

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7527342号
(P7527342)

(45)発行日 令和6年8月2日(2024.8.2)

(24)登録日 令和6年7月25日(2024.7.25)

(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 3	
H 0 1 L 21/205(2006.01)	H 0 1 L 21/205		
H 0 1 L 21/31(2006.01)	H 0 1 L 21/31	C	
H 0 5 H 1/46(2006.01)	H 0 5 H 1/46	A	
	H 0 5 H 1/46	M	
請求項の数 17 (全28頁)			

(21)出願番号	特願2022-207737(P2022-207737)	(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4年12月26日(2022.12.26)	(74)代理人	110002147 弁理士法人酒井国際特許事務所
(62)分割の表示	特願2019-99609(P2019-99609)の分割	(72)発明者	林 大輔 宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番 東京エレクトロン宮城株式会社内
原出願日	令和1年5月28日(2019.5.28)	(72)発明者	梅澤 義弘 宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番 東京エレクトロン宮城株式会社内
(65)公開番号	特開2023-33331(P2023-33331A)	(72)発明者	岡 信介 宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番 東京エレクトロン宮城株式会社内
(43)公開日	令和5年3月10日(2023.3.10)	審査官	宇多川 勉
審査請求日	令和5年1月25日(2023.1.25)		
(31)優先権主張番号	特願2018-124896(P2018-124896)		
(32)優先日	平成30年6月29日(2018.6.29)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		
(31)優先権主張番号	特願2019-32013(P2019-32013)		
(32)優先日	平成31年2月25日(2019.2.25)		
(33)優先権主張国・地域又は機関			
最終頁に続く		最終頁に続く	

(54)【発明の名称】 プラズマ処理装置、プラズマ状態検出方法およびプラズマ状態検出プログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

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、プラズマ点火後の点火状態での供給電力を計測する計測部と、

前記計測部により計測された未点火状態と点火状態の供給電力を用いて、プラズマからの入熱量を算出するパラメータ算出部と、

前記パラメータ算出部により算出された前記入熱量に基づく情報出力する出力部と、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、領域毎に設けられた前記ヒーターが領域毎に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、前記点火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、前記計測部により計測された未点火状態と点火状態の供給電力を用いて、前記ヒーターごとに前記入熱量を算出し、

前記出力部は、前記パラメータ算出部により算出された前記ヒーターごとの前記入熱量に基づき、プラズマの密度分布を示す情報を出力する

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】

前記プラズマの密度分布に基づき、前記被処理体に対するプラズマ処理が均等化するようプラズマ処理の制御パラメータを変更する変更部をさらに有することを特徴とする請求項 2 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 4】

前記出力部により出力される情報または当該情報の変化に基づき、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 ~ 3 の何れか 1 つに記載のプラズマ処理装置。

【請求項 5】

前記計測部は、所定のサイクルで、前記未点火状態と、前記点火状態の前記ヒーターへの供給電力を計測し、

前記パラメータ算出部は、前記サイクルごとに、前記計測部により計測された未点火状態と点火状態の供給電力を用いて、前記入熱量を算出する

請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 6】

前記計測部は、プラズマ処理を行う毎に、前記未点火状態と、前記点火状態の前記ヒーターへの供給電力を計測し、

前記パラメータ算出部は、プラズマ処理を行う毎に、前記計測部により計測された未点火状態と点火状態の供給電力を用いて、前記入熱量を算出する

請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 7】

プラズマ点火後の点火状態は、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ある

請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 8】

前記計測部は、前記過渡状態において前記ヒーターへの供給電力を 2 回以上計測する

請求項 7 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 9】

前記変更部は、プラズマ密度分布を示す情報に基づき、載置領域の分割領域ごとのウエハの温度の目標温度を変更する

請求項 3 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 10】

前記変更部は、プラズマ密度分布を示す情報に基づき、上部電極の分割領域ごとに、吐出するガスの濃度を変更する

請求項 3 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 11】

前記載置台は、前記載置面を分割した領域毎にヒーターの温度を検出可能な温度センサが設けられている

請求項 2 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 12】

前記温度センサは、ヒーターに取り付けられている

請求項 11 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 13】

前記温度センサは、ヒーターと冷媒の間に設けられている

請求項 11 に記載のプラズマ処理装置。

10

20

30

40

50

【請求項 14】

前記載置台は、前記載置面が周方向に複数の領域に分割されている
請求項 2 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 15】

前記複数の領域は、前記載置面が外周に近いほど、径方向の幅が狭い
請求項 14 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 16】

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、プラズマ点火後の点火状態での供給電力
を計測し、

10

計測された未点火状態と点火状態の供給電力を用いて、プラズマからの入熱量を算出し、
算出された前記入熱量に基づく情報を出力する

処理をコンピュータが実行することを特徴とするプラズマ状態検出方法。

【請求項 17】

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、プラズマ点火後の点火状態での供給電力
を計測し、

計測された未点火状態と点火状態の供給電力を用いて、プラズマからの入熱量を算出し、
算出された前記入熱量に基づく情報を出力する

20

処理をコンピュータに実行させることを特徴とするプラズマ状態検出プログラム。

【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、プラズマ状態検出方法およびプラズマ状態検出プログラ
ムに関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来から、半導体ウエハ（以下「ウエハ」とも称する）などの被処理体に対してプラズ
マを用いて、エッチングなどのプラズマ処理を行うプラズマ処理装置が知られている。こ
のプラズマ処理装置には、処理容器内に各種プローブや各種電気センサなどのセンサを配
置して、プラズマの状態を検出する技術が提案されている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開 2009 - 194032 号公報

【文献】特開 2009 - 087790 号公報

【文献】特表 2014 - 513390 号公報

【発明の概要】

40

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本開示は、センサを配置することなくプラズマの状態を検出する技術を提供する。

【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、出力部とを有する。載置台は、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

50

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、プラズマからの入熱量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、入熱量を算出する。出力部は、パラメータ算出部により算出された入熱量に基づく情報を出力する。

【発明の効果】

【0006】

本開示によれば、処理容器内にセンサを配置することなくプラズマの状態を検出できる。

【図面の簡単な説明】

10

【0007】

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

【図2】図2は、実施形態に係る載置台の構成の一例を示す平面図である。

【図3】図3は、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したブロック図である。

【図4】図4は、ウエハの温度に影響を与えるエネルギーの流れの一例を模式的に示した図である。

【図5A】図5Aは、未点火状態のエネルギーの流れの一例を模式的に示す図である。

【図5B】図5Bは、点火状態のエネルギーの流れの一例を模式的に示す図である。

【図6】図6は、ウエハWの温度とヒーターHTへの供給電力の変化の一例を示す図である。

20

【図7】図7は、点火状態のエネルギーの流れの一例を模式的に示す図である。

【図8】図8は、プラズマの密度分布による未点火状態と過渡状態の温度変化の一例を概略的に示す図である。

【図9】図9は、未点火状態と過渡状態のエネルギーの流れの一例を模式的に示す図である。

【図10】図10は、ウエハWの温度とヒーターHTへの供給電力の変化の一例を示す図である。

【図11A】図11Aは、プラズマの密度分布を示す情報の出力の一例を示す図である。

【図11B】図11Bは、プラズマの密度分布を示す情報の出力の一例を示す図である。

30

【図12】図12は、プラズマエッチングを模式的に示した図である。

【図13】図13は、実施形態に係るプラズマ状態検出およびプラズマ状態制御の流れの一例を示すフローチャートである。

【図14】図14は、実施形態に係る載置台の載置面の分割の一例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、プラズマ状態検出方法およびプラズマ状態検出プログラムの実施形態について詳細に説明する。なお、本実施形態により、開示するプラズマ処理装置、プラズマ状態検出方法およびプラズマ状態検出プログラムが限定されるものではない。

40

【0009】

ところで、例えば、プラズマ処理装置には、処理容内に各種プローブや各種電気センサなどのセンサを配置して、プラズマの状態を検出すものがある。しかし、処理容器内、時にプラズマ生成領域に近い場所にセンサが配置されていると、センサの影響によりプラズマの状態が変化してしまう。そうすると、プラズマ処理装置では、被処理膜に対するプラズマ処理の特性や均一性などに影響が発生する懸念がある。また、プラズマ処理装置では、パーティクルや異常放電が発生する懸念もある。また、プラズマ処理装置では、処理容器内にセンサが配置されていると、被処理膜に対してプラズマ処理を実行できない場合がある。そうすると、プラズマ処理装置では、実際にプラズマ処理を実行している最中のプラズマの状態を検出することが出来ない。そこで、処理容器内にセンサを配置することな

50

くプラズマの状態を検出することが期待されている。

【 0 0 1 0 】

[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 1 0 の構成について説明する。図 1 は、実施形態に係るプラズマ処理装置の概略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 1 0 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 1 0 は、略円筒状の処理容器 1 2 を備えている。処理容器 1 2 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 1 2 の表面は、陽極酸化処理が施されている。

【 0 0 1 1 】

処理容器 1 2 内には、載置台 1 6 が設けられている。載置台 1 6 は、静電チャック 1 8 および基台 2 0 を含んでいる。静電チャック 1 8 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 1 8 の上面に載置される。基台 2 0 は、略円盤形状を有しており、その主部において、例えばアルミニウムといった導電性の金属から構成されている。基台 2 0 は、下部電極を構成している。基台 2 0 は、支持部 1 4 によって支持されている。支持部 1 4 は、処理容器 1 2 の底部から延びる円筒状の部材である。

10

【 0 0 1 2 】

基台 2 0 には、第 1 の高周波電源 H F S が電氣的に接続されている。第 1 の高周波電源 H F S 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 ~ 1 0 0 M H z の周波数、一例においては 4 0 M H z の高周波電力を発生する。これにより基台 2 0 直上にプラズマが生成される。整合器 M U 1 は、第 1 の高周波電源 H F S の出力インピーダンスと負荷側（基台 2 0 側）の入力インピーダンスを整合させるための回路を有している。

