

明 細 書

発明の名称：

コンピュータプログラム、情報処理方法及び情報処理装置

技術分野

[0001] 本発明は、コンピュータプログラム、情報処理方法及び情報処理装置に関する。

背景技術

[0002] 半導体ウエハ又はガラス基板等の基板に対するエッチング又は成膜等の基板処理は、処理内容を定めたプロセスレシピに従って行われる。従来、コンピュータを用いて、基板処理後の基板の形状を予測した形状である予測形状を計算する形状シミュレーションが行われている。形状シミュレーションでは、プロセスレシピに応じた基板処理に関する複数の処理パラメータを用いて、基板処理をシミュレーションする。また、形状シミュレーションによって特定の予測形状が得られるように、処理パラメータを調整することによって、所望の基板形状を得るためのプロセスレシピを探索することも行われる。特許文献1には、形状シミュレーションを行う技術が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特許第6890632号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 形状シミュレーションの方法としては、機械学習モデルを用いて加工後形状を予測する方法と、CAE解析（非機械学習）により加工後形状を予測する方法とがある。前者の方法は、後者に比べて処理速度が速いが、処理パラメータが多いため、機械学習モデルを用いた場合であっても、基板形状の予測に時間を要するという問題があった。

かかる問題は形状シミュレーションに限らず、加工処理後の膜の状態（膜

質、組成)、加工形状の面内均一性といった形状分布等、基板処理後の基板の任意の状態を予測するシミュレーションが有する技術的課題である。

[0005] 本開示の目的は、基板処理に必要なプロセスレシピを作成するにあたって、基板の加工前状態と、想定する加工後状態とから基板処理プロセスに関連する各種パラメータを効率的に算出することができるコンピュータプログラム、情報処理方法及び情報処理装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0006] 本開示の一態様に係るコンピュータプログラムは、基板処理の条件に関連するパラメータ及び基板の初期状態に基づいて基板処理後の予測状態を算出する予測モデルを用いて、基板処理の条件に関連する前記パラメータを最適化する処理をコンピュータに実行させるコンピュータプログラムであって、基板処理内容が類似しており、第1加工前状態から第1加工後状態に基板を加工するための前記パラメータを最適化した際に得られた最適化情報を取得し、取得した前記最適化情報及び前記予測モデルを用いて、第2加工前状態から第2加工後状態に基板を加工するための前記パラメータを最適化する処理を前記コンピュータに実行させる。

[0007] 本開示の一態様に係る情報処理方法は、基板処理の条件に関連するパラメータ及び基板の初期状態に基づいて基板処理後の予測状態を算出する予測モデルを用いて、基板処理の条件に関連する前記パラメータを最適化する情報処理方法であって、基板処理内容が類似しており、第1加工前状態から第1加工後状態に基板を加工するための前記パラメータを最適化した際に得られた最適化情報を取得し、取得した前記最適化情報及び前記予測モデルを用いて、第2加工前状態から第2加工後状態に基板を加工するための前記パラメータを最適化する。

[0008] 本開示の一態様に係る情報処理装置は、基板処理の条件に関連するパラメータ及び基板の初期状態に基づいて基板処理後の予測状態を算出する予測モデルを用いて、基板処理の条件に関連する前記パラメータを最適化する処理部を備えた情報処理装置であって、前記処理部は、基板処理内容が類似して

おり、第1加工前状態から第1加工後状態に基板を加工するための前記パラメータを最適化した際に得られた最適化情報を取得し、取得した前記最適化情報及び前記予測モデルを用いて、第2加工前状態から第2加工後状態に基板を加工するための前記パラメータを最適化する。

発明の効果

[0009] 本開示によれば、基板処理に必要なプロセスレシピを作成するにあたって、基板の加工前状態と、想定する加工後状態とから基板処理プロセスに関連する各種パラメータを効率的に算出することができるコンピュータプログラム、情報処理方法及び情報処理装置を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]実施形態1に係る情報処理装置の構成例を示すブロック図である。
[図2]実施形態1に係る情報処理方法を示す概念図である。
[図3]実施形態1に係るプラズマパラメータの最適化方法を示す概念図である。
[図4]実施形態1に係る最適化情報の作成処理手順を示すフローチャートである。
[図5]最適化情報の一例を示す概念図である。
[図6]実施形態1に係るプラズマパラメータの最適化処理手順を示すフローチャートである。
[図7]実施形態2に係る情報処理装置の構成例を示すブロック図である。
[図8]実施形態2に係る最適化情報DBのデータ構成を示す概念図である。
[図9]実施形態2に係る情報処理方法を示す概念図である。
[図10]実施形態2に係るプラズマパラメータの最適化処理手順を示すフローチャートである。
[図11]実施形態3に係る情報処理装置の構成例を示すブロック図である。
[図12]実施形態3に係るプラズマパラメータの最適化方法を示す概念図である。
[図13]実施形態3に係るプラズマパラメータの最適化処理手順を示すフロー

チャートである。

[図14]実施形態3に係るプラズマパラメータの最適化処理手順を示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0011] 本開示の実施形態に係るコンピュータプログラム、情報処理方法及び情報処理装置を、以下に図面を参照しつつ説明する。なお、本開示はこれらの例示に限定されるものではなく、請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味及び範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。また、以下に記載する実施形態の少なくとも一部を任意に組み合わせてもよい。

[0012] (実施形態1)

