

研磨装置

発明の背景

発明の技術分野

- 5 本発明は、ウェハなどの基板を研磨パッドに押し付けて該基板の表面を研磨する研磨装置に関し、特に加圧気体が内部に供給された圧力室によって基板を研磨パッドに押し付ける研磨装置に関する。

- また、本発明は、ウェハなどの基板を研磨する研磨装置に関し、特に基板を研磨パッドに対して押し付けるための圧力室内の圧力を制御する圧力レギュレータ
10 を備えた研磨装置に関する。

関連技術の記載

- CMP (Chemical Mechanical Polishing) 装置は、研磨パッド上に研磨液を供給しながら、ウェハなどの基板を研磨パッドに押し付けて基板の表面を研磨する装置である。CMP装置は、半導体デバイスを製造するための研磨装置として
15 で広く知られている。

- 図1は、ウェハを研磨するための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、研磨パッド1を支持する研磨テーブル2と、ウェハWを研磨パッド1に押し付けるトップリング（基板保持部）5とを備えている。研磨テーブル2は、テーブル軸2aを介してその下方に配置されるテーブルモータ3に連結されており、このテーブルモータ3により研磨テーブル2が矢印で示す方向に
20 回転されるようになっている。研磨パッド1は研磨テーブル2の上面に貼付されており、研磨パッド1の上面がウェハWを研磨する研磨面1aを構成している。トップリング5はトップリングシャフト6の下端に固定されている。トップリング5は、真空吸着によりその下面にウェハWを保持できるように構成されている。
- 25 ウェハWの研磨は次のようにして行われる。トップリング5および研磨テーブル2をそれぞれ矢印で示すように同じ方向に回転させ、研磨テーブル2とともに回転する研磨パッド1上に研磨液供給ノズル7から研磨液（スラリー）を供給する。この状態で、下面にウェハWを保持したトップリング5が所定の位置（所定

の高さ)まで下降され、この所定の位置でウェハWを研磨パッド1の研磨面1aに押し付ける。ウェハWの表面は、研磨液に含まれる砥粒の機械的作用と研磨液の化学的作用により研磨される。

図2は、トップリング5の構造を示す模式図である。トップリング5は、ウェハWを研磨パッド1に押し付けるための複数の圧力室10を備えており、これら圧力室10は弾性膜(メンブレン)11から形成されている。それぞれの圧力室10には複数の圧力レギュレータ15およびロータリージョイント14を経由して空気または窒素ガスなどの気体が別々に供給される。圧力室10内の気体の圧力は、圧力レギュレータ15によって制御される。このような複数の圧力室10を備えたトップリング5は、ウェハWの複数の領域を所望の圧力で研磨パッド1に押し付けることができる。

プレストンの法則によれば、ウェハWの研磨レート(除去レートともいう)は次の式で表される。

$$RR \propto P \cdot V$$

ただし、RRは研磨レートを表し、Pは研磨パッド1に押し付けられるウェハWの表面圧力を表し、Vはウェハ表面と研磨パッド表面との相対速度を表す。

ウェハWを均一に研磨するためには、相対速度Vは、ウェハ表面内で均一であることが望ましい。均一な相対速度Vを実現するための条件は、研磨テーブル2の回転速度(すなわち研磨パッド1の回転速度)が、トップリング5の回転速度(すなわち、ウェハWの回転速度)に等しいことである。

しかしながら、研磨テーブル2とトップリング5とを同じ回転速度で回転させながらウェハWを研磨すると、ウェハWの研磨された面上には、同心円状の模様が現れる。このような同心円状の模様の出現は、ウェハWの研磨された面が平坦ではないことを示している。このような模様の出現を防止するための解決策としては、研磨テーブル2とトップリング5とをわずかに異なる回転速度で回転させることが知られている。

