

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7625133号  
(P7625133)

(45)発行日 令和7年1月31日(2025.1.31)

(24)登録日 令和7年1月23日(2025.1.23)

(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 3
G 0 5 B	23/02 (2006.01)	G 0 5 B	23/02	3 0 2 V
G 0 5 B	19/418 (2006.01)	G 0 5 B	19/418	Z

請求項の数 15 (全15頁)

(21)出願番号	特願2024-503336(P2024-503336)	(73)特許権者	501387839 株式会社日立ハイテク 東京都港区虎ノ門一丁目17番1号
(86)(22)出願日	令和5年2月21日(2023.2.21)	(74)代理人	110000350 ポレール弁理士法人
(86)国際出願番号	PCT/JP2023/006212	(72)発明者	森 靖英 日本国東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
(87)国際公開番号	WO2024/176347	(72)発明者	シャルマ パラシャント クマール 日本国東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
(87)国際公開日	令和6年8月29日(2024.8.29)	(72)発明者	濱本 真生 日本国東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
審査請求日	令和6年1月18日(2024.1.18)	(72)発明者	大森 健史

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 異常検出装置及び異常検出方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

処理装置により試料の処理を行わせて得られた処理結果の異常の有無を判定する異常検出装置であって、

前記処理装置の制御パラメータ値及び前記処理装置による処理中に前記処理装置内で生じる現象を観測して得られる観測パラメータ値を説明変数とし、前記処理装置による処理の評価値を目的変数とする処理結果予測モデルを用いて、前記処理装置による処理の評価値を予測する加工形状予測部と、

判定対象とする処理の評価値と、前記判定対象とする処理に用いた制御パラメータ値及び前記判定対象とする処理において観測された観測パラメータ値を前記処理結果予測モデルに入力することにより予測される前記判定対象とする処理の予測評価値との差異に基づき、前記処理装置による処理結果の異常を検出する第1の異常検出部とを有する異常検出装置。

【請求項2】

請求項1において、

前記判定対象とする処理について、前記予測評価値に対する説明変数ごとの貢献度を算出する予測説明部と、

前記予測説明部により算出された前記判定対象とする処理における説明変数の貢献度パターンに基づき、前記処理装置による処理結果の異常を検出する第2の異常検出部とを有する異常検出装置。

**【請求項 3】**

請求項 2 において、

前記第 1 の異常検出部の異常検出結果と前記第 2 の異常検出部の異常検出結果とを統合して、前記判定対象とする処理結果の異常の有無を判定する統合判定部を有する異常検出装置。

**【請求項 4】**

請求項 3 において、

前記処理結果予測モデルは、前記処理装置により試料の処理を行わせて得られた複数の実験結果に基づきトレーニングがなされており、

前記処理結果予測モデルの学習データとして用いる、前記実験での処理に用いた制御パラメータ値、前記実験での処理において観測された観測パラメータ値、及び前記実験での処理の評価値を格納するストレージ装置を有し、

前記第 1 の異常検出部は、前記判定対象とする処理の評価値と予測評価値との差異と、前記実験での処理の評価値と、前記実験での処理に用いた制御パラメータ値及び前記実験での処理において観測された観測パラメータ値を前記処理結果予測モデルに入力することにより予測される前記実験での処理の予測評価値との差異と、を比較することにより、前記処理装置による処理結果の異常を検出する異常検出装置。

**【請求項 5】**

請求項 4 において、

前記予測説明部は、前記実験での処理について、前記予測評価値に対する説明変数ごとの貢献度を算出し、前記予測説明部により算出された前記実験での処理における説明変数の貢献度パターンを前記ストレージ装置に格納し、

前記第 2 の異常検出部は、前記判定対象とする処理における説明変数の貢献度パターンと前記実験での処理における説明変数の貢献度パターンとを比較することにより、前記処理装置による処理結果の異常を検出する異常検出装置。

**【請求項 6】**

請求項 5 において、

前記加工形状予測部は、前記ストレージ装置に格納された前記学習データを用いて、前記処理結果予測モデルのトレーニングを行う異常検出装置。

**【請求項 7】**

請求項 6 において、

前記統合判定部が前記判定対象とする処理結果に異常なしと判定した場合に、前記加工形状予測部は、前記判定対象とする処理の評価値と、前記判定対象とする処理に用いた制御パラメータ値と前記判定対象とする処理において観測された観測パラメータ値とを用いて、前記処理結果予測モデルのトレーニングを行い、

前記統合判定部は、前記第 1 の異常検出部と前記第 2 の異常検出部とがともに異常を検出した場合に前記判定対象とする処理結果に異常ありと判定し、前記第 1 の異常検出部及び前記第 2 の異常検出部の少なくともいずれか一方が異常を検出しなかった場合に前記判定対象とする処理結果に異常なしと判定する異常検出装置。

**【請求項 8】**

請求項 7 において、

前記統合判定部が前記判定対象とする処理結果に異常ありと判定した場合に、前記第 2 の異常検出部によって異常が検出された観測パラメータ値について知識データと照合し、関連する知識を抽出する知識連結部を有する異常検出装置。

**【請求項 9】**

請求項 8 において、

前記第 1 の異常検出部及び前記第 2 の異常検出部の異常検出結果、前記統合判定部の判定結果及び前記知識連結部で抽出された知識を表示装置に表示する異常検出装置。

**【請求項 10】**

請求項 1 ~ 9 のいずれか一項において、

前記処理装置は、前記試料をエッチング加工するプラズマ処理装置であって、

前記処理装置による処理中に前記処理装置内で生じるプラズマの発光を観測して得られる所定の帯域における前記プラズマの発光強度を観測パラメータ値とし、前記エッチング加工による前記試料の加工寸法を前記処理装置による処理の評価値とする異常検出装置。