20

【 0 0 1 3 】

また、基台 2 0 には、整合器 M U 2 を介して第 2 の高周波電源 L F S が電氣的に接続されている。第 2 の高周波電源 L F S 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 2 0 に供給する。これにより基台 2 0 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、4 0 0 k H z ~ 1 3 . 5 6 M H z の範囲内の周波数であり、一例においては 3 M H z である。整合器 M U 2 は、第 2 の高周波電源 L F S の出力インピーダンスと負荷側（基台 2 0 側）の入力インピーダンスを整合させるための回路を有している。

30

【 0 0 1 4 】

基台 2 0 上には、静電チャック 1 8 が設けられている。静電チャック 1 8 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 1 8 は、セラミック製の本体部内に静電吸着用の電極 E 1 を有している。電極 E 1 には、スイッチ S W 1 を介して直流電源 2 2 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 2 2 から印加される直流電圧の値に依存する。

【 0 0 1 5 】

基台 2 0 の上面の上、且つ、静電チャック 1 8 の周囲には、フォーカスリング F R が設けられている。フォーカスリング F R 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 F R 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おり、例えば、シリコン、または石英から構成され得る。

40

【 0 0 1 6 】

基台 2 0 の内部には、冷媒流路 2 4 が形成されている。冷媒流路 2 4 には、処理容器 1 2 の外部に設けられたチラーユニットから配管 2 6 a を介して冷媒が供給される。冷媒流路 2 4 に供給された冷媒は、配管 2 6 b を介してチラーユニットに戻るようになっている。なお、基台 2 0 および静電チャック 1 8 を含む載置台 1 6 の詳細については、後述する。

【 0 0 1 7 】

処理容器 1 2 内には、上部電極 3 0 が設けられている。上部電極 3 0 は、載置台 1 6 の上方において、基台 2 0 と対向配置されており、基台 2 0 と上部電極 3 0 とは、互いに略平行に設けられている。

50

【 0 0 1 8 】

上部電極 3 0 は、絶縁性遮蔽部材 3 2 を介して、処理容器 1 2 の上部に支持されている。上部電極 3 0 は、電極板 3 4 および電極支持体 3 6 を含み得る。電極板 3 4 は、処理空間 S に面しており、複数のガス吐出孔 3 4 a を提供している。電極板 3 4 は、ジュール熱の少ない低抵抗の導電体または半導体から構成され得る。

【 0 0 1 9 】

電極支持体 3 6 は、電極板 3 4 を着脱自在に支持するものであり、例えばアルミニウムといった導電性材料から構成され得る。電極支持体 3 6 は、水冷構造を有し得る。電極支持体 3 6 の内部には、ガス拡散室 3 6 a が設けられている。ガス拡散室 3 6 a からは、ガス吐出孔 3 4 a に連通する複数のガス通流孔 3 6 b が下方に延びている。また、電極支持体 3 6 にはガス拡散室 3 6 a に処理ガスを導くガス導入口 3 6 c が形成されており、ガス導入口 3 6 c には、ガス供給管 3 8 が接続されている。

10

【 0 0 2 0 】

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しており、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している。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している。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 1 】

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 S に吐出される。

20

【 0 0 2 2 】

また、図 1 に示すように、プラズマ処理装置 1 0 は、接地導体 1 2 a を更に備え得る。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 3 】

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得る。

30

【 0 0 2 4 】

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得る。排気プレート 4 8 の下方において処理容器 1 2 には、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しており、処理容器 1 2 内を所望の真空度まで減圧することができる。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 が設けられており、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。

40

【 0 0 2 5 】

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、その動作が統括的に制御される。

【 0 0 2 6 】

[載置台の構成]

50

次に、載置台 16 について詳細に説明する。図 2 は、実施形態に係る載置台の構成の一例を示す平面図である。上述したように載置台 16 は、静電チャック 18 および基台 20 を有している。静電チャック 18 は、セラミック製の本体部 18m を有している。本体部 18m は、略円盤形状を有している。本体部 18m は、載置領域 18a および外周領域 18b を提供している。載置領域 18a は、平面視において略円形の領域である。載置領域 18a の上面上には、ウエハ W が載置される。すなわち、載置領域 18a の上面は、ウエハ W が載置される載置面として機能する。載置領域 18a の直径は、ウエハ W と略同一の直径であるか、或いは、ウエハ W の直径よりも若干小さくなっている。外周領域 18b は、載置領域 18a を囲む領域であり、略環状に延在している。本実施形態では、外周領域 18b の上面は、載置領域 18a の上面より低い位置にある。

10

【0027】

図 2 に示すように、静電チャック 18 は、載置領域 18a 内に静電吸着用の電極 E1 を有している。電極 E1 は、上述したように、スイッチ SW1 を介して直流電源 22 に接続されている。

【0028】

また、載置領域 18a 内、且つ、電極 E1 の下方には、複数のヒーター HT が設けられている。本実施形態では、載置領域 18a は、複数の分割領域に分割され、それぞれの分割領域にヒーター HT が設けられている。例えば、図 2 に示すように、載置領域 18a の中央の円形領域内、および、当該円形領域を囲む同心状の複数の環状領域に、複数のヒーター HT が設けられている。また、複数の環状領域のそれぞれにおいては、複数のヒーター HT が周方向に配列されている。なお、図 2 に示す分割領域の分割手法は、一例であり、これに限定されるものではない。載置領域 18a は、より多くの分割領域に分割してもよい。例えば、載置領域 18a は、外周に近いほど、角度幅が小さく、径方向の幅が狭い分割領域に分割してもよい。ヒーター HT は、基台 20 の外周部分に設けられた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 内の複数の分割領域の温度が個別に調整される。

20

【0029】

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。

30

【0030】

また、載置台 16 は、載置領域 18a の各分割領域に、それぞれヒーター HT の温度が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ことができ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、主な金属の電気抵抗は温度上昇に比例して増大する性質であることを利用して、ヒーター HT にかかる電圧、電流を測定することから求められる抵抗値から温度を検出してもよい。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 の各分割領域の温度を示す温度データを制御部 100 に通知する。

40

【0031】

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。

50

【 0 0 3 2 】

[制御部の構成]

次に、制御部 1 0 0 について詳細に説明する。図 3 は、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したブロック図である。制御部 1 0 0 は、外部インターフェース 1 0 1 と、プロセスコントローラ 1 0 2 と、ユーザインターフェース 1 0 3 と、記憶部 1 0 4 とが設けられている。

【 0 0 3 3 】

外部インターフェース 1 0 1 は、プラズマ処理装置 1 0 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 1 0 1 には、電力検出部 P D から各ヒーター H T 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 1 0 1 には、温度測定器 T D から載置領域 1 8 a の各分割領域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 1 0 1 は、各ヒーター H T 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 H P へ出力する。

10

【 0 0 3 4 】

プロセスコントローラ 1 0 2 は、C P U (Central Processing Unit) を備えプラズマ処理装置 1 0 の各部を制御する。

【 0 0 3 5 】

ユーザインターフェース 1 0 3 は、工程管理者がプラズマ処理装置 1 0 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 1 0 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。

20

【 0 0 3 6 】

記憶部 1 0 4 には、プラズマ処理装置 1 0 で実行される各種処理をプロセスコントローラ 1 0 2 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、および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、制御プログラムや処理条件データ等のレシピは、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) などに格納された状態のものを利用してよい。また、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したりすることも可能である。

【 0 0 3 7 】

プロセスコントローラ 1 0 2 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 1 0 4 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 1 0 2 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 1 0 2 は、ヒーター制御部 1 0 2 a と、計測部 1 0 2 b と、パラメータ算出部 1 0 2 c と、出力部 1 0 2 d と、アラート部 1 0 2 e と、変更部 1 0 2 f と、設定温度算出部 1 0 2 g の機能を有する。なお、ヒーター制御部 1 0 2 a、計測部 1 0 2 b、パラメータ算出部 1 0 2 c、出力部 1 0 2 d、アラート部 1 0 2 e、変更部 1 0 2 f および設定温度算出部 1 0 2 g の各機能は、複数のコントローラで分散して実現されてもよい。

30

【 0 0 3 8 】

ここで、ウエハ W の温度に影響を与えるエネルギーの流れを説明する。図 4 は、ウエハ W の温度に影響を与えるエネルギーの流れの一例を模式的に示した図である。図 4 には、ウエハ W や、静電チャック (E S C) 1 8 を含む載置台 1 6 が簡略化して示されている。図 4 の例は、静電チャック 1 8 の載置領域 1 8 a の 1 つの分割領域について、ウエハ W 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 1 6 は、静電チャック 1 8 および基台 2 0 を有している。静電チャック 1 8 と基台 2 0 は、接着層 1 9 により接着されている。静電チャック 1 8 の載置領域 1 8 a の内部には、ヒーター H T が設けられている。基台 2 0 の内部には、冷媒が流れる冷媒流路 2 4 が形成されている。

40

【 0 0 3 9 】

ヒーター H T は、ヒーター電源 H P から供給される供給電力に応じて発熱し、温度が上

50

昇する。図 4 では、ヒーター H T 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 H T では、ヒータパワー P_h を、静電チャック 1 8 のヒーター H T 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。

【 0 0 4 0 】

また、プラズマ処理を行っている場合、ウエハ W は、プラズマからの入熱により、温度が上昇する。図 4 では、プラズマからウエハ W への入熱量をウエハ W 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。