<情報処理方法の概要>

本実施形態に係る情報処理方法は、プラズマを用いた基板処理に必要なプロセスレシピを作成するにあたって、基板の加工前状態と、想定する加工後状態とから基板処理プロセスに関連する各種プラズマパラメータを効率的に算出することを可能にするものである。加工前状態及び加工後形状には、加工前後の基板の形状、膜の状態（膜質、組成）等が含まれる。加工後形状には、一つのホール、配線等の構造物の形状、複数の構造物の平均的形状が含まれる。また、加工後形状には、加工処理後の基板の形状分布、例えば、面内均一性が含まれる。

特に、実施形態1に係る情報処理方法は、過去に行った基板状態が類似の最適化情報（プラズマパラメータの最適化過程の履歴）を活用することによって、最適なプラズマパラメータをより早く見付け、効率的に最適化するのである。

[0013] 基板処理は、半導体ウエハ、ガラス基板又はフラットパネル基板等の基板に対して行われるエッチング又は成膜等の処理である。

プロセスレシピは、基板処理の内容を規定した情報である。基板処理を実行する半導体製造装置等の基板処理装置はプロセスチャンバを備え、プロセスチャンバ内に配置された基板に対して、プロセスレシピに基づいて基板処

理を行う。プロセスレシピは、基板処理装置の動作を制御するための設定値（以下、レシピ設定値と呼ぶ）を含む。レシピ設定値は、基板処理装置を操作するオペレータが入力可能な数値であり、ガス流量、ガス種、RF印加電圧、周波数、チャンバー内圧力、温度、処理時間等を含む。

[0014] プラズマパラメータは、基板の加工前状態から、基板処理された加工後状態を予測するシミュレーションに必要な複数のパラメータである。プラズマパラメータは、フラックス関連情報及び反応関連情報を含む。フラックス関連情報は、ウェハに入射する粒子の種類、流量、エネルギー、角度依存性等の情報を含む。反応関連情報は、フラックス情報に対応する対象媒質の削れ率、付着率、改質率、スパッタ率等の情報を含む。

プラズマパラメータによって、チャンバー内部のプラズマ状態を予測できるとともに、基板処理装置のノブ情報とプラズマ状態の関係を間接的に評価することが可能となる。またプラズマパラメータに含まれる粒子と媒質との相互作用反応情報は、一意に決まるパラメータであり他のプロセス予測、開発時での指標となる。

[0015] <情報処理装置1>

図1は、実施形態1に係る情報処理装置1の構成例を示すブロック図である。情報処理装置1は、実施形態1に係る情報処理方法を実施するコンピュータであり、処理部11、表示部12、操作部13及び記憶部14を備える。各部は、バスにより接続されている。

[0016] なお、情報処理装置1は、スタンドアロンのコンピュータであってもよいし、ネットワークに接続されたサーバ装置であっても良い。また、情報処理装置1は、オンプレミス環境にあるコンピュータであってもよいし、クラウド環境にあるサーバ等のコンピュータであってもよい。情報処理装置1は、複数台のコンピュータで構成し分散処理する構成でもよいし、1台のサーバ内に設けられた複数の仮想マシンによって実現されていてもよいし、クラウドサーバを用いて実現されていてもよい。

[0017] 処理部11は、CPU (Central Processing Unit)、マルチコアCPU、

G P U (Graphics Processing Unit)、G P G P U (General-purpose computing on graphics processing units)、T P U (Tensor Processing Unit)、A S I C (Application Specific Integrated Circuit)、F P G A (Field-Programmable Gate Array)、N P U (Neural Processing Unit)等の演算回路、R O M (Read Only Memory)、R A M (Random Access Memory)等の内部記憶装置、I/O端子、計時部等を有するプロセッサである。処理部11は、後述の記憶部14が記憶するコンピュータプログラム(プログラム製品)141を実行することにより、本実施形態1に係る情報処理方法を実施する。なお、情報処理装置1の各機能部は、ソフトウェア的に実現してもよいし、一部又は全部をハードウェア的に実現してもよい。

[0018] 表示部12は、例えば、液晶パネル又は有機E L (Electro Luminescence)ディスプレイ等の表示装置である。

[0019] 操作部13は、例えば、ハードウェアキーボード、ポインティングデバイス、タッチパネル等の入力装置である。情報処理装置1のユーザは、操作部13を用いてテキスト等の情報を情報処理装置1に入力することができる。なお、操作部13は表示部12と一体に構成してもよい。

[0020] 記憶部14は、例えば主記憶部及び補助記憶部を有する。主記憶部は、S R A M (Static Random Access Memory)、D R A M (Dynamic Random Access Memory)、フラッシュメモリ等の一時記憶領域であり、処理部11が演算処理を実行するために必要なデータを一時的に記憶する。補助記憶部は、ハードディスク、E E P R O M (Electrically Erasable Programmable ROM)等の記憶装置である。記憶部14は、処理部11が実行するコンピュータプログラム141及び予測モデル142を記憶する。また、記憶部14は、典型的又は標準的な基板処理前後の加工前状態と、加工後状態と、レシピ設定値とを対応付けた図示しないレシピテーブルを記憶している。

[0021] なお、補助記憶部は、情報処理装置1に接続された外部記憶装置であってもよい。コンピュータプログラム141及び予測モデル142は、情報処理装置1の製造段階において記憶部14に書き込まれてもよいし、外部サーバ

が配信するものを情報処理装置 1 が通信にて取得して記憶部 1 4 に記憶させてもよい。コンピュータプログラム 1 4 1 及び予測モデル 1 4 2 は、磁気ディスク、光ディスク、半導体メモリ等の記録媒体 1 0 に読み出し可能に記録された態様であってもよく、読取装置が記録媒体 1 0 から読み出して記憶部 1 4 に記憶させてもよい。

