

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7630614号
(P7630614)

(45)発行日 令和7年2月17日(2025.2.17)

(24)登録日 令和7年2月6日(2025.2.6)

(51)国際特許分類	F I			
H 0 1 L 21/02 (2006.01)	H 0 1 L 21/02		Z	
H 0 1 L 21/3065(2006.01)	H 0 1 L 21/302	1 0 1 G		
H 0 1 L 21/31 (2006.01)	H 0 1 L 21/302	1 0 3		
G 0 5 B 23/02 (2006.01)	H 0 1 L 21/31	B		
	G 0 5 B 23/02	3 0 1 X		
請求項の数 19 (全17頁)				

(21)出願番号	特願2023-523626(P2023-523626)	(73)特許権者	390040660
(86)(22)出願日	令和3年9月29日(2021.9.29)		アプライド マテリアルズ インコーポレ
(65)公表番号	特表2023-546905(P2023-546905		イテッド
	A)		APPLIED MATERIALS ,
(43)公表日	令和5年11月8日(2023.11.8)		INCORPORATED
(86)国際出願番号	PCT/US2021/052708		アメリカ合衆国 カリフォルニア 9 5 0
(87)国際公開番号	WO2022/086685		5 4 , サンタ クララ , パウアーズ ア
(87)国際公開日	令和4年4月28日(2022.4.28)		ヴェニュー 3 0 5 0
審査請求日	令和5年6月19日(2023.6.19)		3 0 5 0 Bowers Avenue
(31)優先権主張番号	17/075,321		Santa Clara CA 9 5 0 5 4
(32)優先日	令和2年10月20日(2020.10.20)		U . S . A .
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)	(74)代理人	110002077
前置審査			園田・小林弁理士法人
		(72)発明者	サンサナム , カルティク
			アメリカ合衆国 カリフォルニア 9 4 0
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 リアルタイムで製品基板を検出し補正するための、改良されたプロセスおよびハードウェアアーキテクチャ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

処理ツールであって、
チャンバ、
前記チャンバと統合された複数のウィットネスセンサ、
ドリフト検出モジュールであって、前記複数のウィットネスセンサからのデータが入力データとして前記ドリフト検出モジュールに提供される、ドリフト検出モジュール、
プロセス予測モジュールであって、前記複数のウィットネスセンサからのデータおよび前記ドリフト検出モジュールからの出力データが、入力データとして前記プロセス予測モジュールに提供され、前記プロセス予測モジュールが、ドリフトの予測制御およびハードウェアの予測保守を提供し、前記プロセス予測モジュールが、発生が予測されるドリフトの種類を分類するための機械学習または人工知能を備える、プロセス予測モジュール、ならびに

前記ドリフト検出モジュールからの出力データを表示するためのダッシュボード、
を備える、処理ツール。

【請求項 2】

前記ドリフト検出モジュールが、前記複数のウィットネスセンサからの前記入力データを処理するために機械学習アルゴリズムを利用する、請求項 1 に記載の処理ツール。

【請求項 3】

前記ドリフト検出モジュールが、前記複数のウィットネスセンサからの前記入力データ

を処理するためにハイブリッドモデルを利用する、請求項 1 に記載の処理ツール。

【請求項 4】

前記ハイブリッドモデルが、物理モデルと統計モデルを備える、請求項 3 に記載の処理ツール。

【請求項 5】

前記ドリフト検出モジュールからの前記出力データが、統計的プロセス制御 (S P C) チャートを含む、請求項 1 に記載の処理ツール。

【請求項 6】

プロセス補正モジュールをさらに備える、請求項 1 に記載の処理ツール。

【請求項 7】

前記プロセス補正モジュールが、
補正アルゴリズムであって、前記ドリフト検出モジュールからの前記出力データが入力として前記補正アルゴリズムに供給され、前記補正アルゴリズムからの出力が制御努力である、補正アルゴリズム、および
チャンバ制御インターフェースであって、前記制御努力が前記チャンバ制御インターフェースを、前記処理ツールの 1 つ以上のツール設定を変更するように誘導する、チャンバ制御インターフェース、
を備える、請求項 6 に記載の処理ツール。

【請求項 8】

前記プロセス予測モジュールが、
継続学習システム、
予測アルゴリズム、および
自己補正モジュール、
を備える、請求項 1 に記載の処理ツール。

【請求項 9】

処理ツールであって、該処理ツールは、

チャンバ、

前記チャンバと統合された複数のウィットネスセンサ、

ドリフト検出モジュールであって、前記複数のウィットネスセンサからのデータが入力データとして前記ドリフト検出モジュールに提供される、ドリフト検出モジュール、

プロセス予測モジュールであって、前記複数のウィットネスセンサからのデータおよび前記ドリフト検出モジュールからの出力データが、入力データとして前記プロセス予測モジュールに提供され、前記プロセス予測モジュールが、ドリフトの予測制御およびハードウェアの予測保守を提供する、プロセス予測モジュール、ならびに

前記ドリフト検出モジュールからの出力データを表示するためのダッシュボード、
を備え、前記チャンバが、ランプベースのチャンバである、処理ツール。

【請求項 10】

処理ツールであって、該処理ツールは、

チャンバ、

前記チャンバと統合された複数のウィットネスセンサ、

ドリフト検出モジュールであって、前記複数のウィットネスセンサからのデータが入力データとして前記ドリフト検出モジュールに提供される、ドリフト検出モジュール、および

前記ドリフト検出モジュールからの出力データを表示するためのダッシュボード、
を備え、

前記チャンバが、ランプベースのチャンバであり、

前記ドリフト検出モジュールからの前記出力データが、1 つ以上のプロセスパラメータを含み、前記 1 つ以上のプロセスパラメータが、ガス流量、圧力、温度、堆積特性、チャンバ壁上のコーティング量、および漏れ検知のうちの 1 つ以上を含む、処理ツール。

【請求項 11】

処理ツールであって、該処理ツールは、

10

20

30

40

50

チャンバ、

前記チャンバと統合された複数のウィットネスセンサ、

ドリフト検出モジュールであって、前記複数のウィットネスセンサからのデータが入力データとして前記ドリフト検出モジュールに提供される、ドリフト検出モジュール、

プロセス予測モジュールであって、前記複数のウィットネスセンサからのデータおよび前記ドリフト検出モジュールからの出力データが、入力データとして前記プロセス予測モジュールに提供され、前記プロセス予測モジュールが、ドリフトの予測制御およびハードウェアの予測保守を提供する、プロセス予測モジュール、ならびに

前記ドリフト検出モジュールからの出力データを表示するためのダッシュボード、
を備え、前記チャンバが、ヒータベースのチャンバである、処理ツール。

10

【請求項 1 2】

処理ツールであって、該処理ツールは、

チャンバ、

前記チャンバと統合された複数のウィットネスセンサ、

ドリフト検出モジュールであって、前記複数のウィットネスセンサからのデータが入力データとして前記ドリフト検出モジュールに提供される、ドリフト検出モジュール、および

前記ドリフト検出モジュールからの出力データを表示するためのダッシュボード、
を備え、

前記チャンバが、ヒータベースのチャンバであり、

前記ドリフト検出モジュールからの前記出力データが、1つ以上のプロセスパラメータを含み、前記1つ以上のプロセスパラメータが、圧力、温度、堆積特性、チャンバ壁上のコーティング量、およびラジカル密度のうちの1つ以上を含む、処理ツール。

