

明 細 書

発明の名称：

研磨パッドの表面性状測定装置、研磨パッドの表面性状測定方法、および
研磨パッドの表面性状判定方法

技術分野

[0001] 本発明は、半導体ウエハ等の基板の研磨に用いられる研磨パッドの表面性状測定装置、研磨パッドの表面性状測定方法、および研磨パッドの表面性状判定方法に関する。

背景技術

[0002] 近年、半導体デバイスの高集積化・高密度化に伴い、回路の配線がますます微細化し、多層配線の層数も増加している。回路の微細化を図りながら多層配線を実現しようとすると、下側の層の表面凹凸を踏襲しながら段差がより大きくなるので、配線層数が増加するに従って、薄膜形成における段差形状に対する膜被覆性（ステップカバレッジ）が悪くなる。したがって、多層配線するためには、このステップカバレッジを改善し、然るべき過程で平坦化処理しなければならない。また光リソグラフィの微細化とともに焦点深度が浅くなるため、半導体デバイスの表面の凹凸段差が焦点深度以下に収まるように半導体デバイス表面を平坦化処理する必要がある。

[0003] 従って、半導体デバイスの製造工程においては、半導体デバイス表面の平坦化技術がますます重要になっている。この平坦化技術のうち、最も重要な技術は、化学的機械研磨（CMP（Chemical Mechanical Polishing））である。この化学的機械研磨は、研磨装置を用いて、研磨液を研磨パッドに供給しつつ半導体ウエハなどの基板を研磨パッドに摺接させて研磨を行うものである。研磨液は、例えば、シリカ（ SiO_2 ）やセリア（ CeO_2 ）等の砥粒を含んだスラリーである。

[0004] 上述したCMP（化学的機械研磨）を行う研磨装置は、研磨パッドを有する研磨テーブルと、半導体ウエハ（基板）を保持するための研磨ヘッド等と

称される基板保持装置とを備えている。このような研磨装置を用いて基板保持装置により基板を保持しつつ、この基板を研磨パッドに対して所定の圧力で押圧して、基板上の絶縁膜や金属膜等を研磨することが行われている。

[0005] 基板の研磨を行なうと、研磨パッドの表面には砥粒や研磨屑が付着し、また、研磨パッドの表面形状や状態が変化して研磨性能が劣化してくる。このため、基板の研磨を繰り返すに従い、研磨速度が低下し、また、研磨むらが生じてしまう。そこで、劣化した研磨パッドの表面形状や状態を再生するために、ドレッサーを用いて研磨パッドのドレッシング（コンディショニング）を行っている。

[0006] 研磨パッドの表面形状や状態、すなわち、研磨パッドの表面性状は、CMP性能を決定付ける要因の一つである。したがって、研磨パッドの表面性状を直接的に測定して、この測定値をドレッシング条件に反映させることが望ましい。そこで、従来の研磨装置では、研磨パッドの表面性状を直接的に測定するための装置を用いて、ドレッシング条件を決定している。本明細書では、研磨パッドの表面性状を測定する装置を、「表面性状測定装置」と称する。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：国際公開第2016／111335号公報

特許文献2：特開2015－174156号公報

特許文献3：特開2019－19370号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 最近では、研磨パッドの表面状態をより詳細に評価し、ドレッシング条件の最適化を行う等の観点から、研磨パッドの表面性状をより精度よく測定することができる装置への要請が高まっている。また、過剰なドレッシングを防ぐことによるドレッサーの長寿命化や、基板の研磨に使用されるスラリー

などの消耗部材の削減の観点から、精度よく研磨パッドの表面性状の判定を行うことへの要請が高まっている。

- [0009] そこで、本発明は、研磨パッドの表面性状の測定精度を向上させることができる、研磨パッドの表面性状測定装置および研磨パッドの表面性状測定方法を提供することを目的とする。さらに本発明は、精度よく研磨パッドの表面性状判定を行うことができる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

- [0010] 一態様では、基板の研磨に使用される研磨パッドの表面性状測定装置であって、前記研磨パッドを前記研磨パッドの研磨面側から見たときに、光を複数の方向から前記研磨パッドに照射可能な投光部と、前記研磨パッドの表面で反射した複数の方向からの反射光を受光可能な受光部を備えている、表面性状測定装置が提供される。

- [0011] 一態様では、前記表面性状測定装置は、前記光の照射方向を変更する照射方向変更機構をさらに備えている。

一態様では、前記照射方向変更機構は、前記投光部および前記受光部を回転させる回転モータと、前記回転モータに連結されたシャフトを備えている。

一態様では、前記投光部は、互いに異なる方向を向いて配置された複数の光源を備え、前記受光部は、互いに異なる方向を向いて配置された複数の受光素子を備えている。

一態様では、前記表面性状測定装置は、前記受光部に電氣的に接続されたデータ処理部をさらに備え、前記データ処理部は、互いに異なる複数の方向から前記研磨パッドに照射された複数の光の前記研磨パッドからの複数の反射光の強度分布を利用して、前記研磨パッドの表面性状を間接的に示す指標値を取得するように構成されている。

- [0012] 一態様では、互いに異なる複数の照射方向から研磨パッドに光を照射し、前記研磨パッドに照射された複数の光のそれぞれに対応する前記研磨パッドからの複数の反射光を受光し、複数の反射光の強度分布を取得し、前記複数

の強度分布を利用して、前記研磨パッドの表面性状を間接的に示す指標値を取得する工程を含み、前記照射方向は、前記研磨パッドを前記研磨パッドの研磨面側から見たときの方向である、研磨パッドの表面性状測定方法が提供される。

[0013] 一態様では、前記互いに異なる複数の照射方向から前記研磨パッドに光を照射し、前記研磨パッドに照射された前記複数の光のそれぞれに対応する前記研磨パッドからの前記複数の反射光を受光する工程は、前記光の照射方向を変更しながら、前記光を前記研磨パッドに照射し、各照射方向における光の前記研磨パッドからの各反射光を受光する工程を含む。

一態様では、前記互いに異なる複数の照射方向から前記研磨パッドに光を照射し、前記研磨パッドに照射された前記複数の光のそれぞれに対応する前記研磨パッドからの前記複数の反射光を受光する工程は、複数の光源によって、複数の照射方向から光を前記研磨パッドに照射し、前記研磨パッドに照射された複数の光のそれぞれに対応する研磨パッドからの複数の反射光を複数の受光素子で受光する工程を含む。

[0014] 一態様では、研磨パッドの表面の複数の箇所で、前記研磨パッドからの反射光の強度分布を取得する工程と、前記複数の箇所で取得された複数の前記強度分布から前記研磨パッドの表面性状を間接的に示す波長構成比を算出する工程と、前記算出された波長構成比に基づいて、前記研磨パッドの表面性状の良否を判定する工程を備え、前記研磨パッドからの反射光の強度分布を取得する工程は、前記研磨パッドの表面にレーザ光を照射し、前記研磨パッドからの反射光を受光する工程を含む、研磨パッドの表面性状判定方法が提供される。

[0015] 一態様では、前記複数の箇所で取得された複数の前記強度分布から前記研磨パッドの表面性状を間接的に示す波長構成比を算出する工程は、複数の前記強度分布のそれぞれから、波長構成比をそれぞれ算出することによって、複数の波長構成比を算出する工程を含む。

一態様では、前記複数の箇所で取得された複数の前記強度分布から前記研

磨パッドの表面性状を間接的に示す波長構成比を算出する工程は、前記複数の強度分布を平均化し、平均化された反射光の強度分布から、前記波長構成比を算出する工程を含む。

一態様では、前記算出された波長構成比に基づいて、前記研磨パッドの表面性状の良否を判定する工程は、前記算出された複数の波長構成比が予め定められた基準範囲内にあるか否かを確認し、前記算出された複数の波長構成比の全てが予め定められた基準範囲内にあるときに、前記研磨パッドの表面性状が良好であると判定する工程を含む。

一態様では、前記算出された波長構成比に基づいて、前記研磨パッドの表面性状の良否を判定する工程は、前記算出された複数の波長構成比の平均値を算出し、前記平均値と予め定められたしきい値を比較し、かつ前記算出された複数の波長構成比が予め定められた基準範囲内にあるか否かを確認し、前記平均値が前記しきい値よりも小さく、かつ前記算出された複数の波長構成比の全てが前記基準範囲内にあるときに前記研磨パッドの表面性状が良好であると判定する工程を含む。

一態様では、前記算出された波長構成比に基づいて、前記研磨パッドの表面性状の良否を判定する工程は、前記算出された複数の波長構成比の平均値を算出し、前記平均値と予め定められたしきい値を比較し、かつ前記算出された複数の波長構成比が予め定められた基準範囲内にあるか否かを確認し、前記平均値が前記しきい値よりも大きく、かつ前記算出された複数の波長構成比の全てが前記基準範囲内にあるときに前記研磨パッドの表面性状が良好であると判定する工程を含む。

一態様では、前記方法は、前記研磨パッドの表面性状が良好であると判定した場合、前記研磨パッドのブレードインを終了する工程をさらに含む。

発明の効果

[0016] 本発明によれば、互いに異なる複数の方向から前記研磨パッドに照射された複数の光の前記研磨パッドからの複数の反射光の強度分布を取得することができる。結果として、研磨パッドの表面性状の測定精度を向上させること

ができる。さらに本発明によれば、研磨パッドの表面の複数の箇所から研磨パッドからの反射光の強度分布を取得することで、研磨パッドの表面性状の面内ばらつきを含めた評価を行うことができる。これにより、精度よく研磨パッドの表面性状を判定することができる。

