

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7244348号
(P7244348)

(45)発行日 令和5年3月22日(2023.3.22)

(24)登録日 令和5年3月13日(2023.3.13)

(51)国際特許分類	F I
H 01 L 21/3065(2006.01)	H 01 L 21/302 101 G
H 01 L 21/205(2006.01)	H 01 L 21/205
H 05 H 1/46 (2006.01)	H 05 H 1/46 R

請求項の数 6 (全25頁)

(21)出願番号	特願2019-90851(P2019-90851)	(73)特許権者	000219967
(22)出願日	令和1年5月13日(2019.5.13)		東京エレクトロン株式会社
(65)公開番号	特開2020-188098(P2020-188098)		東京都港区赤坂五丁目3番1号
	A)	(74)代理人	110002147
(43)公開日	令和2年11月19日(2020.11.19)		弁理士法人酒井国際特許事務所
審査請求日	令和4年4月6日(2022.4.6)	(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
		審査官	早川 朋一

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 プラズマ処理装置、温度制御方法および温度制御プログラム

(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前記ヒーターへの供給電力が安定した第1定常状態からプラズマを消した状態に移行した後の前記ヒーターへの供給電力が増加する過渡状態と、プラズマを消した状態で前記ヒーターへの供給電力が安定した第2定常状態での供給電力を計測する計測部と、

プラズマからの入熱量および被処理体と前記ヒーター間の熱抵抗をパラメータとし、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前記過渡状態と前記第2定常状態の供給電力を用いてフィッティングを行って、前記入熱量および前記熱抵抗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および前記熱抵抗を用いて、前記第1定常状態における前記被処理体の温度を算出する温度算出部と、

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、領域毎に設けられた前記ヒーターが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、前記過渡状態と前記第2定常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前記過渡状態と前記第2定常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入熱量および前記熱抵抗を算出し、

前記温度算出部は、前記ヒーターごとに、前記パラメータ算出部により算出された前記入熱量および前記熱抵抗を用いて、前記第1定常状態における前記被処理体の温度を算出する

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、前記過渡状態と前記第2定常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、計測された前記過渡状態と前記第2定常状態の供給電力を用いて、前記入熱量および前記熱抵抗をそれぞれ算出し、

前記パラメータ算出部により算出される前記入熱量および前記熱抵抗の少なくとも一方の変化に基づき、アラートを出力する制御を行う出力制御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。

【請求項4】

前記温度算出部は、前記パラメータ算出部により算出された前記入熱量および前記熱抵抗を用いて、前記第1定常状態において被処理体が目標温度となる前記ヒーターの設定温度を算出し、前記ヒーター制御部の設定温度を、算出した設定温度に修正する

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】

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前記ヒーターへの供給電力が安定した第1定常状態からプラズマを消した状態に移行した後の前記ヒーターへの供給電力が増加する過渡状態と、プラズマを消した状態で前記ヒーターへの供給電力が安定した第2定常状態での供給電力を計測し、

プラズマからの入熱量および被処理体と前記ヒーター間の熱抵抗をパラメータとし、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、計測された前記過渡状態と前記第2定常状態の供給電力を用いてフィッティングを行って、前記入熱量および前記熱抵抗を算出し、

算出された前記入熱量および前記熱抵抗を用いて、前記第1定常状態における前記被処理体の温度を算出する

処理を実行することを特徴とする温度制御方法。

【請求項6】

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前記ヒーターへの供給電力が安定した第1定常状態からプラズマを消した状態に移行した後の前記ヒーターへの供給電力が増加する過渡状態と、プラズマを消した状態で前記ヒーターへの供給電力が安定した第2定常状態での供給電力を計測し、

プラズマからの入熱量および被処理体と前記ヒーター間の熱抵抗をパラメータとし、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、計測された前記過渡状態と前記第2定常状態の供給電力を用いてフィッティングを行って、前記入熱量および前記熱抵抗を算出し、

10

20

30

40

50

算出された前記入熱量および前記熱抵抗を用いて、前記第1定常状態における前記被処理体の温度を算出する。

処理を実行させることを特徴とする温度制御プログラム。

【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、温度制御方法および温度制御プログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献1には、半導体ウエハを載置する載置台内に温度制御が可能なヒーターを埋め込み、ヒーターによって半導体ウエハの温度の制御する技術が提案されている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開2016-001688号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本開示は、プラズマ処理中の被処理体の温度を精度よく求めることができる技術を提供する。

20

【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、温度算出部とを有する。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て、プラズマを点火してヒーターへの供給電力が安定した第1定常状態からプラズマを消した状態に移行した後のヒーターへの供給電力が増加する過渡状態と、プラズマを消した状態でヒーターへの供給電力が安定した第2定常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および被処理体とヒーター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に対して、計測部により計測された過渡状態と第2定常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。温度算出部は、パラメータ算出部により算出された入熱量および熱抵抗を用いて、第1定常状態における被処理体の温度を算出する。

30

【発明の効果】

【0006】

本開示によれば、プラズマ処理中の被処理体の温度を精度よく求めることができる。

【図面の簡単な説明】

【0007】

40

【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を示したブロック図である。

【図4】図4は、実施形態に係る載置台付近のエネルギーの流れを模式的に示す図である。

【図5】図5は、図5は、ウエハ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6A】図6Aは、図5の期間T3での載置台付近のエネルギーの流れを模式的に示す図である。

