

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公表特許公報(A)

(11)公表番号

特表2022-541511  
(P2022-541511A)

(43)公表日 令和4年9月26日(2022.9.26)

(51)国際特許分類	F I	テーマコード(参考)
H 0 1 L 21/3065(2006.01)	H 0 1 L 21/302 1 0 1 G	5 F 0 0 4
G 0 5 D 23/00 (2006.01)	H 0 1 L 21/302 1 0 1 C	5 H 3 2 3
	G 0 5 D 23/00 Z	

審査請求 有 予備審査請求 未請求 (全26頁)

(21)出願番号	特願2022-502882(P2022-502882)	(71)出願人	390040660 アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド APPLIED MATERIALS, INCORPORATED アメリカ合衆国 カリフォルニア 9 5 0 5 4 , サンタ クララ , パウアーズ アヴェニュー 3 0 5 0
(86)(22)出願日	令和2年7月17日(2020.7.17)	(74)代理人	110002077園田・小林弁理士法人
(85)翻訳文提出日	令和4年3月11日(2022.3.11)	(72)発明者	チミノ , マウロ アメリカ合衆国 カリフォルニア 9 5 0 5 4 , サンタ クララ , パウアーズ アヴェニュー 3 0 5 0
(86)国際出願番号	PCT/US2020/042640	(72)発明者	カルアラッチ , ドン チャンナ アメリカ合衆国 カリフォルニア 9 5 0 5 4 , サンタ クララ , パウアーズ アヴェニュー 3 0 5 0
(87)国際公開番号	WO2021/011910		
(87)国際公開日	令和3年1月21日(2021.1.21)		
(31)優先権主張番号	16/515,993		
(32)優先日	令和1年7月18日(2019.7.18)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		
(81)指定国・地域	AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,A T,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 半導体製造におけるマルチゾーンヒータのモデルベース制御

(57)【要約】

チャンバの基板支持アセンブリの複数の加熱ゾーンが独立して制御される。複数の温度検出器からの温度フィードバックが、閉ループアルゴリズムであってよいプロセス制御アルゴリズムへの第1の入力として提供される。プロセス制御アルゴリズムへの第2の入力は、モデルを使用して計算された、1又は複数の加熱ゾーンに対するヒータ温度の目標値である。1又は複数の加熱ゾーンに対するヒータ温度の目標値を達成するために必要なヒータ電力の目標値が計算される。チャンバハードウェアは、1又は複数のプロセスパラメータの現在の最適値に対応するウエハ特性と相関するヒータ温度の目標値と一致するように制御される。

【選択図】 図 1 0

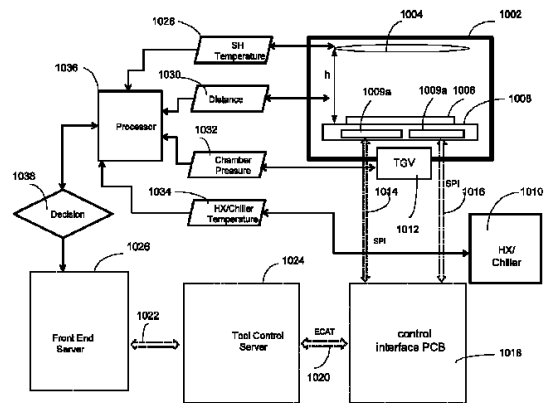


FIG. 10

**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

複数の温度検出器から温度フィードバックを収集する工程であって、前記複数の温度検出器の各々は、ウエハを支持する基板支持アセンブリの複数の加熱ゾーンのうちの対応する加熱ゾーンに配置される、複数の温度検出器から温度フィードバックを収集する工程と、

前記温度フィードバックを表すデータを、プロセス制御アルゴリズムへの第 1 の入力として提供する工程と、

モデルを使用して計算された、前記複数の加熱ゾーンのうちの 1 又は複数の加熱ゾーンに対するヒータ温度の目標値を、前記プロセス制御アルゴリズムへの第 2 の入力として提供

10

する工程と、  
前記 1 又は複数の加熱ゾーンに対する前記ヒータ温度の目標値を達成するためのヒータ電力の目標値を計算する工程であって、前記計算は、前記プロセス制御アルゴリズムを実行するプロセッサによって、前記第 1 の入力及び前記第 2 の入力に基づいて実行される、前記 1 又は複数の加熱ゾーンに対する前記ヒータ温度の目標値を達成するためのヒータ電力の目標値を計算する工程と、

前記基板支持アセンブリを含む処理チャンバのチャンバハードウェアを、前記 1 又は複数の加熱ゾーンに対する前記ヒータ温度の目標値と一致するように制御する工程とを含む方法。

**【請求項 2】**

20

前記複数の温度検出器は、複数の測温抵抗体 ( R T D ) を含む、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 3】**

前記モデルは、1 又は複数のプロセスパラメータの現在の最適値に対応するウエハ特性に基づいて、前記 1 又は複数の加熱ゾーンのうちの特定の加熱ゾーンに対するヒータ温度の目標値を計算するように構成される、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 4】**

前記プロセス制御アルゴリズムは、前記温度フィードバックの収集、前記温度フィードバックを表すデータの提供、前記ヒータ温度の目標値の提供、前記ヒータ電力の目標値の計算、及びチャンバハードウェアの制御の工程が繰り返される閉ループアルゴリズムである、請求項 1 に記載の方法。

30

**【請求項 5】**

前記チャンバハードウェアを制御することは、  
計算された前記ヒータ電力の目標値を前記 1 又は複数の加熱ゾーンに供給するように、ヒータ電子機器を制御することを含む、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 6】**

前記チャンバハードウェアを制御することは更に、  
前記 1 又は複数の加熱ゾーンに対するヒータ温度の目標値を達成するために、熱交換器温度を制御することを含む、請求項 5 に記載の方法。

**【請求項 7】**

40

前記モデルによって使用されるプロセスパラメータは、シャワーヘッドの温度、チャンバ圧力、及び前記シャワーヘッドと基板支持アセンブリとの間の距離のうちの 1 又は複数を含む、請求項 3 に記載の方法。

**【請求項 8】**

1 又は複数の前記プロセスパラメータの現在の最適値に対応するウエハ特性は、ウエハエッチング量及びウエハ温度のうちの一方又は両方を含む、請求項 7 に記載の方法。

**【請求項 9】**

前記モデルによって使用されるプロセスパラメータは、チャンバ本体温度、熱交換器温度、リフトピンの高さ、及びプロセスガスのうちの 1 又は複数を含む、請求項 7 に記載の方法。

50

## 【請求項 10】

前記モデルは、機械学習アルゴリズムを使用して、過去のチャンバデータを用いて訓練される、請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 11】

前記複数の加熱ゾーンの各々は、1 又は複数のヒータを含む、請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 12】

前記基板支持アセンブリは複数の領域を有し、各領域は、対応する独立して制御可能な複数の加熱ゾーンを有する、請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 13】

システムであって、

複数の温度検出器であって、各々が、ウエハを支持するように構成された基板支持アセンブリの複数の加熱ゾーンのうちの対応する加熱ゾーンに配置される、複数の温度検出器と、

プロセス制御アルゴリズムを実行するプロセッサとを備え、前記プロセッサは、

前記複数の温度検出器から温度フィードバックデータを受信することと、

前記温度フィードバックデータを前記プロセス制御アルゴリズムへの第 1 の入力として提供することと、

サーバに記憶されたモデルを使用して、前記複数の加熱ゾーンのうちの 1 又は複数の前記加熱ゾーンに対するヒータ温度の目標値を計算することと、

前記モデルによって計算された、前記 1 又は複数の加熱ゾーンに対する前記ヒータ温度の目標値を、前記プロセス制御アルゴリズムへの第 2 の入力として提供することと、

前記 1 又は複数の加熱ゾーンに対する前記ヒータ温度の目標値を達成するためのヒータ電力の目標値を、前記第 1 の入力及び前記第 2 の入力に基づいて計算することと、

前記基板支持アセンブリを備える処理チャンバのチャンバハードウェアを、前記 1 又は複数の加熱ゾーンに対する前記ヒータ温度の目標値と一致するように調整する量を計算することと

を行う、システム。

## 【請求項 14】

前記複数の温度検出器は、複数の測温抵抗体 (RTD) を含む、請求項 13 に記載のシステム。

## 【請求項 15】

前記モデルは、前記 1 又は複数の加熱ゾーンのうちの特定の加熱ゾーンに対するヒータ温度の目標値を、1 又は複数のプロセスパラメータの現在の最適値に対応するウエハ特性に基づいて計算するように構成される、請求項 13 に記載のシステム。

## 【請求項 16】

前記チャンバハードウェアは、

計算された前記ヒータ電力の目標値を前記 1 又は複数の加熱ゾーンに供給するヒータ電子機器を備える、請求項 13 に記載のシステム。

## 【請求項 17】

前記チャンバハードウェアは更に、

前記 1 又は複数の加熱ゾーンに対するヒータ温度の目標値を達成するのに役立つ熱交換器温度コントローラを備える、請求項 16 に記載のシステム。

## 【請求項 18】

前記モデルによって使用されるプロセスパラメータは、シャワーヘッドの温度、チャンバ圧力、及び前記シャワーヘッドと基板支持アセンブリとの間の距離のうちの 1 又は複数を含む、請求項 15 に記載のシステム。

## 【請求項 19】

前記モデルによって使用されるプロセスパラメータは更に、チャンバ本体温度、熱交換器温度、リフトピンの高さ、及びプロセスガスのうちの 1 又は複数を含む、請求項 18 に

10

20

30

40

50

記載のシステム。

【請求項 20】

前記プロセス制御アルゴリズムは、閉ループアルゴリズムである、請求項 13 に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

【0001】本明細書に記載の実装態様は、概して、半導体製造に関し、より具体的には、温度制御された基板支持アセンブリのためのモデルベース制御アーキテクチャ及びプロセス制御におけるその使用に関するものである。

10

【背景技術】

【0002】

【0002】集積回路におけるデバイスパターンの特徴サイズの微細化に伴い、デバイスの性能を安定した再現性のあるものにするためには、これらの特徴の臨界寸法(CD)の仕様がより重要な基準となる。処理チャンパ内で処理される(本明細書を通じて互換的に「ウエハ」とも呼ばれる)基板全体で許容可能なCDの変動は、シャワーヘッドと基板温度、流動コンダクタンス、RFフィールド(該当する場合)等のチャンパ非対称性のために達成することが困難である。

【0003】

【0003】基板の下にある基板支持アセンブリが非均質な構造であるため、基板表面全体の温度制御を均一にすることが困難な場合がある。例えば、基板支持体の一部の領域はガス孔を有し、他の領域はガス孔から横方向にオフセットされたリフトピン孔を有する。更に他の領域は、ヒータ電極を有し得る。基板支持体の構造は領域ごとに変化し得るため、支持体アセンブリと基板との間の熱伝達の均一性を得ることは複雑で非常に難しく、基板支持体表面全体に局所的なホットスポットとコールドスポットが生じ、その結果、基板表面に沿って処理結果が不均一になる。

20

【0004】

【0004】基板支持アセンブリと基板との間の熱伝達の領域的均一性は、従来の基板支持アセンブリで一般的に利用されている熱伝達スキームによって更に複雑になっている。例えば、従来の基板支持体は、通常、エッジから中心までの温度制御のみを有する。従来の基板支持体の熱伝達特徴を利用しながら、基板支持体内の局所的なホットスポットやコールドスポットを補正することはできない。

30

【発明の概要】

【0005】

【0005】本明細書に記載の実装態様は、基板支持アセンブリに配置されたウエハを処理するチャンパにおいて基板支持アセンブリの複数の加熱ゾーンを独立して制御する方法及びシステムを提供するものである。複数の温度検出器からの温度フィードバックが、プロセス制御アルゴリズムへの第1の入力として提供される。プロセス制御アルゴリズムへの第2の入力は、モデルを使用して計算された、1又は複数の加熱ゾーンに対するヒータ温度の目標値である。1又は複数の加熱ゾーンに対するヒータ温度の目標値を達成するために必要なヒータ電力の目標値が計算される。チャンパハードウェアは、1又は複数のプロセスパラメータの現在の最適値に対応するウエハ特性と相関するヒータ温度の目標値と一致するように制御される。

