

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7211896号  
(P7211896)

(45)発行日 令和5年1月24日(2023.1.24)

(24)登録日 令和5年1月16日(2023.1.16)

|                          |         |        |         |  |
|--------------------------|---------|--------|---------|--|
| (51)国際特許分類               | F I     |        |         |  |
| H 0 1 L 21/3065(2006.01) | H 0 1 L | 21/302 | 1 0 1 G |  |
| H 0 5 H 1/46 (2006.01)   | H 0 1 L | 21/302 | 1 0 1 B |  |
|                          | H 0 5 H | 1/46   | M       |  |

請求項の数 12 (全42頁)

|                   |                             |          |  |
|-------------------|-----------------------------|----------|--|
| (21)出願番号          | 特願2019-100516(P2019-100516) | (73)特許権者 | 000219967<br>東京エレクトロン株式会社<br>東京都港区赤坂五丁目3番1号  |
| (22)出願日           | 令和1年5月29日(2019.5.29)        | (74)代理人  | 110002147<br>弁理士法人酒井国際特許事務所                  |
| (65)公開番号          | 特開2020-96156(P2020-96156A)  | (72)発明者  | 岡 信介<br>宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番<br>東京エレクトロン宮城株式会社内 |
| (43)公開日           | 令和2年6月18日(2020.6.18)        | 審査官      | 加藤 芳健  |
| 審査請求日             | 令和4年3月7日(2022.3.7)          |          |  |
| (31)優先権主張番号       | 特願2018-224397(P2018-224397) |          |  |
| (32)優先日           | 平成30年11月30日(2018.11.30)     |          |  |
| (33)優先権主張国・地域又は機関 | 日本国(JP)                     |          |  |

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 プラズマ処理装置、算出方法および算出プログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

プラズマ処理により消耗する消耗部品が載置される載置面の温度を調整可能なヒーターが設けられた載置台と、

前記ヒーターが設定された設定温度となるよう前記ヒーターへの供給電力を制御するヒーター制御部と、

前記ヒーター制御部により、前記ヒーターの温度が一定となるよう前記ヒーターへの供給電力を制御して、プラズマを点火して無い未点火状態と、プラズマを点火してから前記ヒーターへの供給電力が低下する過渡状態での供給電力を計測する計測部と、

前記消耗部品の厚さをパラメータとして含み、前記過渡状態の供給電力を算出する算出モデルに対して、前記計測部により計測された未点火状態と過渡状態の供給電力を用いてフィッティングを行って、前記消耗部品の厚さを算出するパラメータ算出部と、

を有するプラズマ処理装置。

【請求項2】

前記載置台は、前記載置面を分割した領域毎に前記ヒーターが個別に設けられ、

前記ヒーター制御部は、前記領域毎に設けられた前記ヒーターが前記領域毎に設定された設定温度となるよう前記ヒーターごとに供給電力を制御し、

前記計測部は、前記ヒーター制御部により、前記ヒーターごとに温度が一定となるよう供給電力を制御して、前記未点火状態と、前記過渡状態での供給電力を前記ヒーターごとに計測し、

前記パラメータ算出部は、前記ヒーターごとに、前記算出モデルに対して、前記計測部により計測された未点火状態と過渡状態の供給電力を用いてフィッティングを行って、前記ヒーターごとに前記消耗部品の厚さを算出する

ことを特徴とする請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 3】

前記計測部は、所定のサイクルで、前記未点火状態と、前記過渡状態での供給電力を計測し、

前記パラメータ算出部は、前記所定のサイクルごとに、計測された未点火状態と過渡状態の供給電力を用いて、前記消耗部品の厚さをそれぞれ算出し、

前記パラメータ算出部により算出される前記消耗部品の厚さの変化に基づき、アラートを行うアラート部をさらに有することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のプラズマ処理装置。

10

【請求項 4】

前記消耗部品は、フォーカスリングとし、

前記載置台は、プラズマ処理の対象とされた被処理体の周囲に前記フォーカスリングが配置され、

前記パラメータ算出部により算出された前記フォーカスリングの厚さに基づき、前記被処理体の上部に形成されるプラズマシースの界面の高さと前記フォーカスリングの上部に形成されるプラズマシースの界面の高さとの差が所定範囲内となるようにプラズマ処理を制御するプラズマ制御部をさらに有する、

20

ことを特徴とする請求項 1 ~ 3 の何れか 1 つに記載のプラズマ処理装置。

【請求項 5】

前記被処理体及び前記フォーカスリングの少なくとも一方に並列に配置された少なくとも 1 つの電磁石をさらに有し、

前記プラズマ制御部は、前記フォーカスリングの厚さに基づき、前記電磁石へ供給される電力を制御することで、前記被処理体の上部に形成されるプラズマシースの界面の高さと前記フォーカスリングの上部に形成されるプラズマシースの界面の高さとの差が所定範囲内となるように前記電磁石の磁力を制御する

ことを特徴とする請求項 4 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 6】

前記フォーカスリングを載置する載置面に設けられ、直流電圧が印加される電極をさらに有し、

前記プラズマ制御部は、前記フォーカスリングの厚さに基づき、前記被処理体の上部に形成されるプラズマシースの界面の高さと前記フォーカスリングの上部に形成されるプラズマシースの界面の高さとの差が所定範囲内となるように前記電極に印加する直流電圧を制御する

ことを特徴とする請求項 4 に記載のプラズマ処理装置。

30

【請求項 7】

前記フォーカスリングを載置する載置面に設けられ、交流電圧が印加される電極をさらに有し、

前記プラズマ制御部は、前記フォーカスリングの厚さに基づき、前記被処理体の上部に形成されるプラズマシースの界面の高さと前記フォーカスリングの上部に形成されるプラズマシースの界面の高さとの差が所定範囲内となるように前記電極に印加する交流電圧を制御する

ことを特徴とする請求項 4 に記載のプラズマ処理装置。

40

【請求項 8】

前記フォーカスリングを載置し、インピーダンスの変更が可能とされた第 2 の載置台をさらに有し、

前記プラズマ制御部は、前記フォーカスリングの厚さに基づき、前記被処理体の上部に形成されるプラズマシースの界面の高さと前記フォーカスリングの上部に形成されるプラ

50

ズマシースの界面の高さとの差が所定範囲内となるように前記第 2 の載置台のインピーダンスを制御する

ことを特徴とする請求項 4 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 9】

前記被処理体及び前記フォーカスリングに対向して配置され、前記被処理体及び前記フォーカスリングの少なくとも一方に並列に電極が設けられ、処理ガスを噴出するガス供給部をさらに有し、

前記プラズマ制御部は、前記フォーカスリングの厚さに基づき、前記被処理体の上部に形成されるプラズマシースの界面の高さと前記フォーカスリングの上部に形成されるプラズマシースの界面の高さとの差が所定範囲内となるように前記電極へ供給される電力を制御する

10

ことを特徴とする請求項 4 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 10】

前記フォーカスリングを昇降させる昇降機構をさらに有し、

前記プラズマ制御部は、前記フォーカスリングの厚さに基づき、前記被処理体の上部に形成されるプラズマシースの界面の高さと前記フォーカスリングの上部に形成されるプラズマシースの界面の高さとの差が所定範囲内となるように前記昇降機構を制御する

ことを特徴とする請求項 4 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 11】

プラズマ処理により消耗する消耗部品が載置される載置面の温度を調整可能なヒーターが設けられた載置台の前記ヒーターが設定された設定温度となるよう前記ヒーターへの供給電力を制御して、プラズマを点火して無い未点火状態と、プラズマを点火してから前記ヒーターへの供給電力が低下する過渡状態での供給電力を計測し、

20

前記消耗部品の厚さをパラメータとして含み、前記過渡状態の供給電力を算出する算出モデルに対して、計測された未点火状態と過渡状態の供給電力を用いてフィッティングを行って、前記消耗部品の厚さを算出する

処理を実行することを特徴とする算出方法。

【請求項 12】

プラズマ処理により消耗する消耗部品が載置される載置面の温度を調整可能なヒーターが設けられた載置台の前記ヒーターが設定された設定温度となるよう前記ヒーターへの供給電力を制御して、プラズマを点火して無い未点火状態と、プラズマを点火してから前記ヒーターへの供給電力が低下する過渡状態での供給電力を計測し、

30

前記消耗部品の厚さをパラメータとして含み、前記過渡状態の供給電力を算出する算出モデルに対して、計測された未点火状態と過渡状態の供給電力を用いてフィッティングを行って、前記消耗部品の厚さを算出する

処理を実行させることを特徴とする算出プログラム。

【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、算出方法および算出プログラムに関する。

40

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 には、チャンバーの上部に環状のコイルを配設し、コイルに通電して磁界を発生させて、半導体ウエハ及びフォーカスリングの上部に形成されるプラズマシースの界面を平坦化する技術が提案されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開 2015 - 201558 号公報

【発明の概要】

50

## 【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本開示は、消耗部品の消耗度合を求めることができる技術を提供する。

## 【課題を解決するための手段】

【0005】

本開示の一態様によるプラズマ処理装置は、載置台と、ヒーター制御部と、計測部と、パラメータ算出部とを有する。載置台は、プラズマ処理により消耗する消耗部品が載置される載置面の温度を調整可能なヒーターが設けられている。ヒーター制御部は、ヒーターが設定された設定温度となるようヒーターへの供給電力を制御する。計測部は、ヒーター制御部により、ヒーターの温度が一定となるようヒーターへの供給電力を制御して、プラズマを点火して無い未点火状態と、プラズマを点火してからヒーターへの供給電力が低下する過渡状態での供給電力を計測する。パラメータ算出部は、消耗部品の厚さをパラメータとして含み、過渡状態の供給電力を算出する算出モデルに対して、計測部により計測された未点火状態と過渡状態の供給電力を用いてフィッティングを行って、消耗部品の厚さを算出する。

10

## 【発明の効果】

【0006】

本開示によれば、消耗部品の消耗度合を求めることができる。

## 【図面の簡単な説明】

【0007】

20

【図1】図1は、第1実施形態に係るプラズマ処理装置の概略的な構成の一例を示す断面図である。

【図2】図2は、第1実施形態に係る載置台を示す平面図である。

【図3】図3は、第1実施形態に係るプラズマ処理装置を制御する制御部の概略的な構成を示したブロック図である。

【図4】図4は、フォーカスリングの温度に影響を与えるエネルギーの流れを模式的に示す図である。

【図5】図5は、消耗前のフォーカスリングの場合のエネルギーの流れを模式的に示す図である。

【図6】図6は、消耗後のフォーカスリングの場合のエネルギーの流れを模式的に示す図である。

30

【図7】図7は、フォーカスリングの温度とヒーターへの供給電力の変化の一例を示す図である。

【図8】図8は、第1実施形態に係る判定処理の流れの一例を示すフローチャートである。

【図9】図9は、第2実施形態に係るプラズマ処理装置の概略的な構成の一例を示す断面図である。

【図10】図10は、第2実施形態に係るプラズマ処理装置を制御する制御部の概略的な構成の一例を示すブロック図である。

【図11】図11は、プラズマシースの状態の一例を模式的に示した図である。

【図12A】図12Aは、磁場強度とプラズマの電子密度の関係の一例を示すグラフである。

40

【図12B】図12Bは、磁場強度とプラズマシースの厚さの関係の一例を示すグラフである。

【図13】図13は、第2実施形態に係る判定処理の流れの一例を示すフローチャートである。

【図14】図14は、第3実施形態に係るプラズマ処理装置の概略的な構成の一例を示す断面図である。

【図15】図15は、第4実施形態に係るプラズマ処理装置の概略的な構成の一例を示す断面図である。

【図16】図16は、第5実施形態に係るプラズマ処理装置の概略的な構成の一例を示す

50

断面図である。

【図 17】図 17 は、第 5 実施形態に係る第 1 の載置台及び第 2 の載置台の要部構成を示す概略断面図である。

【図 18】図 18 は、第 2 の載置台を上昇させる流れの一例を説明する図である。

【図 19】図 19 は、他の実施形態に係る載置台を示す平面図である。

【発明を実施するための形態】

【0008】

以下、図面を参照して本願の開示するプラズマ処理装置、算出方法および算出プログラムの実施形態について詳細に説明する。本開示においては、プラズマ処理装置の具体例として、プラズマエッチングを行う装置を例にとり詳細に説明する。なお、本実施形態により、開示するプラズマ処理装置、算出方法および算出プログラムが限定されるものではない。

10

【0009】

ところで、半導体ウエハ（以下「ウエハ」と呼ぶ。）に対してプラズマを用いてエッチング処理を行うプラズマ処理装置が知られている。プラズマ処理装置は、ウエハの周囲にフォーカスリングが設置される。プラズマ処理装置は、ウエハの周囲にフォーカスリングがあることにより、ウエハ周辺のプラズマ状態が均一になるため、ウエハ全面のエッチング特性を均一化することができる。しかし、フォーカスリングは、エッチングにより消耗して厚さが薄くなる。プラズマ処理装置は、フォーカスリングの消耗に伴いウエハ外周のエッチング特性が悪化する。このため、プラズマ処理装置では、フォーカスリングを定期的

20

【0010】

従来、プラズマ処理装置では、処理したウエハの枚数など過去の実績から交換時期を決めたり、外周のエッチング特性をモニターするウエハを定期的

【0011】

しかし、プラズマ処理装置は、異なるプロセスレシピでの処理を行われることがある。このため、プラズマ処理装置は、過去の実績にある程度マージンを持たせた交換時期を用いねばならず、プラズマ処理装置の生産性が低下する。また、モニターするウエハを定期的

30

【0012】

なお、フォーカスリングの消耗を例に問題を説明したが、プラズマ処理により消耗する消耗部品全般に同様の問題が発生する。そこで、プラズマ処理装置では、プラズマ処理により消耗する消耗部品の消耗度合を求める技術が期待されている。

【0013】

（第 1 実施形態）

[プラズマ処理装置の構成]

最初に、実施形態に係るプラズマ処理装置 10 の構成について説明する。図 1 は、第 1 実施形態に係るプラズマ処理装置の概略的な構成の一例を示す断面図である。図 1 に示すプラズマ処理装置 10 は、容量結合型平行平板プラズマエッチング装置である。プラズマ処理装置 10 は、略円筒状の処理容器 12 を備えている。処理容器 12 は、例えば、アルミニウムから構成されている。また、処理容器 12 の表面は、陽極酸化処理が施されている。

40

【0014】

処理容器 12 内には、載置台 16 が設けられている。載置台 16 は、静電チャック 18 および基台 20 を有する。静電チャック 18 の上面は、プラズマ処理の対象となる被処理体が載置される載置面とされている。本実施形態では、被処理体としてウエハ W が静電チャック 18 の上面に載置される。基台 20 は、略円盤形状を有しており、主部が、例えばアルミニウムといった導電性の金属により構成されている。基台 20 は、下部電極を構成している。基台 20 は、支持部 14 によって支持されている。支持部 14 は、処理容器 1

50

2の底部から延びる円筒状の部材である。

【0015】

基台20には、整合器MU1を介して第1の高周波電源HFSが電氣的に接続されている。第1の高周波電源HFSは、プラズマ生成用の高周波電力を発生する電源であり、27～100MHzの周波数、一例においては40MHzの高周波電力を発生する。これにより、基台20直上にプラズマが生成される。整合器MU1は、第1の高周波電源HFSの出力インピーダンスと負荷側(基台20側)の入力インピーダンスを整合させるための回路を有する。

【0016】

また、基台20には、整合器MU2を介して第2の高周波電源LFSが電氣的に接続されている。第2の高周波電源LFSは、ウエハWにイオンを引き込むための高周波電力(高周波バイアス電力)を発生して、当該高周波バイアス電力を基台20に供給する。これにより、基台20にバイアス電位が生じる。高周波バイアス電力の周波数は、400kHz～13.56MHzの範囲内の周波数であり、一例においては3MHzである。整合器MU2は、第2の高周波電源LFSの出力インピーダンスと負荷側(基台20側)の入力インピーダンスを整合させるための回路を有する。

10

【0017】

基台20上には、静電チャック18が設けられている。静電チャック18は、クーロン力等の静電力によりウエハWを吸着し、当該ウエハWを保持する。静電チャック18は、セラミック製の本体部内に静電吸着用の電極E1が設けられている。電極E1には、スイッチSW1を介して直流電源22が電氣的に接続されている。ウエハWを保持する吸着力は、直流電源22から印加される直流電圧の値に依存する。

20

【0018】

載置台16には、プラズマ処理により消耗する消耗部品が載置される。例えば、載置台16は、静電チャック18上のウエハWの周囲に、消耗部品として、フォーカスリングFRが配置される。フォーカスリングFRは、プラズマ処理の均一性を向上させるために設けられている。フォーカスリングFRは、実行すべきプラズマ処理に応じて適宜選択される材料から構成されている。例えば、フォーカスリングFRは、シリコン、または石英により構成される。

【0019】

基台20の内部には、冷媒流路24が形成されている。冷媒流路24には、処理容器12の外部に設けられたチラーユニットから配管26aを介して冷媒が供給される。冷媒流路24に供給された冷媒は、配管26bを介してチラーユニットに戻る。

30

【0020】

処理容器12内には、上部電極30が設けられている。上部電極30は、載置台16の上方において、載置台16と対向配置されている。載置台16と上部電極30とは、互いに略平行に設けられている。

【0021】

上部電極30は、絶縁性遮蔽部材32を介して、処理容器12の上部に支持されている。上部電極30は、電極板34と電極支持体36とを有する。電極板34は、処理空間Sに面しており、複数のガス吐出孔34aが形成されている。電極板34は、ジュール熱の少ない低抵抗の導電体または半導体により構成されている。上部電極30は、温度の制御が可能とされている。例えば、上部電極30は、不図示のヒーターなどの温調機構が設けられ、温度の制御が可能とされている。

40

【0022】

電極支持体36は、電極板34を着脱自在に支持する。電極支持体36は、例えばアルミニウムといった導電性材料により構成されている。電極支持体36の内部には、ガス拡散室36aが設けられている。電極支持体36には、ガス吐出孔34aに連通する複数のガス通流孔36bがガス拡散室36aから下方に延びている。また、電極支持体36には、ガス拡散室36aに処理ガスを導くガス導入口36cが形成されている。ガス導入口3