【請求項 1 1】

処理装置により試料の処理を行わせて得られた処理結果の異常の有無を判定する異常検出装置を用いた異常検出方法であって、

前記異常検出装置は、加工形状予測部と第 1 の異常検出部とを備え、

前記加工形状予測部は、前記処理装置の制御パラメータ値及び前記処理装置による処理中に前記処理装置内で生じる現象を観測して得られる観測パラメータ値を説明変数とし、前記処理装置による処理の評価値を目的変数とする処理結果予測モデルを用いて、前記処理装置による処理の評価値を予測し、

10

前記第 1 の異常検出部は、判定対象とする処理の評価値と、前記判定対象とする処理に用いた制御パラメータ値及び前記判定対象とする処理において観測された観測パラメータ値を前記処理結果予測モデルに入力することにより予測される前記判定対象とする処理の予測評価値との差異に基づき、前記処理装置による処理結果の異常を検出する異常検出方法。

【請求項 1 2】

請求項 1 1 において、

前記異常検出装置は、さらに予測説明部と第 2 の異常検出部とを備え、

20

前記予測説明部は、前記判定対象とする処理について、前記予測評価値に対する説明変数ごとの貢献度を算出し、

前記第 2 の異常検出部は、前記予測説明部により算出された前記判定対象とする処理における説明変数の貢献度パターンに基づき、前記処理装置による処理結果の異常を検出する異常検出方法。

【請求項 1 3】

請求項 1 2 において、

前記異常検出装置は、さらに統合判定部を備え、

前記統合判定部は、前記第 1 の異常検出部の異常検出結果と前記第 2 の異常検出部の異常検出結果とを統合して、前記判定対象とする処理結果の異常の有無を判定する異常検出方法。

30

【請求項 1 4】

請求項 1 3 において、

前記統合判定部が前記判定対象とする処理結果に異常なしと判定した場合に、前記加工形状予測部は、前記判定対象とする処理の評価値と、前記判定対象とする処理に用いた制御パラメータ値と前記判定対象とする処理において観測された観測パラメータ値とを用いて、前記処理結果予測モデルのトレーニングを行い、

前記統合判定部は、前記第 1 の異常検出部と前記第 2 の異常検出部とがともに異常を検出した場合に前記判定対象とする処理結果に異常ありと判定し、前記第 1 の異常検出部及び前記第 2 の異常検出部の少なくともいずれか一方が異常を検出しなかった場合に前記判定対象とする処理結果に異常なしと判定する異常検出方法。

40

【請求項 1 5】

請求項 1 1 ~ 1 4 のいずれか一項において、

前記処理装置は、前記試料をエッチング加工するプラズマ処理装置であって、

前記処理装置による処理中に前記処理装置内で生じるプラズマの発光を観測して得られる所定の帯域における前記プラズマの発光強度を観測パラメータ値とし、前記エッチング加工による前記試料の加工寸法を前記処理装置による処理の評価値とする異常検出方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

50

本発明は、異常検出装置及び異常検出方法に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体プロセスにおいて適正な処理条件により半導体試料を処理することで、望ましい半導体加工を実施できる。近年、デバイスを構成する新材料が導入されるとともにデバイス構造が複雑化しており、半導体処理装置の制御範囲が拡大され、多くの制御パラメータが追加されてきた。プロセスはマルチステップ化し、微細で複雑な加工が実現されるようになった。半導体処理装置を用いて高性能なデバイスを生産するためには、半導体試料の目標の加工形状を実現する適正な処理条件を導出するプロセス開発を行う必要がある。

【0003】

特許文献1には、半導体処理装置に与える加工条件と半導体処理装置による加工結果との関係を示す予測モデルを生成し、予測モデルを用いて、加工結果の目標値を出力する条件を推定することが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特開2019-40984号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献1に示されるような予測モデルを用いて、ある加工条件について推定される加工形状と半導体処理装置によって当該加工条件で実際に半導体試料に対して加工を行った加工形状とが乖離している場合がある。この場合、2通りの原因が考えられる。第1は予測モデルの精度が不十分である場合である。この場合は、学習データを追加し、予測モデルの精度向上を図る必要がある。第2は、半導体処理装置による処理工程に何らかの異常が発生しており、これにより所望の加工結果が得られない場合である。

【0006】

後者のような実験結果を含む学習データが予測モデルの学習(トレーニング)に用いられたとしても、イレギュラーな学習データは、最終的には例外的な事象として無視される方向に学習は進行すると考えられるため、問題はない。しかしながら、そのためにはより多くの学習データによって予測モデルの学習を行うことが必要になる。

【0007】

半導体処理装置による処理試験の繰り返しは、プロセス開発の費用、期間に大きな影響を及ぼす。このため、半導体処理装置において処理異常が生じている実験結果は学習データから排除することが望ましい。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の一実施態様である異常検出装置は、処理装置により試料の処理を行わせて得られた処理結果の異常の有無を判定する異常検出装置であって、処理装置の制御パラメータ値及び処理装置による処理中に処理装置内で生じる現象を観測して得られる観測パラメータ値を説明変数とし、処理装置による処理の評価値を目的変数とする処理結果予測モデルを用いて、処理装置による処理の評価値を予測する加工形状予測部と、判定対象とする処理の評価値と、判定対象とする処理に用いた制御パラメータ値及び判定対象とする処理において観測された観測パラメータ値を処理結果予測モデルに入力することにより予測される判定対象とする処理の予測評価値との差異に基づき、処理装置による処理結果の異常を検出する第1の異常検出部とを有する。

【発明の効果】

【0009】

処理装置の処理を予測する予測モデルを少ない学習データで学習(トレーニング)することを可能にする。その他の課題と新規な特徴は、本明細書の記述および添付図面から明

10

20

30

40

50

らかになるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1A】異常検出システムのシステム構成図である。

