

明 細 書

発明の名称：高周波反応処理装置および高周波反応処理システム

技術分野

[0001] 本発明は、被処理材料を高周波励起による電磁波で処理する高周波反応処理装置および高周波反応処理システムに関する。

背景技術

[0002] 特許文献 1 には、筒状あるいは球状の誘電体容器によりループ状に帰還するように高周波伝播線路が形成される高周波反応処理装置が開示されている。この高周波反応処理装置は、誘電体により形成された外容器と、その内側に誘電体により形成されている内容器が配置されて、外容器の外面には高周波結合部が設けられ、それ以外の外面部分には接地電位に保たれた導電体の被覆部が設けられている。

[0003] 特許文献 1 記載の高周波反応処理装置は、内容器内側の反応処理領域においてエバネセント表面波による多数の強電界点を持たせることができる。また、高周波導波管線路より電磁波を無限長誘電体線路方向に伝播させることができ、線路面積の大きな無限長誘電体線路を構成できる。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特許第 3 6 3 7 3 9 7 号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 上記の高周波反応処理装置では、無限長誘電体線路が構成される。無限長誘電体線路とは、筒状あるいは球状の誘電体容器によるループ状に帰還する高周波伝播線路を指す。そして、高周波導波管線路より電磁波を無限長誘電体線路方向に伝播させることで、内容器内部に連続的にエバネセント波が発生伝搬し、供給される高周波エネルギーは、内容器内部の負荷に吸収される。

[0006] しかしながら反応に供する内容容器内部の負荷が、吸収効率の悪い場合には、高周波エネルギーが内部負荷に効率よく吸収されない。そして、外容器による無限長誘電体伝搬線路を連続的にループ状に帰還し通過する電磁波のエネルギーの一部が、誘電体材料の誘電損失によって吸収され一部は熱損失として消費される。

[0007] 本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、伝搬線路を連続的にループ状に帰還し通過する電磁波のエネルギーの損失を低減できる高周波反応処理装置および高周波反応処理システムを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0008] (1) 上記の目的を達成するため、本発明の高周波反応処理装置は、誘電性材料で構成され、2つの端面により内腔を閉鎖することができる外容器と、導電性材料で構成され、前記外容器の外表面との間に空間領域を形成する高周波線路接地電位と同電位に保たれた被覆部と、前記被覆部の外表面の任意の位置に設けられた1または2以上の高周波結合部と、誘電性材料で構成され前記外容器の内側に接せず前記高周波結合部を通して飛来する高周波を受けける位置に設けられかつ2つの端面により内腔を閉鎖することができる1または2以上の内容容器と、を備え、前記内容容器の内腔において前記高周波結合部より導入される電磁波により反応処理を行うことを特徴としている。

[0009] このように誘電体の外容器により発生するエバネセント波に対し、被覆部と外容器との間に空間を設けることで外容器による電磁波の吸収を抑制し処理効率を向上できる。

[0010] (2) また、本発明の高周波反応処理装置は、高周波線路接地電位と同電位に保たれた導電体で構成された、前記内容容器の端面で前記内容容器の内腔を閉鎖する蓋部をさらに備え、前記蓋部は、前記内容容器の端部を嵌める嵌入溝を備え、前記嵌入溝は、前記導入される高周波の $1/8$ 波長以上 $1/2$ 波長以下の長さにわたる深さを有し、前記内容容器の側面に接することなく、前記内容容器の端部を収容することを特徴としている。これにより、電磁波は嵌入

溝まで入っていきえずにチョークされるため、内容器の端部の温度を低く維持できる。

- [0011] (3) また、本発明の高周波反応処理システムは、複数の、上記のいずれかに記載の高周波反応処理装置と、前記複数の高周波反応処理装置のそれぞれの前記内容器の一方側の端面を介して前記内容器の内腔に接続された単一の処理室と、を備えることを特徴としている。これにより、大出力による処理反応を大面積に展開できる。

発明の効果

- [0012] 本発明によれば、伝搬線路における連続的にループ状に帰還し通過する電磁波エネルギーの損失を低減できる。

図面の簡単な説明

- [0013] [図1] (a)、(b) それぞれ第1実施形態の高周波反応処理装置の平断面図および、y1-y2における正断面図である。
- [図2] 第1実施形態の高周波反応処理装置の拡大正断面図である。
- [図3] (a)、(b) それぞれ第2実施形態の高周波反応処理装置の平断面図および、y1-y2における正断面図である。
- [図4] 第2実施形態の高周波反応処理装置の拡大正断面図である。
- [図5] (a)、(b) それぞれ第3実施形態の高周波反応処理システムの平断面図および、y1-y2における正断面図である。

発明を実施するための形態

- [0014] [第1実施形態]