50

6 c には、ガス供給管 3 8 が接続されている。

【 0 0 2 3 】

ガス供給管 3 8 には、バルブ群 4 2 および流量制御器群 4 4 を介してガスソース群 4 0 が接続されている。バルブ群 4 2 は、複数の開閉バルブを有する。流量制御器群 4 4 は、マスフローコントローラといった複数の流量制御器を有する。また、ガスソース群 4 0 は、プラズマ処理に必要な複数種のガス用のガスソースを有する。ガスソース群 4 0 の複数のガスソースは、対応の開閉バルブおよび対応のマスフローコントローラを介してガス供給管 3 8 に接続されている。

【 0 0 2 4 】

プラズマ処理装置 1 0 では、ガスソース群 4 0 の複数のガスソースのうち選択された一以上のガスソースからの一以上のガスが、ガス供給管 3 8 に供給される。ガス供給管 3 8 に供給されたガスは、ガス拡散室 3 6 a に至り、ガス通流孔 3 6 b およびガス吐出孔 3 4 a を介して処理空間 5 に吐出される。

10

【 0 0 2 5 】

また、プラズマ処理装置 1 0 は、接地導体 1 2 a をさらに有する。接地導体 1 2 a は、略円筒状の接地導体であり、処理容器 1 2 の側壁から上部電極 3 0 の高さ位置よりも上方に延びるように設けられている。

【 0 0 2 6 】

また、プラズマ処理装置 1 0 では、処理容器 1 2 の内壁に沿ってデポシールド 4 6 が着脱自在に設けられている。また、デポシールド 4 6 は、支持部 1 4 の外周にも設けられている。デポシールド 4 6 は、処理容器 1 2 にエッチング副生物（デポ）が付着することを防止するものであり、アルミニウム材に  $Y_2O_3$  等のセラミックスを被覆することにより構成されている。デポシールド 4 6 は、温度の制御が可能とされている。例えば、デポシールド 4 6 は、不図示のヒーターなどの温調機構が設けられ、温度の制御が可能とされている。

20

【 0 0 2 7 】

処理容器 1 2 の底部側においては、支持部 1 4 と処理容器 1 2 の内壁との間に排気プレート 4 8 が設けられている。排気プレート 4 8 は、例えば、アルミニウム材に  $Y_2O_3$  等のセラミックスを被覆することにより構成されている。処理容器 1 2 は、排気プレート 4 8 の下方に排気口 1 2 e が設けられている。排気口 1 2 e には、排気管 5 2 を介して排気装置 5 0 が接続されている。排気装置 5 0 は、ターボ分子ポンプなどの真空ポンプを有する。排気装置 5 0 は、プラズマ処理を実施する際、処理容器 1 2 内を所望の真空度まで減圧する。また、処理容器 1 2 の側壁には、ウエハ W の搬入出口 1 2 g が設けられている。搬入出口 1 2 g は、ゲートバルブ 5 4 により開閉可能となっている。

30

【 0 0 2 8 】

上記のように構成されたプラズマ処理装置 1 0 は、制御部 1 0 0 によって、その動作が統括的に制御される。制御部 1 0 0 は、例えば、コンピュータであり、プラズマ処理装置 1 0 の各部を制御する。プラズマ処理装置 1 0 は、制御部 1 0 0 によって、動作が統括的に制御される。

【 0 0 2 9 】

[ 載置台の構成 ]

次に、載置台 1 6 について詳細に説明する。図 2 は、第 1 実施形態に係る載置台を示す平面図である。上述したように、載置台 1 6 は、静電チャック 1 8 および基台 2 0 を有する。静電チャック 1 8 は、セラミックで形成され、上面が、ウエハ W およびフォーカスリング F R を載置する載置領域 1 8 a とされている。載置領域 1 8 a は、平面視において略円形の領域とされている。図 1 に示すように、静電チャック 1 8 は、ウエハ W が配置される領域に静電吸着用の電極 E 1 が設けられている。電極 E 1 は、スイッチ S W 1 を介して直流電源 2 2 に接続されている。

40

【 0 0 3 0 】

また、図 1 に示すように、載置領域 1 8 a 内、且つ、電極 E 1 の下方には、複数のヒ-

50

ターHTが設けられている。載置領域18aは、複数の分割領域75に分割され、それぞれの分割領域75にヒーターHTが設けられている。例えば、載置領域18aは、図2に示すように、中央の円状の分割領域75a及び環状の分割領域75bに分割されている。分割領域75a、75bには、それぞれヒーターHTが設けられている。例えば、分割領域75aには、ヒーターHT1が設けられている。分割領域75bには、ヒーターHT2が設けられている。分割領域75aには、ウエハWが配置される。分割領域75bには、フォーカスリングFRが配置される。本実施形態では、載置台16の面内を2つの分割領域75a、75bに分けて温度制御する場合を例に説明するが、分割領域75の数は2つに限らず、3つ以上でもあってもよい。

#### 【0031】

ヒーターHTは、不図示の配線を介して、図1に示す、ヒーター電源HPに個別に接続されている。ヒーター電源HPは、制御部100から制御の元、各ヒーターHTに個別に調整された電力を供給する。これにより、各ヒーターHTが発する熱が個別に制御され、載置領域18a内の各分割領域75の温度が個別に調整される。

#### 【0032】

ヒーター電源HPには、各ヒーターHTへ供給する供給電力を検出する電力検出部PDが設けられている。なお、電力検出部PDは、ヒーター電源HPとは別に、ヒーター電源HPから各ヒーターHTへの電力が流れる配線に設けてもよい。電力検出部PDは、各ヒーターHTへ供給する供給電力を検出する。例えば、電力検出部PDは、各ヒーターHTへ供給する供給電力として、電力量[W]を検出する。ヒーターHTは、電力量に応じて発熱する。このため、ヒーターHTへ供給する電力量は、ヒータパワーを表す。電力検出部PDは、検出した各ヒーターHTへの供給電力を示す電力データを制御部100に通知する。

#### 【0033】

また、載置台16は、載置領域18aの各分割領域75に、それぞれヒーターHTの温度を検出可能な不図示の温度センサが設けられている。温度センサは、ヒーターHTとは別に温度を測定する素子であってもよい。また、温度センサは、ヒーターHTへの電力が流れる配線に配置され、温度上昇に応じて電気抵抗が増大する性質を利用して、温度を検出する素子であってもよい。各温度センサにより検出されたセンサ値は、温度測定器TDに送られる。温度測定器TDは、各センサ値から載置領域18aの各分割領域75の温度を測定する。温度測定器TDは、載置領域18aの各分割領域75の温度を示す温度データを制御部100に通知する。

#### 【0034】

さらに、図示しない伝熱ガス供給機構およびガス供給ラインによって伝熱ガス、例えばHeガスが静電チャック18の上面とウエハWの裏面との間に供給されてもよい。

#### 【0035】

##### [制御部の構成]

次に、制御部100について詳細に説明する。図3は、第1実施形態に係るプラズマ処理装置を制御する制御部100の概略的な構成を示したブロック図である。制御部100は、例えば、コンピュータであり、外部インターフェース101と、プロセスコントローラ102と、ユーザインターフェース103と、記憶部104とが設けられている。

#### 【0036】

外部インターフェース101は、プラズマ処理装置10の各部と通信可能とされ、各種のデータを入出力する。例えば、外部インターフェース101には、電力検出部PDから各ヒーターHTへの供給電力を示す電力データが入力する。また、外部インターフェース101には、温度測定器TDから載置領域18aの各分割領域75の温度を示す温度データが入力する。また、外部インターフェース101は、各ヒーターHTへ供給する供給電力を制御する制御データをヒーター電源HPへ出力する。

#### 【0037】

プロセスコントローラ102は、CPU(Central Processing Unit)を備えプラズ

10

20

30

40

50

マ処理装置 10 の各部を制御する。

【0038】

ユーザインターフェース 103 は、工程管理者がプラズマ処理装置 10 を管理するためにコマンドの入力操作を行うキーボードや、プラズマ処理装置 10 の稼動状況を可視化して表示するディスプレイ等から構成されている。

【0039】

記憶部 104 には、プラズマ処理装置 10 で実行される各種処理をプロセスコントローラ 102 の制御にて実現するための制御プログラム（ソフトウェア）や、処理条件データ等が記憶されたレシピが格納されている。また、記憶部 104 には、プラズマ処理を行う上での装置やプロセスに関するパラメータ等が格納されている。なお、制御プログラムやレシピ、パラメータは、コンピュータで読み取り可能なコンピュータ記録媒体（例えば、ハードディスク、DVD などの光ディスク、フレキシブルディスク、半導体メモリ等）に記憶されていてもよい。また、制御プログラムやレシピ、パラメータは、他の装置に記憶され、例えば専用回線を介してオンラインで読み出して利用されてもよい。

10

【0040】

プロセスコントローラ 102 は、プログラムやデータを格納するための内部メモリを有し、記憶部 104 に記憶された制御プログラムを読み出し、読み出した制御プログラムの処理を実行する。プロセスコントローラ 102 は、制御プログラムが動作することにより各種の処理部として機能する。例えば、プロセスコントローラ 102 は、ヒーター制御部 102a と、計測部 102b と、パラメータ算出部 102c と、設定温度算出部 102d と、アラート部 102e の機能を有する。なお、本実施形態では、プロセスコントローラ 102 が、各種の処理部として機能する場合を例に説明するが、これに限定されるものではない。例えば、ヒーター制御部 102a と、計測部 102b、パラメータ算出部 102c、設定温度算出部 102d、アラート部 102e の機能を複数のコントローラで分散して実現してもよい。

20

【0041】

ところで、プラズマ処理では、温度によって処理の進行が変化する。例えば、プラズマエッチングでは、ウエハ W やフォーカスリング FR の温度によってエッチングの進行速度が変化する。そこで、プラズマ処理装置 10 では、各ヒーター HT によって、ウエハ W やフォーカスリング FR の温度を目標温度に制御することが考えられる。

30

【0042】

ここで、ウエハ W やフォーカスリング FR の温度に影響を与えるエネルギーの流れを説明する。以下では、フォーカスリング FR の温度に影響を与えるエネルギーの流れを説明するが、ウエハ W の温度に影響を与えるエネルギーの流れも同様である。図 4 は、フォーカスリングの温度に影響を与えるエネルギーの流れを模式的に示す図である。図 4 には、フォーカスリング FR や、静電チャック（ESC）18 を含む載置台 16 が簡略化して示されている。図 4 の例は、静電チャック 18 の載置領域 18a の 1 つの分割領域 75（分割領域 75b）について、フォーカスリング FR の温度に影響を与えるエネルギーの流れを示している。載置台 16 は、静電チャック 18 および基台 20 を有する。静電チャック 18 と基台 20 は、接着層 19 により接着されている。静電チャック 18 の内部には、ヒーター HT（ヒーター HT2）が設けられている。基台 20 の内部には、冷媒が流れる冷媒流路 24 が形成されている。

40

【0043】

ヒーター HT2 は、ヒーター電源 HP から供給される供給電力に応じて発熱し、温度が上昇する。図 4 では、ヒーター HT2 へ供給される供給電力をヒータパワー  $P_h$  として示している。ヒーター HT2 では、ヒータパワー  $P_h$  を静電チャック 18 のヒーター HT2 が設けられている領域の面積 A で割った単位面積当たりの発熱量（熱流束） $q_h$  が生じる。

【0044】

プラズマ処理装置 10 では、上部電極 30 やデポシールド 46 などの処理容器 12 の内部パーツの温度を制御している場合、内部パーツから輻射熱が発生する。例えば、上部電

50

極 30 やデポシールド 46 の温度をデポの付着を抑制するために高温に制御している場合、フォーカスリング FR には、上部電極 30 やデポシールド 46 から輻射熱が入熱する。図 4 では、上部電極 30 やデポシールド 46 からフォーカスリング FR への輻射熱  $q_r$  として示している。

【 0045 】

また、プラズマ処理を行っている場合、フォーカスリング FR には、プラズマから入熱する。図 4 では、プラズマからフォーカスリング FR への入熱量をフォーカスリング FR の面積で割った単位面積当たりのプラズマからの熱流束  $q_p$  として示している。フォーカスリング FR は、プラズマからの熱流束  $q_p$  の入熱や輻射熱  $q_r$  の入熱により、温度が上昇する。

10

【 0046 】

輻射熱による入熱は、処理容器 12 の内部パーツの温度の温度に比例する。例えば、輻射熱による入熱は、上部電極 30 やデポシールド 46 の温度の 4 乗に比例する。プラズマからの入熱は、主にフォーカスリング FR への照射されるプラズマ中のイオンの量と、プラズマ中のイオンをフォーカスリング FR に引き込むためのバイアス電位との積に比例することが知られている。フォーカスリング FR への照射されるプラズマ中のイオンの量は、プラズマの電子密度に比例する。プラズマの電子密度は、プラズマの生成で印加する第 1 の高周波電源 HFS からの高周波電力に比例する。また、プラズマの電子密度は、処理容器 12 内の圧力に依存する。プラズマ中のイオンをフォーカスリング FR に引き込むためのバイアス電位は、バイアス電位の発生で印加する第 2 の高周波電源 LFS からの高周波電力に比例する。また、プラズマ中のイオンをフォーカスリング FR に引き込むためのバイアス電位は、処理容器 12 内の圧力に依存する。なお、高周波電力が載置台 16 に印加されていない場合、プラズマが生成された時に生じるプラズマの電位（プラズマポテンシャル）と載置台 16 の電位差によって、イオンが載置台 16 へ引き込まれる。

20

【 0047 】

また、プラズマからの入熱は、プラズマの発光による加熱やプラズマ中の電子やラジカルによるフォーカスリング FR への照射、イオンとラジカルによるフォーカスリング FR 上の表面反応などが含まれる。これらの成分も高周波電源のパワーや処理容器 12 内の圧力に依存する。プラズマからの入熱は、その他、プラズマ生成に関わる装置パラメータ、例えば、載置台 16 と上部電極 30 との間隔距離や処理空間 S に供給されるガス種に依存する。

30

【 0048 】

フォーカスリング FR に伝わった熱は、静電チャック 18 に伝わる。ここで、静電チャック 18 には、フォーカスリング FR の熱が全て伝わるわけではなく、フォーカスリング FR と静電チャック 18 との接触度合など、熱の伝わり難さに応じて静電チャック 18 に熱が伝わる。熱の伝わり難さ、すなわち熱抵抗は、熱の伝熱方向に対する断面積に反比例する。このため、図 4 では、フォーカスリング FR から静電チャック 18 の表面への熱の伝わり難さを、フォーカスリング FR と静電チャック 18 の表面間の単位面積当たりの熱抵抗  $R_{th} \cdot A$  として示している。なお、 $A$  は、ヒーター HT2 が設けられている領域（分割領域 75b）の面積である。 $R_{th}$  は、ヒーター HT2 が設けられている領域全体における熱抵抗である。また、図 4 では、フォーカスリング FR から静電チャック 18 表面への入熱量を、フォーカスリング FR から静電チャック 18 表面への単位面積当たりの熱流束  $q$  として示している。なお、熱抵抗  $R_{th} \cdot A$  は、静電チャック 18 の表面状態、フォーカスリング FR の保持で直流電源 22 から印加される直流電圧の値、および静電チャック 18 の上面とフォーカスリング FR の裏面との間に供給される伝熱ガスの圧力に依存する。また、熱抵抗  $R_{th} \cdot A$  は、その他、熱抵抗もしくは熱伝導率に関する装置パラメータにも依存する。

40

【 0049 】

静電チャック 18 の表面に伝わった熱は、静電チャック 18 の温度を上昇させ、さらに、ヒーター HT2 に伝わる。図 4 では、静電チャック 18 表面からヒーター HT2 への入

50

熱量を、静電チャック 18 表面からヒーター HT 2 への単位面積当たりの熱流束  $q_c$  とし  
て示している。

【0050】

一方、基台 20 は、冷媒流路 24 を流れる冷媒により冷却され、接触する静電チャック  
18 を冷却する。このとき、図 4 では、接着層 19 を通過して静電チャック 18 の裏面か  
ら基台 20 への抜熱量を、静電チャック 18 の裏面から基台 20 への単位面積当たりの熱  
流束  $q_{sus}$  とし示している。これにより、ヒーター HT 2 は、抜熱によって冷却され、温  
度が低下する。

【0051】

ところで、フォーカスリング FR は、エッチングにより消耗して厚さが薄くなる。プラ  
ズマ処理装置 10 は、フォーカスリング FR が消耗して厚さが薄くなると、プラズマ処理  
中のヒーター HT への入熱量が変化する。

10

【0052】

ここで、フォーカスリング FR が消耗によるヒーター HT 2 への入熱量が変化を説明す  
る。図 5 は、消耗前のフォーカスリングの場合のエネルギーの流れを模式的に示す図であ  
る。なお、輻射熱の入熱は、影響が小さいため、省略する。

【0053】

ヒーター HT 2 の温度が一定となるように制御している場合、ヒーター HT 2 の位置に  
おいて、ヒーター HT 2 に入熱する熱量およびヒーター HT 2 で発生する発熱量の総和と  
、ヒーター HT 2 から抜熱される抜熱量とが等しい状態となる。例えば、プラズマを点火  
して無い未点火状態では、ヒーター HT 2 で発生する発熱量の総和と、ヒーター HT 2 か  
ら抜熱される抜熱量とが等しい状態となる。図 5 において、「未点火状態」とした例では  
、基台 20 から冷却により、ヒーター HT 2 から「10」の熱量が抜熱されている。ヒー  
ター HT 2 の温度が一定となるように制御している場合、ヒーター HT 2 には、ヒーター  
電源 HP からヒータパワー  $P_h$  により「10」の熱量が発生する。

20

【0054】

一方、例えば、プラズマを点火した点火状態では、ヒーター HT 2 には、静電チャック  
18 を介して、プラズマからも入熱する。点火状態には、過度状態と定常状態とがある。  
過度状態は、例えば、フォーカスリング FR や静電チャック 18 に対する入熱量が抜熱量  
よりも多く、フォーカスリング FR や静電チャック 18 の温度が経時的に上昇傾向となる  
状態である。定常状態は、フォーカスリング FR や静電チャック 18 の入熱量と抜熱量が  
等しくなり、フォーカスリング FR や静電チャック 18 の温度に経時的な上昇傾向がなくな  
り、温度が略一定となった状態である。

30

【0055】

点火状態の場合、フォーカスリング FR は、定常状態となるまで、プラズマからの入熱  
により温度が上昇する。ヒーター HT 2 には、静電チャック 18 を介してフォーカスリン  
グ FR から熱が伝わる。上述のように、ヒーター HT 2 の温度が一定となるように制御し  
ている場合、ヒーター HT 2 に入熱される熱量とヒーター HT 2 から抜熱される熱量は、  
等しい状態となる。ヒーター HT 2 は、ヒーター HT 2 の温度を一定に維持するために必  
要な熱量が低下する。このため、ヒーター HT 2 への供給電力が低下する。

