

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号

特開2022-119321

(P2022-119321A)

(43)公開日 令和4年8月17日(2022.8.17)

(51)国際特許分類 F I
 H 0 1 L 21/00 (2006.01) H 0 1 L 21/00
 G 0 6 N 20/00 (2019.01) G 0 6 N 20/00

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全14頁)

(21)出願番号	特願2021-16352(P2021-16352)	(71)出願人	000219967 東京エレクトロン株式会社 東京都港区赤坂五丁目3番1号
(22)出願日	令和3年2月4日(2021.2.4)	(74)代理人	100107766 弁理士 伊東 忠重
		(74)代理人	100070150 弁理士 伊東 忠彦
		(72)発明者	野田 勇人 山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢650 東京 エレクトロン テクノロジーソリューシ ヨンス株式会社内
		(72)発明者	山崎 翔太 山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢650 東京 エレクトロン テクノロジーソリューシ ヨンス株式会社内

最終頁に続く

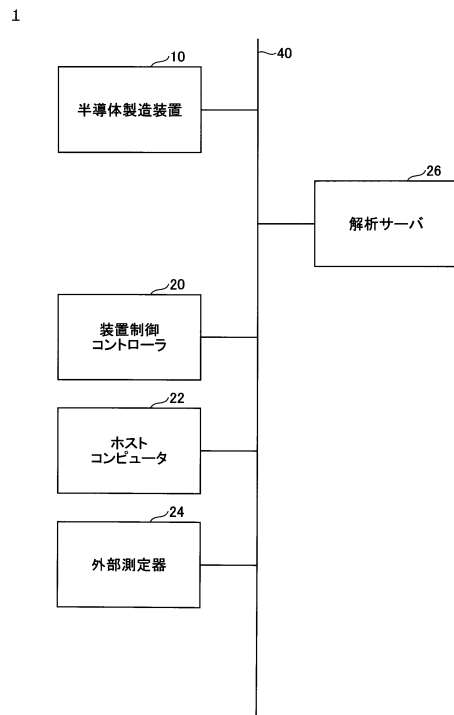
(54)【発明の名称】 情報処理装置、プログラム及びプロセス条件探索方法

(57)【要約】

【課題】半導体製造装置の機械学習モデルを用いて、目標とするプロセス結果を達成可能なプロセス条件を探索する技術を提供する。

【解決手段】プロセス条件に従って処理を実行する半導体製造装置の機械学習モデルを作成し、目標とするプロセス結果を達成可能なプロセス条件を、機械学習モデルを用いて探索する情報処理装置であって、複数の回帰手法を用いて作成した複数の機械学習モデルのうち、データセットに適した機械学習モデルを選択する手段と、選択した機械学習モデルを用いて最適化計算を行い、複数のプロセス条件、プロセス結果の予測値、及び予測値の信頼度を算出する手段と、プロセス結果の予測値及び予測値の信頼度に従って、1つ以上のプロセス条件を選択する手段と、選択したプロセス条件、プロセス結果の予測値、及び予測値の信頼度を表示する手段と、を有することで上記課題を解決する。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

プロセス条件に従って処理を実行する半導体製造装置の機械学習モデルを作成し、目標とするプロセス結果を達成可能な前記プロセス条件を、前記機械学習モデルを用いて探索する情報処理装置であって、

複数の回帰手法を用いて作成した複数の前記機械学習モデルのうち、前記機械学習モデルの学習に用いたデータセットに適した前記機械学習モデルを選択する機械学習モデル選択手段と、

選択した前記機械学習モデルを用いて最適化計算を行い、前記目標とするプロセス結果を達成する複数の前記プロセス条件、前記プロセス条件に対応した前記プロセス結果の予測値、及び前記予測値の信頼度を算出する算出手段と、

前記プロセス結果の予測値、及び前記予測値の信頼度に従って、前記目標とするプロセス結果を達成する複数の前記プロセス条件から1つ以上の前記プロセス条件を選択するプロセス条件選択手段と、

選択した前記プロセス条件、選択した前記プロセス条件に対応した前記プロセス結果の予測値、及び前記予測値の信頼度を表示する表示制御手段と、
を有する情報処理装置。

【請求項 2】

選択した前記プロセス条件に従って前記半導体製造装置が処理を実行したプロセス結果の実測値と前記プロセス結果の目標値との比較結果に基づき、前記プロセス条件の探索を継続するか終了するかを判定する判定手段、
を更に有する請求項 1 記載の情報処理装置。

【請求項 3】

選択した前記プロセス条件と、前記プロセス条件に従って前記半導体製造装置が処理を実行したプロセス結果の実測値と、を前記機械学習モデル選択手段にフィードバックするフィードバック手段、
を更に有する請求項 1 又は 2 記載の情報処理装置。

【請求項 4】

前記プロセス条件選択手段は、更に、前記目標とするプロセス結果に含まれる複数の目標値に付けられた優先度と、前記プロセス条件に含まれ、前記目標とするプロセス結果の達成のために調整される複数の調整対象に付けられた優先度と、前記プロセス結果の予測値の前記目標値に対する達成度と、に基づき、前記目標とするプロセス結果を達成する複数の前記プロセス条件から1つ以上の前記プロセス条件を選択することを特徴とする請求項 1 乃至 3 の何れか一項に記載の情報処理装置。

【請求項 5】

前記表示制御手段は、前記複数の目標値に付ける優先度の入力欄、前記複数の調整対象に付ける優先度の入力欄、及び、用いる前記機械学習モデルを表示し、用いる前記機械学習モデルの変更を受け付ける画面を表示することを特徴とする請求項 4 記載の情報処理装置。

