

研磨装置

発明の背景

発明の技術分野

- 5 [0001] 本発明は、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する研磨装置に関し、特に、研磨パッドの表面温度を調整しながら基板を研磨する研磨装置に関する。

関連技術の記載

- 10 [0002] CMP（Chemical Mechanical Polishing）装置は、半導体デバイスの製造において、基板の表面を研磨する工程に使用される。CMP装置は、基板を研磨ヘッドで保持して基板を回転させ、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。研磨中、研磨パッドには研磨液（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 [0003] 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（すなわち、研磨面の温度）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更に一定に保つために、基板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。なお、本明細書では、研磨パッドの表面温度を「パッド温度」と称することがある。

- 25 [0004] そこで、パッド温度を調整するための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1参照）。特許文献1に記載のパッド温度調整装置は、研磨パッドの表面に加熱流体を噴射するパッド加熱機と、研磨パッドの表面に冷却流体を噴射するパッド冷却機と、を備えている。パッド加熱機およびパッド冷却機にそれぞれ供給される加熱流体の流量と冷却流体の流量とを調整することで、基板研磨中のパッド温度を所望の温度に調整および維持することができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

[0005]

【特許文献 1】 日本国特開 2 0 2 2 - 1 7 0 6 4 8 号公報

5 発明の要旨

[0006] 基板に対する研磨液の化学的作用は温度に依存するため、一般に、パッド温度が低下すると基板の研磨レートは低下する。一方で、研磨パッドの種類によっては、パッド温度が低下することで研磨パッドの硬さが増加して、研磨レートが増加することもある。

10 [0007] そこで、近年、研磨レートをより精密に制御するために、および研磨後の基板の面内均一性を向上させるために、パッド温度を常温（例えば、研磨パッド周辺の雰囲気温度）よりも低い温度（例えば、0℃）まで低下させたいとの要望がある。さらに、同様の理由から、研磨装置のユーザーが、一旦高い温度まで上昇されたパッド温度を素早く目標温度まで低下させたいとの要望を有
15 することがある。

[0008]そこで、パッド温度を素早く常温よりも低い温度まで低下させることで、研磨レートを精密に制御することが可能な研磨装置を提供する。

[0009] 一態様では、研磨パッドを支持する回転可能な研磨テーブルと、基板を前記回転する研磨パッドの研磨面に押し付けて前記基板を研磨する研磨ヘッド
20 と、前記研磨面の温度を測定する少なくとも 1 つのパッド温度測定器と、前記研磨面の温度を調整するパッド温度調整装置と、前記少なくとも 1 つのパッド温度測定器によって測定された前記研磨面の温度に基づいて前記パッド温度調整装置の動作を制御する制御装置と、を備え、前記パッド温度調整装置は、前記研磨面に冷却剤を噴射する少なくとも 1 つの冷却ノズルと、前記研磨面にド
25 ライガスを噴射する少なくとも 1 つのガスノズルと、を含み、前記冷却剤は、雰囲気温度以下の沸点を有する、研磨装置が提供される。

[0010] 一態様では、前記冷却ノズルは、前記研磨テーブルの回転方向で見て、前記研磨ヘッドと前記ガスノズルとの間に配置されている。

一態様では、前記少なくとも 1 つの冷却ノズルは、前記研磨テーブルの半径

方向に分割された複数の領域のそれぞれに対応して配置された複数の冷却ノズルであり、前記制御装置は、各冷却ノズルに供給される前記冷却剤の流量を制御することで、前記複数の領域のそれぞれの温度を独立して制御する。

- 一態様では、前記少なくとも 1 つのパッド温度測定器は、前記複数の領域の
5 それぞれの温度を測定可能な複数のパッド温度測定器である。

[0011] 一態様では、前記パッド温度調整装置は、前記研磨面を加熱する加熱機をさらに備え、前記加熱機は、前記研磨テーブルの回転方向で見て、前記研磨ヘッドと前記少なくとも 1 つの冷却ノズルとの間に配置されている。

一態様では、前記冷却剤は、ドライアイスである。

- 10 [0012] パッド温度を低下させるために雰囲気温度以下の沸点を有する冷却剤が用いられるので、雰囲気温度よりも低いパッド温度で基板を研磨できる。すなわち、研磨装置は、従来の研磨装置よりも広い温度制御範囲でパッド温度を制御しながら、基板を研磨することができる。さらに、パッド温度を速やかに低下させることができるので、従来の研磨装置よりも精密に基板を研磨すること
15 ができるとともに、研磨後の基板の面内均一性を向上させることができる。

図面の簡単な説明

[0013] 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 2 は、一実施形態に係る冷却機を示す模式図である。

