

研磨パッドの表面温度を調整するための装置および方法

発明の背景

発明の技術分野

- 5 本発明は、ウェー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ための装置および方法に関する。

関連技術の記載

- CMP (Chemical Mechanical Polishing) 装置は、半導体デバイスの製造において、ウェーハの表面を研磨する工程に使用される。CMP装置は、ウェーハをトップリングで保持してウェーハを回転させ、さらに回転する研磨テーブル上の研磨パッドにウェーハを押し付けてウェーハの表面を研磨する。研磨中、研
- 10 磨パッドには研磨液（スラリー）が供給され、ウェーハの表面は、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。

- ウェーハの研磨レートは、ウェーハの研磨パッドに対する研磨荷重のみならず、
- 15 研磨パッドの表面温度にも依存する。これは、ウェーハ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、ウェーハの研磨レートを上げて更に一定に保つために、ウェーハ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。

- そこで、研磨パッドの表面温度を調整するためにパッド温度調整装置が従来から使用されている。図25は、従来のパッド温度調整装置を示す模式図である。
- 図25に示すように、パッド温度調整装置は、研磨パッド103の表面に接触するパッド接触部材111と、パッド接触部材111に接続された流体供給管112を備えている。流体供給管112は、温水供給源に接続された温水供給管115と、冷水供給源に接続された冷水供給管116に分岐しており、温水供給管115および冷水供給管116には、温水バルブ120および冷水バルブ121がそれぞれ取り付けられている。温水バルブ120または冷水バルブ121のいずれかを閉じることにより、温水または冷水のいずれかが選択的にパッド接触部材111に供給されるようになっている。
- 20
- 25

図26は、温水バルブ120および冷水バルブ121の動作と、研磨パッド103の表面温度の変化を示す図である。温水バルブ120および冷水バルブ121は、研磨パッド103の表面温度に基づいて操作される。すなわち、研磨パッド103の表面温度が、予め設定された上限値を超えると、温水バルブ120が閉じられ、かつ冷水バルブ121が開かれる。同様に、研磨パッド103の表面温度が、予め設定された下限値を下回ると、冷水バルブ121が閉じられ、かつ温水バルブ120が開かれる。

【先行技術文献】

【特許文献】

10 【特許文献1】特開2015-044245号公報

しかしながら、パッド接触部材111に供給される液体が温水から冷水に切り替わっても、パッド接触部材111および流体供給管112に温水が残っている
ので、パッド接触部材111が冷えるまでにしばらく時間がかかる。同様に、パ
ッド接触部材111に供給される液体が冷水から温水に切り替わっても、パッド
15 接触部材111が暖められるまでにしばらく時間がかかる。このため、研磨パ
ッド103の表面温度の変化に大きなオーバーシュートおよびアンダーシュートが
生じる。結果として、研磨パッド103の表面温度が大きく変動する。

図27は、研磨パッド103の目標温度が60℃に設定されたときの、研磨パ
ッド103の表面温度の変化を示すグラフである。図27に示すように、研磨パ
20 ッド103の表面温度は、約20℃の幅で大きく変化している。図28は、P I
D制御のパラメータを調整した後の、研磨パッド103の表面温度の変化を示す
グラフである。この場合でも、研磨パッド103の表面温度は、ある程度の幅で
変化している。さらに、図29は、P I D制御のパラメータを調整した後に、目
標温度を60℃から50℃に変更した場合の、研磨パッド103の表面温度の変
25 化を示すグラフである。図29に示すように、研磨パッド103の表面温度は、
再び大きく変化している。

このように、従来のパッド温度調整装置では、ウェーハの研磨中に、研磨パ
ッド103の表面温度が大きく変動し、所望の研磨レート（除去レートともいう）

が得られないという問題があった。

発明の要旨

そこで、本発明は、研磨パッドの表面温度を所望の目標温度に保つことができる装置および方法を提供することを目的とする。

上述した目的を達成するために、本発明の一態様は、研磨パッドの表面温度を調整するための装置であって、前記研磨パッドの表面に接触可能であり、かつ加熱流路および冷却流路が内部に形成されたパッド接触部材と、前記加熱流路に接続された加熱液供給管と、前記冷却流路に接続された冷却液供給管と、前記加熱液供給管に取り付けられた第 1 流量制御バルブと、前記冷却液供給管に取り付けられた第 2 流量制御バルブと、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、前記研磨パッドの表面温度に基づいて、前記第 1 流量制御バルブおよび前記第 2 流量制御バルブを操作するバルブ制御部とを備えたことを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記加熱流路および前記冷却流路は、互いに隣接して延びており、かつ螺旋状に延びていることを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記加熱流路および前記冷却流路は、前記研磨パッドの周方向に沿って並んでいることを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記加熱流路および前記冷却流路は、前記研磨パッドの半径方向に関して対称であることを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記バルブ制御部は、目標温度と前記研磨パッドの表面温度との差を無くするために必要な前記第 1 流量制御バルブおよび前記第 2 流量制御バルブの操作量を決定することを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記第 1 流量制御バルブおよび前記第 2 流量制御バルブのそれぞれの操作量を 0 % から 100 % までの数値で表したときに、前記バルブ制御部は、前記第 1 流量制御バルブおよび前記第 2 流量制御バルブのうち一方の操作量を 100 % から引き算することで、前記第 1 流量制御バルブおよび前記第 2 流量制御バルブのうち他方の操作量を決定することを特徴とする。

