

明 細 書

発明の名称：

情報処理装置、推論装置、機械学習装置、情報処理方法、推論方法、及び、機械学習方法

技術分野

[0001] 本発明は、情報処理装置、推論装置、機械学習装置、情報処理方法、推論方法、及び、機械学習方法に関する。

背景技術

[0002] 半導体ウェハ等の基板に対して各種の処理を行う基板処理装置の1つとして、化学機械研磨（CMP：Chemical Mechanical Polishing）処理を行う基板処理装置が知られている。化学機械研磨処理では、例えば、研磨パッドを有する研磨テーブルを回転させつつ、研磨流体供給ノズルから研磨パッドに研磨液（スラリー）を供給した状態で、トップリングと呼ばれる研磨ヘッドにより基板を研磨パッドに押し付けることで、基板は化学的かつ機械的に研磨される。その際、基板には、応力や摩擦力が作用することに応じてストレスが加わるが、過度なストレスは基板の生産品質や歩留まりを低下させる一因となっている（例えば、特許文献1（段落[0003]－[0004]）、特許文献2（段落[0026]）参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2014－187110号公報
特許文献2：特開2005－340431号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 化学機械研磨処理により基板に加わるストレス等のように、処理中又は処

理後の基板の状態を適切にモニタリングしたり、処理前、処理中及び処理後の任意のタイミングにて処理中又は処理後の基板の状態を予測したりすることができれば、基板の生産品質や歩留まりの管理に有効である。しかしながら、基板の状態を検出するために、基板 1 枚 1 枚に何かしらのセンサを直接取り付けることは現実的ではない。また、基板処理装置により化学機械研磨処理が行われる場合、基板の状態は、基板処理装置が備えるトップリング、研磨テーブル及び研磨流体供給ノズルの各々の動作状態に応じて変動するが、それらの動作状態は基板に対して複雑かつ相互に作用する。そのため、各動作状態が、基板の状態にどのような影響を与えるのかを的確に解析することは困難である。

[0005] 本発明は、上記の課題に鑑み、化学機械研磨処理による処理中又は処理後の基板の状態を適切に予測することを可能とする情報処理装置、推論装置、機械学習装置、情報処理方法、推論方法、及び、機械学習方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 上記目的を達成するために、本発明の一態様に係る情報処理装置は、研磨パッドを回転可能に支持する研磨テーブル、前記研磨パッドに基板を押し付けるトップリング、及び、前記研磨パッドに研磨流体を供給する研磨流体供給ノズルを備える基板処理装置により行われる前記基板の化学機械研磨処理における、前記トップリングの状態を示すトップリング状態情報、前記研磨テーブルの状態を示す研磨テーブル状態情報、及び、前記研磨流体供給ノズルの状態を示す研磨流体供給ノズル状態情報を含む研磨処理条件を取得する情報取得部と、

前記研磨処理条件と、当該研磨処理条件による前記化学機械研磨処理が行われた前記基板の状態を示す基板状態情報との相関関係を機械学習により学習させた学習モデルに、前記情報取得部により取得された前記研磨処理条件を入力することで、当該研磨処理条件による前記化学機械研磨処理が行われた前記基板に対する前記基板状態情報を予測する状態予測部と、を備える。

発明の効果

[0007] 本発明の一態様に係る情報処理装置によれば、化学機械研磨処理における、トップリング状態情報、研磨テーブル状態情報、及び、研磨流体供給ノズル状態情報を含む研磨処理条件が学習モデルに入力されることで、当該研磨処理条件に対する基板状態情報が予測されるので、化学機械研磨処理による処理中又は処理後の基板の状態を適切に予測することができる。

[0008] 上記以外の課題、構成及び効果は、後述する発明を実施するための形態にて明らかにされる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]基板処理システム1の一例を示す全体構成図である。

[図2]基板処理装置2の一例を示す平面図である。

[図3]第1乃至第4の研磨部22A～22Dの一例を示す斜視図である。

[図4]トップリング221の一例を模式的に示す断面図である。

[図5]基板処理装置2の一例を示すブロック図である。

[図6]コンピュータ900の一例を示すハードウェア構成図である。

[図7]データベース装置3により管理される生産履歴情報30の一例を示すデータ構成図である。

[図8]データベース装置3により管理される研磨試験情報31の一例を示すデータ構成図である。

[図9]第1の実施形態に係る機械学習装置4の一例を示すブロック図である。

[図10]第1の学習モデル10A及び第1の学習用データ11Aの一例を示す図である。

[図11]機械学習装置4による機械学習方法の一例を示すフローチャートである。

[図12]第1の実施形態に係る情報処理装置5の一例を示すブロック図である。

。

[図13]第1の実施形態に係る情報処理装置5の一例を示す機能説明図である。

。

[図14]情報処理装置5による情報処理方法の一例を示すフローチャートである。

[図15]第2の実施形態に係る機械学習装置4aの一例を示すブロック図である。

[図16]第2の学習モデル10B及び第2の学習用データ11Bの一例を示す図である。

[図17]第2の実施形態に係る情報処理装置5aとして機能する情報処理装置5aの一例を示すブロック図である。

[図18]第2の実施形態に係る情報処理装置5aの一例を示す機能説明図である。

[図19]第3の実施形態に係る機械学習装置4bの一例を示すブロック図である。

[図20]研磨品質解析用の第3の学習モデル10C及び第3の学習用データ11Cの一例を示す図である。

[図21]第3の実施形態に係る情報処理装置5bとして機能する情報処理装置5bの一例を示すブロック図である。

[図22]第3の実施形態に係る情報処理装置5bの一例を示す機能説明図である。

発明を実施するための形態

[0010] 以下、図面を参照して本発明を実施するための実施形態について説明する。以下では、本発明の目的を達成するための説明に必要な範囲を模式的に示し、本発明の該当部分の説明に必要な範囲を主に説明することとし、説明を省略する箇所については公知技術によるものとする。

[0011] (第1の実施形態)

図1は、基板処理システム1の一例を示す全体構成図である。本実施形態に係る基板処理システム1は、半導体ウェハ等の基板(以下、「ウェハ」という)Wの表面を平坦に研磨する化学機械研磨処理(以下、「研磨処理」という)、研磨処理後のウェハWを洗浄する洗浄処理等を含む一連の基板処理

を管理するシステムとして機能する。

- [0012] 基板処理システム 1 は、その主要な構成として、基板処理装置 2 と、データベース装置 3 と、機械学習装置 4 と、情報処理装置 5 と、ユーザ端末装置 6 とを備える。各装置 2～6 は、例えば、汎用又は専用のコンピュータ（後述の図 6 参照）で構成されるとともに、有線又は無線のネットワーク 7 に接続されて、各種のデータ（図 1 には一部のデータの送受信を破線の矢印にて図示）を相互に送受信可能に構成される。なお、各装置 2～6 の数やネットワーク 7 の接続構成は、図 1 の例に限られず、適宜変更してもよい。
- [0013] 基板処理装置 2 は、複数のユニットで構成されて、1 又は複数のウェハ W に対する一連の基板処理として、例えば、ロード、研磨、洗浄、乾燥、膜厚測定、アンロード等の各処理をそれぞれ行う装置である。その際、基板処理装置 2 は、各ユニットにそれぞれ設定された複数の装置パラメータからなる装置設定情報 265 と、研磨処理の研磨処理条件や洗浄処理の洗浄処理条件等を定める基板レシピ情報 266 とを参照しつつ、各ユニットの動作を制御する。
- [0014] 基板処理装置 2 は、各ユニットの動作に応じて、各種のレポート R をデータベース装置 3、ユーザ端末装置 6 等に送信する。各種のレポート R には、例えば、基板処理が行われたときの対象となるウェハ W を特定する工程情報、各処理が行われたときの各ユニットの状態を示す装置状態情報、基板処理装置 2 にて検出されたイベント情報、基板処理装置 2 に対するユーザ（オペレータ、生産管理者、保守管理者等）の操作情報等が含まれる。
- [0015] データベース装置 3 は、本生産用のウェハ W に対して基板処理が行われたときの履歴に関する生産履歴情報 30 と、試験用のダミーウェハに対して研磨処理の試験（以下、「研磨試験」という）が行われたときの履歴に関する研磨試験情報 31 とを管理する装置である。なお、データベース装置 3 には、上記の他に、装置設定情報 265 や基板レシピ情報 266 が記憶されていてもよく、その場合には、基板処理装置 2 がこれらの情報を参照するようにしてもよい。

- [0016] データベース装置3は、基板処理装置2が本生産用のウェハWに対して基板処理を行ったときに、基板処理装置2から各種のレポートRを随時受信し、生産履歴情報30に登録することで、生産履歴情報30には、基板処理に関するレポートRが蓄積される。
- [0017] データベース装置3は、基板処理装置2が試験用のダミーウェハに対して研磨試験を行ったときに、基板処理装置2から各種のレポートR（装置状態情報を少なくとも含む）を随時受信し、研磨試験情報31に登録するとともに、その研磨試験の試験結果を対応付けて登録することで、研磨試験情報31には、研磨試験に関するレポートR及び試験結果が蓄積される。ダミーウェハは、ウェハWを模擬した治具である。ダミーウェハの表面又は内部には、研磨処理が行われたときのウェハWの状態を測定するための圧力センサや温度センサ等のダミーウェハセンサが設けられ、ダミーウェハセンサの測定値が、試験結果として研磨試験情報31に登録される。なお、ダミーウェハセンサは、ダミーウェハの基板面に対して1又は複数の箇所に設けられてもよいし、面的に設けられていてもよい。また、研磨試験は、本生産用の基板処理装置2で行われてもよいし、基板処理装置2と同様の研磨処理を再現可能な試験用の研磨試験装置（不図示）で行われてもよい。
- [0018] 機械学習装置4は、機械学習の学習フェーズの主体として動作し、例えば、データベース装置3から研磨試験情報31の一部を第1の学習用データ11Aとして取得し、情報処理装置5にて用いられる第1の学習モデル10Aを機械学習により生成する。学習済みの第1の学習モデル10Aは、ネットワーク7や記録媒体等を介して情報処理装置5に提供される。
- [0019] 情報処理装置5は、機械学習の推論フェーズの主体として動作し、機械学習装置4により生成された第1の学習モデル10Aを用いて、基板処理装置2による研磨処理が本生産用のウェハWに対して行われたときに、そのウェハWの状態を予測し、その予測した結果である基板状態情報をデータベース装置3、ユーザ端末装置6等に送信する。情報処理装置5が基板状態情報を予測するタイミングとしては、研磨処理が行われた後（事後予測処理）でも

よいし、研磨処理が行われている最中（リアルタイム予測処理）でもよいし、研磨処理が行われる前（事前予測処理）でもよい。

[0020] ユーザ端末装置 6 は、ユーザが使用する端末装置であり、据置型の装置でもよいし、携帯型の装置でもよい。ユーザ端末装置 6 は、例えば、アプリケーションプログラム、ウェブブラウザ等の表示画面を介して各種の入力操作を受け付けるとともに、表示画面を介して各種の情報（例えば、イベントの通知、基板状態情報、生産履歴情報 30、研磨試験情報 31 等）を表示する。