- 20 図 3 は、一実施形態に係るガス噴射機を示す模式図である。

図 4 は、一実施形態に係る冷却ノズルとガスノズルの配置例を示す模式図である。

図 5 は、冷却ノズルから噴射される冷却剤を含む圧送ガスを示す模式図である。

- 25 図 6 (A) は、他の実施形態に係る冷却ノズルを示す模式図であり、図 6 (B) は、図 6 (A) に示す冷却ノズルの模式断面図である。

図 7 は、一実施形態に係る加熱機を示す模式図である。

図 8 は、研磨パッドに対する冷却ノズルの傾きおよび高さを調整可能な位置調整機構の一例を示す模式図である。

図 9 は、位置調整機構の他の例を示す模式図である。

図 10 は、加熱機の加熱ノズル、冷却機の冷却ノズル、およびガス噴射機のガスノズルが一体に形成された共通ノズルを示す模式図である。

5 実施形態の説明

[0014] 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 の表面の温度を測定するパッド温度測定器 10 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。

[0015] さらに、研磨装置は、パッド温度測定器 10 によって測定された研磨パッド 3 の研磨面の温度（すなわち、パッド温度）に基づいて、パッド温度調整装置 5 の動作を制御する制御装置 40 を有している。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。

[0016] 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。

[0017] 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、研磨液の存在下での研磨パッド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。

[0018] 図1に示すパッド温度調整装置5は、研磨パッド3の研磨面に冷却剤を
5 噴射して該研磨面を冷却するための冷却機50と、研磨面にドライガスを噴射するガス噴射機60と、を備えている。冷却機50は、研磨パッド3の上方に配置された少なくとも1つの冷却ノズルを含んでおり、該冷却ノズルから冷却剤が噴射される。冷却機50の構成については後述する。

[0019] 冷却剤は、パッド温度を低下させるために用いられる材料であり、雰囲気
10 気温度以下の沸点を有している。本明細書で、雰囲気気温度とは、特に指定しない限り研磨テーブル2および／または研磨パッド3の周辺温度に対応する。冷却剤の例としては、ドライアイスなどの常温常圧下で昇華する固体、および液化ガス（例えば、液体窒素、液体酸素、液体ヘリウム、液化炭酸ガス、および液体水素）などの液体が挙げられる。しかしながら、冷却剤の種類は、これら
15 の例に限定されない。冷却剤の態様は、冷却剤が雰囲気気温度以下の沸点を有する限り、液体、固体、および気体のいずれであってもよい。本実施形態では、冷却剤として二酸化炭素が固化したドライアイスが用いられている。ドライアイスは、常温常圧下では、 -78.5°C の沸点（昇華点）を有し、直接気体に昇華する材料である。また、ドライアイスは、市場で入手しやすい比較的安価
20 な材料である。

[0020] 図2は、一実施形態に係る冷却機を示す模式図である。図2に示す冷却
機50は、複数の（図2では、6つの）冷却ノズル51と、冷却剤源52と、
冷却ノズル51と冷却剤源52とを連結する冷却剤ライン53と、冷却剤ライ
ン53に配置された元弁54と、冷却剤ライン53に配置された冷却剤流量調
25 整器55と、冷却剤源52に連結された圧送ライン57と、を備えている。

[0021] 冷却剤源52は、例えば、上記した冷却剤を貯蔵するボンベなどの容器である。圧送ライン57は、所定の圧力を有する気体（以下、圧送ガスと称する）が流れるラインであり、この圧送ガスによって、冷却剤源52に貯蔵される冷却剤が冷却剤ライン53を介して冷却ノズル51まで搬送される。冷却ノ

ズル 5 1 からは、冷却剤が含まれる圧送ガスが噴射される。圧送ガスの種類は、冷却剤を冷却ノズル 5 1 まで搬送できる限り自由に選択できる。しかしながら、圧送ガスは、冷却剤および研磨液を変質させないように、さらに、ウェハ W に形成されたデバイスへ悪影響を及ぼさないように、窒素、アルゴン、およびヘリウムなどの不活性ガスであるのが好ましい。

[0022] 冷却剤ライン 5 3 は、冷却剤源 5 2 に連結された冷却剤主ライン 5 3 a と、冷却剤主ライン 5 3 a から分岐して各冷却ノズル 5 1 まで延びる冷却剤枝ライン 5 3 b と、から構成されている。元弁 5 4 は、冷却剤主ライン 5 3 a に配置されており、冷却剤流量調整器 5 5 は、冷却剤枝ライン 5 3 b のそれぞれに配置されている。