【 0 0 4 1 】

プラズマからの入熱は、主にウエハ W 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ウエハ W 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。ウエハ W 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 H F S からの高周波電力 H F S のパワーに比例する。また、プラズマの電子密度は、処理容器 1 2 内の圧力に依存する。プラズマ中のイオンをウエハ W 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 L F S からの高周波電力 L F S のパワーに比例する。また、プラズマ中のイオンをウエハ W に引き込むためのバイアス電位は、処理容器 1 2 内の圧力に依存する。なお、高周波電力 L F S が載置台 1 2 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 1 2 の電位差によって、イオンが載置台へ引き込まれる。

【 0 0 4 2 】

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ウエハ W への照射、イオンとラジカルによるウエハ W 上の表面反応などが含まれる。これらの成分も交流電力のパワーや圧力に依存する。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 1 6 と上部電極 3 0 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。

【 0 0 4 3 】

ウエハ W に伝わった熱は、静電チャック 1 8 に伝わる。ここで、静電チャック 1 8 には、ウエハ W の熱が全て伝わるわけではなく、ウエハ W と静電チャック 1 8 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 1 8 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、ウエハ W から静電チャック 1 8 の表面への熱の伝わり難さを、ウエハ W と静電チャック 1 8 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 H T が設けられている領域の面積である。 R_{th} は、ヒーター H T 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、ウエハ W から静電チャック 1 8 表面への入熱量を、ウエハ W から静電チャック 1 8 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、ウエハ W と静電チャック 1 8 の表面間の単位面積当たりの熱抵抗 $R_{th} \cdot A$ は、静電チャック 1 8 の表面状態、ウエハ W を保持するために直流電源 2 2 から印加される直流電圧の値、および静電チャック 1 8 の上面とウエハ W 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。

【 0 0 4 4 】

静電チャック 1 8 の表面に伝わった熱は、静電チャック 1 8 の温度を上昇させ、さらに、ヒーター H T に伝わる。図 4 では、静電チャック 1 8 表面からヒーター H T への入熱量を、静電チャック 1 8 表面からヒーター H T への単位面積当たりの熱流束 q_c として示している。

【 0 0 4 5 】

一方、基台 2 0 は、冷媒流路 2 4 を流れる冷媒により冷却され、接触する静電チャック 1 8 を冷却する。図 4 では、接着層 1 9 を通過して静電チャック 1 8 の裏面から基台 2 0 への抜熱量を、静電チャック 1 8 の裏面から基台 2 0 への単位面積当たりの熱流束 q_{sus} として示している。これにより、ヒーター H T は、抜熱によって冷却され、温度が低下する。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 6 】

ヒーターHT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は、ヒーターHTに伝わる熱の入熱量およびヒーターHTで発生する発熱量の総和と、ヒーターHT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で発生する発熱量と、ヒーターHTから抜熱される抜熱量とが等しい状態となる。図5Aは、未点火状態のエネルギーの流れの一例を模式的に示す図である。図5Aの例では、基台20から冷却により、ヒーターHTから「100」の熱量が抜熱されている。例えば、ヒーターHT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には、ヒーター電源HPからヒータパワー P_h により「100」の熱量が発生する。

【 0 0 4 7 】

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に入熱する熱量およびヒーターHTで発生する熱量の総和と、ヒーターHTから抜熱される抜熱量とが等しい状態となる。図5Bは、点火状態のエネルギーの流れの一例を模式的に示す図である。ここで、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、ウエハWや静電チャック18に対する入熱量が抜熱量よりも多く、ウエハW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、ウエハWや静電チャック18の入熱量と抜熱量が等しくなり、ウエハW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。

【 0 0 4 8 】

図5Bの例でも、基台20から冷却により、ヒーターHTから「100」の熱量が抜熱されている。点火状態の場合、ウエハW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には、静電チャック18を介してウエハWから熱が伝わる。上述のように、ヒーターHT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に入熱する熱量とヒーターHTから抜熱される熱量は、等しい状態となる。ヒーターHTは、ヒーターHT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への供給電力が低下する。

【 0 0 4 9 】

例えば、図5Bにおいて、「過度状態」とした例では、プラズマからウエハWへ「80」の熱量が伝わる。ウエハWに伝わった熱は、静電チャック18に伝わる。また、ウエハWの温度が定常状態ではない場合、ウエハWに伝わった熱は、一部がウエハWの温度の上昇に作用する。ウエハWの温度上昇に作用する熱量は、ウエハWの熱容量に依存する。このため、プラズマからウエハWに伝わった「80」の熱量のうち、「60」の熱量がウエハW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「60」の熱量のうち、「40」の熱量がヒーターHTに伝わる。このため、ヒーターHT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には、ヒーター電源HPからヒータパワー P_h により「60」の熱量が発生する。

【 0 0 5 0 】

また、図5Bにおいて、「定常状態」とした例では、プラズマからウエハWへ「80」の熱量が伝わる。ウエハWに伝わった熱は、静電チャック18に伝わる。また、ウエハWの温度が定常状態である場合、ウエハWは、入熱量と抜熱量が等しい状態となっている。このため、プラズマからウエハWに伝わった「80」の熱量がウエハW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、入熱量と抜熱量が等しいとなっている。このため、静電チャック18の表面に伝わった「80」の熱量がヒーターHTに伝わる。このため、ヒーターHT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には、ヒーター電源HPからヒータパワー P_h により「20」の熱量が発

10

20

30

40

50

生ずる。

【 0 0 5 1 】

図 5 A および図 5 B に示したように、ヒーター H T 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 H T への供給電力が定常状態となるまで低下する。

【 0 0 5 2 】

なお、図 5 A および図 5 B に示したように、ヒーター H T 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 2 0 から冷却により、ヒーター H T から「 1 0 0 」の熱量が抜熱されている。すなわち、ヒーター H T から基台 2 0 の内部に形成された冷媒流路 2 4 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 H T 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 H T 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 H T に直接取り付ける必要はない。例えば、静電チャック 1 8 の裏面、接着層 1 9 の中、基台 2 0 の内部など、ヒーター H T と冷媒までの間であれば、ヒーター H T と温度センサ間の温度差も常に一定であり、ヒーター H T 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 H T の間の温度差 (T) を算出し、温度センサで検出される温度の値に温度差 (T) を加算することによって、ヒーター H T 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 H T の温度が一定となるように制御することができる。

【 0 0 5 3 】

図 6 は、ウエハ W の温度とヒーター H T への供給電力の変化の一例を示す図である。図 6 の (A) は、ウエハ W の温度の変化を示している。図 6 の (B) は、ヒーター H T への供給電力の変化を示している。図 6 の例は、ヒーター H T 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、ウエハ W の温度とヒーター H T への供給電力を測定した結果の一例を示している。ウエハ W の温度は、ケーエルエー・テンコール (KLA-Tencor) 社から販売されている Etch Temp などの温度計測用のウエハを用いて計測した。

【 0 0 5 4 】

図 6 の期間 T 1 は、プラズマを点火して無い未点火状態である。期間 T 1 では、ヒーター H T への供給電力が一定となっている。図 6 の期間 T 2 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 T 2 では、ヒーター H T への供給電力が低下する。また、期間 T 2 では、ウエハ W の温度が一定の温度まで上昇する。図 6 の期間 T 3 は、プラズマを点火した点火状態である。期間 T 3 では、ウエハ W 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 1 8 も定常状態となると、ヒーター H T 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。図 6 の期間 T 4 は、プラズマを消した未点火状態である。期間 T 4 では、ウエハ W に対するプラズマから入熱が無くなるため、ウエハ W の温度が低下し、ヒーター H T への供給電力が増加している。

【 0 0 5 5 】

図 6 の期間 T 2 に示される過度状態でのヒーター H T への供給電力の低下の傾向は、プラズマからウエハ W への入熱量や、ウエハ W と静電チャック 1 8 の表面間の熱抵抗などによって変化する。

【 0 0 5 6 】

図 7 は、点火状態のエネルギーの流れの一例を模式的に示す図である。なお、図 7 は、何れも過度状態の例である。例えば、図 7 において、「入熱量：小、熱抵抗：小」とした例では、プラズマからウエハ W へ「 8 0 」の熱量が伝わる。プラズマからウエハ W に伝わった「 8 0 」の熱量のうち、「 6 0 」の熱量がウエハ W から静電チャック 1 8 の表面へ伝わる。そして、静電チャック 1 8 の表面に伝わった「 6 0 」の熱量のうち、「 4 0 」の熱量がヒーター H T に伝わる。例えば、ヒーター H T の温度が一定となるように制御している場合、ヒーター H T には、ヒーター電源 H P からヒータパワー P_h により「 6 0 」の熱量が発生する。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 7 】

また、図7において、「入熱量：大、熱抵抗：小」とした例では、プラズマからウエハWへ「100」の熱量が伝わる。プラズマからウエハWに伝わった「100」の熱量のうち、「80」の熱量がウエハWから静電チャック18の表面へ伝わる。そして、静電チャック18の表面に伝わった「80」の熱量のうち、「60」の熱量がヒーターHTに伝わる。例えば、ヒーターHT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には、ヒーター電源HPからヒータパワー P_h により「40」の熱量が発生する。

【 0 0 5 8 】

また、図7において、「入熱量：小、熱抵抗：大」とした例では、プラズマからウエハWへ「80」の熱量が伝わる。プラズマからウエハWに伝わった「80」の熱量のうち、「40」の熱量がウエハW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「40」の熱量のうち、「20」の熱量がヒーターHTに伝わる。例えば、ヒーターHT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には、ヒーター電源HPからヒータパワー P_h により「80」の熱量が発生する。

10

【 0 0 5 9 】

このように、ヒーターHTの温度を一定に制御している場合、ヒータパワー P_h は、プラズマからウエハWへの入熱量や、ウエハWと静電チャック18の表面間の熱抵抗によって変化する。よって、図6の(B)に示される期間T2のヒーターHTへの供給電力の低下の傾向は、プラズマからウエハWへの入熱量や、ウエハWと静電チャック18の表面間の熱抵抗などによって変化する。このため、期間T2のヒーターHTへの供給電力のグラフは、プラズマからウエハWへの入熱量や、ウエハWと静電チャック18の表面間の熱抵抗をパラメータとしてモデル化できる。すなわち、期間T2のヒーターHTへの供給電力の変化は、プラズマからウエハWへの入熱量や、ウエハWと静電チャック18の表面間の熱抵抗をパラメータとして、演算式によりモデル化できる。