【図6B】図6Bは、図5の期間T4での載置台付近のエネルギーの流れを模式的に示す

50

図である。

【図 6 C】図 6 C は、図 5 の期間 T 5 での載置台付近のエネルギーの流れを模式的に示す図である。

【図 7】図 7 は、ウエハ W と静電チャックの表面間の熱抵抗の変化による期間 T 4 でのヒーター HT への供給電力の一例を示す図である。

【図 8】図 8 は、実施形態に係る温度制御方法の流れの一例を示すフローチャートである。

【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、温度制御方法および温度制御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、プラズマエッティ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、温度制御方法および温度制御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、エッティ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では、エッティングプロセスにおいて、ウエハの温度は、重要なパラメータの一つである。

20

【0010】

しかしながら、プラズマ処理では、プラズマからウエハに向かって入熱がある。このため、プラズマ処理装置では、プラズマ処理中のウエハの温度を精度よく求めることができない場合がある。

【0011】

そこで、プラズマ処理装置では、プラズマ処理中の被処理体の温度を精度よく求めることができる技術が期待されている。

【0012】

[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、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 には、実施形態に係るプラズマ処理装置 10 の縦断面における構造が概略的に示されている。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ティング装置である。このプラズマ処理装置 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。

30

【0013】

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 12 の底部から延びる円筒状の部材である。

40

【0014】

基台 20 には、整合器 MU 1 を介して第 1 の高周波電源 HFS が電気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 ~ 100 MHz の周波数、一例においては 40 MHz 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 MU 1 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。

【0015】

50

また、基台 20 には、整合器 M U 2 を介して第 2 の高周波電源 L F S が電気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 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、400 kHz ~ 13.56 MHz の範囲内の周波数であり、一例においては 3 MHz 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 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】

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 E 1 が設けられている。電極 E 1 には、スイッチ SW 1 を介して直流電源 22 が電気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。10

【0017】

基台 20 の上面の上、且つ、静電チャック 18 の周囲には、フォーカスリング F R が配置される。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により構成される。例えば、フォーカスリング F R は、シリコン、または石英により構成される。20

【0018】

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 26 a 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 26 b を介してチラーユニットに戻る。20

【0019】

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、基台 20 と対向配置されている。基台 20 と上部電極 30 とは、互いに略平行に設けられている。20

【0020】

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 34 a 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る。30

【0021】

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る。電極支持体 36 は、水冷構造を有してもよい。電極支持体 36 の内部には、ガス拡散室 36 a が設けられている。電極支持体 36 には、ガス吐出孔 34 a に連通する複数のガス通流孔 36 b がガス拡散室 36 a 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 36 a に処理ガスを導くガス導入口 36 c が形成されている。ガス導入口 36 c には、ガス供給管 38 が接続されている。40

【0022】

ガス供給管 38 には、バルブ群 42 および流量制御器群 44 を介してガスソース群 40 が接続されている。バルブ群 42 は、複数の開閉バルブを有する。流量制御器群 44 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 40 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 40 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 38 に接続されている。40

【0023】

プラズマ処理装置 10 では、ガスソース群 40 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 38 に供給される。ガス供給管 38 に供給されたガスは、ガス拡散室 36 a に至り、ガス通流孔 36 b およびガス吐出孔 34

aを介して処理空間Sに吐出される。

【0024】

また、図1に示すように、プラズマ処理装置10は、接地導体12aを更に有する。接地導体12aは、略円筒状の接地導体であり、処理容器12の側壁から上部電極30の高さ位置よりも上方に延びるように設けられている。

【0025】

また、プラズマ処理装置10では、処理容器12の内壁に沿ってデポシールド46が着脱自在に設けられている。また、デポシールド46は、支持部14の外周にも設けられている。デポシールド46は、処理容器12にエッティング副生物(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Y₂O₃等のセラミックスを被覆することにより構成される。

10

【0026】

処理容器12の底部側においては、支持部14と処理容器12の内壁との間に排気プレート48が設けられている。排気プレート48は、例えば、アルミニウム材にY₂O₃等のセラミックスを被覆することにより構成される。この排気プレート48の下方において処理容器12には、排気口12eが設けられている。排気口12eには、排気管52を介して排気装置50が接続されている。排気装置50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12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12の側壁にはウエハWの搬入出口12gが設けられている。搬入出口12gは、ゲートバルブ54により開閉可能となっている。

20

【0027】

上記のように構成されたプラズマ処理装置10は、制御部100によって、その動作が統括的に制御される。この制御部100は、例えば、コンピュータであり、プラズマ処理装置10の各部を制御する。プラズマ処理装置10は、制御部100によって、その動作が統括的に制御される。

【0028】

[載置台の構成]

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を有する。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を有する。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。外周領域18bの上面には、フォーカスリングFRが載置される。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。

30

【0029】

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。

40

【0030】

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は、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されている、複数のヒーターHTが設けられている。また、複数の環状領域は、それぞれ周方向にも分割され複数のヒーター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

50

小さく、径方向の幅が狭い分割領域に分割してもよい。また、ヒーターHTを外周領域18bに設けてフォーカスリングFRの温度を制御してもよい。

【0031】

各分割領域のヒーターHTは、基台20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。

【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。

10

【0033】

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。

20

【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。

30

【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、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。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。

40

【0037】

プロセスコントローラ102は、CPU(Central Processing Unit)を備えプラズマ処理装置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。

50

〔 0 0 3 9 〕

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ま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）に記憶されてもよい。制御プログラムや、処理条件データ等のレシピは、他の装置に記憶され、例えば専用回線を介して隨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 4 0)

