(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第6990634号
(P6990634)

(45)発行日　令和4年2月3日(2022.2.3)

(24)登録日　令和3年12月8日(2021.12.8)

(51)国際特許分類

		FI		
H01L	*21/3065(2006.01)*	H01L	21/302	103
H05H	*1/46 (2006.01)*	H01L	21/302	101D
		H05H	1/46	C

請求項の数　7　（全16頁）

(21)出願番号　特願2018-154589(P2018-154589)
(22)出願日　平成30年8月21日(2018.8.21)
(65)公開番号　特開2020-31096(P2020-31096A)
(43)公開日　令和2年2月27日(2020.2.27)
審査請求日　令和2年7月29日(2020.7.29)

(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
(74)代理人　110000350
ポレール特許業務法人
(72)発明者　石黒 正貴
東京都港区西新橋一丁目２４番１４号
株式会社日立ハイテクノロジーズ内
(72)発明者　角屋 誠浩
東京都港区西新橋一丁目２４番１４号
株式会社日立ハイテクノロジーズ内
審査官　佐藤 靖史

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　状態予測装置及び半導体製造装置

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
プラズマ処理装置の状態を予測する状態予測装置において、
正常な状態の前記プラズマ処理装置のモニタされたデータから前記プラズマ処理装置の状態を示す第一の特徴量が求められ、
前記プラズマ処理装置のモニタされたデータから前記プラズマ処理装置の状態を示す第二の特徴量が求められ、
前記求められた第二の特徴量が前記第一の特徴量を用いて標準化され、
前記標準化された第二の特徴量の大きいものから順番に選択された特徴量と同一の種類の前記第一の特徴量を用いて前記プラズマ処理装置の状態を予測するモデルが生成され、
前記生成されたモデルを用いて前記プラズマ処理装置の状態が予測され、
前記標準化された第二の特徴量の値は、前記第二の特徴量における、前記プラズマ処理装置の正常な状態からの外れ具合を表す値であることを特徴とする状態予測装置。
【請求項２】
請求項１に記載の状態予測装置において、
前記生成されたモデルは、前記プラズマ処理装置の状態を予測する毎に更新されることを特徴とする状態予測装置。
【請求項３】
請求項１に記載の状態予測装置において、
前記標準化された第二の特徴量の各々は、複数のプラズマ処理における前記第一の特徴量

の各々の平均値を前記第二の特徴量の各々から減じた値の各々を前記複数のプラズマ処理における前記第一の特徴量の各々の標準偏差により除した値の各々であることを特徴とする状態予測装置。

【請求項４】

試料が処理される処理室と、前記試料を前記処理室に搬送し前記処理室に接続された搬送室とを備える半導体製造装置において、

備える各構成のいずれかにおける正常な状態時にモニタされたデータから前記備える各構成のいずれかの状態を示す第一の特徴量が求められ、

前記備える各構成のいずれかにおけるモニタされたデータから前記いずれかの状態を示す第二の特徴量が求められ、

前記求められた第二の特徴量が前記第一の特徴量を用いて標準化され、

前記標準化された第二の特徴量の大きいものから順番に選択された特徴量と同一の種類の前記第一の特徴量を用いて前記備える各構成のいずれかの状態を予測するモデルが生成され、

前記生成されたモデルを用いて前記備える各構成のいずれかの状態が予測される制御装置をさらに備え、

前記標準化された第二の特徴量の値は、前記第二の特徴量における、前記備える各構成の正常な状態からの外れ具合を表す値であることを特徴とする半導体製造装置。

【請求項５】

試料が処理される処理室と、前記試料を前記処理室に搬送し前記処理室に接続された搬送室とを備える半導体製造装置において、

備える各構成のいずれかにおける正常な状態時にモニタされたデータから前記備える各構成のいずれかの状態を示す第一の特徴量が求められ、

前記備える各構成のいずれかにおけるモニタされたデータから前記いずれかの状態を示す第二の特徴量が求められ、

前記求められた第二の特徴量が前記第一の特徴量を用いて標準化され、

前記標準化された第二の特徴量の大きいものから順番に選択された特徴量と同一の種類の前記第一の特徴量を用いて前記備える各構成のいずれかの状態を予測するモデルが生成され、

前記生成されたモデルを用いて前記備える各構成のいずれかの状態が予測される状態予測装置をさらに備え、

前記標準化された第二の特徴量の値は、前記第二の特徴量における、前記備える各構成の正常な状態からの外れ具合を表す値であることを特徴とする半導体製造装置。

【請求項６】

請求項４または請求項５に記載の半導体製造装置において、

前記備える各構成のいずれかは、前記処理室または前記搬送室であることを特徴とする半導体製造装置。

【請求項７】

請求項６に記載の半導体製造装置において、

前記標準化された第二の特徴量の各々は、複数の処理における前記第一の特徴量の各々の平均値を前記第二の特徴量の各々から減じた値の各々を前記複数の処理における前記第一の特徴量の各々の標準偏差により除した値の各々であることを特徴とする半導体製造装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、状態予測装置及びそれを用いた半導体製造装置に係り、特に状態予測装置を用いた異常検出機能を備えたプラズマ処理装置に関する。