本発明の一態様は、研磨パッドの表面温度を調整するための方法であって、前

記研磨パッドの表面にパッド接触部材を接触させながら、前記パッド接触部材内に形成された加熱流路および冷却流路に加熱液および冷却液をそれぞれ同時に流し、前記研磨パッドの表面温度に基づいて、加熱液および冷却液の流量を独立に制御することを特徴とする。

- 5 本発明の好ましい態様は、加熱液の流量と冷却液の流量の総和は一定に維持されることを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記加熱流路および前記冷却流路は、互いに隣接して延びており、かつ螺旋状に延びていることを特徴とする。

- 10 本発明によれば、パッド接触部材の加熱流路には加熱液のみが流れ、冷却流路には冷却液のみが流れる。加熱液および冷却液のそれぞれの流量は、研磨パッドの表面温度に基づいて制御される。このように、温水と冷水との切り替えではなく、加熱液および冷却液をそれぞれの専用の供給管で供給し、かつ流量をコントロールすることで、アナログ的な温度制御が可能となる。したがって、研磨パッドの表面温度を目標温度に安定して維持することができる。

15

図面の簡単な説明

図 1 は、研磨装置を示す模式図である。

図 2 は、パッド接触部材を示す水平断面図である。

- 20 図 3 は、研磨パッド上のパッド接触部材とトップリングとの位置関係を示す平面図である。

図 4 は、第 1 流量制御バルブおよび第 2 流量制御バルブの操作量と、流量との関係を示すグラフである。

図 5 は、バルブ制御部の動作を説明する図である。

図 6 は、パッド表面温度の変化と、各バルブの状態を示すグラフである。

- 25 図 7 は、パッド接触部材の他の実施形態を示す水平断面図である。

図 8 は、図 7 に示すパッド接触部材とトップリングとの位置関係を示す平面図である。

図 9 は、パッド接触部材のさらに他の実施形態を示す水平断面図である。

図 1 0 は、図 9 に示すパッド接触部材とトップリングとの位置関係を示す平面図である。

図 1 1 は、パッド接触部材のさらに他の実施形態を示す水平断面図である。

図 1 2 は、図 1 1 に示すパッド接触部材とトップリングとの位置関係を示す平面図である。

図 1 3 は、パッド接触部材のさらに他の実施形態を示す水平断面図である。

図 1 4 は、図 1 3 に示すパッド接触部材とトップリングとの位置関係を示す平面図である。

図 1 5 は、図 2 に示す渦巻き状の加熱流路および冷却流路を有するパッド接触部材を研磨パッドに接触させたときのパッド表面温度の変化を示す実験データである。

図 1 6 は、図 1 1 に示す半円状に延びる加熱流路および冷却流路を有するパッド接触部材を研磨パッドに接触させたときのパッド表面温度の変化を示す実験データである。

図 1 7 は、図 1 3 に示すジグザグ状の加熱流路および冷却流路を有するパッド接触部材を研磨パッドに接触させたときのパッド表面温度の変化を示す実験データである。

図 1 8 は、図 2 に示す渦巻き状の加熱流路および冷却流路を有するパッド接触部材を研磨パッドに接触させたときのパッド表面温度の分布を示すグラフである。

図 1 9 は、図 1 1 に示す半円状に延びる加熱流路および冷却流路を有するパッド接触部材を研磨パッドに接触させたときのパッド表面温度の分布を示すグラフである。

図 2 0 は、図 1 3 に示すジグザグ状の加熱流路および冷却流路を有するパッド接触部材を研磨パッドに接触させたときのパッド表面温度の分布を示すグラフである。

図 2 1 は、パッド温度調整装置を用いてウェーハを研磨する一実施形態を説明する図である。

図 2 2 は、パッド温度調整装置の他の実施形態を示す図である。

図 2 3 は、パッド温度調整装置のさらに他の実施形態を示す図である。

図 2 4 は、パッド温度調整装置のさらに他の実施形態を示す図である。

図 2 5 は、従来のパッド温度調整装置を示す模式図である。

図 2 6 は、温水バルブおよび冷水バルブの動作と、研磨パッドの表面温度の変化を示す図である。

図 2 7 は、研磨パッドの目標温度が 6 0℃に設定されたときの、研磨パッドの表面温度の変化を示すグラフである。

図 2 8 は、P I D制御のパラメータを調整した後の、研磨パッドの表面温度の変化を示すグラフである。

図 2 9 は、P I D制御のパラメータを調整した後に、目標温度を 6 0℃から 5 0℃に変更した場合の、研磨パッドの表面温度の変化を示すグラフである。

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、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ェーハ W を保持して回転させるトップリング 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、ウェーハ W を研磨する研磨面を構成する。

