

パッド表面判定方法およびパッド表面判定システム

発明の背景

発明の技術分野

- 5 [0001] 本発明は、ウェーハなどの基板を研磨するための研磨パッドの表面性状を判定するパッド表面判定方法およびパッド表面判定システムに関する。

関連技術の記載

- [0002] 半導体デバイスの製造工程において、半導体デバイス表面の平坦化がますます重要になっている。この表面の平坦化において最も重要な技術は、化学機械
10 研磨（CMP：Chemical Mechanical Polishing）である。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の研磨面上に供給しつつウェーハなどの基板を研磨面に摺接させて該基板を研磨するプロセスである。

- [0003] 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
15 磨テーブルと、基板を研磨パッドに押し付ける研磨ヘッドを備えている。研磨装置は、次のようにして基板を研磨する。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。研磨ヘッドは基板を回転させながら、基板の表面を研磨パッドの研磨面に対して押し付ける。基板は、研磨液の存在下で研磨パッドに摺接される。基板の表
20 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／または研磨パッドの機械的作用により、研磨される。

- [0004] 基板の研磨を行うと、研磨パッドの研磨面には砥粒や研磨屑が付着し、研磨性能が低下する。そこで、研磨パッドの研磨面を再生するために、ドレッサによる研磨パッドのドレッシング（コンディショニング）が行なわれる。ドレッサ
25 は、その下面に固定されたダイヤモンド粒子などの硬質の砥粒を有しており、このドレッサで研磨パッドの研磨面を削り取ることにより、研磨パッドの研磨面を再生する。

- [0005] 研磨パッドは、基板の研磨および研磨パッドのドレッシングを繰り返すにつれて徐々に減耗していく。研磨パッドが減耗すると、意図した研磨性能が得ら

状を判定する、パッド表面判定方法が提供される。

[0011] 一態様では、前記研磨パッドの表面性状を判定する工程は、前記少なくとも 1 つの画像からパッド表面指標値を生成する工程を含む。

一態様では、前記パッド表面指標値は、画像の輝度情報に基づいて算定される。

- 5 一態様では、前記少なくとも 1 つの画像から前記パッド表面指標値を生成する工程は、前記複数の画像から差分画像または除算画像を作成し、前記差分画像または前記除算画像の輝度情報に基づいて前記パッド表面指標値を算定する工程である。

- 10 一態様では、前記複数の投光部からの前記複数の光は、第 1 の投光部から発せられる第 1 の波長範囲内の波長を有する第 1 の光と、第 2 の投光部から発せられる第 2 の波長範囲内の波長を有する第 2 の光を含み、前記第 1 の波長範囲および前記第 2 の波長範囲は、互いに異なる。

一態様では、前記第 1 の投光部および前記第 2 の投光部は、前記第 1 の光および前記第 2 の光を、前記異なる入射角で同時に前記ターゲット領域に照射する。

- 15 一態様では、前記異なる入射角に対応する前記複数の画像を前記撮像装置により同時に生成する。

- 一態様では、前記方法は、複数の光を前記ターゲット領域に照射すること、複数の反射光から複数の画像を前記撮像装置により生成することを繰り返すことで、前記異なる入射角に対応する複数グループの複数の時間差画像を取得することをさらに含み、前記パッド表面指標値を生成する工程は、同じ入射角のグループ内の複数の時間差画像から差分画像または除算画像を生成し、前記差分画像または前記除算画像の輝度情報に基づいて前記パッド表面指標値を算定する工程である。
- 20

- 一態様では、前記方法は、複数の光を前記ターゲット領域に照射すること、複数の反射光から複数の画像を前記撮像装置により生成すること、および前記パッド表面指標値を生成することを繰り返すことで、複数のパッド表面指標値を取得し、前記複数のパッド表面指標値の分散を算定することをさらに含む。
- 25

一態様では、前記少なくとも 1 つの画像に基づいて前記研磨パッドの表面性状を判定する工程は、前記少なくとも 1 つの画像を、機械学習により構築された判定モデルに入力し、前記判定モデルから、前記研磨パッドの表面性状の判定結果

を出力する工程である。

一態様では、前記複数の投光部から発せられた前記複数の光は、フィルタを通じて前記ターゲット領域に照射され、前記フィルタは、前記複数の光の通過を許容し、前記研磨面に垂直な方向から見たときに前記複数の光の方向とは異なる方向からの光の通過を許容しないように構成されている。

一態様では、前記フィルタは、前記研磨面に垂直な方向から見たときに前記複数の投光部の向きと平行に延びる複数の光遮断壁を有し、前記複数の光遮断壁は間隔を開けて配列されている。

一態様では、前記少なくとも 1 つの画像から前記パッド表面指標値を生成する工程は、前記複数の画像から差分画像または除算画像のいずれかである評価画像を作成し、前記評価画像を構成する画素の輝度値のうち、許容範囲内の輝度値を用いて前記パッド表面指標値を算定する工程である。

一態様では、前記パッド表面判定方法は、前記評価画像を構成する画素の輝度値の度数分布を作成し、前記度数分布から標準偏差を算定し、前記標準偏差から前記許容範囲を決定することをさらに含む。

一態様では、前記少なくとも 1 つの画像から前記パッド表面指標値を生成する工程は、前記複数の画像のうちの少なくとも 1 つ画像を構成する画素の輝度値から、許容範囲外の輝度値を除去することで、前記少なくとも 1 つ画像を補正し、前記補正された画像を含む前記複数の画像から、差分画像または除算画像のいずれかである評価画像を生成し、前記評価画像を構成する画素の輝度値を用いて、前記パッド表面指標値を算定する工程である。

一態様では、前記パッド表面判定方法は、前記少なくとも 1 つ画像を構成する画素の輝度値の度数分布を作成し、前記度数分布から標準偏差を算定し、前記標準偏差から前記許容範囲を決定することをさらに含む。

[0012] 一態様では、基板を研磨するための研磨面を有する研磨パッドの表面性状を判定するパッド表面判定システムであって、複数の光を異なる入射角で、前記研磨面上の凸部が存在するターゲット領域に照射する複数の投光部と、前記ターゲット領域からの複数の反射光を受け、前記複数の反射光から複数の画像を生成する撮像装置と、前記複数の画像のうちの少なくとも 1 つに基づいて前記研磨パ

ッドの表面性状を判定するシステム処理部を備えている、パッド表面判定システムが提供される。

[0013] 一態様では、前記システム処理部は、前記少なくとも 1 つの画像からパッド表面指標値を生成するように構成されている。

5 一態様では、前記パッド表面指標値は、画像の輝度情報に基づいて算定される。

一態様では、前記システム処理部は、前記複数の画像から差分画像または除算画像を作成し、前記差分画像または前記除算画像の輝度情報に基づいて前記パッド表面指標値を算定するように構成されている。

一態様では、前記複数の投光部は、第 1 の波長範囲内の波長を有する第 1 の光
10 を発する第 1 の投光部と、第 2 の波長範囲内の波長を有する第 2 の光を発する第 2 の投光部を含み、前記第 1 の波長範囲および前記第 2 の波長範囲は、互いに異なる。

一態様では、前記システム処理部は、前記第 1 の投光部および前記第 2 の投光部に指令を与えて、前記第 1 の光および前記第 2 の光を同時に前記ターゲット領域
15 に照射させるように構成されている。

一態様では、前記撮像装置は、前記第 1 の光および前記第 2 の光にそれぞれ対応する第 1 の反射光および第 2 の反射光から前記複数の画像を同時に生成するように構成されている。

一態様では、前記複数の投光部は、前記研磨パッドの前記研磨面に垂直な方向
20 から見たときに、前記ターゲット領域から第 1 の方向にある第 1 組の複数の投光部と、前記ターゲット領域から第 2 の方向にある第 2 組の複数の投光部を含む。

一態様では、前記システム処理部は、前記少なくとも 1 つの画像を、機械学習により構築された判定モデルに入力し、前記判定モデルから、前記研磨パッドの表面性状の判定結果を出力するように構成されている。

25 一態様では、前記パッド表面判定システムは、前記複数の投光部と前記研磨面との間に配置されたフィルタをさらに備え、前記フィルタは、前記複数の光の通過を許容し、前記研磨面に垂直な方向から見たときに前記複数の光の方向とは異なる方向からの光の通過を許容しないように構成されている。

一態様では、前記フィルタは、前記研磨面に垂直な方向から見たときに前記複

数の投光部の向きと平行に延びる複数の光遮断壁を有し、前記複数の光遮断壁は間隔を開けて配列されている。

一態様では、前記システム処理部は、前記複数の画像から差分画像または除算画像のいずれかである評価画像を作成し、前記評価画像を構成する画素の輝度値のうち、許容範囲内の輝度値を用いて前記パッド表面指標値を算定するように構成されている。

一態様では、前記システム処理部は、前記評価画像を構成する画素の輝度値の度数分布を作成し、前記度数分布から標準偏差を算定し、前記標準偏差から前記許容範囲を決定するように構成されている。

一態様では、前記システム処理部は、前記複数の画像のうちの少なくとも1つ画像を構成する画素の輝度値から、許容範囲外の輝度値を除去することで、前記少なくとも1つ画像を補正し、前記補正された画像を含む前記複数の画像から、差分画像または除算画像のいずれかである評価画像を生成し、前記評価画像を構成する画素の輝度値を用いて、前記パッド表面指標値を算定するように構成されている。

一態様では、前記システム処理部は、前記少なくとも1つ画像を構成する画素の輝度値の度数分布を作成し、前記度数分布から標準偏差を算定し、前記標準偏差から前記許容範囲を決定するように構成されている。

[0014] 投光部によって発せられた光は、研磨面内のターゲット領域に入射する。

ターゲット領域内に存在する凸部の高さが減少するにつれて、ターゲット領域からの反射光の強度は変化する。したがって、反射光から生成された画像に基づいて、研磨パッドの表面性状（表面状態）を正確に判定することができる。