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、温度算出部 102d と、出力制御部 102e の機能を有する。なお、ヒーター制御部 102a、計測部 102b、パラメータ算出部 102c、温度算出部 102d および出力制御部 102e 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。

【 0 0 4 1 】

ところで、プラズマ処理では、ウェハWの温度によって処理の進行が変化する。例えば、プラズマエッティングでは、ウェハWの温度によってエッティ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、ウェハWの温度を目標温度に制御することが考えられる。

(0 0 4 2)

しかし、プラズマ処理では、プラズマからウェハWに向かって入熱がある。このため、
プラズマ処理装置10は、プラズマ処理中のウェハWの温度を目標温度に精度よく制御でき
ない場合がある。

【 0 0 4 3 】

ウエハWの温度に影響を与える載置台16付近のエネルギーの流れを説明する。図4は、実施形態に係る載置台16付近のエネルギーの流れを模式的に示す図である。図4には、ウエハW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の載置領域18aの内部には、ヒーターHT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。

〔 0 0 4 4 〕

ヒーターHT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HT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。また、ヒーターHTでは、ヒータパワー P_h を静電チャック18のヒーターHTが設けられている分割領域の面積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 5]

また、プラズマ処理を行っている場合、ウェハ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、プラズマからウェハWへの入熱量をウェハ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 6]

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HFSからのプラズマ生成用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LFSからの高周波バイアス電力に比例する。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12内の圧力に依存する。なお、高周波バイアス電力が載置台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、イオンが載置台へ引き込まれる。

【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。これらの成分もプラズマ生成用の高周波電力や高周波バイアス電力、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。

10

【0048】

ウエハW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、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、ウエハWから静電チャック18の表面への熱の伝わり難さを、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 $R_{th} \cdot A$ として示している。なお、Aは、ヒーターHTが設けられている分割領域の面積である。 R_{th} は、ヒーターHTが設けられている分割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18表面への入熱量を、ウエハW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、ウエハWを保持するために直流電源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。

20

【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HTに伝わる。図4では、静電チャック18表面からヒーターHTへの入熱量を、静電チャック18表面からヒーターHTへの単位面積当たりの熱流束 q_c として示している。

30

【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} として示している。これにより、ヒーターHTは、抜熱によって冷却され、温度が低下する。

40

【0051】

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。

【0052】

よって、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への供給電力は、静電チャック18側から伝わる熱量によって変化する。

【0053】

図5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5の(A)は、ウエハWの温度の変化を示している。図5の(B)は、ヒーターHTへの供給電力の変化を示している。図5の例は、ヒーターHTの温度が一定となるように制御

50

し、プラズマを点火して無い状態からプラズマを点火した状態とし、その後、プラズマを消した状態へと移行として、ウエハWの温度とヒーターHT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。この温度計測用のウエハは、高価である。このため、量産現場では、プラズマ処理装置10の各ヒーターHTの温度の調整に温度計測用のウエハを使用すると、コストアップとなる。また、量産現場では、プラズマ処理装置10の各ヒーターHTの温度の調整に温度計測用のウエハを使用すると、生産性が低下する。

【0054】

図5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HTへの供給電力が一定に安定している。図5の期間T2および期間T3は、プラズマを点火した点火状態である。点火状態には、期間T2に示すように、ウエハWの温度が上昇傾向となる過渡状態と、期間T3に示すように、ウエハWの温度が一定に安定した定常状態がある。期間T2では、ヒーターHTへの供給電力が低下する。また、期間T2では、ウエハWの温度が一定の温度まで上昇する。期間T3は、ウエハWの温度が一定に安定した状態であり、ヒーターHTへの供給電力も略一定に安定している。

10

【0055】

図5の期間T4および期間T5は、プラズマを消した未点火状態である。点火状態の後の未点火状態には、期間T4に示すように、ウエハWの温度が低下傾向となる過渡状態と、期間T5に示すように、ウエハWの温度が一定に安定した定常状態がある。期間T4では、ヒーターHTへの供給電力が上昇する。また、期間T4では、ウエハWの温度が一定の温度まで下降する。期間T5は、ウエハWの温度が一定に安定した状態であり、ヒーターHTへの供給電力も略一定に安定している。

20

【0056】

本実施形態では、期間T3に示すプラズマを点火した状態でヒーターHTへの供給電力が安定している定常状態が第1定常状態に対応する。また、期間T1または期間T5に示すプラズマを消した状態でヒーターHTへの供給電力が安定している定常状態が第2定常状態に対応する。

【0057】

ここで、期間T3～T5についての載置台16付近のエネルギーの流れを説明する。図6Aは、図5の期間T3での載置台16付近のエネルギーの流れを模式的に示す図である。図6Aの例は、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。期間T3では、プラズマが点火しているため、プラズマの熱がウエハWに入熱する。図6Aの例では、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、期間T3のようにウエハWの温度が一定に安定した定常状態である場合、ウエハW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、入熱量と出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。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。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Phにより「20」の熱量が供給される。

30

【0058】

図6Bは、図5の期間T4での載置台16付近のエネルギーの流れを模式的に示す図である。なお、過渡状態では、ウエハWと静電チャック18の表面間の熱抵抗によってエネルギーの流れが変化する。図6Bでは、熱抵抗が小の場合と熱抵抗が大の場合をそれぞれ分けて示している。過渡状態では、ウエハWと静電チャック18との熱抵抗によってエネ

