

明 細 書

発明の名称：

ワークピースの研磨レートの応答性プロファイルを作成する方法、研磨方法、およびプログラムが格納されたコンピュータ読み取り可能な記録媒体

技術分野

[0001] 本発明は、半導体デバイスの製造に使用されるウェーハ、基板、パネルなどのワークピースを研磨する技術に関し、特に、ワークピースを研磨パッドに押し付ける圧力の変化に対する研磨レートの応答性を算定する技術に関する。

背景技術

[0002] 化学機械研磨（以下、CMPという）は、シリカ（ SiO_2 ）等の砥粒を含んだ研磨液を研磨パッド上に供給しつつワークピース（例えば、ウェーハ、基板、またはパネルなど）を研磨パッドに摺接させて該ワークピースを研磨するプロセスである。このCMPを行うための研磨装置は、研磨面を有する研磨パッドを支持する研磨テーブルと、ワークピースを研磨パッドに押し付けるための研磨ヘッドを備えている。

[0003] 研磨ヘッドは、圧力室を形成する弾性膜でワークピースを研磨パッドに押し付けるように構成されている。圧力室内には加圧された気体が供給され、気体の圧力は、弾性膜を介してワークピースに加えられる。したがって、ワークピースが研磨パッドに押し付けられる力は、圧力室内の圧力によって調節できる。

[0004] 研磨装置は、次のようにしてワークピースを研磨する。研磨テーブルおよび研磨パッドを一体に回転させながら、研磨液（典型的にはスラリー）を研磨パッドの研磨面に供給する。研磨ヘッドはワークピースを回転させながら、ワークピースの表面を研磨パッドの研磨面に対して押し付ける。ワークピースは、研磨液の存在下で研磨パッドに摺接される。ワークピースの表面は、研磨液の化学的作用と、研磨液に含まれる砥粒および研磨パッドの機械的

作用により、研磨される。

[0005] ワークピースの膜厚は、研磨時間に伴って徐々に減少する。ワークピースの膜厚が減少する速度は、しばしば研磨レートで表される。研磨レートは、研磨により単位時間あたりに減少するワークピースの表面材料の量であり、減少する量は厚さで表される。研磨レートは、除去レートとも呼ばれる。

[0006] CMPプロセスを最適化するためには、研磨ヘッドの圧力室内の圧力変化に対するワークピースの研磨レートの応答性を把握することが重要である。研磨レートの応答性とは、圧力室内の単位圧力の変化に応答した研磨レートの変化をいう。研磨レートの応答性を知ることができれば、目標プロファイルを達成するために必要な研磨レートでワークピースを研磨することができる。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開2006-43873号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 研磨レートは、基本的に、以下のようなプレストンの法則に従うことが知られている。

研磨レート $\propto$ 押し付け圧力 $\times$ 相対速度

しかしながら、研磨ヘッドの弾性膜からワークピースに加えられる押し付け力は、弾性膜の押し付け面内で一定ではなく、また、温度、研磨パッド、研磨液など様々な要因で変化する。従来では、実験計画法（DOE）を用いて、圧力室内の圧力を増減させながら、実際にワークピースを研磨して研磨レート応答性を得ている。しかしながら、この手法では、相当数のワークピースと多くの作業時間が必要となり、非常にコストのかかる作業となる。

[0009] そこで、本発明は、ウェーハなどのワークピースを研磨パッドに押し付ける圧力の変化に対する研磨レートの応答性を容易に取得することができる方

法を提供する。また、本発明は、研磨レート応答性プロファイルを利用してワークピースを研磨する研磨方法を提供する。さらに、本発明は、研磨レート応答性プロファイルをコンピュータに作成させるためのプログラムが格納されたコンピュータ読み取り可能な記録媒体を提供する。

課題を解決するための手段

[0010] 一態様では、半導体デバイスの製造に使用されるワークピースを、圧力室内に形成された弾性膜で研磨パッドに押し付けたときの前記圧力室内の圧力変化に対する研磨レートの応答性の分布を示す研磨レート応答性プロファイルを作成する方法であって、前記圧力室内の単位圧力の変化にตอบสนองして変化した、前記ワークピースから前記研磨パッドに加えられる押し付け圧力の分布を示す押し付け圧力応答性プロファイルをシミュレーションにより算定し、前記圧力室内が所定の圧力に維持された状態で、前記ワークピースを前記研磨パッドに押し付けて前記ワークピースを研磨し、前記研磨されたワークピースの研磨レートの分布を示す研磨レートプロファイルを作成し、前記押し付け圧力応答性プロファイルと、前記所定の圧力と、前記研磨レートプロファイルに基づいて、前記研磨レート応答性プロファイルを作成する、方法が提供される。

[0011] 一態様では、前記研磨レート応答性プロファイルを作成する工程は、前記押し付け圧力応答性プロファイルに前記所定の圧力および研磨レート係数を乗算して仮想研磨レートプロファイルを作成し、前記研磨レートプロファイルと前記仮想研磨レートプロファイルとの差を最小とする前記研磨レート係数を決定し、前記押し付け圧力応答性プロファイルに前記決定された研磨レート係数を乗算して前記研磨レート応答性プロファイルを作成する工程である。

一態様では、前記圧力室は複数の圧力室であり、前記研磨レート係数は前記複数の圧力室にそれぞれ対応した複数の研磨レート係数である。

一態様では、前記方法は、前記研磨レートプロファイルと前記仮想研磨レートプロファイルとの差をなくすための補正係数を決定することをさらに含

み、前記押し付け圧力応答性プロファイルに前記決定された研磨レート係数を乗算して前記研磨レート応答性プロファイルを作成する工程は、前記押し付け圧力応答性プロファイルに前記決定された研磨レート係数および前記補正係数を乗算して前記研磨レート応答性プロファイルを作成する工程である。

[0012] 一態様では、前記研磨レート応答性プロファイルを作成する工程は、前記押し付け圧力応答性プロファイルに前記所定の圧力および研磨レート係数を乗算して得られた値に、研磨レートオフセットを加算して仮想研磨レートプロファイルを作成し、前記研磨レートプロファイルと前記仮想研磨レートプロファイルとの差を最小とする前記研磨レート係数および前記研磨レートオフセットを決定し、前記押し付け圧力応答性プロファイルに前記決定された研磨レート係数を乗算して得られた値に、前記決定された研磨レートオフセットを加算して前記研磨レート応答性プロファイルを作成する工程である。

一態様では、前記圧力室は複数の圧力室であり、前記研磨レート係数は前記複数の圧力室にそれぞれ対応した複数の研磨レート係数である。

一態様では、前記方法は、前記研磨レートプロファイルと前記仮想研磨レートプロファイルとの差をなくすための補正係数を決定することをさらに含み、前記押し付け圧力応答性プロファイルに前記決定された研磨レート係数を乗算して前記研磨レート応答性プロファイルを作成する工程は、前記押し付け圧力応答性プロファイルに前記決定された研磨レート係数および前記補正係数を乗算して得られた値に、前記決定された研磨レートオフセットを加算して前記研磨レート応答性プロファイルを作成する工程である。

[0013] 一態様では、前記押し付け圧力応答性プロファイルを作成する工程は、前記圧力室内の第1の圧力から第2の圧力への変化に応答して変化した前記押し付け圧力の分布を示す第1の押し付け圧力応答性プロファイルをシミュレーションにより作成し、前記圧力室内の第3の圧力から第4の圧力への変化に応答して変化した前記押し付け圧力の分布を示す第2の押し付け圧力応答性プロファイルをシミュレーションにより作成し、前記第1の押し付け圧力

応答性プロファイルと前記第2の押し付け圧力応答性プロファイルとに基づいて前記押し付け圧力応答性プロファイルを作成する工程である。

- [0014] 一態様では、前記第1の押し付け圧力応答性プロファイルと前記第2の押し付け圧力応答性プロファイルとに基づいて前記押し付け圧力応答性プロファイルを作成する工程は、前記第1の押し付け圧力応答性プロファイルと前記第2の押し付け圧力応答性プロファイルとを用いた内挿または外挿により前記押し付け圧力応答性プロファイルを作成する工程である。