20

【請求項 1 3】

前記チャンバが、プラズマベースのチャンバである、請求項 1 に記載の処理ツール。

【請求項 1 4】

前記ドリフト検出モジュールからの前記出力データが、1つ以上のプロセスパラメータを含み、前記1つ以上のプロセスパラメータが、ガス流量、圧力、プラズマ密度、漏れ検知、温度、RFパラメータ、およびチャンバ壁上のコーティング量のうちの1つ以上を含む、請求項 1 3 に記載の処理ツール。

【請求項 1 5】

30

処理ツールであって、

制御ループセンサと、

複数のウィットネスセンサと、

を備える物理ツール、

ドリフト検出モジュールであって、前記ドリフト検出モジュールは、制御ループセンサデータとウィットネスセンサデータを入力として受け取り、前記ドリフト検出モジュールは、1つ以上のプロセスパラメータがドリフトしたかどうかを示すプロセスパラメータデータを出力する、ドリフト検出モジュール、ならびに

ドリフト予測モジュールであって、前記複数のウィットネスセンサと前記制御ループセンサとからのデータ、および前記ドリフト検出モジュールからの出力データが、入力データとして前記ドリフト予測モジュールに提供され、前記ドリフト予測モジュールが、ドリフトの予測制御およびハードウェアの予測保守を提供し、前記ドリフト予測モジュールが、発生が予測されるドリフトの種類を分類するための機械学習または人工知能を備える、
ドリフト予測モジュール

40

を備える、処理ツール。

【請求項 1 6】

プロセス補正モジュールであって、前記プロセスパラメータデータを入力として受け取り、前記物理ツールのツール設定の1つ以上を変更するための制御努力を出力するプロセス補正モジュール、をさらに備える、請求項 1 5 に記載の処理ツール。

【請求項 1 7】

50

前記ドリフト予測モジュールは、前記制御ループセンサデータと前記ウィットネスセンサデータを入力として受け取り、前記ドリフト予測モジュールは、前記物理ツールがいつ閾値の外側で動作するかを示す予測データを出力する、請求項 1 6 に記載の処理ツール。

【請求項 1 8】

処理ツールであって、

チャンバと、

複数のガス源から前記チャンバ内に 1 種以上の処理ガスを流すためのカートリッジと、

前記複数のガス源の各々のためのマスフローコントローラと、

前記ガス源と前記カートリッジとの間のマスフローメータと、

前記マスフローメータと前記カートリッジとの間の第 1 の圧力計と、

前記チャンバに流体的に結合された第 2 の圧力計と、

前記チャンバに結合された排気ラインと、

を備える物理ツール、

ドリフト検出モジュールであって、前記マスフローコントローラ、前記マスフローメータ、前記第 1 の圧力計、および前記第 2 の圧力計のうちの 1 つ以上からデータを入力として受け取り、プロセスパラメータデータを出力するドリフト検出モジュール、ならびに

プロセス予測モジュールであって、前記マスフローコントローラ、前記マスフローメータ、前記第 1 の圧力計、および前記第 2 の圧力計のうちの 1 つ以上からのデータおよび前記ドリフト検出モジュールからの出力データが、入力データとして前記プロセス予測モジュールに提供され、前記プロセス予測モジュールが、ドリフトの予測制御およびハードウェアの予測保守を提供し、前記プロセス予測モジュールが、発生が予測されるドリフトの種類を分類するための機械学習または人工知能を備える、プロセス予測モジュールを備える、処理ツール。

【請求項 1 9】

前記ドリフト検出モジュールが、物理モデルと統計モデルを備えるハイブリッドモデルと、機械学習モジュールとの一方または両方を備える、請求項 1 8 に記載の処理ツール。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願の相互参照

本願は、2020年10月20日に提出された米国非仮出願第17/075,321号の優先権を主張し、その全内容が、参照により本願に援用される。

【0002】

本開示の実施形態は、半導体処理の分野に関し、詳細には、プロセスパラメータのドリフトのリアルタイム検出および/またはプロセスパラメータのドリフトを軽減するためのリアルタイム補正を可能にする処理ツールアーキテクチャに関する。

【背景技術】

【0003】

半導体ウエハ処理は、半導体デバイスのフィーチャサイズの縮小が進むにつれて、複雑化している。所与のプロセスは、ウエハ上に所望の結果を提供するために個別に制御できる多くの異なるプロセスパラメータ（すなわち、つまみ）を含むことができる。例えば、ウエハ上の所望の結果は、フィーチャプロファイル、層の厚さ、層の化学組成などを指すことができる。つまみの数が増えれば増えるほど、プロセスのチューニングおよび最適化のために使用可能な理論上のプロセス空間は、非常に大きくなっていく。

【0004】

加えて、最終的な処理レシピがいったん開発されると、異なるウエハに対してプロセスを何度も繰り返すうちにチャンバドリフトが発生し、ウエハ上の結果が変化することがある。チャンバドリフトは、チャンバの消耗部分の侵食、構成要素（センサ、ランプなど）の劣化、表面への副生成物膜の堆積などの結果として生じ得る。そのため、広範囲のレシピ開発プロセスの後でも、さらなるチューニングが必要である。

【発明の概要】

【0005】

本明細書で開示される実施形態は、半導体処理のための処理ツールを含む。一実施形態では、処理ツールは、チャンバと、チャンバと統合された複数のウィットネスセンサと、を備える。一実施形態において、処理ツールは、さらに、ドリフト検出モジュールを備える。一実施形態では、複数のウィットネスセンサからのデータが、入力データとしてドリフト検出モジュールに提供される。一実施形態において、処理ツールは、ドリフト検出モジュールからの出力データを表示するためのダッシュボードを、さらに備える。

【0006】

実施形態はまた、物理ツールを備える処理ツールを含むことができる。一実施形態において、物理ツールは、制御ループセンサ、およびウィットネスセンサを備える。一実施形態において、処理ツールは、ドリフト検出モジュールを、さらに備えることができる。一実施形態では、ドリフト検出モジュールは、制御ループセンサデータとウィットネスセンサデータを入力として受け取る。一実施形態において、ドリフト検出モジュールは、1つ以上のプロセスパラメータがドリフトしたかどうかを示すプロセスパラメータデータを出力する。

【0007】

実施形態はまた、物理ツールを備える処理ツールを含むことができる。一実施形態において、物理ツールは、チャンバと、複数のガス源からチャンバ内に1種以上の処理ガスを流すためのカートリッジと、を備える。一実施形態において、物理ツールは、複数のガス源の各々のためのマスフローコントローラと、ガス源とカートリッジとの間のマスフローメータと、マスフローメータとカートリッジとの間の第1の圧力計と、チャンバに流体的に結合された第2の圧力計と、チャンバに結合された排気ラインと、をさらに備える。一実施形態において、処理ツールは、さらに、ドリフト検出モジュールを備える。一実施形態において、ドリフト検出モジュールは、マスフローコントローラ、マスフローメータ、第1の圧力計、および第2の圧力計のうちの1つ以上からデータを入力として受け取り、ドリフト検出モジュールは、プロセスパラメータデータを出力する。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1A】一実施形態による、ドリフト検出モジュールを備える処理ツールの概略ブロック図である。