近年、ウェハの膜厚均一性に対する要請が増々高くなるに従い、ウェハ研磨中の圧力室10内の圧力の安定性は増々重要となっている。特に、圧力室10内の

圧力の変動、および圧力室10に流れる気体の流量変動は、ウェハの膜厚均一性を阻害する原因と考えられている。

5 研磨パッド1の表面は完全に平坦ではない。加えて、トップリング5が自身の回転に伴って周期的に振動することもある。このため、ウェハの研磨中、研磨テーブル2およびトップリング5の回転に伴って圧力室10の容積、すなわち圧力室10内の圧力は微小に変動する。圧力レギュレータ15は、圧力室10内の圧力が所定の目標値に維持されるように、圧力室10内の圧力変動をキャンセルするように動作する。したがって、良好な研磨結果を達成するためには、圧力レギュレータ15の応答性は重要である。

10 図3は、圧力レギュレータ15の模式図である。圧力レギュレータ15は、圧力室10内の気体の圧力を調整する圧力制御バルブ16と、圧力制御バルブ16の下流側の気体の圧力（二次側圧力）を測定する圧力計17と、圧力の測定値 P_{act} と圧力の目標値 P_c との差を最小とするためのバルブ制御信号を生成するバルブ制御部（例えばPIDコントローラ）21とを備えている。二次側圧力は、
15 圧力室10内の圧力に相当する。圧力制御バルブ16はバルブ制御信号に従って二次側圧力を制御する。このような圧力レギュレータ15としては電空レギュレータが広く用いられる。

図4は、圧力レギュレータ15に入力される目標値 P_c と時間との関係を示すグラフである。図4に示すように、通常、圧力室10内の圧力の目標値 P_c は、
20 ある時間 t_0 で圧力レギュレータ15のバルブ制御部21に入力され、その後一定に維持される。図5は、圧力計17によって測定された実際の圧力 P_{act} を示すグラフである。図5に示すように、圧力 P_{act} は、目標値 P_c の入力時間 t_0 から Δt だけ遅れて目標値 P_c に達する。目標値 P_c に到達した後の圧力 P_{act} はある程度の幅 ΔP で変動する。

25 圧力レギュレータ15の応答性の観点から、時間差 Δt はできるだけ小さいことが望ましく、圧力室10内の圧力の安定性の観点から、変動幅 ΔP はできるだけ小さいことが望ましい。圧力レギュレータ15の応答性を向上させること（すなわち、時間差 Δt を短くすること）は、バルブ制御部21の動作設定の変更に

よって可能である。しかしながら、応答性を向上させると、図6に示すように、目標値 P_c の入力時に圧力 P_{act} のオーバーシュートが起こり、圧力 P_{act} が不安定となる。その一方で、オーバーシュートを防止して圧力 P_{act} を安定させるためには、圧力レギュレータ 15 の応答時間を長くする必要がある。しかしながら、これは、図7に示すように、時間差 Δt が増加することを意味する。

目標値 P_c の入力に対する応答性を向上させ、かつオーバーシュートをなくし、さらに、一定の目標値 P_c に対応して実際の圧力 P_{act} を安定させることが、バルブ制御部 21 には求められる。図8は、バルブ制御部 21 の周波数応答特性を示すグラフである。図8の縦軸は、目標値 P_c に対する実際の圧力（実測値） P_{act} の比率である応答倍率を表している。この応答倍率は、単位としてデシベル [dB] を用いて表されている。具体的には、目標値 P_c に対する実際の圧力 P_{act} の比率 (P_{act}/P_c) が1である場合、すなわち実際の圧力 P_{act} が目標値 P_c の1倍である場合、応答倍率は0 dBである。通常、理想的な応答倍率は0 dBである。図8に示すグラフは、図5に示す応答性を実現するための周波数応答特性を表している。