20

【 0 0 6 0 】

本実施形態では、図6の(B)に示す、期間T2のヒーターHT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、プラズマを点火してからの経過時間を t とし、経過時間 t でのヒータパワー P_h を $P_{h(t)}$ とし、経過時間 t での経過時間 t での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からの発熱量 q_h を $q_{h(t)}$ とする。この場合、経過時間 t での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からの発熱量 $q_{h(t)}$ は、以下の式(2)のように表せる。また、プラズマを点火しておらず、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からの発熱量 q_{h_Off} は、以下の式(3)のように表せる。また、静電チャック18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 は、プラズマが発生している場合と、発生していない場合で変化する。プラズマが発生している際のプラズマからウエハWへの単位面積当たりの熱流束 q_p を熱流束 q_{p_on} とする。プラズマからウエハWへの単位面積当たりの熱流束 q_{p_on} 、および、ウエハWと静電チャック18の表面間の単位面積当たりの熱抵抗 $R_{th} \cdot A$ をパラメータとし、 a_1 、 a_2 、 a_3 、 α_1 、 α_2 、 β_1 、 β_2 を以下の式(5) - (11)のように表した場合、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からの発熱量 $q_{h(t)}$ は、以下の式(1)のように表せる。

30

40

【 0 0 6 1 】

【数1】

$$q_{h(t)} = q_{h_off} - q_{P_on} - \frac{R_{th} \cdot A \cdot q_{P_on}}{R_{thc} \cdot A \cdot (\lambda_1 - \lambda_2)} \left\{ \left(1 + \frac{a_2 + a_3}{a_1 \cdot a_3} \cdot \lambda_2 \right) (2a_1 + 3\lambda_1) \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) - \left(1 + \frac{a_2 + a_3}{a_1 \cdot a_3} \cdot \lambda_1 \right) (2a_1 + 3\lambda_2) \exp\left(-\frac{t}{\tau_2}\right) \right\} \quad \dots (1)$$

$$q_{h(t)} = \frac{P_{h(t)}}{A} \quad \dots (2) \quad 10$$

$$q_{h_off} = \frac{P_{h_off}}{A} \quad \dots (3)$$

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

$$a_1 = \frac{1}{\rho_w \cdot C_w \cdot z_w \cdot R_{th} \cdot A} \quad \dots (5) \quad 20$$

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

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

$$\lambda_1 = \frac{1}{2} \left\{ -(a_1 + 2a_2 + 2a_3) + \sqrt{(a_1 + 2a_2 + 2a_3)^2 - 8a_1a_3} \right\} \quad \dots (8) \quad 30$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{2} \left\{ -(a_1 + 2a_2 + 2a_3) - \sqrt{(a_1 + 2a_2 + 2a_3)^2 - 8a_1a_3} \right\} \quad \dots (9)$$

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

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

40

【 0 0 6 2 】

ここで、

$P_{h(t)}$ は、経過時間 t での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_{h_off} 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 / m²]である。

$q_{h(t)}$ は、経過時間 t での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からの発熱量[W / m²]である。

q_{h_off} 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ーHTからの発熱量[W / m²]である。

$R_{th} \cdot A$ は、プラズマからウエハWへの単位面積当たりの熱流束[W / m²]である。

50

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

A は、ヒーターが設けられている領域の面積 [m^2] である。

w は、ウエハ W の密度 [kg / m^3] である。

C_w は、ウエハ W の単位面積当たりの熱容量 [$J / K \cdot m^2$] である。

z_w は、ウエハ W 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^3] 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 [$J / K \cdot m^2$] である。

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

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

【0063】

式 (5) に示した a_1 について、 $1 / a_1$ がウエハ W 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。

【0064】

ヒーター HT の面積 A 、ウエハ W の密度 w 、ウエハ W の単位面積当たりの熱容量 C_w 、ウエハ W の厚さ z_w 、静電チャック 18 を構成するセラミックの密度 c 、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 、静電チャック 18 の表面からヒーター HT 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 c は、ウエハ W やプラズマ処理装置 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 c 、距離 z_c から式 (4) により予め定まる。

【0065】

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 $P_{h(t)}$ 、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_{h_Off} は、プラズマ処理装置 10 を用いて計測により求めることができる。そして、式 (2) および (3) に示すように、求めたヒータパワー $P_{h(t)}$ 、およびヒータパワー P_{h_Off} のそれぞれをヒーター HT 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 からの発熱量 $q_{h(t)}$ 、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単位面積当たりのヒーター HT からの発熱量 q_{h_Off} を求めることができる。

【0066】

そして、プラズマからウエハ W への単位面積当たりの熱流束 q_{p_on} 、および、ウエハ W と静電チャック 18 の表面間の単位面積当たりの熱抵抗 $R_{th} \cdot A$ は、計測結果を用いて、(1) 式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。

【0067】

また、図 6 の (A) に示される期間 T2 のウエハ W の温度のグラフも、プラズマからウエハ W への入熱量や、ウエハ W と静電チャック 18 の表面間の熱抵抗をパラメータとしてモデル化できる。本実施形態では、期間 T2 のウエハ W 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、プラズマからウエハ W への単位面積当たりの熱流束 q_{p_on} 、および、ウエハ W と静電チャック 18 の表面間の単位面積当たりの熱抵抗 $R_{th} \cdot A$ をパラメータとし、式 (5) - (11) に示した a_1 、 a_2 、 a_3 、 τ_1 、 τ_2 、 τ_1 、 τ_2 を用いた場合、経過時間 t でのウエハ W の温度 $T_w(t)$ [$^{\circ}C$] は、以下の式 (12) のように表せる。

【0068】

【数 2】

10

20

30

40

50

$$T_{w(t)} = T_h + q_{p_on} \cdot (R_{th} \cdot A + R_{thc} \cdot A) + \frac{q_{p_on}}{\rho_w \cdot C_w \cdot z_w \cdot (\lambda_1 - \lambda_2)} \left\{ \left(1 + \frac{a_2 + a_3}{a_1 \cdot a_3} \cdot \lambda_2 \right) \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) - \left(1 + \frac{a_2 + a_3}{a_1 \cdot a_3} \cdot \lambda_1 \right) \exp\left(-\frac{t}{\tau_2}\right) \right\} \quad \dots (12)$$

10

【 0 0 6 9 】

ここで、

$T_{w(t)}$ は、経過時間 t でのウエハ W の温度 [] である。

T_h は、一定に制御したヒーター H T の温度 [] である。

【 0 0 7 0 】

ヒーター H T の温度 T_h は、実際にウエハ W 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 7 1 】

計測結果を用いて、(1) 式のフィッティングを行うことにより、熱流束 q_{p_on} 、および、熱抵抗 $R_{th} \cdot A$ が求まった場合、ウエハ W の温度 T_w は、式 (1 2) から算出できる。

20

【 0 0 7 2 】

経過時間 t が、式 (1 0)、(1 1) によって表される時定数 τ_1 、 τ_2 より十分に長い場合、すなわち図 6 の期間 T 2 である過渡状態から期間 T 3 である定常状態に移行した後におけるウエハ W の温度 T_w が目標温度となるヒーター H T の温度 T_h を算出する場合、式 (1 2) は、以下の式 (1 3) のように省略できる。

【 0 0 7 3 】

【 数 3 】

$$T_{w(t)} = T_h + q_{p_on} \cdot (R_{th} \cdot A + R_{thc} \cdot A) \quad \dots (13)$$

30

【 0 0 7 4 】

例えば、式 (1 3) により、ヒーターの温度 T_h 、熱流束 q_{p_on} 、熱抵抗 $R_{th} \cdot A$ 、 $R_{thc} \cdot A$ からウエハ W の温度 T_w を求めることができる。

【 0 0 7 5 】

ところで、プラズマ処理装置 1 0 は、プラズマ処理の状況を把握するため、プラズマ処理中のプラズマの状態を検出することが所望されている。例えば、プラズマ処理装置 1 0 では、プラズマの状態として、プラズマの密度分布を検出することが所望されている。プラズマ処理装置 1 0 では、プラズマの密度分布によってプラズマからの入熱量が変化する。

【 0 0 7 6 】

図 8 は、プラズマの密度分布による未点火状態と過渡状態の温度変化の一例を概略的に示す図である。図 8 の (A) ~ (D) には、プラズマ処理の際のプラズマ密度の分布と、載置台 1 6 の各分割領域の表面温度変化が時系列に示されている。図 8 の (A) は、未点火状態を示している。未点火状態では、プラズマが生成されておらず、各ヒーター H T の温度を一定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場合、載置領域 1 8 a の各分割領域の温度も一定となる。図 8 の (B) ~ (D) は、過渡状態を示している。プラズマの密度が高い領域は、載置領域 1 8 a へのプラズマからの入熱量が多くなる。プラズマの密度が低い領域は、載置領域 1 8 a へのプラズマからの入熱量が少なくなる。例えば、生成したプラズマの密度分布が、図 8 の (B) ~ (D) に示すように、載置領域 1 8 a の中心が高く、周辺で低い場合、載置領域 1 8 a の中心は、入熱量が多くなる。このため、載置領域 1 8 a の中心の表面温度が、周辺付近よりも上昇する。各ヒーター H T の温

40

50

度を一定となるよう各ヒーターHTへの供給電力を制御した場合、載置領域18aの表面温度の上昇分を低下させるため、ヒーターHTへの供給電力が低下する。載置領域18aの中心のヒーターHTは、入熱量が多いため、周辺付近のヒーターHTよりも供給電力が大きく低下する。