図面の簡単な説明

[図1] 研磨パッドの表面性状測定装置を備えた研磨装置の一実施形態を示す模式図である。

[図2] 測定ヘッドの内部構造（測定構造）の一実施形態を示す模式図である。

[図3] 測定ヘッドの内部構造の他の実施形態を示す模式図である。

[図4] 研磨パッドからの反射光を説明する図である。

[図5] 研磨パッドの表面の空間波長スペクトルを示す模式図である。

[図6] 測定ヘッドが測定位置に配置された状態の一実施形態を模式的に示す斜視図である。

[図7A] 図7Aは、測定ヘッドの正面図である。

[図7B] 図7Bは、測定ヘッドの下面図である。

[図8] 図6に示す測定ヘッドの周辺を拡大して示す模式図である。

[図9] 表面性状判定方法の一実施形態を示すフローチャートである。

[図10] 研磨パッドの表面上の複数の測定点の一例を示す図である。

[図11] ブレークイン中の研磨パッドの処理条件毎の波長構成比の一例を示すグラフである。

[図12A] 図12Aは、図11の条件1における波長構成比と、所定の基準範囲および所定のしきい値を比較した図である。

[図12B] 図12Bは、図11の条件6における波長構成比と、所定の基準範囲および所定のしきい値を比較した図である。

[図12C] 図12Cは、図11の条件10における波長構成比と、所定の基準範囲および所定のしきい値を比較した図である。

[図13] 表面性状判定方法の他の実施形態を示すフローチャートである。

[図14] 基板Wを研磨しながら所定のドレッシング条件でドレッシングした後

、研磨パッド2の表面性状を測定し、波長構成比を算出した結果を示す図である。

[図15]表面性状測定装置の他の実施形態を示す模式図である。

[図16]投光部および受光部が軸心周りに回転したときの状態を示す図である。

[図17]研磨パッドの表面性状測定方法の一実施形態を示すフローチャートである。

[図18]照射角度が 0° のときの研磨パッドからの反射光の強度分布を示すグラフである。

[図19]照射角度が 45° のときの研磨パッドからの反射光の強度分布を示すグラフである。

[図20]照射角度が 90° のときの研磨パッドからの反射光の強度分布を示すグラフである。

[図21]照射角度が 135° のときの研磨パッドからの反射光の強度分布を示すグラフである。

[図22]照射角度が 180° のときの研磨パッドからの反射光の強度分布を示すグラフである。

[図23]照射角度が 225° のときの研磨パッドからの反射光の強度分布を示すグラフである。

[図24]照射角度が 270° のときの研磨パッドからの反射光の強度分布を示すグラフである。

[図25]照射角度が 315° のときの研磨パッドからの反射光の強度分布を示すグラフである。

[図26]表面性状測定装置のさらに他の実施形態を示す模式図である。

[図27]図26に示す測定ヘッドを上から見た図である。

発明を実施するための形態

[0018] 以下、本発明の実施の形態について、図面を参照して説明する。なお、以下で説明する図面において、同一又は相当する構成要素には、同一の符号を

付して重複した説明を省略する。

図1は、研磨パッドの表面性状測定装置を備えた研磨装置の一実施形態を示す模式図である。図1に示すように、研磨装置（CMP装置）は、研磨パッド2を支持する研磨テーブル1と、研磨対象物である半導体ウエハ等の基板Wを保持して研磨テーブル上の研磨パッドに押圧する研磨ヘッド10と、研磨パッド2をドレッシングするドレッシング装置20と、研磨パッド2の表面形状や表面状態などの表面性状を測定する研磨パッドの表面性状測定装置30と、研磨装置の各構成要素の動作を制御する動作制御部9とを備えている。

[0019] 研磨テーブル1は、テーブル軸4を介してその下方に配置されるテーブル回転モータ3に連結されており、テーブル軸4の軸心AX1周りに回転可能になっている。研磨テーブル1の上面には研磨パッド2が貼り付けられており、研磨パッド2の表面が基板Wを研磨する研磨面2aを構成している。研磨パッド2は、その中心Oが軸心AX1上にあるように研磨テーブル1上に貼り付けられる。研磨テーブル1の上方には研磨液供給ノズル（図示せず）が設置されており、研磨液供給ノズルによって研磨テーブル1上の研磨パッド2に研磨液（スラリー）が供給されるようになっている。

[0020] 研磨ヘッド10は、研磨ヘッドシャフト11に接続されており、研磨ヘッドシャフト11は、昇降機構（図示せず）によって研磨ヘッド揺動アーム12に対して上下動するようになっている。昇降機構は、研磨ヘッド揺動アーム12に連結されている。研磨ヘッドシャフト11の上下動により、研磨ヘッド揺動アーム12に対して研磨ヘッド10の全体を上下動させ位置決めするようになっている。研磨ヘッドシャフト11は、研磨ヘッド回転モータ（図示せず）の駆動により回転するようになっている。一実施形態では、研磨ヘッド回転モータは、研磨ヘッド揺動アーム12内に配置される。

[0021] 図1に示すように、研磨ヘッド10は、その下面に半導体ウエハなどの基板Wを保持できるようになっている。研磨ヘッド揺動アーム12は旋回可能

に構成されており、下面に基板Wを保持した研磨ヘッド10は、研磨ヘッド揺動アーム12の旋回により基板の受取位置から研磨テーブル1の上方に移動可能になっている。研磨ヘッド10は、下面に基板Wを保持して基板Wを研磨パッド2の表面（研磨面2a）に押圧する。このとき、研磨テーブル1および研磨ヘッド10をそれぞれ回転させ、研磨テーブル1の上方に設けられた研磨液供給ノズル（図示せず）から研磨パッド2上に研磨液（スラリー）を供給する。研磨液には砥粒としてシリカ（ SiO_2 ）やセリア（ CeO_2 ）などを含んだ研磨液が用いられる。このように、研磨液を研磨パッド2上に供給しつつ、基板Wを研磨パッド2に押圧して基板Wと研磨パッド2とを相対移動させて基板上の絶縁膜や金属膜等を研磨する。絶縁膜としては SiO_2 が挙げられる。金属膜としてはCu膜、W膜、Ta膜、Ti膜が挙げられる。

[0022] ドレッシング装置20は、研磨パッド2の研磨面2aに摺接されるドレッサー22と、ドレッサー22が連結されるドレッサーシャフト24と、ドレッサーシャフト24の上端に設けられたエアシリンダ23と、ドレッサーシャフト24を回転自在に支持するドレッサーアーム21とを備えている。ドレッサー22の下部はドレッシング部材22aにより構成されている。ドレッシング部材22aは円形のドレッシング面を有しており、ドレッシング面には硬質な粒子が電着等により固定されている。この硬質な粒子としては、ダイヤモンド粒子やセラミック粒子などが挙げられる。

[0023] ドレッサーアーム21内には、ドレッサー回転モータ（図示せず）が配置されている。ドレッサーシャフト24は、このドレッサー回転モータの駆動により回転し、ドレッサーシャフト24の回転により、ドレッサー22はドレッサーシャフト24の軸心周りに回転する。エアシリンダ23は、ドレッサーシャフト24およびドレッサー22を一体に上下動させ、ドレッシング部材22aを所定の押圧力で研磨パッド2の研磨面2aに押圧する。

[0024] エアシリンダ23は、図示しない気体供給源に連結されており、研磨パッド2へのドレッシング荷重をドレッサー22に付与する装置である。ドレッ

シング荷重は、エアシリンダ23に供給される空気圧により調整することができる。さらに、エアシリンダ23によって、ドレッサー22を研磨パッド2の研磨面2aから離間させることができる。エアシリンダ23は、ドレッサーシャフト24およびドレッサー22をドレッサーアーム21に対して上下動させる昇降アクチュエータとして機能する。一実施形態では、サーボモータとボールねじ機構との組み合わせを、ドレッサーシャフト24およびドレッサー22をドレッサーアーム21に対して上下動させる昇降アクチュエータとして用いてもよい。

[0025] ドレッシング装置20は、ドレッサーアーム21に連結された支軸26と、支軸26を回転させる支軸回転モータ（回転アクチュエータ）27をさらに備えている。支軸回転モータ27を駆動すると、ドレッサーアーム21は支軸26を中心として旋回する。

[0026] 研磨パッド2の研磨面2aのドレッシングは次のようにして行われる。研磨テーブル1および研磨パッド2をテーブル回転モータ3により回転させ、図示しないドレッシング液供給ノズルからドレッシング液（例えば、純水）を研磨パッド2の研磨面2aに供給する。この状態で、ドレッサー22をドレッサーシャフト24の軸心周りに回転させる。ドレッサー22はエアシリンダ23により研磨面2aに押圧され、研磨面2a上にドレッシング液が存在した状態で、ドレッシング部材22aの下面が研磨面2aに摺接される。ドレッサー22の回転中、ドレッサーアーム21を支軸26を中心に旋回（揺動）させてドレッサー22を研磨面2aの半径方向に移動させる。このようにして、ドレッサー22により研磨パッド2が削り取られ、研磨面2aがドレッシング（再生）される。研磨パッド2は、研磨面2aに微細な凹凸構造を有しており、基板Wの研磨が進むにつれて凹凸構造の凸部は倒れていく。ドレッシングにより、起き上がった状態の凸部が再生される。

[0027] 動作制御部9は、プログラムが格納された記憶装置9aと、プログラムに含まれる命令に従って演算を実行する処理装置9bを備えている。処理装置9bは、記憶装置9aに格納されているプログラムに含まれる命令に従って

演算を行うCPU（中央処理装置）またはGPU（グラフィックプロセッシングユニット）などを含む。記憶装置9aは、処理装置9bがアクセス可能な主記憶装置（例えばランダムアクセスメモリ）と、データおよびプログラムを格納する補助記憶装置（例えば、ハードディスクドライブまたはソリッドステートドライブ）を備えている。動作制御部9は、少なくとも1台のコンピュータから構成されている。

[0028] テーブル回転モータ3、昇降機構（図示せず）、研磨ヘッド回転モータ（図示せず）、研磨液供給ノズル（図示せず）、ドレッシング装置20、および表面性状測定装置30は、動作制御部9に電氣的に接続されている。これら各構成要素の動作は、動作制御部9によって制御される。

[0029] 研磨パッドの表面性状測定装置30は、測定ヘッド31と、測定ヘッド31に電氣的に接続されたデータ処理部50を備えている。研磨パッドの表面性状測定装置30は、研磨パッド2に光を照射し、研磨パッド2の表面（研磨面2a）で反射した反射光を受光することでパッド表面性状を測定するように構成されている。

[0030] データ処理部50は、プログラムが格納された記憶装置50aと、プログラムに含まれる命令に従って演算を実行する処理装置50bを備えている。処理装置50bは、記憶装置50aに格納されているプログラムに含まれる命令に従って演算を行うCPU（中央処理装置）またはGPU（グラフィックプロセッシングユニット）などを含む。記憶装置50aは、処理装置50bがアクセス可能な主記憶装置（例えばランダムアクセスメモリ）と、データおよびプログラムを格納する補助記憶装置（例えば、ハードディスクドライブまたはソリッドステートドライブ）を備えている。データ処理部50は、少なくとも1台のコンピュータから構成されている。一実施形態では、動作制御部9とデータ処理部50とは一体に構成されていてもよい。

[0031] 図2は、測定ヘッド31の内部構造（測定構造）の一実施形態を示す模式図である。図2に示すように、測定ヘッド31は、研磨パッド2に光を照射する投光部32と、研磨パッド2の表面（研磨面2a）で反射した反射光を

受光する受光部 35 とを備えている。投光部 32 は、光を発する光源 33 を備えている。光源 33 から発せられる光の一例として、レーザ光が挙げられる。本実施形態では、光源 33 は、レーザ光を発するレーザ光源である。レーザ光は、研磨面 2a 上の照射位置 P に照射される。