【背景技術】

【０００２】

昨今の製造業においては、製造装置より得られるデータを有効活用し、生産性を向上させ

る取り組みが注目されている。
【０００３】
例えば、半導体製造装置であるプラズマ処理装置においては、一つの製造装置に数十を超えるデータ取得のためのセンサが備え付けられていることも珍しくなく、それら多数のセンサから得られたデータは装置異常の早期検出等に用いられ、生産性の向上に大きな役割を果たしている。
【０００４】
通常データ処理ではセンサによる計測から得られた時系列信号をそのまま使用する訳ではなく、その信号の特徴を良く表す統計量等を使用することが多い。信号の特徴を表すための量は、一般的に特徴量やフィーチャと呼ばれる。
【０００５】
例えば、時系列信号の平均値、標準偏差値などは特徴量の一つである。
時系列信号から特徴量を抽出することにより、データ量をある程度圧縮することが可能になるが、抽出した特徴量が少なすぎる場合には、データが持っている重要な情報が失われる可能性があり、特徴量の抽出の段階では出来る限り多くの特徴量が抽出されることが望ましい。
【０００６】
抽出された多数の特徴量の中から、重要な情報を取り出す手法としてしばしば用いられる方法に主成分分析がある。
【０００７】
特許文献１においては処理システムの不良検出方法として、
複数の観測に対して、前記処理システムから複数のデータ変数を有するデータを取得することと、
主成分分析を使用して、前記複数の観測に対して、前記データの１つ以上の主成分を決定することと、
前記主成分分析の間、前記複数のデータ変数の少なくとも１つに重み付けをすることと、
前記１つ以上の主成分上への前記追加でデータの射影から算出された１つ以上のスコアから少なくとも１つの統計量を決定することと、
前記少なくとも１つの統計量に対して、コントロールリミットを決定することと、
前記少なくとも１つの統計量を前記コントロールリミットと比較することを具備する方法が開示されている。
【０００８】
そこで、主成分分析を実施する前に特徴量をある程度絞り込む方法がある。
非特許文献１においては、主成分負荷の値を基準として重要な特徴量の絞り込みを行う手法が開示されている。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００９】
【文献】特表２００７－５０２０２６号公報
【非特許文献】
【００１０】
【文献】I. T. Jolliffe, “ Discarding Variables in a Principal Component Analysis I,” Journal of the Royal Statistics Society Series C, vol. 21, no. 2, pp. 160-173, 1972.,
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【００１１】
特許文献１に記載されているような主成分分析は、多数の特徴量から重要な情報を抽出する際に有効な手段であるが、特徴量の数が非常に多い場合には、計算に要する時間が長くなる。また、不要な特徴量を大量に含むような場合には、それらの特徴量は解析における

ノイズとして働き、装置異常検出の信頼性を損なう恐れがある。
【００１２】
一方、非特許文献１に記載されているような、主成分分析など、異常検出に係る解析の実施前に特徴量の絞り込みを行うことは、計算時間を短縮することには効果的であるが、一方で、異常検出を行う上で重要な情報を含む特徴量を排除してしまう可能性がある。非特許文献１に記載の特徴量の選択方法は、重要な特徴量の排除により異常検出の信頼性を大きく損ねる可能性が発明者による解析により示された。
【００１３】
また、先に述べたように、特徴量数が多すぎる場合には、計算時間が長くなるばかりか、意味のない特徴量が異常検出を行う上でのノイズとして働き、異常検出の信頼性を損ねる可能性がある。
【００１４】
本発明は、上記した従来技術の課題を解決して、プラズマ処理装置の異常検出を行う上で重要な特徴量を排除することなく、解析に使用される特徴量の数を減らし、短い計算時間で信頼性の高い異常検出を可能とする異常検出機能を備えた状態予測装置及びそれを用いたプラズマ処理装置を提供するものである。
【課題を解決するための手段】
【００１５】
上記した課題を解決するために、本発明では、プラズマ処理装置の状態を予測する状態予測装置において、正常な状態の前記プラズマ処理装置のモニタされたデータから前記プラズマ処理装置の状態を示す第一の特徴量が求められ、前記プラズマ処理装置のモニタされたデータから前記プラズマ処理装置の状態を示す第二の特徴量が求められ、前記求められた第二の特徴量が前記第一の特徴量を用いて演算され、前記演算された第二の特徴量の大きいものから順番に選択された特徴量と同一の種類の前記第一の特徴量を用いて前記プラズマ処理装置の状態を予測するモデルが生成され、前記生成されたモデルを用いて前記プラズマ処理装置の状態が予測されることを特徴とする。
【００１６】
また、本発明は、試料が処理される処理室と、前記試料を前記処理室に搬送し前記処理室に接続された搬送室とを備える半導体製造装置において、備える各構成のいずれかにおける正常な状態時にモニタされたデータから前記備える各構成のいずれかの状態を示す第一の特徴量が求められ、前記備える各構成のいずれかにおけるモニタされたデータから前記いずれかの状態を示す第二の特徴量が求められ、前記求められた第二の特徴量が前記第一の特徴量を用いて演算され、前記演算された第二の特徴量の大きいものから順番に選択された特徴量と同一の種類の前記第一の特徴量を用いて前記備える各構成のいずれかの状態を予測するモデルが生成され前記生成されたモデルを用いて前記備える各構成のいずれかの状態が予測される制御装置をさらに備えることを特徴とする。
【００１７】
さらに本発明は、試料が処理される処理室と、前記試料を前記処理室に搬送し前記処理室に接続された搬送室とを備える半導体製造装置において、備える各構成のいずれかにおける正常な状態時にモニタされたデータから前記備える各構成のいずれかの状態を示す第一の特徴量が求められ、前記備える各構成のいずれかにおけるモニタされたデータから前記いずれかの状態を示す第二の特徴量が求められ、前記求められた第二の特徴量が前記第一の特徴量を用いて演算され、前記演算された第二の特徴量の大きいものから順番に選択された特徴量と同一の種類の前記第一の特徴量を用いて前記備える各構成のいずれかの状態を予測するモデルが生成され前記生成されたモデルを用いて前記備える各構成のいずれかの状態が予測される状態予測装置をさらに備えることを特徴とする。
【発明の効果】
【００１８】
本発明のうち代表的な実施の形態によれば、プラズマ処理装置において異常検出を行う上で重要な特徴量を排除することなく、解析に使用される特徴量の数を減らし、短い計算時

間で信頼性の高い異常検出を可能とする異常検出機能を備えたプラズマ処理装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【００１９】

【図１】本発明の実施例１に係るプラズマ処理装置の要部断面の構成を示す断面図である。

【図２】本発明の実施例１に係るプラズマ処理装置の異常検出ユニットの構成を示すブロック図である。

【図３】本発明の実施例１に係るプラズマ処理装置における異常検出における処理の流れを示すフローチャート図である。

【図４Ａ】本発明の実施例１の異常検出ユニットを用いた異常検出方法との比較例を示すグラフで、全ての特徴量を使用してＴ^{2}値を算出した場合の処理ウェハ枚数とＴ^{2}値との関係を示すグラフである。

【図４Ｂ】本発明の実施例１の異常検出ユニットを用いた異常検出方法との比較例を示すグラフで、非特許文献１に記載されている方法を使用してＴ^{2}値を算出した場合の処理ウェハ枚数とＴ^{2}値との関係を示すグラフである。

【図４Ｃ】本発明の実施例１の異常検出ユニットを用いて異常検出を実施した結果を示すグラフで、本発明の実施例１に記載した方法を使用してＴ^{2}値を算出した場合の処理ウェハ枚数とＴ^{2}値との関係を示すグラフである。

