

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7333762号
(P7333762)

(45)発行日 令和5年8月25日(2023.8.25)

(24)登録日 令和5年8月17日(2023.8.17)

(51)国際特許分類	F I			
H 0 1 L 21/31 (2006.01)	H 0 1 L 21/31			C
H 0 1 L 21/3065(2006.01)	H 0 1 L 21/302		1 0 1 D	
H 0 5 H 1/46 (2006.01)	H 0 5 H 1/46			B
C 2 3 C 16/511(2006.01)	C 2 3 C 16/511			
C 2 3 C 16/455(2006.01)	C 2 3 C 16/455			

請求項の数 11 (全20頁)

(21)出願番号	特願2020-18135(P2020-18135)	(73)特許権者	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
(22)出願日	令和2年2月5日(2020.2.5)	(74)代理人	100107766 弁理士 伊東 忠重
(65)公開番号	特開2021-125566(P2021-125566 A)	(74)代理人	100070150 弁理士 伊東 忠彦
(43)公開日	令和3年8月30日(2021.8.30)	(72)発明者	近藤 佳幸 山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢650 東京 エレクトロン テクノロジーソリューシ ヨンス株式会社内
審査請求日	令和4年10月6日(2022.10.6)	(72)発明者	藤野 豊 山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢650 東京 エレクトロン テクノロジーソリューシ ヨンス株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板を載置する載置台を収容する処理容器と、
前記処理容器にガスを供給するガス供給部と、
前記処理容器内にプラズマを生成するプラズマ生成部と、を備え、
前記プラズマ生成部は、
前記処理容器の天壁に設けられ、前記天壁の周方向に複数配置され、マイクロ波を照射する複数のアンテナを有し、
前記ガス供給部は、
前記処理容器の側壁に設けられ、前記側壁の周方向に複数配置され、水平方向にガスを噴出する複数のガスノズルと、
複数の前記ガスノズルの流量を調整する流量調整機構と、を有し、
前記処理容器を垂直方向視した際、前記アンテナに向かってガスを噴出するガスノズルの流量は、前記アンテナの間に向かってガスを噴出するガスノズルの流量よりも大きい、
プラズマ処理装置。

【請求項2】

前記ガス供給部は、
前記処理容器の壁部に環状に配置され、前記ガスノズルと接続されるガス拡散空間を有する、
請求項1に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 3】

前記ガス拡散空間は、周方向に分割される、
請求項 2 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 4】

前記流量調整機構は、前記ガスノズルを交換可能に構成される、
請求項 1 乃至請求項 3 のいずれか 1 項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 5】

前記流量調整機構は、前記ガス拡散空間と前記ガスノズルとの連通部に設けられるオリフィスである、
請求項 2 または請求項 3 に記載のプラズマ処理装置。

10

【請求項 6】

前記流量調整機構は、前記ガス拡散空間に設けられるオリフィスである、
請求項 2 または請求項 3 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 7】

基板を載置する載置台を収容する処理容器と、前記処理容器にガスを供給するガス供給部と、前記処理容器内にプラズマを生成するプラズマ生成部と、を備え、前記プラズマ生成部は、前記処理容器の天壁に設けられ、前記天壁の周方向に複数配置され、マイクロ波を照射する複数のアンテナを有し、前記ガス供給部は、前記処理容器の側壁に設けられ、前記側壁の周方向に複数配置され、水平方向にガスを噴出する複数のガスノズルと、複数の前記ガスノズルの流量を調整する流量調整機構と、を有する、プラズマ処理装置のプラズマ処理方法であって、

20

前記流量調整機構を調整する工程と、

調整された前記ガス供給部から前記処理容器に前記ガスを供給して、前記基板にプラズマ処理を行う工程と、を有し、

前記流量調整機構を調整する工程は、

前記処理容器を垂直方向視した際、前記アンテナに向かってガスを噴出するガスノズルの流量が、前記アンテナの間に向かってガスを噴出するガスノズルの流量よりも大きくなるように調整する、

プラズマ処理方法。

【請求項 8】

前記流量調整機構を調整する工程は、前記ガスノズルを交換する、
請求項 7 に記載のプラズマ処理方法。

30

【請求項 9】

前記流量調整機構を調整する工程は、ガス拡散空間と前記ガスノズルとの連通部に設けられるオリフィスのオリフィス径を調整する、
請求項 7 に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 10】

前記流量調整機構を調整する工程は、ガス拡散空間に設けられるオリフィスのオリフィス径を調整する、
請求項 7 に記載のプラズマ処理方法。

40

【請求項 11】

前記プラズマ処理は、成膜処理である、
請求項 7 乃至請求項 10 のいずれか 1 項に記載のプラズマ処理方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法に関する。

【背景技術】

【0002】

処理容器内に所望のガスを供給して、処理容器内に設けられた載置台に載置された基板

50

に所望の処理（例えば、成膜処理等）を施す基板処理装置が知られている。

【0003】

特許文献1には、第1のガスをチャンバ内に供給する第1のガスシャワー部と、第2のガスをチャンバ内に供給する第2のガスシャワー部と、を備え、第2のガス導入部は同一円周上に等間隔で配置された複数のノズルを有する、プラズマ処理装置が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特開2018-73880号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

一の側面では、本開示は、基板に施す処理の面内均一性を向上するプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記課題を解決するために、一の態様によれば、基板を載置する載置台を収容する処理容器と、前記処理容器にガスを供給するガス供給部と、前記処理容器内にプラズマを生成するプラズマ生成部と、を備え、前記プラズマ生成部は、前記処理容器の天壁に設けられ、前記天壁の周方向に複数配置され、マイクロ波を照射する複数のアンテナを有し、前記
ガス供給部は、前記処理容器の側壁に設けられ、前記側壁の周方向に複数配置され、水平
方向にガスを噴出する複数のガスノズルと、複数の前記ガスノズルの流量を調整する流量
調整機構と、を有し、前記処理容器を垂直方向視した際、前記アンテナに向かってガスを
噴出するガスノズルの流量は、前記アンテナの間に向かってガスを噴出するガスノズルの
流量よりも大きい、プラズマ処理装置が提供される。

【発明の効果】

【0007】

一の側面によれば、基板に施す処理の面内均一性を向上するプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】一実施形態に係るプラズマ処理装置の一例を示す断面模式図。

【図2】図1に示した制御部の構成を示す説明図。

【図3】図1に示したマイクロ波導入モジュールの構成を示す説明図。

【図4】図3に示したマイクロ波導入機構を示す断面図。

【図5】図4に示したマイクロ波導入機構のアンテナ部を示す斜視図。

【図6】図4に示したマイクロ波導入機構の平面アンテナを示す平面図。

【図7】図1に示した処理容器の天壁の底面図。

【図8】図1に示した処理容器の側壁の水平断面図。

【図9】参考例における基板の内周部、中間部、外周部における周方向に対するSiN膜の膜厚の変化を示すグラフの一例。

【図10】流量調整機構によるガス流量の調整の一例を示す模式図。

【図11】ガスの供給位置の違いによる基板の外周部に形成されるSiN膜の膜厚を示すグラフ。

【図12】ガスの供給位置の違いによる基板に形成されるSiN膜の膜厚を示すグラフ。

【図13】他の流量調整機構の一例を示す模式図。

【図14】更に他の流量調整機構の一例を示す模式図。

【図15】ガス流量調整方法を説明するフローチャート。

【図16】調整内容決定装置の一例を示すブロック図。

【発明を実施するための形態】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 9 】

以下、図面を参照して本開示を実施するための形態について説明する。各図面において、同一構成部分には同一符号を付し、重複した説明を省略する場合がある。

【 0 0 1 0 】

[プラズマ処理装置]

まず、図 1 及び図 2 を参照して、一実施形態に係るプラズマ処理装置 1 の概略の構成について説明する。図 1 は、一実施形態に係るプラズマ処理装置 1 の一例を示す断面模式図である。図 2 は、図 1 に示した制御部 8 の構成の一例を示す説明図である。本実施形態に係るプラズマ処理装置 1 は、連続する複数の動作を伴って、例えば半導体デバイス製造用の半導体ウエハを一例とする基板 W に対して、成膜処理、拡散処理、エッチング処理、アッシング処理等の所定の処理を施す装置である。以下の説明において、プラズマ処理装置 1 は、Si を含む原料ガスと、窒化ガスとを用いてプラズマ CVD により基板 W に SiN 膜を成膜する成膜装置である場合を例に説明する。

10

【 0 0 1 1 】

プラズマ処理装置 1 は、処理容器 2 と載置台 2 1 とガス供給機構 3 と排気装置 4 とマイクロ波導入モジュール 5 と制御部 8 とを有する。処理容器 2 は、被処理体である基板 W を収容する。載置台 2 1 は、処理容器 2 の内部に配置され、基板 W を載置する載置面 2 1 a を有する。ガス供給機構 3 は、処理容器 2 内にガスを供給する。排気装置 4 は、処理容器 2 内を減圧排気する。マイクロ波導入モジュール 5 は、処理容器 2 内にプラズマを生成させるためのマイクロ波を導入する。制御部 8 は、プラズマ処理装置 1 の各部を制御する。