40

50

ルギーの流れが変化する。図 6 B 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。期間 T 4 では、プラズマが消えているため、プラズマからウエハ W への入熱はない。

【0059】

例えば、図 6 Bにおいて、「熱抵抗：小」とした例では、ウエハ W から静電チャック 18 の表面へ「60」の熱量が伝わる。そして、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。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 Ph により「60」の熱量が供給される。

【0060】

一方、図 6 Bにおいて、「熱抵抗：大」とした例では、ウエハ W から静電チャック 18 の表面へ「30」の熱量が伝わる。そして、静電チャック 18 の表面に伝わった「30」の熱量のうち、「20」の熱量がヒーター HT に伝わる。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 Ph により「80」の熱量が供給される。

10

【0061】

図 6 C は、図 5 の期間 T 5 での載置台 16 付近のエネルギーの流れを模式的に示す図である。なお、図 5 の期間 T 1 の載置台 16 付近のエネルギーの流れは、期間 T 5 と同様である。図 6 C 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。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 Ph により「100」の熱量が発生する。

20

【0062】

図 6 B に示したように、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 Ph 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、期間 T 4 のヒーター HT への供給電力の上昇の傾向は、プラズマを点火していた際の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。

【0063】

なお、図 6 A、図 6 B および図 6 C に示したように、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、「T 3：プラズマ点火状態」、「T 4：過渡状態」、「T 5：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 HT から「100」の熱量が抜熱されている。すなわち、ヒーター HT 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 HT 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 HT 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 HT に直接取り付ける必要はない。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 HT と冷媒までの間であれば、ヒーター HT と温度センサ間の温度差も常に一定であり、ヒーター HT と 温度センサ の間に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 HT の間の温度差（ ΔT ）を算出し、温度センサで検出される温度の値に温度差（ ΔT ）を加算することによって、ヒーター HT 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 HT の温度が一定となるように制御することができる。

30

【0064】

図 7 は、ウエハ W と静電チャック 18 の表面間の熱抵抗の変化による期間 T 4 のヒーター HT への供給電力の一例を示す図である。例えば、期間 T 4 のヒーター HT へ供給する電力量は、ウエハ W と静電チャック 18 の表面間の熱抵抗が小さい場合、実線に示すように変化するが、ウエハ W と静電チャック 18 の表面間の熱抵抗が大きい場合、破線に示すように変化が緩やかになる。

40

【0065】

このため、期間 T 4 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

50

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T4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。

【0066】

本実施形態では、図5の期間T4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、プラズマを消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、プラズマを消した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、プラズマを点火している場合と、プラズマを点火していない場合で変化する。プラズマが点火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抵抗 $R_{th} \cdot A$ をパラメータとし、 $a_1, a_2, a_3, a_1, a_2, a_1, a_2$ を以下の式(5)-(11)のように表す。この場合、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。

【0067】

【数1】

10

20

30

40

50

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

… (1)

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

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

$$R_{thc} \cdot A = \frac{Z_c}{K_c} \quad \dots \quad (4)$$

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

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

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

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

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

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

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

【 0 0 6 8 】

ここで、

$P_{h(t)}$ は、経過時間 t でのヒータパワー[W]である。

P_{h_off} は、プラズマを消した定常状態（プラズマからの熱流束がない定常状態）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、プラズマを消した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、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[K · m² / W]である。

10

20

30

40

50

$R_{thc} \cdot A$ は、静電チャック 18 の表面とヒーター HT 間の単位面積当たりの熱抵抗 [K · m² / W] である。

A は、ヒーター HT が設けられている領域の面積 [m²] である。

w は、ウエハ W の密度 [kg / m³] である。

C_w は、ウエハ W の単位面積当たりの熱容量 [J / K · m²] 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 / m³] 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 · m²] 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。

κ 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、プラズマを消してからの経過時間 [sec] である。

【0069】

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。

【0070】

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 は、ウエハ W の実際の構成からそれぞれ予め定まる。ヒーター HT の面積 A、および、静電チャック 18 の表面からヒーター HT までの距離 z_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 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 、および、静電チャック 18 を構成するセラミックの熱伝導 κ 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 κ 、距離 z_c から式(4)により予め定まる。

【0071】

プラズマを消してからの経過時間 t ごとのヒータパワー $P_{h(t)}$ 、および、プラズマを消した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。例えば、プラズマを消した定常状態でのヒータパワー P_{h_off} は、図 5 の期間 T 1 または期間 T 5 のヒータパワー P_h を計測することで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 $P_{h(t)}$ 、をヒーター HT の面積 A で除算することによって、経過時間 t での単位面積当たりのヒーター HT からの発熱量 $q_{h(t)}$ を求めることができる。また、(3)に示すように、求めたヒータパワー P_{h_off} をヒーター HT の面積 A で除算することによって、プラズマを消した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。

【0072】

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。

【0073】

また、図 5 の期間 T 4 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 T 2 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、熱流束 q_{p_on} 、および、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 、 α_1 、 α_2 、 β_1 、 β_2 を用いた場合、経過時間 t でのウエハ W の温度 $T_{W(t)}$ は、以下の式(12)のように表せる。

【0074】

【数 2】

10

20

30

40

40

50

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

【0075】

10

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HTの温度[]である。

【0076】

ヒーターHT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。

【0077】

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(12)から算出できる。

【0078】

20

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。

【0079】

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。この目標とするウエハWの温度は、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。