図8の横軸は、バルブ制御部 21 に入力される入力制御信号の周波数を表している。入力制御信号には、圧力の目標値 P_c のみならず、圧力の目標値 P_c と、フィードバック値である圧力値 P_{act} との差が含まれる。圧力の目標値 P_c は図4に示すように一定であるが、圧力値 P_{act} は研磨テーブル 2 およびトップリング 5 の回転によって僅かに周期的に変動する。結果として、入力制御信号も変動する。この入力制御信号の周波数は、圧力値 P_{act} の振動周波数に対応し、圧力値 P_{act} の振動周波数は研磨テーブル 2 およびトップリング 5 の回転速度から算出される周波数に対応する。図8の横軸は、この変動する入力制御信号の周波数（すなわち、測定された圧力値 P_{act} の周波数）を表している。図8に示す f_c は共振周波数である。

通常、ウェハの研磨時には、 $60\text{ min}^{-1} \sim 120\text{ min}^{-1}$ の速度範囲内で研磨テーブル 2 およびトップリング 5 をそれぞれ回転させる。上述したように、研磨パッド 1 の表面は完全に平坦ではなく、トップリング 5 が自身の回転に伴っ

て周期的に振動することもある。このため、ウェハの研磨中、研磨テーブル2およびトップリング5の回転に伴って圧力室10の容積は微小に変動する。したがって、圧力室10を含む気体格納空間の容積 Q 、すなわち圧力室10の容積と、圧力レギュレータ15から圧力室10までの気体流路28の容積との合計が変動する。

このような気体格納空間の容積 Q の変動は、圧力レギュレータ15の二次側圧力を示す圧力値 P_{act} に影響し、結果として研磨テーブル2およびトップリング5の回転速度に同期した周波数で入力制御信号が変動する。例えば、研磨テーブル2およびトップリング5を同じ回転速度 60 min^{-1} で回転させたとき、入力制御信号は 1 Hz ($60\text{ min}^{-1}/60\text{ sec}=1\text{ Hz}$) で振動する。研磨テーブル2およびトップリング5を同じ回転速度 120 min^{-1} で回転させたときは、入力制御信号は 2 Hz ($120\text{ min}^{-1}/60\text{ sec}=2\text{ Hz}$) で振動する。

しかしながら、図8のグラフから分かるように、入力制御信号の周波数が $1\sim 2\text{ Hz}$ の範囲内では、応答倍率は 0 dB (1倍) ではない。これは、 $60\text{ min}^{-1}\sim 120\text{ min}^{-1}$ の速度範囲内で研磨テーブル2およびトップリング5を回転速度で回転させると、圧力 P_{act} は発散的に振動することを示している。

このような圧力 P_{act} の発散的な振動を防止するための解決策の1つは、研磨テーブル2およびトップリング5を異なる回転速度で回転させることである。研磨テーブル2およびトップリング5を異なる回転速度で回転させると、図9に示すように、気体格納空間 (圧力室10および気体流路28) の容積 Q は時間とともに大きくうねりながら変動する。図9において、容積 Q のうねりの周期 T_1 は、研磨テーブル2の回転速度とトップリング5の回転速度の差 (絶対値) から換算された周期に相当し、容積 Q の振動の周期 T_2 は、研磨テーブル2の回転速度から換算された周期に相当する。

図9から分かるように、容積 Q の変動幅 ΔQ は周期的に0に近づく。このため、応答倍率が 0 dB よりも大きいにもかかわらず、圧力 P_{act} は発散的に振動しない。結果として、圧力 P_{act} は、微小に変動しながらも、目標値 P_c に近い値に維持される。しかしながら、上述したように、ウェハを均一に研磨するためには、

研磨テーブル2とトップリング5を同じ回転速度で回転させることが望ましい。

最近では、圧力レギュレータ15は、その応答性（時間差 Δt の短縮）と交換時のアクセス性の観点から、トップリング5の近くに配置されることが多い。このため、気体格納空間（圧力室10および気体流路28）の容積 Q が小さくなる傾向にある。容積 Q が小さくなると、その変動幅 ΔQ は相対的に大きくなり、結果として、圧力室10の容積変動が圧力 P_{act} に与える影響は大きくなる。