【図４Ｄ】本発明の実施例１の異常検出ユニットを用いて異常検出を実施した結果と従来手法を用いて異常検出を行なった結果の計算所要時間を比較するグラフである。

【図５】本発明の実施例２に係るプラズマ処理装置の異常検出ユニットの構成を示すブロック図である。

【図６】本発明の実施例２に係るプラズマ処理装置における異常検出における処理の流れを示すフローチャート図である。

【発明を実施するための形態】

【００２０】

本発明は、処理室の内部にプラズマを発生させて処理室内で試料を処理するプラズマ処理装置を、処理室で試料を処理しているときのプラズマ処理装置の装置状態をモニタするセンサと、プラズマ処理装置の装置状態をモニタしたセンサからの時系列データを用いて装置状態の異常を検出する異常検出ユニットとを備えて構成し、異常検出ユニットは、プラズマ処理装置が正常な装置状態におけるセンサからの時系列データからプラズマ処理装置の正常な装置状態を示す特徴量を抽出してこの抽出した特徴量を用いてプラズマ処理装置の正常な装置状態を規定するモデルを作成する学習機能部と、センサにより新規に取得されたセンサ信号からプラズマ処理装置の新規な装置状態を示す特徴量を抽出して新規な装置状態を示す特徴量と学習機能部により作成されたモデルとを比較して新規な装置状態の異常を検出する異常検出機能部とを備えて構成したものである。

【００２１】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。本実施の形態を説明するための全図において同一機能を有するものは同一の符号を付すようにし、その繰り返しの説明は原則として省略する。

【００２２】

ただし、本発明は以下に示す実施の形態の記載内容に限定して解釈されるものではない。本発明の思想ないし趣旨から逸脱しない範囲で、その具体的構成を変更し得ることは当業者であれば容易に理解される。

【実施例１】

【００２３】

図１から図３を用いて、本発明の実施例１の解析手法を説明する。なお、本実施例では異常検出手段をプラズマ処理装置に適用した場合について記載する。

【００２４】

図１は，実施例１の異常検出ユニットを含むプラズマ処理装置１００の要部断面の構成を

示す。図１には、プラズマ処理装置として，電子サイクロトロン共鳴（Ｅｌｅｃｔｒｏｎ Ｃｙｃｌｏｔｒｏｎ Ｒｅｓｏｎａｎｃｅ：ＥＣＲ）型エッチング装置を用いた場合について示している。以下，電子サイクロトロン共鳴をＥＣＲと記載する。

【００２５】

図１のＥＣＲ型エッチング装置であるプラズマ処理装置１００は，真空処理室である処理室１０１にゲートバルブ１３１を介して搬送室１３０が接続されている。試料となる半導体基板であるウェハ１０３は、ゲートバルブ１３１が開いた状態で、図示していない真空排気手段により内部が真空に排気されている搬送室１３０から、図示していない搬送手段により開口部１３２を通して図示していない真空排気手段により内部が真空に排気されている真空処理室である処理室１０１の内部に搬入され、試料の載置台である試料台１０２上に載置される。ウェハ１０３が試料台１０２上に載置されて図示していない搬送手段が搬送室１３０に退避した後にゲートバルブ１３１を閉じた状態で、以下に説明するように処理室１０１の内部にプラズマを発生させる。

【００２６】

プラズマ処理装置１００は，図示していないガス供給手段で処理室１０１の内部に処理ガスを導入しながら図示していない排気手段で処理室１０１の内部を排気することにより、処理室１０１の内部を所望の圧力（真空度）に調整した状態で、後述するプラズマを発生させる機構を用いて処理室１０１の内部にプラズマ発生後，試料台１０２の内部に設置された高周波電極１０４に，高周波電源１０５から電力を供給する。

【００２７】

当該電力の供給により，ウェハ１０３の表面には，自己バイアスと呼ばれる負の電位が発生する。この負の電位によってプラズマ中からイオンをウェハ１０３に引き込むことにより，いわゆる反応性イオンエッチングが起こり，エッチング処理が進行する

プラズマ処理装置１００は，プラズマを発生させる機構として，マイクロ波電源１０６，マイクロ波発振源１０７およびソレノイドコイル１０８を備える。マイクロ波電源１０６からの高周波電力によりマイクロ波発振源１０７で発生させたマイクロ波は，導波管１０９を介して処理室１０１に導入される。

【００２８】

処理室１０１に導入されたマイクロ波は，ソレノイドコイル１０８で発生させた磁場中でＥＣＲによって電子にエネルギーを与える。その電子が，図示しないガス供給源から供給されたガスを電離させることによって，プラズマを発生させる。

【００２９】

上記プラズマ処理を行う間，ウェハ１０３の裏面には，当該ウェハ１０３の温度の調整のための冷却ガスが供給される。裏面に供給された冷却ガスによりウェハ１０３の位置がずれてしまうのを防ぐために，ウェハ１０３は，内側の静電吸着電極１１０，外側の静電吸着電極１１１によって，試料台１０２上に吸着される。

【００３０】

内側の静電吸着電極１１０，外側の静電吸着電極１１１は，同心円状に，一方の電極である内側の静電吸着電極１１０が内側，他方の電極である外側の静電吸着電極１１１が外側に配置されている。内側の静電吸着電極１１０，外側の静電吸着電極１１１には，それぞれ，独立した電源である可変直流電源１１３，１１４が接続される。内側の静電吸着電極１１０には，内側の可変直流電源１１３が接続され，外側の静電吸着電極１１１には，外側の可変直流電源１１４が接続される。

【００３１】

前記のようにプラズマ処理装置１００には様々な機器、電源等が搭載されており、それぞれの機器、電源等にはその内部もしくは外部に、図示していない状態把握のためのセンサが多数搭載されている。それらのセンサからの信号はデータ保存部１１５に保存される。

【００３２】

図１に示した例では、マイクロ波発振源１０７に取り付けた電圧モニタ用センサ１１８からの信号、及び処理室１０１の内部の圧力を検出する圧力センサ１１９からの信号がデー

タ保存部１１５に保存される構成を示している。また処理中に得られた各時系列データからは特徴量抽出部１１６により各種特徴量が抽出される。この各種特徴量は異常検出ユニット１１７に送られ、異常検出のためのデータ解析に使用される。

