研磨ヘッドシステムおよび研磨方法

発明の背景

発明の技術分野

[0001] 本発明は、ウェーハなどの基板の研磨ヘッドシステムおよび研磨方法に関する。

関連技術の記載

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

[0003] したがって、半導体デバイスの製造工程においては、半導体デバイス表面の平坦化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、化学機械研磨（ＣＭＰ：Chemical Mechanical Polishing）である。この化学機械研磨（以下、ＣＭＰという）は、シリカ（$ＳｉＯ_2$）等の砥粒を含んだ研磨液（例えば、砥粒を含むスラリー）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研磨を行うものである。

[0004] 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磨テーブルと、基板を保持するための研磨ヘッド（基板保持装置）を備えている。このような研磨装置を用いた基板の研磨は次のようにして行われる。研磨テーブルを研磨パッドとともに回転させながら、研磨パッド上に研磨液を供給する。研磨ヘッドは基板を回転させながら、該基板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ながら、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および／または研磨パッドの機械的作用との組み合わせにより平坦化される。

[0005] 研磨中の基板と研磨パッドの研磨面との間の相対的な押圧力が基板の全面に亘って均一でない場合には、基板の各部分に与えられる押圧力に応じて研磨不足や過研磨が生じてしまう。そこで、基板に対する押圧力を均一化するために、研磨ヘッドの下部に弾性膜から形成される圧力室を設け、この圧力室に空気などの流体を供給することで弾性膜を介して流体圧により基板を押圧することが行われている。

[0006] 上記研磨パッドは弾性を有するため、研磨中の基板のエッジ部（周縁部）に加わる押圧力が不均一になり、基板のエッジ部のみが多く研磨される、いわゆる「縁だれ」を起こしてしまう場合がある。このような縁だれを防止するため、また、基板の研磨中に基板が研磨ヘッドから飛び出さないようにするために、リテーナリングを備えた研磨ヘッドが用いられている。このリテーナリングは、基板を囲むように配置されており、基板の研磨中、リテーナリングは回転しながら基板の外側で研磨パッドを押し付ける。

【先行技術文献】

【特許文献】

[0007]

【特許文献１】日本国特開２０１４－４６７５号公報

【特許文献２】日本国特開２０１５－２３３１３１号公報

【特許文献３】日本国特開２０２０－１０４２００号公報

[0008] 近年、半導体デバイスの種類が飛躍的に増大しており、デバイス毎やＣＭＰ工程毎（酸化膜研磨や金属膜研磨など）に基板のエッジ部における研磨レートを調整する必要性が高まっている。この理由の１つには、各ＣＭＰ工程の前に行われる成膜工程が膜の種類によって変わるために、基板の初期膜厚分布が成膜工程に依存して変わることが挙げられる。通常ＣＭＰ後の基板は、その全面で均一な膜厚分布を有することが必要とされるため、初期膜厚分布に応じて研磨レートを調整する必要がある。

[0009] 他の理由としては、コストなどの観点から研磨装置で使用される研磨パッ

ドや研磨液などの種類が増加していることも挙げられる。研磨パッドや研磨液などの消耗材の種類が異なると、特に基板のエッジ部における初期膜厚分布が大きく変わりうる。半導体デバイス製造においては、基板のエッジ部における膜厚のばらつきは製品の歩留まりに大きく影響するために、基板のエッジ部の研磨レートを精密に調整することは非常に重要である。

[0010] 上述したように、従来から、リテーナリングを備えた研磨ヘッドが用いられている。このリテーナリングに加わる押圧力の調整によって基板のエッジ部の研磨レートを調整することは可能である。しかしながら、リテーナリングに加わる押圧力を変更すると、基板のエッジ部のみならず、その他の領域を含む比較的広い範囲で研磨レートが変化してしまう。したがって、この方法は、基板のエッジ部での研磨プロファイルを精密に制御したい場合には適さないものであった。

[0011] 特許文献１には、局所荷重付与機構によりリテーナリングの一部に局所荷重を与える方法が記載されている。しかしながら、このような局所荷重付与機構は、研磨装置で用いられる液体の侵入を防ぐ必要があること、パーティクルが発生すること、などの課題があった。

発明の要旨

[0012] 本発明者は、種々の実験を行った結果、基板のエッジ部を保持するリテーナリングに付与される押圧力を周方向に沿って変更することにより、基板のエッジ部における研磨レートを精密に制御できることを発見した。

[0013] したがって、本発明は、ウェーハなどの基板の研磨レート、特にエッジ部での研磨レートを精密に制御できる研磨ヘッドシステムおよび研磨方法を提供することを目的とする。

[0014] 一態様では、基板を研磨面に対して押し付ける研磨ヘッドと、前記研磨ヘッドに連結されたヘッドシャフトと、前記研磨ヘッドを前記ヘッドシャフトとともに回転させるヘッド回転機構と、前記ヘッドシャフトの少なくとも一部を囲むように配置されたマルチパスロータリージョイントと、前記マルチパスロータリージョイントに連結された流体供給ラインと、前記流体供給ラインに取り付けられた圧力

レギュレータを備え、前記研磨ヘッドは、前記基板を前記研磨面に対して押し付ける基板押圧面と、前記基板押圧面を囲むように配置されたリテーナリングと、弾性材料により形成され、前記リテーナリングを前記研磨面に対して押し付けるための押圧力を発生させる複数の圧力室を有し、前記ヘッドシャフトは、前記複数の圧力室にそれぞれ連通する複数のシャフト流路を有し、前記マルチパスロータリージョイントは、前記ヘッドシャフトが一回転するたびに、前記流体供給ラインを前記複数のシャフト流路に順次連通させるように構成されており、前記複数の圧力室は、前記リテーナリングの周方向に沿って配列されている、研磨ヘッドシステムが提供される。

[0015] 一態様では、前記複数のシャフト流路は、前記ヘッドシャフトの外面で開口する複数のシャフト開口部を有し、前記マルチパスロータリージョイントは、前記流体供給ラインに連通する前記ジョイント流路を有し、前記ジョイント流路は、前記マルチパスロータリージョイントの内面で開口するジョイント開口部を有し、前記複数のシャフト開口部は、前記ヘッドシャフトの周方向に沿って配列され、前記複数のシャフト開口部および前記ジョイント開口部は、前記ヘッドシャフトの軸方向において同じ位置にある。

一態様では、前記流体供給ラインは、複数の流体供給ラインであり、前記圧力レギュレータは、前記複数の流体供給ラインにそれぞれ取り付けられた複数の圧力レギュレータであり、前記ジョイント流路は、前記複数の流体供給ラインにそれぞれ連通する複数のジョイント流路であり、前記ジョイント開口部は、前記ヘッドシャフトの周方向に沿って配列された複数のジョイント開口部である。

一態様では、前記マルチパスロータリージョイントは、前記ヘッドシャフトの周方向に沿って配置されたジョイント部材と、前記ジョイント部材を囲むように配置されたジョイントホルダと、前記ジョイント部材を前記ヘッドシャフトに対して押し付けるばねを有し、前記ジョイント部材および前記ジョイントホルダには、前記ジョイント流路が貫通して延びている。

一態様では、前記マルチパスロータリージョイントは、前記ジョイントホルダに対する前記ジョイント部材の周方向における相対的な位置を固定する位置決め機構

を有している。

[0016] 一態様では、前記複数の圧力室は、複数の圧力室グループであり、前記複数の圧力室グループは、前記複数のシャフト流路にそれぞれ連通しており、前記複数の圧力室グループのそれぞれは、前記リテーナリングの周方向に沿って配置された、複数のローリングダイヤフラムによって形成された複数の圧力室を含む。

一態様では、前記複数のローリングダイヤフラムのそれぞれは、円柱形状を有している。

一態様では、前記研磨ヘッドは、前記複数の圧力室に隣接する環状圧力室をさらに備えている。

一態様では、前記ジョイント開口部の幅は、前記複数のシャフト開口部の幅よりも大きい。

[0017] 一態様では、前記研磨ヘッドシステムは、前記圧力レギュレータの動作を制御する動作制御部をさらに備え、前記複数の圧力室は第１圧力室を含み、前記動作制御部は、前記第１圧力室内の圧力が目標圧力よりも小さいときに、前記流体供給ライン内の流体の設定圧力値よりも大きい補正設定圧力値を前記圧力レギュレータに送り、前記圧力レギュレータに前記第１圧力室内の圧力を補正させるように構成されている。

一態様では、前記動作制御部は、前記研磨ヘッドが一回転する間の前記第１圧力室内の圧力の積分値と前記目標圧力の積分値との差を最小とする前記補正設定圧力値を決定するように構成されている。

一態様では、前記研磨ヘッドシステムは、前記第１圧力室内の圧力を測定する圧力センサをさらに備え、前記動作制御部は、前記圧力センサにより測定された前記第１圧力室内の圧力と、前記目標圧力との差を最小とする前記補正設定圧力値を決定するように構成されている。

一態様では、前記動作制御部は、予め取得した前記設定圧力値と前記第１圧力室内の圧力との相関関係に基づいて、前記第１圧力室内の圧力と前記目標圧力との差を最小とする前記補正設定圧力値を決定するように構成されている。

[0018] 一態様では、上記研磨ヘッドシステムを用いて、基板を研磨する方法であ

って、前記基板を回転させながら、前記基板を前記研磨面に対して押し付けて、前記基板を研磨し、前記基板の研磨中に、前記ヘッドシャフトを一回転させるたびに、前記流体供給ラインを、前記複数のシャフト流路に順次連通させながら、前記流体供給ラインを通じて流体を前記複数の圧力室に供給することにより、前記リテーナリングに対して複数の押圧力を付与し、前記リテーナリングを前記研磨面に対して押し付けることを含み、前記複数の押圧力は、少なくとも２つの異なる押圧力を含む、研磨方法が提供される。

一態様では、前記基板の研磨は、前記研磨面を回転させながら行い、前記複数の圧力室のうち、前記研磨面の回転方向において下流側に位置する圧力室により発生される押圧力が、他の圧力室により発生される押圧力よりも大きくなるように、前記圧力レギュレータにより、前記複数の圧力室内の複数の圧力を調節する。

[0019] 一態様では、前記研磨方法は、前記複数の圧力室に含まれる第１圧力室内の圧力が目標圧力よりも小さいときに、前記流体供給ライン内の流体の設定圧力値よりも大きい補正設定圧力値に基づいて、前記圧力レギュレータは前記第１圧力室内の圧力を補正することをさらに含む。

一態様では、前記研磨方法は、前記研磨ヘッドが一回転する間の前記第１圧力室内の圧力の積分値と前記目標圧力の積分値との差を最小とする前記補正設定圧力値を決定することをさらに含む。

一態様では、前記研磨方法は、圧力センサにより前記第１圧力室内の圧力を測定し、前記圧力センサにより測定された前記第１圧力室内の圧力と、前記目標圧力との差を最小とする前記補正設定圧力値を決定することをさらに含む。

一態様では、前記研磨方法は、予め取得した前記設定圧力値と前記第１圧力室内の圧力との相関関係に基づいて、前記第１圧力室内の圧力と前記目標圧力との差を最小とする前記補正設定圧力値を決定することをさらに含む。

[0020] 本発明によれば、マルチパスロータリージョイントを用いて、リテーナリングの周方向に沿って少なくとも２つの異なる押圧力を付与することにより、基板のエッジ部での研磨レートを精密に制御することができる。