【図1B】異常検出装置のハードウェア構成図である。

【図1C】ストレージ装置に格納されるデータ及びプログラムを示す図である。

【図2A】学習（トレーニング）工程における異常検出装置の機能ブロック図である。

【図2B】異常検出工程における異常検出装置の機能ブロック図である。

【図3】加工レシピデータのデータ構造例である。

【図4】観測データのデータ構造例である。

10

【図5】実験結果データのデータ構造例である。

【図6】予測結果データのデータ構造例である。

【図7】通常貢献度データのデータ構造例である。

【図8】異常検出の全体フローチャートである。

【図9】検証データの形状異常スコア算出フローである。

【図10】検証データの貢献度異常スコア算出フローである。

【図11】知識データのデータ構造例である。

【図12】GUIの例である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

20

以下、本発明の好ましい実施形態について図面を参照して説明する。

【0012】

図1Aに異常検出システムのシステム構成図を示す。以下では、本システムを半導体または半導体を含む半導体デバイスのプロセス開発に用いる例に即して説明する。プロセス開発では、半導体試料を処理する半導体処理装置について、目標、例えば所望の加工形状を実現する適正な処理条件を導出する。

【0013】

処理装置2は、半導体試料を処理する装置である。処理装置2の処理の内容は限定されない。例えば、リソグラフィ装置、成膜装置、パターン加工装置、イオン注入装置、洗浄装置を含む。リソグラフィ装置には、露光装置、電子線描画装置、X線描画装置を含む。成膜装置には、CVD（Chemical Vapor Deposition）、PVD（Physical Vapor Deposition）、蒸着装置、スパッタリング装置、熱酸化装置を含む。パターン加工装置には、ウェットエッチング装置、ドライエッチング装置、電子ビーム加工装置、レーザ加工装置を含む。イオン注入装置には、プラズマドーピング装置、イオンビームドーピング装置を含む。洗浄装置には、液体洗浄装置、超音波洗浄装置を含む。

30

【0014】

以下では、処理装置2として、半導体試料のエッチング加工を行うプラズマ処理装置を例に説明する。プラズマ処理装置では、リアクタ2a内で高周波の交番電磁場を処理ガスに作用させてプラズマを生成し、試料3のエッチング加工を行う。リアクタ2a内におけるエッチング処理は、制御部2bに設定される加工レシピにしたがって制御される。

40

【0015】

評価装置5は、処理装置2が試料3に行った処理を評価する装置である。例えば、電子顕微鏡を用いた加工寸法計測装置であって、処理装置2による試料3の加工寸法を計測する。

【0016】

観測装置4は、処理装置2による試料3の加工中に、リアクタ2a内で生じている現象を観測する装置である。観測する現象は限定されず、処理装置2の処理中に試料3に作用する現象に応じて適宜選択することができる。ここでは、観測装置4として、リアクタ2a内でのプラズマの発光を観測する分光光度計を用いる例を説明する。

【0017】

50

処理装置 2 の制御部 2 b は加工レシピデータにしたがって、試料 3 の処理（ここでは、エッチング処理）を行う。観測装置 4 は、処理装置 2 の処理期間において、リアクタ 2 a 内のプラズマの発光状態を観測し、観測データを取得する。処理装置 2 による処理終了後、評価装置 5 は、試料 3 の加工寸法を計測し、実験結果データを取得する。加工レシピデータと、取得された観測データ及び実験結果データとは、異常検出装置 1 からアクセス可能とされ、処理装置による処理結果を予測する処理結果予測モデルの作成や後述する処理結果の異常の検出や判定に用いられる。

【 0 0 1 8 】

ユーザは端末 7 からネットワーク 6 を介して、あるいは異常検出装置 1 の入出力装置から直接、異常検出装置 1 にアクセスし、異常検出処理を実行する。

10

【 0 0 1 9 】

図 1 B に異常検出装置 1 のハードウェア構成を示す。異常検出装置 1 は情報処理装置（計算機）であって、次のような構成を有する。異常検出装置 1 はプロセッサ（CPU）1 1、メモリ 1 2、ストレージ装置 1 3、入力装置 1 4、出力装置 1 5、通信装置 1 6 を備え、これらがバス 1 7 により結合されている。キーボードやポインティングデバイスである入力装置 1 4 と出力装置 1 5 であるディスプレイとにより、GUI（Graphical User Interface）が実装され、ユーザは GUI を介してインタラクティブに装置を利用することができる。通信装置 1 6 はネットワーク 6 と接続するためのインタフェースである。ネットワーク 6 を介して、装置の実装する GUI を端末 7 に表示させることも可能である。

【 0 0 2 0 】

20

ストレージ装置 1 3 は通常、HDD（Hard Disk Drive）やSSD（Solid State Drive）などで構成され、異常検出装置 1 が実行するプログラムやプログラムが処理対象とするデータ、あるいはプログラムが処理した結果のデータを記憶する。メモリ 1 2 はRAM（Random Access Memory）で構成され、プロセッサ 1 1 の命令により、プログラムやプログラムの実行に必要なデータ等を一時的に記憶する。プロセッサ 1 1 は、ストレージ装置 1 3 からメモリ 1 2 にロードしたプログラムを実行することによって、所定の機能を提供する機能部（機能ブロック）として機能する。

【 0 0 2 1 】

なお、異常検出装置 1 は、1 台の情報処理装置で実現する必要はなく、複数台の情報処理装置で実現してもよい。また、異常検出装置 1 の一部、あるいはすべての機能をクラウド上のアプリケーションとして実現してもよい。