40

【0006】

【0006】本開示の一態様では、方法が開示され、本方法は、複数の温度検出器から温度フィードバックを収集する工程であって、複数の温度検出器の各々は、ウエハを支持する基板支持アセンブリの複数の加熱ゾーンのうちの対応する加熱ゾーンに配置される、複数の温度検出器から温度フィードバックを収集する工程と、温度フィードバックを表すデータを、プロセス制御アルゴリズムへの第1の入力として提供する工程と、モデルを使用して計算された、複数の加熱ゾーンのうちの1又は複数の加熱ゾーンに対するヒータ温

50

度の目標値を、プロセス制御アルゴリズムへの第2の入力として提供する工程と、1又は複数の加熱ゾーンに対するヒータ温度の目標値を達成するためのヒータ電力の目標値を計算する工程であって、計算は、プロセス制御アルゴリズムを実行するプロセッサによって、第1の入力及び第2の入力に基づいて実行される、1又は複数の加熱ゾーンに対するヒータ温度の目標値を達成するためのヒータ電力の目標値を計算する工程と、基板支持アセンブリを備える処理チャンバのチャンバハードウェアを、1又は複数の加熱ゾーンに対するヒータ温度の目標値と一致するように制御する工程とを含む。

【0007】

【0007】プロセス制御アルゴリズムは、温度フィードバックの収集、温度フィードバックを表すデータの提供、ヒータ温度の目標値の提供、ヒータ電力の目標値の計算、及びチャンバハードウェアの制御の工程が繰り返される閉ループアルゴリズムであってよい。

10

【0008】

【0008】本開示の別の態様では、複数の温度検出器であって、各々が、ウエハを支持するように構成された基板支持アセンブリの複数の加熱ゾーンのうちの対応する加熱ゾーンに配置される、複数の温度検出器と、プロセス制御アルゴリズムを実行するプロセッサとを備えるシステムが開示される。プロセッサは、複数の温度検出器から温度フィードバックデータを受信することと、温度フィードバックデータをプロセス制御アルゴリズムへの第1の入力として提供することと、サーバに記憶されたモデルを使用して、複数の加熱ゾーンのうちの1又は複数の加熱ゾーンに対するヒータ温度の目標値を計算することと、モデルによって計算された、1又は複数の加熱ゾーンに対するヒータ温度の目標値を、プロセス制御アルゴリズムへの第2の入力として提供することと、1又は複数の加熱ゾーンに対するヒータ温度の目標値を達成するためのヒータ電力の目標値を、第1の入力及び第2の入力に基づいて計算することと、基板支持アセンブリを備える処理チャンバのチャンバハードウェアを、1又は複数の加熱ゾーンに対するヒータ温度の目標値と一致するように調整する量を計算することとを行う。

20

【図面の簡単な説明】

【0009】

【0009】上述した本発明の特徴を詳細に理解できるように、一部が添付の図面に例示されている実装態様を参照しながら、上記に要約した記載内容をより具体的に説明する。しかし、添付の図面は本発明の一部の実施形態を単に示すものであり、したがって、本発明の範囲を限定するものと見なすべきではないことに留意されたい。

30

【0010】

【図1】マルチゾーンヒータを備えた基板支持アセンブリの一実施形態を有する処理チャンバの断面概略側面図である。

【図2】マルチゾーンヒータを備えたヒータアセンブリの別の実施形態の斜視図である。

【図3】本開示の実施形態に係る、並んで配置された2つのマルチゾーンヒータを含む設備プレートを示す上面図である。

【図4】本開示の実施形態に係る、マルチゾーンヒータの上面図である。

【図5】本開示の実施形態に係る、マルチゾーンヒータの温度リードバックスキームの表形式図である。

40

【図6】本開示の実施形態に係る、ウエハエッチング量を計算するための数学的モデルの生成を示す図である。

【図7】本開示の実施形態に係る、ウエハ温度を計算するための数学的モデルの生成を示す図である。

【図8】本開示の実施形態に係る、ヒータ電力及び熱交換器温度からヒータ温度を計算するための数学的モデルの生成を示す図である。

【図9】本開示の実施形態に係る、ヒータ電力からヒータ温度を計算するための数学的モデルの生成を示す図である。

【図10】本開示の実施形態に係る、1又は複数のマルチゾーンヒータを独立して制御す

50

るためのシステムの制御アーキテクチャ及び機能を示す図である。

【図 1 1】本開示の実施形態に係る、各マルチゾーンヒータを独立して制御するためのシステムのモデルベース制御アーキテクチャを示す図である。

【図 1 2】本開示の異なる実施形態に係る、閉ループヒータ温度制御がどのように異なる目的を果たすかを示す図である。

【図 1 3】閉ループ温度制御の方法の一実施形態のフロー図である。

【図 1 4】本開示の一部の実施形態が動作し得るサンプルコンピュータシステムのブロック図である。

【0011】

[0024]ある実装態様で開示された要素は、特に明記することなく、他の実装態様で有益に使用され得ることが企図される。 10

【発明を実施するための形態】

【0012】

[0025]本開示の態様は、基板支持アセンブリ自体の温度の局所的な同調を可能にし、その結果、処理チャンバ内の基板支持アセンブリに配置されたウエハの温度プロファイルの局所的な同調を可能にする基板支持アセンブリを対象としたものである。閉ループプロセス制御アルゴリズムは、基板支持アセンブリからの温度フィードバックを利用し、モデルベースの方法を使用してヒータ電力を制御し、最終的にウエハ特性と関連するプロセスパラメータを制御する。各加熱ゾーンは独立して制御され、ウエハ全体の温度同調の粒度が向上し得る。 20

【0013】

[0026]従来プロセス同調は、多数の加熱ゾーンを備えたヒータの場合、ゾーン間の温度影響を考慮しないため効率が悪く、しばしば、妥当な性能に達するまで何度も同調を繰り返す必要がある。本開示は、機械学習アルゴリズムで導出されたモデルベースの温度コントローラを使用する。このようなコントローラは、基板支持アセンブリの抵抗加熱要素に近接して配置された空間センサからのリアルタイムの温度フィードバック、及び温度センサに対するそれらの影響の数学的モデルと組み合わせた利用可能なチャンバ状態情報を使用して、閉ループ制御性能を向上させる。

【0014】

[0027]実施形態では、基板支持アセンブリは、複数の加熱ゾーンを含む。各加熱ゾーンは、その加熱ゾーンに位置する加熱要素によって加熱され得る。各加熱ゾーンはまた、以下に更に詳細に説明する閉ループプロセス制御アルゴリズムにリアルタイムの温度フィードバックを提供する温度検出器も有し得る。基板支持アセンブリは、2つの加熱ゾーンから数百の加熱ゾーン（例えば、一実施形態では、各領域が88の独立して制御可能な加熱ゾーンを有する2つの領域（「側面」）を有する176の加熱ゾーン）までを含み得る。各加熱ゾーンは、測温抵抗体（RTD）又は幾つかの実施形態では熱電対であってよい、別々の温度センサを含む。複数の加熱要素は、1又は複数の共通グラウンドを共有することができ、温度センサは、1又は複数の追加の共通グラウンドを共有し得る。各加熱要素に対して別々の温度センサを有することにより、温度コントローラは、加熱要素のいずれかが故障したことを決定することが可能である。更に、温度センサが較正されている場合、温度センサは特定の加熱ゾーンにおける温度を決定することができ、その加熱ゾーンに関連する加熱要素のフィードバック制御のために使用され得る。 30 40

【0015】

[0028]以下に説明する基板支持アセンブリはエッチング処理チャンバにあるが、基板支持アセンブリは、中でもとりわけ、物理的気相堆積チャンバ、化学気相堆積チャンバ、イオン注入チャンバ等の他の種類の処理チャンバ、及び横方向温度プロファイルの方位同調が所望されるシステムにおいて利用され得る。また、空間的同調可能（「独立して制御可能な」とも呼ばれる）ヒータは、半導体処理に使用されないものを含む他の表面温度を制御するためにも利用され得ることが企図されている。

【0016】

[ 0 0 2 9 ] 1又は複数の実施形態では、基板支持アセンブリは、温度、流動コンダクタンス、電界、プラズマ密度等のチャンバの非均一性を補正するため、基板温度の調整に基づいて、エッチング、堆積、注入等の真空処理中の基板のエッジにおける臨界寸法(CD)変動の修正を可能にする。

【 0 0 1 7 】

[ 0 0 3 0 ] 図1は、基板支持アセンブリ126を有する例示的なエッチング処理チャンバ100の縦断面概略図である。上述したように、基板支持アセンブリ126は、プラズマ処理チャンバ、アニールチャンバ、物理的気相堆積チャンバ、化学気相堆積チャンバ、イオン注入チャンバ等の他の処理チャンバにおいて利用され得る。更に、基板支持アセンブリ126は、基板等の表面又はワークピースの温度プロファイルを制御する能力が有益である他のシステムにも使用可能である。表面全体の多くの離散的な領域にわたる温度の独立した局所的な制御は、温度プロファイルの方位同調、温度プロファイルの中心からエッジへの同調、及びホットスポットやクールスポット等の局所的な温度アスぺリティの低減を有益に可能にする。

【 0 0 1 8 】

[ 0 0 3 1 ] 処理チャンバ100は、一実施形態では、接地されたチャンバ本体102を含む。チャンバ本体102は、内部領域124を囲む壁104、底部106及びリッド108を含む。基板支持アセンブリ126は、内部領域124に配置され、処理中に基板134を支持する。

【 0 0 1 9 】

[ 0 0 3 2 ] 処理チャンバ100の壁104は、基板134が内部領域124の内外にロボット移送され得る開口部(図示せず)を含み得る。ポンピングポート110は、チャンバ本体102の壁104又は底部106のうちの1つに形成され、ポンピングシステム(図示せず)に流体的に接続される。ポンピングシステムは、処理チャンバ100の内部領域124内に真空環境を維持することができ、処理チャンバから処理副生成物を除去し得る。

【 0 0 2 0 】

[ 0 0 3 3 ] ガスパネル112は、チャンバ本体102のリッド108及び/又は壁104に形成された1又は複数の入口ポート114を通して処理チャンバ100の内部領域124にプロセスガス及び/又は他のガスを供給し得る。一実施形態では、リッドは、シャワーヘッド(別途図示せず)を含み得る。ガスパネル112によって供給されるプロセスガスは、内部領域124内で励起され、基板支持アセンブリ126に配置された基板134を処理するために利用されるプラズマ122を形成し得る。プロセスガスは、チャンバ本体102の外側に位置付けされたプラズマアプリケーション120からのプロセスガスに誘導結合されたRF電力によって励起され得る。図1に示す実施形態では、プラズマアプリケーション120は、整合回路118を通してRF電源116に結合された1対の同軸コイルである。本開示の範囲は、RF印加の基板支持アセンブリよりも広いことに留意されたい。

【 0 0 2 1 】

[ 0 0 3 4 ] コントローラ148は、処理チャンバ100に結合され、処理チャンバ100の動作及び基板134の処理を制御する。コントローラ148は、様々なサブプロセッサ及びサブコントローラを制御するために産業環境で使用することができる汎用データ処理システムであってよい。一般に、コントローラ148は、他の共通の構成要素のうち、メモリ174及び入出力(I/O)回路176と通信する中央処理装置(CPU)172を含む。コントローラ148のCPUによって実行されるソフトウェアコマンドは、例えば、処理チャンバに、エッチングガス混合物(すなわち、処理ガス)を内部領域124に導入し、プラズマアプリケーション120からのRF電力の印加によって処理ガスからプラズマ122を形成し、基板134上の材料の層をエッチングさせ得る。