[0032] 受光部 35 は、受光素子 36 を備えている。受光素子 36 は、研磨パッド 2 から反射する光の 0 次回折光から n 次回折光（例えば、4 次回折光または 7 次回折光）までを受光可能な寸法を持った線状（1 次元型）の電荷結合素子（CCD）、もしくは相捕型金属酸化膜半導体（CMOS）素子のいずれかからなる。受光素子 36 は、多数の受光ピクセルを備えており、画素（ピクセル）毎に反射光の受光強度を検知できるように構成されている。投光部 32 および受光部 35 は、データ処理部 50 に電氣的に接続されている。

[0033] 図 3 は、測定ヘッド 31 の内部構造の他の実施形態を示す模式図である。特に説明しない本実施形態の構成および動作は、図 2 を参照して説明した実施形態と同じであるので、その重複する説明を省略する。図 3 に示すように、本実施形態の測定ヘッド 31 は、投光部 32 から発せられたレーザ光の光路に沿って順次配置された偏光子 38、ND フィルター（減光フィルター）39、およびミラー 40 をさらに備えている。ミラー 40 は、投光部 32 から発せられたレーザ光を反射することにより光路を変更可能に構成されている。研磨パッド 2 の表面で反射した反射光の光路には、受光部 35 の手前に減光フィルター 41 が配置されている。

[0034] 投光部 32 から発せられたレーザ光は、偏光子 38 で S 偏光された後に、ND フィルター 39 で光量が調整されて、予めその角度が調整されたミラー 40 に入射する。そして、レーザ光は、ミラー 40 で反射して光路が変更され、研磨パッド 2 の表面に入射する。研磨パッド 2 の表面で反射した反射光は、減光フィルター 41 を通過し、受光部 33 で受光される。一実施形態では、減光フィルター 41 の代わりに特定の波長帯のみの透過を許容するバンドパスフィルターを配置してもよい。

[0035] 本実施形態によれば、偏光子 38 によって光源 33 から発せられたレーザ

光をS偏光させた後に研磨パッド2に入射させることで、研磨パッド2の表面での反射率を高めることができる。一実施形態では、バンドパスフィルターによって、光源33のレーザ光の波長に対して $\pm 5\text{ nm}$ 以内の反射光だけを通過させるようにしてもよい。これにより、ノイズとなる周囲の環境光の影響を低減することができる。本実施形態では、光源33のレーザ光として、波長が 650 nm のレーザ光が用いられる。

[0036] 図4は、研磨パッド2からの反射光を説明する図である。上述のように、研磨パッド2は、研磨面2aに微細な凹凸構造を有しており、研磨パッド2の表面形状は、単純な（単波長の）空間波形の重ね合わせと捉えることができる。図4に示す例では、研磨パッド2の表面（研磨面2a）は、波長 ξ_1 の空間波形と、波長 ξ_2 の空間波形を有している。研磨パッド2からの反射光は、研磨面2aの各空間波形の波長（空間波長）に応じた0次回折光からn次回折光までの散乱光を含んでいる。受光素子36は、上記散乱光を含む反射光を受光することで、反射光の強度分布を取得する。反射光の強度分布は、受光素子36における、受光位置ごとの受光強度の分布である。受光素子36は、画素毎に異なる空間波長の光を受光するように構成されている。各画素の位置から各画素が受光する光の空間波長が算出可能になっている。したがって、受光素子36が取得する反射光の強度分布は、空間波長（または空間周波数）の強度分布ともいうことができる。

[0037] 次に、研磨パッド2の表面性状測定方法について説明する。まず、光源33から研磨パッド2の表面にレーザ光を照射する。受光素子36は、研磨パッド2の表面で反射したレーザ光を受光することで、研磨パッド2の表面の情報を測定する。具体的には、受光素子36は、研磨パッド2からの反射光の強度分布を取得する。上記反射光の強度分布は、データ処理部50に送信される。次に、データ処理部50は、上記反射光の強度分布を、フーリエ変換することで、研磨パッド2の表面の空間波長スペクトルに変換する。さらに、データ処理部50は、上記空間波長スペクトルを演算することで、研磨パッド2の表面性状を間接的に示す指標値を算出し、算出された指標値を動

作制御部 9 に受け渡す。動作制御部 9 は、受け取った指標値に基づいて、ドレッシング条件の決定や、研磨パッド 2 の表面性状の判定を行う。一実施形態では、動作制御部 9 は、研磨パッド 2 の表面性状を判定することで、ドレッシング不足の検知や、ドレッシングの終了判定等を実行する。

[0038] 図 5 は、研磨パッド 2 の表面の空間波長スペクトルを示す模式図である。図 5 の縦軸は、受光素子 36 で取得した反射光の強度 $I(\xi)$ であり、横軸は、空間周波数を示している。空間周波数 $1/\xi_1 \sim 1/\xi_4$ は、空間波長 $\xi_1 \sim \xi_4$ の逆数である。

[0039] 上述のように、データ処理部 50 は、研磨パッド 2 からの反射光の強度分布から、研磨パッド 2 の表面性状を間接的に示す指標値を算出する。上記指標値の一例として、波長構成比が挙げられる。本明細書では、波長構成比を、所定の空間波長領域の反射光の強度（以下、反射強度と呼ぶことがある）の積分値の、上記所定の空間波長領域を含むより広い空間波長領域の反射強度の積分値に対する比率と定義する。波長構成比が大きいほど、所定の空間波長領域の反射光の強度が相対的に大きいことを示し、このことは即ち、測定された研磨パッド 2 の表面が、所定の空間波長成分をより多く含むことを示している。予め、所定の空間波長成分の大小が、CMP 性能と強い関連性を持つことを調べてあるため、波長構成比によって、CMP 性能を推測することが可能となる。プロセスに依って適当な空間波長領域を選択することで、CMP 性能と強い関連性を持つ研磨パッド 2 の表面性状としての波長構成比を取得することができる。

[0040] 例えば、図 5 に示す、空間周波数 $1/\xi_1$ （すなわち空間波長 ξ_1 ）から空間周波数 $1/\xi_2$ （すなわち空間波長 ξ_2 ）までの空間波長領域における反射強度の、空間周波数 $1/\xi_3$ （すなわち空間波長 ξ_3 ）から空間周波数 $1/\xi_4$ （すなわち空間波長 ξ_4 ）までの空間波長領域における反射強度に対する波長構成比は、以下の式（1）で求められる。

[数1]

$$\frac{\int_{\xi_1}^{\xi_2} I(\xi) d\xi}{\int_{\xi_3}^{\xi_4} I(\xi) d\xi} \times 100 [\%] \quad (1)$$

- [0041] 研磨パッド2の表面性状を評価する場合、CMP性能に関連する(=「所定の」)空間波長領域の強度だけを抽出したい。しかしながら、得られた空間波長スペクトルには、一般に全波長領域に対してランダムノイズが含まれる。波長構成比を求めることで、ノイズの影響を除外して、所定の空間波長領域の反射強度だけを評価することができる。
- [0042] 一実施形態では、動作制御部9は、データ処理部50で求めた波長構成比に基づいて、閉ループ制御で好適なドレッシング条件を算出する。例えば、波長構成比が、予め設定した所定の範囲内で推移するように、ドレッシング条件を算出する。その際、動作制御部9は、予め、ドレッシング条件と波長構成比との関連を示す関係式を得ておき、同式により、好適なドレッシング条件を求める。ここでドレッシング条件とは、主に、研磨パッド回転数、ドレッサー回転数、ドレッシング荷重、ドレッサー揺動(旋回)速度、などである。
- [0043] 例えば、ドレッシング条件として、ドレッシング荷重が制御対象になる場合には、予め、ドレッシング荷重とパッド表面性状の関係性を取得しておき、即ち、ドレッシング荷重を大きくしたらどのくらい波長構成比が大きくなるか又は小さくなるかを取得しておき、予め定めた理想的な波長構成比と、算出された波長構成比とを比較して、そこにずれがあれば、上記関係性に基づいてドレッシング荷重を、理想的な波長構成比に近付く方向に設定する。
- [0044] 一実施形態では、算出された波長構成比と、予め定められた所望の波長構成比との差異を所望パッド表面性状変化量として求めてもよい。予め作成された、ドレッシング荷重、ドレッサー回転数、研磨パッド回転数、ドレッサー揺動(旋回)速度の少なくとも一項目の変化量とパッド表面性状の変化量との関係を示す回帰式に、前記所望パッド表面性状変化量を代入することで

前記ドレッシング荷重、ドレッサー回転数、研磨パッド回転数、ドレッサー揺動速度の少なくとも一項目を求めてもよい。

[0045] 上記実施形態によれば、予め、ドレッシング条件（ドレッシング荷重、ドレッサー回転数、研磨パッド回転数、ドレッサー揺動速度など）と波長構成比との関係を表す回帰式を求めておき、ここに波長構成比の変化量を代入することで、所望の波長構成比を得るために最適なドレッシング条件を一意的に得ることができる。

[0046] 回帰式は、例えば、 $dR = A \times dL + B$ と表すことができる。ここで、 dR は波長構成比の変化量、 dL はドレッシング荷重の変化量、 A および B は定数、である。上記ドレッシング条件の決定方法によれば、研磨パッドの表面性状をパッドの使用初期から使用末期まで一定に保つことができるという効果が得られる。研磨パッドの表面性状は、パッドの使用初期から末期まで、研磨パッドの減耗量やドレッサーの切れ味の鋭さによって変化し、その変化に応じて、CMP性能も変化する。研磨パッドの表面性状を一定に保つことは、CMP性能を一定に保つことにつながる。

[0047] 一実施形態では、データ処理部50で得た波長構成比を異常検知に使用してもよい。この場合、動作制御部9は、波長構成比が予め定めた値の範囲から外れたら、パッド表面性状異常と判定し、異常の発報や、ドレッサー交換が必要であることの発報などを実行する。

研磨パッドの表面性状の異常の種類として、研磨パッド表面の異常な点（欠陥）の存在、研磨パッドのドレッシング不足、ドレッサーの寿命、研磨パッドの寿命などが挙げられる。

[0048] 図6は、測定ヘッド31が測定位置に配置された状態の一実施形態を模式的に示す斜視図である。図7Aは、測定ヘッド31の正面図であり、図7Bは、測定ヘッド31の下面図である。図6および図7Aに示すように、測定ヘッド31は、ケーシング43を有している。ケーシング43は、その内部に、研磨パッド2の表面性状を測定するための測定構造を収容している。ケーシング43の内部に収容される測定構造は、例えば、図3および図4を参