さらに、複数組の研磨テーブルとトップリングを備える研磨装置では、気体流路の長さがトップリング間で異なることがある。このような気体流路の長さの違いが存在すると、圧力 P_{act} の変動の大きさがトップリング間で異なる。結果として、トップリングによってウェハの研磨結果が異なってしまう。

図2に示すように、トップリング5の下部には弾性膜（メンブレン）11から形成された圧力室10が設けられている。これらの圧力室10には加圧気体が供給され、圧力室10内の圧力によりウェハWの研磨パッド1に対する研磨圧力が調整される。圧力室10内の圧力は、圧力レギュレータ15によって調整される。このような圧力室10を備えたトップリング5は、剛体でウェハを押し付ける他のタイプのトップリングに比べて、ウェハの全体に均一な圧力を加えることができるので、均一かつ安定した研磨特性を得ることができる。しかしながら、デバイスの高密度化が進むにつれて、研磨装置に要求される研磨性能は増々厳しくなっている。特に、ウェハの研磨中に圧力室10内の気体圧力を安定させることが強く求められている。

図2に示すように、ウェハの研磨中、研磨テーブル2とトップリング5は回転されるため、研磨テーブル2とトップリング5の上下方向の相対位置は回転に伴って僅かに変化する。この相対位置の変化によって圧力室10の内部容積が変動するので、圧力室10の内部圧力も変動してしまう。

通常、研磨テーブル2とトップリング5の回転速度は毎分50～100回転程度である。しかも、研磨テーブル2およびトップリング5は互いに異なる回転速度で回転される。これは、トップリング5に保持されたウェハが研磨パッド1の同じ部分を通過しないようにすることで、研磨パターンがウェハの被研磨面に発

生してしまうことを防ぐためである。このように、研磨テーブル2とトップリング5との間には回転速度差が存在するため、圧力室10の内部容積の変動の大きさも周期的に変化する。

5 圧力室10の内部容積の変動は、研磨テーブル2およびトップリング5の回転速度に対応した周期で発生する。しかしながら、上述した圧力レギュレータ15では、この瞬間的かつその変動の大きさが常に変化する圧力変動に追従することが困難であった。

発明の要旨

10 そこで、本発明は、トップリングの圧力室内の圧力を安定して制御することができる研磨装置を提供することを目的とする。

また、本発明は、トップリング（基板保持部）の圧力室内の圧力変動を減少させて圧力室内の圧力を安定させることができる研磨装置を提供することを目的とする。

15 本発明の一態様は、研磨パッドを支持するための回転可能な研磨テーブルと、基板を前記研磨パッドに押し付けるための圧力室を有する回転可能なトップリングと、前記圧力室内の気体の圧力を制御する圧力レギュレータと、前記圧力室と前記圧力レギュレータとの間に設けられたバッファタンクとを備えたことを特徴とする研磨装置である。

20 本発明の好ましい態様は、前記圧力レギュレータは、圧力制御バルブと、該圧力制御バルブの下流側の気体の圧力を測定する圧力計と、前記圧力室内の圧力の目標値と該圧力計によって測定された圧力値との差を最小にするように前記圧力制御バルブの動作を制御するバルブ制御部とを備えたことを特徴とする。

25 本発明の好ましい態様は、前記圧力レギュレータと前記圧力室とを接続する気体移送ラインと、前記気体移送ラインを流れる気体の流量を計測する流量計とをさらに備え、前記バッファタンクは前記気体移送ラインに連通しており、前記バッファタンクは、前記圧力レギュレータと前記流量計との間に配置されることを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記バッファタンクは、その内部の圧力にかかわらず内部容積が変化しない構成を有していることを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記バッファタンクは、その内部の圧力に応じて該バッファタンクの容積が変化するように構成されていることを特徴とする。

