

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-27601

(P2010-27601A)

(43) 公開日 平成22年2月4日(2010.2.4)

(51) Int.Cl.

H05H 1/46 (2006.01)

F I

H05H 1/46

B

テーマコード (参考)

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2009-116336 (P2009-116336)
 (22) 出願日 平成21年5月13日 (2009.5.13)
 (31) 優先権主張番号 特願2008-159630 (P2008-159630)
 (32) 優先日 平成20年6月18日 (2008.6.18)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(71) 出願人 000219967
 東京エレクトロン株式会社
 東京都港区赤坂五丁目3番1号
 (74) 代理人 100095957
 弁理士 亀谷 美明
 (74) 代理人 100096389
 弁理士 金本 哲男
 (74) 代理人 100101557
 弁理士 萩原 康司
 (72) 発明者 西本 伸也
 東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂B i
 z タワー 東京エレクトロン株式会社内

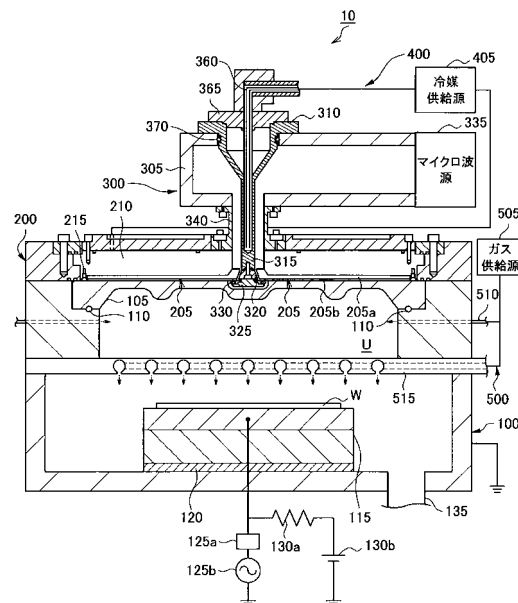
(54) 【発明の名称】 マイクロ波プラズマ処理装置及びマイクロ波の給電方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】昇温後においてもマイクロ波の伝送路を適正な状態に保つマイクロ波プラズマ処理装置及びマイクロ波の給電方法の提供。

【解決手段】マイクロ波プラズマ処理装置10は、ラジアルラインスロットアンテナのスロット板205bから放出されたマイクロ波の電界エネルギーによりガスを励起させ、基板Wをプラズマ処理する。内部にてプラズマ処理が行われる処理容器100と、マイクロ波を出力するマイクロ波源335と、マイクロ波源から出力されたマイクロ波を伝送する矩形導波管305と、矩形導波管を伝送したマイクロ波のモードを変換する同軸変換機310と、同軸変換機にてモードを変換されたマイクロ波を伝送する同軸導波管と、スロット板205bに対して非接触の状態と同軸導波管の内部導体315に取り付けられたテーパコネクタ320と、テーパコネクタとスロット板とを電気的に接続する弾性体330とを有する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

ラジアルラインスロットアンテナのスロット板から放出されたマイクロ波を用いて生成されたプラズマにより被処理体をプラズマ処理するマイクロ波プラズマ処理装置であって、

内部にてプラズマ処理が行われる処理容器と、
マイクロ波を出力するマイクロ波源と、
前記マイクロ波源から出力されたマイクロ波を伝送する矩形導波管と、
前記矩形導波管を伝送したマイクロ波のモードを変換する同軸変換機と、
前記同軸変換機にてモードを変換されたマイクロ波を伝送する同軸導波管と、
前記スロット板に対して非接触の状態で前記同軸導波管の内部導体に取り付けられたテーパ状のコネクタ部と、
前記テーパ状のコネクタ部と前記スロット板とを電氣的に接続する弾性体とを備えたマイクロ波プラズマ処理装置。

10

【請求項 2】

前記スロット板は、前記テーパ状のコネクタ部の先端面より大きな開口を有し、
前記テーパ状のコネクタ部は、前記スロット板の開口を貫通して設置台と連結し、
前記設置台に前記弾性体が配置されている請求項 1 に記載されたマイクロ波プラズマ処理装置。

20

【請求項 3】

前記弾性体は、線材の金属シールド部材である請求項 2 に記載されたマイクロ波プラズマ処理装置。

【請求項 4】

昇温後において前記テーパ状のコネクタ部の被処理体に向かう面と前記遅波板の被処理体に向かう面とが同一面内に位置する請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載されたマイクロ波プラズマ処理装置。

【請求項 5】

前記設置台は、外周につば部を有し、
前記弾性体は、前記つば部と前記スロット板との間に設けられる請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載されたマイクロ波プラズマ処理装置。

30

【請求項 6】

前記設置台のつば部は、段差を有し、
前記弾性体は、前記つば部に設けられた最も内側の段差より外側に設けられる請求項 5 に記載されたマイクロ波プラズマ処理装置。

【請求項 7】

前記設置台のつば部は、段差の角が丸く形成されている請求項 6 に記載されたマイクロ波プラズマ処理装置。

【請求項 8】

前記設置台のつば部と前記スロット板との間隔は、前記弾性体が、昇温によるテーパ状のコネクタ部の変位を吸収しながら前記テーパ状のコネクタ部と前記スロット板とを電氣的に接続する程度に離れている請求項 5 ~ 7 のいずれか一項に記載されたマイクロ波プラズマ処理装置。

40

【請求項 9】

前記遅波板及び前記遅波板に隣接して設けられた冷却ジャケットの少なくともいずれかの表面に絶縁材をコーティングする請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載されたマイクロ波プラズマ処理装置。

【請求項 10】

ラジアルラインスロットアンテナのスロット板から放出されたマイクロ波を用いて生成されたプラズマにより被処理体をプラズマ処理するマイクロ波プラズマ処理装置にマイクロ波を給電する方法であって、

50

マイクロ波源からマイクロ波を出力し、
前記出力されたマイクロ波を矩形導波管に伝送し、
前記伝送したマイクロ波のモードを同軸変換機にて変換し、
前記スロット板に対して非接触の状態で前記同軸導波管の内部導体に取り付けられたテーパー状のコネクタ部と前記スロット板とを弾性体により電氣的に接続するマイクロ波の給電方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、マイクロ波プラズマ処理装置及びマイクロ波の給電方法に関する。特に、ラジアルラインスロットアンテナから放出されたマイクロ波の電界エネルギーによりガスを励起させ、被処理体をプラズマ処理するマイクロ波プラズマ処理装置及びその装置を用いたマイクロ波の給電方法に関する。