[0015] 複数の投光部から複数の光が異なる入射角でターゲット領域に照射されるので、研磨パッドの種類および／または研磨面上の位置にかかわらず、複数の反射光から生成された複数の画像のうちの少なくとも1つは、凸部の高さの変化に従って特徴的な変化を示す。研磨パッドの表面状態の変化（凸部の高さの変化）を正しく反映できる光の入射角を決定するためには、複数の異なる入射角のそれぞれについて研磨パッドを新品の状態から寿命限界まで使用する必要がある。本発明によれば、複数の入射角に対応する複数の反射光から複数の画像を生成する

ので、最適な入射角を予め決定する工程が不要である。さらに、異なる入射角に対応する複数の画像のうちの少なくとも1つに基づいて、研磨パッドの表面状態を正確に判定することが可能である。

5 図面の簡単な説明

[0016] 図1は、研磨装置の一実施形態を示す上面図である。

図2は、図1に示す研磨装置の側面図である。

図3は、研磨パッドの研磨面の凸部の一例を示す模式図である。

図4Aおよび図4Bは、研磨パッドの研磨面に形成されている凸部の高さの変化に従って反射光の強度が変化する様子を説明する図である。

図5は、凸部の高さの変化に従って輝度が変わる画像の例を示す模式図である。

図6は、画像内に設定された複数のセグメント領域の一例を示す図である。

図7は、画像内に設定された第1領域および第2領域の一例を示す図である。

図8は、画像内に現れたパッド領域およびリファレンス領域の一例を示す図である。

図9は、パッド表面判定システムの他の実施形態を示す側面図である。

図10は、研磨パッドの使用時間とともに変化するパッド表面指標値の一例を示すグラフである。

図11は、異なる入射角の3つの光に対応する第1の反射光、第2の反射光、および第3の反射光から生成された3つの画像の例を示す模式図である。

図12は、図11に示す3つの画像のうちの2つの画像から生成された差分画像の一例を示す模式図である。

図13は、画像上の黒い斑点および白い模様の一列を示す模式図である。

図14は、度数分布の一例を示す図である。

図15は、パッド表面判定システムのさらに他の実施形態を示す側面図である。

図16は、図15に示すパッド表面判定システムの上面図である。

図17は、パッド表面判定システムのさらに他の実施形態を示す側面図である。

図18は、ディープラーニング法を用いて構築された判定モデルの一例を示す模式図である。

図 1 9 は、パッド表面判定システムのさらに他の実施形態を示す側面図である。

図 2 0 は、研磨面に垂直な方向から見た複数の投光部およびフィルタの一実施形態を示す上面図である。

図 2 1 は、複数の投光部およびフィルタの一実施形態を示す正面図である。

5 図 2 2 は、フィルタの光遮断壁のピッチと高さの一実施形態を説明する図である。

実施形態の説明

[0017] 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。

10 図 1 は、研磨装置の一実施形態を示す上面図である。図 2 は、図 1 に示す研磨装置の側面図である。研磨装置は、ウェーハなどの基板 W を化学機械的に研磨する装置である。図 1 および図 2 に示すように、この研磨装置は、研磨面 2 a を有する研磨パッド 2 を支持する研磨テーブル 3 と、基板 W を研磨面 2 a に対して押し付ける研磨ヘッド 1 と、研磨液（例えば、砥粒を含むスラリー）を研磨面 2 a
15 に供給する研磨液供給ノズル 5 と、研磨パッド 2 の研磨面 2 a の性状を判定するパッド表面判定システム 4 0 を備えている。

[0018] 研磨装置は、支軸 1 4 と、支軸 1 4 の上端に連結された研磨ヘッド揺動アーム 1 6 と、研磨ヘッド揺動アーム 1 6 の自由端に回転可能に支持された研磨ヘッドシャフト 1 0 をさらに備えている。研磨ヘッド 1 は、研磨ヘッドシャフト 1
20 0 の下端に固定されている。研磨ヘッド 1 は、その下面に基板 W を保持できるように構成されている。基板 W は、研磨するべき面が下向きになるように保持される。

[0019] 研磨ヘッド揺動アーム 1 6 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 1 0 に連結されており、研磨ヘッドシャフト 1 0 および研磨ヘッド 1 を研磨
25 ヘッドシャフト 1 0 の軸心を中心に回転させるように構成されている。

[0020] 研磨ヘッドシャフト 1 0 は、図示しない研磨ヘッド昇降機構（例えばボールねじ機構を含む）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 1 0 を研磨ヘッド揺動アーム 1 6 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 10 の上下動により、研磨ヘッド 1 は、研磨ヘッド揺動アーム 16 および研磨テーブル 3 に対して相対的に上下動可能となっている。

5 [0021] 研磨装置は、研磨テーブル 3 を研磨パッド 2 とともに回転させるテーブルモータ 6 をさらに備えている。テーブルモータ 6 は研磨テーブル 3 の下方に配置されており、研磨テーブル 3 は、テーブル軸 3a を介してテーブルモータ 6 に連結されている。研磨テーブル 3 および研磨パッド 2 は、テーブルモータ 6 により
10 テーブル軸 3a の軸心を中心に回転される。研磨パッド 2 は、研磨テーブル 3 の上面に貼り付けられている。研磨パッド 2 の露出面は、ウェーハなどの基板 W を研磨する研磨面 2a を構成している。

[0022] 研磨装置は、その動作を制御する研磨制御部 50 をさらに備えている。研磨ヘッド 1、研磨ヘッド回転機構、研磨ヘッド昇降機構、研磨液供給ノズル 5、
15 テーブルモータ 6、およびパッド表面判定システム 40 は、研磨制御部 50 に電氣的に接続されており、研磨ヘッド 1、研磨ヘッド回転機構、研磨ヘッド昇降機構、研磨液供給ノズル 5、テーブルモータ 6、およびパッド表面判定システム 40 の動作は、研磨制御部 50 により制御される。

[0023] 研磨制御部 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。研磨制御部 50 は、研磨装置の動作を制御するための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演算装置 50b
20 を備えている。記憶装置 50a 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 50b 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、研磨制御部 50 の具体的構成はこれらの例に限定されない。

25 [0024] 基板 W は次のようにして研磨される。研磨テーブル 3 および研磨ヘッド 1 を図 1 および図 2 の矢印で示す方向に回転させながら、研磨液供給ノズル 5 から研磨液が研磨テーブル 3 上の研磨パッド 2 の研磨面 2a に供給される。基板 W は研磨ヘッド 1 によって回転されながら、研磨パッド 2 上に研磨液が存在した状態で研磨パッド 2 の研磨面 2a に研磨ヘッド 1 によって押し付けられる。基板 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／または研磨パッド2の機械的作用により研磨される。その後、図示しない純水ノズルから純水を研磨パッド2上に供給しながら、基板Wを水研磨してもよい。

5 [0025] 基板Wの研磨終了後、基板Wは研磨パッド2の外側に移動され、次の処理を行う装置に搬送される。その後、ドレッサ（図示せず）による研磨パッド2の研磨面2aのドレッシングが行われる。ドレッサは、その下面に固定されたダイヤモンド粒子などの硬質の砥粒を有しており、このドレッサで研磨パッド2の研磨面2aをわずかに削り取ることにより、研磨パッド2の研磨面2aを再生する。

10 [0026] 研磨パッド2の研磨面2aには、複数の微小な凸部が形成されている。複数の微小な凸部は、研磨パッド2の表面粗さを構成する。研磨面2aの凸部が小さくなると（すなわち、研磨パッド2の表面粗さが低くなると）、基板Wの研磨レートを低下させることがある。そこで、本実施形態の研磨装置は、研磨パッド2の表面性状を判定するパッド表面判定システム40を備えている。研磨パッド2の表面性状は、研磨面2aの凸部の状態を含む。

15 [0027] 図3は、研磨面2aの凸部76の一例を示す模式図である。複数の凸部76は規則的に配列されていることもあれば、不規則に配列されていることもある。研磨面2aの凸部76は、研磨面2a自体の凸部のみならず、研磨面2a上の異物（砥粒、研磨屑など）を含んでもよい。研磨面2a自体の凸部の例としては、研磨パッド2の製造時に形成される研磨パッド2の初期の表面形状である突起と、
20 研磨パッド2のドレッシング（コンディショニング）時に、ドレッサのダイヤモンド粒子によって形成された微小な突起の両方を含む。

[0028] パッド表面判定システム40は、複数の光を異なる入射角で研磨パッド2の研磨面2a内のターゲット領域Tに照射する複数の投光部51、52、53と、ターゲット領域Tからの複数の反射光を受け、複数の反射光から複数の画像を生成する撮像装置59と、複数の画像のうちの少なくとも1つに基づいて研磨パッド2の表面性状を判定するシステム処理部70を備えている。システム処理部70は、後述するように、異なる入射角に対応する複数の画像のうちの少なくとも1つからパッド表面指標値を生成し、パッド表面指標値に基づいて研磨パッド2の表面性状を判定するように構成されている。

[0029] システム処理部 7 0 は、少なくとも 1 台のコンピュータから構成されている。システム処理部 7 0 は、研磨パッド 2 の研磨面 2 a の性状を判定するためのプログラムが格納された記憶装置 7 0 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 7 0 b を備えている。記憶装置 7 0 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 7 0 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、システム処理部 7 0 の具体的構成はこれらの例に限定されない。

10 [0030] 複数の投光部 5 1, 5 2, 5 3 および撮像装置 5 9 は、研磨パッド 2 の研磨面 2 a の上方に配置されている。複数の投光部 5 1, 5 2, 5 3 および撮像装置 5 9 は、図示しない支持部材に固定されており、研磨テーブル 3 および研磨パッド 2 に対する複数の投光部 5 1, 5 2, 5 3 および撮像装置 5 9 の相対的な位置は、固定されている。システム処理部 7 0 は、複数の投光部 5 1, 5 2, 5 3 および撮像装置 5 9 に電氣的に接続されており、複数の投光部 5 1, 5 2, 5 3 の動作はシステム処理部 7 0 によって制御される。