【００３３】

データ保存部１１５と特徴量抽出部１１６と異常検出ユニット１１７とで、装置状態異常検出部１２０を構成する。

【００３４】

図２に、本実施例に係る装置状態異常検出部１２０の異常検出ユニット１１７の構成をブロック図で示す。本実施例に係る異常検出ユニット１１７は、データ取得部１１７１、演算部１１７２、特徴量ランキング作成部１１７３、特徴量選択部１１７４、装置健康度計算部１１７５、装置健康度閾値計算部１１７６、比較部１１７７、出力部１１７８を備え、特徴量抽出部１１６で抽出した各種特徴量の情報を用いて異常検出を行い、その結果を、出力部１１７８から外部に出力する。

【００３５】

図３は、図２の異常検出ユニット１１７にて実行される異常検出工程のフローチャートである。

【００３６】

異常検出の第１工程（Ｓ３０１）において、データ取得部１１７１において、特徴量抽出部１１６で抽出した正常なエッチング装置状態の場合のデータのみからなるデータ群を、複数のサンプルについて取得する。この取得した複数のサンプルのデータ群をトレーニングデータと記載する。

【００３７】

異常検出の第２工程（Ｓ３０２）において、Ｓ３０１でデータ取得部１１７１により取得したトレーニングデータを元に、演算部１１７２において、正常な装置状態における各特徴量の全サンプルの平均値と標準偏差値とを計算する。

【００３８】

異常検出の第３工程（Ｓ３０３）において、演算部１１７２で、Ｓ３０１で取得したトレーニングデータ中のそれぞれのサンプルの各特徴量の値から、Ｓ３０２において計算されたトレーニングデータにおける各特徴量の全サンプルの平均値を差し引く（減算処理）。さらに演算部１１７２は、この減算処理により得られた値を、Ｓ３０２において計算されたトレーニングデータにおける各特徴量の全サンプルの標準偏差値で除算する（標準化処理）。

【００３９】

第３工程（Ｓ３０３）における演算部１１７２の処理は、一般に標準化と呼ばれる処理で、以下の式で表される。

【００４０】

【数１】

$$V_{std} = \frac{V - M_{tr}}{S_{tr}} \qquad \cdots(数１)$$

【００４１】

ここでV_{std}は標準化後のある特徴量の値、Vは標準化前のある特徴量の値、M_{tr}は正常な装置状態における、ある特徴量の全サンプルの平均、S_{tr}は正常な装置状態における、ある特徴量の全サンプルの標準偏差である。

【００４２】

異常検出の第４工程（Ｓ３０４）において、データ取得部１１７１において、異常を検出したいある処理のデータを取得する。なおこの処理のサンプル数は１（単サンプル）である。異常を検出したい処理におけるデータをテスティングデータと記載する。

【００４３】

異常検出の第５工程（Ｓ３０５）において、データ取得部１１７１で取得した異常検出をしたい処理のデータの標準化処理（テスティングデータ標準化）を、演算部１１７２で実施する。標準化処理の方法は、Ｓ３０３で説明した方法と同じである。すなわち、（数１）において、V_{std}を標準化後のテスティングデータの値、Ｖを標準化前のテスティングデータの値とし、M_{tr}はＳ３０２で求めた正常な装置状態におけるある特徴量の全サンプルの平均、S_{tr}はＳ３０２で求めた正常な装置状態におけるある特徴量の全サンプルの標準偏差である。

【００４４】

テスティングデータの標準化された値の意味を以下に示す。標準化された値は、テスティングデータの正常な装置状態からの外れ具合を示す指標となる。従って、この値が大きいほど、その特徴量は通常の状態から外れた状態になっており、逆にこの値が小さい場合、その特徴量は通常の状態にあるとみなすことができる。異常検出においては、通常とは異なる状態にある特徴量に注目すべきであり、この標準化された値は特徴量選択のための指標として使用することができる。

【００４５】

異常検出の第６工程（Ｓ３０６）において、特徴量ランキング作成部１１７３で、第５工程（Ｓ３０５）において演算部１１７２により求められた標準化した値の大きい順に特徴量のランキングを作成する。

【００４６】

異常検出の第７工程（Ｓ３０７）において、特徴量選択部１１７４で、予め決められた数の特徴量が第６工程（Ｓ３０６）にて特徴量ランキング作成部１１７３で作成されたランキングの高い順に選択される。例えば、１０個の特徴量を選択する場合、ランキング１位から１０位までの特徴量が選択される。

【００４７】

異常検出の第８工程（Ｓ３０８）において、装置健康度計算部１１７５で、データ取得部１１７１において取得した正常な装置状態におけるデータ群から、第７工程（Ｓ３０７）において特徴量選択部１１７４で選択した特徴量のみを抽出し、異常検出を行なうモデルを作成する。なお本実施例では異常検出を行なうためのモデルの作成手法として、主成分分析（ＰＣＡ）およびそれに伴うHotteling’s T^2値について記載する。

【００４８】

Hotteling’s T^2は装置の異常状態を示す指標となる値で、以下の式で表される。

【００４９】

【数２】

$$T^2 = xP\Lambda^{-1}P^Tx^T \qquad \cdots(数２)$$

【００５０】

ここでT^2は各サンプルのHotteling’s T^2値からなるm個の成分を持つベクトルである。mはサンプル数である。xは正常な状態における選択されたmxn特徴量行列である。nは選択された特徴量数である。Pはnxo主成分負荷行列、Λは主成分分析における固有値のoxo対角行列である。oは選択された主成分数である。このHotteling’s T^2値を以下ではプラズマ処理装置１００の装置健康度と記載する。

【００５１】

異常検出の第９工程（Ｓ３０９）において、装置健康度閾値計算部１１７６で、第８工程（Ｓ３０８）にて装置健康度計算部１１７５で求められた装置健康度をもとに、異常を検出するための装置健康度の閾値を決定する。

【００５２】

異常検出の第１０工程（Ｓ３１０）において、特徴量選択部１１７４でテスティングデータから選択された特徴量と、第８工程（Ｓ３０８）において装置健康度計算部１１７５で求められた主成分モデルを用いて、装置健康度計算部１１７５で、テスティングデータの

装置健康度が計算される。

【００５３】

異常検出の第１１工程（Ｓ３１１）において、装置健康度計算部１１７５で異常検出の第１０工程（Ｓ３１０）において計算されたテスティングデータにおける装置健康度（テスティング健康度）と第９工程（Ｓ３０９）にて装置健康度閾値計算部１１７６で求められた装置健康度閾値とを、比較部１１７７において比較する。

