

発明の背景

発明の技術分野

- 5 本発明は、ウエハなどの基板の研磨に使用される研磨パッドの表面温度を調整するパッド温度調整装置、およびパッド温度調整方法に関する。また、本発明は、パッド温度調整装置が組み込まれた研磨装置に関する。

関連技術の記載

- 10 ウエハなどの基板を研磨ヘッドで保持して該基板を回転させ、さらに回転する研磨テーブル上の研磨パッドに基板を押し付けて基板の表面を研磨する研磨装置が知られている。基板の研磨中、研磨パッドには研磨液（例えば、スラリー）が供給され、基板の表面は、研磨液の化学的作用と研磨液に含まれる砥粒の機械的作用により平坦化される。

- 15 基板の研磨レートは、基板の研磨パッドに対する研磨荷重のみならず、研磨パッドの表面温度にも依存する。これは、基板に対する研磨液の化学的作用が温度に依存するからである。したがって、半導体デバイスの製造においては、基板の研磨レートを上げてさらに一定に保つために、基板の研磨中の研磨パッドの表面温度を最適な値に保つことが重要とされる。

- 20 そこで、研磨パッドの表面温度を調整するパッド温度調整装置が従来から使用されている（例えば、特許文献1、特許文献2参照）。一般に、パッド温度調整装置は、研磨パッドの表面（研磨面）に接触可能な熱交換器と、温度調整された加熱液および冷却液を熱交換器に供給する液体供給システムと、研磨パッドの表面温度を測定するパッド温度測定器と、パッド温度測定器の測定値に基づいて液体供給システムを制御する制御装置とを備えている。制御装置は、研磨パッドの表面温度を所定の目標温度に到達させ、その後、該目標温度に維持するように、パッド温度測定器によって測定されたパッド表面温度に基づいて、加熱液および冷却液の流量を制御する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【特許文献1】 日本国特開 2017-148933 号公報

【特許文献2】 日本国特開 2018-027582 号公報

5 しかしながら、パッド温度調整装置の熱交換器は、基板の研磨中に必然的に研磨液に接触するので、熱交換器に、研磨液に含まれる砥粒および研磨パッドの摩耗粉などの汚れが付着する。汚れが基板の研磨中に熱交換器から脱落すると、基板を汚染したり、基板にスクラッチなどのディフェクトを生じさせてしまう。

10 さらに、従来のパッド温度調整装置の制御方法は、相反する2つのパラメータ、すなわち、加熱液の流量および冷却液の流量を同時に制御しているため比較的複雑な制御方法である。そのため、研磨パッドの表面温度をより単純に制御して、該研磨パッドの表面温度の制御の応答性を向上させたいとの要望がある。

発明の要旨

15 そこで、本発明は、研磨パッドの表面温度の制御の応答性を向上させるとともに、基板にスクラッチなどのディフェクトおよび汚染を生じさせることなく、該研磨パッドの表面温度を調整することができるパッド温度調整装置、およびパッド温度調整装置を提供することを目的とする。さらに、本発明は、このようなパッド温度調整装置が組み込まれた研磨装置を提供することを目的とする。

20 一態様では、研磨パッドの表面温度を所定の目標温度に調整するパッド温度調整装置であって、前記研磨パッドの上方に配置され、所定の温度に維持された熱交換器と、前記研磨パッドの表面温度を測定するパッド温度測定器と、前記研磨パッドと前記熱交換器との間の離間距離を測定する少なくとも1つの距離センサと、前記研磨パッドに対して前記熱交換器を上下動させる上下動機構と、前記パッド温度測定器の測定値に基づいて、前記上下動機構の動作を制御する制御装置と、を備えた、
25 パッド温度調整装置が提供される。

一態様では、前記熱交換器は、その内部に形成された加熱流路を含み、前記加熱流路には、所定の温度に維持された加熱液が所定の流量で供給される。

一態様では、前記研磨パッドの表面を冷却する冷却機構をさらに備え、前記制御

装置は、前記上下動機構が前記熱交換器の移動上限に達した後で、前記目標温度が前記パッド温度測定器の測定値よりも低い場合には、前記冷却機構を作動させる。

一態様では、前記冷却機構は、前記熱交換器の内部に形成され、冷却流体が供給される冷却流路を含み、前記制御装置は、前記パッド温度測定器の測定値に基づい

5 て前記冷却流体の流量を制御する。

一態様では、前記制御装置は、前記熱交換器と前記研磨パッドの間の距離と、該距離に対応する前記研磨パッドの表面の温度との組み合わせを少なくとも含む訓練データを用いた機械学習によって構築された学習済モデルが格納される記憶部と、前記目標温度と、前記パッド温度測定器の測定値と、を少なくとも含む温度制御パラメータを前記学習済モデルに入力し、前記上下動機構の操作量を出力するための演算を実行する処理装置と、を備えている。

10

一態様では、研磨パッドの表面温度を所定の目標温度に調整するパッド温度調整方法であって、研磨パッドの表面温度を測定し、前記研磨パッドの上方に配置され、所定の温度に維持された熱交換器を、前記研磨パッドの表面温度に基づいて前記研

15 磨パッドに対して上下動させることにより、前記研磨パッドの表面温度を前記目標温度に調整する、パッド温度調整方法が提供される。

一態様では、前記熱交換器を前記所定の温度に維持するために、前記熱交換器の内部に形成された加熱流路に、所定の温度に維持された加熱液を所定の流量で供給する。

20 一態様では、前記熱交換器が移動上限に達した後で、前記目標温度が前記パッド温度測定器の測定値よりも低い場合は、冷却機構を用いて前記研磨パッドの表面を冷却する。

一態様では、前記研磨パッドの表面を冷却する工程は、前記パッド温度測定器の測定値に基づいて、前記熱交換器の内部に形成された冷却流路を流れる冷却流体の

25 流量を制御する工程である。

一態様では、前記熱交換器と前記研磨パッドの間の距離と、該距離に対応する前記研磨パッドの表面の温度との組み合わせを少なくとも含む訓練データを用いた機械学習によって学習済モデルを構築し、前記学習済モデルに、前記目標温度と、前

記パッド温度測定器の測定値と、を少なくとも含む温度制御パラメータを入力して、前記上下動機構の操作量を出力させる。

- 一態様では、研磨パッドを支持する研磨テーブルと、基板を前記研磨パッドに押し付ける研磨ヘッドと、前記研磨パッドの表面温度を測定するパッド温度測定器と、
- 5 上記パッド温度調整装置と、を備えた、研磨装置が提供される。

