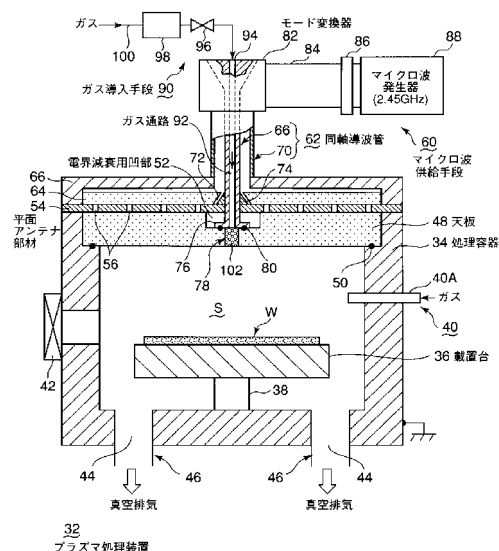




【特許請求の範囲】

【請求項 1】

天井部が開口されて内部が真空引き可能になされた処理容器と、
被処理体を載置するために前記処理容器内に設けた載置台と、
前記天井部の開口に気密に装着されてマイクロ波を透過する誘電体よりなる天板と、
前記天板の上面に設けられてマイクロ波を前記処理容器内へ導入するための平面アンテナ部材と、

前記平面アンテナ部材の中心部に、その中心導体が接続された同軸導波管を有するマイクロ波供給手段と、

を備えたプラズマ処理装置において、

前記中心導体と前記平面アンテナ部材と前記天板とを貫通するようにして形成したガス通路を有するガス導入手段を設けると共に、

前記ガス通路が通る前記天板の上面側に、前記天板の中心部の電界強度を減衰させるための電界減衰用凹部を設けるように構成したことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 2】

前記天板の中心部の電界強度は、実質的にゼロであることを特徴とする請求項 1 記載のプラズマ処理装置。

【請求項 3】

前記平面アンテナ部材の上面側には、前記伝播されるマイクロ波の波長を短縮するための板状の遅波材が設けられることを特徴とする請求項 1 または 2 記載のプラズマ処理装置。

【請求項 4】

前記電界減衰用凹部の直径 D_1 は前記マイクロ波の前記遅波材中の波長 λ の $1/2$ の整数倍であり、且つ前記電界減衰用凹部の深さ H_1 は前記波長 λ の $1/4$ の奇数倍であることを特徴とする請求項 3 記載のプラズマ処理装置。

【請求項 5】

前記天板に形成された前記ガス通路のガス出口側には、前記処理容器内へ導入されるガスを拡散するための多孔質部材が装着されることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項 6】

前記中心導体の先端部は前記天板の上面側まで延びており、前記中心導体の先端部と前記天板の接合面との間にはシール部材が介設されていることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項 7】

前記マイクロ波の周波数は 2.45 GHz であり、前記ガス通路の直径は少なくとも 10 mm であることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項 8】

前記処理容器の側壁には、該側壁を貫通して前記処理容器内に挿通されるガス導入ノズルを有する補助ガス導入手段が設けられることを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体ウエハ等に対してマイクロ波により生じたプラズマを作用させて処理を施す際に使用されるプラズマ処理装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、半導体製品の高密度化及び高微細化に伴い半導体製品の製造工程において、成膜、エッチング、アッシング等の処理のためにプラズマ処理装置が使用される場合があり、

10

20

30

40

50

特に、 0.1 mTorr (13.3 Pa)～数 10 mTorr (数 Pa)程度の比較的圧力が低い高真空状態でも安定してプラズマを立てることができることからマイクロ波を用いて、高密度プラズマを発生させるマイクロ波プラズマ装置が使用される傾向にある。

このようなプラズマ処理装置は、特許文献1、特許文献2、特許文献3、特許文献4等
に開示されている。ここで、マイクロ波を用いた一般的なプラズマ処理装置を図8を参照
して概略的に説明する。図8は従来の一一般的なプラズマ処理装置を示す概略構成図である

【0003】

図8において、このプラズマ処理装置2は、真空引き可能になされた処理容器4内に半
導体ウェハWを載置する載置台6を設けており、この載置台6に対向する天井部にマイク
ロ波を透過する円板状の窒化アルミや石英等よりなる天板8を気密に設けている。そして
処理容器4の側壁には、容器内へ所定のガスを導入するためのガスノズル9が設けられて
いる。

【0004】

そして、上記天板8の上面に厚さ数 mm 程度の円板状の平面アンテナ部材10と、この
平面アンテナ部材10の半径方向におけるマイクロ波の波長を短縮するための例えば誘電
体よりなる遅波材12を設置している。そして、平面アンテナ部材10には多数の、例え
ば長溝状の貫通孔よりなるマイクロ波放射孔14が形成されている。このマイクロ波放射
孔14は一般的には、同心円状に配置されたり、或いは渦巻状に配置されている。そして
、平面アンテナ部材10の中心部に同軸導波管16の中心導体18を接続してマイクロ波
発生器20より発生した、例えば 2.45 GHz のマイクロ波をモード変換器22にて所
定の振動モードへ変換した後に導くようになっている。そして、マイクロ波をアンテナ部
材10の半径方向へ放射状に伝播させつつ平面アンテナ部材10に設けたマイクロ波放射
孔14からマイクロ波を放出させてこれを天板8に透過させて、下方の処理容器4内へマ
イクロ波を導入し、このマイクロ波により処理容器4内の処理空間Sにプラズマを立てて
半導体ウェハWにエッチングや成膜などの所定のプラズマ処理を施すようになっている。