[0031] 投光部 5 1, 5 2, 5 3 は、レーザー、発光ダイオード（LED）、ストロボフラッシュ投光部（例えばキセノンフラッシュランプ）などの光源を含む。投光部 5 1, 5 2 のそれぞれは、光源に加えて、光源から発生された光を研磨面 2 a 内のターゲット領域 T に導くレンズ、光ファイバーケーブルなどの光学要素をさらに備えてもよい。

20 [0032] 本実施形態では、複数の投光部 5 1, 5 2, 5 3 は、縦方向に並ぶ第 1 の投光部 5 1 と、第 2 の投光部 5 2 と、第 3 の投光部 5 3 を含む。これらの投光部 5 1, 5 2, 5 3 は、研磨パッド 2 の研磨面 2 a に対して異なる仰角で設置されており、光を異なる入射角で研磨面 2 a に照射するように構成されている。本実施形態では、第 1 の投光部 5 1 の仰角は第 2 の投光部 5 2 よりも大きく、第 2 の投光部 5 2 の仰角は第 3 の投光部 5 3 よりも大きい。一実施形態では、研磨面 2 a に異なる入射角で光を照射することができる限りにおいて、2 つの投光部のみが設けられてもよく、あるいは 4 つ以上の投光部が設けられてもよい。

[0033] 複数の投光部 5 1, 5 2, 5 3 は、研磨面 2 a 内のターゲット領域 T に異なるタイミングで光を照射する。より具体的には、システム処理部 7 0 は、複数の投光部 5 1, 5 2, 5 3 に指令を与えて、連続的に（すなわち異なるタイミングで）投光部 5 1, 5 2, 5 3 を発光させる。ターゲット領域 T は、複数の投光部 5 1, 5 2, 5 3 から発せられた光が研磨面 2 a に入射する領域である。凸部の配列ピッチは、ターゲット領域 T の幅よりも小さい。したがって、ターゲット領域 T 内には、図 3 を参照して説明した少なくとも 1 つの凸部が存在する。したがって、投光部 5 1, 5 2, 5 3 のそれぞれから発せられた光は、ターゲット領域 T 内の凸部に入射する。

10 [0034] 研磨パッド 2 の研磨面 2 a には、研磨液を保持するための、所定のパターンを有する溝および／または穴（図示せず）が形成されている。本実施形態では、ターゲット領域 T には溝および穴（これらを総称して凹部という）は存在しない。

[0035] 撮像装置 5 9 は、イメージセンサ 5 8 を備えている。撮像装置 5 9 は、凸部を含むターゲット領域 T からの反射光を受けることができる位置に配置されている。撮像装置 5 9 は、レンズなどの光学要素をさらに有してもよい。イメージセンサ 5 8 の例としては、CCD センサ、CMOS センサなどが挙げられる。複数の投光部 5 1, 5 2, 5 3 および撮像装置 5 9 は、ターゲット領域 T を向いている。撮像装置 5 9 は、ターゲット領域 T の上方に配置されている。撮像装置 5 9 は、ターゲット領域 T からの複数の反射光から複数の画像を生成し、システム
15 処理部 7 0 にこれら画像を送信する。

[0036] 図 4 A および図 4 B は、研磨パッド 2 の研磨面 2 a に形成されている凸部 7 6 の高さの変化に従って反射光の強度が変化する様子を説明する図である。光が入射角 θ で研磨パッド 2 の研磨面 2 a に入射すると、光の一部は凸部 7 6 に遮られる。その結果、研磨面 2 a には凸部 7 6 の影ができる。この影の面積は、凸部 7 6 の高さが小さくなるに従って小さくなる。結果として、反射光の強度は高
25 くなる。

[0037] 図 5 は、凸部 7 6 の高さの変化に従って輝度が変わる画像の例を示す模式図である。図 5 の各画像内の輝度の低い領域は、研磨パッド 2 の研磨面 2 a 上の凸部 7 6 の影に相当する。図 5 に示すように、凸部 7 6 の高さの変化に従って、

画像の全体の輝度は変化する。

[0038] このように、凸部 7 6 の高さの変化、すなわち研磨パッド 2 の研磨面 2 a の性状の変化に伴って、凸部 7 6 を含むターゲット領域 T からの反射光の強度は変化する。そこで、撮像装置 5 9 は、複数の投光部 5 1, 5 2, 5 3 に対応する
5 複数の反射光から複数の画像を生成し、システム処理部 7 0 は、複数の画像のうちの 1 つからパッド表面指標値を生成し、パッド表面指標値がしきい値を越えて変化したときに、アラーム信号を生成するように構成される。パッド表面指標値の生成に使用される画像は、複数の投光部 5 1, 5 2, 5 3 から予め選択された 1 つの投光部に対応する反射光から生成された画像であつてもよい。パッド表面
10 指標値の生成に使用される画像は、元の画像の全部またはその一部であつてもよい。

[0039] パッド表面指標値は、画像の輝度情報に基づいて算定された数値である。画像の輝度情報は、輝度を補正するためにシェーディング補正された画像の輝度情報であつてもよい。画像の輝度情報は、元の画像から切り取られた（トリムされた）画像の輝度情報であつてもよい。さらに、例えばノイズを低減するための平滑化処理など画像フィルタ処理（空間フィルタリング処理）を前処理として行つてもよい。一例では、画像に対してシェーディング補正を行い、シェーディング補正された画像をトリムするか、またはシェーディング補正された画像に対して画像フィルタ処理を実行してもよい。

[0040] 画像の輝度情報の例としては、画像の全体の輝度、画像の一部の輝度、および画像内の輝度分布が挙げられる。画像の輝度情報に基づいて算定されたパッド表面指標値の一例は、画像を構成する画素の輝度値の合計または統計値（例えば、平均、分散、標準偏差）であつてもよい。他の例では、システム処理部 7 0 は、画像処理を実行して、画像内の研磨パッド 2 の凸部 7 6 を特定し、凸部 7 6
25 を含む領域の輝度を基にパッド表面指標値を算出してもよい。

[0041] 他の例では、図 6 に示すように、パッド表面指標値は、画像内の複数のセグメント領域 S の複数の輝度値から算定された分散であつてもよい。複数のセグメント領域 S は、例えば画像内に予め定義された格子状の領域である。他の例では、複数のセグメント領域 S は、他の形状の複数の領域であつてもよい。画像内

の複数のセグメント領域 S の複数の輝度値の分散は、次のようにして求められる。
まず、各セグメント領域 S 内の複数の画素の複数の輝度値の総和または統計値
（例えば平均）などの代表値を算定し、次いで、複数のセグメント領域 S につい
てそれぞれ算定された複数の代表値の分散を算定する。このようにして算定され
5 た分散は、その画像のパッド表面指標値である。

[0042] 画像内の複数のセグメント領域 S の複数の輝度値から算定された分散は、
その画像に現れた凸部 7 6 の影の明瞭さを表している。より具体的には、凸部 7
6 の影が画像に明瞭に現れているとき（すなわち凸部 7 6 が高いとき）、分散は
大きい。これに対し、凸部 7 6 の影が画像に明瞭に現れていないとき（すなわち
10 凸部 7 6 が低いとき）、分散は小さい。したがって、システム処理部 7 0 は、パ
ッド表面指標値としての分散がしきい値を下回ったときに、アラーム信号を生成
してもよい。一実施形態では、パッド表面指標値は、上記分散ではなく、スムー
ジング処理を施して得られた画像の輝度値に基づいて算定されてもよい。

[0043] さらに他の例では、図 7 に示すように、パッド表面指標値は、画像内の第
15 1 領域 S 1 の輝度値と第 2 領域 S 2 の輝度値との比であってもよい。第 1 領域 S
1 は凸部 7 6 を含む領域である。図 7 に示す例では、第 1 領域 S 1 は、第 2 領域
S 2 内に位置している。他の例では、第 2 領域 S 2 は、第 1 領域 S 1 内に位置し
てもよい。さらに他の例では、第 1 領域 S 1 と第 2 領域 S 2 は部分的に重複して
もよい。さらに他の例では、第 1 領域 S 1 と第 2 領域 S 2 は離れてもよい。第 2
20 領域 S 2 は凸部 7 6 を含まない領域であってもよい。第 1 領域 S 1 の輝度値と第
2 領域 S 2 の輝度値との比は、第 1 領域 S 1 の輝度値を第 2 領域 S 2 の輝度値で
割り算することで求められる。このような割り算を実行することで、投光部の光
量の経時的な変化、および複数の投光部間の光量の差をキャンセルすることがで
きる。

25 [0044] さらに他の例では、図 8 に示すように、パッド表面指標値は、画像内のパ
ッド領域 S 3 の輝度値とリファレンス領域 S 4 の輝度値との比であってもよい。
パッド領域 S 3 は、画像上に現れた研磨パッド 2 の研磨面 2 a の領域であり、よ
り具体的には、パッド領域 S 3 は、研磨パッド 2 の研磨面 2 a に形成された凸部
7 6 を含む領域である。リファレンス領域 S 4 は、画像上に現れた、以下に説明

する反射板 80 の領域である。図 9 を参照して反射板 80 について説明する。図 9 は、パッド表面判定システム 40 の他の実施形態を示す側面図である。特に説明しない本実施形態の構成および動作は、図 1 および図 2 を参照して説明した上記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。

- 5 [0045] 図 9 に示すように、パッド表面判定システム 40 は、研磨パッド 2 の研磨面 2 a の上方に配置された反射板 80 を備えている。反射板 80 は、複数の投光部 51, 52, 53 から発せられた光が照射される研磨パッド 2 の研磨面 2 a 内のターゲット領域 T の上方に位置している。撮像装置 59 は、ターゲット領域 T および反射板 80 の上方に配置されており、ターゲット領域 T および反射板 80
10 を向いている。撮像装置 59 は、図 8 に示すように、研磨パッド 2 の研磨面 2 a が現れたパッド領域 S3 と、反射板 80 が現れたリファレンス領域 S4 を含む画像を生成するように配置されている。