[0023] 元弁 5 4 と冷却剤流量調整器 5 5 とは、制御装置 4 0（図 1 参照）に連結されており、制御装置 4 0 は、元弁 5 4 と冷却剤流量調整器 5 5 との動作を制御する。各冷却剤流量調整器 5 5 は、冷却ノズル 5 1 の先端から噴射される冷却剤が含まれる圧送ガスの流量を制御可能に構成されている。本明細書では、冷却剤が含まれる圧送ガスを、単に「冷却剤」と称し、冷却剤が含まれる圧送ガスの流量を、単に「冷却剤の流量」と称することがある。

[0024] 冷却剤流量調整器 5 5 は、マスフローコントローラであってもよいし、電空レギュレータと流量計との組み合わせであってもよい。冷却剤流量調整器 5 5 が電空レギュレータと流量計との組み合わせの場合、制御装置 4 0 は、流量計の測定値に基づいて電空レギュレータの動作を制御して、冷却剤枝ライン 5 3 b を流れる、冷却剤を含む圧送ガスの圧力を調整する。冷却剤枝ライン 5 3 b を流れる圧送ガスの圧力を変更することで、冷却ノズル 5 1 から噴射される、冷却剤を含む圧送ガスの流量を変更できる。

[0025] 図示した例では、複数の冷却剤流量調整器 5 5 が冷却剤枝ライン 5 3 b に配置されている。しかしながら、1 つの冷却剤流量調整器 5 5 を冷却剤主ライン 5 3 a に配置してもよい。この場合、制御装置 4 0 は、冷却剤主ライン 5 3 a を流れる冷却剤を含む圧送ガスの流量を調整することで、各冷却ノズル 5 1 から噴射される冷却剤の流量を一括して制御する。

[0026] 冷却ノズル 5 1 は、その先端から冷却剤としての粒子状のドライアイス

を圧送ガスとともに噴射するように構成されている。本実施形態では、冷却剤ライン 5 3 は、該冷却剤ライン 5 3 の途中でドライアイスが完全に気化乃至液化しないように断熱性を有する。冷却剤流量調整器 5 5 は、粒子状の冷却剤を含む圧送ガスの流量を測定可能かつ調整可能に構成されている。このような冷却ノズル 5 1、冷却剤ライン 5 3、および冷却剤流量調整器 5 5 は、市場で入手可能であり、冷却ノズル 5 1 からは、例えば、 $0.1 \sim 200 \mu\text{m}$ の粒子径を有するドライアイス粒子が圧送ガスとともに噴射される。

[0027] 冷却剤は、ウェハ W の研磨中に冷却機 5 0 の冷却ノズル 5 1 から噴射される。冷却ノズル 5 1 から噴射された冷却剤によって、まず、研磨パッド 3 上の研磨液が冷却される。さらに、研磨液を通過して研磨パッド 3 の研磨面に到達した一部の冷却剤によって、研磨面が直接冷却される。すなわち、冷却剤は、研磨液を介して間接的に、さらに、直接的な接触によってパッド温度を素早く低下させることができる。その結果、パッド温度を効率よく低下させることができる。さらに、本実施形態では、冷却剤は、 0°C 以下の沸点を有するドライアイスなので、パッド温度を 0°C 以下の温度まで素早く低下させることも可能である。

[0028] 図 3 は、一実施形態に係るガス噴射機を示す模式図である。図 3 に示す実施形態では、ガス噴射機 6 0 は、研磨面にドライガスを噴射する複数の（図 3 では、6 つの）ドライガスノズル 6 1 と、ドライガス源 6 2 と、ドライガスノズル 6 1 とドライガス源 6 2 とを連結するドライガスライン 6 3 と、ドライガスライン 6 3 に配置されたドライガス弁 6 4 と、ドライガスライン 6 3 に配置されたドライガス流量調整器 6 5 と、を備えている。

[0029] ドライガスは、例えば、研磨テーブル 2 および／または研磨パッド 3 の周辺の雰囲気がある湿度よりも低い湿度を有する気体である。冷却剤および研磨液を変質させないように、さらに、ウェハ W に形成されたデバイスへ悪影響を及ぼさないように、ドライガスは、窒素、アルゴン、およびヘリウムなどの不活性ガスであるのが好ましい。あるいは、ドライガスは、ドライエアであってもよい。ドライガス源 6 2 は、例えば、研磨装置が配置される工場のユーティリティラインである。

[0030] ドライガスライン 6 3 は、ドライガス源 6 2 に連結されたドライガス主ライン 6 3 a と、ドライガス主ライン 6 3 a から分岐して各ドライガスノズル 6 1 まで延びるドライガス枝ライン 6 3 b と、から構成されている。ドライガス元弁 6 4 は、ドライガス主ライン 6 3 a に配置されており、ドライガス流量調整器 6 5 は、ドライガス枝ライン 6 3 b のそれぞれに配置されている。