20

【 0 0 1 2 】

処理容器 2 は、例えば略円筒形状を有する。処理容器 2 は、例えばアルミニウム及びその合金等の金属材料によって形成されている。マイクロ波導入モジュール 5 は、処理容器 2 の上部に配置され、処理容器 2 内に電磁波（本実施形態ではマイクロ波）を導入し、プラズマを生成するプラズマ生成部として機能する。

【 0 0 1 3 】

処理容器 2 は、板状の天壁 1 1、底壁 1 3、及び天壁 1 1 と底壁 1 3 とを連結する側壁 1 2 とを有している。天壁 1 1 は、複数の開口部を有している。側壁 1 2 は、処理容器 2 に隣接する図示しない搬送室との間で基板 W の搬入出を行うための搬入出口 1 2 a を有している。処理容器 2 と図示しない搬送室との間には、ゲートバルブ G が配置されている。ゲートバルブ G は、搬入出口 1 2 a を開閉する機能を有している。ゲートバルブ G は、閉状態で処理容器 2 を気密にシールすると共に、開状態で処理容器 2 と図示しない搬送室との間で基板 W の移送を可能にする。

30

【 0 0 1 4 】

底壁 1 3 は、複数（図 1 では 2 つ）の排気口 1 3 a を有している。プラズマ処理装置 1 は、更に、排気口 1 3 a と排気装置 4 とを接続する排気管 1 4 を有する。排気装置 4 は、APC バルブと、処理容器 2 の内部空間を所定の真空度まで高速に減圧することが可能な高速真空ポンプとを有している。このような高速真空ポンプとしては、例えばターボ分子ポンプ等がある。排気装置 4 の高速真空ポンプを作動させることによって、処理容器 2 は、その内部空間が所定の真空度、例えば 0.133 Pa まで減圧される。

40

【 0 0 1 5 】

プラズマ処理装置 1 は、更に、処理容器 2 内において載置台 2 1 を支持する支持部材 2 2 と、支持部材 2 2 と底壁 1 3 との間に設けられた絶縁部材 2 3 とを有する。載置台 2 1 は、基板 W を水平に載置するためのものである。支持部材 2 2 は、底壁 1 3 の中央から処理容器 2 の内部空間に向かって伸びる円筒状の形状を有している。載置台 2 1 および支持部材 2 2 は、例えば表面にアルマイト処理（陽極酸化処理）が施されたアルミニウム等によって形成されている。

【 0 0 1 6 】

プラズマ処理装置 1 は、更に、載置台 2 1 に高周波電力を供給する高周波バイアス電源 2 5 と、載置台 2 1 と高周波バイアス電源 2 5 との間に設けられた整合器 2 4 とを有する

50

。高周波バイアス電源 2 5 は、基板 W にイオンを引き込むために、載置台 2 1 に高周波電力を供給する。整合器 2 4 は、高周波バイアス電源 2 5 の出力インピーダンスと負荷側（載置台 2 1 側）のインピーダンスを整合させるための回路を有する。

【 0 0 1 7 】

プラズマ処理装置 1 は、更に、載置台 2 1 を加熱または冷却する、図示しない温度制御機構を有してもよい。温度制御機構は、例えば、基板 W の温度を、2 5（室温）～ 9 0 0 の範囲内で制御する。

【 0 0 1 8 】

プラズマ処理装置 1 は、処理容器 2 内にガスを供給するガス供給部 1 6 ~ 1 8 を備える。

【 0 0 1 9 】

第 1 のガス供給部 1 6 は、ガス導入路 1 6 1 と、ガス拡散空間 1 6 2 と、ガスノズル 1 6 3 と、を有する。ガス導入路 1 6 1 は、ガス拡散空間 1 6 2 と連通し、ガス供給機構 3 から供給されたガスをガス拡散空間 1 6 2 に導入する。ガス拡散空間 1 6 2 は、天壁 1 1 内に環状に形成される。なお、ガス拡散空間 1 6 2 は、周方向に分割されていてもよい（後述する図 7 参照）。ガス導入路 1 6 1 から導入されたガスは、ガス拡散空間 1 6 2 内で拡散する。ガス拡散空間 1 6 2 には、複数のガスノズル 1 6 3 が接続されている。ガスノズル 1 6 3 は、周方向に配置され（後述する図 7 参照）、処理容器 2 を構成する天壁 1 1 の下面から垂直方向に突出している。ガスノズル 1 6 3 は、その先端に形成されたガス供給孔 1 6 4 から処理容器 2 内にガスを垂直方向に供給（噴出）する。

【 0 0 2 0 】

第 2 のガス供給部 1 7 は、ガス導入路 1 7 1 と、ガス拡散空間 1 7 2 と、ガスノズル 1 7 3 と、を有する。ガス導入路 1 7 1 は、ガス拡散空間 1 7 2 と連通し、ガス供給機構 3 から供給されたガスをガス拡散空間 1 7 2 に導入する。ガス拡散空間 1 7 2 は、側壁 1 2 内に環状に形成される。なお、ガス拡散空間 1 7 2 は、周方向に分割されていてもよい（後述する図 8 参照）。ガス導入路 1 7 1 から導入されたガスは、ガス拡散空間 1 7 2 内で拡散する。ガス拡散空間 1 7 2 には、複数のガスノズル 1 7 3 が接続されている。ガスノズル 1 7 3 は、周方向に配置され（後述する図 8 参照）、処理容器 2 を構成する側壁 1 2 の内壁面から水平方向に突出している。ガスノズル 1 7 3 は、その先端に形成されたガス供給孔 1 7 4 から処理容器 2 内にガスを供給する。ここで、第 2 のガス供給部 1 7 のガス供給孔 1 7 4 は、第 1 のガス供給部 1 6 のガス供給孔 1 6 4 よりも、処理容器 2 の径方向外側に設けられている。これにより、ガスノズル 1 7 3 は、ガスノズル 1 6 3 よりも径方向外側から処理容器 2 内にガスを水平方向に供給（噴出）する。供給する。

【 0 0 2 1 】

第 3 のガス供給部 1 8 は、ガス導入路 1 8 1 と、ガス拡散空間 1 8 2 と、ガスノズル 1 8 3 と、を有する。ガス導入路 1 8 1 は、ガス拡散空間 1 8 2 と連通し、ガス供給機構 3 から供給されたガスをガス拡散空間 1 8 2 に導入する。ガス拡散空間 1 8 2 は、天壁 1 1 内に環状に形成される（後述する図 7 参照）。なお、ガス拡散空間 1 8 2 は、周方向に分割されていてもよい。ガス導入路 1 8 1 から導入されたガスは、ガス拡散空間 1 8 2 内で拡散する。ガス拡散空間 1 8 2 には、複数のガスノズル 1 8 3 が接続されている。ガスノズル 1 8 3 は、周方向に配置され（後述する図 7 参照）、処理容器 2 を構成する天壁 1 1 の下面から垂直方向に突出している。ガスノズル 1 8 3 は、その先端に形成されたガス供給孔 1 8 4 から処理容器 2 内にガスを供給する。ここで、第 3 のガス供給部 1 8 のガス供給孔 1 8 4 は、第 1 のガス供給部 1 6 のガス供給孔 1 6 4 及び第 2 のガス供給部 1 7 のガス供給孔 1 7 4 よりも、高い位置に形成されている。これにより、ガスノズル 1 8 3 は、ガスノズル 1 6 3 よりも高い位置から処理容器 2 内にガスを垂直方向に供給（噴出）する。

【 0 0 2 2 】

なお、ガスノズル 1 6 3 , 1 8 3 がガスを噴出する垂直方向とは、垂直よりも少し内向きや外向きというような広義の垂直方向も含まれる。また、ガスノズル 1 7 3 がガスを噴出する水平方向とは、水平よりも少し上向きや下向きというような広義の水平方向も含まれる。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 3 】

また、ガス供給部 1 6 ~ 1 8 は、各ガスノズル 1 6 3 , 1 7 3 , 1 8 3 ごとに、処理容器 2 内に供給するガス流量を調整する流量調整機構を有している。ここでは、流量調整機構として、各ガスノズル 1 6 3 , 1 7 3 , 1 8 3 が交換可能に構成されている。これにより、ノズル径、ノズルコンダクタンスの異なるガスノズルと交換することにより、各ガスノズル 1 6 3 , 1 7 3 , 1 8 3 から処理容器 2 内に供給されるガスの流量を個別に調整することができる。