【 0 0 2 2 】

[ 0 0 3 5 ] 基板支持アセンブリ126は、一般に、少なくとも基板支持体132を含

10

20

30

40

50

む。基板支持体 132 は、真空チャック、静電チャック (ESC)、又は他のワークピース支持面であってよい。幾つかの例では、基板支持体 132 の種類として ESC が明示されているが、本開示の範囲は、ESC に限定されない。基板支持アセンブリ 126 は、主抵抗加熱要素 154 (主抵抗ヒータとも呼ばれる) 及び本明細書において空間的同調可能加熱要素 140 と呼ばれる (独立して制御可能なヒータとも呼ばれる) 複数の追加の抵抗加熱要素を含むヒータアセンブリ 170 を更に含み得る。

#### 【0023】

[0036] 基板支持アセンブリ 126 は、冷却ベースに結合されたチラー/熱交換器 144 によって加熱/冷却される冷却ベース 130 を含み得る。あるいは冷却ベース 130 は、基板支持アセンブリ 126 とは別々であってよい。基板支持アセンブリ 126 は、支持ペDESTAL 125 に取り外し可能に結合され得る。ペDESTAL ベース 128 及び設備プレート 180 を含み得る支持ペDESTAL 125 は、チャンバ本体 102 に取り付けられる。基板支持アセンブリ 126 は、基板支持アセンブリ 126 の 1 又は複数の構成要素の改修を可能にするために、支持ペDESTAL 125 から定期的に取り外され得る。

10

#### 【0024】

[0037] 設備プレート 180 は、複数のリフトピンを昇降させるように構成された 1 又は複数の駆動機構を収容するように構成される。更に、設備プレート 180 は、基板支持体 132 及び冷却ベース 130 からの流体接続部を収容するように構成される。また、設備プレート 180 は、基板支持体 132 及びヒータアセンブリ 170 からの電気接続部を収容するように構成される。無数の接続部が、基板支持アセンブリ 126 の外部又は内部を走っていてよく、設備プレート 180 は、接続のためのインターフェースをそれぞれの終端部に提供し得る。

20

#### 【0025】

[0038] 基板支持体 132 は、取付面 131 と、取付面 131 に対向するワークピース面 133 とを有する。図 1 の実施例に示す ESC 方式の基板支持体 132 は、概して、誘電体 150 に埋め込まれたチャッキング電極 136 を含む。チャッキング電極 136 は、単極電極又は双極電極、又は他の適切な配置として構成され得る。チャッキング電極 136 は、誘電体 150 の上面に基板 134 を静電的に固定するための RF 又は直流 (DC) 電力を供給するチャッキング電源 138 に無線周波数 (RF) フィルタ 182 を通して結合され得る。非 ESC 方式の基板支持体 132 の場合、基板 134 を基板支持体 132 に固定するために他の種類の機構 (機械的クランプ、真空ベースのクランプ等) が使用され得る。RF フィルタ 182 は、処理チャンバ 100 内でプラズマ 122 を形成するために利用される RF 電力が、電気機器を損傷する、又はチャンバの外部に電氣的障害を及ぼすことを防止する。繰り返しになるが、本開示は、ESC 方式の基板支持体及び/又は RF 印加の基板支持体によって限定されるものではない。

30

#### 【0026】

[0039] 基板支持体 132 のワークピース面 133 は、基板 134 と基板支持体 132 のワークピース面 133 との間に画定される間質空間に裏側熱伝達ガスを供給するためのガス通路 (図示せず) を含み得る。また、基板支持体 132 は、処理チャンバ 100 の内外へのロボット移送を容易にするために、基板 134 を基板支持体 132 のワークピース面 133 の上に上昇させるためのリフトピン (両方とも図示せず) を収容するためのリフトピン孔も含み得る。

40

#### 【0027】

[0040] 温度制御された冷却ベース 130 は、熱伝達流体源であるチラー/熱交換器 (HX) 144 に結合される。チラー/熱交換器 144 は、冷却ベース 130 に配置された 1 又は複数の導管 160 を通って循環する、液体、気体、又はそれらの組み合わせ等の熱伝達流体を提供する。基板支持体 132 と冷却ベース 130 の異なる領域との間の熱伝達を局所的に制御できるように、隣接する導管 160 を流れる流体を分離することができ、これは基板 134 の横方向温度プロファイルの制御に役立つ。

#### 【0028】

50



【 0 0 4 1 】 流体分配器（図示せず）は、チラー／熱交換器 1 4 4 の出口と温度制御された冷却ベース 1 3 0 との間に流体的に結合され得る。流体分配器は、導管 1 6 0 に供給される熱伝達流体の量を制御するように動作する。流体分配器は、処理チャンバ 1 0 0 の外部、基板支持アセンブリ 1 2 6 内、ペDESTALベース 1 2 8 内、又は別の適切な場所に配置され得る。

【 0 0 2 9 】

【 0 0 4 2 】 ヒータアセンブリ 1 7 0 は、本体 1 5 2 に埋め込まれた 1 又は複数の主抵抗ヒータ 1 5 4 及び／又は複数の空間的同調可能ヒータ 1 4 0 を含み得る。幾つかの実施形態では、主抵抗ヒータ及び空間的同調可能ヒータは、同じ要素であってよい。本体 1 5 2 は、更に、複数の温度センサ（図 1 に図示せず）を含み得る。複数の温度センサの各々は、ヒータアセンブリの領域及び／又はヒータアセンブリの領域に関連する基板支持体の領域の温度を測定するために使用され得る。一実施形態では、ヒータアセンブリ 1 7 0 は、基板支持体 1 3 2 に含まれる。

10

【 0 0 3 0 】

【 0 0 4 3 】 主抵抗ヒータ 1 5 4 は、チャンバプロセスを実施するための温度まで基板支持アセンブリ 1 2 6 の温度を上昇させるために設けられ得る。空間的同調可能ヒータ 1 4 0 は、主抵抗ヒータ 1 5 4 を補完し、主抵抗ヒータ 1 5 4 によって画定される複数の横方向に分離した加熱ゾーンのうちの 1 又は複数の内の複数の離散的な位置で基板支持体 1 3 2 の局所温度を調整するよう構成される。空間的同調可能ヒータ 1 4 0 は、基板支持アセンブリ 1 2 6 に配置された基板 1 3 4 の温度プロファイルに局所的な調整を提供する。主抵抗ヒータ 1 5 4 は、グローバル化されたマクロスケールで動作し、空間的同調可能ヒータ 1 4 0 は、局所化されたミクロスケールで動作する。

20

【 0 0 3 1 】

【 0 0 4 4 】 主抵抗ヒータ 1 5 4 は、RF フィルタ 1 8 4 を通して主ヒータ電源 1 5 6 に結合され得る。主ヒータ電源 1 5 6 は、主抵抗ヒータ 1 5 4 に 9 0 0 ワット以上の電力を供給し得る。コントローラ 1 4 8 は、一般に基板 1 3 4 をおおよそ予め決められた温度に加熱するように設定された主ヒータ電源 1 5 6 の動作を制御し得る。一実施形態では、主抵抗ヒータ 1 5 4 は、横方向に分離された加熱ゾーンを含み、コントローラ 1 4 8 は、主抵抗ヒータ 1 5 4 の 1 つのゾーンが、1 又は複数の他のゾーンに位置する主抵抗ヒータ 1 5 4 に対して優先的に加熱されることを可能にする。例えば、主抵抗ヒータ 1 5 4 は、複数の分離した加熱ゾーンに同心円状に配置され得る。

30

【 0 0 3 2 】

【 0 0 4 5 】 一実施形態では、主抵抗ヒータ 1 5 4 及び／又は空間的同調可能ヒータ 1 4 0 が、基板支持体 1 3 2 に形成され得る。上記実施形態では、基板支持アセンブリ 1 2 6 は、ヒータアセンブリ 1 7 0 なしで形成され、基板支持体 1 3 2 は冷却ベース 1 3 0 に直接配置され得る。同調ヒータコントローラ 2 0 2（コントローラ 1 4 8 の一部であり得る）は、冷却ベースに隣接して配置され、個々の空間的同調可能ヒータ 1 4 0 を選択的に制御し得る。

【 0 0 3 3 】

【 0 0 4 6 】 基板支持体 1 3 2 及び／又はヒータアセンブリ 1 7 0 は、温度フィードバック情報を提供するための複数の温度センサを含み得る。温度フィードバック情報は、主ヒータ電源 1 5 6 によって主抵抗ヒータ 1 5 4 に印加される電力を制御するため、冷却ベース 1 3 0 の動作を制御するため、及び／又は同調ヒータ電源 1 4 2 によって空間的同調可能ヒータ 1 4 0 に印加される電力を制御するために、コントローラ 1 4 8 に送信され得る。代替として、又は追加として、温度フィードバック情報は、空間的同調可能ヒータ 1 4 0 の動作可能性を決定するため、及び／又は空間的同調可能ヒータ 1 4 0 に印加される電力を制御するために、ヒータコントローラ 2 0 2 に提供され得る。各温度センサは、空間的同調可能ヒータの 1 つに近接して位置してよく、近接する空間的同調可能ヒータの動作可能性を決定するために使用され得る。一実施形態では、各温度センサは、測温抵抗体（RTD）である。

40

50

## 【 0 0 3 4 】

[ 0 0 4 7 ] 処理チャンバ 1 0 0 の基板 1 3 4 の表面の温度は、ポンプによるプロセスガスの排気によって、スリットバルブドアによって、及び / 又は他の要因によって影響され得る。冷却ベース 1 3 0、1 又は複数の主抵抗ヒータ 1 5 4、及び空間的同調可能ヒータ 1 4 0 は全て、基板 1 3 4 の表面温度を制御するのに役立つ。

## 【 0 0 3 5 】

[ 0 0 4 8 ] 独立して制御可能な加熱ゾーンの数が増えれば増えるほど、基板全体にテラード熱プロファイルを生成する能力も向上する。基板全体の臨界寸法の変動を最小限に抑える利点により、基板表面の決定されたプロセス温度における許容可能な変動の低減が推進される。空間的同調可能ヒータ 1 4 0 は、温度プロファイルの変動を低減することによって、主抵抗ヒータ 1 5 4 によって生成される基板 1 3 4 の表面の温度プロファイルを改善する。温度プロファイルは、空間的同調可能ヒータ 1 4 0 の使用を通じて、基板 1 3 4 の領域全体で均一化され得る、又は所定の方法で正確に変化するようになり得る。

10

## 【 0 0 3 6 】

[ 0 0 4 9 ] 空間的同調可能ヒータ 1 4 0、主抵抗ヒータ 1 5 4、及び温度センサは、異なる構成及び配向で配置され得ると考えられる。例えば、基板支持アセンブリ 1 2 6 は、基板 1 3 4 を加熱するための複数の空間的同調可能ヒータ 1 4 0 を有してよく、主抵抗ヒータ 1 5 4 がなくてよく、空間的同調可能ヒータ 1 4 0 を監視するための温度センサを含んでよい。あるいは、基板支持アセンブリ 1 2 6 は、主抵抗ヒータ 1 5 4 及び温度センサを有し得るが、空間的同調可能ヒータ 1 4 0 はなくてよい。上記実施形態では、温度センサは、主抵抗ヒータ 1 5 4 を含む平面に近接する平面に配置されるであろう。一実施形態では、空間的同調可能ヒータ 1 4 0 及び主抵抗ヒータ 1 5 4 は、基板支持アセンブリ 1 2 6 内の互いの直下に配置される。空間的同調可能ヒータ 1 4 0 は、基板支持アセンブリ 1 2 6 によって支持される基板 1 3 4 の温度プロファイルに対する微細な同調制御を提供することができ、温度センサは、空間的同調可能ヒータ 1 4 0 の動作に関する詳細な情報を提供することができる。