[0022] 予測モデル 1 4 2 は、基板の加工前状態の画像データと、基板処理に係る複数のプラズマパラメータとに基づいて、加工後状態を予測する数値計算モデルである。予測モデル 1 4 2 としては、機械学習モデルと、解析的に加工後状態を予測する状態シミュレータ（非機械学習モデルによる C A E 解析シミュレータ）とのいずれを用いてもよい。状態シミュレータには、加工後の基板の形状を予測する形状シミュレータが含まれる。また、予測モデル 1 4 2 の全部又は一部をハードウェアによって構成してもよい。本実施形態 1 では、予測モデル 1 4 2 が機械学習モデルであり、処理部 1 1 の演算処理によってソフトウェア的に実現されるものとして説明する。

[0023] 予測モデル 1 4 2 は、例えば深層学習による学習済みの畳み込みニューラルネットワーク（C N N : Convolutional neural network）を含む。予測モデル 1 4 2 は、基板の加工前状態の画像データ及び複数のプラズマパラメータが入力される入力層と、加工前状態の画像データ及びプラズマパラメータの特徴量を抽出する中間層と、予測される加工後状態の画像データを出力する出力層とを有する。

[0024] 加工前状態は、基板処理を行う前の基板の状態を表したデータであり、加工後状態は、基板処理後の基板の状態を表したデータである。加工前状態及び加工後状態は、例えば、基板の断面図等、基板の状態を表した画像データである。加工前状態及び加工後状態は、基板のサイズ又は物理的構造を示す特徴量を含むデータであってもよい。基板のサイズは、例えば、基板の縦、横若しくは高さのサイズ、又は基板の特定の部分のサイズである。物理的構造を示す特徴量は、例えば、基板に形成されるパターンの C D（critical dimension）値又は基板に形成された溝のアスペクト比等である。

[0025] 予測モデル142は、コンピュータを用いた学習装置において、訓練データを用いた機械学習を行うことによって、生成される。訓練データには、基板の加工前状態と、プラズマパラメータの値と、基板の加工後状態とが互いに関連付けられて、記録されている。訓練データには、加工前状態、プラズマパラメータの値及び加工後状態が関連付けられたデータセットが多数含まれている。学習装置は、予測モデル142の素となるモデル（学習前の予測モデル142）へ、訓練データに記録されている加工前状態及びプラズマパラメータを入力し、モデルは、加工前状態及びプラズマパラメータの入力に応じて、演算を行い、基板の予測状態である加工後状態を出力する。学習装置は、モデルが出力した加工後状態と、入力された加工前状態及びプラズマパラメータに関連づけられた加工後状態との誤差が小さくなるように、モデルの演算のパラメータを調整する。例えば、誤差逆伝播法によりパラメータの調整が行われる。

[0026] 学習装置は、訓練データに含まれる複数のデータセットを用いた上記処理を繰り返して、モデルのパラメータを調整することにより、機械学習を行う。このように演算のパラメータが調整されることによって、予測モデル142が生成される。予測モデル142の素となるモデル（学習前の予測モデル142）の構成及びパラメータを示すデータは、予測モデル142として、情報処理装置1の記憶部14に記憶される。

[0027] <情報処理方法>

図2は、実施形態1に係る情報処理方法を示す概念図、図3は、実施形態1に係るプラズマパラメータの最適化方法を示す概念図、図4は、実施形態1に係る最適化情報の作成処理手順を示すフローチャートである。

[0028] まず、情報処理装置1は、従前の方法でプラズマパラメータの最適化を行い、最適化情報を作成する処理を実行する。具体的には、情報処理装置1の処理部11は、基板処理による基板の加工前状態と、加工後状態とを取得する（ステップS111）。例えば、図2に示すように、処理部11は、加工前状態A1及び加工後状態A2を取得する。

- [0029] 次いで、処理部 11 は、取得した加工前状態及び加工後状態に応じたレシピ設定値を取得する（ステップ S 112）。具体的には、処理部 11 は、記憶部 14 が記憶するレシピテーブルを参照し、取得した加工前状態及び加工後状態に対応するレシピ設定値を取得する。なお、取得した加工前状態及び加工後状態に対応するレシピ設定値が存在しない場合、レシピ設定値を取得せずにステップ S 112 の処理を終える。
- [0030] 次いで、パラメータ設定部 22 として機能する処理部 11 は、暫定プラズマパラメータの初期値を設定する（ステップ S 113）。暫定プラズマパラメータは、予測モデル 142 を用いてプラズマパラメータを最適化する際、暫定的に設定され、予測モデル 142 に入力されるプラズマパラメータである。上記初期値の選択方法は特に限定されるものではなく、予め設定された所定の値でもよいし、任意の値でもよい。
- [0031] そして、処理部 11 は、ステップ S 111 で取得した加工前状態と、暫定プラズマパラメータとを予測モデル 142 に入力することによって、加工後状態を推定する（ステップ S 114）。処理部 11 は、予測モデル 142 によって算出された加工後状態の評価値を算出する（ステップ S 115）。評価値は、評価関数 21 を用いて算出される。評価関数 21 は、ステップ S 111 で取得した目標とする加工後状態と、予測モデル 142 によって予測された加工後状態との違いを評価する関数である。評価関数 21 は、例えば、ステップ S 111 で取得した加工後状態の画像と、予測モデル 142 が出力した加工後状態の画像とのピクセル誤差を返す関数である。
- [0032] そして、処理部 11 は、評価値が所定閾値未満であるか否かを判定する（ステップ S 116）。評価値が所定閾値未満であると判定した場合（ステップ S 116：YES）、パラメータ設定部 22 として機能する処理部 11 は、暫定プラズマパラメータを変更し（ステップ S 117）、処理をステップ S 114 へ戻す。評価値が所定閾値以上になるまで、暫定プラズマパラメータの探索が行われる。評価値が所定閾値以上であると判定した場合（ステップ S 116：NO）、処理部 11 は、ステップ S 113～ステップ S 117