【 0 0 2 4 】

ガス供給源 3 1 は、例えば、プラズマ生成用の希ガスや、酸化処理、窒化処理、成膜処理、エッチング処理およびアッシング処理に使用されるガス等のガス供給源として用いられる。例えば、分解し難いガスは第 3 のガス供給部 1 8 のガスノズル 1 8 3 から処理容器 2 内に供給し、分解し易いガスは第 1 のガス供給部 1 6 のガスノズル 1 6 3 及び第 2 のガス供給部 1 7 のガスノズル 1 7 3 から処理容器 2 内に供給する。例えば SiN 膜を成膜する際に使用する N₂ ガスとシランガスのうち分解し難い N₂ ガスはガスノズル 1 8 3 から導入し、分解し易いシランガスはガスノズル 1 6 3 及びガスノズル 1 7 3 から導入する。これにより、分解し易いシランガスを解離しすぎないことで良質の SiN 膜を成膜できる。

【 0 0 2 5 】

ガス供給機構 3 は、ガス供給源 3 1 を含むガス供給装置 3 a と、ガス供給源 3 1 と第 1 のガス供給部 1 6 とを接続する配管 3 2 a と、ガス供給源 3 1 と第 2 のガス供給部 1 7 とを接続する配管 3 2 b と、ガス供給源 3 1 と第 3 のガス供給部 1 8 とを接続する配管 3 2 c と、を有している。なお、図 1 では、1 つのガス供給源 3 1 を図示しているが、ガス供給装置 3 a は、使用されるガスの種類に応じて複数のガス供給源を含んでいてもよい。

【 0 0 2 6 】

ガス供給装置 3 a は、更に、配管 3 2 a ~ 3 2 c の途中に設けられた図示しないマスフローコントローラおよび開閉バルブを含んでいる。処理容器 2 内に供給されるガスの種類や、これらのガスの流量等は、マスフローコントローラおよび開閉バルブによって制御される。

【 0 0 2 7 】

プラズマ処理装置 1 の各構成部は、それぞれ制御部 8 に接続されて、制御部 8 によって制御される。制御部 8 は、典型的にはコンピュータである。図 2 に示した例では、制御部 8 は、CPU を備えたプロセスコントローラ 8 1、プロセスコントローラ 8 1 に接続されたユーザーインターフェース 8 2 及び記憶部 8 3 を有する。

【 0 0 2 8 】

プロセスコントローラ 8 1 は、プラズマ処理装置 1 において、例えば温度、圧力、ガス流量、バイアス印加用の高周波電力、マイクロ波出力等のプロセス条件に関する各構成部を統括して制御する制御手段である。各構成部は、例えば、高周波バイアス電源 2 5、ガス供給装置 3 a、排気装置 4、マイクロ波導入モジュール 5 等が挙げられる。

【 0 0 2 9 】

ユーザーインターフェース 8 2 は、工程管理者がプラズマ処理装置 1 を管理するためにコマンドの入力操作等を行うキーボードやタッチパネル、プラズマ処理装置 1 の稼働状況を可視化して表示するディスプレイ等を有している。

【 0 0 3 0 】

記憶部 8 3 には、プラズマ処理装置 1 で実行される各種処理をプロセスコントローラ 8 1 の制御によって実現するための制御プログラムや、処理条件データ等が記録されたレシピ等が保存されている。プロセスコントローラ 8 1 は、ユーザーインターフェース 8 2 からの指示等、必要に応じて任意の制御プログラムやレシピを記憶部 8 3 から呼び出して実行する。これにより、プロセスコントローラ 8 1 による制御下で、プラズマ処理装置 1 の処理容器 2 内において所望の処理が行われる。

【 0 0 3 1 】

上記の制御プログラムおよびレシピは、例えば、フラッシュメモリ、DVD、ブルーレ

10

20

30

40

50

イディスク等のコンピュータ読み取り可能な記憶媒体に格納された状態のものを利用することができる。また、上記のレシピは、他の装置から、例えば専用回線を介して随時伝送させてオンラインで利用することも可能である。

【0032】

次に、図1～図6を参照して、マイクロ波導入モジュール5の構成について説明する。図3は、図1に示したマイクロ波導入モジュールの構成を示す説明図である。図4は、図3に示したマイクロ波導入機構63を示す断面図である。図5は、図4に示したマイクロ波導入機構63のアンテナ部を示す斜視図である。図6は、図4に示したマイクロ波導入機構63の平面アンテナを示す平面図である。

【0033】

マイクロ波導入モジュール5は、処理容器2の上部に設けられ、処理容器2内に電磁波（マイクロ波）を導入する。図1に示すように、マイクロ波導入モジュール5は、導電性部材である天壁11とマイクロ波出力部50とアンテナユニット60とを有する。天壁11は、処理容器2の上部に配置され、複数の開口部を有する。マイクロ波出力部50は、マイクロ波を生成すると共に、マイクロ波を複数の経路に分配して出力する。アンテナユニット60は、マイクロ波出力部50から出力されたマイクロ波を処理容器2に導入する。本実施形態では、処理容器2の天壁11は、マイクロ波導入モジュール5の導電性部材を兼ねている。

【0034】

図3に示すようにマイクロ波出力部50は、電源部51と、マイクロ波発振器52と、マイクロ波発振器52によって発振されたマイクロ波を増幅するアンプ53と、アンプ53によって増幅されたマイクロ波を複数の経路に分配する分配器54とを有している。マイクロ波発振器52は、所定の周波数（例えば、2.45GHz）でマイクロ波を発振させる。なお、マイクロ波の周波数は、2.45GHzに限らず、8.35GHz、5.8GHz、1.98GHz等であってもよい。また、このようなマイクロ波出力部50は、マイクロ波の周波数を例えば860MHz等、800MHzから1GHzの範囲内とする場合にも適用することが可能である。分配器54は、入力側と出力側のインピーダンスを整合させながらマイクロ波を分配する。

【0035】

アンテナユニット60は、複数のアンテナモジュール61を含んでいる。複数のアンテナモジュール61は、それぞれ、分配器54によって分配されたマイクロ波を処理容器2内に導入する。本実施形態では、複数のアンテナモジュール61の構成は全て同一である。各アンテナモジュール61は、分配されたマイクロ波を主に増幅して出力するアンプ部62と、アンプ部62から出力されたマイクロ波を処理容器2内に導入するマイクロ波導入機構63とを有している。

【0036】

アンプ部62は、位相器62Aと可変ゲインアンプ62Bとメインアンプ62Cとアイソレータ62Dとを有する。位相器62Aは、マイクロ波の位相を変化させる。可変ゲインアンプ62Bは、メインアンプ62Cに入力されるマイクロ波の電力レベルを調整する。メインアンプ62Cは、ソリッドステートアンプとして構成される。アイソレータ62Dは、マイクロ波導入機構63のアンテナ部で反射されてメインアンプ62Cに向かう反射マイクロ波を分離する。

【0037】

位相器62Aは、マイクロ波の位相を変化させて、マイクロ波の放射特性を変化させる。位相器62Aは、例えば、アンテナモジュール61毎にマイクロ波の位相を調整することによって、マイクロ波の指向性を制御してプラズマの分布を変化させることに用いられる。なお、このような放射特性の調整を行わない場合には、位相器62Aを設けなくてもよい。

【0038】

可変ゲインアンプ62Bは、個々のアンテナモジュール61のばらつきの調整や、プラ

10

20

30

40

50

ズマ強度の調整のために用いられる。例えば、可変ゲインアンプ 6 2 B をアンテナモジュール 6 1 毎に変化させることによって、処理容器 2 内全体のプラズマの分布を調整することができる。

【 0 0 3 9 】

メインアンプ 6 2 C は、例えば、図示しない入力整合回路、半導体増幅素子、出力整合回路および高 Q 共振回路を含んでいる。半導体増幅素子としては、例えば、E 級動作が可能な GaAs HEMT、GaN HEMT、LD (Laterally Diffused) - MOS が用いられる。

【 0 0 4 0 】

アイソレータ 6 2 D は、サーキュレータとダミーロード (同軸終端器) とを有している。サーキュレータは、マイクロ波導入機構 6 3 のアンテナ部で反射された反射マイクロ波をダミーロードへ導くものである。ダミーロードは、サーキュレータによって導かれた反射マイクロ波を熱に変換するものである。なお、前述のように、本実施形態では、複数のアンテナモジュール 6 1 が設けられており、複数のアンテナモジュール 6 1 の各々のマイクロ波導入機構 6 3 によって処理容器 2 内に導入された複数のマイクロ波は、処理容器 2 内において合成される。そのため、個々のアイソレータ 6 2 D は小型のものでもよく、アイソレータ 6 2 D をメインアンプ 6 2 C に隣接して設けることができる。