図面の簡単な説明

[0021] 図１は、研磨装置の一実施形態を示す模式図である。

図２は、研磨ヘッドシステムの一実施形態を模式的に示す断面図である。

図３は、隔壁およびリテーナリング押圧膜の一実施形態を示す上面図である。

図４は、マルチパスロータリージョイントを模式的に示す上面図である。

図５は、図３に示すロータリージョイント組立体のＡ－Ａ線断面図である。

図６は、図５のＢ－Ｂ線断面図である。

図７は、マルチパスロータリージョイントの一実施形態を示す分解図である。

図８は、図７に示すマルチパスロータリージョイントの拡大断面図である。

図９は、図８のＣ－Ｃ線断面図である。

図１０は、位置決め機構の一実施形態を示す拡大断面図である。

図１１は、複数の圧力室がリテーナリングの複数の領域に対してそれぞれ発生させる押圧力が切り替わる位置を示す複数の圧力領域を示す図である。

図１２は、研磨ヘッドの回転とともに変化する１つの圧力室内の圧力の推移の一実施形態を示すグラフである。

図１３は、研磨ヘッドの回転とともに変化する１つの圧力室内の圧力の推移の他の実施形態を示すグラフである。

図１４は、マルチパスロータリージョイントの他の実施形態を示す分解図である。

図１５は、図１４に示すマルチパスロータリージョイントの断面図である。

図１６は、研磨ヘッドの他の実施形態を示す模式図である。

図１７は、図１６に示すローリングダイヤフラムの断面図である。

図１８は、研磨ヘッドのさらに他の実施形態を示す模式図である。

図１９は、図１８に示すロータリージョイント組立体のＤ－Ｄ線断面図である。

図２０は、図１８に示すローリングダイヤフラムおよび環状ローリングダイヤフラムの断面図である。

図２１は、研磨ヘッドの回転速度による１つの圧力室内の圧力の推移の違いを説明するためのグラフである。

図２２は、研磨ヘッドシステムの他の実施形態を模式的に示す断面図である。

図２３は、目標圧力、圧力レギュレータに送られる補正設定圧力値、および１つの圧力室内の補正された圧力の一実施形態を示すグラフである。

図２４は、目標圧力の積分値、および圧力室内の圧力の積分値を説明するための図である。

図２５は、目標圧力、圧力レギュレータに送られる補正設定圧力値の他の例を示すグラフである。

実施形態の説明

[0022] 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、研磨装置の一実施形態を示す模式図である。研磨装置は、ウェーハなどの基板Wを研磨するための装置である。図１に示すように、研磨装置は、研磨ヘッドシステム１と、研磨パッド２を支持する研磨テーブル３と、研磨パッド２に研磨液（例えば、砥粒を含むスラリー）を供給する研磨液供給ノズル５と、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と、基板Wの膜厚に従って変化する膜厚信号を取得する膜厚センサ７を備えている。膜厚センサ７は、研磨テーブル３内に設置されており、研磨テーブル３が１回転するたびに、基板Wの中心部を含む複数の領域での膜厚信号を取得する。膜厚センサ７の例としては、光学式センサや渦電流センサが挙げられる。

[0023] 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。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いる。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によりテーブル軸３ａの軸心を中心に回転される。

[0024] 研磨ヘッドシステム１は、ウェーハなどの基板Wを研磨パッド２の研磨面２ａに押し付ける研磨ヘッド（基板保持装置）１０と、研磨ヘッド１０に連結されたヘッドシャフト１１と、ヘッド揺動シャフト１４と、ヘッド揺動シャフト１４の上端に連結されたヘッド揺動アーム１６と、ヘッドシャフト１１の上部に取り付け

られたロータリージョイント組立体２０を備えている。研磨ヘッド１０は、ヘッドシャフト１１の下端に固定されている。研磨ヘッド１０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ている。

[0025] ヘッドシャフト１１は、ヘッド揺動アーム１６の自由端に回転可能に支持されている。ヘッド揺動アーム１６内には、電動機などを備えたヘッド揺動機構（図示せず）が配置されている。ヘッド揺動機構は、ヘッド揺動シャフト１４に連結されている。ヘッド揺動機構は、ヘッド揺動アーム１６を介して、研磨ヘッド１０をヘッドシャフト１１とともに、ヘッド揺動シャフト１４の軸心を中心に揺動させるように構成されている。

[0026] さらに、ヘッド揺動アーム１６内には、電動機などを備えたヘッド回転機構１８が配置されている。このヘッド回転機構１８は、ヘッドシャフト１１に連結されており、研磨ヘッド１０をヘッドシャフト１１とともに、ヘッドシャフト１１の軸心を中心に回転させるように構成されている。ヘッド回転機構１８は、例えば、モータ、タイミングプーリ、およびベルトの組み合わせにより構成されている。図１では、ヘッド回転機構１８は模式的に描かれている。

[0027] ヘッドシャフト１１は、図示しないヘッド昇降機構に連結されている。このヘッド昇降機構は、ヘッドシャフト１１をヘッド揺動アーム１６に対して相対的に上下動させるように構成されている。ヘッド昇降機構は、例えば、ボールねじとサーボモータの組み合わせにより構成されている。このヘッドシャフト１１の上下動により、研磨ヘッド１０は、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。

[0028] 研磨装置は、動作制御部９をさらに備えている。研磨ヘッドシステム１、研磨液供給ノズル５、テーブルモータ６、および膜厚センサ７は、動作制御部９に電気的に接続されており、研磨ヘッドシステム１、研磨液供給ノズル５、テーブルモータ６、および膜厚センサ７の動作は、動作制御部９により制御される。一実施形態では、研磨ヘッドシステム１が動作制御部９を備えてもよい。

[0029] 動作制御部９は、少なくとも１台のコンピュータから構成されている。動

作制御部９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９ａと、プログラムに含まれる命令に従って演算を実行する処理装置９ｂを備えている。記憶装置９ａ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。処理装置９ｂ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、動作制御部９の具体的構成はこれらの例に限定されない。

[0030] 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１０を図１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１０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、研磨ヘッド１０によって研磨パッド２の研磨面２ａに押し付けられる。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。

[0031] 基板Wの研磨中、膜厚センサ７は研磨テーブル３と共に回転し、基板Wの表面を横切りながら膜厚信号を取得する。この膜厚信号は、膜厚を直接または間接に示す指標値であり、基板Wの膜厚の減少に従って変化する。膜厚センサ７は動作制御部９に接続されており、膜厚信号は動作制御部９に送られる。動作制御部９は、膜厚信号によって示される基板Wの膜厚が所定の目標値に達したときに、基板Wの研磨を終了させる。

[0032] 次に、研磨ヘッドシステム１の構成の詳細について説明する。図２は、研磨ヘッドシステム１の一実施形態を模式的に示す断面図である。図２では、ヘッド揺動シャフト１４、ヘッド揺動アーム１６、およびヘッド回転機構１８の図示は省略されている。図２に示すように、研磨ヘッド１０は、ヘッドシャフト１１の端部に固定されたキャリア３１と、キャリア３１の下部に取り付けられた弾性膜３４と、基板Wおよび弾性膜３４を囲むように配置されたリテーナリング４０と、リテーナリング４０の上面に固定されたドライブリング４２を備えている。

[0033] 弾性膜３４は、基板Wを研磨パッド２の研磨面２ａに対して押し付ける基

板押圧面３５と、基板押圧面３５から上方に延びる環状の４つの隔壁３６Ａ，３６Ｂ，３６Ｃ，３６Ｄを有している。基板押圧面３５は、基板Wの上面と実質的に同じ大きさおよび同じ形状を有している。隔壁３６Ａ～３６Ｄは、同心状に配列された無端状の壁である。これらの隔壁３６Ａ～３６Ｄにより、弾性膜３４とキャリア３１との間には、４つの圧力室Ｃａ１，Ｃａ２，Ｃａ３，Ｃａ４が形成されている。弾性膜３４は、エチレンプロピレンゴム（ＥＰＤＭ）、ポリウレタンゴム、シリコーンゴム等の強度および耐久性に優れた弾性材料によって形成されている。

[0034] 本実施形態では、弾性膜３４は４つの圧力室Ｃａ１～Ｃａ４を形成しているが、本発明は本実施形態に限定されない。一実施形態では、弾性膜３４は４つよりも少ない、または４つよりも多い圧力室を形成してもよい。すなわち、一実施形態では、弾性膜３４は、４つよりも少ない隔壁を有してもよく、あるいは４つよりも多い隔壁を有してもよい。例えば、弾性膜３４は、１つの隔壁のみを有しており、１つの圧力室のみを形成してもよい。

[0035] キャリア３１、リテーナリング４０、およびドライブリング４２は、エンジニアリングプラスティック（例えば、ＰＥＥＫ）などの樹脂により形成されている。なお、キャリア３１は、ＳＵＳ、アルミニウムなどの金属により形成されてもよい。リテーナリング４０は、基板Wおよび弾性膜３４の基板押圧面３５を囲むように配置されている。リテーナリング４０は、基板Wの研磨中に基板Wが研磨ヘッド１０から飛び出さないようにするために、基板Wを保持する環状の構造体である。

[0036] ドライブリング４２は、キャリア３１の下方に配置された環状の構造体である。研磨ヘッド１０は、キャリア３１とドライブリング４２との間に、複数のリテーナリング押圧膜４５Ａ～４５Ｆをさらに備えている。ドライブリング４２は、複数のリテーナリング押圧膜４５Ａ～４５Ｆに連結されている。ドライブリング４２は、リテーナリング４０と複数のリテーナリング押圧膜４５Ａ～４５Ｆとの間に位置している。

[0037] 図３は、隔壁３６Ａ～３６Ｄおよびリテーナリング押圧膜４５Ａ～４５Ｆの一実施形態を示す上面図である。図３に示すように、本実施形態では、６つのリテーナリング押圧膜４５Ａ，４５Ｂ，４５Ｃ，４５Ｄ，４５Ｅ，４５Ｆがリテーナ

リング４０の周方向に沿って配列されている。リテーナリング押圧膜４５Ａ～４５Ｆは、上から見たときに、略扇型形状または円弧形状を有している。図２に示すように、リテーナリング押圧膜４５Ａ～４５Ｆの断面は、矩形状を有している。

[0038] リテーナリング押圧膜４５Ａ，４５Ｂ，４５Ｃ，４５Ｄ，４５Ｅ，４５Ｆの内部には、圧力室Ｃｂ１，Ｃｂ２，Ｃｂ３，Ｃｂ４，Ｃｂ５，Ｃｂ６がそれぞれ形成されている。圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６は、リテーナリング４０の周方向に沿って配列されている。リテーナリング押圧膜４５Ａ～４５Ｆは、エチレンプロピレンゴム（ＥＰＤＭ）、ポリウレタンゴム、シリコーンゴム等の強度および耐久性に優れた弾性材料によって形成されている。本実施形態では、研磨ヘッド１０は、６つのリテーナリング押圧膜４５Ａ～４５Ｆを有し、６つの圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６を有しているが、リテーナリング押圧膜および圧力室の数は本実施形態に限定されない。一実施形態では、研磨ヘッド１０は、６つよりも少ない、または６つよりも多いリテーナリング押圧膜を有してもよく、６つよりも少ない、または６つよりも多い圧力室を有してもよい。