【００５４】

比較部１１７７で比較した結果、このテスティングデータにおける装置健康度（テスティング健康度）が第９工程（Ｓ３０９）にて装置健康度閾値計算部１１７６で求められた閾値よりも大きければ（Ｓ３１１でＹＥＳの場合）、その処理は異常であると判断され、出力部１１７８から異常に関する情報が出力される（Ｓ３１２）。比較部１１７７で装置異常があると判断され、出力部１１７８から異常に関する情報が出力された場合には、装置ユーザーによって装置の稼動を停止してメンテナンスを行なうなど装置異常に対する対策をとることが出来る。その結果、異常な状態で半導体の製造が続けられることを防止し、ウエハスクラップの低減によるコストメリットが期待できる。

【００５５】

第１１工程（Ｓ３１１）において、比較部１１７７で異常がないと判断された場合には（Ｓ３１１でＮＯの場合）、次のウエハによる半導体製造が継続され、異常検出ユニット１１７の動作は、データ取得部１１７１による異常検出の第４工程（Ｓ３０４）に戻る。

【００５６】

上記の一連の工程では、ウエハ処理一枚一枚ごとにプラズマ処理装置１００の異常検出のためのモデルの再作成が行われる。通常の異常検出ではモデルの作成は、トレーニングデータを取得し終えた後、一度のみ行なわれるのが一般的である。しかし、本手法では、Ｓ２０４で新たなテスティングデータを得る毎に、テスティングデータに含まれる情報を含めた形でモデルの再作成（Ｓ３０８、Ｓ３０９）が行われる。

【００５７】

このことにより、テスティングデータ取得時（Ｓ３０４）にトレーニングデータ取得時（Ｓ３０１）に予期できなかった異常が起こった場合でも、その異常の効果を解析モデルに含める形で異常検出が実施できる。

【００５８】

本発明では繰り返しモデルが作成されることになるため、モデルの再作成のための計算時間が必要となる。しかし、特徴量数が極めて多い場合には、多数の特徴量でモデルを作成するのに多大な時間を要する。一方、本発明では特徴量の数を減らすことにより、一回ごとのモデル作成に要する時間はきわめて短くなっている。そのため、場合によっては、全特徴量を使用して一回だけモデルを作成する場合よりも、選択された一部の特徴量を用いて、ウエハ一枚ごとにモデルを再作成する場合のほうが、計算時間が短くなる場合がある。

【００５９】

図４Ａ乃至図４Ｄには、1,４００サンプル（ウェハ）の連続処理を行った場合の、装置健康度を示すＴ^{2}値を、各手法で計算した場合の結果を示す。

【００６０】

図４Ａには、装置健康度を示すＴ^{2}値を、すべての特徴量を使用して異常検出を行なった場合の処理ウェハ枚数とＴ^{2}値：４０１との関係を示す。図中、４１１は、異常検出のための基準となる閾置を示している。

【００６１】

また、図４Ｂには、非特許文献１に記載の方法にて特徴量選択を行い異常検出を実施した場合の処理ウェハ枚数とＴ^{2}値：４０２との関係を示す。図中、４１２は、異常検出のための基準となる閾置を示している。

【００６２】

更に、図４Ｃには、本実施例記載の異常検出ユニット１１７によって異常検出を行った場合の処理ウェハ枚数とＴ^{2}値：４０３との関係を示す。図中、４１３は、異常検出のため

の基準となる閾置を示している。
【００６３】
また、図４Ｄには、各処理ウェハごとに装置健康度を示すＴ２値の計算に要した時間を、図４Ａに対応する全ての特徴量を使用して異常検出を行なった場合と、図４Ｂに対応する非特許文献１に記載の方法にて特徴量選択を行い異常検出を実施した場合と、図４Ｃに対応する本実施例記載の異常検出ユニット１１７によって異常検出を行った場合の三種類の場合に関して示す。
【００６４】
図４Ａに示すように、全ての特徴量を使用した場合、６００番目のサンプル以降で、閾値４１１を超える異常が頻繁に検出されている。この解析に要した計算時間は１３.９ｓと比較的長い。図４Ｂに示した非特許文献１に記載の方法にて特徴量選択を行った場合、計算時間は１.６０ｓ程度と短いが、１,０００サンプルすべてに渡り、閾値４１２を超える異常はあまり検出されておらず、全特徴量を使用した際に検出できた異常の大半の部分を見過ごしているとの結果となった。
【００６５】
これに対して、図４Ｃに示すように、本実施例記載の方法により特徴量選択を行った場合、１００番目のサンプル以降で閾値４１３を超える異常を検出できており、かつ、図４Ｄに示すように、計算に要する時間も０.９７２ｓと全サンプルを用いた場合と比較し、非常に短い時間で異常検出を実施することができた。
【００６６】
上記のように本実施例における異常検出ユニット１１７を用いることによって、半導体製造中におきるプラズマ処理装置１００の異常を感度良く、短い解析時間で検出することができる。
【００６７】
なお、上記した実施例では、処理室１０１の内部の異常検出を行う例について説明したが、本実施例はこれに限定されるものではなく、搬送室１３０や、図示していない真空排気手段及びガス供給手段について、それらの各手段に設けたセンサからの出力信号を受けて各手段の異常検出を行う場合についても適用することができる。つまり、本実施例に係る発明は、プラズマ処理装置が備える各構成のいずれかの状態を予測するものである。ここで、「プラズマ処理装置が備える各構成」とは、例えば、「処理室１０１」、「搬送室」等のことである。
【実施例２】
【００６８】
実施例２においては、装置健康度を計算するための負荷を実施例１の場合と比べてさらに軽減する方法について、実施例１と異なる構成の部分について説明する。
【００６９】
本実施例における装置構成は、実施例１で図１を用いて説明したプラズマ処理装置１００の構成に対して、装置状態異常検出部２２０の異常検出ユニット２１７以外は同じであるので、異常検出ユニット２１７以外の説明を省略する。
【００７０】
図５は、本実施例に係る装置状態異常検出部２２０の異常検出ユニット２１７の構成を示すブロック図である。本実施例に係る異常検出ユニット２１７は、データ取得部２１７１、演算部２１７２、特徴量ランキング作成部２１７３、特徴量選択部２１７４、装置健康度計算部２１７５、装置健康度閾値計算部２１７６、再標準化部２１７７、比較部２１７８、出力部２１７９を備え、特徴量抽出部１１６で抽出した各種特徴量の情報を用いて異常検出を行い、その結果を、出力部２１７９から外部に出力する。
【００７１】
図６は、図５の異常検出ユニット２１７で本実施例にて実行される異常検出工程のフローチャートである。
【００７２】