照して説明した投光部 3 2、受光部 3 5、偏光子 3 8、ND フィルター 3 9、ミラー 4 0、減光フィルター 4 1 などである。

[0049] 図 7 A に示すように、ケーシング 4 3 の下部には切り欠き 4 4 が形成されている。本実施形態では、切り欠き 4 4 は、2 つの対向する傾斜面 4 4 a、4 4 b と、これら傾斜面 4 4 a、4 4 b を接続する接続面 4 4 c とによって区画される台形状を有している。図 7 B に示すように、一方の傾斜面 4 4 a には、透光性を有するフィルター 4 7 a が配置されており、フィルター 4 7 a を通して光源 3 3 から発せられたレーザ光が研磨パッド 2 に照射される。他方の傾斜面 4 4 b にも、透光性を有するフィルター 4 7 b が配置されており、受光部 3 5 は、フィルター 4 7 b を通して、研磨パッド 2 からの反射光を受光する。これらフィルター 4 7 a、4 7 b の例としては、例えば、透明フィルム、または透明ガラスなどが挙げられる。

[0050] 測定ヘッド 3 1 は、ケーシング 4 3 の側面に固定された位置決めプレート 7 7、7 8 を有している。測定ヘッド 3 1 が図 6 および図 7 A に示す測定位置に移動されたとき、位置決めプレート 7 7、7 8 が研磨パッド 2 の研磨面 2 a に接触する。位置決めプレート 7 7、7 8 によって、鉛直方向における研磨パッド 2 の研磨面 2 a から測定ヘッド 3 1 の測定構造までの距離、および測定ヘッド 3 1 の研磨面 2 a に対する角度を常に一定に保つことができる。

[0051] 一実施形態では、図 7 A および図 7 B に示すように、表面性状測定装置 3 0 は、接続面 4 4 c から突出する先端を有するノズル 4 5 を備えていてもよい。ノズル 4 5 は、図示しない加圧気体供給ラインに接続されており、加圧気体供給ラインからの加圧気体（例えば、加圧窒素、または加圧空気）を研磨パッド 2 の研磨面 2 a に吹き付けるように構成されている。ノズル 4 5 から吹き付けられた加圧気体によって、研磨面 2 a 上の研磨液またはドレッシング液などの液体が除去される。これにより、表面性状測定装置 3 0 は、研磨パッド 2 の正確な表面性状を測定することができる。

[0052] 図 8 は、図 6 に示す測定ヘッド 3 1 の周辺を拡大して示す模式図である。

図6および図8に示すように、測定ヘッド31は、支持アーム51に支持されており、支持アーム51は、研磨装置の一部に固定される移動ユニット53に連結されている。移動ユニット53は、測定ヘッド31を待避位置から測定位置に、または測定位置から待避位置に移動させるためのユニットである。測定ヘッド31の測定位置は、測定ヘッド31が研磨パッド2の表面性状を測定するために研磨パッド2に接触している位置であり、測定ヘッド31の待避位置は、測定ヘッド31が研磨パッド2から離間した位置である。

[0053] 図8に示すように、移動ユニット53は、研磨装置の一部に固定される固定ブロック55と、支持アーム51に連結される回動ブロック56と、回動ブロック56を固定ブロック55に対して回動自在に連結する回転軸58と、回動ブロック56を回転軸58の軸心まわりに回動させる回動機構60を備えている。固定ブロック55は、研磨装置のフレーム48に固定されている。支持アーム51は、支持プレート52を介して回動ブロック56に連結されている。回動ブロック56は、回転軸58を介して固定ブロック55に連結されている。

[0054] 回動機構60は、回動ブロック56に連結されたピストン（図示せず）と、ピストンを進退自在に収容するシリンダ63から構成されるピストンシリンダ機構である。ピストンの先端は、回動ブロック56に連結されている。シリンダ63には、流体供給ライン（図示せず）が接続されており、流体供給ラインを介して流体（例えば、加圧窒素または加圧空気）がシリンダ63に供給される。動作制御部9は、シリンダ63への流体の供給を制御することにより、ピストンを上下動させる。例えば、流体供給ラインに開閉弁（図示せず）を配置して、動作制御部9がこの開閉弁の動作を制御することにより、ピストンを上下動させる。より具体的には、ピストンを上昇させるときは、動作制御部9は、開閉弁を開き、シリンダ63に流体を供給する。ピストンを下降させるときは、動作制御部9は、開閉弁を閉じて、シリンダ63への流体の供給を停止させる。

[0055] 回動機構60のピストンを上昇させることにより、回動ブロック56およ

び支持アーム 5 1 が測定ヘッド 3 1 を上方に移動させる方向に回転し、ピストンを下降させることにより、回転ブロック 5 6 および支持アーム 5 1 が測定ヘッド 3 1 を下方に移動させる方向に回転する。研磨パッド 2 の表面性状を測定するときは、動作制御部 9 は、回転機構 6 0 のピストンを下降させる。これにより、測定ヘッド 3 1 の位置決めプレート 7 7, 7 8 が研磨パッド 2 に接触し、測定ヘッド 3 1 は、測定位置に位置する。研磨パッド 2 の表面性状の測定が終了すると、動作制御部 9 は、回転機構 6 0 のピストンを上昇させる。これにより、測定ヘッド 3 1 が研磨パッド 2 から離間し、測定ヘッド 3 1 は待避位置に移動する。

[0056] 図 8 に示すように、回転ブロック 5 6 は、支持プレート 5 2 に接続された第 1 プレート 6 4 と、固定ブロック 5 5 に回転軸 5 8 を介して連結された第 2 プレート 6 5 を備えている。第 1 プレート 6 4 は、ヒンジ機構 8 7 によって、第 2 プレート 6 5 に回転自在に連結されている。ヒンジ機構 8 7 は、第 1 プレート 6 4 の上面に固定される第 1 ジョイント 8 8 と、第 2 プレート 6 5 の上面に固定される第 2 ジョイント 8 9 と、第 1 ジョイント 8 8 を第 2 ジョイント 8 9 に対して回転自在に連結する回転ピン 6 6 とから構成されている。ヒンジ機構 8 7 を動作させることによって、支持アーム 5 1 をさらに上方に傾けることができる。これにより、測定ヘッド 3 1 が研磨パッド 2 からより遠くに位置するので、研磨パッド 2 のメンテナンスまたは交換を容易に行うことができる。

[0057] 研磨装置は、測定ヘッド 3 1 の姿勢を自動で調整する姿勢調整機構 7 0 をさらに備えている。姿勢調整機構 7 0 は、支持アーム 5 1 に連結された支持台 7 2 と、測定ヘッド 3 1 の上面に固定され、支持台 7 2 に形成された貫通孔を通して延びる複数の調整ピン 7 3 を備えている。本実施形態では、4 つの調整ピン 7 3 が測定ヘッド 3 1 の上面に固定されている。支持台 7 2 は、支持アーム 5 1 に連結された支柱 7 2 a と、支柱 7 2 a の下部に固定されたフランジ部 7 2 b を有しており、4 つの貫通孔がフランジ部 7 2 a の 4 角に形成されている。各調整ピン 7 3 は、フランジ部 7 2 b に形成された各貫通孔

を通過して延びている。

[0058] 調整ピン73の上部は、上記貫通孔の直径よりも大きい直径を有しており、調整ピン73のフランジ部72bを貫通している部分の直径は、上記貫通孔の直径よりも小さい。したがって、測定ヘッド31は、支持台72に近づく方向および支持台72から遠ざかる方向に移動可能になっている。測定ヘッド31の位置決めプレート77, 78を研磨パッド2の研磨面2aに接触させると、測定ヘッド31は、その自重により、研磨パッド2の研磨面2aに支持される。したがって、測定ヘッド31の下面が研磨パッド2の表面（研磨面2a）に対して平行になるように、測定ヘッド31の姿勢が調整される。

[0059] 研磨装置は、測定ヘッド31を支持アーム51の長手方向に移動させるアクチュエータとしての測定ヘッド移動機構83をさらに備えている。測定ヘッド31が測定位置にあるとき、支持アーム51は、研磨パッド2の半径方向に延びるように配置される。したがって、測定ヘッド移動機構83は、測定ヘッド31を研磨パッド2の半径方向に移動させる。測定ヘッド移動機構83は、支持台72に連結されたボールねじ機構85と、ボールねじ機構85に連結されたサーボモータ84を備えている。サーボモータ84は、支持アーム51の下面に固定されている。

[0060] 支持アーム51は、その長手方向に沿って延びる長穴80を有している。長穴80の内部には、段差部（図示せず）が形成されている。支柱72aの上端には、支持軸81が固定されている。支持軸81は、長穴80の段差部に接触し、長穴80の段差部によって、長穴80の長手方向に移動可能に支持されている。このような構成より、測定ヘッド31および姿勢調整機構70は、支持アーム51の長手方向に移動可能になっている。すなわち、長穴80は、姿勢調整機構70および測定ヘッド31を支持アーム50に沿って移動させるための案内穴として機能する。

[0061] 測定ヘッド移動機構83は、動作制御部9に電氣的に接続されている。測定ヘッド移動機構83の動作は、動作制御部9によって制御される。動作制

御部 9 がサーボモータ 8 4 を駆動すると、ボールねじ機構 8 5 が駆動し、姿勢調整機構 7 0 および測定ヘッド 3 1 が支持アーム 5 1 の長手方向（すなわち、研磨パッド 2 の半径方向）に移動する。一実施形態では、測定ヘッド移動機構 8 3 は、エアシリンダと圧力レギュレータの組み合わせであってもよい。

[0062] 次に、上述した表面性状測定装置 3 0 および研磨パッド 2 の表面性状測定方法を使用した研磨パッド 2 の表面性状判定方法の一実施形態について図 9 を参照して説明する。図 9 は、研磨パッド 2 のブレイクインに、研磨パッド 2 の表面性状判定方法を組み込んだ例を示すフローチャートである。

[0063] まず、未使用の研磨パッド 2 を研磨テーブル 1 に載置し、研磨パッド 2 のブレイクインを開始する（ステップ 1-1）。ブレイクインとは、未使用の研磨パッドの表面（研磨面）を研磨に適した状態にするための工程のことである。ブレイクインは、研磨パッド 2 のドレッシングのみを行う工程（シーズニング）を少なくとも含む。一実施形態では、ブレイクインは、複合処理工程をさらに含んでもよい。複合処理工程は、酸化膜（ SiO_2 ）または金属膜が成膜されたダミーウエハを一枚研磨した後、研磨パッド 2 をドレッシングする工程である。複合処理工程は、研磨するダミーウエハを変えて複数回繰り返してもよい。一実施形態では、シーズニングの後、所定回数の複合処理工程が実施される。

[0064] ブレイクインを行っている間、研磨パッド 2 の表面性状を測定する（ステップ 1-2）。一実施形態では、所定時間研磨パッド 2 のドレッシング（シーズニング）を実施した後、または複合処理工程を所定回数実施した後、研磨パッド 2 の表面性状が測定される。