- [0046] システム処理部 70 は、画像内のパッド領域 S3 の輝度値とリファレンス領域 S4 の輝度値との比であるパッド表面指標値を算定するよう構成されている。
15 パッド領域 S3 の輝度値は、パッド領域 S3 内の複数の画素の複数の輝度値の総和または統計値（例えば平均）などの代表値である。同様に、リファレンス領域 S4 の輝度値は、リファレンス領域 S4 内の複数の画素の複数の輝度値の総和または統計値（例えば平均）などの代表値である。パッド領域 S3 の輝度値とリファレンス領域 S4 の輝度値との比は、パッド領域 S3 の輝度値をリファレンス領域 S4 の輝度値で割り算することで求められる。このような割り算を実行すること
20 とで、投光部の光量の経時的な変化、および複数の投光部間の光量の差をキャンセルすることができる。

- [0047] 図 10 は、研磨パッド 2 の使用時間とともに変化するパッド表面指標値の一例を示すグラフである。図 10 において、縦軸はパッド表面指標値を表し、横
25 軸は研磨パッド 2 の使用時間を表している。図 10 に示す例では、凸部 76 の高さの減少に伴ってパッド表面指標値は上昇し、しきい値を上回る。システム処理部 70 は、パッド表面指標値がしきい値を越えて変化したときに、アラーム信号を生成し、研磨パッド 2 が寿命に達したことを知らせることができる。パッド表面指標値を算定するアルゴリズムによっては、パッド表面指標値は、凸部 76 の

高さの減少に伴って低下することがある。その場合には、システム処理部 70 は、パッド表面指標値がしきい値を下回ったときに、アラーム信号を生成するように構成される。

[0048] 図 5 に示す例では、各画像上に凸部 76 の影が明瞭に現れているが、イメージセンサ 58 への露光時間または投光部の発光時間が研磨テーブル 3 の回転速度に対して長過ぎる場合には、凸部 76 の影は各画像内に明瞭に現れないことがある。そのような場合でも、画像は、凸部 76 の影を含むターゲット領域 T からの反射光から生成されるので、画像の全体の輝度情報は、凸部 76 の高さに従って変化する。

[0049] 本実施形態では、システム処理部 70 は、複数の投光部 51, 52, 53 から予め選択された 1 つの投光部に対応する反射光から生成された画像の輝度情報に基づいてパッド表面指標値を算定し、パッド表面指標値がしきい値を越えて変化したときに、アラーム信号を生成するように構成されている。

一実施形態では、システム処理部 70 は、撮像装置 59 から送られた複数の画像の輝度情報に基づいて複数のパッド表面指標値を算定し、複数のパッド表面指標値うちの少なくとも 1 つがしきい値を越えて変化したときに、アラーム信号を生成するように構成されてもよい。

[0050] ターゲット領域 T への光の照射およびターゲット領域 T の画像の生成を実行するタイミングは特に限定されないが、反射光の強度を正確に測定するために、一実施形態では、スラリーなどの研磨液が研磨パッド 2 から除去されたタイミングで行われる。例えば、ターゲット領域 T への光の照射およびターゲット領域 T の画像の生成は、基板の研磨終了から次の基板の研磨が開始されるまでに行われる研磨パッド 2 のドレッシング中に行われる。より具体的には、システム処理部 70 は、複数の投光部 51, 52, 53 に指令を発して、研磨パッド 2 のドレッシング中に光を発生させ、撮像装置 59 はターゲット領域 T からの複数の反射光を受け、複数の投光部 51, 52, 53 に対応する複数の反射光から複数の画像を生成する。研磨パッド 2 が回転しているときに投光部 51, 52, 53 は光を発するので、研磨パッド 2 上の異なる領域に光が照射される。

[0051] 研磨パッド 2 の研磨面 2a に形成されている凸部 76 の高さは、研磨パッド

ド 2 の種類によって異なる。本実施形態によれば、複数の投光部 5 1 , 5 2 , 5 3 から複数の光が異なる入射角でターゲット領域 T に照射されるので、研磨パッド 2 の種類および／または研磨面 2 a 上の位置にかかわらず、パッド表面指標値は、凸部 7 6 の高さの変化に従って特徴的な変化を示す。研磨パッド 2 の表面状態の変化（凸部 7 6 の高さの変化）を正しく反映できる光の入射角を決定するためには、複数の異なる入射角のそれぞれについて研磨パッドを新品の状態から寿命限界まで使用する必要がある。本実施形態によれば、複数の入射角に対応する複数の反射光から複数の画像を生成するので、最適な入射角を予め決定する工程が不要である。

- 10 [0052] 一実施形態では、光の入射角は、研磨パッド 2 の凸部 7 6 の高さおよび／または配列ピッチに基づいて選択される。例えば、図 3 に示す複数の凸部 7 6 の配列ピッチが小さい場合（すなわち、複数の凸部 7 6 間の距離が小さい場合）、光の入射角が小さすぎると、ある凸部 7 6 の影が隣の凸部 7 6 にまで伸び、パッド表面指標値は凸部 7 6 の高さの変化を正しく反映できないことがある。したがって、この場合は、大きな入射角が選択される。逆に、複数の凸部 7 6 の配列ピッチが大きい場合は、小さな入射角が選択される。他の例では、研磨パッド 2 のドレッシングの結果、ドレッシング条件によっては研磨面 2 a が波状にうねり、細かい筋を形成することがある。この場合は比較的高さのある筋が形成されるので、大きな入射角が望ましい。このように、パッド表面指標値が凸部 7 6 の高さ
15
20 の変化を正しく反映できる光の入射角が選択される。

- [0053] 一実施形態では、複数の投光部 5 1 , 5 2 , 5 3 から複数の光をターゲット領域 T に照射すること、複数の反射光から複数の画像を撮像装置 5 9 により生成すること、およびシステム処理部 7 0 によりパッド表面指標値を生成することを所定の期間内に繰り返すことで、複数のパッド表面指標値を取得し、システム
25 処理部 7 0 は、複数のパッド表面指標値の分散を算定し、分散が分散しきい値よりも大きいときに、アラーム信号を生成してもよい。上記所定の期間の例としては、所定枚枚の基板を研磨する期間、および研磨テーブル 3 の一回転に相当する期間が挙げられる。

[0054] 研磨パッド 2 の減耗が進行するにつれて、研磨面 2 a 内での凸部 7 6 の高

さの局所的な差が大きくなり、その結果、上記所定の期間内に取得されたパッド表面指標値のばらつきは増加すると予想される。例えば、基板の中心部に接触する研磨パッド2の領域と、基板のエッジ部に接触する研磨パッド2の領域との間には、研磨パッド2の摩耗量に差がある。したがって、上記所定の期間内に取得

5 された複数のパッド表面指標値の分散は増加すると予想される。システム処理部70は、複数のパッド表面指標値の分散が分散しきい値よりも大きいときに、アラーム信号を生成するので、研磨パッド2が大きく減耗していることを知らせることができる。

[0055] 一実施形態では、複数のパッド表面判定システム40が、研磨パッド2の

10 研磨面2aの上方の異なる位置に設けられてもよい。複数のパッド表面判定システム40のいずれか1つは、これら複数のパッド表面判定システム40によって生成された複数のパッド表面指標値を取得し、複数のパッド表面指標値の分散を算定し、分散が分散しきい値よりも大きいときに、アラーム信号を生成してもよい。さらに、一実施形態では、パッド表面判定システム40が研磨パッド2の上

15 方で移動し、異なる位置で光を照射して複数のパッド表面指標値を生成してもよい。

[0056] 上述した実施形態では、1つの撮像装置59が設けられているが、仰角の異なる複数の投光部51, 52, 53に対応して、異なる仰角で設けられた複数の撮像装置59が設けられてもよい。

[0057] 一実施形態では、複数の投光部51, 52, 53から複数の光をターゲット領域Tに照射すること、およびターゲット領域Tからの複数の反射光から撮像装置59により複数の画像を生成することを繰り返すことで、システム処理部70は、異なる入射角に対応する複数グループの複数の時間差画像を取得してもよい。システム処理部70は、同じ入射角のグループ内の複数の時間差画像から差分画像または除算画像を生成し、差分画像または除算画像の輝度情報に基づいて

25 パッド表面指標値を算定するように構成されてもよい。差分画像は、同じ入射角のグループ内の複数の時間差画像間の輝度値の差を算定することによって生成される。除算画像は、同じ入射角のグループ内の1つ時間差画像の輝度値を他の1つの時間差画像の輝度値で割り算することによって生成される。

[0058] 次に、パッド表面判定システム 40 の他の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構成および動作は、図 1 乃至図 10 を参照して説明した上記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。本実施形態では、図 2 に示す複数の投光部 51, 52, 53 は、第 1 の波長範囲内の波長を有する第 1 の光を発する第 1 の投光部 51 と、第 2 の波長範囲内の波長を有する第 2 の光を発する第 2 の投光部 52 と、第 3 の波長範囲内の波長を有する第 3 の光を発する第 3 の投光部 53 を含む。第 1 の波長範囲、第 2 の波長範囲、および第 3 の波長範囲は、互いに異なる。

[0059] 一実施形態では、第 1 の光、第 2 の光、および第 3 の光は、異なる色（すなわち異なる波長）を有する光である。例えば、第 1 の光は、赤色光、緑色光、青色光のうちのいずれか 1 つであり、第 2 の光は、赤色光、緑色光、青色光のうちの他の 1 つであり、第 3 の光は、赤色光、緑色光、青色光のうちの残りの 1 つである。一例では、第 1 の光の波長は、470 nm、525 nm、625 nm のうちのいずれか 1 つであり、第 2 の光は、470 nm、525 nm、625 nm のうちの他の 1 つであり、第 3 の光は、470 nm、525 nm、625 nm のうちの残りの 1 つである。

