6 0 のいずれか 1 つを接地することにより実現される。

半導体製囲い 1 0 3 0 を 2 つのシリコン製部品 1 0 1 0、1 0 2 0 により製作すると製作が容易になる利点があり、より一層望ましい。

10

図 4 9 は図 4 8 A に準じるが、スカート 1 0 1 0 と天井部 1 0 2 0 とがお互いに電気絶縁されておらず、シリコン製の単一体部品である場合の実施形態を示す図である。

図 5 0 は、円盤状半導体製天井部 1 0 2 0 を内部中心円盤状部品 1 0 2 0 a 及び、下方に伸びた円筒形スカート 1 1 0 を有する端部環状部品 1 0 2 0 b に分割する方法を示す図である。図 4 9 の実施形態において示されるように、端子 2 3 4 0 及び 2 3 4 0 a にそれぞれ印加される別個の R F 信号によってウエハ中心部及びウエハ端部におけるプラズマ状態がそれぞれに制御される。半導体製窓囲い 1 0 3 0 の分割された部品をそれぞれ別個に制御するための種々の手段を図 4 8 A の実施形態に関連して上述してきたが、これらの手段はいずれも図 5 0 の実施形態を実行する際に適用可能である。

図 5 1 は、半導体製窓囲い 1 0 3 0 をお互いが電気絶縁された 3 つの部品、(1) 天井部 1 0 2 0 の内部円盤状部品 1 0 2 0 a、(2) 天井部 1 0 2 0 の外部環状部品 1 0 2 0 b、及び (3) 環状部品 1 0 2 0 b と分割されたスカート 1 0 1 0、に分割する方法を示す図である。3 種の R F 信号がそれぞれ、端子 2 3 4 0 を通じて内部円盤状部品 1 0 2 0 a に、端子 2 3 4 0 a を通じてスカート 1 0 1 0 に、端子 2 3 4 0 b を通じて外部環状部品 1 0 2 0 b に印加される。

20

図 5 2 は、図 5 0 の実施形態において、独立した内部及び外部誘電コイルにより、ウエハ中心部及びウエハ端部上のプラズマ状態を別個に制御する方法を示す図である。内部及び外部誘電コイル 2 4 1 0、2 4 2 0 に接続されている端子 2 4 3 0、2 4 3 5、2 4 4 0、2 4 4 5 は、それぞれ別個に設置された R F 電源により、あるいは一般電源から生じる R F 電力を分配することにより作動させることができる。そのような内部及び外部誘電コイル 2 4 1 0、2 4 2 0 及び、それぞれ別個に操作される半導体製窓囲い 1 0 3 0 の部品を併用する (例えば図 4 2、4 3、又は 4 6 において示されるような) 種々の手段は、本明細書中上記に開示されているが、これらはすべて図 5 2 の実施形態を実現する際に適用可能である。

30

図 5 3 は、図 5 1 の実施形態において、分割型内部及び外部誘電コイル 2 4 1 0、2 4 2 0 を併用する方法を示す図である。

図 5 4 は、図 4 8 A の実施形態において、図 1 0 の実施形態と類似の手段により、半導体製スカート 1 0 1 0 の周囲に巻かれた円筒形側部コイル 2 6 1 0 を併用する方法を示した図である。プラズマ R F 源電力は端子 2 6 2 0、2 6 3 0 を通じて側部コイル 2 6 1 0 に供給される。

40

上部コイル 1 0 4 0 及び側部コイル 2 6 1 0 は、プラズマ中の R F 誘電界厚さの少なくとも 2 倍以上の距離をおいて設置されるのが望ましい。

側部コイル 2 6 1 0 の作動を好適化するために、必要に応じて図 7、8、及び 9 の実施形態と類似の手段により、天井部 1 0 2 0 上に設置された誘電コイル 1 0 4 0 を取り除いても良い。その場合、スカート 1 0 1 0 は円筒形半導体製窓囲い 1 0 3 0 に使用されているものと同様の半導体材料で製作されなければならないが、天井部 1 0 2 0 は (例えば窒化シリコン等) 絶縁体製としてもかまわない。図 7、8、又は 9 に示された、半導体製窓囲い、側部コイル、及びウエハ支持部に対して R F 電力を個別に供給する技術は、すべて図 5 4 の実施形態を実行する際に適用可能である。

図 5 5 は、半導体製窓囲い電極 1 0 3 0 が天井部 1 2 0 及びスカート 1 0 1 0 に分割され

50

ている図48Aの実施形態において、半導体制スカート1010の周囲に巻かれた円筒形側部コイル2610を併用する方法を示した図である。図10、11、及び12に示された、分割型天井部部品、及び上部と側部の誘電コイルに対してRF電力を個別に供給する手段は、すべて図55の実施形態を実行する際に適用可能である。

図56は、半導体制窓囲い電極1030が内部円盤状部品1020a及び、スカート1010と一体の外部環状部品1020bに分割されている図50の実施形態において、スカート1010の周囲に巻かれた側部コイル2610を併用する方法を示した図である。図10、11、及び12に示された、分割型天井部部品、及び上部と側部の誘電コイルに対してRF電力を個別に供給する手段は、すべて図56の実施形態を実行する際に適用可能である。

10

図57は、半導体制窓囲い電極1030が内部円盤状部品1020a及び外部環状部品1020b及びスカート1010に分割されている図51の実施形態において、スカート1010の周囲に巻かれた側部コイル2610を併用する方法を示した図である。

図58は、図48Aの実施形態における天井部1020を半球状に修正する方法を示す図である。半球形状は、端部から中心部に向かって順に径が拡大するような多径半球とすることが望ましい。また必須ではないが、天井部誘電コイル1040の形状は、天井部1020の半球形状に一致させることが望ましい。同様に、図59は、図49の実施形態における天井部1020を半球状に修正する方法を示す図である。また同様に、図60は、図50の実施形態における天井部1020を半球状に修正する方法を示す図、図61は、図51の実施形態における天井部1020を半球状に修正する方法を示す図、図62は、図52の実施形態における天井部1020を半球状に修正する方法を示す図、図63は、図53の実施形態における天井部1020を半球状に修正する方法を示す図、図64は、図54の実施形態における天井部1020を半球状に修正する方法を示す図、図65は、図55の実施形態における天井部1020を半球状に修正する方法を示す図、図66は、図56の実施形態における天井部1020を半球状に修正する方法を示す図、図67は、図57の実施形態における天井部1020を半球状に修正する方法を示す図である。

20

図68は、前述の図48Aの対向環状磁石2130、2135における磁界制御方式の第一の実施形態断面図である。図68Aにおいては、環状磁石は対向しあう逆極の端部どうしが一直線となるように配置されている。図68Bにおいては、逆極どうしが隣接して配置されており、対となった逆極が並列している。図68Cにおいては、逆極どうしが環状磁石2030、2035間の変位に対する鋭角対角線上に配置される。

30

図68D及び68Eはそれぞれ図68B、68Cに準じるが、逆極でなく同極どうしが並列している。発明の実行に際しては、スリットバルブ1075又は他の大きな開口部の直線状通路からの必須のイオン移動を可能とするような他の配列方法を用いても良い。

図48A - 68Cの実施形態においては、それぞれ異なる形状（例えば、円盤と円筒形、又は、円盤と半球）を持った天井部及びスカートに関して記述してきたが、これらを半球、多径半球、円筒形、円錐、頭部切断円錐等、弧の反復形状からなるそれぞれに異なった、あるいは同一の形状としてもかまわない。

回転対称形誘電アンテナに関して先述してきたが、このようなアンテナは発明の実施においては必ずしも必要ではなく、誘電結合RF電力をチャンパー内に透過させることが可能であればどのような形状であってもかまわない。すなわち、本明細書及び付記する請求項に言うところの誘電アンテナは、最低限RF電力をプラズマに結合することが可能でありさえすれば、プラズマに近接して設置されるいかなる電流搬送素子であっても良く、従ってコイルである必要性がなく、また反応チャンパー天井部に接して取り付けの必要性もなく、チャンパー側壁部等他の適当な場所にとりつけてもかまわない。実際に図69の実施形態において示されるように、誘電アンテナを完く使用しなくてもかまわない。図69は図48Aに準じ、かつ誘電アンテナ1040を取り除いた場合の実施形態を示している。その代わりに、RF電力が、例えば半導体制天井部1020及びウエハ支持部1060からなる一対の電極より生じたプラズマに対して誘電結合されている。

40

以上、永久磁石型のプラズマ制御磁石について記述してきたが、プラズマ制御磁石として

50

電磁石を使用してもかまわない。

図48A-68Cの実施形態においてはプラズマエッチング装置について記述してきたが、本発明は、化学気相成長(CVD)プラズマ反応装置等プラズマ析出装置への適用が可能である。この場合、析出がウエハ上だけでなくチャンパー壁部上にも起こるような方法でプロセスを進行してもかまわない。または、側壁部に対して十分にRF電力を供給してバイアスとなすことにより、チャンパー内部壁部に析出物を堆積させず、一方、ウエハ上には析出が起こるようにしても良い。この方法は、例えば酸化シリコンCVDプラズマ反応装置に使用する場合において特に大きな利点をもたらす。なぜならば、本発明を適用していない場合の反応装置内部壁部は定期的清掃の必要があるからである。二酸化シリコンのエッチングは、表面温度が化学エッチング臨界温度よりも十分高い場合以外には、フッ素含有クリーニングガス中においてすらきわめてゆっくりと進行するので、上記清掃作業は困難である。

10

また本発明は、チャンパー内にクリーニングガス(例えばフッ素含有ガス)を導入し、かつ半導体製囲い各部品それぞれに対してRF電力を供給し、かつ温度調整を行うことにより、後処理用自己浄化型CVD反応装置チャンパーとして使用することが可能である。この実施形態においては、製造品ウエハに対して通常のCVD加工を行う間、本発明における各手段を何ら使用しなくても、従来のCVD反応装置をしようする場合と全く同様に操業することが可能である。しかしその後の清浄化作業は、本発明のすべての形態を適用してはじめて成り立つ。そのような清浄化作業の間、半導体製囲い内部表面に析出している汚染物質のエッチレートは、本発明に従って半導体製囲いにRFバイアス電力を供給することにより、表面温度を上昇しなくても増大することが可能である。

20

半導体製囲いの形状は、個々の応用例における独自の要求に応じ、熟練工によって変更を加えてかまわない。例えば、図48A及び48Bの実施形態において、ウエハ端部とシリコン製スカート1010垂直表面との半径距離を増大するためにシリコン製スカート1010は(スカート1010の半導体製円筒形部及び半導体製環状脚部1011からなる)L型断面形状を有し、一方、他の図面の実施形態において、スカート1010内部表面は完全に平滑であってウエハ端部により近接している。半導体製スカート1010形状に関するこのような変更は、図示されたすべての実施形態において実行可能である。

窓電極温度及びバイアス電力の変更：

図48Aのウエハ支持部1060、天井部1020、及びスカート1010のように、シリコン等半導体材料を含有していてプラズマ化学反応にフリーシリコンを供給する作用を持ち、RFバイアスを印加されかつ温度制御された3つの電極を使用すると、エッチレート及びエッチ選択性等種々の加工特性が改善される。プラズマが有する強い分離作用により、フリーシリコンがガス相内に侵入してフリーフッ素と結合及び/又はフリーフッ素をスカベンジする作用が増大される。プラズマエッチング反応装置における問題点は、フッ素含有ガスを例えば酸化物のエッチングに使用する場合において、プラズマが有するそのような強い分離作用によりフリーフッ素濃度が高くなってしまふことである。この結果、複合ウエハ材料において酸化物のエッチレートが上昇し、同様に、ポリシリコン等エッチングされるべきでない材料のエッチレートまでもが上昇してしまい、酸化物とポリシリコンとの間のエッチング選択性が低下してしまう。