40

【0056】

例えば、図 5 において、「過度状態」とした例では、プラズマからフォーカスリング F  
R へ「5」の熱量が伝わる。フォーカスリング FR に伝わった熱は、静電チャック 18 に  
伝わる。また、フォーカスリング FR の温度が定常状態ではない場合、フォーカスリン  
グ FR に伝わった熱は、一部がフォーカスリング FR の温度の上昇に作用する。フォーカス  
リング FR の温度上昇に作用する熱量は、フォーカスリング FR の熱容量に依存する。こ  
のため、フォーカスリング FR に伝わった「5」の熱量のうち、「3」の熱量がフォーカ  
スリング FR から静電チャック 18 の表面へ伝わる。静電チャック 18 の表面に伝わった  
熱は、ヒーター HT 2 に伝わる。また、静電チャック 18 の温度が定常状態ではない場合  
、静電チャック 18 の表面に伝わった熱は、一部が静電チャック 18 の温度の上昇に作用

50

する。静電チャック 18 の温度上昇に作用する熱量は静電チャック 18 の熱容量に依存する。このため、静電チャック 18 の表面に伝わった「3」の熱量のうち、「2」の熱量がヒーター HT 2 に伝わる。このため、ヒーター HT 2 の温度が一定となるように制御している場合、ヒーター HT 2 には、ヒーター電源 HP からヒータパワー P<sub>h</sub> により「8」の熱量が供給される。

【0057】

また、図 5 B において、「定常状態」とした例では、プラズマからフォーカスリング FR へ「5」の熱量が伝わる。フォーカスリング FR に伝わった熱は、静電チャック 18 に伝わる。また、フォーカスリング FR の温度が定常状態である場合、フォーカスリング FR は、入熱量と出熱量が等しい状態となっている。このため、プラズマからフォーカスリング FR に伝わった「5」の熱量がフォーカスリング FR から静電チャック 18 の表面へ伝わる。静電チャック 18 の表面に伝わった熱は、ヒーター HT 2 に伝わる。静電チャック 18 の温度が定常状態である場合、静電チャック 18 は、入熱量と出熱量が等しい状態となっている。このため、静電チャック 18 の表面に伝わった「5」の熱量がヒーター HT 2 に伝わる。このため、ヒーター HT 2 の温度が一定となるように制御している場合、ヒーター HT 2 には、ヒーター電源 HP からヒータパワー P<sub>h</sub> により「5」の熱量が供給される。

10

【0058】

図 6 は、消耗後のフォーカスリングの場合のエネルギーの流れを模式的に示す図である。なお、輻射熱の入熱は、影響が小さいため、省略する。フォーカスリング FR は、エッチングにより消耗したことにより、図 5 よりも厚さが薄くなっている。

20

【0059】

未点火状態では、フォーカスリング FR が消耗して厚さが薄くなった場合でも、図 5 に示した消耗前の場合とエネルギーの流れは同様となる。図 6 において、「未点火状態」とした例では、基台 20 から冷却により、ヒーター HT 2 から「10」の熱量が抜熱されている。ヒーター HT 2 の温度が一定となるように制御している場合、ヒーター HT 2 には、ヒーター電源 HP からヒータパワー P<sub>h</sub> により「10」の熱量が発生する。

【0060】

一方、点火状態では、ヒーター HT 2 には、静電チャック 18 を介して、プラズマからも入熱する。フォーカスリング FR が消耗して厚さが薄くなった場合、フォーカスリング FR の加熱時間が短縮される。

30

【0061】

例えば、図 6 において、「過度状態」とした例では、プラズマからフォーカスリング FR へ「5」の熱量が伝わる。フォーカスリング FR に伝わった熱は、静電チャック 18 に伝わる。また、フォーカスリング FR の温度が定常状態ではない場合、フォーカスリング FR に伝わった熱は、一部がフォーカスリング FR の温度の上昇に作用する。例えば、フォーカスリング FR が消耗して厚さが薄くなった場合、フォーカスリング FR に伝わった「5」の熱量のうち、「4」の熱量がフォーカスリング FR から静電チャック 18 の表面へ伝わる。静電チャック 18 の表面に伝わった熱は、ヒーター HT 2 に伝わる。また、静電チャック 18 の温度が定常状態ではない場合、静電チャック 18 の表面に伝わった熱は、一部が静電チャック 18 の温度の上昇に作用する。静電チャック 18 の温度上昇に作用する熱量は静電チャック 18 の熱容量に依存する。このため、静電チャック 18 の表面に伝わった「4」の熱量のうち、「3」の熱量がヒーター HT 2 に伝わる。このため、ヒーター HT 2 の温度が一定となるように制御している場合、ヒーター HT 2 には、ヒーター電源 HP からヒータパワー P<sub>h</sub> により「7」の熱量が供給される。

40

【0062】

また、図 6 において、「定常状態」とした例では、プラズマからフォーカスリング FR へ「5」の熱量が伝わる。フォーカスリング FR に伝わった熱は、静電チャック 18 に伝わる。また、フォーカスリング FR の温度が定常状態である場合、フォーカスリング FR は、入熱量と出熱量が等しい状態となっている。このため、プラズマからフォーカスリン

50

グFRに伝わった「5」の熱量がフォーカスリングFRから静電チャック18の表面へ伝わる。静電チャック18の表面に伝わった熱は、ヒーターHT2に伝わる。静電チャック18の温度が定常状態である場合、静電チャック18は、入熱量と出熱量が等しい状態となっている。このため、静電チャック18の表面に伝わった「5」の熱量がヒーターHT2に伝わる。このため、ヒーターHT2の温度が一定となるように制御している場合、ヒーターHT2には、ヒーター電源HPからヒータパワーPhにより「5」の熱量が供給される。

【0063】

図5および図6に示したように、ヒーターHT2への供給電力は、未点火状態よりも点火状態の方が低下する。また、点火状態では、ヒーターHT2への供給電力が定常状態となるまで低下する。また、過度状態では、プラズマからの入熱量が同じでも、フォーカスリングFRの厚さによってヒーターHT2への供給電力が変化する。

10

【0064】

なお、図5および図6に示したように、ヒーターHT2の温度が一定となるように制御している場合、「未点火状態」、「過度状態」、「定常状態」のいずれの状態であっても、基台20から冷却により、ヒーターHT2から「10」の熱量が抜熱されている。すなわち、ヒーターHT2から基台20の内部に形成された冷媒流路24に供給される冷媒に向かう単位面積当たりの熱流束 $q_{sus}$ は、常に一定となり、ヒーターHT2から冷媒までの温度勾配も常に一定である。そのため、ヒーターHT2の温度が一定となるように制御するために用いられる温度センサは、必ずしもヒーターHT2に直接取り付けする必要はない。例えば、静電チャック18の裏面、接着層19の中、基台20の内部など、ヒーターHT2と冷媒までの間であれば、ヒーターHT2と温度センサ間の温度差も常に一定であり、ヒーターHT2温度とセンサの間にある材質が有する熱伝導率、熱抵抗などを用いて温度センサとヒーターHT2の間の温度差( $\Delta T$ )を算出し、温度センサで検出される温度の値に温度差( $\Delta T$ )を加算することによって、ヒーターHT2の温度として出力することが可能であり、実際のヒーターHT2の温度が一定となるように制御することができる。

20

【0065】

図7は、フォーカスリングの温度とヒーターへの供給電力の変化の一例を示す図である。図7の例は、ヒーターHT2の温度が一定となるように制御し、プラズマを点火して無い未点火状態からプラズマを点火して、フォーカスリングFRの温度とヒーターHT2への供給電力を測定した結果の一例を示している。図7の実線は、新品(消耗前)のフォーカスリングFRの場合のヒーターHT2への供給電力の変化を示している。図7の破線は、新品時よりも厚さが薄くなった消耗後のフォーカスリングFRの場合のヒーターHT2への供給電力の変化を示している。

30

【0066】

図7の期間T1は、プラズマを点火して無い未点火状態である。期間T1では、ヒーターHT2への供給電力が一定となっている。図7の期間T2は、プラズマを点火した点火状態であり、過度状態である。期間T2では、ヒーターHT2への供給電力が低下する。また、期間T2では、フォーカスリングFRの温度が一定の温度まで上昇する。図7の期間T3は、プラズマを点火した点火状態である。期間T3では、フォーカスリングFRの温度は一定であり、定常状態となっている。静電チャック18も定常状態となると、ヒーターHT2への供給電力は、略一定となり、低下する傾向の変動が安定する。

40

【0067】

図7の期間T2に示される過度状態でのヒーターHT2への供給電力の低下の傾向は、プラズマからフォーカスリングFRへの入熱量や、フォーカスリングFRと静電チャック18の表面間の熱抵抗、フォーカスリングFRの厚さなどによって変化する。

【0068】

このように、ヒーターHT2の温度を一定に制御している場合、ヒータパワーPhは、プラズマからフォーカスリングFRへの入熱量や、フォーカスリングFRと静電チャック18の表面間の熱抵抗、フォーカスリングFRの厚さによって変化する。よって、図7に示

50

される期間 T 2 のヒーター H T 2 への供給電力のグラフは、プラズマからフォーカスリング F R への入熱量や、フォーカスリング F R と静電チャック 1 8 の表面間の熱抵抗、フォーカスリング F R の厚さをパラメータとしてモデル化できる。すなわち、期間 T 2 のヒーター H T 2 への供給電力の変化は、プラズマからフォーカスリング F R への入熱量や、フォーカスリング F R と静電チャック 1 8 の表面間の熱抵抗、フォーカスリング F R の厚さをパラメータとして、演算式によりモデル化できる。

【 0 0 6 9 】

本実施形態では、図 6 の期間 T 2 のヒーター H T 2 への供給電力の変化を単位面積当たりの式としてモデル化する。例えば、プラズマからの熱流束があるときの単位面積当たりのヒーター H T 2 からの発熱量  $q_h$  は、以下の式 ( 2 ) のように表せる。プラズマからの熱流束がないときの定常状態での単位面積当たりのヒーター H T 2 からの発熱量  $q_{h0}$  は、以下の式 ( 3 ) のように表せる。静電チャック 1 8 の表面とヒーター間の単位面積当たりの熱抵抗  $R_{thc} \cdot A$  は、以下の式 ( 4 ) のように表せる。熱流束  $q_p$  および熱抵抗  $R_{th} \cdot A$  をパラメータとし、 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 、 $\beta_1$ 、 $\beta_2$  を以下の式 ( 5 ) - ( 1 1 ) のように表した場合、発熱量  $q_h$  は、以下の式 ( 1 ) のように表せる。

【 0 0 7 0 】

【数 1】

10

20

30

40

50

$$q_h = q_{h0} - q_p - \frac{R_{th} \cdot A \cdot q_p}{R_{thc} \cdot A \cdot (\lambda_1 - \lambda_2)} \left\{ \left( 1 + \frac{a_2 + a_3}{a_1 \cdot a_3} \cdot \lambda_2 \right) (a_1 + \lambda_1) \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) - \left( 1 + \frac{a_2 + a_3}{a_1 \cdot a_3} \cdot \lambda_1 \right) (a_1 + \lambda_2) \exp\left(-\frac{t}{\tau_2}\right) \right\} \cdots (1)$$

$$q_h = \frac{P_h}{A} \quad \cdots (2)$$

$$q_{h0} = \frac{P_{h0}}{A} \quad \cdots (3)$$

$$R_{thc} \cdot A = \frac{z_c}{\kappa_c} \quad \cdots (4)$$

$$a_1 = \frac{1}{\rho_{FR} \cdot C_{FR} \cdot z_{FR} \cdot R_{th} \cdot A} \quad \cdots (5)$$

$$a_2 = \frac{2}{\rho_c \cdot C_c \cdot z_c \cdot R_{th} \cdot A} \quad \cdots (6)$$

$$a_3 = \frac{2}{\rho_c \cdot C_c \cdot z_c \cdot R_{thc} \cdot A} \quad \cdots (7)$$

$$\lambda_1 = \frac{1}{2} \left\{ -(a_1 + a_2 + a_3) + \sqrt{(a_1 + a_2 + a_3)^2 - 4a_1 a_3} \right\} \quad \cdots (8)$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{2} \left\{ -(a_1 + a_2 + a_3) - \sqrt{(a_1 + a_2 + a_3)^2 - 4a_1 a_3} \right\} \quad \cdots (9)$$

$$\tau_1 = -\frac{1}{\lambda_1} \quad \cdots (10)$$

$$\tau_2 = -\frac{1}{\lambda_2} \quad \cdots (11)$$

#### 【 0 0 7 1 】

ここで、

$P_h$  は、プラズマからの熱流束があるときのヒータパワー[W]である。

$P_{h0}$  は、プラズマからの熱流束がないときの定常状態でのヒータパワー[W]である。

$q_h$  は、プラズマからの熱流束があるときの単位面積当たりのヒータ-HT2からの発熱量[W/m<sup>2</sup>]である。

$q_{h0}$  は、プラズマからの熱流束がないときの定常状態での単位面積当たりのヒータ-HT2からの発熱量[W/m<sup>2</sup>]である。

$q_p$  は、プラズマからフォーカスリングFRへの単位面積当たりの熱流束[W/m<sup>2</sup>]である。

$R_{th} \cdot A$  は、フォーカスリングFRと静電チャック18の表面間の単位面積当たりの熱抵抗[K・m<sup>2</sup>/W]である。

$R_{thc} \cdot A$  は、静電チャック18の表面とヒータ間の単位面積当たりの熱抵抗[K・m<sup>2</sup>/W]である。

10

20

30

40

50

Aは、ヒーターHT2設けられた分割領域75(分割領域75b)の面積[m<sup>2</sup>]である。

$F_R$ は、フォーカスリングFRの密度[kg/m<sup>3</sup>]である。

$C_{FR}$ は、フォーカスリングFRの単位面積当たりの熱容量[J/K・m<sup>2</sup>]である。

$z_{FR}$ は、フォーカスリングFRの厚さ[m]である。

$c$ は、静電チャック18を構成するセラミックの密度[kg/m<sup>3</sup>]である。

$C_c$ は、静電チャック18を構成するセラミックの単位面積当たりの熱容量[J/K・m<sup>2</sup>]である。

$z_c$ は、静電チャック18の表面からヒーターHT2までの距離[m]である。

$\kappa_c$ は、静電チャック18を構成するセラミックの熱伝導率[W/K・m]である。

tは、プラズマを点火してからの経過時間[sec]である。

10

【0072】

式(5)に示した $a_1$ について、 $1/a_1$ がフォーカスリングFRの温まり難さを示す時定数となる。また、式(6)に示した $a_2$ について、 $1/a_2$ が静電チャック18の熱の入り難さ、温まり難さを示す時定数となる。また、式(7)に示した $a_3$ について、 $1/a_3$ が静電チャック18の熱の浸透し難さ、温まり難さを示す時定数となる。

【0073】

フォーカスリングFRの密度 $F_R$ 、フォーカスリングFRの単位面積当たりの熱容量 $C_{FR}$ は、フォーカスリングFRの実際の構成からそれぞれ予め定まる。ヒーターHT2の面積A、静電チャック18を構成するセラミックの密度 $c$ 、および、静電チャック18を構成するセラミックの単位面積当たりの熱容量 $C_c$ は、プラズマ処理装置10の実際の構成からそれぞれ予め定まる。静電チャック18の表面からヒーターHT2までの距離 $z_c$ 、および、静電チャック18を構成するセラミックの熱伝導 $\kappa_c$ も、プラズマ処理装置10の実際の構成からそれぞれ予め定まる。 $R_{thc} \cdot A$ は、熱伝導 $\kappa_c$ 、距離 $z_c$ から式(4)により予め定まる。

20

【0074】

フォーカスリングFRの厚さ $z_{FR}$ は、新品のフォーカスリングFRの場合、特定の値に定まるが、エッチングにより消耗して値が変化する。よって、消耗している場合は、フォーカスリングFRの厚さ $z_{FR}$ も、パラメータとなる。

【0075】

プラズマ処理装置10は、様々なプロセスレシピでのプラズマ処理を行われることがある。プラズマ処理の際のプラズマからフォーカスリングFRへの入熱量や、フォーカスリングFRと静電チャック18の表面間の熱抵抗は、以下のように求めることができる。

30

【0076】

例えば、プラズマ処理装置10は、新品のフォーカスリングFRを配置してプラズマ処理を実行し、プラズマ処理中のヒーターHT2のヒータパワー $P_{h0}$ を計測する。

【0077】

プラズマを点火してからの経過時間tごとのプラズマからの熱流束があるときのヒータパワー $P_h$ 、および、プラズマからの熱流束がないときの定常状態でのヒータパワー $P_{h0}$ は、プラズマ処理装置10での計測結果から求めることができる。そして、式(2)に示すように、求めたヒータパワー $P_h$ をヒーターHT2の面積Aで除算することによって、プラズマからの熱流束があるときの単位面積当たりのヒーターHT2からの発熱量 $q_h$ を求めることができる。また、式(3)に示すように、求めたヒータパワー $P_{h0}$ をヒーターHT2の面積Aで除算することによって、プラズマからの熱流束がないときの定常状態での単位面積当たりのヒーターHT2からの発熱量 $q_{h0}$ を求めることができる。フォーカスリングFRの厚さ $z_{FR}$ は、新品のフォーカスリングFRの場合、新品のフォーカスリングFRの厚さの値を用いることができる。新品のフォーカスリングFRの厚さは、ユーザインターフェース103等から入力させて記憶部104に記憶させ、記憶部104に記憶された値を用いてもよい。また、新品のフォーカスリングFRの厚さは、他の計測装置で計測された値を、ネットワーク等を介して取得してもよい。

40

【0078】

50

そして、熱流束  $q_p$ 、および、熱抵抗  $R_{th} \cdot A$  は、上記の式 (1) - (11) を算出モデルとして用いて、計測結果のフィッティングを行うことにより、求めることができる。

【0079】

すなわち、プラズマ処理装置 10 は、新品のフォーカスリング FR など、フォーカスリング FR の厚さが定まる場合、計測結果を用いて、式 (1) - (11) に対してフィッティングを行うことにより、熱流束  $q_p$  および熱抵抗  $R_{th} \cdot A$  を求めることができる。