【請求項 6】

プロセス条件に従って処理を実行する半導体製造装置の機械学習モデルを作成し、目標とするプロセス結果を達成可能な前記プロセス条件を、前記機械学習モデルを用いて探索する情報処理装置に、

複数の回帰手法を用いて作成した複数の前記機械学習モデルのうち、前記機械学習モデルの学習に用いたデータセットに適した前記機械学習モデルを選択する機械学習モデル選択手順、

選択した前記機械学習モデルを用いて最適化計算を行い、前記目標とするプロセス結果を達成する複数の前記プロセス条件、前記プロセス条件に対応した前記プロセス結果の予測値、及び前記予測値の信頼度を算出する算出手順、

前記プロセス結果の予測値、及び前記予測値の信頼度に従って、前記目標とするプロセ

ス結果を達成する複数の前記プロセス条件から1つ以上の前記プロセス条件を選択するプロセス条件選択手順、

選択した前記プロセス条件、選択した前記プロセス条件に対応した前記プロセス結果の予測値、及び前記予測値の信頼度を表示する表示制御手順、
を実行させるためのプログラム。

【請求項7】

プロセス条件に従って処理を実行する半導体製造装置の機械学習モデルを作成し、目標とするプロセス結果を達成可能な前記プロセス条件を、前記機械学習モデルを用いて探索する情報処理装置のプロセス条件探索方法であって、

複数の回帰手法を用いて作成した複数の前記機械学習モデルのうち、前記機械学習モデルの学習に用いたデータセットに適した前記機械学習モデルを選択する機械学習モデル選択工程と、

選択した前記機械学習モデルを用いて最適化計算を行い、前記目標とするプロセス結果を達成する複数の前記プロセス条件、前記プロセス条件に対応した前記プロセス結果の予測値、及び前記予測値の信頼度を算出する算出工程と、

前記プロセス結果の予測値、及び前記予測値の信頼度に従って、前記目標とするプロセス結果を達成する複数の前記プロセス条件から1つ以上の前記プロセス条件を選択するプロセス条件選択工程と、

選択した前記プロセス条件、選択した前記プロセス条件に対応した前記プロセス結果の予測値、及び前記予測値の信頼度を表示する表示制御工程と、
を有するプロセス条件探索方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、情報処理装置、プログラム及びプロセス条件探索方法に関する。

【背景技術】

【0002】

例えばエッチングプロセスのシミュレーションを、パラメータを変更しながら繰り返し実行する際に物理量を推定する技術は従来から知られている（例えば特許文献1参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】国際公開第2016/132759号パンフレット

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本開示は、半導体製造装置の機械学習モデルを用いて、目標とするプロセス結果を達成可能なプロセス条件を探索する技術を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本開示の一態様は、プロセス条件に従って処理を実行する半導体製造装置の機械学習モデルを作成し、目標とするプロセス結果を達成可能な前記プロセス条件を、前記機械学習モデルを用いて探索する情報処理装置であって、複数の回帰手法を用いて作成した複数の前記機械学習モデルのうち、前記機械学習モデルの学習に用いたデータセットに適した前記機械学習モデルを選択する機械学習モデル選択手段と、選択した前記機械学習モデルを用いて最適化計算を行い、前記目標とするプロセス結果を達成する複数の前記プロセス条件、前記プロセス条件に対応した前記プロセス結果の予測値、及び前記予測値の信頼度を算出する算出手段と、前記プロセス結果の予測値、及び前記予測値の信頼度に従って、前記目標とするプロセス結果を達成する複数の前記プロセス条件から1つ以上の前記プロセス条件を選択するプロセス条件選択手段と、選択した前記プロセス条件、選択した前記プ

10

20

30

40

50

プロセス条件に対応した前記プロセス結果の予測値、及び前記予測値の信頼度を表示する表示制御手段と、を有する。

【発明の効果】

【0006】

本開示によれば、半導体製造装置の機械学習モデルを用いて、目標とするプロセス結果を達成可能なプロセス条件を探索できる。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】本実施形態に係る情報処理システムの一例の構成図である。

【図2】コンピュータの一例のハードウェア構成図である。

10

【図3】本実施形態に係る解析サーバの一例の機能ブロック図である。

【図4】本実施形態に係る情報処理システムの処理の一例のフローチャートである。

【図5】入力画面の一例のイメージ図である。

【図6】出力画面の一例のイメージ図である。

【図7】多目的最適化計算の結果の一例の表示例である。

【図8】予測の信頼度の一例の表示例である。

【発明を実施するための形態】

【0008】

以下、図面を参照して、本発明を実施するための形態の説明を行う。

【0009】

20

<システム構成>

図1は本実施形態に係る情報処理システムの一例の構成図である。図1に示す情報処理システム1は、半導体製造装置10、装置制御コントローラ20、ホストコンピュータ22、外部測定器24、及び解析サーバ26を有する。

【0010】

半導体製造装置10、装置制御コントローラ20、ホストコンピュータ22、外部測定器24、及び解析サーバ26は、LAN(Local Area Network)などのネットワーク40を介して通信可能に接続される。

【0011】

半導体製造装置10は例えば熱処理成膜装置であり、装置制御コントローラ20から出力された制御命令(プロセス条件)に従って、半導体製造プロセスの各工程(例えば、成膜、エッチング、アッシング、クリーニングなど)に応じた処理を実行する。プロセス条件は、半導体製造プロセスの条件であり、半導体製造装置10の制御部品(制御ノブ)を制御(調整)するパラメータの組み合わせである。制御ノブを調整するパラメータの組み合わせは、多岐にわたる。