【0005】

【特許文献1】特開平3-191073号公報

【特許文献2】特開平5-343334号公報

【特許文献3】特開平9-181052号公報

【特許文献4】特開2003-332326号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ところで、上記プラズマ処理を行う場合に、ウェハ面内に均一に所定の処理を行う必要
がある。この場合、必要な処理ガスは、処理容器4の側壁に設けたガスノズル9より供給
するようにしているので、このガス出口近傍の領域と、ウェハWの中心領域とでは拡散す
る処理ガスがプラズマに晒される時間がそれぞれ異なることから、ガスの解離度が異なっ
てしまい、これに起因してウェハ面内におけるプラズマ処理、例えばエッチングレートや
成膜時の膜厚が面内不均一な状態になってしまう場合があった。この現象は、特にウェハ
サイズが例えば8インチから12インチへと大きくなるに従って、特に顕著に現れる傾向
にあった。

【0007】

このため、例えば特許文献4に開示されているように、同軸導波管16の中心を通る棒
状の中心導体18を空洞状態として内部にガス流路を設け、更に天板8を貫通するよう
にしてガス流路を設け、これらの両ガス流路を連通して、これに処理ガスを流して処理空間
Sの中心部に直接的に処理ガスを導入することも行われている。

【0008】

しかしながら、この場合には、天板8の中央部に形成されたガス通路の内部における電
界強度が或る程度高いことから、ガス出口近傍のガス通路内でプラズマ異常放電が生じて

しまう場合があった。このため、このプラズマ異常放電により天板 8 の中央部が過度に加熱されて、天板 8 が破損する、といった問題があった。

またこの場合、天板 8 自体に、その周辺部より中心部まで延びるガス通路を形成することも考えられるが、この場合にも、ガス通路内の電界強度が高いことから、上述したようにプラズマ異常放電が発生してしまうので、この構造を採用することはできない。

【0009】

本発明は、以上のような問題点に着目し、これを有効に解決すべく創案されたものである。本発明の目的は、天板の中心部の電界強度を減衰、或いは低減させることによって、ガス通路内にてプラズマ異常放電が発生することを抑制することが可能なプラズマ処理装置を提供することにある。

10

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明者等は、プラズマ処理装置における天板中の電界分布について鋭意研究した結果、天板の中央部上面に所定の寸法形状の凹部を設けることにより、この部分における電界強度を減衰させて低減できることを見い出すことにより、本発明に至ったものである。

請求項 1 に係る発明は、天井部が開口されて内部が真空引き可能になされた処理容器と、被処理体を載置するために前記処理容器内に設けた載置台と、前記天井部の開口に気密に装着されてマイクロ波を透過する誘電体よりなる天板と、前記天板の上面に設けられてマイクロ波を前記処理容器内へ導入するための平面アンテナ部材と、前記平面アンテナ部材の中心部に、その中心導体が接続された同軸導波管を有するマイクロ波供給手段と、を備えたプラズマ処理装置において、前記中心導体と前記平面アンテナ部材と前記天板とを貫通するようにして形成したガス通路を有するガス導入手段を設けると共に、前記ガス通路が通る前記天板の上面側に、前記天板の中心部の電界強度を減衰させるための電界減衰用凹部を設けるように構成したことを特徴とするプラズマ処理装置である。

20

【0011】

このように、上記同軸導波管の中心導体と上記平面アンテナ部材と上記天板とを貫通するようにして形成したガス通路を有するガス導入手段を設けると共に、上記ガス通路が通る上記天板の上面側に、電界減衰用凹部を設けて上記天板の中心部の電界強度を減衰させるようにしたので、上記ガス通路内にてプラズマ異常放電が発生することを抑制することができる。

30

また、プラズマ異常放電を抑制できることから、天板が部分的に過度に加熱されることがなく、この天板が破損することを防止することができる。

更には、天板の中心部よりガスを供給できるので、処理空間においてガスがプラズマに晒される時間を平均化でき、その結果、ガスの解離状態を均一化させることができる。

【0012】

この場合、例えば請求項 2 に規定するように、前記天板の中心部の電界強度は、実質的にゼロである。

また例えば請求項 3 に規定するように、前記平面アンテナ部材の上面側には、前記伝播されるマイクロ波の波長を短縮するための板状の遅波材が設けられる。

また例えば請求項 4 に規定するように、前記電界減衰用凹部の直径 D_1 は前記マイクロ波の前記遅波材中の波長 λ の $1/2$ の整数倍であり、且つ前記電界減衰用凹部の深さ H_1 は前記波長 λ の $1/4$ の奇数倍である。

40

【0013】

また例えば請求項 5 に規定するように、前記天板に形成された前記ガス通路のガス出口側には、前記処理容器内へ導入されるガスを拡散するための多孔質部材が装着される。

このように、ガス通路の出口側には多孔質部材を装着するようにしたので、処理容器内へガスを拡散させて導入することができ、また、処理容器内のプラズマがガス通路内へ廻り込むことを防止することができる。

また例えば請求項 6 に規定するように、前記中心導体の先端部は前記天板の上面側まで延びており、前記中心導体の先端部と前記天板の接合面との間にはシール部材が介設され