で行われたプラズマパラメータの探索過程の履歴を最適化情報として記憶部 14 に記憶し（ステップ S 118）、処理を終える。図 2 に示すように、プラズマパラメータの探索により、評価値が所定閾値以上となるプラズマパラメータ A が求められる。つまり、加工前状態 A 1 を加工後状態 A 2 に基板処理されるときにプラズマパラメータ A が求められる。

[0033] 図 5 は、最適化情報の一例を示す概念図である。最適化情報は、プラズマパラメータの最適化プロセスのステップを示す番号と、最適化時に試行したプラズマパラメータと、当該プラズマパラメータを用いて推定された加工後状態の評価値とを対応付けた情報である。

[0034] 次に、作成された最適化情報を用いて、基板処理内容が類似しており、加工前状態から加工後状態に基板を加工するためのプラズマパラメータを最適化する処理について説明する。

[0035] 図 6 は、実施形態 1 に係るプラズマパラメータの最適化処理手順を示すフローチャートである。情報処理装置 1 の処理部 11 は、基板処理による基板の加工前状態と、加工後状態とを取得する（ステップ S 131）。例えば、図 2 に示すように、処理部 11 は、加工前状態 B 1 及び加工後状態 B 2 を取得する。ここでは、最適化情報を作成したときに用いられた加工前状態 A 1 と、ステップ S 131 で取得した加工前状態 B 1 とが同一又は類似であるものとする。そして、処理部 11 は、ステップ S 111 と同様に、取得した加工前状態及び加工後状態に応じたレシピ設定値を取得する（ステップ S 132）。

[0036] 次いで、処理部 11 は、先の処理で作成した最適化情報を取得する（ステップ S 133）。つまり、処理部 11 は記憶部 14 から最適化情報を読み出す。

[0037] そして、処理部 11 は、暫定プラズマパラメータの初期値を設定する（ステップ S 134）。そして、処理部 11 は、ステップ S 131 で取得した加工前状態と、暫定プラズマパラメータとを予測モデル 142 に入力することによって、加工後状態を推定する（ステップ S 135）。処理部 11 は、予

測モデル 1 4 2 によって算出された加工後状態の評価値を算出する（ステップ S 1 3 6）。

[0038] そして、処理部 1 1 は、評価値が所定閾値未満であるか否かを判定する（ステップ S 1 3 7）。評価値が所定閾値未満であると判定した場合（ステップ S 1 3 7：YES）、パラメータ設定部 2 2 として機能する処理部 1 1 は、ステップ S 1 3 3 で取得した最適化情報と、ステップ S 1 3 6 で取得した評価値とに基づいて、暫定プラズマパラメータを変更し（ステップ S 1 3 8）、処理をステップ S 1 3 5 へ戻す。例えば、処理部 1 1 は、最適化情報を参照し、暫定プラズマパラメータ及び評価値が類似しており、次に評価値が改善されたときの暫定プラズマパラメータの変更方法を特定する。そして、特定された変更方法を用いて暫定プラズマパラメータを変更する。

[0039] 評価値が所定閾値以上になるまで、暫定プラズマパラメータの探索が行われる。評価値が所定閾値以上であると判定した場合（ステップ S 1 3 7：NO）、処理部 1 1 は、ステップ S 1 3 4 ～ステップ S 1 3 8 で行われたプラズマパラメータの探索過程の履歴を最適化情報として記憶部 1 4 に記憶する（ステップ S 1 3 9）。図 2 に示すように、プラズマパラメータの探索により、評価値が所定閾値以上となるプラズマパラメータ B が求められる。つまり、加工前状態 B 1 を加工後状態 B 2 に基板処理されるときプラズマパラメータ B が求められる。また、ステップ S 1 3 9 で記憶した最適化情報は、他の基板処理におけるプラズマパラメータの最適化処理に活用することができる。

[0040] 次に、処理部 1 1 は、最適化されたプラズマパラメータを出力する（ステップ S 1 4 0）。例えば、処理部 1 1 は、プラズマパラメータを表示部 1 2 に表示する。

[0041] 基板処理装置のオペレータ、又は処理部 1 1 は、最適化されたプラズマパラメータに基づいて、レシピ設定値を調整又は補正する等して決定する（ステップ S 1 4 1）。処理部 1 1 は、決定されたレシピ設定値を用いて、図示しない基板処理装置の動作を制御することにより、基板のプラズマ処理を行

い（ステップS 1 4 2）、処理を終える。

[0042] 上記のように構成された実施形態 1 に係る情報処理装置 1 によれば、基板処理に必要なプロセスレシピを作成するにあたって、最適化情報を活用することによって、基板の加工前状態と、想定する加工後状態とから基板処理プロセスに関連する各種プラズマパラメータを効率的に算出することができる。

[0043] そして、最適化されたプラズマパラメータを用いて、最適なレシピ設定値を決定し、基板処理装置を用いたプラズマ処理を実施することができる。

[0044] また、処理部 1 1 は、類似の基板処理内容でプラズマパラメータの最適化を行う際に試行されたプラズマパラメータ及び評価値の履歴を用いることによって、プラズマパラメータの最適値のみを用いる場合に比べ、より柔軟かつ効率的にプラズマパラメータの最適化をより効率的に行うことができる。