一態様では、前記第1の押し付け圧力応答性プロファイルと前記第2の押し付け圧力応答性プロファイルとに基づいて前記押し付け圧力応答性プロファイルを作成する工程は、前記第1の押し付け圧力応答性プロファイルと前記第2の押し付け圧力応答性プロファイルを、機械学習により構築されたモデルに入力し、前記モデルから前記押し付け圧力応答性プロファイルを出力する工程である。

- [0015] 一態様では、前記研磨レートプロファイルは、複数のワークピースを研磨することで作成された複数の研磨レートプロファイルから選択された1つであり、前記複数の研磨レートプロファイルは、前記複数のワークピースごとに異なる圧力を前記圧力室内に設定した状態で、前記複数のワークピースを前記研磨パッドに1つずつ押し付けて前記複数のワークピースを研磨し、前記研磨された複数のワークピースの研磨レートの分布を示す複数の研磨レートプロファイルを生成することによって得られたものである。

- [0016] 一態様では、前記方法は、前記研磨レート応答性プロファイルを用いて他のワークピースの研磨条件を最適化することをさらに含む。

一態様では、前記他のワークピースの研磨条件を最適化する工程は、前記他のワークピースを研磨しながら、前記他のワークピースの現在の膜厚プロファイルを作成し、前記現在の膜厚プロファイルと目標膜厚プロファイルとの差を最小とするための前記圧力室内の圧力を、前記研磨レート応答性プロファイルに基づいて決定する工程である。

一態様では、前記他のワークピースの研磨条件を最適化する工程は、前記

研磨レートプロファイルの生成に使用された前記ワークピースの研磨前の膜厚プロファイルおよび研磨後の膜厚プロファイルを作成し、前記研磨前の膜厚プロファイル、前記研磨後の膜厚プロファイル、目標膜厚プロファイル、および前記研磨レート応答性プロファイルに基づいて、前記圧力室内の圧力を決定する工程である。

[0017] 一態様では、前記方法によって作成された前記研磨レート応答性プロファイルを用いてワークピースの研磨条件を最適化し、前記最適化された研磨条件の下で、前記ワークピースを前記弾性膜で前記研磨パッドに押し付けて前記ワークピースを研磨する、研磨方法が提供される。

[0018] 一態様では、半導体デバイスの製造に使用されるワークピースを、圧力室が内側に形成された弾性膜で研磨パッドに押し付けたときの前記圧力室内の圧力変化に対する研磨レートの応答性の分布を示す研磨レート応答性プロファイルをコンピュータに作成させるためのプログラムが格納されたコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、前記プログラムは、前記圧力室内の単位圧力の変化に応答して変化した、前記ワークピースから前記研磨パッドに加えられる押し付け圧力の分布を示す押し付け圧力応答性プロファイルをシミュレーションにより算定し、前記圧力室内が所定の圧力に維持された状態で、前記ワークピースを前記研磨パッドに押し付けることで研磨された前記ワークピースの研磨レートの分布を示す研磨レートプロファイルを作成し、前記押し付け圧力応答性プロファイルと、前記所定の圧力と、前記研磨レートプロファイルに基づいて、前記研磨レート応答性プロファイルを作成するステップを前記コンピュータに実行させるように構成されている、コンピュータ読み取り可能な記録媒体が提供される。

発明の効果

[0019] 本発明によれば、シミュレーションにより生成された押し付け圧力応答性プロファイルと、実際の研磨により取得された研磨レートプロファイルに基づいて、研磨レート応答性プロファイルを容易に取得することができる。

図面の簡単な説明

[0020] [図1]研磨装置の一実施形態を示す模式図である。

[図2]研磨ヘッドの一実施形態を示す断面図である。

[図3]研磨レート応答性プロファイルを作成する一実施形態を説明するためのフローチャートである。

[図4]押し付け圧力応答性プロファイルを作成する一実施形態を説明する図である。

[図5]押し付け圧力応答性プロファイルの一例を示すグラフである。

[図6]各圧力室に関する仮想研磨レートプロファイルと、すべての圧力室に関する仮想研磨レートプロファイルと、実際の研磨レートプロファイルの一例を示すグラフである。

[図7]補正係数を更新する一実施形態を説明するためのフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0021] 以下、本発明の実施形態について図面を参照して説明する。図1は、研磨装置の一実施形態を示す模式図である。研磨装置は、半導体デバイスの製造に使用されるワークピースの一例であるウェーハWを化学機械的に研磨する装置である。図1に示すように、この研磨装置は、研磨面2aを有する研磨パッド2を支持する研磨テーブル5と、ウェーハWを研磨面2aに対して押し付ける研磨ヘッド7と、研磨液（例えば、砥粒を含むスラリー）を研磨面2aに供給する研磨液供給ノズル8と、後述する研磨レート応答性プロファイルを作成する演算システム10を備えている。

[0022] 研磨ヘッド7は、その下面にウェーハWを保持できるように構成されている。ウェーハWは被研磨膜を有する。以下の実施形態では、ワークピースの例としてウェーハが使用されているが、ワークピースはウェーハに限定されず、半導体デバイスの製造に使用されるものであれば、円形基板、矩形基板、パネルなどであってもよい。

[0023] 演算システム10は、少なくとも1台のコンピュータから構成されている。演算システム10は、後述する研磨レート応答性プロファイルを作成する

ためのプログラムが格納された記憶装置 10 a と、プログラムに含まれる命令に従って演算を実行する演算装置 10 b を備えている。記憶装置 10 a は、ランダムアクセスメモリ（RAM）などの主記憶装置と、ハードディスクドライブ（HDD）、ソリッドステートドライブ（SSD）などの補助記憶装置を備えている。演算装置 10 b の例としては、CPU（中央処理装置）、GPU（グラフィックプロセッシングユニット）が挙げられる。ただし、演算システム 10 の具体的構成はこれらの例に限定されない。

[0024] 研磨装置は、支軸 14 と、支軸 14 の上端に連結された研磨ヘッド揺動アーム 16 と、研磨ヘッド揺動アーム 16 の自由端に回転可能に支持された研磨ヘッドシャフト 18 をさらに備えている。研磨ヘッド 7 は、研磨ヘッドシャフト 18 の下端に固定されている。研磨ヘッド揺動アーム 16 内には、電動機などを備えた研磨ヘッド回転機構（図示せず）が配置されている。この研磨ヘッド回転機構は、研磨ヘッドシャフト 18 に連結されており、研磨ヘッドシャフト 18 および研磨ヘッド 7 を矢印で示す方向に回転させるように構成されている。

[0025] 研磨ヘッドシャフト 18 は、図示しない研磨ヘッド昇降機構（ボールねじ機構などを含む）に連結されている。この研磨ヘッド昇降機構は、研磨ヘッドシャフト 18 を研磨ヘッド揺動アーム 16 に対して相対的に上下動させるように構成されている。この研磨ヘッドシャフト 18 の上下動により、研磨ヘッド 7 は、矢印で示すように、研磨ヘッド揺動アーム 16 および研磨テーブル 5 に対して相対的に上下動可能となっている。

[0026] 研磨装置は、研磨パッド 2 および研磨テーブル 5 をそれらの軸心を中心に回転させるテーブル回転モータ 21 をさらに備えている。テーブル回転モータ 21 は研磨テーブル 5 の下方に配置されており、研磨テーブル 5 は、テーブル軸 5 a を介してテーブル回転モータ 21 に連結されている。研磨テーブル 5 および研磨パッド 2 は、テーブル回転モータ 21 によりテーブル軸 5 a を中心に矢印で示す方向に回転されるようになっている。研磨パッド 2 は、研磨テーブル 5 の上面に貼り付けられている。研磨パッド 2 の露出面は、ウ

