(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第3823001号

(P3823001)

(45)発行日　平成18年9月20日(2006.9.20)　(24)登録日　平成18年6月30日(2006.6.30)

(51)Int.Cl.		F I		
H01L 21/3065	(2006.01)	H01L	21/302	101D
C23F 4/00	(2006.01)	C23F	4/00	A
H05H 1/46	(2006.01)	H05H	1/46	M

請求項の数 5　(全 18 頁)

(21)出願番号　特願平11-263153
(22)出願日　平成11年9月17日(1999.9.17)
(62)分割の表示　特願平8-300039の分割
　原出願日　平成8年11月12日(1996.11.12)
(65)公開番号　特開2000-133641(P2000-133641A)
(43)公開日　平成12年5月12日(2000.5.12)
　審査請求日　平成15年1月15日(2003.1.15)
(31)優先権主張番号　特願平8-75854
(32)優先日　平成8年3月29日(1996.3.29)
(33)優先権主張国　日本国(JP)

(73)特許権者　000005108
株式会社日立製作所
東京都千代田区丸の内一丁目６番６号
(74)代理人　110000350
特許業務法人　日東国際特許事務所
(74)代理人　100068504
弁理士　小川　勝男
(72)発明者　横川　賢悦
東京都国分寺市東恋ケ窪一丁目２８０番地
株式会社日立製作所中央研究所内
(72)発明者　板橋　直志
東京都国分寺市東恋ケ窪一丁目２８０番地
株式会社日立製作所中央研究所内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】プラズマ処理装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

ガス導入部及び排気部をもつ真空チャンバーと、前記真空チャンバー内に被加工試料を設置する被加工試料設置手段と、前記被加工試料の加工面と垂直方向に磁場を形成する磁場形成手段と、前記加工面に対向する位置に設置されるアース電位の平板の近傍にストリップラインからなるマイクロ波導入手段と、前記アース電位の平板及びストリップラインにマイクロ波電力を給電するマイクロ波導波手段とを有し、

前記ストリップラインで構成されるアンテナは、前記アンテナへの前記電磁波の給電点を交点として放射状に３本以上の奇数本配置され、前記給電点を前記アンテナ上の電磁波の電圧および電流分布の節となる位置以外の位置に配置せしめ、

前記真空チャンバー内の電磁波で気相中に導入されたガスをプラズマ化することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項２】

ガス導入部及び排気部をもつ真空チャンバーと、前記真空チャンバー内に被加工試料を設置する被加工試料設置手段と、前記被加工試料の加工面と垂直方向に磁場を形成する磁場形成手段と、前記加工面に対向する位置に設置されるアース電位の平板の近傍にストリップラインからなるマイクロ波導入手段と、前記アース電位の平板及びストリップラインにマイクロ波電力を給電するマイクロ波導波手段とを有し、

前記ストリップラインへの給電点の近くで、前記ストリップラインと前記被加工試料設置手段との間に円盤状導体を設置せしめ、

前記真空チャンバー内の電磁波で気相中に導入されたガスをプラズマ化することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項３】

ガス導入部及び排気部をもつ真空チャンバーと、前記真空チャンバー内に被加工試料を設置する被加工試料設置手段と、前記被加工試料の加工面と垂直方向に磁場を形成する磁場形成手段と、前記加工面に対向する位置に設置されるアース電位の平板の近傍にストリップラインからなるマイクロ波導入手段と、前記アース電位の平板及びストリップラインにマイクロ波電力を給電するマイクロ波導波手段とを有し、

前記ストリップラインは、石英窓を介して前記真空チャンバーと接続し、

前記石英窓のプラズマ側に、ストリップラインで構成されるアンテナの幅に対し１００％から５００％の幅の開口部を有するアース電位導体を、前記開口部が前記ストリップラインに沿うように設置し、前記アース電位の平板と前記開口部を有するアース電位導体の中間にストリップラインを配置してマイクロ波供給部を構成し、

前記真空チャンバー内の電磁波で気相中に導入されたガスをプラズマ化することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項４】

ガス導入部及び排気部をもつ真空チャンバーと、前記真空チャンバー内に被加工試料を設置する被加工試料設置手段と、前記被加工試料の加工面と垂直方向に磁場を形成する磁場形成手段と、前記加工面に対向する位置に設置されるアース電位の平板の近傍にストリップラインからなるマイクロ波導入手段と、前記アース電位の平板及びストリップラインにマイクロ波電力を給電するマイクロ波導波手段とを有し、

前記アース電位の平板は、プラズマのアース電極として構成し、

前記真空チャンバー内の電磁波で気相中に導入されたガスをプラズマ化することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項５】

ガス導入部及び排気部をもつ真空チャンバーと、前記真空チャンバー内に被加工試料を設置する被加工試料設置手段と、前記被加工試料の加工面と垂直方向に磁場を形成する磁場形成手段と、前記加工面に対向する位置に設置されるアース電位の平板の近傍にストリップラインからなるマイクロ波導入手段と、前記アース電位の平板及びストリップラインにマイクロ波電力を給電するマイクロ波導波手段とを有し、

前記磁場形成手段は、永久磁石と前記永久磁石の磁場分布を制御する空心コイルによる構成、空心コイルのみによる構成、永久磁石のみによる構成のいずれか一種類の構成であり、

前記永久磁石は、直径が被加工試料径の７０％から１５０％の範囲であり、厚みが前記直径の１０％から１００％の範囲である円筒形であり、

前記永久磁石の少なくとも一部が前記被加工試料の加工平面に対し垂直方向で移動可能に構成され、

前記真空チャンバー内の電磁波で気相中に導入されたガスをプラズマ化することを特徴とするプラズマ処理装置。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する技術分野】

本発明は半導体装置の製造装置、特に、気相中の原料ガスをプラズマ化し、活性化した粒子の物理または化学反応により半導体材料の表面を処理するドライエッチング工程に用いられるプラズマ表面処理装置に関する。

【０００２】

【従来の技術】

従来の半導体装置の製造行程で用いられるプラズマ利用の装置として、例えば、エッチングについては日立評論，76，No.7，（1994），55～58頁で記されている有磁場マイクロ波エッチング装置が用いられてきた。有磁場マイクロ波エッチング装置は空心コイルで発生

させた磁場と立体回路を介して真空容器内に導入されるマイクロ波領域の電磁波で気体をプラズマ化している。この従来装置は低ガス圧で高いプラズマ密度が得られることから高精度かつ高速で試料の加工を行うことができる。さらに、、例えば、アプライドフィジックスレター（Appl. Phys. Lett.），62, No. 13（1993），1469～1471頁に永久磁石による局所磁場を用いる有磁場マイクロ波エッチング装置が報告されている。この装置では磁場を永久磁石により形成するため装置コスト及び消費電力とも上記従来装置に比べ格段に低くすることができる。また、特開平３－１２２２９４号に、１００ＭＨｚから１ＧＨｚの高周波によりプラズマを生成し、ミラー磁場を用いて効率よくエッチングすることが開示されている。さらに、特開平６－２２４１５５号には、櫛状のアンテナから１００から５００ＭＨｚの高周波をかけてプラズマを生成し、大口径化チャンバ内で均一なプラズマを形成することが記載されている。

【０００３】

また、特にシリコン酸化膜加工用として狭電極平行平板型（以下「狭電極型」という）の装置が実用化されている。狭電極型は１ｃｍから２ｃｍ間隔の平行平板に十数から数十メガヘルツの高周波を印加し、プラズマを形成している。狭電極型装置は原料ガス圧力が数十ｍＴｏｒｒ領域で用いられる。狭電極型は比較適安定な酸化膜エッチング特性が長期にわたって得られる特徴を持つ。