[0060] システム処理部 70 は、第 1 の投光部 51、第 2 の投光部 52、および第 3 の投光部 53 に指令を発して、第 1 の光、第 2 の光、および第 3 の光を同時に研磨面 2a 内のターゲット領域 T に照射させるように構成されている。したがって、第 1 の光、第 2 の光、および第 3 の光は、ターゲット領域 T 内で重畳する。

[0061] 一実施形態では、システム処理部 70 は、第 1 の投光部 51、第 2 の投光部 52、および第 3 の投光部 53 に指令を発して、第 1 の光、第 2 の光、および第 3 の光を常時発生させながら、撮像装置 59 に指令を発して、第 1 の光、第 2 の光、および第 3 の光にそれぞれ対応する第 1 の反射光、第 2 の反射光、および第 3 の反射光から第 1 の画像、第 2 の画像、および第 3 の画像を所定のタイミングで（例えば同時または異なるタイミングで）生成するように構成されてもよい。

[0062] 本実施形態では、イメージセンサ 58 を備えた撮像装置 59 は、第 1 の光、第 2 の光、および第 3 の光にそれぞれ対応する第 1 の反射光、第 2 の反射光、および第 3 の反射光から第 1 の画像、第 2 の画像、および第 3 の画像を同時に生成

するように構成されている。重畳した第 1 の反射光、第 2 の反射光、および第 3 の反射光から 3 つの画像を生成する撮像装置 5 9 の構成は特に限定されない。

[0063] 一実施形態では、撮像装置 5 9 は、重畳した第 1 の反射光、第 2 の反射光、および第 3 の反射光を、第 1 の反射光、第 2 の反射光、および第 3 の反射光に分離させるプリズムと、分離した第 1 の反射光、第 2 の反射光、および第 3 の反射光を受ける 3 つのイメージセンサを備えてもよい。他の実施形態では、撮像装置 5 9 は、重畳した第 1 の反射光、第 2 の反射光、および第 3 の反射光から、第 1 の反射光、第 2 の反射光、および第 3 の反射光を別々に抽出するカラーフィルタと、カラーフィルタを通過した第 1 の反射光、第 2 の反射光、および第 3 の反射光を受けるイメージセンサを備えてもよい。さらに他の実施形態では、撮像装置 5 9 は、重畳した第 1 の反射光、第 2 の反射光、および第 3 の反射光を、それぞれ受ける 3 つのグループの画素を有するイメージセンサを備えてもよい。

[0064] 異なる入射角でそれぞれ発せられる光の波長が異なり、撮像装置 5 9 はそれぞれの波長の光を選択的に受光して画像を生成できる。したがって、撮像装置 5 9 は同時に複数の画像を生成することができ、パッド表面指標値を生成するための時間を短縮することができる。

[0065] 図 1 1 は、異なる入射角の 3 つの光に対応する第 1 の反射光、第 2 の反射光、および第 3 の反射光から生成された 3 つの画像の例を示す模式図である。3 つの投光部 5 1, 5 2, 5 3 は、第 1 の光、第 2 の光、および第 3 の光を同時にターゲット領域 T に照射し、撮像装置 5 9 は、ターゲット領域 T からの第 1 の反射光、第 2 の反射光、および第 3 の反射光を同時に受け、これらの反射光から第 1 の画像、第 2 の画像、および第 3 の画像を同時に生成する。したがって、図 1 1 に示すように、第 1 の画像、第 2 の画像、および第 3 の画像上には、同じ位置に凸部 7 6 が現れている。

[0066] システム処理部 7 0 は、第 1 の反射光、第 2 の反射光、および第 3 の反射光から生成された 3 つの画像のうちの少なくとも 1 つの輝度情報に基づいてパッド表面指標値を算定するように構成されている。一実施形態では、システム処理部 7 0 は、複数の投光部 5 1, 5 2, 5 3 から予め選択された 1 つの投光部に対応する反射光から生成された画像の輝度情報に基づいてパッド表面指標値を算定

し、パッド表面指標値がしきい値を越えて変化したときに、アラーム信号を生成するように構成されてもよい。他の実施形態では、システム処理部 70 は、撮像装置 59 から送られた複数の画像の輝度情報に基づいて複数のパッド表面指標値を算定し、複数のパッド表面指標値うちの少なくとも 1 つがしきい値を越えて変化したときに、アラーム信号を生成するように構成されてもよい。

[0067] 一実施形態では、システム処理部 70 は、異なる 3 つの入射角に対応する第 1 の画像、第 2 の画像、および第 3 の画像のうちの 2 つの画像から差分画像または除算画像を作成し、差分画像または除算画像の輝度情報に基づいてパッド表面指標値を算定するように構成されてもよい。差分画像は、第 1 の画像、第 2 の画像、および第 3 の画像のうちの 2 つの画像間の輝度値の差を算定することによって生成される。除算画像は、第 1 の画像、第 2 の画像、および第 3 の画像のうちの 1 つの輝度値を、他の 1 つの画像の輝度値で割り算することによって生成される。

[0068] 図 12 は、図 11 に示す 3 つの画像のうちの 2 つの画像から生成された差分画像の一例を示す模式図である。図 12 から分かるように、同時に生成された 2 つの画像から差分画像が生成されるので、2 つの画像からノイズが除去され、かつ凸部 76 の影以外の部分の輝度がキャンセルされる。したがって、差分画像は、凸部 76 の影の輝度の微小変化を表すことができる。システム処理部 70 は、差分画像の輝度情報に基づいて算定されたパッド表面指標値をしきい値と比較し、研磨パッド 2 の研磨面 2a の性状の変化を正確に検出することができる。図示しないが、除算画像も同様にして生成される。一実施形態では、システム処理部 70 は、除算画像の輝度情報に基づいて算定されたパッド表面指標値をしきい値と比較し、研磨パッド 2 の研磨面 2a の性状の変化を正確に検出することができる。

[0069] 凸部 76 の影以外の部分の輝度をキャンセルするために、システム処理部 70 は、画像の濃度を予め変化させてもよい。例えば、システム処理部 70 は、画素の輝度値にオフセット値を加算または減算する、あるいは画素の輝度値の正規化を実行する。このような画像濃度を調節する処理により、入射角による全体的な反射光の強度の違いや、イメージセンサ 58 の波長感度差を補正することができる。

[0070] 上述した実施形態では、パッド表面判定システム40は、3つの投光部51, 52, 53は、第1の光、第2の光、および第3の光をターゲット領域Tに照射し、撮像装置59は、ターゲット領域Tからの第1の反射光、第2の反射光、および第3の反射光を受け、これらの反射光から第1の画像、第2の画像、および第3の画像を生成する。一実施形態では、パッド表面判定システム40は、異なる入射角の光を発する2つの投光部を有し、撮像装置59は、ターゲット領域Tからの第1の反射光および第2の反射光を受け、これらの反射光から第1の画像および第2の画像を生成してもよい。

[0071] 撮像装置59のイメージセンサ58上にダストなどの異物があると、図13に示すように、撮像装置59によって生成された画像上に黒い斑点M1が現れることがある。また、研磨パッド2の研磨面2a上の液体内に気泡があると、図13に示すように、撮像装置59により生成された画像上に白い模様M2が現れることがある。このような黒い斑点M1および白い模様M2は、画像内の他の領域とは大きく異なる輝度を持つ輝度逸脱領域として画像上に現れる。この輝度逸脱領域は、パッド表面判定システム40が研磨パッド2の研磨面2aの性状を正確に判定することを妨げる。

[0072] そこで、一実施形態では、システム処理部70は、以下のようにして画像から輝度逸脱領域を除去する。システム処理部70は、3つの投光部51, 52, 53の反射光から生成された複数の画像のうちの2つの画像から差分画像または除算画像のいずれかである評価画像を作成し、評価画像を構成する画素の輝度値のうち、許容範囲内の輝度値を用いてパッド表面指標値を算定する。上記許容範囲の下限は、イメージセンサ58上の異物などに起因する低輝度領域を除去するためのしきい値であり、上記許容範囲の上限は、研磨面2a上の液体内の気泡などに起因する高輝度領域を除去するためのしきい値である。

[0073] 一実施形態では、上記許容範囲は以下のようにして決定される。システム処理部70は、図14に示すように、差分画像または除算画像のいずれかである評価画像を構成する画素の輝度値の度数分布を作成し、度数分布から標準偏差 σ を算定し、標準偏差 σ から許容範囲を決定する。一実施形態では、システム処理部70は、 $-\sigma$ を下限、 $+\sigma$ を上限とする許容範囲を決定してもよい。他の実施

形態では、システム処理部 70 は、 -3σ を下限、 $+3\sigma$ を上限とする許容範囲を決定してもよい。許容範囲の中央は、例えば、度数分布のピーク P1 の輝度値、または評価画像の全体の輝度値の中央値である。

[0074] システム処理部 70 は、上述のように決定された許容範囲内の輝度値を用いて、パッド表面指標値を算定する。パッド表面指標値の例としては、許容範囲内の輝度値の合計または統計値（例えば、平均、分散、標準偏差）が挙げられる。許容範囲内の輝度値は、輝度逸脱領域内の画素の輝度値を含まないので、パッド表面判定システム 40 は研磨パッド 2 の研磨面 2a の性状を正確に判定することができる。

[0075] 他の実施形態では、システム処理部 70 は、差分画像または除算画像のいずれかである評価画像を生成する前の画像から、上述と同じ工程に従って輝度逸脱領域を除去してもよい。例えば、システム処理部 70 は、3 つの投光部 51, 52, 53 のうちの 1 つの投光部の反射光から生成された第 1 の画像を構成する画素の輝度値から、許容範囲外の輝度値を除去することで、第 1 の画像を補正し、補正された第 1 の画像と、3 つの投光部 51, 52, 53 のうちの他の 1 つの反射光から生成された第 2 の画像から、差分画像または除算画像のいずれかである評価画像を生成する。