30

【0080】

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、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、比較結果から、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。

【0081】

40

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各ヒーターHTへの供給電力が安定した定常状態からプラズマを消した状態に移行した後の各ヒーターHTへの供給電力が増加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。また、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、プラズマを消した状態で各ヒーターHTへの供給電力が安定した定常状態での各ヒーターHTへの供給電力を計測する。

50

【 0 0 8 2 】

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、図5の期間T4に示した、プラズマを消した過渡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、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、図5の期間T5に示した、プラズマを消した定常状態での各ヒーターHTへの供給電力を計測する。プラズマを消した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、供給電力が増加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、プラズマを点火後、所定期間（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。定常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つ計測されればよく、複数回計測して平均値を定常状態の供給電力としてもよい。なお、計測部 102b は、期間T5に代えて、期間T1に示した定常状態での各ヒーターHTへの供給電力を計測してもよい。

10

【 0 0 8 3 】

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、図5の期間T4に示した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 により計測された過渡状態と定常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。

20

【 0 0 8 4 】

例えば、パラメータ算出部 102c は、ヒーターHTごとに、プラズマを消した定常状態のヒータパワー P_{h_off} 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_off} をヒーターHTごとの面積で除算して、プラズマを消した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。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。パラメータ算出部 102c は、求めたヒータパワー $P_{h(t)}$ をヒーターHTごとの面積で除算して、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HTからの発熱量 $q_{h(t)}$ を求める。

30

【 0 0 8 5 】

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 ごとの発熱量 $q_{h(t)}$ 、および、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。

【 0 0 8 6 】

パラメータ算出部 102c は、所定のサイクルで、測定された過渡状態と定常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過渡状態と定常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、過渡状態と定常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。

40

【 0 0 8 7 】

温度算出部 102d 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、温度を算出する。例えば、温度算出部 102d は、図5の期間T3に示す、プラズマを点火した定常状態におけるウエハWの温度を算出する。例えば、温度算出部 102d は、ヒーターHTごとに、算出された熱流束 q_p 、および、熱抵抗 $R_{th} \cdot A$ を式(5)、(6)、(12)に代入する。そして、温度算出部 102d は、ヒーターHTごとに、式(5) - (11)に示した a_1 、 a_2 、 a_3 、 1 、 2 、 1 、 2 を用いて、式(12)か

50

ら、経過時間 $t = 0$ として、プラズマを消した直後のウエハWの温度を算出する。経過時間 $t = 0$ は、プラズマを消したタイミングである。このため、算出されるウエハWの温度は、プラズマを点火した定常状態のウエハWの温度とみなすことができる。また、算出されるウエハWの温度は、プラズマ処理中のウエハWの温度とみなすこともできる。

【0088】

出力制御部 102e は、各種の情報の出力を制御する。出力制御部 102e は、温度算出部 102d により算出されたウエハWの温度を出力する制御を行う。例えば、出力制御部 102e は、温度算出部 102d により算出されたウエハWの温度を、ウエハWに対してプラズマ処理を実施した際のウエハWの温度として、ユーザインターフェース 103 に出力する。例えば、出力制御部 102e 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実施した際のウエハWの温度をユーザインターフェース 103 に出力する。なお、出力制御部 102e は、ウエハWの温度を示す情報を外部装置へデータとして出力してもよい。

10

【0089】

これにより、工程管理者は、ウエハWに対して適切な温度でプラズマ処理を実施できたかを把握できる。

【0090】

温度算出部 102d 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、入熱量および熱抵抗を用いて、プラズマを点火した定常状態においてウエハWが目標温度となる各ヒーターHTの設定温度を算出する。例えば、温度算出部 102d は、式(12)において、経過時間 $t = 0$ とし、 $T_{W(t)}$ をウエハWの目標温度とした場合のヒーター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。

20

【0091】

なお、温度算出部 102d は、式(12)から現在のヒーター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、温度算出部 102d は、現在のヒーターHTの温度 T_h で、経過時間 $t = 0$ としたウエハWの温度 T_W を算出する。次に、温度算出部 102d は、算出した温度 T_W と目標温度との差分 T_W を算出する。そして、温度算出部 102d は、現在のヒーターHTの温度 T_h から差分 T_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。

30

【0092】

温度算出部 102d 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。

【0093】

温度算出部 102d 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、温度算出部 102d 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、温度算出部 102d 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。

40

【0094】

これにより、本実施形態に係るプラズマ処理装置 10 は、次回のプラズマ処理においてウエハWの温度を目標温度に精度よく制御できる。

【0095】

ところで、プラズマ処理装置 10 は、装置ごとに、処理容器 12 内の特性に差がある場合がある。このため、プラズマ処理装置 10 は、他のプラズマ処理装置 10 ではウエハWが目標温度となる各ヒーターHTの設定温度を用いても、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ない場合がある。

【0096】

そこで、本実施形態に係るプラズマ処理装置 10 は、自装置の処理容器 12 内の特性に

50

応じた熱流束 q_p 、および、熱抵抗 $R_{th} \cdot A$ を算出する。これにより、本実施形態に係るプラズマ処理装置 10 は、装置ごとに、処理容器 12 内の特性に差がある場合でも、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。

【0097】

また、プラズマ処理装置 10 は、静電チャック 18 の消耗などにより、載置台 16 の熱特性が経時に変化する場合がある。

【0098】

そこで、本実施形態に係るプラズマ処理装置 10 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。これにより、本実施形態に係るプラズマ処理装置 10 は、載置台 16 の熱特性が経時に変化する場合であっても、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。10