【図1B】一実施形態による、ドリフト検出モジュールと補正モジュールを備える処理ツールの概略ブロック図である。

【図1C】一実施形態による、ドリフト検出モジュール、補正モジュール、および予測モジュールを備える処理ツールの概略ブロック図である。

【図2】一実施形態による、ドリフト検出モジュール、補正モジュール、および予測モジュールのうちの1つ以上に情報を伝えるために使用される複数のウィットネスセンサを備える処理ツールの概略図である。

【図3】一実施形態による、ドリフト検出モジュール、補正モジュール、および予測モジュールのうちの1つ以上に情報を伝えるために、ウィットネスセンサおよびハイブリッドデータモデルを使用する処理ツールのブロック図である。

【図4A】一実施形態による、処理ツールの1つ以上のプロセスパラメータに関する情報を提供する、処理ツールのユーザに提示されるダッシュボードである。

【図4B】一実施形態による、図4Aのプロセスパラメータのうちの1つの統計的プロセス制御（工程管理）チャートである。

【図5】本開示の一実施形態による、例示的なコンピュータシステムのブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

プロセスパラメータのドリフトのリアルタイム検出および/またはプロセスパラメータのドリフトを軽減するためのリアルタイム補正を可能にする処理ツールアーキテクチャが

10

20

30

40

50

、本明細書で説明される。以下の説明では、本開示の実施形態の完全な理解を提供するために、多数の具体的な詳細が記載される。本開示の実施形態がこれらの具体的な詳細なしに実施され得ることは、当業者にとって明らかであろう。他の例では、集積回路製造などの周知の側面は、本開示の実施形態を不必要に不明瞭にしないために、詳細には説明されない。さらに、図に示す様々な実施形態は、例示的な表現であり、必ずしも縮尺通りに描かれているわけではないことを理解されたい。

【 0 0 1 0 】

前述したように、処理ツール内で何度もプロセスを繰り返すうちにドリフトが発生することは、半導体製造業界においてよくある問題である。したがって、本明細書に開示される実施形態は、ドリフト検出モジュールを含む処理ツールを含む。一実施形態において、ドリフト検出モジュールは、機械学習および／またはハイブリッドモデルを使用して、1つ以上のプロセスパラメータがドリフトしたことを検出する。ドリフトが確認されると、ドリフトを軽減するために、ツールオペレータが、1つ以上のツール設定を調整することができる。追加の実施形態において、処理ツールは、補正モジュールをさらに備えてもよい。補正モジュールは、機械学習および／またはハイブリッドモデルを利用して、プロセスドリフトを軽減するために使用される制御努力を生成することができる。つまり、ドリフトが発生した場合、補正を行うのにツールオペレータに頼るのではなく、処理ツールが、自動的にそれ自体を補正することができる。さらに別の実施形態では、予測モジュールが、処理ツールに含まれてもよい。予測モジュールは、機械学習および／またはハイブリッドモデルを利用して、プロセスパラメータのドリフトが発生する前にそれを予測することができる。このような実施形態では、予測モジュールは、ドリフトが発生する前にそれを防止するために、処理ツールに制御努力を提供することができる。

【 0 0 1 1 】

図1Aを参照すると、一実施形態による、処理ツール100の概略図が示されている。一実施形態において、処理ツール100は、検出モジュール161を備えることができる。検出モジュール161は、処理ツール100内のドリフト状態を識別するために使用される。一実施形態において、検出モジュール161は、チャンバ105を備えることができる。チャンバ105は、ウエハ（これに限定されるものではない）などの基板を処理するために使用される任意のチャンバであってよい。例えば、ウエハは、任意の適切なフォームファクタ（例えば、300mm、450mmなど）を有することができる。ウエハは、シリコンウエハまたはIII-V族半導体材料などの半導体ウエハであってもよい。他の実施形態では、基板は、標準的なウエハのフォームファクタ以外のフォームファクタを有することができる。

【 0 0 1 2 】

チャンバ105は、様々な種類の処理動作に適することができる。例えば、チャンバ105は、ランプベースのチャンバ105、ヒータベースのチャンバ105、またはプラズマベースのチャンバ105であってもよい。一実施形態において、チャンバ105は、チャンバハードウェア140を備えることができる。ハードウェア140は、チャンバ自体、ガスライン、バルブ、排気装置、ランプ、ペDESTAL、RF源などを含むことができるが、これらに限定されるものではない。一実施形態では、ハードウェア140は、制御ループセンサを含むこともできる。制御ループセンサは、チャンバ内のプロセス状態を制御するために使用することができる。例えば、チャンバ105内の所望の圧力を設定するために、制御ループセンサを使用することができる。

【 0 0 1 3 】

一実施形態において、チャンバ105は、ウィットネスセンサ145をさらに備えることができる。ウィットネスセンサは、制御ループの外側にある。そのため、ウィットネスセンサは、制御ループセンサを監視するために使用することができる。制御ループセンサがドリフトしたとき、制御ループセンサがプロセス状態の変化を示さなくても、ウィットネスセンサ145の出力の変化が識別されて、プロセスエンジニアにドリフト状態を警告することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 4 】

一実施形態において、検出モジュール 1 6 1 は、簡略化のために「検出ブロック 1 2 0」と呼ばれる検出ソフトウェアおよびアルゴリズムブロック 1 2 0 を備えることができる。検出ブロック 1 2 0 は、ウィットネスセンサ 1 4 5 および / または制御ループセンサからの出力を利用して、処理ツール 1 0 0 がドリフトを経験しているかどうかを判定するソフトウェアおよび / またはアルゴリズムを備えることができる。例えば、ウィットネスセンサ 1 4 5 および / または制御ループセンサからの出力は、プロセスフィンガープリントと比較され得る。プロセスフィンガープリントから期待される値と、ウィットネスセンサおよび / または制御ループセンサから得られる実際の値との間に差がある場合、プロセスドリフトが発生したと判定することができる。

10

【 0 0 1 5 】

一実施形態において、検出ブロック 1 2 0 は、機械学習アルゴリズムおよび / またはハイブリッドモデルを用いてプロセスフィンガープリントを生成することができる。ハイブリッドモデルは、統計モデルと物理モデルを含むことができる。一実施形態では、統計モデルは、物理的な実験計画 (D o E) を実施することによって生成され、補間を用いて、拡張された多次元プロセス空間モデルを提供することができる。一実施形態では、物理モデルは、現実世界の物理および化学の関係を用いて生成され得る。例えば、処理チャンバ内の様々な相互作用に関する物理および化学の式が、物理モデルを構築するために使用され得る。統計モデルと物理モデルの組み合わせにより、ハイブリッドモデルは、様々なツール設定を、予測される結果 (すなわち、予測されるプロセスパラメータ) にマッピング

20

【 0 0 1 6 】

一実施形態において、検出ブロック 1 2 0 は、処理ツール 1 0 0 によって実施されているプロセスの主要なプロセスパラメータのドリフトを検出するために使用される値 1 2 1 を出力し得る。例えば、出力値 1 2 1 は、プロセスフィンガープリントと、ウィットネスセンサおよび / または制御ループセンサの出力との間の差を含み得る。一実施形態において、出力値 1 2 1 は、ダッシュボード 1 6 5 に提供され得る。ダッシュボード 1 6 5 は、