【0080】

なお、図 5 および図 6 の定常状態は、未点火状態から、プラズマからフォーカスリング FR への入熱分が、そのままヒーター HT 2 に入熱として増加している。このため、プラズマからフォーカスリング FR への入熱量は、図 7 の期間 T 1 に示した未点火状態の供給電力と期間 T 3 に示した定常状態の供給電力の値の差から算出してもよい。例えば、熱流束  $q_p$  は、以下の (12) 式のように、プラズマからの熱流束がないとき (未点火状態) のヒータパワー  $P_{h0}$  と期間 T 3 に示した定常状態のヒータパワー  $P_h$  との差を単位面積当たり換算した値から算出できる。また、熱流束  $q_p$  は、以下の (12) 式のように、単位面積当たりのヒーター HT 2 からの発熱量  $q_{h0}$  と、単位面積当たりのヒーター HT 2 からの発熱量  $q_h$  との差から算出できる。

【0081】

$$q_p = (P_{h0} - P_h) / A = q_{h0} - q_h \quad (12)$$

【0082】

このように、プラズマ処理の際のプラズマからフォーカスリング FR への入熱量や、フォーカスリング FR と静電チャック 18 の表面間の熱抵抗が求まる。プラズマ処理装置 10 は、搬入出される各ウエハ W に同様のプラズマ処理を実施する。この場合、各プラズマ処理でのプラズマからフォーカスリング FR への入熱量や、フォーカスリング FR と静電チャック 18 の表面間の熱抵抗は、同一と見なすことができる。入熱量や熱抵抗が求まっている場合、フォーカスリング FR の厚さ  $z_{FR}$  は、以下のように求めることができる。

【0083】

例えば、プラズマ処理装置 10 は、プラズマ処理を実行し、プラズマ処理中のヒーター HT 2 のヒータパワー  $P_{h0}$  を計測する。

【0084】

プラズマを点火してからの経過時間  $t$  ごとのプラズマからの熱流束があるときのヒータパワー  $P_h$ 、および、プラズマからの熱流束がないときの定常状態でのヒータパワー  $P_{h0}$  は、プラズマ処理装置 10 での計測結果から求めることができる。そして、式 (2) に示すように、求めたヒータパワー  $P_h$  をヒーター HT 2 の面積  $A$  で除算することによって、プラズマからの熱流束があるときの単位面積当たりのヒーター HT 2 からの発熱量  $q_h$  を求めることができる。また、式 (3) に示すように、求めたヒータパワー  $P_{h0}$  をヒーター HT 2 の面積  $A$  で除算することによって、プラズマからの熱流束がないときの定常状態での単位面積当たりのヒーター HT 2 からの発熱量  $q_{h0}$  を求めることができる。熱流束  $q_p$ 、および、熱抵抗  $R_{th} \cdot A$  は、例えば、新品のフォーカスリング FR を用いて求めた値を用いる。

【0085】

そして、フォーカスリング FR の厚さ  $z_{FR}$  は、上記の式 (1) - (11) を算出モデルとして用いて、計測結果のフィッティングを行うことにより、求めることができる。

【0086】

すなわち、プラズマ処理装置 10 は、熱流束  $q_p$ 、および、熱抵抗  $R_{th} \cdot A$  が定まっている場合、計測結果を用いて、式 (1) - (11) に対してフィッティングを行うことにより、フォーカスリング FR の厚さ  $z_{FR}$  を求めることができる。

【0087】

また、図 7 に示される期間 T 2 のフォーカスリング FR の温度のグラフも、プラズマからフォーカスリング FR への入熱量や、フォーカスリング FR と静電チャック 18 の表面間の熱抵抗、フォーカスリング FR の厚さをパラメータとしてモデル化できる。本実施形

10

20

30

40

50

態では、期間 T 2 のフォーカスリング F R の温度の変化を単位面積当たりの式としてモデル化する。例えば、熱流束  $q_p$ 、熱抵抗  $R_{th} \cdot A$  および厚さ  $z_{FR}$  をパラメータとし、式 ( 5 ) - ( 1 1 ) に示した  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $\tau_1$ 、 $\tau_2$ 、 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  を用いた場合、フォーカスリング F R の温度  $T_{FR}$  は、以下の式 ( 1 3 ) のように表せる。

【 0 0 8 8 】

【数 2】

$$T_{FR} = T_h + q_p \cdot (R_{th} \cdot A + R_{thc} \cdot A) + \frac{q_p}{\rho_{FR} \cdot C_{FR} \cdot z_{FR} \cdot (\lambda_1 - \lambda_2)} \left\{ \left( 1 + \frac{a_2 + a_3}{a_1 \cdot a_3} \cdot \lambda_2 \right) \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) - \left( 1 + \frac{a_2 + a_3}{a_1 \cdot a_3} \cdot \lambda_1 \right) \exp\left(-\frac{t}{\tau_2}\right) \right\} \dots (13)$$

【 0 0 8 9 】

ここで、

$T_{FR}$  は、フォーカスリング F R の温度 [ ] である。

$T_h$  は、一定に制御したヒーター H T 2 の温度 [ ] である。

【 0 0 9 0 】

ヒーターの温度  $T_h$  は、実際にフォーカスリング F R の温度を一定に制御した際の条件から求めることができる。

【 0 0 9 1 】

熱流束  $q_p$ 、熱抵抗  $R_{th} \cdot A$ 、および、厚さ  $z_{FR}$  が求めた場合、フォーカスリング F R の温度  $T_{FR}$  は、式 ( 1 3 ) から算出できる。

【 0 0 9 2 】

経過時間  $t$  が、式 ( 1 0 )、( 1 1 ) に示した時定数  $\tau_1$ 、 $\tau_2$  より十分に長い場合、式 ( 1 3 ) は、以下の式 ( 1 4 ) のように省略できる。すなわち、図 7 の期間 T 3 である定常状態に移行した後のフォーカスリング F R の温度  $T_{FR}$  が目標温度となるヒーター H T 2 の温度  $T_h$  を算出する場合、式 ( 1 3 ) は、式 ( 1 4 ) のように表せる。

【 0 0 9 3 】

【数 3】

$$T_{FR} = T_h + q_p \cdot (R_{th} \cdot A + R_{thc} \cdot A) \dots (14)$$

【 0 0 9 4 】

例えば、式 ( 1 4 ) により、ヒーターの温度  $T_h$ 、熱流束  $q_p$ 、熱抵抗  $R_{th} \cdot A$ 、 $R_{thc} \cdot A$  からフォーカスリング F R の温度  $T_{FR}$  を求めることができる。

【 0 0 9 5 】

図 3 に戻る。ヒーター制御部 1 0 2 a は、各ヒーター H T の温度を制御する。例えば、ヒーター制御部 1 0 2 a は、各ヒーター H T への供給電力を指示する制御データをヒーター電源 H P へ出力して、ヒーター電源 H P から各ヒーター H T へ供給する供給電力を制御することにより、各ヒーター H T の温度を制御する。

【 0 0 9 6 】

プラズマ処理の際、ヒーター制御部 1 0 2 a には、各ヒーター H T の目標とする設定温度が設定される。例えば、ヒーター制御部 1 0 2 a には、載置領域 1 8 a の分割領域 7 5 ごとに、目標とする温度が、当該分割領域 7 5 のヒーター H T の設定温度として設定される。この目標とする温度は、例えば、プラズマエッチングの精度が最も良好となる温度である。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 9 7 】

ヒーター制御部 1 0 2 a は、プラズマ処理の際、各ヒーター H T が設定された設定温度となるよう各ヒーター H T への供給電力を制御する。例えば、ヒーター制御部 1 0 2 a は、外部インターフェース 1 0 1 に入力する温度データが示す載置領域 1 8 a の各分割領域 7 5 の温度を、分割領域 7 5 ごとに、当該分割領域 7 5 の設定温度と比較する。ヒーター制御部 1 0 2 a は、比較結果を用いて、設定温度に対して温度が低い分割領域 7 5、および、設定温度に対して温度が高い分割領域 7 5 を特定する。ヒーター制御部 1 0 2 a は、設定温度に対して温度が低い分割領域 7 5 に対する供給電力を増加させ、設定温度に対して温度が高い分割領域 7 5 に対する供給電力を減少させる制御データをヒーター電源 H P へ出力する。

10

## 【 0 0 9 8 】

計測部 1 0 2 b は、各ヒーター H T への供給電力を計測する。本実施形態では、計測部 1 0 2 b は、外部インターフェース 1 0 1 に入力する電力データが示すヒーター H T 2 への供給電力を用いて、ヒーター H T 2 への供給電力を計測する。例えば、計測部 1 0 2 b は、ヒーター制御部 1 0 2 a により、ヒーター H T 2 の温度が一定となるようヒーター H T 2 への供給電力を制御した状態で、プラズマ処理を実施して、ヒーター H T 2 への供給電力を計測する。例えば、計測部 1 0 2 b は、プラズマ処理の開始前のプラズマが未点火状態でのヒーター H T 2 への供給電力を計測する。また、計測部 1 0 2 b は、プラズマを点火してからヒーター H T 2 への供給電力が低下する傾向の変動が安定するまでの過渡状態でのヒーター H T 2 への供給電力を計測する。また、計測部 1 0 2 b は、プラズマを点火した後、ヒーター H T 2 への供給電力の低下がなくなって安定した定常状態でのヒーター H T 2 への供給電力を計測する。未点火状態でのヒーター H T 2 への供給電力は、少なくとも 1 つ計測されていればよく、複数回計測して平均値を未点火状態の供給電力としてもよい。過渡状態および定常状態でのヒーター H T 2 への供給電力は、2 回以上計測されていればよい。供給電力を計測する計測タイミングは、供給電力が低下する傾向が大きいタイミングを含むことが好ましい。また、計測タイミングは、計測回数が少ない場合、所定期間以上離れていることが好ましい。本実施形態では、計測部 1 0 2 b は、プラズマ処理の期間中、所定周期（例えば、0 . 1 秒周期）でヒーター H T 2 への供給電力を計測する。これにより、過渡状態および定常状態でのヒーター H T 2 への供給電力が多数計測される。

20

30

## 【 0 0 9 9 】

計測部 1 0 2 b は、所定のサイクルで、未点火状態と、過渡状態のヒーター H T 2 への供給電力を計測する。例えば、計測部 1 0 2 b は、フォーカスリング F R が交換され、消耗していない新品のフォーカスリング F R とウエハ W を載置台 1 6 に載置してプラズマ処理を行う際に、未点火状態と、過渡状態のヒーター H T 2 への供給電力を計測する。また、計測部 1 0 2 b は、ウエハ W が交換され、交換されたウエハ W を載置台 1 6 に載置してプラズマ処理を行う際に、毎回、未点火状態と、過渡状態のヒーター H T 2 への供給電力を計測する。なお、例えば、パラメータ算出部 1 0 2 c は、プラズマ処理ごとに、未点火状態と、過渡状態のヒーター H T 2 への供給電力を計測してもよい。

## 【 0 1 0 0 】

パラメータ算出部 1 0 2 c は、新品のフォーカスリング F R を載置台 1 6 に載置してプラズマ処理を実行した際に計測部 1 0 2 b により計測された未点火状態と過渡状態の供給電力を用いて、入熱量および熱抵抗を算出する。

40

## 【 0 1 0 1 】

まず、パラメータ算出部 1 0 2 c は、未点火状態で温度を所定の温度に維持するためのヒーター H T 2 での発熱量を算出する。例えば、パラメータ算出部 1 0 2 c は、未点火状態でのヒーター H T 2 への供給電力から、未点火状態のヒータパワー  $P_{h0}$  を算出する。

## 【 0 1 0 2 】

そして、パラメータ算出部 1 0 2 c は、フォーカスリング F R と載置台 1 6 との間の熱抵抗、点火状態でプラズマから載置台 1 6 に流入する入熱量を算出する。例えば、パラメ

50

ータ算出部 102c は、入熱量および熱抵抗をパラメータとし、過渡状態の供給電力を算出する算出モデルに対して、未点火状態と過渡状態の供給電力を用いてフィッティングを行って、入熱量および熱抵抗を算出する。

【0103】

例えば、パラメータ算出部 102c は、経過時間  $t$  ごとの未点火状態でのヒーター HT2 のヒータパワー  $P_{h0}$  を求める。また、パラメータ算出部 102c は、経過時間  $t$  ごとの過渡状態でのヒーター HT2 のヒータパワー  $P_h$  を求める。パラメータ算出部 102c は、求めたヒータパワー  $P_{h0}$  をヒーター HT2 の面積  $A$  で除算することによって、経過時間  $t$  ごとの未点火状態の単位面積当たりのヒーター HT2 からの発熱量  $q_{h0}$  を求める。また、パラメータ算出部 102c は、求めたヒータパワー  $P_h$  をヒーター HT2 の面積  $A$  で除算することによって、経過時間  $t$  ごとの過渡状態の単位面積当たりのヒーター HT2 からの発熱量  $q_h$  を求める。

10

【0104】

そして、パラメータ算出部 102c は、上記の式 (1) - (11) を算出モデルとして用いて、経過時間  $t$  ごとの発熱量  $q_h$  および発熱量  $q_{h0}$  のフィッティングを行い、誤差が最も小さくなる熱流束  $q_p$  および熱抵抗  $R_{th} \cdot A$  を算出する。フォーカスリング FR の厚さ  $z_{FR}$  は、新品のフォーカスリング FR の厚さの値を用いる。

【0105】

なお、パラメータ算出部 102c は、未点火状態の供給電力と定常状態の供給電力の差からプラズマからウエハ W への入熱量を算出してもよい。例えば、パラメータ算出部 102c は、(12) 式を用いて、未点火状態のヒータパワー  $P_{h0}$  と定常状態のヒータパワー  $P_h$  との差をヒーター HT2 の面積  $A$  で除算することから熱流束  $q_p$  を算出してもよい。

20

【0106】

なお、プラズマ処理装置 10 でのプラズマ処理の際に熱流束  $q_p$  および熱抵抗  $R_{th} \cdot A$  が実験や他の手法などで事前に判明している場合、熱流束  $q_p$  および熱抵抗  $R_{th} \cdot A$  は、算出しなくてもよい。

【0107】

次に、パラメータ算出部 102c は、ウエハ W が交換され、交換されたウエハ W を載置台 16 に載置してプラズマ処理を行う際に計測部 102b により計測された未点火状態と過渡状態の供給電力を用いて、フォーカスリング FR の厚さ  $z_{FR}$  を算出する。

30

【0108】

まず、パラメータ算出部 102c は、未点火状態で温度を所定の温度に維持するためのヒーター HT2 での発熱量を算出する。例えば、パラメータ算出部 102c は、未点火状態でのヒーター HT2 への供給電力から、未点火状態のヒータパワー  $P_{h0}$  を算出する。

【0109】

そして、パラメータ算出部 102c は、フォーカスリング FR の厚さ  $z_{FR}$  を算出する。例えば、パラメータ算出部 102c は、フォーカスリング FR の厚さ  $z_{FR}$  をパラメータとし、過渡状態の供給電力を算出する算出モデルに対して、未点火状態と過渡状態の供給電力を用いてフィッティングを行って、フォーカスリング FR の厚さ  $z_{FR}$  を算出する。

【0110】

例えば、パラメータ算出部 102c は、経過時間  $t$  ごとの未点火状態でのヒーター HT2 のヒータパワー  $P_{h0}$  を求める。また、パラメータ算出部 102c は、経過時間  $t$  ごとの過渡状態でのヒーター HT2 のヒータパワー  $P_h$  を求める。パラメータ算出部 102c は、求めたヒータパワー  $P_{h0}$  をヒーター HT2 の面積  $A$  で除算することによって、経過時間  $t$  ごとの未点火状態の単位面積当たりのヒーター HT2 からの発熱量  $q_{h0}$  を求める。また、パラメータ算出部 102c は、求めたヒータパワー  $P_h$  をヒーター HT2 の面積  $A$  で除算することによって、経過時間  $t$  ごとの過渡状態の単位面積当たりのヒーター HT2 からの発熱量  $q_h$  を求める。

40

【0111】

そして、パラメータ算出部 102c は、上記の式 (1) - (11) を算出モデルとして

50

用いて、フォーカスリングFRの厚さ $z_{FR}$ のフィッティングを行い、誤差が最も小さくなるフォーカスリングFRの厚さ $z_{FR}$ を算出する。熱流束 $q_p$ 、および、熱抵抗 $R_{th} \cdot A$ は、例えば、新品のフォーカスリングFRを用いて求めた値を用いる。なお、熱流束 $q_p$ および熱抵抗 $R_{th} \cdot A$ が実験や他の手法などで事前に判明している場合は、判明している熱流束 $q_p$ および熱抵抗 $R_{th} \cdot A$ の値を用いてもよい。

【0112】

これにより、本実施形態に係るプラズマ処理装置10は、消耗したフォーカスリングFRの厚さ $z_{FR}$ を厚さを求めることができる。

【0113】

ここで、プラズマ処理を続けると、フォーカスリングFRは、消耗する。このため、プラズマ処理装置は、適時、フォーカスリングFRの厚みを把握することは重要である。しかし、フォーカスリングFRは処理容器12内に設置されているため、直接測ることができない。そこで、従来、プラズマ処理装置では、処理したウエハWの枚数など過去の実績から交換時期を決めたり、外周のエッチング特性をモニターするウエハWを定期的に処理してフォーカスリングを交換すべきか否かを判断している。

10

【0114】

しかし、プラズマ処理装置は、異なるプロセスレシピでの処理を行われることがある。このため、プラズマ処理装置は、過去の実績にある程度マージンを持たせた交換時期を用いねばならず、プラズマ処理装置の生産性が低下する。また、モニターするウエハWを定期的に処理することもプラズマ処理装置の生産性を低下させる。

20

【0115】

そこで、例えば、処理容器12内にセンサを配置してセンサでフォーカスリングFRの厚さを計測することが考えられる。しかし、プラズマ処理装置10は、処理容器12内にセンサを配置すると、製造コストが上昇する。また、プラズマ処理装置10は、処理容器12内にセンサを配置すると、センサが特異点となり、特異点の周囲でプラズマ処理の均一性が低下する。このため、プラズマ処理装置では、処理容器12内にセンサを配置することなくフォーカスリングFRの厚さを求めることが好ましい。