【 0 0 4 1 】

図 1 に示したように、複数のマイクロ波導入機構 6 3 は、天壁 1 1 に設けられている。図 4 に示したように、マイクロ波導入機構 6 3 は、インピーダンスを整合させるチューナ 6 4 と、増幅されたマイクロ波を処理容器 2 内に放射するアンテナ部 6 5 とを有している。更に、マイクロ波導入機構 6 3 は、金属材料よりなり、図 4 における上下方向に延びる円筒状の形状を有する本体容器 6 6 と、本体容器 6 6 内において本体容器 6 6 が延びる方向と同じ方向に延びる内側導体 6 7 とを有している。本体容器 6 6 および内側導体 6 7 は、同軸管を構成している。本体容器 6 6 は、この同軸管の外側導体を構成している。内側導体 6 7 は、棒状または筒状の形状を有している。本体容器 6 6 の内周面と内側導体 6 7 の外周面との間の空間は、マイクロ波伝送路 6 8 を形成する。

【 0 0 4 2 】

アンテナモジュール 6 1 は、更に、図示しない本体容器 6 6 の基端側 (上端側) に設けられた給電変換部を有している。給電変換部は、同軸ケーブルを介してメインアンプ 6 2 C に接続されている。アイソレータ 6 2 D は、同軸ケーブルの途中に設けられている。アンテナ部 6 5 は、本体容器 6 6 における給電変換部とは反対側に設けられている。後で説明するように、本体容器 6 6 におけるアンテナ部 6 5 よりも基端側の部分は、チューナ 6 4 によるインピーダンス調整範囲となっている。

【 0 0 4 3 】

図 4 及び図 5 に示したように、アンテナ部 6 5 は、内側導体 6 7 の下端部に接続された平面アンテナ 7 1 と、平面アンテナ 7 1 の上面側に配置されたマイクロ波遅波材 7 2 と、平面アンテナ 7 1 の下面側に配置されたマイクロ波透過板 7 3 とを有している。マイクロ波透過板 7 3 の下面は、処理容器 2 の内部空間に露出している。マイクロ波透過板 7 3 は、本体容器 6 6 を介して、マイクロ波導入モジュール 5 の導電性部材である天壁 1 1 の開口部に嵌合している。マイクロ波透過板 7 3 は、本実施形態におけるマイクロ波透過窓に対応する。

【 0 0 4 4 】

平面アンテナ 7 1 は、円板形状を有している。また、平面アンテナ 7 1 は、平面アンテナ 7 1 を貫通するように形成されたスロット 7 1 a を有している。図 5 及び図 6 に示した例では、4 つのスロット 7 1 a が設けられており、各スロット 7 1 a は、4 つに均等に分割された円弧形状を有している。なお、スロット 7 1 a の数は、4 つに限らず、5 つ以上であってもよいし、1 つ以上、3 つ以下であってもよい。

【 0 0 4 5 】

マイクロ波遅波材 7 2 は、真空よりも大きい誘電率を有する材料によって形成されてい

10

20

30

40

50

る。マイクロ波遅波材 7 2 を形成する材料としては、例えば、石英、セラミックス、ポリテトラフルオロエチレン樹脂等のフッ素系樹脂、ポリイミド樹脂等を用いることができる。マイクロ波は、真空中ではその波長が長くなる。マイクロ波遅波材 7 2 は、マイクロ波の波長を短くしてプラズマを調整する機能を有している。また、マイクロ波の位相は、マイクロ波遅波材 7 2 の厚みによって変化する。そのため、マイクロ波遅波材 7 2 の厚みによってマイクロ波の位相を調整することにより、平面アンテナ 7 1 が定在波の腹の位置になるように調整することができる。これにより、平面アンテナ 7 1 における反射波を抑制することができると共に、平面アンテナ 7 1 から放射されるマイクロ波の放射エネルギーを大きくすることができる。つまり、これにより、マイクロ波のパワーを効率よく処理容器 2 内に導入することができる。

10

【 0 0 4 6 】

マイクロ波透過板 7 3 は、誘電体材料によって形成されている。マイクロ波透過板 7 3 を形成する誘電体材料としては、例えば石英やセラミックス等が用いられる。マイクロ波透過板 7 3 は、マイクロ波を T E モードで効率的に放射することができるような形状をなしている。図 5 の例では、マイクロ波透過板 7 3 は、直方体形状を有している。なお、マイクロ波透過板 7 3 の形状は、直方体形状に限らず、例えば円柱形状、五角形柱形状、六角形柱形状、八角形柱形状であってもよい。

【 0 0 4 7 】

かかる構成のマイクロ波導入機構 6 3 では、メインアンプ 6 2 C で増幅されたマイクロ波は、本体容器 6 6 の内周面と内側導体 6 7 の外周面との間のマイクロ波伝送路 6 8 を通って平面アンテナ 7 1 に達する。そして、平面アンテナ 7 1 のスロット 7 1 a からマイクロ波透過板 7 3 を透過して処理容器 2 の内部空間に放射される。

20

【 0 0 4 8 】

チューナ 6 4 は、スラグチューナを構成している。具体的には、図 4 に示したように、チューナ 6 4 は、本体容器 6 6 のアンテナ部 6 5 よりも基端側（上端側）の部分に配置される 2 つのスラグ 7 4 A、7 4 B を有している。更に、チューナ 6 4 は、2 つのスラグ 7 4 A、7 4 B を動作させるアクチュエータ 7 5 と、このアクチュエータ 7 5 を制御するチューナコントローラ 7 6 とを有している。

【 0 0 4 9 】

スラグ 7 4 A、7 4 B は、板状且つ環状の形状を有し、本体容器 6 6 の内周面と内側導体 6 7 の外周面との間に配置されている。また、スラグ 7 4 A、7 4 B は、誘電体材料によって形成されている。スラグ 7 4 A、7 4 B を形成する誘電体材料としては、例えば、比誘電率が 1 0 の高純度アルミナを用いることができる。高純度アルミナは、通常、スラグを形成する材料として用いられている石英（比誘電率 3 . 8 8 ）やテフロン（登録商標）（比誘電率 2 . 0 3 ）よりも比誘電率が大きいので、スラグ 7 4 A、7 4 B の厚みを小さくすることができる。また、高純度アルミナは、石英やテフロン（登録商標）に比べて、誘電正接（ $\tan \delta$ ）が小さく、マイクロ波の損失を小さくすることができるという特徴を有している。高純度アルミナは、更に、歪みが小さいという特徴と、熱に強いという特徴も有している。高純度アルミナとしては、純度 9 9 . 9 % 以上のアルミナ焼結体であることが好ましい。また、高純度アルミナとして、単結晶アルミナ（サファイア）を用いてもよい。

30

【 0 0 5 0 】

チューナ 6 4 は、チューナコントローラ 7 6 からの指令に基づいて、アクチュエータ 7 5 によって、スラグ 7 4 A、7 4 B を上下方向に移動させる。これにより、チューナ 6 4 は、インピーダンスを調整する。例えば、チューナコントローラ 7 6 は、終端部のインピーダンスが例えば 5 0 になるように、スラグ 7 4 A、7 4 B の位置を調整する。

【 0 0 5 1 】

本実施形態では、メインアンプ 6 2 C、チューナ 6 4 および平面アンテナ 7 1 は、互いに近接して配置されている。特に、チューナ 6 4 および平面アンテナ 7 1 は、集中定数回路を構成し、且つ共振器として機能する。平面アンテナ 7 1 の取り付け部分には、インピ

40

50

ーダンス不整合が存在する。本実施形態では、チューナ64によって、プラズマを含めて高精度でチューニングすることができ、平面アンテナ71における反射の影響を解消することができる。また、チューナ64によって、平面アンテナ71に至るまでのインピーダンス不整合を高精度で解消することができ、実質的に不整合部分をプラズマ空間とすることができる。これにより、チューナ64によって、高精度のプラズマ制御が可能になる。

【0052】

次に、図7を参照して、図1に示した処理容器2の天壁11の底面について説明する。図7は、図1に示した処理容器2の天壁11の底面の一例を示す図である。以下の説明では、マイクロ波透過板73は円柱形状を有するものとする。

【0053】

マイクロ波導入モジュール5は、複数のマイクロ波透過板73を含んでいる。前述のように、マイクロ波透過板73は、マイクロ波透過窓に対応する。複数のマイクロ波透過板73は、マイクロ波導入モジュール5の導電性部材である天壁11の複数の開口部に嵌合した状態で、載置台21の載置面21aに平行な1つの仮想の平面上に配置されている。また、複数のマイクロ波透過板73は、上記仮想の平面において、その中心点間の距離が互いに等しいか、ほぼ等しい3つのマイクロ波透過板73を含んでいる。なお、中心点間の距離がほぼ等しいというのは、マイクロ波透過板73の形状精度やアンテナモジュール61（マイクロ波導入機構63）の組み立て精度等の観点から、マイクロ波透過板73の位置は、所望の位置からわずかにずれていてもよいことを意味する。