- 5 本発明の好ましい態様は、前記バッファタンクの少なくとも一部は、前記バッファタンクの内部の圧力に応じて変形する部材から構成されていることを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記バッファタンクの変形を制限する制限カバーを前記バッファタンクの外側に配置したことを特徴とする。

- 10 本発明の好ましい態様は、前記バッファタンクの内部の圧力に応じて変形する前記部材は、ダイヤフラムであることを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記バッファタンクの内部の圧力に応じて変形する前記部材は、ベローズ管であることを特徴とする。

- 15 本発明の好ましい態様は、前記バッファタンクは、シリンダと、前記シリンダ内に收容されたピストンと、前記シリンダと前記ピストンとの間の隙間を封じるローリングダイヤフラムと、前記ピストンを支持するスプリングとを有し、前記ローリングダイヤフラムは、前記ピストンを囲む屈曲部を有しており、前記屈曲部は逆U字型の断面を有することを特徴とする。

- 20 本発明の好ましい態様は、前記基板を前記研磨パッドに押し付けているときの前記トップリングの前記研磨パッドに対する相対的な高さは一定であることを特徴とする。

- 25 本発明の好ましい態様は、前記圧力レギュレータと前記圧力室とを接続する気体移送ラインをさらに備え、前記バッファタンクは前記気体移送ラインに連通しており、前記バッファタンクは、その内部の圧力に応じて該バッファタンクの容積が変化するように構成されていることを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記バッファタンクの少なくとも一部は、前記バッファタンクの内部の圧力に応じて変形する部材から構成されていることを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記バッファタンクの変形を制限する制限カバーを前記バッファタンクの外側に配置したことを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記バッファタンクの内部の圧力に応じて変形する前記部材は、ダイヤフラムであることを特徴とする。

- 5 本発明の好ましい態様は、前記バッファタンクの内部の圧力に応じて変形する前記部材は、ベローズ管であることを特徴とする。

- 本発明の好ましい態様は、前記バッファタンクは、シリンダと、前記シリンダ内に収容されたピストンと、前記シリンダと前記ピストンとの間の隙間を封じるローリングダイヤフラムと、前記ピストンを支持するスプリングとを有し、前記
10 ローリングダイヤフラムは、前記ピストンを囲む屈曲部を有しており、前記屈曲部は逆U字型の断面を有することを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記基板を前記研磨パッドに押し付けているときの前記トップリングの前記研磨パッドに対する相対的な高さは一定であることを特徴とする。

- 15 本発明の他の態様は、研磨パッドを支持するための回転可能な研磨テーブルと、前記研磨パッドに基板を押し付けるための圧力室を有する回転可能なトップリングと、前記圧力室内の気体の圧力を制御する圧力レギュレータとを備え、前記圧力レギュレータは、圧力制御バルブと、該圧力制御バルブの下流側の気体の圧力を測定する圧力計と、前記圧力室内の圧力の目標値と該圧力計によって測定され
20 た圧力値との差分を最小にするように前記圧力制御バルブの動作を制御するバルブ制御部とを備え、前記測定された圧力値の振動周波数が所定の周波数範囲内にあるとき、前記バルブ制御部の、前記目標値に対する前記測定された圧力値の比率を示す応答倍率は0 dB以下であり、前記研磨テーブルの回転速度に対応する周波数は、前記所定の周波数範囲内にあることを特徴とする研磨装置である。

- 25 本発明の好ましい態様は、前記バルブ制御部は、第1のバルブ制御部と第2のバルブ制御部から構成され、前記圧力レギュレータは、前記第1のバルブ制御部と前記第2のバルブ制御部とを切り替える切替器を有しており、前記測定された圧力値の振動周波数が前記所定の周波数範囲内にあるとき、前記第1のバルブ制

御部の前記応答倍率は0 dB以下であり、前記測定された圧力値の振動周波数が前記所定の周波数範囲内にあるとき、前記第2のバルブ制御部の前記応答倍率は0 dBよりも大きいことを特徴とする。