[0031] ドライガス元弁 6 4 とドライガス流量調整器 6 5 とは、制御装置 4 0 (図 1 参照) に連結されており、制御装置 4 0 は、ドライガス元弁 6 4 とドライガス流量調整器 6 5 との動作を制御する。ドライガス流量調整器 6 5 は、ドライガスノズル 6 1 の先端から噴射されるドライガスの流量を制御可能に構成されている。ドライガス流量調整器 6 5 は、マスフローコントローラであってもよいし、電空レギュレータと流量計との組み合わせであってもよい。ドライガス流量調整器 6 5 が電空レギュレータと流量計との組み合わせの場合、制御装置 4 0 は、流量計の測定値に基づいて電空レギュレータの動作を制御して、ドライガス枝ライン 6 3 b を流れるドライガスの圧力を調整する。ドライガス枝ライン 6 3 b を流れるドライガスの圧力を変更することで、ドライガスノズル 6 1 から噴射されるドライガスの流量を変更できる。

[0032] 図示した例では、複数のドライガス流量調整器 6 5 がドライガス枝ライン 6 3 b に配置されている。しかしながら、1つのドライガス流量調整器 6 5 をドライガス主ライン 6 3 a に配置してもよい。この場合、制御装置 4 0 は、ドライガス主ライン 6 3 a を流れるドライガスの流量を調整することで、各ドライガスノズル 6 1 から噴射されるドライガスの流量を一括して制御する。

[0033] ドライガスは、冷却ノズル 5 1 から研磨パッド 3 に噴射された冷却剤が研磨テーブル 2 の回転によって研磨ヘッド 1 まで、すなわち、研磨中のウエハ W まで到達することを防止するためのガスである。粒子状冷却剤が研磨中のウエハ W まで到達すると、ウエハ W と研磨パッド 3 との間に粒子状冷却剤が挟まり、その結果、ウエハ W に形成されたデバイスを傷つけるおそれがある。冷却剤が液状である場合は、冷却剤がウエハ W に形成されたデバイスに悪影響を及ぼすおそれがある。そのため、ドライガスによって、冷却剤が気化する速度 (以下、「気化スピード」と称することがある) を増加させて、冷却剤が研磨中

のウエハWまで到達することを防止する。

[0034] ドライガスを研磨パッド3に吹き付けることによって、冷却剤の周囲に存在する、気化した冷却剤の気層が吹き飛ばされ、その結果、冷却剤の気化スピードが増加する。さらに、研磨パッド3に噴射された冷却剤は、気化した冷却剤の気層によってその周囲を覆われているため、非常に低い温度を有している。そこで、ドライガスが冷却剤の周囲に存在する、気化した冷却剤の気層を吹き飛ばすことで、冷却剤の周囲温度を上昇させることができる。この観点からも、冷却剤の気化スピードを増加させることができる。さらに、冷却剤の周囲に低い湿度を有するドライガスが存在することでも、冷却剤の気化速度を増加させることができる。ドライガスノズル61から噴射されるドライガスの流量は、冷却剤が研磨ヘッド1に到達しないように、冷却剤を十分に素早く気化できるだけの量に調整される。

[0035] 図4は、一実施形態に係る冷却ノズルとガスノズルの配置例を示す模式図である。図5は、冷却ノズルから噴射される冷却剤を含む圧送ガスを示す模式図である。図4は、研磨パッド3を上方から眺めた図に相当し、図5は、研磨パッド3を側方から眺めた図に相当する。

[0036] 図4に示すように、複数の冷却ノズル51は、研磨パッド3の半径方向に直線状に配列されている。図5に示すように、複数の冷却ノズル51は、該複数の冷却ノズル51から噴射される圧送ガスが研磨パッド3の中心線CPから外周縁までの範囲全体に衝突するように配列される。複数の冷却ノズル51は、それぞれ、研磨パッド3の複数の領域Z1-Z6の冷却を担当する（図5参照）。複数の領域Z1-Z6は、複数の冷却ノズル51に対応して設定された仮想領域であり、同心状に設定されている。最も中心に位置する領域Z1は、円形の領域である。このように複数の冷却ノズル51を配列することで、研磨パッド3全体を冷却することができる。

[0037] 図示はしないが、複数の冷却ノズル51から噴射される冷却剤によって研磨パッド3全体を冷却することができる限り、複数の冷却ノズル51は、研磨パッド3の半径方向に直線状に配列される必要はない。