10

【背景技術】

【0002】

マイクロ波プラズマは、マイクロ波を減圧状態の処理容器内に導入し、導入されたマイクロ波の電界エネルギーによりガスを励起させることによって発生される。マイクロ波プラズマ処理装置では、プラズマの電子密度がカットオフ密度よりも高い場合、マイクロ波はプラズマ内に入り込むことができず、誘電体板とプラズマとの間を伝搬し、その一部がプラズマに吸収され、プラズマの維持に使われる。

20

【0003】

上記プラズマ生成の原理により、マイクロ波プラズマは、容量結合型や誘導結合型のマイクロ波プラズマ処理装置にて生成されるプラズマと比べると、プラズマの電子密度 N_e が高く、電子温度 T_e が低いため、高速でダメージの少ないプラズマ処理で高品質な製品を製造することができる。

【0004】

マイクロ波プラズマを生成する装置の一つとして、ラジアルラインスロットアンテナ (RLSA: Radial Line Slot Antenna) を用いたマイクロ波プラズマ処理装置が提案されている (たとえば、特許文献1を参照。)。ラジアルラインスロットアンテナは、多数のスロットが切られたディスク状のスロット板の上部に同一形状の遅波板を載置した状態で、処理容器の天井部の開口に設けられた誘電体窓の上部に配置され、その中央部にて同軸導波管に接続されている。

30

【0005】

かかる構成により、マイクロ波源から出力された、たとえば、2.45 GHz のマイクロ波は、同軸導波管を経由してラジアルラインスロットアンテナの遅波板を半径方向へ放射状に伝えられる。伝送中、マイクロ波は、スロット板のスロットから漏れだして処理容器内に放射される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

40

【特許文献1】特開平9-63793号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、プロセス中、処理容器内が200 以上の高温になることに伴い、図8に示したラジアルラインスロットアンテナ905、冷却ジャケット210、同軸導波管の外部導体340、矩形導波管305の各部材は熱膨張する。たとえば、プロセス中、ラジアルラインスロットアンテナ905の周辺を冷却ジャケット210により冷却したとしても、ラジアルラインスロットアンテナ905は150 ~ 165 、アンテナ上部の冷却ジャケット210は80 ~ 100 、外部導体340は40 ~ 60 程度温度が上昇

50

し、プロセスによっては外部導体 340 近傍でも 100 以上に加熱されてしまう場合もある。

【0008】

これらの部材のうち、ラジアルラインスロットアンテナ 905 の遅波板 905a はアルミナ (Al_2O_3) などの誘電体から形成されている。一方、ラジアルラインスロットアンテナ上部の冷却ジャケット 210、外部導体 340、矩形導波管 305 は、銅 (Cu) やアルミニウム (Al) などの金属から形成されている。アルミナの線膨張係数は 7.0×10^{-6} (/) であるのに対して銅の線膨張係数は 16.7×10^{-6} 、アルミニウムの線膨張係数は 23.5×10^{-6} (/) であり、いずれの金属もアルミナの 2 倍以上である。このため、昇温後、ラジアルラインスロットアンテナ 905、冷却ジャケット 210、外部導体 340、矩形導波管 305 がそれぞれ膨張することにより、矩形導波管 305 の上部の位置は昇温前より上方に変位する。

10

【0009】

このとき、スロット板 905b が同軸導波管の内部導体 315 に取り付けられたテーパ状のコネクタ部 (以下、テーパコネクタとも称する。テーパ状のコネクタ部に相当) にねじ止めされていると、矩形導波管 305 の位置が処理容器 100 の外側に向かって変位することに伴い、一体に形成された同軸変換機 310、内部導体 315 及びテーパコネクタも処理容器 100 の外側鉛直上方に向かって引き上げられる。

【0010】

特に、同軸変換機 310 及び内部導体 315 は、内部導体 315 の内部にて二重に配管された冷媒配管 360 の内側から外側に冷媒を通すことにより、プロセス中も冷却される。このため、プロセス中、同軸変換機 310 や内部導体 315 の温度は、外部導体 340、矩形導波管 305 の温度より低くなる。よって、プロセス中の同軸変換機 310 及び内部導体 315 は、外部導体 340、矩形導波管 305 より膨張しない。これにより、図 9 の上図に示した理想状態に対して、実際の昇温後には、その下図に示したように内部導体 315 に連結されたテーパコネクタ 320 の下面は、遅波板 905a の下面より上方に持ち上げられ、これに伴い空隙 Ra が変動する。空隙 Ra はマイクロ波の伝送路の一部となるため、空隙 Ra を一定に保つことは、マイクロ波のモードを安定させるために重要であり、空隙 Ra が変動するとマイクロ波のモードが不安定になり、プラズマの不均一を招く。

20

30

【0011】

また、昇温されてテーパコネクタ 320 が遅波板 905a より上方に持ち上げられると、テーパコネクタ 320 の下面にねじ止めされたスロット板 905b も上方に引き上げられ、歪む。これによっても、マイクロ波の伝送路が変動し、均一なプラズマを生成する妨げとなる。

【0012】

そこで、上記課題に対処するために、本発明は、ラジアルラインスロットアンテナを用いてマイクロ波を処理容器内に給電する際、実際の昇温時のマイクロ波の伝搬領域が設計上設定された昇温時のマイクロ波の伝搬領域から変動することを抑止し、プラズマの乱れを防止するマイクロ波プラズマ処理装置及びその装置を用いたマイクロ波の給電方法を提供する。

40

【課題を解決するための手段】

【0013】

すなわち、上記課題を解決するために、本発明のある態様によれば、ラジアルラインスロットアンテナのスロット板から放出されたマイクロ波を用いて生成されたプラズマにより被処理体をプラズマ処理するマイクロ波プラズマ処理装置であって、内部にてプラズマ処理が行われる処理容器と、マイクロ波を出力するマイクロ波源と、前記マイクロ波源から出力されたマイクロ波を伝送する矩形導波管と、前記矩形導波管を伝送したマイクロ波のモードを変換する同軸変換機と、前記同軸変換機にてモードを変換されたマイクロ波を伝送する同軸導波管と、前記スロット板に対して非接触の状態の前記同軸導波管の内部導

50

体に取り付けられたテーパ状のコネクタ部と、前記テーパ状のコネクタ部と前記スロット板とを電氣的に接続する弾性体とを備えたマイクロ波プラズマ処理装置が提供される。

【0014】

これによれば、弾性体は、テーパ状のコネクタ部とそのコネクタ部に非接触に設けられたスロット板とを電氣的に接続する。これにより、図4の下部に示したように、弾性体330は、熱膨張によるテーパコネクタ320の上方への変位を吸収しながら、テーパ状のコネクタ部及びスロット板間の電氣的接続を維持することができる。このため、昇温後においてテーパコネクタ320の下面Sbと遅波板205aの下面Saとは同一面内に位置付けられ、空隙Raが変動しない。これにより、マイクロ波のモードを安定させ、プラズマを均一に生成することができる。