【0054】

本実施形態では、複数のマイクロ波透過板73は、六方最密配置になるように配置された7つのマイクロ波透過板73からなるものである。具体的には、複数のマイクロ波透過板73は、7つのマイクロ波透過板73A～73Gを有する。そのうちの6つのマイクロ波透過板73A～73Fは、その中心点がそれぞれ正六角形の頂点に一致又はほぼ一致するように配置されている。1つのマイクロ波透過板73Gは、その中心点が正六角形の中心に一致又はほぼ一致するように配置されている。なお、頂点又は中心点にほぼ一致するとは、マイクロ波透過板73の形状精度やアンテナモジュール61（マイクロ波導入機構63）の組み立て精度等の観点からマイクロ波透過板73の中心点は上記の頂点または中心からわずかにずれていてもよいことを意味する。

【0055】

図7に示したように、マイクロ波透過板73Gは、天壁11における中央部分に配置されている。6つのマイクロ波透過板73A～73Fは、マイクロ波透過板73Gを囲むように、天壁11の中央部分よりも外側に配置されている。従って、マイクロ波透過板73Gは、中心マイクロ波透過窓に対応し、マイクロ波透過板73A～73Fは、外側マイクロ波透過窓に対応する。なお、本実施形態において、「天壁11における中央部分」というのは、「天壁11の平面形状における中央部分」を意味する。

【0056】

本実施形態では、全てのマイクロ波透過板73において、互いに隣接する任意の3つのマイクロ波透過板73の中心点間の距離は、互いに等しいか、ほぼ等しくなる。ガスノズル163及びガスノズル183は、外側のマイクロ波透過板73A～73Gと中心のマイクロ波透過板73Gとの間にて周方向に配置される。

【0057】

ここで、マイクロ波透過板73A～73Gの配置に示すように、マイクロ波導入機構63のアンテナ部65は、中心に1つ（マイクロ波透過板73G参照）、外周部に6つ（マイクロ波透過板73A～73F参照）配置されている。このため、マイクロ波導入機構63のアンテナ部65の配置は、周方向に6回の対称性を有している。

【0058】

また、図7に第1のガス供給部16及び第3のガス供給部18を示す。なお、図7において、天壁11内に形成されるガス導入路161、ガス拡散空間162、ガス導入路181、ガス拡散空間182は、隠れ線（破線）で図示している。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 9 】

図 7 に示す一例において、天壁 1 1 の裏面には、周方向に計 1 2 個のガスノズル 1 6 3 が等間隔に配置されている。ここで、ガス拡散空間 1 6 2 は、周方向に 3 分割されている。また、1 つの円弧状のガス拡散空間 1 6 2 に対して、4 個のガスノズル 1 6 3 が設けられている。このため、第 1 のガス供給部 1 6 の流路構造の配置は、周方向に 3 回の対称性を有している。なお、ガス供給源 3 1 から各ガス導入路 1 6 1 へのガス供給は、分割されたガス拡散空間 1 6 2 ごとにマスフローコントローラ（図示せず）が設けられており、ガス供給源 3 1 から各ガス導入路 1 6 1 に供給するガス流量を個別に調整することができるように構成されていてもよい。また、ガス供給源 3 1 から各ガス導入路 1 6 1 へのガス供給は、1 つのマスフローコントローラ（図示せず）で流量制御されたガスを分岐して、各ガス導入路 1 6 1 に供給する構成であってもよい。

10

【 0 0 6 0 】

また、天壁 1 1 の裏面には、周方向に計 1 2 個のガスノズル 1 8 3 が等間隔に配置されている。なお、ガス拡散空間 1 8 2 は、周方向に分割されておらず、円環状に形成されている。また、円環状のガス拡散空間 1 8 2 に対して、1 2 個のガスノズル 1 8 3 が設けられている。なお、ガス拡散空間 1 8 2 に対して、3 つのガス導入路 1 8 1 が設けられている。なお、ガス供給源 3 1 から各ガス導入路 1 8 1 へのガス供給は、各ガス導入路 1 8 1 ごとにマスフローコントローラ（図示せず）が設けられており、ガス供給源 3 1 から各ガス導入路 1 8 1 に供給するガス流量を個別に調整することができるように構成されていてもよい。また、ガス供給源 3 1 から各ガス導入路 1 8 1 へのガス供給は、1 つのマスフローコントローラ（図示せず）で流量制御されたガスを分岐して、各ガス導入路 1 8 1 に供給する構成であってもよい。

20

【 0 0 6 1 】

図 8 は、図 1 に示した処理容器 2 の側壁 1 2 の水平断面の一例を示す図である。図 8 に示す一例において、側壁 1 2 の内壁面には、周方向に計 3 0 個のガスノズル 1 7 3 が等間隔に配置されている。ここで、ガス拡散空間 1 7 2 は、周方向に 6 分割されている。また、1 つの円弧状のガス拡散空間 1 7 2 に対して、5 個のガスノズル 1 7 3 が設けられている。このため、第 2 のガス供給部 1 7 の流路構造の配置は、周方向に 6 回の対称性を有している。なお、ガス供給源 3 1 から各ガス導入路 1 7 1 へのガス供給は、分割されたガス拡散空間 1 7 2 ごとにマスフローコントローラ（図示せず）が設けられており、ガス供給源 3 1 から各ガス導入路 1 7 1 に供給するガス流量を個別に調整することができるように構成されていてもよい。また、ガス供給源 3 1 から各ガス導入路 1 7 1 へのガス供給は、1 つのマスフローコントローラ（図示せず）で流量制御されたガスを分岐して、各ガス導入路 1 7 1 に供給する構成であってもよい。

30

【 0 0 6 2 】

図 9 は、参考例における基板 W の内周部、中間部、外周部における周方向に対する SiN 膜の膜厚の変化を示すグラフの一例である。ここでは、参考例として、周方向に配置される複数のガスノズル同士のコンダクタンスが等しいものとして、プラズマ処理装置 1 を用いて基板 W に SiN 膜を成膜したものとする。図 9 において、横軸は基板 W の周方向角度を示し、縦軸は膜厚を示す。また、半径 1 5 0 mm の基板 W に対して、内周部（半径 R = 4 9 mm の円周上）の膜厚変動、中間部（半径 R = 9 8 mm の円周上）の膜厚変動、外周部（半径 R = 1 4 7 mm の円周上）の膜厚変動を示す。

40

【 0 0 6 3 】

図 9 に示すように、基板 W の外周部において、6 回の周期的な膜厚変動が表れている。これは、マイクロ波導入機構 6 3 のアンテナ部 6 5 の配置が周方向に 6 回の対称性を有していることにより、マイクロ波導入モジュール 5 によって生成されるプラズマも周方向に対して不均一性を有し、基板 W に成膜された SiN 膜の膜厚も不均一となる。

【 0 0 6 4 】

これに対し、本実施形態に係るプラズマ処理装置 1 は、各ガスノズル 1 6 3 , 1 7 3 , 1 8 3 ごとに、処理容器 2 内に供給するガス流量を調整する流量調整機構を有している。

50

【 0 0 6 5 】

図 1 0 は、流量調整機構によるガス流量の調整の一例を示す模式図である。基板 W には、膜厚が厚くなる領域 9 0 1 と、膜厚が薄くなる領域 9 0 2 とが、周方向に交互に合られている。図 1 0 に示す一例では、第 2 のガス供給部 1 7 において、膜厚が厚い領域 9 0 1 へと向かうガスの流量を減らし（図 1 0 において黒塗り矢印で示す。）、膜厚が薄い領域 9 0 2 へと向かうガスの流量を増やす（図 1 0 において白抜き矢印で示す。）。即ち、図 1 0 の例では、ガスノズル 1 7 3 A , 1 7 3 E にコンダクタンスの小さなガスノズルを用い、ガスノズル 1 7 3 C にコンダクタンスの大きなガスノズルを用いる。即ち、ガスノズル 1 7 3 A ~ 1 7 3 E から処理容器 2 内に供給されるガス流量を不均一にしてもよい。

【 0 0 6 6 】

これにより、マイクロ波導入機構 6 3 のアンテナ部 6 5 の配置に起因する膜厚の変動に対して、ガスノズル 1 7 3 A ~ 1 7 3 E から処理容器 2 内に供給されるガス流量を調整することで、膜厚変動を抑制する。これにより、基板 W に形成される S i N 膜の膜厚の周方向における均一性を向上することができる。即ち、第 2 のガス供給部 1 7 における周方向に複数配置されるガスノズル 1 7 3 のコンダクタンスの組み合わせを調整することで、基板 W に形成される S i N 膜の膜厚の周方向における均一性を向上することができる。

【 0 0 6 7 】

例えば、基板 W の外周側において、外側のマイクロ波透過板 7 3 A ~ 7 3 F の下方に膜厚が薄くなる領域 9 0 2 が形成され、周方向に隣接するマイクロ波透過板 7 3 A ~ 7 3 F 同士の間下方に膜厚が厚くなる領域 9 0 1 が形成される。処理容器 2 を垂直方向視した際、外側のマイクロ波導入機構 6 3 のアンテナ部 6 5 （外側のマイクロ波透過板 7 3 A ~ 7 3 F ）に向かってガスを噴出するガスノズル 1 7 3 C の流量を、外側のマイクロ波導入機構 6 3 のアンテナ部 6 5 の間に向かってガスを噴出するガスノズル 1 7 3 A , 1 7 3 E の流量よりも大きくする。これにより、基板 W に形成される S i N 膜の膜厚の周方向における均一性を向上することができる。