[0021] （基板処理装置 2）

図 2 は、基板処理装置 2 の一例を示す平面図である。基板処理装置 2 は、平面視で略矩形状のハウジング 20 の内部に、ロード／アンロードユニット 21 と、研磨ユニット 22 と、基板搬送ユニット 23 と、洗浄ユニット 24 と、膜厚測定ユニット 25 と、制御ユニット 26 とを備えて構成される。ロード／アンロードユニット 21 と、研磨ユニット 22、基板搬送ユニット 23 及び洗浄ユニット 24 との間は、第 1 の隔壁 200A により区画され、基板搬送ユニット 23 と洗浄ユニット 24 との間は、第 2 の隔壁 200B により区画されている。

[0022] （ロード／アンロードユニット）

ロード／アンロードユニット 21 は、多数のウェハ W を上下方向に収納可能なウェハカセット（FOUP 等）が載置される第 1 乃至第 4 のフロントロード部 210A～210D と、ウェハカセットに収納されたウェハ W の収納方向（上下方向）に沿って上下移動可能な搬送ロボット 211 と、第 1 乃至第 4 のフロントロード部 210A～210D の並び方向（ハウジング 20 の短手方向）に沿って搬送ロボット 211 を移動させる水平移動機構部 212 とを備える。

[0023] 搬送ロボット 211 は、第 1 乃至第 4 のフロントロード部 210A～210D の各々に載置されたウェハカセット、基板搬送ユニット 23（具体的に、後述のリフタ 232）、洗浄ユニット 24（具体的に、後述の乾燥室 24

1)、及び、膜厚測定ユニット25に対してアクセス可能に構成され、それらの間でウェハWを受け渡すための上下二段のハンド（不図示）を備える。下側ハンドは、処理前のウェハWを受け渡すときに使用され、上側ハンドは、処理後のウェハWを受け渡すときに使用される。基板搬送ユニット23や洗浄ユニット24に対するウェハWの受け渡しの際には、第1の隔壁200Aに設けられたシャッタ（不図示）が開閉される。

[0024]（研磨ユニット）

研磨ユニット22は、ウェハWの研磨処理（平坦化）をそれぞれ行う第1乃至第4の研磨部22A～22Dを備える。第1乃至第4の研磨部22A～22Dは、ハウジング20の長手方向に沿って並べられて配置される。

[0025] 図3は、第1乃至第4の研磨部22A～22Dの一例を示す斜視図である。第1乃至第4の研磨部22A～22Dの基本的な構成や機能は共通する。

[0026] 第1乃至第4の研磨部22A～22Dの各々は、研磨面を有する研磨パッド2200が取り付けられた研磨テーブル220と、ウェハWを保持し、かつウェハWを研磨テーブル220上の研磨パッド2200に押圧しながら研磨するためのトップリング（研磨ヘッド）221と、研磨パッド2200に研磨流体を供給する研磨流体供給ノズル222と、研磨パッド2200の研磨面のドレッシングを行うドレッサ223と、研磨パッド2200に洗浄流体を噴射するアトマイザ224と、研磨処理が行われるハウジング20の内部空間の状態を測定する環境センサ225とを備える。

[0027] 研磨テーブル220は、研磨テーブルシャフト220aにより支持されて、その軸心周りに研磨テーブル220を回転駆動させる回転移動機構部220bと、研磨パッド2200の表面温度を調節する温調機構部220cとを備える。

[0028] トップリング221は、上下方向に移動可能なトップリングシャフト221aに支持されて、その軸心周りにトップリング221を回転駆動させる回転移動機構部221cと、トップリング221を上下方向に移動させる上下移動機構部221dと、支持シャフト221bを旋回中心にしてトップリン

グ 2 2 1 を巡回（揺動）移動させる揺動移動機構部 2 2 1 e とを備える。

[0029] 研磨流体供給ノズル 2 2 2 は、支持シャフト 2 2 2 a に支持されて、支持シャフト 2 2 2 a を巡回中心にして研磨流体供給ノズル 2 2 2 を巡回移動させる揺動移動機構部 2 2 2 b と、研磨流体の流量を調節する流量調節部 2 2 2 c と、研磨流体の温度を調節する温調機構部 2 2 2 d とを備える。研磨流体は、研磨液（スラリー）又は純水であり、さらに、薬液を含むものでもよい、研磨液に分散剤を添加したものでもよい。

[0030] ドレッサ 2 2 3 は、上下方向に移動可能なドレッサシャフト 2 2 3 a に支持されて、その軸心周りにドレッサ 2 2 3 を回転駆動させる回転移動機構部 2 2 3 c と、ドレッサ 2 2 3 を上下方向に移動させる上下移動機構部 2 2 3 d と、支持シャフト 2 2 3 b を巡回中心にしてドレッサ 2 2 3 を巡回移動させる揺動移動機構部 2 2 3 e とを備える。

[0031] アトマイザ 2 2 4 は、支持シャフト 2 2 4 a に支持されて、支持シャフト 2 2 4 a を巡回中心にしてアトマイザ 2 2 4 を巡回移動させる揺動移動機構部 2 2 4 b と、洗浄流体の流量を調節する流量調節部 2 2 4 c とを備える。洗浄流体は、液体（例えば、純水）と気体（例えば、窒素ガス）の混合流体又は液体（例えば、純水）である。

[0032] 環境センサ 2 2 5 は、ハウジング 2 0 の内部空間に配置されたセンサからなり、例えば、内部空間の温度を計測する温度センサ 2 2 5 a と、内部空間の湿度を計測する湿度センサ 2 2 5 b と、内部空間の気圧を計測する気圧センサ 2 2 5 c とを備える。なお、環境センサ 2 2 5 として、研磨処理中や研磨処理の前後に、研磨パッド 2 2 0 0 の表面等を撮影可能なカメラ（イメージセンサ）を備えていてもよい。

[0033] なお、図 3 では、回転移動機構部 2 2 0 b、2 2 1 c、2 2 3 c、上下移動機構部 2 2 1 d、2 2 3 d、及び、揺動移動機構部 2 2 1 e、2 2 2 b、2 2 3 e、2 2 4 b の具体的な構成を省略しているが、例えば、モータ、エアシリンダ等の駆動力発生用のモジュールと、リニアガイド、ボールねじ、ギヤ、ベルト、カップリング、軸受等の駆動力伝達機構と、リニアセンサ、

エンコーダセンサ、リミットセンサ、トルクセンサ等のセンサとを適宜組み合わせ構成される。図3では、流量調節部222c、224cの具体的な構成を省略しているが、例えば、ポンプ、バルブ、レギュレータ等の流体調節用のモジュールと、流量センサ、圧力センサ、液面センサ等のセンサとを適宜組み合わせ構成される。図3では、温調機構部220c、222dの具体的な構成を省略しているが、例えば、ヒータ、熱交換器等の温度調節用（接触式又は非接触式）のモジュールと、温度センサ、電流センサ等のセンサとを適宜組み合わせ構成される。

[0034] 図4は、トップリング221の一例を模式的に示す断面図である。トップリング221は、トップリングシャフト221aに取り付けられたトップリング本体2210と、トップリング本体2210に収容された略円盤状のキャリア2211と、キャリア2211の下側に配置されて、ウェハWを研磨パッド2200に対して押圧するメンブレン2212と、キャリア2211及びメンブレン2212の外周に配置されて、研磨パッド2200を直接押圧する略円環状のリテーナリング2213と、トップリング本体2210及びリテーナリング2213の間に配置されて、リテーナリング2213を研磨パッド2200に対して押圧するリテーナリングエアバッグ2214とを備える。

[0035] メンブレン2212は、弾性膜で形成されており、その内部に、同心状の複数の隔壁2212eを有することにより、トップリング本体2210の中心から外周方向に向かって同心状に配置された第1乃至第4のメンブレン圧力室2212a～2212dを有する。また、メンブレン2212は、その下面に、ウェハWの吸着用の複数の孔2212fを有し、ウェハWを保持する基板保持面として機能する。リテーナリングエアバッグ2214は、弾性膜で形成されており、その内部に、リテーナリング圧力室2214aを有する。なお、トップリング221の構成は適宜変更してもよく、キャリア2211全体を押圧する圧力室を備えるものでもよいし、メンブレン2212が有するメンブレン圧力室の数や形状は適宜変更してもよいし、吸着用の孔2

2 1 2 f の数や配置は適宜変更してもよい。また、メンブレン 2 2 1 2 は、吸着用の孔 2 2 1 2 f を有しないものでもよい。

[0036] 第 1 乃至第 4 のメンブレン圧力室 2 2 1 2 a ~ 2 2 1 2 d には、第 1 乃至第 4 の流路 2 2 1 6 A ~ 2 2 1 6 D がそれぞれ接続され、リテーナリング圧力室 2 2 1 4 a には、第 5 の流路 2 2 1 6 E が接続される。第 1 乃至第 5 の流路 2 2 1 6 A ~ 2 2 1 6 E は、トップリングシャフト 2 2 1 a に設けられたロータリージョイント 2 2 1 5 を介して外部に連通し、第 1 の分岐流路 2 2 1 7 A ~ 2 2 1 7 E と、第 2 の分岐流路 2 2 1 8 A ~ 2 2 1 8 E とにそれぞれ分岐される。第 1 乃至第 5 の流路 2 2 1 6 A ~ 2 2 1 6 E には、圧力センサ P A ~ P E がそれぞれ設置される。第 1 の分岐流路 2 2 1 7 A ~ 2 2 1 7 E は、バルブ V 1 A ~ V 1 E、流量センサ F A ~ F E 及び圧力レギュレータ R A ~ R E を介して圧力流体（空気、窒素等）のガス供給源 G S に接続される。第 2 の分岐流路 2 2 1 8 A ~ 2 2 1 8 E は、それぞれバルブ V 2 A ~ V 2 E を介して真空源 V S に接続されるとともに、バルブ V 3 A ~ V 3 E を介して大気に連通可能に構成される。

[0037] ウェハ W は、トップリング 2 2 1 の下面に吸着保持されて、研磨テーブル 2 2 0 上の所定の研磨位置に移動された後、研磨流体供給ノズル 2 2 2 から研磨流体が供給された研磨パッド 2 2 0 0 の研磨面に対してトップリング 2 2 1 により押圧されることで研磨される。その際、トップリング 2 2 1 は、圧力レギュレータ R A ~ R E を独立に制御することで、第 1 乃至第 4 のメンブレン圧力室 2 2 1 2 a ~ 2 2 1 2 d に供給する圧力流体によりウェハ W を研磨パッド 2 2 0 0 に押圧する押圧力をウェハ W の領域毎に調整するとともに、リテーナリング圧力室 2 2 1 4 a に供給する圧力流体によりリテーナリング 2 2 1 3 を研磨パッド 2 2 0 0 に押圧する押圧力を調整する。第 1 乃至第 4 のメンブレン圧力室 2 2 1 2 a ~ 2 2 1 2 d 及びリテーナリング圧力室 2 2 1 4 a にそれぞれ供給される圧力流体の圧力は、圧力センサ P A ~ P E によりそれぞれ測定され、圧力気体の流量は、流量センサ F A ~ F E によりそれぞれ測定される。

[0038] (基板搬送ユニット)