【0077】

図9は、未点火状態と過渡状態のエネルギーの流れの一例を模式的に示す図である。なお、図9の例では、載置領域18aを、載置領域18aの中心付近である中央部(Center)、中央部を囲む周辺部(Middle)、周辺部を囲み載置領域18aのエッジ付近であるエッジ部(Edge)の3つのゾーンに分けている。プラズマの密度分布は、図8の(B)~(D)と同様に、載置領域18aの中心で高く、周辺で低いものと仮定する。

10

【0078】

図9に示す未点火状態では、基台20から冷却により、ヒーターHTから「100」の熱量が抜熱されている。例えば、ヒーターHT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には、ヒーター電源HPからヒータパワー P_h により「100」の熱量が発生する。これにより、ヒーターHTで発生する熱量と、ヒーターHTから抜熱される熱量とが等しい状態となる。

【0079】

一方、図9に示す過渡状態では、載置領域18aの中心のプラズマの密度分布が周辺よりも高いため、載置領域18aの中央部(Center)の入熱量が「大」、周辺部(Middle)の入熱量が「中」、エッジ部(Edge)の入熱量が「小」となっている。例えば、中央部、周辺部、エッジ部の熱抵抗を同じとした場合、中央部(Center)では、プラズマから「100」の熱量が入熱し、「60」の熱量がヒーターHTに伝わる。周辺部(Middle)では、プラズマから「80」の熱量が入熱し、「40」の熱量がヒーターHTに伝わる。エッジ部(Edge)では、プラズマから「40」の熱量が入熱し、「20」の熱量がヒーターHTに伝わる。

20

【0080】

図10は、ウエハWの温度とヒーターHTへの供給電力の変化の一例を示す図である。図10の(A)は、中央部(Center)、周辺部(Middle)、エッジ部(Edge)のウエハWの温度の変化を示している。図10の(B)は、中央部(Center)、周辺部(Middle)、エッジ部(Edge)のヒーターHTへの供給電力の変化を示している。図10の(B)に示すように、入熱量によって供給電力の波形も変化する。よって、未点火状態と過渡状態での各ゾーンのヒーターHTへの供給電力を計測し、ゾーンごとの計測結果を用いて、(1)式のフィッティングを行うことにより、各ゾーンの入熱量を求めることができる。そして、各ゾーンの入熱量からプラズマの密度分布を求めることができる。すなわち、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プラズマの状態を検出できる。

30

【0081】

図3に戻る。ヒーター制御部102aは、各ヒーターHTの温度を制御する。例えば、ヒーター制御部102aは、各ヒーターHTへの供給電力を指示する制御データをヒーター電源HPへ出力して、ヒーター電源HPから各ヒーターHTへ供給する供給電力を制御することにより、各ヒーターHTの温度を制御する。

40

【0082】

プラズマ処理の際、ヒーター制御部102aには、各ヒーターHT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102aには、載置領域18aの各分割領域ごとに、目標とするウエハWの目標温度が、当該分割領域のヒーターHTの設定温度として設定される。目標温度は、例えば、ウエハWに対する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。

【0083】

ヒーター制御部102aは、プラズマ処理の際、各ヒーターHTが設定された設定温度となるよう各ヒーターHTへの供給電力を制御する。例えば、ヒーター制御部102aは

50

、外部インターフェース 101 に入力する温度データが示す載置領域 18a の各分割領域の温度を、分割領域ごとに、当該分割領域の設定温度と比較する。そして、ヒーター制御部 102a は、設定温度に対して温度が低い分割領域、および、設定温度に対して温度が高い分割領域をそれぞれ特定する。ヒーター制御部 102a は、設定温度に対して温度が低い分割領域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 HP へ出力する。

【0084】

計測部 102b は、外部インターフェース 101 に入力する電力データが示す各ヒーター HT への供給電力を用いて、各ヒーター HT への供給電力を計測する。例えば、計測部 102b は、ヒーター制御部 102a により、各ヒーター HT の温度が一定となるよう各ヒーター HT 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の各ヒーター HT への供給電力を計測する。また、計測部 102b は、プラズマを点火してから各ヒーター HT 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各ヒーター HT への供給電力を計測する。

10

【0085】

例えば、計測部 102b は、ヒーター制御部 102a が各ヒーター HT の温度が一定の設定温度となるよう各ヒーター HT への供給電力を制御している状態で、プラズマ処理の開始前のプラズマが未点火状態での各ヒーター HT への供給電力を計測する。また、計測部 102b は、プラズマを点火してから各ヒーター HT 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各ヒーター HT への供給電力を計測する。未点火状態での各ヒーター HT への供給電力は、各ヒーター HT で少なくとも 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。過渡状態での各ヒーター HT 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であることが好ましい。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 102b は、プラズマ処理の期間中、所定周期（例えば、0.1 秒周期）で各ヒーター HT への供給電力を計測する。これにより、過渡状態での各ヒーター HT への供給電力が多数計測される。

20

【0086】

計測部 102b は、所定のサイクルで、未点火状態と、過渡状態の各ヒーター HT への供給電力を計測する。例えば、計測部 102b 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、毎回、未点火状態と、過渡状態の各ヒーター HT への供給電力を計測する。なお、例えば、パラメータ算出部 102c は、プラズマ処理ごとに、未点火状態と、過渡状態の各ヒーター HT への供給電力を計測してもよい。

30

【0087】

パラメータ算出部 102c は、ヒーター HT ごとに、プラズマからの入熱量およびウエハ W とヒーター HT 間の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を用いて入熱量および熱抵抗を算出する。例えば、パラメータ算出部 102c は、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、入熱量および熱抵抗を算出する。

40

【0088】

例えば、パラメータ算出部 102c は、ヒーター HT ごとに、経過時間 t ごとの未点火状態のヒータパワー P_{h_Off} を求める。また、パラメータ算出部 102c は、ヒーター HT ごとに、経過時間 t ごとの過渡状態のヒータパワー $P_{h(t)}$ を求める。そして、パラメータ算出部 102c は、求めたヒータパワー $P_{h(t)}$ 、およびヒータパワー P_{h_Off} のそれぞれをヒーター HT ごとの面積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 HT からの発熱量 q_{h_Off} 、および経過時間 t ごとの過渡状態の単位面積当たりのヒーター HT からの発熱量 $q_{h(t)}$ を求める。

【0089】

50

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、ヒーター HT ごとに、経過時間 t ごとの単位面積当たりのヒーター HT からの発熱量 $q_{h(t)}$ 、および、単位面積当たりのヒーター HT からの発熱量 q_{h_Off} 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_on} 、および、熱抵抗 $R_{th} \cdot A$ を算出する。

【0090】

パラメータ算出部 102c は、所定のサイクルで、測定された未点火状態と過渡状態の供給電力を用いて、熱流束 q_{p_on} 、および、熱抵抗 $R_{th} \cdot A$ を算出する。例えば、パラメータ算出部 102c は、ウエハ W が交換されるごとに、当該ウエハ W を載置台 16 に載置した状態で測定された未点火状態と過渡状態の供給電力を用いて、熱流束 q_{p_on} 、および、熱抵抗 $R_{th} \cdot A$ を算出する。なお、例えば、パラメータ算出部 102c は、プラズマ処理ごとに、未点火状態と過渡状態の供給電力を用いて、熱流束 q_{p_on} 、および、熱抵抗 $R_{th} \cdot A$ を算出してもよい。

10

【0091】

出力部 102d は、各種の情報の出力を制御する。例えば、出力部 102d は、所定のサイクルで、パラメータ算出部 102c により算出された熱流束 q_{p_on} に基づく情報を出力する。例えば、出力部 102d は、パラメータ算出部 102c により算出されたヒーター HT ごとの熱流束 q_{p_on} に基づき、プラズマの密度分布を示す情報をユーザインターフェース 103 に出力する。例えば、出力部 102d は、ウエハ W が交換されるごとに、当該ウエハ W に対してプラズマ処理を行った際のプラズマの密度分布を示す情報をユーザインターフェース 103 に出力する。なお、出力部 102d は、プラズマの密度分布を示す情報を外部装置へデータとして出力してもよい。

20

【0092】

図 11A は、プラズマの密度分布を示す情報の出力の一例を示す図である。図 11A の例では、ヒーター HT が設けられた載置領域 18a の分割領域ごとに、当該分割領域の熱流束 q_{p_on} をパターンで表示している。

【0093】

図 11B は、プラズマの密度分布を示す情報の出力の一例を示す図である。図 11B の例では、中央部 (Center)、周辺部 (Middle)、エッジ部 (Edge) の熱流束 q_{p_on} が示されている。

【0094】

これにより、工程管理者やプラズマ処理装置 10 の管理者は、プラズマの状態を把握できる。

30

【0095】

ところで、プラズマ処理装置 10 は、プラズマの状態に異常が発生する場合がある。例えば、プラズマ処理装置 10 は、静電チャック 18 の大幅な消耗やデポの付着などにより処理容器 12 内の特性が変化して、プラズマの状態がプラズマ処理に適さない異常な状態となる場合がある。また、プラズマ処理装置 10 は、異常なウエハ W が搬入される場合もある。

【0096】

そこで、アラート部 102e は、パラメータ算出部 102c により所定のサイクルで算出される入熱量、または入熱量の変化に基づき、アラートを行う。例えば、アラート部 102e は、所定のサイクルでパラメータ算出部 102c により算出される熱流束 q_{p_on} が所定の許容範囲以外の場合、アラートを行う。また、アラート部 102e は、所定のサイクルでパラメータ算出部 102c により算出される熱流束 q_{p_on} が所定の許容値以上変化している場合、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 10 の管理者などに異常を報知できれば、何れの方式でもよい。例えば、アラート部 102e は、ユーザインターフェース 103 に異常を報知するメッセージを表示する。