【０００４】

また、特開平７－３０７２００号には、導入波長の１／４長を有する放射状のアンテナから３００ＭＨｚ程度の高周波をかけることが記載されている。

【０００５】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、上記永久磁石による局所磁場を用いる有磁場マイクロ波エッチング装置では小型永久磁石による複数個使用しているため、磁場領域プラズマが主に生成されている領域でのプラズマの均一性が悪く、被加工試料をプラズマ生成領域から離した位置に設置し、拡散によりプラズマを均一化して使用する。このため被加工試料位置では十分なプラズマ密度が得られず十分な加工速度が得られないという問題がある。

【０００６】

また、特開平３－１２２２９４号や特開平６－２２４１５５号のようなＥＣＲ型の装置では、有磁場マイクロ波プラズマ源は試料に対面する位置から電磁波を導入するため、試料対面位置は絶縁体しか敷設できない。これにより、被加工試料に高周波バイアスを印加する場合等に必要なアース電極を、理想的な位置である被加工試料と対面する位置に設置できず、バイアスの不均一が生じるという問題もあった。

【０００７】

さらに、狭電極型は比較的使用ガス圧力が高いため、特に０．２ミクロンレベル以下ではプラズマ中の活性種の指向性が不均一になり、微細加工性が悪く、またプラズマ密度が低いためエッチング速度が低い点に問題がある。一方で、ＥＣＲ型や誘導結合型等いわゆる高密度プラズマ源を用いた装置は原料ガスの解離が進みすぎ、気相またはウエハ表面での化学反応が制御しにくく、安定なエッチング特性が得られにくい問題を有する。特に、シリコン酸化膜のエッチングでは、エッチングとデポジションを競合させることで選択比を得るプロセスなため、反応の制御性が悪いと選択比や深い孔の加工（高アスペクト加工）性能に重大な影響を与える。

【０００８】

また、特開平６－２２４１５５号記載のような櫛状のアンテナや特開平７－３０７２００号記載のような放射状のアンテナでは、アンテナを利用しない場合に比べればプラズマの均一性は上がるが、それでも高い均一性を得ることはできない。

【０００９】

本発明の目的は、消費電力が少なく、被加工試料の加工面積が広い場合にも高均一な有磁場マイクロ波プラズマを発生させ、かつ微細加工性に優れ、高選択比、高アスペクト加工が可能で、高速度の加工処理が行えるプラズマ処理装置を提供することにある。

【００１０】
本発明の他の目的は、ＥＣＲ型の装置において、被加工試料に対面する位置にアース電極を設置することができ、高周波バイアスの均一化が容易にできるプラズマ処理装置を提供することにある。
【００１１】
【課題を解決するための手段】
上記第１の目的は、電磁波を電源から平面状の導体板へ供給し、その導体板からプラズマを形成するための電磁波を放射することにより達成される。平面から電磁波を供給することにより、ウエハー方向に電磁波を均一に供給できるため、プラズマの高均一性が得られることとなる。
【００１２】
さらに、周波数が３００ＭＨｚから１ＧＨｚのＵＨＦ帯の電磁波を供給する場合には、３００ＭＨｚから１ＧＨｚの電磁波は、波長が３０ｃｍから８０ｃｍであるため、８インチから１６インチ程度の大口径プラズマ処理装置の真空容器径と同程度であり、大口径のウエハーを処理するのに適している。
【００１３】
また、エッチングガスのガス圧を０．１１から３Ｐａの範囲にした場合には、エッチングに寄与する活性種の指向性が整うと共にエッチング速度が大きくなり、微細加工性に特に優れる効果がある。ガス圧を小さくし過ぎた場合は、プラズマ密度が小さくなり所望のエッチング速度が得られない一方で、ガス圧を大きくし過ぎた場合は、指向性が揃わなくなってしまう。
【００１４】
さらに、導体板とエッチングガスとを反応させてエッチングに必要とされる活性種を形成するように、導体板の材料とエッチングガスを選ぶことにより、効率的に所望の活性種を得ることができ、反応を制御し易くなる。特に、この導電板に、ＵＨＦ帯の周波数の電界とそのＵＨＦ帯の周波数とは異なる周波数の電界を重畳して供給すると、導電板にかかるバイアスが大きくなり、導電板と反応ガスとの反応性が高くなり、エッチング反応に寄与する所望の活性種を、より多く生成することが可能となる。
【００１５】
また、上記第２の目的は、反応容器内の試料と対面する位置に、電磁波放射アンテナと誘電体とアース電位導体からなる電極を設けることで達成される。このように、アース電位を試料と対面する位置に設けることができるので、ウエハーに均一にバイアスがかかることになり、結果的にウエハーの中心部と端部でのエッチング速度を均一化することができる。なお、上記のような構造とすればアンテナ形状を必ずしも平面状とする必要はなく、従来の放射状や櫛状のアンテナでも良い。
【００１６】
【発明の実施の形態】
（実施例１）
本実施例では、ＵＨＦ帯の電磁波と磁場との相乗作用により気相中に導入した原料ガスをプラズマ化し、さらに被加工試料と対面する位置に導体板を設置し、導体板上でのプラズマとの反応により被加工試料表面に作用する活性粒子が制御できる構造とした。この導体板にさらに高周波電界を印加して前記の反応を効率よく行なわせる機能も付加可能である。この導体板はＵＨＦ帯電磁波の放射機能と被加工試料に印加する高周波電界の対向電極としての機能を合わせ持つ。
【００１７】
この装置を図１に示す。図１の実施例では真空容器１０１の周囲に空心コイル１０２が配置されている。真空容器１０１中には同軸線路１０３により５００ＭＨｚの電磁波がＵＨＦ帯電源１０４により供給されている。図２にＵＨＦ帯電磁波の供給部詳細図を示す。真空中に導入された電磁波はアース電位の導体板１０５に石英からなる誘電体１０６を介し近接したグラファイト製の円形導体板１０７に供給されている。円形導体板１０７の直径

は円形導体板上で電磁波の共振モードが得られる径としている。本実施例ではＴＭ１１モードの励振が可能な直径約１５ｃｍの円形導体板１０７を用いた。なお、ＴＭ１１モードとは、電磁波の伝搬形態で、本実施例では円形導体板とアース電位導体間で形成される電磁波の最も低次の定在波分布で、基本モードとなるものである。円形導体板１０７上へのＵＨＦ帯電磁波の給電は、図２に示すようううに中心をさけるように施されている。円形導体板１０７の中心位置でＵＨＦ帯電磁波の給電を行うと円形導体板上での電磁波電圧の定在波の節がその位置に相当するため効率よく電磁波を空間に放射できない。よって、図２に示す本実施例の構成では偏心した位置にＵＨＦ帯電磁波を給電し、高い電磁波放射効率が得られるようになっている。図１に示すようにＵＨＦ帯電源１０４の出力は１００メガヘルツ以上通過させる高域通過フィルタ１０８と２０メガヘルツ以下を通過させる低域通過フィルタ１０９が接続されている。低域通過フィルタ１０９の一端はアースまたは３００キロヘルツの高周波電源１１６に接続されている。また被加工試料１１０が設置される試料台１１１には８００キロヘルツの高周波電源１１２が接続されている。また試料台１１１には温度制御手段１１３が設置され被加工試料１１０が常に一定の温度になるよう設定されている。本実施例では被加工試料１１０の温度が常に摂氏６０度程度になるよう設定されている。電磁波を放射する円形導体板１０７の温度もアース電位の導体板１０５に設置された温度制御手段１１４により制御されている。円形導体板１０７の円周部には酸化アルミニュウム（アルミナ）で形成されたリング１１５で覆われている。円形導体板１０７の円周部はＵＨＦ帯電磁波の電界が最も強く分布する位置であり、このリング１１５により円形導体板１０７の円周部での局所的なプラズマ形成を防止し均一なプラズマ形成が可能となる。本実施例ではリング１１５の材質をアルミナとしたが、前記リング１１５は電磁波を透過できる材質であり、かつ半導体素子の加工の際に問題となる不純物を発生する度合が少なければよいので、他に石英、窒化シリコン、窒化ボロン、ステアタイト、ジルコニアを用いても同様の効果がある。真空容器１０１中には原料ガス導入手段１１６により原料ガスが導入されている。本実施例では原料ガスにC_4F_8とアルゴンを混合した原料ガスを用い、真空容器１０１中に５から１５ｍＴｏｒｒ導入した。以上の基本構成により、本実施例ではシリコン酸化膜のエッチングを行う。