基板搬送ユニット23は、図2に示すように、第1乃至第4の研磨部22A～22Dの並び方向（ハウジング20の長手方向）に沿って水平移動可能な第1及び第2のリニアトランスポータ230A、230Bと、第1及び第2のリニアトランスポータ230A、230Bの間に配置されたスイングトランスポータ231と、ロード／アンロードユニット21側に配置されたリフタ232と、洗浄ユニット24側に配置されたウェハWの仮置き台233とを備える。

[0039] 第1のリニアトランスポータ230Aは、第1及び第2の研磨部22A、22Bに隣接して配置されて、4つの搬送位置（ロード／アンロードユニット21側から順に第1乃至第4の搬送位置TP1～TP4とする）の間でウェハWを搬送する機構である。第2の搬送位置TP2は、第1の研磨部22Aに対してウェハWを受け渡す位置であり、第3の搬送位置TP3は、第2の研磨部22Bに対してウェハWを受け渡す位置である。

[0040] 第2のリニアトランスポータ230Bは、第3及び第4の研磨部22C、22Dに隣接して配置されて、3つの搬送位置（ロード／アンロードユニット21側から順に第5乃至第7の搬送位置TP5～TP7とする）の間でウェハWを搬送する機構である。第6の搬送位置TP6は、第3の研磨部22Cに対してウェハWを受け渡す位置であり、第7の搬送位置TP7は、第4の研磨部22Dに対してウェハWを受け渡す位置である。

[0041] スイングトランスポータ231は、第4及び第5の搬送位置TP4、TP5に隣接して配置されるとともに、第4及び第5の搬送位置TP4、TP5の間を移動可能なハンドを有する。スイングトランスポータ231は、第1及び第2のリニアトランスポータ230A、230Bの間でウェハWを受け渡すとともに、仮置き台233にウェハWを仮置きする機構である。リフタ232は、第1の搬送位置TP1に隣接して配置されて、ロード／アンロードユニット21の搬送ロボット211との間でウェハWを受け渡す機構である。ウェハWの受け渡しの際、第1の隔壁200Aに設けられたシャッタ（

不図示)が開閉される。

[0042] (洗浄ユニット)

洗浄ユニット24は、図2に示すように、洗浄具を用いてウェハWを洗浄する第1及び第2の洗浄室240A、240Bと、ウェハWを乾燥させる乾燥室241と、ウェハWを搬送する第1及び第2の搬送室242A、242Bとを備える。洗浄ユニット24の各室は、それぞれが区画された状態で第1及び第2のリニアトランスポータ230A、230Bに沿って、例えば、第1の洗浄室240A、第1の搬送室242A、第2の洗浄室240B、第2の搬送室242B、及び、乾燥室241の順(ロード／アンロードユニット21から遠い順)に配置される。なお、洗浄室240A、240B、乾燥室241、及び、搬送室242A、242Bの数や配置は、図2の例に限られず、適宜変更してもよい。

[0043] (膜厚測定ユニット)

膜厚測定ユニット25は、研磨処理前又は研磨処理後のウェハWの膜厚を測定する測定器であり、例えば、光学式膜厚測定器、渦電流式膜厚測定器等で構成される。各膜厚測定モジュールに対するウェハWの受け渡しは、搬送ロボット211により行われる。

[0044] (制御ユニット)

図5は、基板処理装置2の一例を示すブロック図である。制御ユニット26は、各ユニット21～25と電氣的に接続されて、各ユニット21～25を統括的に制御する制御部として機能する。以下では、研磨ユニット22の制御系(モジュール、センサ、シーケンサ)を例にして説明するが、他のユニット21、23～25も基本的な構成や機能は共通するため、説明を省略する。

[0045] 研磨ユニット22は、研磨ユニット22が備える各サブユニット(例えば、研磨テーブル220、トップリング221、研磨流体供給ノズル222、ドレッサ223、アトマイザ224等)にそれぞれ配置されて、制御対象となる複数のモジュール2271～227rと、複数のモジュール2271～

227 rにそれぞれ配置されて、各モジュール227 1～227 rの制御に必要なデータ（検出値）を検出する複数のセンサ228 1～228 sと、各センサ228 1～228 sの検出値に基づいて各モジュール227 1～227 rの動作を制御するシーケンサ229とを備える。

[0046] 研磨ユニット22のセンサ228 1～228 sには、例えば、研磨テーブル220の回転数を検出するセンサ、研磨テーブル220の回転トルクを検出するセンサ、研磨パッド2200の表面温度を検出するセンサ、トップリング221の回転数を検出するセンサ、トップリング221の回転トルクを検出するセンサ、トップリング221の揺動位置を検出するセンサ、トップリング221の揺動トルクを検出するセンサ、トップリング221の高さを検出するセンサ、トップリング221の昇降トルクを検出するセンサ、第1乃至第4のメンブレン圧力室221 2 a～221 2 d及びリテーナリング圧力室221 4 a内の圧力（正圧及び負圧）を検出するセンサ、第1乃至第4のメンブレン圧力室221 2 a～221 2 d及びリテーナリング圧力室221 4 aに供給される圧力流体の流量を検出するセンサ、研磨流体供給ノズル222から供給される研磨流体の流量を検出するセンサ、研磨流体の温度を検出するセンサ、研磨流体供給ノズル222の滴下位置に変換可能な研磨流体供給ノズル222の揺動位置を検出するセンサ、環境センサ225等が含まれる。

[0047] 制御ユニット26は、制御部260、通信部261、入力部262、出力部263、及び、記憶部264を備える。制御ユニット26は、例えば、汎用又は専用のコンピュータ（後述の図6参照）で構成される。

[0048] 通信部261は、ネットワーク7に接続され、各種のデータを送受信する通信インターフェースとして機能する。入力部262は、各種の入力操作を受け付けるとともに、出力部263は、表示画面、シグナルタワー点灯、ブザー音を介して各種の情報を出力することで、ユーザインターフェースとして機能する。

[0049] 記憶部264は、基板処理装置2の動作で使用される各種のプログラム（

オペレーティングシステム（OS）、アプリケーションプログラム、ウェブブラウザ等）やデータ（装置設定情報265、基板レシピ情報266等）を記憶する。装置設定情報265及び基板レシピ情報266は、表示画面を介してユーザにより編集可能なデータである。

[0050] 制御部260は、複数のシーケンサ219、229、239、249、259（以下、「シーケンサ群」という）を介して複数のセンサ2181～218q、2281～228s、2381～238u、2481～248w、2581～258y（以下、「センサ群」という）の検出値を取得するとともに、複数のモジュール2171～217p、2271～227r、2371～237t、2471～247v、2571～257x（以下、「モジュール群」という）を連携して動作させることで、ロード、研磨、洗浄、乾燥、膜厚測定、アンロード等の一連の基板処理を行う。

[0051] （各装置のハードウェア構成）

図6は、コンピュータ900の一例を示すハードウェア構成図である。基板処理装置2の制御ユニット26、データベース装置3、機械学習装置4、情報処理装置5、及び、ユーザ端末装置6の各々は、汎用又は専用のコンピュータ900により構成される。

[0052] コンピュータ900は、図6に示すように、その主要な構成要素として、バス910、プロセッサ912、メモリ914、入力デバイス916、出力デバイス917、表示デバイス918、ストレージ装置920、通信I/F（インターフェース）部922、外部機器I/F部924、I/O（入出力）デバイスI/F部926、及び、メディア入出力部928を備える。なお、上記の構成要素は、コンピュータ900が使用される用途に応じて適宜省略されてもよい。

[0053] プロセッサ912は、1つ又は複数の演算処理装置（CPU（Central Processing Unit）、MPU（Micro-processing unit）、DSP（digital signal processor）、GPU（Graphics Processing U

n i t) 等) で構成され、コンピュータ 900 全体を統括する制御部として動作する。メモリ 914 は、各種のデータ及びプログラム 930 を記憶し、例えば、メインメモリとして機能する揮発性メモリ (DRAM、SRAM 等) と、不揮発性メモリ (ROM)、フラッシュメモリ等とで構成される。

[0054] 入力デバイス 916 は、例えば、キーボード、マウス、テンキー、電子ペン等で構成され、入力部として機能する。出力デバイス 917 は、例えば、音 (音声) 出力装置、バイブレーション装置等で構成され、出力部として機能する。表示デバイス 918 は、例えば、液晶ディスプレイ、有機 EL ディスプレイ、電子ペーパー、プロジェクタ等で構成され、出力部として機能する。入力デバイス 916 及び表示デバイス 918 は、タッチパネルディスプレイのように、一体的に構成されていてもよい。ストレージ装置 920 は、例えば、HDD、SSD (Solid State Drive) 等で構成され、記憶部として機能する。ストレージ装置 920 は、オペレーティングシステムやプログラム 930 の実行に必要な各種のデータを記憶する。

[0055] 通信 I/F 部 922 は、インターネットやイントラネット等のネットワーク 940 (図 1 のネットワーク 7 と同じであってもよい) に有線又は無線により接続され、所定の通信規格に従って他のコンピュータとの間でデータの送受信を行う通信部として機能する。外部機器 I/F 部 924 は、カメラ、プリンタ、スキャナ、リーダライタ等の外部機器 950 に有線又は無線により接続され、所定の通信規格に従って外部機器 950 との間でデータの送受信を行う通信部として機能する。I/O デバイス I/F 部 926 は、各種のセンサ、アクチュエータ等の I/O デバイス 960 に接続され、I/O デバイス 960 との間で、例えば、センサによる検出信号やアクチュエータへの制御信号等の各種の信号やデータの送受信を行う通信部として機能する。メディア入出力部 928 は、例えば、DVD ドライブ、CD ドライブ等のドライブ装置で構成され、DVD、CD 等のメディア (非一時的な記憶媒体) 970 に対してデータの読み書きを行う。

[0056] 上記構成を有するコンピュータ 900 において、プロセッサ 912 は、ス

ストレージ装置 920 に記憶されたプログラム 930 をメモリ 914 に呼び出して実行し、バス 910 を介してコンピュータ 900 の各部を制御する。なお、プログラム 930 は、ストレージ装置 920 に代えて、メモリ 914 に記憶されていてもよい。プログラム 930 は、インストール可能なファイル形式又は実行可能なファイル形式でメディア 970 に記録され、メディア入出力部 928 を介してコンピュータ 900 に提供されてもよい。プログラム 930 は、通信 I/F 部 922 を介してネットワーク 940 経由でダウンロードすることによりコンピュータ 900 に提供されてもよい。また、コンピュータ 900 は、プロセッサ 912 がプログラム 930 を実行することで実現する各種の機能を、例えば、FPGA、ASIC 等のハードウェアで実現するものでもよい。

[0057] コンピュータ 900 は、例えば、据置型コンピュータや携帯型コンピュータで構成され、任意の形態の電子機器である。コンピュータ 900 は、クライアント型コンピュータでもよいし、サーバ型コンピュータやクラウド型コンピュータでもよい。コンピュータ 900 は、各装置 2～6 以外の装置にも適用されてもよい。

[0058] (生産履歴情報 30)