[0076] 許容範囲は、図 14 を参照して説明した実施形態と同じようにして決定することができる。すなわち、システム処理部 70 は、第 1 の画像を構成する画素の輝度値の度数分布を作成し、度数分布から標準偏差を算定し、標準偏差から許容範囲を決定する。許容範囲の中央は、例えば、第 1 の画像の度数分布のピークの輝度値、または第 1 の画像の全体の輝度値の中央値である。

[0077] システム処理部 70 は、補正された第 1 の画像と第 2 の画像から生成された評価画像を構成する画素の輝度値を用いて、パッド表面指標値を算定する。パッド表面指標値の例としては、評価画像を構成する画素の輝度値の合計または統計値（例えば、平均、分散、標準偏差）が挙げられる。評価画像を構成する画素の輝度値は、輝度逸脱領域内の画素の輝度値を含まないので、パッド表面判定システム 40 は研磨パッド 2 の研磨面 2a の性状を正確に判定することができる。

[0078] 一実施形態では、システム処理部 70 は、第 1 の画像と同様に、評価画像

を生成する前の第 2 の画像から輝度逸脱領域を除去することで第 2 の画像を補正してもよい。具体的には、システム処理部 70 は、第 2 の画像を構成する画素の輝度値から、許容範囲外の輝度値を除去することで、第 2 の画像を補正する。システム処理部 70 は、補正された第 1 の画像と補正された第 2 の画像から差分画像または除算画像のいずれかである評価画像を生成し、評価画像を構成する画素の輝度値を用いて、パッド表面指標値を算定する。

[0079] 第 2 の画像の補正に使用される上記許容範囲は、図 14 を参照して説明した実施形態と同じようにして決定することができる。すなわち、システム処理部 70 は、第 2 の画像を構成する画素の輝度値の度数分布を作成し、度数分布から標準偏差を算定し、標準偏差から許容範囲を決定する。許容範囲の中央は、例えば、第 2 の画像の度数分布のピークの輝度値、または第 2 の画像の全体の輝度値の中央値である。

[0080] 次に、パッド表面判定システム 40 のさらに他の実施形態について図 15 および図 16 を参照して説明する。図 15 は、パッド表面判定システム 40 のさらに他の実施形態を示す側面図であり、図 16 は、図 15 に示すパッド表面判定システム 40 の上面図である。特に説明しない本実施形態の構成および動作は、図 1 乃至図 12 を参照して説明した上記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。本実施形態では、図 16 に示すように、複数の投光部は、研磨パッド 2 の研磨面 2a に垂直な方向から見たときに、ターゲット領域 T から第 1 の方向にある第 1 組の複数の投光部 51A, 52A, 53A と、ターゲット領域 T から第 2 の方向にある第 2 組の複数の投光部 51B, 52B, 53B を含む。

[0081] 第 1 の方向および第 2 の方向は、研磨パッド 2 の研磨面 2a に垂直な方向から見たときに、互いに交わる方向である。図 15 および図 16 に示す実施形態では、研磨パッド 2 の研磨面 2a に垂直な方向から見たときに、第 1 の方向および第 2 の方向は、互いに垂直であり、第 1 の方向は研磨パッド 2 の半径方向に垂直であり、第 2 の方向は研磨パッド 2 の半径方向である。しかしながら、第 1 の方向および第 2 の方向は、研磨パッド 2 の研磨面 2a に垂直な方向から見たときに互いに交わる方向である限りにおいて、本実施形態に限られない。

[0082] 第 1 組の複数の投光部 51A, 52A, 53A は、研磨面 2a に対して異

なる仰角で配置されており、研磨面 2 a 内のターゲット領域 T に異なる入射角で第 1 の光を発するように構成されている。投光部 5 1 A, 5 2 A, 5 3 A のそれぞれは、第 1 の波長範囲内の波長を有する第 1 の光を発するように構成される。第 2 組の複数の投光部 5 1 B, 5 2 B, 5 3 B も、研磨面 2 a に対して異なる仰角で配置されており、研磨面 2 a 内のターゲット領域 T に異なる入射角で第 2 の光を発するように構成されている。投光部 5 1 B, 5 2 B, 5 3 B のそれぞれは、第 2 の波長範囲内の波長を有する第 2 の光を発するように構成される。第 1 の波長範囲および第 2 の波長範囲は、互いに異なる。

10 [0083] 一実施形態では、第 1 の光および第 2 の光は、異なる色（すなわち異なる波長）を有する光である。例えば、第 1 の光は、赤色光、緑色光、青色光のうちのいずれか 1 つであり、第 2 の光は、赤色光、緑色光、青色光のうちの他の 1 つである。

15 [0084] システム処理部 7 0 は、第 1 組の複数の投光部 5 1 A, 5 2 A, 5 3 A および第 2 組の複数の投光部 5 1 B, 5 2 B, 5 3 B を同期させて連続的に発光させるように構成されている。より具体的には、システム処理部 7 0 は、第 1 組の第 1 の投光部 5 1 A および第 2 組の第 1 の投光部 5 1 B に指令を与えて、同じ入射角の第 1 の光および第 2 の光を同時に放出させ、次いで第 1 組の第 2 の投光部 5 2 A および第 2 組の第 2 の投光部 5 2 B に指令を与えて、同じ入射角の第 1 の光および第 2 の光を同時に放出させ、次いで第 1 組の第 3 の投光部 5 3 A および
20 第 2 組の第 3 の投光部 5 3 B に指令を与えて、同じ入射角の第 1 の光および第 2 の光を同時に放出させる。3 つの異なる入射角の第 1 の光および第 2 の光は、連続的に放出される。

[0085] 一実施形態では、システム処理部 7 0 は、第 1 組の複数の投光部 5 1 A, 5 2 A, 5 3 A および第 2 組の複数の投光部 5 1 B, 5 2 B, 5 3 B に指令を発して常時発光させながら、撮像装置 5 9 に指令を発して、投光部 5 1 A, 5 2 A, 5 3 A, 5 1 B, 5 2 B, 5 3 B から発せられた複数の光に対応する複数の反射光から複数の画像を所定のタイミングで（例えば同時または異なるタイミングで）生成するように構成されてもよい。

[0086] 撮像装置 5 9 は、第 1 組の複数の投光部 5 1 A, 5 2 A, 5 3 A および第

2組の複数の投光部51B, 52B, 53Bから発せられた第1の光および第2の光に対応するターゲット領域Tからの第1の反射光および第2の反射光を受けることができる位置に配置されている。撮像装置59は、同じ入射角の第1の光および第2の光に対応する第1の反射光および第2の反射光から2つの画像を同時に生成するように構成されている。撮像装置59の具体的な構成は、既に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。

[0087] 一実施形態では、システム処理部70は、同じ入射角の第1の光および第2の光に対応する2つの反射光から生成された2つの画像を撮像装置59から取得し、2つの画像の差分画像または除算画像を生成し、差分画像または除算画像の輝度情報に基づいてパッド表面指標値を算定し、パッド表面指標値がしきい値を越えて変化したときに、アラーム信号を生成するように構成されている。

[0088] 第1組の複数の投光部51A, 52A, 53Aおよび第2組の複数の投光部51B, 52B, 53Bは、異なる方向から光をターゲット領域Tに照射することができる。このような投光部の配置は、研磨パッド2の研磨面2a上の凸部76の偏在の影響をなくすことができ、また、研磨パッド2の凸部76の配列パターンの方向の影響を低減できる。システム処理部70は、パッド表面指標値に基づいて研磨パッド2の表面性状の変化を正確に検出することができる。

[0089] 次に、パッド表面判定システム40のさらに他の実施形態について図17および図18を参照して説明する。本実施形態では、システム処理部70は、撮像装置59によって生成された複数の画像のうちの少なくとも1つを、機械学習により構築された判定モデル77に入力し、判定モデル77から、研磨パッド2の表面性状の判定結果を出力するように構成されている。ターゲット領域Tへの光の照射およびターゲット領域Tの画像の生成は、基板の研磨終了から次の基板の研磨が開始されるまでに行われる。例えば、ターゲット領域Tへの光の照射およびターゲット領域Tの画像の生成は、研磨パッド2のドレッシング中に行われる。

[0090] システム処理部70は、その記憶装置70a内に格納された判定モデル77を有している。この判定モデル77は、機械学習により構築された学習済みモデルである。機械学習の例としては、SVR法（サポートベクター回帰法）、P

LS法（部分最小二乗法：Partial Least Squares）、ディープラーニング法（深層学習法）、ランダムフォレスト法、および決定木法などが挙げられる。一例では、判定モデル77は、ディープラーニング法によって構築されたニューラルネットワークから構成されている。

- 5 [0091] 判定モデル77の機械学習に用いられる訓練データは、研磨パッドの研磨面の画像を含み、さらに正解ラベルである、研磨パッドの研磨面の画像に対応する表面性状を含む。表面性状は、研磨パッドの表面性状の度合いを示す数値であり、0または1、0～100%の割合、1～10までの数値、あるいは1～5段階などの予め定められた方法で表すことができる。
- 10 [0092] 例えば、研磨パッドが交換時期に達したと作業員が判断したときに生成された画像は、対応する正解ラベルとして0と関連付けられ、研磨パッドが交換時期にまだ達していないと作業員が判断したときに生成された画像は、対応する正解ラベルとして1と関連付けられる。研磨パッドが交換時期に達したか否かは、研磨レートの低下、研磨パッドの減耗量などの要素に基づいて判断される。
- 15 [0093] 他の例では、正解ラベルとしての表面性状を0～100%の割合で表したとき、表面性状0%は、研磨パッドが新品の状態を示し、表面性状100%は、研磨パッドが交換時期に達した状態を示す。研磨パッドが交換時期に達したと作業員が判断したときに生成された画像は、対応する正解ラベルとして100%と関連付けられる。交換時期に達したと判断されたときの基板の研磨枚数が1000枚
- 20 であれば（つまり、正解ラベル100%に対応する基板の研磨枚数が1000枚であれば）、基板の研磨枚数が900枚のときに生成された研磨面の画像は、対応する正解ラベルとして90%と関連付けられる。基板の研磨枚数が800枚のときに生成された研磨面の画像は、対応する正解ラベルとして80%と関連付けられる。同様にして、研磨パッドの研磨面の中間状態の画像に対応する正解ラベルが
- 25 決定される。このようにして、正解ラベル0～100%と、これら正解ラベルに対応する複数の画像を含む訓練データが取得される。