【００１８】

次に図１の実施例の動作を説明する。プラズマを形成するための電磁波はＵＨＦ帯電源１０４より同軸線路１０３を介しグラファイト製の円形導体板１０７に供給される。円形導体板１０７はアース電位の導体板１０５に誘電体１０６を介して形成することでマイクロストリップ線路共振器を構成する。円形導体板１０７の共振器構造により円形導体板面に高周波の電流が高効率に流れ、プラズマ側の空間に電磁波を放射する。このようにして円形導体板１０７から放射された電磁波と空心コイル１０２による磁場との相互作用により原料ガスがプラズマ化される。この時真空容器１０１内の磁場を５００メガヘルツの電磁波に対し、電子サイクロトロン共鳴の条件をたす大きさ（１００から２５０ガウス）に設定することで、高効率にプラズマを形成することが可能となる。

【００１９】

図３に示すようにＵＨＦ帯の電磁波により電子サイクロトロン共鳴現象を用いてプラズマを形成すると、従来電子サイクロトロン共鳴型プラズマで用いられていた２．４５ギガヘルツのマイクロ波帯に比べ電子密度を高くでき、かつ電子温度が低い状態を実現できる。プラズマ中の原料ガスの解離は電子温度に依存するため、低解離なプラズマを形成することができる。また、プラズマの形成機構は電子サイクロトロン共鳴を用いているので、従来のマイクロ波帯を用いた電子サイクロトロン共鳴型と同様、低ガス圧で高密度なプラズマ形成が可能となる。これにより従来高密度プラズマ源で問題となっていた高解離によるエッチング反応の制御性劣化という問題が解決できる。

【００２０】

次に、電磁波周波数に対するＥＣＲプラズマにおけるプラズマ生成効率について記す。プラズマの生成効率は電子及びイオンの荷電粒子の生成速度と損失速度のバランスにより決まる。まず、荷電粒子の生成速度について記す。ガス圧力１～数１０ｍＴｏｒｒにおける

ＥＣＲプラズマのプラズマ加熱機構はＥＣＲ現象によるものと電子の衝突加熱機構による２種類が主となる。ＥＣＲによる加熱効率はＥＣＲ領域の大きさで決まり、大きい程高い加熱効率が得られる。ＥＣＲ領域の大きさは磁場勾配の大きさと電磁波周波数にほぼ反比例する。よってＥＣＲ現象による加熱効率は電磁波周波数が低い方が高い傾向となる。また、電子の衝突加熱機構による加熱効率は、電磁波の振動電界に対する電子の追随性に依存する。従来のＥＣＲで用いられうマイクロ波領域（例えば２．４５ＧＨｚ）は電子の慣性により電磁波電界の振動に電子が十分追従できず加熱効率としては低くなる。よって衝突加熱による加熱効率も周波数が低い方が高い効率が得られる。しかし、電磁波周波数が低すぎる場合には気相内粒子や真空容器壁等との電子の衝突によるエネルギー損失が大きくなり、加熱効率が低くなるので衝突加熱による効率は本発明でのＵＨＦ帯が最も効率的である。次に、荷電粒子の損失速度について記す。電磁波周波数が低い場合にはＥＣＲに必要な磁場が少なくてすむ。しかし磁場はプラズマを空間に閉じ込め、損失を低下させる働きを持つことから低い磁場では損失速度が早まり、プラズマの生成効率を下げる要因となる。よって、電磁波周波数が低い場合生成速度が早まり、プラズマ生成効率に有効（但し、衝突加熱機構においては低すぎると逆効果となる）と記したが、荷電粒子の損失速度も早まるため総合的に考えるとプラズマ生成効率は低くなってしまう。この現象をＥＣＲプラズマ生成効率と電磁波周波数の関係としてまとめたものが図１６である。電磁波周波数が低い場合には、衝突加熱機構における電子のエネルギー損失の増大と磁場強度が小さいことによるプラズマの閉じ込め効果の減少でプラズマ生成効率が低くなり、電磁波周波数が高い場合には、ＥＣＲ領域の減少と電子の電磁波電界振動に対する追従性の低下からプラズマ生成効率が低下する。よって、低ガス圧力でも良好なプラズマ形成が可能なＥＣＲ方式においては図１６に示すように、３００から１０００ＭＨｚのＵＨＦ帯が最も高いプラズマ生成効率有する。ＵＨＦ帯では高いプラズマ生成効率が得られるだけでなく、従来のマイクロ波帯より必要な磁場強度が低くてすむため、従来大電力を必要としていた磁場形成を大幅に省力化が達成出来る。またプラズマ生成効率が高いと言うことは、低い電子温度で高いプラズマ密度が維持できることを示しており原料ガスの解離を抑制したプラズマ形成が可能となる。

【００２１】

次に反応制御法について説明する。先の説明より、ＵＨＦ帯の電磁波では電子サイクロトロン共鳴プラズマを形成することで低解離なプラズマが実現できた。しかし低解離性だけではシリコン酸化膜エッチングに理想的な反応種制御は困難である。例えばフロン系ガス（本実施例ではC_4F_8）を用いてプラズマを形成する場合、シリコン酸化膜エッチングに有用な反応種はＣＦ、CF_2である。低解離なプラズマによりこれら反応種を相対的に多く形成できたとしても、フッ素原子が多量に生成されてしまう。フッ素原子はシリコン酸化膜エッチング時の対シリコン、レジスト、窒化膜に対する選択比低下の主要因であり、エッチング条件としてはあまり好ましくない粒子である。そこで本発明では電磁波放射を行う円形導体板１０７をグラファイトで形成し、グラファイト表面とフッ素原子を反応させる構造とした。グラファイト表面でフッ素を反応させることにより、有害なフッ素原子量をへらし、有効なＣＦ、CF_2を生成して被加工試料のエッチングに反映させることができる。特に被加工試料１１０に対面する円形導体板１０７をグラファイトとしていることにより、最も効果的にグラファイト表面の反応を被加工試料１１０上に反映することができる。空心コイル１０２による磁場を調整することにより、被加工試料１１０と円形導体板１０７間に電子サイクロトロン共鳴磁場を形成することで被加工試料１１０と円形導体板１０７が近接した状態（円形導体板１０７表面の反応を高効率に被加工試料表面の反応に反映できる状態）でも均一なプラズマ形成が可能である。本実施例では被加工試料１１０と円形導体板１０７間距離を２ｃｍから３０ｃｍの間で可変可能な構造とし、プラズマの均一性と円形導体板１０７表面での反応の被加工試料表面への反映効率の両方を両立可能な位置へ調整できる構造となっている。電磁波を放射する円形導体板１０７の温度はアース電位の導体板１０５に設置された温度制御手段１１４により制御され、常に一定な温度に保たれている。これにより円形導体板１０７上での反応の安定化をはかっている。