トップリング 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。ウェーハ W は、トップリング 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、トップリング 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。

ウェーハ W の研磨は次のようにして行われる。研磨されるウェーハ W は、トップリング 1 によって保持され、さらにトップリング 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、さらにウェーハWの表面は、トップリング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。ウェーハWの表面は、研磨液の存在下での研磨パッド3との摺接により研磨される。ウェーハWの表面は、研磨液の化学的作用と研磨液に含まれる砥粒の機械的作用により平坦化される。

パッド温度調整装置5は、研磨パッド3の表面に接触可能なパッド接触部材11と、温度調整された加熱液および冷却液をパッド接触部材11に供給する液体供給システム30とを備えている。この液体供給システム30は、温度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とパッド接触部材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、他方の端部はパッド接触部材11に接続されている。

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を通じてパッド接触部材11に供給され、パッド接触部材11内を流れ、そしてパッド接触部材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とパッド接触部材11との間を循環する。加熱液供給タンク31は、ヒータ（図示せず）を有しており、加熱液はヒータにより所定の温度に加熱される。

加熱液供給管32には、第1開閉バルブ41および第1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、パッド接触部材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42は、流量調整機能を有するバルブである。

液体供給システム30は、パッド接触部材11に接続された冷却液供給管51および冷却液排出管52をさらに備えている。冷却液供給管51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 を通じてパッド接触部材 1 1 に供給され、パッド接触部材 1 1 内を流れ、そしてパッド接触部材 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、パッド接触部材 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てもよい。

5 冷却液供給管 5 1 には、第 2 開閉バルブ 5 5 および第 2 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、パッド接触部材 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。

10 パッド温度調整装置 5 は、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 3 9 と、パッド温度測定器 3 9 に
より測定されたパッド表面温度に基づいて第 1 流量制御バルブ 4 2 および第 2 流
量制御バルブ 5 6 を操作するバルブ制御部 4 0 とをさらに備えている。第 1 開閉
バルブ 4 1 および第 2 開閉バルブ 5 5 は、通常は開かれている。パッド温度測定
15 器 3 9 として、非接触で研磨パッド 3 の表面温度を測定することができる放射温
度計を使用することができる。

パッド温度測定器 3 9 は、非接触で研磨パッド 3 の表面温度を測定し、その測
定値をバルブ制御部 4 0 に送る。バルブ制御部 4 0 は、パッド表面温度が、予め
設定された目標温度に維持されるように、測定されたパッド表面温度に基づいて、
20 第 1 流量制御バルブ 4 2 および第 2 流量制御バルブ 5 6 を操作することで、加熱
液および冷却液の流量を制御する。第 1 流量制御バルブ 4 2 および第 2 流量制御
バルブ 5 6 は、バルブ制御部 4 0 からの制御信号に従って動作し、パッド接触部
材 1 1 に供給される加熱液の流量および冷却液の流量を調整する。パッド接触部
材 1 1 を流れる加熱液および冷却液と研磨パッド 3 との間で熱交換が行われ、こ
25 れによりパッド表面温度が変化する。

このようなフィードバック制御により、研磨パッド 3 の表面温度（パッド表面
温度）は、所定の目標温度に維持される。バルブ制御部 4 0 としては、P I D コ
ントローラを使用することができる。研磨パッド 3 の目標温度は、ウェーハ W の

種類または研磨プロセスに応じて決定され、決定された目標温度は、バルブ制御部40に予め入力される。

パッド表面温度を所定の目標温度に維持するために、ウェーハWの研磨中、パッド接触部材11は、研磨パッド3の表面（すなわち研磨面）に接触する。本明細書において、パッド接触部材11が研磨パッド3の表面に接触する態様には、パッド接触部材11が研磨パッド3の表面に直接接触する態様のみならず、パッド接触部材11と研磨パッド3の表面との間に研磨液（スラリー）が存在した状態でパッド接触部材11が研磨パッド3の表面に接触する態様も含まれる。いずれの態様においても、パッド接触部材11を流れる加熱液および冷却液と研磨パッド3との間で熱交換が行われ、これによりパッド表面温度が制御される。

パッド接触部材11に供給される加熱液としては、温水が使用される。温水は、加熱液供給タンク31のヒータにより、例えば約80℃に加熱される。より速やかに研磨パッド3の表面温度を上昇させる場合には、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には、シリコンオイルは加熱液供給タンク31のヒータにより100℃以上（例えば、約120℃）に加熱される。パッド接触部材11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51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を使用してもよい。この場合は、パッド接触部材11内を流れた冷水を、冷却液排出管52を通じてチラーに戻してもよい。