30

40

酸化物とポリシリコンとの間のエッチング選択性低下という問題は、本発明においてプラズマ中にフリーシリコンを供給する作用を持ったシリコン含有電極1010、1020を使用することにより解決される。

フリーシリコンによるフッ素スカベンジングは、いわゆる「軽量」ポリマー化学反応(「軽量」ポリマー化学反応は後述の実施例において特定される)の適用を可能とする。「軽量」ポリマー化学反応の利点は、チャンパー表面上及びウエハ上の酸化物層のエッチング開口部側壁部に対してポリマー析出を起こしにくい点である。側壁部上へのポリマー析出をこのように制御することによってエッチ形状がゆがめられなくなり、酸化物層中のエッチング開口部は深さ方向に狭められることがなくなってエッチ形状が改善され、かつ酸化物層深部でのエッチ停止がなくなって加工条件が緩和される。結果として、酸化物のエッ

50

チレートが増大し、かつポリシリコンに対する酸化物のエッチング選択性が増大し、かつ酸化物のエッチング異方性及び垂直方向形状が改善され、かつマイクロローディングが減少する。

フリーシリコン及び、軽量ポリマー化学反応における別の利点は、フリーシリコンがポリマー析出反応に影響を及ぼすことによって、安定な不導体ポリマーが酸化物上よりもポリシリコン上に多く形成され、その結果、軽量ポリマー化学反応は、エッチングされるべきでない物質すなわちポリシリコン又は他の非酸化物上においてより多くのポリマーを形成し、またエッチングされるべき物質すなわち酸化シリコン等の酸化物上においてゆっくりとポリマー形成を行う傾向がある点である。この手法は、酸化物とポリシリコンとの間のエッチング選択性を増大する。

10

さらに、一酸化炭素及び/又は二酸化炭素添加剤等の炭素含有及び酸素含有ガス使用に対して補助的にシリコン含有犠牲電極を作動すると、ポリシリコン表面上にポリマーが形成される。そのような炭素 - 及び酸素 - 含有添加剤の長所は2点ある。：(a)添加剤が、酸化物層に形成された開口部におけるポリマーが形成を規制してエッチ停止を防ぐ、及び(b)添加剤はポリシリコン上へのポリマー形成を妨げない。

これにより、シリコンエッチングがより規制され、酸化物とポリシリコンとの間のエッチング選択性が増大する。上述のように、酸化物表面上へのポリマー形成を制御することにより、軽量ポリマー化学反応は、酸化物層深部までエッチングされた開口部におけるエッチ停止を阻止する。一方で、酸化物製側壁部上への適量のポリマー形成を促進してエッチング異方性を増大し、垂直方向のエッチ形状を改善する。さらに、CHF₃メインエッチャントを含有するガス化学反応においてこの手法を用いると、他のフッ素化学反応に対するポリシリコンのエッチレートの低下に対して補助的に作用するので、大きな利点がある。

20

前述の形態においてシリコン含有電極1010、1020の温度制御を行うと、エッチング選択性を改善するための適正な加工方法を開発することができる。数種の加工方法が以下の実施例において検討されている。

実施例：

上述の指針について、基本的に図48Aの実施形態に準じる以下の実施例、すなわちシリコン製天井部電極1020は直径10インチ、円筒形スカート1010は直径10インチ、ウエハ1065と天井部1020との距離は4インチ、スカート1010が接地されており、かつRFバイアス電力がウエハ支持部1060及び天井部電極1020に供給されている実施例において検討を行った。また、100KHzにおいて選択した数種の強度のRFバイアス電力を天井部1020に供給した。2.0KHzにおいて3250Wのプラズマ源RF電力をコイル1040に供給し、かつ1.8MHzにおいて1400WのRFバイアス電流をウエハ支持部1060に供給した。チャンパー1035は50mTorrの圧力に保持した。軽量ポリマー化学反応は、800sccmのアルゴン、100sccmのCHF₃、及び38sccmのCO₂からなるガス流をチャンパー内に導入することによって得た。

30

ウエハは、過熱を防ぐために一般的技術によって冷却した。以下の実施例すべてにおいて、エッチング時間は100秒とした。

40

第一の実施例では、天井部1020及びスカート1010の温度をともに150に保持し、かつ天井部1020に対して500WのRFバイアス電力を供給した。その結果、酸化物とポリシリコンとのエッチング選択性は15:1であった。この選択性は、シリコン製基板上における2µmのエッチング開口部が、中間ポリシリコン層におけるわずが400の別のエッチング開口部に対して300%の深さを有している場合に対しては不十分である。実際、中間ポリシリコン層の貫通が、ウエハ中心部及びウエハ端部の両方において観察された。

第二の実施例では、天井部1020に対して供給するRFバイアス電力を1250Wに増加し、酸化物とポリシリコンとのエッチング選択性が多少改善されて20:1となった。しかし、この実施例においても第一の実施例と同様の貫通が観察された。

50

第三の実施例では、天井部 1020 及びスカート 1010 の温度をともに 260 に保持し、かつ天井部 1020 に対しては R F バイアス電力を供給しなかった。その結果、酸化物とポリシリコンとのエッチング選択性は 25 : 1 に増大したが、やはり貫通が起っていた。

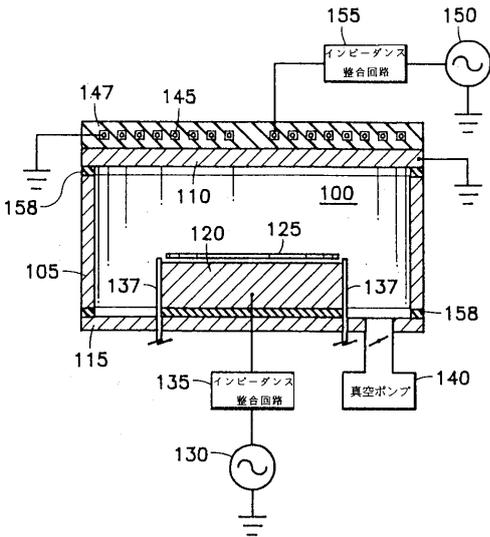
第四の実施例では、電極の温度を 260 に保持し、天井部 1020 に対して供給する R F バイアス電力を 260 W に増加した。この場合、酸化物とポリシリコンとのエッチング選択性は 80 : 1 と飛躍的に増大し、貫通はウエハ端部においてのみ観察された。

第五の実施例では、電極の温度を 260 に保持し、天井部 1020 に対して供給する R F バイアス電力を 500 W に増加した。この場合、酸化物とポリシリコンとのエッチング 選択性は 120 : 1 に増大し、貫通の問題は解決されていた。

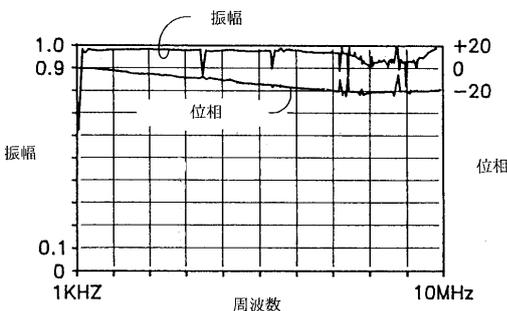
第六の実施例では、電極の温度を 260 に保持し、天井部 1020 に対して供給する R F バイアス電力を 800 W に増加した。この場合、酸化物とポリシリコンとのエッチング 選択性は 150 : 1 に増大し、ウエハ中心部、ウエハ端部いずれにおいても中間ポリシリコン層の貫通は起こらなかった。