50

ている。

【0014】

また例えば請求項7に規定するように、前記マイクロ波の周波数は2.45GHzであり、前記ガス通路の直径は少なくとも10mmである。

また例えば請求項8に規定するように、前記処理容器の側壁には、該側壁を貫通して前記処理容器内に挿通されるガス導入ノズルを有する補助ガス導入手段が設けられる。

このように、補助ガス導入手段を設けることにより、処理空間においてガスの解離状態を一層均一化させることができる。

【発明の効果】

【0015】

本発明に係るプラズマ処理装置によれば、次のように優れた作用効果を発揮することができる。

本発明によれば、上記同軸導波管の中心導体と上記平面アンテナ部材と上記天板とを貫通するようにして形成したガス通路を有するガス導入手段を設けると共に、上記ガス通路が通る上記天板の上面側に、電界減衰用凹部を設けて上記天板の中心部の電界強度を減衰させるようにしたので、上記ガス通路内にてプラズマ異常放電が発生することを抑制することができる。

また、プラズマ異常放電を抑制できることから、天板が部分的に過度に加熱されることがなく、この天板が破損することを防止することができる。

更には、天板の中心部よりガスを供給できるので、処理空間においてガスがプラズマに晒される時間を平均化でき、その結果、ガスの解離状態を均一化させることができる。

【0016】

特に、請求項5に係る発明によれば、ガス通路の出口側には多孔質部材を装着するようにしたので、処理容器内へガスを拡散させて導入することができ、また、処理容器内のプラズマがガス通路内へ廻り込むことを防止することができる。

また特に、請求項8に係る発明によれば、補助ガス導入手段を設けることにより、処理空間においてガスの解離状態を一層均一化させることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

以下に、本発明に係るプラズマ処理装置の一実施例を添付図面に基づいて詳述する。

図1は本発明に係るプラズマ処理装置の一例を示す構成図、図2は図1に示すプラズマ処理装置の平面アンテナ部材を示す平面図、図3は電界減衰用凹部を示す平面図、図4は電界減衰用凹部を示す部分拡大断面図、図5は同軸導波管を主体とする断面を示す図、図6は図5中のA-A線矢視断面図である。

【0018】

図示するようにこのプラズマ処理装置32は、例えば側壁や底部がアルミニウム等の導体により構成されて、全体が筒体状に成形された処理容器34を有しており、内部は密閉された処理空間Sとして構成されて、この処理空間Sにプラズマが形成される。この処理容器34自体は接地されている。

【0019】

この処理容器34内には、上面に被処理体としての例えば半導体ウエハWを載置する載置台36が収容される。この載置台36は、例えばアルマイト処理したアルミニウム等により平坦になされた略円板状に形成されており、例えば絶縁性材料よりなる支柱38を介して容器底部より起立されている。

上記載置台36の上面には、ここにウエハを保持するための静電チャック或いはクランプ機構（図示せず）が設けられる。尚、この載置台36を例えば13.56MHzのバイアス用高周波電源に接続する場合もある。また必要に応じてこの載置台36中に加熱用ヒータを設けてもよい。

【0020】

上記処理容器34の側壁には、補助ガス導入手段40として、容器内に所定のガスを導

10

20

30

40

50

入する石英パイプ製のガス導入ノズル40Aが設けられており、この各ノズル40Aよりガスを流量制御しつつ供給できるようになっている。尚、この補助ガス導入手段40は、必要に応じて設けるようにすればよく、また、複数のノズルを設けて複数種類のガスを導入できるようにしてもよい。

【0021】

また、容器側壁には、この内部に対してウェハを搬入・搬出する時に開閉するゲートバルブ42が設けられている。また、容器底部には、排気口44が設けられると共に、この排気口44には図示されない真空ポンプが介接された排気路46が接続されており、必要に応じて処理容器34内を真空引きして所定の圧力に維持できるようになっている。

そして、処理容器34の天井部は開口されて、ここに例えば石英やセラミック材等よりなるマイクロ波に対しては透過性を有する天板48がOリング等のシール部材50を介して気密に設けられる。この天板48の厚さは耐圧性を考慮して例えば20mm程度に設定される。

【0022】

そして、この天板48の中央部の上面側に、円形に窪ませてなる本発明の特徴とする電界減衰用凹部52が形成されている。この電界減衰用凹部52の構造については後述する。また上記天板48には、この上面に接して円板状の平面アンテナ部材54が設けられている。

【0023】

上記平面アンテナ部材54は、8インチサイズのウェハ対応の場合には、例えば直径が300～400mm、厚みが1～数mmの導電性材料よりなる、例えば表面が銀メッキされた銅板或いはアルミ板よりなり、この円板には、図2にも示すように例えば長溝状の貫通孔よりなる多数のマイクロ波放射孔56が形成されている。このマイクロ波放射孔56の配置形態は、特に限定されず、例えば同心円状、渦巻状、或いは放射状に配置させてもよいし、アンテナ部材全面に均一になるように分布させてもよい。例えばマイクロ波放射孔56は、この2個を僅かに離間させてTの字状に配置して一对の組を形成している。