図1 (a)、(b) は、それぞれ第1実施形態の高周波反応処理装置100の平断面図および、y1-y2における正断面図である。高周波反応処理装置100は、誘電体外容器40（外容器）、被覆導体43（被覆部）、高周波結合部42、誘電体内容器41（内容器）および真空容器壁59（蓋部）を備えている。誘電体外容器40は、フッ素樹脂膜層53および石英管54で構成される。誘電体内容器41は、石英管55で構成される。高周波結合部42は、被覆導体43の外面の任意の位置に設けられる。1つの被覆導

体43に対して複数の高周波結合部42が設けられてもよい。

[0015] 誘電体内容器41は、誘電性材料で構成され、誘電体外容器40の内側面に接さず高周波結合部42を通して飛来する高周波を受ける位置に設けられる。誘電体内容器41は、真空容器壁59で構成される2つの端面により内腔（内部空間）が閉鎖されている。1つの外容器に対して複数の誘電体内容器41が設けられてもよい。高周波反応処理装置100は、誘電体内容器41の内腔において高周波結合部42より導入される電磁波により反応処理を行なう。

[0016] 図1（a）、（b）に示すように、高周波反応処理装置100により、高周波プラズマ装置の放電部を構成できる。y1－y2は、高周波線路に平行な中心線を表す（以下、同様）。図2は、第1実施形態の高周波反応処理装置100の拡大正断面図である。

[0017] 誘電体外容器40は、誘電性材料で構成され、真空容器壁59（蓋部）で構成された2つの端面によりその内腔（内部空間）が閉鎖される。被覆導体43は、導電性材料で構成され、誘電体外容器40の外面との間に空間領域149を形成し、高周波線路接地電位と同電位に保たれている。このように導波路となる被覆導体43の内側に誘電体外容器40があることでエバネセント波が発生するが、被覆導体43と誘電体外容器40との間に空間領域149を設けることで誘電体外容器40による電磁波の吸収を抑制し処理効率を向上できる。

[0018] 空間領域149は、被覆導体43の内面と誘電体外容器40の外面との間を飛来する高周波の $1/60$ 波長以上 $1/4$ 波長以下離すことで形成されていることが好ましい。これにより、エバネセント波のピークができる被覆導体43の内側面から $1/4$ 波長の位置に誘電体内容器41を配置でき、処理効率を向上できる。

[0019] 真空容器壁59は、誘電体内容器41、誘電体外容器40および被覆導体43のそれぞれの端面に形成されている。真空容器壁59は、高周波線路接地電位と同電位に保たれた導電体で構成され、誘電体外容器40および誘電

体内容器 4 1 の端面で誘電体内容器 4 1 および誘電体外容器 4 0 の内腔を閉鎖する。真空容器壁 5 9 は、誘電体外容器 4 0 を被覆導体 4 3 から離して保持する係止部を有する。これにより、被覆導体 4 3 の内面と誘電体外容器 4 0 の外面との間に一定の距離を空けて配置できる。係止部は、例えば被覆導体 4 3 が嵌る溝として形成できる。

[0020] 図 1 (a)、(b) に示すように、高周波反応処理装置 1 0 0 では、高周波 4 7 が 2 つのマイクロ波発振部から発振され、それぞれ高周波線路 4 4 を経て真空容器 1 2 に導入される。真空容器 1 2 は、放電部の中心部として機能する。高周波線路 4 4 は、導波管または導波管および空間領域により形成された高周波の伝送線路を指す。

[0021] 真空容器 1 2 は、誘電体内容器 4 1 としての円筒形の石英管 5 5 と上部および下部のアルミ製の真空容器壁 5 9 とアルミ製のドア試料台 5 7 とから構成され、オーリング 5 8 により真空シールされている。真空容器壁 5 9 には、排気減圧用の減圧排気口 5 6 が設けられている。プラズマ化されるガスは、処理ガス入路 2 0 より流量を制御されつつ導入される。

[0022] このように構成された高周波反応処理装置 1 0 0 を用いたプラズマ発生までの過程を概説する。処理試料を大気中にてドア試料台 5 7 上に設置した後、ドア試料台 5 7 を上昇させて、下部の真空容器壁 5 9 にてオーリングにより接触シール接続をする。真空容器 1 2 を減圧し、所定の処理ガスを処理ガス入路 2 0 より導入する。高周波 4 7 の進行方向に沿って高周波電磁波を導入することにより、プラズマ境界面 1 6 をもつ高周波プラズマが真空容器 1 2 内に発生する。

[0023] 誘電体外容器 4 0 は、フッ素樹脂膜層 5 3 および石英管 5 4 で構成され、石英管 5 4 は、フッ素樹脂膜層 5 3 で外側面を被覆されている。フッ素樹脂膜層 5 3 の外側面（すなわち誘電体外容器 4 0 の外側面）と接地電位であるアルミ製の被覆導体 4 3 との間に空間領域 1 4 9 が設けられ、被覆導体 4 3 および空間領域 1 4 9 により高周波線路 4 4 が形成されている。高周波線路 4 4 は接地された被覆導体 4 3 で囲まれた導波管の中の空間線路であり、導