[0045] <使用例>

現在、エンジニアが基板の状態のモデリングする際は、それぞれの状態特徴量に対して、個別に解析を行っている。しかし、エンジニアが各状態特徴量の定量化、対応するパラメータを網羅的探索することは膨大な解析、考察の時間を要する。また従来の最適化手法では、たとえ過去に類似状態計算を行っていたとしても、1 からの最適化計算が行われており、特定状態特徴量の要因解析に多大な最適化時間を要していた。

[0046] そこで、本実施形態 1 に係る情報処理装置 1 によって、加工前状態から所望の平均的な加工後状態が得られるときのプラズマパラメータを算出し、最適化情報を記憶する。そして、平均的な加工後状態からの状態誤差（ばらつき）を含む加工後状態ごとに、最適化情報を用いて最適化を実行する。これにより状態誤差（ばらつき）に対応するプラズマパラメータを評価する。

[0047] 本実施形態 1 に係る情報処理方法等を用いることによって、過去に行った最適化過程で得られた最適化情報を用いることによって、類似の加工後状態を得るためのプラズマパラメータを効率的に算出することができる。さらに同じ実験条件での計測データ内で平均化された状態に対する最適化情報を用

いることにより、平均化された状態からの状態誤差（ばらつき）の要因（プラズマパラメータ）の定量化を行うことができる。また本手法は、任意の最適化情報を対象の最適化に利用することにより探索解の冗長性の問題を低減する。これにより、同じプロセス条件化での最適化において、探索パラメータ空間での類似性を担保した目的加工後状態へのロバスト性評価にも有用となる。

[0048] （実施形態２）

実施形態２に係る情報処理装置１は、過去の蓄積した複数の最適化情報から、類似基板処理内容の最適化情報を検索してプラズマパラメータの最適化を行う点が実施形態１と異なる。情報処理装置１のその他の構成は、実施形態１に係る情報処理装置１と同様であるため、同様の箇所には同じ符号を付し、詳細な説明を省略する。

[0049] 図７は、実施形態２に係る情報処理装置１の構成例を示すブロック図である。実施形態２に係る情報処理装置１は、過去に行ったプラズマパラメータの最適化処理により得られた複数の最適化情報を蓄積する最適化情報ＤＢ２４３を備える。

[0050] 図８は、実施形態２に係る最適化情報ＤＢ２４３のデータ構成を示す概念図である。最適化情報ＤＢ２４３は、レコード番号と、最適化されたプラズマパラメータと、レシピ設定値と、加工前状態と、加工後状態と、最適化情報とを対応付けて記憶する。最適化情報は、図５に示したものと同様の情報であり、最適化過程で試行した複数のプラズマパラメータと、各プラズマパラメータによって得られた予測状態の評価値との履歴を含む。

[0051] 図９は、実施形態２に係る情報処理方法を示す概念図、図１０は、実施形態２に係るプラズマパラメータの最適化処理手順を示すフローチャートである。処理部１１は、実施形態１と同様、基板処理による基板の加工前状態及び加工後状態を取得し（ステップＳ１３１）、取得した加工前状態及び加工後状態に応じたレシピ設定値を取得する（ステップＳ１３２）。

[0052] ユーザは必要に応じて、複数のプラズマパラメータのうち、一部のプラズ

マパラメータの値を任意に指定することができ、操作部 1 3 を用いてプラズマパラメータの指定値を入力することができる。処理部 1 1 は、操作部 1 3 を用いて一部のプラズマパラメータの値が指定された場合、当該指定値を取得する（ステップ S 2 3 3）。

[0053] 次いで、処理部 1 1 は、最適化情報 D B 2 4 3 に記録された過去の最適化情報のうち、今回の基板処理内容と処理内容が類似の最適化情報を検索して取得する（ステップ S 2 3 4）。

[0054] 例えば、処理部 1 1 は、最適化情報 D B 2 4 3 からレシピ設定値が類似の最適化情報を検索して取得するとよい。具体的には、処理部 1 1 は、ステップ S 1 3 2 で特定されたレシピ設定値と、最適化情報 D B 2 4 3 に記録された各最適化情報に対応付けられたレシピ設定値との類似度を算出し、類似度が高いレシピ設定値に対応付けられた最適化情報を選択する。

[0055] 例えば、処理部 1 1 は、最適化情報 D B 2 4 3 から加工前状態及び加工後状態が類似の最適化情報を検索して取得するとよい。具体的には、処理部 1 1 は、ステップ S 1 3 1 で取得した加工前状態及び加工後状態と、最適化情報 D B 2 4 3 に記録された各最適化情報に対応付けられた加工前状態及び加工後状態との類似度を算出し、類似度が高い状態に対応付けられた最適化情報を選択する。

[0056] 例えば、処理部 1 1 は、最適化情報 D B 2 4 3 からプラズマパラメータの一部が類似の最適化情報を検索して取得するとよい。具体的には、処理部 1 1 は、ステップ S 2 3 3 で取得した一部のプラズマパラメータの指定値と、最適化情報 D B 2 4 3 に記録された各最適化情報に対応付けられた対応するプラズマパラメータとの類似度を算出し、類似度が高いプラズマパラメータに対応付けられた最適化情報を選択する。

[0057] 最適化情報の検索方法を 3 つ例示したが、処理部 1 1 は、上記した 3 つの類似度を総合的に評価して、最適化情報を検索して取得してもよい。また、上記した 3 つの類似度のいずれか 2 つを用いて総合的に評価して、最適化情報を検索して取得してもよい。総合的な評価の方法は特に限定されるもので