30

【0012】

装置制御コントローラ20は半導体製造装置10を制御するためのコンピュータ構成を持ったコントローラである。装置制御コントローラ20は、後述のように算出され、選択されたプロセス条件を、半導体製造装置10の制御ノブを調整するパラメータとして半導体製造装置10に出力する。

40

【0013】

ホストコンピュータ22は、半導体製造装置10に対する指示を作業員から受け付けると共に、半導体製造装置10に関する情報を表示すること等により作業員に提供するマンマシンインタフェース(MMI)の一例である。

【0014】

外部測定器24は、膜厚測定器、シート抵抗測定器、パーティクル測定器など、プロセス条件に従った処理の実行後の結果(プロセス結果)を測定する測定器である。外部測定器24はプロセス結果の是非を判定する指標の実測値を測定する。プロセス結果の是非を判定する指標は、多岐にわたる。例えば外部測定器24はモニタウェーハ等のウェーハ上の膜の付き具合(成膜結果)を、プロセス結果の実測値の一例として測定する。

50

【 0 0 1 5 】

解析サーバ 2 6 は、後述するように、複数の回帰手法を用いて複数の機械学習モデルを作成し、作成した機械学習モデルを用いて目標とするプロセス結果を達成可能なプロセス条件を算出する。また、解析サーバ 2 6 は後述するように、目標とするプロセス結果を達成可能な複数のプロセス条件から、それぞれのプロセス条件に対応するプロセス結果の予測値、及びその予測値の信頼度などに従い、作業員などに対して提案するプロセス条件を選択する。

【 0 0 1 6 】

作業員は解析サーバ 2 6 により選択されたプロセス条件に従って半導体製造装置 1 0 に処理を実行させる。プロセス条件に従った処理の実行後、作業員は外部測定器 2 4 を用いてプロセス結果の実測値を測定する。プロセス条件と、そのプロセス条件に従って半導体製造装置 1 0 に処理を実行させた場合のプロセス結果（プロセス条件に対応するプロセス結果）は、解析サーバ 2 6 にフィードバックすることで、次回以降に算出されるプロセス条件の精度が向上する。

10

【 0 0 1 7 】

作業員は、プロセス結果の実測値が、プロセス結果の目標値を達成していれば目標とするプロセス結果を達成可能なプロセス条件の探索を終了し、プロセス結果の目標値を達成していなければ目標とするプロセス結果を達成可能なプロセス条件の探索を継続する。

【 0 0 1 8 】

なお、図 1 の情報処理システム 1 は一例であり、用途や目的に応じて様々なシステム構成例があることは言うまでもない。図 1 の半導体製造装置 1 0、装置制御コントローラ 2 0、ホストコンピュータ 2 2、外部測定器 2 4、及び解析サーバ 2 6 のような装置の区分は一例である。

20

【 0 0 1 9 】

例えば情報処理システム 1 は、半導体製造装置 1 0、装置制御コントローラ 2 0、ホストコンピュータ 2 2、外部測定器 2 4、及び解析サーバ 2 6 の 2 つ以上が一体化された構成や、更に分割された構成など、様々な構成が可能である。

【 0 0 2 0 】

< ハードウェア構成 >

情報処理システム 1 の装置制御コントローラ 2 0、ホストコンピュータ 2 2、及び解析サーバ 2 6 は、例えば図 2 のハードウェア構成のコンピュータにより実現される。図 2 はコンピュータの一例のハードウェア構成図である。

30

【 0 0 2 1 】

図 2 のコンピュータ 5 0 0 は、入力装置 5 0 1、出力装置 5 0 2、外部 I / F（インターフェース）5 0 3、RAM（Random Access Memory）5 0 4、ROM（Read Only Memory）5 0 5、CPU（Central Processing Unit）5 0 6、通信 I / F 5 0 7 及び HDD（Hard Disk Drive）5 0 8 などを備え、それぞれがバス B で相互に接続されている。なお、入力装置 5 0 1 及び出力装置 5 0 2 は必要なときに接続して利用する形態であってもよい。

【 0 0 2 2 】

入力装置 5 0 1 はキーボードやマウス、タッチパネルなどであり、作業員等が各操作信号を入力するのに用いられる。出力装置 5 0 2 はディスプレイ等であり、コンピュータ 5 0 0 による処理結果を表示する。通信 I / F 5 0 7 はコンピュータ 5 0 0 をネットワーク 4 0 に接続するインターフェースである。HDD 5 0 8 は、プログラムやデータを格納している不揮発性の記憶装置の一例である。

40

【 0 0 2 3 】

外部 I / F 5 0 3 は、外部装置とのインターフェースである。コンピュータ 5 0 0 は外部 I / F 5 0 3 を介して SD（Secure Digital）メモリカードなどの記録媒体 5 0 3 a の読み取り及び / 又は書き込みを行うことができる。ROM 5 0 5 は、プログラムやデータが格納された不揮発性の半導体メモリ（記憶装置）の一例である。RAM 5 0 4 はプログ

50

ラムやデータを一時保持する揮発性の半導体メモリ（記憶装置）の一例である。

【0024】

CPU506は、ROM505やHDD508などの記憶装置からプログラムやデータをRAM504上に読み出し、処理を実行することで、コンピュータ500全体の制御や機能を実現する演算装置である。

【0025】

図1に示した装置制御コントローラ20、ホストコンピュータ22、及び解析サーバ26は、例えば図2のハードウェア構成のコンピュータ500でプログラムを実行することにより、後述の各種機能を実現できる。