40

【0097】

これにより、本実施形態に係るプラズマ処理装置 10 は、処理容器 12 内の特性や、異常なウエハ W が搬入などにより、プラズマの状態が異常となった場合に、異常の発生を報

50

知できる。

【 0 0 9 8 】

変更部 1 0 2 f は、プラズマの密度分布を示す情報に基づき、ウエハ W に対するプラズマ処理が均等化するようにプラズマ処理の制御パラメータを変更する。

【 0 0 9 9 】

ここで、プラズマエッチングは、ラジカルの表面吸着、熱エネルギーによる離脱およびイオン衝突による離脱の要因を含んでいる。図 1 2 は、プラズマエッチングを模式的に示した図である。図 1 2 の例は、有機膜の表面を O₂ ガスでプラズマエッチングする状態をモデル化したものである。有機膜の表面は、ラジカルの吸着と、熱エネルギーによる離脱、およびイオン衝突による離脱との相乗作用によりエッチングされる。

10

【 0 1 0 0 】

プラズマエッチングのエッチングレート (E / R) は、以下の式 (1 4) で表すことができる。

【 0 1 0 1 】

【 数 4 】

$$E/R = \frac{1}{n_C} \cdot \frac{1}{\frac{1}{K_d + kE_i \cdot \Gamma_{ion}} + \frac{1}{s \cdot \Gamma_{radical}}} \quad \dots (14)$$

20

【 0 1 0 2 】

ここで、

n_C は、被エッチング膜の材質を示す値である。

$\Gamma_{radical}$ は、ラジカルの供給量である。

s は、表面への吸着確率である。

K_d は、熱反応速度である。

Γ_{ion} は、イオン入射量である。

E_i は、イオンエネルギーである。

k は、イオン性脱離の反応確率である。

【 0 1 0 3 】

式 (1 4) の「 K_d 」の部分は熱エネルギーによる離脱を表している。「 $k E_i \cdot \Gamma_{ion}$ 」の部分はイオン衝突による離脱を表している。「 $s \cdot \Gamma_{radical}$ 」の部分はラジカルの表面吸着を表している。

30

【 0 1 0 4 】

プラズマの濃度分布は、イオン衝突による離脱に影響を与えており、式 (1 4) の「 $k E_i \cdot \Gamma_{ion}$ 」の部分がプラズマの濃度によって変化する。エッチングレートは、「 K_d 」の部分や、「 $s \cdot \Gamma_{radical}$ 」の部分によっても変化する。このため、プラズマの密度分布に対応して、「 K_d 」の部分や、「 $s \cdot \Gamma_{radical}$ 」の部分を変えることで、エッチングレートを均等化することができる。変更部 1 0 2 f は、プラズマの密度分布を示す情報に基づき、ウエハ W に対するプラズマ処理が均等化するように、「 K_d 」の部分や、「 $s \cdot \Gamma_{radical}$ 」の部分に影響するプラズマ処理の制御パラメータを変更する。

40

【 0 1 0 5 】

例えば、「 K_d 」の部分は、例えば、ウエハ W の温度によって変化する。また、「 $s \cdot \Gamma_{radical}$ 」の部分は、プラズマにするガスの濃度によって変化する。

【 0 1 0 6 】

変更部 1 0 2 f は、プラズマの密度分布を示す情報に基づき、載置領域 1 8 a の分割領域ごとのウエハ W の温度の目標温度を変更する。例えば、変更部 1 0 2 f は、プラズマの密度が高い分割領域について、熱エネルギーによる離脱が減少するように目標温度を変更する。例えば、変更部 1 0 2 f は、目標温度を低く変更する。また、変更部 1 0 2 f は、プラズマの密度が低い分割領域について熱エネルギーによる離脱が増加するように目標温

50

度を変更する。例えば、変更部 102f は、目標温度を高く変更する。なお、上部電極 30 が、下面を分割した分割領域ごとに、吐出するガスの濃度を変更可能に構成した場合、変更部 102f は、プラズマの密度分布を示す情報に基づき、上部電極 30 の分割領域ごとに、吐出するガスの濃度を変更してもよい。例えば、変更部 102f は、プラズマの密度が高い分割領域のガスの濃度を低く変更する。また、変更部 102f は、プラズマの密度が低い分割領域のガスの濃度を高く変更する。変更部 102f は、分割領域ごとのウエハ W の温度の目標温度の変更と、上部電極 30 の分割領域ごとに、吐出するガスの濃度の変更を合わせて行ってもよい。

【0107】

設定温度算出部 102g は、ヒーター HT ごとに、算出された入熱量および熱抵抗を用いて、ウエハ W が目標温度となるヒーター HT の設定温度を算出する。例えば、設定温度算出部 102g は、ヒーター HT ごとに、算出された熱流束 q_{p_on} 、および、熱抵抗 $R_{th} \cdot A$ を式 (5)、(6)、(12) に代入する。そして、設定温度算出部 102g は、ヒーター HT ごとに、式 (5) - (11) に示した a_1 、 a_2 、 a_3 、 τ_1 、 τ_2 、 τ_1 、 τ_2 を用いて、式 (12) からウエハ W の温度 T_W が目標温度となるヒーター HT の温度 T_h を算出する。例えば、設定温度算出部 102g 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、ウエハ W の温度 T_W が目標温度となるヒーター HT の温度 T_h を算出する。算出されるヒーター HT の温度 T_h は、ウエハ W の温度が目標温度となるヒーター HT の温度である。なお、ウエハ W の温度が目標温度となるヒーター HT の温度 T_h は、式 (13) から求めてもよい。

【0108】

なお、設定温度算出部 102g は、式 (12) から、以下のように現在のヒーター HT の温度 T_h でのウエハ W の温度 T_W を算出してもよい。例えば、設定温度算出部 102g は、現在のヒーター HT 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ウエハ W の温度 T_W を算出する。次に、設定温度算出部 102g は、算出した温度 T_W と目標温度との差分 ΔT_W を算出する。そして、設定温度算出部 102g は、現在のヒーター HT の温度 T_h から差分 ΔT_W の減算を行った温度を、ウエハ W の温度が目標温度となるヒーター HT の温度と算出してもよい。

【0109】

設定温度算出部 102g は、ヒーター制御部 102a の各ヒーター HT の設定温度を、ウエハ W の温度が目標温度となるヒーター HT の温度に修正する。

【0110】

設定温度算出部 102g は、所定のサイクルで、ウエハ W の温度が目標温度となるヒーター HT の温度を算出し、各ヒーター HT の設定温度を修正する。例えば、設定温度算出部 102g は、ウエハ W が交換されるごとに、ウエハ W の温度が目標温度となるヒーター HT の温度を算出し、各ヒーター HT の設定温度を修正する。なお、例えば、設定温度算出部 102g は、プラズマ処理ごとに、ウエハ W の温度が目標温度となるヒーター HT の温度を算出し、各ヒーター HT の設定温度を修正してもよい。

【0111】

これにより、本実施形態に係るプラズマ処理装置 10 は、プラズマ処理中のウエハ W の温度を目標温度に精度よく制御できる。

【0112】

[制御の流れ]

次に、本実施形態に係るプラズマ処理装置 10 を用いたプラズマ状態検出方法について説明する。図 13 は、実施形態に係るプラズマ状態検出およびプラズマ状態制御の処理の流れの一例を示すフローチャートである。この処理は、所定のタイミング、例えば、プラズマ処理を開始するタイミングで実行される。

【0113】

ヒーター制御部 102a は、各ヒーター HT が設定温度となるよう各ヒーター HT への供給電力を制御する (ステップ S10)。

10

20

30

40

50

【0114】

計測部102bは、ヒーター制御部102aが各ヒーターHTの温度が一定の設定温度となるよう各ヒーターHT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各ヒーターHTへの供給電力を計測する(ステップS11)。

【0115】

パラメータ算出部102cは、ヒーターHTごとに、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ヒーターHTの面積で除算することによって求められる単位面積当たりのヒーターHTからの発熱量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(ステップS12)。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、ヒーターHTごとに、経過時間tごとの単位面積当たりのヒーターHTからの発熱量 $q_{h(t)}$ 、および、単位面積当たりのヒーターHTからの発熱量 q_{h_Off} 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_on} および熱抵抗 $R_{th} \cdot A$ を算出する。

10

【0116】

出力部102dは、パラメータ算出部102cにより算出された入熱量に基づく情報を出力する(ステップS13)。例えば、出力部102dは、パラメータ算出部102cにより算出されたヒーターHTごとの熱流束 q_{p_on} に基づき、プラズマの密度分布を示す情報をユーザインターフェース103に出力する。

【0117】

変更部102fは、プラズマの密度分布を示す情報に基づき、ウエハWに対するプラズマ処理が均等化するようプラズマ処理の制御パラメータを変更する(ステップS14)。例えば、変更部102fは、プラズマの密度分布を示す情報に基づき、載置領域18aの分割領域ごとのウエハWの温度の目標温度を変更する。

20

【0118】

設定温度算出部102gは、ヒーターHTごとに、算出された入熱量および熱抵抗を用いて、ウエハWが目標温度となるヒーターHTの設定温度を算出する(ステップS15)。例えば、設定温度算出部102gは、ヒーターHTごとに、算出された熱流束 q_{p_on} 、および、熱抵抗 $R_{th} \cdot A$ を式(5)、(6)、(12)に代入する。そして、設定温度算出部102gは、式(5)-(11)に示した a_1 、 a_2 、 a_3 、 τ_1 、 τ_2 、 τ_1 、 τ_2 を用いて、式(12)からウエハWの温度 T_W が目標温度となるヒーターHTの温度 T_h を算出する。なお、ウエハWの温度が目標温度となるヒーターHTの温度 T_h は、式(13)から求めてもよい。