20

## 【 0 0 3 7 】

[ 0 0 5 0 ] 空間的同調可能ヒータ 1 4 0 と同様に、温度センサは、ヒータアセンブリ 1 7 0 の本体 1 5 2 上又はヒータアセンブリ 1 7 0 の本体 1 5 2 内に形成又は配置され得る。あるいは、温度センサは、静電チャック 1 3 2 上又は静電チャック 1 3 2 内に形成又は配置され得る。一実施形態における温度センサは、RTD である。RTD の抵抗係数は、温度の関数であり得る。従って、RTD の抵抗は、温度の変化に基づいて変化し得る。各 RTD における抵抗は、特定の空間的同調可能ヒータ 1 4 0 が動作しているか否か、及び / 又は空間的同調可能ヒータ 1 4 0 の温度を決定するために測定され得る。代替的に、温度センサは、熱電対であり得る。

30

## 【 0 0 3 8 】

[ 0 0 5 1 ] 一実施形態では、空間的同調可能ヒータ 1 4 0 及び温度センサは、ヒータアセンブリ 1 7 0 を形成している間に、ヒータアセンブリ 1 7 0 内に配置される。別の実施形態では、空間的同調可能ヒータ 1 4 0 及び / 又は温度センサは、基板支持体 1 3 2 の取付面 1 3 1 に直接配置される。幾つかの実施形態では、主抵抗ヒータ 1 5 4 は、空間的同調可能ヒータ 1 4 0 と同様に製造される。主抵抗ヒータ 1 5 4 が空間的同調可能ヒータ 1 4 0 と同様に製造される実施形態では、主抵抗ヒータは、追加の空間的同調可能ヒータ 1 4 0 の利益なしに、オプションとして利用され得る。言い換えると、基板支持アセンブリ 1 2 6 の主抵抗ヒータ 1 5 4 は、それ自体が空間的同調可能、すなわち、複数の目立たない抵抗加熱要素にセグメント化することができる。上記実施形態では、別々の温度センサが、主抵抗ヒータ 1 5 4 の各々に近接して配置され得る。主抵抗ヒータ 1 5 4 を小さい抵抗ヒータの形態でセグメント化することにより、基板 1 3 4 の表面上のホットスポット及びコールドスポットを局所的に制御することができる。空間的同調可能ヒータ 1 4 0 の追加の層は、実施されるべき温度制御のレベルに応じてオプションである。

40

## 【 0 0 3 9 】

50

【0052】図2は、基板支持アセンブリ126の代替構成を示す図である。この基板支持アセンブリ200は、上部にヒータアセンブリ203を有し、底部にシャフト204を有する。電気接続部206により、ヒータアセンブリ203の加熱要素が外部温度コントローラ（図10でより詳細に説明する制御インターフェースプリント基板（PCB）等）に結合される。

【0040】

【0053】図3は、本開示の実施形態に係る、並んで配置された2つのマルチゾーンヒータを含む設備プレートの上面図である。この例では、設備プレート380内に2つの主要加熱領域があり、各加熱領域はそれ自体のマルチゾーンヒータ303a及び303bを有するが、設備プレート380内に任意の数の加熱領域があってもよい。また、各加熱領域は、互いに独立して制御され得る。

10

【0041】

【0054】図4は、空間的同調可能ヒータ140を上部から示す、ヒータアセンブリ170の本体152を通る断面図である。ヒータアセンブリ170は、ヒータアセンブリ170と基板支持体132との間の熱伝達を実現する複数の空間的同調可能ヒータ140を含み得る。各空間的同調可能ヒータ140は、ヒータアセンブリ170全体に横方向に配置されていてよく、そのゾーン450と整列したヒータアセンブリ170（及び主抵抗ヒータ154の一部）の領域に局所的に追加の熱を提供するために、ヒータアセンブリ170内にゾーン450を画定する。フル基板、例えば300mm基板と共に使用するように構成された基板支持アセンブリ126の所定の実施形態において、数百の空間的同調可能ヒータ140が存在し得ることが企図される。

20

【0042】

【0055】ヒータアセンブリ170は、複数の温度センサを更に含み得る。各温度センサは、各温度センサが空間的同調可能ヒータ140によって画定されるヒータアセンブリ170のゾーン450内にあるように、ヒータアセンブリ170全体に横方向に配置され得る。各温度センサは、それが配置されているゾーン450の温度を測定し得る、及び/又はそのゾーン450における空間的同調可能ヒータ140の動作可能性を決定し得る。更に、主抵抗ヒータ154によって画定されるゾーンにある1又は複数の温度センサは、ゾーンの温度を測定するため、及び/又は主抵抗ヒータ154の動作可能性を決定するために使用され得る。各空間的同調可能ヒータ140に供給される電力、及び結果としてゾーン450を通る熱伝達を個別にかつ独立して制御することによって、基板134の特定点を加熱又は冷却することを可能にする温度制御に対するピクセル単位のアプローチが実現され、基板134の表面の精密にアドレス指定可能な横方向温度プロファイルの同調及び制御が可能になり得る。

30

【0043】

【0056】同調ヒータコントローラ148は、他のゾーン450に対して、各ゾーン450におけるヒータアセンブリ170の空間的同調可能ヒータ140の温度を調節し得る。あるいは、同調ヒータコントローラ148は、別のグループのゾーン450に対して、あるグループのゾーン450全体のヒータアセンブリ170のあるグループの空間的同調可能ヒータ140の温度を調節する。同調ヒータコントローラ202は、個々の空間的同調可能ヒータ140のオン/オフ状態を切り替えし得る、及び/又はデューティサイクルを制御し得る。あるいは、同調ヒータコントローラ148は、個々の空間的同調可能ヒータ140に供給される電力の量を制御し得る。

40

【0044】

【0057】一実施形態では、ヒータコントローラ148は、複数の温度センサから温度測定値を受信する。ヒータコントローラ148は、一実施形態では、各温度測定値を抵抗測定値として受信し得る。次いで、ヒータコントローラ148は、抵抗から温度への変換モデルに基づいて、抵抗測定値を温度測定値に変換し得る。各温度センサに対して、別々の抵抗から温度への変換モデルが使用され得る。あるいは、同じ抵抗から温度への変換モデルが、複数の温度センサに対して使用され得る。抵抗から温度への変換モデルは、温

50

度センサの較正を実行することによって生成され得る。

【 0 0 4 5 】

[ 0 0 5 8 ] ヒータコントローラ 1 4 8 は、各温度センサの受信温度測定値をその温度センサの予想温度測定値と比較し得る。温度センサの予想温度測定値は、温度センサが位置するゾーンに関連づけられた空間的同調可能ヒータ 1 4 0 の電流設定及び / 又は主抵抗ヒータ 1 5 4 の電流設定に基づいてよい。温度センサの予想温度測定値と受信温度測定値との間のデルタが閾値を超える場合、ヒータコントローラ 1 4 8 は、温度センサに関連づけられた特定の空間的同調可能ヒータ 1 4 0 のデューティサイクル及び / 又は電力を調整し得る。あるいは、又は更に、ヒータコントローラ 1 4 8 は、温度センサに関連づけられた主抵抗ヒータのデューティサイクル及び / 又は電力を調整し得る。

10

【 0 0 4 6 】

[ 0 0 5 9 ] 一実施形態では、各ゾーン 4 5 0 は、例えばサーマルチョーク 4 1 6 を使用して、隣接するゾーン 4 5 0 から熱的に隔離することができ、これにより、より正確な温度制御が可能となる。別の実施形態では、各ゾーン 4 5 0 は、隣接するゾーンに熱的に接合され、ヒータアセンブリ 1 7 0 の上面に沿ってアナログ (すなわち、滑らかな又はブレンドした) 温度プロファイルが生成される。

【 0 0 4 7 】

[ 0 0 6 0 ] 独立して制御可能な空間的同調可能ヒータ 1 4 0 を使用することにより、基板全体の局所的な温度均一性を非常に小さい公差で制御することができ、基板 1 3 4 を処理する際の正確なプロセス及び CD 制御が可能になる。更に、空間的同調可能ヒータ 1 4 0 はサイズが小さく高密度であることから、隣接するエリアの温度に実質的に影響を与えることなく、基板支持アセンブリ 1 2 6 上の特定の位置での温度制御が可能になる。これにより、スキューイング又は他の温度の非対称性を導入することなく、局所的なホットスポット及びクールスポットを補正することができる。複数の空間的同調可能ヒータ 1 4 0 を有する基板支持アセンブリ 1 2 6 は、その上で処理される基板 1 3 4 の温度の均一性を制御する能力を有する。

20

【 0 0 4 8 】

[ 0 0 6 1 ] 各空間的同調可能ヒータ 1 4 0 は、端子 4 0 6 , 4 0 8 で終端する抵抗器 4 0 4 を有する。電流が、4 0 6 とラベル付けされた端子等の一方の端子に入り、4 0 8 とラベル付けされた端子等の他方の端子を出ると、電流は抵抗器 4 0 4 のワイヤを横切って移動し、熱を発生させる。空間的同調可能ヒータ 1 4 0 は、基板支持アセンブリ 1 2 6 の外面 4 2 6 に沿った適切な温度上昇を提供するための設計電力密度を有し得る。抵抗器 4 0 4 によって放出される熱の量は、その抵抗器を通過する電流の二乗に比例する。

30

【 0 0 4 9 】

[ 0 0 6 2 ] 空間的同調可能ヒータ 1 4 0 は、基板支持アセンブリ 1 2 6 の表面に沿った熱プロファイルを効率的に生成するパターン 4 9 0 で構成され得る。パターン 4 9 0 は、リフトピン又は他の機械的、流体的又は電氣的接続のための孔 4 2 2 内及びその周囲にクリアランスを提供しつつ、中心点周囲で対称的であってよい。各空間的同調可能ヒータ 1 4 0 は、同調ヒータコントローラ 1 4 8 によって制御され得る。同調ヒータコントローラ 1 4 8 は、ヒータ 4 4 0 を画定する 1 つの空間的同調可能ヒータ 1 4 0 、又は内側ウェッジ 4 6 2 、周囲グループ 4 6 4 、パイ型エリア 4 6 0 、又は非連続構成を含む他の幾何学的構成を画定するようにグループ化された複数の空間的同調可能ヒータ 1 4 0 の電源をオンにし得る。このように、基板支持アセンブリ 1 2 6 の表面に沿った独立した位置で温度を正確に制御することができ、かかる独立した位置は、当技術分野で周知の同心環に限定されない。図示したパターンは、より小さい単位で構成されるが、パターンは、代替的に、より大きい及び / 又はより小さい単位を有し得る、エッジまで延び得る、又は他の形態を有し得る。

40

【 0 0 5 0 】

[ 0 0 6 3 ] また、図 4 に、温度センサの一種である RTD 4 0 5 を示す。RTD 4 0 5 は、空間的同調可能ヒータ 1 4 0 の上方又は下方に位置付けされる。図示したように、

50

ほとんどの場合、RTD405は、空間的同調可能ヒータ140よりも小さいものとなる。RTD405は、温度に基づいて抵抗を変化させる特定の種類の抵抗器であってよい。一実施形態では、RTD405は、白金線である。あるいは、RTD405は、本明細書で説明する他の材料のいずれかであってよい。RTD405は、端子407及び409で終端する。端子を介してRTD405を通して電流が送られ得、空間的同調可能ヒータ140の温度を決定するために、RTD405の抵抗が測定され得る。RTD405の材料、ワイヤの長さ、及びワイヤの厚さは、RTD405が感度を有する温度範囲を制御するために選択され得る。

#### 【0051】

[0064] 空間的同調可能ヒータ140は、上述したように、x-yグリッドパターン、多角形パターン（例えば、六角形の最密構造）、極性アレイパターン、同心チャネルパターンでも配置される温度制御ゾーン450のアレイを画定する、グリッドの形態で配置され得る。空間的同調可能ヒータ140は、グループ又は単数で作動し得ることを理解されたい。