エーハWを研磨する研磨面2 aを構成している。

[0027] ウェーハWの研磨は次のようにして行われる。ウェーハWは、その被研磨面が下を向いた状態で、研磨ヘッド7に保持される。研磨ヘッド7および研磨テーブル5をそれぞれ回転させながら、研磨テーブル5の上方に設けられた研磨液供給ノズル8から研磨液（例えば、砥粒を含むスラリー）を研磨パッド2の研磨面2 a上に供給する。研磨パッド2はその中心軸線を中心に研磨テーブル5と一体に回転する。研磨ヘッド7は研磨ヘッド昇降機構（図示せず）により所定の高さまで移動される。さらに、研磨ヘッド7は上記所定の高さに維持されたまま、ウェーハWを研磨パッド2の研磨面2 aに押し付ける。ウェーハWは研磨ヘッド7と一体に回転する。研磨液が研磨パッド2の研磨面2 a上に存在した状態で、ウェーハWは研磨面2 aに摺接される。ウェーハWの表面は、研磨液の化学的作用と、研磨液に含まれる砥粒および研磨パッド2の機械的作用との組み合わせにより、研磨される。

[0028] 研磨装置は、研磨面2 a上のウェーハWの膜厚を測定する膜厚センサ4 2を備えている。膜厚センサ4 2は、ウェーハWの膜厚を直接または間接に示す研磨指標値を生成するように構成されている。この研磨指標値は、ウェーハWの膜厚に従って変化するので、ウェーハWの膜厚を示す。研磨指標値は、ウェーハWの膜厚自体を表す値であってもよいし、または膜厚に換算される前の物理量または信号値であってもよい。

[0029] 膜厚センサ4 2の例としては、光学式膜厚センサ、渦電流センサが挙げられる。光学式膜厚センサは、ウェーハWの表面に光を照射し、ウェーハWからの反射光のスペクトルからウェーハWの膜厚を決定するように構成される。渦電流センサは、ウェーハWに形成されている導電膜に渦電流を誘起させ、導電膜と渦電流センサのコイルとを含む電気回路のインピーダンスに従って変化する信号値を出力するように構成される。光学式膜厚センサおよび渦電流センサには、公知の装置を使用することができる。

[0030] 膜厚センサ4 2は、研磨テーブル5内に設置されており、研磨テーブル5と一体に回転する。より具体的には、膜厚センサ4 2は、研磨テーブル5が

一回転するたびに、研磨面 2 a 上のウェーハ W を横切りながら、ウェーハ W の複数の測定点での膜厚を測定するように構成されている。本実施形態では、膜厚センサ 4 2 は、ウェーハ W の中心を含む複数の測定点での膜厚を測定するように配置されている。したがって、複数の測定点はウェーハ W の半径方向に並んでいる。

[0031] 膜厚センサ 4 2 は、演算システム 1 0 に接続されている。膜厚センサ 4 2 によって生成された膜厚の測定値は、演算システム 1 0 によって監視される。すなわち、ウェーハ W の複数の測定点での膜厚の測定値は、膜厚センサ 4 2 から出力され、演算システム 1 0 に送られ、記憶装置 1 0 a 内に保存される。演算システム 1 0 は、膜厚の測定値に基づいてウェーハ W の膜厚プロファイルを作成する。膜厚プロファイルは、ウェーハ W の半径方向に沿った膜厚の分布を表す。

[0032] 次に、研磨ヘッド 7 について説明する。図 2 は、研磨ヘッド 7 の一実施形態を示す断面図である。研磨ヘッド 7 は、研磨ヘッドシャフト 1 8 の端部に固定されたヘッド本体 3 1 と、ヘッド本体 3 1 の下部に取り付けられた弾性膜 3 4 と、ヘッド本体 3 1 の下方に配置されたリテーナリング 3 2 とを備えている。リテーナリング 3 2 は、弾性膜 3 4 の周囲に配置されている。このリテーナリング 3 2 は、ウェーハ W の研磨中にウェーハ W が研磨ヘッド 7 から飛び出さないようにするためにウェーハ W を保持する環状の構造体である。

[0033] 弾性膜 3 4 とヘッド本体 3 1 との間には、4 つの圧力室 C 1, C 2, C 3, C 4 が設けられている。圧力室 C 1, C 2, C 3, C 4 は弾性膜 3 4 とヘッド本体 3 1 によって形成されている。中央の圧力室 C 1 は円形であり、他の圧力室 C 2, C 3, C 4 は環状である。これらの圧力室 C 1, C 2, C 3, C 4 は、同心上に配列されている。

[0034] 圧力室 C 1, C 2, C 3, C 4 にはそれぞれ気体移送ライン F 1, F 2, F 3, F 4 が接続されている。気体移送ライン F 1, F 2, F 3, F 4 の一端は、研磨装置が設置されている工場に設けられたユーティリティとしての

圧縮気体供給源（図示せず）に接続されている。圧縮空気等の圧縮気体は、気体移送ラインF 1, F 2, F 3, F 4を通じて圧力室C 1, C 2, C 3, C 4にそれぞれ供給されるようになっている。圧力室C 1, C 2, C 3, C 4内の圧縮気体は、弾性膜3 4を介してウェーハWを研磨パッド2の研磨面2 aに対して押し付ける。

[0035] 圧力室C 3に連通する気体移送ラインF 3は、図示しない真空ラインに接続されており、圧力室C 3内に真空を形成することが可能となっている。圧力室C 3を構成する、弾性膜3 4の部位には開口が形成されており、圧力室C 3に真空を形成することによりウェーハWが研磨ヘッド7に吸着保持される。また、この圧力室C 3に圧縮気体を供給することにより、ウェーハWが研磨ヘッド7からリリースされる。

[0036] ヘッド本体3 1とリテーナリング3 2の間には、環状の弾性膜3 6が配置されており、この弾性膜3 6の内部には圧力室C 5が形成されている。圧力室C 5は、気体移送ラインF 5を介して上記圧縮気体供給源に連結されている。圧縮気体は、気体移送ラインF 5を通じて圧力室C 5内に供給され、圧力室C 5内の圧縮気体はリテーナリング3 2を研磨パッド2に対して押し付ける。

[0037] 気体移送ラインF 1, F 2, F 3, F 4, F 5は、研磨ヘッドシャフト1 8に取り付けられたロータリージョイント4 0を経由して延びている。圧力室C 1, C 2, C 3, C 4, C 5に連通する気体移送ラインF 1, F 2, F 3, F 4, F 5には、それぞれ圧力レギュレータR 1, R 2, R 3, R 4, R 5が設けられている。圧縮気体供給源からの圧縮気体は、圧力レギュレータR 1～R 5を通して圧力室C 1～C 5内にそれぞれ独立に供給される。圧力レギュレータR 1～R 5は、圧力室C 1～C 5内の圧縮気体の圧力を調節するように構成されている。

[0038] 圧力レギュレータR 1～R 5は、圧力室C 1～C 5の内部圧力を互いに独立して変化させることが可能であり、これにより、ウェーハWの対応する4つの領域、すなわち、中央部、内側中間部、外側中間部、およびエッジ部に

対する押し付け圧力、およびリテーナリング 3 2 の研磨パッド 2 への押し付け圧力を独立に調節することができる。気体移送ライン F 1, F 2, F 3, F 4, F 5 は大気開放弁（図示せず）にもそれぞれ接続されており、圧力室 C 1 ~ C 5 を大気開放することも可能である。本実施形態では、弾性膜 3 4 は、4 つの圧力室 C 1 ~ C 4 を形成するが、一実施形態では、弾性膜 3 4 は 4 つよりも少ない、または 4 つよりも多い圧力室を形成してもよい。単一の圧力室のみが設けられてもよい。

[0039] 圧力レギュレータ R 1 ~ R 5 は演算システム 1 0 に接続されている。演算システム 1 0 は、ウェーハ W の膜厚の測定値を膜厚センサ 4 2（図 1 参照）から受け取り、膜厚の測定値に基づいて、目標膜厚プロファイルを達成するための圧力室 C 1 ~ C 5 の目標圧力値を決定し、目標圧力値を圧力レギュレータ R 1 ~ R 5 に送信する。圧力レギュレータ R 1 ~ R 5 は、圧力室 C 1 ~ C 5 内の圧力が対応する目標圧力値に維持されるように動作する。