- 本発明によれば、熱交換器は、研磨パッドの上方に配置されており、研磨液に含まれる砥粒および研磨パッドの摩耗粉などの汚れが熱交換器に付着しない。その結果、基板にスクラッチなどのディフェクトおよび汚染が生じることが防止される。
- さらに、制御装置は、研磨パッドの表面温度を目標温度に一致させるために、研磨
- 10 パッドに対する熱交換器の距離のみを制御する。したがって、簡単な制御で、研磨パッドの表面温度の制御の応答性を向上させることができる。

図面の簡単な説明

- 図1は、一実施形態に係る研磨装置を示す模式図である。
- 15 図2は、一実施形態に係る熱交換器を示す水平断面図である。
- 図3は、熱交換器によってパッド表面温度を調整する様子を示す模式図である。
- 図4は、熱交換器と研磨パッドとの間の距離と、パッド表面温度との間の関係の一例を示すグラフである。
- 図5は、冷却液供給システムを作動させてパッド表面温度を調整する様子を示す
- 20 模式図である。
- 図6は、他の実施形態に係る熱交換器によってパッド表面温度を調整する様子を示す模式図である。
- 図7は、さらに他の実施形態に係る熱交換器によってパッド表面温度を調整する様子を示す模式図である。
- 25 図8は、上下動機構の適切な操作量を予測する学習済モデルを構築する機械学習を実行する制御装置の一例を示す模式図である。
- 図9は、ニューラルネットワークの構造の一例を示す模式図である。
- 図10Aおよび図10Bは、リカレントニューラルネットワークの一例である単

純再帰型ネットワークを説明するための展開図である。

図 1 1 は、研磨パッドのプロファイルを取得するためのパッド高さ測定器を有する研磨装置の一例を示す模式図である。

5

実施形態の説明

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、一実施形態に係る研磨装置を示す模式図である。図 1 に示すように、研磨装置は、基板の一例であるウエハ W を保持して回転させる研磨ヘッド 1 と、研磨パッド 3 を支持する研磨テーブル 2 と、研磨パッド 3 の表面に研磨液（例えばスラリー）を供給する研磨液供給ノズル 4 と、研磨パッド 3 の表面温度を調整するパッド温度調整装置 5 とを備えている。研磨パッド 3 の表面（上面）は、ウエハ W を研磨する研磨面を構成する。

研磨ヘッド 1 は鉛直方向に移動可能であり、かつその軸心を中心として矢印で示す方向に回転可能となっている。ウエハ W は、研磨ヘッド 1 の下面に真空吸着などによって保持される。研磨テーブル 2 にはモータ（図示せず）が連結されており、矢印で示す方向に回転可能となっている。図 1 に示すように、研磨ヘッド 1 および研磨テーブル 2 は、同じ方向に回転する。研磨パッド 3 は、研磨テーブル 2 の上面に貼り付けられている。

図 1 に示す研磨装置は、研磨テーブル 2 上の研磨パッド 3 をドレッシングするドレッサ 20 をさらに備えている。ドレッサ 20 は研磨パッド 3 の表面上を研磨パッド 3 の半径方向に揺動するように構成されている。ドレッサ 20 の下面は、ダイヤモンド粒子などの多数の砥粒からなるドレッシング面を構成する。ドレッサ 20 は、研磨パッド 3 の研磨面上を揺動しながら回転し、研磨パッド 3 を僅かに削り取ることにより研磨パッド 3 の表面をドレッシングする。

ウエハ W の研磨は次のようにして行われる。研磨されるウエハ W は、研磨ヘッド 1 によって保持され、さらに研磨ヘッド 1 によって回転される。一方、研磨パッド 3 は、研磨テーブル 2 とともに回転される。この状態で、研磨パッド 3 の表面には研磨液供給ノズル 4 から研磨液が供給され、さらにウエハ W の表面は、研磨ヘッド

1によって研磨パッド3の表面（すなわち研磨面）に対して押し付けられる。ウエハWの表面は、研磨液の存在下で研磨パッド3との摺接により研磨される。ウエハ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の機械的作用により平坦化される。

- 5 パッド温度調整装置5は、研磨パッド3の上方に配置された熱交換器11と、研磨パッド3の表面温度（以下、パッド表面温度ということがある）を測定するパッド温度測定器39と、所定の温度に調整された加熱液を所定の流量で熱交換器11に供給する加熱液供給システム30と、研磨パッド3に対して熱交換器11を上下動させる上下動機構71と、パッド温度測定器39の測定値に基づいて上下動機構
- 10 71の動作を制御する制御装置40と、を備えている。本実施形態では、制御装置40は、パッド温度調整装置5を含む研磨装置全体の動作を制御するように構成されている。

- 図1に示す加熱液供給システム30は、所定の温度に調整された加熱液を貯留する加熱液供給源としての加熱液供給タンク31と、加熱液供給タンク31と熱交換器11とを連結する加熱液供給管32および加熱液戻り管33とを備えている。加熱液供給管32および加熱液戻り管33の一方の端部は加熱液供給タンク31に接続され、他方の端部は熱交換器11に接続されている。
- 15

- 温度調整された加熱液は、加熱液供給タンク31から加熱液供給管32を通じて熱交換器11に供給され、熱交換器11内を流れ、そして熱交換器11から加熱液戻り管33を通じて加熱液供給タンク31に戻される。このように、加熱液は、加熱液供給タンク31と熱交換器11との間を循環する。本実施形態では、加熱液供給タンク31には、加熱源（例えば、ヒータ）48が配置されている。この加熱源48によって、加熱液供給タンク31に貯留される加熱液は所定の温度（設定温度）に加熱される。
- 20

- 25 加熱液供給管32には、第1開閉バルブ（加熱液供給バルブ）41および第1流量制御バルブ（加熱液流量制御バルブ）42が取り付けられている。第1流量制御バルブ42は、熱交換器11と第1開閉バルブ41との間に配置されている。第1開閉バルブ41は、流量調整機能を有しないバルブであるのに対し、第1流量制御

バルブ 4 2 は、流量調整機能を有するバルブである。第 1 流量制御バルブ 4 2 は、制御装置 4 0 に接続されており、熱交換器 1 1 に供給される加熱液の流量を所定の流量（設定流量）に調整する。

熱交換器 1 1 に供給される加熱液としては、温水が使用される。温水は、加熱液
5 供給タンク 3 1 の加熱源 4 8 により、例えば約 8 0 °C の設定温度に加熱される。加熱液の温度をより高温に設定する場合は、シリコンオイルを加熱液として使用してもよい。シリコンオイルを加熱液として使用する場合は、シリコンオイルは加熱液供給タンク 3 1 の加熱源 4 8 により 1 0 0 °C 以上（例えば、約 1 2 0 °C）の設定温度に加熱される。

10 このように、熱交換器 1 1 には、所定の温度に調整され、所定の流量で流れる加熱液が供給されるので、熱交換器 1 1 の温度は一定の温度に維持される。この熱交換器 1 1 は、研磨パッド 3 の上方に配置されており、熱交換器 1 1 からの放射熱で研磨パッド 3 の表面が加熱される。