また、本実施例では円形導体板１０７が低域通過フィルタ１０９を介しアースに接続されている。これにより試料台１１１に印加する８００キロヘルツの高周波に対しては円形導体板１０７がアース電極として作用し、被加工試料に印加するバイアスの均一化も可能となる。本実施例では円形導体板１０７をグラファイトとしたがシリコンを用いてもフッ素の消費効果があるため同様な反応制御機能がある。本実施例ではシリコン酸化膜をエッチングするためにC_4F_8をベースに酸素を混合した原料ガスを用いたが、その他として主ガスにCF_4、C_2F_6、CHF_3、CH_2F_2、CH_3Fを用いても同様な効果があることは言うまでもない。また添加ガスとしても酸素の他に水素、ＣＯ、希ガスを用いても同様で有効な効果がある。

【００２２】

本実施例では、ＵＨＦ帯の電磁波に５００ＭＨｚの電磁波を用いたが、３００ＭＨｚから１ＧＨｚの電磁波を用いても図３に示すのと同様の効果がある。また３００ＭＨｚから１ＧＨｚの電磁波は波長が約３０ｃｍから８０ｃｍで、８インチ以上特に１２インチウエハ以上の大口径プラズマ処理装置の真空容器径と同程度であり、真空容器内にプラズマの不安定性や不均一性を伴う高次モードの定在波を発生しにくく、またプラズマ形成に必要な磁場強度も従来のマイクロ波を用いる場合に比べ小さくてすむ。よって、周波数範囲のＵＨＦ帯電磁波でプラズマ形成を行うと、大口径ウエハの加工に適したプラズマ処理装置が低コストで実現できる。よって、本発明におけるプラズマ形成に用いるＵＨＦ帯電磁波の周波数範囲を３００ＭＨｚから１ＧＨｚとする。

【００２３】

本実施例では被加工試料に印加する高周波電界を８００ｋＨｚとしたが、１００ｋＨｚから２０ＭＨｚの高周波電界印加でも同様の効果がある。

【００２４】

本実施例では円形導体板１０７を設置する誘電体１０６を石英としたが、他に酸化アルミニュウム、窒化シリコン、窒化ボロン、シリコンカーバイト、ジルコニア、パイレックスガラス、テフロンを用いても同様の効果がある。

【００２５】

本実施例ではシリコン酸化膜のエッチングを行う場合について述べたが、円形導体板１０７をシリコン、グラファイト、アルミ、ステンレスのいずれか１種類とし、さらに原料ガスに塩素系ガスを用いることでアルミ、シリコン、タングステンのエッチングに応用できる。

【００２６】

本実施例では、試料に対面する位置に配置された円形導体板１０７上での反応により活性粒子種制御を行ったが、プラズマが接する５０パーセント以上の真空容器壁を同様な材質で形成することでも同様な活性粒子種制御が可能である。この時、壁に高周波電界印加手段および温度制御手段を設置することで、高精度な活性粒子種制御が可能となる。壁に印加する高周波電界は被加工試料に印加する高周波電界と同様な１００キロヘルツから２０メガヘルツの範囲が効率よくイオンを加速し反応を促進できる。しかし、被加工試料に印加する高周波電界とは周波数を２倍以上はなさないと、フィルタの設計が困難で互いの電源に影響を与えてしまう。よって、例えば、被加工試料に印加する高周波電界を８００キロヘルツとし、壁に印加する高周波電界を３００キロヘルツとすると良い。これは前記円形導体板１０７にＵＨＦ帯電磁波と同時に印加する高周波電源１１６においても同様であり、高周波電源１１６の周波数も１００キロヘルツから２０メガヘルツで、かつ被加工試料に印加する高周波電界の周波数に対し２倍以上はなすことが必要である。

【００２７】

本実施例において円形導体板１０７に図４に示すようなスリット１２０を形成し、スリットから放射される電磁波を用いてプラズマを形成する構成としても同様の効果があり、さらにスリットの大きさあるいは数を最適化することによりより均一なプラズマ形成を実現することが可能となる。

【００２８】

（実施例２）
実施例２のプラズマ処理装置を図５に示す。図５では、図１の実施例での電磁波放射アンテナとなる円形導体板への電磁波供給を工夫し、円形導体板から放射する電磁波をプラズマの形成に効率的な円偏波とすることを特徴とした実施例である。大まかな構成は図１の実施例と同様なため、異なる電磁波供給部についてのみ説明を記す。
【００２９】
真空容器２０１中には同軸線路２０２により５００ＭＨｚの電磁波がＵＨＦ帯電源２０５により供給されている。真空中に導入された電磁波はアース電位の導体板２０６に石英からなる誘電体２０７を介して形成したグラファイト製の円形導体板２０８に供給されている。円形導体板２０８への電磁波供給は図６に示すように同軸線路２０２からの電磁波を２系統に分割し、かつ一方を４分の１波長長い線路とし、円形導体板２０８の２点に供給している（詳細は図６）。２本に分割した電磁波の電送路２０３の長さを４分の１波長ずらすことで円形導体板２０８に給電する電磁波の位相を９０度づらすことができる。９０度位相のずれた電磁波は円形導体板状で合成され回転電場を形成し、円偏波となって円形導体板２０８から空間に放射される。図１の実施例同様に円形導体板２０８の直径は円形導体板上で電磁波の共振モードが得られる径としている。本実施例では図１の実施例と同じくＴＭ１１モードの励振が可能な直径約１５ｃｍの円形導体板を用いた。
【００３０】
その他本実施例の動作および詳細に関しては図１の実施例と同様である。
【００３１】
（実施例３）
図７に本発明の実施例３を示す。本実施例は主にプラズマを形成するためのＵＨＦ帯電磁波の放射方法が先の図１の実施例と異なる。図７の実施例では、図１の実施例と同様に真空容器３０１の周囲に空心コイル３０２が配置されている。真空容器３０１中には同軸線路３０３により５００ＭＨｚの電磁波がＵＨＦ帯電源３０４により供給されている。真空中に導入された電磁波はアース電位の導体板３０５に石英からなる誘電体３０６を介し形成されたマイクロストリップ線路３０７により円周状に配置された電磁波放射アンテナ３０８に供給されている。またアース電位のグラファイト製円形導体板３０９が中央部に設置される。図８に電磁波放射アンテナ３０８の詳細を示す。同軸線路３０３の外導体はアース電位の導体板３０５に接続され、芯線は４分割され円周状に配置された各電磁波放射アンテナ３０８に接続される。電磁波放射アンテナ長は１／２波長（誘電体３０６内での波長）の整数倍で作られる。本実施例では１／２波長の長さである約１５ｃｍのものを用いた。同軸線路３０３から各電磁波放射アンテナ３０８に接続する線路はそれぞれ１／４波長ずつ線路長をかえて接続される。これにより各電磁波放射アンテナ３０８への電磁波供給が９０度づつ位相をずらせて供給でき、各電磁波放射アンテナ３０８からの反射電磁波が給電点３０９で相殺される。また各電磁波放射アンテナ３０８から放射される電磁波の合成電界が回転電界場となり、磁場との相互作用によるプラズマ形成効率が高まる。
【００３２】
本実施例ではグラファイト製円形導体板３０９が図１の実施例での反応制御機能および被加工試料３１０へ印加する高周波電界のアース電極として作用する。反応制御法およびアース電極としての機構は先の図１の実施例と同様である。しかし、本実施例でのグラファイト製円形導体板３０９は電磁波放射を行う必要が無いため、温度の制御機能およびガス供給機構等を前記円形導体板に直接作り込むことが容易で、前記円形導体板上での反応安定性が向上する利点をもつ。また、図１の実施例同様、グラファイト製円形導体板３０９をシリコンで形成しても同様な反応制御が可能である。さらに、図１の実施例同様、グラファイト製円形導体板３０９に１００キロヘルツから２０メガヘルツの高周波電界を印加し、そのバイアスにより表面上での反応量および反応機構を制御することも可能である。
【００３３】
本実施例では試料に対面する位置に配置されたグラファイト製円形導体板３０９上での反応により活性粒子種制御を行ったが、プラズマが接する５０パーセント以上の真空容器壁