本発明は、特に、望ましい実施形態に関して言及してきたが、それらに対する変更及び修正は、本発明の本質的異議及び範囲に沿って行わなければならない。

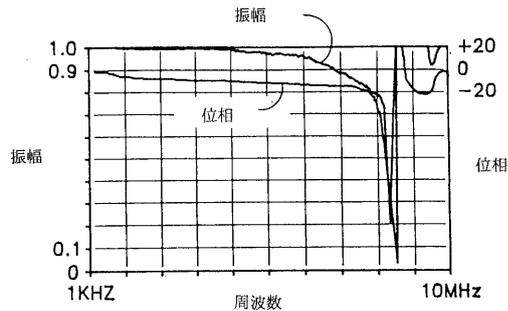
【図 1】



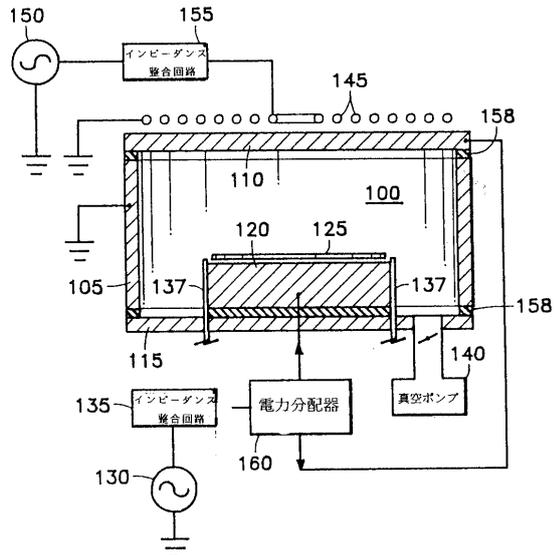
【図 2】



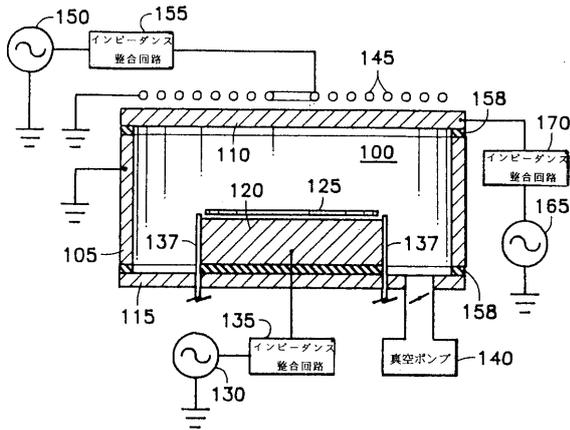
【図 3】



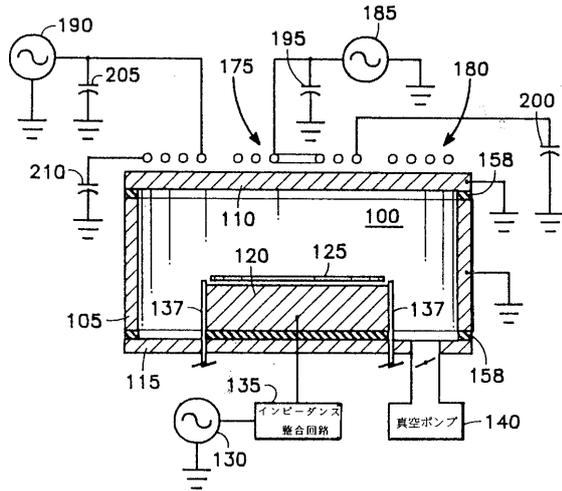
【図 4】



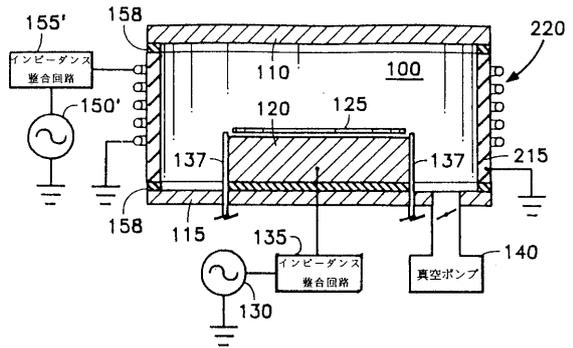
【図5】



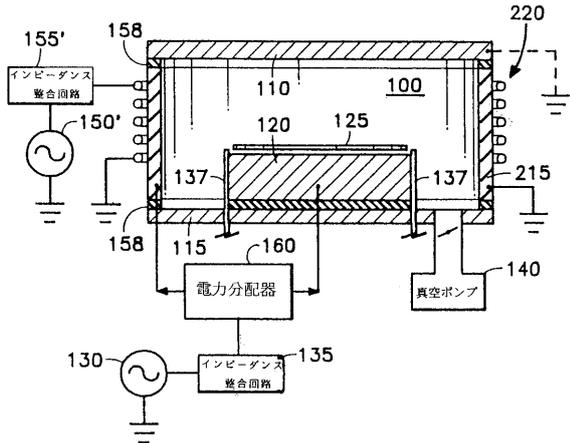
【図6】



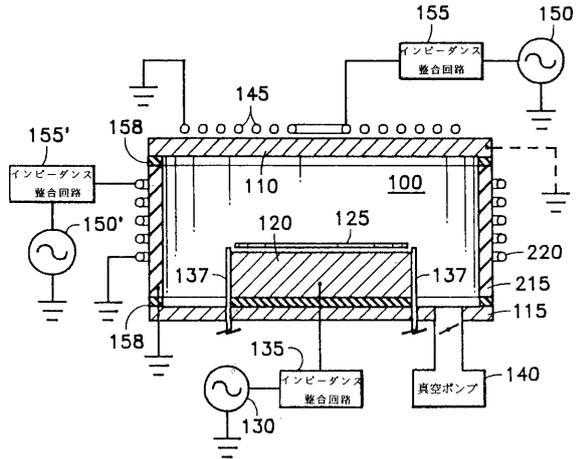
【図7】



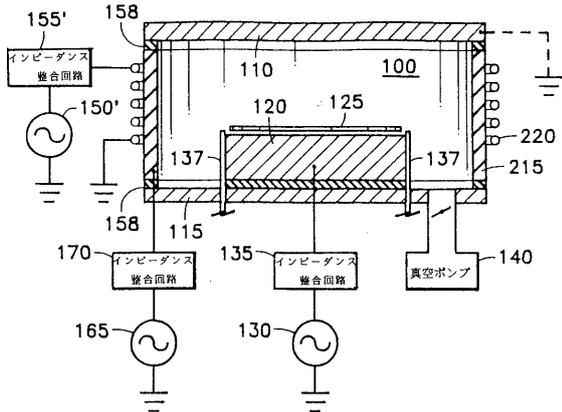
【図8】



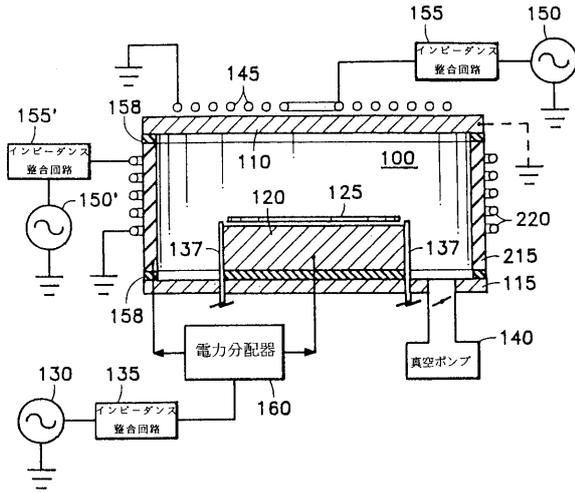
【図10】



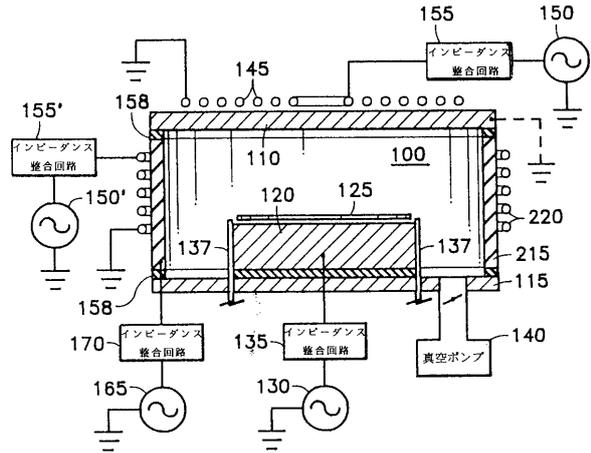
【図9】



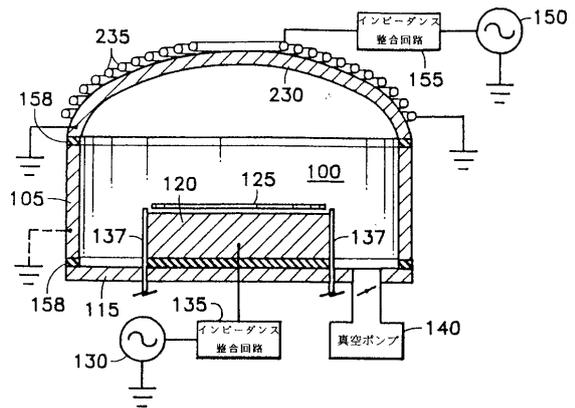
【図11】



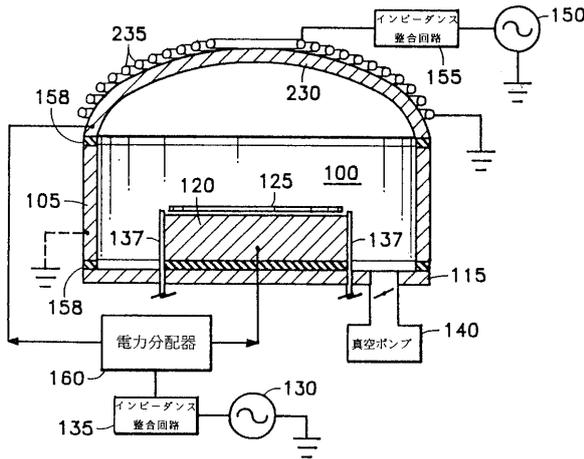
【図12】



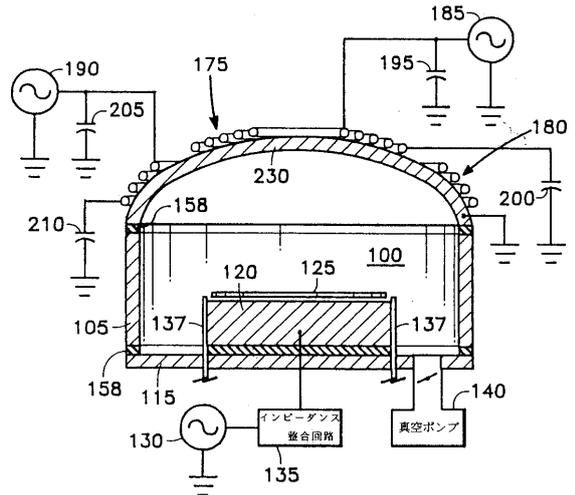
【図13A】



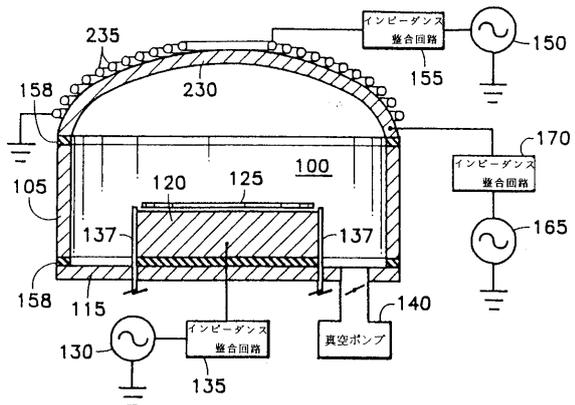