【0116】

本実施形態に係るプラズマ処理装置10は、処理容器12内にセンサを配置することなくフォーカスリングFRの厚さを求めることができ、フォーカスリングFRの厚さからフォーカスリングFRの消耗割合を求めることができる。このように、本実施形態に係るプラズマ処理装置10は、フォーカスリングFRの厚さを求めることができたため、次のように使用することもできる。例えば、プラズマ処理装置10を複数配置し、ウエハWのエッチングを行うシステムにおいて、フォーカスリングFRの消耗量が少ないプラズマ処理装置10で処理するウエハWを増やすように制御し、プラズマ処理装置10のメンテナンスタイミングを合わせる。これにより、システム全体でのメンテナンスでの停止時間を短くでき、生産性を向上させることができる。

30

【0117】

設定温度算出部102dは、算出された入熱量、熱抵抗、フォーカスリングFRの厚さ $z_{FR}$ を用いて、フォーカスリングFRが目標温度となるヒーターHT2の設定温度を算出する。例えば、設定温度算出部102dは、算出された熱流束 $q_p$ 、熱抵抗 $R_{th} \cdot A$ 、および、フォーカスリングFRの厚さ $z_{FR}$ を式(5)、(6)、(12)に代入して、式(5)-(11)に示した $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $1$ 、 $2$ 、 $1$ 、 $2$ を求める。設定温度算出部102dは、求めた $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $1$ 、 $2$ 、 $1$ 、 $2$ を用いて、式(12)からフォーカスリングFRの温度 $T_{FR}$ が目標温度となるヒーターHT2の温度 $T_h$ を算出する。例えば、設定温度算出部102dは、経過時間 $t$ を定常状態とみなせる程度の大きい所定の値として、フォーカスリングFRの温度 $T_{FR}$ が目標温度となるヒーターHT2の温度 $T_h$ を算出する。算出されるヒーターHT2の温度 $T_h$ は、フォーカスリングFRの温度が目標温度となるヒーターHT2の温度である。なお、フォーカスリングFRの温度が目標温度となるヒーターHT2の温度 $T_h$ は、式(13)から求めてもよい。

40

50

## 【 0 1 1 8 】

なお、設定温度算出部 1 0 2 d は、式 ( 1 4 ) から現在のヒーター H T 2 の温度  $T_h$  でフォーカスリング F R の温度  $T_{FR}$  を算出してもよい。例えば、設定温度算出部 1 0 2 d は、現在のヒーター H T 2 の温度  $T_h$  で、経過時間  $t$  を定常状態とみなせる程度の大きい所定の値とした場合のフォーカスリング F R の温度  $T_{FR}$  を算出する。次に、設定温度算出部 1 0 2 d は、算出した温度  $T_{FR}$  と目標温度との差分  $T_W$  を算出する。そして、設定温度算出部 1 0 2 d は、現在のヒーター H T 2 の温度  $T_h$  から差分  $T_W$  の減算を行った温度を、フォーカスリング F R の温度が目標温度となるヒーター H T 2 の温度と算出してもよい。

## 【 0 1 1 9 】

設定温度算出部 1 0 2 d は、ヒーター制御部 1 0 2 a のヒーター H T 2 の設定温度を、フォーカスリング F R の温度が目標温度となるヒーター H T 2 の温度に修正する。

## 【 0 1 2 0 】

これにより、本実施形態に係るプラズマ処理装置 1 0 は、プラズマ処理中のフォーカスリング F R の温度を目標温度に精度よく制御できる。

## 【 0 1 2 1 】

アラート部 1 0 2 e は、パラメータ算出部 1 0 2 c により所定のサイクルで算出されるフォーカスリング F R の厚さ  $z_{FR}$  の変化に基づき、アラートを行う。例えば、アラート部 1 0 2 e は、フォーカスリング F R の厚さ  $z_{FR}$  が交換時期を示す所定の規定値以下となった場合、アラートを行う。アラートは、工程管理者やプラズマ処理装置 1 0 の管理者などに交換時期を報知できれば、何れの方式でもよい。例えば、アラート部 1 0 2 e は、ユーザインターフェース 1 0 3 に交換時期を報知するメッセージを表示する。

## 【 0 1 2 2 】

これにより、本実施形態に係るプラズマ処理装置 1 0 は、フォーカスリング F R が消耗して交換時期となったことを報知できる。

## 【 0 1 2 3 】

## [ 処理の流れ ]

次に、プラズマ処理装置 1 0 がフォーカスリング F R の厚さを算出する算出処理を含み、算出されたフォーカスリング F R の厚さからフォーカスリング F R の交換時期を判定する判定処理の流れについて説明する。図 8 は、第 1 実施形態に係る判定処理の流れの一例を示すフローチャートである。この判定処理は、所定のタイミング、例えば、プラズマ処理装置 1 0 がプラズマ処理を開始するタイミングでそれぞれ実行される。

## 【 0 1 2 4 】

ヒーター制御部 1 0 2 a は、各ヒーター H T が設定温度となるよう各ヒーター H T への供給電力を制御する ( ステップ S 1 0 ) 。

## 【 0 1 2 5 】

計測部 1 0 2 b は、ヒーター制御部 1 0 2 a が各ヒーター H T の温度が一定の設定温度となるよう各ヒーター H T への供給電力を制御している状態で、未点火状態と過渡状態でのヒーター H T 2 への供給電力を計測する ( ステップ S 1 1 ) 。

## 【 0 1 2 6 】

パラメータ算出部 1 0 2 c は、フォーカスリング F R の厚さが既知であるか判定する ( ステップ S 1 2 ) 。

例えば、フォーカスリング F R が交換された後の最初のプラズマ処理である場合、フォーカスリング F R が新品であれば、設計寸法が分かっており、フォーカスリングの厚さが既知であると判定する。また、中古のフォーカスリング F R に交換する場合、交換前に予めマイクロメーターなどでフォーカスリング F R の厚さを計測していれば、フォーカスリング F R の厚さは既知であると判断する。なお、フォーカスリング F R の厚さが既知であるか否かをユーザインターフェース 1 0 3 から入力させ、パラメータ算出部 1 0 2 c は、入力結果を用いてフォーカスリング F R の厚さが既知であるか否か判定してもよい。例えば、プラズマ処理装置 1 0 は、ユーザインターフェース 1 0 3 からフォーカスリング F R の厚さを入力可能とする。パラメータ算出部 1 0 2 c は、ユーザインタ

10

20

30

40

50

ーフェース103からフォーカスリングFRの厚さが入力された場合、フォーカスリングFRの厚さが既知であるか否か判定してもよい。なお、新品のフォーカスリングFRなど、厚さが既知のフォーカスリングFRの厚さの値を記憶部104に記憶させておき、ユーザインターフェース103からフォーカスリングFRの厚さを選択的に入力可能としてもよい。

【0127】

フォーカスリングFRの厚さが既知である場合（ステップS12：Yes）、パラメータ算出部102cは、計測部102bにより計測された未点火状態と過渡状態の供給電力を用いて、熱抵抗および入熱量を算出する（ステップS13）。例えば、パラメータ算出部102cは、上記の式（1）-（11）を算出モデルとして用いて、経過時間tごとの発熱量 $q_h$ および発熱量 $q_{h0}$ のフィッティングを行い、誤差が最も小さくなる熱流束 $q_p$ および熱抵抗 $R_{th} \cdot A$ を算出する。フォーカスリングFRの厚さ $z_{FR}$ は、既知であるフォーカスリングFRの厚さの値を用いる。

10

【0128】

パラメータ算出部102cは、算出された熱流束 $q_p$ および熱抵抗 $R_{th} \cdot A$ を記憶部104に記憶し（ステップS14）、処理を終了する。

【0129】

フォーカスリングFRの厚さが既知ではない場合（ステップS12：No）、パラメータ算出部102cは、計測部102bにより計測された未点火状態と過渡状態の供給電力を用いて、フォーカスリングFRの厚さ $z_{FR}$ を算出する（ステップS15）。例えば、パラメータ算出部102cは、上記の式（1）-（11）を算出モデルとして用いて、フォーカスリングFRの厚さ $z_{FR}$ のフィッティングを行い、誤差が最も小さくなるフォーカスリングFRの厚さ $z_{FR}$ を算出する。熱流束 $q_p$ 、および、熱抵抗 $R_{th} \cdot A$ は、例えば、ステップS14で記憶部104に記憶した値を用いる。

20

【0130】

アラート部102eは、パラメータ算出部102cにより算出されたフォーカスリングFRの厚さ $z_{FR}$ が所定の規定値以下であるかを判定する（ステップS16）。フォーカスリングFRの厚さ $z_{FR}$ が所定の規定値以下ではない場合（ステップS16：No）、処理を終了する。

【0131】

一方、フォーカスリングFRの厚さ $z_{FR}$ が所定の規定値以下である場合（ステップS16：Yes）、アラート部102eは、アラートを行い（ステップS17）、処理を終了する。

30

【0132】

このように、本実施形態に係るプラズマ処理装置10は、載置台16と、ヒーター制御部102aと、計測部102bと、パラメータ算出部102cとを有する。載置台16は、プラズマ処理により消耗するフォーカスリングFRが載置される載置面の温度を調整可能なヒーターHT2が設けられている。ヒーター制御部102aは、ヒーターHT2が設定された設定温度となるようヒーターHT2への供給電力を制御する。計測部102bは、ヒーター制御部102aにより、ヒーターHT2の温度が一定となるようヒーターHT2への供給電力を制御して、プラズマを点火して無い未点火状態と、プラズマを点火してからヒーターHT2への供給電力が低下する過渡状態での供給電力を計測する。パラメータ算出部102cは、フォーカスリングFRの厚さ $z_{FR}$ をパラメータとして含み、過渡状態の供給電力を算出する算出モデルに対して、計測部102bにより計測された未点火状態と過渡状態の供給電力を用いてフィッティングを行って、フォーカスリングFRの厚さ $z_{FR}$ を算出する。これにより、プラズマ処理装置10は、フォーカスリングFRの厚さを求めることができ、フォーカスリングFRの厚さからフォーカスリングFRの消耗度を求めることができる。

40

【0133】

また、計測部102bは、所定のサイクルで、未点火状態と、過渡状態での供給電力を

50

計測する。パラメータ算出部 102c は、所定のサイクルごとに、計測された未点火状態と過渡状態の供給電力を用いて、フォーカスリングFRの厚さ $z_{FR}$ をそれぞれ算出する。アラート部 102e は、パラメータ算出部 102c により算出されるフォーカスリングFRの厚さ $z_{FR}$ の変化に基づき、アラートを行う。これにより、プラズマ処理装置 10 は、フォーカスリングFRが消耗して交換時期となったことを報知できる。

【0134】

(第2実施形態)

次に、第2実施形態に係るプラズマ処理装置 10 の概略的な構成を説明する。図 9 は、第2実施形態に係るプラズマ処理装置の概略的な構成の一例を示す断面図である。第2実施形態に係るプラズマ処理装置 10 は、図 1 に示す第1実施形態に係るプラズマ処理装置 10 と一部同様の構成であるため、同一部分に同一の符号を付して説明を省略し、異なる部分について主に説明する。

【0135】

第2実施形態に係る載置台 16 は、ウエハWを支持する第1の載置台 60 と、フォーカスリングFRを支持する第2の載置台 70 とに分かれている。

【0136】

第1の載置台 60 は、上下方向に底面を向けた略円柱状を呈しており、上側の底面がウエハWの載置される載置面 60d とされている。第1の載置台 60 の載置面 60d は、ウエハWと同程度のサイズとされている。第1の載置台 60 は、静電チャック 61 と、基台 62 とを有する。

【0137】

基台 62 は、導電性の金属、例えば表面に陽極酸化被膜が形成されたアルミニウム等で構成されている。基台 62 は、下部電極として機能する。基台 62 は、絶縁体の支持部 14 に支持されている。

【0138】

静電チャック 61 は、上面が平坦な円盤状とされ、当該上面がウエハWの載置される載置面 60d とされている。静電チャック 61 は、平面視において第1の載置台 60 の中央に設けられている。静電チャック 61 は、電極 E1 が設けられている。また、静電チャック 61 は、ヒーター HT1 が設けられている。

【0139】

第1の載置台 60 は、外周面に沿って周囲に第2の載置台 70 が設けられている。第2の載置台 70 は、内径が第1の載置台 60 の外径よりも所定サイズ大きい円筒状に形成され、第1の載置台 60 と軸を同じとして配置されている。第2の載置台 70 は、上側の面がフォーカスリングFRの載置される載置面 70d とされている。

【0140】

第2の載置台 70 は、基台 71 と、フォーカスリングヒータ 72 とを有する。基台 71 は、基台 62 と同様の導電性の金属、例えば表面に陽極酸化被膜が形成されたアルミニウム等で構成されている。基台 71 は、下部が、上部よりも径方向に大きく、第2の載置台 70 の下部の位置まで平板状に形成されている。基台 71 は、基台 62 に支持されている。フォーカスリングヒータ 72 は、基台 71 に支持されている。フォーカスリングヒータ 72 は、上面が平坦な環状の形状とされ、当該上面がフォーカスリングFRの載置される載置面 70d とされている。フォーカスリングヒータ 72 は、ヒーター HT2 が設けられている。

【0141】

基台 62 の内部には、冷媒流路 24a が形成されている。冷媒流路 24a には、チラーユニットから配管 26a を介して冷媒が供給される。冷媒流路 24a に供給された冷媒は、配管 26b を介してチラーユニットに戻る。また、基台 71 の内部には、冷媒流路 24b が形成されている。冷媒流路 24b には、チラーユニットから配管 27a を介して冷媒が供給される。冷媒流路 24b に供給された冷媒は、配管 27b を介してチラーユニットに戻る。冷媒流路 24a は、ウエハWの下方に位置してウエハWの熱を吸熱するように機

10

20

30

40

50

能する。冷媒流路 24b は、フォーカスリング FR の下方に位置してフォーカスリング FR の熱を吸熱するように機能する。

【0142】

一方、第 1 の載置台 60 の上方には、第 1 の載置台 60 に平行に対面するように、上部電極 30 が設けられている。上部電極 30 は、複数の電磁石 80 が上面に配置されている。本実施形態では、3 つの電磁石 80a ~ 80c が上面に配置されている。電磁石 80a は、円盤状とされ、第 1 の載置台 60 の中央部の上部に配置されている。電磁石 80b は、円環状とされ、電磁石 80a を囲むように、第 1 の載置台 60 の周辺部の上部に配置されている。電磁石 80c は、電磁石 80b よりも大きい円環状とされ、電磁石 80b を囲むように、第 2 の載置台 70 の上部に配置されている。

10

【0143】

電磁石 80a ~ 80c は、それぞれ不図示の電源に個別に接続され、電源から供給される電力により磁場を発生する。電源が電磁石 80a ~ 80c に供給する電力は、制御部 100 によって制御可能とされている。制御部 100 は、電源を制御して電磁石 80a ~ 80c に供給される電力を制御することにより、電磁石 80a ~ 80c から発生する磁場の制御が可能とされている。

【0144】

[制御部の構成]

次に、制御部 100 について詳細に説明する。図 10 は、第 2 実施形態に係るプラズマ処理装置を制御する制御部の概略的な構成の一例を示すブロック図である。第 2 実施形態に係る制御部 100 は、図 3 に示す第 1 実施形態に係る制御部 100 と一部同様の構成であるため、同一部分に同一の符号を付して説明を省略し、異なる部分について主に説明する。

20

【0145】

記憶部 104 には、補正情報 104a が格納されている。なお、補正情報 104a は、コンピュータで読み取り可能なコンピュータ記録媒体（例えば、ハードディスク、DVD などの光ディスク、フレキシブルディスク、半導体メモリ等）に記憶されていてもよい。また、補正情報 104a は、他の装置に記憶され、例えば専用回線を介してオンラインで読み出して利用されてもよい。

【0146】

補正情報 104a は、プラズマ処理の条件の補正に用いる各種の情報が記憶されたデータである。補正情報 104a の詳細は、後述する。

30

【0147】

プロセスコントローラ 102 は、プラズマ制御部 102f の機能をさらに有する。

【0148】

ところで、プラズマ処理装置 10 では、エッチングの際、処理容器 12 内にプラズマを生成するが、フォーカスリング FR の消耗によって、プラズマシースの高さが変化し、エッチング特性が変化する。

【0149】

図 11 は、プラズマシースの状態の一例を模式的に示した図である。図 11 には、載置台に置かれたウエハ W とフォーカスリング FR とが示されている。なお、図 11 では、第 1 の載置台 60 と第 2 の載置台 70 をまとめて載置台として示している。Dwaf er は、ウエハ W の厚さである。d w a f e r は、ウエハ W の上面からウエハ W 上のプラズマシース (Sheath) の界面までの高さである。厚さ  $D_a$  は、ウエハ W が載置される載置台の載置面とフォーカスリング FR が載置される載置台の載置面との高さの差である。例えば、厚さ  $D_a$  は、第 2 実施形態では、第 1 の載置台 60 の載置面 60d と第 2 の載置台 70 の載置面 70d との高さの差である。厚さ  $D_a$  は、第 1 の載置台 60 と第 2 の載置台 70 の構成に応じて、固定値として定まる。厚さ  $z_{FR}$  は、フォーカスリング FR の厚さである。厚さ  $d_{FR}$  は、フォーカスリング FR の上面からフォーカスリング FR 上のプラズマシース (Sheath) の界面までの高さである。

40

50

## 【 0 1 5 0 】

ウエハW上のプラズマシースの界面とフォーカスリングFR上のプラズマシースの界面との差  $D_{wafer-FR}$  は、以下の式 ( 1 5 ) のように表せる。

## 【 0 1 5 1 】

$$D_{wafer-FR} = (D_a + D_{wafer} + d_{wafer}) - (z_{FR} + d_{FR}) \quad (15)$$

## 【 0 1 5 2 】

例えば、フォーカスリングFRの消耗によって、フォーカスリングFRの厚さ  $z_{FR}$  が薄くなった場合、差  $D_{wafer-FR}$  が変化する。このため、プラズマ処理装置 1 0 では、エッチング特性が変化する。

10

## 【 0 1 5 3 】

ところで、プラズマ処理装置 1 0 では、電磁石 8 0 a ~ 8 0 c からの磁力によってプラズマの状態が変化する。図 1 2 A は、磁場強度とプラズマの電子密度の関係の一例を示すグラフである。図 1 2 A に示すように、プラズマにかかる磁力の磁場強度と、プラズマの電子密度には、比例関係がある。

## 【 0 1 5 4 】

プラズマの電子密度とプラズマシースの厚さには、以下の式 ( 1 6 ) の関係がある。

## 【 0 1 5 5 】

## 【 数 4 】

$$\text{Sheath thickness} = \frac{\sqrt{2}}{3} \left( \frac{\epsilon_0 T_e}{e \cdot N_e} \right) \left( \frac{2V_{dc}}{T_e} \right)^{3/4} \quad \dots (16)$$