を同様な材質で形成することでも同様な活性粒子種制御が可能である。この時前記壁にバイアス印加手段および温度制御手段を設置することで高精度な活性粒子種制御が可能となる。

【００３４】

なお、ストリップラインとはアース電位の導体板上に誘電体膜、その上に導体線路が形成されたものであり、電力を輸送するものである。また、電磁波はこの導体線路に供給される。

【００３５】

（実施例４）

図９に本発明の実施例４のプラズマ処理装置を示す。本実施例は、磁場形成に永久磁石を用いる等の点で実施例１と異なる。円筒状の真空容器４０１の外側上部に直径３０ｃｍ、厚み１０ｃｍで中心部の表面磁束密度１０００Ｇｕｓｓの永久磁石４０２が設置される。永久磁石４０２は、円筒状の真空容器の軸方向である上下方向に移動可能であり、永久磁石４０２の位置を変えることで真空容器４０１内の磁場分布が制御できる構造となっている。永久磁石４０２の中央部には直径約４ｃｍの孔があり、その孔を介し同軸線路４０３により５００ＭＨｚの電磁波が真空容器４０１内に導入される。真空容器４０１の外部側周辺には空心コイル４０４が設置されており、空心コイル４０４による磁場により、永久磁石４０２で形成される磁場分布を制御できる構造になっている。真空容器４０１内に導入された同軸ケーブル４０３は、同軸線路４０３の外導体が平板状アース電極４０５に接続され、同軸線路４０３の芯線が平板状アース電極４０５に近くかつ並行に配置された放射状ストリップライン４０６の中央部（給電点）４１２に接続されている。同軸線路４０３の他端には図示しない電磁波波発振器から導波管４１４及び同軸変換器４１３を介して電磁波電力が供給される。

【００３６】

図１０は図９における放射状ストリップライン部の拡大図を示し、（ａ）及び（ｂ）はそれぞれ側断面図及び紙面下部から見た平面図を示す。図１０に示すように本実施例では４つのストリップラインが中心点（給電点）４１２から等角度で放射状に配置されている。放射状ストリップライン４０６は全体が石英ガラス４０７で被覆されている。

【００３７】

図９に戻り、真空容器４０１内には、試料台４０９が設けられ、試料台４０９には試料温度制御機構４１０及び高周波バイアス印加手段４１１が設置されている。また、（直径２０ｃｍ）の被加工試料４０８は試料台４０９上に載置される。同軸ケーブル４０３で供給されたマイクロ波は放射状ストリップライン４０６と平板状アース電極４０５間を伝播しながら被加工試料４０８方向に電磁波を放射する。これにより真空容器４０１内の広い範囲にわたり均一な電磁波放射が可能となり高均一なプラズマ形成が実現できる。

【００３８】

次に図９の装置の動作を説明する。永久磁石４０２と空心コイル４０４により真空容器４０１内の被加工試料４０８の上部付近に電子サイクロトロン共鳴磁場（用いられる電磁波が５００ＭＨｚなので約１７８Ｇａｕｓｓ）が形成される。上記磁場は主に永久磁石４０２で形成され空心コイル４０４による磁場は急激に発散しようとする永久磁石４０２の磁束を集束させる補助的な役割を持つ。従って、空心コイル４０４を流れる電流は少なくてもよい。同軸ケーブル４０３を介し放射状ストリップライン４０６の中央部４１２に供給された電磁波は各放射状ストリップラインの素子に沿って電磁波を空間に放射しながら伝播する。このとき放射状ストリップライン４０６の各素子の長さは、使用する電磁波の半波長の整数倍±２０％の長さとすることで効率よく電磁波の伝播と放射が実現できる。放射状ストリップライン４０６により放射されたマイクロ波と前記磁場との相互作用により真空容器４０１内に導入された原料ガスをプラズマ化する。

【００３９】

電磁波の放射が放射状ストリップライン４０６により行われるため、ストリップライン４０６の長さにより大口径な真空容器に対しても均一な電磁波放射ができ、大口径高均一プ

ラズマが実現できる。本実施例によりプラズマを形成する場合、主磁場は永久磁石で形成されるため、従来装置で問題となる電磁石による消費電力が低減できる。また、プラズマの生成も大口径永久磁石を用いているため、被加工試料位置に近い所で電子サイクロトロン共鳴を起こさせることができ、さらに電磁波導入部から電子サイクロトロン共鳴位置までの範囲でマイクロ波電力を吸収させるため十分なイオン及びラジカル密度を実現することができる。被加工試料４０８は高周波バイアス印加手段４１１により高周波バイアスを印加することでプラズマ中からイオン加速して被加工試料４０８に入射させることができる。ここでプラズマは被加工試料と対面する位置に設置される平板状アース電極４０５に接するため、従来装置で問題となる高周波バイアスの被加工試料面内での不均一が解消でき、高均一なプラズマ処理が可能となる。

【００４０】

（実施例５）

図１１に本発明の実施例５の構成を示す。図１１は、プラズマ処理装置の側断面図及び紙面下側部から見たマイクロ波放射部の平面図を示す。但し、図１１では被加工試料への高周波電界印加機構および冷却機構を簡単化のため省略している。本実施例は、実施例４に対し放射状ストリップライン５０６の給電点５１２の近くで、被加工試料５０８側に円盤状導体５１５を設置し、電磁波の中央集中を防止し、プラズマの均一性を向上させたものである。一般に、形成されるプラズマは壁での消滅の為、真空容器５０１の径方向に対して周辺部が低密度で中央部が高密度となる傾向にある。このため中央部からの電磁波放射を円盤状導体５１５で抑制することによりプラズマの均一化を実現している。さらに、この円盤上導体５１５をアース電極とすることにより図１から図１０の実施例と同様に被加工試料に印加する高周波電界のアース電極として作用し、さらに円盤状電極５１５を図１から図１０記載の実施例同様グラファイト等の材料で形成することで反応制御機能をもたせることが可能となる。

【００４１】

（実施例６）

図１２に本発明による実施例６を示す。本実施例は実施例４に対し、放射状ストリップライン６０６、アース電極６０５等の電磁波照射部を真空容器外に設置し、石英窓６０７を介し真空容器６０１と接続したものである。本実施例は図１の実施例に比べ、特に真空隔壁部を電磁波供給部（同軸ケーブル）６０３が通過しないため、真空容器６０１の製作が容易となる。

【００４２】

しかし、本実施例では試料６０８に対面する位置にアース電極を設置できない不利な点を持つ。また本実施例は図９の実施例４のみでなく図１の実施例１、図５の実施例２、図７の実施例３の構成において電磁波放射部を石英窓で仕切ることにより同様に実現できる。

【００４３】

（実施例７）

図１３に本発明の実施例７を示す。本実施例は実施例６の不利な欠点を克服するものである。石英窓７０７より真空容器７０１側に放射状ストリップライン７０６にそって、放射状ストリップライン７０６の幅の２００％の幅で開口したアース電位導体７１５を設置した構造である。電磁波は真空容器７０１側に設置したアース電位導体７１５の開口部７１６より放射される。これにより被加工試料に印加する高周波電界のアース電極が被加工試料の対面位置に実現できる。アース電位導体７１５をグラファイト等の材質で形成することにより前記の実施例同様の反応制御が可能となる。本実施例では真空容器７０１側に設置されるアース電位導体７１５の開口部７１６の幅を放射状ストリップライン７０６の幅の２００％としたが、１００から５００％の範囲の開口部幅でも同様の効果があることは言うまでもない。