10

【0015】

また、これによれば、スロット板205bは、テーパコネクタ320の下面にてねじ止めされていないため、スロット板205bが上方に引き込まれることがない。これによってもマイクロ波のモードを安定させ、プラズマを均一に生成することができる。

【0016】

なお、前記弾性体は、線材の金属シールド部材であってもよい。

【0017】

前記スロット板は、前記テーパ状のコネクタ部の先端の面より大きな開口を有し、前記テーパ状のコネクタ部は、前記スロット板の開口を貫通して前記弾性体を配置する設置台と連結していてもよい。

20

【0018】

前記設置台は、外周につば部を有し、前記弾性体は、前記つば部と前記スロット板との間に設けられてもよい。

【0019】

前記設置台のつば部は、段差を有し、前記弾性体は、前記つば部に設けられた最も内側の段差より外側に設けられてもよい。

【0020】

前記設置台のつば部と前記スロット板との間隔は、前記弾性体が、膨張によるテーパ状のコネクタ部の変位を吸収しながら前記テーパ状のコネクタ部と前記スロット板とを電氣的に接続する程度に離れていてもよい。

30

【0021】

さらに、つば部の段差は、その角が丸く形成されていてもよい。これによれば、マイクロ波の電界エネルギーが、角に集中して異常放電を生じさせることを防止できる。

【0022】

前記遅波板及び前記ラジアルラインスロットアンテナの上部に設けられた冷却ジャケットの少なくともいずれかの表面を絶縁材にてコーティングしてもよい。

【0023】

これによれば、絶縁材を遅波板や冷却ジャケットにコーティングすることにより、冷却ジャケットとスロット板との間の電位差を低下させ、異常放電の発生を抑止することができる。なお、絶縁材としては、PTFE（ポリテトラフルオロエチレン）、PFA（テトラフルオロエチレン・パーフルオロアルキルビニルエーテル共重合体）、アルミナ（アルマイト処理、溶射）などを用いることができる。

40

【0024】

また、上記課題を解決するために、本発明の他の態様によれば、ラジアルラインスロットアンテナのスロット板から放出されたマイクロ波を用いて生成されたプラズマにより被処理体をプラズマ処理するマイクロ波プラズマ処理装置にマイクロ波を給電する方法であって、マイクロ波源からマイクロ波を出力し、前記出力されたマイクロ波を矩形導波管に伝送し、前記伝送したマイクロ波のモードを同軸変換機にて変換し、前記スロット板に対して非接触の状態で前記同軸導波管の内部導体に取り付けられたテーパ状のコネクタ部

50

と前記スロット板とを弾性体により電氣的に接続するマイクロ波の給電方法が提供される。

【 0 0 2 5 】

これによれば、テーパ状のコネクタ部は、スロット板に対して非接触の状態で内部導体に取り付けられる。弾性体は、熱膨張によるコネクタ部の上方への変位を吸収しながら、テーパ状のコネクタ部とスロット板とを電氣的に接続する。これにより、昇温後、テーパ状のコネクタ部の下面と遅波板の下面とを同一面内に位置付けることができる。この結果、空隙 R a が変動せず、マイクロ波のモードを安定させ、プラズマを均一に生成することができる。

【 発明の効果 】

10

【 0 0 2 6 】

以上説明したように、本発明によれば、ラジアルラインスロットアンテナを用いてマイクロ波を処理容器内に給電する際、実際の昇温時のマイクロ波の伝送路が設計上設定された昇温時のマイクロ波の伝送路から変動することを抑止し、プラズマの乱れを防止するマイクロ波プラズマ処理装置及びその装置を用いたマイクロ波の給電方法を提供することができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 7 】

【 図 1 】 本発明の一実施形態にかかるマイクロ波プラズマ処理装置の縦断面図である。

【 図 2 】 同実施形態にかかるマイクロ波プラズマ処理装置をマイクロ波が伝搬する経路を説明するための図である。

20

【 図 3 】 同実施形態にかかるマイクロ波プラズマ処理装置のテーパコネクタ周辺を拡大した図である。

【 図 4 】 同実施形態にかかるマイクロ波プラズマ処理装置の設計上の昇温後及び実際の昇温後の状態を説明するための図である。

【 図 5 】 矩形導波管と同軸変換機との嵌め合い構造を設けた同実施形態の変形例にかかるマイクロ波プラズマ処理装置の縦断面図である。

【 図 6 】 ギャップ近傍の電界強度分布のシミュレーション結果を示した図である。

【 図 7 】 矩形導波管と同軸変換機との嵌め合い構造を説明するための図である。

【 図 8 】 一般的なマイクロ波プラズマ処理装置の縦断面図である。

30

【 図 9 】 一般的なマイクロ波プラズマ処理装置の設計上の昇温後及び実際の昇温後の状態を説明するための図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 2 8 】

以下に添付図面を参照しながら、本発明の一実施形態について詳細に説明する。なお、以下の説明及び添付図面において、同一の構成及び機能を有する構成要素については、同一符号を付することにより、重複説明を省略する。

【 0 0 2 9 】

(マイクロ波プラズマ処理装置の全体構成)

まず、本発明の一実施形態にかかるマイクロ波プラズマ処理装置 1 0 について、その縦断面を示した図 1 を参照しながら説明する。本実施形態にかかるマイクロ波プラズマ処理装置 1 0 は、処理容器 1 0 0、蓋体 2 0 0、伝送路 3 0 0、冷却機構 4 0 0 及びガス供給機構 5 0 0 を有している。

40

【 0 0 3 0 】

処理容器 1 0 0 は、天井が開口された円筒状の容器であり、たとえば、アルミニウム等の金属から形成されている。処理容器 1 0 0 の天井の開口には、天板 1 0 5 (誘電体窓に相当) が嵌め込まれている。天板 1 0 5 は、誘電体から形成されている。天板 1 0 5 の下面は、その中央が張り出しているとともに中間部も周方向に張り出している。処理容器 1 0 0 と天板 1 0 5 との接触面には、リング 1 1 0 が配設されていて、これにより、処理室 U は密閉される。

50

【 0 0 3 1 】

処理容器 1 0 0 の底部には、ウエハ W を載置するサセプタ（載置台） 1 1 5 が絶縁体 1 2 0 を介して設置されている。サセプタ 1 1 5 には、整合器 1 2 5 a を介して高周波電源 1 2 5 b が接続されていて、高周波電源 1 2 5 b から出力された高周波電力により処理容器 1 0 0 の内部に所定のバイアス電圧を印加する。また、サセプタ 1 1 5 には、コイル 1 3 0 a を介して高圧直流電源 1 3 0 b が接続されていて、高圧直流電源 1 3 0 b から出力された直流電圧によりウエハ W を静電吸着する。処理容器 1 0 0 には、真空ポンプ（図示せず）が取り付けられていて、ガス排出管 1 3 5 を介して処理容器 1 0 0 内のガスを排出することにより、処理室 U を所望の真空度まで減圧する。