【0099】

また、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処理に適さない異常な状態となる。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。

【0100】

そこで、出力制御部 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および熱抵抗の少なくとも一方の変化に基づき、アラートを出力する制御を行う。例えば、出力制御部 102e は、所定のサイクルで算出される熱流束 q_p 、および、熱抵抗 $R_{th} \cdot A$ をヒーター HT ごとに比較し、熱流束 q_p 、および、熱抵抗 $R_{th} \cdot A$ の少なくとも一方が所定の許容値以上変化している場合、アラートを出力する制御を行う。また、出力制御部 102e は、所定のサイクルで算出される熱流束 q_p 、および、熱抵抗 $R_{th} \cdot A$ の少なくとも一方が、所定の許容範囲を外れた場合、アラートを出力する制御を行う。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、出力制御部 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。20

【0101】

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 内の特性が異常な状態となった場合や、異常なウエハ W が搬入された場合に、異常の発生を報知できる。30

【0102】

[温度制御の流れ]

次に、本実施形態に係るプラズマ処理装置 10 を用いた温度制御方法について説明する。図 8 は、実施形態に係る温度制御方法の流れの一例を示すフローチャートである。この温度制御方法は、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。

【0103】

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）。

【0104】

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、プラズマを消した過渡状態とプラズマを消した定常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）。例えば、計測部 102b は、図 5 の期間 T4 に示した、プラズマを消した過渡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、図 5 の期間 T5 に示した、プラズマを消した定常状態での各ヒーター HT への供給電力を計測する。40

【0105】

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、計測結果の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、ヒーター HT ごとに、プラズマを消した定常状態のヒータ

10

20

30

40

50

パワー P_{h_off} を求める。パラメータ算出部 102c は、求めたヒータパワー P_{h_off} をヒーターHTごとの面積で除算して、プラズマを消した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。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。パラメータ算出部 102c は、求めたヒータパワー $P_{h(t)}$ をヒーターHTごとの面積で除算して、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HTからの発熱量 $q_{h(t)}$ を求める。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、ヒーターHTごとに、経過時間 t ごとの発熱量 $q_{h(t)}$ 、および、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

【0106】

温度算出部 102d 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、プラズマを点火した定常状態におけるウエハWの温度を算出する(ステップS13)。例えば、温度算出部 102d は、ヒーターHTごとに、算出された熱流束 q_p 、および、熱抵抗 $R_{th} \cdot A$ を式(5)、(6)、(12)に代入する。そして、温度算出部 102d は、ヒーターHTごとに、式(5)-(11)に示した a_1 、 a_2 、 a_3 、 1 、 2 、 1 、 2 を用いて、式(12)から、経過時間 $t = 0$ として、プラズマを消した直後のウエハWの温度を算出する。

【0107】

このように、本実施形態に係るプラズマ処理装置 10 は、入熱量および熱抵抗を求ることで、プラズマ処理中のウエハWの温度を精度よく求めることができる。

20

【0108】

出力制御部 102e は、温度算出部 102d により算出されたウエハWの温度を出力する制御を行う(ステップS14)。例えば、出力制御部 102e は、温度算出部 102d により算出されたウエハWの温度を、ウエハWに対してプラズマ処理を実施した際のウエハWの温度として、ユーザインターフェース 103 に出力する。

【0109】

これにより、工程管理者は、ウエハWに対して適切な温度でプラズマ処理を実施できたかを把握できる。

【0110】

温度算出部 102d 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、入熱量および熱抵抗を用いて、プラズマを点火した定常状態においてウエハWが目標温度となる各ヒーターHTの設定温度を算出する(ステップS15)。例えば、温度算出部 102d は、式(12)において、経過時間 $t = 0$ とし、 $T_{W(t)}$ をウエハWが目標温度とした場合のヒーターHTの温度 T_h を算出する。

30

【0111】

温度算出部 102d 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の温度に修正し(ステップS16)、処理を終了する。

【0112】

これにより、本実施形態に係るプラズマ処理装置 10 は、次回のプラズマ処理においてウエハWの温度を目標温度に精度よく制御できる。

40

【0113】

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、温度算出部 102d とを有する。載置台 16 は、プラズマ処理の対象となるウエハ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ヒーターHTへの供給電力が安定した第 1

50

定常状態（図5の期間T3の定常状態）からプラズマを消した状態に移行した後のヒーターHTへの供給電力が増加する過渡状態（図5の期間T4の過渡状態）と、プラズマを消した状態でヒーターHTへの供給電力が安定した第2定常状態（図5の期間T5の定常状態）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に対して、計測された過渡状態と第2定常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。温度算出部102dは、パラメータ算出部102cにより算出された入熱量および熱抵抗を用いて、第1定常状態におけるウエハWの温度を算出する。これにより、プラズマ処理装置10は、プラズマ処理中のウエハWの温度を精度よく求めることができる。

10

【0114】

また、載置台16は、載置面を分割した領域毎にヒーターHTが個別に設けられている。ヒーター制御部102aは、領域毎に設けられたヒーターHTが領域毎に設定された設定温度となるようヒーターHT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HTごとに温度が一定となるよう供給電力を制御して、過渡状態と第2定常状態での供給電力をヒーターHTごとに計測する。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、計測部102bにより計測された過渡状態と第2定常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HTごとに入熱量および熱抵抗を算出する。温度算出部102dは、ヒーターHTごとに、パラメータ算出部102cにより算出された入熱量および熱抵抗を用いて、第1定常状態におけるウエハWの温度を算出する。これにより、プラズマ処理装置10は、載置面を分割した領域ごとにウエハWの温度を精度よく求めることができる。