30

【 0 0 1 7 】

次に図 1 B を参照すると、追加の実施形態による、処理ツール 1 0 0 の概略ブロック図が示されている。処理ツール 1 0 0 は、図 1 A の検出モジュール 1 6 1 と同様の検出モジュール 1 6 1 を備えることができる。検出モジュール 1 6 1 に加えて、補正モジュール 1 6 2 が設けられている。補正モジュール 1 6 2 は、検出モジュール 1 6 1 と、略して「補正ブロック 1 2 0 B」と呼ばれる補正ソフトウェアおよびアルゴリズムブロック 1 2 0 B とを備え得る。補正ブロック 1 2 0 B は、機械学習アルゴリズムおよび / またはハイブリッドモデルを備える点で、検出ブロック 1 2 0 A と同様であり得る。補正ブロック 1 2 0 B は、検出ブロック 1 2 0 A からの出力値 1 2 1 を入力として受け取り、チャンバコントローラ 1 2 2 に制御努力を出力する。制御努力は、検出ブロック 1 2 0 A によって検出されたドリフトを軽減するツール設定を見つけるため、多次元モデルに照会することによって、決定され得る。したがって、プロセスエンジニアの介入を必要とせずに、処理ツール 1 0 0 のドリフトを補正することができる。ただし、補正ブロック 1 2 0 B からのデータは、処理ツール 1 0 0 におけるツール設定に対して実施されている変更の視覚的表示を提供するために、ダッシュボード 1 6 5 に供給されることもできる。

40

【 0 0 1 8 】

次に図 1 C を参照すると、追加の実施形態による、処理ツール 1 0 0 の概略図が示され

50

ている。処理ツール１００は、図１Ｂに示す実施形態と同様に、検出モジュール１６１と補正モジュール１６２とを備え得る。処理ツール１００は、予測モジュール１６３をさらに備え得る。予測モジュール１６３は、継続学習システム１２３と、予測アルゴリズム１２０ｃと、自己補正のためのソフトウェアおよび／またはアルゴリズム１２４とを備え得る。

【００１９】

一実施形態では、継続学習システム１２３は、チャンバ１０５のセンサ１４５から入力を受け取る。一実施形態において、継続学習システム１２３は、ドリフト検出モジュール１６１の出力値１２１から入力データを受け取ることもできる。継続学習システム１２３は、発生が予測されるドリフトの種類を分類するために用いられる機械学習または人工知能を備える。例えば、継続学習システム１２３は、予測されたドリフトが、ポンプ、ランプのうちの１つ以上のドリフト状態の結果として生じるのか、またはチャンバ１０５のハードウェア１４０の他の変化の結果として生じるのかを分類することができる。継続学習システム１２３は、センサ１４５の読み取り値の変動に対してチャンバ１０５がどのように反応するかを、時間の経過とともに学習する。すなわち、チャンバ１０５の１つ以上のシステムのドリフトを予測することができるロバストモデルを開発するために、継続学習システム１２３にデータが継続的に供給される。

10

【００２０】

一実施形態では、継続学習システム１２３は、予測アルゴリズムブロック１２０ｃに供給される出力データを提供することができる。出力データは、処理ツールにおいてどのシステムがドリフトすると予測されるかを特定するデータを含むことができる。一実施形態において、次に、予測アルゴリズムブロック１２０ｃは、チャンバ１０５内の１つ以上の処理動作が閾値を超えるまでの時間を特定するために使用され得る。閾値は、設定値より上（または下）の値を含み、これを超えると処理動作が仕様外になる。それゆえ、所与の閾値をドリフトがを超えるまでの時間枠を提供するだけでなく、所与の処理仕様を外れるドリフトを事前に予測することができる。

20

【００２１】

一実施形態では、予測アルゴリズムブロック１２０ｃは、次に、自己補正アルゴリズム１２４に出力を提供することができる。自己補正アルゴリズム１２４は、チャンバ制御ブロック１２２に制御信号を提供することができる。チャンバ制御ブロック１２２は、予測されるドリフトを防止するために、ハードウェア１４０に調整を提供する。いくつかの実施形態では、自己補正アルゴリズム１２４は、代替的に、補正ブロック１２０Ｂに出力を提供し、補正ブロック１２０Ｂが、予測されたドリフトに対応するためにチャンバ制御ブロック１２２に送られる必要な制御信号を生成できるようにしてもよい。

30

【００２２】

基板上性能へのドリフトの予測制御を提供することに加えて、予測モジュール１６３は、チャンバ１０５内のハードウェア１４０の予測保守を提供することもできる。例えば、ハードウェア１４０は、ポンプ、ランプなどを含むことができる。予測保守は、ハードウェア１４０がいつ故障するか、またはハードウェア１４０の性能がいつ所与の閾値を越えて劣化するかを特定するために使用することができる。予測保守の場合、継続学習システム１２３は、センサデータと、チャンバ１０５内のハードウェア１４０の故障とのその関係を分析することができる。すなわち、継続学習システム１２３は、ハードウェア１４０の一部の故障または劣化に対応するセンサ１４５のデータのパターンを識別することができる。例えば、ポンプの故障の場合、センサ１４５の１つ以上が、通常の範囲を越える逸脱を示し、その後、逸脱が検出されてから一定期間後に、ポンプが故障し得る。

40

【００２３】

継続学習システムが、センサデータの逸脱とハードウェア１４０の故障との間の関係のモデルを開発した後、予測アルゴリズムブロック１２０ｃは、センサ１４５からのデータ内で識別される逸脱を探すことができる。特定の逸脱が発見された場合、予測アルゴリズムブロック１２０ｃは、ハードウェア１４０の故障が既知の期間内に発生するという表示

50

をプロセスエンジニアに提供することができる。したがって、プロセスエンジニアは、故障が発生する前に、故障が予想されるハードウェア 140 を交換または修理するための補正保守を開始することができる。このように、ハードウェアに不具合のあるチャンバ 105 内で基板が処理されることはないので、廃棄が減少する。

【0024】

いくつかの実施形態では、ハードウェアを補正するために、交換または修理が必要でない場合もある。例えば、ハードウェアの故障や破損を防ぐのに、インシット（その場での）チャンバ洗浄で十分な場合がある。このような場合、自己補正のためのソフトウェアおよびアルゴリズム 124 は、必要な保守を開始するために、チャンバ制御 122 に制御信号を提供することができる。

10

【0025】

次に、図 2 を参照すると、一実施形態による処理ツール 200 の概略図が示されている。処理ツール 200 は、図 1A ~ 図 1C に関して上述した処理ツール 100 のうちの 1 つ以上で利用され得るハードウェア構成要素を示す。図示の実施形態では、処理ツール 200 は、ラジカル酸化プロセスのためのランブベースのチャンバであるとして説明される。しかしながら、処理ツール 200 は本質的に例示的であり、本明細書に開示される実施形態は、ヒータベースのチャンバ、またはプラズマベースのチャンバなど（ただし、これらに限定されない）の他の処理ツールと共に使用するのに適している場合があることを理解されたい。様々な種類の処理ツールの所望のプロセスパラメータを追跡するために、センサの配置、センサの数、およびセンサの種類を変更することができることを、当業者であれば、認識するであろう。

20

【0026】

一実施形態において、処理ツール 200 は、チャンバ 205 を備える。チャンバ 205 は、基板（例えば、半導体ウエハ）が処理される、大気圧より低い圧力を、提供するのに適したチャンバとすることができる。一実施形態において、チャンバ 205 は、単一の基板を収容できる大きさであってもよいし、または複数の基板を収容できる大きさであってもよい。チャンバ 205 内での処理に適した半導体基板は、シリコン基板、または他の任意の半導体基板を含むことができる。また、ガラス基板などの他の基板も、チャンバ 205 内で処理することができる。