30

【 0 0 2 2 】

図 1 C にストレージ装置 1 3 に格納されるデータ及びプログラムを示す。詳細はいずれも後述するが、データとして加工レシピデータ 2 1、観測データ 2 2、実験結果データ 2 3、予測結果データ 2 4、通常貢献度データ 2 5、知識データ 2 6 を含み、プログラムとして加工形状予測プログラム 3 1、予測説明プログラム 3 2、形状異常検出プログラム 3 3、貢献度異常検出プログラム 3 4、統合判定プログラム 3 5、知識連結プログラム 3 6 を含む。

【 0 0 2 3 】

図 8 に異常検出装置 1 が実施する異常検出の全体フローを示す。ステップ S 0 1 ~ S 0 3 は処理結果予測モデルの学習（トレーニング）工程である。なお、本実施例では、処理装置による処理をプラズマ処理装置によるエッチング加工を例として説明するため、以下では、処理結果予測モデルを例にあわせて加工形状予測モデルと呼ぶ。本工程においては、正常ケースデータを用いて加工形状予測モデルの生成及び通常貢献度の算出がなされる。ここで、貢献度とは、加工形状予測モデルにおける、予測結果（目的変数）に対する各説明変数の寄与の大きさをいう。また、ステップ S 0 4 ~ S 0 7 は処理装置による処理結果の異常検出工程である。本工程においては、任意の加工レシピにしたがって得られた加工結果の異常判定を行う。以下、それぞれの工程について説明する。

40

【 0 0 2 4 】

（ 1 ）学習（トレーニング）工程

50

全体フロー（図8参照）のステップS01～S03の処理について説明する。本工程における異常検出装置1の機能ブロック図を図2Aに示す。加工形状予測部41はプロセッサ11が加工形状予測プログラム31を実行することによって機能する機能部であり、予測説明部42はプロセッサ11が予測説明プログラム32を実行することによって機能する機能部である。

【0025】

異常検出装置1は、加工レシピデータ21、観測データ22、実験結果データ23を読み込む（S01）。なお、学習工程で使用するデータは、処理装置2による試料の加工が正常に行われたケースについてのデータとする。ここで、試料の加工が正常であるとは、後述する実験結果データとして取得する評価値が、処理後の試料から取得できることをいうものとする。本実施例の場合、評価値は試料の加工寸法である。

10

【0026】

図3に加工レシピデータ21のデータ構造例を示す。実験番号は処理装置2の処理（実験）を一意に特定する番号であり、特徴量名は処理装置2の制御パラメータ、値は当該実験において当該制御パラメータに設定する値である。

【0027】

図4に観測データ22のデータ構造例を示す。実験番号は加工レシピデータ21と共通の番号が使用される。特徴量名は当該実験番号の実験中に観測装置4によって取得した観測データの観測パラメータ、値は当該実験において観測された当該観測パラメータの値である。本実施例では、観測パラメータ値が、処理装置2内で発生したプラズマの所定の帯域における発光強度である例を示している。

20

【0028】

図5に実験結果データ23のデータ構造例を示す。実験番号は加工レシピデータ21と共通の番号が使用される。実験結果は当該実験番号の実験によって得られた加工結果について評価装置5によって取得した評価値を示している。ここでは、評価値として、処理装置2によって処理された試料3の形状パラメータの値とし、具体的には加工深さとする例を示している。

【0029】

続いて、加工形状予測部41は、読み込んだ加工レシピデータ21、観測データ22、実験結果データ23により加工形状予測モデルの学習（トレーニング）を行う（S02）。ステップS02で学習を行う加工形状予測モデルは、目的変数を実験結果データ23として取得された形状パラメータ値、説明変数を加工レシピデータ21として取得された制御パラメータ値及び観測データ22として取得された観測パラメータ値とするモデルである。読み込んだ正常ケースデータを学習データとして、加工形状予測部41は教師あり学習を実行する。本ステップの加工形状予測モデルは、その説明変数として観測パラメータ値を含むことにより、実験中における処理装置2の処理状態を目的変数の推論に反映させることが可能になる。

30

【0030】

さらに、学習済みの加工形状予測モデルに加工レシピデータ21、観測データ22の値を入力し、予測結果データ24を得る。図6に予測結果データ24のデータ構造例を示す。実験番号は加工レシピデータ21と共通の番号が使用される。特徴量名には、加工レシピデータ21の制御パラメータ及び観測データ22の観測パラメータを含み、値には、当該実験における加工レシピデータ21の制御パラメータ値及び観測データ22の観測パラメータ値が示される。予測結果は当該実験番号の制御パラメータ値と観測パラメータ値とを学習済みの加工形状予測モデルに代入して得られた形状パラメータ値が登録される。加工形状予測モデルが算出する形状パラメータ値は、実験結果データ23において定義された評価値の予測値（予測評価値）であり、この例では、加工深さである。

40

【0031】

続いて、学習済みの加工形状予測モデルにおける各説明変数の貢献度を算出する（S03）。予測説明部42は、学習済みの加工形状予測モデルがどのような根拠でその予測を

50

行ったかを解釈する。AIモデルである加工形状予測モデルは中身がブラックボックスであるため、そのままでは予測が得られた理由が分からない。このため、AIモデルがどのような根拠でその予測を行ったかを解釈するXAI(Explainable AI)技術を活用し、予測説明部42は、予測結果(目的変数)に対する各説明変数の寄与を示す貢献度を算出し、通常貢献度データ25として蓄積する。正常ケースデータにおける説明変数の貢献度であるところから、通常貢献度と称している。このような算出を行うツールとしてはSHAP(Shapley Additive explanations)といったものが知られている。図7に通常貢献度データ25のデータ構造例を示す。実験番号は加工レシピデータ21と共通の番号が使用される。特徴量名には、加工形状予測モデルの説明変数である制御パラメータ及び観測パラメータを含み、貢献度には、当該実験における予測結果(予測結果データ24)に対する各説明変数の貢献度が登録される。