【0024】

そして、この平面アンテナ部材54の中心部には、所定の大きさの貫通孔58が形成されており、後述するようにこの貫通孔58を介してガスが供給される。そして、図1へ戻って、この平面アンテナ部材54にはマイクロ波供給手段60が接続されており、このマイクロ波供給手段60より供給されるマイクロ波を、上記平面アンテナ部材54より処理空間Sに導入し得るようになっている。

具体的には、上記マイクロ波供給手段60は、上記平面アンテナ部材54へ接続される同軸導波管62を有すると共に、上記平面アンテナ部材56の上面側に設けられた板状の遅波材64を有している。そして、この遅波材64の上方側は、導波箱66により覆われている。

【0025】

従って、上記平面アンテナ部材54は、上記遅波材56の上方全面を覆う導電性の中空円筒状容器よりなる導波箱66の底板として構成されることになる。

この導波箱66及び平面アンテナ部材54の周辺部は共に接地される。そして、この導波箱66と上記平面アンテナ部材54に上記同軸導波管62が接続される。この同軸導波管62は中心導体68と、この中心導体68の周囲を所定間隔だけ離間して囲むようにして設けられた例えば断面円形の筒状の外側導体70とよりなる。これらの中心導体68や外側導体70は、例えばステンレススチールや銅等の導体よりなる。上記導波箱66の上部の中心には、上記同軸導波管62の筒状の外側導体70が接続され、内部の中心導体68の下端部側は、上記遅波材56の中心に形成した孔72を通して上記平面アンテナ部材54の中心部に溶接等の接続部74によって接続される。

【0026】

そして、この中心導体68の下端部は、上記平面アンテナ部材54の貫通孔58（図4参照）を介して下方へ延びて、上記天板48の上面側に設けた電界減衰用凹部52内に位

置されると共に、その下端にはその直径を拡大した接続フランジ 76 が設けられている。そして、上記天板 48 の電界減衰用凹部 52 の中心部には、下方の処理空間 S へ抜ける貫通孔 78 (図 3 も参照) が形成されており、この貫通孔 78 の周辺部に、上記中心導体 68 の接続フランジ 78 が O リング等のシール部材 80 を介して気密に接続されている。

【0027】

そして、この同軸導波管 62 の上部は、モード変換器 82 及び導波管 84 を介してマッチング 86 を有する例えば 2.45 GHz のマイクロ波発生器 88 に接続されており、上記平面アンテナ部材 54 へマイクロ波を伝播するようになっている。ここで上記中心導体 68 の上端部は上記モード変換器 82 の天井区画壁に接続されている。ここで用いる周波数は 2.45 GHz に限定されず、他の周波数、例えば 8.35 GHz を用いてもよい。10
上記導波管 84 としては、断面円形或いは断面矩形の導波管を用いることができる。尚、上記導波箱 66 の上部に図示しない天井冷却ジャケットを設けるようにしてもよい。そして、上記導波箱 66 内であって、平面アンテナ部材 54 の上面側に設けた高誘電率特性を有する遅波材 64 は、この波長短縮効果により、マイクロ波の管内波長を短くしている。この遅波材 64 としては、例えば石英や窒化アルミ等を用いることができる。

【0028】

そして、上記同軸導波管 62 には、本発明の特徴とするガス導入手段 90 が設けられる。具体的には、このガス導入手段 90 は、上記同軸導波管 62 の中心導体 68、平面アンテナ部材 54 及び天板 48 をそれぞれ貫通するようにして形成したガス通路 92 を有している。すなわち、このガス通路 92 は、上記中心導体 68 においては、図 6 にも示すよう20
にこれを空洞状、或いはパイプ状に成形することにより作られている。また、天板 48 においては、この中心部に形成した上記貫通孔 78 が、上記ガス通路 92 の一部となっている。

【0029】

そして、上記中心導体 68 の上端部に形成されたガス入口 94 には、途中に開閉弁 96 やマスフローコントローラのような流量制御器 98 等が介設されたガス供給系 100 が接続されており、必要に応じて所望のガスを流量制御しつつ供給できるようになっている。

また、上記ガス通路 92 のガス出口側である天板 48 の貫通孔 78 には、これより放出されるガスを拡散させるための多孔質部材 102 が装着されている。この多孔質部材 102 としては、例えば石英ポーラス材やアルミナポーラス材を用いることができ、特に天板30
48 が石英板の時には、熱膨張率が略同じとなる石英ポーラス材を用いることにより、装着性を向上させることができる。

【0030】

ここで上記天板 48 に設けた電界減衰用凹部 52 の寸法について説明する。この電界減衰用凹部 52 は、この天板 48 の中心部における電界強度を減衰させるものであり、条件によっては電界強度を略ゼロにするものである。そのためには、下記式 1 及び式 2 に示すように、上記電界減衰用凹部 52 の直径 D1 は、上記マイクロ波の遅波材 64 中の波長 λ の 1/2 の整数倍であり、且つ深さ H1 は波長 λ の 1/4 の奇数倍に設定する (図 3 及び図 4 参照)。

$$D1 = \lambda / 2 \cdot n \quad \cdots \quad \text{式 1} \quad 40$$

$$H1 = \lambda / 4 \cdot (2n - 1) \quad \cdots \quad \text{式 2}$$

ただし、n: 正の整数

【0031】

すなわち、図 4 に示すように、上記電界減衰用凹部 52 には、マイクロ波の反射波も含めてその全周方向及び上下方向からマイクロ波が伝播してくる。そして、全周方向から伝播してくるマイクロ波 E_x に関しては、上記式 1 を満たすことにより、互いに反対方向のマイクロ波 E_x は相殺し合ってしまう。