[0038] さらに、複数の冷却ノズル51から噴射される冷却剤によって研磨パッ

ド3全体を冷却することができる限り、冷却ノズル51の数も自由に選択することができる。例えば、図6（A）および図6（B）に示すように、パッド温度調整装置5は、研磨パッド3の略半径方向に延びる長尺部51aと、研磨パッド3の研磨面に向けて冷却剤を噴射するための噴射口51bと、を有する単一の冷却ノズル51を有していてもよい。この場合、噴射口51bは、長尺部51aの長手方向に沿って形成されたスリット形状を有し、噴射口51bは、冷却剤が研磨パッド3の中心CP（図4および図5参照）から外周縁に至る範囲全体に衝突するように形成される。

[0039] 本実施形態では、ドライガスノズル61は、冷却ノズル51に対応して配列されている（図4参照）。すなわち、複数のドライガスノズル61は、研磨パッド3の複数の領域Z1-Z6に対応して配列されており、かつ研磨パッド3の半径方向に直線状に配列されている。なお、冷却ノズル51から噴射される冷却剤が研磨ヘッド1に到達することを防止できる限り、複数のドライガスノズル61は、研磨パッド3の半径方向に直線状に配列される必要はない。

さらに、冷却ノズル51から噴射される冷却剤が研磨ヘッド1に到達することを防止できる限り、ドライガスノズル61の数も自由に選択できる。図示はしないが、図6（A）および図6（B）を参照して説明された冷却ノズル51のように、パッド温度調整装置5は、研磨パッド3の略半径方向に延びる長尺部と、研磨パッド3の研磨面に向けてドライガスを噴射するための噴射口と、を有する単一のドライガスノズル61を有していてもよい。

[0040] 図4に示すように、冷却ノズル51は、研磨テーブル2（すなわち、研磨パッド3）の回転方向で見て、研磨ヘッド1と複数のドライガスノズル61の間に配置されている。言い換えれば、冷却ノズル51は、複数のドライガスノズル61を有するガス噴射機60に対して、研磨テーブル2の回転方向の上流側に位置し、研磨ヘッド1に対して研磨テーブル2の回転方向の下流側に位置する。このように冷却ノズル51とドライガスノズル61とを配置することで、冷却ノズル51から噴射された冷却剤の一部がドライガスノズル61から噴射されたドライガスによって吹き飛ばされることが防止され、冷却剤が所望の冷却性能を発揮できるとともに、ドライガスが所望の気化性能を発揮できる。

[0041] 研磨装置は、図 1 に示すように 1 つのパッド温度測定器 10 を有していてもよいし、図 4 に示すように、複数の領域 Z 1 - Z 6 の数に対応する複数のパッド温度測定器 10 を有していてもよい。すなわち、研磨装置は、少なくとも 1 つのパッド温度測定器 10 を有していればよい。パッド温度測定器 10 は、
5 研磨テーブル 2 の回転方向で見て、ガス噴射機 60 と研磨ヘッド 1 との間に配置されている。言い換えれば、パッド温度測定器 10 は、研磨ヘッド 1 に対して研磨テーブル 2 の回転方向の上流側に位置し、ガス噴射機 60 に対して研磨テーブル 2 の回転方向の下流側に位置する。

[0042] パッド温度測定器 10 は、非接触でパッド表面温度を測定し、その測定
10 値を制御装置 40 に送る。パッド温度測定器 10 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。研磨装置が単一のパッド
15 温度測定器 10 を有する場合は、パッド温度測定器 10 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。制御装置 40 は、パッド温度測定器 10 の
20 測定値から研磨パッド 3 の複数の領域 Z 1 - Z 6 における各パッド温度を取得することができる。

[0043] 図 1 に戻り、本実施形態に係る研磨装置は、研磨パッド 3 の研磨面を加熱する加熱機 9 を有している。図 7 は、一実施形態に係る加熱機を示す模式図である。図 7 に示す加熱機 9 は、研磨パッド 3 の上方に配置された加熱ノズル
25 11 と、加熱流体を加熱ノズル 11 に供給する加熱流体供給システム 30 と、を少なくとも備えている。加熱流体供給システム 30 を介して加熱ノズル 11 に供給された加熱流体が研磨パッド 3 の研磨面に噴射されることにより、該研磨面を所定の目標温度に加熱することができる。

[0044] なお、以下では、図 7 を参照して、加熱流体供給システム 30 から加熱

ノズル 1 1 に供給される加熱流体が過熱蒸気である例が説明される。しかしながら、加熱流体はこの例に限定されない。加熱流体は、高温の気体（例えば、高温の空気、窒素、またはアルゴン）でもよいし、加熱蒸気でもよい。なお、過熱蒸気とは、飽和蒸気をさらに加熱した高温の蒸気を意味する。