【0026】

<機能構成>

本実施形態に係る情報処理システム1の解析サーバ26は、例えば図3に示すような機能ブロックで実現される。図3は、本実施形態に係る解析サーバの一例の機能ブロック図である。なお、図3の機能ブロック図は、本実施形態の説明に不要な構成について図示を省略している。

【0027】

解析サーバ26は解析サーバ26用のプログラムを実行することにより、機械学習モデル作成部50、機械学習モデル選択部52、算出部54、プロセス条件選択部56、表示制御部58、プロセス結果受付部60、判定部62、フィードバック部64、及びデータセット記憶部66を実現している。

【0028】

データセット記憶部66は、機械学習モデル作成部50及び機械学習モデル選択部52が利用するデータセットを記憶している。データセット記憶部66が記憶しているデータセットは、制御ノブを調整するパラメータの組み合わせ（プロセス条件）と、そのプロセス条件に対応したプロセス結果の実測値と、を対応付けている。例えばデータセット記憶部66が記憶しているデータセットは、複数のプロセス条件で半導体製造装置10に処理を実行させ、それぞれのプロセス条件に従って処理を実行した場合のプロセス結果の実測値をデータ収集することで、準備される。

【0029】

データセット記憶部66が記憶するデータセットは、機械学習モデル作成部50が利用する学習用データと、機械学習モデル選択部52が利用する評価用データと、が含まれている。例えば交差検証（クロスバリデーション）と呼ばれる汎化性能を評価する統計的な手法では、データをk個に分割して、1つを評価用データとし、残りのk-1個を学習用データとして利用する。

【0030】

機械学習モデル作成部50は、データセット記憶部66が記憶するデータセットの学習用データを使用し、線形回帰や非線形回帰などの複数の回帰手法の機械学習モデルを作成する。

【0031】

機械学習モデル選択部52は、機械学習モデル作成部50が作成した複数の機械学習モデルのうち、データセット記憶部66が記憶するデータセットの評価用データを使用することで、準備したデータセットに適した1つ以上の機械学習モデルを選択する。

【0032】

算出部54は、例えば作業者が設定した目標とするプロセス結果を取得する。算出部54は、データセット記憶部66などに記憶しておいた目標とするプロセス結果を取得するようにしてもよいし、作業者が入力画面などに入力した目標とするプロセス結果を取得するようにしてもよい。

【0033】

算出部54は、機械学習モデル選択部52が選択した1つ以上の機械学習モデルを用いて多目的最適化計算を行い、目標とするプロセス結果を達成する複数のプロセス条件を算

10

20

30

40

50

出する。目標とするプロセス結果の指標は複数存在するため、算出部 5 4 は多目的最適化を行い、目標とするプロセス結果の全ての指標を達成するようなプロセス条件、又は目標とするプロセス結果に近くなるプロセス条件を複数算出する。

【 0 0 3 4 】

また、機械学習モデルには予測値の信頼度を計算できるものがある。そこで、算出部 5 4 は算出したプロセス条件、そのプロセス条件に対応するプロセス結果の予測値、及びその予測値の信頼度を算出する。予測値の信頼度を計算できない機械学習モデルの予測値の信頼度は、予測値の信頼度を計算できる他の機械学習モデルを用いて算出する。予測値の信頼度は、どのプロセス条件に従って半導体製造装置に処理を実行させるか、言い換えればプログラムがプロセス条件を選択するための判断材料の一つとなる。

10

【 0 0 3 5 】

プロセス条件選択部 5 6 は、算出部 5 4 が算出した複数のプロセス条件から、1つ以上のプロセス条件を選択する。例えばプロセス条件選択部 5 6 は、算出部 5 4 が算出した複数のプロセス条件それぞれのプロセス結果の予測値、及びその予測値の信頼度から、予測プロセス性能がよく、信頼度が高いプロセス条件を選択する。予測プロセス性能は、プロセス結果の目標に対する予測値の達成度から判定できる。プロセス条件の信頼度はプロセス結果の予測値の信頼度から判定できる。

【 0 0 3 6 】

表示制御部 5 8 は、プロセス条件選択部 5 6 が選択した1つ以上のプロセス条件、そのプロセス条件に対応するプロセス結果の予測値の達成度、及びその予測値の信頼度を出力画面などに表示する。したがって、作業者は機械学習モデルが目標とするプロセス結果を達成可能と予測した1つ以上のプロセス条件を確認できる。また、表示制御部 5 8 は作業

20

【 0 0 3 7 】

者から目標とするプロセス結果の入力を受け付ける入力画面などの表示、後述するようなプロセス条件の探索を継続するか終了するかを判定した結果などの表示を行う。

この後、作業者はプロセス条件選択部 5 6 が選択した1つ以上のプロセス条件に従って半導体製造装置 1 0 に処理を実行させる。また、作業者は外部測定器 2 4 を使用してプロセス条件に従った処理の実行後のプロセス結果の実測値を測定する。作業者は外部測定器 2 4 を使用して測定したプロセス結果の実測値を解析サーバ 2 6 に提供する。なお、解析サーバ 2 6 に対するプロセス結果の実測値の提供は、外部測定器 2 4 からネットワーク 4

30

【 0 0 3 8 】

0 を介して行うようにしてもよいし、USB (ユニバーサルシリアルバス) メモリなどの記録媒体を介して行うようにしてもよい。

プロセス結果受付部 6 0 は、1つ以上のプロセス条件それぞれに対応するプロセス結果の実測値を受け付ける。判定部 6 2 は、プロセス条件選択部 5 6 が選択した1つ以上のプロセス条件それぞれのプロセス結果の目標値と、プロセス結果受付部 6 0 が受け付けたプロセス結果の実測値と、を比較し、プロセス結果の目標値に対する実測値の達成度からプロセス条件の探索を継続するか終了するかを判定する。判定部 6 2 は、プロセス条件の探索を継続するか終了するかの判定の結果を、例えば表示制御部 5 8 に表示させる。