【 0 0 3 2 】

蓋体 2 0 0 は、ラジアルラインスロットアンテナ 2 0 5（以下、単にアンテナ 2 0 5 とも称呼する。）及び冷却ジャケット 2 1 0 を有している。アンテナ 2 0 5 は、天板 1 0 5 の直上に載置されている。アンテナ 2 0 5 の上部には、冷却ジャケット 2 1 0 が設けられている。冷却ジャケット 2 1 0 はアルミニウムから形成され、冷却ジャケット 2 1 0 に設けられた流路に冷媒を循環させることにより、アンテナ 2 0 5 の近傍を調温する。冷却ジャケット 2 1 0 は接地されている。

【 0 0 3 3 】

ラジアルラインスロットアンテナ 2 0 5 は、ディスク状の一枚の平板であって、図 2 にアンテナ 2 0 5 の左側縦断面にて拡大された遅波板 2 0 5 a およびスロット板 2 0 5 b とから形成されている。

【 0 0 3 4 】

スロット板 2 0 5 b は、金属のシート材から形成され、天井部に設けられた天板 1 0 5（誘電体窓）と遅波板 2 0 5 a とに挟まれる形で載置されている。テーパコネクタの近傍をさらに拡大した図 3 を参照すると、スロット板 2 0 5 b には、その中央にてテーパコネクタ 3 2 0 の下面より大きい円形の開口 2 0 5 b 1 が形成されている。テーパコネクタ 3 2 0 の下面には設置台（フランジ） 3 2 5 がねじ止めされていて、設置台 3 2 5 はスロット板中央の開口 2 0 5 b 1 を貫通している。スロット板 2 0 5 b には、マイクロ波を放射する図示しないスロットが複数設けられている。スロット板 2 0 5 b は、その外周にて図 2 に示したねじ 2 1 5 により冷却ジャケット 2 1 0 に固定されている。

【 0 0 3 5 】

遅波板 2 0 5 a は、アルミナなどの誘電体により形成され、マイクロ波をスロットに伝える。遮蔽部材 2 2 0, 2 2 5, 2 3 0, 2 3 5 は、スロットから漏れたマイクロ波の一部が、冷却ジャケット 2 1 0 側の隙間や蓋体 2 0 0 と処理容器 1 0 0 との隙間からリークすることを防ぐ。

【 0 0 3 6 】

伝送路 3 0 0 は、主に、矩形導波管 3 0 5、同軸変換機 3 1 0、内部導体 3 1 5、外部導体 3 4 0、テーパコネクタ 3 2 0、ラジアルラインスロットアンテナ 2 0 5 から形成されている。マイクロ波は、伝送路 3 0 0 により画定される空間（以下、マイクロ波の伝送路 R とも称呼する。）を伝送される。このとき、マイクロ波は、遅波板 2 0 5 a の内部を伝搬して遅波板 2 0 5 a の端面にて反射し、図示しないチューナにより放電負荷と伝送路のインピーダンスの整合をとりながら、進行波と反射波との干渉により伝送路の空間に定在波が生じる。

【 0 0 3 7 】

マイクロ波の電流は、上記マイクロ波の伝送路 R を画定する部材の金属表面を流れる。マイクロ波は、遅波板 2 0 5 a の内部を伝搬し、その際、遅波板に隣接したスロット板 2 0 5 b のスロットから処理容器内に放出される。

【 0 0 3 8 】

装置の製造時、加工精度上、各部材間には空隙が生じてしまう。たとえば、遅波板 2 0 5 a と冷却ジャケット 2 1 0、遅波板 2 0 5 a とテーパコネクタ 3 2 0 との間にも、加工精度上、空隙 R a が生じる。空隙 R a はマイクロ波の伝送路の一部となるため、空隙 R

10

20

30

40

50

aを一定に保つことは、マイクロ波のモードを安定させるために重要である。

【0039】

矩形導波管305は、マイクロ波源335に接続されている。同軸変換機310は、コーン状に形成され、マイクロ波のモードをTEモードからTEモードとTMモードの混在モードに変換する。モードが変換されたマイクロ波は、同軸導波管（内部導体315及び外部導体340）に伝えられる。内部導体315及び外部導体340は、銀メッキした銅から形成されている。

【0040】

テーパコネクタ320の拡大図3に示したように、テーパコネクタ320はテーパ形状であって、内部導体315の下面にて内部導体315にねじ止めされている。

10

【0041】

設置台325はフランジであって、テーパコネクタ320の下面にて複数箇所でテーパコネクタ320にねじ止めされている。テーパコネクタ320及び設置台325は、金メッキした銅から形成されている。設置台325は、外周につば部325aを有している。つば部325aには段差が設けられている。

【0042】

つば部325aとスロット板205bとの間には、弾性体330が配設されている。弾性体330は、テーパコネクタ320とスロット板205bとを電氣的に接続する。

【0043】

図2に示した外部導体340は、上部にて矩形導波管305にねじ止めされ、下部にて冷却ジャケット210にねじ止めされている。冷却ジャケット210と遅波板205a、テーパコネクタ320と遅波板205aの間には、加工精度上空隙Raが生じる。

20

【0044】

矩形導波管305の開口に同軸変換機310を挿入して、矩形導波管305と同軸変換機310とを組み立てる際、矩形導波管305と同軸変換機310との対向側面に生じるギャップGには、マイクロ波のリークを防止するためのスパイラルシールド370が設けられる。

【0045】

図1の内部導体315の内部には、冷媒配管360が挿入されている。冷媒配管360は二重配管となっている。冷却機構400では、冷媒供給源405と冷媒配管360とが接続されるとともに冷媒供給源405と冷却ジャケット210とが接続されている。冷媒供給源405から供給された冷媒は、冷媒配管360の内側から外側に通され、これにより、内部導体315は調温される。同様に、冷媒供給源405から供給された冷媒は、冷却ジャケット210内の流路を循環し、これにより、冷却ジャケット近傍が調温される。

30

【0046】

ガス供給機構500では、ガス供給源505と上部ガス供給ライン510とが連結されるとともにガス供給源505とシャワープレート515とが連結されている。シャワープレート515は、複数のガス供給孔が下に向けて均等に設けられている。ガス供給源505から供給されたプラズマ励起ガスは、処理容器100の側壁を貫通した複数の上部ガス供給ライン510の貫通孔から処理室Uの内部に向けて横向きに供給される。ガス供給源505から供給された処理ガスは、格子状のシャワープレート515に形成された複数のガス供給孔から下向きに供給される。