【図13B】



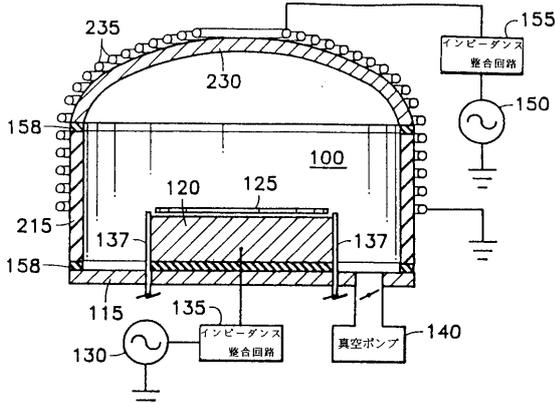
【図13D】



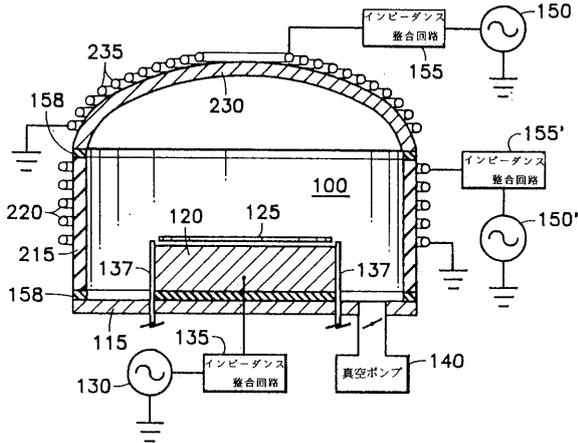
【図13C】



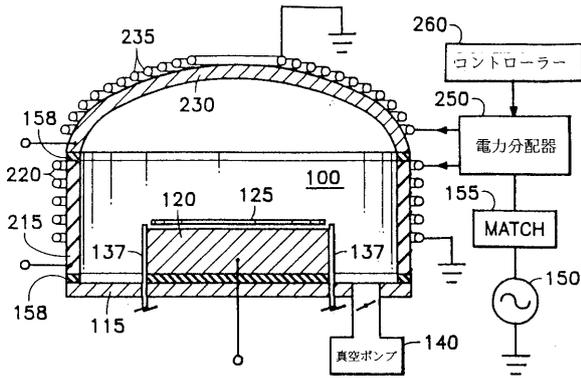
【図14】



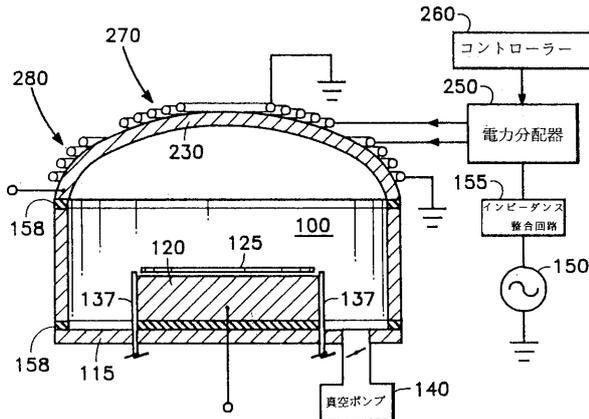
【図15】



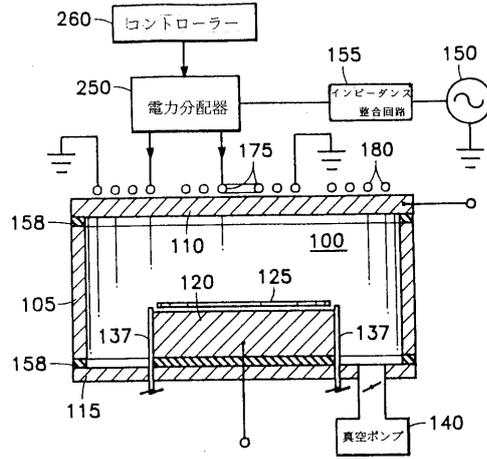
【図17A】



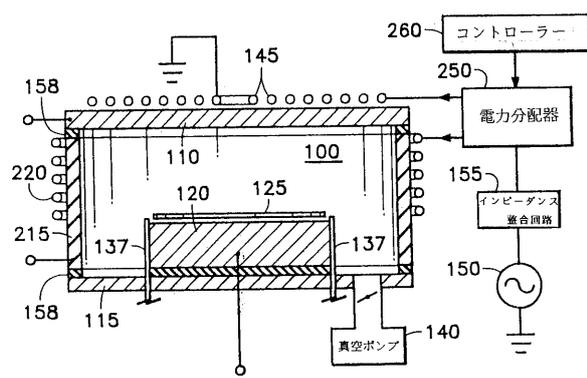
【図17B】



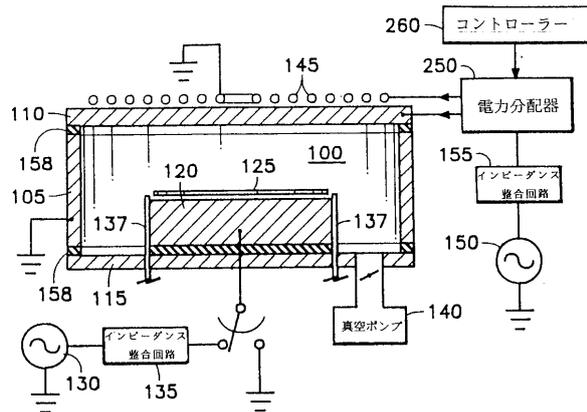
【図16】



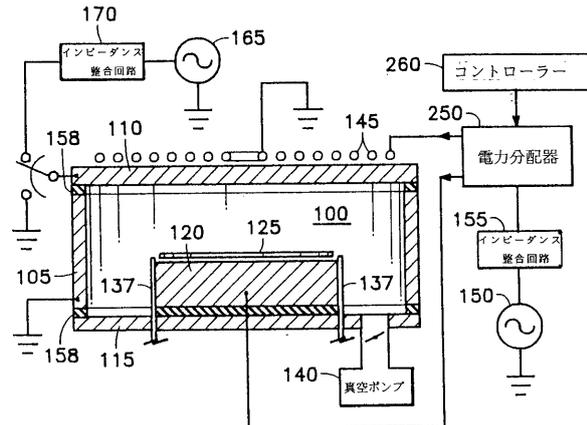
【図18】



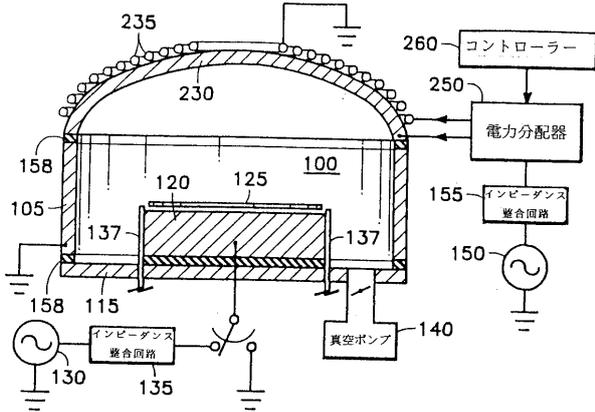
【図19】



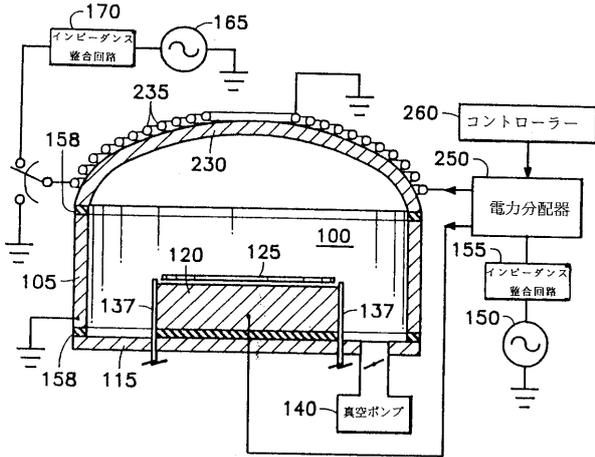
【図20】



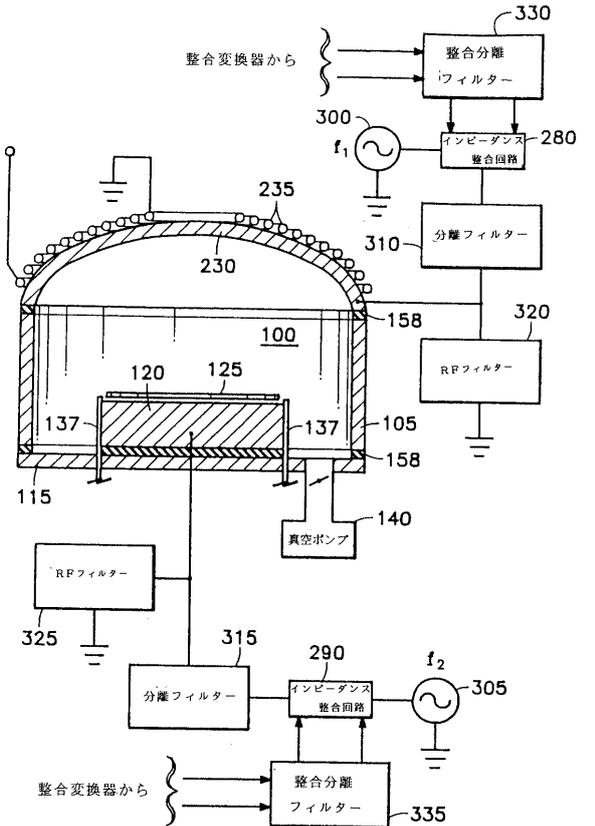
【図21】



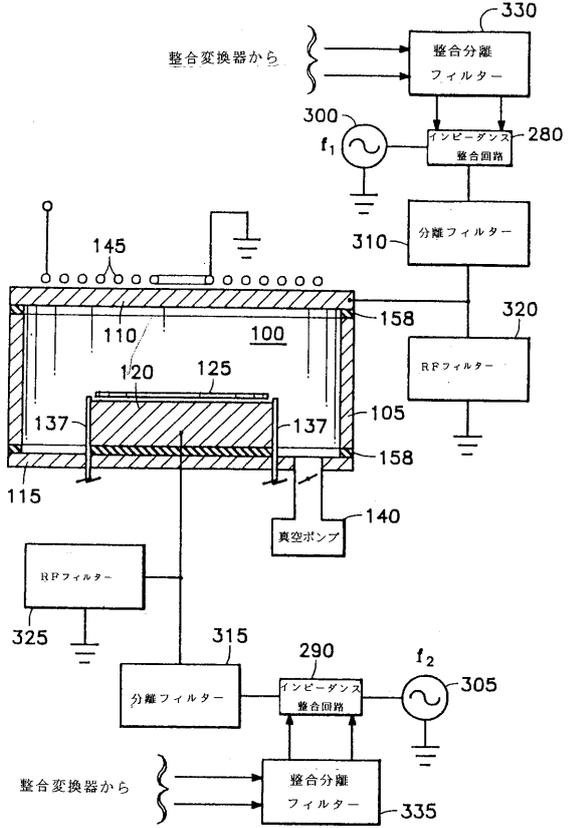
【図22】



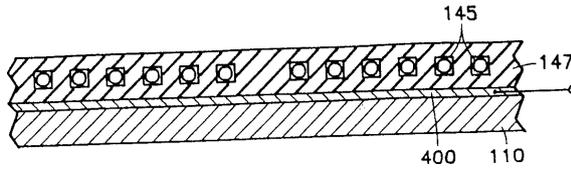
【図24】



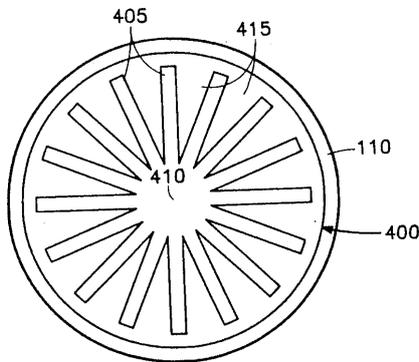
【図23】



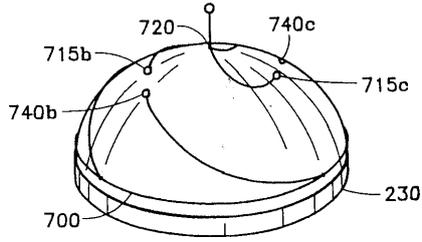