[0039] 図２に示すように、ロータリージョイント組立体２０は、４つのロータリージョイント２１Ａ，２１Ｂ，２１Ｃ，２１Ｄおよびマルチパスロータリージョイント２５を備えている。ロータリージョイント２１Ａ～２１Ｄおよびマルチパスロータリージョイント２５は、ヘッドシャフト１１の軸方向に沿って配置されている。弾性膜３４により形成された圧力室Ｃａ１，Ｃａ２，Ｃａ３，Ｃａ４は、流体移送ラインＦａ１，Ｆａ２，Ｆａ３，Ｆａ４にそれぞれ接続されている。流体移送ラインＦａ１～Ｆａ４は、キャリア３１、ヘッドシャフト１１、およびロータリージョイント２１Ａ～２１Ｄ内をそれぞれ延びている。

[0040] 研磨ヘッドシステム１は、ロータリージョイント２１Ａ～２１Ｄにそれぞれ連結された流体供給ラインＬａ１，Ｌａ２，Ｌａ３，Ｌａ４、および流体供給ラインＬａ１，Ｌａ２，Ｌａ３，Ｌａ４にそれぞれ取り付けられた圧力レギュレータＲａ１，Ｒａ２，Ｒａ３，Ｒａ４をさらに備えている。流体移送ラインＦａ１，Ｆａ２，Ｆａ３，Ｆａ４は、流体供給ラインＬａ１，Ｌａ２，Ｌａ３，Ｌａ４にそれぞれ連通している。流体供給ラインＬａ１～Ｌａ４の一端は、研磨装置が設置され

ている工場に設けられたユーティリティ供給源としての圧縮流体供給源（図示せず）に接続されている。

[0041] 圧縮流体供給源からの圧縮流体（例えば、圧縮空気などの圧縮気体）は、流体供給ラインＬａ１～Ｌａ４および流体移送ラインＦａ１～Ｆａ４を通じて、圧力室Ｃａ１～Ｃａ４内にそれぞれ独立に供給される。圧力レギュレータＲａ１～Ｒａ４は、圧力室Ｃａ１～Ｃａ４内の圧縮流体の圧力をそれぞれ独立して調節するように構成されている。圧力室Ｃａ１～Ｃａ４内の圧縮流体は、基板Wを研磨パッド２の研磨面２ａに対して押し付けるための押圧力を発生させる。圧力レギュレータＲａ１～Ｒａ４は、圧力室Ｃａ１～Ｃａ４の位置に対応する基板Wの４つの領域の研磨パッド２への押圧力を独立に調節することができる。

[0042] 流体供給ラインＬａ１～Ｌａ４は、大気開放弁（図示せず）にそれぞれ接続されてもよい。この場合、大気開放弁を動作させることにより、圧力室Ｃａ１～Ｃａ４を大気開放することができる。圧力レギュレータＲａ１～Ｒａ４および大気開放弁は、動作制御部９に接続されている。動作制御部９は、圧力室Ｃａ１～Ｃａ４のそれぞれの目標圧力値を圧力レギュレータＲａ１～Ｒａ４に送り、圧力室Ｃａ１～Ｃａ４内の圧力が対応する目標圧力値となるように、圧力レギュレータＲａ１～Ｒａ４を動作させる。

[0043] リテーナリング押圧膜４５Ａ～４５Ｆにより形成された圧力室Ｃｂ１，Ｃｂ２，Ｃｂ３，Ｃｂ４，Ｃｂ５，Ｃｂ６は、流体移送ラインＦｂ１，Ｆｂ２，Ｆｂ３，Ｆｂ４，Ｆｂ５，Ｆｂ６（図３参照）にそれぞれ接続されている。流体移送ラインＦｂ１～Ｆｂ６は、キャリア３１、ヘッドシャフト１１、およびマルチパスロータリージョイント２５内を延びている。

[0044] 図４は、マルチパスロータリージョイント２５を模式的に示す上面図である。研磨ヘッドシステム１は、マルチパスロータリージョイント２５に連結された流体供給ラインＬｂ１，Ｌｂ２，Ｌｂ３，Ｌｂ４，Ｌｂ５，Ｌｂ６と、流体供給ラインＬｂ１，Ｌｂ２，Ｌｂ３，Ｌｂ４，Ｌｂ５，Ｌｂ６にそれぞれ取り付けられた圧力レギュレータＲｂ１，Ｒｂ２，Ｒｂ３，Ｒｂ４，Ｒｂ５，Ｒｂ６をさらに備えている。流体移送ラインＦｂ１，Ｆｂ２，Ｆｂ３，Ｆｂ４，Ｆｂ５，Ｆｂ６は、流

体供給ラインＬｂ１，Ｌｂ２，Ｌｂ３，Ｌｂ４，Ｌｂ５，Ｌｂ６にそれぞれ連通している。流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６の一端は、研磨装置が設置されている工場に設けられたユーティリティ供給源としての圧縮流体供給源（図示せず）に接続されている。本実施形態では、研磨ヘッドシステム１は、６つの流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６を有しているが、流体供給ラインの数は本実施形態に限定されない。一実施形態では、研磨ヘッドシステム１は、６つよりも少ない、または６つよりも多い流体供給ラインを有してもよい。

[0045] 詳細を後述するマルチパスロータリージョイント２５は、ヘッドシャフト１１の回転に伴い、流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６と流体移送ラインＦｂ１～Ｆｂ６との連通を１つずつ切り替えるように構成されている。圧縮流体供給源からの圧縮流体（例えば、圧縮空気などの圧縮気体）は、流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６および流体移送ラインＦｂ１～Ｆｂ６を通じて、圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６内に独立に供給される。圧力レギュレータＲｂ１～Ｒｂ６は、流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６内の圧縮流体の圧力をそれぞれ独立に調節するように構成されている。

[0046] 圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６内の圧力は、対応する流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６に取り付けられた圧力レギュレータＲｂ１～Ｒｂ６の設定圧力値に調節される。ヘッドシャフト１１が回転して、圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６に連通する流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６が切り替わると、圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６内の圧力は対応する圧力レギュレータＲｂ１～Ｒｂ６の設定圧力値に切り替わる。圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６は、圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６の位置に対応するリテーナリング４０の６つの領域を、研磨パッド２の研磨面２ａに対して押し付けるための押圧力を発生させる。圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６が発生させる押圧力は、ドライブリング４２を介してリテーナリング４０に付与される。

[0047] 流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６は、大気開放弁（図示せず）にそれぞれ接続されてもよい。この場合、大気開放弁を動作させることにより、流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６および連通する圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６を大気開放することができる。圧力レギュレータＲｂ１～Ｒｂ６および大気開放弁は、動作制御部９に接続されている。動作制御部９は、流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６内の圧縮流体の設定圧力値

を圧力レギュレータＲｂ１～Ｒｂ６に送り、流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６内の圧縮流体の圧力、すなわち流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６に連通する圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６内の圧力が設定圧力値となるように、圧力レギュレータＲｂ１～Ｒｂ６を動作させる。

[0048] 流体移送ラインＦａ１～Ｆａ４および流体移送ラインＦｂ１～Ｆｂ６は、ヘッドシャフト１１の周方向において異なる位置に配置されている。流体移送ラインＦａ１～Ｆａ４と流体移送ラインＦｂ１～Ｆｂ６の位置関係は、互いに重ならない限り本実施形態に限られない。

[0049] 次に、ロータリージョイント２１Ａ～２１Ｄの構成について説明する。図５は、図３に示すロータリージョイント組立体２０のＡ－Ａ線断面図である。図６は、図５のＢ－Ｂ線断面図である。ロータリージョイント２１Ａ～２１Ｄは、ヘッドシャフト１１の少なくとも一部を囲むように配置されており、ヘッドシャフト１１の軸方向に沿って配置されている。ロータリージョイント２１Ａ～２１Ｄの構成は基本的に同じであるので、以下ロータリージョイント２１Ａの構成について説明する。ロータリージョイント２１Ａ～２１Ｄのヘッドシャフト１１の軸方向における配置は、本実施形態に限られない。

[0050] 流体移送ラインＦａ１は、ヘッドシャフト１１に形成されたシャフト流路５１およびロータリージョイント２１Ａに形成されたジョイント流路５４を含む流路により構成されている。シャフト流路５１は、ヘッドシャフト１１の外面１１ａで開口するシャフト開口部５１ａを有している。シャフト流路５１は、屈曲部５１ｂをさらに有している。シャフト流路５１は、ヘッドシャフト１１の下端からヘッドシャフト１１の軸方向に沿って上方に延びており、屈曲部５１ｂで屈曲して、シャフト開口部５１ａまで延びる。シャフト流路５１は、圧力室Ｃａ１に連通している。

[0051] ロータリージョイント２１Ａは、その内面２２ａに周方向に沿って形成された環状の溝であるリング流路５４ａと、ロータリージョイント２１Ａの外面２２ｂで開口する連結ポート５４ｂを有している。ジョイント流路５４は、リング流路５４ａおよび連結ポート５４ｂに連通している。シャフト開口部５１ａは、リング

流路５４ａに対向している。シャフト流路５１とジョイント流路５４は、リング流路５４ａを通じて連通している。流体供給ラインＬａ１は、連結ポート５４ｂでロータリージョイント２１Ａに連結され、ジョイント流路５４に連通している。

[0052] ヘッドシャフト１１が回転しているとき、ロータリージョイント２１Ａおよび流体供給ラインＬａ１は回転せず、それらの位置は固定されている（すなわち静止したままである）。ヘッドシャフト１１が研磨ヘッド１０とともに回転すると、シャフト開口部５１ａがリング流路５４ａに沿って周方向に移動するため、流体供給ラインＬａ１と流体移送ラインＦａ１は、常に連通している。したがって、ヘッドシャフト１１の回転中、圧縮流体は、流体供給ラインＬａ１および流体移送ラインＦａ１を通じて、連続的に圧力室Ｃａ１に供給される。

[0053] 次に、マルチパスロータリージョイント２５の構成について説明する。図７は、マルチパスロータリージョイント２５の一実施形態を示す分解図である。図８は、図７に示すマルチパスロータリージョイント２５の拡大断面図である。図９は、図８のＣ－Ｃ線断面図である。マルチパスロータリージョイント２５は、ヘッドシャフト１１の少なくとも一部を囲むように配置されている。マルチパスロータリージョイント２５は、ヘッドシャフト１１の周方向に沿って配置された複数の（本実施形態では６つの）ジョイント部材６０と、これらジョイント部材６０を囲むように配置されたジョイントホルダ６２を有している。ジョイント部材６０の数は、マルチパスロータリージョイント２５に連結される流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６の数に対応している。ジョイント部材６０は、上から見たときに円弧形状のプレート構造体であり、環状の構造体を６等分に分割したような形状を有している。ジョイントホルダ６２は、環状の構造体である。

[0054] 本実施形態のマルチパスロータリージョイント２５は、６つの流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６に連結するための６つの連結ポート５８ｂを有している。流体移送ラインＦｂ１～Ｆｂ６は、ヘッドシャフト１１に形成された６つのシャフト流路５６およびマルチパスロータリージョイント２５に形成された６つのジョイント流路５８を含む流路によりそれぞれ構成されている。６つのシャフト流路５６は、ヘッドシャフト１１の外面１１ａで開口する６つのシャフト開口部５６ａをそれぞ

れ有している。各シャフト流路５６は、屈曲部５６ｂをさらに有している。シャフト流路５６は、ヘッドシャフト１１の下端からヘッドシャフト１１の軸方向に沿って上方に延びており、屈曲部５６ｂで屈曲して、シャフト開口部５６ａまで延びる。複数のシャフト流路５６は、圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６にそれぞれ連通している。