また、上下方向から伝播してくるマイクロ波 E_y は、一方が反射波となっているので、上記式 2 を満たすことにより、互いに反対方向のマイクロ波 E_y は相殺し合ってしまう。この結果、この部分、すなわち天板 48 の中央部における電界強度を減衰させて例えば略50

ゼロに設定することが可能となる。

【0032】

次に、上記同軸導波管62の構造について、図5及び図6も参照して詳しく説明する。ここではモード変換器82において、マイクロ波発生器88にて発生したマイクロ波の振動モードをTEモードからTEMモードへ変換すると共に、その進行方向を90度曲げている。このモード変換器82は、その外側区画壁は矩形状の箱体として形成されている。そして、上記同軸導波管62の中心導体68の上端部である基端部は、上記モード変換器82の天井板となる区画壁82Aに円錐形状に成形された接合部104を介して取り付け接合されている。この円錐形状の接合部104は、導波管84側より進行してくるマイクロ波を、その進行方向を90度まげて下方向へ向けるために斜面の傾斜角度 θ は45度に設定されている。 10

【0033】

そして、この同軸導波管62の中心導体68と外側導体70の直径は、従来のプラズマ処理装置の場合よりもマイクロ波の伝播に関する基本的な性能を維持できる範囲で共に大きく設定されており、そして、上記中心導体68に形成されたガス通路92の内径D2が第1の所定値以上に設定されている。この第1の所定値は、従来のマイクロ波発生装置の中心導体の一般的な太さである16mm程度であり、上記内径D2を例えば16mm以上の大きな値に設定する。また上記中心導体68や外側導体70の厚さは少なくとも2mm程度に設定されており、これよりも厚みが薄いとマイクロ波による加熱の原因となる。

【0034】

この場合、上記中心導体68や外側導体70の径を単に大きく設定すると、マイクロ波に複数の振動モードが混在したり、マイクロ波の反射特性が劣化する等の不都合が生ずるので、例えば以下に説明するような設計基準を満たす必要が生ずる。 20

第1の基準としては、上記外側導体70の内径の半径 r_1 と、上記中心導体68の外径の半径 r_2 との比 " r_1 / r_2 " を第2の所定値に維持しつつ上記外側導体70の内径D3 ($= 2 \cdot r_1$) を第3の所定値以下とする。この場合、下記式3と上記比 " r_1 / r_2 " に基づいて求められる特性インピーダンス Z_0 が例えば40~60 Ω の範囲内に入るように設定する。具体的には、このような特性インピーダンス値を満たす第2の所定値は、 $e^{2/3} \sim e$ ($e = 2.718 \dots$) の範囲内の一定値である。

【0035】

$$Z_0 = h / 2\pi \cdot \ln(r_1 / r_2) \quad \dots \quad \text{式3}$$

h : 電波インピーダンス (電界と磁界の比)

$\ln$: 自然対数

ここで " $40 \leq Z_0 \leq 60$ " とすると、上記比 " r_1 / r_2 " の範囲が定まる。

尚、同軸線路における特性インピーダンスの求め方及びTEMモードに限定した伝播については、文献「マイクロ波工学」(森北電気工学シリーズ3、マイクロ波光学ー基礎と原理ー著者:中島 将光、発光所:森北出版、1998年12月18日発行)の「同軸線路」(67~70頁)に示される。

【0036】

また上記第3の所定値としては、上記伝播されるマイクロ波の大気中の波長 λ_0 の " $0.59 - 0.1$ " ($= 0.49$) 波長であり、下記式4に示すように、上記内径D3を $0.49 \cdot \lambda_0$ 以下の値となるように設定する。 40

$$D_3 \leq \lambda_0 (0.59 - 0.1) \quad \dots \quad \text{式4}$$

この条件を満たすことにより、モード変換後の同軸導波管62内を伝播するマイクロ波の振動モードをTEMモードのみとし、他の振動モードが混在しない状態にすることができる。

【0037】

上記式4に示す条件式は、以下のようにして求められる。すなわち、TEMモード以外で円形導波管(同軸導波管ではない)に最も伝播し易いモードは、伝播係数の高い方からTE₁₁モードであり、その場合の遮断周波数 f_c は、以下の式となる。 50

$$f_c = 1.841 / 2\pi r \sqrt{(\mu \epsilon)}$$

ここで上記 f_c 、 r 、 μ 、 ϵ は各々、遮断周波数、円形導波管の半径、大気中の透磁率、大気中の誘電率である。

これを変形すると、 $r = 0.295 \lambda_o$ (λ_o : 電磁波の大気中での波長) となり、円形導波管の直径 : $2r = 0.59 \lambda_o$ となる。

ここで、上記 λ_o より波長の長い電磁波を用いれば TEM モードのみが伝播することになり、また円形導波管を同軸導波管と見立てて、" $2r - 2r_1 = D_3 \leq 0.59 \lambda_o$ " の条件下で TEM モードのみが伝播することになる。更に、経験的な安全係数を考慮すると、" $D_3 \leq (0.59 - 0.1) \lambda_o$ " となり、上記式 4 が導き出される。