- 5 [0045] さらに、以下で説明する加熱機 9 は、加熱流体を研磨パッド 3 の研磨面に噴射することで、パッド温度を上昇させる非接触式の加熱機であるが、加熱機 9 によってパッド温度を所望の目標温度まで上昇させることができる限り、加熱機 9 もこの例に限定されない。例えば、加熱機 9 は、研磨パッド 3 の研磨面に接触するヒータであってもよい。
- 10 [0046] 図 7 に示す加熱流体供給システム 3 0 は、過熱蒸気発生器 3 1 と、過熱蒸気発生器 3 1 から加熱ノズル 1 1 まで延びる過熱蒸気供給ライン 3 2 と、過熱蒸気発生器 3 1 に水を供給する水供給ライン 3 3 と、過熱蒸気発生器 3 1 に常温のガスを供給するガス供給ライン 3 4 と、を備えている。ガス供給ライン 3 4 は、ガス供給源（図示せず）から過熱蒸気発生器 3 1 まで延びている。
- 15 [0047] 過熱蒸気発生器 3 1 は、水供給ライン 3 3 から供給された水と、ガス供給ライン 3 4 から供給された常温のガスと、を混合して、所定の温度に調整された過熱蒸気を生成する。過熱蒸気は、過熱蒸気供給ライン 3 2 を介して加熱ノズル 1 1 に供給され、加熱ノズル 1 1 から研磨パッド 3 の研磨面に噴射される。この動作により、研磨パッド 3 の研磨面の温度を上昇させることができる。
- 20 [0048] 図 7 に示す加熱流体供給システム 3 0 は、過熱蒸気供給ライン 3 2 に配置された流量調整器 3 5 と、流量調整器 3 5 の上流側で過熱蒸気供給ライン 3 2 から分岐する排気ライン 3 6 とをさらに備えている。流量調整器 3 5 によって、加熱ノズル 1 1 に供給される過熱蒸気の流量を調整することができる。余剰の過熱蒸気は、排気ライン 3 6 を通って研磨装置から排出される。
- 25 [0049] 制御装置 4 0 は、過熱蒸気発生器 3 1 、および流量調整器 3 5 に接続されている。制御装置 4 0 は、パッド温度測定器 1 0 の測定値に基づいて過熱蒸気発生器 3 1 、および流量調整器 3 5 の動作を制御する。
- [0050] このように構成された研磨装置でウェハ W の研磨を行う際には、制御装置 4 0 は、パッド温度測定器 1 0 の測定値に基づいてパッド温度調整器 5 の動

- 作を制御し、研磨パッド3の研磨面の温度（すなわち、パッド温度）を所望の温度に一致させる。より具体的には、制御装置40は、加熱機9の加熱ノズル11から噴射される加熱流体の流量、および／または冷却機50の冷却ノズル51から噴射される冷却剤を含む圧送ガスの流量を調整して、パッド温度を所望の温度に一致させる。このような制御を行う制御装置40は、例えば、加熱機9の動作を制御して、パッド温度を常温よりも高い第1研磨温度まで上昇させて、ウエハWの第1研磨を実施する。次いで、制御装置40は、少なくとも冷却機50の動作を制御して、パッド温度を第1研磨温度よりも低い第2研磨温度まで低下させ、ウエハWの第2研磨を実施する。
- 10 [0051] このような複数の研磨工程を組み合わせることで、ウエハWをより精密に研磨することができる。上述した研磨装置によれば、雰囲気温度以下の（または、常温以下の）沸点を有する冷却剤を用いてパッド温度を低下させるため、雰囲気温度（または、常温）よりも低く設定された第2研磨温度でウエハWを研磨可能である。言い換えれば、上述した研磨装置は、従来の研磨装置よりも
- 15 広い温度制御範囲でパッド温度を制御しながら、ウエハWを研磨することができる。さらに、第1研磨温度から第2研磨温度までパッド温度を速やかに低下させることができるので、従来の研磨装置よりも精密にウエハWを研磨することができるとともに、研磨後のウエハWの面内均一性を向上させることができる。
- 20 [0052] パッド温度を第1研磨温度から第2研磨温度まで低下させるときに、冷却機50のみを使用することで、パッド温度を素早く第2研磨温度に到達させることができる。一方で、制御装置40は、冷却機50と加熱機9とを併用することで、第1研磨温度から第2研磨温度までのパッド温度の低下速度を自在に制御することができる。
- 25 [0053] 例えば、制御装置40が第1研磨温度と第2研磨温度との間に設定された中間温度を記憶している場合を想定する。この場合、制御装置40は、パッド温度が中間温度に到達するまで冷却機50の動作のみを制御して、パッド温度を急速に中間温度まで低下させる。次いで、制御装置40は、パッド温度が中間温度から第2研磨温度に到達するまで、冷却機50と加熱機9との両者の