[0065] ステップ 1-2 では、研磨パッド 2 の表面性状を測定する。具体的には、研磨パッド 2 の表面の互いに異なる複数の箇所（測定点）において、研磨パッド 2 からの反射光の強度分布を取得（測定）し、互いに異なる複数の箇所 で取得された複数の上記強度分布から研磨パッド 2 の表面性状を間接的に示す波長構成比を算出する。研磨パッド 2 からの反射光の強度分布を取得する

工程は、以下の通りである。すなわち、投光部 3 2 から研磨パッド 2 の表面にレーザ光を照射し、受光部 3 5 によって、研磨パッド 2 からの反射光を受光する。受光部 3 5 は、研磨パッド 2 からの反射光を受光することによって、研磨パッド 2 からの反射光の強度分布を取得する。

[0066] 互いに異なる複数の箇所で取得された複数の上記強度分布から研磨パッド 2 の表面性状を間接的に示す波長構成比を算出する工程は、以下の通りである。本実施形態では、複数の上記強度分布のそれぞれから、波長構成比をそれぞれ算出することによって、複数の波長構成比を算出する。具体的には、各箇所で取得された反射光の強度分布は、データ処理部 5 0 に送信される。次に、データ処理部 5 0 は、上記反射光の強度分布から、研磨パッド 2 の表面性状を間接的に示す波長構成比を算出する。より具体的には、データ処理部 5 0 は、上記反射光の強度分布を、フーリエ変換することで、研磨パッド 2 の表面の空間波長スペクトルに変換し、上記空間波長スペクトルから波長構成比を算出する。すなわち、本実施形態では、上述したレーザ光の照射から波長構成比の算出までの研磨パッド 2 の表面性状測定工程が、レーザ光の照射位置を変更して複数回実行される。

[0067] 一実施形態では、データ処理部 5 0 は、上記複数の強度分布を平均化し、平均化された反射光の強度分布から、研磨パッド 2 の表面性状を間接的に示す波長構成比を算出してもよい。具体的には、複数の強度分布の画素ごとに強度を平均化することによって、複数の反射光の強度分布を平均化する。強度分布の平均化を行った後で、波長構成比を算出することで、効率的に波長構成比を算出することができる。

[0068] 研磨パッド 2 からの反射光の強度分布は、研磨パッド 2 の中心 O を中心とする少なくとも 1 つの円周上の複数の箇所で取得（測定）される。一実施形態では、上記強度分布は、研磨パッド 2 の中心 O を中心とする複数の同心円上の複数の箇所で測定される。図 1 0 は、研磨パッド 2 の表面上の複数の測定点の一例を示す図である。図 1 0 に示す例では、上記強度分布は、研磨パッド 2 の中心 O を中心とする複数の同心円 C 1, C 2, C 3 上の複数の測定

点 P 1 1 ~ P 1 5, P 2 1 ~ P 2 5, P 3 1 ~ P 3 5 で測定される。上記強度分布の測定点の数はこの例に限定されない。

[0069] 一実施形態では、研磨パッド 2 の表面の複数の箇所における研磨パッド 2 からの反射光の強度分布の測定は以下のように行われる。まず所定の位置に測定ヘッド 3 1 を移動させ、上記強度分布を測定する。次に、所定の角度だけ研磨テーブル 1 を研磨パッド 2 と一体に回転させ、再び研磨パッド 2 からの反射光の強度分布を測定する。測定ヘッド 3 1 の位置を固定したまま、研磨テーブル 1 の回転と、上記強度分布の測定を繰り返すことによって、中心 O を中心とする同一円周上で複数の測定が実施される。研磨パッド 2 からの反射光の強度分布を所定回数測定した後、測定ヘッド移動機構 8 3 によって測定ヘッド 3 1 を研磨パッド 2 の半径方向に移動させ、同様に、中心 O を中心とする他の円周の同一円周上の複数の箇所で研磨パッド 2 からの反射光の強度分布を測定する。研磨テーブル 1 の回転と、上記強度分布の測定と、測定ヘッド 3 1 の研磨パッド 2 の半径方向の移動を繰り返すことにより、研磨パッド 2 からの反射光の強度分布は、研磨パッド 2 の中心 O を中心とする複数の同心円上の複数の箇所で測定される。

[0070] ステップ 1 - 3 では、ステップ 1 - 2 で算出された波長構成比に基づいて、研磨パッド 2 の表面性状の良否を判定する。データ処理部 5 0 は、ステップ 1 - 2 で算出された波長構成比を動作制御部 9 に送信し、動作制御部 9 は、算出された波長構成比に基づいて、研磨パッド 2 の表面性状の良否を判定する。動作制御部 9 は、研磨パッド 2 の表面性状が良好であると判定した場合、研磨装置の各構成要素に指令を発し、ブレークインを終了させる。

[0071] 一実施形態では、複数の上記強度分布のそれぞれから、波長構成比をそれぞれ算出した場合、動作制御部 9 は、算出された複数の波長構成比の平均値を算出し、上記平均値と予め定められたしきい値を比較し、上記平均値がしきい値よりも小さいときは、研磨パッド 2 の表面性状が良好である（研磨パッド 2 の表面が研磨に適した状態になった）と判定し、ブレークインを終了する（ステップ 1 - 4）。上記平均値がしきい値よりも大きいときは、動作

制御部 9 は、研磨パッド 2 の表面性状が良好ではない（研磨パッド 2 の表面が研磨に適した状態になっていない）と判定し、ブレードインを継続する（ステップ 1－5）。所定時間のシーズニング、あるいは複合処理工程を所定回数実施した後、再度ステップ 1－2 を実行する。

[0072] 一実施形態では、平均化された反射光の強度分布から算出された波長構成比を予め定められたしきい値と比較してもよい。本実施形態では、上記波長構成比がしきい値よりも小さいときは、研磨パッド 2 の表面性状が良好であると判定し、ブレードインを終了する。上記波長構成比がしきい値よりも大きいときは、動作制御部 9 は、研磨パッド 2 の表面性状が良好ではないと判定し、ブレードインを継続する。所定時間のシーズニング、あるいは複合処理工程を所定回数実施した後、再度ステップ 1－2 を実行する。

[0073] 一実施形態では、上記平均値（または平均化された反射光の強度分布から算出された波長構成比）がしきい値よりも大きいときは、研磨パッド 2 の表面性状が良好であると判定し、ブレードインを終了してもよい。波長構成比を算出するための空間波長領域の選択方法によって、上記平均値（または平均化された反射光の強度分布から算出された波長構成比）がしきい値よりも大きいときに研磨パッド 2 の表面性状が良好となる場合がある。

[0074] 一実施形態では、動作制御部 9 は、算出された複数の波長構成比が予め定められた基準範囲内にあるか否かを確認し、算出された複数の波長構成比の全てが予め定められた基準範囲内にあるときに、研磨パッド 2 の表面性状が良好であると判定し、ブレードインを終了してもよい。複数の波長構成比の全てが予め定められた基準範囲内でない場合は、作制御部 9 は、研磨パッド 2 の表面性状が良好ではないと判定し、ブレードインを継続する。所定時間のシーズニング、あるいは複合処理工程を所定回数実施した後、再度ステップ 1－2 を実行する。

[0075] さらに一実施形態では、動作制御部 9 は、算出された複数の波長構成比の平均値を算出し、上記平均値と予め定められたしきい値を比較し、かつ算出された複数の波長構成比が予め定められた基準範囲内にあるか否かを確認し

、上記平均値がしきい値よりも小さく（または大きく）、かつ算出された複数の波長構成比の全てが予め定められた基準範囲内にあるときに研磨パッド2の表面性状が良好であると判定し、ブレイクインを終了してもよい。上述したしきい値や基準範囲は予め取得したドレッシング後、またはブレイクイン後の研磨パッド2の表面性状の測定データから設定することができる。

[0076] 研磨パッド2のドレッシングやブレイクインが適切に実施されると、研磨面2aの凹凸構造の凸部が起き上がり、凹凸構造の面内均一性が向上する。その結果、研磨パッド2の表面の複数の測定点における波長構成比の大きさおよび面内ばらつきは小さくなる。すなわち、波長構成比は、研磨パッド2の表面性状を間接的に示している。したがって、波長構成比に基づいて、研磨パッド2の表面性状の判定（例えば、ドレッシング不足の検知や、ドレッシングの終了判定）を行うことができる。

[0077] また、研磨パッド2の表面の複数の箇所では研磨パッド2からの反射光の強度分布を取得することで、研磨パッドの表面性状の面内ばらつきを含めた評価を行うことができる。このように、1箇所ではなく、複数の箇所では研磨パッド2からの反射光の強度分布を取得することで、精度よく研磨パッド2の表面性状（研磨パッド2の全体の表面性状）を判定することができる。結果として、過剰なドレッシングやブレイクインを防止することができ、ドレッサーの長寿命化に寄与することができる。さらに工程短縮や、スラリーなどの消耗部材の削減にも繋がる。また、上述した表面性状判定方法によれば、凸部の立ち上がりが早い研磨パッドは、ブレイクイン時間を短くでき、凸部の立ち上がりが遅いパッドには十分なブレイクインを実施することができる。すなわち、研磨パッドの個体差に応じてブレイクインの時間を調整することができる。

[0078] 一実施形態では、新品の研磨パッド（未使用の研磨パッド）を交換する毎に上述したステップ1-2～ステップ1-5を実行し、個別にブレイクインの終了判定をしてもよい。さらに一実施形態では、新品のある研磨パッドにおいて、ステップ1-2～ステップ1-5を一度行って適切なブレイクイン

条件を決定し、それ以降に新品の研磨パッドに交換した際には決定したブレークイン条件でブレークインを実行してもよい。さらに一実施形態では、複数の新品の研磨パッドのブレークインにおいて、ステップ1-2～ステップ1-5を実行することによって複数のブレークインの終了条件を決定し、複数のブレークインの終了条件に基づいて、ブレークインの終了条件の上限値を設定してもよい。

[0079] 図11は、ブレークイン中の研磨パッド2の処理条件毎の波長構成比の一例を示すグラフである。図11は、各処理条件で研磨パッド2を処理した後、研磨パッド2の複数の箇所から研磨パッド2からの反射光の強度分布を測定し、それぞれの強度分布から波長構成比をそれぞれ算出した結果を示している。図11の測定値は、研磨パッドの各測定位置でそれぞれ得られた測定値（波長構成比）を示している。図11に示す処理条件の例として、シーズニング時間と複合処理工程の回数が挙げられる。図11では、条件2～6においては、条件番号が大きくなるほどシーズニング時間は長くなり、条件7～10においては、条件番号が大きくなるほど複合処理工程の回数が増える。また、条件2～6は、シーズニングのみを行っており、条件7～10では、所定時間シーズニングを行った後、複合処理工程を所定回数行っている。条件7～10の各複合処理工程におけるドレッシング時間は同じであり、条件7～10のシーズニング時間は同じである。また、条件1の測定結果は、ブレークイン前の未使用の研磨パッドの測定結果を示している。