は無いが、例えば、処理部 1 1 は、類似度の和が最大の最適化情報を選択すればよい。

[0058] 以下、処理部 1 1 は、実施形態 1 と同様、ステップ S 1 3 4 ～ステップ S 1 4 2 の処理を実行する。

[0059] 上記のように構成された実施形態 2 に係る情報処理装置 1 によれば、最適化情報 D B 2 4 3 に蓄積された最適化情報のなかから、基板処理内容が類似の最適化情報を検索し、プラズマパラメータを効率的に最適化することができる。

[0060] (実施形態 3)

実施形態 3 に係る情報処理装置 1 は、予測処理速度及び状態予測精度が異なる複数の学習モデルを用いてプラズマパラメータの最適化を行う点が実施形態 1 と異なる。情報処理装置 1 のその他の構成は、実施形態 1 に係る情報処理装置 1 と同様であるため、同様の箇所には同じ符号を付し、詳細な説明を省略する。

[0061] 図 1 1 は、実施形態 3 に係る情報処理装置 1 の構成例を示すブロック図である。実施形態 3 に係る情報処理装置 1 は、予測モデル 1 4 2 として、異なる 2 つのモデルを記憶している。具体的には、記憶部 1 4 は、第 1 学習モデル 3 4 2 a と、第 2 学習モデル 3 4 2 b とを記憶している。実施形態 3 に係る処理部 1 1 は、異なる第 1 学習モデル 3 4 2 a 及び第 2 学習モデル 3 4 2 b を用いて、プラズマパラメータを最適化する。

[0062] 第 2 学習モデル 3 4 2 b は、第 1 学習モデル 3 4 2 a に比べて、基板の状態予測精度が高く、予測処理速度が遅いモデルである。例えば、第 1 学習モデル 3 4 2 a は機械学習モデルであり、第 2 学習モデル 3 4 2 b は第 1 学習モデル 3 4 2 a に比べて、基板の状態予測精度が高く、予測処理速度が遅い機械学習モデルである。また、第 1 学習モデル 3 4 2 a は機械学習モデルで構成し、第 2 学習モデル 3 4 2 b を、プラズマパラメータ及び基板の初期状態に基づいて、予測状態を C A E 解析にて算出する状態シミュレータとしてもよい。つまり、第 1 学習モデル 3 4 2 a を機械学習モデル、第 2 学習モデル

ル 3 4 2 b を非機械学習モデルとしてもよい。

以下、本実施形態 3 では、第 1 学習モデル 3 4 2 a が機械学習モデル、第 2 学習モデル 3 4 2 b が非機械学習モデルであるものとして説明する。

[0063] 図 1 2 は、実施形態 3 に係るプラズマパラメータの最適化方法を示す概念図、図 1 3 及び図 1 4 は、実施形態 3 に係るプラズマパラメータの最適化処理手順を示すフローチャートである。ここでは、類似の基板処理内容について、第 1 学習モデル 3 4 2 a 及び第 2 学習モデル 3 4 2 b を用いたプラズマパラメータの最適化処理が行われ、記憶部 1 4 は、第 1 学習モデル 3 4 2 a を用いたプラズマパラメータの最適化処理の過程で得られた最適化情報と、第 2 学習モデル 3 4 2 b を用いたプラズマパラメータの最適化処理の過程で得られた最適化情報とを記憶しているものとする。

[0064] 処理部 1 1 は、予測モデル 1 4 2 として第 1 学習モデル 3 4 2 a を用いて、実施形態 1 のステップ S 1 3 1 ～ステップ S 1 3 8 と同様の処理を実行する（ステップ S 3 3 1 ～ステップ S 3 3 8）。

[0065] ステップ S 3 3 7 において処理部 1 1 は、第 1 学習モデル 3 4 2 a を用いて推定された加工後状態の評価値が第 1 所定閾値未満であるか否かを判定する（ステップ S 3 3 7）。第 1 学習モデル 3 4 2 a を用いて推定された加工後状態の評価値が第 1 所定閾値以上であると判定した場合（ステップ S 3 3 7 : NO）、処理部 1 1 は、第 2 学習モデル 3 4 2 b を用いたプラズマパラメータの最適化処理を実行する。

[0066] 具体的には、処理部 1 1 は、第 2 学習モデル 3 4 2 b 用の最適化情報を取得する（ステップ S 3 3 9）。また、処理部 1 1 は、第 1 学習モデル 3 4 2 a を用いて最適化されたプラズマパラメータを暫定プラズマパラメータとして引き継ぐ（ステップ S 3 4 0）。

[0067] 次いで、処理部 1 1 は、ステップ S 3 3 1 で取得した加工前状態と、ステップ S 3 4 0 で引き継いだ暫定プラズマパラメータとに基づき、第 2 学習モデル 3 4 2 b を用いて、加工後状態を推定する（ステップ S 3 4 1）。処理部 1 1 は、第 2 学習モデル 3 4 2 b によって算出された加工後状態の評価値

を算出する（ステップS 3 4 2）。

[0068] そして、処理部 1 1 は、評価値が第 2 所定閾値未満であるか否かを判定する（ステップS 3 4 3）。第 2 所定閾値は、第 1 所定閾値よりも大きな値にするとよい。評価値が第 2 所定閾値未満であると判定した場合（ステップS 3 4 3：Y E S）、パラメータ設定部 2 2 として機能する処理部 1 1 は、ステップS 3 3 9 で取得した最適化情報と、ステップS 3 4 2 で算出した評価値とに基づいて、暫定プラズマパラメータを変更し（ステップS 3 4 4）、処理をステップS 3 4 1 へ戻す。例えば、処理部 1 1 は、最適化情報を参照し、暫定プラズマパラメータ及び評価値が類似しており、次に評価値が改善されたときの暫定プラズマパラメータの変更方法を特定する。そして、特定された変更方法を用いて暫定プラズマパラメータを変更する。