【 0 0 6 8 】

より具体的には、ガスノズル 1 7 3 は、略円筒形状の処理容器 2 の側壁 1 2 に沿うように等間隔で設けられているものとし、それぞれのガスノズル 1 7 3 のガス噴出方向は、基板 W の中心に向かう方向とする。処理容器 2 上方から載置台 2 1 を見た（基板 W に平行な面に投影した）際、ガス噴出方向に外側のマイクロ波透過板 7 3 A ~ 7 3 F のいずれかが存在するガスノズル 1 7 3 のガス噴出量が、ガス噴出方向に外側のマイクロ波透過板 7 3 A ~ 7 3 F が存在しないガスノズル 1 7 3 のガス噴出量よりも多くなるようにする。この様な構成により、外側のマイクロ波透過板 7 3 A ~ 7 3 F の下方（膜厚が薄くなる領域 9 0 2 ）に供給されるガスの流量を、外側のマイクロ波透過板 7 3 A ~ 7 3 F 同士の間下方（膜厚が厚くなる領域 9 0 1 ）に供給されるガスの流量よりも多くすることができる。これにより、基板 W に形成される S i N 膜の膜厚の周方向における均一性を向上することができる。

【 0 0 6 9 】

図 1 1 は、ガスの供給位置の違いによる基板 W の外周部に形成される S i N 膜の膜厚を示すグラフの一例である。横軸は周方向角度を示し、縦軸は規格化された膜厚を示す。グラフ 8 0 1 は第 2 のガス供給部 1 7 からガスを供給して成膜した場合を示す。グラフ 8 0 2 は第 1 のガス供給部 1 6 からガスを供給して成膜した場合を示す。グラフ 8 0 3 は第 1 のガス供給部 1 6 及び第 2 のガス供給部 1 7 の両方からガスを供給して成膜した場合を示す。

【 0 0 7 0 】

図 1 2 は、ガスの供給位置の違いによる基板 W に形成される S i N 膜の膜厚を示すグラフである。横軸は基板 W の中心からの距離（径方向距離）を示し、縦軸は膜厚を示す。グラフ 8 0 4 は第 2 のガス供給部 1 7 からガスを供給して成膜した場合を示す。グラフ 8 0 5 は第 1 のガス供給部 1 6 からガスを供給して成膜した場合を示す。グラフ 8 0 6 は第 1 のガス供給部 1 6 及び第 2 のガス供給部 1 7 の両方からガスを供給して成膜した場合を示す。

10

20

30

40

50

す。

【 0 0 7 1 】

図 1 1 に示すように、第 1 のガス供給部 1 6 及び第 2 のガス供給部 1 7 からガスを供給することにより、周方向における膜厚の偏りを低減することができる。ここでは、均一性の指標である Range/Average 値（（最大値 - 最小値）/ 平均値）で、グラフ 8 0 3 はグラフ 8 0 1 , 8 0 2 と比較して 6 ~ 7 割の改善が見られた。また、図 1 2 に示すように、第 1 のガス供給部 1 6 及び第 2 のガス供給部 1 7 からガスを供給することにより、径方向における膜厚の偏りを低減することができる。

【 0 0 7 2 】

即ち、第 2 のガス供給部 1 7 における周方向に複数配置されるガスノズル 1 7 3 のコンダクタンスの組み合わせと、第 1 のガス供給部 1 6 における周方向に複数配置されるガスノズル 1 6 3 のコンダクタンスの組み合わせと、を調整することで、基板 W に形成される SiN 膜の膜厚の周方向及び径方向における均一性を向上することができる。

10

【 0 0 7 3 】

< 他の流量調整機構 >

なお、流量調整機構として、各ガスノズル 1 6 3 , 1 7 3 , 1 8 3 が交換可能に構成されているものとして説明したが、流量調整機構はこれに限られるものではない。

【 0 0 7 4 】

図 1 3 は、他の流量調整機構の一例を示す模式図である。図 1 3 に示すように、第 1 のガス供給部 1 6 において、ガス拡散空間 1 6 2 とガスノズル 1 6 3 との間に可変オリフィス等の流量調整機構 1 6 5 を設けてもよい。また、図示は省略するが、第 2 のガス供給部 1 7 において、ガス拡散空間 1 7 2 とガスノズル 1 7 3 との間に可変オリフィス等の流量調整機構を設けてもよい。

20

【 0 0 7 5 】

図 1 4 は、更に他の流量調整機構の一例を示す模式図である。図 1 4 に示すように、第 1 のガス供給部 1 6 において、ガス拡散空間 1 6 2 に可変オリフィス等の流量調整機構 1 6 6 を設けてもよい。また、図示は省略するが、第 2 のガス供給部 1 7 において、ガス拡散空間 1 7 2 に可変オリフィス等の流量調整機構を設けてもよい。

【 0 0 7 6 】

< 流量調整機構のガス流量調整方法 >

次に、流量調整機構のガス流量調整方法について、図 1 5 を用いて説明する。図 1 5 は、ガス流量調整方法を説明するフローチャートである。

30

【 0 0 7 7 】

ステップ S 1 0 1 において、プラズマ処理装置 1 を用いて基板 W にプラズマ処理を施す。ここでは、プロセス条件に基づいて基板 W に SiN 膜を成膜する。プラズマ処理のプロセス条件の情報として、ガス種（プロセスガス、励起ガス等）、マスフローコントローラによるガス供給源 3 1 から各ガス拡散空間 1 6 2 , 1 7 2 , 1 8 2 へのガス流量、圧力、温度（基板温度、処理容器 2 の壁面温度）、プラズマパワー（各アンテナユニット 6 0 におけるマイクロ波出力）を含む。また、プラズマ処理を行った際のプラズマ処理装置 1 における流量調整機構の情報として、各ガスノズル 1 6 3 , 1 7 3 , 1 8 3 のノズル径、ノズルコンダクタンスを含む。なお、各ガスノズル 1 6 3 , 1 7 3 , 1 8 3 のノズル径は設計値を用いることができる。また、各ガスノズル 1 6 3 , 1 7 3 , 1 8 3 のコンダクタンスは予め測定されている。なお、流量調整機構が図 1 3 または図 1 4 に示す可変オリフィス等の流量調整機構 1 6 5 である場合、流量調整機構の情報として、各可変オリフィスのオリフィス径を含む。

40

【 0 0 7 8 】

ステップ S 1 0 2 において、ステップ S 1 0 1 のプラズマ処理のプロセス結果を測定する。ここでは、プロセス結果として、基板 W に成膜された SiN 膜の膜厚および/または屈折率を測定する。測定点は、基板 W の周方向及び径方向に複数設けられる。例えば、基板 W と同心の径の異なる複数の円上にそれぞれ複数の測定点が設けられてもよい。

50

【 0 0 7 9 】

ステップ S 1 0 3 において、ステップ S 1 0 1 におけるプラズマ処理のプロセス条件及び流量調整機構の情報、ステップ S 1 0 2 におけるプロセス結果に基づいて、流量調整機構の調整内容を決定する。

【 0 0 8 0 】

図 1 6 は、調整内容決定装置 5 0 0 の一例を示すブロック図である。調整内容決定装置 5 0 0 は、例えば、コンピュータ・サーバ等である。調整内容決定装置 5 0 0 は、入力部 5 0 1 と、解析部 5 0 2 と、出力部 5 0 3 と、を備える。

【 0 0 8 1 】

入力部 5 0 1 には、入力情報として、ステップ S 1 0 1 におけるプラズマ処理のプロセス条件及び流量調整機構の情報、ステップ S 1 0 2 におけるプロセス結果が入力される。

10

【 0 0 8 2 】

解析部 5 0 2 は、入力部 5 0 1 で入力された入力情報に基づいて解析を行い、出力情報を出力する。出力情報には、プラズマ処理のプロセス条件及び流量調整機構の情報を含む。

【 0 0 8 3 】

解析部 5 0 2 は、膜厚が均一化するように、および/または、屈折率が均一化するように、出力情報を決定する。具体的には、解析部 5 0 2 は、基板 W の周方向のプロセス結果（膜厚および/または屈折率）が均一化するように、出力情報を決定する。

【 0 0 8 4 】

解析部 5 0 2 は、例えば、実験計画法に基づいて、出力情報を決定する構成であってもよい。

20

【 0 0 8 5 】

また、解析部 5 0 2 は、例えば、機械学習に基づいて、出力情報を決定する構成であってもよい。即ち、解析部 5 0 2 は、予め、プラズマ処理のプロセス条件及び流量調整機構の情報を入力データとし、プラズマ処理のプロセス結果を出力データとして、機械学習により学習済モデルを生成する。解析部 5 0 2 は、入力情報及び学習済モデルに基づいて、出力情報を決定する。