[0080] 図12Aは、図11の条件1における波長構成比と、所定の基準範囲および所定のしきい値を比較した図であり、図12Bは、図11の条件6における波長構成比と、所定の基準範囲および所定のしきい値を比較した図であり、図12Cは、図11の条件10における波長構成比と、所定の基準範囲および所定のしきい値を比較した図である。

図12Aでは、しきい値は、波長構成比の測定値（算出値）よりもかなり下にあるため、図12Aには、しきい値は図示されていない。

[0081] 図12Aに示すように、条件1では、波長構成比の全ての測定値は、基準

範囲内に収まっているが、波長構成比の平均値は、しきい値よりも大きい。

図 1 2 B に示すように、条件 6 では、波長構成比の全ての測定値は、基準範囲内に収まっていないが、波長構成比の平均値は、しきい値よりも小さい。

図 1 2 C に示すように、条件 1 0 では、波長構成比の全ての測定値が基準範囲内に収まっており、かつ波長構成比の平均値は、しきい値よりも小さい。

[0082] したがって、算出された複数の波長構成比と予め定められたしきい値を比較し、かつ算出された複数の波長構成比が予め定められた基準範囲内にあるか否かを確認することで、より正確なブレイクインの終了判定を行うことができる。

[0083] 図 1 1 に示すように、例えば条件 3 以降の測定では、しきい値を下回る測定値が得られる場合があることが分かる（しかし他の測定点ではしきい値を大きく上回っており、ブレイクインが不十分であることを示している）。上述した実施形態では、互いに異なる複数の箇所で取得された複数の上記強度分布から研磨パッド 2 の表面性状を間接的に示す波長構成比を算出するため、研磨パッド全体が研磨に適した状態になっているか否かを判断することができる。

[0084] 次に、上述した表面性状測定装置 3 0 および研磨パッド 2 の表面性状測定方法を使用した研磨パッド 2 の表面性状判定方法の他の実施形態について図 1 3 を参照して説明する。図 1 3 は、基板 W の研磨工程に、研磨パッド 2 の表面性状判定方法を組み込んだ例を示すフローチャートである。特に説明しない本実施形態の表面性状判定方法は、ステップ 1 - 2 およびステップ 1 - 3 と同様であるので、その重複する説明を省略する。

[0085] ステップ 2 - 1 では基板 W の研磨が行われる。ステップ 2 - 2 では、研磨パッド 2 のドレッシングが実施される。一実施形態では、研磨パッド 2 のドレッシングは、基板 W の研磨と同時に行ってもよい。さらに一実施形態では、研磨パッド 2 のドレッシングは、所定枚数の基板を研磨する毎に実施してもよい。所定時間、研磨パッド 2 のドレッシングを行った後、ステップ 1 - 2 と同様の方法により、研磨パッド 2 の表面性状を測定する（ステップ 2 -

3)。一実施形態では、ステップ2-3は、任意のタイミング（例えば、毎回のドレッシング終了後、研磨される基板のロット毎、または所定枚数の基板を研磨した後のドレッシング終了後）に行ってもよい。ステップ2-4では、ステップ1-3と同様の方法により研磨パッド2の表面性状の良否を判定する。一実施形態では、表面性状判定工程（ステップ2-3～ステップ2-5）は、研磨パッド2のドレッシングと同時に実施してもよい。

[0086] 図14は、基板Wを研磨しながら所定のドレッシング条件で研磨パッド2をドレッシングした後、研磨パッド2の表面性状を測定し、波長構成比を算出した結果を示している。図14に示すドレッシング条件の一例として、ドレッサーアーム21のスキャン回数が挙げられる。図14では、条件番号が大きくなるほどドレッサーアーム21のスキャン回数は少なくなる。図14の条件11は、研磨パッド2のドレッシングが適切に実施されたとき（すなわち、研磨パッド2の表面性状が良好であるとき）のドレッシング条件である。図14の条件12～15は、基板Wの研磨中にのみ研磨パッド2のドレッシングを行ったときのドレッシング後の研磨パッド2の表面性状の測定結果であり、条件11は、基板Wの研磨中に所定の条件で研磨パッド2のドレッシングを行った後、研磨終了後に再び研磨パッド2のドレッシングを行ったときのドレッシング後の研磨パッド2の表面性状の測定結果である。

[0087] 動作制御部9は、研磨パッド2の表面性状が良好である（すなわち、ドレッシングが適切に実施された）と判定した場合、新たな基板の研磨を開始する。動作制御部9が、研磨パッド2の表面性状が良好ではない（ドレッシング不足である）と判断した場合、動作制御部9は、後述するステップ2-6の追加ドレッシングの繰り返し回数を、所定の繰り返し基準値と比較する（ステップ2-5）。上記繰り返し回数が、所定の繰り返し基準値よりも多い場合、動作制御部9は、作業者に研磨装置の消耗部品の交換の検討を促すための警報信号を生成する（ステップ2-7）。研磨装置の消耗部品として、研磨パッド2や、ドレッシング部材22aや、スラリーが挙げられる。

[0088] 上記繰り返し回数が所定の繰り返し基準値未満の場合は、所定のドレッシ

ング条件で研磨パッド2の追加ドレッシングを実施し（ステップ2－6）、追加ドレッシングを実施した後、再びステップ2－3を実施する。一実施形態では、ステップ2－6のドレッシング条件（例えば、ドレッシング時間）は、ステップ2－2におけるドレッシング条件と異なってもよい。本実施形態においても、複数の箇所では研磨パッド2からの反射光の強度分布を取得することで、精度よく研磨パッド2の表面性状（研磨パッド2の全体の表面性状）を判定することができる。本実施形態によれば、ドレッシングの不足を判定し、必要であれば追加のドレッシングを行って研磨を継続し、研磨パッドの表面性状に基づいて、精度よく消耗部品（例えば、ドレッシング部材）の交換の判定を行うことができる。

[0089] 一実施形態では、ステップ2－2からステップ2－6までの工程を基板Wの研磨後（または、研磨中）に行われる一連のドレッシング工程とし、ステップ2－4によってドレッシング工程の終了判定を行ってもよい。すなわち、動作制御部9は、ステップ2－4で研磨パッド2の表面性状が良好であると判定した場合、研磨装置の各構成要素に指令を発し、ドレッシング工程を終了させる。本実施形態によれば、精度よく研磨パッド2の表面性状を判定することができるため、過剰なドレッシングを防止することができる。

[0090] 図15は、表面性状測定装置30の他の実施形態を示す模式図である。特に説明しない本実施形態の構成および動作は、上述した実施形態と同じであるので、その重複する説明を省略する。本実施形態の投光部32は、研磨パッド2を研磨パッド2の研磨面2a側から見たときに、光を、複数の方向から研磨パッド2に照射可能に構成されており、受光部35は、研磨パッド2の表面で反射した複数の方向からの反射光を受光可能に構成されている。本明細書において、レーザ光の照射方向とは、研磨パッド2を表面（研磨面2a）側から見たときのレーザ光の照射方向を意味する。

[0091] 本実施形態の表面性状測定装置30は、投光部32から発せられるレーザ光の照射方向を変更する照射方向変更機構90をさらに備えている。照射方向変更機構90は、測定ヘッド31に接続されている。照射方向変更機構90

0は、測定ヘッド31を回転可能に支持しており、測定ヘッド31を回転させることによって、投光部32から発せられるレーザ光の照射方向を変更するように構成されている。

[0092] 照射方向変更機構90は、測定ヘッド31を回転させる回転モータ91と、回転モータ91に連結されたシャフト92を備えている。測定ヘッド31は、シャフト92を介して回転モータ91に連結されている。この回転モータ91により測定ヘッド31がシャフト92の軸心AX2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。回転モータ91には、測定ヘッド31の回転角度を測定する角度測定装置93が組み込まれている。回転モータ91は、その回転角度を制御可能に構成されている。回転モータ91の一例としてサーボモータが挙げられる。角度測定装置93の一例として、ロータリーエンコーダが挙げられる。

[0093] 照射方向変更機構90は、データ処理部50に電氣的に接続されており、照射方向変更機構90の動作は、データ処理部50によって制御される。照射方向変更機構90は、ベースプレート74の下面に固定されており、ベースプレート74を介して姿勢調整機構70に連結されている。本実施形態では、調整ピン73の下端は、ベースプレート74の上面に固定されている。一実施形態では、シャフト92は、回転モータ91の代わりに、図示しない軸受によって回転可能に支持されていてもよい。この場合、測定ヘッド31は手動で回転し、照射方向変更機構90は、データ処理部50に電氣的に接続されなくてもよい。

[0094] 投光部32および受光部35は、シャフト93の軸心AX2周りに回転する。本実施形態では、軸心AX2と、レーザ光の照射位置Pを通り研磨面2aに垂直な直線である軸心CP（図2参照）の位置は一致している。したがって、図16に示すように、投光部32および受光部35は、軸心CPを中心に、軸心CP周りに回転可能に構成されている。回転モータ91を駆動することにより、測定ヘッド31、すなわち投光部32および受光部35が軸心CP周りに回転する。これにより、投光部32から発せられるレーザ光の

照射方向が変更される。

- [0095] 本実施形態では、上記レーザ光の照射方向は、軸心C P周りの角度ともいうことができる。言い換えれば、レーザ光の照射角度 θ は、研磨パッド2の表面（研磨面2 a）に垂直な方向から見たときの投光部3 2の光源3 3から発せられるレーザ光と、基準直線R Lとが成す角度である。基準直線R Lは、照射位置Pおよび研磨パッド2の中心Oを通る直線である。本実施形態では、レーザ光の照射位置を動かさずにレーザ光の照射方向を変更することができる。
- [0096] 次に、本実施形態の表面性状測定装置3 0を使用した研磨パッド2の表面性状測定方法の一実施形態について、図1 7のフローチャートを参照して説明する。ステップ3-1では、研磨パッド2の表面性状（研磨パッド2からの反射光の強度分布）の多方向測定を実施する。研磨パッド2の表面性状の多方向測定は、互いに異なる複数の照射方向からレーザ光を研磨パッド2に照射し、研磨パッド2に照射された複数のレーザ光のそれぞれに対応する研磨パッド2からの複数の反射光を受光部3 5で受光し、複数の反射光の複数の強度分布を取得することにより行われる。具体的には、レーザ光の照射方向を変更しながら、レーザ光を研磨パッド2に照射し、各照射方向におけるレーザ光の研磨パッド2からの各反射光を受光部3 5で受光することで複数の強度分布を取得する。
- [0097] より具体的には、投光部3 2は、所定の照射方向からレーザ光を研磨パッド2に照射し、受光部3 5によって、研磨パッド2からの反射光を受光する。受光部3 5は、研磨パッド2からの反射光を受光することによって、研磨パッド2からの反射光の強度分布を取得する。その後、レーザ光の照射方向を所定の角度だけ照射方向変更機構9 0によって変更し、変更された照射方向からレーザ光を研磨パッド2に照射し、レーザ光の研磨パッド2からの反射光を受光部3 5で受光し、反射光の強度分布を取得する。その後、さらにレーザ光の照射方向を所定の角度だけ変更し、変更された方向から研磨パッド2の表面性状を測定する。このように、レーザ光の照射方向の変更と、研