加熱液供給管32および冷却液供給管51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、同時にパッド接触部材11に供給される。加熱液戻り管33および冷却液排出管52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31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。

次に、パッド接触部材 1 1 について、図 2 を参照して説明する。図 2 は、パッド接触部材 1 1 を示す水平断面図である。図 2 に示すように、パッド接触部材 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。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。本実施形態では、加熱流路 6 1 は、冷却流路 6 2 よりも短い。

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 の入口 6 1 a, 6 2 a は、パッド接触部材 1 1 の周縁部に位置しており、加熱流路 6 1 および冷却流路 6 2 の出口 6 1 b, 6 2 b は、パッド接触部材 1 1 の中心部に位置している。したがって、加熱液および冷却液は、パッド接触部材 1 1 の周縁部から中心部に向かって螺旋状に流れる。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、パッド接触部材 1 1 内で加熱液および冷却液が混合されることはない。

図 3 は、研磨パッド 3 上のパッド接触部材 1 1 とトップリング 1 との位置関係を示す平面図である。パッド接触部材 1 1 は、上から見たときに円形であり、パッド接触部材 1 1 の直径はトップリング 1 の直径よりも小さい。研磨パッド 3 の回転中心からパッド接触部材 1 1 の中心までの距離は、研磨パッド 3 の回転中心からトップリング 1 の中心までの距離と同じである。加熱流路 6 1 および冷却流路 6 2 は、互いに隣接しているので、加熱流路 6 1 および冷却流路 6 2 は、研磨パッド 3 の径方向のみならず、研磨パッド 3 の周方向に沿って並んでいる。したがって、研磨テーブル 2 および研磨パッド 3 が回転している間、パッド接触部材 1 1 に接触する研磨パッド 3 は、加熱液および冷却液の両方と熱交換を行う。

バルブ制御部 4 0 は、予め設定された目標温度と、測定された研磨パッド 3 の表面温度との差を無くすために必要な第 1 流量制御バルブ 4 2 の操作量および第

2 流量制御バルブ 5 6 の操作量を決定するように構成されている。第 1 流量制御
バルブ 4 2 の操作量および第 2 流量制御バルブ 5 6 の操作量は、言い換えれば、
バルブ開度である。第 1 流量制御バルブ 4 2 の操作量は、加熱液の流量に比例し、
第 2 流量制御バルブ 5 6 の操作量は、冷却液の流量に比例する。好ましくは、図
5 4 に示すように、第 1 流量制御バルブ 4 2 の操作量は、加熱液の流量に正比例し、
第 2 流量制御バルブ 5 6 の操作量は、冷却液の流量に正比例する。

図 5 は、バルブ制御部 4 0 の動作を説明する図である。第 1 流量制御バルブ 4
2 および第 2 流量制御バルブ 5 6 のそれぞれの操作量を 0 % から 1 0 0 % までの
数値で表したときに、バルブ制御部 4 0 は、第 1 流量制御バルブ 4 2 の操作量を
10 1 0 0 % から引き算することで、第 2 流量制御バルブ 5 6 の操作量を決定するよ
うに構成されている。一実施形態では、バルブ制御部 4 0 は、第 2 流量制御バル
ブ 5 6 の操作量を 1 0 0 % から引き算することで、第 1 流量制御バルブ 4 2 の操
作量を決定してもよい。

第 1 流量制御バルブ 4 2 の操作量が 1 0 0 % であることは、第 1 流量制御バル
ブ 4 2 が全開であることを示し、第 1 流量制御バルブ 4 2 の操作量が 0 % である
ことは、第 1 流量制御バルブ 4 2 が完全に閉じられていることを示している。同
様に、第 2 流量制御バルブ 5 6 の操作量が 1 0 0 % であることは、第 2 流量制御
バルブ 5 6 が全開であることを示し、第 2 流量制御バルブ 5 6 の操作量が 0 % で
あることは、第 2 流量制御バルブ 5 6 が完全に閉じられていることを示している。

20 第 1 流量制御バルブ 4 2 の操作量が 1 0 0 % であるときの加熱液の流量は、第
2 流量制御バルブ 5 6 の操作量が 1 0 0 % であるときの冷却液の流量と同じであ
る。したがって、第 1 流量制御バルブ 4 2 を通過する加熱液の流量と、第 2 流量
制御バルブ 5 6 を通過する冷却液の流量との合計は、常に一定である。

図 6 は、パッド表面温度の変化と、各バルブの状態を示すグラフである。図 6
25 に示すように、第 1 流量制御バルブ 4 2 の操作量と、第 2 流量制御バルブ 5 6 の
操作量との総和が 1 0 0 % となるように、第 1 流量制御バルブ 4 2 および第 2 流
量制御バルブ 5 6 が操作される。このように、加熱液の流量と冷却液の流量の総
和が一定に保たれるので、パッド表面温度のハンチングが防止される。