波管による線路が空間領域 149 へ拡張接続して形成されている。

[0024] さらに、被覆導体 43 はアルミ製の真空容器壁 59 とともに電氣的に接続している。本実施例においては、誘電体内容器 41 は誘電体内容器 41 の内側面から誘電体外容器 40 のフッ素樹脂膜層 53 の外側面までの距離が導入される高周波の $1/4$ 波長となるように誘電体外容器 40 の内部かつ同軸上に配置されている。

[0025] また、誘電体外容器 40 と誘電体内容器 41 を冷却させる目的で、誘電体外容器 40 と誘電体内容器 41 で狭窄される領域に下部の真空容器壁 59 の冷却媒体入路 71 から気体あるいは誘電率の小さな液体を流入させて上部の真空容器壁 59 の冷却媒体出路 72 から排出する構造となっている。

[0026] 高周波結合部 42 は、高周波線路 44 と誘電体外容器 40 とを接続しており、高周波 47 は、高周波結合部 42 を介して高周波線路 44 に沿って伝播する。誘電体外容器 40 とアルミ製の被覆導体 43 との間の空間領域 149 は、高周波線路 44 として機能する。通常、高周波 47 の電磁波モードにより電界方向は異なるが、高周波反応処理装置 100 では TM11 モードを使用して円管である誘電体外容器 40 の円管周囲方向に電磁波が伝播するように電界方向をとっている。その結果、電磁波が円管側面をループ状に帰還する無限長誘電体線路を形成している。

[0027] 誘電体外容器 40 の正断面における内郭線の長さは導入される高周波の $1/4$ 波長の整数倍となるように設計されている。これにより、誘電体外容器 40 の円周方向を誘電体線路として伝播する高周波 47 は、伝送線路共振をする。

[0028] また、誘電体外容器 40 の外側面と接地された被覆導体 43 との間の空間領域によって空洞の高周波線路 44 を形成し、ループ状に帰還する無限長誘電体線路における高周波の減衰を低減できる。これにより、電磁波は外側に漏れることはなく、漏洩電界を形成する表面波が誘電体外容器 40 の内径方向に線路に沿って幅広く発生する。また、被覆導体 43 は接地電位に保たれている。これにより、その導体表面の内側に導入される表面波の $1/4$ 波長

の整数倍の位置に多数の高電界点がループ状に幅広く発生する。

- [0029] 上記のように、真空容器 1 2 の壁面を構成する誘電体内容器 4 1 の内側面位置は上記表面波の高電界点と一致する。これにより、高周波 4 7 の導入から瞬時かつ容易に真空容器 1 2 内にプラズマを発生させることができる。
- [0030] プラズマが発生すると、プラズマ境界面 1 6 が誘電体内容器 4 1 の内側に形成される。プラズマ自体が可変インピーダンスをもつため、表面波の一部はプラズマに吸収され、また表面波の他の一部はプラズマ境界面 1 6 により反射されることになる。反射された波は被覆導体 4 3 により、誘電体外容器 4 0 と誘電体内容器 4 1 を介して、プラズマ境界面 1 6 により形成される領域を交互に反射伝播する。
- [0031] この領域での高周波の線路インピーダンスはプラズマのインピーダンスによって連動して変化する。そして、この領域は $1/4$ 波長インピーダンス変成器整合回路を形成する。これにより、プラズマに連動し共振が生じる。その結果、線路とプラズマ負荷との間でインピーダンス整合がとれて、最終的には電磁波エネルギーが効率よくプラズマ負荷に吸収される。
- [0032] また、導入電力の増加に伴い、プラズマ密度が上昇してプラズマ境界面 1 6 が導体に近い性質を帯び始める。そして、上記 $1/4$ 波長インピーダンス変成器線路において反射定在波が増加しても、線路の容量特性が増加し全体として並列共振回路を形成する。このため、反射定在波の増加はプラズマ負荷に対して電流値を増加させる方向に働き、プラズマ電離効率が上昇する。以上により、反射波が高周波線路 4 4 に帰還することが無く、発振側から負荷を見た場合無反射状態が実現する。
- [0033] また、真空容器 1 2 は全体としてプラズマ負荷のない場合には円筒空洞共振器として機能し、プラズマ負荷がある場合には誘電体共振器として機能する。このために、負荷において電力を効率よく吸収することができる。
- [0034] 図 1 (a)、(b) に示すように、複数の高周波線路 4 4 から高周波 4 7 を導入する場合であっても、定在波は $1/4$ 波長インピーダンス変成器整合回路に相当する領域に閉じ込められる。これにより、複数の発振部は相互に