[0055] ６つのジョイント流路５８は、マルチパスロータリージョイント２５の内面２５ａで開口する６つのジョイント開口部５８ａと、マルチパスロータリージョイント２５の外面２５ｂで開口する６つの連結ポート５８ｂを有している。ジョイント開口部５８ａは、シャフト開口部５６ａに対向している。６つのシャフト開口部５６ａおよび６つのジョイント開口部５８ａは、ヘッドシャフト１１の周方向に沿って配列され、かつヘッドシャフト１１の軸方向において同じ位置にある。シャフト流路５６とジョイント流路５８は、このシャフト開口部５６ａとジョイント開口部５８ａを通じて連通する。流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６は、６つの連結ポート５８ｂでマルチパスロータリージョイント２５に連結され、６つのジョイント流路５８にそれぞれ連通している。

[0056] マルチパスロータリージョイント２５は、ヘッドシャフト１１が研磨ヘッド１０とともに一回転するたびに、流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６のそれぞれを、６つのシャフト流路５６に順次連通させるように構成されている。ヘッドシャフト１１が回転しているとき、マルチパスロータリージョイント２５および流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６は回転せず、それらの位置は固定されている（すなわち静止したままである）。

[0057] ヘッドシャフト１１が回転すると、６つのシャフト開口部５６ａがヘッドシャフト１１の周方向に移動するため、各シャフト開口部５６ａは、ジョイント開口部５８ａとマルチパスロータリージョイント２５の内面２５ａとに交互に対向する。各シャフト流路５６は、シャフト開口部５６ａとジョイント開口部５８ａが対向するときに、対応するジョイント流路５８に連通する。したがって、ヘッドシャフト１１の回転中、流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６内の圧縮流体は、流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６のそれぞれに連通する流体移送ラインＦｂ１～Ｆｂ６が切り替わることにより、圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６に順次供給される。すなわち、ヘッドシャフ

ト１１が一回転するたびに、圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６のそれぞれには、すべての流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６から１回ずつ圧縮流体が供給される。

[0058] ６つのジョイント部材６０およびジョイントホルダ６２には、６つのジョイント流路５８が貫通して延びている。６つのジョイント開口部５８ａは、６つのジョイント部材６０の内面でそれぞれ開口している。６つの連結ポート５８ｂは、ジョイントホルダ６２の外面で開口している。図９に示すように、各ジョイント開口部５８ａは、ヘッドシャフト１１の周方向に延びており、各ジョイント開口部５８ａの幅は、各シャフト開口部５６ａの幅よりも大きい。これにより、ヘッドシャフト１１が回転して、各シャフト開口部５６ａに対向するジョイント開口部５８ａが順次切り替わるときに、各シャフト流路５６がジョイント流路５８に連通している時間を十分に確保することができる。結果的に、圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６に、圧縮流体を十分に供給することができる。

[0059] ６つのジョイント部材６０とジョイントホルダ６２との間には、わずかに隙間が空いていてもよい。図７に示すように、各ジョイント部材６０は、複数のばね保持穴６０ａを有している。ばね保持穴６０ａは、ジョイント部材６０の外面に形成されており、マルチパスロータリージョイント２５の半径方向内側に延びている。ばね保持穴６０ａは、ジョイント部材６０を貫通していない。

[0060] マルチパスロータリージョイント２５は、各ばね保持穴６０ａ内に配置された、ばね６５を有している。ばね６５は、その弾性力により、６つのジョイント部材６０をヘッドシャフト１１に対してそれぞれ押し付けるように構成されている。これにより、６つのジョイント部材６０とヘッドシャフト１１とを密着させて、シャフト流路５６とジョイント流路５８との接続点での圧縮流体の漏洩を最少とすることができる。複数のジョイント部材６０およびヘッドシャフト１１は、硬質材料（例えば、ＳｉＣなどのセラミック、カーボン、またはＳＵＳ、アルミニウム等の金属など）によって形成されている。

[0061] ジョイント部材６０の数は、ジョイント部材６０とヘッドシャフト１１とを密着させることができる限り任意であり、６つよりも少なくてもよいし、あるいは６つよりも多くてもよい。例えば、２つのジョイント流路５８に対して、１つの

ジョイント部材６０が設けられてもよい。本実施形態では、各ジョイント部材６０に対して、４つのばね保持穴６０ａ、および４つのばね６５が設けられているが、ばね保持穴６０ａ、および、ばね６５の数は、ジョイント部材６０とヘッドシャフト１１とを密着させることができる限り任意であり、４つよりも少なくてもよいし、あるいは４つよりも多くてもよい。一例では、各ジョイント部材６０に対して、１つのばね保持穴６０ａ、および１つのばね６５が設けられてもよい。

[0062] マルチパスロータリージョイント２５は、ジョイントホルダ６２に対する６つのジョイント部材６０の周方向における相対的な位置を固定する複数の（本実施形態では６つの）位置決め機構６８を有している。図１０は、位置決め機構６８の一実施形態を示す拡大断面図である。位置決め機構６８は、各ジョイント部材６０の外面に形成された突起部６０ｂと、ジョイントホルダ６２の内面に形成された凹部６２ａを含む。ジョイント流路５８は、突起部６０ｂを貫通して延びている。位置決め機構６８は、ジョイント部材６０の突起部６０ｂが、ジョイントホルダ６２の凹部６２ａに嵌合することにより、ジョイントホルダ６２に対するジョイント部材６０の周方向への移動を制限するように構成されている。一方、位置決め機構６８は、ジョイントホルダ６２に対するジョイント部材６０の径方向への移動を許容するように構成されている。

[0063] ６つの位置決め機構６８は、ジョイント部材６０の突起部６０ｂの外面と、ジョイントホルダ６２の凹部６２ａの内面との隙間をシールする６つのシール機構７０をそれぞれ有している。各シール機構７０は、ジョイントホルダ６２に形成されたシール溝６２ｂおよび無端シール部材（例えば、Ｏリング）７２により構成されている。シール溝６２ｂは、凹部６２ａを構成する面に形成されている。無端シール部材７２は、シール溝６２ｂ内に配置されている。シール機構７０は、ジョイントホルダ６２に対してジョイント部材６０が径方向に移動したときに、突起部６０ｂの外面と凹部６２ａの内面との隙間をシールして、ジョイント流路５８から圧縮流体が漏れるのを防ぐことができる。

[0064] 位置決め機構６８の構成は、ジョイントホルダ６２に対する６つのジョイント部材６０の周方向における相対的な位置を固定することができる限り、本実施

形態に限られない。一実施形態では、位置決め機構６８は、ジョイント部材６０に形成された凹部とジョイントホルダ６２に形成された突起部を有してもよい。シール機構７０の構成は、ジョイント部材６０とジョイントホルダ６２との隙間をシールすることができる限り、本実施形態に限られない。一実施形態では、シール機構７０は、ジョイント部材６０に形成されたシール溝および無端シール部材により構成されてもよい。

[0065] 図１１は、複数の圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６がリテーナリング４０の複数の領域に対してそれぞれ発生させる押圧力が切り替わる位置を示す複数の圧力領域ＰＲ１～ＰＲ６を示す図である。ヘッドシャフト１１の回転とともに、研磨ヘッド１０の圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６も回転する。圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６のそれぞれは、マルチパスロータリージョイント２５により、ヘッドシャフト１１の回転にとともに流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６に順次連通する。複数の圧力領域ＰＲ１～ＰＲ６は、流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６の位置に対応しており、複数の圧力領域ＰＲ１～ＰＲ６の研磨パッド２に対する相対的な位置は固定されている。すなわち、研磨ヘッド１０の圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６が回転するのに対して、複数の圧力領域ＰＲ１～ＰＲ６は回転しない。複数の圧力領域ＰＲ１～ＰＲ６は、上から見たときに、それぞれ円弧形状を有している。

[0066] 図１１に示す圧力領域ＰＲ１に位置する圧力室は、流体供給ラインＬｂ１に連通し、圧力領域ＰＲ２に位置する圧力室は、流体供給ラインＬｂ２に連通し、圧力領域ＰＲ３に位置する圧力室は、流体供給ラインＬｂ３に連通し、圧力領域ＰＲ４に位置する圧力室は、流体供給ラインＬｂ４に連通し、圧力領域ＰＲ５に位置する圧力室は、流体供給ラインＬｂ５に連通し、圧力領域ＰＲ６に位置する圧力室は、流体供給ラインＬｂ６に連通する。研磨ヘッド１０およびヘッドシャフト１１の回転とともに、圧力領域ＰＲ１～ＰＲ６のそれぞれに位置する圧力室に連通する流体供給ラインは、順次切り替わる。複数の圧力領域ＰＲ１～ＰＲ６の研磨パッド２に対する相対的な位置は、流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６から供給される圧縮流体の圧力、研磨パッド２の回転速度、および研磨ヘッド１０（ヘッドシャフト１１）の回転速度などによって、調整されてもよい。

[0067] 基板Wの研磨中、基本的に、圧力レギュレータＲｂ１～Ｒｂ６は、流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６内の圧縮流体の設定圧力値を一定に維持するように動作する。図１２は、研磨ヘッド１０（ヘッドシャフト１１）の回転とともに変化する圧力室Ｃｂ１内の圧力の推移の一実施形態を示すグラフである。図１２において、横軸は圧力室Ｃｂ１の回転角度を表し、縦軸は圧力室Ｃｂ１内の圧力を表している。本実施形態では、流体供給ラインＬｂ１内の圧縮流体の設定圧力値（すなわち圧力領域ＰＲ１での設定圧力値）はＰ２であり、流体供給ラインＬｂ２内の圧縮流体の設定圧力値（すなわち圧力領域ＰＲ２での設定圧力値）はＰ３（＞Ｐ２）であり、流体供給ラインＬｂ３内の圧縮流体の設定圧力値（すなわち圧力領域ＰＲ３での設定圧力値）はＰ３であり、流体供給ラインＬｂ４内の圧縮流体の設定圧力値（すなわち圧力領域ＰＲ４での設定圧力値）はＰ２であり、流体供給ラインＬｂ５内の圧縮流体の設定圧力値（すなわち圧力領域ＰＲ５での設定圧力値）はＰ１（＜Ｐ２）であり、流体供給ラインＬｂ６内の圧縮流体の設定圧力値（すなわち圧力領域ＰＲ６での設定圧力値）はＰ１である。

[0068] 圧力室Ｃｂ１は、研磨ヘッド１０およびヘッドシャフト１１の回転とともに図１１の矢印で示す方向に回転する。圧力室Ｃｂ１が圧力領域ＰＲ１に位置するとき、圧力室Ｃｂ１の回転角度は０度であり、圧力室Ｃｂ１が圧力領域ＰＲ２に位置するとき、圧力室Ｃｂ１の回転角度は６０度であり、圧力室Ｃｂ１が圧力領域ＰＲ３に位置するとき、圧力室Ｃｂ１の回転角度は１２０度であり、圧力室Ｃｂ１が圧力領域ＰＲ４に位置するとき、圧力室Ｃｂ１の回転角度は１８０度であり、圧力室Ｃｂ１が圧力領域ＰＲ５に位置するとき、圧力室Ｃｂ１の回転角度は２４０度であり、圧力室Ｃｂ１が圧力領域ＰＲ６に位置するとき、圧力室Ｃｂ１の回転角度は３００度である。したがって、圧力室Ｃｂ１内の圧力は、圧力室Ｃｂ１が圧力領域ＰＲ１（０度）に位置するときにＰ２であり、圧力室Ｃｂ１が圧力領域ＰＲ２（６０度）に位置するときにＰ３であり、圧力室Ｃｂ１が圧力領域ＰＲ３（１２０度）に位置するときにＰ３であり、圧力室Ｃｂ１が圧力領域ＰＲ４（１８０度）に位置するときにＰ２であり、圧力室Ｃｂ１が圧力領域ＰＲ５（２４０度）に位置するときにＰ１であり、圧力室Ｃｂ１が圧力領域ＰＲ６（３００度）に位置するときにＰ