詳細は後述するが、図 1 に示すように、パッド温度調整装置 5 は、冷却液を熱交
15 換器 1 1 に供給する冷却液供給システム 5 0 を備えていてもよい。冷却液供給システム 5 0 は、研磨パッド 3 の表面を冷却する冷却機構として機能する。以下の説明では、冷却液供給システム 5 0 を含むパッド温度調整装置 5 の実施形態が説明されるが、パッド温度調整装置 5 は、冷却液供給システム 5 0 を省略してもよい。

冷却液供給システム 5 0 は、熱交換器 1 1 に接続された冷却液供給管 5 1 および
20 冷却液排出管 5 2 を備えている。冷却液供給管 5 1 は、研磨装置が設置される工場に設けられている冷却液供給源（例えば、冷水供給源）に接続されている。冷却液は、冷却液供給管 5 1 を通じて熱交換器 1 1 に供給され、熱交換器 1 1 内を流れ、そして熱交換器 1 1 から冷却液排出管 5 2 を通じて排出される。一実施形態では、熱交換器 1 1 内を流れた冷却液を、冷却液排出管 5 2 を通じて冷却液供給源に戻し
25 てもよい。

冷却液供給管 5 1 には、第 2 開閉バルブ（冷却液供給バルブ） 5 5 および第 2 流量制御バルブ（冷却液流量制御バルブ） 5 6 が取り付けられている。第 2 流量制御バルブ 5 6 は、熱交換器 1 1 と第 2 開閉バルブ 5 5 との間に配置されている。第 2

開閉バルブ 5 5 は、流量調整機能を有しないバルブであるのに対し、第 2 流量制御バルブ 5 6 は、流量調整機能を有するバルブである。制御装置 4 0 は、第 2 流量制御バルブ 5 6 に接続されており、熱交換器 1 1 に供給される冷却液の流量を調整可能である。

- 5 熱交換器 1 1 に供給される冷却液としては、冷水またはシリコンオイルが使用される。シリコンオイルを冷却液として使用する場合には、冷却液供給源としてチラーを冷却液供給管 5 1 に接続し、シリコンオイルを 0℃以下に冷却することで、研磨パッド 3 を速やかに冷却することができる。冷水としては、純水を使用することができる。純水を冷却して冷水を生成するために、冷却液供給源としてチラー
- 10 ーを使用してもよい。この場合は、熱交換器 1 1 内を流れた冷水を、冷却液排出管 5 2 を通じてチラーに戻してもよい。

- 加熱液供給システム 3 0 の加熱液供給管 3 2、および冷却液供給システム 5 0 の冷却液供給管 5 1 は、完全に独立した配管である。したがって、加熱液および冷却液は、混合されることなく、同時に熱交換器 1 1 に供給可能である。加熱液戻り管
- 15 3 3 および冷却液排出管 5 2 も、完全に独立した配管である。したがって、加熱液は、冷却液と混合されることなく加熱液供給タンク 3 1 に戻され、冷却液は、加熱液と混合されることなく排出されるか、または冷却液供給源に戻される。

- 図 2 は、一実施形態に係る熱交換器 1 1 を示す水平断面図である。図 2 に示す熱交換器 1 1 は、その内部に形成された加熱流路 6 1 および冷却流路 6 2 を有している。
- 20 加熱流路 6 1 および冷却流路 6 2 は、互いに隣接して（互いに並んで）延びており、かつ螺旋状に延びている。加熱流路 6 1 および冷却流路 6 2 は、完全に分離しており、熱交換器 1 1 内で加熱液および冷却液が混合されることはない。

- 加熱液供給管 3 2 は、加熱流路 6 1 の入口 6 1 a に接続されており、加熱液戻り管 3 3 は、加熱流路 6 1 の出口 6 1 b に接続されている。冷却液供給管 5 1 は、冷却
- 25 流路 6 2 の入口 6 2 a に接続されており、冷却液排出管 5 2 は、冷却流路 6 2 の出口 6 2 b に接続されている。加熱流路 6 1 および冷却流路 6 2 のそれぞれは、曲率が一定の複数の円弧流路 6 4 と、これら円弧流路 6 4 を連結する複数の傾斜流路 6 5 から基本的に構成されている。隣接する 2 つの円弧流路 6 4 は、各傾斜流路 6

5 5によって連結されている。このような構成によれば、加熱流路6 1および冷却流路6 2のそれぞれの最外周部を、パッド接触部材1 1の最外周部に配置することができる。つまり、パッド接触部材1 1の下面から構成されるパッド接触面のほぼ全体は、加熱流路6 1および冷却流路6 2の下方に位置し、加熱液および冷却液は研磨パッド3の表面を速やかに加熱および冷却することができる。

図1に戻り、パッド温度調整装置5のパッド温度測定器3 9は、研磨パッド3の表面の上方に配置されており、非接触で研磨パッド3の表面温度を測定する。パッド温度測定器3 9は、制御装置4 0に接続されており、その測定値を制御装置4 0に送信する。

10 パッド温度測定器3 9は、研磨パッド3の表面温度を測定する赤外線放射温度計または熱電対温度計であってもよく、研磨パッド3の径方向に沿った研磨パッド3の温度分布（温度プロファイル）を取得する温度分布測定器であってもよい。温度分布測定器の例としては、サーモグラフィ、サーモパイル、および赤外カメラが挙げられる。パッド温度測定器3 9が温度分布測定器である場合は、パッド温度測定器3 9は、研磨パッド3の中心と外周縁とを含む領域であって、該研磨パッド3の半径方向に延びる領域における研磨パッド3の表面温度の分布を測定するように構成される。本明細書において、温度分布（温度プロファイル）は、パッド表面温度と、ウェハW上の半径方向の位置との関係を示す。

20 パッド温度調整装置5の上下動機構7 1は、熱交換器1 1が研磨パッド3の表面に接触しない範囲で、熱交換器1 1を研磨パッド3に対して上下方向に移動させる装置である。上下動機構7 1は、熱交換器1 1を上下方向に移動可能なアクチュエータ7 4を少なくとも備える。

25 図1に示す上下動機構7 1は、熱交換器1 1に連結される支持部材7 3と、支持部材7 3を介して熱交換器1 1を上下動させるアクチュエータ7 4と、を備えている。アクチュエータ7 4の構成は、熱交換器1 1を上下方向に移動させることが可能である限り任意である。例えば、アクチュエータ7 4は、熱交換器1 1を支持部材7 3を介して上下動させるピストンを備えたピストンシリンダ装置であってもよく、または熱交換器1 1を支持部材7 3を介して上下動させるモータ（例えば、サ