10

#### 【0032】

なお、加工形状予測モデルに対して、例えば追加学習を行うなどしてモデルが更新された場合には、予測説明部42により算出される通常貢献度データ25の値も変更されることになる。このため、加工形状予測部41により加工形状予測モデルが更新される場合には、予測説明部42は再度各実験における説明変数の貢献度を算出し直し、通常貢献度データ25を更新する。

#### 【0033】

##### (2) 処理結果の異常検出工程

全体フロー(図8参照)のステップS04~S07の処理について説明する。本工程における異常検出装置1の機能ブロック図を図2Bに示す。形状異常検出部43はプロセッサ11が形状異常検出プログラム33を実行することによって機能する機能部であり、貢献度異常検出部44はプロセッサ11が貢献度異常検出プログラム34を実行することによって機能する機能部であり、統合判定部45はプロセッサ11が統合判定プログラム35を実行することによって機能する機能部であり、知識連結部46はプロセッサ11が知識連結プログラム36を実行することによって機能する機能部である。

20

#### 【0034】

形状異常検出部43は、検証データの形状異常スコアを算出する(S04)。ステップS04の詳細を図9に示す。

#### 【0035】

異常検出装置1は、検証データである加工レシピデータ51、観測データ52、実験結果データ53を読み込む(S11)。これらは、加工レシピデータ21(図3参照)、観測データ22(図4参照)、実験結果データ23(図5参照)の一実験分のデータに相当する。

30

#### 【0036】

続いて、加工形状予測部41は、読み込んだ加工レシピデータ51及び観測データ52を、学習済みの加工形状予測モデルに入力し、予測結果データ54を得る(S12)。予測結果データ54は、予測結果データ24(図6参照)の一実験分のデータに相当する。

#### 【0037】

続いて、形状異常検出部43は実験結果データ53と予測結果データ54との差異を算出し(S13)、差異の度合いから形状異常スコアを算出する(S14)。形状異常スコアの算出方法は限定しないが、例えば、実験結果データ53と予測結果データ54との差異が大きくなるほど、形状異常スコアが大きくなるように定義する。

40

#### 【0038】

再度、全体フロー(図8)の説明に戻る。続いて、貢献度異常検出部44は、検証データの貢献度異常スコアを算出する(S05)。ステップS05の詳細を図10に示す。

#### 【0039】

まず、予測説明部42は、学習済みの加工形状予測モデルにおける各説明変数の貢献度を算出し、貢献度データ55を得る(S21)。貢献度データ55は、通常貢献度データ25(図7参照)の一実験分のデータに相当する。

50

## 【 0 0 4 0 】

続いて、貢献度異常検出部 4 4 は通常貢献度データ 2 5 に格納されている正常ケースデータの貢献度データと貢献度データ 5 5 とを比較し ( S 2 2 )、通常貢献度データパターンと貢献度データパターンとの差異の度合いから貢献度異常スコアを算出する ( S 2 3 )。貢献度異常スコアの算出方法は限定しないが、例えば、通常貢献度データ 2 5 に格納されている正常ケースデータの貢献度データパターンと貢献度データ 5 5 のパターンとの差異が大きくなるほど、貢献度異常スコアが大きくなるように定義する。

## 【 0 0 4 1 】

再度、全体フロー ( 図 8 ) の説明に戻る。続いて、統合判定部 4 5 は、形状異常スコアと貢献度異常スコアとを統合して異常判定を行う ( S 0 6 )。例えば、統合判定部 4 5 では、形状異常スコアと貢献度異常スコアとの組み合わせで以下のように判断する。形状異常スコアは正常、貢献度異常スコアは正常と判断される場合には、処理結果は正常と判断する。形状異常スコアは正常、貢献度異常スコアは異常と判断される場合には、処理結果は正常と判断する。これは、処理装置による加工が正しく行われているため、新しい貢献度パターンが見いだされたものと判断するものである。形状異常スコアは異常、貢献度異常スコアは正常と判断される場合には、処理結果は正常と判断する。これは、貢献度パターンはこれまでの学習データと同様であるにもかかわらず、処理装置による加工が期待通りに行われていないため、予測モデルの精度が不十分であると判断するものである。形状異常スコアは異常、貢献度異常スコアは異常と判断される場合には、処理結果は異常と判断する。これは、処理装置の異常が形状異常及び貢献度異常をもたらした可能性が高いためである。

## 【 0 0 4 2 】

統合判定部 4 5 で正常と判定された実験結果は例えば、新たな学習データとして加工形状予測モデルの更新に用いることができる。一方、統合判定部 4 5 が異常と判断した実験結果については、知識連結部 4 6 は、知識データに基づく情報を提示してもよい ( S 0 7 )。図 1 1 に知識データ 2 6 のデータ構造例を示す。知識の内容は任意であるが、観測データ 2 2 の観測パラメータに関連する知識であるとする。図 1 1 の例は、所定帯域のプラズマ発光が観測された場合に候補となる原因物質名を格納している。

## 【 0 0 4 3 】

例えば、図 1 1 の例では、発光スペクトル 270 ~ 300nm の帯域の観測データについて貢献度異常が判定された場合に、候補物質とされる SiCl<sub>4</sub>、Si 等が関係している可能性があることをユーザに提示する。これにより、ユーザは処理装置において生じた異常の原因を検討することが容易になる。

## 【 0 0 4 4 】

形状異常検出部 4 3 及び貢献度異常検出部 4 4 の異常検出結果、統合判定部 4 5 の判定結果、及び知識連結部 4 6 が抽出した知識は提示情報 5 6 として G U I に表示される。