【 0 0 3 9 】

フィードバック部 6 4 は、プロセス条件と、そのプロセス条件に対応するプロセス結果の実測値と、をデータセット記憶部 6 6 が記憶するデータセットに加え、プロセス結果をフィードバックする。このように、本実施形態に係る解析サーバ 2 6 はプロセス条件に対応するプロセス結果の実測値がフィードバックされるため、学習機能が働き、次回以降の計算精度が向上する。

40

【 0 0 4 0 】

< 処理 >

以下では、目標とする成膜結果を達成可能なプロセス条件を、作業者が機械学習モデルを用いて探索する例を説明する。成膜結果はプロセス結果の一例である。

【 0 0 4 1 】

50

図4は本実施形態に係る情報処理システムの処理の一例のフローチャートである。本実施形態に係る情報処理システム1は機械学習に利用するデータセットを準備しておく必要がある。ステップS10において、例えば作業者はプロセス条件を変化させながら、半導体製造装置10に成膜処理を実行させ、それぞれのプロセス条件に従って成膜処理を実行した場合の成膜結果の実測値をデータ収集することで、データセットを準備する。また、データセットの準備は必ずしも作業者の手で行う必要はない。例えば、データセットは実験計画法を自動実行することで準備するようにしてもよい。準備したデータセットはデータセット記憶部66に記憶される。

【0042】

目標とする成膜結果を達成可能なプロセス条件の探索を開始する作業者は、例えば図5に示すような入力画面1000に必要な情報を設定し、計算実行ボタン1008を押下する操作を行うことで、プロセス条件の探索を開始できる。

【0043】

図5は入力画面の一例のイメージ図である。図5の入力画面1000は、目標値入力欄1002、制御ノブの振り幅制限入力欄1004、使用するモデルのリストを表示する表示欄1006、計算実行ボタン1008、及び成膜結果入力欄1010を含む。

【0044】

目標値入力欄1002は目標とする成膜結果の是非を判定する指標(目標値)を設定する欄である。成膜結果の目標値は、例えば膜厚、面内均一性、屈折率、ウェットエッチングレート(WER)などの複数の指標がある。また、目標値入力欄1002は目標値ごとの優先度を設定できるようにしてもよい。

【0045】

制御ノブの振り幅制限入力欄1004は制御ノブ(温度、圧力、ガスなど)を調整するパラメータの振り幅上下限を制御ノブ毎に設定する欄である。また、制御ノブの振り幅制限入力欄1004は制御ノブごとに使用優先度を設定できるようにしてもよい。例えばN2ガスを使っている場合は、N2ガスの流量の上下限を設定する。

【0046】

使用するモデルのリストを表示する表示欄1006は、準備したデータセットに適した1つ以上の機械学習モデルを、使用する機械学習モデルのリストとして表示する。表示欄1006は、使用する機械学習モデルのリストの変更を作業員から受け付けるようにしてもよい。

【0047】

計算実行ボタン1008は、作業員からプロセス条件の探索の開始指示を受け付ける開始指示受付部の一例である。作業員から計算実行ボタン1008の押下操作を受け付けた解析サーバ26は、例えば表示欄1006に使用するモデルとして表示されている機械学習モデルを用いた多目的最適化計算を開始する。

【0048】

成膜結果入力欄1010は、プロセス条件選択部56が選択した1つ以上のプロセス条件に従って半導体製造装置10に成膜処理を実行させた後、外部測定器24を使用して測定した成膜結果の実測値を入力する欄である。

【0049】

図4のステップS12に戻り、解析サーバ26の機械学習モデル作成部50は、データセット記憶部66が記憶するデータセットの学習用データを使用し、線形回帰や非線形回帰などの複数の回帰手法の機械学習モデルを作成する。また、機械学習モデル選択部52は機械学習モデル作成部50が作成した複数の機械学習モデルのうち、データセット記憶部66が記憶するデータセットの評価用データを使用することで、準備したデータセットに適した1つ以上の機械学習モデルを選択する。

【0050】

ステップS14において、算出部54は例えば目標値入力欄1002に設定された成膜結果の目標値を取得する。また、算出部54は機械学習モデル選択部52が選択した1つ

以上の機械学習モデルを用いて多目的最適化計算を行い、成膜結果の目標値を達成するプロセス条件、そのプロセス条件に対応する成膜結果の予測値、及びその予測値の信頼度をプロセス条件ごとに算出する。

【0051】

ステップS16において、プロセス条件選択部56は、算出部54が算出した複数のプロセス条件から、1つ以上のプロセス条件を選択する。プロセス条件選択部56は算出部54が算出した複数のプロセス条件それぞれの成膜結果の予測値、及びその予測値の信頼度から、予測プロセス性能がよく、信頼度が高いプロセス条件を選択する。プロセス条件選択部56はプロセス条件を選択する操作を作業員から受け付けてもよい。

【0052】

ステップS18において、表示制御部58は、プロセス条件選択部56が選択した1つ以上のプロセス条件、そのプロセス条件に対応する成膜結果の予測値の達成度、及びその予測値の信頼度を、例えば図6に示すような出力画面1100などに表示する。

【0053】

図6は出力画面の一例のイメージ図である。図6の出力画面1100は、多目的最適化の結果の表示欄1102、予測の信頼度の表示欄1104、予測成膜結果の表示欄1106、及び提案するプロセス条件のリストの表示欄1108を含む。