ーボモータ、またはステッピングモータ）であってもよい。一実施形態では、アクチュエータ 7 4 は、圧電素子の圧電効果を利用して熱交換器 1 1 を支持部材 7 3 を介して上下動させる圧電アクチュエータであってもよい。

上下動機構 7 1 は、制御装置 4 0 に接続されている。制御装置 4 0 は、パッド温度測定器 3 9 の測定値に基づいて上下動機構 7 1 の動作（すなわち、アクチュエータ 7 4 の操作量）を制御し、これにより、研磨パッド 3 に対する熱交換器 1 1 の上下方向の位置を制御する。上述したように、熱交換器 1 1 は、所定の温度に加熱され、該所定の温度に維持されている。したがって、熱交換器 1 1 を研磨パッド 3 に近づけると、パッド表面温度を上昇させることができる。熱交換器 1 1 を研磨パッド 3 から遠ざけると、パッド表面温度が低下する。

図 3 は、熱交換器 1 1 によってパッド表面温度を調整する様子を示す模式図である。図 4 は、熱交換器 1 1 と研磨パッド 3 との間の距離と、パッド表面温度との間の関係の一例を示すグラフである。以下の説明では、熱交換器 1 1 と研磨パッド 3 との間の距離を、「離間距離」と称することがある。図 4 において、縦軸は、研磨パッド 3 の表面の温度（すなわち、パッド表面温度）を表し、横軸は、離間距離を表す。図 4 に示すグラフは、所定の温度に維持された熱交換器 1 1 を研磨パッド 3 に対して移動させたときに変化するパッド表面温度の一例を示している。

制御装置 4 0 は、離間距離とパッド表面温度との間の関係を予め記憶している。例えば、制御装置 4 0 は、図 4 に示すようなグラフ、または該グラフから得られる離間距離とパッド表面温度との間の関係式を予め記憶している。一実施形態では、制御装置 4 0 は、図 4 に示すようなグラフから得られる離間距離とパッド表面温度とのデータテーブルを予め記憶していてもよい。図 4 に示すようなグラフは実験によって入手してもよいし、シミュレーションによって入手してもよい。

パッド温度調整装置 5 は、熱交換器 1 1 と研磨パッド 3 の表面との間の距離を測定可能な少なくとも 1 つの距離センサ 1 4 を有している。図 1 および図 3 に示す実施形態では、距離センサ 1 4 は、熱交換器 1 1 の外面に取り付けられている。距離センサ 1 4 も制御装置 4 0 に接続されており、その測定値を制御装置 4 0 に送信する。

上述したように、制御装置 40 は、パッド温度測定器 39 の測定値が所定の目標温度に一致するように、上下動機構 71 を用いて研磨パッド 3 に対する熱交換器 11 の上下方向の位置を制御する。以下では、パッド温度調整装置 5 によるパッド表面温度の調整方法をより詳細に説明する。

- 5 最初に、制御装置 40 は、熱交換器 11 と研磨パッド 3 との間の距離が所定の目標温度 T_1 に対応する離間距離 X_1 （図 4 参照）に到達するまで熱交換器 11 を移動させる。具体的には、制御装置 40 は、熱交換器 11 と研磨パッド 3 との間の距離が離間距離 X_1 に到達するまでの移動量を距離センサ 14 の測定値に基づいて算出し、得られた移動量に対応する上下動機構 71 のアクチュエータ 74 の操作量を
- 10 決定する。制御装置 40 は、アクチュエータ 74 の操作量に基づいてアクチュエータ 74 に指令を発して熱交換器 11 を移動させる。

- 次いで、制御装置 40 は、パッド温度測定器 39 の測定値が所定の目標温度 T_1 よりも高ければ（低ければ）、離間距離 X が大きく（小さく）なるように上下動機構 71 のアクチュエータ 74 に指令を発する。この場合、熱交換器 11 の移動量は、
- 15 目標温度 T_1 とパッド温度測定器 39 の測定値の差分に基づいて決定される。具体的には、制御装置 40 は、目標温度 T_1 とパッド温度測定器 39 の測定値の差分を算出し、該差分を 0 とする熱交換器 11 の移動量を図 4 に示すようなグラフ、または該グラフから得られる離間距離とパッド表面温度との間の関係式（またはデータテーブル）から決定する。制御装置 40 は、研磨パッド 3 に対する熱交換器 11 の
- 20 距離を変更するたびに、離間距離 X と、該離間距離 X に対応するパッド表面温度（すなわち、パッド温度測定器 39 の測定値）との組み合わせを記憶する。

- このように、制御装置 40 は、パッド表面温度を目標温度に調整するために、所定の温度に維持された熱交換器 11 の研磨パッド 3 に対する離間距離 X を変更する。熱交換器 11 は常に研磨パッド 3 の上方に位置しており、制御装置 40 は、熱交換
- 25 器 11 を研磨パッド 3 に接触させない。したがって、熱交換器 11 に研磨液に含まれる砥粒および研磨パッド 3 の摩耗粉などの汚れが付着しないので、ウエハ（基板） W にスクラッチなどのディフェクトおよび汚染が生じることが防止される。さらに、制御装置 40 は、研磨パッド 3 の表面温度を目標温度に調整するために、研磨

パッド3に対する熱交換器11の距離のみを制御する。したがって、簡単な制御で、研磨パッド3の表面温度の制御の応答性を向上させることができる。

上下動機構71は、熱交換器11の移動量の上限および下限を必然的に有している。熱交換器11の移動量の下限（図4の離間距離X1参照）は、熱交換器11を
5 研磨パッド3の表面に近接させることができる限界値であり、予め決定されている。制御装置40は、熱交換器11の移動量の下限に対応するアクチュエータ74の操作量を予め記憶しており、この操作量を超えた指令をアクチュエータ74に送信しないように構成されている。

熱交換器11の移動量の上限（図4の離間距離Xh参照）は、例えば、上下動機
10 構71の物理的または機械的な動作限界値である。熱交換器11の直上に研磨装置の他の構成要素が存在する場合には、熱交換器11の移動量の上限は、熱交換器11が他の構成要素に接触しないように、予め決定される。このように、熱交換器11を研磨パッド3の表面から遠ざけるには限界がある。そのため、図4に示すように、所定の目標温度が、熱交換器11が上下動機構71の移動上限（すなわち、図
15 4に示す離間距離Xh）に対応するパッド表面温度Tc以下の目標温度T2に設定されると、所定の温度に維持された熱交換器11では目標温度T2まで研磨パッド3の表面の温度を低減することができない。

この場合、制御装置40は、上述した冷却液供給システム（冷却機構）50を作動させる。図5は、冷却液供給システム50を作動させてパッド表面温度を調整する様子
20 を示す模式図である。図5に示すように、熱交換器11には、冷却液供給システム50（図1参照）によって冷却液が供給される。この場合も、熱交換器11には所定の温度に調整された加熱液が所定の流量で供給され続けているが、冷却液供給システム50によって供給された冷却液によって、熱交換器11の温度は低下する。その結果、研磨パッド3の表面の温度を、パッド表面温度Tc以下の目標温
25 度T2まで低下させることができる。