本実施形態によれば、パッド接触部材 1 1 の加熱流路 6 1 には加熱液のみが流れ、冷却流路 6 2 には冷却液のみが流れる。加熱液および冷却液のそれぞれの流量は、研磨パッド 3 の表面温度に基づいて制御される。つまり、第 1 流量制御バルブ 4 2 および第 2 流量制御バルブ 5 6 は、研磨パッド 3 の表面温度と目標温度との差に基づいて動作する。したがって、研磨パッド 3 の表面温度を目標温度に安定して維持することができる。

図 7 は、パッド接触部材 1 1 の他の実施形態を示す水平断面図であり、図 8 は、図 7 に示すパッド接触部材 1 1 とトップリング 1 との位置関係を示す平面図である。図 2 に示す実施形態と同じように、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。さらに、加熱流路 6 1 および冷却流路 6 2 は、点対称な形状を有し、互いに同じ長さを有している。

図 9 は、パッド接触部材 1 1 のさらに他の実施形態を示す水平断面図であり、図 1 0 は、図 9 に示すパッド接触部材 1 1 とトップリング 1 との位置関係を示す平面図である。図 2 に示す実施形態と同じように、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。さらに、加熱流路 6 1 および冷却流路 6 2 は、点対称な形状を有し、互いに同じ長さを有している。

図 9 に示すように、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 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 1 は、パッド接触部材 1 1 のさらに他の実施形態を示す水平断面図であり、図 1 2 は、図 1 1 に示すパッド接触部材 1 1 とトップリング 1 との位置関係を示

す平面図である。加熱流路 6 1 および冷却流路 6 2 は、それぞれ半円領域内に配置された、入り組んだ流路から構成されている。加熱流路 6 1 および冷却流路 6 2 は、研磨パッド 3 の半径方向を中心として対称である。加熱流路 6 1 および冷却流路 6 2 は、研磨パッド 3 の周方向に沿って配列されている。したがって、研磨テーブル 2 が回転しているとき、加熱流路 6 1 および冷却流路 6 2 が配置される 2 つの半円領域は、研磨パッド 3 の表面内の同一領域に接触する。

図 1 3 は、パッド接触部材 1 1 のさらに他の実施形態を示す水平断面図であり、図 1 4 は、図 1 3 に示すパッド接触部材 1 1 とトップリング 1 との位置関係を示す平面図である。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
10 並んで）延びており、かつジグザグに延びている。さらに、加熱流路 6 1 および冷却流路 6 2 は、点対称な形状を有し、互いに同じ長さを有している。本実施形態においても、加熱流路 6 1 および冷却流路 6 2 は、研磨パッド 3 の周方向に沿って配列されている。

図 1 5 は、図 2 に示す渦巻き状の加熱流路 6 1 および冷却流路 6 2 を有するパ
15 ッド接触部材 1 1 を研磨パッド 3 に接触させたときのパッド表面温度の変化を示す実験データである。この実験では、第 1 流量制御バルブ 4 2 の操作量と、第 2 流量制御バルブ 5 6 の操作量との総和が 1 0 0 % となるように、第 1 流量制御バルブ 4 2 および第 2 流量制御バルブ 5 6 を操作した。目標温度は、4 0 °C、5 0 °C、6 0 °C であった。図 1 5 から分かるように、研磨パッド 3 の表面温度は、
20 大きなハンチングを伴うことなく、各目標温度に維持された。

図 1 6 は、図 1 1 に示す半円状に延びる加熱流路 6 1 および冷却流路 6 2 を有するパッド接触部材 1 1 を研磨パッド 3 に接触させたときのパッド表面温度の変化を示す実験データである。この実験でも、第 1 流量制御バルブ 4 2 の操作量と、第 2 流量制御バルブ 5 6 の操作量との総和が 1 0 0 % となるように、第 1 流量制
25 御バルブ 4 2 および第 2 流量制御バルブ 5 6 を操作した。目標温度は、4 0 °C、5 0 °C、6 0 °C であった。図 1 6 から分かるように、研磨パッド 3 の表面温度は、大きなハンチングを伴うことなく、各目標温度に維持された。

図 1 7 は、図 1 3 に示すジグザグ状の加熱流路 6 1 および冷却流路 6 2 を有す

るパッド接触部材 1 1 を研磨パッド 3 に接触させたときのパッド表面温度の変化を示す実験データである。この実験でも、第 1 流量制御バルブ 4 2 の操作量と、第 2 流量制御バルブ 5 6 の操作量との総和が 1 0 0 % となるように、第 1 流量制御バルブ 4 2 および第 2 流量制御バルブ 5 6 を操作した。目標温度は、4 0 ℃、5 5 0 ℃、6 0 ℃であった。図 1 7 から分かるように、研磨パッド 3 の表面温度は、大きなハンチングを伴うことなく、各目標温度に維持された。