１である。

[0069] 図１２に示すように、圧力室Ｃｂ１内の圧力は、ヘッドシャフト１１（すなわち、圧力室Ｃｂ１）が一回転するたびに、流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６内の圧縮流体の設定圧力値Ｐ１～Ｐ３に順次切り替わる。隣接する流体供給ラインの設定圧力値が異なる場合、圧力室Ｃｂ１内の圧力はなだらかに切り替わる。隣接する流体供給ラインの設定圧力値が同じ場合、圧力室Ｃｂ１内の圧力はその設定圧力値に維持される。

[0070] 他の圧力室Ｃｂ２～Ｃｂ６においても、圧力室Ｃｂ１と同様に、ヘッドシャフト１１（すなわち、圧力室Ｃｂ２～Ｃｂ６）が一回転するたびに、圧力室Ｃｂ２～Ｃｂ６内の圧力は、流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６内の圧縮流体の設定圧力値Ｐ１～Ｐ３に順次切り替わる。このようにして、圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６の位置に対応するリテーナリング４０の６つの領域は、圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６内の圧力に応じた複数の押圧力で、研磨パッド２の研磨面２ａに対して押し付けることができる。結果として、基板Wのエッジ部での研磨レートを精密に制御することができる。このリテーナリング４０の６つの領域に対する複数の押圧力は、少なくとも２つの異なる押圧力を含む。この少なくとも２つの異なる押圧力のうちの１つは、流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６に取り付けられた大気開放弁により流体供給ラインが大気開放され、無加圧（すなわち押圧力が０）であってもよい。

[0071] 本実施形態によれば、マルチパスロータリージョイント２５を用いることで、基板Wのエッジ部での研磨レートを精密に制御することができる。

[0072] 本実施形態では、圧力領域ＰＲ２，ＰＲ３に位置する圧力室により発生される押圧力が、他の圧力室により発生される押圧力よりも大きくなるように、圧力レギュレータＲｂ１～Ｒｂ６により、圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６内の圧力がそれぞれ調節される。基板Wの研磨中、リテーナリング４０が基板Wとの摩擦力を受けて、研磨パッド２（研磨面２ａ）の回転方向において下流側、すなわち、図１１の圧力領域ＰＲ２，ＰＲ３付近に対応する領域では、リテーナリング４０は浮き上がった状態となっている。逆に、上流側、すなわち、図１１の圧力領域ＰＲ５，ＰＲ６付近に対応する領域では、リテーナリング４０は研磨パッド２に沈み込んだ状態となっ

ている。したがって、研磨パッド２（研磨面２ａ）の回転方向において下流側、すなわち圧力領域ＰＲ２，ＰＲ３に位置する圧力室により発生される押圧力を、他の圧力室により発生される押圧力よりも大きくすることで、リテーナリング４０の下流側の部位に大きな押圧力が付与される。これにより、基板Wのエッジ部の研磨レートを効果的に制御することができる。

[0073] また、基板Wの研磨中は、基板Wは研磨面２ａとの摩擦力を受けてリテーナリング４０の内周面に押し付けられた状態となっているので、研磨パッド２（研磨面２ａ）の回転方向において下流側では、リテーナリング４０と基板Wとの隙間が最も小さくなっている。したがって、研磨パッド２（研磨面２ａ）の回転方向において下流側、すなわち圧力領域ＰＲ２，ＰＲ３に位置する圧力室により発生される押圧力を、他の圧力室により発生される押圧力よりも大きくすることで、パッドリバウンドの影響を顕著に基板Wに与えられる。

[0074] 図１３は、研磨ヘッド１０（ヘッドシャフト１１）回転とともに変化する圧力室Ｃｂ１内の圧力の推移の他の実施形態を示すグラフである。特に説明しない本実施形態の構成および動作は、図１２を参照して説明した実施形態と同様であるので、その重複する説明を省略する。本実施形態では、流体供給ラインＬｂ１内の圧縮流体の設定圧力値（すなわち圧力領域ＰＲ１での設定圧力値）は０、流体供給ラインＬｂ２内の圧縮流体の設定圧力値（すなわち圧力領域ＰＲ２での設定圧力値）はＰ４、流体供給ラインＬｂ３内の圧縮流体の設定圧力値（すなわち圧力領域ＰＲ３での設定圧力値）はＰ４、流体供給ラインＬｂ４内の圧縮流体の設定圧力値（すなわち圧力領域ＰＲ４での設定圧力値）は０、流体供給ラインＬｂ５内の圧縮流体の設定圧力値（すなわち圧力領域ＰＲ５での設定圧力値）は０、流体供給ラインＬｂ６内の圧縮流体の設定圧力値（すなわち圧力領域ＰＲ６での設定圧力値）は０である。

[0075] 圧力室Ｃｂ１内の圧力は、圧力室Ｃｂ１が圧力領域ＰＲ１（０度）に位置するときに０であり、圧力室Ｃｂ１が圧力領域ＰＲ２（６０度）に位置するときにＰ４であり、圧力室Ｃｂ１が圧力領域ＰＲ３（１２０度）に位置するときにＰ４であり、圧力室Ｃｂ１が圧力領域ＰＲ４（１８０度）に位置するときに０であり、圧

力室Ｃｂ１が圧力領域ＰＲ５（２４０度）に位置するときに０であり、圧力室Ｃｂ１が圧力領域ＰＲ６（３００度）に位置するときに０である。図１３に示すように、圧力室Ｃｂ１内の圧力は、ヘッドシャフト１１（すなわち、圧力室Ｃｂ１）が一回転するたびに、流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６内の圧縮流体の設定圧力値０，Ｐ４に順次切り替わる。本実施形態では、圧力室が圧力領域ＰＲ２，ＰＲ３に位置するときに、リテーナリング４０に対する押圧力が発生し、圧力室が他の圧力領域に位置するときには、リテーナリング４０に対する押圧力が発生しない。したがって、図１２を参照して説明した実施形態と比較すると、研磨パッド２（研磨面２ａ）の回転方向において、リテーナリング４０の下流側と上流側では、より大きな押圧力の差が生じる。

[0076] 図１２および図１３を参照して説明した実施形態では、一例として、研磨パッド２（研磨面２ａ）の回転方向において、リテーナリング４０の下流側の部位に大きな押圧力が付与されるように、流体供給ラインＬｂ２，Ｌｂ３内の圧縮流体の設定圧力値（すなわち圧力領域ＰＲ２，ＰＲ３での設定圧力値）は、他の流体供給ライン内の圧縮流体の設定圧力値よりも大きくなるように設定されているが、流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６内の圧縮流体の設定圧力値は、これらの例に限られない。一実施形態では、研磨パッド２（研磨面２ａ）の回転方向において、リテーナリング４０の上流側の部位に大きな押圧力が付与されるように、流体供給ラインＬｂ５，Ｌｂ６内の圧縮流体の設定圧力値（すなわち圧力領域ＰＲ５，ＰＲ６での設定圧力値）は、他の流体供給ライン内の圧縮流体の設定圧力値よりも大きくなるように設定されてもよい。

[0077] 他の実施形態では、圧力レギュレータＲｂ１～Ｒｂ６のうち圧力レギュレータＲｂ３のみを動作させて、流体供給ラインＬｂ３内の圧縮流体の設定圧力値を一定に維持し、流体供給ラインＬｂ１，Ｌｂ２，Ｌｂ４～Ｒｂ６に接続された大気開放弁を動作させて、流体供給ラインＬｂ１，Ｌｂ２，Ｌｂ４～Ｒｂ６を大気開放してもよい。この場合、圧力領域ＰＲ３に対応するリテーナリング４０の領域のみに押圧力が付与され、リテーナリング４０の他の領域には押圧力が付与されない。このように、特定の圧力領域に対応するリテーナリング４０の領域のみに押圧力を

付与するときには、複数の流体供給ラインのうち、特定の流体供給ラインのみに圧力レギュレータが取り付けられ、他の流体供給ラインには大気開放弁のみがそれぞれ取り付けられてもよい。

[0078] 図１４は、マルチパスロータリージョイント２５の他の実施形態を示す分解図である。図１５は、図１４に示すマルチパスロータリージョイント２５の断面図である。本実施形態では、図１４および図１５に示すように、マルチパスロータリージョイント２５は、１つのジョイント部材６０と、ジョイントホルダ６２を備えており、ジョイントホルダ６２に連結ポート５８ｂを１つのみ有している。研磨ヘッドシステム１は、１つの流体供給ラインＬｂ１と、流体供給ラインＬｂ１に取り付けられた１つの圧力レギュレータＲｂ１を備えている。流体供給ラインＬｂ１は、連結ポート５８ｂでマルチパスロータリージョイント２５に連結されている。

[0079] マルチパスロータリージョイント２５は、ヘッドシャフト１１を挟んでジョイント部材６０とは反対側に位置するスペーサ６３を備えていてもよい。スペーサ６３は、ジョイントホルダ６２とヘッドシャフト１１との間に配置されている。ジョイント部材６０とスペーサ６３は、ヘッドシャフト１１に関して対称である。図１５に示すように、スペーサ６３は、ジョイントホルダ６２に形成された凹部６２ｃに嵌合する突起部６３ａと、シャフト開口部５６ａに対向する通孔６３ｂを有している。突起部６３ａがジョイントホルダ６２の凹部６２ｃに嵌合することにより、ジョイントホルダ６２に対するスペーサ６３の周方向の位置が固定されている。

[0080] スペーサ６３は、ばね保持穴（図示せず）を有している。ばね保持穴は、スペーサ６３の外面に形成されており、マルチパスロータリージョイント２５の半径方向内側に延びている。ばね保持穴は、スペーサ６３を貫通していない。マルチパスロータリージョイント２５は、各ばね保持穴内に配置された、ばね（図示せず）を有している。ばねは、その弾性力により、スペーサ６３をヘッドシャフト１１に対して押し付けるように構成されている。これにより、スペーサ６３とヘッドシャフト１１とを密着させて、ヘッドシャフト１１とジョイントホルダ６２の相対的な位置を安定化させることができる。結果的に、スペーサ６３は、ジョイントホルダ６２に対するジョイント部材６０の径方向の位置を安定化させることができる。