[0040] 研磨ヘッド 7 はウェーハ W の複数の領域に対して、独立した圧力をそれぞれ加えることができる。例えば、研磨ヘッド 7 は、ウェーハ W の表面の異なる領域を異なる圧力で研磨パッド 2 の研磨面 2 a に対して押し付けることができる。したがって、研磨ヘッド 7 は、ウェーハ W の膜厚プロファイルを制御して、目標とする膜厚プロファイルを達成することができる。

[0041] 研磨プロセスを最適化するには、圧力室 C 1 ~ C 4 内の圧力に対するウェーハ W の研磨レートの応答性を把握することが重要である。研磨レートは、研磨により単位時間あたりに減少するウェーハ W の表面材料の量であり、減少する量は厚さで表される。研磨レートは、除去レートとも呼ばれる。研磨レートの応答性とは、圧力室内の単位圧力の変化に応答した研磨レートの変化をいう。

[0042] 以下に説明する実施形態では、演算システム 1 0 は、研磨ヘッド 7 の弾性膜 3 4 でウェーハ W を研磨パッド 2 に対して押し付けたときの、圧力室 C 1 ~ C 4 内の圧力変化に対する研磨レートの応答性の分布を示す研磨レート応答性プロファイルを作成する。

[0043] 図3は、研磨レート応答性プロファイルを作成する一実施形態を説明するためのフローチャートである。

ステップ1では、演算システム10は、圧力室C1～C4内の単位圧力の変化にตอบสนองして変化した、ウェーハWから研磨パッド2に加えられる押し付け圧力の分布を示す押し付け圧力応答性プロファイルをシミュレーションにより算定する。シミュレーションは、研磨ヘッド7の弾性膜34、研磨パッド2、およびウェーハの数学的モデルを用いて実行される。したがって、シミュレーション結果には、弾性膜34の形状および弾性、研磨パッド2の弾性、ウェーハWの剛性などが反映される。使用されるシミュレーションは、意図した押し付け圧力応答性プロファイルを算定できるものであれば特に限定されないが、本実施形態では、有限要素法に基づくシミュレーションが使用される。本実施形態のシミュレーションは、ウェーハWおよび研磨パッド2を回転させない条件下で実行されるが、実際の研磨と同じように、ウェーハWおよび研磨パッド2を回転させる条件下でシミュレーションを実行してもよい。

[0044] ステップ2では、図1に示す研磨装置は、研磨ヘッド7の圧力室C1～C4内が所定の圧力に維持された状態で、研磨ヘッド7によりウェーハWを研磨パッド2に押し付けてウェーハWを研磨する。ウェーハWの研磨は、上述したように、研磨テーブル5および研磨パッド2を回転させ、かつウェーハWを研磨ヘッド7により回転させながら、研磨液が研磨パッド2の研磨面上に存在した状態で、ウェーハWの表面（被研磨面）を研磨ヘッド7により研磨面2aに対して押し付けることで行われる。

[0045] ウェーハWの研磨中、膜厚センサ42は、ウェーハWを横切りながら、ウェーハWの複数の測定点での膜厚を測定する。本実施形態では、複数の測定点はウェーハWの半径方向に沿って並んでいる。膜厚の測定値は、膜厚センサ42から演算システム10に送られる。ウェーハWの研磨は、ウェーハWの膜厚が目標値に到達したときに終了される。膜厚センサ42は、ウェーハWの研磨開始から研磨終了まで、ウェーハWの膜厚を測定し続け、膜厚の測

定値を演算システム 10 に送信する。

[0046] ステップ 3 では、演算システム 10 は、研磨されたウェーハ W の研磨レートの分布を示す研磨レートプロファイルを作成する。この研磨レートプロファイルは、ウェーハ W 上の半径方向の各位置での研磨レートを表す。

[0047] ステップ 4 では、演算システム 10 は、上記ステップ 1 で算定された押し付け圧力応答性プロファイルと、上記ステップ 2 で設定された圧力室 C 1 ～ C 4 内の所定の圧力と、上記ステップ 3 で算定された研磨レートプロファイルに基づいて、研磨レート応答性プロファイルを作成する。研磨レート応答性プロファイルは、ウェーハ W の複数の半径位置（すなわち膜厚の複数の測定点）での圧力室 C 1 ～ C 4 内の圧力変化に対する研磨レートの応答性の分布である。このような研磨レート応答性プロファイルに基づき、演算システム 10 は、目標膜厚プロファイルを達成するための圧力室 C 1 ～ C 4 内の圧力を正しく設定することができる。

[0048] 以下、上記各ステップについて詳述する。

図 4 は、図 3 に示す上記ステップ 1 の押し付け圧力応答性プロファイルを算定する一実施形態を説明する図である。図 4 の縦軸はウェーハ W から研磨パッド 2 の研磨面 2 a に加えられる圧力（以下、押し付け圧力という）を表し、横軸はウェーハ W 上の半径方向の位置を表している。図 4 の横軸は、ウェーハ W の半径が 150 mm の場合を示しているが、ウェーハ W の半径は図 4 の例に限定されない。

[0049] まず、図 2 に示す圧力室 C 1 内に第 1 の圧力を持つ気体を供給したときの押し付け圧力の分布（記号 CP 1 + で示す）をシミュレーションにより算定する。次に、同じ圧力室 C 1 内に第 2 の圧力を持つ気体を供給したときの押し付け圧力の分布（記号 CP 1 - で示す）をシミュレーションにより算定する。第 1 の圧力および第 2 の圧力は、どちらも予め設定された圧力であり、第 1 の圧力は第 2 の圧力よりも高い。

[0050] 同様にして、圧力室 C 2 内に上記第 1 の圧力を持つ気体を供給したときの押し付け圧力の分布（記号 CP 2 + で示す）、圧力室 C 2 内に上記第 2 の圧

力を持つ気体を供給したときの押し付け圧力の分布（記号C P 2 -で示す）、圧力室C 3内に上記第1の圧力を持つ気体を供給したときの押し付け圧力の分布（記号C P 3 +で示す）、圧力室C 3内に上記第2の圧力を持つ気体を供給したときの押し付け圧力の分布（記号C P 3 -で示す）、圧力室C 4内に上記第1の圧力を持つ気体を供給したときの押し付け圧力の分布（記号C P 4 +で示す）、圧力室C 4内に上記第2の圧力を持つ気体を供給したときの押し付け圧力の分布（記号C P 4 -で示す）をシミュレーションにより算定する。

[0051] 次に、演算システム10は、ウェーハW上の半径方向の各位置において、押し付け圧力C P 1 +と押し付け圧力C P 1 -との差を、第1の圧力と第2の圧力との差で割り算することで、圧力室C 1内の気体の単位圧力の変化に応答して変化した押し付け圧力を算定する。同じようにして、演算システム10は、ウェーハW上の半径方向の各位置において、押し付け圧力C P 2 +と押し付け圧力C P 2 -との差を、第1の圧力と第2の圧力との差で割り算することで、圧力室C 2内の気体の単位圧力の変化に応答して変化した押し付け圧力を算定し、ウェーハW上の半径方向の各位置において、押し付け圧力C P 3 +と押し付け圧力C P 3 -との差を、第1の圧力と第2の圧力との差で割り算することで、圧力室C 3内の気体の単位圧力の変化に応答して変化した押し付け圧力を算定し、ウェーハW上の半径方向の各位置において、押し付け圧力C P 4 +と押し付け圧力C P 4 -との差を、第1の圧力と第2の圧力との差で割り算することで、圧力室C 4内の気体の単位圧力の変化に応答して変化した押し付け圧力を算定する。

[0052] 図5は、押し付け圧力応答性プロファイルの一例を示すグラフである。図5の縦軸は圧力室内の単位圧力の変化に応答して変化した押し付け圧力を表し、横軸はウェーハW上の半径方向の位置を表している。図5の記号P P 1は圧力室C 1内の気体の単位圧力の変化に応答して変化した押し付け圧力の分布を表し、記号P P 2は圧力室C 2内の気体の単位圧力の変化に応答して変化した押し付け圧力の分布を表し、記号P P 3は圧力室C 3内の気体の単