40

【0047】

(テーパコネクタ周辺)

つぎに、テーパコネクタ320の周辺について、図3及び図4を参照しながら詳しく説明する。本実施形態では、スロット板205bをテーパコネクタ320に固定させず、非接触とし、スロット板205bとテーパコネクタ320とを弾性体330により電氣的に接続させる構成とした。その理由について、スロット板をテーパコネクタに固定した一般的なマイクロ波プラズマ処理装置と比較しながら説明する。

【0048】

50

図 8 及び図 9 に示したように、ラジアルラインスロットアンテナ 9 0 5 を用いた一般的なマイクロ波プラズマ処理装置では、スロット板 9 0 5 b は、その外周部にねじ 9 1 0 により冷却ジャケット 2 1 0 に固定されるとともに、その中央部にテーパコネクタ 3 2 0 と固定用プレート 9 1 5 との間に挟まれた状態でねじ止めされる。

【 0 0 4 9 】

上記マイクロ波プラズマ処理装置を構成する各部材の素材やプロセス中の処理容器の温度により各部材の膨張量は異なる。特に、内部導体 3 1 5 及び同軸変換機 3 1 0 は、前述したようにプロセス中も冷却されるため、外部導体 3 4 0、矩形導波管 3 0 5 の温度より低くなる。よって、プロセス中の内部導体 3 1 5 及び同軸変換機 3 1 0 は、外部導体 3 4 0、矩形導波管 3 0 5 より熱膨張しない。これらの理由から、昇温後、たとえば、テーパコネクタ 3 2 0 の下面 S b と遅波板 2 0 5 a の下面 S a とを、図 9 の上図に示した同一面内に位置付けることは難しく、実際には、図 9 の下図に示したように、テーパコネクタ 3 2 0 の下面 S b が遅波板 2 0 5 a の下面 S a より上に位置し、これにより空隙 R a が変動して、マイクロ波のモードが不安定になり、生成されるプラズマが不均一になる場合があった。

【 0 0 5 0 】

また、テーパコネクタ 3 2 0 が遅波板 9 0 5 a より上方に持ち上げられると、これとともにテーパコネクタ 3 2 0 の下面 S b でねじ止めされたスロット板 9 0 5 b も上方に引き上げられ、歪む。これによっても、マイクロ波の伝送路が変動し、均一なプラズマを生成する妨げとなる。

【 0 0 5 1 】

以上に説明したマイクロ波の伝送路の変動は、プロセス中のマイクロ波プラズマ処理装置の安定性及び信頼性に影響を与える。そこで、図 3 に示したように、本実施形態に係るマイクロ波プラズマ処理装置 1 0 では、スロット板 2 0 5 b の中央にテーパコネクタ 3 2 0 の下面 S b の面積より大きな開口 2 0 5 b 1 を設ける。

【 0 0 5 2 】

テーパコネクタ 3 2 0 と設置台 3 2 5 とは、スロット板 2 0 5 b の開口 2 0 5 b 1 を貫通した状態で、スロット板 2 0 5 b に対して非接触に連結される。設置台 3 2 5 の外周には、つば部 3 2 5 a が形成される。弾性体 3 3 0 は、つば部 3 2 5 a とスロット板 2 0 5 b との間に配置され、テーパコネクタ 3 2 0 とスロット板 2 0 5 b とを電氣的に接続する。

【 0 0 5 3 】

弾性体 3 3 0 は、線材の金属シールド部材から形成されている。金属シールド部材は、スパイラルシールドに比べて反力が小さいため、スロット板 2 0 5 b や設置台 3 2 5 に過度な荷重を掛けずにこれらの部材間の電氣的接続を良好にする。

【 0 0 5 4 】

弾性体 3 3 0 は、つば部 3 2 5 a に設けられた最も内側の段差より外側に設けられる。また、つば部 3 2 5 a の段差は、その角が丸く形成されている。これによれば、マイクロ波の電界エネルギーが、つば部 3 2 5 a の内側や角に集中して異常放電が生じることを防止できる。

【 0 0 5 5 】

設置台 3 2 5 のつば部 3 2 5 a とスロット板 2 0 5 b との間隔は、弾性体 3 3 0 が、膨張によるテーパコネクタ 3 2 0 の変位を吸収しながらテーパコネクタ 3 2 0 とスロット板 2 0 5 b とを電氣的に接続できる程度に離れている。

【 0 0 5 6 】

かかる構成によれば、弾性体 3 3 0 を設けることによりテーパコネクタ 3 2 0 とテーパコネクタ 3 2 0 に非接触に設けられたスロット板 2 0 5 b とを電氣的に接続する。これにより、図 4 の下部に示したように、弾性体 3 3 0 は、熱膨張によるテーパコネクタ 3 2 0 の上方への変位を吸収しながら、テーパコネクタ 3 2 0 及びスロット板 2 0 5 b 間にマイクロ波を伝える。このため、昇温後においてテーパコネクタ 3 2 0 の下面 S b

と遅波板 205a の下面 Sa とは同一面内に位置付けられる。この結果、空隙 Ra が変動せず、マイクロ波のモードが安定し、プラズマを均一に生成することができる。

【0057】

また、これによれば、スロット板 205b は、テーパコネクタ 320 の下面にてねじ止めされていないため、スロット板 205b が上方に引き上げられることがない。これによってもマイクロ波の伝送路 R を変動させず、マイクロ波のモードを安定させ、プラズマを均一に生成することができる。

【0058】

なお、設置台 325 と弾性体 330 とは、一体として形成されていてもよい。この場合、載置台 325 のつば部 325a の上面に突起（例えば環状の突起）を設け、その突起部分を弾性体 330 と同様な機能を持つ素材で形成する。これによっても、弾性体 330 に替わる突起部分が、膨張によるテーパコネクタ 320 の変位を吸収しながらテーパコネクタ 320 とスロット板 205b とを電氣的に接続することができる。

【0059】

（ギャップ G）

図 5 に示したように、矩形導波管 305 の開口に同軸変換機 310 を挿入することにより矩形導波管 305 を伝送したマイクロ波のモードを変換して伝送する経路を組み立てる際、公差により、矩形導波管 305 の側部壁面と対向する同軸変換機 310 の側部壁面とにギャップ G が生じる。

【0060】

このギャップ G は、マイクロ波のモードを TE モードから TE モードと TM モードの混在モードに変換する位置に存在する。また、ギャップ G の近傍では、矩形導波管 305 の反射端 305a にてマイクロ波が反射するため、マイクロ波の電界が乱れやすい。