[0069] 評価値が第 2 所定閾値以上になるまで、暫定プラズマパラメータの探索が行われる。評価値が第 2 所定閾値以上であると判定した場合（ステップS 3 4 3：N O）、処理部 1 1 は、ステップS 3 3 4 ～ステップS 3 3 8 で行われたプラズマパラメータの探索過程の履歴を第 1 学習モデル 3 4 2 a の最適化情報として、ステップS 3 4 0 ～ステップS 3 4 4 で行われたプラズマパラメータの探索過程の履歴を第 2 学習モデル 3 4 2 b の最適化情報として、記憶部 1 4 に記憶する（ステップS 3 4 5）。

[0070] 以下、処理部 1 1 は、実施形態 1 と同様、ステップS 1 4 0 ～ステップS 1 4 2 の処理を実行する（ステップS 3 4 6 ～ステップS 3 4 8）。

[0071] 上記のように構成された実施形態 3 に係る情報処理装置 1 によれば、単なる機械学習モデルを用いた従来技術に比べて、より速やかにかつ高精度でプラズマパラメータを最適化することができる。

[0072] 本開示の課題を解決するための手段を付記する。

（付記 1）

基板処理の条件に関連するパラメータ及び基板の初期状態に基づいて基板処理後の予測状態を算出する予測モデルを用いて、基板処理の条件に関連する前記パラメータを最適化する処理をコンピュータに実行させるコンピュー

タプログラムであって、

基板処理内容が類似しており、第1加工前状態から第1加工後状態に基板を加工するための前記パラメータを最適化した際に得られた最適化情報を取得し、

取得した前記最適化情報及び前記予測モデルを用いて、第2加工前状態から第2加工後状態に基板を加工するための前記パラメータを最適化する

処理を前記コンピュータに実行させるコンピュータプログラム。

(付記2)

前記最適化情報は、

第1加工前状態から第1加工後状態に基板を加工するための複数の前記パラメータを最適化する過程で求められた前記複数のパラメータと、該複数のパラメータに対する評価値との履歴を含む

付記1に記載のコンピュータプログラム。

(付記3)

前記パラメータは、プラズマ処理の条件に関連するプラズマパラメータを含む

付記1又は付記2に記載のコンピュータプログラム。

(付記4)

前記パラメータは、プロセスレシピの設定値を含む

付記1から付記3のいずれか1つに記載のコンピュータプログラム。

(付記5)

第1加工前状態と、第1加工後状態と、該第1加工前状態から前記第1加工後状態に基板を加工するための最適化された複数の前記パラメータとを対応付けた情報を含む前記最適化情報を記憶した記憶部から、基板処理内容が類似の前記最適化情報を検索し、

検索して得た前記最適化情報に係る前記複数のパラメータを用いて、第2加工前状態から第2加工後状態に基板を加工するための前記パラメータを最適化する

付記1から付記4のいずれか1つに記載のコンピュータプログラム。

(付記6)

前記第1加工前状態及び第1加工後状態に係るプロセスレシピの設定値と、前記第2加工前状態及び第2加工後状態に係るプロセスレシピの類似度に基づいて、前記最適化情報を検索する付記5に記載のコンピュータプログラム。

(付記7)

前記第1加工前状態及び第1加工後状態と、前記第2加工前状態及び第2加工後状態との類似度に基づいて、前記最適化情報を検索する付記5に記載のコンピュータプログラム。

(付記8)

一部を特定の値にした前記複数のパラメータとの類似度に基づいて、前記最適化情報を検索する付記5に記載のコンピュータプログラム。

(付記9)

前記第1加工前状態及び第1加工後状態に係るプロセスレシピの設定値と、前記第2加工前状態及び第2加工後状態に係るプロセスレシピの設定値との類似度と、前記第1加工前状態及び第1加工後状態と、前記第2加工前状態及び第2加工後状態との類似度と、一部を特定の値にした前記パラメータとの類似度とに基づいて、前記最適化情報を検索する付記5に記載のコンピュータプログラム。

(付記10)

前記予測モデルは、

異なる第1学習モデル及び第2学習モデルを用いて前記パラメータを最適化する

付記1から付記3のいずれか9項に記載のコンピュータプログラム。

(付記11)

前記第2学習モデルは、前記第1学習モデルに比べて、基板の状態予測精度が高く、予測処理速度が遅い

付記 10 に記載のコンピュータプログラム。

(付記 12)

前記第 1 学習モデルは機械学習モデルであり、

前記第 2 学習モデルは前記第 1 学習モデルに比べて、基板の状態予測精度が高く、予測処理速度が遅い機械学習モデルを含む

付記 10 又は付記 11 に記載のコンピュータプログラム。

(付記 13)

前記第 1 学習モデルは機械学習モデルであり、

前記第 2 学習モデルは、

前記パラメータ及び基板の初期状態に基づいて、基板の予測状態を CAE 解析にて算出する状態シミュレータを含む

付記 10 又は付記 11 に記載のコンピュータプログラム。

(付記 14)

最適化された前記パラメータに基づいてプロセスレシピの設定値を決定し

、

決定したプロセスレシピの設定値に基づいて基板処理を制御する

付記 1 から付記 13 のいずれか 1 つに記載のコンピュータプログラム。

符号の説明

[0073]	1	: 情報処理装置
	10	: 記録媒体
	11	: 処理部
	12	: 表示部
	13	: 操作部
	14	: 記憶部
	141	: コンピュータプログラム
	142	: 予測モデル
	342a	: 第 1 学習モデル
	342b	: 第 2 学習モデル