20

【0115】

また、本実施形態に係るプラズマ処理装置10は、出力制御部102eをさらに有する。計測部102bは、所定のサイクルで、過渡状態と第2定常状態での供給電力を計測する。パラメータ算出部102cは、所定のサイクルごとに、計測された過渡状態と第2定常状態の供給電力を用いて、入熱量および熱抵抗をそれぞれ算出する。出力制御部102eは、パラメータ算出部102cにより算出される入熱量および熱抵抗の少なくとも一方の変化に基づき、アラートを出力する制御を行う。これにより、プラズマ処理装置10は、プラズマの状態に異常が発生した場合や、処理容器12内の特性が異常な状態となった場合、異常なウエハWが搬入された場合に、異常の発生を報知できる。

30

【0116】

また、温度算出部102dは、パラメータ算出部102cにより算出される入熱量および熱抵抗を用いて、第1定常状態においてウエハWが目標温度となるヒーターHTの設定温度を算出し、ヒーター制御部102aの設定温度を、算出した設定温度に修正する。これにより、本実施形態に係るプラズマ処理装置10は、次回のプラズマ処理においてウエハWの温度を目標温度に精度よく制御できる。

40

【0117】

以上、本発明を実施形態を用いて説明したが、本発明の技術的範囲は上記実施の形態に記載の範囲には限定されない。上記実施の形態に多様な変更または改良を加えることが可能であることが当業者には明らかである。また、そのような変更または改良を加えた形態も本発明の技術的範囲に含まれ得ることが、特許請求の範囲の記載から明らかである。

【0118】

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。

【0119】

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、プラズマを用いており、温度によって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。

50

【符号の説明】

【0120】

10 プラズマ処理装置
 16 載置台
 18 静電チャック
 18 a 載置領域
 20 基台
 100 制御部
 102 プロセスコントローラ
 102 a ヒーター制御部
 102 b 計測部
 102 c パラメータ算出部
 102 d 温度算出部
 102 e 出力制御部
 104 記憶部
 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