- 5 本発明の好ましい態様は、前記圧力レギュレータは、前記測定された圧力値の振動周波数が前記所定の周波数範囲内にあるときの前記バルブ制御部の前記応答倍率を0 dB以下に下げる帯域除去フィルタを備えることを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記研磨テーブルと前記トップリングは同じ回転速度で回転することを特徴とする。

- 10 本発明の好ましい態様は、前記バルブ制御部の前記応答倍率を計測する応答倍率計測器をさらに備え、前記応答倍率計測器は、前記所定の周波数範囲内にある周波数でテスト目標値を振動させながら該テスト目標値を前記圧力レギュレータに入力し、前記振動するテスト目標値を前記圧力レギュレータに入力しているときの前記圧力計の出力値を取得し、前記出力値および前記テスト目標値から前記バルブ制御部の前記応答倍率を算出することを特徴とする。

- 15 本発明の好ましい態様は、前記算出された応答倍率が0 dBよりも大きい場合に、該応答倍率が0 dB以下となるように前記バルブ制御部の動作を調整するチューニング器をさらに備えたことを特徴とする。

- 20 本発明によれば、気体格納空間（トップリングの圧力室および気体流路を含む）の容積 Q がバッファタンクの容積だけ増加し、研磨テーブルおよびトップリングの回転に起因して生じる変動幅 ΔQ は容積 Q に対して相対的に小さくなる。結果として、研磨テーブルおよびトップリングの回転に起因する気体圧力の変動を低下させることができる。

- 25 本発明によれば、バッファタンクは、圧力レギュレータから圧力室までの気体通路の体積を大きくすることで、圧力室の圧力の変動を相対的に小さくすることができる。したがって、圧力レギュレータは、圧力室内の圧力を安定して制御することができる。

本発明によれば、バッファタンクは、圧力室内の圧力変動を吸収することができる。したがって、圧力レギュレータは、圧力室内の圧力を安定して制御するこ

とができる。

本発明によれば、研磨テーブルの回転速度に対応した周波数では、バルブ制御部の応答倍率が0 dBとなる。したがって、ウェハなどの基板の研磨中に圧力室の圧力は発散的に振動せず、安定して所定の目標値に維持される。