制御装置40は、パッド温度測定器39の測定値に基づいて熱交換器11に供給される冷却液の流量を調整する。より具体的には、制御装置40は、パッド温度測定器39の測定値が目標温度T2に一致するように、第2流量制御バルブ56（図

1 参照)の開度を制御して、熱交換器 11 に供給される冷却液の流量を調整する。

所定の目標温度が上下動機構 71 の移動上限に対応するパッド表面温度 T_c 以下の目標温度 T_2 に設定される場合、制御装置 40 は、上下動機構 71 の操作量（すなわち、熱交換器 11 の上下方向の位置）を制御せずに、冷却液の流量を制御する。

- 5 この場合も、制御装置 40 がパッド表面温度を所定の目標温度に調整するために制御するパラメータは、冷却液の流量のみである。したがって、簡単な制御で、研磨パッド 3 の表面温度の制御の応答性を向上させることができる。

- さらに、冷却液は、所定の目標温度が上下動機構 71 の移動上限に対応するパッド表面温度 T_c 以下の温度に設定される場合にのみ使用される。したがって、本実施形態に係るパッド温度調整装置 5 は、常に冷却液を熱交換器に供給する従来のパッド温度調整装置と比較して、冷却液の使用量を削減できる。その結果、冷却液を作り出すためのコストが低減されるので、パッド温度調整装置 5 のランニングコストを低減することができる。

- 図 6 は、他の実施形態に係る熱交換器 11 によってパッド表面温度を調整する様子を示す模式図である。特に説明しない実施形態の構成は、上述した実施形態と同様であるため、その重複する説明を省略する。

- 図 6 に示す熱交換器 11 は、加熱液供給システム 30 に代えて、ヒータ 18 を有する。ヒータ 18 は、制御装置 40 に接続されている。制御装置 40 は、ヒータ 18 に供給する電流及び電圧を一定に制御する。これにより、熱交換器 11 は所定の温度まで加熱され、該所定の温度に維持される。

図 6 に示す実施形態では、冷却液供給システム 50 に代えて、気体を研磨パッド 3 の表面に噴射する気体噴射ノズル 17 を有している。気体噴射ノズル 17 は研磨パッド 3 の表面を冷却する冷却機構として機能する。

- 本実施形態でも、パッド温度調整装置 5 は、所定の温度に維持された熱交換器 11 を、パッド温度測定器 39 の測定値に基づいて、研磨パッド 3 に対して上下動させることにより、パッド表面温度を目標温度に調整する。所定の目標温度が上下動機構 71 の移動上限に対応するパッド表面温度 T_c 以下の目標温度 T_2 に設定される場合は、気体噴射ノズル（冷却機構） 17 を起動する。制御装置 40 は、パッド

温度測定器 39 の測定値に基づいて気体噴射ノズル 17 から噴射される気体の流量を制御する。

図 7 は、さらに他の実施形態に係る熱交換器 11 によってパッド表面温度を調整する様子を示す模式図である。特に説明しないこれら実施形態の構成は、上述した

5 実施形態と同様であるため、その重複する説明を省略する。

図 7 に示す熱交換器 11 は、加熱液供給システム 30 に代えて、ヒータランプ 19 を有している。ヒータランプ 19 は、制御装置 40 に接続されており、制御装置 40 は、ヒータランプ 19 に供給する電流及び電圧を一定に制御する。これにより、熱交換器 11 は所定の温度まで加熱され、該所定の温度に維持される。

10 図 7 に示す実施形態では、冷却液供給システム 50 に代えて、研磨パッド 3 の表面に向けた気流を発生する冷却ファン 23 を有している。冷却ファン 23 は研磨パッド 3 の表面を冷却する冷却機構として機能する。

本実施形態でも、パッド温度調整装置 5 は、所定の温度に維持された熱交換器 11 を、パッド温度測定器 39 の測定値に基づいて、研磨パッド 3 に対して上下動か
15 せることにより、パッド表面温度を目標温度に調整する。所定の目標温度が上下動機構 71 の移動上限に対応するパッド表面温度 T_c 以下の目標温度 T_2 に設定される場合は、冷却ファン（冷却機構）23 を起動する。制御装置 40 は、パッド温度測定器 39 の測定値に基づいて冷却ファン 23 の回転速度を制御する。

一実施形態では、図 6 に示すパッド温度調整装置 5 は、気体噴射ノズル 17 の代
20 わりに、冷却ファン 23 を有していてもよい。また、図 7 に示すパッド温度調整装置 5 は、冷却ファン 23 の代わりに、気体噴射ノズル 17 を有していてもよい。

距離センサ 14 は、熱交換器 11 と研磨パッド 3 の表面との間の距離を非接触で測定可能である限り、任意のセンサを用いることができる。距離センサ 14 の例としては、レーザ式センサ、超音波センサ、渦電流式センサ、または静電容量センサ
25 などが挙げられる。図 1 および図 3 に示す実施形態では、1 つの距離センサ 14 のみが熱交換器 11 に取り付けられているが、パッド温度調整装置 5 は、熱交換器 11 の外周面に沿って等間隔に配置される複数の（例えば、4 つの）距離センサ 14 を有していてもよい。パッド温度調整装置 5 が複数の距離センサ 14 を有する場合

は、制御装置 40 は、複数の距離センサ 14 の測定値の平均を離間距離として用いてもよいし、複数の距離センサ 14 の測定値の最大値（または、最小値）を離間距離として用いてもよい。

- 5 パッド温度調整装置 5 の制御装置 40 は、パッド表面温度を所定の目標温度に素早く収束させ、かつ所定の目標温度に維持するための上下動機構 71 の適切な操作量（または、熱交換器 11 と研磨パッド 3 との間の適切な離間距離）を機械学習を行うことで構築された学習済モデルを用いて予測乃至決定してもよい。

- 機械学習は、人工知能（A I : A r t i f i c i a l I n t e l l i g e n c e）のアルゴリズムである学習アルゴリズムによって実行され、機械学習によって、
10 上下動機構 71 の適切な操作量を予測する学習済モデルが構築される。学習済モデルを構築する学習アルゴリズムは特に限定されない。例えば、上下動機構 71 の適切な操作量を学習するための学習アルゴリズムとして、「教師あり学習」、「教師なし学習」、「強化学習」、「ニューラルネットワーク」などの公知の学習アルゴリズムを採用できる。