【００４４】

（実施例８）

図１４に本発明の実施例８を示す。図１４は、装置の側面断面図及びアンテナ部の平面図

（アンテナ部を下部から見た図）である。本実施例は実施例４の応用例であり、放射状に配置した各アンテナからの電磁波放射効率を高めることを目的としている。本実施例では、アース電位導電板８０５に３本の直線状アンテナ８０６をストリップラインにより構成した。なお、本実施例ではアンテナを３本としたが、３本以上の奇数本でもよい。複数本の直線状のアンテナを交差させる場合、アンテナの中央部以外を交点とすると、奇数本でなければ均等に電磁波を供給できない。この直線状アンテナ８０６は、石英ガラス８０７で被覆されている。各アンテナ上における電磁波の電流、電圧分布の節となる位置からはずれた点を交点とし、前記交点を電磁波の給電位置８１２としている。この給電位置により各アンテナとアンテナに供給する線路間での電磁波の電送効率が高くでき、効率の良い電磁波供給が可能となる。

【００４５】

（実施例９）

図１５に本発明におけるプラズマ処理装置において集積回路の加工実施例を示す。図１５（ａ）は、シリコン酸化膜エッチングにおけるセルフアラインコンタクト加工の工程図であり、シリコン基板９０４上にポリシリコン電極９０５、窒化シリコン９０３を形成し、さらに絶縁膜であるシリコン酸化膜９０２を、レジストマスク９０１を用いて加工した例である。また、図１５（ｂ）は、コンタクト加工の工程図であり、シリコン基板９０４上にメモリセル９０５を形成し、さらに絶縁膜であるシリコン酸化膜９０２を、レジストマスク９０１を用いて加工した例である。（ａ）（ｂ）とも０.３ミクロンメートル以下の寸法で高アスペクトの構造を高い加工速度と加工選択性が必要である。選択性とは、加工対照であるシリコン酸化膜に対し（ａ）では窒化シリコンまたはシリコン、（ｂ）ではシリコンを加工しない度合を示す指標である。従来のプラズマ処理装置では高い加工速度を得るためにプラズマ密度を高くすると、原料ガスの解離が進みすぎ高い加工選択性を得ることが困難であった。しかし、本発明では高いプラズマ密度においても電子温度が低いため、解離が抑制され、さらに壁または電磁波導入アンテナあるいは被加工試料に対面する位置に配置されるアース電極に高周波電界を印加し、各部表面での反応によりラジカル制御機能を付加したことで高い加工速度と選択性が両立することが可能となる。

【００４６】

以上本発明の実施例について説明したが本発明は上記実施例に限定されるものではない。例えば、実施例では永久磁石中央部での表面磁束密度が１０００Ｇａｕｓｓのものを用いたが、２００から５０００Ｇａｕｓｓの範囲で用いる永久磁石を選び、前記の永久磁石の径と合わせて必要な磁場分布を調節できる。

【００４７】

実施例４から実施例８では、永久磁石は直径３０ｃｍ、厚み１０ｃｍのものを用いたが、被加工試料径と同等又は被加工試料径の７０％から１５０％の径と、被加工試料径の１０％から１００％の厚みのある磁石を用いることで効果的な磁場分布を形成できる。特に永久磁石の口径が試料径より大きく、さらに厚みも上記口径に近いほど理想的な磁場分布が形成できる。また単一の永久磁石でなく小型磁石を複数個密にならべ等価的に上下方向で磁化した大口径永久磁石を形成しても同様である。小型磁石を複数個近接して配置し等価的に上下方向で磁化した大口径永久磁石を形成する場合は個々の小型磁石を上下方向に移動可能な構造とすることで、磁場の面内分布を調節可能となる。

【００４８】

実施例３から実施例７では放射状ストリップラインが４素子の場合を示したが、３から２０までの素子数で対象かつ放射状にストリップラインを形成しても同様の効果があることは言うまでもない。また同様に実施例８では放射状ストリップラインが３素子の場合を示したが奇数本であれば同様な構成が可能である。

【００４９】

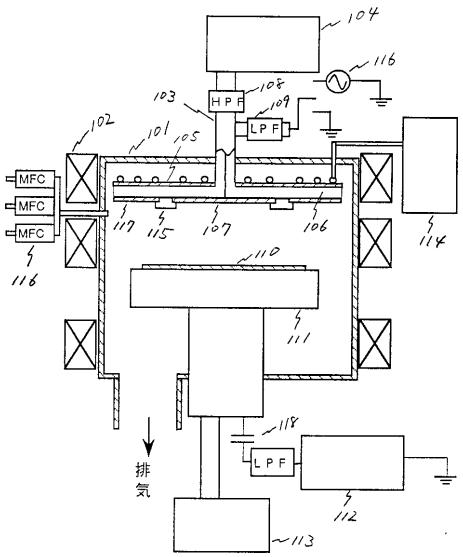
実施の形態１から実施形態８は磁場の形成に空心コイル、空心コイルと永久磁石の組み合わせの場合のみ記したが、いずれの実施例においても空心コイルのみ、空心コイルと永久磁石の組み合わせ、永久磁石のみのいずれかの構成で実現可能である。

【００５０】
実施例５から実施例８ではストリップラインを放射状に配置したが、直線状ストリップラインを並行に複数本配置し、各ストリップラインに給電しても同様の効果がある。
【００５１】
【発明の効果】
電子サイクロトロン共鳴型プラズマ発生装置における電磁石での消費電力が大幅に低減され、かつ高密度のイオンやラジカルを試料に供給することができる。また、被加工試料に対面する位置にアース電極を設置することができ、高周波バイアスの均一化を達成できる。
【００５２】
さらに、ＵＨＦ帯の電磁波による電子サイクロトロン共鳴でプラズマを形成することにより、低ガス圧高密度なプラズマでも低解離な気相状態が実現でき、電磁波放射用の平板状の電極表面での反応で被加工試料に入射する活性粒子種が制御可能となる。これにより０．２マイクロメートルレベル以下の超精密加工を高スループット、高選択比、高アスペクト加工といった要求を同時に満足し、かつ長期にわったて安定なエッチング特性を得ることができる。
【図面の簡単な説明】
【図１】本発明の実施例１を示す図。
【図２】実施例１における電磁波放射部の説明図。
【図３】ＵＨＦ帯電磁波と従来マイクロ波による電子サイクロトロン共鳴プラズマの特性図。
【図４】実施例１における円形導体板にスリットを形成した場合の説明図。
【図５】本発明の実施例２を示す図。
【図６】実施例２における電磁波放射部の説明図。
【図７】本発明の実施例３を示す図。
【図８】実施例３における電磁波放射部の説明図。
【図９】本発明の実施例４を示す図。
【図１０】実施例４における電磁波放射部の説明図。
【図１１】本発明の実施例５を示す図。
【図１２】本発明の実施例６を示す図。
【図１３】本発明の実施例７を示す図。
【図１４】本発明の実施例８を示す図。
【図１５】本発明の実施例９を示す図。
【図１６】電磁波周波数とプラズマの生成効率との関係を示す図。
【符号の説明】
１０１…真空容器、１０２…空心コイル、１０３…同軸線路、１０４…ＵＨＦ帯電源、１０５…アース電位の導体板、１０６…誘電体、１０７…円形導体板、１０８…高域通過フィルタ、１０９…低域通過フィルタ、１１０…被加工試料、１１１…試料台、１１２…高周波電源、１１３…温度制御手段、１１４…温度制御手段、１１５…リング、１１６…ガス導入手段１１７…アース板、１１８…コンデンサ、１１９…給電点、１２０…スリット、２０１…真空容器、２０２…同軸線路、２０３…電送路、２０４…給電点、２０５…ＵＨＦ帯電源、２０６…アース電位の導体板、２０７…誘電体、２０８…円形導体板、３０１…真空容器、３０２…空心コイル、３０３…同軸線路、３０４…ＵＨＦ帯電源、３０５…アース電位の導体板、３０６…誘電体、３０７…マイクロストリップ線路、３０８…電磁波放射アンテナ、３０９…円形導体板、４０１…真空容器、４０２…永久磁石、４０３…同軸線路、４０４…空心コイル、４０５…平板状アース電極、４０６…放射状ストリップライン、４０７…石英ガラス、４０８…被加工試料、４０９…試料台、４１０…試料温度制御機構、４１１…高周波バイアス印加手段、４１２…中心部、４１３…同軸導波管変換器、４１４…導波管、５０１…真空容器、５０２…永久磁石、５０３…同軸線路、５０４…空心コイル、５０５…平板状アース電極、５０６…放射状ストリップライン、５０７