次に、パッド表面温度の均一性について調べた実験結果を説明する。図 1 8 は、図 2 に示す渦巻き状の加熱流路 6 1 および冷却流路 6 2 を有するパッド接触部材 1 1 を研磨パッド 3 に接触させたときのパッド表面温度の分布を示すグラフである。図 1 9 は、図 1 1 に示す半円状に延びる加熱流路 6 1 および冷却流路 6 2 を有するパッド接触部材 1 1 を研磨パッド 3 に接触させたときのパッド表面温度の分布を示すグラフである。図 2 0 は、図 1 3 に示すジグザグ状の加熱流路 6 1 および冷却流路 6 2 を有するパッド接触部材 1 1 を研磨パッド 3 に接触させたときのパッド表面温度の分布を示すグラフである。図 1 8 乃至図 2 0 において、パッド表面温度の分布は、研磨パッド 3 の半径方向の分布を表している。

図 1 8 乃至図 2 0 に示す実験は、全て同じ条件で実施した。研磨パッド 3 の表面の目標温度は 5 5 ℃であった。研磨テーブル 2 の中心からパッド接触部材 1 1 の中心までの距離は、研磨テーブル 2 の中心からトップリング 1 の中心までの距離と同じであった。図 1 8 乃至図 2 0 に示す実験から分かるように、パッド表面温度の均一性に関して、半円状に延びる加熱流路 6 1 および冷却流路 6 2 を有するパッド接触部材 1 1 は、巻き状の加熱流路 6 1 および冷却流路 6 2 を有するパッド接触部材 1 1 よりも良好であり、巻き状の加熱流路 6 1 および冷却流路 6 2 を有するパッド接触部材 1 1 はジグザグ状の加熱流路 6 1 および冷却流路 6 2 を有するパッド接触部材 1 1 よりも良好であった。

次に、パッド温度調整装置 5 を用いてウェーハ W を研磨する一実施形態について図 2 1 を参照して説明する。以下に説明する実施形態では、ウェーハ W の研磨中に、研磨パッド 3 の表面の目標温度を第 1 目標温度から第 2 目標温度に変化させるが、一実施形態では、ウェーハ W の研磨中に目標温度を一定に維持してもよ

い。

本実施形態では、ウェーハWの研磨が開始される前に、パッド接触部材11を研磨パッド3の表面（研磨面）に接触させ、研磨パッド3の表面を予め加熱する（前加熱工程）。この前加熱工程では、研磨パッド3の表面の目標温度は最大値に設定される。パッド表面温度が第1目標温度を上回ると、研磨パッド3の表面の目標温度は最大値から第1目標温度に切り替えられる。第1目標温度は、最大値よりも低い温度である。さらに、ウェーハWが研磨パッド3の表面に接触し、ウェーハWの研磨が開始される（第1研磨工程）。研磨パッド3の表面は、ウェーハWの研磨が開始される前に予め加熱されているので、高い研磨レートでウェーハWの研磨を開始することができる。

第1研磨工程が開始されてから所定の時間が経過したとき、またはウェーハWの膜厚が所定の値に達したとき、ウェーハWが研磨パッド3に接触したまま、研磨パッド3の表面の目標温度は、第1目標温度から第2目標温度に変えられる。研磨パッド3の表面温度が第2目標温度に維持された状態でウェーハWが研磨される（第2研磨工程）。

本実施形態によれば、研磨パッド3の表面温度を第2目標温度よりも高い第1目標温度に維持しながら第1研磨工程が行われるので、高い研磨レートでウェーハWを研磨することができる。第2研磨工程では、低い研磨レートでウェーハWが研磨されるので、ウェーハWの膜厚プロファイルを精密に調整することができる。

図22は、パッド温度調整装置5の他の実施形態を示す図である。特に説明しない本実施形態の構成および動作は、図2に示すパッド温度調整装置5と同じであるので、その重複する説明を省略する。なお、図22では、トップリング1および研磨液供給ノズル4の図示は省略されている。図22に示すように、複数のパッド温度測定器39が研磨パッド3の半径方向に沿って配列されている。本実施形態では、3つのパッド温度測定器39が配置されているが、2つでもよく、または4つ以上でもよい。複数のパッド温度測定器39は、バルブ制御部40に接続されている。

パッド接触部材 11 は、スライド機構 71 に保持されている。このスライド機構 71 は、パッド接触部材 11 の下面（すなわちパッド接触面）が研磨パッド 3 の表面に接触した状態で、パッド接触部材 11 を研磨パッド 3 の半径方向に移動させることが可能に構成されている。スライド機構 71 としては、サーボモータ
5 とボールねじ機構との組み合わせ、またはエアシリンダなどから構成される。

バルブ制御部 40 は、パッド温度測定器 39 によって測定されたパッド表面温度に基づいて、パッド表面温度の分布が目標温度分布となるようにスライド機構 71 を操作する。このように、パッド表面温度の分布を制御することにより、研磨パッド 3 上で研磨されるウェーハ W の膜厚プロファイルを制御することができる。
10 る。