干渉することなく電力を負荷に注入でき、装置の大電力化が実現する。

[0035] ここで、一例として本実施形態の高周波反応処理装置の具体的な寸法および容量を示す。高周波47の波長は2.45GHzであり、その電磁波モードはTM11モードであり、その最大出力は、1Kwである。高周波結合部42部は、幅70mm高さ130mmの開口部において、誘電体外容器40と接している。外径150mm肉厚3mmZ軸方向長さ200mmの石英管54は、厚み2mmのPTFE製のフッ素樹脂膜層53で外側面を被覆されており、それらにより誘電体外容器40が形成されている。誘電体内容器41は、外径115mm肉厚3mmZ軸方向長さ200mmの石英管55で形成されている。アルミ製の被覆導体43は厚み0.5mmのアルミ板で形成されている。アルミ製の被覆導体43と厚み2mmのPTFE製のフッ素樹脂膜層53で外側面を被覆した誘電体外容器40の外側面との間には3mmの空間領域が設けられている。

[0036] アルミ製の真空容器壁59は、厚み20mm外径200mmの円板状に形成されており、下部の真空容器壁は、その中心に100mm径の孔を持ち、その孔はドア試料台によって閉鎖される。減圧排気口56は、内径20mm外径1インチの管であり、オーリングシール接続継ぎ手により真空ポンプからの真空配管と接続している。冷却媒体入路71は、1/4インチガス配管継ぎ手が接続されていて、冷却用にドライエアを30psiにて供給している。

[0037] 本実施形態では、処理ガス入路20および減圧排気口56が同一の真空容器壁59に設けられているが、対向する真空容器壁59に別々に設けられていてもよい。

[0038] [実施例1-1]

本実施形態におけるプラズマ発生のテスト例を以下に説明する。上記の構成例による高周波反応処理装置を用いた。真空条件として、圧力は13Paから1000Paとし、N₂、O₂およびその混合ガスを使用した。ガス流量は、50cc/分から300cc/分とした。マイクロ波電力として、1基

あたり50Wから1000Wを2基投入した。真空排気系については、排気量1000L／分のロータリーポンプを用いた。真空排気ライン上のピラニー真空計により真空度を測定した。真空排気ライン上の手動開閉バルブの開閉調整により圧力調整を行なった。上記すべての発生条件下において電力投入から瞬時にプラズマ放電が得られた。そして、真空容器全体に均等なプラズマ発光のあるプラズマを得た。また1000時間以上の長期連続運転を行っても、マグネトロン発振部に異常は認められなかった。

[0039] [実施例1-2]

本実施形態における処理効率のテスト例を以下に説明する。試料として面積 20 cm^2 のシリコン基板上に塗布した厚み $2\text{ }\mu\text{ m}$ の有機フォトレジストを用いて、剥離速度のテストを行なった。処理条件として、基板温度を常温、マイクロ波パワーを500W、処理ガスを酸素(100cc／分)、処理圧力を150Pa、処理時間を20秒とした。本実施例の高周波反応処理装置においてフォトレジスト剥離速度は $4\text{ }\mu\text{ m／分}$ であった。これは従来比150％の結果である。なお、比較例である従来の高周波反応処理装置では、アルミ製の被覆導体の内径を誘電体外容器の外径に合わせて空間領域を設けない点だけ相違しており、その他の条件は同一にした。処理後の基板温度を測定したところ60℃程度であり、基板温度を上昇させずに高速に有機物剥離を行なうことができた。

[0040] 通常の酸素マイクロ波プラズマによる有機物剥離装置を用いた場合、剥離速度は基板温度の上昇にともない増加する。その場合、有機レジスト膜のガラス転移点である140度以上に基板を昇温しないと $1\text{ }\mu\text{ m／分}$ 以上の剥離速度が得られない。本実施例の高周波反応処理装置において基板温度が上昇せず、かつ剥離速度が高速であるのは高密度励起プラズマが誘電体内容器41の内壁部近傍のプラズマ境界面16に生成し大量の酸素ラジカルが生成したためと判断できる。

[0041] [第2実施形態]

上記の実施形態において、内容器内部の負荷が減圧プラズマ放電である場

合、プラズマ放電体は内容容器内部全体、ガス導入部分および減圧配管部分まで拡散する。プラズマ放電体は電導体であるため、プラズマ放電体内を高周波は伝搬し内容容器端部外面の減圧シール部分にも伝搬する。そして、高周波が誘電損失を有するシール材料に吸収されることで、シール材料は熱で劣化し、最終的に気密シールが劣化する。また、プラズマ放電体による発光輻射による紫外光の吸収およびこれにより生じる熱の影響も受ける。この内容容器端部における部材への電磁波および放電発光による真空紫外光の遮断が課題となる。