この結果、外側導体 70 の内径 D_3 : ($2 \times r_1$) を最大 60 mm にでき、また、中心導体 68 の外径 ($2 \times r_2$) を 30 mm 程度にでき、中心導体 68 の厚みを 2 mm とすると、その内径 D_2 を 26 mm とすることができる。

【0038】

また、好ましくは第 2 の基準として、下記式 5 に示すように、上記モード変換器 82 と上記同軸導波管 62 とを含む全体の長さ H_2 を、上記マイクロ波の大気中の波長 λ_o の $1/4$ 波長の奇数倍に設定することが望ましい。

$$H_2 = 1/4 \cdot \lambda_o \cdot (2n - 1) \quad \dots \quad \text{式 5}$$

n : 正の整数

上記高さ H_2 は、具体的には、上記モード変換器 82 の天井の区画壁 82A と上記導波箱 66 の天井板との間の距離である。この第 2 の基準を満たすことにより、この同軸導波管 62 内を進行する進行波と、平面アンテナ部材 54 側からの反射波とを効率的に打ち消し合うようにすることができる。

【0039】

また更には、好ましくは第 3 の基準として、下記式 6 に示すように、上記モード変換器 82 に入るマイクロ波の進行方向とは反対側に位置する端面、すなわち短絡板 82B と上記円錐形状の接合部 104 の斜面の中間点との間の距離 H_4 は、上記マイクロ波の大気圧中の波長 λ_o の $1/2$ 波長の整数倍の長さに設定することが望ましい。

$$H_4 = 1/2 \cdot \lambda_o \cdot n \quad \dots \quad \text{式 6}$$

n : 正の整数

ここで上記円錐状の接合部 104 の斜面の中間点の位置は、上記同軸導波管 62 の筒状の外側導体 70 の延長線上に位置するように対応している。

【0040】

この第 3 の基準を満たすことにより、導波管 84 内を伝播されてくる進行波と、このモード変換器 82 の短絡板 82B から反射されてくる反射波とが同期して効率的に合成されて下方向の同軸導波管 62 へ向けて 90 度進行方向を変えて進行させることが可能となる。

以上のように、上記第 1 の基準を満たすことにより、マイクロ波に関する基本的な性能を維持しつつ中心導体に形成されるガス通路 92 の内径を拡大することができ、更に上記第 2 及び第 3 の基準を満たすことにより、上記作用効果を一層向上させることができる。

【0041】

次に、以上のように構成されたプラズマ処理装置 32 を用いて行なわれる処理方法について説明する。

まず、ゲートバルブ 42 を介して半導体ウエハ W を搬送アーム (図示せず) により処理容器 34 内に収容し、リフタピン (図示せず) を上下動させることによりウエハ W を載置台 36 の上面の載置面に載置する。

【0042】

そして、処理容器 34 内を所定のプロセス圧力、例えば 0.01 ~ 数 Pa の範囲内に維持して、補助ガス導入手段 40、ガス導入ノズル 40A やガス導入手段 90 のガス通路 92 を介して処理態様に応じて例えば成膜処理であるならば成膜用ガスを、エッチング処理であるならばエッチングガスを流量制御しつつ供給する。上記ガス導入手段 90 において

10

20

30

40

50

は、供給すべきガスはガス供給系 100 を流れて同軸導波管 62 の中心導体 68 に設けたガス通路 92 の上端部のガス入口 94 からガス通路 92 内に入り、このガス通路 92 を流下した後に、天板 48 に設けた貫通孔 78 の下端部のガス出口から処理空間 S に導入されることになる。

【0043】

これと同時にマイクロ波供給手段 60 のマイクロ波発生器 88 にて発生した TE モードのマイクロ波を導波管 84 に伝播させ、更にモード変換器 82 にてこの振動モードを TEM モードに変換した後に同軸導波管 62 を伝播させて平面アンテナ部材 54 に供給して処理空間 S に、遅波材 64 によって波長が短くされたマイクロ波を導入し、これにより処理空間 S にプラズマを発生させて所定のプラズマ処理を行う。

10

【0044】

ここで、マイクロ波発生器 82 にて発生した例えば 2.45 GHz のマイクロ波は上記したように同軸導波管 62 内を伝播して導波箱 60 内の平面アンテナ部材 54 に到達し、中心導体 68 の接続された円板状の平面アンテナ部材 54 の中心部から放射状に周辺部に伝播される間に、この平面アンテナ部材 54 に多数形成されたマイクロ波放射孔 56 から天板 48 を透過させて平面アンテナ部材 54 の直下の処理空間 S にマイクロ波を導入する。このマイクロ波により励起された例えばアルゴンガスやエッチングガスがプラズマ化し、この下方に拡散してここで処理ガスを活性化して活性種を作り、この活性種の作用でウエハ W の表面に所定のプラズマ処理が施されることになる。

【0045】

ここでガス導入手段 90 のガス通路 92 の一部を構成する天板 48 の貫通孔 78 内には、ここにガスが流れることからマイクロ波による電界により、プラズマ異常放電が生ずる恐れがある。しかしながら、本発明においては、この天板 48 の中央部の上面側に電界減衰用凹部 52 を設けてこの部分における電界強度を減衰させて例えば略ゼロにしているので、上記プラズマ異常放電の発生を防止することができる。