動作を制御して、パッド温度を第２研磨温度に緩やかに到達させてもよい。このような制御によれば、パッド温度が第２研磨温度を大きく下回る現象（所謂、ハンチング現象）を効果的に防止することができる。

5 [0054] 図４に示すように、冷却機５０が複数の冷却ノズル５１を有し、研磨装置が各冷却ノズル５１に対応する数の複数のパッド温度測定器１０を有する場合は、制御装置４０は、上述した複数の領域Ｚ１－Ｚ６（図５参照）のパッド温度のそれぞれを独立して制御することができる。このような制御を行う際に、図２および図３を参照して説明されたように、冷却機５０が各冷却剤枝ライン５３ｂに配置された複数の冷却剤流量調整器５５を有し、ガス噴射機６０が各
10 ドライガス枝ライン６３ｂに配置された複数のドライガス流量調整器６５を有しているのが好ましい。このような構成を研磨装置が有していれば、制御装置４０は、各冷却剤枝ライン５３ｂを流れる冷却剤の流量と、各ドライガス枝ライン６３ｂを流れるドライガスの流量と、を容易に制御することができる。

[0055] 図８は、研磨パッドに対する冷却ノズル５１の傾きおよび高さを調整可能な位置調整機構の一例を示す模式図である。図８に示す位置調整機構９０は、
15 各冷却ノズル５１の末端に連結されたノズルブラケット９１と、ノズルブラケット９１が連結される保持ブラケット９２と、ノズルブラケット９１を保持ブラケット９２に連結する締結具９３と、を備える。

[0056] 本実施形態では、保持ブラケット９２は、研磨装置の梁などの静止部材
20 （図示せず）に固定されている。さらに、保持ブラケット９２には、長孔９２ａが形成されている。長孔９２ａは、研磨パッド３の研磨面に対して垂直な方向に延びている。言い換えれば、長孔９２ａの長径は、研磨パッド３の研磨面に対して垂直な方向に延びる。

[0057] 本実施形態では、締結具９３は、ボルトとナットから構成されており、
25 ノズルブラケット９１には、締結具９３のボルトが挿入可能な貫通孔（図示せず）が形成されている。締結具９３のボルトを、ノズルブラケット９１の貫通孔と、保持ブラケット９２の長孔９２ａとに挿入した状態で、該ボルトにナットを締結することで、冷却ノズル５１は、ノズルブラケット９１および保持ブラケット９２を介して研磨装置に保持される。

[0058] 締結具 9 3 のナットを弛めて、保持ブラケット 9 2 に対するノズルブラケット 9 1 の角度を変更することで、冷却ノズル 5 1 の研磨パッド 3 の研磨面に対する傾きを変更する（調整する）ことができる。さらに、締結具 9 3 のナットを弛めた状態で、締結具 9 3 のボルトをノズルブラケット 9 1 とともに保持ブラケット 9 2 の長孔 9 2 a 内を移動させることで、研磨パッド 3 の研磨面に対する冷却ノズル 5 1 の鉛直方向の位置を調整することができる。

[0059] 図 9 は、位置調整機構の他の例を示す模式図である。図 9 に示す位置調整機構 9 0 は、冷却ノズル 5 1 の後端に連結された回転装置 9 5 と、回転装置 9 5 を保持ブラケット 9 2 に連結し、冷却ノズル 5 1 と回転装置 9 5 とを保持ブラケット 9 2 に沿って移動させる上下動装置 9 6 と、で構成されている。回転装置 9 5 は、例えば、冷却ノズル 5 1 を研磨パッド 3 の研磨面に対して回転させるモータ（例えば、サーボモータ、またはステッピングモータ）である。上下動装置 9 6 は、例えば、保持ブラケット 9 2 に形成されたレール 9 6 a と、回転装置 9 5 を該レール 9 6 a に連結する連結具 9 6 b と、連結具 9 6 b をレール 9 6 a に沿って移動させるモータ（例えば、サーボモータ、またはステッピングモータ） 9 6 c と、から構成される。

[0060] 位置調整機構 9 0 の回転装置 9 5 と上下動装置 9 6 とは、制御装置 4 0 に連結され、制御装置 4 0 によって回転装置 9 5 の動作と上下動装置 9 6 の動作が制御される。このような構成によれば、研磨パッド 3 の研磨面に対する冷却ノズル 5 1 の傾きおよび高さを自動で調整することができる。

[0061] 冷却剤を含む圧送ガスが冷却ノズル 5 1 から研磨パッド 3 の研磨面に噴射される際に、研磨面に衝突する圧送ガスが研磨面上の研磨液を飛散させてしまうことがある。研磨液が研磨面から飛散すると、所望の研磨レートが得られないおそれがあり、さらに、飛散した研磨液が研磨テーブル 2 などの研磨装置の構成要素を汚染してしまうおそれもある。そこで、研磨パッド 3 の研磨面に対する冷却ノズル 5 1 の傾きおよび高さを調整することで、研磨液の飛散を防止する。