[0042] 図3(a)、(b)は、それぞれ第2実施形態の高周波反応処理装置200の平断面図および、y1-y2における正断面図である。高周波反応処理装置200は、誘電体外容器40（外容器）、被覆導体43（被覆部）、高周波結合部42、誘電体内容器41（内容器）および真空容器壁259（蓋部）を備えている。誘電体外容器40は、フッ素樹脂膜層53および石英管54で構成される。誘電体内容器41は、石英管55で構成される。図3(a)、(b)に示すように、高周波反応処理装置200により、高周波プラズマ装置の放電部を構成できる。図4は、高周波反応処理装置200を示す拡大正断面図である。

[0043] 真空容器壁259は、誘電体内容器41の端部を嵌める溝231（嵌入溝）を備えている。溝231は、導入される高周波波長の $1/8$ 波長以上 $1/2$ 波長以下の長さにわたる深さを有し、誘電体内容器41の側面に接することなく、誘電体内容器41の端部を収容する。これにより、電磁波は溝231まで入っていきずにチョークされるため、誘電体内容器41の端部の温度を低く維持できる。溝231は、導入される高周波波長の $1/4$ 波長以上の深さを有する。これにより、誘電体内容器41の端部には高周波が至らないようにチョークできる。

[0044] オーリング58（シール部材）は、誘電体内容器41と真空容器壁259との間に設けられ、誘電体内容器41の内腔を密閉する。オーリング58は、溝231により収容される位置のいずれかに設けられている。これにより

、誘電体内容器 4 1 を密閉するオーリング 5 8 の温度を低く維持でき、オーリング 5 8 の破損を防止できる。

[0045] 誘電体内容器 4 1 は、アルミナ製にすることができる。これにより、高温下での腐食性の高いガスに対する耐久性を向上できる。例えば、誘電体内容器 4 1 の内腔においてプラズマを生じさせる場合には有効である。これにより、高い効率でプラズマを生成できる。

[0046] 誘電体内容器 4 1 の内腔において高周波結合部より導入される電磁波により対象材料の反応処理を行う場合には、誘電体内容器 4 1 は石英製であることが好ましい。これにより、フロンの分解やスクラバーにも応用できる。

[0047] 第 1 実施形態と同様に、真空容器 1 2 は、円筒形の石英管 5 5 は上部および下部のアルミ製の真空容器壁 5 9 とアルミ製のドア試料台 5 7 から構成されておりオーリング 5 8 により真空シールされている。石英管 5 5 により誘電体内容器 4 1 が構成される。なお、本実施形態は、第 1 実施形態からの変形に限らず、空間領域のない高周波反応処理装置からの変形であってもよい。

[0048] 第 1 実施形態において、オーリング 5 8 は、真空容器 1 2 内に発生するプラズマ境界面 1 6 をもつ高周波プラズマからの漏洩電磁波、熱およびプラズマ放電真空紫外光の吸収により、装置の長期にわたる使用および使用条件によって被爆劣化する可能性がある。

[0049] 本実施形態においては、用いられる高周波波長の $1/8$ 波長以下の幅、および $1/4$ 波長以上の深さを有する溝 2 3 1 を、それぞれ上部および下部のアルミ製の真空容器壁 2 5 9 に形成している。そして、円筒形の石英管 5 5 の両端面シール部分が上記の溝 2 3 1 内部に設けられている。

[0050] この構造は高周波をチョークし、溝に構成されたシール部分まで高周波は漏洩しない。また、上記の溝によりプラズマ放電真空紫外光は遮蔽されてオーリングの劣化を抑止できる。

[0051] さらに上部および下部のアルミ製の真空容器壁 2 5 9 内部を水冷構造とすることが好ましい。これにより、熱による劣化にも対応できる。

[0052] この結果、長時間の連続高出力高密度プラズマ発生条件における過酷条件下においても減圧シールの劣化を抑止でき、メンテナンスフリー化が実現する。

[0053] ここで、一例として本実施形態に係る高周波反応処理装置の具体的な寸法および容量を示す。高周波47の周波数は2.45GHzであり、その電磁波モードはTM11モードで、最大出力は1Kwである。高周波結合部42は、幅70mm高さ130mmの開口部において、誘電体外容器40と接している。誘電体外容器40は、外径150mm肉厚3mmZ軸方向長さ200mmの石英管54と、その外側面を被覆する厚み2mmのPTFE製のフッ素樹脂膜層53とで形成されている。

[0054] 誘電体内容器41は、外径115mm肉厚3mmZ軸方向長さ260mmの石英管55で形成されている。アルミ製の被覆導体43は厚み0.5mmのアルミ板で形成されている。アルミ製の被覆導体43と誘電体外容器40の外側面との間には3mmの空間領域が設けられている。

[0055] アルミ製の真空容器壁259は、厚み50mm外径200mmの円板状の部材であり水冷チャンネルを持ち水冷されている。また、溝231は外径160mm内径140mm深さ30mmで形成されている。