20

【0046】

具体的には、前述した如く、下記式 1 及び式 2 に示すように、上記電界減衰用凹部 52 の直径 D1 は、上記マイクロ波の遅波材 64 中の波長 λ の $1/2$ の整数倍であり、且つ深さ H1 は波長 λ の $1/4$ の奇数倍に設定している（図 3 及び図 4 参照）。

$$D1 = \lambda / 2 \cdot n \quad \cdots \quad \text{式 1}$$

$$H1 = \lambda / 4 \cdot (2n - 1) \quad \cdots \quad \text{式 2}$$

ただし、n：正の整数

この場合、マイクロ波の周波数 2.45 GHz、天板 48 を構成する材料の比誘電率が 3.8 の石英であると仮定すると、 $\lambda = 62 \text{ mm}$ となるので、例えば $D1 = 31 \text{ mm}$ 、 $H1 = 15.1 \text{ mm}$ となる。

30

【0047】

そして、図 4 に示すように、上記電界減衰用凹部 52 には、マイクロ波の反射波も含めてその全周方向及び上下方向からマイクロ波が伝播してくる。この時、全周方向から伝播してくるマイクロ波 Ex に関しては、上記式 1 を満たすことにより、互いに反対方向のマイクロ波 Ex は相殺し合ってしまう。

40

また、上下方向から伝播してくるマイクロ波 Ey は、一方が反射波となっているので、上記式 2 を満たすことにより、互いに反対方向のマイクロ波 Ey は相殺し合ってしまう。この結果、この部分、すなわち天板 48 の中央部における電界強度を減衰させて例えば略ゼロに設定することが可能となる。

【0048】

この結果、天板 48 の貫通孔 78 内や外側導体 70 の下端部近傍の電界強度が略ゼロになるので、ここにプラズマ異常放電が発生することを防止することができる。従って、天板 48 が局部的に高温に加熱されることもないので、この天板 48 が破損することも防止することができる。

【0049】

50

更には、天板４８の貫通孔７８内に多孔質部材１０２を装着しておくことにより、この多孔質部材１０２の機能により処理空間Ｓに導入されるガスを拡散された状態で導入することができるのみならず、処理空間Ｓ内で発生しているプラズマ放電が、この多孔質部材１０２に阻害されるので貫通孔７８内に廻り込むことを防止することができ、この結果、中心導体６８の下端部をシールするシール材８０がプラズマにより傷付けられることを防止できる。

また必要なガスをガス導入手段９０により天板４８の中心部から供給するようにしたので、このガスが処理空間Ｓ内の周辺部に均等に拡散して行くことになり、この結果、従来装置と比較して処理空間Ｓにおけるガスの解離度の均一性を高く維持することができる。

【００５０】

10

特にガス導入手段９０のみならず、処理容器３４の側壁に設けた補助ガス導入手段４０からも同種のガスを供給することにより、中心からのガス拡散と周辺からのガス拡散が合成されることになり、その結果、処理空間Ｓの全域に渡ってガスは均一に拡散して行くことになり、処理空間Ｓにおけるガスの解離度の均一性を一層高く維持することができる。

尚、天板４８の中心部の直下の処理空間Ｓでは、プラズマ電界強度が減衰していることから、ここではプラズマ放電が生じ難いが、その周辺部から十分に解離ガスが補給されるので特に問題は生じない。

【００５１】

次に、天板４８中のマイクロ波の電界強度の分布を実際に測定して評価を行ったので、その評価結果について説明する。

20

図７は天板中のマイクロ波の電界分布の状態を示す写真であり、理解を容易にするために模式図が併記されている。図７（Ａ）は電界減衰用凹部を設けていない従来構造の天板を示し、図７（Ｂ）は電界減衰用凹部を設けた本発明の天板を示す。

【００５２】

上記図７より明らかなように、図７（Ａ）に示す従来構造の天板の場合には、天板の中心部にはプラズマの電界強度が大きく現れている。これに対して、図７（Ｂ）に示す本発明の場合には、天板の中心においてはプラズマの電界強度は略ゼロになっていることを確認することができた。

尚、本発明のプラズマ処理装置は、エッチング処理、プラズマＣＶＤ処理、プラズマアッシング処理、酸化拡散処理、窒化処理等のプラズマを用いる全ての処理に適用することができる。

30

また上記実施例では、被処理体として半導体ウエハを例にとって説明したが、これに限定されず、ＬＣＤ基板、ガラス基板、セラミック基板等にも本発明を適用することができる。