図 23 は、パッド温度調整装置 5 のさらに他の実施形態を示す図である。研磨パッド 3 を急速に温めたい、または冷やしたい場合、パッド接触部材 11 内に残っている冷却水液または加熱液が急加熱、急冷却の妨げとなる。図 23 に示す実施形態は、研磨パッド 3 を急速に加熱する、および急速に冷却するのに適してい
15 る。

図 23 に示すように、パッド温度調整装置 5 は、パッド接触部材 11 の加熱流路 61 および冷却流路 62 にそれぞれ接続された第 1 加熱液供給管 32A および第 2 加熱液供給管 32B と、パッド接触部材 11 の加熱流路 61 および冷却流路 62 にそれぞれ接続された第 1 加熱液戻り管 33A および第 2 加熱液戻り管 33B を備えている。第 2 加熱液供給管 32B は加熱液供給タンク 31 に接続されており、第 1 加熱液供給管 32A は第 2 加熱液供給管 32B から分岐している。第 1 加熱液戻り管 33A および第 2 加熱液戻り管 33B は、加熱液供給タンク 31 に接続されている。
20

冷却液供給管 51 は第 1 加熱液供給管 32A に接続されており、冷却液排出管 52 は第 1 加熱液戻り管 33A に接続されている。冷却液供給管 51 から分岐する第 1 分岐管 81 は第 2 加熱液供給管 32B に接続され、冷却液排出管 52 から分岐する第 2 分岐管 84 は第 2 加熱液戻り管 33B に接続されている。
25

第 1 加熱液供給管 32A には、開閉バルブ V1 および流量制御バルブ R1 が設

けられており、第2加熱液供給管3 2 Bには、開閉バルブV 5および流量制御バルブR 2が設けられている。冷却液供給管5 1には開閉バルブV 2が設けられ、冷却液排出管5 2には開閉バルブV 4が設けられている。第1加熱液戻り管3 3 Aには開閉バルブV 3が設けられ、第2加熱液戻り管3 3 Bには開閉バルブV 7
5 が設けられている。さらに、第1分岐管8 1には開閉バルブV 6が設けられ、第2分岐管8 4には開閉バルブV 8が設けられている。これら全ての開閉バルブおよび流量制御バルブはバルブ制御部4 0に接続されており、バルブ制御部4 0によって操作される。

研磨パッド3を急速に加熱する場合は、バルブ制御部4 0は、開閉バルブV 1,
10 V 3, V 5, V 7を開き、開閉バルブV 2, V 4, V 6, V 8を閉じる。流量制御バルブR 1, R 2は全開とされる。加熱液は、第1加熱液供給管3 2 Aおよび第2加熱液供給管3 2 Bを通してパッド接触部材1 1の加熱流路6 1および冷却流路6 2の両方に供給され、さらに第1加熱液戻り管3 3 Aおよび第2加熱液戻り管3 3 Bを通して加熱液供給タンク3 1に戻される。このように、パッド接触
15 部材1 1の加熱流路6 1および冷却流路6 2の両方に加熱液が供給されるので、パッド接触部材1 1は研磨パッド3を急速に加熱することができる。

研磨パッド3の表面温度がしきい値を超えると、バルブ制御部4 0は、開閉バルブV 1, V 3を開いたままにしつつ、開閉バルブV 6, V 8を開き、さらに開閉バルブV 2, V 4を閉じたままにしつつ、開閉バルブV 5, V 7を閉じる。流
20 量制御バルブR 1, R 2は、目標温度と研磨パッド3の表面温度との差に基づいてバルブ制御部4 0によってPID制御される。

研磨パッド3を急速に冷却する場合は、バルブ制御部4 0は、開閉バルブV 1, V 3, V 5, V 7を閉じ、開閉バルブV 2, V 4, V 6, V 8を開く。流量制御バルブR 1, R 2は全開とされる。冷却液は、冷却液供給管5 1、第1加熱液供給管3 2 A、第1分岐管8 1、および第2加熱液供給管3 2 Bを通してパッド接触部材1 1の加熱流路6 1および冷却流路6 2の両方に供給される。さらに、冷却液は、第1加熱液戻り管3 3 A、第2加熱液戻り管3 3 B、第2分岐管8 4、および冷却液排出管5 2を通して排出される。このように、パッド接触部材1 1
25

の加熱流路 6 1 および冷却流路 6 2 の両方に冷却液が供給されるので、パッド接触部材 1 1 は研磨パッド 3 を急速に冷却することができる。

研磨パッド 3 の表面温度がしきい値を下回ると、バルブ制御部 4 0 は、開閉バルブ V 5, V 7 を閉じたままにしつつ、開閉バルブ V 1, V 3 を開き、さらに開
5 閉バルブ V 6, V 8 を開いたままにしつつ、開閉バルブ V 2, V 4 を閉じる。流量制御バルブ R 1, R 2 は、目標温度と研磨パッド 3 の表面温度との差に基づいてバルブ制御部 4 0 によって P I D 制御される。