異常検出の第１工程（Ｓ６０１）において、データ取得部２１７１において、特徴量抽出部１１６で抽出した正常なエッチング装置状態の場合のデータのみからなるデータ群を、複数のサンプルについてトレーニングデータ群を取得する。

【００７３】

異常検出の第２工程（Ｓ６０２）において、Ｓ６０１でデータ取得部２１７１により取得したトレーニングデータを元に、演算部２１７２において、正常な装置状態における各特徴量の全サンプルの平均値と標準偏差値とを計算する。

【００７４】

異常検出の第３工程（Ｓ６０３）において、演算部２１７２で、Ｓ６０１で取得したトレーニングデータ中のそれぞれのサンプルの各特徴量の値から、Ｓ６０２において計算されたトレーニングデータにおける各特徴量の全サンプルの平均値を差し引く（減算処理）。さらに演算部２１７２は、この減算処理により得られた値を、Ｓ６０２において計算されたトレーニングデータにおける各特徴量の全サンプルの標準偏差値で除算してトレーニングデータの標準化処理を行う。このトレーニングデータの標準化処理は、実施例１で説明したＳ３０３におけるトレーニングデータの標準化処理と同じ処理を行う。

【００７５】

異常検出の第４工程（Ｓ６０４）において、特徴量ランキング作成部２１７３において、第３工程（Ｓ６０３）にて演算部２１７２で標準化されたトレーニングデータにおいて、標準化後の値の大きい順に特徴量のランキングを作成し、特徴量選択部２１７４において、特徴量ランキング作成部２１７３で作成したランキングのうち予め決められた数の特徴量をランキングの高い順に選択する。例えば、１０個の特徴量を選択する場合、ランキング１位から１０位までの特徴量が選択される。この選択が全てのサンプルに渡って実施される。

【００７６】

ここで、新たに選択された特徴量（新特徴量）による新特徴量行列が作成されるが、この新特徴量行列の列ベクトルは様々な特徴量の値が混合したベクトルとなる。今後は、この様々な特徴量が混合したそれぞれの列ベクトルが、それぞれの特徴量と見なされる。

【００７７】

異常検出の第５工程（Ｓ６０５）において、演算部２１７２は、第４工程（Ｓ６０４）で得られた新特徴量行列を基に、各特徴量の平均値と標準偏差値とを計算する。

【００７８】

異常検出の第６工程（Ｓ６０６）において、演算部２１７２は、第４工程（Ｓ６０４）で特徴量選択部２１７４により作成された新特徴量行列を、第５工程（Ｓ６０５）で演算部２１７２により得られた平均値と標準偏差を用いて標準化する。

【００７９】

異常検出の第７工程（Ｓ６０７）において、は、第６工程（Ｓ６０６）により作成された標準化した特徴量行列を使用して主成分分析を実施し、それに伴う装置健康度を装置健康度計算部２１７５で計算し、装置健康度の閾値を装置健康度閾値計算部２１７６で計算する。装置健康度計算部２１７５における装置健康度の計算方法は、実施例１のＳ３０８の工程で説明した方法と同じであるので、詳細な説明を省略する。

【００８０】

異常検出の第８工程（Ｓ６０８）において、データ取得部２１７１は、特徴量抽出部１１６から、テスティングデータの取得を行なう。なお、このテスティングデータは単サンプルでの取得とする。

【００８１】

異常検出の第９工程（Ｓ６０９）において、演算部２１７２は、第８工程（Ｓ６０８）でデータ取得部２１７１により取得したテスティングデータを、第２工程（Ｓ６０２）にて求められた平均値と標準偏差を用いて標準化する。

【００８２】

異常検出の第１０工程（Ｓ６１０）において、特徴量ランキング作成部２１７３は、第９

工程（Ｓ６０９）において演算部２１７２により求められた標準化したテスティングデータにおいて、標準化後の値の大きい順に特徴量のランキングを作成し、特徴量選択部２１７４において、特徴量ランキング作成部２１７３で作成したランキングのうち予め決められた数の特徴量をランキングの高い順に選択する。

【００８３】

異常検出の第１１工程（Ｓ６１１）において、再標準化部２１７７は、第１０工程（Ｓ６１０）にて並び替えられた各々の特徴量を、第５工程（Ｓ６０５）で得られた平均値と標準偏差を用いて再標準化する。

【００８４】

異常検出の第１２工程（Ｓ６１２）において、装置健康度計算部２１７５は、第１１工程（Ｓ６１１）にて得られた再標準化した特徴量と、第７工程（Ｓ６０７）において求められた主成分モデルを用いて、再標準化されたテスティングデータによる装置健康度を計算する。

【００８５】

異常検出の第１３工程（Ｓ６１３）において、比較部２１７８は、第１２工程（Ｓ６１２）で装置健康度計算部２１７５により計算した異常検出を行いたい処理における装置健康度と第７工程（Ｓ６０７）にて装置健康度計算部２１７５により求められた健康度閾値とを比較し、第１２工程（Ｓ６１２）で計算した装置健康度が第７工程（Ｓ７０７）にて求められた健康度閾値よりも大きければ（ＹＥＳの場合）、その処理は異常であると判断され、出力部２１７９から異常に関する情報が出力される（Ｓ６１４）。

【００８６】

一方、第１２工程（Ｓ６１２）で計算した装置健康度が第７工程（Ｓ６０７）にて求められた健康度閾値よりも小さくて、異常と判断されなかった場合（ＮＯの場合）には、次のウエハ処理が実施され、異常検出の第８工程（Ｓ６０８）に戻る。

【００８７】

実施例２の手法においては、正常な装置状態における各サンプルにおいても、正常なデータの平均値からのずれのランキングに応じて特徴量の並び変えを行うことにより、正常なデータの平均値からのずれの大きさを新たな特徴量として定義し直すというデータ操作を行っている。この操作によって、主成分モデルの繰り返し作成を行うことなく、テスティングデータごとの情報を解析に組み込むことが可能となり、実施例１の場合と比べて、さらなる計算負荷低減が実現できる。