【0027】

30

一実施形態では、ガス供給ネットワークが、1 つ以上のガス源（例えば、ガス 1、ガス 2、ガス n など）からカートリッジ 210 にガスを供給する。特定の実施形態では、ガス源は、酸素、水素、および窒素のうちの 1 つ以上を含むことができる。図 2A には 3 つのガス源が示されているが、実施形態は 1 つ以上のガス源を含むことができることを理解されたい。カートリッジ 210 は、ライン 211 からガスを受け取るための入口と、ガスをチャンバ 210 内に分配するための出口とを含み得る。図示の実施形態では、カートリッジ 210 は、チャンバ 210 の側面からガスをチャンバ内に供給するものとして示されている。しかしながら、カートリッジ 210 は、任意選択で、チャンバの上方または下方からチャンバ内にガスを供給することができることを理解されたい。いくつかの実施形態では、カートリッジ 210 は、特に処理ツールがプラズマ発生ツールである場合に、シャワーヘッドと呼ばれることもある。

40

【0028】

一実施形態において、処理ガスの各々の流れは、別々のマスフローコントローラ（MFC）203 によって制御され得る。一実施形態において、MFC 203 は、制御ループセンサ群の一部であり得る。MFC 203 は、入力ライン 211 へのガスの流れを制御する。一実施形態では、マスフローメータ（MFM）212 が、カートリッジ 210 の上流側に設けられる。MFM 212 により、ソースガスからの実際の流れを測定することが可能になる。また、カートリッジ 210 の上流側には、圧力計 213 も含まれている。圧力計 213 により、入力ライン 211 の圧力を測定することが可能になる。MFM 212 と圧力計 213 は、制御ループの外側にあるので、ウィットネスセンサとみなすことができる。

50

【 0 0 2 9 】

一実施形態では、チャンバ 2 0 5 内の圧力を測定するために、チャンバ圧力計 2 1 7 が設けられてもよい。チャンバ圧力計 2 1 7 は、制御ループセンサ群の一部であり得る。一実施形態において、追加のウィットネスセンサが、処理ツール 2 0 0 の排気ライン 2 1 5 に沿って設けられる。追加のセンサは、漏れ検知センサ 2 1 6 と、追加の圧力計 2 1 8、2 1 9 を含み得る。漏れ検知センサ 2 1 6 は、チャンバ 2 0 5 内に漏入する酸素を測定するための自己完結型のプラズマ発光分光分析 (O E S) デバイスを含むことができる。圧力計 2 1 8 および 2 1 9 は、それぞれ、スロットルバルブ 2 1 4 の上流側および下流側に設けられていてもよい。

【 0 0 3 0 】

一実施形態において、圧力計 2 1 3、2 1 7、2 1 8、および 2 1 9 は、それらが配置された処理ツール内の場所で提供される典型的な圧力に適した動作範囲を有することができる。例えば、圧力計 2 1 3 は、他の圧力計 2 1 7、2 1 8、2 1 9 の圧力範囲よりも高い圧力範囲で動作することができる。同様に、圧力計 2 1 8 は、圧力計 2 1 9 の圧力範囲よりも高い圧力範囲で動作することができる。特定の実施形態では、圧力計 2 1 3 は、1, 0 0 0 T を含む範囲で動作してもよく、圧力計 2 1 7 は、2 0 T を含む範囲で動作してもよく、圧力計 2 1 8 は、1 0 0 T を含む範囲で動作してもよく、圧力計 2 1 9 は、1 0 T を含む範囲で動作してもよい。

【 0 0 3 1 】

一実施形態において、ウィットネスセンサ (例えば、2 1 2、2 1 3、2 1 6、2 1 8、2 1 9) は、チャンバドリフトの監視を提供するために使用され得る。例えば、制御ループセンサ (例えば、2 0 3 および 2 1 7) は、処理ツール 2 0 0 の使用中に誤較正になることがある。そのため、制御ループセンサ 2 0 3、2 1 7 の読み取り値は、ウエハ上の結果 (例えば、膜の堆積速度) が変化しても、一定のままであることがある。このような場合、チャンバがドリフトしたことを示すために、ウィットネスセンサの出力が変化するのであろう。

【 0 0 3 2 】

追加の実施形態では、ウィットネスセンサは、チャンバ 2 0 5 内に仮想センサを実装するために活用され得る。仮想センサは、(物理センサの場合のように) 物理値の直接の読み取り値ではなく、計算によって生成された出力を提供するセンサを指すことができる。したがって、仮想センサは、従来の物理センサでは測定が困難または不可能な処理ツール 2 0 0 内の状態を決定するための強力な能力を有する。

【 0 0 3 3 】

一実施形態では、仮想センサを使用して、カートリッジ 2 1 0 の出口における処理ガスの流量を決定することができる。カートリッジ 2 1 0 における流量を計算することは、ウエハ上の膜の堆積速度および / または堆積均一性を制御するために使用することができる貴重な計量である。特定の実施形態では、カートリッジ 2 1 0 における流量は、M F M 2 1 2、圧力計 2 1 3、圧力計 2 1 7 の出力、およびカートリッジ 2 1 0 の既知の形状を使用して変数が供給されるベルヌーイの式を使用して、計算することができる。カートリッジにおける流量の例が提供されているが、処理ツール 2 0 0 内の他の未知数が、仮想センサの計算を使用して決定され得ることを理解されたい。例えば、チャンバ内の様々な場所でのガス組成、ウエハの様々な場所での堆積速度、ウエハの様々な場所での圧力、およびウエハの様々な場所での膜組成などの未知数 (これらに限定されない) が、仮想センサの実装を用いて決定され得る。

【 0 0 3 4 】

一実施形態では、1 つ以上の温度センサ 2 0 7 が、チャンバ 2 0 5 内に設けられている。例えば、温度センサ 2 0 7 は、熱電対などであってもよい。一実施形態では、温度センサ 2 0 7 は、チャンバのリフレクタプレート (図示せず) 上に設けられてもよい。温度センサ 2 0 7 は、いくつかの実施形態では、ウィットネスセンサと見なすことができる。すなわち、温度センサ 2 0 7 は、制御ループの外側であり得る。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 5 】

温度センサ 2 0 7 は、より広範な仮想センサの実装を可能にするために、追加の既知の変数を提供することができる。一実施形態では、温度センサ 2 0 7 は、チャンバ 2 0 5 内で定常状態が達せられたことを判定する際にも使用され得る。これは、保守後に処理ツール 2 0 0 をランプアップするなど、冷えた状態から処理ツール 2 0 0 を立ち上げるときに、特に有益である。例えば、1 つ以上の圧力計 2 1 3、2 1 7、2 1 8、2 1 9 と組み合わせて温度センサ 2 0 7 の出力や、スロットルバルブ 2 1 4 の角度を監視することができ、種々のセンサの定常状態が達せられたときに、チャンバは、使用可能な状態になることができる。一実施形態では、チャンバが定常状態に達するのを監視することは、処理ツールにおける最初のウエハ効果に起因して通常経験されるウエハの廃棄またはリワークが排除されるので、有用である。