10

#### 【0052】

[0065] 空間的同調可能ヒータ140の数及び密度は、基板全体の温度均一性を非常に小さい公差に制御する能力に寄与し、基板134を処理するときの正確なプロセス及びCD制御を可能にする。更に、1つの空間的同調可能ヒータ140を別の空間的同調可能ヒータ140に対して個別に制御することにより、隣接するエリアの温度に実質的な影響を与えずに、基板支持アセンブリ126の特定位置での温度制御が可能になり、これにより、スキューイング又は他の温度の非対称性を導入することなく、局所的なホット及びクールスポットを補正することが可能になる。一実施形態では、基板支持アセンブリ126の複数の空間的同調可能ヒータ140は、主抵抗ヒータ154と連携して、その上で処理される基板134の温度均一性を約±0.3未満に制御する能力を有する。空間的同調可能ヒータ140は、基板支持アセンブリ126上で処理される基板134の横方向温度プロファイルの横方向及び方位同調の両方を可能にする。

20

#### 【0053】

[0066] この配線スキームは、空間調整可能なヒータ140に対して、多重制御とは対照的な個別制御を提供する。個別制御は、任意の1つの空間的同調可能ヒータ140、又は空間的同調可能ヒータ140の選択が、任意の他の空間的同調可能ヒータ140、又は空間的同調可能ヒータ140の選択と同時に作動することを可能にする。配線スキームにより、複数の空間的同調可能ヒータのうちの一つへの出力を、複数の空間的同調可能ヒータのうちの一つの別の空間的同調可能ヒータに対して独立して制御することが可能になり、テラード温度プロファイルを達成するための、空間的同調可能ヒータ140における迅速な応答時間が可能になる。

30

#### 【0054】

[0067] コントローラ148は、1又は複数の選択された空間的同調可能ヒータ140に印加される電力のデューティサイクル、電圧、電流、又は持続時間の少なくとも1又は複数を相対的に、かつ同時に制御することができる。

#### 【0055】

[0068] 図5は、RTDのリアルタイムのアナログ温度読取値が、電気接続部を通して、RTDの行/列の温度のリードバックをデジタルデータの形で提供するデジタルデコード装置にどのように伝達されるかを示す図である。図5に示す具体例は、9行11列にわたって広がる90のRTDからの温度リードバックを示している。

40

#### 【0056】

[0069] RTDから収集された温度のリードバックデータは、マルチゾーンヒータの加熱ゾーンのモデルベースの独立制御を設計するために使用される数学的モデルを構築するために使用される。

#### 【0057】

[0070] 図6~7に、ヒータ温度データを入力としてモデルに供給した場合に、ウ

50

エッチング量とウエハ温度をそれぞれ予測する2つのモデルを示す。予測結果の精度を向上させるために、リアルタイムのRTDデータがモデルの訓練に使用され得るが、ヒータ温度を表す過去の信頼できるデータがモデルを構築するのに使用され得ることに留意されたい。モデルへの他の入力、様々なプロセスパラメータを含む。図6及び図7に示す例では、使用されるプロセスパラメータは、シャワーヘッド温度、チャンバ圧力、及びシャワーヘッドまでの距離（基板支持アセンブリのシャワーヘッドとヒータとの間の距離とも称される）である。他のプロセスパラメータ、例えば、チャンバ本体温度、熱交換器温度、リフトピンの高さ、プロセスガス等も使用され得ることに留意されたい。

#### 【0058】

[0071] 具体的には、図6に示す例では、ヒータ温度、シャワーヘッド温度、チャンバ圧力、及びシャワーヘッドと基板支持アセンブリとの間の距離の変化に基づいて、モデルによりエッチング量が予測される。図7に示す例では、ウエハ温度は、ヒータ温度、シャワーヘッド温度、チャンバ圧力、及びシャワーヘッドと基板支持アセンブリとの間の距離の変化に基づいて、モデルにより予測される。各ウエハ特性を予測するのに別々のモデルが使用され得る、又はエッチング量及びウエハ温度等の複数のウエハ特性を単一のモデルで予測し得ることに留意されたい。

#### 【0059】

[0072] 異なるプロセスパラメータ、例えば、熱交換器温度、又はヒータ電力に基づいてヒータ温度を予測することができる別のモデル（又はモデルのセット）があり得ることに留意されたい。具体的には、図8に示す例では、熱交換器温度の変化に基づいて、モデルによりヒータ温度が予測される。ヒータ温度は、ヒータに供給される電力と、熱交換器から供給される冷却剤流量との両方の関数であるため、図8のモデルでは、熱交換器温度に加えて、ヒータに供給される目標電力を入力として使用すると、より精密にヒータ温度を予測することができる。図9は、ヒータ電力の変化のみに基づくヒータ温度のモデルを示す図である。図6～図9の各モデルは、モデルの構造を定義する微分方程式を導出するための第一原理解析、及び異なるチャンバ構成について（すなわち、異なるシャワーヘッド温度、チャンバ圧力、シャワーヘッドまでの距離、熱交換器電力及びヒータ電力について）チャンバから収集した利用可能なデータに基づいてかかるモデルを訓練する機械学習アルゴリズム等の方法の組み合わせを使用して生成することが可能である。機械学習アルゴリズムは、各数学的モデルのオフライン再帰訓練を実行するように導出され、かかるモデルが基板の熱挙動及びエッチング動的挙動を表現し、基板支持体内の加熱ゾーンの各々の熱挙動を表現することを可能にし得る。

#### 【0060】

[0073] 図10は、ヒータ温度のモデルベースの閉ループ制御におけるシステム構成要素の制御アーキテクチャ及び機能性を表すブロック図であり、これにより、プロセスパラメータのモデルベース制御が可能になる。チャンバ1002から収集される例示的なプロセスパラメータは、シャワーヘッド1004の温度1028、シャワーヘッドと基板支持アセンブリ1008との間の距離1030（「h」として示す）、及びスロットルゲートバルブ（TGV）1012によって供給されるチャンバ圧力1032である。ウエハ1006は、基板支持アセンブリ1009に一体化されているマルチゾーンヒータ1009a及び1009bによって加熱される。RTD温度データは、シリアルペリフェラルインターフェース（SPI）通信リンク1014及び1016、又は他の種類の通信リンクを介して制御インターフェースモジュール1018に伝達される。制御インターフェースモジュールの機能性は、モジュール1018内のプリント基板（PCB）により実行され得る。モジュール1018は、フロントエンドサーバ（FES）1026と直接又はツール制御サーバ（TCS）1024を通して通信可能に結合される。実施形態では、フロントエンドサーバ1026及びツール制御サーバ1024とモジュール1018は、制御自動化技術用イーサネット（ECAT）通信リンク1020及び1022又は他の種類の通信リンクを介して結合され得る。

#### 【0061】

10

20

30

40

50

[ 0 0 7 4 ] プロセッサ 1 0 3 6 は、モデル（例えば、図 6 ~ 9 に示すモデル）及びチャンバ 1 0 0 2 から収集されるリアルタイム入力に基づいて、閉ループ制御アルゴリズムを実行する。追加の入力は、熱交換器（HX）/チラー 1 0 1 0 等、チャンバの外部にある他のハードウェアから収集され得る。HX /チラー 1 0 1 0 は、プロセッサに温度 1 0 3 4 を提供し得る。一実施形態では、訓練された 1 又は複数の機械学習モデルのための入力データは、シャワーヘッドの温度 1 0 2 8、距離 1 0 3 0、チャンバ圧力 1 0 3 2、熱交換器温度 1 0 3 4 及び / 又は加熱ゾーンに関連づけられた 1 又は複数の温度センサの温度のうちの 1 又は複数を含むベクトルを含み得る。1 又は複数のモデルは、入力データを処理して、出力を生成し得る。出力は、シャワーヘッドの温度、シャワーヘッドと基板支持アセンブリとの間の距離、チャンバ圧力、及び熱交換器の温度の計算を自動化するのに有用であり得る。プロセッサ 1 0 3 6 は、チャンバハードウェアのうちのどれを制御する必要があるかについての決定 1 0 3 8 を行い、これは F E S 1 0 2 6 に伝達される。幾つかの実施形態では、プロセッサ 1 0 3 6 は、F E S 1 0 2 6 の一部である。

10

#### 【 0 0 6 2 】

[ 0 0 7 5 ] サーバ（ツール制御サーバ 1 0 2 4 であり得る）は、フロントエンドサーバ 1 0 2 6 からヒータ電力の計算された目標値を受信し、チャンバハードウェアを 1 又は複数の加熱ゾーンのヒータ温度の目標値に一致するように制御又は調整する量を計算する。チャンバハードウェアを制御することは、他の加熱ゾーンから独立して 1 又は複数の加熱ゾーンに目標量のヒータ電力を供給するようにヒータ電子機器を制御することを含み得る。ヒータ温度はヒータ電力と冷却剤流量の両方の関数であるため、チャンバハードウェアを制御することは、HX /チラー温度を制御することも含み得る。例えば、あるゾーンが高温になりすぎた場合、温度を目標値まで下げるためにより低温の流体を供給する必要があり、そのゾーンのヒータにより少ない電力が供給される必要がある。一方、あるゾーンが低温になりすぎた場合、温度を目標値まで下げるためにより高温の流体を供給する必要があり、そのゾーンのヒータにより多くの電力が供給される必要がある。

20

#### 【 0 0 6 3 】

[ 0 0 7 6 ] 図 1 1 は、マルチゾーンヒータの各ゾーンを独立して制御するために、図 1 0 に示すシステムによって実装されるモデルベース制御アーキテクチャ 1 1 0 0 の更なる詳細を示す図である。図 1 1 に示すように、ウエハ 1 1 0 2 が、1 又は複数のマルチゾーンヒータを有する基板支持アセンブリ 1 1 0 4 に配置される。ヒータ電子機器 1 1 1 8 がヒータに電力を供給し、熱交換器 1 1 0 6 が基板温度を制御するための流体を供給する。RTDからのリアルタイム温度データ 1 1 0 8 が、閉ループヒータ温度制御アルゴリズム 1 1 1 4 に提供される。アルゴリズムは、目標ウエハ温度及び / 又はエッチング量 1 1 1 1 に基づいてモデル 1 1 1 2 によって計算された目標ヒータ温度値 1 1 1 0 を受け取る。モデル 1 1 1 2 は、図 6 及び 7 に示すモデルの逆であってよく、ヒータ温度に基づいてウエハエッチング量及び / 又はウエハ温度が計算される。閉ループヒータ温度制御アルゴリズム 1 1 1 4 は、目標ヒータ温度 1 1 1 0 及びヒータ温度フィードバック 1 1 0 8 に基づいて目標ヒータ電力 1 1 1 6 を出力し、加熱ゾーンの独立制御を実現するためにヒータ電子機器 1 1 1 8 に伝達される。モデルの生成は、本開示で先に説明したように、機械学習アルゴリズムを使用して行われ得る。図 1 1 の逆モデル表現は、モデルがどのように使用されるかを機能的に表現したものである。各ゾーンの温度は、ゾーンの表面積の大きさが異なるため、また各ゾーンを取り囲む隣接ゾーンのセットが異なるため、他とは異なる挙動をする可能性があり、あるゾーンについて得られた同じモデルをすべてのゾーンに適用することはできない。更に、隣接するゾーン間の相互作用のために、各ゾーンについて独立したモデルは存在し得ない。本実施形態で考慮される温度制御モデルは、利用可能な RTD センサからのすべてのゾーンの温度フィードバックを同時に監視し、各ゾーンの温度と、対応する隣接するものの挙動に基づいて、基板支持体のすべてのゾーンに対して同時に電力を生成する単一の大規模モデルを含む。目標ヒータ温度 1 1 1 0 は、基板支持体の各ゾーンに対する個別の目標温度を含む。これにより、閉ループヒータ温度コントローラ 1 1 1 4 が、基板 1 1 0 2 の所望の温度パターンを達成することができる。同様に、逆ウ