[0081] ヘッドシャフト１１の回転中、各シャフト流路５６は、シャフト開口部５６ａと１つのジョイント開口部５８ａが対向するときのみ、ジョイント流路５８に連通し、シャフト開口部５６ａと１つのジョイント開口部５８ａが対向していないときは、大気開放される。各シャフト流路５６は、シャフト開口部５６ａとスペーサ６３の通孔６３ｂが対向するときにも大気開放される。したがって、圧力レギュレータＲｂ１により、流体供給ラインＬｂ１内の圧縮流体の設定圧力値が一定に維持されると、特定の圧力領域に対応するリテーナリング４０の領域のみに押圧力が付与される。リテーナリング４０の６つの領域に対する複数の押圧力は、少なくとも２つの異なる押圧力を含む。この少なくとも２つの異なる押圧力のうちの１つは、シャフト流路５６が大気開放されることによる無加圧（すなわち押圧力が０）であってもよい。本実施形態のマルチパスロータリージョイント２５は、連結ポート５８ｂを１つのみ有しているが、実質的に２つの異なる押圧力をリテーナリング４０の６つの領域に付与することができる。

[0082] 一実施形態では、スペーサ６３は省略されてもよい。この場合でも、ヘッドシャフト１１の回転中、各シャフト流路５６は、１つのジョイント開口部５８ａに対向するときのみジョイント流路５８に連通し、他のシャフト流路５６は大気開放される。

[0083] 図１６は、研磨ヘッド１０の他の実施形態を示す模式図である。特に説明しない本実施形態の構成および動作は、上述した実施形態と同様であるので、その重複する説明を省略する。図１６は、研磨ヘッド１０を上から見た図である。本実施形態の研磨ヘッド１０は、複数のリテーナリング押圧膜４５Ａ～４５Ｆに代えて、複数のローリングダイヤフラム７５Ａ～７５Ｆを備えている。これらローリングダイヤフラム７５Ａ～７５Ｆは、それらの内側に複数の圧力室を形成する。

[0084] 本実施形態では、ローリングダイヤフラム７５Ａ～７５Ｆによって形成される複数の圧力室は、複数の圧力室グループＣｇ１～Ｃｇ６に分けられる。すなわち、圧力室グループＣｇ１は、５つのローリングダイヤフラム７５Ａによって形成された５つの圧力室を含み、圧力室グループＣｇ２は、５つのローリングダイヤフラム７５Ｂによって形成された５つの圧力室を含み、圧力室グループＣｇ３は、５

つのローリングダイヤフラム７５Ｃによって形成された５つの圧力室を含み、圧力室グループＣｇ４は、５つのローリングダイヤフラム７５Ｄによって形成された５つの圧力室を含み、圧力室グループＣｇ５は、５つのローリングダイヤフラム７５Ｅによって形成された５つの圧力室を含み、圧力室グループＣｇ６は、５つのローリングダイヤフラム７５Ｆによって形成された５つの圧力室を含む。３０個のローリングダイヤフラム７５Ａ～７５Ｆは、リテーナリング４０の周方向に沿って配列されている。ローリングダイヤフラム７５Ａ～７５Ｆのそれぞれは、円柱形状を有している。

[0085] ローリングダイヤフラム７５Ａ～７５Ｆは、エチレンプロピレンゴム（ＥＰＤＭ）、ポリウレタンゴム、シリコーンゴム等の強度および耐久性に優れた弾性材料によって形成されている。本実施形態では、研磨ヘッド１０は、３０個のローリングダイヤフラム７５Ａ～７５Ｆを有し、圧力室グループＣｇ１～Ｃｇ６のそれぞれは、５つのローリングダイヤフラムによって形成されているが、本発明は本実施形態に限定されない。一実施形態では、５つよりも少ない、または５つよりも多いローリングダイヤフラムによって１つの圧力室グループに属する少なくとも１つの圧力室が形成されてもよい。

[0086] 図１７は、図１６に示すローリングダイヤフラム７５Ａの断面図である。ローリングダイヤフラム７５Ａ～７５Ｆの構成は、基本的に同じであるので、以下ローリングダイヤフラム７５Ａの構成について説明する。ローリングダイヤフラム７５Ａは、ロール部７６ａと、押圧部７６ｂを備えている。各ローリングダイヤフラム７５Ａは、その内側に圧力室７８を形成する。ドライブリング４２は、ローリングダイヤフラム７５Ａの押圧部７６ｂに対向する凸部４２ａを有している。５つのローリングダイヤフラム７５Ａは、流体移送ラインＦｂ１に連結されている。より具体的には、流体移送ラインＦｂ１は、ヘッダー７９を通じて５つのローリングダイヤフラム７５Ａに連結されている（図１６参照）。５つのローリングダイヤフラム７５Ａは、ヘッダー７９に連結されている。

[0087] 流体移送ラインＦｂ１を通じて圧力室グループＣｇ１の圧力室７８に圧縮流体が供給されると、５つのローリングダイヤフラム７５Ａの押圧部７６ｂはそれ

ぞれ下方に押し下げられ、ドライブリング４２の凸部４２ａに対して押圧力を与える。この押圧力は、ドライブリング４２を介してリテーナリング４０に付与される。このようにして、圧力室グループＣｇ１は、圧力室グループＣｇ１の位置に対応するリテーナリング４０の領域を、研磨パッド２の研磨面２ａに対して押し付けるための押圧力を発生させる。

[0088] 本実施形態によれば、ロール部７６ａおよび押圧部７６ｂを有するローリングダイヤフラム７５Ａ～７５Ｆの構造により、ローリングダイヤフラム７５Ａ～７５Ｆによって形成された圧力室７８内の圧縮流体は、圧力室７８を下方に膨張させる力として効率的に作用するため、意図した押圧力を発生することができる。基板の研磨を繰り返すと、リテーナリング４０が研磨パッド２との摩擦により摩耗する。ローリングダイヤフラム７５Ａ～７５Ｆを用いた構成は、特に、リテーナリング４０が研磨パッド２との摩擦により摩耗した場合でも、意図した押圧力を発生させることができる。

[0089] 図１８は、研磨ヘッド１０のさらに他の実施形態を示す模式図である。特に説明しない本実施形態の構成および動作は、図１６および図１７を参照して説明した実施形態と同様であるので、その重複する説明を省略する。図１８は、研磨ヘッド１０を上から見た図である。本実施形態の研磨ヘッド１０は、複数の圧力室グループＣｇ１～Ｃｇ６に隣接する環状圧力室Ｃｃをさらに備えている。研磨ヘッド１０は、複数のローリングダイヤフラム７５Ａ～７５Ｆの内側に配置された環状ローリングダイヤフラム８０を備えている。環状ローリングダイヤフラム８０の内部には、環状圧力室Ｃｃが形成されている。

[0090] 図１９は、図１８に示すロータリージョイント組立体２０のＤ－Ｄ線断面図である。本実施形態のロータリージョイント組立体２０は、ロータリージョイント２８をさらに備えている。環状圧力室Ｃｃは、流体移送ラインＦｃに接続されている。流体移送ラインＦｃは、キャリア３１、ヘッドシャフト１１、およびロータリージョイント２８内を延びている。流体移送ラインＦｃは、ヘッドシャフト１１に形成されたシャフト流路８１およびロータリージョイント２８に形成されたジョイント流路８４を含む流路により構成されている。研磨ヘッドシステム１は、ロー

タリージョイント２８に連結された流体供給ラインＬｃ、および流体供給ラインＬｃに取り付けられた圧力レギュレータＲｃを備えている。流体移送ラインＦｃは、流体供給ラインＬｃに連通している。流体供給ラインＬｃの一端は、研磨装置が設置されている工場に設けられたユーティリティ供給源としての圧縮流体供給源（図示せず）に接続されている。

[0091] ロータリージョイント２８、シャフト流路８１、およびジョイント流路８４の構成は、上述したロータリージョイント２１Ａ～２１Ｄ、シャフト流路５１、およびジョイント流路５４の構成と同じであるので、その重複する説明を省略する。

[0092] 圧縮流体供給源からの圧縮流体（例えば、圧縮空気などの圧縮気体）は、流体供給ラインＬｃおよび流体移送ラインＦｃを通じて、環状圧力室Ｃｃ内に供給される。圧力レギュレータＲｃは、環状圧力室Ｃｃ内の圧縮流体の圧力を調節するように構成されている。環状圧力室Ｃｃは、リテーナリング４０の全体を研磨パッド２の研磨面２ａに対して押し付けるための均一な押圧力を発生させる。これにより、リテーナリング４０の研磨パッド２への押圧力を調節することができる。

[0093] 流体供給ラインＬｃは、大気開放弁（図示せず）にそれぞれ接続されてもよい。この場合、大気開放弁を動作させることにより、環状圧力室Ｃｃを大気開放することができる。圧力レギュレータＲｃおよび大気開放弁は、動作制御部９に接続されている。動作制御部９は、環状圧力室Ｃｃの目標圧力値を圧力レギュレータＲｃに送り、環状圧力室Ｃｃ内の圧力が対応する目標圧力値となるように、圧力レギュレータＲｃを動作させる。

[0094] 図２０は、図１８に示すローリングダイヤフラム７５Ａおよび環状ローリングダイヤフラム８０の断面図である。環状ローリングダイヤフラム８０は、ロール部８０ａと、押圧部８０ｂを備えている。ドライブリング４２は、環状ローリングダイヤフラム８０の押圧部８０ｂに対向する凸部４２ｂをさらに有している。環状ローリングダイヤフラム８０は、流体移送ラインＦｃに連結されている。流体供給ラインＬｃから環状圧力室Ｃｃに圧縮流体が供給されると、環状ローリングダイヤフラム８０の押圧部８０ｂは下方に押し下げられ、ドライブリング４２の凸部４２ｂに対して押圧力を与える。この押圧力は、ドライブリング４２を介してリテー

ナリング４０に付与される。このようにして、環状圧力室Ｃｃは、環状圧力室Ｃｃの下方に位置するドライブリング４２を介して、リテーナリング４０の全体を研磨パッド２の研磨面２ａに対して押し付けるための押圧力を発生させる。

[0095] 本実施形態によれば、環状圧力室Ｃｃによって、基板Wの研磨中に最低限必要な押圧力をリテーナリング４０に対して付与しつつ、複数のローリングダイヤフラム７５Ａ～７５Ｆによって、複数の圧力室グループＣｇ１～Ｃｇ６に対応するリテーナリング４０の６つの領域に対して、少なくとも２つの異なる押圧力を含む６つの押圧力をそれぞれ付与することにより、基板Wのエッジ部での研磨レートを精密に制御することができる。

[0096] 本実施形態では、環状ローリングダイヤフラム８０は、複数のローリングダイヤフラム７５Ａ～７５Ｆの内側に配置されているが、一実施形態では、環状ローリングダイヤフラム８０は、複数のローリングダイヤフラム７５Ａ～７５Ｆの外側に配置されてもよい。

[0097]図１８乃至図２０を参照して説明した環状ローリングダイヤフラム８０は、図１乃至図１３を参照して説明した実施形態にも適用することができる。すなわち、環状ローリングダイヤフラム８０は、複数の圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６を形成する上述した複数のリテーナリング押圧膜４５Ａ～４５Ｆの内側または外側に配置されてもよい。

[0098] 図１２および図１３を参照して説明したように、研磨ヘッド１０の圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６内の圧力は、研磨ヘッド１０（ヘッドシャフト１１）の回転に伴い、流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６内の圧縮流体の設定圧力値に応じて推移する。しかしながら、研磨ヘッド１０の回転速度が速い場合、研磨ヘッド１０の圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６内の圧力が、流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６内の圧縮流体の設定圧力値に到達しないことがある。

[0099] 図２１は、研磨ヘッド１０の回転速度による１つの圧力室Ｃｂ１内の圧力の推移の違いを説明するためのグラフである。図２１において、実線で示すグラフは、比較的遅い回転速度Ｅ（例えば、３０ｒｐｍ）で研磨ヘッド１０を回転させたときの１つの圧力室Ｃｂ１内の圧力の推移を表している。一点鎖線で示すグラフは、