- 15 図 8 は、学習済モデルを構築するための機械学習を実行可能な制御装置 40 の一例を示す模式図である。この制御装置 40 は、プログラム、データ、および学習済モデルなどが格納される記憶装置 40 a と、記憶装置 40 a に格納されているプログラムに従って演算を行う C P U（中央処理装置）または G P U（グラフィックプロセッシングユニット）などの処理装置 40 b と、処理装置 40 b に連結され、上
20 下動機構 71 の適切な操作量を予測する学習済モデルを構築する機械学習器 300 と、を備える。一実施形態では、上下動機構 71 の適切な操作量を予測する学習済モデルを構築する機械学習器 300 を制御装置 40 とは別に設けてもよい。

- 図 8 に示す機械学習器 300 は、上下動機構 71 の適切な操作量を学習可能な機械学習器の一例である。この機械学習器 300 は、状態観測部 301 と、データ取得部 302 と、学習部 303 とを備えている。
25

状態観測部 301 は、機械学習の入力値としての状態変数を観測する。状態変数は、パッド表面温度の制御に関連する温度制御パラメータの総称である。本実施形態では、状態変数は、パッド温度測定器 39 が取得したパッド表面温度の測定値と、

パッド温度測定器 3 9 がパッド表面温度を取得したときの距離センサ 1 4 の測定値（すなわち、離間距離）と、を少なくとも含んでいる。

データ取得部 3 0 2 は、判定部 3 1 0 から移動量データを取得する。移動量データは、上下動機構 7 1 の適切な操作量を予測する学習済モデルを構築する際に使用
5 されるデータであり、ある温度に維持された熱交換器 1 1 と研磨パッド 3 との間の離間距離を変化させたときの変化量と、該変化量に対応する研磨パッド 3 の表面の温度の変化量との関係を公知の計測方法にしたがって計測したデータである。移動量データは、状態観測部 3 0 1 に入力される状態変数に関連付けられる（結びつけられている）。

10 機械学習器 3 0 0 によって実行される機械学習の一例は以下の通りである。最初に、状態観測部 3 0 1 が離間距離と、該離間距離に対応する研磨パッド 3 の表面の温度とを少なくとも含む状態変数を取得し、データ取得部 3 0 2 が、状態観測部 3 0 1 が取得した状態変数に関連付けられた移動量データを取得する。学習部 3 0 3 は、状態観測部 3 0 1 から取得した状態変数と、データ取得部 3 0 2 から取得した
15 移動量データとの組合せである訓練データセットに基づいて上下動機構 7 1 の適切な操作量を学習する。機械学習器 3 0 0 で実行される機械学習は、機械学習器 3 0 0 が上下動機構 7 1 の適切な操作量を出力するまで繰返し実行される。

一実施形態では、機械学習器 3 0 0 の学習部 3 0 3 が実行する機械学習は、ニューラルネットワークを用いた機械学習、特に、ディープラーニングであってもよい。
20 ディープラーニングは、隠れ層（中間層ともいう）が多層化されたニューラルネットワークをベースとする機械学習法である。本明細書では、入力層と、二層以上の隠れ層と、出力層で構成されるニューラルネットワークを用いた機械学習をディープラーニングと称する。

図 9 は、ニューラルネットワークの構造の一例を示す模式図である。図 9 に示す
25 ニューラルネットワークは、入力層 3 5 0 と、複数の隠れ層 3 5 1 と、出力層 3 5 2 を有している。ニューラルネットワークは、状態観測部 3 0 1 によって取得された状態変数と、該状態変数に関連付けられ、データ取得部 3 0 2 によって取得された移動量データとの多数の組合せからなる訓練データセットに基づいて、上下動機

構 7 1 の適切な操作量を学習する。すなわち、ニューラルネットワークは、状態変数と上下動機構 7 1 の操作量との関係を学習する。このような機械学習は所謂「教師あり学習」と称される。教師あり学習では、状態変数と、この状態変数に関連付けられた移動量データ（ラベル）の組み合わせを大量にニューラルネットワークに

5 入力することで、それらの関係性を帰納的に学習する。

一実施形態では、ニューラルネットワークは、所謂「教師無し学習」によって上下動機構 7 1 の適切な操作量を学習してもよい。教師無し学習とは、例えば、状態変数のみを大量にニューラルネットワークに入力し、該状態変数がどのように分布をしているか学習する。そして、教師無し学習では、状態変数に対応する教師出力

10 データ（移動量データ）をニューラルネットワークに入力しなくても、入力された状態変数に対して圧縮・分類・整形などを行い、上下動機構 7 1 の適切な操作量

出力するための学習済モデルを構築する。すなわち、教師無し学習では、ニューラルネットワークは、大量に入力された状態変数を、ある似た特徴を有するグループにクラス分けする。そして、ニューラルネットワークは、クラス分けされた複数の

15 グループに対して、上下動機構 7 1 の適切な操作量を出力するための所定の基準を設け、それらの関係が最適化されるように学習済モデルを構築することで、上下動機構 7 1 の適切な操作量を出力する。

さらに、一実施形態では、学習部 3 0 3 で実行される機械学習は、状態変数の経時的な変化を学習済モデルに反映するために、所謂「リカレントニューラルネットワーク（RNN：R e c u r r e n t N e u r a l N e t w o r k）」を使用

20 してもよい。リカレントニューラルネットワークは、現時刻だけの状態変数だけでなく、これまでに入力層 3 5 0 に入力された状態変数も利用する。リカレントニューラルネットワークでは、時間軸に沿った状態変数の変化を展開して考えることで、これまでに入力された状態変数の遷移を踏まえて、上下動機構 7 1 の適切な操作量

25 を推定する学習済モデルを構築することができる。

図 1 0 A および図 1 0 B は、リカレントニューラルネットワークの一例である単純再帰型ネットワーク（エルマンネットワーク：E l m a n N e t w o r k）を説明するための展開図である。より具体的には、図 1 0 A は、エルマンネットワー

クの時間軸展開を示す模式図であり、図10Bは、誤差逆伝播法（「バックプロパゲーション」とも称される）のバックプロパゲーションスルータイムを示す模式図である。

図10Aおよび図10Bに示すようなエルマンネットワークでは、通常のニューラルネットワークと異なり、時間を遡るように誤差が伝搬する（図10B参照）。このようなりカレントニューラルネットワーク構造を、学習部303が実行する機械学習のニューラルネットワークに適用することで、これまで入力された状態変数の遷移を踏まえた上下動機構71の適切な操作量を出力する学習済モデルを構築することができる。

- 10 このように構築された学習済モデルは、制御装置40の記憶装置40a（図8参照）に格納されている。制御装置40は、記憶装置40aに電氣的に格納されたプログラムに従って動作する。すなわち、制御装置40の処理装置40bは、パッド温度測定器39および距離センサ14から制御装置40に送信された離間距離、および該離間距離に対応するパッド表面温度を少なくとも含む状態変数を、学習済モデルの入力層350に入力し、入力された状態変数（および、状態変数の経時的な変化量）から、パッド表面温度を所定の目標温度に到達させるための上下動機構71の操作量を予測して、該予測された操作量を出力層352から出力するための演算を実行する。制御装置40は、出力層352から出力された上下動機構71の操作量に基づいて、熱交換器11を上下方向に移動させる。このような制御によって、
- 15 パッド表面温度をより素早く、かつ正確に目標温度に調整することができる。