30

40

50

エ八温度及び逆ウエ八エッチング量モデルは、基板 1 1 0 2 が目標ウエ八温度及びエッチング量 1 1 1 1 (空間プロファイル) に到達することを可能にするために、基板支持体の各ゾーンに対して個別の目標ヒータ温度 1 1 1 0 を付与することが可能である。

【 0 0 6 4 】

[ 0 0 7 7 ] 別のモデル 1 1 2 8 (図 8 に示すモデルの逆であってよい) は、目標ヒータ温度 1 1 1 0 を入力として使用し、熱交換器 1 1 0 6 に伝達される目標熱交換器温度 1 1 2 0 を出力する。

【 0 0 6 5 】

[ 0 0 7 8 ] 図 1 2 は、閉ループヒータ温度制御アーキテクチャ 1 2 0 0 (図 1 1 で説明した 1 1 1 4 と同様) が、図 1 0 に示すシステムに対して異なる目的で機能する様子を 10  
示す図である。アーキテクチャ 1 2 0 0 のコアは、RTD からヒータ温度フィードバック 1 2 1 6 を受信する制御アルゴリズム 1 2 0 2 である。図 1 1 に示す逆モデルは、閉ループヒータ温度制御アルゴリズムへの入力として、目標ヒータ温度 1 2 1 2 (図 1 1 の 1 1 1 0 と同様) を計算して提供する。閉ループヒータ温度制御アルゴリズムは、ヒータ電力 - 温度モデル 1 2 0 4 を使用して、図 1 1 に示すように、ヒータ電子機器に供給される目標ヒータ電力 1 2 1 4 を出力する。

【 0 0 6 6 】

[ 0 0 7 9 ] 更に、このアルゴリズムは、電力及び温度のフィードバック情報を用いて、ウエ八の位置ずれ検出 (1 2 0 6) に使用され得る。オプションとして、ウエ八位置ず 20  
れ警告信号 1 2 1 8 が生成され得る。ウエ八の位置ずれは、基板支持体のエッジ周辺の温度及び電力使用に関する情報を使用して検出することができる。この機能は、図 4 に示すゾーンレイアウトを利用することによって達成される。基板支持体の円形エッジにおける独立した温度測定が利用可能であるため、基板の位置ずれの結果として、上記ゾーンのいずれかが部分的又は完全に露出するか否かを検出することが可能である。

【 0 0 6 7 】

[ 0 0 8 0 ] 更に、アルゴリズムは、ハードウェアの状態の検出 (1 2 0 8) を容易にし、オプションとして、FES のグラフィックユーザインターフェース (GUI) を使用してハードウェアの状態 1 2 2 0 を表示することができる。

【 0 0 6 8 】

[ 0 0 8 1 ] また更に、アルゴリズムを利用して、複数のチャンバ (1 2 1 0) 上の異なる設置間の mismatch を決定し、目標ヒータ温度を調整することによって補正することが可能である。具体的には、補正装置 1 2 1 0 は、基準チャンバ、及び対応する許容変動 30  
限度に関する情報を用いて設計することができる。異なるチャンバに新たなペDESTAL ヒータを設置した後に、基板支持体の全てのゾーンに対する温度フィードバック測定及び電力使用に関する利用可能な情報を、リアルタイム又はオフラインで、設計段階中に提供された基準のものと比較することが可能である。これにより、事前に定義された許容限度を超えるいかなるハードウェアの誤動作又は mismatch も検出し、警告することができる。更に、mismatch の種類に応じて可能である場合はいつでも、mismatch に関する定量的情報を使用して、基板特性が目標仕様 1 1 1 1 を満たすように、目標ヒータ温度 1 1 1 0 にバイアス印加することができる。 40

【 0 0 6 9 】

[ 0 0 8 2 ] 図 1 3 は、閉ループ温度制御のための方法 1 3 0 0 の一実施形態のフロー図である。方法 1 3 0 0 は、ハードウェア (例えば、処理装置、回路、専用ロジック、プログラマブルロジック、マイクロコード、ハードウェア装置、集積回路等)、ソフトウェア (例えば、処理装置上で行われる又は実行される命令)、又はそれらの組み合わせを含み得る処理ロジックによって実行され得る。方法 1 3 0 0 は、図 1 0 のシステムの構成要素によって実施され得る。閉ループ制御を達成するために、ブロック 1 3 2 0 から 1 3 6 0 の工程が繰り返され得る。

【 0 0 7 0 】

[ 0 0 8 3 ] 方法 1 3 0 0 は、上述のように、基板支持アセンブリと一体化したマルチ 50



ゾーンヒータの異なる加熱ゾーンに R T D を配置することによって、ブロック 1 3 1 0 で開始する。

【 0 0 7 1 】

[ 0 0 8 4 ] ブロック 1 3 2 0 において、R T D から温度フィードバックが収集される。温度フィードバックは、リアルタイムで、すなわち、現在の温度データの測定とチャンバハードウェアを変更することによる温度調整との間の感知可能な遅延なしに、収集され得る。

【 0 0 7 2 】

[ 0 0 8 5 ] ブロック 1 3 3 0 において、リアルタイムの温度フィードバックデータが、閉ループプロセス制御アルゴリズムへの入力として提供される。プロセス制御アルゴリズムの例は、図 1 0 ~ 1 2 を参照しながら説明してきたものである。

10

【 0 0 7 3 】

[ 0 0 8 6 ] ブロック 1 3 4 0 において、各加熱ゾーンに対するヒータ温度の目標値が、閉ループプロセス制御アルゴリズムへの別の入力として提供される。ヒータ温度の目標値は、ウエハ温度 - ヒータ温度モデル等のモデルによって計算される。ウエハ温度は、図 6、7 及び 1 0 に示すように、シャワーヘッド温度、チャンバ圧力、シャワーヘッドからのヒータの距離等のプロセスパラメータの関数である。

【 0 0 7 4 】

[ 0 0 8 7 ] ブロック 1 3 5 0 において、アルゴリズムは、ヒータ電力の目標値を出力する。アルゴリズムは、マルチゾーンヒータの 1 つのゾーンのみに供給される電力を計算し得る、又はマルチゾーンヒータの複数のゾーンに供給される電力の対応する値を計算し得ることに留意されたい。幾つかの実施形態では、複数のマルチゾーンヒータが採用されることに留意されたい。アルゴリズムは、マルチゾーンヒータの空間構成に見合った適切な粒度で電力を計算する能力を有する。

20

【 0 0 7 5 】

[ 0 0 8 8 ] ブロック 1 3 6 0 において、プロセスパラメータの最適値に相関するヒータ温度の目標値と一致するように、チャンバハードウェアが制御される。プロセスパラメータの最適値は、周知の最善の方法 ( B K M ) に対応する履歴パラメータであってよい。例えば、マルチゾーンヒータの特定のゾーンで特定の温度を達成するようにヒータの電力を制御する ( オプションとして、熱交換器の温度を制御し得る ) ことにより、結果として得られるウエハ温度が、プロセスパラメータが最適であることを示すようになり得る。プロセスパラメータの B K M 値を基準として使用し、現在のプロセスを調整して特定のチャンバ構成により適した改良レシピを見つけ出して、歩留まりを最大化することができる。

30

【 0 0 7 6 】

[ 0 0 8 9 ] 当業者であれば、図 1 3 のフロー図は特定の順序又は順番を示しているが、特に指定がない限り、プロセスの順番は変更可能であることを理解するであろう。したがって、図示した実施形態は例としてのみ理解されるべきであり、図示したプロセスは異なる順番で実施され得、幾つかのプロセスは並行して実施され得る。更に、様々な実施形態において、1 又は複数のプロセスを省略することができる。したがって、すべての実施形態においてすべてのプロセスが必要とされるわけではない。他のプロセスフローも可能である。

40

【 0 0 7 7 】

[ 0 0 9 0 ] 図 1 4 は、本明細書で説明する方法論のいずれか 1 又は複数を実行させるための命令のセットが実行され得る、コンピュータシステム 1 4 0 0 の例示的なマシンを示す図である。幾つかの実施形態では、コンピュータシステム 1 4 0 0 は、コントローラの工程を実行するために ( 例えば、マルチゾーンヒータにおいて温度を独立して制御するためのアルゴリズムを実行するために ) 使用され得る。代替の実施形態では、マシンは、L A N、イントラネット、エクストラネット、及び / 又はインターネットにおいて他のマシンに接続 ( 例えば、ネットワーク化 ) することができる。マシンは、クライアントサーバネットワーク環境におけるサーバ又はクライアントマシンの能力で、ピアツ

50

ピア（又は分散）ネットワーク環境におけるピアマシンとして、又はクラウドコンピューティングインフラストラクチャ又は環境におけるサーバ又はクライアントマシンとして動作することが可能である。

【 0 0 7 8 】

[ 0 0 9 1 ] マシンは、パーソナルコンピュータ（PC）、タブレットPC、セットトップボックス（STB）、パーソナルデジタルアシスタント（PDA）、携帯電話、ウェブアプリケーション、サーバ、ネットワークルータ、スイッチ又はブリッジ、又はそのマシンが実行すべき動作を指定する命令のセット（連続的又はその他）を実行できる任意のマシンであり得る。更に、単一のマシンを例示したが、用語「マシン」は、本明細書で説明する方法論のいずれか1又は複数を実行するための命令のセット（又は複数のセット）を個別に又は共同で実行するマシンの任意の集合体も含むとも見なされる。

10

【 0 0 7 9 】

[ 0 0 9 2 ] 例示的なコンピュータシステム 1 4 0 0 は、バス 1 4 3 0 を介して互いに通信し合う、処理装置 1 4 0 2、メインメモリ 1 4 0 4（例えば、読出し専用メモリ（ROM）、フラッシュメモリ、シンクロナスDRAM（SDRAM）等のダイナミックランダムアクセスメモリ（DRAM）等）、スタティックメモリ 1 4 0 6（例えば、フラッシュメモリ、スタティックランダムアクセスメモリ（SRAM）等）、及びデータストレージシステム 1 4 1 8 を含む。

【 0 0 8 0 】

[ 0 0 9 3 ] 処理装置 1 4 0 2 は、マイクロプロセッサ、中央処理装置等の1又は複数の汎用処理装置を表す。より詳細には、処理装置は、複雑命令セットコンピューティング（CISC）マイクロプロセッサ、縮小命令セットコンピューティング（RISC）マイクロプロセッサ、超長命令語（VLIW）マイクロプロセッサ、又は他の命令セットを実装するプロセッサ、又は命令セットの組み合わせを実装するプロセッサであってよい。処理装置 1 4 0 2 は、特定用途向け集積回路（ASIC）、フィールドプログラマブルゲートアレイ（FPGA）、デジタル信号プロセッサ（DSP）、ネットワークプロセッサ等の1又は複数の特定目的処理装置であってもよい。処理装置 1 4 0 2 は、本明細書に記載の工程及びステップを実行するための命令 1 4 2 6 を実行するように構成される。コンピュータシステム 1 4 0 0 は、ネットワーク 1 4 2 0 を介して通信するためのネットワークインターフェース装置 1 4 0 8 を更に含み得る。

20

30

【 0 0 8 1 】

[ 0 0 9 4 ] データストレージ装置 1 4 1 8 は、本明細書に記載の方法論又は機能のいずれか1又は複数を実体化する命令 1 4 2 6 の1又は複数のセット又はソフトウェア（例えば、閉ループプロセス制御アルゴリズム 1 1 1 4 の命令）が記憶される（コンピュータ可読媒体としても知られる）機械可読媒体 1 4 2 4 を含み得る。命令 1 4 2 6 はまた、コンピュータシステム 1 4 0 0 によるその実行中に、完全に又は少なくとも部分的に、メインメモリ 1 4 0 4 内及び/又は処理装置 1 4 0 2 内に存在してよく、メインメモリ 1 4 0 4 及び処理装置 1 4 0 2 はまた、機械可読記憶媒体を構成する。