## 【 0 0 4 5 】

図 1 2 に図 8 の処理を実行する G U I の例を示す。プロジェクト指定部 6 1 は例えば、処理装置 2 の処理条件を決定するための加工形状予測モデルの作成を指定するプロジェクト名称が指定される。加工レシピデータ 2 1、観測データ 2 2、実験結果データ 2 3 は、プロジェクト名称にリンクされている。データ指定部 6 2 は、正常ケースデータ I D ( データ I D は実験番号に相当する ) と検証データ I D ( データ I D は実験番号に相当する ) を指定する。例えば、本プロジェクトでは、最初に暫定的な加工形状予測モデルを作成し、その後、暫定的な加工形状予測モデルに基づき実験結果の正常 / 異常を判定し、学習データとして採用するかどうかを判定し、正常と判定された学習データにより暫定的な加工形状予測モデルを更新する。これにより、より少ない学習データで精度の高い加工形状予測モデルの生成を可能とする。この例では、加工レシピデータ 2 1、観測データ 2 2、実験結果データ 2 3 の実験番号 1 ~ 5 0 を暫定的な加工形状予測モデルの生成に用い、実験番号 5 1 を学習データとして追加するかについて判定対象とする例を示している。

## 【 0 0 4 6 】

形状異常スコア表示部 6 3 にはステップ S 0 4 ( 図 8 参照 ) の処理結果、貢献度異常スコア表示部 6 4 にはステップ S 0 5 の処理結果、統合判定表示部 6 5 にはステップ S 0 6 の処理結果、知識表示部 6 6 にはステップ S 0 7 で抽出された知識が表示される。

【 0 0 4 7 】

形状異常スコア表示部 6 3、貢献度異常スコア表示部 6 4 では正常ケースと検証データそれぞれの異常スコア値と閾値とを表示している。閾値はユーザが設定してもよいし、統計的に自動設定してもよい。例えば、閾値を正常ケース、すなわち加工形状予測モデルの学習データにおける異常スコアの平均値に分散の 2 倍を加えた値として定義することができる。閾値は加工形状予測モデルの精度向上に応じて、値を変更するようにしてもよい。

【 0 0 4 8 】

知識表示部 6 6 には、観測データの貢献度のうち、異常値が検出された観測パラメータ ( ここでは発光スペクトルの波長 ) を識別可能に表示するとともに、ステップ S 0 7 で抽出した知識を表示している。

【 0 0 4 9 】

以上、本実施例として、開示の技術を加工形状予測モデルの作成工程に適用する例を説明したが、これに限られない。例えば、加工形状予測モデルの学習が完了した後に、本モデルに基づき条件設定を行った半導体試料の量産加工において、処理装置による処理異常が発生していないかについて貢献度異常スコアを算出することで、モニタすることも可能である。

【 0 0 5 0 】

また、説明した実施例の実施態様として、半導体処理装置を含むラインを運用管理するアプリケーションをプラットフォーム上で実行する半導体装置製造システムが考えられる。半導体処理装置は、ネットワークを介してプラットフォームに接続され、プラットフォームからの制御を受ける。この場合、異常検出装置 1 をプラットフォーム上のアプリケーションとして、処理を実行させることにより、半導体装置製造システムにおいて、本実施例を実施することが可能になる。

【 符号の説明 】

【 0 0 5 1 】

1 : 異常検出装置、 2 : 処理装置、 2 a : リアクタ、 2 b : 制御部、 3 : 試料、 4 : 観測装置、 5 : 評価装置、 6 : ネットワーク、 7 : 端末、 1 1 : プロセッサ ( C P U )、 1 2 : メモリ、 1 3 : ストレージ装置、 1 4 : 入力装置、 1 5 : 出力装置、 1 6 : 通信装置、 1 7 : バス、 2 1 : 加工レシピデータ、 2 2 : 観測データ、 2 3 : 実験結果データ、 2 4 : 予測結果データ、 2 5 : 通常貢献度データ、 2 6 : 知識データ、 3 1 : 加工形状予測プログラム、 3 2 : 予測説明プログラム、 3 3 : 形状異常検出プログラム、 3 4 : 貢献度異常検出プログラム、 3 5 : 統合判定プログラム、 3 6 : 知識連結プログラム、 4 1 : 加工形状予測部、 4 2 : 予測説明部、 4 3 : 形状異常検出部、 4 4 : 貢献度異常検出部、 4 5 : 統合判定部、 4 6 : 知識連結部、 5 1 : 加工レシピデータ、 5 2 : 観測データ、 5 3 : 実験結果データ、 5 4 : 予測結果データ、 5 5 : 貢献度データ、 5 6 : 提示情報、 6 1 : プロジェクト指定部、 6 2 : データ指定部、 6 3 : 形状異常スコア表示部、 6 4 : 貢献度異常スコア表示部、 6 5 : 統合判定表示部、 6 6 : 知識表示部。