30

【0119】

設定温度算出部102gは、ヒーター制御部102aの各ヒーターHTの設定温度を、ウエハWの温度が目標温度となるヒーターHTの設定温度に修正し(ステップS16)、処理を終了する。

【0120】

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、出力部102dとを有する。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HTが設けられている。ヒーター制御部102aは、ヒーターHTが設定された設定温度となるようヒーターHT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HTの温度が一定となるようヒーターHT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HT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、プラズマからの入熱量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、入熱量を算出する。出力部102dは、パラメータ算出部102cにより算出された入熱量に基づく情報を出力する。これにより、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プラズマの状態を検出できる。

40

50

【 0 1 2 1 】

また、本実施形態に係るプラズマ処理装置 1 0 は、載置台 1 6 の載置面を分割した領域毎にヒーター H T が個別に設けられている。ヒーター制御部 1 0 2 a は、領域毎に設けられたヒーター H T が領域毎に設定された設定温度となるようヒーター H T ごとに供給電力を制御する。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 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 H T ごとに計測する。パラメータ算出部 1 0 2 c は、ヒーター H T ごとに、算出モデルに対して、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フィッティングを行って、ヒーター H T ごとに入熱量を算出する。出力部 1 0 2 d は、パラメータ算出部 1 0 2 c により算出されたヒーター H T ごとに入熱量に基づき、プラズマの密度分布を示す情報を出力する。これにより、プラズマ処理装置 1 0 は、処理容器 1 2 内にセンサを配置することなく、プラズマ処理の際のプラズマの密度分布を示す情報を提供できる。

10

【 0 1 2 2 】

また、本実施形態に係るプラズマ処理装置 1 0 は、変更部 1 0 2 f をさらに有する。変更部 1 0 2 f は、プラズマの密度分布に基づき、ウエハ W に対するプラズマ処理が均等化するようにプラズマ処理の制御パラメータを変更する。これにより、プラズマ処理装置 1 0 は、ウエハ W に対するプラズマ処理を均等化できる。

【 0 1 2 3 】

また、本実施形態に係るプラズマ処理装置 1 0 は、アラート部 1 0 2 e をさらに有する。アラート部 1 0 2 e は、出力部 1 0 2 d により出力される情報または当該情報の変化に基づき、アラートを行う。これにより、プラズマ処理装置 1 0 は、プラズマの状態に異常が発生した場合にアラートを行うことができる。

20

【 0 1 2 4 】

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。

【 0 1 2 5 】

例えば、上記の実施形態では、被処理体として半導体ウエハにプラズマ処理を行う場合を例に説明したが、これに限定されるものではない。被処理体は、温度によってプラズマ処理の進行に影響があるものであれば何れであってもよい。例えば、被処理体は、ガラス基板などであってもよい。

30

【 0 1 2 6 】

また、上記の実施形態では、プラズマ処理としてプラズマエッチングを行う場合を例に説明したが、これに限定されるものではない。プラズマ処理は、プラズマを用いた処理であれば何れであってもよい。例えば、プラズマ処理としては、化学気層堆積法 (C V D) 、原子層堆積法 (A L D) 、アッシング、プラズマドーピング、プラズマアニール等が挙げられる。

【 0 1 2 7 】

また、上記の実施形態では、プラズマ処理装置 1 0 は、基台 2 0 にプラズマ生成用の第 1 の高周波電源 H F S とバイアス電力用の第 2 の高周波電源 L F S が接続されているが、これに限定されない。プラズマ生成用の第 1 の高周波電源 H F S は、整合器 M U を介して上部電極 3 0 に接続されてもよい。

40

【 0 1 2 8 】

また、上記の実施形態では、プラズマ処理装置 1 0 は、容量結合型平行平板プラズマ処理装置であったが、任意のプラズマ処理装置に採用され得る。例えば、プラズマ処理装置 1 0 は、誘導結合型のプラズマ処理装置、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のように、任意のタイプのプラズマ処理装置であってもよい。

【 0 1 2 9 】

50

また、上記の実施形態では、変更部 102f は、プラズマの密度分布を示す情報に基づき、載置領域 18a の分割領域ごとのウエハ W の温度の目標温度を変更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、プラズマの生成におけるプラズマ密度の分布を、上部電極 30 の下面を分割した分割領域ごと、もしくは近似する分割領域ごとに変更可能な構成した場合、変更部 102f は、プラズマの密度分布を示す情報に基づき、プラズマ生成の分割ごとにプラズマ密度を変更してもよい。なお、プラズマ密度の分布を分割領域ごとに変更可能な構成とは、一例として、容量結合型平行平板プラズマ処理装置の場合、上部電極 30 が分割領域ごとに分割され、分割された上部電極ごとに異なる高周波電力を発生することが出来る複数の第 1 の高周波電源 HFS を接続した構成が挙げられる。また、誘導結合型プラズマ処理装置の場合、プラズマ生成用のアンテナが分割領域ごとに分かれており、分割されたアンテナごとに異なる高周波電力を発生することが出来る複数の第 1 の高周波電源 HFS を接続した構成が挙げられる。

10

【0130】

また、上記の実施形態では、載置台 16 の載置領域 18a を分割した各分割領域にヒーター HT を設けてい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。載置台 16 の載置領域 18a 全体に 1 つのヒーター HT を設けて、当該ヒーター HT への未点火状態と過渡状態での供給電力の計測し、算出モデルに対して計測結果のフィッティングを行って、入熱量を算出してもよい。算出される入熱量は、プラズマ全体での入熱量であるため、算出される入熱量からプラズマ全体としての状態を検出できる。

20

【0131】

また、上記の実施形態では、図 2 に示すように、載置台 16 の載置領域 18a を中央の円形領域内、および、当該円形領域を囲む同心状の複数の環状領域に分割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。図 14 は、実施形態に係る載置台の載置面の分割の一例を示す平面図である。例えば、図 14 に示すように、載置台 16 の載置領域 18a を格子状に分割し、各分割領域にヒーター HT を設けてもよい。これにより、格子状の分割領域ごとに入熱量を検出でき、プラズマの密度分布をより詳細に求めることができる。

【符号の説明】

【0132】

- 10 プラズマ処理装置
- 16 載置台
- 18 静電チャック
- 18a 載置領域
- 20 基台
- 100 制御部
- 102 プロセスコントローラ
- 102a ヒーター制御部
- 102b 計測部
- 102c パラメータ算出部
- 102d 出力部
- 102e アラート部
- 102f 変更部
- 102g 設定温度算出部
- HP ヒーター電源
- HT ヒーター
- PD 電力検出部
- TD 温度測定器
- W ウエハ