図 7 は、データベース装置 3 により管理される生産履歴情報 30 の一例を示すデータ構成図である。生産履歴情報 30 は、本生産用のウェハ W に対して基板処理が行われたときに取得されたレポート R が分類されて登録されるテーブルとして、例えば、各ウェハ W に関するウェハ履歴テーブル 300 と、研磨処理における装置状態情報に関する研磨履歴テーブル 301 とを備える。なお、生産履歴情報 30 は、上記の他に、洗浄処理における装置状態情報に関する洗浄履歴テーブル、イベント情報に関するイベント履歴テーブル及び操作情報に関する操作履歴テーブル等を備えるが、詳細な説明は省略する。

[0059] ウェハ履歴テーブル 300 の各レコードには、例えば、ウェハ ID、カセット番号、スロット番号、各工程の開始時刻、終了時刻、使用ユニット ID

等が登録される。なお、図7では、研磨工程、洗浄工程が例示されているが、他の工程についても同様に登録される。

[0060] 研磨履歴テーブル301の各レコードには、例えば、ウェハID、トップリング状態情報、研磨テーブル状態情報、研磨流体供給ノズル状態情報、装置内環境情報等が登録される。

[0061] トップリング状態情報は、研磨処理におけるトップリング221の状態を示す情報である。トップリング状態情報は、例えば、トップリング221が有するセンサ群（又はモジュール群）により所定の時間間隔でサンプリングされた各センサの検出値（又は各モジュールへの指令値）である。

[0062] 研磨テーブル状態情報は、研磨処理における研磨テーブル220の状態を示す情報である。研磨テーブル状態情報は、例えば、研磨テーブル220が有するセンサ群（又はモジュール群）により所定の時間間隔でサンプリングされた各センサの検出値（又は各モジュールへの指令値）である。

[0063] 研磨流体供給ノズル状態情報は、研磨処理における研磨流体供給ノズル222の状態を示す情報である。研磨流体供給ノズル状態情報は、例えば、研磨流体供給ノズル222が有するセンサ群（又はモジュール群）により所定の時間間隔でサンプリングされた各センサの検出値（又は各モジュールへの指令値）である。

[0064] 装置内環境情報は、ハウジング20により形成された基板処理装置2の内部空間の状態を示す情報である。基板処理装置2の内部空間は、研磨ユニット22が配置された空間であり、装置内環境情報は、例えば、環境センサ225により所定の時間間隔でサンプリングされた各センサの検出値である。

[0065] 研磨履歴テーブル301を参照することで、ウェハIDで特定されるウェハWに対して研磨処理が行われたときの基板処理装置2の装置状態として、各センサの時系列データ（又は各モジュールの時系列データ）が抽出可能である。

[0066] （研磨試験情報31）

図8は、データベース装置3により管理される研磨試験情報31の一例を

示すデータ構成図である。研磨試験情報 31 は、ダミーウェハを用いて研磨試験が行われたときに取得されたレポート R 及び試験結果が分類されて登録される研磨試験テーブル 310 を備える。

[0067] 研磨試験テーブル 310 の各レコードには、例えば、試験 ID、トップリング状態情報、研磨テーブル状態情報、研磨流体供給ノズル状態情報、装置内環境情報、試験結果情報等が登録される。研磨試験テーブル 310 のトップリング状態情報、研磨テーブル状態情報、研磨流体供給ノズル状態情報、及び、装置内環境情報は、研磨試験における各部の状態を示す情報であり、そのデータ構成は、研磨履歴テーブル 301 と同様であるため、詳細な説明を省略する。

[0068] 試験結果情報は、研磨試験において研磨処理が行われたときのダミーウェハの状態を示す情報である。試験結果情報は、ダミーウェハが有するダミーウェハセンサにより所定の時間間隔でサンプリングされたダミーウェハセンサの検出値である。図 8 に示す試験結果情報は、ダミーウェハセンサとして、3つの温度センサと、3つの圧力センサを有する場合であり、研磨処理を開始してから終了するまでの研磨処理期間に含まれる各時刻 t_1 , t_2 , ..., t_m , ..., t_n における各検出値 $T_1 \sim T_3$, $P_1 \sim P_3$ をそれぞれ含む。なお、試験結果情報は、上記のように、ダミーウェハセンサの検出値でもよいし、光学式顕微鏡や走査電子顕微鏡 (SEM) に搭載されたカメラによりダミーウェハを所定の時間間隔で撮影し、その撮影した各画像に対して画像処理を行った画像処理結果や実験者が解析した実験解析結果に基づくものでもよい。また、試験結果情報は、研磨処理を開始してから終了するまでを連続して行った 1 回の研磨試験にて収集されたものでもよいし、研磨処理を開始してから所定の時刻に到達するまでの研磨試験を所定の時刻を徐々に長くしながら繰り返し行うことで、複数回の研磨試験にて収集されたものでもよい。

[0069] 研磨試験テーブル 310 を参照することで、試験 ID で特定される研磨試験において、ダミーウェハに対して研磨処理が行われたときの研磨ユニット

22の状態を示す各センサの時系列データ（又は各モジュールの時系列データ）と、そのときのダミーウェハの状態を示すダミーウェハセンサの時系列データとが抽出可能である。

[0070]（機械学習装置4）

図9は、第1の実施形態に係る機械学習装置4の一例を示すブロック図である。機械学習装置4は、制御部40、通信部41、学習用データ記憶部42、及び、学習済みモデル記憶部43を備える。

[0071] 制御部40は、学習用データ取得部400及び機械学習部401として機能する。通信部41は、ネットワーク7を介して外部装置（例えば、基板処理装置2、データベース装置3、情報処理装置5、及び、ユーザ端末装置6、研磨試験装置（不図示）等）と接続され、各種のデータを送受信する通信インターフェースとして機能する。

[0072] 学習用データ取得部400は、通信部41及びネットワーク7を介して外部装置と接続され、入力データとしての研磨処理条件と、出力データとしての基板状態情報とで構成される第1の学習用データ11Aを取得する。第1の学習用データ11Aは、教師あり学習における教師データ（トレーニングデータ）、検証データ及びテストデータとして用いられるデータである。また、基板状態情報は、教師あり学習における正解ラベルとして用いられるデータである。

[0073] 学習用データ記憶部42は、学習用データ取得部400で取得した第1の学習用データ11Aを複数組記憶するデータベースである。なお、学習用データ記憶部42を構成するデータベースの具体的な構成は適宜設計すればよい。

[0074] 機械学習部401は、学習用データ記憶部42に記憶された複数組の第1の学習用データ11Aを用いて機械学習を実施する。すなわち、機械学習部401は、第1の学習モデル10Aに第1の学習用データ11Aを複数組入力し、第1の学習用データ11Aに含まれる研磨処理条件と基板状態情報との相関関係を第1の学習モデル10Aに学習させることで、学習済みの第1

の学習モデル１０Ａを生成する。

[0075] 学習済みモデル記憶部４３は、機械学習部４０１により生成された学習済みの第１の学習モデル１０Ａ（具体的には、調整済みの重みパラメータ群）を記憶するデータベースである。学習済みモデル記憶部４３に記憶された学習済みの第１の学習モデル１０Ａは、ネットワーク７や記録媒体等を介して実システム（例えば、情報処理装置５）に提供される。なお、図９では、学習用データ記憶部４２と、学習済みモデル記憶部４３とが別々の記憶部として示されているが、これらは単一の記憶部で構成されてもよい。

[0076] なお、学習済みモデル記憶部４３に記憶される第１の学習モデル１０Ａの数は１つに限定されず、例えば、機械学習の手法、ウェハＷの種類（サイズ、厚み、膜種等）、トップリング２２１の機構や材質の違い、メンブレン２２１２の種類、リテーナリング２２１３の種類、研磨パッド２２００の種類、研磨流体の種類、研磨処理条件に含まれるデータの種類の種類、基板状態情報に含まれるデータの種類の種類等のように、条件が異なる複数の学習モデルが記憶されてもよい。その場合には、学習用データ記憶部４２には、条件が異なる複数の学習モデルにそれぞれ対応するデータ構成を有する複数種類の学習用データが記憶されればよい。

[0077] 図１０は、第１の学習モデル１０Ａ及び第１の学習用データ１１Ａの一例を示す図である。第１の学習モデル１０Ａの機械学習に用いられる第１の学習用データ１１Ａは、研磨処理条件と基板状態情報とで構成される。

[0078] 第１の学習用データ１１Ａを構成する研磨処理条件は、基板処理装置２により行われるウェハＷの研磨処理におけるトップリング２２１の状態を示すトップリング状態情報、研磨テーブル２２０の状態を示す研磨テーブル状態情報、及び、研磨流体供給ノズル２２２の状態を示す研磨流体供給ノズル状態情報を含む。

[0079] 研磨処理条件に含まれるトップリング状態情報は、トップリング２２１の回転数、トップリング２２１の回転トルク、トップリング２２１の揺動位置、トップリング２２１の揺動トルク、トップリング２２１の高さ、トップリ

ング２２１の昇降トルク、メンブレン圧力室２２１２a～２２１２d内の圧力（メンブレン圧力）、メンブレン圧力室２２１２a～２２１２dに供給される圧力流体の流量（メンブレン流量）、メンブレン２２１２のコンディション、リテーナリング圧力室２２１４a内の圧力（リテーナリングエアバッグ圧力）、リテーナリング圧力室２２１４aに供給される圧力流体の流量（リテーナリングエアバッグ流量）、及び、リテーナリング２２１３のコンディションの少なくとも１つを含む。メンブレン２２１２のコンディションは、例えば、表面性状、伸縮状態、厚み等で表され、メンブレン２２１２の使用状況（使用時間、交換の有無）、トップリング状態情報、研磨テーブル状態情報等に基づいて設定される。リテーナリング２２１３のコンディションは、例えば、表面性状、平面度、厚み、断面形状、内周部分の削れや汚れで表され、リテーナリング２２１３の使用状況（使用時間、交換の有無）、トップリング状態情報、研磨テーブル状態情報等に基づいて設定される。メンブレン２２１２及びリテーナリング２２１３のコンディションは、例えば、研磨処理中に経時変化するものでもよい。

[0080] 研磨処理条件に含まれる研磨テーブル状態情報は、研磨テーブル２２０の回転数、研磨テーブル２２０の回転トルク、研磨パッド２２００のコンディション、及び、研磨パッド２２００の表面温度の少なくとも１つを含む。研磨パッド２２００のコンディションは、例えば、表面性状、平面度、清浄度、湿潤度等で表され、研磨パッド２２００の使用状況（使用時間、ドレッシングの有無、交換の有無、研磨パッド２２００の表面を撮影した画像）、トップリング状態情報、研磨テーブル状態情報等に基づいて設定される。研磨パッド２２００のコンディションは、例えば、研磨処理中に経時変化するものでもよい。

[0081] 研磨処理条件に含まれる研磨流体供給ノズル状態情報は、研磨流体の流量、研磨流体の滴下位置、及び、研磨流体の温度の少なくとも１つを含む。なお、研磨流体が、複数種類の研磨流体（例えば、研磨液、純水、薬液、分散剤等）である場合には、種類毎の流量、種類毎の滴下位置、及び、種類毎の