10

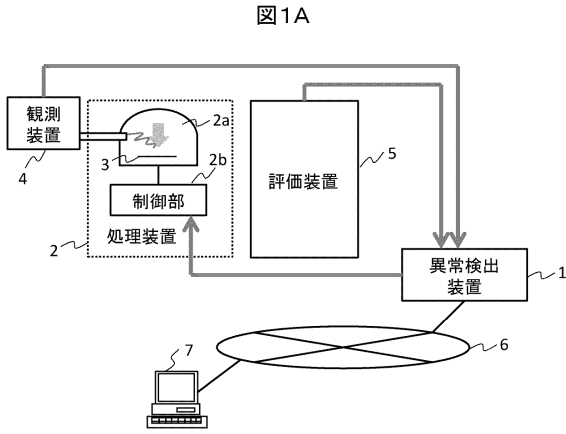
20

30

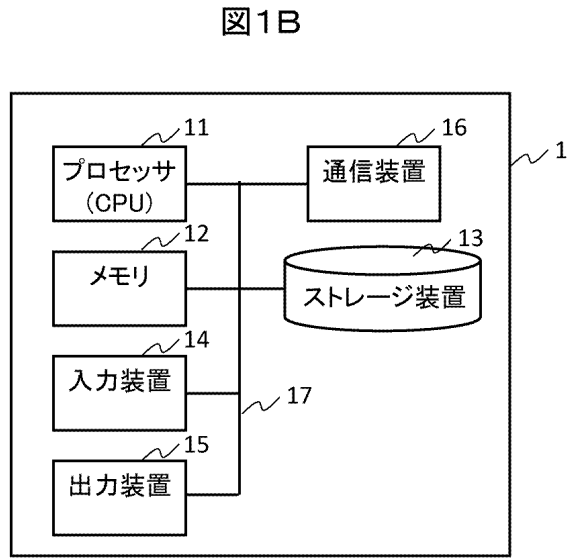
40

【図面】

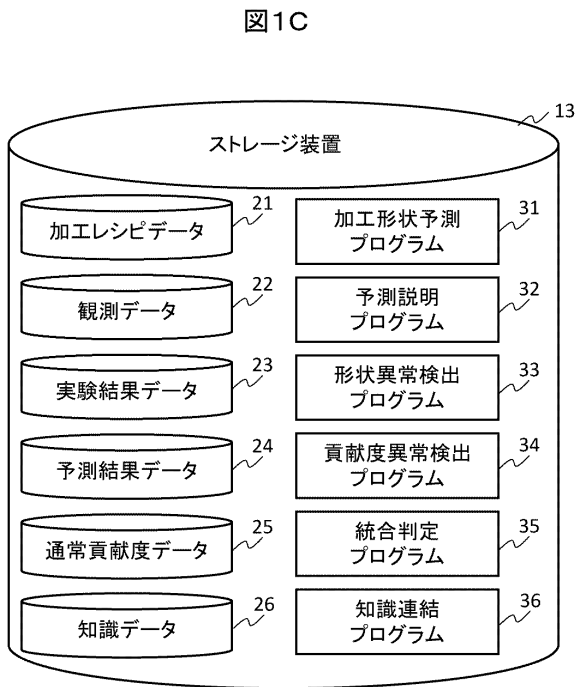
【図 1 A】



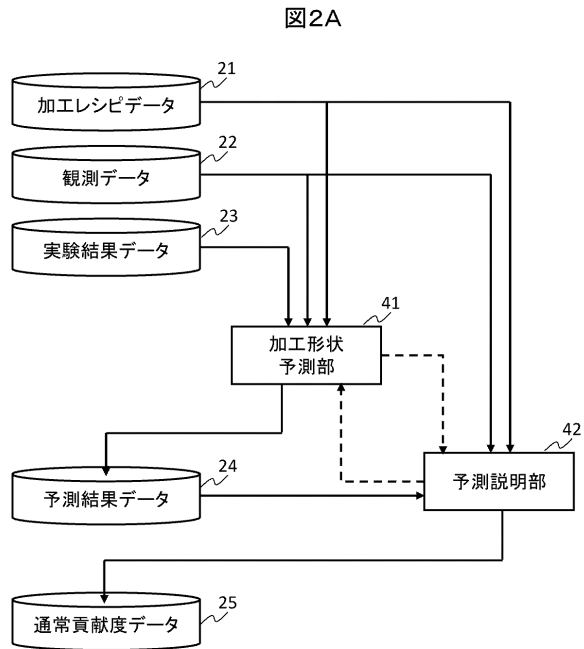
【図 1 B】



【図 1 C】



【図 2 A】



10

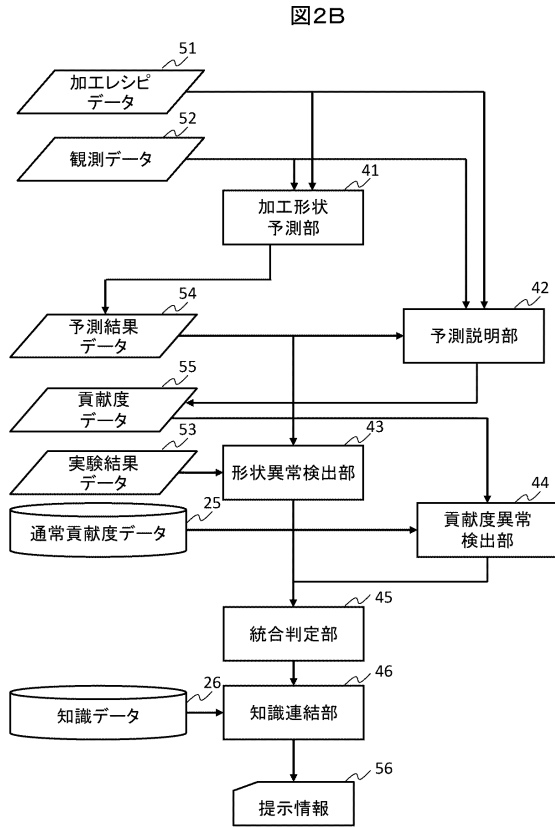
20

30

40

50

【図2B】



【図3】

図3

21

実験番号	特微量名	値
1	Source Power(W)	750
	...	...
	SF6(sccm)	60
2	...	...
...		
51	...	...

10

20

【図4】

図4

22

実験番号	特微量名 (発光スペクトル帯域)(nm)	値
1	200-300	100.0
	...	...
	700-800	70.0
2	...	...
...		
51	...	...