【図面の簡単な説明】

【００５３】

【図１】 本発明に係るプラズマ処理装置の一例を示す構成図である。

【図２】 図１に示すプラズマ処理装置の平面アンテナ部材を示す平面図である。

【図３】 電界減衰用凹部を示す平面図である。

【図４】 電界減衰用凹部を示す部分拡大断面図である。

40

【図５】 同軸導波管を主体とする断面を示す図である。

【図６】 図５中のＡ－Ａ線矢視断面図である。

【図７】 天板中のマイクロ波の電界分布の状態を示す写真である。

【図８】 従来の一般的なプラズマ処理装置を示す概略構成図である。

【符号の説明】

【００５４】

３２ プラズマ処理装置

３４ 処理容器

３６ 載置台

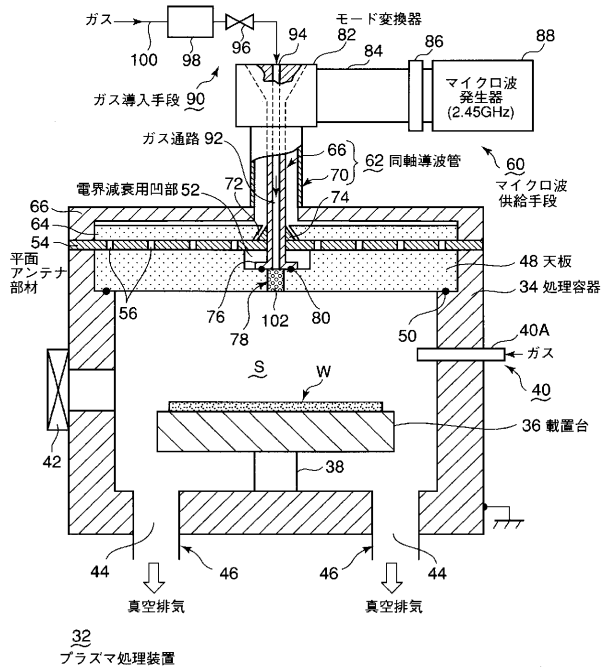
４０ 補助ガス導入手段

50

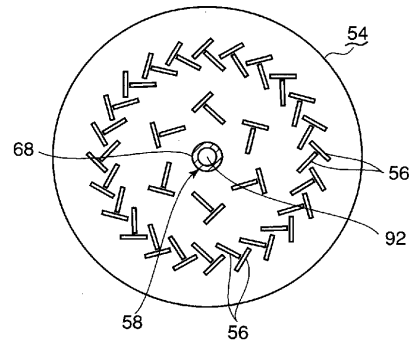
- 40 A ガス導入ノズル
 48 天板
 52 電界減衰用凹部
 54 平面アンテナ部材
 60 マイクロ波供給手段
 62 同軸導波管
 64 遅波材
 68 中心導体
 70 外側導体
 82 モード変換器
 84 マイクロ波発生器
 90 ガス導入手段
 92 ガス通路
 102 多孔質部材
 W 半導体ウエハ（被処理体）

10

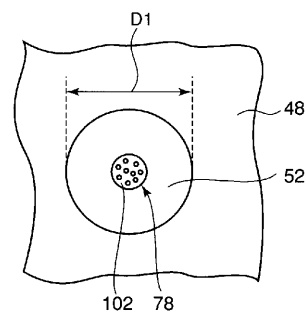
【図 1】



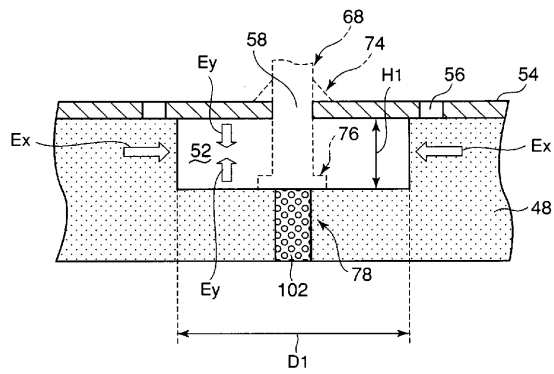
【図 2】



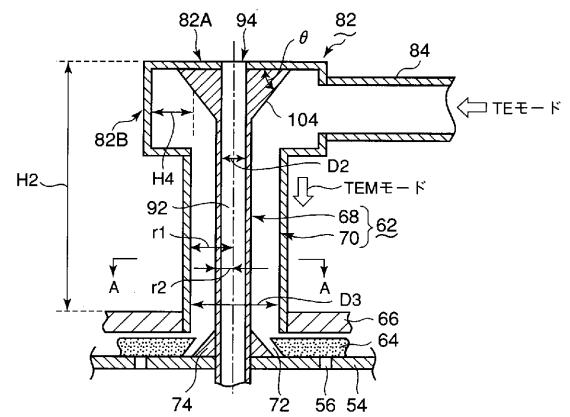
【図 3】



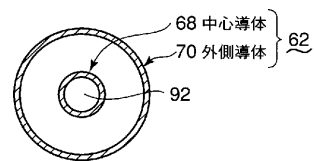
【圖 4】



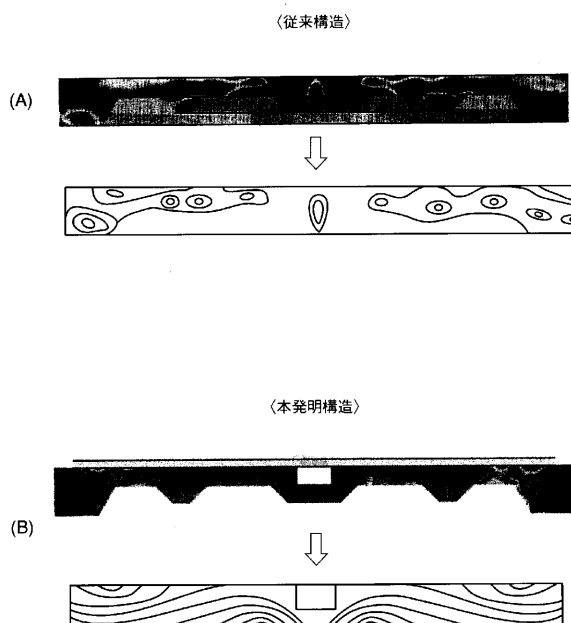
【図 5】



【图 6】



【図 7】



【图 8】