【００８８】

以上、本発明を実施の形態にもとづいて具体的に説明したが、本発明は前記実施の形態に限定されず、その要旨を逸脱しない範囲で種々に変更可能である。

例えば、本実施例では異常の検出に主成分分析とそれに伴うHotteling’s T2を用いているが、その他の異常検出手段を用いても構わない。

【００８９】

例えば、本実施例ではセンサ信号から特徴量を抽出する特徴量抽出手段と異常検出に関わる解析を行う異常検出ユニット２１７が装置の制御装置等とは無関係に記載されているが、上記の特徴量抽出手段や異常検出手段が装置の制御装置の中に組み込まれているような構成であっても構わない。またセンサに関してはいくつセンサがあっても構わない。

【００９０】

なお、本実施例も、搬送室１３０や、図示していない真空排気手段及びガス供給手段について、それらの各手段に設けたセンサからの出力信号を受けて各手段の異常検出を行う場合についても適用することができる。

【００９１】

また、本実施例では、プラズマ処理装置について本発明を適用した例であったが、プラズマ処理装置以外に真空処理装置、露光装置、成膜装置、アニール装置等の半導体製造装置にも適用可脳である。

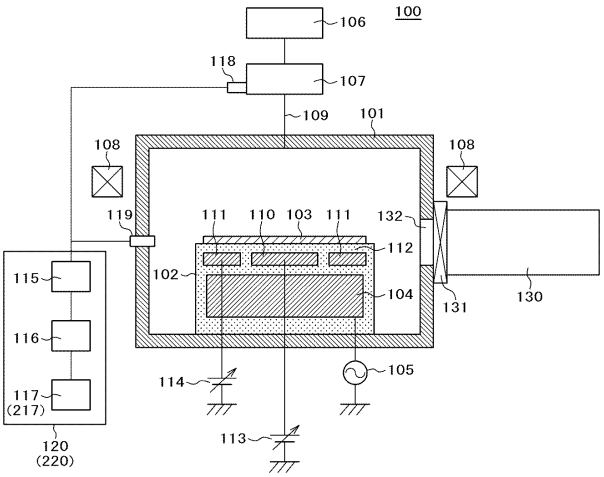
【符号の説明】

【００９２】
１００・・・プラズマ処理装置　１０１・・・処理室　１０２・・・試料台　１０３・・・ウェハ　１０４・・・高周波電極　１０５・・・高周波電源　１０６・・・マイクロ波電源　１０７・・・マイクロ波発振源　１０８・・・ソレノイドコイル　１０９・・・導波管　１１０・・・内側の静電吸着電極　１１１・・・外側の静電吸着電極　１１２・・・誘電体層　１１３・・・内側の可変直流電源　１１４・・・外側の可変直流電源　１１５・・・データ保存部　１１６・・・特徴量抽出部　１１７、２１７・・・異常検出ユニット　１１８・・・電圧モニタ用センサ　１１９・・・圧力センサ　１２０，２２０・・・装置状態異常検出部。