20

## 【 0 1 5 6 】

ここで、 $N_e$  は、プラズマの電子密度である。 $T_e$  は、プラズマの電子温度 [ e v ] である。 $V_{dc}$  は、プラズマとの電位差である。 $V_{dc}$  は、ウエハW上部のプラズマの場合、プラズマとウエハWとの電位差であり、フォーカスリングFR上部のプラズマの場合、プラズマとフォーカスリングFRとの電位差である。

## 【 0 1 5 7 】

式 ( 1 6 ) に示すように、プラズマシースの厚さは、電子密度  $N_e$  に反比例する。よって、プラズマにかかる磁力の磁場強度と、プラズマの電子密度には、反比例の関係がある。図 1 2 B は、磁場強度とプラズマシースの厚さの関係の一例を示すグラフである。図 1 2 B に示すように、プラズマシースの厚さは、プラズマにかかる磁力の磁場強度に反比例する。

30

## 【 0 1 5 8 】

そこで、第 2 実施形態に係るプラズマ処理装置 1 0 では、フォーカスリングFRの消耗によるエッチング特性の変化を抑制するように、電磁石 8 0 a ~ 8 0 c から発生させる磁力の磁場強度を制御する。

## 【 0 1 5 9 】

図 1 0 に戻る。第 2 実施形態に係る補正情報 1 0 4 a は、フォーカスリングFRの厚さごとに、電磁石 8 0 a ~ 8 0 c へ供給する電力の補正値を記憶する。例えば、ウエハW上のプラズマシースの界面とフォーカスリングFR上のプラズマシースの界面との差  $D_{wafer-FR}$  が所定範囲内となるような磁場強度が得られる電磁石 8 0 a ~ 8 0 c の電力量を実験的に計測する。例えば、電磁石 8 0 に電源から交流電力を供給する場合、交流の電圧、周波数、電力パワーの何れか変化させ、変化させた交流の電圧、周波数、電力パワーの何れかを電力量として計測する。また、電磁石 8 0 に電源から直流電力を供給する場合、直流の電圧、電流量の何れか変化させ、変化させた直流の電圧、電流量の何れかを電力量として計測する。所定範囲は、例えば、ウエハWにエッチングした際のホルルの角度が、許容される精度内となる  $D_{wafer-FR}$  の範囲である。補正情報 1 0 4 a には、計測結果に基づき、フォーカスリングFRの厚さごとに、差  $D_{wafer-FR}$  が所定

40

50

範囲内となる電磁石 80 a ~ 80 c の供給電力の補正値を記憶させる。補正値は、差  $D_{wafer-FR}$  が所定範囲内となる電力量の値そのものであってもよく、プラズマ処理の際に電磁石 80 a ~ 80 c へ供給する標準の電力量に対する差分値であってもよい。本実施形態では、補正値は、電磁石 80 a ~ 80 c へ供給する電力量の値そのものとする。

#### 【0160】

ここで、第2実施形態に係るプラズマ処理装置 10 は、電磁石 80 c の供給電力を補正することで、フォーカスリング FR の上部に形成されるプラズマシースの界面の高さを補正するものとする。補正情報 104 a には、フォーカスリング FR の厚さごとに、電磁石 80 c の供給電力の補正値を記憶させる。なお、プラズマ処理装置 10 は、電磁石 80 a、80 b の供給電力を補正して、ウエハ W の上部に形成されるプラズマシースの界面の高さを補正してもよい。この場合、補正情報 104 a には、フォーカスリング FR の厚さごとに、電磁石 80 a、80 b の供給電力の補正値を記憶させる。また、プラズマ処理装置 10 は、電磁石 80 a ~ 80 c の供給電力を補正して、フォーカスリング FR の上部に形成されるプラズマシースの界面の高さとウエハ W の上部に形成されるプラズマシースの界面の高さをそれぞれ補正してもよい。この場合、補正情報 104 a には、フォーカスリング FR の厚さごとに、電磁石 80 a ~ 80 c の供給電力の補正値を記憶させる。

#### 【0161】

プラズマ制御部 102 f は、ウエハ W 上のプラズマシースの界面とフォーカスリング FR 上のプラズマシースの界面との差  $D_{wafer-FR}$  が所定範囲内となるようにプラズマ処理を制御する。

#### 【0162】

プラズマ制御部 102 f は、パラメータ算出部 102 c により算出されたフォーカスリング FR の厚さ  $z_{FR}$  に基づき、電磁石 80 a ~ 80 c の磁力を制御する。例えば、プラズマ制御部 102 f は、フォーカスリング FR の厚さ  $z_{FR}$  に対応する電磁石 80 a ~ 80 c の供給電力の補正値を補正情報 104 a から読み出す。そして、プラズマ制御部 102 f は、プラズマ処理の際に、読み出した補正値の電力が電磁石 80 a ~ 80 c へ供給されるように、電磁石 80 a ~ 80 c に接続された電源を制御する。本実施形態では、プラズマ制御部 102 f は、電磁石 80 c へ補正値の電力が供給されるように、電磁石 80 c に接続された電源を制御する。

#### 【0163】

これにより、プラズマ処理装置 10 では、ウエハ W 上のプラズマシースの界面とフォーカスリング FR 上のプラズマシースの界面との差  $D_{wafer-FR}$  が所定範囲内となる。この結果、プラズマ処理装置 10 では、フォーカスリング FR の消耗によるエッチング特性の変化を抑制できる。

#### 【0164】

次に、第2実施形態に係るプラズマ処理装置 10 を用いたプラズマ制御処理について説明する。図 13 は、第2実施形態に係る判定処理の流れの一例を示すフローチャートである。第2実施形態に係る判定処理は、図 8 に示す第1実施形態に係る判定処理と一部同様の処理であるため、同一部分に同一の符号を付して説明を省略し、異なる部分について主に説明する。

#### 【0165】

プラズマ制御部 102 f は、パラメータ算出部 102 c により算出されたフォーカスリング FR の厚さ  $z_{FR}$  に基づき、プラズマ処理を制御する（ステップ S18）。例えば、プラズマ制御部 102 f は、フォーカスリング FR の厚さ  $z_{FR}$  に基づき、ウエハ W 上のプラズマシースの界面とフォーカスリング FR 上のプラズマシースの界面との差  $D_{wafer-FR}$  が所定範囲内となるように電磁石 80 a ~ 80 c の磁力を制御する。

#### 【0166】

以上のように、第2実施形態に係るプラズマ処理装置 10 は、プラズマ制御部 102 f をさらに有する。プラズマ制御部 102 f は、フォーカスリング FR の厚さ  $z_{FR}$  に基づき、ウエハ W の上部に形成されるプラズマシースの界面の高さとフォーカスリング FR の

10

20

30

40

50

上部に形成されるプラズマシースの界面の高さとの差が所定範囲内となるようにプラズマ処理を制御する。これにより、プラズマ処理装置 10 は、ウエハ W ごとのエッチング特性にばらつきを抑制できる。

【0167】

また、第 2 実施形態に係るプラズマ処理装置 10 は、ウエハ W 及びフォーカスリング F R の少なくとも一方に並列に配置された少なくとも 1 つの電磁石 80 をさらに有する。プラズマ制御部 102 f は、フォーカスリング F R の厚さ  $z_{FR}$  に基づき、電磁石 80 へ供給される電力を制御することで、ウエハ W の上部に形成されるプラズマシースの界面の高さとフォーカスリング F R の上部に形成されるプラズマシースの界面の高さとの差が所定範囲内となるように電磁石 80 の磁力を制御する。これにより、プラズマ処理装置 10 は、ウエハ W ごとのエッチング特性にばらつきを抑制できる。

10

【0168】

なお、図 13 に示した第 2 実施形態に係る判定処理では、ステップ S 18 をステップ S 15 の後に実行する場合を例に説明したが、これに限定されるものではない。例えば、ステップ S 18 は、ステップ S 15 で用いられたウエハ W におけるプラズマ処理にて連続的に実行してもよい。また、ステップ S 18 は、ステップ S 15 で用いられたウエハ W におけるプラズマ処理を終了して、次のウエハ W 以降のプラズマ処理の時に実行してもよい。

【0169】

ステップ S 18 をステップ S 15 で用いられたウエハ W におけるプラズマ処理にて連続的に実行する場合、図 7 の期間 T3 において、プラズマ制御部 102 f は、電磁石 80 a ~ 80 c の磁力を制御することとなる。

20

【0170】

ステップ S 18 をステップ S 15 で用いられたウエハ W におけるプラズマ処理を終了して、次のウエハ W 以降のプラズマ処理の時に実行する場合、プラズマ制御部 102 f は、プラズマ着火時から、電磁石 80 a ~ 80 c の磁力を制御することとなる。電磁石 80 a ~ 80 c の磁力を当初の設定値から変化させた場合、図 12 A で示す通りプラズマの電子密度が増減するので、プラズマからフォーカスリング F R への入熱量も増減することとなる。この場合、ステップ 15 で算出されたフォーカスリング F R の厚さ  $z_{FR}$  を既知のフォーカスリング F R の厚さとして、再びステップ S 13、ステップ S 14 を実行することによって、制御された電磁石 80 a ~ 80 c の磁力における熱抵抗  $R_{th} \cdot A$  およびプラズマからの熱流束  $q_p$  を算出し、新たな熱抵抗  $R_{th} \cdot A$  およびプラズマからの熱流束  $q_p$  として記憶部 104 に記憶することが望ましい。

30

【0171】

また、図 13 に示した第 2 実施形態に係る判定処理では、ステップ S 18 をステップ S 15 とステップ S 16 の間で実行する場合を例に説明したが、これに限定されるものではない。例えば、ステップ S 18 は、ステップ 16 : No、すなわちフォーカスリング F R の厚さ  $z_{FR}$  が所定の規定値以下ではないと判定された後で実行してもよい。これにより、フォーカスリング F R の厚さ  $z_{FR}$  が所定の規定値以下であると判断されるにも関わらず、ウエハ W がプラズマ処理されることによって、再現性の悪化を最小限に抑えることができる。

40

【0172】

(第 3 実施形態)

次に、第 3 実施形態について説明する。図 14 は、第 3 実施形態に係るプラズマ処理装置の概略的な構成の一例を示す断面図である。第 3 実施形態に係るプラズマ処理装置 10 は、図 9 に示す第 2 実施形態に係るプラズマ処理装置 10 と一部同様の構成であるため、同一部分に同一の符号を付して説明を省略し、異なる部分について主に説明する。

【0173】

第 3 実施形態に係る第 2 の載置台 70 は、フォーカスリング F R を載置する載置面 70 d に電極がさらに設けられている。例えば、第 2 の載置台 70 では、フォーカスリングヒータ 72 の内部に、周方向に沿って、全周に電極 73 がさらに設けられている。電極 73

50

は、配線を介して電源 7 4 が電氣的に接続されている。第 3 実施形態に係る電源 7 4 は、直流電源であり、電極 7 3 に直流電圧を印加する。

【 0 1 7 4 】

ところで、プラズマは、周辺の電氣的な特性の変化によって状態が変化する。例えば、フォーカスリング F R の上部のプラズマは、電極 7 3 に印加される直流電圧の大きさによって状態が変化し、プラズマシースの厚さが変化する。

【 0 1 7 5 】

そこで、第 3 実施形態に係るプラズマ処理装置 1 0 では、フォーカスリング F R の消耗によるエッチング特性の変化を抑制するように、電極 7 3 に印加する直流電圧を制御する。

【 0 1 7 6 】

第 3 実施形態に係る補正情報 1 0 4 a は、フォーカスリング F R の厚さごとに、電極 7 3 に印加する直流電圧の補正值を記憶する。例えば、ウエハ W 上のプラズマシースの界面とフォーカスリング F R 上のプラズマシースの界面との差  $D_{wafer-FR}$  が所定範囲内となる、電極 7 3 に印加する直流電圧を実験的に計測する。補正情報 1 0 4 a には、計測結果に基づき、フォーカスリング F R の厚さごとに、差  $D_{wafer-FR}$  が所定範囲内となる、電極 7 3 に印加する直流電圧の補正值を記憶させる。補正值は、差  $D_{wafer-FR}$  が所定範囲内となる直流電圧の値そのものであってもよく、プラズマ処理の際に電極 7 3 に印加する標準的な直流電圧に対する差分値であってもよい。本実施形態では、補正值は、電極 7 3 に印加する直流電圧の値そのものとする。

【 0 1 7 7 】

プラズマ制御部 1 0 2 f は、パラメータ算出部 1 0 2 c により算出されたフォーカスリング F R の厚さ  $z_{FR}$  に基づき、電極 7 3 に印加する直流電圧を制御する。例えば、プラズマ制御部 1 0 2 f は、フォーカスリング F R の厚さ  $z_{FR}$  に対応する電極 7 3 に印加する直流電圧の補正值を補正情報 1 0 4 a から読み出す。そして、プラズマ制御部 1 0 2 f は、プラズマ処理の際に、読み出した補正值の直流電圧が電極 7 3 へ供給されるように、電源 7 4 を制御する。

【 0 1 7 8 】

これにより、プラズマ処理装置 1 0 では、ウエハ W 上のプラズマシースの界面とフォーカスリング F R 上のプラズマシースの界面との差  $D_{wafer-FR}$  が所定範囲内なる。この結果、プラズマ処理装置 1 0 では、フォーカスリング F R の消耗によるエッチング特性の変化を抑制できる。

【 0 1 7 9 】

以上のように、第 3 実施形態に係るプラズマ処理装置 1 0 は、フォーカスリング F R を載置する載置面 7 0 d に設けられ、直流電圧が印加される電極 7 3 をさらに有する。プラズマ制御部 1 0 2 f は、フォーカスリング F R の厚さ  $z_{FR}$  に基づき、ウエハ W の上部に形成されるプラズマシースの界面の高さとフォーカスリング F R の上部に形成されるプラズマシースの界面の高さとの差が所定範囲内となるように電極 7 3 に印加する直流電圧を制御する。これにより、プラズマ処理装置 1 0 は、ウエハ W ごとのエッチング特性にばらつきを抑制できる。

【 0 1 8 0 】

( 第 4 実施形態 )

次に、第 4 実施形態について説明する。図 1 5 は、第 4 実施形態に係るプラズマ処理装置の概略的な構成の一例を示す断面図である。第 4 実施形態に係るプラズマ処理装置 1 0 は、図 9 に示す第 2 実施形態に係るプラズマ処理装置 1 0 と一部同様の構成であるため、同一部分に同一の符号を付して説明を省略し、異なる部分について主に説明する。

【 0 1 8 1 】

第 4 実施形態に係る上部電極 3 0 の電極板 3 4 及び電極支持体 3 6 は、絶縁性部材により複数の部分に分割されている。例えば、電極支持体 3 6 および電極板 3 4 は、環状の絶縁部 3 7 により、中央部 3 0 a と周辺部 3 0 b に分割されている。中央部 3 0 a は、円盤状とされ、第 1 の載置台 6 0 の中央部の上部に配置されている。周辺部 3 0 b は、円環状

10

20

30

40

50

とされ、中央部 30 a を囲むように、第 1 の載置台 60 の周辺部の上部に配置されている。

【0182】

第 4 実施形態に係る上部電極 30 は、分割された各部分に個別に直流電流の印加が可能とされ、各部分がそれぞれ上部電極として機能する。例えば、周辺部 30 b には、ローパスフィルタ (LPF) 90 a、オン・オフスイッチ 91 a を介して可変直流電源 93 a が電氣的に接続されている。中央部 30 a には、ローパスフィルタ (LPF) 90 b、オン・オフスイッチ 91 b を介して可変直流電源 93 b が電氣的に接続されている。可変直流電源 93 a、72 b が中央部 30 a、周辺部 30 b にそれぞれ印加する電力は、制御部 100 によって制御可能とされている。中央部 30 a、周辺部 30 b は、電極として機能する。

10

【0183】

ところで、プラズマは、周辺の電氣的な特性の変化によって状態が変化する。例えば、プラズマ処理装置 10 では、中央部 30 a、周辺部 30 b に印加される電圧によってプラズマの状態が変化する。

【0184】

そこで、第 4 実施形態に係るプラズマ処理装置 10 では、フォーカスリング FR の消耗によるエッチング特性の変化を抑制するように、中央部 30 a、周辺部 30 b に印加される電圧を制御する。

【0185】

第 4 実施形態に係る補正情報 104 a は、フォーカスリング FR の厚さごとに、中央部 30 a、周辺部 30 b に印加する直流電圧の補正値を記憶する。例えば、ウエハ W 上のプラズマシースの界面とフォーカスリング FR 上のプラズマシースの界面との差  $D_{wafer-FR}$  が所定範囲内となる、中央部 30 a、周辺部 30 b それぞれに印加する直流電圧を実験的に計測する。補正情報 104 a には、計測結果に基づき、フォーカスリング FR の厚さごとに、差  $D_{wafer-FR}$  が所定範囲内となる、中央部 30 a、周辺部 30 b それぞれに印加する直流電圧の補正値を記憶させる。補正値は、中央部 30 a、周辺部 30 b に印加する直流電圧の値そのものとであってもよく、プラズマ処理の際に中央部 30 a、周辺部 30 b にそれぞれ印加する標準的な直流電圧に対する差分値であってもよい。本実施形態では、補正値は、中央部 30 a、周辺部 30 b それぞれに印加する直流電圧の値そのものとする。

20

30

【0186】

ここで、第 4 実施形態に係るプラズマ処理装置 10 は、周辺部 30 b に印加する直流電圧を補正することで、フォーカスリング FR の上部に形成されるプラズマシースの界面の高さを補正するものとする。補正情報 104 a には、フォーカスリング FR の厚さごとに、周辺部 30 b に印加する直流電圧の補正値を記憶させる。なお、プラズマ処理装置 10 は、上部電極 30 をさらに環状に分割して各部分に印加する直流電圧を補正して、ウエハ W の上部に形成されるプラズマシースの界面の高さを補正してもよい。

【0187】

プラズマ制御部 102 f は、パラメータ算出部 102 c により算出されたフォーカスリング FR の  $z_{FR}$  に基づき、周辺部 30 b に印加する直流電圧を制御する。例えば、プラズマ制御部 102 f は、フォーカスリング FR の厚さ  $z_{FR}$  に対応する周辺部 30 b に印加する直流電圧の補正値を補正情報 104 a から読み出す。そして、プラズマ制御部 102 f は、プラズマ処理の際に、読み出した補正値の直流電圧が周辺部 30 b に供給されるように、可変直流電源 93 a を制御する。