10

【 0 0 3 6 】

次に、図 3 を参照すると、一実施形態による処理ツール 3 0 0 の概略図が示されている。示されているように、アルゴリズムサーバ 3 2 0 が、処理ツール 3 0 0 と統合され得る。例えば、アルゴリズムサーバ 3 2 0 は、矢印で示すように、ネットワーク接続によってフロントエンドサーバ 3 6 0 に通信可能に結合され得る。しかしながら、他の実施形態では、アルゴリズムサーバ 3 2 0 は、処理ツール 3 0 0 の外部にあってもよい。例えば、アルゴリズムサーバ 3 2 0 は、外部ネットワーク等を介して処理ツール 3 0 0 に通信可能に結合されていてもよい。

20

【 0 0 3 7 】

一実施形態において、アルゴリズムサーバ 3 2 0 は、検出ブロック 1 6 1、補正ブロック 1 6 2、および予測ブロック 1 6 3 のうちの 1 つ以上を備えることができる。すなわち、アルゴリズムサーバ 3 2 0 は、処理ツール 3 0 0 のドリフトを検出、補正、および / または予測するために使用される機械学習および / またはハイブリッドモデルを含み得る。図示された実施形態では、アルゴリズムサーバ 3 2 0 は、ハイブリッドモデルをホストするものとして示されている。ハイブリッドモデルは、物理モデル 3 2 7 と統計モデル 3 2 5 を備えることができる。統計モデル 3 2 5 および物理モデル 3 2 7 は、統計モデル 3 2 5 および物理モデル 3 2 7 を構築および / または更新するために使用される入力データ（例えば、センサデータ、モデルデータ、計測データなど）を格納するためのデータベース 3 3 0 に通信可能に結合され得る。一実施形態では、統計モデル 3 2 5 は、物理的 D o E を実施することによって生成され、補間を用いて、拡張されたプロセス空間モデルを提供することができる。一実施形態では、物理モデル 3 2 7 は、現実世界の物理および化学の関係を用いて生成され得る。例えば、処理チャンバ内の様々な相互作用に関する物理および化学の式が、物理モデルを構築するために使用され得る。

30

【 0 0 3 8 】

一実施形態では、処理ツール 3 0 0 は、フロントエンドサーバ 3 6 0、ツール制御サーバ 3 5 0、およびツールハードウェア 3 4 0 を備えることができる。フロントエンドサーバ 3 6 0 は、アルゴリズムサーバ 3 2 0 のためのダッシュボード 3 6 5 を備えることができる。ダッシュボード 3 6 5 は、ドリフト監視、ドリフト補正、ドリフト予測などの種々の動作を実行するためにプロセスエンジニアがデータモデリングを利用するためのインターフェースを提供する。

40

【 0 0 3 9 】

ツール制御サーバ 3 5 0 は、スマート監視および制御ブロック 3 5 5 を備えることができる。スマート監視および制御ブロック 3 5 5 は、処理ツール 3 0 0 の診断および他の監視を提供するためのモジュールを備えることができる。モジュールは、ヘルスチェック、センサドリフト、障害回復、および漏れ検知を含むことができるが、これらに限定されない。スマート監視および制御ブロック 3 5 5 は、ツールハードウェアに実装された様々なセンサからデータを入力として受け取ることができる。センサは、処理ツール 3 0 0 の動作を可能にするために、半導体製造ツール 3 0 0 に一般的に存在する標準センサ 3 4 7 を含むことができる。例えば、センサ 3 4 7 は、上述したような制御ループセンサを含むことが

50

できる。センサは、ツール 300 に追加されているウィットネスセンサ 345 を含むこともできる。ウィットネスセンサ 345 は、高度に詳細なデータモデルを構築するために必要な追加情報を提供する。例えば、ウィットネスセンサは、物理センサおよび / または仮想センサを含むことができる。上述のように、仮想センサは、物理センサからだけでは得られない追加のセンサデータを提供するために、2 つ以上の物理センサから得られたデータを利用し、計算を使用することができる。特定の例では、仮想センサは、ガスカートリッジなどの処理ツールの一部を通る流量を計算するために、上流圧力センサと下流圧力センサを利用することができる。一般に、ウィットネスセンサは、圧力センサ、温度センサ、およびガス濃度センサなどの、任意のタイプのセンサを含み得るが、これらに限定されない。一実施形態では、スマート監視および制御ブロック 355 は、アルゴリズムサーバ 320 によって使用されるデータを提供することができる。他の実施形態では、様々なウィットネスセンサ 345 からの出力データは、アルゴリズムサーバ 320 に直接提供されてもよい。

【0040】

次に図 4A を参照すると、一実施形態によるダッシュボード 465 の概略図が示されている。示されているように、ダッシュボード 465 は、検出ブロック、補正ブロック、および予測ブロックのうちの 1 つ以上で監視され得る処理ツールの複数の異なるパラメータ 467_{1-n} を含み得る。ダッシュボード 465 に表示されるパラメータ 467 は、監視されている処理動作の主要なパラメータであってもよい。例えば、ランプベースのチャンバでは、主要なパラメータ 467 は、ガス流量、圧力、温度、堆積特性、チャンバ壁上のコーティング量、および漏れ検知のうちの 1 つ以上を含み得る。ヒータベースのチャンバの場合、主要なパラメータ 467 は、圧力、温度、堆積特性、チャンバ壁上のコーティング量、およびラジカル密度のうちの 1 つ以上を含み得る。プラズマベースのチャンバの場合、主要なパラメータ 467 は、ガス流量、圧力、プラズマ密度、漏れ検知、温度、RF パラメータ、およびチャンバ壁上のコーティング量を含み得る。

【0041】

一実施形態では、パラメータ 467 は、視覚的なステータスインジケータを提供することができる。例えば、緑色のドット、黄色のドット、または赤色のドットが表示されて、所与のパラメータのステータスの一般的な表示を提供することができる。すなわち、緑色のドットは、プロセスがドリフトせずに動作していることを示し、黄色のドットは、プロセスが所望の動作範囲から遠ざかっていることを示し、赤色のドットは、プロセスが所定の範囲を越えてドリフトしていることを示すことができる。しかしながら、ドリフトの簡単な表示を提供するために、任意の視覚的メカニズム（任意の所望の解像度を有する）を使用することができることを理解されたい。

【0042】

ダッシュボード 465 は、所与のパラメータ 467 に関する追加情報を供給することにもできる。例えば、パラメータ 467 の 1 つをプロセスエンジニアがクリックすることで、追加情報を表示させることができる。例えば、図 4B は、所与のパラメータ 467 の統計的プロセス制御（SPC）チャート 468 の説明図である。SPC チャート 468 上の各点は、処理ツールによって処理されたウエハまたは基板の表現であり得る。一実施形態では、直近に処理されたウエハが表示される（例えば、最近の 100 枚のウエハ）。しかしながら、SPC チャート 468 に表示される履歴は、任意の枚数のウエハを含むことができることを理解されたい。ウエハの 1 枚 1 枚を追跡できるため、既存の方法と比較してドリフトの監視が向上する。例えば、既存の方法では、SPC チャートを作成するために、物理的な計測に頼っている。このため、追加のリソースと時間が必要となり、通常、ウエハや基板ごとに実施することはできない。

【0043】

SPC チャート 468 は、プロセスがドリフトし始めていることを視覚的に示すために使用され得る。図 4B に示すように、点は、上昇傾向にある。これは、そのプロセスパラメータにドリフトが発生しており、その後に処理されるウエハが仕様から外れてしまう危