研磨ヘッド１０の回転速度が比較的速い回転速度Ｆ（例えば、９０ｒｐｍ）で研磨ヘッド１０を回転させたときの１つの圧力室Ｃｂ１内の圧力の推移を表している。図２１では、圧力室Ｃｂ１内の圧力の推移について説明するが、他の圧力室Ｃｂ２～Ｃｂ６内の圧力の推移についても同様である。

[0100] 図２１に示す例では、流体供給ラインＬｂ１内の圧縮流体の設定圧力値（すなわち圧力領域ＰＲ１での設定圧力値）は０、流体供給ラインＬｂ２内の圧縮流体の設定圧力値（すなわち圧力領域ＰＲ２での設定圧力値）はＰ５、流体供給ラインＬｂ３内の圧縮流体の設定圧力値（すなわち圧力領域ＰＲ３での設定圧力値）はＰ５、流体供給ラインＬｂ４内の圧縮流体の設定圧力値（すなわち圧力領域ＰＲ４での設定圧力値）は０、流体供給ラインＬｂ５内の圧縮流体の設定圧力値（すなわち圧力領域ＰＲ５での設定圧力値）は０、流体供給ラインＬｂ６内の圧縮流体の設定圧力値（すなわち圧力領域ＰＲ６での設定圧力値）は０である。

[0101] 比較的遅い回転速度Ｅで研磨ヘッド１０を回転させたときは、圧力室Ｃｂ１内の圧力は、研磨ヘッド１０が一回転するたびに、流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６内の圧縮流体の設定圧力値０，Ｐ５に順次切り替わる。より具体的には、圧力室Ｃｂ１内の圧力は、圧力室Ｃｂ１が圧力領域ＰＲ１（０度）に位置するときに０であり、圧力室Ｃｂ１が圧力領域ＰＲ２（６０度）に位置するときにＰ５であり、圧力室Ｃｂ１が圧力領域ＰＲ３（１２０度）に位置するときにＰ５であり、圧力室Ｃｂ１が圧力領域ＰＲ４（１８０度）に位置するときに０であり、圧力室Ｃｂ１が圧力領域ＰＲ５（２４０度）に位置するときに０であり、圧力室Ｃｂ１が圧力領域ＰＲ６（３００度）に位置するときに０である。他の圧力室Ｃｂ２～Ｃｂ６内の圧力の推移も、圧力室Ｃｂ１内の圧力の推移と同様である。

[0102] 本明細書において、比較的遅い回転速度Ｅで研磨ヘッド１０を回転させたときのように、圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６のそれぞれに連通する流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６内の圧縮流体の設定圧力値に順次切り替わる圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６内の圧力（例えば、上述した０，Ｐ５）のことを「目標圧力」と定義する。

[0103] 一方、比較的速い回転速度Ｆで研磨ヘッド１０を回転させたときは、圧力室Ｃｂ１が圧力領域ＰＲ１～ＰＲ６のそれぞれに位置している時間が短くなる。す

なわち、圧力室Ｃｂ１が流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６のそれぞれに連通している時間が短くなり、圧力室Ｃｂ１が圧縮流体の設定圧力値がＰ５である流体供給ラインＬｂ２，Ｌｂ３に連通している時間も短くなる。したがって、圧力室Ｃｂ１内の圧力は、圧力室Ｃｂ１が圧力領域ＰＲ２と圧力領域ＰＲ３の間に位置するときに、流体供給ラインＬｂ１内の圧縮流体の設定圧力値であるＰ５よりも小さい圧力Ｐ５’までしか上昇しない。他の圧力室Ｃｂ２～Ｃｂ６内の圧力の推移も、圧力室Ｃｂ１内の圧力の推移と同様である。

[0104] このように、研磨ヘッド１０の回転速度が比較的速い場合、圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６内の圧力は、目標圧力に到達しないことがある。結果として、圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６は、リテーナリング４０に対して押圧力を十分に付与することができない。そこで、以下に説明する実施形態では、動作制御部９は、圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６内の圧力が目標圧力よりも小さいときに、流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６内の圧縮流体の設定圧力値よりも大きい補正設定圧力値を圧力レギュレータＲｂ１～Ｒｂ６に送り、圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６内の圧力を補正するように構成されている。

[0105] 図２２は、研磨ヘッドシステム１の他の実施形態を模式的に示す断面図である。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１０を参照して説明した研磨ヘッドシステム１の構成および動作と同様であるので、その重複する説明を省略する。本実施形態では、研磨ヘッドシステム１が動作制御部９を備えている。本実施形態の研磨ヘッドシステム１は、圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６のうちの少なくとも１つの圧力室内の圧力を測定する少なくとも１つの圧力センサ９０、および圧力センサ９０と動作制御部９を電気的に接続させるロータリーコネクタ９２をさらに備えている。本実施形態では、研磨ヘッドシステム１は、圧力室Ｃｂ１内の圧力を測定する圧力センサ９０を備えている。一実施形態では、研磨ヘッドシステム１は、圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６のうちの２つ以上の圧力室内の圧力を測定する２つ以上の圧力センサ９０を備えてもよい。例えば、研磨ヘッドシステム１は、圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６内の圧力をそれぞれ測定する６つの圧力センサ９０を備えてもよい。

[0106] 圧力センサ９０は、流体供給ラインＦｂ１に取り付けられており、ロータリーコネクタ９２を介して、動作制御部９に電気的に接続されている。ロータリー

コネクタ９２は、ヘッドシャフト１１に取り付けられている。圧力センサ９０は、圧力室Ｃｂ１内の圧力を測定するように構成されている。圧力センサ９０により測定された圧力室Ｃｂ１内の圧力は、動作制御部９に送られる。圧力センサ９０は、所定の時間間隔で動作制御部９に圧力室Ｃｂ１内の圧力の測定値を送るように構成されている。一実施形態では、圧力センサ９０は、二次電池（バッテリー）、および動作制御部９と無線で通信するための無線通信機能を備え、ロータリーコネクタ９２を介すことなく動作可能に構成されてもよい。

[0107] 本実施形態では、流体供給ラインＦｂ１～Ｆｂ６内の圧縮流体の設定圧力値は、図２１に示す例と同様に、流体供給ラインＬｂ１，Ｌｂ４，Ｌｂ５，Ｌｂ６内の圧縮流体の設定圧力値（すなわち圧力領域ＰＲ１，ＰＲ４，ＰＲ５，ＰＲ６での設定圧力値）は０、流体供給ラインＬｂ２，Ｌｂ３内の圧縮流体の設定圧力値（すなわち圧力領域ＰＲ２，ＰＲ３での設定圧力値）はＰ５である。本実施形態の目標圧力は、圧力室Ｃｂ１が圧力領域ＰＲ１（０度），ＰＲ４（１８０度），ＰＲ５（２４０度），ＰＲ６（３００度）に位置するときに０であり、圧力室Ｃｂ１が圧力領域ＰＲ２（６０度），ＰＲ３（１２０度）に位置するときにＰ５である。

[0108] 動作制御部９は、圧力センサ９０から送られた圧力室Ｃｂ１内の圧力の測定値が、設定圧力値よりも小さいときに、流体供給ラインＦｂ１～Ｆｂ６内の圧縮流体の設定圧力値よりも大きい補正設定圧力値を圧力レギュレータＲｂ１～Ｒｂ６に送り、補正設定圧力値に基づいて圧力レギュレータＲｂ１～Ｒｂ６に圧力室Ｃｂ１内の圧力を補正させるように構成されている。本明細書において、「補正設定圧力値が設定圧力値よりも大きい」とは、少なくとも１つの流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６内の圧縮流体の補正設定圧力値が設定圧力値よりも大きいことを意味する。本実施形態では、流体供給ラインＬｂ２，Ｌｂ３内の圧縮流体の補正設定圧力値が設定圧力値よりも大きい。

[0109] 本実施形態では、動作制御部９は、圧力レギュレータＲｂ１，Ｒｂ４，Ｒｂ５，Ｒｂ６に設定圧力値０と同じ補正設定圧力値０を送り、圧力レギュレータＲｂ２，Ｒｂ３に設定圧力値Ｐ５よりも大きい補正設定圧力値Ｐ６を送る。動作制御部９から圧力レギュレータＲｂ１～Ｒｂ６に補正設定圧力値が送られると、流体供

給ラインＬｂ１，Ｌｂ４，Ｌｂ５，Ｌｂ６内の圧縮流体の圧力（すなわち圧力領域ＰＲ１，ＰＲ４，ＰＲ５，ＰＲ６での圧力値）は０、流体供給ラインＬｂ２，Ｌｂ３内の圧縮流体の圧力（すなわち圧力領域ＰＲ２，ＰＲ３での圧力値）は、設定圧力値Ｐ５よりも大きい補正設定圧力値Ｐ６となる。

[0110] 図２３は、目標圧力、圧力レギュレータＲｂ１～Ｒｂ６に送られる補正設定圧力値、および補正された１つの圧力室Ｃｂ１内の圧力の一実施形態を示すグラフである。図２３の細い実線で示すグラフは、１つの圧力室Ｃｂ１内の目標圧力の推移を表している。図２３の太い実線で示すグラフは、補正設定圧力値を表している。図２３の太い一点鎖線で示すグラフは、流体供給ラインＬｂ１～Ｌｂ６内の圧縮流体の圧力が補正設定圧力値であるときの１つの圧力室Ｃｂ１内の圧力の推移を表している。すなわち、太い一点鎖線で示すグラフは、動作制御部９により補正された１つの圧力室Ｃｂ１内の圧力の推移を表している。

[0111] 流体供給ラインＬｂ１内の圧縮流体が補正設定圧力値であるときの圧力室Ｃｂ１内の圧力は、流体供給ラインＬｂ１内の圧縮流体の補正設定圧力値であるＰ６よりも小さい圧力Ｐ６’まで上昇する。本実施形態では、圧力室Ｃｂ１が圧力領域ＰＲ２と圧力領域ＰＲ３の間に位置するときの圧力室Ｃｂ１内の補正された圧力Ｐ６’は、圧力室Ｃｂ１が圧力領域ＰＲ２，ＰＲ３に位置するときの目標圧力Ｐ５よりも大きい。他の圧力室Ｃｂ２～Ｃｂ６内の圧力も、圧力室Ｃｂ１と同様に補正される。

[0112] 圧力センサ９０は、圧力室Ｃｂ１内の圧力を測定するように構成されている。圧力センサ９０により測定された圧力室Ｃｂ１内の圧力は、動作制御部９に送られる。動作制御部９は、圧力センサ９０により測定された圧力室Ｃｂ１内の圧力と、目標圧力との差を最小とする補正設定圧力値を決定し、決定した補正設定圧力値を圧力レギュレータＲｂ１～Ｒｂ６に送るように構成されている。このように、動作制御部９は、圧力センサ９０によって測定された圧力室Ｃｂ１内の圧力に基づいて、圧力レギュレータＲｂ１～Ｒｂ６の補正設定圧力値を決定するフィードバック制御を実行することで、圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６内の圧力を目標圧力に近づけることができる。