位圧力の変化に応答して変化した押し付け圧力の分布を表し、記号 P P 4 は圧力室 C 4 内の気体の単位圧力の変化に応答して変化した押し付け圧力の分布を表している。このようにして、演算システム 10 は、押し付け圧力応答性プロファイルを作成する。

[0053] 図 4 を参照して説明したように、押し付け圧力応答性プロファイルは、圧力室 C 1 ~ C 4 内が予め設定された値である第 1 の圧力および第 2 の圧力とした条件下でシミュレーションを実行することで作成される。押し付け圧力応答性プロファイルは、圧力室 C 1 ~ C 4 内の圧力の設定値によって変わることがあり、さらにウェーハの実際の研磨でも圧力室 C 1 ~ C 4 内の圧力はウェーハの構造や膜厚などによって変わりうる。

[0054] そこで、一実施形態では、演算システム 10 は、圧力室 C 1 ~ C 4 内の圧力を、複数の異なる値に設定した状態で、シミュレーションを複数回実行し、押し付け圧力応答性プロファイルをさらに算定（作成）する。例えば、演算システム 10 は、圧力室 C 1 ~ C 4 内の第 1 の圧力から第 2 の圧力への変化に応答して変化した押し付け圧力の分布を示す第 1 の押し付け圧力応答性プロファイルをシミュレーションにより算定し、圧力室 C 1 ~ C 4 内の第 3 の圧力から第 4 の圧力への変化に応答して変化した押し付け圧力の分布を示す第 2 の押し付け圧力応答性プロファイルをシミュレーションにより算定することで、複数の圧力応答性プロファイルを作成する。第 3 の圧力および第 4 の圧力は、第 1 の圧力および第 2 の圧力とは異なる。

[0055] さらに、演算システム 10 は、シミュレーションにより算定された複数の押し付け圧力応答性プロファイルを用いた内挿または外挿により、新たな押し付け圧力応答性プロファイルをさらに作成してもよい。一実施形態では、演算システム 10 は、シミュレーションにより作成された複数の押し付け圧力応答性プロファイルを、機械学習により構築されたモデルに入力し、モデルから新たな押し付け圧力応答性プロファイルを出力することにより、押し付け圧力応答性プロファイルをさらに作成してもよい。このようにして作成された複数の押し付け圧力応答性プロファイルは、演算システム 10 の記憶

装置 10 a 内に格納される。演算システム 10 は、複数の押し付け圧力応答性プロファイルのうちの 1 つを使用して、上記ステップ 4 で研磨レート応答性プロファイルを作成する。

[0056] 上述した実施形態は、研磨ヘッド 7 の弾性膜 34 によりウェーハ W を研磨パッド 2 に押し付ける圧力に関するものであるが、研磨ヘッド 7 のリテーナリング 32 が研磨パッド 2 を押し付ける圧力も押し付け圧力応答性プロファイルに含めてもよい。すなわち、シミュレーションは、研磨ヘッド 7 の弾性膜 34、研磨パッド 2、リテーナリング 32、およびウェーハ W の数学的モデルを用いて実行されてもよい。

[0057] 次に、上記ステップ 2 について詳述する。このステップ 2 では、ウェーハ W が実際に研磨される。図 1 に示す研磨装置は、研磨ヘッド 7 の圧力室 C1 ~ C4 内が所定の圧力に維持された状態で、研磨ヘッド 7 によりウェーハ W を研磨パッド 2 に押し付けてウェーハ W を研磨する。研磨ヘッド 7 の圧力室 C1、C2、C3、C4 内の圧力は、それぞれ所定の圧力 SP1、SP2、SP3、SP4 にそれぞれ設定される。一例では、所定の圧力 SP1、SP2、SP3、SP4 は、上記ステップ 1 で使用された第 1 の圧力以下であり、かつ第 2 の圧力以上である。所定の圧力 SP1、SP2、SP3、SP4 は、互いに異なってもよいし、それらのうちのいずれかまたは全部が同じであってもよい。ウェーハ W の研磨は、少なくとも、ウェーハ W の膜厚が目標値に到達するまで実施される。膜厚センサ 42 は、ウェーハ W の研磨開始から研磨終了まで、ウェーハ W の膜厚を測定し続け、膜厚の測定値を演算システム 10 に送信する。

[0058] 次に、上記ステップ 3 について詳述する。このステップ 3 では、演算システム 10 は、ウェーハ W の複数の測定点のそれぞれにおける初期膜厚と最終膜厚との差を、ウェーハ W の研磨時間で割り算することにより、複数の測定点での研磨レートを算定する。初期膜厚はウェーハ W の研磨前の膜厚であり、最終膜厚はウェーハ W の研磨終了時の膜厚である。演算システム 10 は、算定された研磨レートを複数の測定点に割り当てることで、研磨レートプロ

ファイルを作成する。

[0059] ウェーハの実際の研磨では、圧力室C 1～C 4内の設定圧力はウェーハの構造や膜厚などによって変わりうる。そこで、一実施形態では、異なる圧力を圧力室C 1～C 4内に設定した状態で、複数のウェーハを研磨することで複数の研磨レートプロファイルを作成してもよい。より具体的には、複数のウェーハごとに異なる圧力を圧力室C 1～C 4内に設定した状態で、複数のウェーハを研磨パッド2に1つずつ押し付けてこれら複数のウェーハを研磨する。演算システム10は、研磨された複数のウェーハの研磨レートの分布を示す複数の研磨レートプロファイルを生成する。このようにして作成された複数の研磨レートプロファイルは、演算システム10の記憶装置10a内に格納される。演算システム10は、複数の研磨レートプロファイルのうちの1つを使用して、上記ステップ4で研磨レート応答性プロファイルを作成する。

[0060] 次に、上記ステップ4について詳述する。このステップ4では、演算システム10は、その記憶装置10aに格納されている以下の式を使用する。

[数1]

$$\sum_{r=0}^{ra} \left| \text{Rate}(r) - \sum_{n=1}^{nt} [AP(n) * F(n) * P(n, r)] \right| \quad (1)$$

$$\text{Resp}(n, r) = F(n) * P(n, r) \quad (2)$$

ここで、 r はウェーハW上の半径方向の位置、 ra はウェーハWの半径、 $\text{Rate}(r)$ は半径位置 r での研磨レート（実測値）、 n は圧力室の番号、 nt は圧力室の総数（図2に示す実施形態では $nt=4$ ）、 $AP(n)$ はウェーハWを実際に（研磨したときの n 番目の圧力室内の気体の圧力、 $F(n)$ は n 番目の圧力室に関する研磨レート係数、 $P(n, r)$ は n 番目の圧力室に関する半径位置 r での押し付け圧力の応答性、 $\text{Resp}(n, r)$ は n 番目の圧力室に関する半径位置 r での研磨レート応答性を表す。

[0061] 演算システム10は、押し付け圧力応答性プロファイルに、研磨レート係数 $F(n)$ の候補および所定の圧力 $AP(n)$ を乗算して仮想研磨レートプ

ロファイルを算定し、上記式（１）で示される、実際の研磨レートプロファイルと仮想研磨レートプロファイルとの差（絶対値）を最小とする研磨レート係数 $F(n)$ を決定する。上記式（１）を最小とする研磨レート係数 $F(n)$ を求めるアルゴリズムは、最適化法などの公知のアルゴリズムが適用できる。

[0062] 研磨レート係数 $F(n)$ は、 n 番目の圧力室に関する研磨レート係数であるが、すべての圧力室 $C1 \sim C4$ について同じ値の研磨レート係数 $F(n)$ を用いてもよい。あるいは複数の圧力室 $C1 \sim C4$ にそれぞれ対応した複数の研磨レート係数 $F(n)$ を用いてもよい。後者は前者に比べて、上記式（１）で示される実際の研磨レートプロファイルと仮想研磨レートプロファイルとの差をより最小とすることができる。