5

図面の簡単な説明

図1は、ウェハを研磨するための研磨装置を示す模式図である。

図2は、トップリングの構造を示す模式図である。

図3は、圧力レギュレータの模式図である。

10 図4は、圧力レギュレータに入力される目標値 P_c と時間との関係を示すグラフである。

図5は、圧力計によって測定された実際の圧力（測定された圧力値） P_{act} を示すグラフである。

図6は、圧力 P_{act} のオーバーシュートを示すグラフである。

15 図7は、圧力レギュレータの応答時間を長く設定した場合の圧力 P_{act} を示すグラフである。

図8は、バルブ制御部の周波数応答特性を示すグラフである。

図9は、研磨テーブルおよびトップリングを異なる回転速度で回転させたときの気体格納空間（圧力室および気体流路）の容積の変化を示すグラフである。

20 図10は、圧力レギュレータの一実施形態を示す模式図である。

図11は、図10に示すバルブ制御部の周波数応答特性を示すグラフである。

図12は、圧力レギュレータの他の実施形態を示す模式図である。

図13は、図12に示す第1のバルブ制御部および第2のバルブ制御部の周波数応答特性を示すグラフである。

25 図14は、圧力レギュレータのさらに他の実施形態を示す模式図である。

図15は、図14に示すバルブ制御部の周波数応答特性を示すグラフである。

図16は、バルブ制御部の応答倍率を計測する応答倍率計測器を備えた研磨装置の実施形態を示す模式図である。

図 17 は、ガスタンクを備えた研磨装置の実施形態を示す模式図である。

図 18 は、研磨テーブルおよびトップリングがそれらの回転軸心から傾いている状態を示す図である。

図 19 A, 図 19 B, 図 19 C は、研磨テーブルおよびトップリングの位相角
5 が同期した状態で回転している様子を示す図である。

図 20 は、本発明の一実施形態に係る研磨装置を示す図である。

図 21 は、トップリングを示す断面図である。

図 22 は、バッファタンク、電空レギュレータ、流量計、圧力室の配置を説明
するための模式図である。

10 図 23 は、図 22 の比較例を示す図である。

図 24 は、目標圧力値を変化させたときの電空レギュレータの応答時間の実験
結果を示すグラフである。

図 25 は、バッファタンクを電空レギュレータと流量計との間に設けた場合お
よびバッファタンクを設けなかった場合における電空レギュレータの下流側での
15 圧力の変動の大きさを示すグラフである。

図 26 は、バッファタンクを電空レギュレータと流量計との間に設けた場合お
よびバッファタンクを設けなかった場合における電空レギュレータの下流側での
流量の変動の大きさを示すグラフである。

図 27 は、バッファタンクの他の例を示す断面図である。

20 図 28 は、内部の圧力が低いときのバッファタンク、および内部の圧力が高い
ときのバッファタンクを示す図である。

図 29 は、バッファタンクのさらに他の例を示す断面図である。

図 30 は、バッファタンクの膨張が制限カバーによって制限される様子を示す
図である。

25 図 31 は、バッファタンクのさらに他の例を示す断面図である。

図 32 は、内部の圧力が低いときのバッファタンク、および内部の圧力が高い
ときのバッファタンクを示す図である。

図 33 は、バッファタンクのさらに他の例を示す断面図である。

図 3 4 は、内部の圧力が低いときのバッファタンク、および内部の圧力が高いときのバッファタンクを示す図である。

図 3 5 は、バッファタンクのさらに他の例を示す断面図である。

図 3 6 は、内部の圧力が低いときのバッファタンク、および内部の圧力が高い
5 ときのバッファタンクを示す図である。

実施形態の説明

以下、本発明の実施形態について説明する。

本発明の一実施形態に係る研磨装置は、図 1 および図 2 に示す研磨装置と基本的
10 的に同じ構成を有するので、その重複する説明を省略する。図 1 0 は、圧力レギュレータ 1 5 の一実施形態を示す模式図である。圧力レギュレータ 1 5 は、圧力室 1 0 内の気体の圧力を調整する圧力制御バルブ 1 6 と、この圧力制御バルブ 1 6 の下流側の気体の圧力（二次側圧力）を測定する圧力計 1 7 と、圧力の目標値 P_c と圧力計 1 7 によって測定された圧力値 P_{act} との差（偏差）を最小にする
15 ように圧力制御バルブ 1 6 の動作を制御するバルブ制御部 2 5 とを備えている。二次側圧力は、圧力室 1 0 内の圧力に相当する。目標値 P_c は、トップリング 5 の圧力室 1 0 内の圧力の目標値である。

バルブ制御部 2 5 としては、P I D 動作、すなわち比例動作、積分動作、および微分動作を行う P I D コントローラを使用することができる。これら比例動作、
20 積分動作、微分動作のそれぞれの操作量は、一般に、目標値と実測値との偏差、比例パラメータ（比例ゲイン）、積分パラメータ（比例ゲイン／積分時間）、および微分パラメータ（比例ゲイン＊微分時間）によって決定される。比例パラメータ、積分パラメータ、および微分パラメータは、予め設定された定数である。バルブ制御部 2 5 の制御動作は、これらパラメータによって調整される。

25 図 1 1 は、図 1 0 に示すバルブ制御部 2 5 の周波数応答特性を示すグラフである。図 1 1 の縦軸は、目標値 P_c に対する実際の圧力（実測値） P_{act} の比率である応答倍率を表している。この応答倍率は、単位としてデシベル [d B] を用いて表されている。具体的には、目標値 P_c に対する実際の圧力 P_{act} の比率