[0056] 下部の真空容器壁は、中心に100mm径の孔を持ち、その孔はドア試料台によって閉鎖される。減圧排気口256は、内径20mm外径1インチの管であり、オーリングシールを有する接続継ぎ手により真空ポンプからの真空配管と接続している。冷却媒体入路71は、1/4インチのガス配管継ぎ手に接続されていて、使用時には冷却用のドライエアが30psiにて供給される。

[0057] [実施例2]

本実施形態における連続プラズマ発生のテスト例を以下に説明する。真空条件として、圧力は130Pa、使用ガスはN₂ガスである。マイクロ波電力として、1基あたり1000Wを2基投入した。真空排気系には、排気量1000L/分のロータリーポンプを用いた。真空排気ライン上のピラニー真

空計により真空を測定し、真空排気ライン上の手動開閉バルブの開閉調整により圧力を調整した。上記すべての条件下において電力投入から瞬時にプラズマ放電が得られ、真空容器全体に均等なプラズマ発光を生じるプラズマを得た。また、1000時間以上の長期連続運転を行っても、真空シールに問題は生じず、シールオーリングとして用いた硬度50度クリアシリコンオーリングに劣化は認められなかった。

[0058] また本実施形態では、処理ガス入路220および減圧排気口256が同一の真空容器壁259に設けられているが、対向する真空容器壁259に別々に設けられていてもよい。

[0059] また本実施形態では、オーリング58は、溝231の底部に設けられていて、石英管55端面にてシール部を構成しているが、石英管55端面近傍の外側面あるいは内側面にシール部を構成してもよい。

[0060] [第3実施形態]

第1の実施形態において、内容器を大口径化し、かつ複数の高周波結合部を同一負荷に結合することで、大容積かつ大面積の負荷に対する大出力の投入を実現することが可能となった。しかしながら、内容器の大口径化により内容器側面の曲率が一定以上となる側面の平面化によって、高周波伝播線路が誘電体容器によりループ状に帰還する無限長誘電体線路の形成が困難になる。特に大面積での処理を必要とする減圧プラズマ反応処理装置への用途において、その対応が課題となる。

[0061] 図5(a)、(b)は、それぞれ第3実施形態の高周波反応処理システム310の平断面図および、y1-y2における正断面図である。高周波反応処理システム310は、複数の高周波反応処理装置300と、単一のダウンフロー処理室容器461(処理室)とを備えている。高周波反応処理装置300は、誘電体外容器40(外容器)、被覆導体43(被覆部)、高周波結合部42、誘電体内容器41(内容器)および真空容器壁359(蓋部)を備えている。複数の高周波反応処理装置300は、同一の形状に形成され、中心対称に配置され、互いに真空容器壁359を共有している。これにより

、バランスの良い配置で高周波反応処理を行うことができる。

- [0062] 誘電体外容器40は、フッ素樹脂膜層53および石英管54で構成される。誘電体内容器41は、石英管55で構成される。図5(a)、(b)に示すように、高周波反応処理システム310により、高周波プラズマ装置の放電部を構成できる。
- [0063] ダウンフロー処理室容器461は、複数の高周波反応処理装置300のそれぞれの誘電体内容器41の一方側の端面を介して誘電体内容器41の内腔(内部空間)に接続される。これにより、大出力による処理反応を大面積に展開できる。
- [0064] 複数の高周波反応処理装置300における外容器は円筒であり、円筒の外容器の曲率半径は、150mm以下である。このように曲率半径を小さくすることができるため、電磁波の進行を維持できる。
- [0065] 本実施形態は、第1実施形態からの変形で、大口径の基板処理を目的としている。そして、本実施形態は、効率が高くかつ同一負荷に対して複数の高周波導入する場合に、容易に大口径の処理装置を実現する。なお、本実施形態は、第1実施形態からの変形に限らず、空間領域のない高周波反応処理装置からの変形であってもよいし、第2実施形態からの変形であってもよい。
- [0066] 図5(a)、(b)に示すように、プラズマ放電部の中心部として働く3つの真空容器12が、3つの円筒形の石英管55と1対の上部および下部のアルミ製の真空容器壁359で構成されている。なお、石英管55は、誘電体内容器41を構成する。そして、これらの真空容器12が下部のアルミ製の真空容器壁において大口径のダウンフロー処理室容器461と接続することによって、真空容器全体が構成されている。
- [0067] 3つの真空容器12の各々に形成される高周波プラズマは、プラズマ境界面16を有し、多孔導電体板460によりダウンフロー処理室容器461と分離されている。本実施形態では、高周波反応処理システムをプラズマラジカルダウンフロー処理装置のプラズマ源として使用する。
- [0068] プラズマラジカルダウンフロー処理装置によるラジカル表面処理までの過