温度の少なくとも１つを含むものであればよく、例えば、研磨流体が、研磨液及び純水である場合には、研磨液の流量、研磨液の滴下位置、研磨液の温度、純水の流量、純水の滴下位置、及び、純水の温度の少なくとも１つを含むものであればよい。

[0082] なお、研磨処理条件は、研磨処理が行われる空間の環境を示す装置内環境情報をさらに含むものでもよく、研磨処理条件に含まれる装置内環境情報は、ハウジング２０により形成された内部空間の温度、湿度、及び、気圧の少なくとも１つを含む。

[0083] 第１の学習用データ１１Ａを構成する基板状態情報は、研磨処理条件による研磨処理が行われたウェハＷの状態を示す情報である。本実施形態では、基板状態情報は、ウェハＷに加わる機械的ストレス及び熱的ストレスの少なくとも一方を示すストレス情報である。ストレス情報は、例えば、研磨処理を開始してから終了するまでの研磨処理期間（ウェハ１枚当たりの研磨処理に要する時間）に含まれる対象時点におけるストレスの瞬時値、又は、研磨処理を開始してから対象時点までの対象期間（研磨処理期間以下の任意の期間）におけるストレスの累積値を示すものでもよいし、ウェハＷの基板面に加わるストレスの面的分布状態を示すものでもよい。

[0084] 学習用データ取得部４００は、研磨試験情報３１を参照するとともに、必要に応じてユーザ端末装置６によるユーザの入力操作を受け付けることで、第１の学習用データ１１Ａを取得する。例えば、学習用データ取得部４００は、研磨試験情報３１の研磨試験テーブル３１０を参照することで、試験ＩＤで特定される研磨試験が行われたときのトップリング状態情報、研磨テーブル状態情報及び研磨流体供給ノズル状態情報（トップリング２２１、研磨テーブル２２０及び研磨流体供給ノズル２２２がそれぞれ有する各センサの時系列データ）を、研磨処理条件として取得する。

[0085] なお、本実施形態では、研磨処理条件を、図１０に示すようなセンサ群の時系列データとして取得する場合について説明するが、研磨ユニット２２（特に、トップリング２２１、研磨テーブル２２０及び研磨流体供給ノズル２

22)の構成に応じて適宜変更してもよい。また、研磨処理条件として、モジュールへの指令値を用いてもよいし、センサの検出値又はモジュールへの指令値から換算されるパラメータを用いてもよいし、複数のセンサの検出値に基づいて算出されるパラメータを用いてもよい。さらに、研磨処理条件は、研磨処理期間全体の時系列データとして取得されてもよいし、研磨処理期間の一部である対象期間の時系列データとして取得されてもよいし、特定の対象時点における時点データとして取得されてもよい。上記のように、研磨処理条件の定義を変更する場合には、第1の学習モデル10A及び第1の学習用データ11Aにおける入力データのデータ構成を適宜変更すればよい。

[0086] また、学習用データ取得部400は、研磨試験情報31の研磨試験テーブル310を参照することで、同一の試験IDで特定される研磨試験が行われたときの試験結果情報（ダミーウェハが有するダミーウェハセンサの時系列データ（図8））を、上記の研磨処理条件に対応する基板状態情報として取得する。その際、圧力センサの時系列データの各々が、機械的ストレスの瞬時値に相当し、温度センサの時系列データの各々が、熱的ストレスの瞬時値に相当する。また、複数のダミーウェハセンサが、ダミーウェハの基板面に対して分散配置されているか、面的な測定が可能なダミーウェハセンサである場合には、学習用データ取得部400は、複数個所での測定値や面的な測定値を、対象時点における瞬時値として取得する。また、学習用データ取得部400は、対象期間に含まれる圧力データの時系列データを累積することで、当該対象期間までの機械的ストレスの累積値を取得し、対象期間に含まれる温度データの時系列データを累積することで、当該対象期間までの熱的ストレスの累積値を取得する。

[0087] なお、本実施形態では、基板状態情報が、図10に示すような機械的ストレスの瞬時値及び累積値と、熱的ストレスの瞬時値及び累積値とである場合について説明するが、少なくとも1つを含むものでもよい。また、機械的ストレス及び熱的ストレスは、ダミーウェハセンサの測定値を所定の算出式に代入することで算出されてもよい。さらに、研磨処理条件が、例えば、研磨

処理期間全体の時系列データ又は研磨処理期間の一部である対象期間の時系列データとして取得されている場合には、基板状態情報は、研磨処理期間全体の時系列データ又は対象期間の時系列データとして取得されてもよい、研磨処理終了時点の時点データ又は対象時点の時点データとして取得されてもよい。また、研磨処理条件が、例えば、特定の対象時点における時点データとして取得されている場合には、基板状態情報は、その特定の対象時点における時点データとして取得されてもよい。上記のように、基板状態情報の定義を変更する場合には、第1の学習モデル10A及び第1の学習用データ11Aにおける出力データのデータ構成を適宜変更すればよい。

[0088] 第1の学習モデル10Aは、例えば、ニューラルネットワークの構造を採用したものであり、入力層100、中間層101、及び、出力層102を備える。各層の間には、各ニューロンをそれぞれ接続するシナプス（不図示）が張られており、各シナプスには、重みがそれぞれ対応付けられている。各シナプスの重みからなる重みパラメータ群が、機械学習により調整される。

[0089] 入力層100は、入力データとしての研磨処理条件に対応する数のニューロンを有し、研磨処理条件の各値が各ニューロンにそれぞれ入力される。出力層102は、出力データとしての基板状態情報に対応する数のニューロンを有し、研磨処理条件に対する基板状態情報の予測結果（推論結果）が、出力データとして出力される。第1の学習モデル10Aが、回帰モデルで構成される場合には、基板状態情報は、所定の範囲（例えば、0～1）に正規化された数値でそれぞれ出力される。また、第1の学習モデル10Aが、分類モデルで構成される場合には、基板状態情報は、各クラスに対するスコア（確度）として、所定の範囲（例えば、0～1）に正規化された数値でそれぞれ出力される。

[0090] （機械学習方法）

図11は、機械学習装置4による機械学習方法の一例を示すフローチャートである。

[0091] まず、ステップS100において、学習用データ取得部400は、機械学

習を開始するための事前準備として、研磨試験情報31等から所望の数の第1の学習用データ11Aを取得し、その取得した第1の学習用データ11Aを学習用データ記憶部42に記憶する。ここで準備する第1の学習用データ11Aの数については、最終的に得られる第1の学習モデル10Aに求められる推論精度を考慮して設定すればよい。

[0092] 次に、ステップS110において、機械学習部401は、機械学習を開始すべく、学習前の第1の学習モデル10Aを準備する。ここで準備する学習前の第1の学習モデル10Aは、図10に例示したニューラルネットワークモデルで構成されており、各シナプスの重みが初期値に設定されている。

[0093] 次に、ステップS120において、機械学習部401は、学習用データ記憶部42に記憶された複数組の第1の学習用データ11Aから、例えば、ランダムに1組の第1の学習用データ11Aを取得する。

[0094] 次に、ステップS130において、機械学習部401は、1組の第1の学習用データ11Aに含まれる研磨処理条件（入力データ）を、準備された学習前（又は学習中）の第1の学習モデル10Aの入力層100に入力する。その結果、第1の学習モデル10Aの出力層102から推論結果として基板状態情報（出力データ）が出力されるが、当該出力データは、学習前（又は学習中）の第1の学習モデル10Aによって生成されたものである。そのため、学習前（又は学習中）の状態では、推論結果として出力された出力データは、第1の学習用データ11Aに含まれる基板状態情報（正解ラベル）とは異なる情報を示す。

[0095] 次に、ステップS140において、機械学習部401は、ステップS120において取得された1組の第1の学習用データ11Aに含まれる基板状態情報（正解ラベル）と、ステップS130において出力層から推論結果として出力された基板状態情報（出力データ）とを比較し、各シナプスの重みを調整する処理（バックプロパゲーション）を実施することで、機械学習を実施する。これにより、機械学習部401は、研磨処理条件と基板状態情報との相関関係を第1の学習モデル10Aに学習させる。

[0096] 次に、ステップS 1 5 0において、機械学習部4 0 1は、所定の学習終了条件が満たされたか否かを、例えば、第1の学習用データ1 1 Aに含まれる基板状態情報（正解ラベル）と、推論結果として出力された基板状態情報（出力データ）とに基づく誤差関数の評価値や、学習用データ記憶部4 2内に記憶された未学習の第1の学習用データ1 1 Aの残数に基づいて判定する。

[0097] ステップS 1 5 0において、機械学習部4 0 1が、学習終了条件が満たされておらず、機械学習を継続すると判定した場合（ステップS 1 5 0でN o）、ステップS 1 2 0に戻り、学習中の第1の学習モデル1 0 Aに対してステップS 1 2 0～S 1 4 0の工程を未学習の第1の学習用データ1 1 Aを用いて複数回実施する。一方、ステップS 1 5 0において、機械学習部4 0 1が、学習終了条件が満たされて、機械学習を終了すると判定した場合（ステップS 1 5 0でY e s）、ステップS 1 6 0に進む。

[0098] そして、ステップS 1 6 0において、機械学習部4 0 1は、各シナプスに対応付けられた重みを調整することで生成された学習済みの第1の学習モデル1 0 A（調整済みの重みパラメータ群）を学習済みモデル記憶部4 3に記憶し、図1 1に示す一連の機械学習方法を終了する。機械学習方法において、ステップS 1 0 0が学習用データ記憶工程、ステップS 1 1 0～S 1 5 0が機械学習工程、ステップS 1 6 0が学習済みモデル記憶工程に相当する。

[0099] 以上のように、本実施形態に係る機械学習装置4及び機械学習方法によれば、トッピング状態情報、研磨テーブル状態情報及び研磨流体供給ノズル状態情報を含む研磨処理条件から、当該ウェハWの状態を示す基板状態情報を予測（推論）することが可能な第1の学習モデル1 0 Aを提供することができる。

[0100] （情報処理装置5）

図1 2は、第1の実施形態に係る情報処理装置5の一例を示すブロック図である。図1 3は、第1の実施形態に係る情報処理装置5の一例を示す機能説明図である。情報処理装置5は、制御部5 0、通信部5 1、及び、学習済みモデル記憶部5 2を備える。