パッド温度調整装置 5 の動作が、上述したパッド急速冷却動作から通常のパッド温度制御動作に切り替わるとき、開閉バルブ V 3 を開くタイミングが早過ぎると、冷却液が加熱液供給タンク 3 1 に流れ込み、パッド接触部材 1 1 に供給される加熱液の温度が低下するおそれがある。そこで、図 2 4 に示すように、温度センサまたは熱電対などの温度検出器 9 0 を第 1 加熱液戻り管 3 3 A に取り付けることが好ましい。温度検出器 9 0 は、パッド接触部材 1 1 と開閉バルブ V 3 との間に配置される。好ましくは、温度検出器 9 0 は、開閉バルブ V 3 の近傍に配置
10 される。温度検出器 9 0 は、バルブ制御部 4 0 に接続されている。

研磨パッド 3 の急速冷却中、開閉バルブ V 2, V 4, V 6, V 8 は開かれており、開閉バルブ V 1, V 3, V 5, V 7 は閉じられている。パッド表面温度が上述したしきい値を下回ると、開閉バルブ V 1 は開かれるが、開閉バルブ V 3 は直ちには開かれない。第 1 加熱液戻り管 3 3 A を流れる液体の温度が設定値以上であることを温度検出器 9 0 が検出すると、バルブ制御部 4 0 は、開閉バルブ V 3
20 を開き、開閉バルブ V 4 を閉じる。このような操作により、パッド接触部材 1 1 および第 1 加熱液戻り管 3 3 A に残留する冷却液が加熱液供給タンク 3 1 に流れ込むことを防止することができる。

第 1 加熱液供給管 3 2 A および第 1 加熱液戻り管 3 3 A を流れる液体を加熱液
25 から冷却液に切り替える場合は、第 1 加熱液戻り管 3 3 A を流れる液体の温度が設定値（上述の設定値と異なる）以下となったことを温度検出器 9 0 が検出するまで、開閉バルブ V 3 を開いたままにしておいて加熱液を加熱液供給タンク 3 1 に戻してもよい。このような操作により、加熱液を捨てる量を減らし、加熱液を

効率よく循環することができる。

- 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ことである。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。
- 5

特許請求の範囲

1. 研磨パッドの表面温度を調整するための装置であって、
前記研磨パッドの表面に接触可能であり、かつ加熱流路および冷却流路が内部
5 に形成されたパッド接触部材と、
前記加熱流路に接続された加熱液供給管と、
前記冷却流路に接続された冷却液供給管と、
前記加熱液供給管に取り付けられた第1流量制御バルブと、
前記冷却液供給管に取り付けられた第2流量制御バルブと、
10 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、
前記研磨パッドの表面温度に基づいて、前記第1流量制御バルブおよび前記第
2流量制御バルブを操作するバルブ制御部とを備えたことを特徴とする装置。
2. 前記加熱流路および前記冷却流路は、互いに隣接して延びており、かつ螺
15 旋状に延びていることを特徴とする請求項1に記載の装置。
3. 前記加熱流路および前記冷却流路は、前記研磨パッドの周方向に沿って並
んでいることを特徴とする請求項2に記載の装置。
- 20 4. 前記加熱流路および前記冷却流路は、前記研磨パッドの半径方向に関して
対称であることを特徴とする請求項1に記載の装置。
5. 前記バルブ制御部は、目標温度と前記研磨パッドの表面温度との差を無く
すために必要な前記第1流量制御バルブおよび前記第2流量制御バルブの操作量
25 を決定することを特徴とする請求項1に記載の装置。
6. 前記第1流量制御バルブおよび前記第2流量制御バルブのそれぞれの操作
量を0%から100%までの数値で表したときに、前記バルブ制御部は、前記第

- 1 流量制御バルブおよび前記第2流量制御バルブのうち一方の操作量を100%から引き算することで、前記第1流量制御バルブおよび前記第2流量制御バルブのうち他方の操作量を決定することを特徴とする請求項1に記載の装置。
- 5 7. 研磨パッドの表面温度を調整するための方法であって、
前記研磨パッドの表面にパッド接触部材を接触させながら、前記パッド接触部材内に形成された加熱流路および冷却流路に加熱液および冷却液をそれぞれ同時に流し、
前記研磨パッドの表面温度に基づいて、加熱液および冷却液の流量を独立に制御することを特徴とする方法。
- 10 8. 加熱液の流量と冷却液の流量の総和は一定に維持されることを特徴とする請求項7に記載の方法。
- 15 9. 前記加熱流路および前記冷却流路は、互いに隣接して延びており、かつ螺旋状に延びていることを特徴とする請求項7に記載の方法。