【 0 0 8 6 】

なお、解析部 5 0 2 は、入力情報に基づいて、出力情報を直接導出してよい。また、解析部 5 0 2 は、入力情報に基づいて中間出力情報を導出し、中間出力情報に基づいて出力情報を算出してよい。ここで、中間出力情報としては、基板 W の測定点におけるガスノズル（ノズル径、コンダクタンス）の感度係数（寄与度）としてもよい。ここで、測定点の数を A とし、ガスノズル数を B とすると、 $A \times B$ 通りの感度係数を決定する。また、ノズル間に相互作用がある場合、 $A \times B \times C$ 通りの感度係数を決定する。なお、流量調整機構が図 1 3 または図 1 4 に示す可変オリフィス等の流量調整機構 1 6 5 である場合、中間出力情報としては、各流量調整機構 1 6 5（可変オリフィス）の感度係数（寄与度）としてもよい。

30

【 0 0 8 7 】

出力部 5 0 3 は、出力情報を出力する。調整内容決定装置 5 0 0 の出力情報は、ステップ S 1 0 4 で用いられる。また、出力部 5 0 3 は、中間出力情報を出力してもよい。調整内容決定装置 5 0 0 の中間出力情報は、物理考察や故障判断等に用いることができる。

40

【 0 0 8 8 】

図 1 5 に戻り、ステップ S 1 0 4 において、ステップ S 1 0 3 の結果に基づいて、流量調整機構を調整することにより、ガス流量を調整する。ここでは、ステップ S 1 0 3 で求められた各ガスノズル 1 6 3, 1 7 3, 1 8 3 のノズル径、ノズルコンダクタンスとなるように、各ガスノズル 1 6 3, 1 7 3, 1 8 3 を交換する。なお、流量調整機構が図 1 3 または図 1 4 に示す可変オリフィス等の流量調整機構 1 6 5 である場合、各流量調整機構 1 6 5 のオリフィス径を調整する。

【 0 0 8 9 】

今回開示された一実施形態に係るプラズマ処理装置 1 は、すべての点において例示であ

50

って制限的なものではないと考えられるべきである。上記の実施形態は、添付の請求の範囲及びその主旨を逸脱することなく、様々な形態で変形及び改良が可能である。上記複数の実施形態に記載された事項は、矛盾しない範囲で他の構成も取り得ることができ、また、矛盾しない範囲で組み合わせることができる。

【 0 0 9 0 】

第 1 のガス供給部 1 6 は、ガス拡散空間 1 6 2 が周方向に分割して形成されるものとして説明したが、これに限られるものではなく、円環状に形成されていてもよい。同様に、第 2 のガス供給部 1 7 は、ガス拡散空間 1 7 2 が周方向に分割して形成されるものとして説明したが、これに限られるものではなく、円環状に形成されていてもよい。また、第 3 のガス供給部 1 8 は、ガス拡散空間 1 8 2 が円環状に形成されるものとして説明したが、これに限られるものではなく、周方向に分割して形成されていてもよい。

10

【符号の説明】

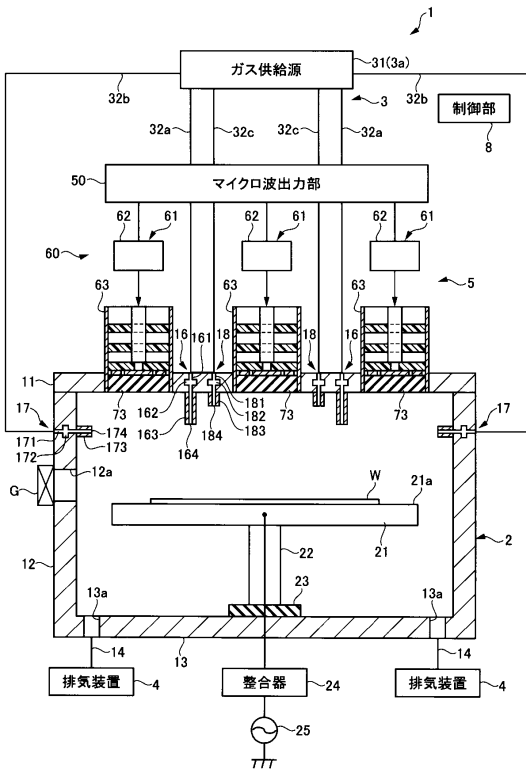
【 0 0 9 1 】

W	基板	
1	プラズマ処理装置	
2	処理容器	
2 1	載置台	
3	ガス供給機構	
4	排気装置	
5	マイクロ波導入モジュール（プラズマ生成部）	20
8	制御部	
1 6	ガス供給部	
1 6 1	ガス導入路	
1 6 2	ガス拡散空間	
1 6 3	ガスノズル	
1 6 4	ガス供給孔	
1 7	ガス供給部	
1 7 1	ガス導入路	
1 7 2	ガス拡散空間	
1 7 3	ガスノズル	30
1 7 4	ガス供給孔	
1 8	ガス供給部	
1 8 1	ガス導入路	
1 8 2	ガス拡散空間	
1 8 3	ガスノズル	
1 8 4	ガス供給孔	
5 0 0	調整内容決定装置	
5 0 1	入力部	
5 0 2	解析部	
5 0 3	出力部	40