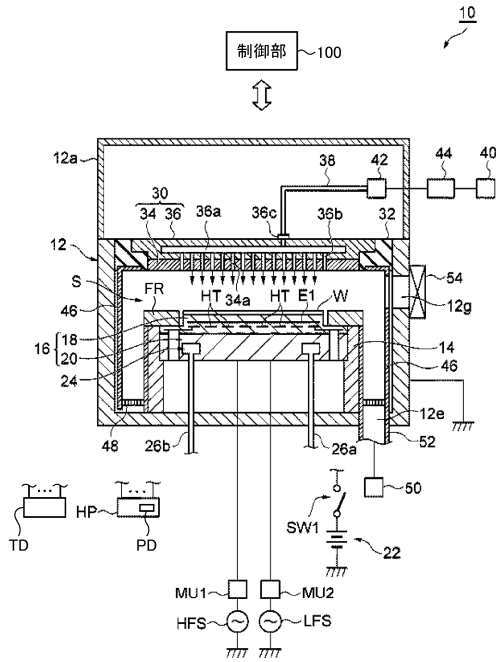
30

40

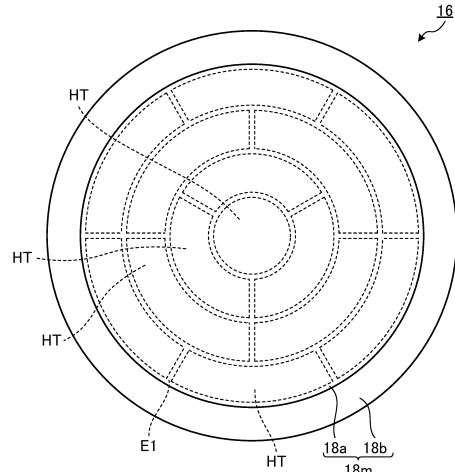
50

【図面】

【図 1】



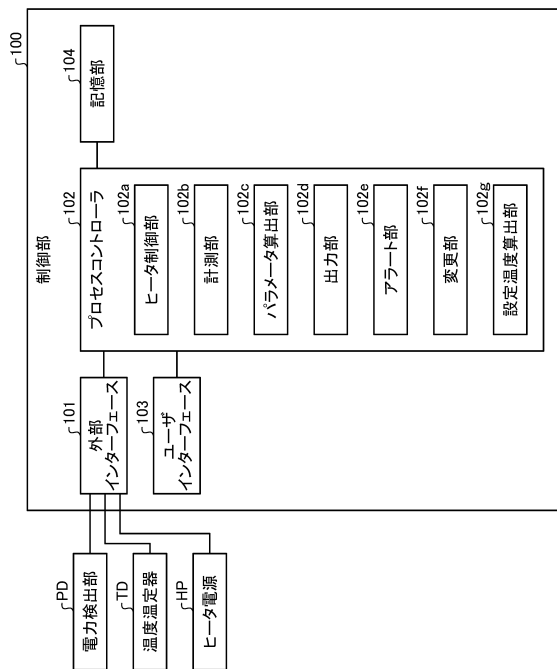
【図 2】



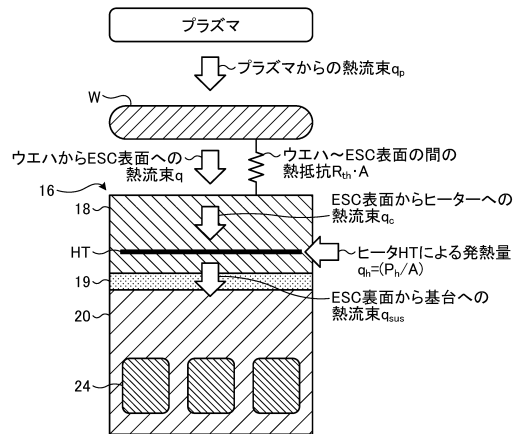
10

20

【図 3】



【図 4】

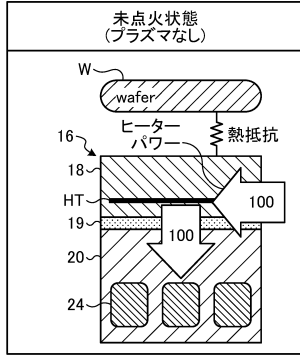


30

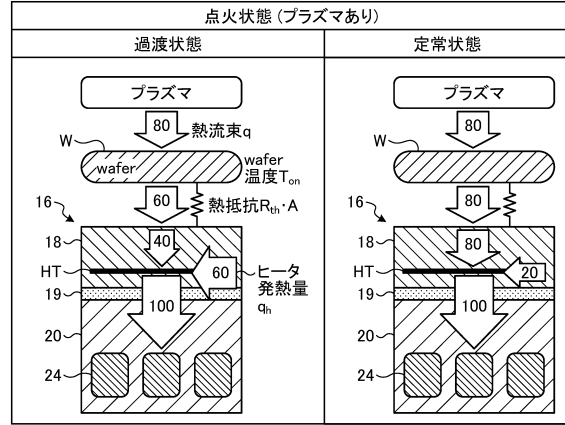
40

50

【図 5 A】

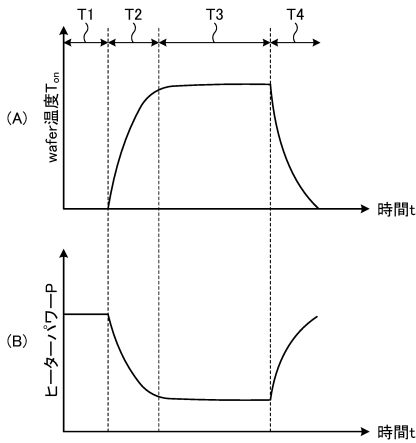


【図 5 B】

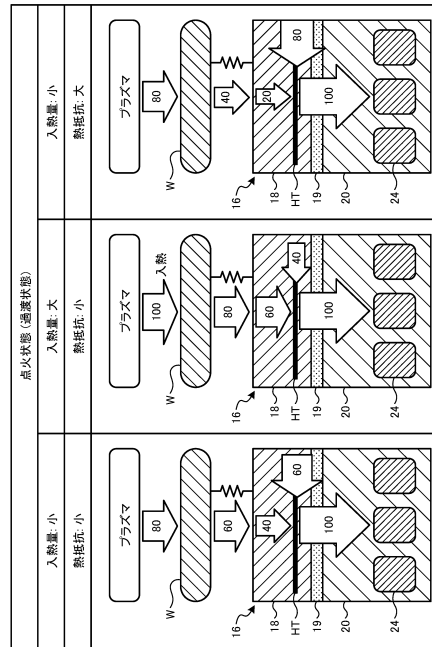


10

【図 6】



【図 7】



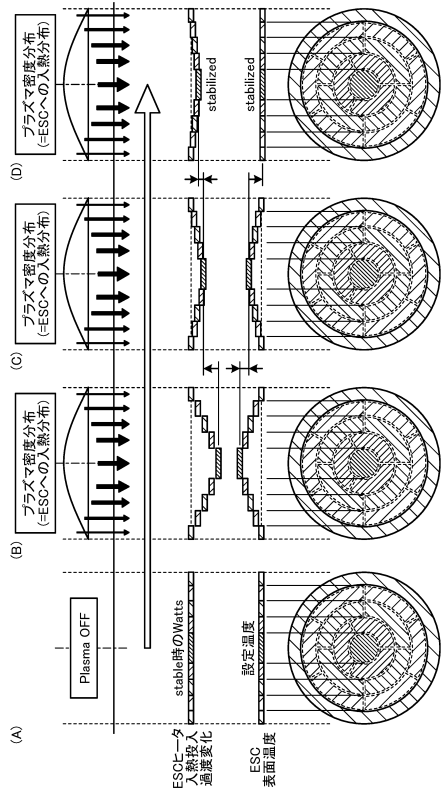
20

30

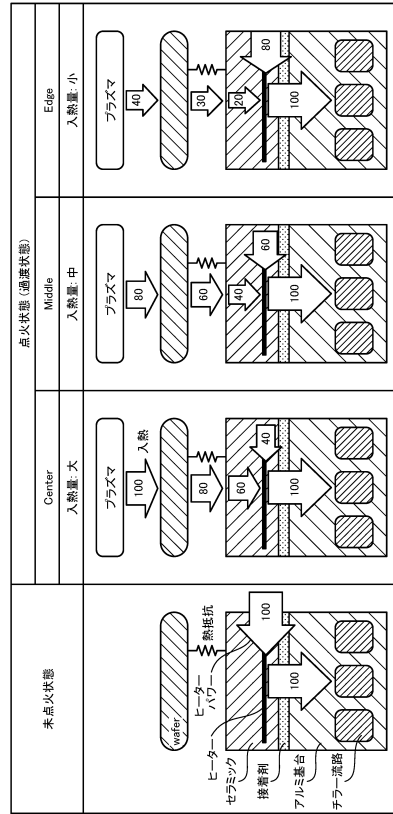
40

50

【図 8】



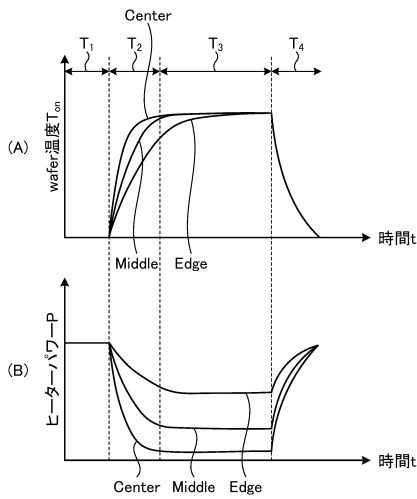
【図 9】



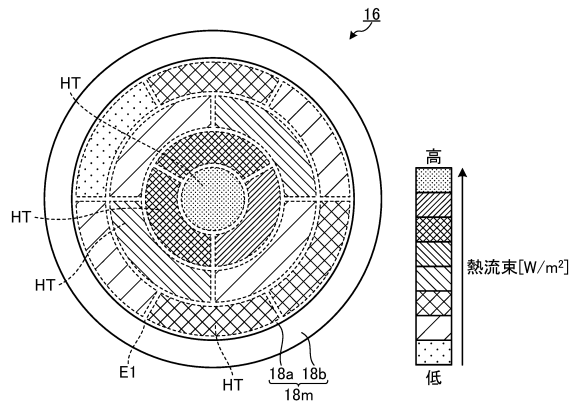
10

20

【図 10】



【図 11 A】

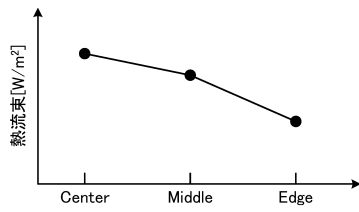


30

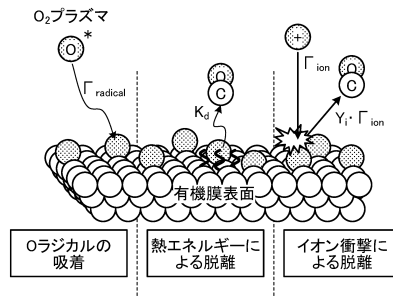
40

50

【図 1 1 B】



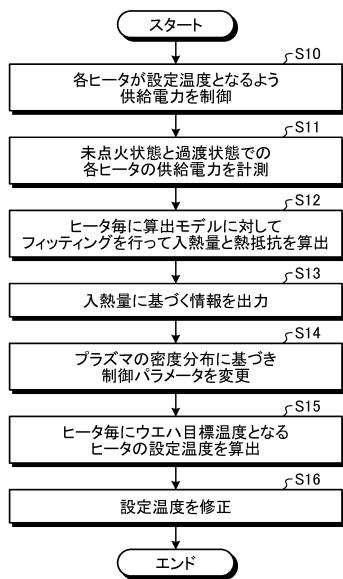
【図 1 2】



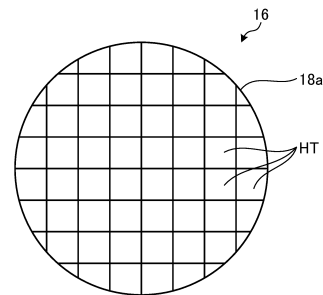
10

20

【図 1 3】



【図 1 4】



30

40

50

フロントページの続き

日本国(JP)

- (56)参考文献 特開 2 0 1 7 - 0 0 5 1 2 8 (J P , A)
特開 2 0 1 0 - 1 7 1 2 8 8 (J P , A)
特開 2 0 0 9 - 3 0 2 3 9 0 (J P , A)
特開 2 0 0 4 - 2 4 7 5 2 6 (J P , A)
特開 2 0 1 0 - 1 9 9 1 0 7 (J P , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)

H 0 1 L 2 1 / 3 0 6 5
H 0 1 L 2 1 / 2 0 5
H 0 1 L 2 1 / 3 1
H 0 5 H 1 / 4 6