[0113] 一実施形態では、動作制御部９は、研磨ヘッド１０が一回転する間の圧力室Ｃｂ１内の圧力の積分値と目標圧力の積分値との差を最小とする補正設定圧力値を決定するように構成されている。図２４に示すように、細いハッチングで示す領域の面積は、研磨ヘッド１０が一回転する間の目標圧力の積分値を表しており、太いハッチングで示す領域の面積は、研磨ヘッド１０が一回転する間の圧力室Ｃｂ１内の圧力の積分値を表している。動作制御部９は、研磨ヘッド１０が一回転する間の圧力室Ｃｂ１内の圧力の積分値、および目標圧力の積分値の算出し、それら積分値の差を最小とする補正設定圧力値を決定する。

[0114] 動作制御部９は、研磨ヘッド１０が一回転する間の圧力室Ｃｂ１内の圧力の積分値と目標圧力の積分値との差を最小とする補正設定圧力値を圧力レギュレータＲｂ１～Ｒｂ６に送ることにより、圧力室Ｃｂ１内の圧力と目標圧力との差を最小にすることができる。したがって、補正された圧力の圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６が発生させるリテーナリング４０に対する押圧力と、目標圧力の圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６が発生させるリテーナリング４０に対する押圧力との差を最小にすることができる。結果として、補正された圧力の圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６は、リテーナリング４０に対して押圧力を十分に付与することができる。

[0115] 一実施形態では、動作制御部９は、予め取得した流体供給ラインＦｂ１～Ｆｂ６内の圧縮流体の設定圧力値と圧力室Ｃｂ１内の圧力との相関関係に基づいて、補正設定圧力値を決定するように構成されてもよい。図２１を参照して説明したように、流体供給ラインＦｂ１～Ｆｂ６内の圧縮流体の設定圧力値と、圧力室Ｃｂ１内の圧力との間には、研磨ヘッド１０の回転速度に応じた相関関係が存在する。この相関関係は、補正設定圧力値と圧力室Ｃｂ１内の補正された圧力との関係にも適用することができる。

[0116] 流体供給ラインＦｂ１～Ｆｂ６内の圧縮流体の設定圧力値と圧力室Ｃｂ１内の圧力との相関関係は、動作制御部９の記憶装置９ａ（図１参照）に予め記憶される。動作制御部９は、記憶装置９ａに記憶された流体供給ラインＦｂ１～Ｆｂ６内の圧縮流体の設定圧力値と圧力室Ｃｂ１内の圧力との相関関係に基づいて、圧力室Ｃｂ１内の圧力と目標圧力との差を最小とする補正設定圧力値を決定する。本実

施形態においても、圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６内の圧力が補正されることにより、圧力室Ｃｂ１～Ｃｂ６はリテーナリング４０に対して十分な押圧力を付与することができる。

[0117] 本実施形態の設定圧力値および補正設定圧力値は、一例であり、設定圧力値および補正設定圧力値は、本実施形態に限定されない。例えば、図２５に示すように、流体供給ラインＬｂ１，Ｌｂ４内の圧縮流体の設定圧力値（すなわち圧力領域ＰＲ１，ＰＲ４での設定圧力値）はＰ８であり、流体供給ラインＬｂ２，Ｌｂ３内の圧縮流体の設定圧力値（すなわち圧力領域ＰＲ２，ＰＲ３での設定圧力値）はＰ９（＞Ｐ８）であり、流体供給ラインＬｂ５，Ｌｂ６内の圧縮流体の設定圧力値（すなわち圧力領域ＰＲ５，ＰＲ６での設定圧力値）はＰ７（＜Ｐ８）であるときに、動作制御部９は、圧力レギュレータＬｂ１，Ｌｂ４に設定圧力値Ｐ８よりも大きい補正設定圧力値Ｐ１０を送り、圧力レギュレータＲｂ２，Ｒｂ３に設定圧力値Ｐ９よりも大きい補正設定圧力値Ｐ１１を送り、圧力レギュレータＬｂ５，Ｌｂ６に設定圧力値と同じ設定圧力値Ｐ７を送ってもよい。本実施形態では、圧力室Ｃｂ１が圧力領域ＰＲ２と圧力領域ＰＲ３の間に位置するときの圧力室Ｃｂ１内の補正された圧力Ｐ１１’は、圧力室Ｃｂ１が圧力領域ＰＲ２，ＰＲ３に位置するときの目標圧力Ｐ９よりも大きい。

[0118] 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．　基板を研磨面に対して押し付ける研磨ヘッドと、

前記研磨ヘッドに連結されたヘッドシャフトと、

前記研磨ヘッドを前記ヘッドシャフトとともに回転させるヘッド回転機構と、

前記ヘッドシャフトの少なくとも一部を囲むように配置されたマルチパスロータリージョイントと、

前記マルチパスロータリージョイントに連結された流体供給ラインと、

前記流体供給ラインに取り付けられた圧力レギュレータを備え、

前記研磨ヘッドは、

前記基板を前記研磨面に対して押し付ける基板押圧面と、

前記基板押圧面を囲むように配置されたリテーナリングと、

弾性材料により形成され、前記リテーナリングを前記研磨面に対して押し付けるための押圧力を発生させる複数の圧力室を有し、

前記ヘッドシャフトは、前記複数の圧力室にそれぞれ連通する複数のシャフト流路を有し、

前記マルチパスロータリージョイントは、前記ヘッドシャフトが一回転するたびに、前記流体供給ラインを前記複数のシャフト流路に順次連通させるように構成されており、

前記複数の圧力室は、前記リテーナリングの周方向に沿って配列されている、研磨ヘッドシステム。

２．　前記複数のシャフト流路は、前記ヘッドシャフトの外面で開口する複数のシャフト開口部を有し、

前記マルチパスロータリージョイントは、前記流体供給ラインに連通する前記ジョイント流路を有し、

前記ジョイント流路は、前記マルチパスロータリージョイントの内面で開口するジョイント開口部を有し、

前記複数のシャフト開口部は、前記ヘッドシャフトの周方向に沿って配列され、

前記複数のシャフト開口部および前記ジョイント開口部は、前記ヘッドシャフトの軸方向において同じ位置にある、請求項１に記載の研磨ヘッドシステム。

３．　前記流体供給ラインは、複数の流体供給ラインであり、

前記圧力レギュレータは、前記複数の流体供給ラインにそれぞれ取り付けられた複数の圧力レギュレータであり、

前記ジョイント流路は、前記複数の流体供給ラインにそれぞれ連通する複数のジョイント流路であり、

前記ジョイント開口部は、前記ヘッドシャフトの周方向に沿って配列された複数のジョイント開口部である、請求項２に記載の研磨ヘッドシステム。

４．　前記マルチパスロータリージョイントは、

前記ヘッドシャフトの周方向に沿って配置されたジョイント部材と、

前記ジョイント部材を囲むように配置されたジョイントホルダと、

前記ジョイント部材を前記ヘッドシャフトに対して押し付けるばねを有し、

前記ジョイント部材および前記ジョイントホルダには、前記ジョイント流路が貫通して延びている、請求項１に記載の研磨ヘッドシステム。

５．　前記マルチパスロータリージョイントは、前記ジョイントホルダに対する前記ジョイント部材の周方向における相対的な位置を固定する位置決め機構を有している、請求項４に記載の研磨ヘッドシステム。

６．　前記複数の圧力室は、複数の圧力室グループであり、

前記複数の圧力室グループは、前記複数のシャフト流路にそれぞれ連通しており、

前記複数の圧力室グループのそれぞれは、前記リテーナリングの周方向に沿って配置された、複数のローリングダイヤフラムによって形成された複数の圧力室を含む、請求項１に記載の研磨ヘッドシステム。

７．　前記複数のローリングダイヤフラムのそれぞれは、円柱形状を有している、請求項６に記載の研磨ヘッドシステム。

８．　前記研磨ヘッドは、前記複数の圧力室に隣接する環状圧力室をさらに備えている、請求項１に記載の研磨ヘッドシステム。

９．　前記ジョイント開口部の幅は、前記複数のシャフト開口部の幅よりも大きい、請求項２に記載の研磨ヘッドシステム。

１０．　前記圧力レギュレータの動作を制御する動作制御部をさらに備え、

前記複数の圧力室は第１圧力室を含み、

前記動作制御部は、前記第１圧力室内の圧力が目標圧力よりも小さいときに、前記流体供給ライン内の流体の設定圧力値よりも大きい補正設定圧力値を前記圧力レギュレータに送り、前記圧力レギュレータに前記第１圧力室内の圧力を補正させるように構成されている、請求項１に記載の研磨ヘッドシステム。

１１．　前記動作制御部は、前記研磨ヘッドが一回転する間の前記第１圧力室内の圧力の積分値と前記目標圧力の積分値との差を最小とする前記補正設定圧力値を決定するように構成されている、請求項１０に記載の研磨ヘッドシステム。

１２．　前記研磨ヘッドシステムは、前記第１圧力室内の圧力を測定する圧力センサをさらに備え、

前記動作制御部は、前記圧力センサにより測定された前記第１圧力室内の圧力と、前記目標圧力との差を最小とする前記補正設定圧力値を決定するように構成されている、請求項１０に記載の研磨ヘッドシステム。

１３．　前記動作制御部は、予め取得した前記設定圧力値と前記第１圧力室内の圧

力との相関関係に基づいて、前記第１圧力室内の圧力と前記目標圧力との差を最小とする前記補正設定圧力値を決定するように構成されている、請求項１０に記載の研磨ヘッドシステム。

１４．　請求項１乃至１３のいずれか一項に記載の研磨ヘッドシステムを用いて、基板を研磨する方法であって、

前記基板を回転させながら、前記基板を前記研磨面に対して押し付けて、前記基板を研磨し、

前記基板の研磨中に、前記ヘッドシャフトを一回転させるたびに、前記流体供給ラインを、前記複数のシャフト流路に順次連通させながら、前記流体供給ラインを通じて流体を前記複数の圧力室に供給することにより、前記リテーナリングに対して複数の押圧力を付与し、前記リテーナリングを前記研磨面に対して押し付けることを含み、

前記複数の押圧力は、少なくとも２つの異なる押圧力を含む、研磨方法。

１５．　前記基板の研磨は、前記研磨面を回転させながら行い、

前記複数の圧力室のうち、前記研磨面の回転方向において下流側に位置する圧力室により発生される押圧力が、他の圧力室により発生される押圧力よりも大きくなるように、前記圧力レギュレータにより、前記複数の圧力室内の複数の圧力を調節する、請求項１４に記載の研磨方法。

１６．　前記複数の圧力室に含まれる第１圧力室内の圧力が目標圧力よりも小さいときに、前記流体供給ライン内の流体の設定圧力値よりも大きい補正設定圧力値に基づいて、前記圧力レギュレータは前記第１圧力室内の圧力を補正することをさらに含む、請求項１４に記載の研磨方法。

１７．　前記研磨ヘッドが一回転する間の前記第１圧力室内の圧力の積分値と前記目標圧力の積分値との差を最小とする前記補正設定圧力値を決定することをさらに

含む、請求項１６に記載の研磨方法。

１８．　圧力センサにより前記第１圧力室内の圧力を測定し、

前記圧力センサにより測定された前記第１圧力室内の圧力と、前記目標圧力との差を最小とする前記補正設定圧力値を決定することをさらに含む、請求項１６に記載の研磨方法。

１９．　予め取得した前記設定圧力値と前記第１圧力室内の圧力との相関関係に基づいて、前記第１圧力室内の圧力と前記目標圧力との差を最小とする前記補正設定圧力値を決定することをさらに含む、請求項１６に記載の研磨方法。