- [0101] 制御部50は、情報取得部500、状態予測部501及び出力処理部502として機能する。通信部51は、ネットワーク7を介して外部装置（例えば、基板処理装置2、データベース装置3、機械学習装置4、及び、ユーザ端末装置6等）と接続され、各種のデータを送受信する通信インターフェースとして機能する。
- [0102] 情報取得部500は、通信部51及びネットワーク7を介して外部装置と接続され、トップリング状態情報、研磨テーブル状態情報及び研磨流体供給ノズル状態情報を含む研磨処理条件を取得する。
- [0103] 例えば、研磨処理がすでに行われた後のウェハWに対する基板状態情報の「事後予測処理」を行う場合には、情報取得部500は、生産履歴情報30の研磨履歴テーブル301を参照することで、そのウェハWに対して研磨処理が行われたときのトップリング状態情報、研磨テーブル状態情報及び研磨流体供給ノズル状態情報を、研磨処理条件として取得する。研磨処理が行われている最中のウェハWに対する基板状態情報の「リアルタイム予測処理」を行う場合には、情報取得部500は、その研磨処理を行っている基板処理装置2から装置状態情報に関するレポートRを随時受信することで、そのウェハWに対して研磨処理が行われている最中のトップリング状態情報、研磨テーブル状態情報及び研磨流体供給ノズル状態情報を、研磨処理条件として随時取得する。研磨処理が行われる前のウェハWに対する基板状態情報の「事前予測処理」を行う場合には、情報取得部500は、その研磨処理を行う予定の基板処理装置2から基板レシピ情報266を受信し、その基板レシピ条件266に従って研磨ユニット22が動作するときの装置状態情報をシミュレーションすることで、そのウェハWに対して研磨処理が行われるときのトップリング状態情報、研磨テーブル状態情報及び研磨流体供給ノズル状態情報を、研磨処理条件として取得する。
- [0104] 状態予測部501は、上記のように、情報取得部500により取得された研磨処理条件を入力データとして第1の学習モデル10Aに入力することで、当該研磨処理条件による研磨処理が行われたウェハWに対する基板状態情

報（本実施形態では、ストレス情報）を予測する。

[0105] 学習済みモデル記憶部52は、状態予測部501にて用いられる学習済みの第1の学習モデル10Aを記憶するデータベースである。なお、学習済みモデル記憶部52に記憶される第1の学習モデル10Aの数は1つに限定されず、例えば、機械学習の手法、ウェハWの種類（サイズ、厚み、膜種等）、トップリング221の機構や材質の違い、メンブレン2212の種類、リテーナリング2213の種類、研磨パッド2200の種類、研磨流体の種類、研磨処理条件に含まれるデータの種類の、基板状態情報に含まれるデータの種類の等のように、条件が異なる複数の学習済みモデルが記憶され、選択的に利用可能としてもよい。また、学習済みモデル記憶部52は、外部コンピュータ（例えば、サーバ型コンピュータやクラウド型コンピュータ）の記憶部で代用されてもよく、その場合には、状態予測部501は、当該外部コンピュータにアクセスすればよい。

[0106] 出力処理部502は、状態予測部501により生成された基板状態情報を出力するための出力処理を行う。例えば、出力処理部502は、その基板状態情報をユーザ端末装置6に送信することで、その基板状態情報に基づく表示画面がユーザ端末装置6に表示されてもよいし、その基板状態情報をデータベース装置3に送信することで、その基板状態情報が生産履歴情報30に登録されてもよい。

[0107] （情報処理方法）

図14は、情報処理装置5による情報処理方法の一例を示すフローチャートである。以下では、ユーザがユーザ端末装置6を操作して、特定のウェハWに対する基板状態情報の「事後予測処理」を行う場合の動作例について説明する。

[0108] まず、ステップS200において、ユーザが、ユーザ端末装置6に対して、予測対象のウェハWを特定するウェハIDを入力する入力操作を行うと、ユーザ端末装置6は、そのウェハIDを情報処理装置5に送信する。

[0109] 次に、ステップS210において、情報処理装置5の情報取得部500は

、ステップS 2 0 0にて送信されたウェハIDを受信する。ステップS 2 1 1において、情報取得部5 0 0は、ステップS 2 1 0で受信したウェハIDを用いて生産履歴情報3 0の研磨履歴テーブル3 0 1を参照することで、そのウェハIDで特定されたウェハWに対して研磨処理が行われたときの研磨処理条件を取得する。

[0110] 次に、ステップS 2 2 0において、状態予測部5 0 1は、ステップS 2 1 1にて取得された研磨処理条件を入力データとして第1の学習モデル1 0 Aに入力することで、当該研磨処理条件に対する基板状態情報を出力データとして生成し、そのウェハWの状態を予測する。

[0111] 次に、ステップS 2 3 0において、出力処理部5 0 2は、ステップS 2 2 0にて生成された基板状態情報を出力するための出力処理として、その基板状態情報をユーザ端末装置6に送信する。なお、基板状態情報の送信先は、ユーザ端末装置6に加えて又は代えて、データベース装置3でもよい。

[0112] 次に、ステップS 2 4 0において、ユーザ端末装置6は、ステップS 2 0 0の送信処理に対する応答として、ステップS 2 3 0にて送信された基板状態情報を受信すると、その基板状態情報に基づいて表示画面を表示することで、そのウェハWの状態がユーザにより視認される。上記の情報処理方法において、ステップS 2 1 0、S 2 1 1が情報取得工程、ステップS 2 2 0が状態予測工程、ステップS 2 3 0が出力処理工程に相当する。

[0113] 以上のように、本実施形態に係る情報処理装置5及び情報処理方法によれば、研磨処理における、トップリング状態情報、研磨テーブル状態情報、及び、研磨流体供給ノズル状態情報を含む研磨処理条件が第1の学習モデル1 0 Aに入力されることで、当該研磨処理条件に対する基板状態情報（ストレス情報）が予測されるので、研磨処理による処理中又は処理後のウェハWの状態を適切に予測することができる。

[0114] （第2の実施形態）

第2の実施形態は、研磨処理が行われたウェハWの状態を示す基板状態情報が、そのウェハWの研磨品質を示す研磨品質情報である点で第1の実施形

態と相違する。以下では、第2の実施形態に係る機械学習装置4 a及び情報処理装置5 aについて、第1の実施形態と異なる部分を中心に説明する。

[0115] 研磨品質情報は、例えば、研磨レート、研磨プロファイル、残膜といったウェハWの研磨の度合に関する研磨度合情報や、スクラッチやコロージョンといったウェハWの欠損（ディフェクト）の程度や有無に関する基板欠損情報等である。

[0116] 図15は、第2の実施形態に係る機械学習装置4 aの一例を示すブロック図である。図16は、第2の学習モデル10 B及び第2の学習用データ11 Bの一例を示す図である。第2の学習用データ11 Bは、第2の学習モデル10 Bの機械学習に用いられる。

[0117] 第2の学習用データ11 Bを構成する基板状態情報は、ウェハWの研磨品質を示す研磨品質情報である。本実施形態では、研磨品質情報は、研磨度合情報及び基板欠損情報である場合について説明するが、少なくとも1つを含むものでもよいし、研磨品質を示す他の情報を含むものでもよい。研磨品質情報は、研磨処理を開始してから終了するまでの研磨処理期間（ウェハ1枚当たりの研磨処理に要する時間）に含まれる対象時点における研磨品質を示すものでもよいし、ウェハWの基板面における研磨品質の面的分布状態を示すものでもよい。なお、第2の学習用データ11 Bを構成する研磨処理条件は、第1の実施形態と同様であるため、説明を省略する。

[0118] 学習用データ取得部400は、研磨試験情報31を参照するとともに、必要に応じてユーザ端末装置6によるユーザの入力操作を受け付けることで、第2の学習用データ11 Bを取得する。具体的には、学習用データ取得部400は、研磨試験情報31の研磨試験テーブル310から試験IDで特定される研磨試験が行われたときの試験結果情報（ダミーウェハが有する圧力センサの時系列データや温度センサの時系列データ）を取得し、例えば、圧力センサの時系列データ（主にメカニカルな影響を反映）及び温度センサの時系列データ（主にケミカルな影響を反映）に基づいて対象時点毎の研磨品質を算出することで、研磨品質情報を取得する。なお、研磨試験情報31には

、試験結果情報として、光学式顕微鏡や走査電子顕微鏡（SEM）等の計測機器にて計測された研磨品質が対象時点毎に登録されていてもよく、その場合には、学習用データ取得部400は、計測機器の計測結果を、研磨品質情報としてさらに取得してもよい。

[0119] 機械学習部401は、第2の学習モデル10Bに第2の学習用データ11Bを複数組入力し、第2の学習用データ11Bに含まれる研磨処理条件と研磨品質情報との相関関係を第2の学習モデル10Bに学習させることで、学習済みの第2の学習モデル10Bを生成する。

[0120] 図17は、第2の実施形態に係る情報処理装置5aとして機能する情報処理装置5aの一例を示すブロック図である。図18は、第2の実施形態に係る情報処理装置5aの一例を示す機能説明図である。

[0121] 情報取得部500は、第1の実施形態と同様に、トップリング状態情報、研磨テーブル状態情報及び研磨流体供給ノズル状態情報を含む研磨処理条件を取得する。

[0122] 状態予測部501は、上記のように、情報取得部500により取得された研磨処理条件を入力データとして第2の学習モデル10Bに入力することで、当該研磨処理条件による研磨処理が行われたウェハWに対する研磨品質情報（本実施形態では、研磨度合情報及び基板欠損情報）を予測する。

[0123] 以上のように、本実施形態に係る情報処理装置5a及び情報処理方法によれば、研磨処理における、トップリング状態情報、研磨テーブル状態情報、及び、研磨流体供給ノズル状態情報を含む研磨処理条件が第2の学習モデル10Bに入力されることで、当該研磨処理条件に対する基板状態情報（研磨品質情報）が予測されるので、研磨処理による処理中又は処理後のウェハWの状態を適切に予測することができる。

[0124] （第3の実施形態）

第3の実施形態は、学習モデルが、ストレス解析用の学習モデルと、研磨品質解析用の学習モデルとで構成される点で第1の実施形態と相違する。以下では、第3の実施形態に係る機械学習装置4b及び情報処理装置5bにつ

いて、第1の実施形態と異なる部分を中心に説明する。

[0125] 図19は、第3の実施形態に係る機械学習装置4bの一例を示すブロック図である。図20は、研磨品質解析用の第3の学習モデル10C及び第3の学習用データ11Cの一例を示す図である。

[0126] 学習モデル10は、ストレス解析用の第1の学習モデル10A（図10）と、研磨品質解析用の第3の学習モデル10C（図20）とで構成される。研磨品質解析用の第3の学習モデル10Cの機械学習に用いられる第3の学習用データ11Cは、図20に示すように、ストレス情報と研磨品質情報（本実施形態では、研磨度合情報及び基板欠損情報）とで構成される。ストレス解析用の第1の学習モデル10A及び第1の学習用データ11Aは、第1の実施形態（図10参照）と同様に構成されるため、説明を省略する。

[0127] 学習用データ取得部400は、研磨試験情報31を参照するとともに、必要に応じてユーザ端末装置6によるユーザの入力操作を受け付けることで、ストレス情報と研磨品質情報とで構成される第3の学習用データ11Cを取得する。

[0128] 機械学習部401は、研磨品質解析用の第3の学習モデル10Cに第3の学習用データ11Cをそれぞれ複数組入力し、第3の学習用データ11Cに含まれるストレス情報と研磨品質情報との相関関係を研磨品質解析用の第3の学習モデル10Cに学習させることで、学習済みの研磨品質解析用の第3の学習モデル10Cを生成する。

[0129] 図21は、第3の実施形態に係る情報処理装置5bとして機能する情報処理装置5bの一例を示すブロック図である。図22は、第3の実施形態に係る情報処理装置5bの一例を示す機能説明図である。