【図25A】



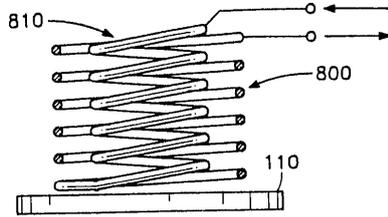
【図25B】



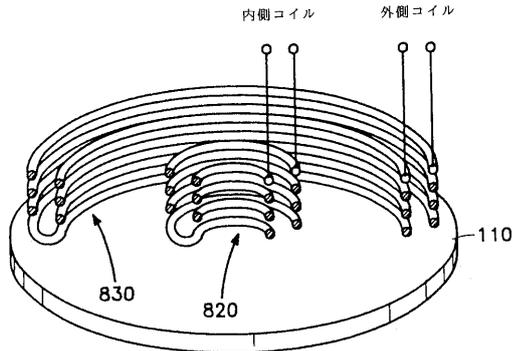
【図31C】



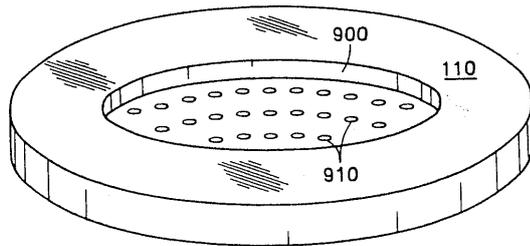
【図32】



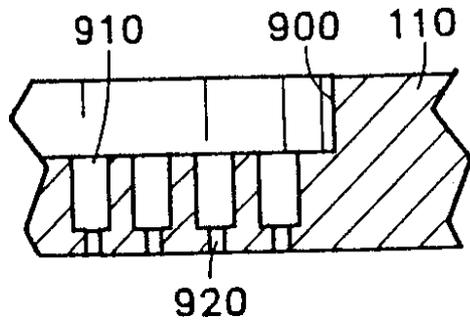
【図33】



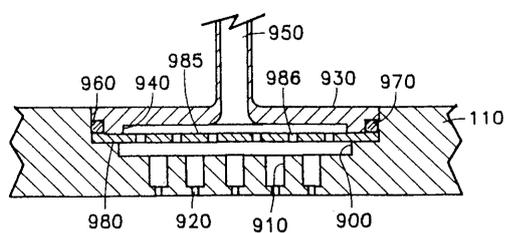
【図35D】



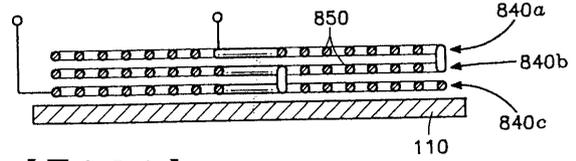
【図35E】



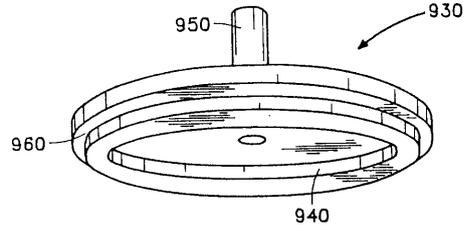
【図36A】



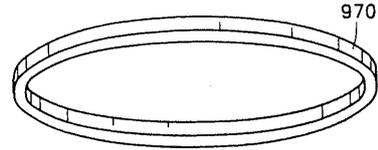
【図34】



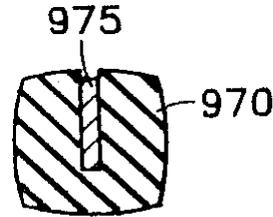
【図35A】



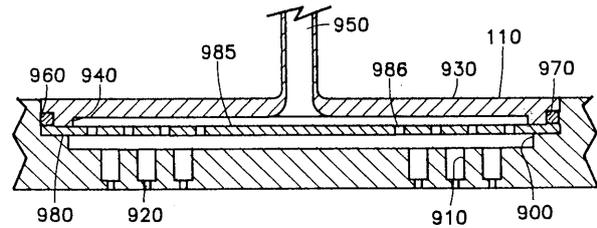
【図35B】



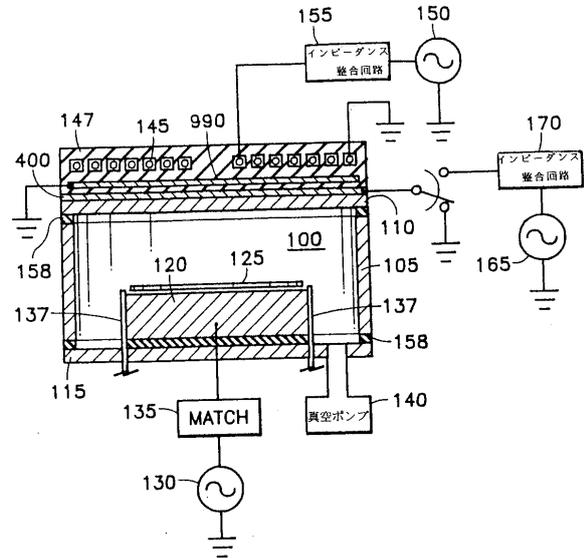
【図35C】



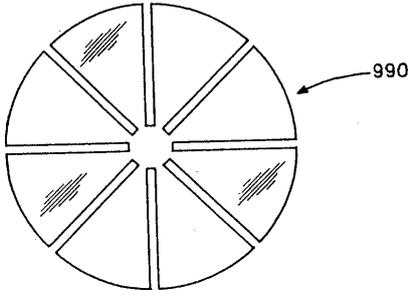
【図36B】



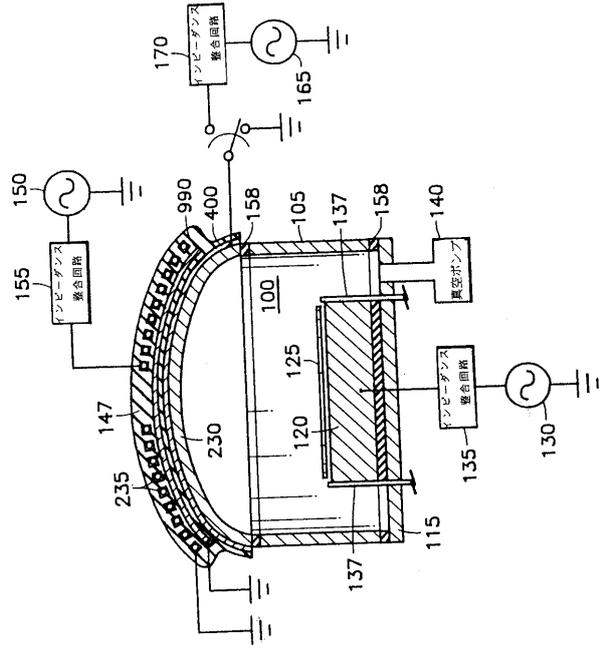
【図37A】



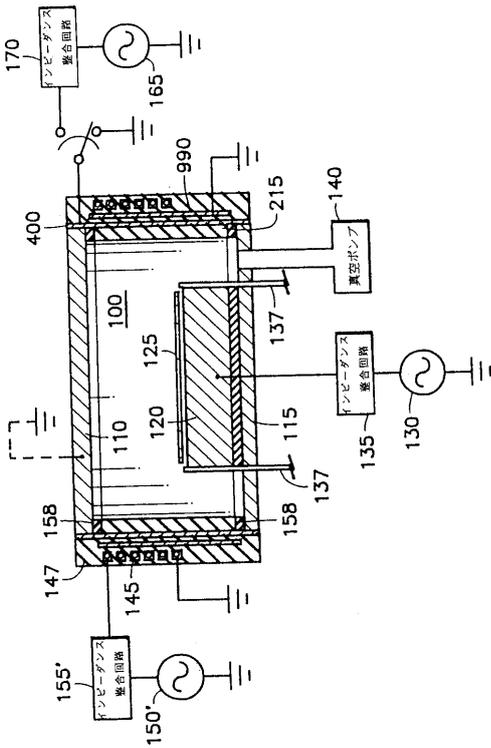
【図 37 B】