【0054】

多目的最適化の結果の表示欄1102は、算出部54が1つ以上の機械学習モデルを用いて行った多目的最適化計算の結果を表示する。例えば多目的最適化の結果の表示欄1102には図7に示すようなグラフで多目的最適化計算の結果が表示される。

【0055】

図7は多目的最適化計算の結果の一例の表示例である。図7の多目的最適化の結果の表示欄1102は、成膜結果の第1の目標値に対する予測値の達成度を横軸、成膜結果の第2の目標値に対する予測値の達成度を縦軸とするグラフで、多目的最適化計算の結果であるプロセス条件を表した例である。図7のグラフにおいて、それぞれのプロットは多目的最適化計算の結果である複数のプロセス条件を表している。

【0056】

予測の信頼度の表示欄1104は、1つ以上の機械学習モデルを用いて行った多目的最適化計算の結果による予測の信頼度を表示する。例えば予測の信頼度の表示欄1104には図8に示すようなグラフで予測の信頼度が表示される。

【0057】

図8は予測の信頼度の一例の表示例である。図8の予測の信頼度の表示欄1104は成膜結果の第1の目標値に対する予測値の達成度を横軸、予測値の信頼度を縦軸とするグラフで、プロセス条件ごとの目標値に対する予測値の達成度と、その予測値の信頼度とを表した例である。図8のグラフにおいて、それぞれのプロットは多目的最適化計算の結果である複数のプロセス条件を表している。

【0058】

予測成膜結果の表示欄1108は、多目的最適化計算の結果である複数のプロセス条件から選択した、半導体製造装置10での成膜処理の実行を提案するプロセス条件のリストを表示する。なお、予測成膜結果の表示欄1108は、半導体製造装置10での成膜処理を実行するプロセス条件のリストの変更を作業員から受け付けるようにしてもよい。予測成膜結果の表示欄1106は、予測成膜結果の表示欄1108で提案しているプロセス条件ごとの成膜結果の予測値を表示する。

【0059】

なお、図6の出力画面1100の多目的最適化の結果の表示欄1102及び予測の信頼度の表示欄1104に表示する第1の目標値及び第2の目標値は一例であって、作業員が選択できることが望ましい。作業員は図6の出力画面1100を参照し、半導体製造装置10で実行する成膜処理の1つ以上のプロセス条件を決定する。

【0060】

10

20

30

40

50

作業者は、決定した1つ以上のプロセス条件で半導体製造装置10に成膜処理を実行させる。成膜処理が終了すると、作業者は外部測定器24を使用して、それぞれのプロセス条件に従った成膜結果の実測値を測定する。作業者は外部測定器24を使用して測定した成膜結果の実測値を、例えば図5の成膜結果入力欄1010に入力し、解析サーバ26に提供する。プロセス結果受付部60は、1つ以上のプロセス条件それぞれに対応する成膜結果の実測値を受け付ける。

【0061】

1つ以上のプロセス条件それぞれに対応する成膜結果の実測値をプロセス結果受付部60が受け付けると、解析サーバ26の判定部62はステップS20の処理からステップS22の処理に進む。

【0062】

ステップS22において、判定部62は半導体製造装置10で成膜処理を実行したプロセス条件のそれぞれの成膜結果の目標値と成膜結果の実測値とを比較することで、成膜結果の目標値に対する実測値の達成度からプロセス条件の探索を継続するか終了するかを判定する。

【0063】

プロセス条件の探索を継続すると判定すると、ステップS24の処理からステップS26の処理に進み、フィードバック部64は半導体製造装置10で成膜処理を実行したプロセス条件と、そのプロセス条件に対応するプロセス結果の実測値と、をデータセット記憶部66が記憶するデータセットに加え、プロセス結果をフィードバックする。解析サーバ26はステップS26の処理からステップS12の処理に戻る。プロセス条件の探索を終了すると判定すると、解析サーバ26は図4のフローチャートの処理を終了する。

【0064】

なお、上記ではステップS16の処理において、算出部54が算出した複数のプロセス条件それぞれの成膜結果の予測値、及びその予測値の信頼度から、プロセス条件を選択する例を説明したが、この例に限定されない。ステップS16の処理では、成膜結果の目標値の優先度、制御ノブごとの使用優先度、それぞれの機械学習モデルで算出したプロセス条件の類似の程度などに従い、プロセス条件を選択してもよい。

【0065】

ステップS16の処理において、プロセス条件選択部56は算出部54が多目的最適化計算を行い算出した複数のプロセス条件から、例えば以下のように1つ以上のプロセス条件を選択する。

【0066】

例えばステップS16の処理では、以下のような2つの目的関数 $f_j(x_i)$ の総和 J_i が最も大きいプロセス条件を選択することを考える。多目的最適化計算を行い算出したプロセス条件は x_i である。目的関数は $f_j(x_i)$ である。下記の例で $J_1 > J_2 > J_3$ であり、提案するプロセス条件の数が1つの場合、プロセス条件選択部56はプロセス条件 x_1 を作業者に提案する。

【0067】

$$J_1 = f_1(x_1) + f_2(x_1)$$

$$J_2 = f_1(x_2) + f_2(x_2)$$

$$J_3 = f_1(x_3) + f_2(x_3)$$

なお、上記したように、成膜結果の目標値に優先度を設定している場合や、制御ノブの使用優先度を設定している場合は、上記の式に優先度に応じた重みを付けることで対応できる。