[0062] なお、ウエハ W の研磨を繰り返すことで、研磨パッド 3 の表面が削れてしまい、その結果、研磨パッド 3 の研磨面に対する冷却ノズル 5 1 の傾きおよ

び高さが徐々に変わっていく。そのため、位置調整機構 9 0 は、図 9 を参照して説明された、研磨パッド 3 の研磨面に対する冷却ノズル 5 1 の傾きおよび高さを自動で調整可能な構成を有するのが好ましい。

[0063] 図 1 0 は、加熱機の加熱ノズル、冷却機の冷却ノズル、およびガス噴射機 5 のガスノズルが一体に形成された共通ノズルを示す模式図である。図 1 0 に示すように、パッド温度調整装置 5 は、加熱機 9 の加熱ノズル 1 1、冷却機 5 0 の冷却ノズル 5 1、およびガス噴射機 6 0 のドライガスノズル 6 1 が一体化された共通ノズル 9 9 を有してもよい。

[0064] 共通ノズル 9 9 は、上述した加熱ノズル 1 1 として機能する第 1 吐出口 9 9 a と、上述した冷却ノズル 5 1 として機能する第 2 吐出口 9 9 b と、上述したドライガスノズル 6 1 として機能する第 3 吐出口 9 9 c と、を備えている。共通ノズル 9 9 には、上述した冷却剤ライン 5 3、ドライガスライン 6 3、および過熱蒸気供給ライン 3 2 が連結され、第 1 吐出口 9 9 a から過熱蒸気が噴射され、第 2 吐出口 9 9 b から冷却剤を含む圧送ガスが噴射され、第 3 吐出口 9 9 c からドライガスが噴射される。

[0065] 研磨装置がこのような共通ノズル 9 9 を有する場合は、共通ノズル 9 9 内での冷却ノズル 5 1 は、研磨テーブル 2 の回転方向で見て、加熱ノズル 1 1 とドライガスノズル 6 1 との間に位置する。すなわち、第 2 吐出口 9 9 b は、研磨テーブル 2 の回転方向で見て、第 1 吐出口 9 9 a と第 3 吐出口 9 9 c との間に位置する。言い換えると、第 2 吐出口 9 9 b は、第 3 吐出口 9 9 c に対して、研磨テーブル 2 の回転方向の上流側に位置し、第 1 吐出口 9 9 a に対して、研磨テーブル 2 の回転方向の下流側に位置する。

[0066] 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。

特許請求の範囲

1. 研磨パッドを支持する回転可能な研磨テーブルと、
基板を前記回転する研磨パッドの研磨面に押し付けて前記基板を研磨する研
5 磨ヘッドと、
前記研磨面の温度を測定する少なくとも1つのパッド温度測定器と、
前記研磨面の温度を調整するパッド温度調整装置と、
前記少なくとも1つのパッド温度測定器によって測定された前記研磨面の温
度に基づいて前記パッド温度調整装置の動作を制御する制御装置と、を備え、
10 前記パッド温度調整装置は、
前記研磨面に冷却剤を噴射する少なくとも1つの冷却ノズルと、
前記研磨面にドライガスを噴射する少なくとも1つのガスノズルと、を含
み、
前記冷却剤は、雰囲気温度以下の沸点を有する、研磨装置。
15
2. 前記冷却ノズルは、前記研磨テーブルの回転方向で見て、前記研磨ヘッ
ドと前記ガスノズルとの間に配置されている、請求項1に記載の研磨装置。
3. 前記少なくとも1つの冷却ノズルは、前記研磨テーブルの半径方向に分
20 割された複数の領域のそれぞれに対応して配置された複数の冷却ノズルであり、
前記制御装置は、各冷却ノズルに供給される前記冷却剤の流量を制御するこ
とで、前記複数の領域のそれぞれの温度を独立して制御する、請求項1に記載
の研磨装置。
- 25 4. 前記少なくとも1つのパッド温度測定器は、前記複数の領域のそれぞれの
温度を測定可能な複数のパッド温度測定器である、請求項3に記載の研磨装
置。
5. 前記パッド温度調整装置は、前記研磨面を加熱する加熱機をさらに備え、

前記加熱機は、前記研磨テーブルの回転方向で見て、前記研磨ヘッドと前記少なくとも 1 つの冷却ノズルとの間に配置されている、請求項 1 に記載の研磨装置。

- 5 6. 前記冷却剤は、ドライアイスである、請求項 1 に記載の研磨装置。