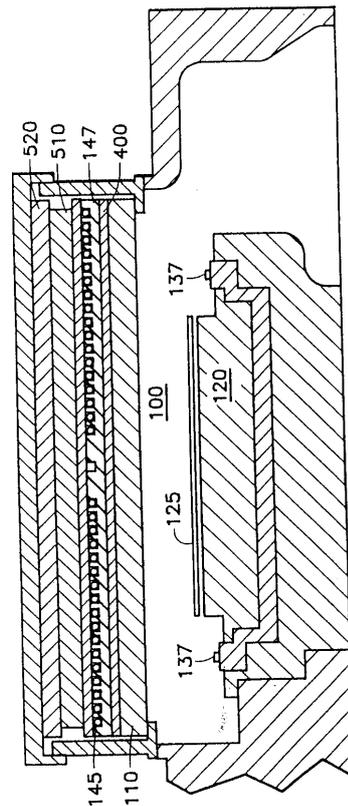
【図 38 A】



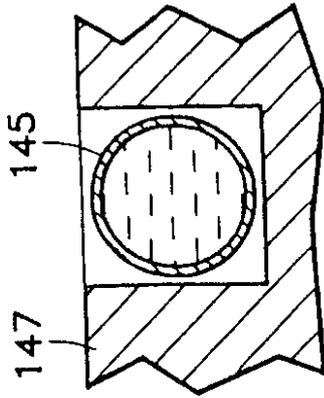
【図 38 B】



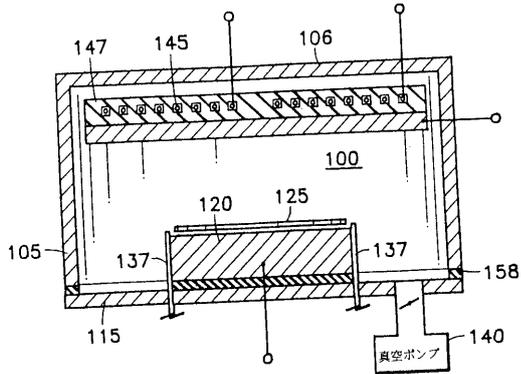
【図 39 A】



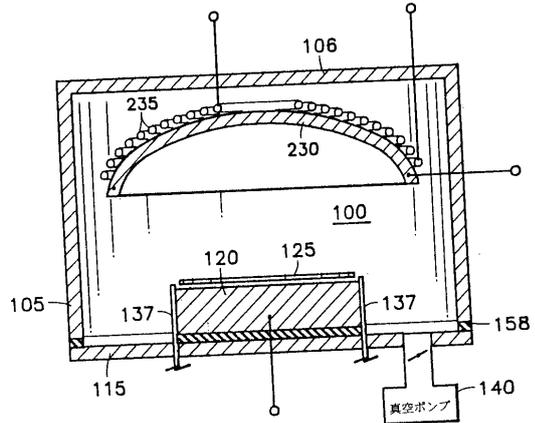
【図39B】



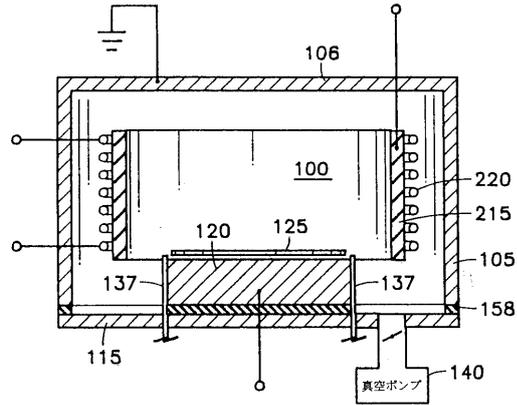
【図40】



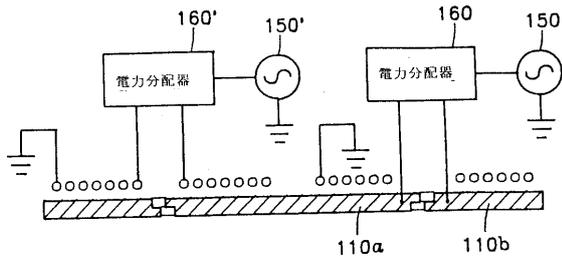
【図41A】



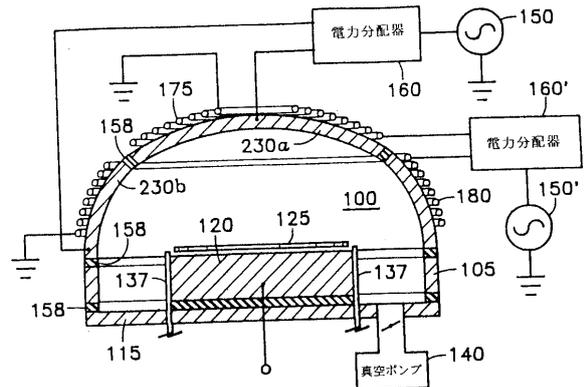
【図41B】



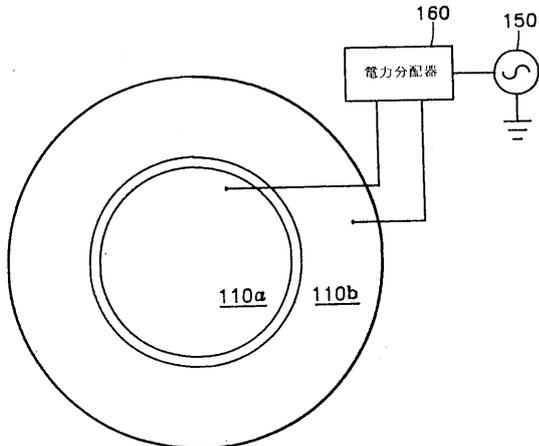
【図42】



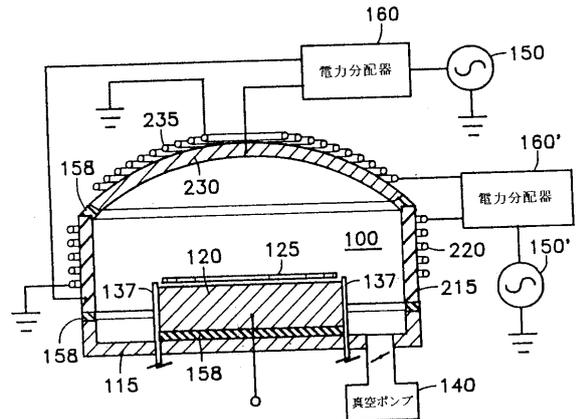
【図44】



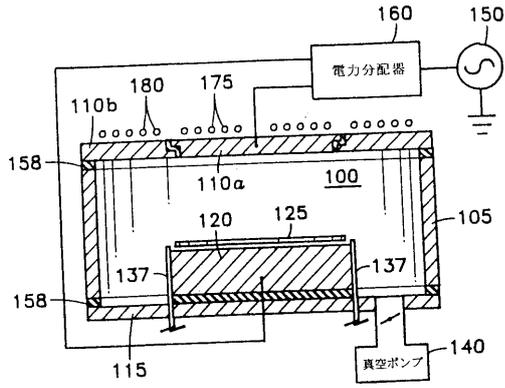
【図43】



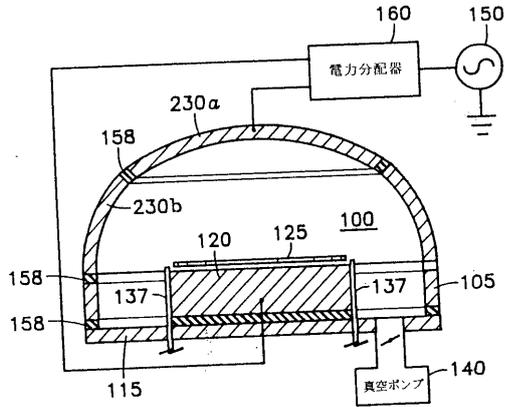
【図45】



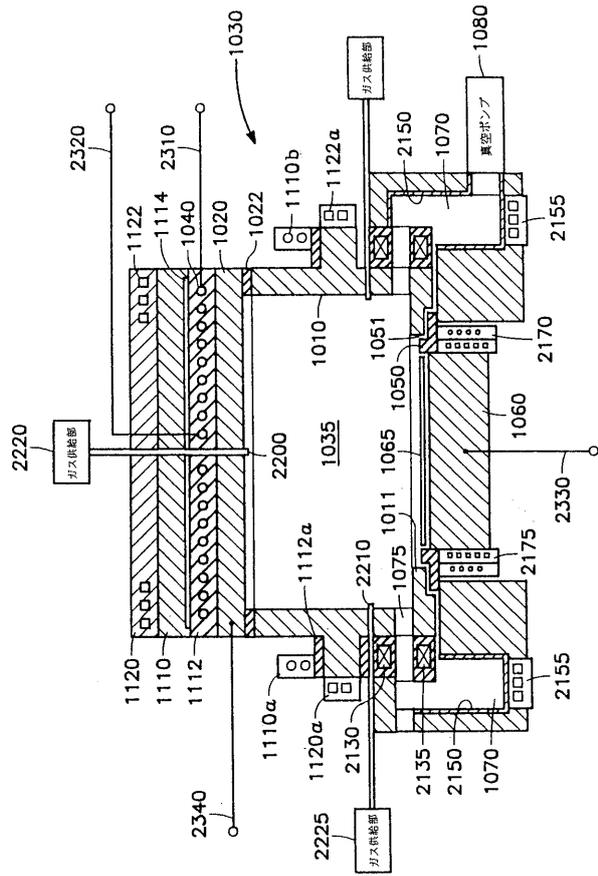
【図46】



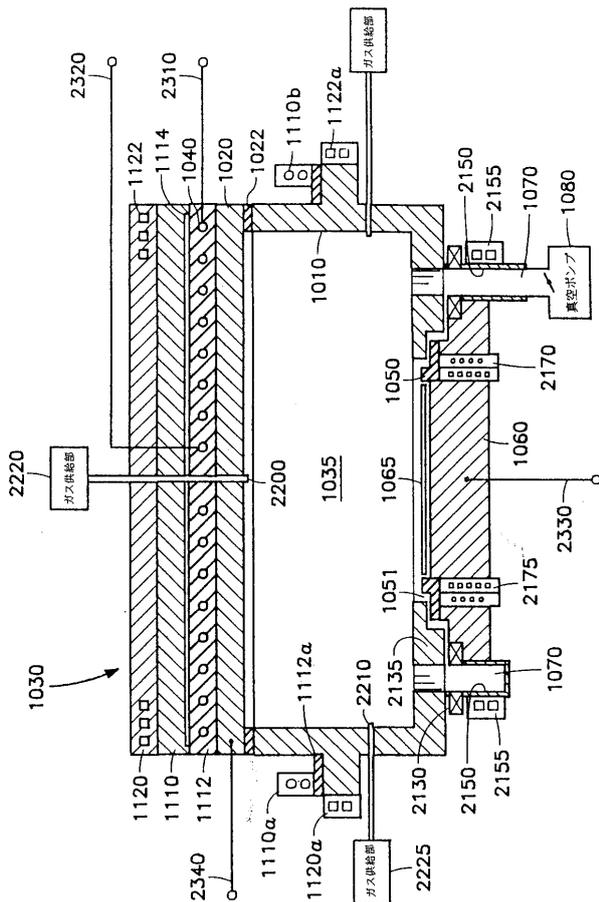
【図47】



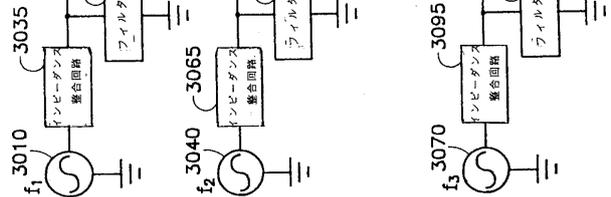
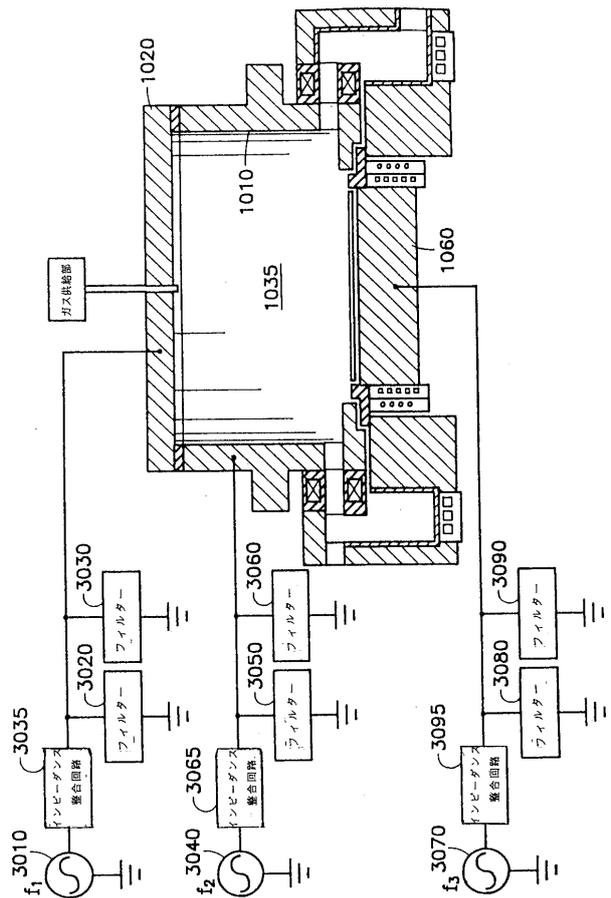
【図48A】