[0063] 演算システム 10 は、さらに、押し付け圧力応答性プロファイルに、決定された研磨レート係数 $F(n)$ を乗算して、式（２）で表される研磨レート応答性プロファイルを算定（作成）する。

[0064] 上記ステップ 4 の第 2 の方法について説明する。

プレストンの法則に示されるように、研磨レートは押し付け圧力に比例する傾向を示すことが知られているが、一実施形態では、圧力に依らない研磨レートオフセットを含めて、研磨レートを次のように表すことができる。

研磨レート＝押し付け圧力×研磨レート応答性＋研磨レートオフセット

事前に研磨した複数（２枚以上）のウェーハの研磨データを用いることで、最適な研磨レート応答性と研磨レートオフセットの両方を導出することができる。ここで、複数のウェーハの研磨データはそれぞれ異なる押し付け圧力で取得することが好ましい。

[0065] このステップ 4 の第 2 の方法では、演算システム 10 は、その記憶装置 10a に格納されている以下の式を使用する。

[数2]

$$\sum_{m=1}^{mw} \left(\sum_{r=0}^{ra} \left| Rate(m,r) - \left(\sum_{n=1}^{nt} [AP(m,n) * F(n) * P(n,r)] + Offset(r) \right) \right| \right) \quad (1')$$

$$\text{Resp}(n, r) = F(n) * P(n, r) + \text{Offset}(r) \quad (2')$$

ここで、 m は算出に使用するウェーハ枚数、 r はウェーハ上の半径方向の位置、 r_a はウェーハの半径、 $\text{Rate}(m, r)$ は m 枚目のウェーハの半径位置 r での研磨レート（実測値）、 n は圧力室の番号、 n_t は圧力室の総数（図2に示す実施形態では $n_t = 4$ ）、 $\text{AP}(m, n)$ は m 枚目のウェーハを実際に研磨したときの n 番目の圧力室内の気体の圧力、 $F(n)$ は n 番目の圧力室に関する研磨レート係数、 $P(n, r)$ は n 番目の圧力室に関する半径位置 r での押し付け圧力の応答性、 $\text{Resp}(n, r)$ は n 番目の圧力室に関する半径位置 r での研磨レート応答性、 $\text{Offset}(r)$ はウェーハ上の半径位置 r での研磨レートオフセットを表す。

[0066] この第2の方法においても、上記ステップ2で研磨レートプロファイルを取得するのに必要なウェーハの枚数は、研磨ヘッド7の圧力室C1～C4の総数よりも少ない数とすることができる。

[0067] 演算システム10は、押し付け圧力応答性プロファイルに、研磨レート係数 $F(n)$ の候補および所定の圧力 $\text{AP}(n)$ を乗算し、さらに研磨レートオフセット $\text{Offset}(r)$ の候補を加算して仮想研磨レートプロファイルを算定し、上記式(1')で示される、実際の研磨レートプロファイルと仮想研磨レートプロファイルとの差（絶対値）を最小とする研磨レート係数 $F(n)$ および研磨レートオフセット $\text{Offset}(r)$ を決定する。上記式(1')を最小とする研磨レート係数 $F(n)$ および研磨レートオフセット $\text{Offset}(r)$ を求めるアルゴリズムは、最適化法などの公知のアルゴリズムが適用できる。

[0068] 研磨レート係数 $F(n)$ は、 n 番目の圧力室に関する研磨レート係数であるが、すべての圧力室C1～C4について同じ値の研磨レート係数 $F(n)$ を用いてもよい。あるいは複数の圧力室C1～C4にそれぞれ対応した複数の研磨レート係数 $F(n)$ を用いてもよい。後者は前者に比べて、上記式(1')で示される実際の研磨レートプロファイルと仮想研磨レートプロファイルとの差をより最小とすることができる。

[0069] 演算システム 10 は、さらに、押し付け圧力応答性プロファイルに、決定された研磨レート係数 $F(n)$ を乗算して得られた値に、決定された研磨レートオフセット $Offset(r)$ を加算して、式 (2') で表される研磨レート応答性プロファイルを算定（作成）する。

[0070] 上記式 (1') の代わりに、以下の式 (1'') を使用してもよい。

[数3]

$$\sum_{m=1}^{mw} \left(\sum_{r=0}^{ra} \left| Rate(r) - \left(\sum_{n=1}^{nt} [AP(n) * F(n) * P(n,r)] + Offset(r) \right) \right|^2 \right) \quad (1'')$$

上記式 (1') を使用することで、 $F(n)$ 、 $Offset(r)$ を求めるアルゴリズムとして、一般によく知られている最小二乗法や二次計画法等の最適化アルゴリズムを使用することができる。この式 (1') を使用する場合も、上記ステップ 2 で研磨レートプロファイルを取得するのに必要なウェーハの枚数は、研磨ヘッド 7 の圧力室 C1～C4 の総数よりも少ない数とすることができる。

[0071] 図 6 は、各圧力室に関する仮想研磨レートプロファイルと、すべての圧力室 C1～C4 に関する仮想研磨レートプロファイルと、実際の研磨レートプロファイルの一例を示すグラフである。図 6 の縦軸は研磨レートを表し、横軸はウェーハの半径方向の位置を表している。図 6 の記号 RC1 は圧力室 C1 に関する仮想研磨レートプロファイルを表し、記号 RC2 は圧力室 C2 に関する仮想研磨レートプロファイルを表し、記号 RC3 は圧力室 C3 に関する仮想研磨レートプロファイルを表し、記号 RC4 は圧力室 C4 に関する仮想研磨レートプロファイルを表している。すべての圧力室 C1～C4 に関する仮想研磨レートプロファイルは、仮想研磨レートプロファイル RC1、RC2、RC3、RC4 の総和である。

[0072] 図 6 に示すように、仮想研磨レートプロファイルと、実際の研磨レートプロファイルとの差は非常に小さい。したがって、演算システム 10 は、上記式 (2) または式 (2') を用いて、圧力室 C1～C4 内の単位圧力あたりの研磨レートの応答性のプロファイルを作成することができる。特に、本実

施形態によれば、シミュレーションにより生成された押し付け圧力応答性プロファイルと、実際の研磨により取得された研磨レートプロファイルに基づいて、研磨レート応答性プロファイルを容易に取得することができる。さらには、研磨レート応答性を得るためのウェーハ（ワークピース）の枚数と作業時間を減らすことができる。具体的には、上記ステップ2で実際に研磨されるウェーハの枚数を減らすことができる。上記ステップ2で実際に研磨されるウェーハの枚数は1枚であってもよいし、あるいは複数枚であってもよいが、上記ステップ2で研磨レートプロファイルを取得するのに必要なウェーハの枚数は、研磨ヘッド7の圧力室C1～C4の総数よりも少ない数とすることができる。

[0073] さらに、上述のようにして取得された研磨レート応答性プロファイルは、次に研磨される他のウェーハの研磨条件の最適化に用いることができる。一実施形態では、演算システム10は、他のウェーハの研磨中に膜厚センサ42（図1参照）から取得した膜厚の測定値から上記他のウェーハの現在の膜厚プロファイルを作成し、現在の膜厚プロファイルと目標膜厚プロファイルとの差を最小とするための圧力室C1～C4内の圧力を、研磨レート応答性プロファイルに基づいて決定する。他の実施形態では、演算システム10は、研磨レートプロファイルの生成に使用されたウェーハWの研磨前の膜厚プロファイルおよび研磨後の膜厚プロファイルを作成し、研磨前の膜厚プロファイル、研磨後の膜厚プロファイル、目標膜厚プロファイル、および研磨レート応答性プロファイルに基づいて、圧力室C1～C4内の圧力を決定する。

[0074] 上述の通り、計算により得られた研磨レート応答性プロファイルは、実際の研磨レートの応答性プロファイルに近いものであるが、研磨パッド2上に存在する研磨液（例えばスラリー）や、研磨パッド2の研磨面2aの温度に依存して研磨レートはわずかに変化することがある。そこで、一実施形態では、研磨レート応答性プロファイルの精度を向上させるために、以下に説明する補正係数がさらに使用される。