【0061】

実際に、矩形導波管 305 の反射端 305a 及びギャップ G の位置にマイクロ波の節が来るように反射端 305a からギャップ G までの距離を $\lambda_g / 2$ に設計したが、異常放電は抑止されなかった。そこで、矩形導波管 305 の反射端 305a からギャップ G までの距離を管理することに加えて、矩形導波管と同軸変換機とに嵌め合い構造を設けることによりギャップ G を均一に管理することとした。

【0062】

（ギャップの管理）

初めに、嵌め合い構造 F 及びギャップ G の適正範囲を具体的に決定するために、ギャップ G 近傍のマイクロ波の電界強度分布をシミュレーションにより求めた。

【0063】

図 6 (a) に示した位置 P1 ~ P4 の電界強度をシミュレーションにより計算した。その結果を図 6 (b) に示す。この結果から、位置 P1、P3 にてマイクロ波の電界強度が強く、P2、P4 では、その強度が弱くなっていることがわかる。また、ギャップ（リークパス厚）が大きくなればなるほど電界強度は大きくなるが、ギャップが均一であれば、ギャップの大きさが 0.1 mm 変化しても極端に電界強度が大きくなるわけではないことがわかる。

【0064】

パッシェンの法則によれば、 $V = f(p, d)$ の式に示すように、平行な電極間での放電開始電圧 V は、ガス圧力 p 及び電極間の距離 d の積の関数で表される。ギャップ G の位置や均一なリークパス厚の変化に対する電界強度の変化量は小さいので、狭くなった部位での電界集中による影響の方が大きいと考えられる。よって、ギャップ G の間隔を所定の基準間隔 k mm ($k = 0.3$) に対して $(k \pm n)$ ($n = 0.1$) mm の範囲内にすることにより、電界強度に偏りが生じにくく、放電が起きにくい状態にギャップ G を管理することによって、異常放電の発生を防ぐことができる。

【0065】

そこで、環状に形成されたギャップ G がいずれの対向位置に置いても所定の範囲内の間

10

20

30

40

50

隔となるように、ギャップ G より外周側にて矩形導波管 3 0 5 と同軸変換機 3 1 0 とに高度な嵌め合い構造 F (図 5 , 図 7 参照) を設けた。具体的には、ギャップ G の基準間隔 k を 0.3 mm と定め、環状のギャップ G のいずれの対向位置においてもギャップ G が $(k \pm n) \text{ mm}$ ($n = 0, 1$) の範囲内に管理されるように嵌め合い構造 F を設けた。組み立て時に発生する公差を考慮して、嵌め合い構造 F にギャップ G にて許容される隙間より十分に小さい隙間 (たとえば、ギャップ G の間隔差の最大値の約 20 % 以内) を許容することにより、どんな作業員が組み立ててもギャップ G を設計上許容されている間隔差以内に管理することができる。この結果、矩形導波管 3 0 5 と同軸変換機 3 1 0 との間のギャップ G にて異常放電が発生することを回避することができる。

【 0 0 6 6 】

(絶縁材にてコーティング)

ギャップ G 周りの矩形導波管 3 0 5 及び同軸変換機 3 1 0 は、絶縁材にてコーティングされている。絶縁材としては、PTFE (ポリテトラフルオロエチレン)、PFA (テトラフルオロエチレン・パーフルオロアルキルビニルエーテル共重合体)、アルミナ (アルマイト処理、溶射) などが挙げられる。これにより、ギャップ間の電位差を低下させることができ、異常放電の発生をさらに抑止することができる。

【 0 0 6 7 】

以上に説明したように、本実施形態のマイクロ波プラズマ処理装置 1 0 によれば、昇温時の空隙 R_a が変動しない。これにより、マイクロ波のモードを安定させ、プラズマを均一に生成することができる。この結果、マイクロ波プラズマ処理装置 1 0 の安定性及び信頼性を向上させることができる。

【 0 0 6 8 】

なお、遅波板 2 0 5 a 及び冷却ジャケット 2 1 0 の少なくともいずれかの表面にも絶縁材がコーティングされているほうがよい。これによれば、絶縁材を遅波板 2 0 5 a や冷却ジャケット 2 1 0 にコーティングすることにより、冷却ジャケット 2 1 0 とスロット板 2 0 5 b との間の空隙に生じる電位差を低下させ、異常放電の発生を抑止することができる。

【 0 0 6 9 】

なお、遅波板 2 0 5 a や冷却ジャケット 2 1 0 辺にコーティングする絶縁材としては、PTFE、PFA など、摩擦係数が低く、摺動により発塵しない素材が好ましい。

【 0 0 7 0 】

上記実施形態において、各部の動作はお互いに関連しており、互いの関連を考慮しながら、一連の動作として置き換えることができる。そして、このように置き換えることにより、上記マイクロ波プラズマ処理装置の実施形態を上記マイクロ波プラズマ処理装置を用いたマイクロ波の給電方法の実施形態とすることができる。

【 0 0 7 1 】

以上、添付図面を参照しながら本発明の好適な実施形態について説明したが、本発明は係る例に限定されないことは言うまでもない。当業者であれば、特許請求の範囲に記載された範疇内において、各種の変更例又は修正例に想到し得ることは明らかであり、それらについても当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。

【 0 0 7 2 】

たとえば、嵌め合い構造 F は、本発明のマイクロ波プラズマ処理装置 1 0 に備えられているほうが好ましいが、本発明に必須の構成ではない。

【 0 0 7 3 】

また、設置台 3 2 5 のつば部 3 2 5 a の段部は 2 段以上であればよい。しかしながら、いずれの場合にも、異常放電を防止するために、弾性体 3 3 0 は最も内側の段部には配設されない。

【 0 0 7 4 】

また、ガスは、上部ガス供給ライン 5 1 0 のみから供給されてもよく、シャワープレート 5 1 5 のみから供給されてもよい。また、これらのガス供給機構 5 0 0 に代えて、又は