磨パッド2の表面性状の測定が、所定回数（例えば、光源33が軸心CPの周りを一周するまで）繰り返される。

[0098] 本実施形態における研磨パッド2の表面性状の多方向測定の測定位置は、研磨中に基板Wの中心部分が接触する研磨パッド2上の位置である。基板Wの中心部分が接触する研磨パッド2上の箇所は、ドレッシング不足が発生しやすいため、反射光の強度が比較的大きくなる。一実施形態では、各照射方向において、研磨パッド2の表面性状の測定を複数回実行し、複数の反射光の強度分布を平均化し、平均化された強度分布を後述するステップ3-2で使用してもよい。複数の反射光の強度分布を平均化することで、測定ばらつきが低下し、測定結果の精度を向上することができる。

[0099] ステップ3-2～ステップ3-6では、ステップ3-1の多方向測定で取得した複数の強度分布を利用して、研磨パッド2の表面性状を間接的に示す指標値を取得する。本実施形態のデータ処理部50は、互いに異なる複数の方向から研磨パッド2に照射された複数の光の研磨パッド2からの複数の反射光の強度分布を利用して、研磨パッド2の表面性状を間接的に示す指標値を取得するように構成されている。

[0100] ステップ3-2～ステップ3-6の具体的な工程は以下の通りである。ステップ3-2では、データ処理部50は、互いに異なる複数の角度から研磨パッド2に照射された複数のレーザ光の研磨パッド2からの複数の反射光の複数の強度分布を比較して、特定の空間波長領域における研磨パッド2からの反射光の強度が最大となるレーザ光の照射方向を決定する。より具体的には、データ処理部50は、各強度分布の特定の空間波長領域（すなわち、受光素子36の特定の空間波長領域の反射光を受光する所定の範囲内の画素）における強度の平均値を算出し、算出された各平均値を比較して、上記平均値が最大となる照射方向を決定する。

[0101] 一実施形態では、データ処理部50は、各照射方向における所定の画素（ピクセル位置）の反射光の強度を比較して、所定の画素における反射光の強度が最大となる照射方向を決定してもよい。さらに一実施形態では、データ

処理部50は、照射方向の変更に最も影響を受けやすい画素（すなわち、照射方向による強度の変化が最も大きい画素）を、反射光の強度の比較を行うための画素としてもよく、複数の反射強度分布の中で最も反射光の強度が大きい画素を、反射光の強度の比較を行うための画素としてもよい。

[0102] 図18乃至図25は、各照射方向における研磨パッド2からの反射光の強度分布を示すグラフである。図18乃至図25のグラフの横軸は、画素（ピクセル位置）を示し、縦軸は、各画素における研磨パッド2からの反射光の強度を示している。図18乃至図25は、それぞれ照射角度 θ が 0° 、 45° 、 90° 、 135° 、 180° 、 225° 、 270° 、 315° のときの研磨パッド2からの反射光の強度分布を示すグラフである。

[0103] 図18乃至図25に示す例では、空間周波数 $1/\xi_5$ の光を受光する画素（以下、単に画素 $1/\xi_5$ という）やその周辺における強度の変化が比較的大きく、画素 $1/\xi_5$ における強度の最大値（照射角度 $\theta=90^\circ$ のときの画素 $1/\xi_5$ における反射光の強度）も比較的大きい。したがって、図18乃至図25に示す例では、データ処理部50は、各反射光の強度分布を比較して、画素 $1/\xi_5$ における反射光の強度が最大となる照射方向を決定してもよく、各反射光の強度分布を比較して、画素 $1/\xi_5$ の周辺の画素 $1/\xi_6$ から画素 $1/\xi_7$ までの範囲内（図20参照）の画素（空間周波数 $1/\xi_6$ から空間周波数 $1/\xi_7$ までの空間波長領域）における複数の強度の平均値が最大となる照射方向を決定してもよい。

[0104] 図20に示すように、画素 $1/\xi_5$ の周辺の強度は大きくなっている。これは、研磨面2aの凹凸構造の凸部が 90° の方向に倒れて、 90° の方向における反射率が上がっていると捉えることができる。また、凸部が 90° の方向に倒れていることで、研磨パッド2の表面では 90° の方向に長波長の空間波長に相当する凹凸構造が存在していると捉えることができる。図18乃至図25のグラフの左側の照射角度ごとの強度の変化が大きい領域の画素は、長波長の空間波長に相当し、グラフの右側の照射角度ごとの強度の変化が小さい領域の画素は、短波長の空間波長に相当する。

- [0105] 図18乃至図25に示すように、研磨パッド2の表面性状の測定値（研磨パッド2からの反射光の強度）は、照射方向によって変化する。すなわち、研磨パッド2の状態と研磨性能との関係を調べ、ドレッシング条件の最適化等をするためには、一方向の凹凸情報ではなく、多方向の凹凸情報を得た方が有益である。本実施形態のように、複数の照射方向において研磨パッド2の表面性状（研磨パッド2からの反射光の強度分布）を測定することで、研磨パッド2の表面状態をより詳細に評価し、ドレッシング条件の最適化を行うことができる。本実施形態では、レーザ光の照射方向を45°毎に変化させているが、照射方向の変更ピッチは本実施形態に限定されない。
- [0106] ステップ3-3では、投光部32の光源33から発せられるレーザ光の照射方向がステップ3-2で決定された照射方向、すなわち研磨パッド2からの反射光の特定の空間波長領域における強度が最大となる照射方向になるようにレーザ光の照射方向を設定する。具体的には、照射方向変更機構90によって、投光部32および受光部35の角度を調整することによって、レーザ光の照射方向を設定する。これにより、レーザ光の照射方向が研磨パッド2の表面性状測定に最適な方向になる。最適な照射方向で研磨パッド2の表面性状（研磨パッド2からの反射光の強度分布）を測定することにより、研磨パッド2の表面性状の測定精度を向上させることができ、結果としてより精密な研磨パッド2の表面性状の判定や、ドレッシング条件の最適化を行うことができる。
- [0107] ステップ3-1～ステップ3-3（以下、方向設定工程という）は、研磨パッド2の表面性状測定前に毎回実施してもよく、研磨パッドの表面性状測定工程を定めるために一度だけ実施してもよい。例えば、上記方向設定工程は、図9を参照して説明したステップ1-2の研磨パッド2の表面性状の測定前に実行してもよく、図13のステップ2-3の研磨パッド2の表面性状の測定前に実行してもよい。
- [0108] ステップ3-4では、研磨パッド2の表面性状の多点測定を実施する。具体的には、研磨パッド2の表面の互いに異なる複数の箇所、研磨パッド2

からの反射光の強度分布を測定する。研磨パッド2の表面の複数の箇所における上記強度分布の測定方法は、ステップ1-2と同様である。

[0109] ステップ3-5では、データ処理部50は、ステップ3-4で取得した複数の反射光の強度分布を平均化する。具体的には、複数の強度分布の画素ごとに強度を平均化することによって、複数の反射光の強度分布を平均化する。強度分布の平均化を行った後で、後述するステップ3-6を実行することで、効率的に研磨パッド2の表面性状を間接的に示す指標値を算出することができる。

[0110] ステップ3-6では、データ処理部50は、平均化された研磨パッド2の反射光の強度分布から研磨パッド2の表面性状を間接的に示す指標値を算出する。一実施形態では、研磨パッド2の表面性状を間接的に示す指標値は、上述した波長構成比である。データ処理部50は、上記反射光の強度分布を、フーリエ変換することで、研磨パッド2の表面の空間波長スペクトルに変換し、上記空間波長スペクトルから波長構成比を算出する。このようにして、データ処理部50は、研磨パッド2の表面性状を間接的に示す指標値を取得する。一実施形態では、ステップ3-6において、ステップ3-4で取得された複数の上記強度分布のそれぞれから、研磨パッド2の表面性状を間接的に示す指標値をそれぞれ算出してもよい。この場合、ステップ3-5は実施されない。

[0111] 本実施形態では、互いに異なる複数の方向から前記研磨パッドに照射された複数の光の前記研磨パッドからの複数の反射光の強度分布を取得することができる。結果として、研磨パッド2の表面性状の測定精度を向上させることができる。

[0112] 図26は、表面性状測定装置30のさらに他の実施形態を示す模式図であり、図27は、図26に示す測定ヘッド31を上から見た図である。特に説明しない本実施形態の構成および動作は、図15乃至図17を参照して説明した実施形態と同じであるので、その重複する説明を省略する。

[0113] 本実施形態の表面性状測定装置30は、照射方向変更機構90を備えてい

ない点で、図15を参照して説明した実施形態と異なっている。本実施形態では、図8を参照して説明した実施形態と同様に、姿勢調整機構70は、測定ヘッド31に接続されており、調整ピン73は測定ヘッド31の上面に固定されている。

[0114] 図27に示すように、本実施形態では、投光部32は、互いに異なる方向を向いて配置された複数の光源33a, 33b, 33cを備えており、受光部35は、互いに異なる方向を向いて配置された複数の受光素子36a, 36b, 36cを備えている。具体的には、光源33a, 33b, 33cは、研磨パッド2を研磨パッド2の研磨面2a側から見たときに、互いに異なる方向を向いて配置されており、受光素子36a, 36b, 36cは、研磨パッド2を研磨パッド2の研磨面2a側から見たときに、互いに異なる方向を向いて配置されている。光源33a, 33b, 33cは、同じ位置（照射位置P）にレーザ光を照射可能に配置されている。光源33a, 33b, 33cおよび受光素子36a, 36b, 36cの構成は、光源33および受光素子36と同じである。受光素子36a, 36b, 36cは、光源33a, 33b, 33cにそれぞれ対面しており、光源33a, 33b, 33cから発せられたレーザ光の研磨パッド2からの反射光をそれぞれ受光可能に構成されている。