[0075] 補正係数は、実際の研磨レートプロファイルと、仮想研磨レートプロファイルとの差をなくすための係数である。演算システム10は、上記式(1)を最小とする研磨レート係数 $F(n)$ を算定した後、次の式を満たす補正係数 $G(r)$ を算定する。

[数4]

$$Rate(r) - G(r) * \sum_{n=1}^{nt} [AP(n) * F(n) * P(n, r)] = 0 \quad (3)$$

補正係数 $G(r)$ は、ウェーハW上の半径方向の位置ごとに算定される。

[0076] さらに、演算システム10は、上記式(2)に代えて、以下の式(4)を使用して研磨レート応答性プロファイルを作成する。

$$Resp(n, r) = G(r) * F(n) * P(n, r) \quad (4)$$

演算システム10は、押し付け圧力応答性プロファイルに、決定された研磨レート係数 $F(n)$ および補正係数 $G(r)$ を乗算して、上記式(4)で表される研磨レート応答性プロファイルを算定する。

[0077] 一実施形態では、演算システム10は、上記式(1')または(1'')を最小とする研磨レート係数 $F(n)$ および研磨レートオフセット $Offset(r)$ を算定した後、実際の研磨レートプロファイルと、仮想研磨レートプロファイルとの差をなくすための補正係数 $G(r)$ を算定し、押し付け圧力応答性プロファイルに、決定された研磨レート係数 $F(n)$ および補正係数 $G(r)$ を乗算して得られた値に、決定された研磨レートオフセット $Offset(r)$ を加算することで、研磨レート応答性プロファイルを算定(作成)してもよい。

[0078] 研磨レートは、研磨パッド2、研磨ヘッド7のリテーナリング32などの消耗品の経時的な変化にも依存して変わりうる。例えば、研磨パッド2は、通常、ウェーハの研磨が終了するたびに、ドレッサーにより研磨パッド2の研磨面2aが僅かに削り取られ、研磨面2aの再生が行われる。このような動作は研磨パッド2のドレッシングと呼ばれる。研磨パッド2のドレッシングが繰り返されるにつれて、研磨パッド2の厚さは徐々に減少し、結果とし

てウェーハの研磨レートに影響を与えることがある。

[0079] そこで、上述した補正係数 $G(r)$ は、所定の更新条件が満たされたときに更新するようにしてもよい。以下、補正係数 $G(r)$ の更新の一実施形態について、図7に示すフローチャートを参照して説明する。図7に示すステップ1乃至ステップ4は、図3に示すステップ1乃至ステップ4と同じであるので、それらの重複する説明を省略する。

[0080] ステップ5では、次のウェーハの研磨条件が最適化される。例えば、演算システム10は、ステップ2のウェーハWの研磨前の膜厚プロファイルおよびステップ2の研磨後の膜厚プロファイルを作成し、研磨前の膜厚プロファイル、研磨後の膜厚プロファイル、目標膜厚プロファイル、および研磨レート応答性プロファイルに基づいて、圧力室C1～C4内の圧力を決定する。

[0081] ステップ6では、図1に示す研磨装置により、最適化された研磨条件下で次のウェーハを研磨し、演算システム10は新たな研磨レートプロファイルを作成する。上記ステップ5の研磨条件の最適化は、ステップ6の次のウェーハの研磨中に行われてもよい。例えば、演算システム10は、次のウェーハの研磨中に膜厚センサ42（図1参照）から取得した膜厚の測定値から上記次のウェーハの現在の膜厚プロファイルを作成し、現在の膜厚プロファイルと目標膜厚プロファイルとの差を最小とするための圧力室C1～C4内の圧力を、研磨レート応答性プロファイルに基づいて決定する。

[0082] ステップ7では、演算システム10は、研磨レート係数の更新条件が満たされたか否かを判定する。研磨レート係数の更新条件の例としては、次のようなものが挙げられる。

- ・ 研磨したウェーハの枚数が所定の枚数に達したこと（所定の枚数は1枚でもよい）
- ・ 研磨パッド2、リテーナリング32などの消耗部材が、所定の使用時間に達したこと
- ・ 予測膜厚プロファイルと実際の膜厚プロファイルとの差が許容値を超えていること（予測膜厚プロファイルは、初期膜厚プロファイルと、研磨レート

応答性プロファイルと、圧力室C 1～C 4内の圧力と、研磨時間から作成することができる)

- [0083] 研磨レート係数の更新条件が満たされた場合は、ステップ8において、演算システム10は、ステップ1で算定された押し付け圧力応答性プロファイルと、上記ステップ5で最適化された圧力室C 1～C 4内の圧力と、上記ステップ6で算定された新たな研磨レートプロファイルに基づいて、新たな研磨レート応答性プロファイルを作成し、既存の研磨レート応答性プロファイルを新たな研磨レート応答性プロファイルで置き換えることで、研磨レート応答性プロファイルを更新する。
- [0084] 上記ステップ8において、研磨レート係数の更新条件が満たされていない場合は、動作フローはステップ5に戻り、次のウェーハの研磨条件が最適化され、その後その次のウェーハが研磨される。
- [0085] 本実施形態によれば、演算システム10は、研磨パッド2やリテーナリング32などの消耗部材の経時的な変化を反映した研磨レート応答性プロファイルを作成することができる。
- [0086] 演算システム10は、記憶装置10aに電氣的に格納されたプログラムに含まれる命令に従って動作し、上述した各実施形態の動作を実行する。例えば、演算システム10は、圧力室内の単位圧力の変化にตอบสนองして変化した、ワークピースから研磨パッド2に加えられる押し付け圧力の分布を示す押し付け圧力応答性プロファイルをシミュレーションにより算定し、圧力室内が所定の圧力に維持された状態で、ワークピースを研磨パッド2に押し付けることで研磨されたワークピースの研磨レートの分布を示す研磨レートプロファイルを作成し、押し付け圧力応答性プロファイルと、上記所定の圧力と、研磨レートプロファイルに基づいて、研磨レート応答性プロファイルを作成する。
- [0087] 上述した各実施形態の動作を演算システム10に実行させるためのプログラムは、非一時的な有形物であるコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録され、記録媒体を介して演算システム10に提供される。または、プログ

ラムは、インターネットまたはローカルエリアネットワークなどの通信ネットワークを介して演算システム 10 に入力されてもよい。

[0088] 上述した実施形態は、本発明が属する技術分野における通常の知識を有する者が本発明を実施できることを目的として記載されたものである。上記実施形態の種々の変形例は、当業者であれば当然になしうることであり、本発明の技術的思想は他の実施形態にも適用しうる。したがって、本発明は、記載された実施形態に限定されることはなく、特許請求の範囲によって定義される技術的思想に従った最も広い範囲に解釈されるものである。

産業上の利用可能性

[0089] 本発明は、半導体デバイスの製造に使用されるウェーハ、基板、パネルなどのワークピースを研磨パッドに押し付ける圧力の変化に対する研磨レート
の応答性を算定する技術に利用可能である。

符号の説明

- [0090]
- | | |
|------|------------|
| 2 | 研磨パッド |
| 2 a | 研磨面 |
| 5 | 研磨テーブル |
| 5 a | テーブル軸 |
| 7 | 研磨ヘッド |
| 8 | 研磨液供給ノズル |
| 10 | 演算システム |
| 10 a | 記憶装置 |
| 10 b | 演算装置 |
| 14 | 支軸 |
| 16 | 研磨ヘッド揺動アーム |
| 18 | 研磨ヘッドシャフト |
| 21 | テーブル回転モータ |
| 31 | ヘッド本体 |
| 32 | リテーナリング |