【 0 0 8 2 】

[ 0 0 9 5 ] 一実施形態では、命令 1 4 2 6 は、プロセスパラメータを制御するためのアルゴリズムを実行する命令を含む。機械可読記憶媒体 1 4 2 4 は、例示的な実施形態では単一の媒体として示したが、用語「機械可読記憶媒体」は、1又は複数の命令セットを記憶する単一の媒体又は複数の媒体を含むと解釈すべきである。また、用語「機械可読記憶媒体」は、マシンによる実行のための命令セットを記憶又は符号化することができ、マシンに本開示の方法論のいずれか1又は複数を実行させる任意の媒体を含むと解釈されるものとする。従って、用語「機械可読記憶媒体」は、非限定的に、固体メモリ、光学媒体、及び磁気媒体を含むと解釈されるものとする。

40

【 0 0 8 3 】

[ 0 0 9 6 ] これまでの詳細な説明の一部は、コンピュータのメモリ内のデータビットに対する工程のアルゴリズム及び記号表現で示してきた。これらのアルゴリズム的な説明

50

及び表現は、データ処理技術の当業者が、当業者に最も効果的に仕事の内容を伝えるために使用する方法である。アルゴリズムとは、本書では、概して、所望の結果をもたらす自己矛盾のない一連の工程であると考えられる。工程は、物理量の物理的操作を必要とするものである。通常、必ずしもそうではないが、これらの量は、記憶、結合、比較、及びその他の操作が可能な電気信号又は磁気信号の形態をとる。これらの信号をビット、値、要素、記号、文字、項、数等で参照するのは、主に一般的な使用上の理由から、時に便利であることが証明されている。

【 0 0 8 4 】

[ 0 0 9 7 ] しかし、これら及び類似の用語はすべて適切な物理量と関連付けられるべきものであり、これらの量に適用される便利なラベルに過ぎないことを心に留めておく必要がある。本開示は、コンピュータシステムのレジスタ及びメモリ内で物理（電子）量として表されるデータを、コンピュータシステムのメモリ又はレジスタ又は他のそのような情報ストレージシステム内で物理量として同様に表される他のデータに操作及び変換する、コンピュータシステム、又は同様の電子計算装置の実行及びプロセスを指す場合がある。

10

【 0 0 8 5 】

[ 0 0 9 8 ] また、本開示は、本明細書の工程を実行するための装置に関する。この装置は、意図する目的のために特別に構築され得る、又はコンピュータに記憶されたコンピュータプログラムによって選択的に起動又は再構成される汎用コンピュータを含み得る。上記コンピュータプログラムは、コンピュータ可読記憶媒体、例えば、非限定的に、フロッピーディスク、光ディスク、CD-ROM、及び光磁気ディスクを含む任意の種類ディスク、読み取り専用メモリ（ROM）、ランダムアクセスメモリ（RAM）、EPROM、EEPROM、磁気又は光カード、又はそれぞれコンピュータシステムバスに結合された、電子命令を記憶するのに適切な任意の種類媒体に記憶され得る。

20

【 0 0 8 6 】

[ 0 0 9 9 ] 本書に示すアルゴリズム及びディスプレイは、本質的に、いかなる特定のコンピュータ又は他の装置と関連するものではない。様々な汎用システムを本明細書の教示に係るプログラムと共に使用することができる、又は、本方法を実行するためのより特殊な装置を構築することが便利であることが証明され得る。これらの様々なシステムのための構造は、以下の説明に記されるようなものとなるだろう。更に、本開示を、任意の特定のプログラム言語を参照しては説明しない。様々なプログラム言語が、本明細書に記載の本開示の教示を実施するために使用され得ることが理解されよう。

30

【 0 0 8 7 】

[ 0 0 1 0 0 ] 本開示は、本開示に係るプロセスを実行するようにコンピュータシステム（又は他の電子デバイス）をプログラムするのに使用できる、記憶された命令を有する機械可読媒体を含み得るコンピュータプログラム製品、又はソフトウェアとして提供され得る。機械可読媒体は、機械（例えば、コンピュータ）によって読み取り可能な形態で情報を記憶するための任意の機構を含む。幾つかの実施形態では、機械可読（例えば、コンピュータ可読）媒体は、読み取り専用メモリ（「ROM」）、ランダムアクセスメモリ（「RAM」）、磁気ディスク記憶媒体、光記憶媒体、フラッシュメモリ部品等の機械（例えば、コンピュータ）可読記憶媒体を含む。

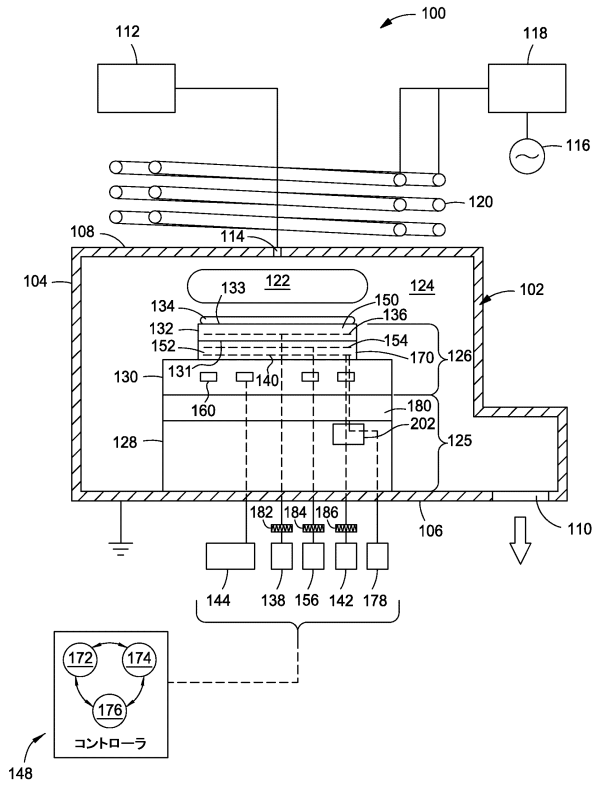
40

【 0 0 8 8 】

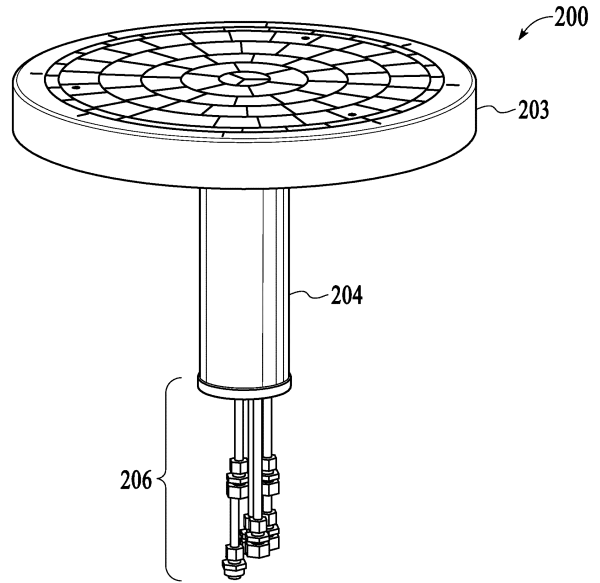
[ 0 0 1 0 1 ] 前述の明細書において、本開示の実施形態を、その具体的な例示的实施形態を参照しながら説明してきた。以下の特許請求の範囲に記載される本開示の実施形態のより広い主旨及び範囲から逸脱せずに、それらに様々な変更がなされ得ることは明らかであろう。したがって、本明細書及び図面は、限定的ではなく、例示的なものと見なすべきである。

【 図面 】

【 図 1 】



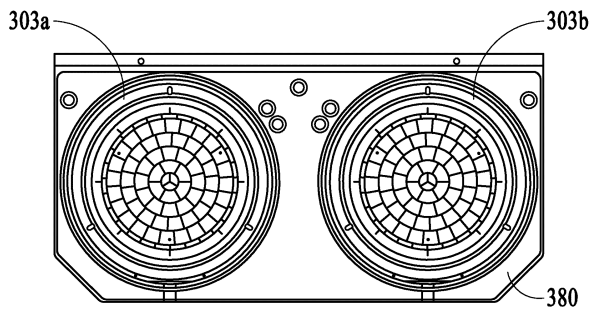
【 図 2 】



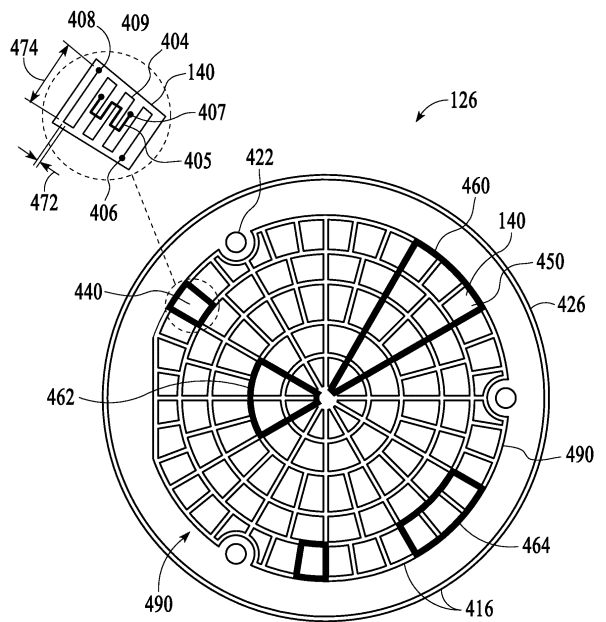
10

20

【 図 3 】



【 図 4 】



30

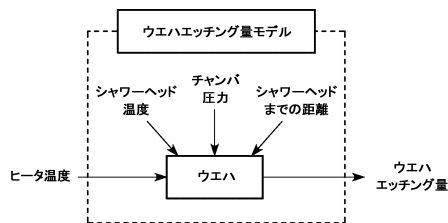
40

50

【図5】

行 1	RTD 1	RTD 9	RTD 17	RTD 25	RTD 33	RTD 41	RTD 49	RTD 57	RTD 65	RTD 73	RTD 81	CS—行 1
行 2	RTD 2	RTD 10	RTD 18	RTD 26	RTD 34	RTD 42	RTD 50	RTD 58	RTD 66	RTD 74	RTD 82	CS—行 2
行 3	RTD 3	RTD 11	RTD 19	RTD 27	RTD 35	RTD 43	RTD 51	RTD 59	RTD 67	RTD 75	RTD 83	CS—行 3
行 4	RTD 4	RTD 12	RTD 20	RTD 28	RTD 36	RTD 44	RTD 52	RTD 60	RTD 68	RTD 76	RTD 84	CS—行 4
行 5	RTD 5	RTD 13	RTD 21	RTD 29	RTD 37	RTD 45	RTD 53	RTD 61	RTD 69	RTD 77	RTD 85	CS—行 5
行 6	RTD 6	RTD 14	RTD 22	RTD 30	RTD 38	RTD 46	RTD 54	RTD 62	RTD 70	RTD 78	RTD 86	CS—行 6
行 7	RTD 7	RTD 15	RTD 23	RTD 31	RTD 39	RTD 47	RTD 55	RTD 63	RTD 71	RTD 79	RTD 87	CS—行 7
行 8	RTD 8	RTD 16	RTD 24	RTD 32	RTD 40	RTD 48	RTD 56	RTD 64	RTD 72	RTD 80	RTD 88	CS—行 8
行 9	RTD 89	RTD 90										CS—行 9