- 出力層352から出力された上下動機構71の操作量が正常データと同等であると判断された場合、制御装置40は、この上下動機構71の操作量を追加の教師データとして判定部310に蓄積してもよい。この場合、機械学習器300は、教師データおよび追加の教師データを基にした機械学習を通じて、学習済モデルを更新
- 25 していく。これにより、学習済モデルから出力される上下動機構71の操作量の精度を向上させることができる。

一実施形態では、状態観測部301にさらに入力される状態変数として、以下に示す状態変数のうちのいくつかの状態変数を選択してもよい。あるいは、以下に示

す全ての状態変数を状態観測部 3 0 1 に入力してもよい。

- (1) 研磨パッド 3 の種類
- (2) 研磨パッド 3 の厚さ
- (3) 研磨パッド 3 の摩耗量
- 5 (4) 研磨ヘッド 1 の回転速度
- (5) 研磨パッド 3 に対する研磨ヘッド 1 (すなわち、ウエハ W) の押圧荷重
- (6) 研磨テーブル 2 の回転速度
- (7) 研磨液 (スラリー) に含まれる砥粒の種類
- (8) 研磨液の流量
- 10 (9) 研磨液の温度
- (10) 熱交換器 1 1 の設定温度
- (11) 研磨装置内の雰囲気温度

これら状態変数 (1) 乃至 (10) は、パッド表面温度の変化に関連する。具体的には、上記状態変数 (1) 乃至 (10) のいずれか 1 つでも変わると、ウエハ W
15 と研磨パッド 3 との間で発生する摩擦熱の量が変化する。したがって、上記状態変数 (1) 乃至 (10) のいずれか 1 つが異なる条件では、熱交換器 1 1 が同一の離間距離で研磨パッド 3 の表面を加熱しても、到達するパッド表面温度が異なる。研磨装置内の雰囲気温度が異なる条件でも同様の現象が発生する。

したがって、これら状態変数 (1) 乃至 (11) の少なくとも 1 つを状態観測部
20 3 0 1 にさらに入力して、学習済モデルを構築する機械学習に利用することで、学習済モデルは、より正確な上下動機構 7 1 の操作量を出力することができる。

次に、研磨パッド 3 の摩耗量を測定する方法について、図 1 1 を参照して説明する。図 1 1 は、研磨パッド 3 のプロファイルを取得するためのパッド高さ測定器を有する研磨装置の一例を示す模式図である。

25 図 1 1 に示す研磨装置は、ウエハ W の研磨を繰り返すにつれて劣化する研磨パッド 3 の表面を再生するために設けられたドレッサ装置 1 5 2 と、該ドレッサ装置 1 5 2 に取り付けられたパッド高さ測定器 1 7 3 と、をさらに備えている。以下に説明するように、パッド高さ測定器 1 7 3 は、研磨パッド 3 の表面の高さを測定し、

制御装置 40 は、得られた研磨パッド 3 の表面の高さに基づいて研磨パッド 3 の摩
耗量を算出する。

図 11 に示すドレッシング装置 152 は、研磨パッド 3 の表面をドレッシングす
る上記ドレッサ 20（図 1 参照）と、ドレッサ 20 が連結されるドレッサシャフト
5 155 と、ドレッサシャフト 155 の上端に設けられたエアシリンダ 154 と、ド
レッサシャフト 155 を回転自在に支持するドレッサアーム 157 とを備えている。
ドレッサ 20 の下面はドレッシング面を構成し、このドレッシング面は砥粒（例え
ば、ダイヤモンド粒子）から構成されている。エアシリンダ 154 は、図示しない
支持機構を介してドレッサアーム 157 に固定されている。

- 10 ドレッサアーム 157 は、図示しないモータに駆動されて、ドレッサ旋回軸 15
8 を中心として回転するように構成されている。ドレッサ 20 は、ドレッサアーム
157 内に設置された図示しない回転機構によりドレッサシャフト 155 とともに
回転駆動される。エアシリンダ 154 は、ドレッサシャフト 155 を介してドレ
15 サ 20 を所定の荷重（押圧力）で研磨パッド 3 の表面に押圧するアクチュエータと
して機能する。ドレッサアーム 157 がドレッサ旋回軸 158 を中心として回転す
ると、ドレッサ 20 は研磨パッド 3 の表面上を研磨テーブル 2 の略半径方向に揺動
する。

- 研磨パッド 3 のドレッシング中は、ドレッサ 20 がドレッサシャフト 155 を中
心として回転されるとともに、液体供給ノズル 174 からドレッシング液が研磨パ
20 ッド 3 上に供給される。この状態で、ドレッサ 20 を研磨パッド 3 に押圧し、その
ドレッシング面（すなわち、ドレッサ 20 の下面）を研磨パッド 3 の表面に摺接す
る。さらに、ドレッサアーム 157 をドレッサ旋回軸 158 を中心として回転させ
てドレッサ 20 を研磨パッド 3 の半径方向に揺動させる。このようにして、ドレ
25 サ 20 により研磨パッド 3 が削り取られ、研磨パッド 3 の表面がドレッシング（再
生）される。

図 11 に示されるパッド高さ測定器 173 は、研磨パッド 3 の表面の高さを測定
するパッド高さセンサ 175 と、パッド高さセンサ 175 に対向して配置されたセ
ンサターゲット 176 と、を有している。パッド高さセンサ 175 は、制御装置 4

0に接続される。

パッド高さセンサ175は、ドレッサアーム157に固定されており、センサターゲット176は、ドレッサシャフト155に固定されている。センサターゲット176は、ドレッサシャフト155およびドレッサ20と一体に上下動する。一方、
5 パッド高さセンサ175の上下方向の位置は固定されている。パッド高さセンサ175は変位センサであり、センサターゲット176の変位を測定することで、研磨パッド3の表面の高さ（研磨パッド3の厚さ）を間接的に測定することができる。センサターゲット176はドレッサ20と一体に上下動するので、パッド高さセンサ175は、研磨パッド3のドレッシング中に研磨パッド3の表面の高さを測定す
10 ることができる。パッド高さセンサ175としては、リニアスケール式センサ、レーザ式センサ、超音波センサ、渦電流式センサ、または静電容量センサなどのあらゆるタイプのセンサを用いることができる。