程を概説する。まず、処理試料をドア462よりダウンフロー処理室容器461内の試料台463に搬入する。ドアを閉鎖した後、減圧排気口456より排気減圧し、プラズマ化されるガスを3つの処理ガス入路320より流量を制御しつつ等分配で導入する。

[0069] 3つの発信源からの高周波47の印加によって、それぞれの真空容器12内にプラズマを形成する。発生する反応活性種を多孔導電体板460の孔部を経由して減圧方向であるダウンフロー処理室容器461に移送して試料に対してラジカル表面反応処理を行う。

[0070] 放電部の中心部として働く真空容器12の構成は、減圧排気口を除いて第1の実施形態と同様である。図5(a)、(b)に示す例においては、高周波線路44は1つであるが複数であってもかまわない。

[0071] ここで、一例として本実施形態に係る高周波反応処理システムの具体的な寸法および容量を示す。3つの発信源の高周波47の周波数は2.45GHz、その電磁波モードはTM11モードで、その最大出力は1Kwである。高周波結合部42は、幅70mm高さ130mmの開口部において誘電体外容器40と接している。誘電体外容器40は、外径150mm肉厚3mmZ軸方向長さ200mmの石英管54とその外側面を被覆する厚み4mmのPTFE製のフッ素樹脂膜層53とで形成されている。誘電体内容器41は、外径115mm肉厚3mmZ軸方向長さ200mmの石英管55で形成されている。アルミ製の被覆導体43は、一体のアルミブロックから切削加工されて形成されていて、3つの真空容器12を包含するとともに、内部に有する水冷チャンネルで冷却される。

[0072] アルミ製の真空容器壁359は、厚み30mm外径380mmの板を加工したものである。アルミ製の真空容器壁359は、一体の下部の真空容器壁の中心よりP.C.D600φの等しい角度配置で3つの100mm径の孔を有し、アルミ製のダウンフロー処理室容器461とオーリングシールにて接続している。3つの多孔導電体板460が、下部の真空容器壁の中心よりP.C.D600φ等しい角度配置で100mm径の孔位置に装着されている。各

多孔導電体板 460 は、ステンレス製で厚み 2 mm 直径 100 mm の開孔率 30 % のメッシュ状に形成されている。各多孔導電体板 460 は、真空容器 12 の領域で形成されるプラズマを真空容器 12 とダウンプロー処理室容器 461 との間で分離する。減圧排気口 456 は、真空配管としての NW40 口径管であり、オーリングシールを有する接続継ぎ手により真空ポンプからの真空配管と接続している。

[0073] 高周波線路 44 には、冷却媒体入路の 1 / 4 インチのガス配管継ぎ手が接続されている。冷却媒体入路には、冷却用にドライエアが 30 p s i にて供給される。

[0074] 本実施形態において、図 5 (a)、(b) に示す電離プラズマ放電の作動状態およびインピーダンス整合は、第 1 実施形態のものと同様である。

[0075] このように曲率の小さな高周波線路 44 を持つ高効率のプラズマ発生源を複数式同一処理負荷に搭載することにより高性能な処理装置が実現する。

[その他]

[0076] 誘電体内容器 41 の構造材料として、以上の実施形態では石英を使用しているが、他の低誘電率誘電体も使用できる。例えば、いずれのアルミナ系セラミックも使用可能である。また、誘電体外容器 40 としては全ての低誘電率の誘電体が使用可能である。さらに誘電体外容器 40 は、複数の異なる材質の誘電体の層が積層されて形成されていてもよい。

[0077] また、以上の実施形態では誘電体外容器 40 において P T F E 製のフッ素樹脂膜層 53 で石英管 54 の外側面を被覆したものを用いているが、空乏層を持ったフッ素樹脂を用いてもよい。その場合、適当な空乏率を選んでフッ素樹脂層の誘電率を調整することによって、誘電線路の性能を向上することもできる。あるいは薄いマイカを石英管 54 の外側面において積層構造に被覆してもよい。また、多孔質セラミックスを同様の目的で誘電体外容器 40 として使用することもできる。

[0078] また、以上の実施形態では 2 つの高周波結合部 42 を有して円筒軸中心に対称配列しているが、円筒軸周りに 1 つまたは 3 つ以上の高周波結合部

を持たせてもよく、さらに円筒軸方向に複数設けてもよい。

[0079] また以上の実施形態では、誘電体内容器41、誘電体外容器40および被覆導体43がいずれも円筒状に形成されているが、楕円筒状に形成されていてもよい。また、以上の実施形態の誘電体内容器41は、端面が開口しているが、ガスの入出路以外の上下の端面を閉鎖して形成されていてもよい。このような形状の誘電体内容器41は、製造の容易さを考慮するとアルミナ製より石英製の方が好ましい。