40

【0188】

これにより、プラズマ処理装置 10 では、ウエハ W 上のプラズマシースの界面とフォーカスリング FR 上のプラズマシースの界面との差  $D_{wafer-FR}$  が所定範囲内となる。この結果、プラズマ処理装置 10 では、フォーカスリング FR の消耗によるエッチング特性の変化を抑制できる。

【0189】

50

以上のように、第4実施形態に係る上部電極30は、ウエハW及びフォーカスリングFRに対向して配置され、ウエハW及びフォーカスリングFRの少なくとも一方に並列に、それぞれ電極として機能する中央部30a、周辺部30bが設けられ、処理ガスを噴出する。プラズマ制御部102fは、フォーカスリングFRの厚さ $z_{FR}$ に基づき、ウエハWの上部に形成されるプラズマシースの界面の高さとフォーカスリングFRの上部に形成されるプラズマシースの界面の高さとの差が所定範囲内となるように中央部30a、周辺部30bへ供給される電力を制御する。これにより、プラズマ処理装置10は、ウエハWごとのエッチング特性にばらつきを抑制できる。

【0190】

(第5実施形態)

次に、第5実施形態について説明する。図16は、第5実施形態に係るプラズマ処理装置の概略的な構成の一例を示す断面図である。第5実施形態に係るプラズマ処理装置10は、図9に示す第2実施形態に係るプラズマ処理装置10と一部同様の構成であるため、同一部分に同一の符号を付して説明を省略し、異なる部分について主に説明する。第5実施形態に係るプラズマ処理装置10は、上部電極30の上面に電磁石80が設けられておらず、第2の載置台70が昇降可能されている。

【0191】

[第1の載置台及び第2の載置台の構成]

次に、図17を参照して、第5実施形態に係る第1の載置台60及び第2の載置台70の要部構成について説明する。図17は、第5実施形態に係る第1の載置台及び第2の載置台の要部構成を示す概略断面図である。

【0192】

第1の載置台60は、基台62と、静電チャック61とを含んでいる。静電チャック61は、絶縁層64を介して基台62に接着されている。静電チャック61は、円板状を呈し、基台62と同軸となるように設けられている。静電チャック61は、絶縁体の内部に電極E1が設けられている。静電チャック61の上面は、ウエハWの載置される載置面60dとされている。静電チャック61の下端には、静電チャック61の径方向外側へ突出したフランジ部61aが形成されている。すなわち、静電チャック61は、側面の位置に応じて外径が異なる。

【0193】

静電チャック61は、ヒータHT1が設けられている。また、基台62の内部には、冷媒流路24aが形成されている。冷媒流路24a及びヒータHT1は、ウエハWの温度を調整する温調機構として機能する。なお、ヒータHT1は、静電チャック61の内部に存在しなくてもよい。例えば、ヒータHT1は、静電チャック61の裏面に貼り付けられてもよく、載置面60dと冷媒流路24aとの間に介在すればよい。

【0194】

第2の載置台70は、基台71と、フォーカスリングヒータ72を含んでいる。基台71は、基台62に支持されている。フォーカスリングヒータ72は、内部にヒーターHT2が設けられている。また、基台71の内部には、冷媒流路24bが形成されている。冷媒流路24b及びヒーターHT2は、フォーカスリングFRの温度を調整する温調機構として機能する。フォーカスリングヒータ72は、絶縁層76を介して基台71に接着されている。フォーカスリングヒータ72の上面は、フォーカスリングFRの載置される載置面70dとされている。なお、フォーカスリングヒータ72の上面には、熱伝導性の高いシート部材などを設けてもよい。

【0195】

フォーカスリングFRは、円環状の部材であって、第2の載置台70と同軸となるように設けられている。フォーカスリングFRの内側側面には、径方向内側へ突出した凸部FRaが形成されている。すなわち、フォーカスリングFRは、内側側面の位置に応じて内径が異なる。例えば、凸部FRaが形成されていない箇所の内径は、ウエハWの外径及び静電チャック61のフランジ部61aの外径よりも大きい。一方、凸部FRaが形成され

10

20

30

40

50

た箇所の内径は、静電チャック 6 1 のフランジ部 6 1 a の外径よりも小さく、かつ、静電チャック 6 1 のフランジ部 6 1 a が形成されていない箇所的外径よりも大きい。

【 0 1 9 6 】

フォーカスリング F R は、凸部 F R a が静電チャック 6 1 のフランジ部 6 1 a の上面と離間し、かつ、静電チャック 6 1 の側面からも離間した状態となるように第 2 の載置台 7 0 に配置される。すなわち、フォーカスリング F R の凸部 F R a の下面と静電チャック 6 1 のフランジ部 6 1 a の上面との間には、隙間が形成されている。また、フォーカスリング F R の凸部 F R a の側面と静電チャック 6 1 のフランジ部 6 1 a が形成されていない側面との間には、隙間が形成されている。そして、フォーカスリング F R の凸部 F R a は、第 1 の載置台 6 0 の基台 6 2 と第 2 の載置台 7 0 の基台 7 1 との間の隙間 1 1 0 の上方に位置する。すなわち、載置面 6 0 d と直交する方向からみて、凸部 F R a は、隙間 1 1 0 と重なる位置に存在し該隙間 1 1 0 を覆っている。これにより、プラズマが、隙間 1 1 0 へ進入することを抑制できる。

10

【 0 1 9 7 】

第 1 の載置台 6 0 には、第 2 の載置台 7 0 を昇降させる昇降機構 1 2 0 が設けられている。例えば、第 1 の載置台 6 0 には、第 2 の載置台 7 0 の下部となる位置に、昇降機構 1 2 0 が設けられている。昇降機構 1 2 0 は、アクチュエータを内蔵し、アクチュエータの駆動力によりロッド 1 2 0 a を伸縮させて第 2 の載置台 7 0 を昇降させる。昇降機構 1 2 0 は、モータの駆動力をギヤー等で変換してロッド 1 2 0 a を伸縮させる駆動力を得るものであってもよく、油圧等によってロッド 1 2 0 a を伸縮させる駆動力を得るものであってもよい。第 1 の載置台 6 0 と第 2 の載置台 7 0 の間には、真空を遮断するためのオーリング ( O-Ring ) 1 1 2 が設けられている。

20

【 0 1 9 8 】

第 2 の載置台 7 0 は、上昇させても影響が生じないように構成されている。例えば、冷媒流路 2 4 b は、フレキシブルな配管、あるいは、第 2 の載置台 7 0 が昇降しても冷媒を供給可能な機構が構成されている。ヒーター H T 2 に電力を供給する配線は、フレキシブルな配線、あるいは、第 2 の載置台 7 0 が昇降しても電氣的に導通する機構が構成されている。

【 0 1 9 9 】

また、第 1 の載置台 6 0 は、第 2 の載置台 7 0 と電氣的に導通する導通部 1 3 0 が設けられている。導通部 1 3 0 は、昇降機構 1 2 0 により第 2 の載置台 7 0 を昇降させても第 1 の載置台 6 0 と第 2 の載置台 7 0 とを電氣的に導通するように構成されている。例えば、導通部 1 3 0 は、フレキシブルな配線、あるいは、第 2 の載置台 7 0 が昇降しても導体が基台 7 1 と接触して電氣的に導通する機構が構成されている。導通部 1 3 0 は、第 2 の載置台 7 0 と第 1 の載置台 6 0 との電氣的な特性が同等となるように設けられている。例えば、導通部 1 3 0 は、第 1 の載置台 6 0 の周面に複数設けられている。第 1 の載置台 6 0 に供給される R F 電力は、導通部 1 3 0 を介して第 2 の載置台 7 0 にも供給される。なお、導通部 1 3 0 は、第 1 の載置台 6 0 の上面と第 2 の載置台 7 0 の下面の間に設けてもよい。

30

【 0 2 0 0 】

昇降機構 1 2 0 は、フォーカスリング F R の周方向に複数の位置に設けられている。本実施形態に係るプラズマ処理装置 1 0 では、昇降機構 1 2 0 が 3 つ設けられている。例えば、第 2 の載置台 7 0 には、第 2 の載置台 7 0 の円周方向に均等な間隔で昇降機構 1 2 0 を配置されている。例えば、昇降機構 1 2 0 は、第 2 の載置台 7 0 の円周方向に対して、1 2 0 度の角度毎に、同様の位置に設けられている。なお、昇降機構 1 2 0 は、第 2 の載置台 7 0 に対して、4 つ以上設けてもよい。

40

【 0 2 0 1 】

ところで、プラズマ処理装置 1 0 では、プラズマ処理を行っていると、フォーカスリング F R が消耗してフォーカスリング F R の厚さ  $z_{FR}$  が薄くなる。フォーカスリング F R の厚さ  $z_{FR}$  が薄くなると、フォーカスリング F R 上のプラズマシースとウエハ W 上のプ

50

ラズマシースとの高さ位置にズレが生じ、エッチング特性が変化する。

【0202】

そこで、第5実施形態に係るプラズマ処理装置10では、フォーカスリングFRの厚さ $z_{FR}$ に応じて、昇降機構120の制御を行う。

【0203】

プラズマ制御部102fは、パラメータ算出部102cにより算出されたフォーカスリングFRの厚さ $z_{FR}$ に基づき、昇降機構120を制御する。例えば、プラズマ制御部102fは、新品のフォーカスリングFRの厚さから、フォーカスリングFRの厚さ $z_{FR}$ を減算して消耗分の厚さを求める。プラズマ制御部102fは、消耗分の厚さだけ上昇するように昇降機構120を制御する。

10

【0204】

図18は、第2の載置台を上昇させる流れの一例を説明する図である。図18(A)は、新品のフォーカスリングFRを第2の載置台70に載置した状態を示している。第2の載置台70は、新品のフォーカスリングFRを載置した際に、フォーカスリングFRの上面が所定の高さとなるように高さが調整されている。例えば、第2の載置台70は、新品のフォーカスリングFRを載置した際に、エッチング処理によるウエハWの均一性が得られるよう、高さが調整されている。ウエハWに対するエッチング処理に伴い、フォーカスリングFRも消耗する。図18(B)は、フォーカスリングFRが消耗した状態を示している。図18(B)の例では、フォーカスリングFRの上面が0.2mm消耗している。プラズマ処理装置10は、パラメータ算出部102cによりフォーカスリングFRの厚さ $z_{FR}$ を算出し、フォーカスリングFRの消耗量を特定する。そして、プラズマ処理装置10は、消耗量に応じて、昇降機構120を制御して第2の載置台70を上昇させる。図18(C)は、第2の載置台70を上昇させた状態を示している。図18(C)の例では、第2の載置台70を0.2mm上昇させてフォーカスリングFRの上面を0.2mm上昇させている。

20

【0205】

これにより、プラズマ処理装置10では、ウエハW上のプラズマシースの界面とフォーカスリングFR上のプラズマシースの界面との差 $D_{wafer-FR}$ が所定範囲内なる。この結果、プラズマ処理装置10では、フォーカスリングFRの消耗によるエッチング特性の変化を抑制できる。

30

【0206】

以上のように、第5実施形態に係るプラズマ処理装置10は、フォーカスリングFRを昇降させる昇降機構120を有する。プラズマ制御部102fは、フォーカスリングFRの厚さ $z_{FR}$ に基づき、ウエハWの上部に形成されるプラズマシースの界面の高さとフォーカスリングFRの上部に形成されるプラズマシースの界面の高さとの差が所定範囲内となるように昇降機構120を制御する。これにより、プラズマ処理装置10は、ウエハWごとのエッチング特性にばらつきを抑制できる。

【0207】

以上、実施形態について説明してきたが、今回開示された実施形態は、全ての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。実に、上記した実施形態は、多様な形態で具現され得る。また、上記の実施形態は、請求の範囲およびその趣旨を逸脱することなく、様々な形態で省略、置換、変更されてもよい。

40

【0208】

例えば、上述したプラズマ処理装置10は、容量結合型のプラズマ処理装置10であったが、任意のプラズマ処理装置10に採用され得る。例えば、プラズマ処理装置10は、誘導結合型のプラズマ処理装置10、マイクロ波といった表面波によってガスを励起させるプラズマ処理装置10のように、任意のタイプのプラズマ処理装置10であってもよい。

【0209】

また、上記の実施形態では、プラズマ処理により消耗する消耗部品をフォーカスリングFRとした場合を例に説明したが、これに限定されるものではない。消耗部品は、何れで

50

あってもよい。例えば、ウエハWはプラズマ処理により消耗する。プラズマ処理装置10は、消耗部品をウエハWとし、ウエハWの厚さを算出してもよい。上述した式(1)~(13)は、フォーカスリングFRの密度、熱容量、厚さなどのフォーカスリングFRに関する条件をウエハWに関する条件に読み替えることにより、ウエハWの厚さの算出に適用できる。載置台16は、ウエハWが載置される載置面の温度を調整可能なヒーターHT1が設けられている。ヒーター制御部102aは、ヒーターHT1が設定された設定温度となるようヒーターHT1への供給電力を制御する。計測部102bは、ヒーター制御部102aにより、ヒーターHT1の温度が一定となるようヒーターHT1への供給電力を制御して、未点火状態と過渡状態での供給電力を計測する。パラメータ算出部102cは、上記の式(1)-(11)を算出モデルとして用いて、計測結果のフィッティングを行うことにより、ウエハWの厚さを算出する。これにより、プラズマ処理装置10は、ウエハWの厚さを求めることができる。

10

#### 【0210】

また、上記の実施形態では、図2に示すように、静電チャック18の載置領域18aを径方向に2つの分割領域75に分割した場合を例に説明したが、これに限定されるものではない。例えば、載置領域18aは周方向に分割されてもよい。例えば、フォーカスリングFRを載置する分割領域75bは周方向に分割されてもよい。図19は、他の実施形態に係る載置台を示す平面図である。図19では、分割領域75bは、周方向に8つの分割領域75b1~75b8に分割されている。分割領域75b1~75b8には、フォーカスリングFRが配置される。分割領域75b1~75b8には、ヒーターHT2が個別に設ける。ヒーター制御部102aは、分割領域75b1~75b8に設けられたヒーターHT2が領域毎に設定された設定温度となるようヒーターHT2ごとに供給電力を制御する。計測部102bは、ヒーター制御部102aにより、ヒーターHT2ごとに温度が一定となるよう供給電力を制御して、未点火状態と、過渡状態での供給電力をヒーターHT2ごとに計測する。パラメータ算出部102cは、ヒーターHT2ごとに、算出モデルに対して、計測部102bにより計測された未点火状態と過渡状態の供給電力を用いてフィッティングを行って、ヒーターHT2ごとにフォーカスリングFRの厚さ $z_{FR}$ を算出する。これにより、プラズマ処理装置10は、分割領域75b1~75b8ごとにフォーカスリングFRの厚さ $z_{FR}$ を求めることができる。

20

#### 【0211】

また、上述した実施形態では、電磁石80の磁力の変更、電極73に供給する電力の変更、中央部30a、周辺部30bに供給する電力の変更、フォーカスリングFRの昇降の何れかを行うことで、プラズマの状態を変化させる場合を例に説明した。しかし、これに限定されない。インピーダンスの変更を行うことで、プラズマの状態を変化させてもよい。例えば、第2の載置台70のインピーダンスを変更可能とする。プラズマ制御部102fは、厚さ $z_{FR}$ に基づき、ウエハW上のプラズマシースの界面とフォーカスリングFR上のプラズマシースの界面との差 $D_{wafer-FR}$ が所定範囲内となるように第2の載置台70のインピーダンスを制御してもよい。例えば、第2の載置台70の内部に垂直方向にリング状の空間を形成し、空間内にリング状の導電体を導電体駆動機構によって昇降自在に設ける。導電体は、例えばアルミニウムなどの導電性材料で構成する。これにより、第2の載置台70は、導電体駆動機構により、導電体を昇降させることでインピーダンスの変更が可能となる。なお、第2の載置台70は、インピーダンスが変更可能であれば何れの構成であってもよい。補正情報104aには、フォーカスリングFRの厚さごとに、インピーダンスの補正値を記憶する。例えば、ウエハW上のプラズマシースの界面とフォーカスリングFR上のプラズマシースの界面との差 $D_{wafer-FR}$ が所定範囲内となる、導電体の高さを実験的に計測する。補正情報104aには、計測結果に基づき、ウエハWの厚さごとに、差 $D_{wafer-FR}$ が所定範囲内となる導電体の高さの補正値を記憶させる。プラズマ制御部102fは、パラメータ算出部102cにより算出されたフォーカスリングFRの厚さ $z_{FR}$ に対応する導電体の高さの補正値を補正情報104aから読み出す。そして、プラズマ制御部102fは、プラズマ処理の際に、読み出した補正値

30

40

50

の高さとなるように、導電体駆動機構を制御する。これにより、プラズマ処理装置 10 では、ウエハ W 上のプラズマシースの界面とフォーカスリング F R 上のプラズマシースの界面との差  $D_{wafer-FR}$  が所定範囲内となり、ウエハ W ごとのエッチング特性にばらつきを抑制できる。

【0212】

また、上述した第 4 実施形態では、電源 74 から電極 73 に直流電圧を印加する場合を例に説明したが、これに限定されない。例えば、電源 74 を交流電源としてもよい。プラズマ制御部 102f は、フォーカスリング F R の厚さ  $z_{FR}$  に基づき、ウエハ W 上のプラズマシースの界面とフォーカスリング F R 上のプラズマシースの界面との差  $D_{wafer-FR}$  が所定範囲内となるように電源 74 から電極 73 に供給する交流電力の周波数、電圧、パワーの何れかを制御してもよい。

10

【0213】

また、上述した各実施形態は、組み合わせて実施してもよい。例えば、第 2、第 3 実施形態を組み合わせて、電磁石 80 の磁力と電極 73 に印加する直流電圧の制御により、ウエハ W 上のプラズマシースの界面とフォーカスリング F R 上のプラズマシースの界面との差  $D_{wafer-FR}$  が所定範囲内となるように制御してもよい。

【0214】

また、上述した第 6 実施形態では、昇降機構 120 により第 2 の載置台 70 を昇降させることで、フォーカスリング F R を昇降させる場合を例に説明したが、これに限定されるものではない。例えば、第 2 の載置台 70 にピンなどを貫通させてフォーカスリング F R のみを昇降させてもよい。