[0094] 図17に示す実施形態では、複数の異なる入射角に対応する複数の投光部51、52、53が設けられている。複数の異なる入射角に対応して複数の訓練データが作成されてもよい。複数の訓練データに対応する（つまり複数の異なる

入射角に対応する) 複数の判定モデルが機械学習により作成されてもよい。一実施形態では、複数の異なる入射角に対応する複数の訓練データを用いた機械学習により 1 つの判定モデルが作成されてもよい。他の実施形態では、複数の異なる入射角に対応する複数の反射光から生成された複数の画像を含む 1 つの訓練データが作成され、その訓練データを用いた機械学習により 1 つの判定モデルが作成されてもよい。

[0095] 一実施形態では、複数の異なる入射角に対応する複数の反射光から生成された複数の画像から差分画像または除算画像を作成し、その差分画像または除算画像を含む訓練データを作成し、その訓練データを用いた機械学習により 1 つの判定モデルを作成してもよい。例えば、第 1 の入射角に対応する第 1 の画像と、第 2 の入射角に対応する第 2 の画像から差分画像または除算画像を作成し、その差分画像または除算画像を含む訓練データを作成し、その訓練データを用いた機械学習により判定モデルを作成する。この場合は、機械学習により構築された判定モデル (学習済みモデル) には、訓練データと同様に、差分画像または除算画像が入力される。

[0096] 一実施形態では、第 1 の入射角に対応する第 1 の画像と、第 2 の入射角に対応する第 2 の画像から作成された差分画像または除算画像を含む訓練データを用いた機械学習により第 1 判定モデルを作成し、さらに、第 2 の入射角に対応する第 2 の画像と、第 3 の入射角に対応する第 3 の画像から作成された差分画像または除算画像を含む訓練データを用いた機械学習により第 2 判定モデルを作成してもよい。

[0097] 図 18 は、ディープラーニング法を用いて構築された判定モデル 77 の一例を示す模式図である。判定モデル 77 は、入力層 101 と、複数の隠れ層 (中間層ともいう) 102 と、出力層 103 を有している。入力層 101 には画像が入力され、出力層 103 からは研磨パッドの表面性状の判定結果が出力される。出力層 103 から出力される研磨パッドの表面性状の判定結果は、例えば、研磨パッドの表面性状を示す数値または複数の数値の組み合わせである。

[0098] ディープラーニング法を用いた判定モデル 77 の構築は、次のようにして行われる。図 18 に示す入力層 101 に、訓練データに含まれる研磨パッドの研

磨面の画像が入力される。判定モデル 77 は、入力層 101 に画像が入力されると、出力層 103 から画像に対応する研磨パッドの表面性状を示す数値が出力されるように構成されている。判定モデル 77 を構築するための機械学習では、システム処理部 70 は、出力層 103 から出力された表面性状を示す数値と、入力された画像に対応する正解ラベルとを比較し、その誤差を最小とするように各ノード（ニューロン）のパラメータ（重みやしきい値など）を調整する。このようにして、判定モデル 77 は、入力層 101 に入力された画像に基づいて、出力層 103 から適切な表面性状の判定結果を出力するように学習される。判定モデル 77 は、研磨パッドの表面性状の判定結果とともに、判定結果の確信度を出力するように構成されてもよい。

[0099] 一実施形態では、判定モデル 77 を用いた研磨パッド 2 の表面性状の判定は、次のように行われる。撮像装置 59 は、入射角の異なる第 1 の光、第 2 の光、および第 3 の光にそれぞれ対応する第 1 の反射光、第 2 の反射光、および第 3 の反射光から第 1 の画像、第 2 の画像、および第 3 の画像を生成し、システム処理部 70 は、第 1 の画像、第 2 の画像、および第 3 の画像のうちの 1 つを判定モデル 77 に入力し、判定モデル 77 から研磨パッド 2 の表面性状の判定結果を出力する。

[0100] 他の実施形態では、システム処理部 70 は、異なる入射角に対応する複数の判定モデル 77 を有しており、異なる入射角に対応する複数の画像を、対応する複数の判定モデル 77 にそれぞれ入力し、複数の判定モデル 77 から研磨パッド 2 の表面性状の複数の判定結果を出力する。得られた複数の判定結果のうちの少なくとも 1 つが研磨パッド 2 の寿命に達したことを示しているとき、研磨パッド 2 は新たな研磨パッドに交換される。

[0101] さらに他の実施形態では、システム処理部 70 は、異なる入射角に対応する複数の画像のうちの 2 つから差分画像または除算画像を作成し、差分画像または除算画像を判定モデル 77 に入力し、判定モデル 77 から研磨パッド 2 の表面性状の判定結果を出力する。

[0102] これらの実施形態によれば、出力された表面性状の判定結果に基づいて、研磨パッド 2 の表面性状を監視することができる。例えば、出力された表面性状

が 50%であるとき、現在の研磨パッド 2 の表面性状が、研磨パッド 2 の交換時期における表面性状の半分であると判断することができる。

[0103] 図 19 は、パッド表面判定システム 40 のさらに他の実施形態を示す側面図である。特に説明しない本実施形態の構成および動作は、図 1 および図 2 を参照して説明した上記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 19 に示すように、本実施形態のパッド表面判定システム 40 は、複数の投光部 51, 52, 53 と研磨面 2a との間に配置されたフィルタ 90 を備えている。

[0104] フィルタ 90 は、研磨面 2a 内のターゲット領域 T の直上に位置している。

フィルタ 90 は、図示しないフィルタ保持部により保持され、フィルタ 90 の位置は固定されている。

フィルタ 90 は、複数の投光部 51, 52, 53 から発せられた複数の光の通過を許容し、その一方で、研磨面 2a に垂直な方向から見たときに複数の投光部 51, 52, 53 からの光の方向とは異なる方向からの光の通過を許容しないように構成されている。複数の投光部 51, 52, 53 から発せられた光は、フィルタ 90 を通過して、研磨面 2a 内のターゲット領域 T に到達する。

[0105] 撮像装置 59 は、ターゲット領域 T およびフィルタ 90 の上方に配置されており、ターゲット領域 T およびフィルタ 90 を向いている。撮像装置 59 は、フィルタ 90 を通過した反射光から画像を生成する。

[0106] 図 20 は、研磨面 2a に垂直な方向から見た複数の投光部 51, 52, 53 およびフィルタ 90 の一実施形態を示す上面図である。

図 20 に示すように、フィルタ 90 は、研磨面 2a に垂直な方向から見たときに、複数の投光部 51, 52, 53 の向きと平行に延びる複数の光遮断壁 91 を有する。すなわち、研磨面 2a に垂直な方向から見たときに、複数の光遮断壁 91 の長手方向は、複数の投光部 51, 52, 53 の向きと平行である。複数の投光部 51, 52, 53 の向きは、複数の投光部 51, 52, 53 から発せられた光の光軸の向きである。

各光遮断壁 91 は、光の通過を許容しない材料から構成されている。一実施形態では、複数の光遮断壁 91 は、研磨面 2a に垂直な方向から見たときに複数の投光部 51, 52, 53 の向きと平行に延びる複数のルーバーまたは複数のプレートである。

[0107] 図 2 1 は、図 2 0 に示す複数の投光部 5 1, 5 2, 5 3 およびフィルタ 9 0 の一実施形態を示す正面図である。図 2 1 に示すように、各光遮断壁 9 1 の両側面は、研磨面 2 a に対して垂直である。複数の光遮断壁 9 1 は間隔を開けて配列されている。複数の投光部 5 1, 5 2, 5 3 から発せられた複数の光は、複数の光遮断壁 9 1 の間の光通路 9 2 を通って研磨パッド 2 の研磨面 2 a に到達する。本実施形態では、光通路 9 2 は、光遮断壁 9 1 の間の空間である。一実施形態では、ガラスまたは透明樹脂などの光透過材が複数の光遮断壁 9 1 の間に配置されてもよい。

[0108] 図 2 2 は、フィルタ 9 0 の光遮断壁 9 1 のピッチと高さの一実施形態を説明する図である。光遮断壁 9 1 のピッチ P_f が大きすぎると、フィルタ 9 0 は、研磨面 2 a に垂直な方向から見たときに光遮断壁 9 1 に対して斜めに入射する光を遮ることができない。光遮断壁 9 1 の高さ H_f が低すぎると、同様に、フィルタ 9 0 は、研磨面 2 a に垂直な方向から見たときに光遮断壁 9 1 に対して斜めに入射する光を遮ることができない。

[0109] そこで、一実施形態では、図 2 2 に示すように、フィルタ 9 0 の光遮断壁 9 1 のピッチ P_f に対する高さ H_f の比率 (H_f / P_f) は、研磨パッド 2 の研磨面 2 a に形成されている凸部 7 6 のアスペクト比 L_b / L_a 以上である。ピッチ P_f は、光遮断壁 9 1 のうちの隣接する 2 つの間隔である。 L_a は凸部 7 6 の幅を表し、 L_b は凸部 7 6 の高さを表す。このような寸法の光遮断壁 9 1 を有するフィルタ 9 0 は、光遮断壁 9 1 に対して斜めに入射する光を遮ることができる。

[0110] 複数の投光部 5 1, 5 2, 5 3 以外の投光部からの光は、研磨パッド 2 の表面性状の判定にとって、望ましくないノイズとなりうる。フィルタ 9 0 は、投光部 5 1, 5 2, 5 3 から発せられた複数の光の通過を許容し、その一方で、研磨面 2 a に垂直な方向から見たときに投光部 5 1, 5 2, 5 3 からの光の方向とは異なる方向（例えば、斜め方向、垂直方向）のからの光の通過を許容しない。