10

20

30

40

50

険性があることを示している可能性がある。同様に、点が下降傾向にあった場合も、ドリフトが発生している可能性がある。いくつかの実施形態では、SPCチャートの個々の点をクリックして、個々の基板のさらなる詳細を提供することができる。例えば、いくつかの実施形態において、所与の基板またはウエハ上の均一性データのチャートが提供されてもよい。

【0044】

図5は、コンピュータシステム500の例示的な形態における機械の図式的表現を示しており、その中で、本明細書に記載の方法のいずれか1つ以上を機械に実行させるための命令のセットが実行され得る。代替の実施形態では、機械は、ローカルエリアネットワーク(LAN)、イントラネット、エクストラネット、またはインターネットにおいて他の機械に接続(例えば、ネットワーク化)されてもよい。機械は、クライアントサーバネットワーク環境におけるサーバもしくはクライアントマシンとして、またはピアツーピア(もしくは分散)ネットワーク環境におけるピアマシンとして動作してもよい。機械は、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、ウェブアプライアンス、サーバ、ネットワークルータ、スイッチ、もしくはブリッジ、またはその機械が取るべき行動を指定する命令のセット(シーケンシャルまたはその他)を実行することができる任意の機械であってもよい。さらに、単一の機械のみが図示されているが、用語「機械」は、本明細書に記載される方法のいずれか1つ以上を実行するための命令のセット(または複数のセット)を個別にまたは共同で実行する機械(例えば、コンピュータ)の任意の集合も含むと解釈されるものとする。

【0045】

例示的なコンピュータシステム500は、プロセッサ502、メインメモリ504(例えば、リードオンリーメモリ(ROM)、フラッシュメモリ、シンクロナスDRAM(SDRAM)またはラムバスDRAM(RDRAM)など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506(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)、MRAM等)、および二次メモリ518(例えば、データ記憶デバイス)を含み、これらは、バス530を介して互いと通信する。

【0046】

プロセッサ502は、マイクロプロセッサ、中央処理装置などの1つ以上の汎用処理デバイスを表す。より詳細には、プロセッサ502は、複合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、他の命令セットを実装するプロセッサ、または命令セットの組み合わせを実装するプロセッサであり得る。プロセッサ502はまた、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)、デジタルシグナルプロセッサ(DSP)、ネットワークプロセッサなどの、1つ以上の専用処理デバイスであってもよい。プロセッサ502は、本明細書に記載の動作を実行するための処理ロジック526を実行するように構成されている。

【0047】

コンピュータシステム500は、ネットワークインターフェースデバイス508を、さらに含むことができる。また、コンピュータシステム500は、ビデオディスプレイ装置510(例えば、液晶ディスプレイ(LCD)、発光ダイオードディスプレイ(LED)、または陰極線管(CRT))、英数字入力デバイス512(例えば、キーボード)、カーソル制御デバイス514(例えば、マウス)、および信号生成デバイス516(例えば、スピーカー)を含み得る。

【0048】

二次メモリ518は、本明細書に記載された方法または機能のいずれか1つ以上を具現化する1つ以上の命令セット(例えば、ソフトウェア522)が格納された機械アクセス可能記憶媒体(またはより具体的には、コンピュータ読み取り可能な記憶媒体)532を含み得る。ソフトウェア522はまた、コンピュータシステム500によるその実行中に

、完全にまたは少なくとも部分的に、メインメモリ 504 内および／またはプロセッサ 502 内に存在してもよく、メインメモリ 504 およびプロセッサ 502 もまた、機械読み取り可能な記憶媒体を構成する。ソフトウェア 522 は、さらに、ネットワークインターフェースデバイス 508 を介してネットワーク 520 を通じて送信または受信されることができる。

【0049】

機械アクセス可能記憶媒体 532 は、例示的な実施形態では、単一の媒体であるように示されているが、用語「機械読み取り可能な記憶媒体」は、1 つ以上の命令セットを格納する単一の媒体または複数の媒体（例えば、集中もしくは分散データベース、ならびに／または関連するキャッシュおよびサーバ）を含むと解釈されるものとする。「機械読み取り可能な記憶媒体」という用語はまた、機械により実行されて、本開示の方法のいずれか 1 つ以上を機械に実行させる命令のセットを格納または符号化することができる任意の媒体を含むと解釈されるものとする。「機械読み取り可能な記憶媒体」という用語は、したがって、固体メモリ、ならびに光学媒体および磁気媒体を含む（ただし、これらに限定されない）と解釈されるものとする。

10

【0050】

本開示の一実施形態によれば、機械アクセス可能記憶媒体には、処理ツールにおけるドリフトの監視、ドリフトの補正、および／またはドリフトの予測の方法をデータ処理システムに実行させる命令が格納されている。