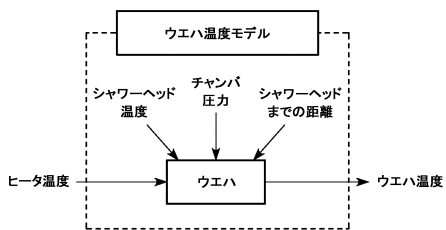
【図6】



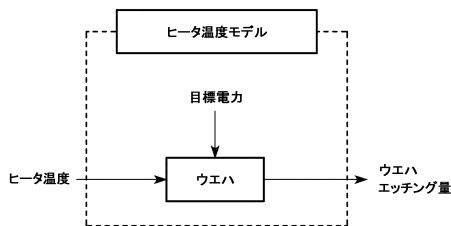
10

20

【図7】



【図8】

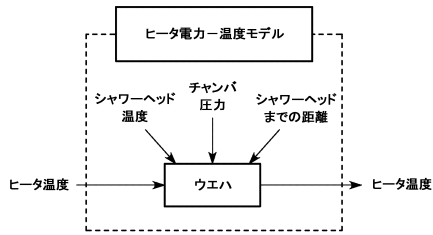


30

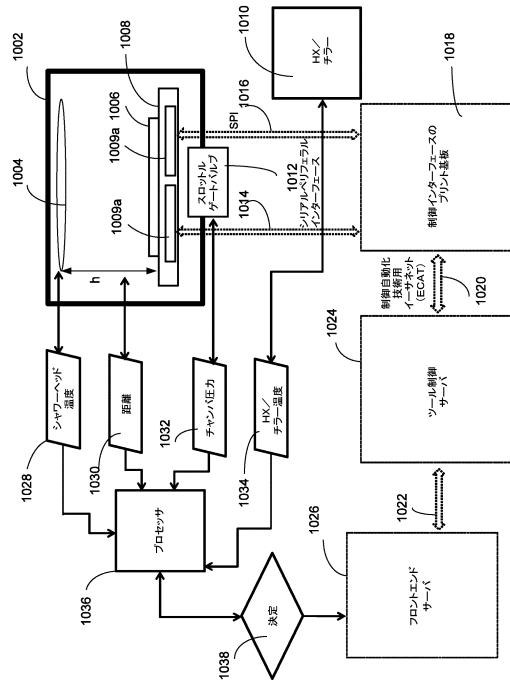
40

50

【 図 9 】



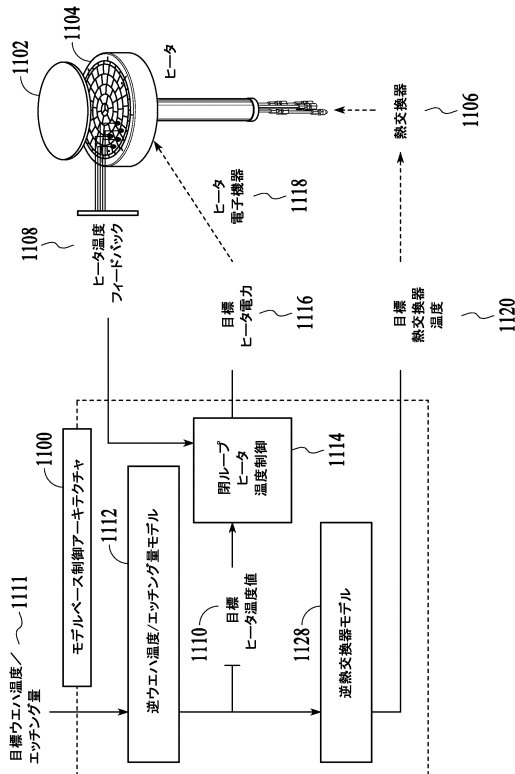
【 図 10 】



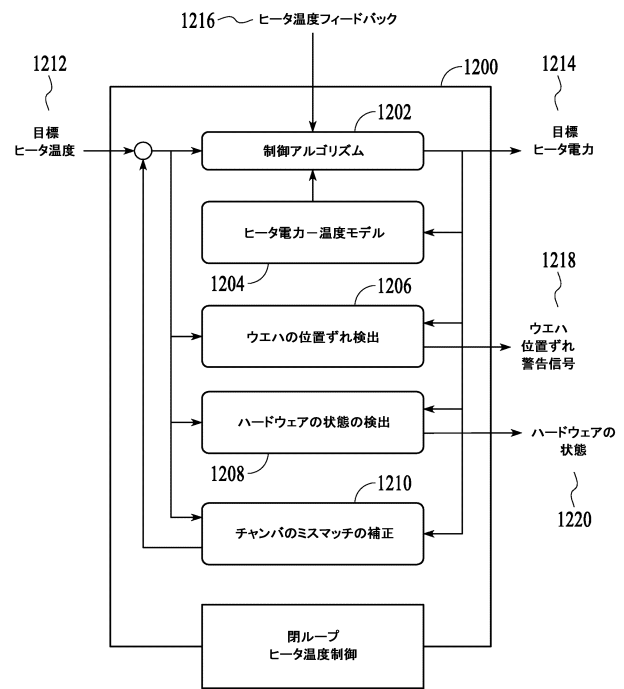
10

20

【 図 11 】



【 図 12 】

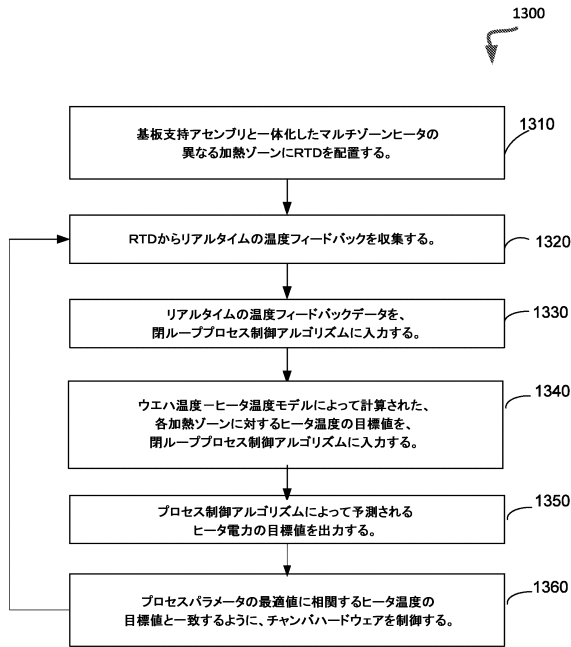


30

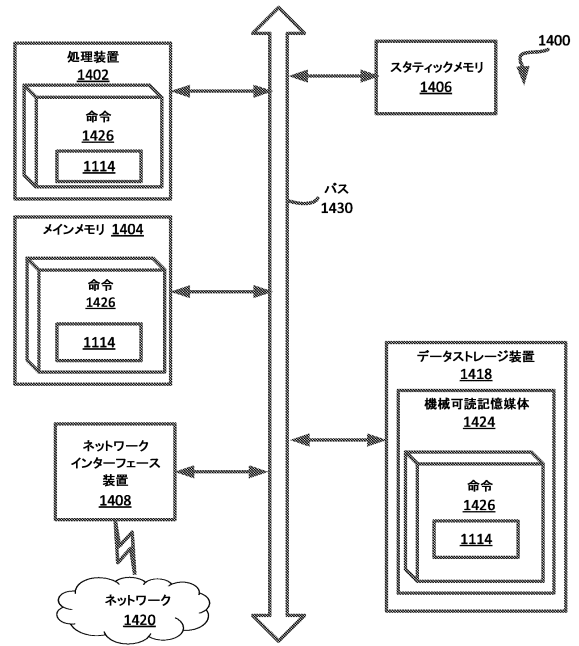
40

50

【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



10

20

30


40

50

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
**PCT/US2020/042640**

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> <b>H01L 21/67(2006.01)i, H01J 37/32(2006.01)i, H05B 1/02(2006.01)i</b>		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01L 21/67; C23F 1/08; F28F 27/00; G01J 5/02; G05D 23/19; H01J 37/32; H01L 21/26; H01L 21/66; H05B 1/02		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Korean utility models and applications for utility models Japanese utility models and applications for utility models		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) eKOMPASS(KIPO internal) & Keywords: temperature, heater, control, detector, sensor, calculating, uniformity, substrate support, heater power, heater electronics		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2018-0218925 A1 (TOKYO ELECTRON LIMITED) 02 August 2018 paragraphs [0046]-[0048], [0099]-[0100], claim 1 and figures 3-4	1-20
A	JP 2010-027846 A (KOKUSAI ELECTRIC SEMICONDUCTOR SERVICE INC.) 04 February 2010 abstract, paragraph [0011], claims 1-2 and figure 11	1-20
A	US 2012-0048467 A1 (MAHADESWARASWAMY et al.) 01 March 2012 claims 1-11 and figure 2A	1-20
A	US 2019-0148120 A1 (TOKYO ELECTRON LIMITED) 16 May 2019 paragraphs [0029]-[0048], claims 1-5 and figures 1-2	1-20
A	US 2015-0219499 A1 (LAM RESEARCH CORPORATION) 06 August 2015 paragraphs [0011]-[0012], claim 1 and figure 1	1-20
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.		<input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "D" document cited by the applicant in the international application "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family	
Date of the actual completion of the international search 03 November 2020 (03.11.2020)	Date of mailing of the international search report <b>04 November 2020 (04.11.2020)</b>	
Name and mailing address of the ISA/KR International Application Division Korean Intellectual Property Office 189 Cheongsu-ro, Seo-gu, Daejeon, 35208, Republic of Korea Facsimile No. +82-42-481-8578	Authorized officer PARK, Hye Lyun	
		Telephone No. +82-42-481-3463

10

20

30

40



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
Information on patent family members

International application No.

**PCT/US2020/042640**

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
US 2018-0218925 A1	02/08/2018	CN 108376658 A	07/08/2018	10
		JP 2018-125335 A	09/08/2018	
		KR 10-2018-0089296 A	08/08/2018	
		TW 201839804 A	01/11/2018	
JP 2010-027846 A	04/02/2010	None		
US 2012-0048467 A1	01/03/2012	CN 102907181 A	30/01/2013	20
		CN 102907181 B	15/02/2017	
		CN 106842966 A	13/06/2017	
		CN 106842966 B	03/07/2020	
		JP 2013-536539 A	19/09/2013	
		KR 10-1476727 B1	26/12/2014	
		KR 10-2013-0020802 A	28/02/2013	
		TW 201205637 A	01/02/2012	
		TW 201528330 A	16/07/2015	
		TW 201709256 A	01/03/2017	
		TW I480918 B	11/04/2015	
		TW I564930 B	01/01/2017	
		TW I615883 B	21/02/2018	
		US 2015-0134128 A1	14/05/2015	
		US 8880227 B2	04/11/2014	
US 9639097 B2	02/05/2017			
WO 2011-149790 A2	01/12/2011			
WO 2011-149790 A3	26/01/2012			
US 2019-0148120 A1	16/05/2019	CN 109801828 A	24/05/2019	30
		JP 2019-091880 A	13/06/2019	
		KR 10-2019-0056323 A	24/05/2019	
		TW 201933472 A	16/08/2019	
US 2015-0219499 A1	06/08/2015	JP 2015-164187 A	10/09/2015	40
		JP 6538362 B2	03/07/2019	
		KR 10-2015-0092712 A	13/08/2015	
		TW 201541553 A	01/11/2015	
		TW I665759 B	11/07/2019	
		US 9435692 B2	06/09/2016	

## フロントページの続き

MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IR,IS,IT,JO,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,ZW

54, サンタ クララ, パウアーズ アヴェニュー 3050

(72)発明者 フィ, ソン

アメリカ合衆国 カリフォルニア 95054, サンタ クララ, パウアーズ アヴェニュー 3050

(72)発明者 ビシュヌプラサド, ラミヤシュリー

アメリカ合衆国 カリフォルニア 95054, サンタ クララ, パウアーズ アヴェニュー 3050

(72)発明者 ルボミルスキー, ドミトリー

アメリカ合衆国 カリフォルニア 95054, サンタ クララ, パウアーズ アヴェニュー 3050

Fターム(参考) 5F004 AA01 BB13 BB18 BB19 BB22 BB25 BB26 BB28 CA04 CA05

CB12

5H323 AA27 BB03 CA01 CB02 DA01 GG04 KK05