[0115] このような構成により、本実施形態の投光部32は、研磨パッド2を研磨パッド2の研磨面2a側から見たときに、光を、互いに異なる複数の照射方向から研磨パッド2に照射可能に構成されており、受光部35は、研磨パッド2の表面で反射した複数の方向からの反射光を受光するように構成されている。本実施形態では、光源33aからのレーザ光の照射角度は、 0° であり、光源33bからのレーザ光の照射角度 $\theta 1$ は、 45° であり、光源33cからのレーザ光の照射角度 $\theta 2$ は、 90° である。光源の数と配置角度は本実施形態に限定されない。本実施形態によれば、一度に複数の照射方向における研磨パッド2の表面性状（研磨パッド2からの反射光の強度分布）を測定することができる。

- [0116] 次に、本実施形態の表面性状測定装置 30 を使用した研磨パッド 2 の表面性状測定方法の一実施形態について説明する。特に説明しない本実施形態の表面性状測定方法は、図 17 を参照して説明した方法と同じである。本実施形態では、ステップ 3-1 でレーザ光の照射方向を変更しながら、レーザ光を研磨パッド 2 に照射する代わりに、複数の光源 33a, 33b, 33c によって、複数の照射方向からレーザ光を研磨パッド 2 に照射し、研磨パッド 2 に照射された複数のレーザ光のそれぞれに対応する研磨パッド 2 からの複数の反射光を複数の受光素子 36a, 36b, 36c で受光する。
- [0117] さらに本実施形態では、ステップ 3-3 において、照射方向変更機構 90 によって投光部 32 および受光部 35 の角度（方向）を調整する代わりに、研磨パッド 2 からの反射光の特定の空間波長領域における強度が最大となる照射方向にレーザ光を照射する光源を選択することによって、レーザ光の照射方向を設定する。以降のプロセスでは、選択された光源および選択された光源に対面する受光素子を用いて研磨パッド 2 の表面性状を測定する。
- [0118] 一実施形態では、図 15 乃至図 25 を参照して説明した実施形態に、図 26 および図 27 を参照して説明した実施形態を組み合わせてもよい。これにより、一度に複数の照射方向における研磨パッド 2 の表面性状（研磨パッド 2 からの反射光の強度分布）を測定することができ、ステップ 3-1 におけるレーザ光の照射方向を変更する工程を短縮することができる。
- [0119] さらに一実施形態では、受光素子 36 として、2 次元型の CCD を用いてもよい。受光素子 36 として 2 次元型の CCD を用いることにより、レーザ光が水平方向にずれた場合でも調整の必要なく、反射光を受光素子 36 で受光することができる。
- [0120] 上述した実施形態は、一枚の基板処理毎に行うドレッシングの条件決定のためにも利用することができる。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

[0121] 本発明は、半導体ウエハ等の基板の研磨に用いられる研磨パッドの表面性状測定装置、研磨パッドの表面性状測定方法、および研磨パッドの表面性状判定方法に利用可能である。

符号の説明

- [0122]
- 1 研磨テーブル
 - 2 研磨パッド
 - 3 テーブル回転モータ
 - 4 テーブル軸
 - 9 動作制御部
 - 10 研磨ヘッド
 - 11 研磨ヘッドシャフト
 - 12 研磨ヘッド揺動アーム
 - 20 ドレッシング装置
 - 21 ドレッサーアーム
 - 22 ドレッサー
 - 23 エアシリンダ
 - 24 ドレッサーシャフト
 - 26 支軸
 - 27 支軸回転モータ
 - 30 表面性状測定装置
 - 31 測定ヘッド
 - 32 投光部
 - 33 光源
 - 33 a, 33 b, 33 c 光源

- 3 5 受光部
- 3 6 受光素子
- 3 6 a, 3 6 b, 3 6 c 受光素子
- 3 8 偏光子
- 3 9 NDフィルター
- 4 0 ミラー
- 4 1 減光フィルター
- 4 3 ケーシング
- 4 4 切り欠き
- 4 5 ノズル
- 4 7 a, 4 7 b フィルター
- 5 0 データ処理部
- 5 1 支持アーム
- 5 2 支持プレート
- 5 3 移動ユニット
- 5 5 固定ブロック
- 5 6 回動ブロック
- 5 8 回転軸
- 6 0 回動機構
- 6 3 シリンダ
- 6 6 回転ピン
- 7 0 姿勢調整機構
- 7 2 支持台
- 7 3 調整ピン
- 7 4 ベースプレート
- 7 7, 7 8 位置決めプレート
- 8 0 長穴
- 8 1 支持軸

- 8 3 測定ヘッド移動機構
- 8 4 サーボモータ
- 8 5 ボールねじ機構
- 8 7 ヒンジ機構
- 9 0 照射方向変更機構
- 9 1 回転モータ
- 9 2 シャフト
- 9 3 角度測定装置

請求の範囲

- [請求項1] 基板の研磨に使用される研磨パッドの表面性状測定装置であって、
前記研磨パッドを前記研磨パッドの研磨面側から見たときに、光を複数の方向から前記研磨パッドに照射可能な投光部と、
前記研磨パッドの表面で反射した複数の方向からの反射光を受光可能な受光部を備えている、表面性状測定装置。
- [請求項2] 前記光の照射方向を変更する照射方向変更機構をさらに備えている、請求項1に記載の表面性状測定装置。
- [請求項3] 前記照射方向変更機構は、前記投光部および前記受光部を回転させる回転モータと、前記回転モータに連結されたシャフトを備えている、請求項2に記載の表面性状測定装置。
- [請求項4] 前記投光部は、互いに異なる方向を向いて配置された複数の光源を備え、
前記受光部は、互いに異なる方向を向いて配置された複数の受光素子を備えている、請求項1乃至3のいずれか一項に記載の表面性状測定装置。
- [請求項5] 前記受光部に電氣的に接続されたデータ処理部をさらに備え、
前記データ処理部は、互いに異なる複数の方向から前記研磨パッドに照射された複数の光の前記研磨パッドからの複数の反射光の強度分布を利用して、前記研磨パッドの表面性状を間接的に示す指標値を取得するように構成されている、請求項1乃至4のいずれか一項に記載の表面性状測定装置。
- [請求項6] 互いに異なる複数の照射方向から研磨パッドに光を照射し、
前記研磨パッドに照射された複数の光のそれぞれに対応する前記研磨パッドからの複数の反射光を受光し、複数の反射光の強度分布を取得し、
前記複数の強度分布を利用して、前記研磨パッドの表面性状を間接的に示す指標値を取得する工程を含み、

前記照射方向は、前記研磨パッドを前記研磨パッドの研磨面側から見たときの方向である、研磨パッドの表面性状測定方法。

[請求項7] 前記互いに異なる複数の照射方向から前記研磨パッドに光を照射し、

前記研磨パッドに照射された前記複数の光のそれぞれに対応する前記研磨パッドからの前記複数の反射光を受光する工程は、

前記光の照射方向を変更しながら、前記光を前記研磨パッドに照射し、各照射方向における光の前記研磨パッドからの各反射光を受光する工程を含む、請求項6に記載の研磨パッドの表面性状測定方法。

[請求項8] 前記互いに異なる複数の照射方向から前記研磨パッドに光を照射し、

前記研磨パッドに照射された前記複数の光のそれぞれに対応する前記研磨パッドからの前記複数の反射光を受光する工程は、

複数の光源によって、複数の照射方向から光を前記研磨パッドに照射し、前記研磨パッドに照射された複数の光のそれぞれに対応する研磨パッドからの複数の反射光を複数の受光素子で受光する工程を含む、請求項6または7に記載の研磨パッドの表面性状測定方法。

[請求項9] 研磨パッドの表面の複数の箇所、前記研磨パッドからの反射光の強度分布を取得する工程と、

前記複数の箇所で取得された複数の前記強度分布から前記研磨パッドの表面性状を間接的に示す波長構成比を算出する工程と、

前記算出された波長構成比に基づいて、前記研磨パッドの表面性状の良否を判定する工程を備え、

前記研磨パッドからの反射光の強度分布を取得する工程は、

前記研磨パッドの表面にレーザ光を照射し、

前記研磨パッドからの反射光を受光する工程を含む、研磨パッドの表面性状判定方法。

[請求項10] 前記複数の箇所で取得された複数の前記強度分布から前記研磨パッ

ドの表面性状を間接的に示す波長構成比を算出する工程は、複数の前記強度分布のそれぞれから、波長構成比をそれぞれ算出することによって、複数の波長構成比を算出する工程を含む、請求項 9 に記載の研磨パッドの表面性状判定方法。

[請求項11] 前記複数の箇所取得された複数の前記強度分布から前記研磨パッドの表面性状を間接的に示す波長構成比を算出する工程は、前記複数の強度分布を平均化し、平均化された反射光の強度分布から、前記波長構成比を算出する工程を含む、請求項 9 に記載の研磨パッドの表面性状判定方法。

[請求項12] 前記算出された波長構成比に基づいて、前記研磨パッドの表面性状の良否を判定する工程は、前記算出された複数の波長構成比が予め定められた基準範囲内にあるか否かを確認し、前記算出された複数の波長構成比の全てが予め定められた基準範囲内にあるときに、前記研磨パッドの表面性状が良好であると判定する工程を含む、請求項 10 に記載の研磨パッドの表面性状判定方法。

[請求項13] 前記算出された波長構成比に基づいて、前記研磨パッドの表面性状の良否を判定する工程は、前記算出された複数の波長構成比の平均値を算出し、前記平均値と予め定められたしきい値を比較し、かつ前記算出された複数の波長構成比が予め定められた基準範囲内にあるか否かを確認し、前記平均値が前記しきい値よりも小さく、かつ前記算出された複数の波長構成比の全てが前記基準範囲内にあるときに前記研磨パッドの表面性状が良好であると判定する工程を含む、請求項 10 に記載の研磨パッドの表面性状判定方法。

[請求項14] 前記算出された波長構成比に基づいて、前記研磨パッドの表面性状の良否を判定する工程は、前記算出された複数の波長構成比の平均値を算出し、前記平均値と予め定められたしきい値を比較し、かつ前記算出された複数の波長構成比が予め定められた基準範囲内にあるか否かを確認し、前記平均値が前記しきい値よりも大きく、かつ前記算出

された複数の波長構成比の全てが前記基準範囲内にあるときに前記研磨パッドの表面性状が良好であると判定する工程を含む、請求項 10 に記載の研磨パッドの表面性状判定方法。

[請求項15] 前記研磨パッドの表面性状が良好であると判定した場合、前記研磨パッドのブレイクインを終了する工程をさらに含む、請求項 9 乃至 14 のいずれか一項に記載の研磨パッドの表面性状判定方法。