【0068】

また、ステップS12の処理では、複数の回帰手法を目的別に使い分けてもよい。例えば複数の回帰手法は、制御ノブ毎の線形・非線形性に応じた機械学習モデルの使い分けが可能である。線形モデルで十分に表せる制御ノブのプロセス条件に対しては、線形回帰モデルを採用する。また、非線形性が強い制御ノブのプロセス条件に対しては、非線形モデ

10

20

30

40

50

ルを採用する。機械学習モデルの選択は機械学習モデル選択部 5 2 が行うが、例えば作業
者による操作で行うようにしてもよい。

【 0 0 6 9 】

また、ステップ S 1 2 の処理では、非線形モデルから局所線形回帰モデルへの切り替え
を行うようにしてもよい。データが十分に増えた領域では、非線形モデルから局所線形回
帰モデルに切り替えることで、より正しい機械学習モデルを使った最適化を行うことがで
きる。

【 0 0 7 0 】

なお、本実施形態では、成膜結果に複数の目標値が含まれ、また、プロセス条件に複数
の制御ノブを調整する複数のパラメータが含まれる例を説明したが、成膜結果に単一の目
標値が含まれ、また、プロセス条件に単一の制御ノブを調整するパラメータが含まれる場
合にも適用可能である。

10

【 0 0 7 1 】

本実施形態によれば、プロセス結果の是非を判定する目的値が多岐にわたり、半導体製
造装置 1 0 の顧客毎にプロセス結果の目標値が異なるため、顧客のプロセス結果の目標値
を達成するためのプロセス条件の探索に時間が掛かるという課題を解決できる。

【 0 0 7 2 】

以上、本発明の好ましい実施例について詳説したが、本発明は、上述した実施例に制限
されることはなく、本発明の範囲を逸脱することなく、上述した実施例に種々の変形及び
置換を加えることができる。例えば本実施形態では、熱処理成膜装置を一例として説明し
たが、CVD（化学的気相成長）法、熱酸化法、ALD（原子層堆積）法などのバッチ成
膜装置への適用も可能である。

20

【符号の説明】

【 0 0 7 3 】

- 1 情報処理システム
- 1 0 半導体製造装置
- 2 0 装置制御コントローラ
- 2 2 ホストコンピュータ
- 2 4 外部測定器
- 2 6 解析サーバ
- 4 0 ネットワーク
- 5 0 機械学習モデル作成部
- 5 2 機械学習モデル選択部
- 5 4 算出部
- 5 6 プロセス条件選択部
- 5 8 表示制御部
- 6 0 プロセス結果受付部
- 6 2 判定部
- 6 4 フィードバック部
- 6 6 データセット記憶部