2 4 3 : 最適化情報 D B

請求の範囲

- [請求項1] 基板処理の条件に関連するパラメータ及び基板の初期状態に基づいて基板処理後の予測状態を算出する予測モデルを用いて、基板処理の条件に関連する前記パラメータを最適化する処理をコンピュータに実行させるコンピュータプログラムであって、
- 基板処理内容が類似しており、第1加工前状態から第1加工後状態に基板を加工するための前記パラメータを最適化した際に得られた最適化情報を取得し、
- 取得した前記最適化情報及び前記予測モデルを用いて、第2加工前状態から第2加工後状態に基板を加工するための前記パラメータを最適化する
- 処理を前記コンピュータに実行させるコンピュータプログラム。
- [請求項2] 前記最適化情報は、
- 第1加工前状態から第1加工後状態に基板を加工するための複数の前記パラメータを最適化する過程で求められた前記複数のパラメータと、該複数のパラメータに対する評価値との履歴を含む
- 請求項1に記載のコンピュータプログラム。
- [請求項3] 前記パラメータは、プラズマ処理の条件に関連するプラズマパラメータを含む
- 請求項1に記載のコンピュータプログラム。
- [請求項4] 前記パラメータは、プロセスレシピの設定値を含む
- 請求項1に記載のコンピュータプログラム。
- [請求項5] 第1加工前状態と、第1加工後状態と、該第1加工前状態から前記第1加工後状態に基板を加工するための最適化された複数の前記パラメータとを対応付けた情報を含む前記最適化情報を記憶した記憶部から、基板処理内容が類似の前記最適化情報を検索し、
- 検索して得た前記最適化情報に係る前記複数のパラメータを用いて、第2加工前状態から第2加工後状態に基板を加工するための前記パ

ラメータを最適化する

請求項 1 に記載のコンピュータプログラム。

[請求項6] 前記第 1 加工前状態及び第 1 加工後状態に係るプロセスレシピの設定値と、前記第 2 加工前状態及び第 2 加工後状態に係るプロセスレシピの類似度に基づいて、前記最適化情報を検索する請求項 5 に記載のコンピュータプログラム。

[請求項7] 前記第 1 加工前状態及び第 1 加工後状態と、前記第 2 加工前状態及び第 2 加工後状態との類似度に基づいて、前記最適化情報を検索する請求項 5 に記載のコンピュータプログラム。

[請求項8] 一部を特定の値にした前記複数のパラメータとの類似度に基づいて、前記最適化情報を検索する請求項 5 に記載のコンピュータプログラム。

[請求項9] 前記第 1 加工前状態及び第 1 加工後状態に係るプロセスレシピの設定値と、前記第 2 加工前状態及び第 2 加工後状態に係るプロセスレシピの設定値との類似度と、前記第 1 加工前状態及び第 1 加工後状態と、前記第 2 加工前状態及び第 2 加工後状態との類似度と、一部を特定の値にした前記パラメータとの類似度とに基づいて、前記最適化情報を検索する請求項 5 に記載のコンピュータプログラム。

[請求項10] 前記予測モデルは、
異なる第 1 学習モデル及び第 2 学習モデルを用いて前記パラメータを最適化する

請求項 1 に記載のコンピュータプログラム。

[請求項11] 前記第 2 学習モデルは、前記第 1 学習モデルに比べて、基板の状態予測精度が高く、予測処理速度が遅い

請求項 10 に記載のコンピュータプログラム。

[請求項12] 前記第 1 学習モデルは機械学習モデルであり、
前記第 2 学習モデルは前記第 1 学習モデルに比べて、基板の状態予測精度が高く、予測処理速度が遅い機械学習モデルを含む

- 請求項 10 に記載のコンピュータプログラム。
- [請求項13] 前記第 1 学習モデルは機械学習モデルであり、
前記第 2 学習モデルは、
前記パラメータ及び基板の初期状態に基づいて、基板の予測状態を
C A E 解析にて算出する状態シミュレータを含む
請求項 10 に記載のコンピュータプログラム。
- [請求項14] 最適化された前記パラメータに基づいてプロセスレシピの設定値を
決定し、
決定したプロセスレシピの設定値に基づいて基板処理を制御する
請求項 1 に記載のコンピュータプログラム。
- [請求項15] 基板処理の条件に関連するパラメータ及び基板の初期状態に基づい
て基板処理後の予測状態を算出する予測モデルを用いて、基板処理の
条件に関連する前記パラメータを最適化する情報処理方法であって、
基板処理内容が類似しており、第 1 加工前状態から第 1 加工後状態
に基板を加工するための前記パラメータを最適化した際に得られた最
適化情報を取得し、
取得した前記最適化情報及び前記予測モデルを用いて、第 2 加工前
状態から第 2 加工後状態に基板を加工するための前記パラメータを最
適化する
情報処理方法。
- [請求項16] 基板処理の条件に関連するパラメータ及び基板の初期状態に基づい
て基板処理後の予測状態を算出する予測モデルを用いて、基板処理の
条件に関連する前記パラメータを最適化する処理部を備えた情報処理
装置であって、
前記処理部は、
基板処理内容が類似しており、第 1 加工前状態から第 1 加工後状態
に基板を加工するための前記パラメータを最適化した際に得られた最
適化情報を取得し、

取得した前記最適化情報及び前記予測モデルを用いて、第2加工前状態から第2加工後状態に基板を加工するための前記パラメータを最適化する

情報処理装置。