10

20

30

40

50

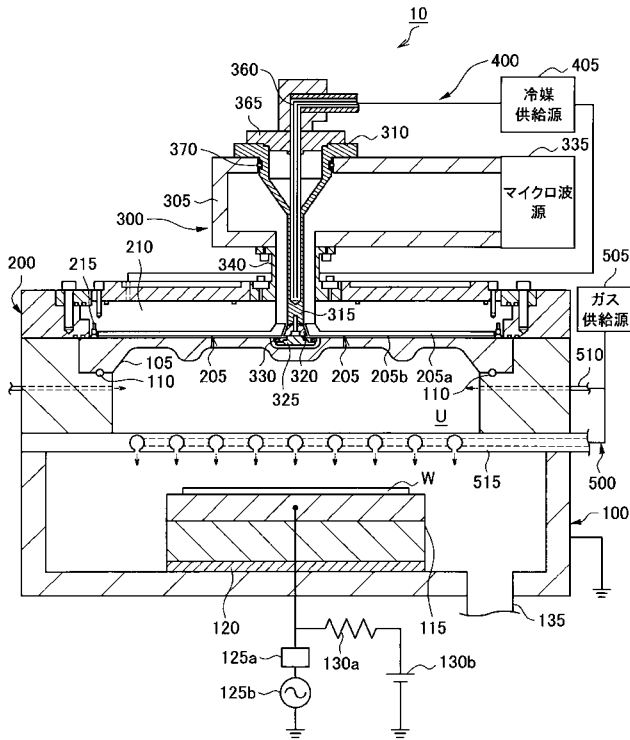
、これらのガス供給機構 5 0 0 に加えて、天板 1 0 5 にガス経路を設けて天板 1 0 5 をシャワープレートとして用いてもよい。

【符号の説明】

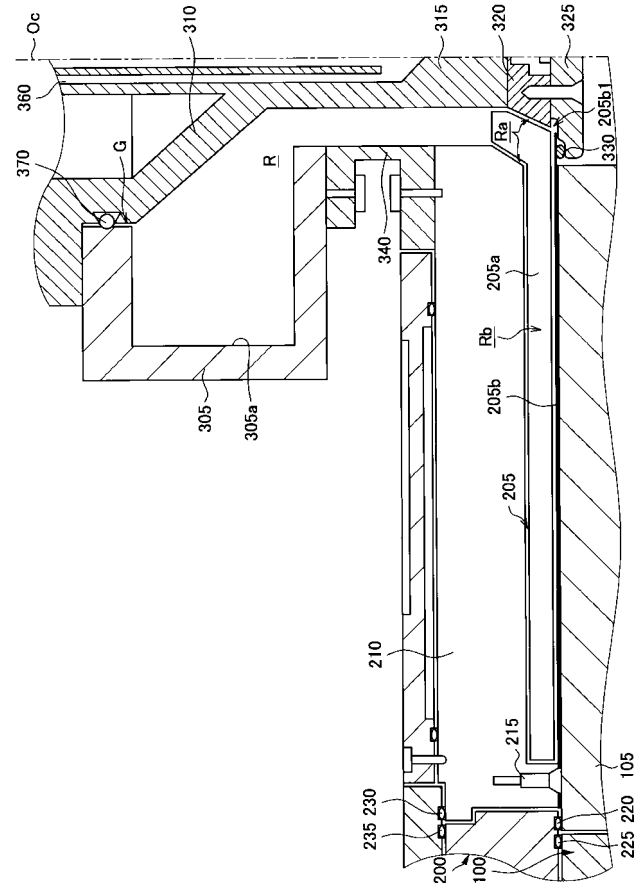
【 0 0 7 5 】

1 0	マイクロ波プラズマ処理装置	
1 0 0	処理容器	
1 0 5	天板	
2 0 0	蓋体	
2 0 5、9 0 5	ラジアルラインスロットアンテナ（アンテナ）	
2 0 5 a、9 0 5 a	遅波板	10
2 0 5 b、9 0 5 b	スロット板	
2 1 0	冷却ジャケット	
2 1 5、9 1 0	ねじ	
3 0 5	矩形導波管	
3 1 0	同軸変換機	
3 1 5	内部導体	
3 2 0	テーパコネクタ	
3 2 5	設置台	
3 2 5 a	つば部	
3 3 0	弾性体	20
3 3 5	マイクロ波源	
3 4 0	外部導体	
3 6 0	冷媒配管	
3 7 0	スパイラルシールド	
4 0 5	冷媒供給源	
5 0 5	ガス供給源	
G	ギャップ	
F	嵌め合い構造	