…石英ガラス、５０８…被加工試料、５０９…試料台、５１３…同軸導波管変換器、５１４…導波管、５１５…円盤状電極、６０１…真空容器、６０２…永久磁石、６０３…同軸線路、６０４…空心コイル、６０５…平板状アース電極、６０６…放射状ストリップライン、６０７…石英窓、６０８…被加工試料、６０９…試料台、６１３…同軸導波管変換器、６１４…導波管、７０１…真空容器、７０２…永久磁石、７０３…同軸線路、７０４…空心コイル、７０５…平板状アース電極、７０６…放射状ストリップライン、７０７…石英窓、７０８…被加工試料、７０９…試料台、７１３…同軸導波管変換器、７１４…導波管、７１５…アース電位導体、７１６…開口部、８０６…直線状アンテナ、８０７…石英ガラス、８１２…給電点、９０１…レジストマスク、９０２…シリコン酸化膜、９０３…窒化シリコン、９０４…シリコン、９０５…ポリシリコン、９０６…メモリセル。

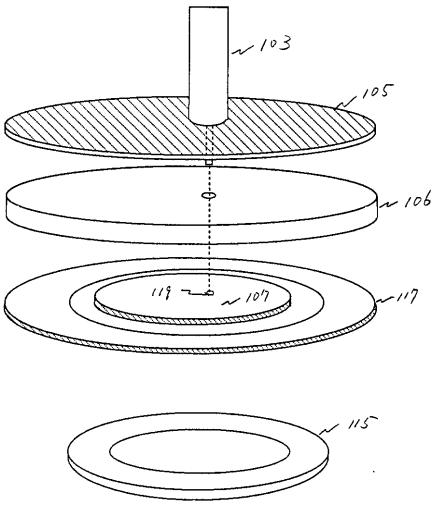
【図１】

図1



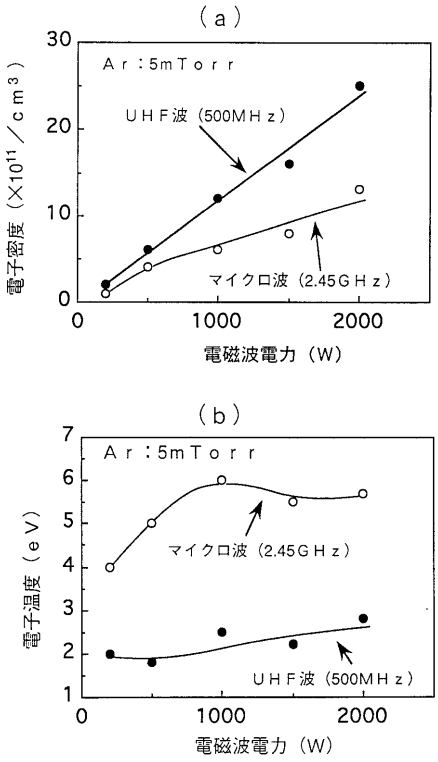
【図２】

図2



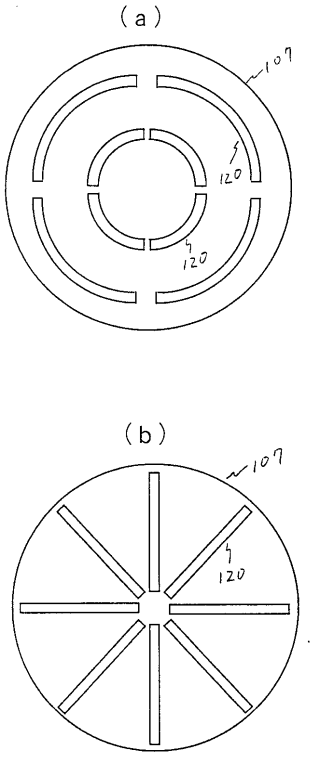
【図３】

図3



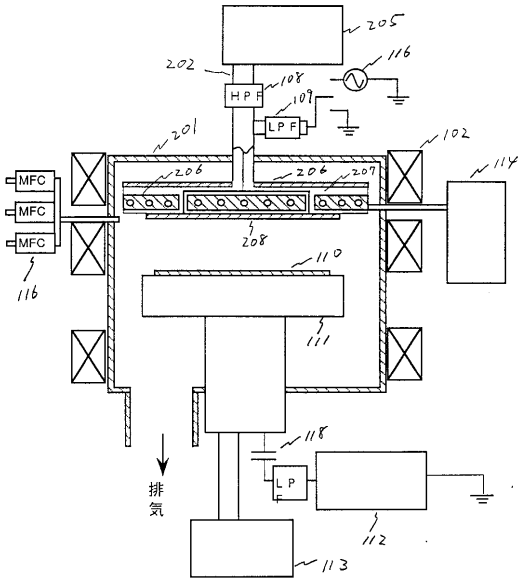
【図４】

図4



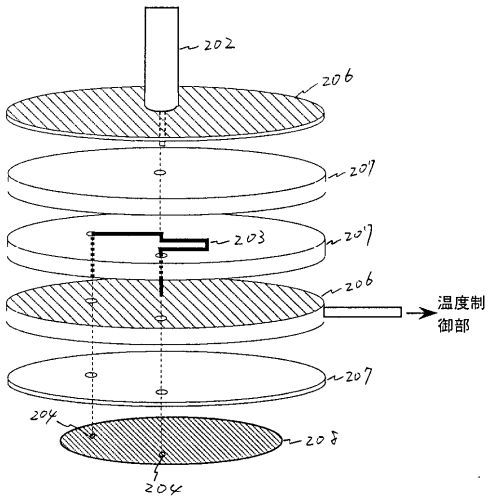
【図５】

図5



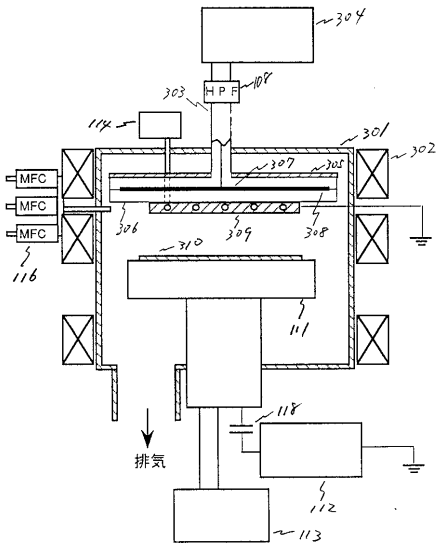
【図６】

図6



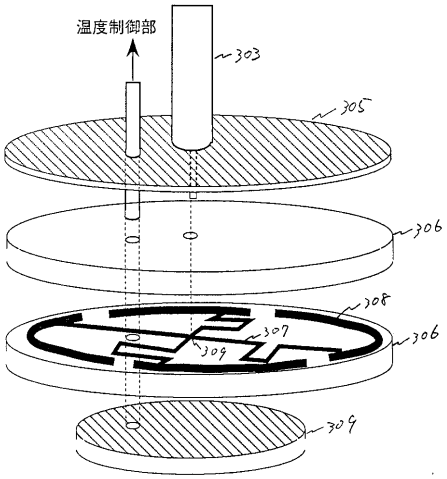
【図７】

図7



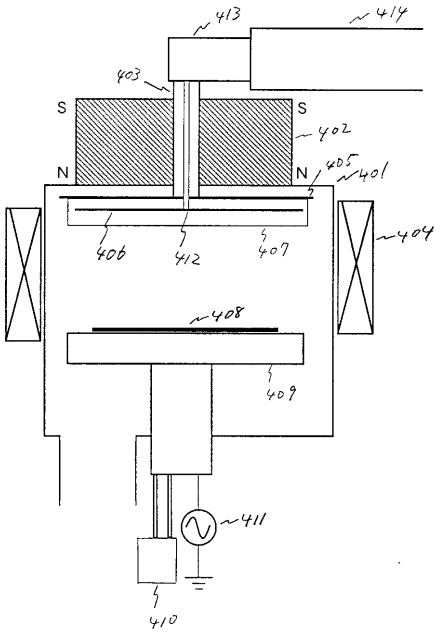
【図８】

図8



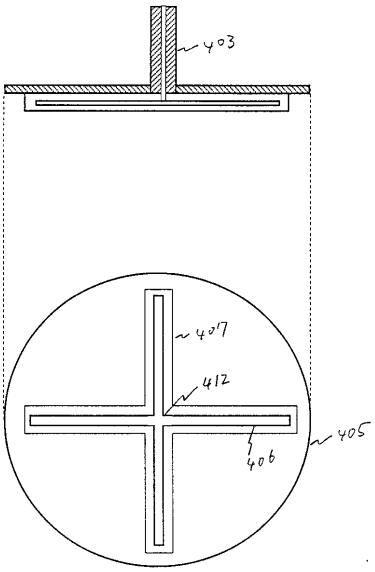
【図９】

図9



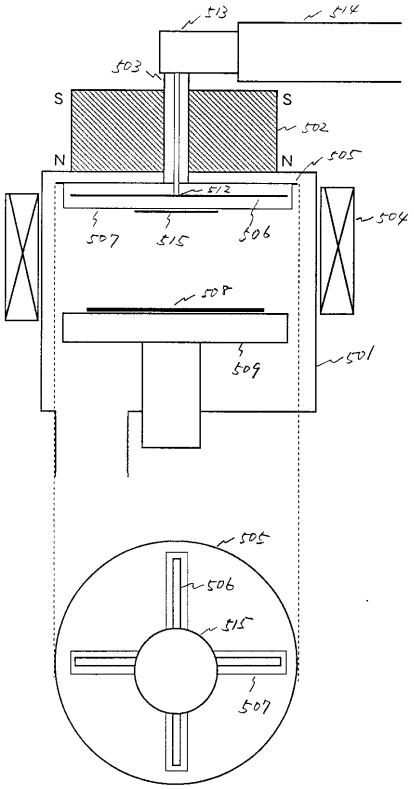
【図１０】