[0130] 情報取得部500は、第1の実施形態と同様に、トップリング状態情報、研磨テーブル状態情報及び研磨流体供給ノズル状態情報を含む研磨処理条件を取得する。

[0131] 状態予測部501は、上記のように、情報取得部500により取得された研磨処理条件を入力データとして第1の学習モデル10Aに入力することで

、当該研磨処理条件による研磨処理が行われたウェハWに対するストレス情報を予測し、その予測したストレス情報を入力データとして第3の学習モデル10Cに入力することで、当該ストレス情報が示すストレスが加えられたウェハWに対する研磨品質情報（本実施形態では、研磨度合情報及び基板欠損情報）を予測する。

[0132] 以上のように、本実施形態に係る情報処理装置5b及び情報処理方法によれば、研磨処理における、トップリング状態情報、研磨テーブル状態情報、及び、研磨流体供給ノズル状態情報を含む研磨処理条件が学習モデル10（第1及び第3の学習モデル10A、10C）に入力されることで、当該研磨処理条件に対する基板状態情報（研磨品質情報）が予測されるので、研磨処理による処理中又は処理後のウェハWの状態を適切に予測することができる。

[0133] （他の実施形態）

本発明は上述した実施形態に制約されるものではなく、本発明の主旨を逸脱しない範囲内で種々変更して実施することが可能である。そして、それらはすべて、本発明の技術思想に含まれるものである。

[0134] 上記実施形態では、データベース装置3、機械学習装置4、4a、4b及び情報処理装置5、5a、5bは、別々の装置で構成されたものとして説明したが、それら3つの装置が、単一の装置で構成されていてもよいし、それら3つの装置のうち任意の2つの装置が、単一の装置で構成されていてもよい。また、機械学習装置4、4a、4b及び情報処理装置5、5a、5bの少なくとも一方は、基板処理装置2の制御ユニット26又はユーザ端末装置6に組み込まれていてもよい。

[0135] 上記実施形態では、基板処理装置2が、各ユニット21～25を備えるものとして説明したが、基板処理装置2は、研磨ユニット22を少なくとも備えていればよく、他のユニットは省略されていてもよい。

[0136] 上記実施形態では、機械学習部401による機械学習を実現する学習モデルとして、ニューラルネットワークを採用した場合について説明したが、他

の機械学習のモデルを採用してもよい。他の機械学習のモデルとしては、例えば、決定木、回帰木等のツリー型、バギング、ブースティング等のアンサンブル学習、再帰型ニューラルネットワーク、畳み込みニューラルネットワーク、LSTM等のニューラルネット型(ディープラーニングを含む)、階層型クラスタリング、非階層型クラスタリング、k近傍法、k平均法等のクラスタリング型、主成分分析、因子分析、ロジスティック回帰等の多変量解析、サポートベクターマシン等が挙げられる。

[0137] なお、上記実施形態では、第1及び第2の学習モデル10A、10Bの入力データである研磨処理条件に含まれる各種の情報について説明した。また、第1及び第2の学習モデル10A、10Bは、ウェハWの種類別に用意されてもよいことを説明した。これに対して、研磨処理条件は、研磨処理が行われる前のウェハWである処理前基板の状態(初期状態)を示す処理前基板情報をさらに含むものでもよい。研磨処理条件に含まれる処理前基板情報は、処理前基板の形状(サイズ、厚み、反り等)、重さ、及び、基板面のコンディションの少なくとも1つを含む。基板面のコンディションは、例えば、基板面に形成された欠損(ディフェクト)の程度や有無に関する情報や、基板面に付着したパーティクルの大きさ、面的分布、個数に関する情報であり、研磨処理に影響を与える情報であればこれらに限定されない。処理前基板情報は、例えば、前工程の装置の動作情報から取得されてもよいし、膜厚測定ユニット25や、基板処理装置2の内部又は外部に設置された他の計測器(光学式センサ、接触式センサ、重量センサ等)で計測されてもよい。また、上記のように取得又は計測された処理前基板情報は、同一のロット内の他の処理前基板に流用されてもよいし、別のロット内の他の処理前基板に流用されてもよい。

[0138] 機械学習の学習フェーズでは、処理前基板情報は、研磨試験情報31に登録されて、機械学習装置4、4a、4bにより研磨処理条件の一部として取得される。機械学習装置4、4a、4bは、その処理前基板情報をさらに含む研磨処理条件と、基板状態情報とで構成される第1及び第2の学習用デー

タ 1 1 A、1 1 B を用いて、第 1 及び第 2 の学習モデル 1 0 A、1 0 B の機械学習を実施する。

[0139] 機械学習の推論フェーズでは、処理前基板情報は、情報処理装置 5、5 a、5 b により研磨処理条件の一部として取得される。情報処理装置 5、5 a、5 b は、その処理前基板情報をさらに含む研磨処理条件を入力データとして第 1 及び第 2 の学習用データ 1 1 A、1 1 B に入力することで、当該研磨処理条件による研磨処理が処理前基板に対して行われたときの基板状態情報を予測する。

[0140] (機械学習プログラム及び情報処理プログラム)

本発明は、機械学習装置 4、4 a、4 b が備える各部としてコンピュータ 9 0 0 を機能させるプログラム（機械学習プログラム）や、機械学習方法が備える各工程をコンピュータ 9 0 0 に実行させるためのプログラム（機械学習プログラム）の態様で提供することもできる。また、本発明は、情報処理装置 5、5 a、5 b が備える各部としてコンピュータ 9 0 0 を機能させるためのプログラム（情報処理プログラム）や、上記実施形態に係る情報処理方法が備える各工程をコンピュータ 9 0 0 に実行させるためのプログラム（情報処理プログラム）の態様で提供することもできる。

[0141] (推論装置、推論方法及び推論プログラム)

本発明は、上記実施形態に係る情報処理装置 5、5 a、5 b（情報処理方法又は情報処理プログラム）の態様によるもののみならず、基板状態情報を推論するために用いられる推論装置（推論方法又は推論プログラム）の態様で提供することもできる。その場合、推論装置（推論方法又は推論プログラム）としては、メモリと、プロセッサとを含み、このうちのプロセッサが、一連の処理を実行するものとすることができる。当該一連の処理とは、研磨処理条件を取得する情報取得処理（情報取得工程）と、情報取得処理にて研磨処理条件を取得すると、当該研磨処理条件による研磨処理が行われた基板の状態を示す基板状態情報（ストレス情報又は研磨品質情報）を推論する推論処理（推論工程）とを含む。また、当該一連の処理とは、ストレス情報を

取得する情報取得処理（情報取得工程）と、情報取得処理にてストレス情報を取得すると、当該ストレス情報が示すストレスが加えられた基板の研磨品質を示す研磨品質情報を推論する推論処理（推論工程）とを含む。

- [0142] 推論装置（推論方法又は推論プログラム）の態様で提供することで、情報処理装置を実装する場合に比して簡単に種々の装置への適用が可能となる。推論装置（推論方法又は推論プログラム）が基板状態情報を推論する際、上記実施形態に係る機械学習装置及び機械学習方法により生成された学習済みの学習モデルを用いて、状態予測部が実施する推論手法を適用してもよいことは、当業者にとって当然に理解され得るものである。

産業上の利用可能性

- [0143] 本発明は、情報処理装置、推論装置、機械学習装置、情報処理方法、推論方法、及び、機械学習方法に利用可能である。

符号の説明

- [0144] 1…基板処理システム、2…基板処理装置、3…データベース装置、4、4 a、4 b…機械学習装置、5、5 a、5 b…情報処理装置、6…ユーザ端末装置、7…ネットワーク、10…学習モデル、10 A…第1の学習モデル、10 B…第2の学習モデル、10 C…第3の学習モデル、11 A…第1の学習用データ、11 B…第2の学習用データ、11 C…第3の学習用データ、20…ハウジング、21…ロード／アンロードユニット、22…研磨ユニット、22 A～22 D…研磨部、23…基板搬送ユニット、24…洗浄ユニット、25…膜厚測定ユニット、26…制御ユニット、30…生産履歴情報、31…研磨試験情報、40…制御部、41…通信部、42…学習用データ記憶部、43…学習済みモデル記憶部、50…制御部、51…通信部、52…学習済みモデル記憶部、220…研磨テーブル、221…トップリング、222…研磨流体供給ノズ

ル、

2 2 3 …ドレッサ、2 2 4 …アトマイザ、2 2 5 …環境センサ

2 6 0 …制御部、2 1 …通信部、2 6 2 …入力部、2 6 3 …出力部、2 6 4
…記憶部、

3 0 0 …ウェハ履歴テーブル、3 0 1 …研磨履歴テーブル、3 1 0 …研磨試
験テーブル、

4 0 0 …学習用データ取得部、4 0 1 …機械学習部、

5 0 0 …情報取得部、5 0 1 …状態予測部、5 0 2 …出力処理部、

9 0 0 …コンピュータ

2 2 0 0 …研磨パッド、2 2 1 0 …トップリング本体、2 2 1 1 …キャリア

、

2 2 1 2 …メンブレン、2 2 1 2 a ～ 2 2 1 2 d …メンブレン圧力室、

2 2 1 3 …リテーナリング、2 2 1 4 …リテーナリングエアバッグ、

2 2 1 4 a …リテーナリング圧力室

請求の範囲

- [請求項1] 研磨パッドを回転可能に支持する研磨テーブル、前記研磨パッドに基板を押し付けるトップリング、及び、前記研磨パッドに研磨流体を供給する研磨流体供給ノズルを備える基板処理装置により行われる前記基板の化学機械研磨処理における、前記トップリングの状態を示すトップリング状態情報、前記研磨テーブルの状態を示す研磨テーブル状態情報、及び、前記研磨流体供給ノズルの状態を示す研磨流体供給ノズル状態情報を含む研磨処理条件を取得する情報取得部と、
- 前記研磨処理条件と、当該研磨処理条件による前記化学機械研磨処理が行われた前記基板の状態を示す基板状態情報との相関関係を機械学習により学習させた学習モデルに、前記情報取得部により取得された前記研磨処理条件を入力することで、当該研磨処理条件による前記化学機械研磨処理が行われた前記基板に対する前記基板状態情報を予測する状態予測部と、を備える、
- 情報処理装置。
- [請求項2] 前記トップリングは、
- 回転移動機構部、上下移動機構部及び揺動移動機構部により移動されるトップリング本体と、
- 前記トップリング本体に収容されて、メンブレン圧力室に供給される圧力流体に応じて前記基板を前記研磨パッドに押圧するメンブレンと、
- 前記メンブレンの外周に配置されて、リテーナリング圧力室に供給される圧力流体に応じて前記研磨パッドを押圧するリテーナリングとを備え、
- 前記研磨処理条件に含まれる前記トップリング状態情報は、
- 前記トップリングの回転数、
- 前記トップリングの回転トルク、
- 前記トップリングの揺動位置、

前記トップリングの揺動トルク、
前記トップリングの高さ、
前記トップリングの昇降トルク、
前記メンブレン圧力室内の圧力、
前記メンブレン圧力室に供給される前記圧力流体の流量、
前記メンブレンのコンディション、
前記リテーナリング圧力室内の圧力、
前記リテーナリング圧力室に供給される前記圧力流体の流量、及び、

前記リテーナリングのコンディションの少なくとも1つを含む、
請求項1に記載の情報処理装置。

[請求項3]