パッド高さセンサ175は、制御装置40に接続されており、パッド高さセンサ175の出力信号（すなわち、研磨パッド3の表面の高さの測定値）が制御装置4
15 0に送られるようになっている。制御装置40は、研磨パッド3の表面の高さの測定値から、研磨パッド3のプロファイル（研磨パッド3の表面の断面形状）を取得することができる。

制御装置40は、未使用の研磨パッド3が研磨テーブル2に取り付けられた後で、パッド高さ測定器173を用いて研磨パッド3の初期高さを入手し、記憶部40a
20 （図8参照）に記憶する。所定枚数のウェハWを研磨するたびに、または研磨パッド3のドレッシングを行うたびに、制御装置40は、パッド高さ測定器173を用いて研磨パッド3の高さ（摩耗高さ）を測定する。制御装置40は、初期高さから摩耗高さを減算することで、研磨パッド3の摩耗量を算出することができる。このようにして、制御装置40は、状態観測部301に入力される状態変数としての研
25 磨パッド3の摩耗量を取得することができる。

研磨装置がパッド高さ測定器173を有する場合は、制御装置40は、上述した距離センサ14の代わりに、パッド高さセンサ175を用いて研磨パッド3と熱交換器11との間の離間距離を算出し、上下動機構71の動作を制御してもよい。こ

の場合、制御装置４０は、所定の基準面に対する熱交換器１１の初期位置を予め記憶している。

所定の基準面は、例えば、ドレッシングが行われた後で、研磨パッド３の上方に待避したドレッサ２０のドレッシング面である。初期位置は、例えば、ウエハＷの
5 研磨が行われていないときの熱交換器１１の待機位置であり、制御装置４０は、ウエハＷの研磨が終了するたびに、上下動機構７１を用いて熱交換器１１を初期位置に移動させる。

上述したように、制御装置４０は、研磨パッド３の初期高さを記憶する。したがって、制御装置４０は、初期位置にある熱交換器１１と未使用の研磨パッド３との
10 間の距離を算出することができる。さらに、制御装置４０は、ウエハＷを研磨するたびにドレッサ２０を研磨パッド３の表面に接触させることで、現在の研磨パッド３の高さを入手することができる。すなわち、制御装置４０は、初期位置にある熱交換器１１と現在の研磨パッド３の表面との間の距離を算出することができる。

したがって、制御装置４０は、初期位置にある熱交換器１１と現在の研磨パッド
15 ３の表面との間の距離から上記離間距離を減算することで、アクチュエータ７４の操作量を算出することができる。本実施形態によれば、パッド高さセンサ１７５を、熱交換器１１を離間距離に到達させるためのセンサとして使用する。すなわち、パッド高さセンサ１７５が研磨パッド３と熱交換器１１との間の離間距離を測定する上記距離センサ１４の代わりに利用される。したがって、研磨装置がパッド高さ測
20 定器１７３を有している場合は、距離センサ１４が不要となるため、パッド温度調整装置５の製造コストを低減することができる。

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
25 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. 研磨パッドの表面温度を所定の目標温度に調整するパッド温度調整装置であって、
 - 5 前記研磨パッドの上方に配置され、所定の温度に維持された熱交換器と、
前記研磨パッドの表面温度を測定するパッド温度測定器と、
前記研磨パッドと前記熱交換器との間の離間距離を測定する少なくとも1つの距離センサと、
前記研磨パッドに対して前記熱交換器を上下動させる上下動機構と、
 - 10 前記パッド温度測定器の測定値に基づいて、前記上下動機構の動作を制御する制御装置と、を備えた、パッド温度調整装置。
2. 前記熱交換器は、その内部に形成された加熱流路を含み、
前記加熱流路には、所定の温度に維持された加熱液が所定の流量で供給される、
 - 15 請求項1に記載のパッド温度調整装置。
3. 前記研磨パッドの表面を冷却する冷却機構をさらに備え、
前記制御装置は、前記上下動機構が前記熱交換器の移動上限に達した後で、前記目標温度が前記パッド温度測定器の測定値よりも低い場合には、前記冷却機構を作
20 動させる、請求項1または2に記載のパッド温度調整装置。
4. 前記冷却機構は、前記熱交換器の内部に形成され、冷却流体が供給される冷却流路を含み、
前記制御装置は、前記パッド温度測定器の測定値に基づいて前記冷却流体の流量
25 を制御する、請求項3に記載のパッド温度調整装置。
5. 前記制御装置は、
前記熱交換器と前記研磨パッドの間の距離と、該距離に対応する前記研磨パッ

ドの表面の温度との組み合わせを少なくとも含む訓練データを用いた機械学習によって構築された学習済モデルが格納される記憶部と、

- 前記目標温度と、前記パッド温度測定器の測定値と、を少なくとも含む温度制御パラメータを前記学習済モデルに入力し、前記上下動機構の操作量を出力するための演算を実行する処理装置と、を備えている、請求項 1 乃至 4 のいずれか一項に記載のパッド温度調整装置。

6. 研磨パッドの表面温度を所定の目標温度に調整するパッド温度調整方法であって、

- 10 研磨パッドの表面温度を測定し、

前記研磨パッドの上方に配置され、所定の温度に維持された熱交換器を、前記研磨パッドの表面温度に基づいて前記研磨パッドに対して上下動させることにより、前記研磨パッドの表面温度を前記目標温度に調整する、パッド温度調整方法。

7. 前記熱交換器を前記所定の温度に維持するために、前記熱交換器の内部に形成された加熱流路に、所定の温度に維持された加熱液を所定の流量で供給する、請求項 6 に記載のパッド温度調整方法。
- 15

8. 前記熱交換器が移動上限に達した後で、前記目標温度が前記パッド温度測定器の測定値よりも低い場合は、冷却機構を用いて前記研磨パッドの表面を冷却する、請求項 6 または 7 に記載のパッド温度調整方法。

20

9. 前記研磨パッドの表面を冷却する工程は、前記パッド温度測定器の測定値に基づいて、前記熱交換器の内部に形成された冷却流路を流れる冷却流体の流量を制御する工程である、請求項 8 に記載のパッド温度調整方法。

25

10. 前記熱交換器と前記研磨パッドの間の距離と、該距離に対応する前記研磨パッドの表面の温度との組み合わせを少なくとも含む訓練データを用いた機械学習によって学習済モデルを構築し、

前記学習済モデルに、前記目標温度と、前記パッド温度測定器の測定値と、を少なくとも含む温度制御パラメータを入力して、前記上下動機構の操作量を出力させる、請求項 6 乃至 9 のいずれか一項に記載のパッド温度調整方法。

- 5 11. 研磨パッドを支持する研磨テーブルと、
基板を前記研磨パッドに押し付ける研磨ヘッドと、
前記研磨パッドの表面温度を測定するパッド温度測定器と、
請求項 1 乃至 5 のいずれか一項に記載のパッド温度調整装置と、を備えた、研磨装置。

10