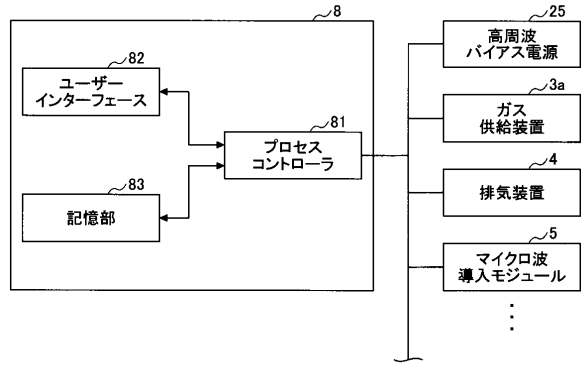
50

【図面】

【図 1】



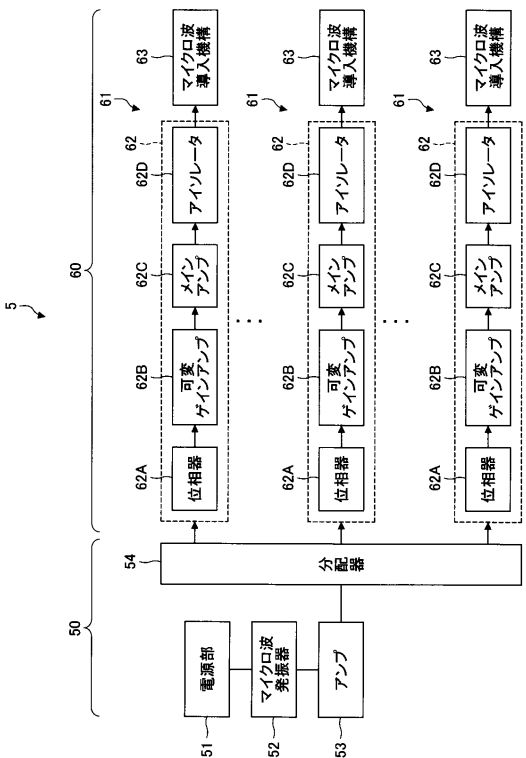
【図 2】



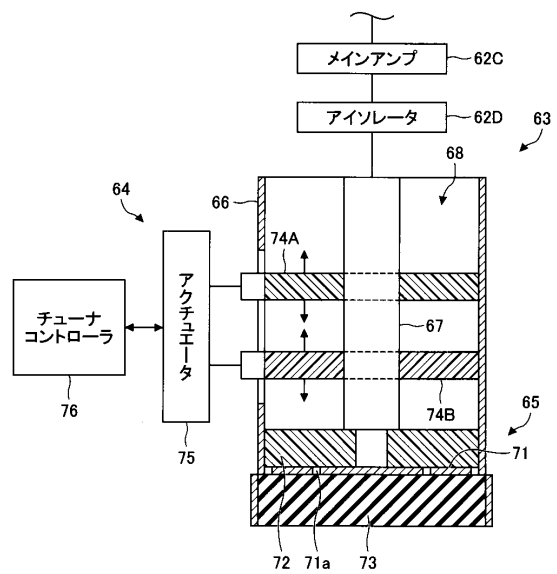
10

20

【図 3】



【図 4】

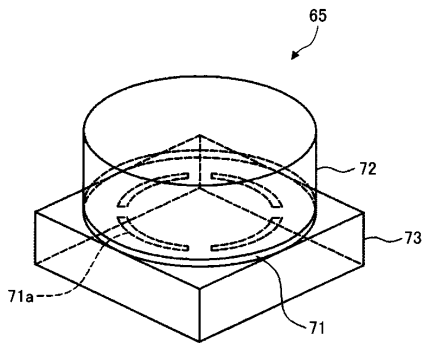


30

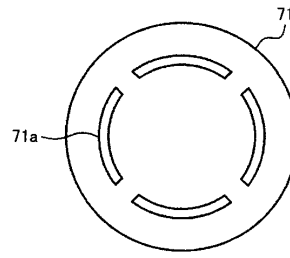
40

50

【 図 5 】

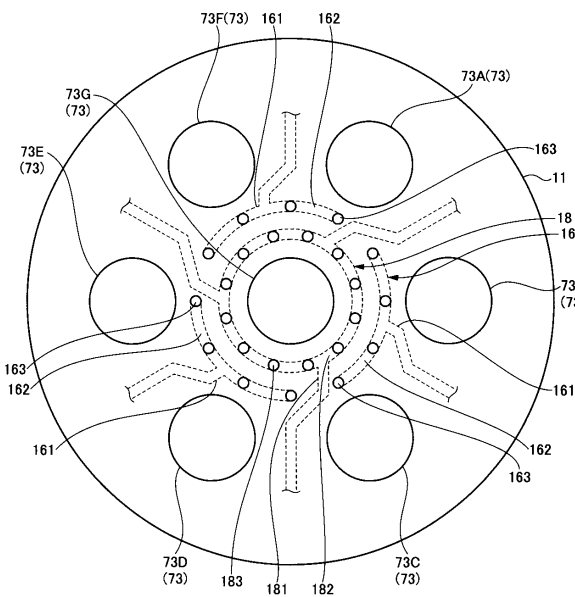


【 図 6 】

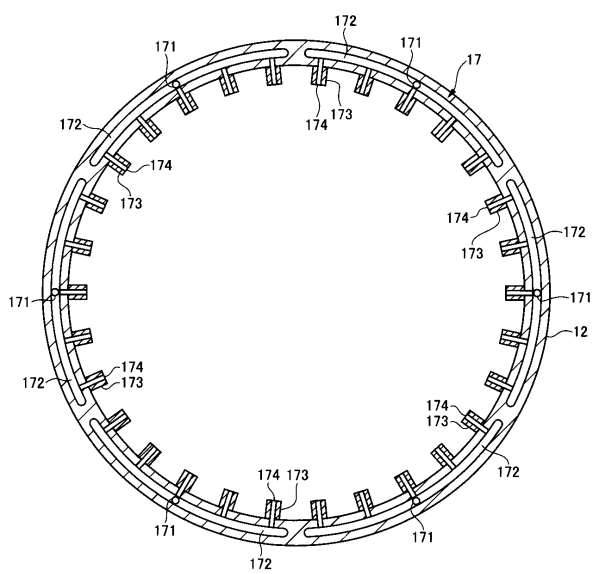


10

【 図 7 】



【 図 8 】



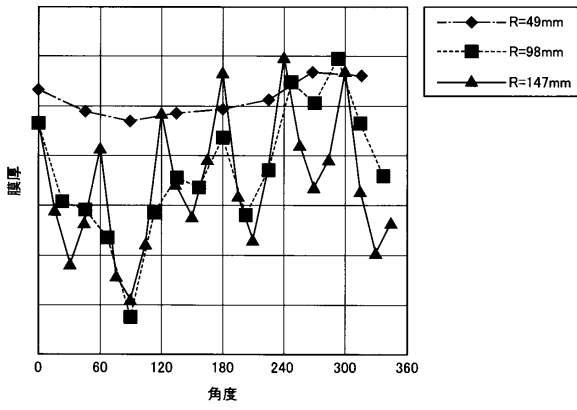
20

30

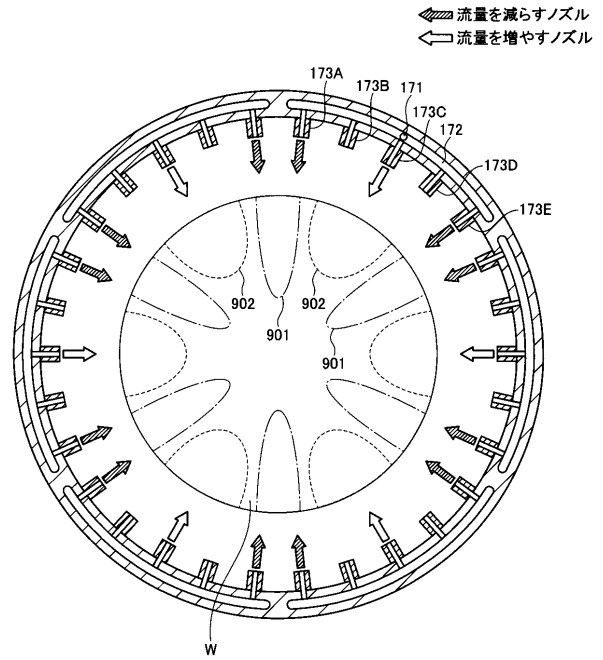
40

50

【図 9】



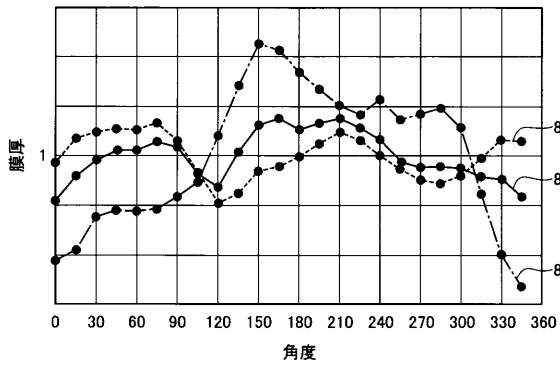
【図 10】



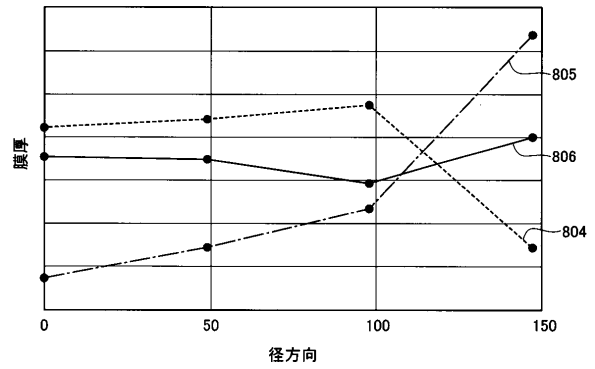
10

20

【図 11】



【図 12】

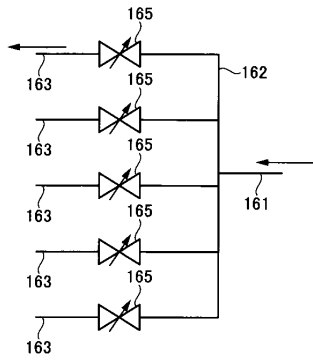


30

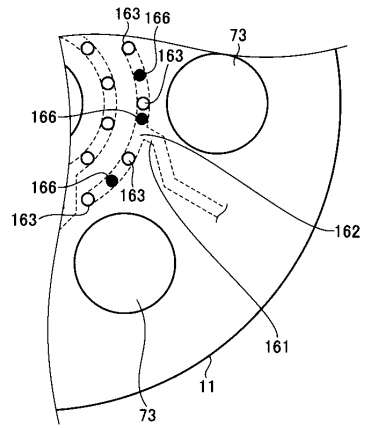
40

50

【図 13】

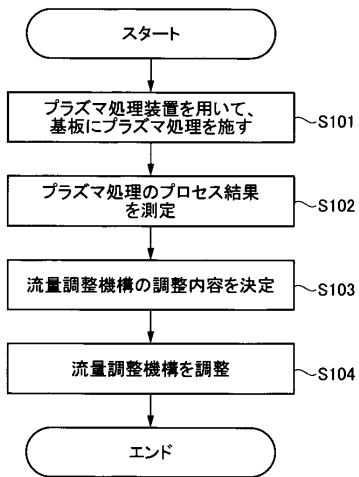


【図 14】

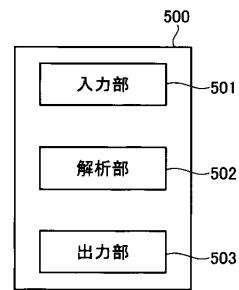


10

【図 15】



【図 16】



20

30

40

50

フロントページの続き

(72)発明者 湯浅 秀樹
山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢650 東京エレクトロン テクノロジーソリューションズ株式会社内

(72)発明者 生田 浩之
山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢650 東京エレクトロン テクノロジーソリューションズ株式会社内

審査官 長谷川 直也

(56)参考文献 特表2016-519844(JP,A)
特開2018-073880(JP,A)
特開2018-093150(JP,A)
特開平04-221077(JP,A)
特表2018-520516(JP,A)
特表2017-522718(JP,A)
特開2006-066855(JP,A)
特開2019-192865(JP,A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

H01L 21/31
H01L 21/3065
H05H 1/46
C23C 16/511
C23C 16/455