【0051】

このように、処理ツールにおけるドリフトの監視、ドリフトの補正、および／またはドリフトの予測のための方法および装置が開示された。

20

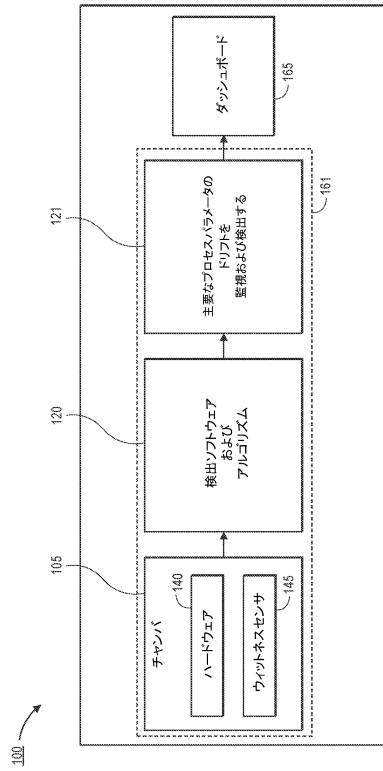
30

40

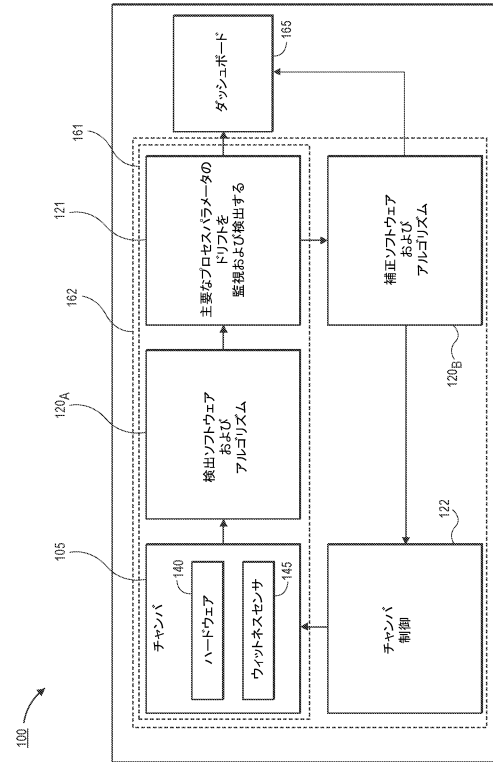
50

【図面】

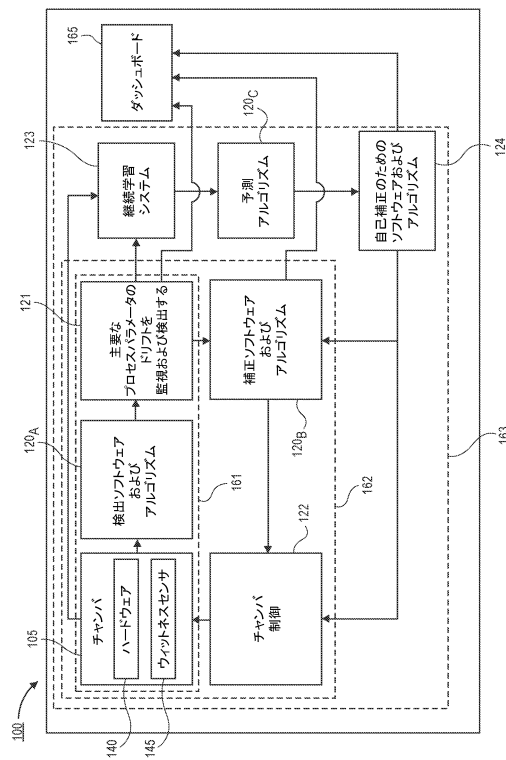
【 図 1 A 】



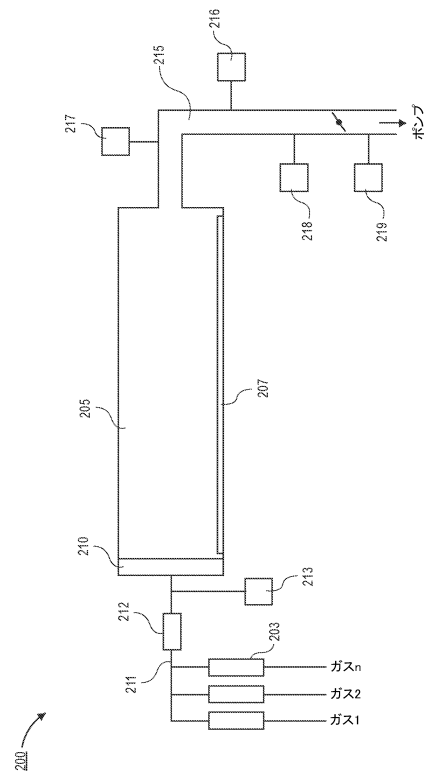
【 図 1 B 】



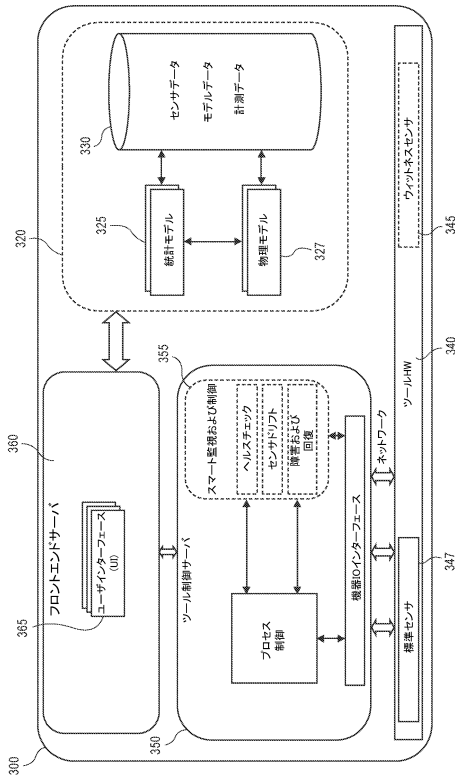
【 図 1 C 】



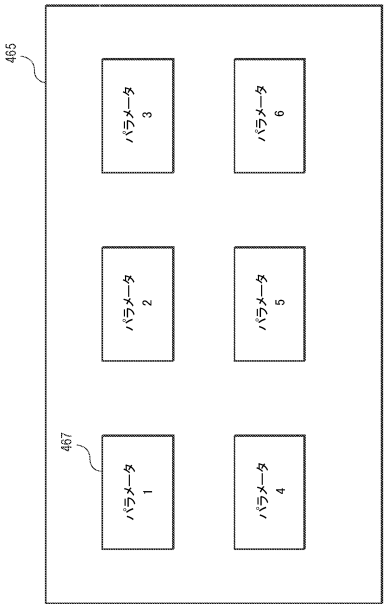
【圖 2】



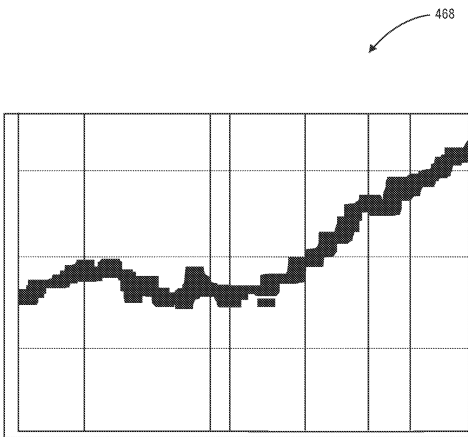
【図 3】



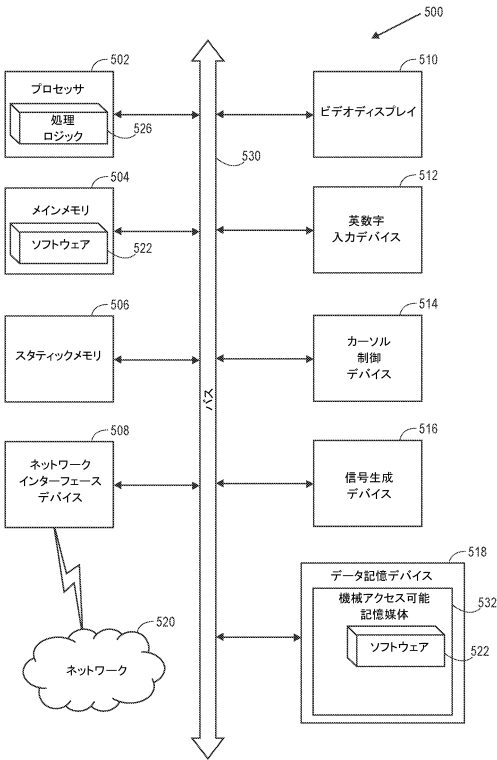
【図 4 A】



【図 4 B】



【図 5】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- 85, サニーベール, イースト アークス アヴェニュー 974
(72)発明者 シャー, カルティーク
アメリカ合衆国 カリフォルニア 95070, サラトガ, ベルグローヴ サークル 18908
(72)発明者 アダーホールド, ウルフギヤング
アメリカ合衆国 カリフォルニア 95054, サンタ クララ, バウアーズ アヴェニュー 3050
(72)発明者 ヒルケン, マーティン
アメリカ合衆国 カリフォルニア 95020, ギルロイ, フェザント ドライブ 1353
(72)発明者 モファット, スティーヴン
ジャージー島 セント ブレレード, ラ リュ ドゥ ラ コルビエール, ヴィル カヌー, ザ バーン
審査官 小池 英敏
(56)参考文献 特表2019-537240(JP, A)
特開2018-026558(JP, A)
国際公開第2005/045907(WO, A1)
特開2017-101295(JP, A)
特表2006-527488(JP, A)
韓国登録特許第10-0446926(KR, B1)
(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H01L 21/02
H01L 21/3065
H01L 21/31
G05B 23/02