図10



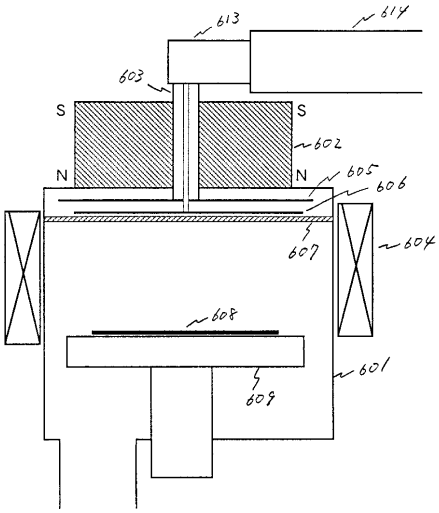
【図１１】

図11



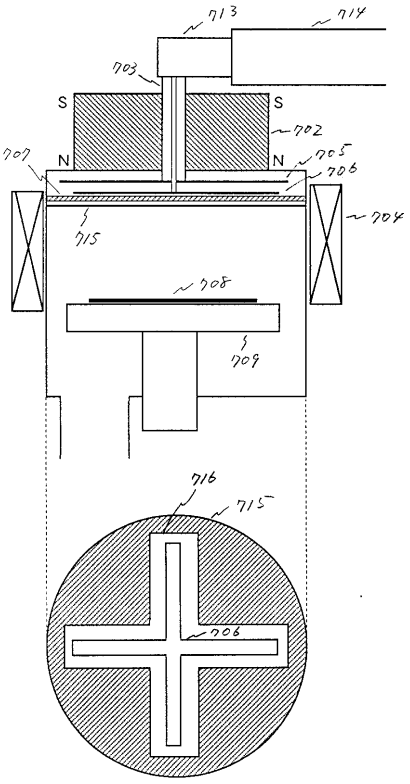
【図１２】

図12



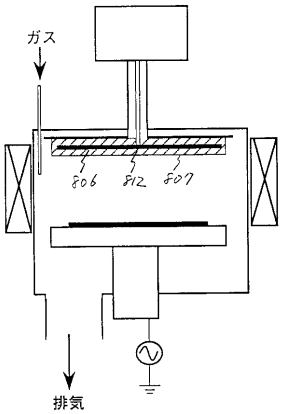
【図１３】

図13

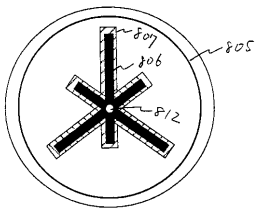


【図１４】

図14



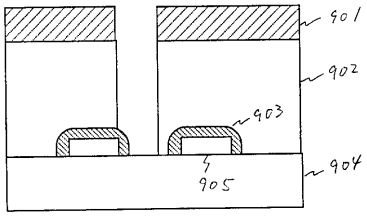
（ａ）側面断面図



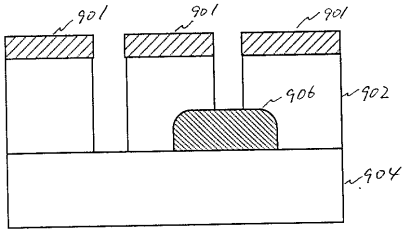
（ｂ）アンテナ部を下部から見た図

【図１５】

図15



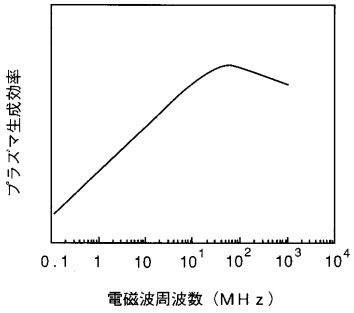
（ａ）セルフアラインコンタクト加工



（ｂ）コンタクトホール加工

【図１６】

図16



フロントページの続き

(72)発明者　田地　新一
東京都国分寺市東恋ケ窪一丁目２８０番地　株式会社日立製作所中央研究所内
(72)発明者　森　政士
東京都国分寺市東恋ケ窪一丁目２８０番地　株式会社日立製作所中央研究所内
(72)発明者　鈴木　敬三
東京都国分寺市東恋ケ窪一丁目２８０番地　株式会社日立製作所中央研究所内
(72)発明者　小野　哲郎
山口県下松市大字東豊井７９４番地　株式会社日立製作所笠戸工場内

審査官　今井　淳一

(56)参考文献　特開平０７－３０７２００（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－３３３６９７（ＪＰ，Ａ）
特開平０７－１２２４９５（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－０１３１９８（ＪＰ，Ａ）
特開平０９－１０２４００（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
H01L 21/3065
C23F 4/00
H05H 1/46