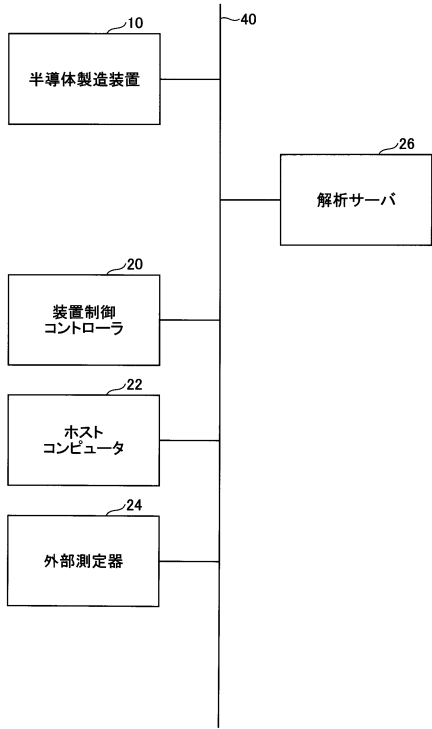
30

40

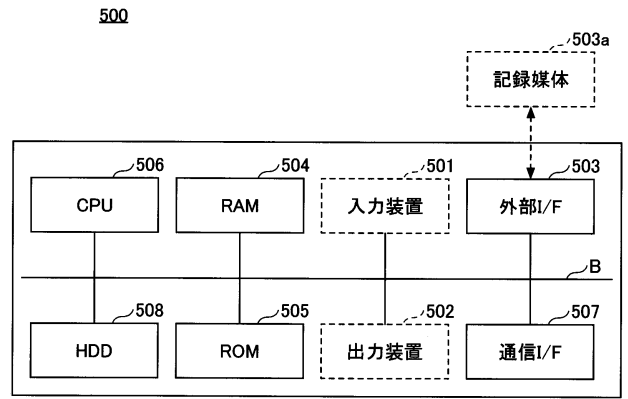
【 図 面 】

【 図 1 】

1



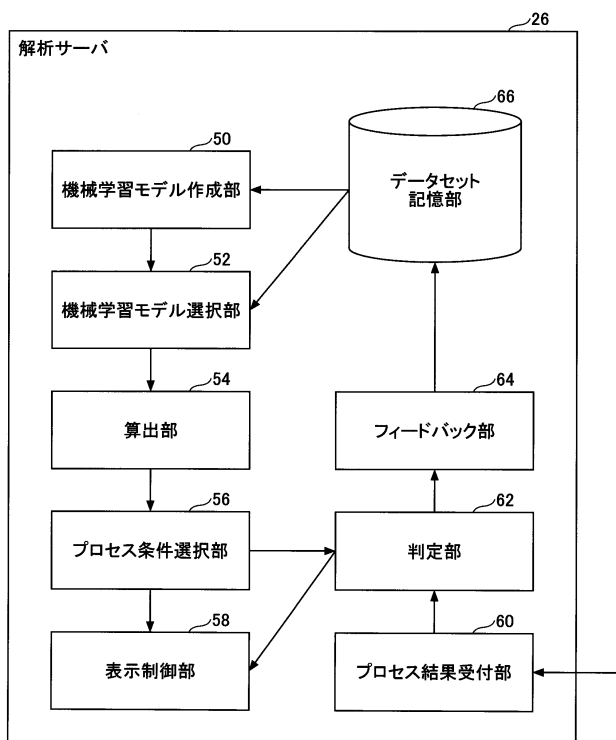
【 図 2 】



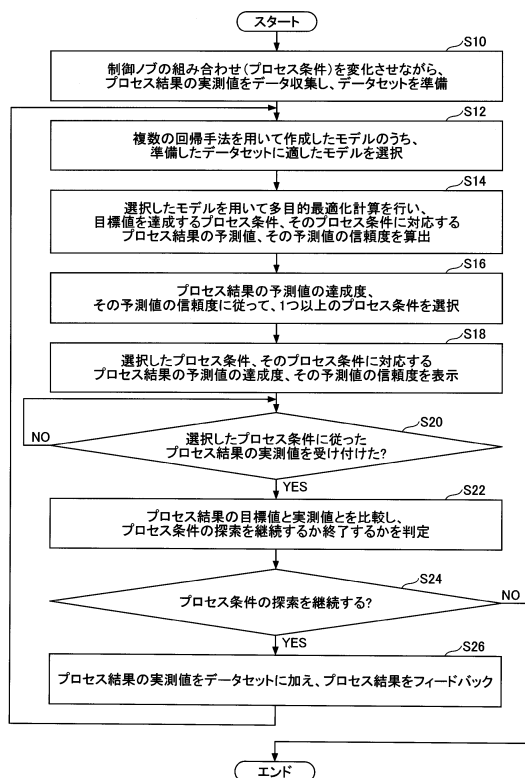
10

20

【 図 3 】



【 図 4 】

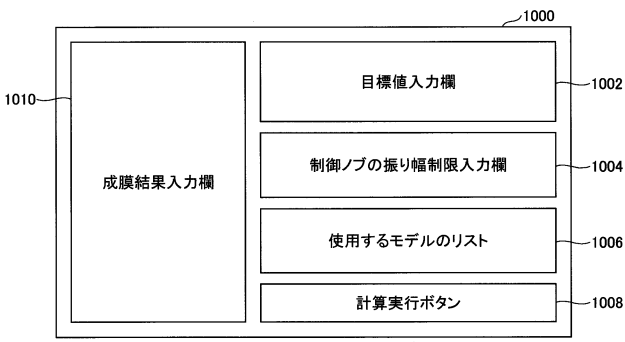


30

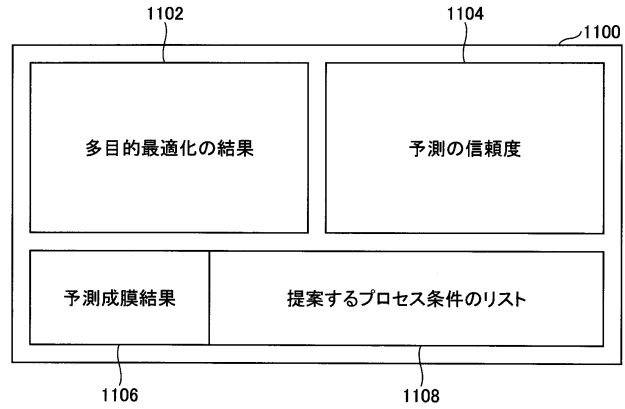
40

50

【 図 5 】

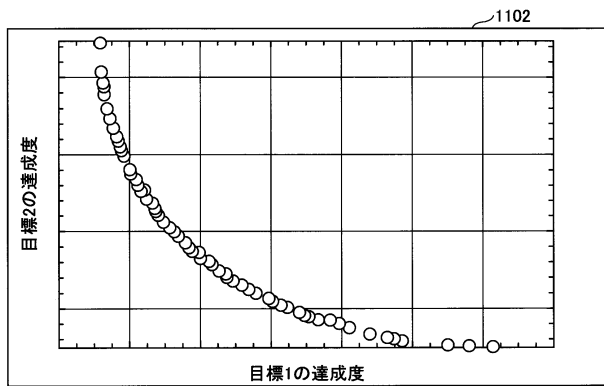


【 図 6 】

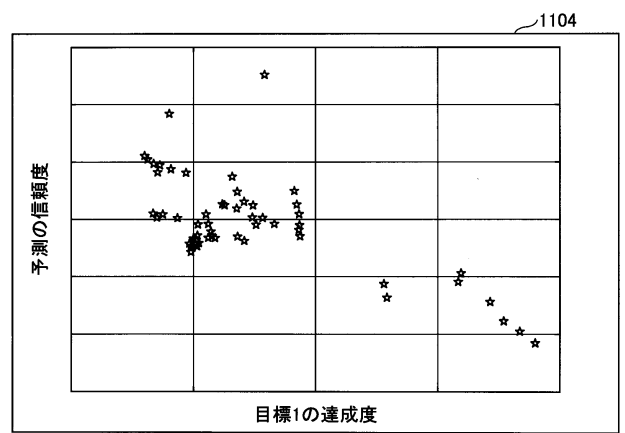


10

【 図 7 】



【 図 8 】



20

30

40

50

フロントページの続き

- (72)発明者 竹永 裕一
山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢 6 5 0 東京エレクトロン テクノロジーソリューションズ株式会社内
- (72)発明者 福元 敏之
山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢 6 5 0 東京エレクトロン テクノロジーソリューションズ株式会社内