[0080] なお、本国際出願は、2020年3月23日に出願した日本国特許出願第2020-51160号に基づく優先権を主張するものであり、日本国特許出願第2020-51160号の全内容を本国際出願に援用する。

符号の説明

- [0081] 12 真空容器
- 16 プラズマ境界面
- 20 処理ガス入路
- 40 誘電体外容器
- 41 誘電体内容器
- 42 高周波結合部
- 43 被覆導体
- 44 高周波線路
- 47 高周波
- 53 フッ素樹脂膜層
- 54 石英管
- 55 石英管
- 56 減圧排気口
- 57 ドア試料台
- 58 オーリング
- 59 真空容器壁
- 71 冷却媒体入路

- 7 2 冷却媒体出路
- 1 0 0 高周波反応処理装置
- 1 4 9 空間領域
- 2 0 0 高周波反応処理装置
- 2 2 0 処理ガス入路
- 2 3 1 溝
- 2 5 6 減圧排気口
- 2 5 9 真空容器壁
- 2 7 1 冷却媒体入路
- 2 7 2 冷却媒体出路
- 3 0 0 高周波反応処理装置
- 3 1 0 高周波反応処理システム
- 3 2 0 処理ガス入路
- 3 5 9 真空容器壁
- 4 5 6 減圧排気口
- 4 6 0 多孔導電体板
- 4 6 1 ダウンフロー処理室容器
- 4 6 2 ドア
- 4 6 3 試料台

請求の範囲

- [請求項1] 誘電性材料で構成され、2つの端面により内腔を閉鎖することができる外容器と、
導電性材料で構成され、前記外容器の外表面との間に空間領域を形成する高周波線路接地電位と同電位に保たれた被覆部と、
前記被覆部の外表面の任意の位置に設けられた1または2以上の高周波結合部と、
誘電性材料で構成され前記外容器の内表面に接せず前記高周波結合部を通して飛来する高周波を受ける位置に設けられかつ2つの端面により内腔を閉鎖することができる1または2以上の内容器と、を備え、
前記内容器の内腔において前記高周波結合部より導入される電磁波により反応処理を行なうことを特徴とする高周波反応処理装置。
- [請求項2] 前記空間領域は、前記被覆部の内表面と前記外容器の外表面との間を前記飛来する高周波の $1/60$ 波長以上 $1/4$ 波長以下離すことで形成されていることを特徴とする請求項1記載の高周波反応処理装置。
- [請求項3] 前記外容器および前記被覆部のそれぞれの端面に形成された蓋部をさらに備え、
前記蓋部は、前記外容器を前記被覆部から離して保持する係止部を有することを特徴とする請求項1または請求項2記載の高周波反応処理装置。
- [請求項4] 高周波線路接地電位と同電位に保たれた導電体で構成された、前記内容器の端面で前記内容器の内腔を閉鎖する蓋部をさらに備え、
前記蓋部は、前記内容器の端部を嵌める嵌入溝を備え、
前記嵌入溝は、前記導入される高周波の $1/8$ 波長以上 $1/2$ 波長以下の長さにわたる深さを有し、前記内容器の側面に接することなく、前記内容器の端部を収容することを特徴とする請求項1記載の高周波反応処理装置。

- [請求項5] 前記内容器と前記蓋部との間に設けられ、前記内容器の内腔を密閉するシール部材をさらに備え、
前記シール部材は、前記嵌入溝により収容される位置のいずれかに設けられていることを特徴とする請求項4記載の高周波反応処理装置。
- [請求項6] 前記内容器は、アルミナ製であることを特徴とする請求項4または請求項5記載の高周波反応処理装置。
- [請求項7] 前記嵌入溝は、前記導入される高周波の $1/4$ 波長以上の深さを有することを特徴とする請求項4から請求項6のいずれかに記載の高周波反応処理装置。
- [請求項8] 前記内容器の内腔においてプラズマを生じさせることを特徴とする請求項1から請求項7のいずれかに記載の高周波反応処理装置。
- [請求項9] 前記内容器の内腔において前記高周波結合部より導入される電磁波により対象材料の反応処理を行なうことを特徴とする請求項1から請求項7のいずれかに記載の高周波反応処理装置。
- [請求項10] 複数の、請求項1から請求項9のいずれかに記載の高周波反応処理装置と、
前記複数の高周波反応処理装置のそれぞれの前記内容器の一方側の端面を介して前記内容器の内腔に接続された単一の処理室と、を備えることを特徴とする高周波反応処理システム。
- [請求項11] 前記複数の高周波反応処理装置は、同一の形状に形成され、中心対称に配置され、互いに前記外容器および内容器の端面を共有することを特徴とする請求項10記載の高周波反応処理システム。
- [請求項12] 前記複数の高周波反応処理装置における前記外容器は円筒であり、前記円筒の外容器の曲率半径は、150mm以下であることを特徴とする請求項10または請求項11記載の高周波反応処理システム。