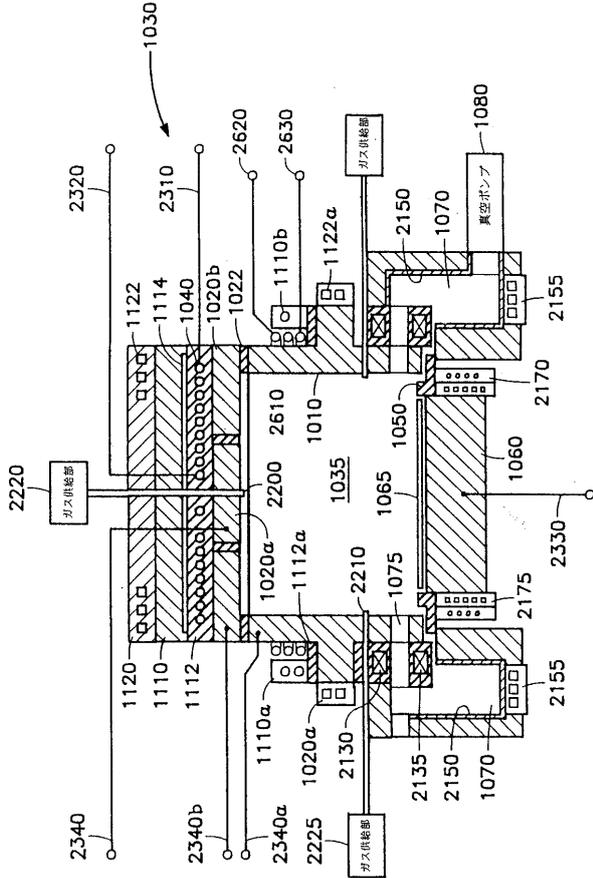
【図48B】



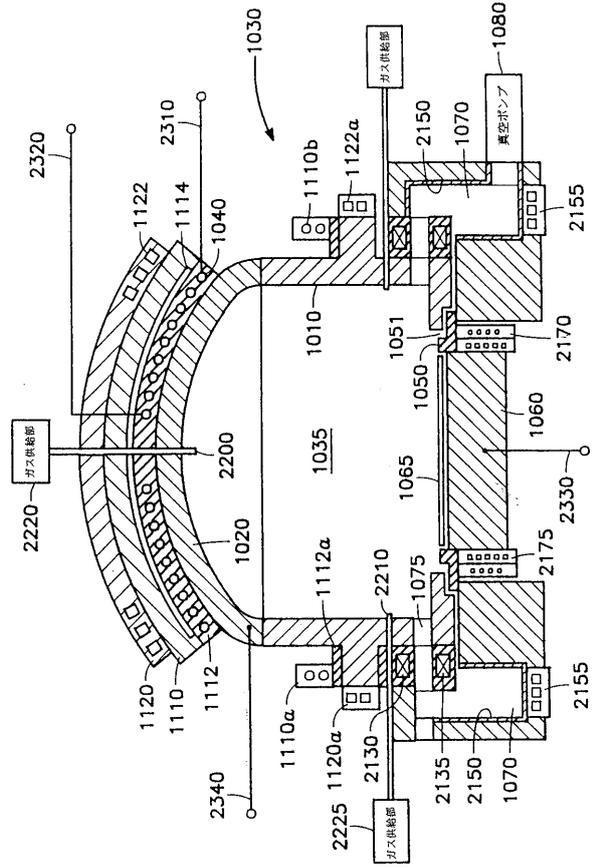
【図48C】



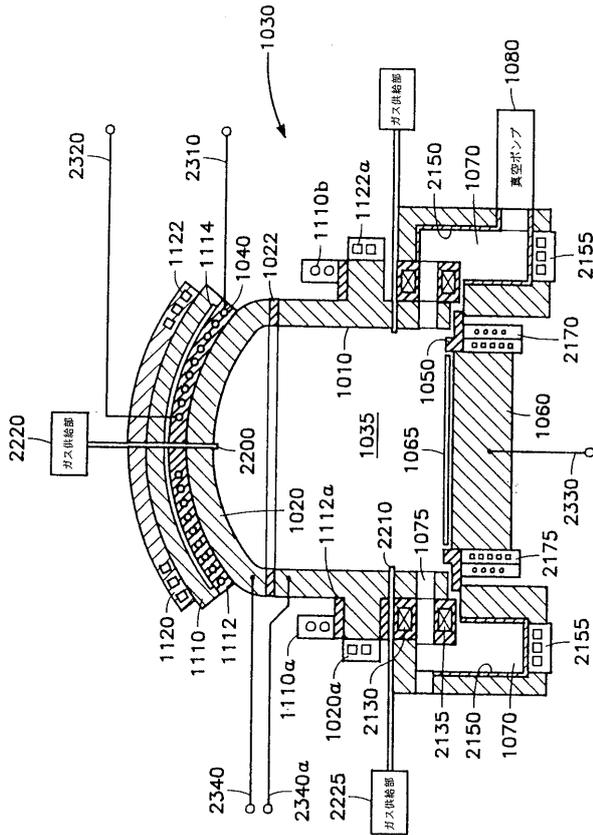
【図 57】



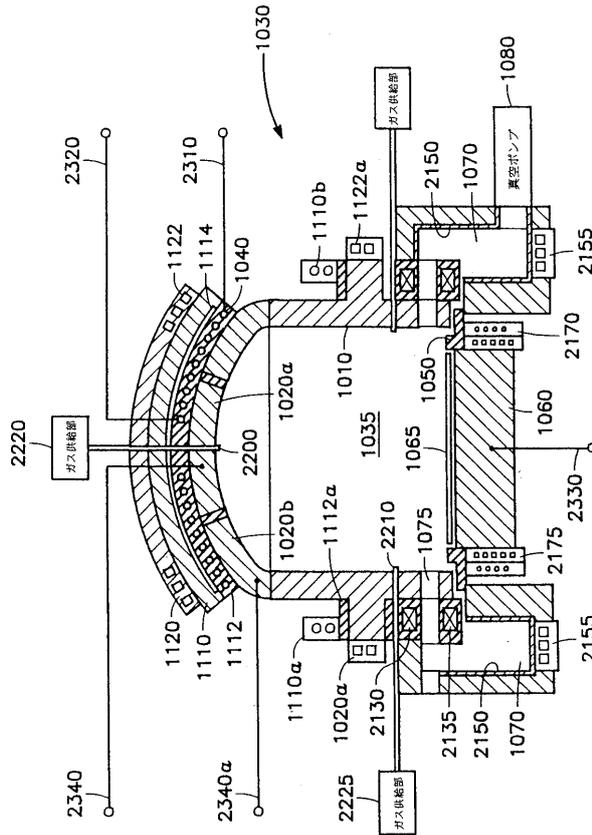
【図 58】



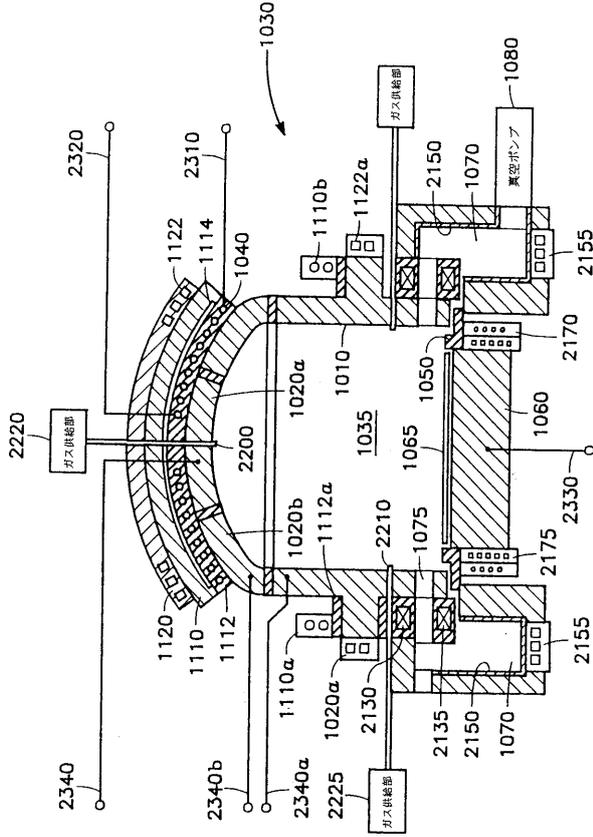
【図 59】



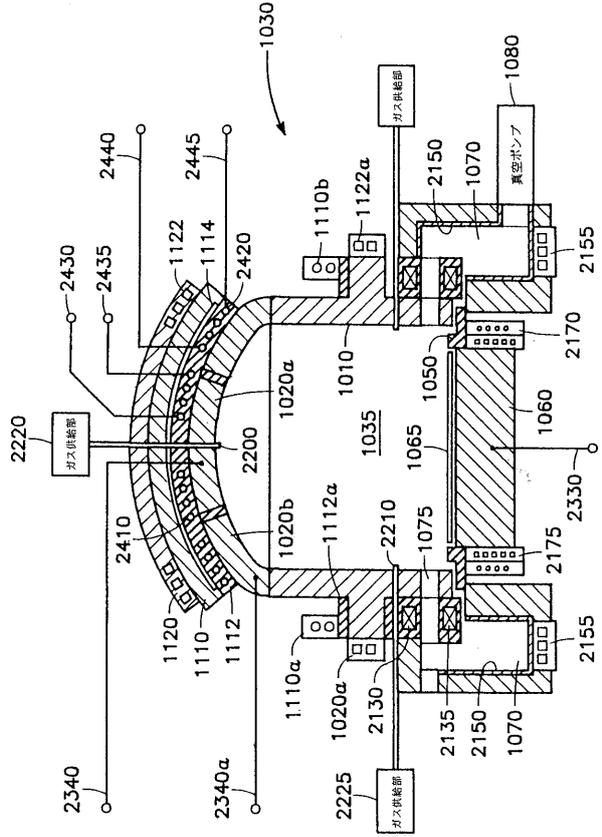
【図 60】



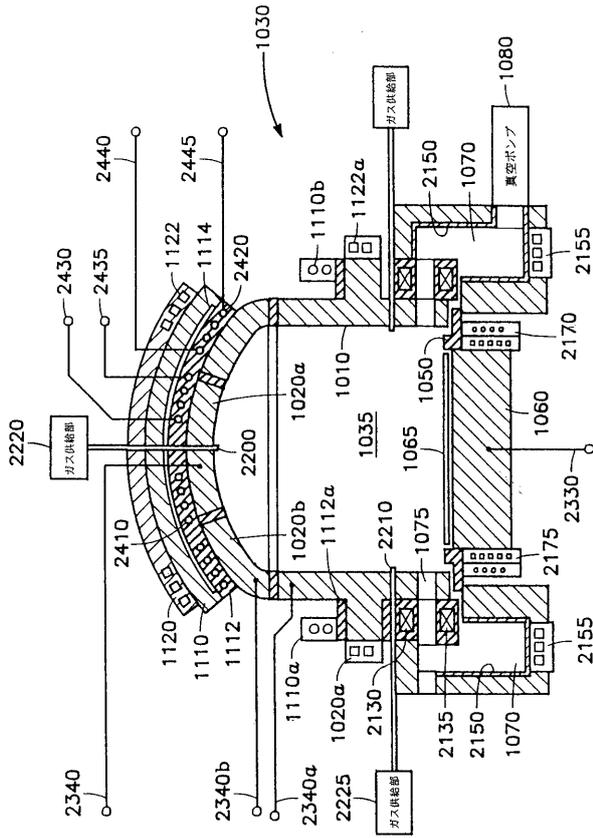
【図61】



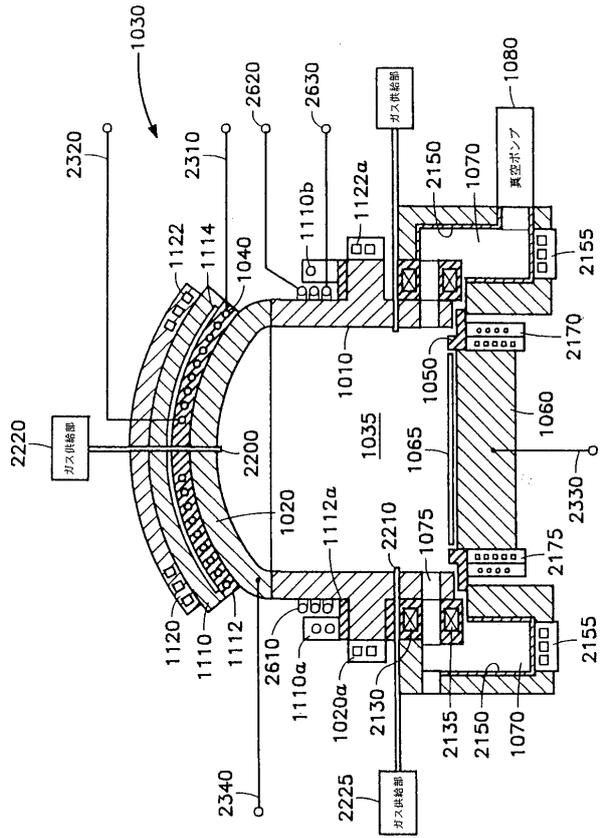
【図62】



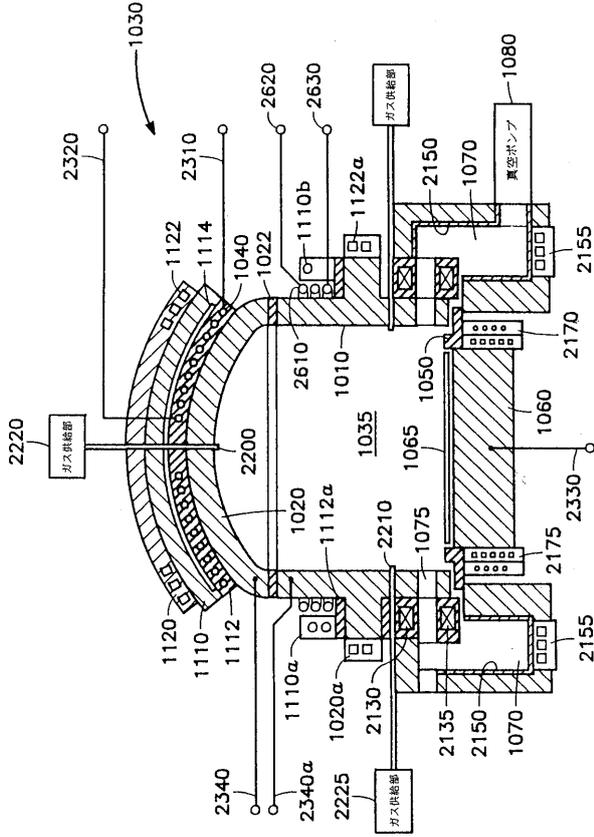
【図63】



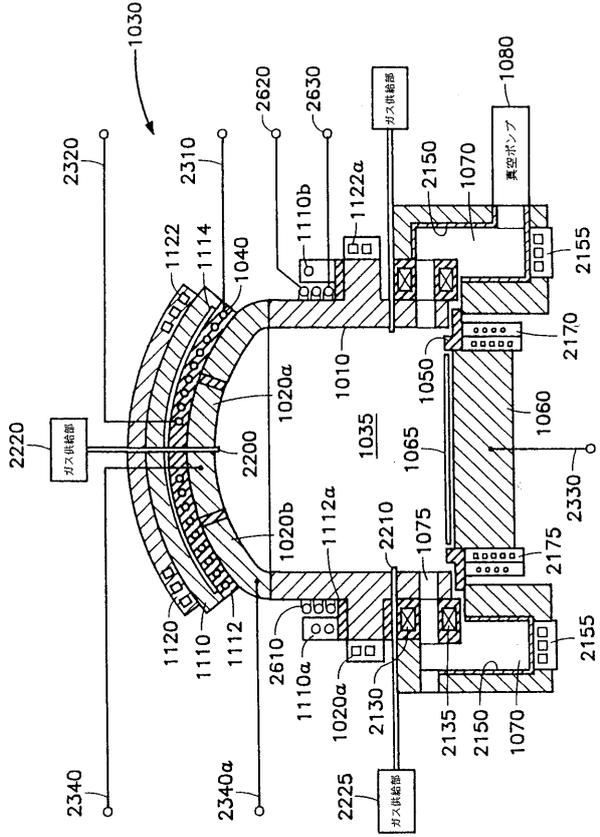
【図64】



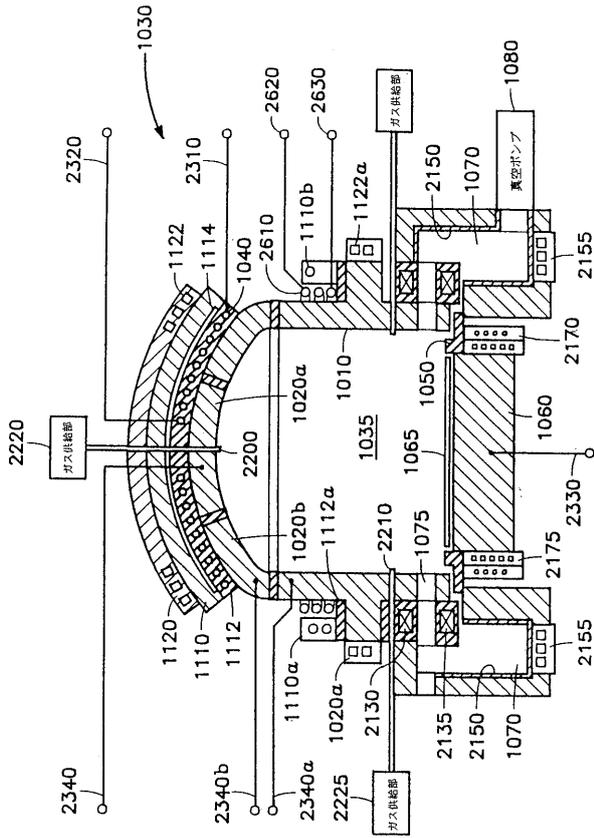
【図 6 5】



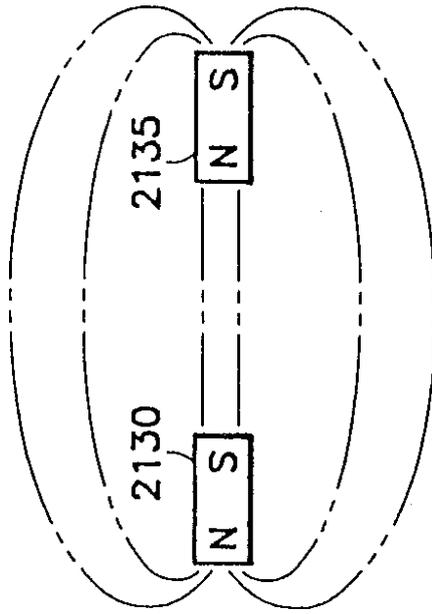
【図 6 6】



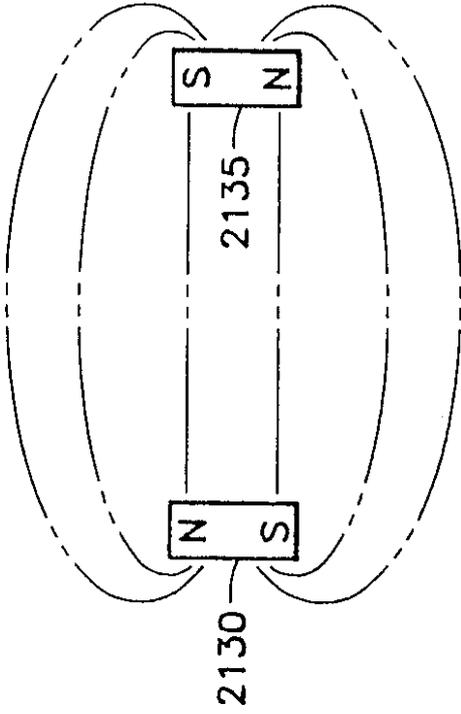
【図 6 7】



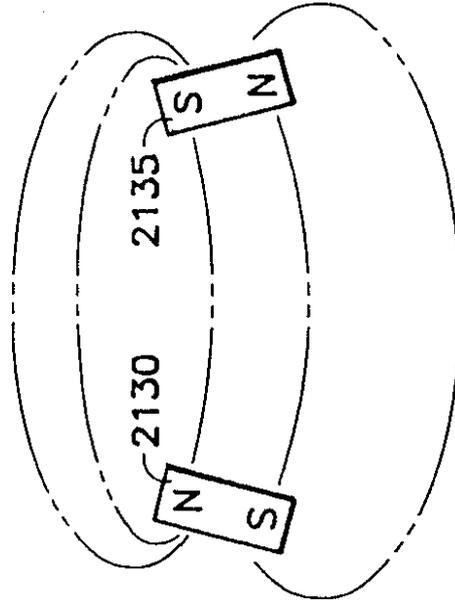
【図 6 8 A】



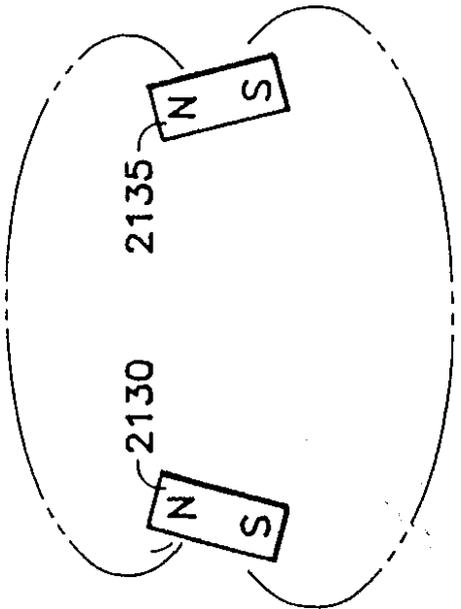
【 6 8 B 】



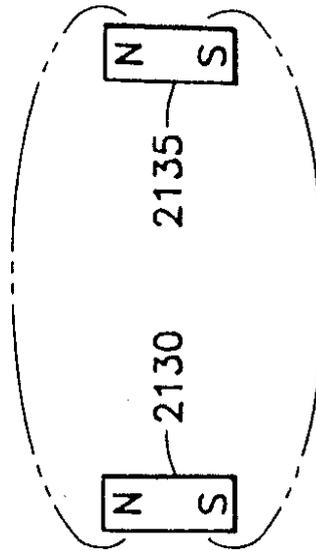
【 6 8 C 】



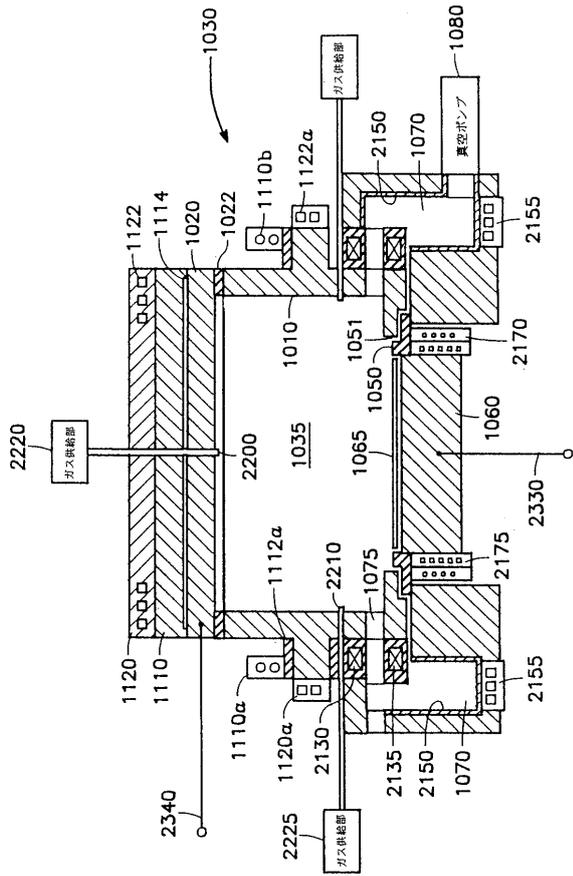
【 6 8 D 】



【 6 8 E 】



【 図 6 9 】



フロントページの続き

- (72)発明者 ライス マイケル