【図面】

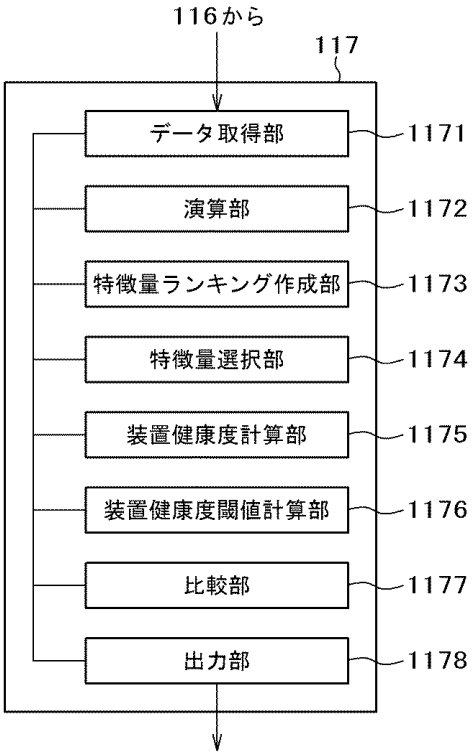
【図１】

図１



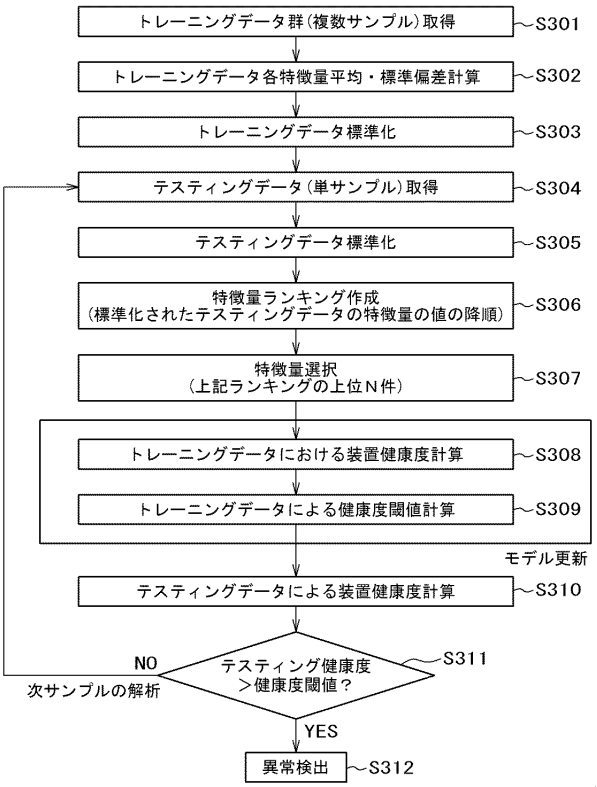
【図２】

図２



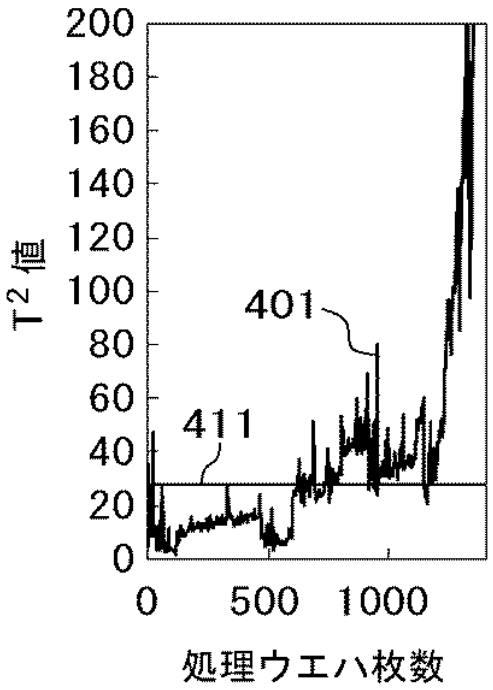
【図３】

図３



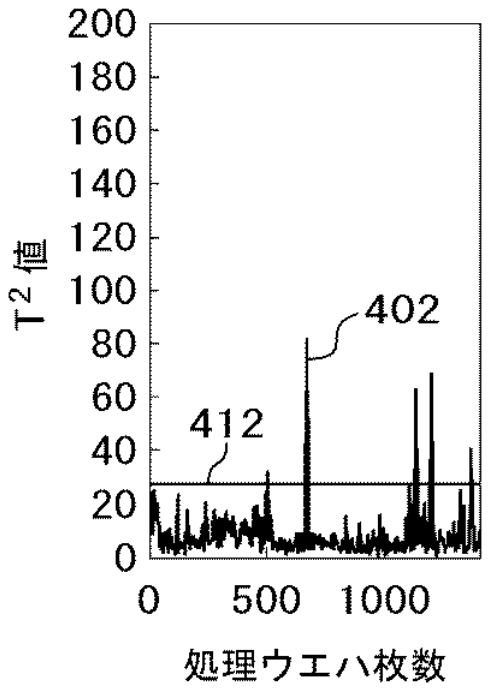
【図４Ａ】

図４Ａ



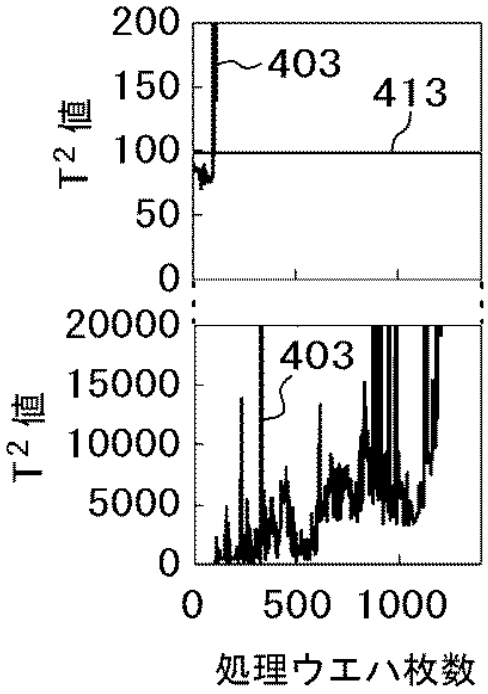
【図４Ｂ】

図４Ｂ



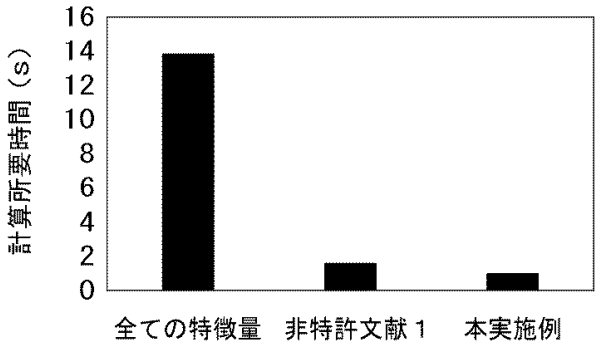
【図４Ｃ】

図４Ｃ



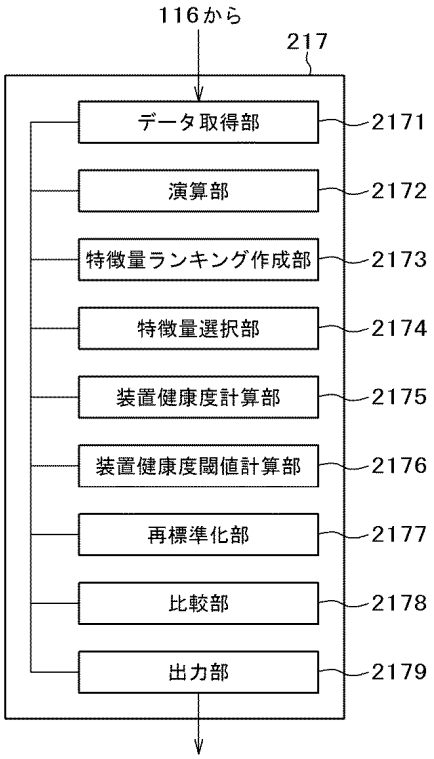
【図４Ｄ】

図４Ｄ



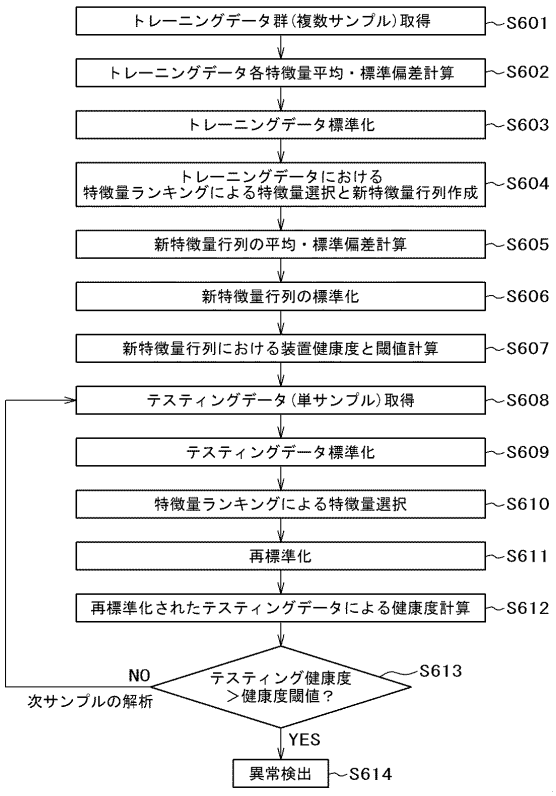
【図５】

図５



【図６】

図６



フロントページの続き

(56)参考文献 特表２０１０－５０１０９１（ＪＰ，Ａ）
特開２０１８－０８３９５８（ＪＰ，Ａ）
特表２００７－５３１９２２（ＪＰ，Ａ）
特表２００７－５０２０２６（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０１Ｌ ２１／３０６５
Ｈ０５Ｈ １／４６