前記研磨処理条件に含まれる前記研磨テーブル状態情報は、
前記研磨テーブルの回転数、
前記研磨テーブルの回転トルク、
前記研磨パッドの表面温度、及び、
前記研磨パッドのコンディションの少なくとも1つを含む、
請求項1又は請求項2に記載の情報処理装置。

[請求項4]

前記研磨処理条件に含まれる前記研磨流体供給ノズル状態情報は、
前記研磨流体の流量、
前記研磨流体の滴下位置、及び、
前記研磨流体の温度の少なくとも1つを含む、
請求項1乃至請求項3のいずれか一項に記載の情報処理装置。

[請求項5]

前記研磨処理条件は、
前記化学機械研磨処理が行われる空間の環境を示す装置内環境情報をさらに含み、
前記研磨処理条件に含まれる前記装置内環境情報は、
前記空間の温度、
前記空間の湿度、及び、

- 前記空間の気圧の少なくとも1つを含む、
請求項1乃至請求項4のいずれか一項に記載の情報処理装置。
- [請求項6] 前記研磨処理条件は、
前記化学機械研磨処理が行われる前の前記基板である処理前基板の状態を示す処理前基板情報をさらに含む、
請求項1乃至請求項5のいずれか一項に記載の情報処理装置。
- [請求項7] 前記研磨処理条件に含まれる前記処理前基板情報は、
前記処理前基板の形状、
前記処理前基板の重さ、及び、
前記処理前基板の基板面のコンディションの少なくとも1つを含む、
請求項6に記載の情報処理装置。
- [請求項8] 前記基板状態情報は、
前記基板に加わるストレスを示すストレス情報であり、
前記ストレス情報は、
前記基板に加わる機械的ストレス及び熱的ストレスの少なくとも一方を示す、
請求項1乃至請求項7のいずれか一項に記載の情報処理装置。
- [請求項9] 前記ストレス情報は、
前記化学機械研磨処理を開始してから終了するまでの研磨処理期間に含まれる対象時点における前記ストレスの瞬時値、又は、
前記化学機械研磨処理を開始してから前記対象時点までの対象期間における前記ストレスの累積値を示す、
請求項8に記載の情報処理装置。
- [請求項10] 前記ストレス情報は、
前記基板の基板面に加わる前記ストレスの面的分布状態を示す、
請求項8又は請求項9に記載の情報処理装置。
- [請求項11] 前記基板状態情報は、

前記基板の研磨品質を示す研磨品質情報である、

請求項 1 乃至請求項 7 のいずれか一項に記載の情報処理装置。

[請求項12]

前記学習モデルは、

前記研磨処理条件と、当該研磨処理条件による前記化学機械研磨処理が行われた前記基板に加わるストレスを示すストレス情報との相関関係を機械学習により学習させたストレス解析用の学習モデルと、

前記ストレス情報と、当該ストレス情報が示す前記ストレスが加えられた前記基板の研磨品質を示す研磨品質情報との相関関係を学習させた研磨品質解析用の学習モデルとで構成され、

前記状態予測部は、

前記ストレス解析用の学習モデルに対して、前記情報取得部により取得された前記研磨処理条件を入力することで、当該研磨処理条件による前記化学機械研磨処理が行われた前記基板に対する前記ストレス情報を予測し、

前記研磨品質解析用の学習モデルに対して、その予測した前記ストレス情報を入力することで、当該ストレス情報が示す前記ストレスが加えられた前記基板に対する前記研磨品質情報を予測する、

請求項 1 乃至請求項 7 のいずれか一項に記載の情報処理装置。

[請求項13]

メモリと、プロセッサとを備える推論装置であって、

前記プロセッサは、

研磨パッドを回転可能に支持する研磨テーブル、前記研磨パッドに基板を押し付けるトップリング、及び、前記研磨パッドに研磨流体を供給する研磨流体供給ノズルを備える基板処理装置により行われる前記基板の化学機械研磨処理における、前記トップリングの状態を示すトップリング状態情報、前記研磨テーブルの状態を示す研磨テーブル状態情報、及び、前記研磨流体供給ノズルの状態を示す研磨流体供給ノズル状態情報を含む研磨処理条件を取得する情報取得処理と、

前記情報取得処理にて前記研磨処理条件を取得すると、当該研磨

処理条件による前記化学機械研磨処理が行われた前記基板の状態を示す基板状態情報を推論する推論処理と、を実行する、
推論装置。

[請求項14] メモリと、プロセッサとを備える推論装置であって、
前記プロセッサは、

研磨パッドを回転可能に支持する研磨テーブル、前記研磨パッドに基板を押し付けるトップリング、及び、前記研磨パッドに研磨流体を供給する研磨流体供給ノズルを備える基板処理装置により化学機械研磨処理が行われた前記基板に加わるストレスを示すストレス情報を取得する情報取得処理と、

前記情報取得処理にて前記ストレス情報を取得すると、当該ストレス情報が示す前記ストレスが加えられた前記基板の研磨品質を示す研磨品質情報を推論する推論処理と、を実行する、
推論装置。

[請求項15] 研磨パッドを回転可能に支持する研磨テーブル、前記研磨パッドに基板を押し付けるトップリング、及び、前記研磨パッドに研磨流体を供給する研磨流体供給ノズルを備える基板処理装置により行われる前記基板の化学機械研磨処理における、前記トップリングの状態を示すトップリング状態情報、前記研磨テーブルの状態を示す研磨テーブル状態情報、及び、前記研磨流体供給ノズルの状態を示す研磨流体供給ノズル状態情報を含む研磨処理条件と、当該研磨処理条件による前記化学機械研磨処理が行われた前記基板の状態を示す基板状態情報とで構成される学習用データを複数組記憶する学習用データ記憶部と、

複数組の前記学習用データを学習モデルに入力することで、前記研磨処理条件と前記基板状態情報との相関関係を前記学習モデルに学習させる機械学習部と、

前記機械学習部により前記相関関係を学習させた前記学習モデルを記憶する学習済みモデル記憶部と、を備える、

機械学習装置。

- [請求項16] 研磨パッドを回転可能に支持する研磨テーブル、前記研磨パッドに基板を押し付けるトップリング、及び、前記研磨パッドに研磨流体を供給する研磨流体供給ノズルを備える基板処理装置により化学機械研磨処理が行われた前記基板に加わるストレスを示すストレス情報と、当該ストレス情報が示す前記ストレスが加えられた前記基板の研磨品質を示す研磨品質情報とで構成される学習用データを複数組記憶する学習用データ記憶部と、
- 複数組の前記学習用データを学習モデルに入力することで、前記ストレス情報と前記研磨品質情報との相関関係を前記学習モデルに学習させる機械学習部と、
- 前記機械学習部により前記相関関係を学習させた前記学習モデルを記憶する学習済みモデル記憶部と、を備える、
- 機械学習装置。

- [請求項17] 研磨パッドを回転可能に支持する研磨テーブル、前記研磨パッドに基板を押し付けるトップリング、及び、前記研磨パッドに研磨流体を供給する研磨流体供給ノズルを備える基板処理装置により行われる前記基板の化学機械研磨処理における、前記トップリングの状態を示すトップリング状態情報、前記研磨テーブルの状態を示す研磨テーブル状態情報、及び、前記研磨流体供給ノズルの状態を示す研磨流体供給ノズル状態情報を含む研磨処理条件を取得する情報取得工程と、
- 前記研磨処理条件と、当該研磨処理条件による前記化学機械研磨処理が行われた前記基板の状態を示す基板状態情報との相関関係を機械学習により学習させた学習モデルに、前記情報取得工程により取得された前記研磨処理条件を入力することで、当該研磨処理条件による前記化学機械研磨処理が行われた前記基板に対する前記基板状態情報を予測する状態予測工程と、を備える、
- 情報処理方法。

[請求項18] メモリと、プロセッサとを備える推論装置により実行される推論方法であって、

前記プロセッサは、

研磨パッドを回転可能に支持する研磨テーブル、前記研磨パッドに基板を押し付けるトップリング、及び、前記研磨パッドに研磨流体を供給する研磨流体供給ノズルを備える基板処理装置により行われる前記基板の化学機械研磨処理における、前記トップリングの状態を示すトップリング状態情報、前記研磨テーブルの状態を示す研磨テーブル状態情報、及び、前記研磨流体供給ノズルの状態を示す研磨流体供給ノズル状態情報を含む研磨処理条件を取得する情報取得工程と、

前記情報取得工程にて前記研磨処理条件を取得すると、当該研磨処理条件による前記化学機械研磨処理が行われた前記基板の状態を示す基板状態情報を推論する推論工程と、を実行する、

推論方法。

[請求項19] メモリと、プロセッサとを備える推論装置により実行される推論方法であって、

前記プロセッサは、

研磨パッドを回転可能に支持する研磨テーブル、前記研磨パッドに基板を押し付けるトップリング、及び、前記研磨パッドに研磨流体を供給する研磨流体供給ノズルを備える基板処理装置により化学機械研磨処理が行われた前記基板に加わるストレスを示すストレス情報を取得する情報取得工程と、

前記情報取得工程にて前記ストレス情報を取得すると、当該ストレス情報が示す前記ストレスが加えられた前記基板の研磨品質を示す研磨品質情報を推論する推論工程と、を実行する、

推論方法。

[請求項20] 研磨パッドを回転可能に支持する研磨テーブル、前記研磨パッドに基板を押し付けるトップリング、及び、前記研磨パッドに研磨流体を

供給する研磨流体供給ノズルを備える基板処理装置により行われる前記基板の化学機械研磨処理における、前記トップリングの状態を示すトップリング状態情報、前記研磨テーブルの状態を示す研磨テーブル状態情報、及び、前記研磨流体供給ノズルの状態を示す研磨流体供給ノズル状態情報を含む研磨処理条件と、当該研磨処理条件による前記化学機械研磨処理が行われた前記基板の状態を示す基板状態情報とで構成される学習用データを学習用データ記憶部に複数組記憶する学習用データ記憶工程と、

複数組の前記学習用データを学習モデルに入力することで、前記研磨処理条件と前記基板状態情報との相関関係を前記学習モデルに学習させる機械学習工程と、

前記機械学習工程により前記相関関係を学習させた前記学習モデルを学習用データ記憶部に複数組記憶する学習用データ記憶工程と、を備える、

機械学習方法。

[請求項21]

研磨パッドを回転可能に支持する研磨テーブル、前記研磨パッドに基板を押し付けるトップリング、及び、前記研磨パッドに研磨流体を供給する研磨流体供給ノズルを備える基板処理装置により化学機械研磨処理が行われた前記基板に加わるストレスを示すストレス情報と、当該ストレス情報が示す前記ストレスが加えられた前記基板の研磨品質を示す研磨品質情報とで構成される学習用データを学習用データ記憶部に複数組記憶する学習用データ記憶工程と、

複数組の前記学習用データを学習モデルに入力することで、前記ストレス情報と前記研磨品質情報との相関関係を前記学習モデルに学習させる機械学習工程と、

前記機械学習工程により前記相関関係を学習させた前記学習モデルを学習用データ記憶部に複数組記憶する学習用データ記憶工程と、を備える、

機械学習方法。