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 6 6 プリーゾントン クラレット コート 7 8
5
- (72)発明者 トロウ ジョーン
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 1 1 1 サン ジョーゼ ナイトシャブン ウェイ 1
6 2
- (72)発明者 ブクバーガー ダグラス
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 3 7 6 トレーシー チェーニー ストリート 4 2 1
- (72)発明者 アスカリアン エリック
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 0 8 7 サニーヴェール ポーリン ドライブ 1 3 3
2
- (72)発明者 ツイ ジョシュア
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 0 5 1 サンタ クララ アゼヴェド コート 6 1 3
- (72)発明者 グローケル デイヴィッド
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 0 2 2 ロス アルトス ヒルズ ヴィア ヴェンタナ
2 7 9 8 5
- (72)発明者 ヒュング レイモンド
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 1 2 9 サン ジョーゼ バーケット ドライブ 1 2
8 2

合議体

審判長 藤原 敬士

審判官 加藤 浩一

審判官 鈴木 正紀

- (56)参考文献 特開平7 - 1 6 1 7 0 2 (J P , A)
特開平7 - 1 2 2 5 4 4 (J P , A)
特開平7 - 1 0 6 0 9 6 (J P , A)
特開平8 - 1 4 8 4 7 2 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B名)

H01L

H01J

H05H