【図5】

図5

23

実験番号	実験結果 (depth, nm)
1	12.0
2	22.0
...	
51	12.0

30

40

50

【 図 6 】

図6

24

実験番号	特微量名	値	予測結果 (depth, nm)
1	Source Power(W)	750	10.0
	...	...	
	SF6(sccm)	60	
	200nn-300nm	100.0	
	...	...	
	700-800	70.0	
2	...	...	20.0
...			
51	...	...	12.0

【 図 7 】

図7

25

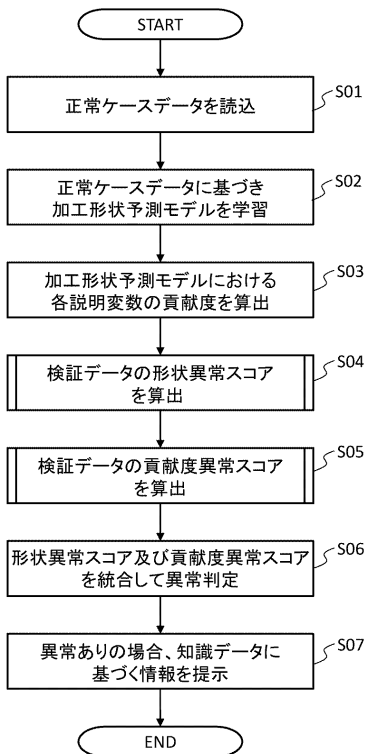
実験番号	特微量名	貢献度
1	Source Power(W)	0.5
	...	...
	SF6(sccm)	-0.2
	200nn-300nm	-0.25
	...	...
	700-800	-0.75
2	...	...
...		
51	...	...

10

20

【 図 8 】

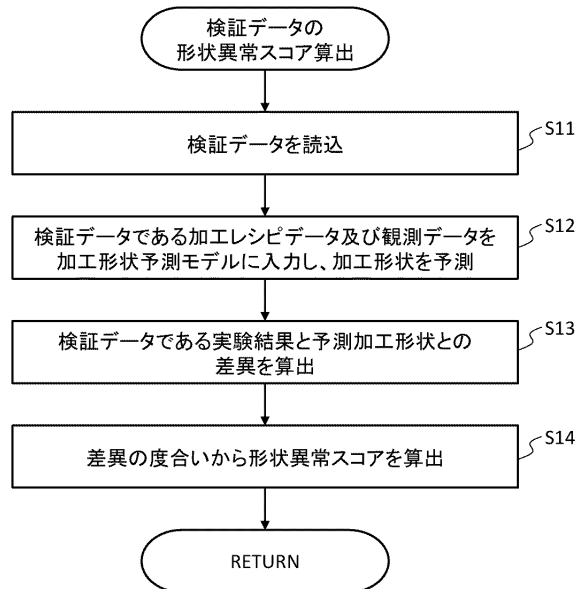
図8



【 図 9 】

図9

S04



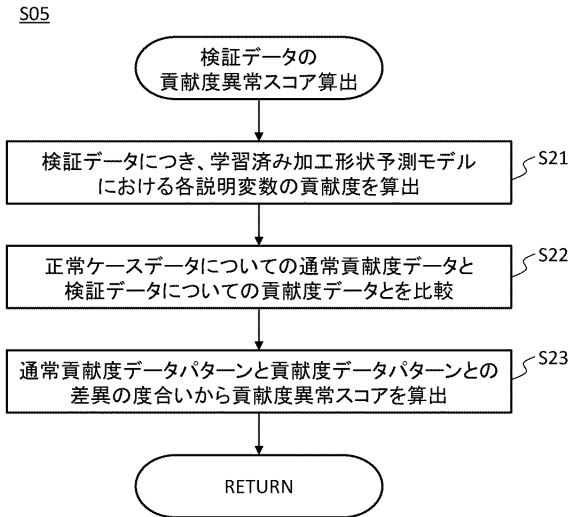
30

40

50

【図 1 0】

図10



【図 1 1】

図11

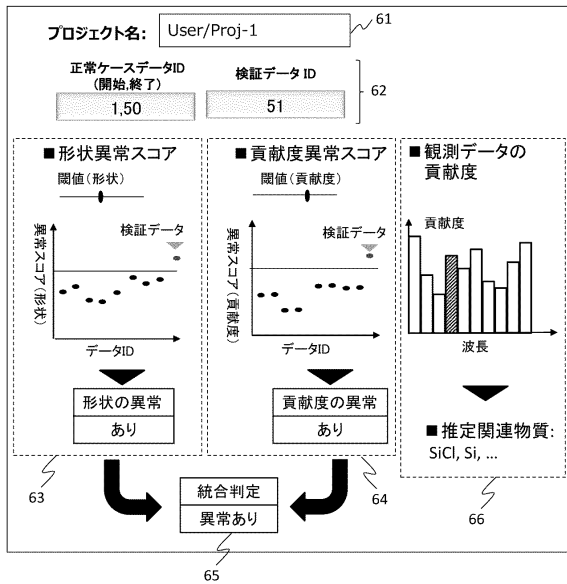
26

観測スペクトル(nm)	候補物質名
270-300	SiCl, Si, ...
...	...
800-830	Br, Cl, ...

10

【図 1 2】

図12



20

30

40

50

## フロントページの続き

日本国東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内

審査官 安田 雅彦

- (56)参考文献 特開2021-002295(JP,A)  
特開2021-086571(JP,A)  
特開2009-054843(JP,A)  
特開2005-051269(JP,A)  
特開2023-010604(JP,A)  
特開2020-181959(JP,A)

- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

H01L 21/02 - 21/48  
H01L 21/66  
G05B 23/00 - 23/02  
G05B 19/418  
G06N 20/00