20

【0215】

また、上述した各実施形態は、フォーカスリングの消耗を例に問題を説明したが、これに限定されるものではない。プラズマ処理により消耗する消耗部品全般に同様の問題が発生するため、例えば、フォーカスリングの更に外周に設置される絶縁物による保護カバーも同様にヒーターなどで温度調整されていれば、同様な手法にて消耗度合を求めることができる。また、載置台上のウエハ W の厚さも同様な手法にて算出することができる。

【符号の説明】

【0216】

10 プラズマ処理装置

30

12 処理容器

16 載置台

18 静電チャック

18a 載置領域

30 上部電極

30a 中央部

30b 周辺部

60 第 1 の載置台

60d 載置面

70 第 2 の載置台

40

73 電極

74 電源

75、75a、75b、75b1～75b4 分割領域

80、80a～80c 電磁石

93a、93b 可変直流電源

100 制御部

101 外部インターフェース

102 プロセスコントローラ

102a ヒーター制御部

102b 計測部

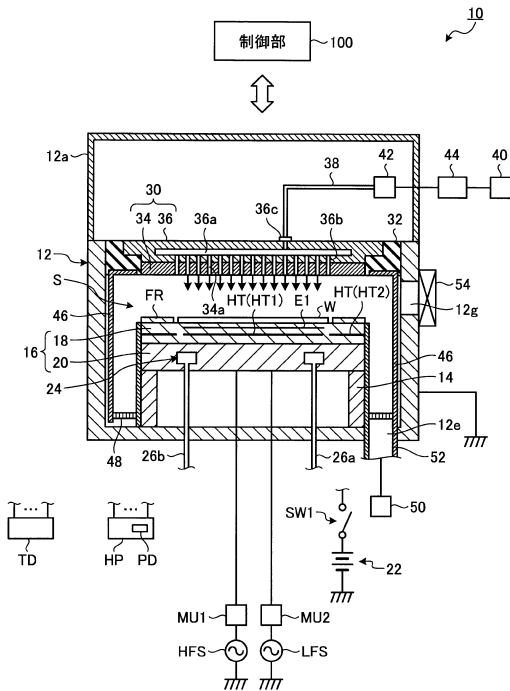
50

- 102c パラメータ算出部
- 102d 設定温度算出部
- 102e アラート部
- 102f プラズマ制御部
- 103 ユーザーインターフェース
- 104 記憶部
- 104a 補正情報
- 120 昇降機構
- FR フォーカスリング
- HP ヒーター電源
- HT、HT1、HT2 ヒーター

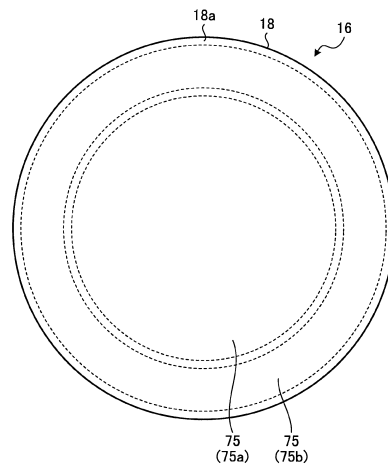
10

【図面】

【図1】



【図2】



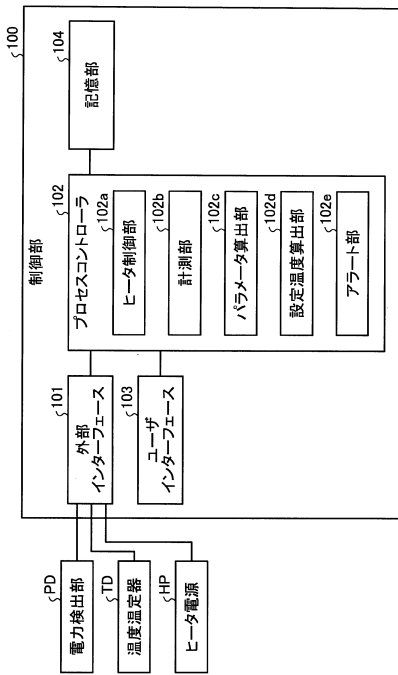
20

30

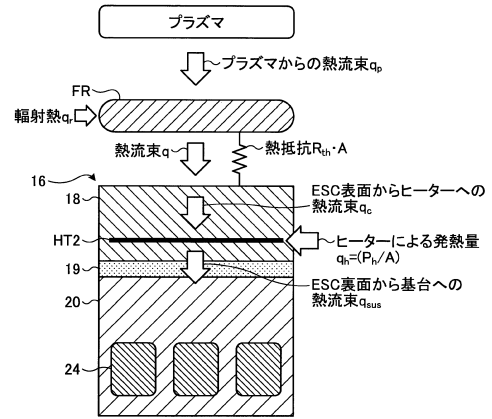
40

50

【図3】



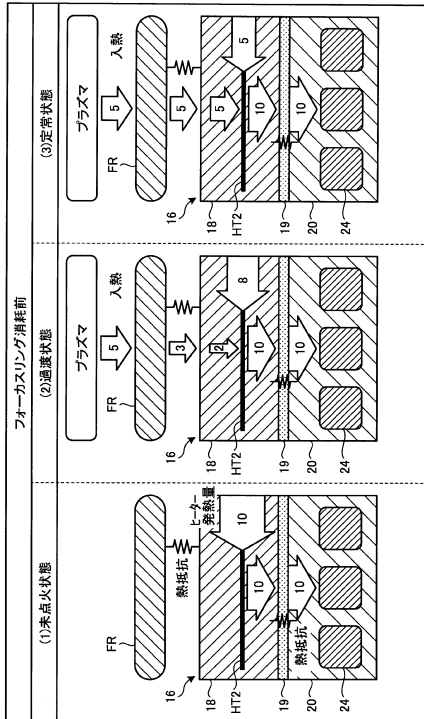
【図4】



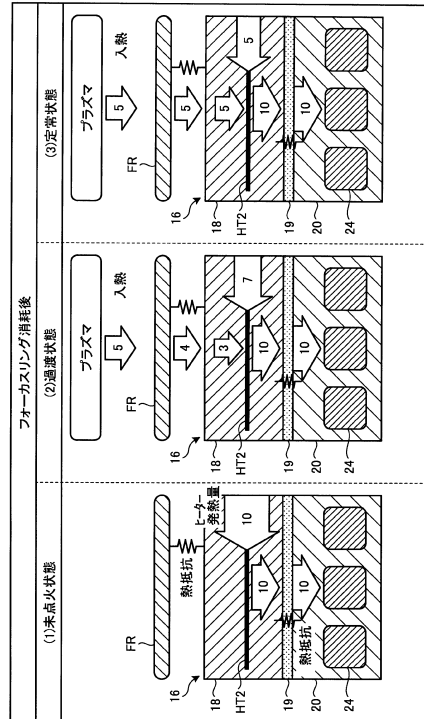
10

20

【図5】



【図6】

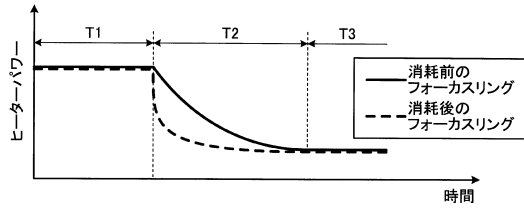


30

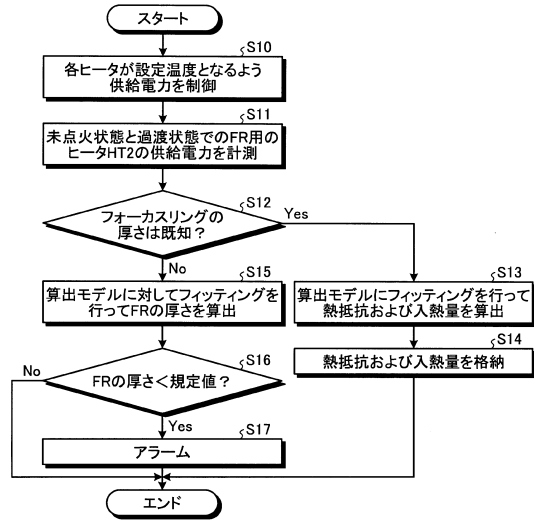
40

50

【図7】



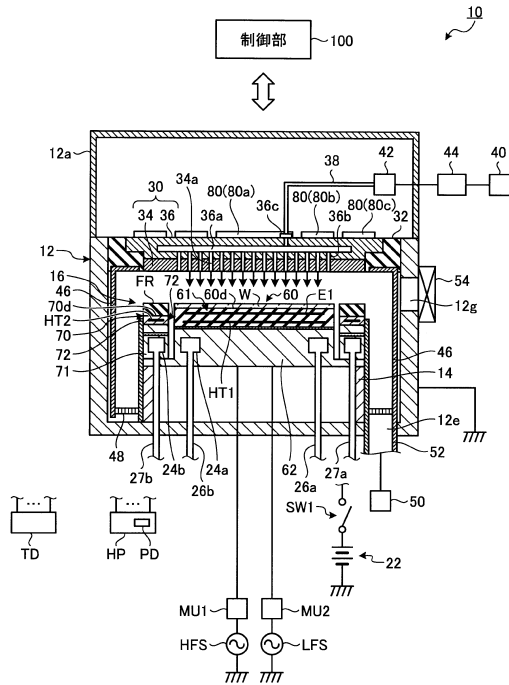
【図8】



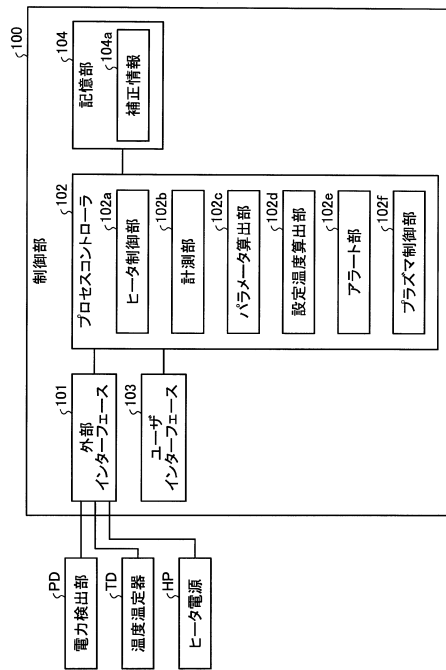
10

20

【図9】



【図10】

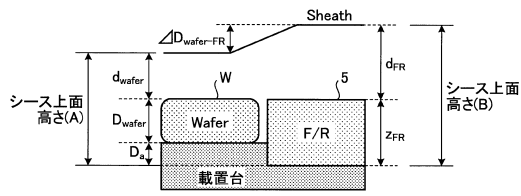


30

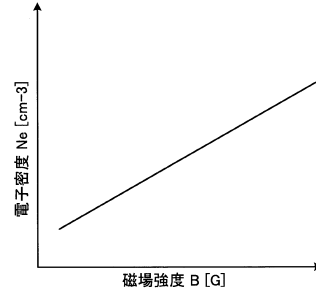
40

50

【図 1 1】

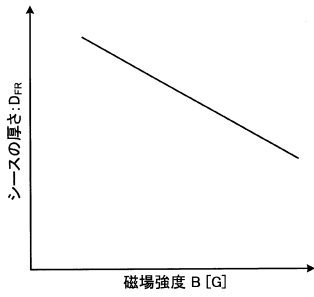


【図 1 2 A】



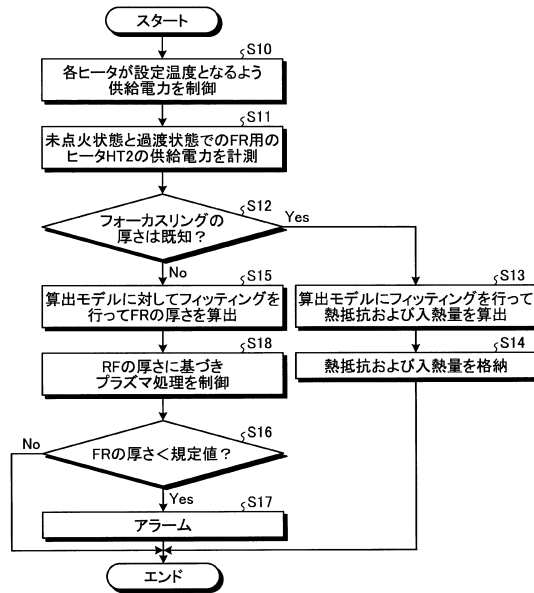
10

【図 1 2 B】



20

【図 1 3】

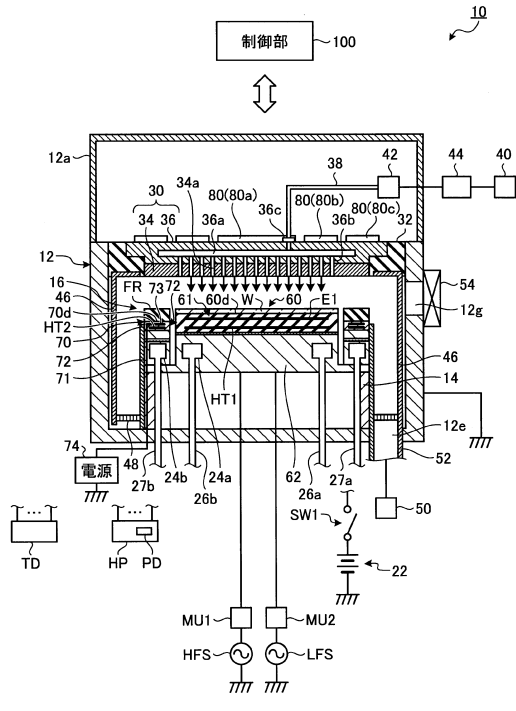


30

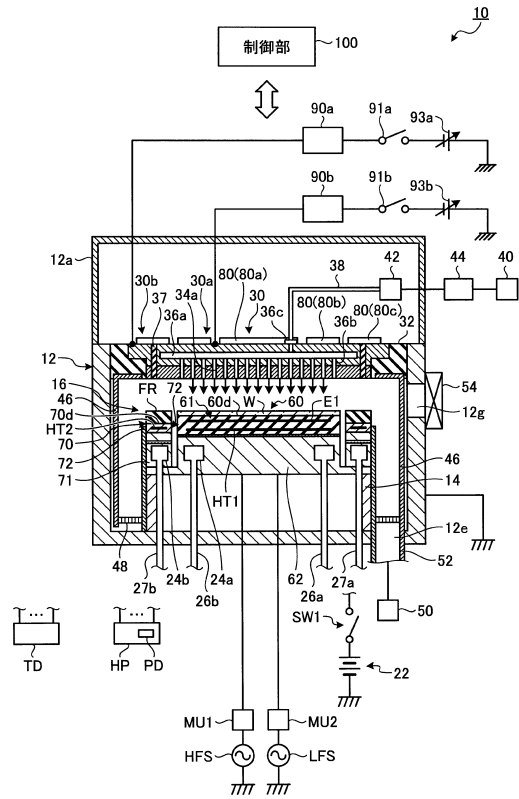
40

50

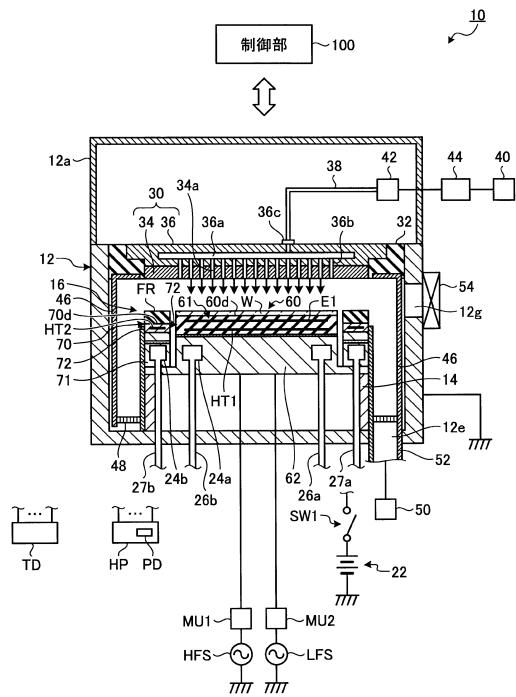
【図14】



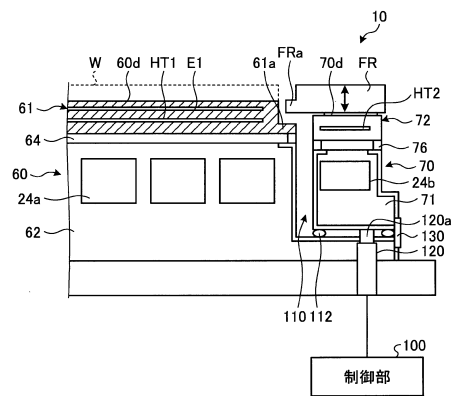
【図15】



【図16】



【図17】



10

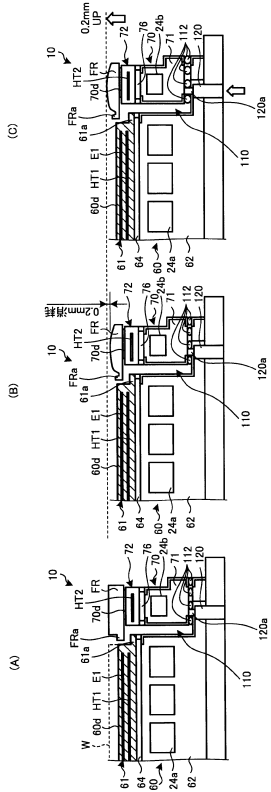
20

30

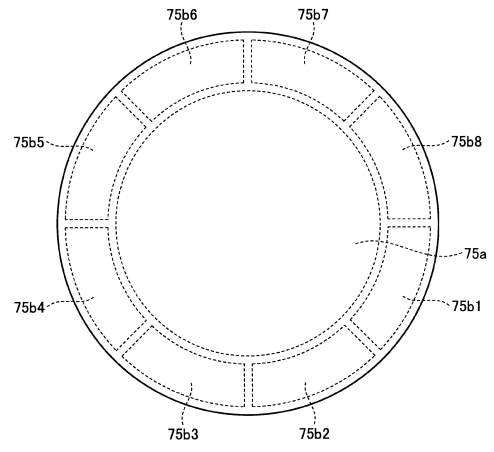
40

50

【 18 】



【 19 】



10

20

30

40

50

---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2010-50178(JP,A)  
特開2015-92580(JP,A)  
特開2013-172013(JP,A)  
特開2008-227063(JP,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
H01L 21/3065  
H05H 1/46