34, 36 弾性膜

40 ロータリージョイント

42 膜厚センサ

C1, C2, C3, C4, C5 圧力室

F1, F2, F3, F4, F5 気体移送ライン

R1, R2, R3, R4, R5 圧力レギュレータ

請求の範囲

- [請求項1] 半導体デバイスの製造に使用されるワークピースを、圧力室が内側に形成された弾性膜で研磨パッドに押し付けたときの前記圧力室内の圧力変化に対する研磨レートの応答性の分布を示す研磨レート応答性プロファイルを作成する方法であって、
- 前記圧力室内の単位圧力の変化に応答して変化した、前記ワークピースから前記研磨パッドに加えられる押し付け圧力の分布を示す押し付け圧力応答性プロファイルをシミュレーションにより算定し、
- 前記圧力室内が所定の圧力に維持された状態で、前記ワークピースを前記研磨パッドに押し付けて前記ワークピースを研磨し、
- 前記研磨されたワークピースの研磨レートの分布を示す研磨レートプロファイルを作成し、
- 前記押し付け圧力応答性プロファイルと、前記所定の圧力と、前記研磨レートプロファイルに基づいて、前記研磨レート応答性プロファイルを作成する、方法。
- [請求項2] 前記研磨レート応答性プロファイルを作成する工程は、
- 前記押し付け圧力応答性プロファイルに前記所定の圧力および研磨レート係数を乗算して仮想研磨レートプロファイルを作成し、
- 前記研磨レートプロファイルと前記仮想研磨レートプロファイルとの差を最小とする前記研磨レート係数を決定し、
- 前記押し付け圧力応答性プロファイルに前記決定された研磨レート係数を乗算して前記研磨レート応答性プロファイルを作成する工程である、請求項1に記載の方法。
- [請求項3] 前記圧力室は複数の圧力室であり、前記研磨レート係数は前記複数の圧力室にそれぞれ対応した複数の研磨レート係数である、請求項2に記載の方法。
- [請求項4] 前記方法は、前記研磨レートプロファイルと前記仮想研磨レートプロファイルとの差をなくするための補正係数を決定することをさらに含

み、

前記押し付け圧力応答性プロファイルに前記決定された研磨レート係数を乗算して前記研磨レート応答性プロファイルを作成する工程は、前記押し付け圧力応答性プロファイルに前記決定された研磨レート係数および前記補正係数を乗算して前記研磨レート応答性プロファイルを作成する工程である、請求項2または3に記載の方法。

[請求項5]

前記研磨レート応答性プロファイルを作成する工程は、

前記押し付け圧力応答性プロファイルに前記所定の圧力および研磨レート係数を乗算して得られた値に、研磨レートオフセットを加算して仮想研磨レートプロファイルを作成し、

前記研磨レートプロファイルと前記仮想研磨レートプロファイルとの差を最小とする前記研磨レート係数および前記研磨レートオフセットを決定し、

前記押し付け圧力応答性プロファイルに前記決定された研磨レート係数を乗算して得られた値に、前記決定された研磨レートオフセットを加算して前記研磨レート応答性プロファイルを作成する工程である、請求項1に記載の方法。

[請求項6]

前記圧力室は複数の圧力室であり、前記研磨レート係数は前記複数の圧力室にそれぞれ対応した複数の研磨レート係数である、請求項5に記載の方法。

[請求項7]

前記方法は、前記研磨レートプロファイルと前記仮想研磨レートプロファイルとの差をなくすための補正係数を決定することをさらに含み、

前記押し付け圧力応答性プロファイルに前記決定された研磨レート係数を乗算して前記研磨レート応答性プロファイルを作成する工程は、前記押し付け圧力応答性プロファイルに前記決定された研磨レート係数および前記補正係数を乗算して得られた値に、前記決定された研磨レートオフセットを加算して前記研磨レート応答性プロファイルを作成する工程である、請求項1に記載の方法。

作成する工程である、請求項5または6に記載の方法。

[請求項8]

前記押し付け圧力応答性プロファイルを作成する工程は、

前記圧力室内の第1の圧力から第2の圧力への変化に応答して変化した前記押し付け圧力の分布を示す第1の押し付け圧力応答性プロファイルをシミュレーションにより作成し、

前記圧力室内の第3の圧力から第4の圧力への変化に応答して変化した前記押し付け圧力の分布を示す第2の押し付け圧力応答性プロファイルをシミュレーションにより作成し、

前記第1の押し付け圧力応答性プロファイルと前記第2の押し付け圧力応答性プロファイルとに基づいて前記押し付け圧力応答性プロファイルを作成する工程である、請求項1乃至7のいずれか一項に記載の方法。

[請求項9]

前記第1の押し付け圧力応答性プロファイルと前記第2の押し付け圧力応答性プロファイルとに基づいて前記押し付け圧力応答性プロファイルを作成する工程は、前記第1の押し付け圧力応答性プロファイルと前記第2の押し付け圧力応答性プロファイルとを用いた内挿または外挿により前記押し付け圧力応答性プロファイルを作成する工程である、請求項8に記載の方法。

[請求項10]

前記第1の押し付け圧力応答性プロファイルと前記第2の押し付け圧力応答性プロファイルとに基づいて前記押し付け圧力応答性プロファイルを作成する工程は、前記第1の押し付け圧力応答性プロファイルと前記第2の押し付け圧力応答性プロファイルを、機械学習により構築されたモデルに入力し、前記モデルから前記押し付け圧力応答性プロファイルを出力する工程である、請求項8に記載の方法。

[請求項11]

前記研磨レートプロファイルは、複数のワークピースを研磨することで作成された複数の研磨レートプロファイルから選択された1つであり、

前記複数の研磨レートプロファイルは、

前記複数のワークピースごとに異なる圧力を前記圧力室内に設定した状態で、前記複数のワークピースを前記研磨パッドに１つずつ押し付けて前記複数のワークピースを研磨し、

前記研磨された複数のワークピースの研磨レートの分布を示す複数の研磨レートプロファイルを生成することによって得られたものである、請求項１乃至１０のいずれか一項に記載の方法。

[請求項12] 前記研磨レート応答性プロファイルを用いて他のワークピースの研磨条件を最適化することをさらに含む、請求項１乃至１１のいずれか一項に記載の方法。

[請求項13] 前記他のワークピースの研磨条件を最適化する工程は、
前記他のワークピースを研磨しながら、前記他のワークピースの現在の膜厚プロファイルを作成し、

前記現在の膜厚プロファイルと目標膜厚プロファイルとの差を最小とするための前記圧力室内の圧力を、前記研磨レート応答性プロファイルに基づいて決定する工程である、請求項１２に記載の方法。

[請求項14] 前記他のワークピースの研磨条件を最適化する工程は、
前記研磨レートプロファイルの生成に使用された前記ワークピースの研磨前の膜厚プロファイルおよび研磨後の膜厚プロファイルを作成し、

前記研磨前の膜厚プロファイル、前記研磨後の膜厚プロファイル、目標膜厚プロファイル、および前記研磨レート応答性プロファイルに基づいて、前記圧力室内の圧力を決定する工程である、請求項１２に記載の方法。

[請求項15] 請求項１乃至１４のいずれか一項に記載の方法によって作成された前記研磨レート応答性プロファイルを用いてワークピースの研磨条件を最適化し、

前記最適化された研磨条件の下で、前記ワークピースを前記弾性膜で前記研磨パッドに押し付けて前記ワークピースを研磨する、研磨方

法。

- [請求項16] 半導体デバイスの製造に使用されるワークピースを、圧力室が内側に形成された弾性膜で研磨パッドに押し付けたときの前記圧力室内の圧力変化に対する研磨レートの応答性の分布を示す研磨レート応答性プロファイルをコンピュータに作成させるためのプログラムが格納されたコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、
- 前記プログラムは、
- 前記圧力室内の単位圧力の変化に応答して変化した、前記ワークピースから前記研磨パッドに加えられる押し付け圧力の分布を示す押し付け圧力応答性プロファイルをシミュレーションにより算定し、
- 前記圧力室内が所定の圧力に維持された状態で、前記ワークピースを前記研磨パッドに押し付けることで研磨された前記ワークピースの研磨レートの分布を示す研磨レートプロファイルを作成し、
- 前記押し付け圧力応答性プロファイルと、前記所定の圧力と、前記研磨レートプロファイルに基づいて、前記研磨レート応答性プロファイルを作成するステップを前記コンピュータに実行させるように構成されている、コンピュータ読み取り可能な記録媒体。