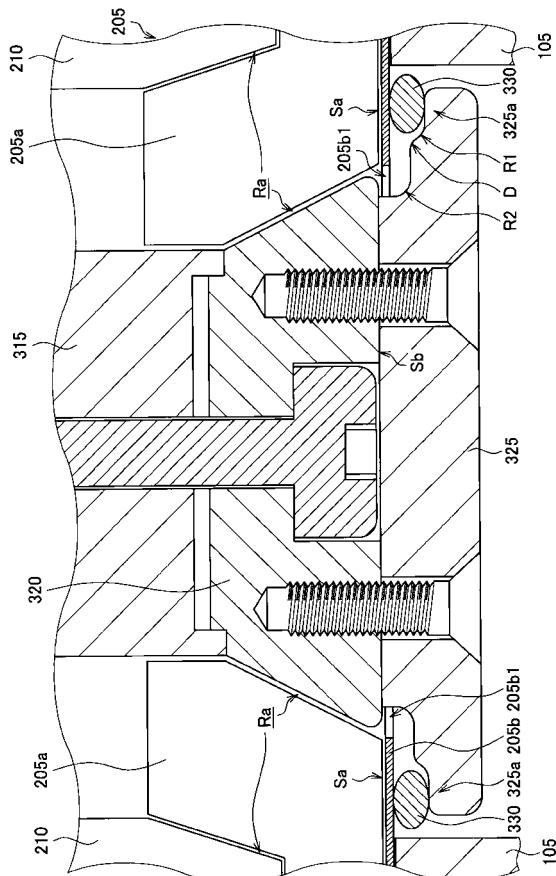
【図 1】



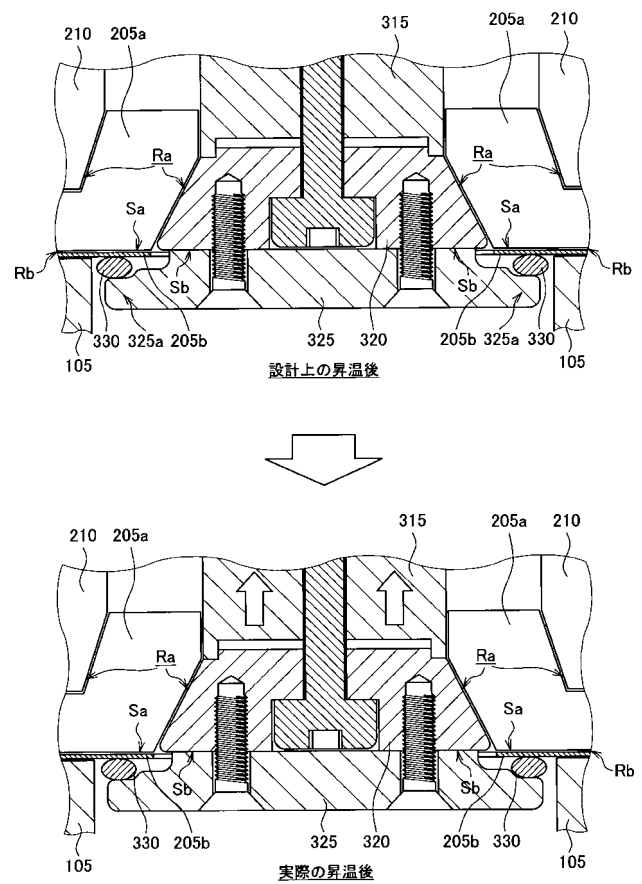
【図 2】



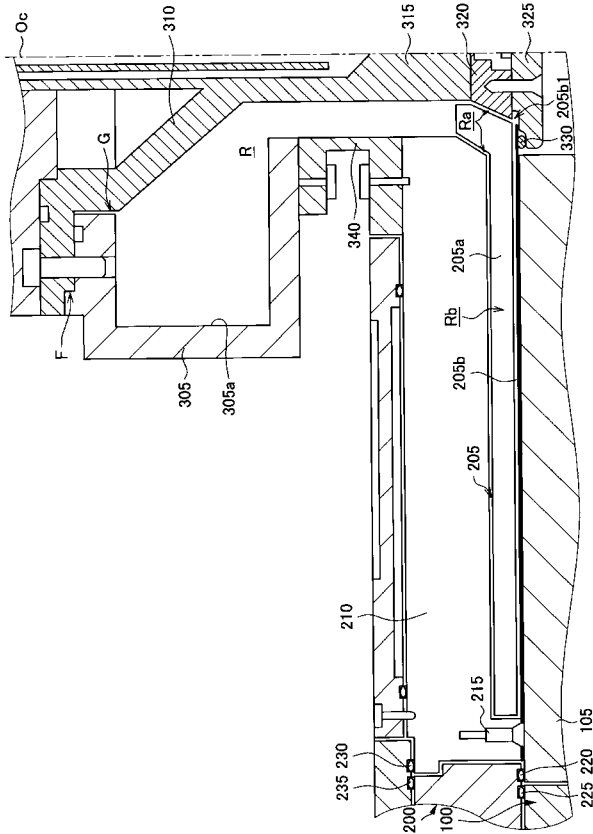
【図 3】



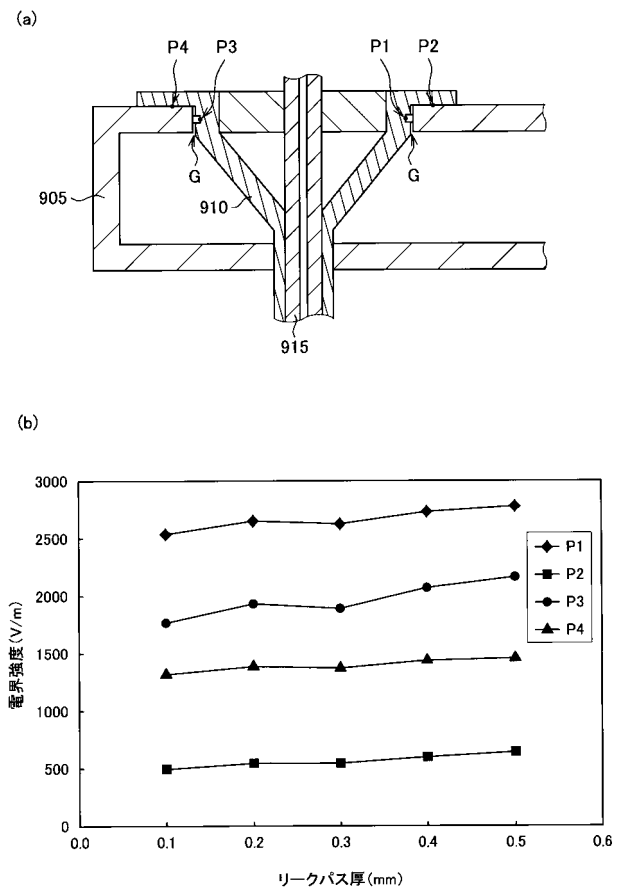
【図 4】



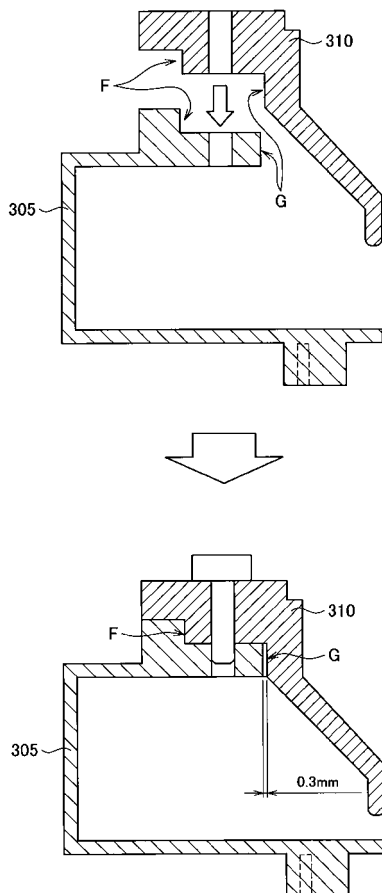
【図 5】



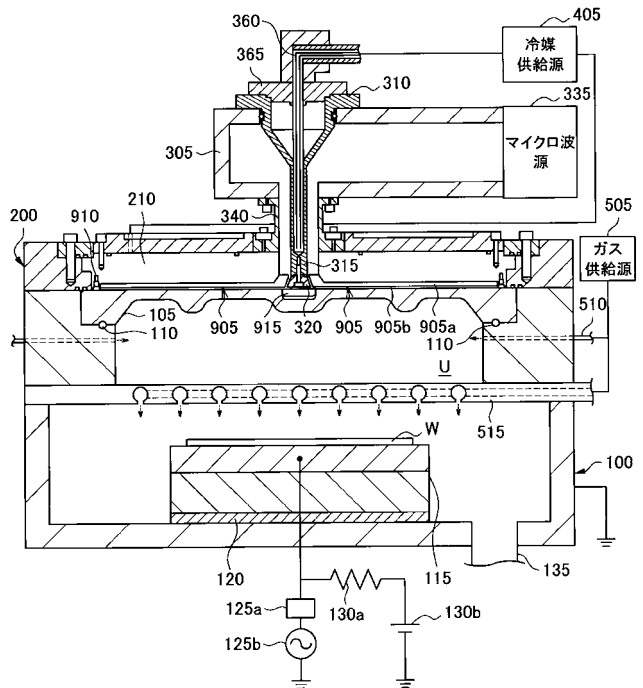
【図 6】



【図 7】



【図 8】



【図 9】