10

20

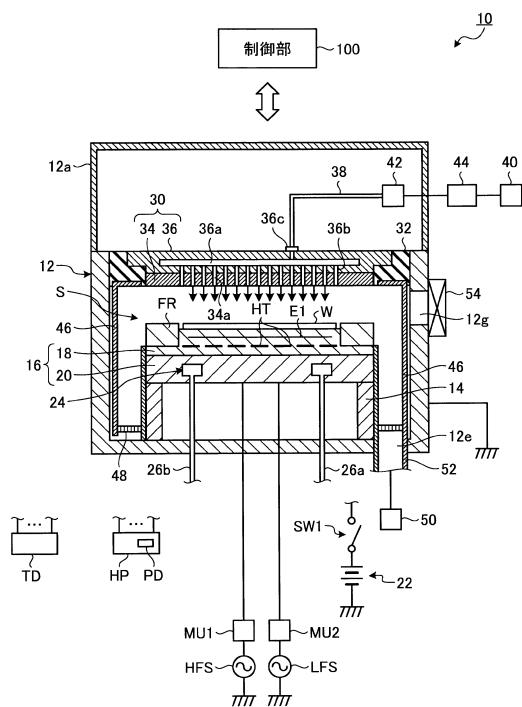
30

40

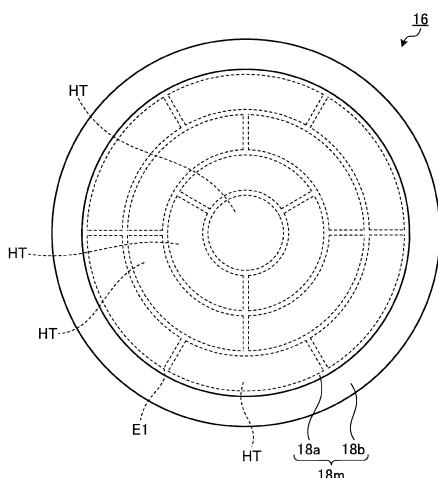
50

【図面】

【図 1】



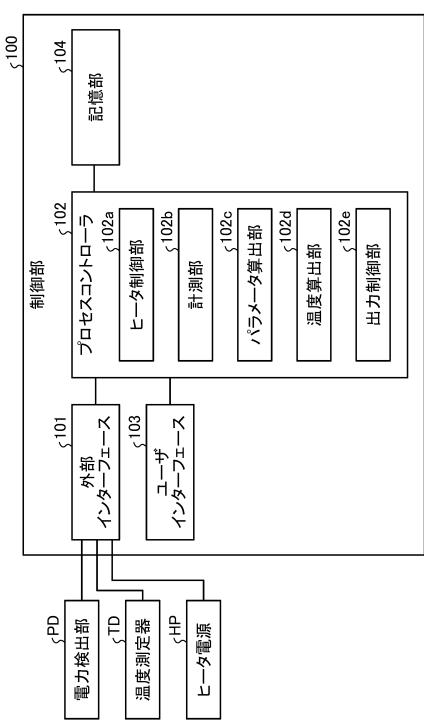
【図 2】



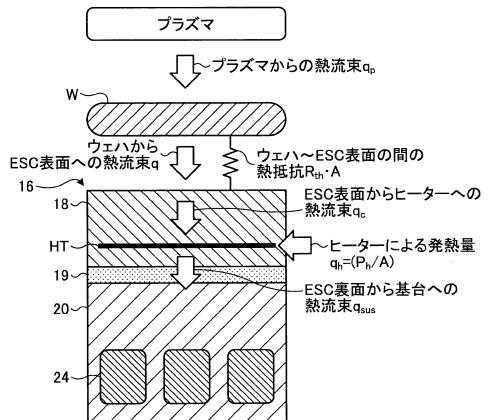
10

20

【図 3】



【図 4】

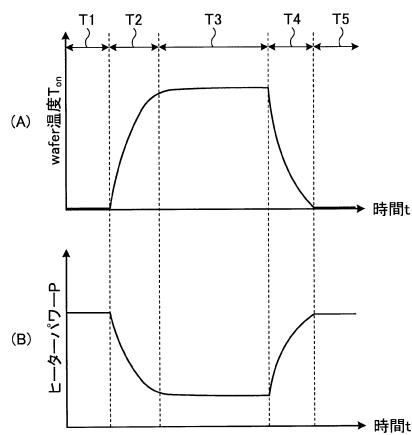


30

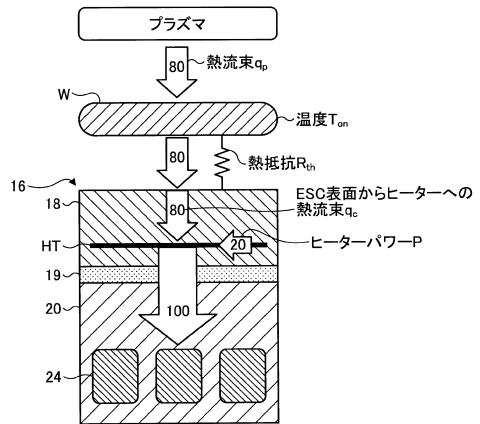
40

50

【図 5】



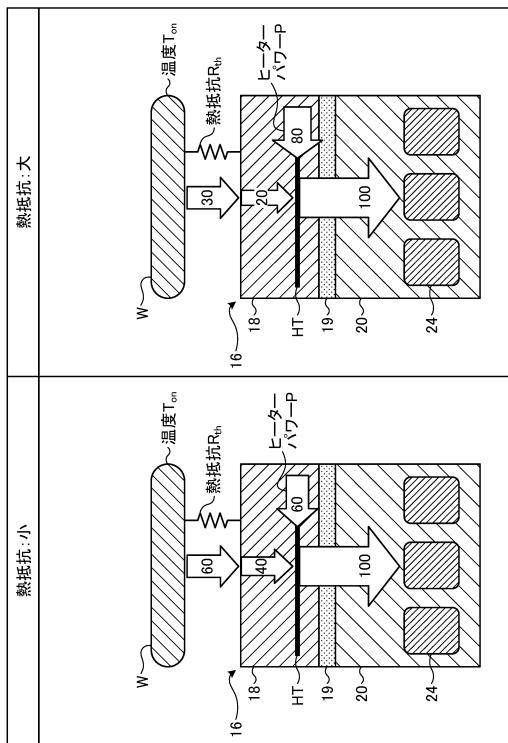
【図 6 A】



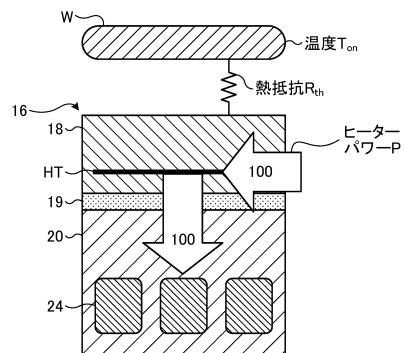
10

20

【図 6 B】



【図 6 C】

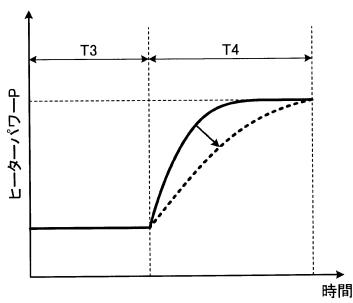


30

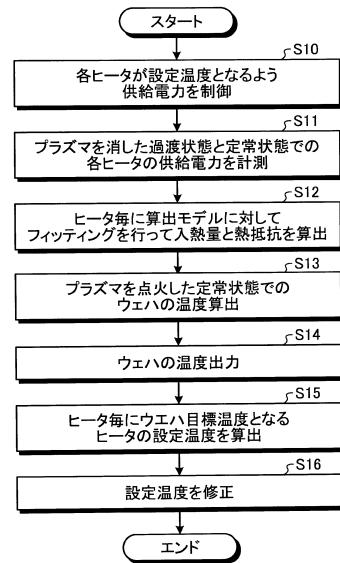
40

50

【図 7】



【図 8】



20

30

40

50

フロントページの続き

(56)参考文献
特開2017-011169(JP,A)
特開2009-302390(JP,A)
特開2017-228230(JP,A)
特開2010-050178(JP,A)
特開2019-091880(JP,A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H01L 21/3065
H01L 21/205
H01L 21/31
H01L 21/683
H05H 1/46
C23C 16/50 - 16/517
G05D 23/00 - 23/32