さらに、フィルタ 9 0 は、複数の投光部 5 1, 5 2, 5 3 から発せられた複数の光を、コリメート光に変換することができる。結果として、システム処理部 7 0 は、複数の投光部 5 1, 5 2, 5 3 から発せられた複数の光に対応する複数の画像のうちの少なくとも 1 つに基づいて、研磨パッド 2 の表面性状を正確に判定す

ることができる。

[0111] 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
5 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。

特許請求の範囲

1. 基板を研磨するための研磨面を有する研磨パッドの表面性状を判定するパッド表面判定方法であって、
 - 5 複数の投光部から複数の光を異なる入射角で前記研磨面内のターゲット領域に照射し、前記ターゲット領域内の前記研磨面には凸部が形成されており、
前記ターゲット領域からの複数の反射光を撮像装置で受け、
前記異なる入射角に対応する複数の画像を前記撮像装置により生成し、
前記複数の画像のうちの少なくとも1つに基づいて前記研磨パッドの表面性状
10 を判定する、パッド表面判定方法。
 2. 前記研磨パッドの表面性状を判定する工程は、前記少なくとも1つの画像からパッド表面指標値を生成する工程を含む、請求項1に記載のパッド表面判定方法。
15
 3. 前記パッド表面指標値は、画像の輝度情報に基づいて算定される、請求項2に記載のパッド表面判定方法。
 4. 前記少なくとも1つの画像から前記パッド表面指標値を生成する工程は、
20 前記複数の画像から差分画像または除算画像を作成し、
前記差分画像または前記除算画像の輝度情報に基づいて前記パッド表面指標値を算定する工程である、請求項3に記載のパッド表面判定方法。
 5. 前記複数の投光部からの前記複数の光は、第1の投光部から発せられる第
25 1の波長範囲内の波長を有する第1の光と、第2の投光部から発せられる第2の波長範囲内の波長を有する第2の光を含み、
前記第1の波長範囲および前記第2の波長範囲は、互いに異なる、請求項1に記載のパッド表面判定方法。

6. 前記第1の投光部および前記第2の投光部は、前記第1の光および前記第2の光を、前記異なる入射角で同時に前記ターゲット領域に照射する、請求項5に記載のパッド表面判定方法。

5 7. 前記異なる入射角に対応する前記複数の画像を前記撮像装置により同時に生成する、請求項5に記載のパッド表面判定方法。

8. 複数の光を前記ターゲット領域に照射すること、複数の反射光から複数の画像を前記撮像装置により生成することを繰り返すことで、前記異なる入射角に対応する複数グループの複数の時間差画像を取得することをさらに含み、

前記パッド表面指標値を生成する工程は、同じ入射角のグループ内の複数の時間差画像から差分画像または除算画像を生成し、前記差分画像または前記除算画像の輝度情報に基づいて前記パッド表面指標値を算定する工程である、請求項2に記載のパッド表面判定方法。

15 9. 複数の光を前記ターゲット領域に照射すること、複数の反射光から複数の画像を前記撮像装置により生成すること、および前記パッド表面指標値を生成することを繰り返すことで、複数のパッド表面指標値を取得し、

前記複数のパッド表面指標値の分散を算定することをさらに含む、請求項2に記載のパッド表面判定方法。

10. 前記少なくとも1つの画像に基づいて前記研磨パッドの表面性状を判定する工程は、

前記少なくとも1つの画像を、機械学習により構築された判定モデルに入力し、
25 前記判定モデルから、前記研磨パッドの表面性状の判定結果を出力する工程である、請求項1に記載のパッド表面判定方法。

11. 前記複数の投光部から発せられた前記複数の光は、フィルタを通じて前記ターゲット領域に照射され、

前記フィルタは、前記複数の光の通過を許容し、前記研磨面に垂直な方向から見たときに前記複数の光の方向とは異なる方向からの光の通過を許容しないように構成されている、請求項 1 に記載のパッド表面判定方法。

- 5 1 2. 前記フィルタは、前記研磨面に垂直な方向から見たときに前記複数の投光部の向きと平行に延びる複数の光遮断壁を有し、前記複数の光遮断壁は間隔を開けて配列されている、請求項 1 1 に記載のパッド表面判定方法。

- 1 3. 前記少なくとも 1 つの画像から前記パッド表面指標値を生成する工程は、
10 前記複数の画像から差分画像または除算画像のいずれかである評価画像を作成し、

前記評価画像を構成する画素の輝度値のうち、許容範囲内の輝度値を用いて前記パッド表面指標値を算定する工程である、請求項 2 に記載のパッド表面判定方法。

- 15 1 4. 前記評価画像を構成する画素の輝度値の度数分布を作成し、
前記度数分布から標準偏差を算定し、
前記標準偏差から前記許容範囲を決定することをさらに含む、請求項 1 3 に記載のパッド表面判定方法。

- 20 1 5. 前記少なくとも 1 つの画像から前記パッド表面指標値を生成する工程は、
前記複数の画像のうちの少なくとも 1 つ画像を構成する画素の輝度値から、
許容範囲外の輝度値を除去することで、前記少なくとも 1 つ画像を補正し、
前記補正された画像を含む前記複数の画像から、差分画像または除算画像の
25 いずれかである評価画像を生成し、

前記評価画像を構成する画素の輝度値を用いて、前記パッド表面指標値を算定する工程である、請求項 2 に記載のパッド表面判定方法。

- 1 6. 前記少なくとも 1 つ画像を構成する画素の輝度値の度数分布を作成し、

前記度数分布から標準偏差を算定し、

前記標準偏差から前記許容範囲を決定することをさらに含む、請求項 15 に記載のパッド表面判定方法。

5 17. 基板を研磨するための研磨面を有する研磨パッドの表面性状を判定するパッド表面判定システムであって、

複数の光を異なる入射角で、前記研磨面上の凸部が存在するターゲット領域に照射する複数の投光部と、

10 前記ターゲット領域からの複数の反射光を受け、前記複数の反射光から複数の画像を生成する撮像装置と、

前記複数の画像のうちの少なくとも 1 つに基づいて前記研磨パッドの表面性状を判定するシステム処理部を備えている、パッド表面判定システム。

15 18. 前記システム処理部は、前記少なくとも 1 つの画像からパッド表面指標値を生成するように構成されている、請求項 17 に記載のパッド表面判定システム。

19. 前記パッド表面指標値は、画像の輝度情報に基づいて算定される、請求項 18 に記載のパッド表面判定システム。

20 20. 前記システム処理部は、前記複数の画像から差分画像または除算画像を作成し、前記差分画像または前記除算画像の輝度情報に基づいて前記パッド表面指標値を算定するように構成されている、請求項 19 に記載のパッド表面判定システム。

25 21. 前記複数の投光部は、第 1 の波長範囲内の波長を有する第 1 の光を発する第 1 の投光部と、第 2 の波長範囲内の波長を有する第 2 の光を発する第 2 の投光部を含み、

前記第 1 の波長範囲および前記第 2 の波長範囲は、互いに異なる、請求項 17

に記載の패드表面判定システム。

22. 前記システム処理部は、前記第1の投光部および前記第2の投光部に指令を与えて、前記第1の光および前記第2の光を同時に前記ターゲット領域に照射させるように構成されている、請求項21に記載の패드表面判定システム。

23. 前記撮像装置は、前記第1の光および前記第2の光にそれぞれ対応する第1の反射光および第2の反射光から前記複数の画像を同時に生成するように構成されている、請求項21に記載の패드表面判定システム。

24. 前記複数の投光部は、前記研磨パッドの前記研磨面に垂直な方向から見たときに、前記ターゲット領域から第1の方向にある第1組の複数の投光部と、前記ターゲット領域から第2の方向にある第2組の複数の投光部を含む、請求項17に記載の패드表面判定システム。

25. 前記システム処理部は、
前記少なくとも1つの画像を、機械学習により構築された判定モデルに入力し、
前記判定モデルから、前記研磨パッドの表面性状の判定結果を出力するように構成されている、請求項17に記載の패드表面判定システム。

26. 前記패드表面判定システムは、前記複数の投光部と前記研磨面との間に配置されたフィルタをさらに備え、
前記フィルタは、前記複数の光の通過を許容し、前記研磨面に垂直な方向から見たときに前記複数の光の方向とは異なる方向からの光の通過を許容しないように構成されている、請求項17に記載の패드表面判定システム。

27. 前記フィルタは、前記研磨面に垂直な方向から見たときに前記複数の投光部の向きと平行に延びる複数の光遮断壁を有し、前記複数の光遮断壁は間隔を

開けて配列されている、請求項 26 に記載のパッド表面判定システム。

28. 前記システム処理部は、

5 前記複数の画像から差分画像または除算画像のいずれかである評価画像を作成し、

前記評価画像を構成する画素の輝度値のうち、許容範囲内の輝度値を用いて前記パッド表面指標値を算定するように構成されている、請求項 18 に記載のパッド表面判定システム。

10 29. 前記システム処理部は、

前記評価画像を構成する画素の輝度値の度数分布を作成し、

前記度数分布から標準偏差を算定し、

前記標準偏差から前記許容範囲を決定するように構成されている、請求項 28 に記載のパッド表面判定システム。

15

30. 前記システム処理部は、

前記複数の画像のうちの少なくとも 1 つ画像を構成する画素の輝度値から、許容範囲外の輝度値を除去することで、前記少なくとも 1 つ画像を補正し、

20 前記補正された画像を含む前記複数の画像から、差分画像または除算画像のいずれかである評価画像を生成し、

前記評価画像を構成する画素の輝度値を用いて、前記パッド表面指標値を算定するように構成されている、請求項 18 に記載のパッド表面判定システム。

31. 前記システム処理部は、

25 前記少なくとも 1 つ画像を構成する画素の輝度値の度数分布を作成し、

前記度数分布から標準偏差を算定し、

前記標準偏差から前記許容範囲を決定するように構成されている、請求項 30 に記載のパッド表面判定システム。