(P_{act}/P_c) が 1 である場合、すなわち実際の圧力 P_{act} が目標値 P_c の 1 倍である場合、応答倍率は 0 dB である。

図 1 1 の横軸は、バルブ制御部 2 5 に入力される入力制御信号の周波数を表している。入力制御信号には、圧力の目標値 P_c のみならず、圧力の目標値 P_c と、
5 フィードバック値である圧力値 P_{act} との差が含まれる。圧力の目標値 P_c は図 3 に示すように一定であるが、圧力値 P_{act} は研磨テーブル 2 およびトップリング 5 の回転によって僅かに周期的に変動する。結果として、入力制御信号も変動する。この入力制御信号の周波数は、圧力値 P_{act} の振動周波数に対応し、圧力値 P_{act} の振動周波数は研磨テーブル 2 およびトップリング 5 の回転速度から算
10 出される周波数に対応する。図 1 1 の横軸は、この変動する入力制御信号の周波数（すなわち、測定された圧力値 P_{act} の周波数）を表している。以下の説明では、入力制御信号の周波数を圧力値 P_{act} の振動周波数として説明する。

図 1 1 に示すように、バルブ制御部 2 5 の応答倍率は、測定された圧力値の P_{act} の振動周波数が所定の周波数範囲 R 内にあるとき、0 dB となるように構成
15 されている。この周波数範囲 R は、ウェハなどの基板の研磨をするときの研磨テーブル 2 およびトップリング 5 の回転速度から決定される。すなわち、ウェハ研磨時の研磨テーブル 2 およびトップリング 5 の回転速度に対応する周波数を含むように周波数範囲 R が決定される。例えば、ウェハ研磨時の研磨テーブル 2 およびトップリング 5 の回転速度が $60 \text{ min}^{-1} \sim 120 \text{ min}^{-1}$ の範囲内である
20 場合、上記所定の周波数範囲 R は $1 \sim 2 \text{ Hz}$ を含む範囲である。ウェハ研磨時の研磨テーブル 2 およびトップリング 5 の回転速度は、同じであってよい。

バルブ制御部 2 5 の応答倍率は、上述した制御パラメータ、すなわち比例パラメータ、積分パラメータ、および微分パラメータによって調整することができる。
図 1 1 に示す例では、上記所定の周波数範囲 R 内では、バルブ制御部 2 5 の応答
25 倍率が 0 dB となるように構成されているが、バルブ制御部 2 5 の応答倍率が 0 dB よりも低くなるように構成されてもよい。

このような構成によれば、ウェハの研磨中に研磨テーブル 2 およびトップリング 5 の回転速度に同期して圧力値 P_{act} が振動しても、その振動周波数を含む範

図ではバルブ制御部 25 の応答倍率が 0 dB であるので、圧力値 P_{act} は発散しない。したがって、圧力レギュレータ 15 は、目標値 P_c の入力に応じて圧力値 P_{act} を安定して制御することができる。

図 12 は、圧力レギュレータ 15 の他の実施形態を示す模式図である。この実施形態では、バルブ制御部 25 は、第 1 のバルブ制御部 25 A と第 2 のバルブ制御部 25 B から構成されている。圧力レギュレータ 15 は、第 1 のバルブ制御部 25 A と第 2 のバルブ制御部 25 B とを切り替える切替器 26 を有しており、第 1 のバルブ制御部 25 A と第 2 のバルブ制御部 25 B のうちのいずれか一方が切替器 26 を介して圧力制御バルブ 16 に接続される。

図 13 は、図 12 に示す第 1 のバルブ制御部 25 A および第 2 のバルブ制御部 25 B の周波数応答特性を示すグラフである。図 13 に示すように、第 1 のバルブ制御部 25 A の応答倍率は、圧力値 P_{act} の振動周波数が上記所定の周波数範囲 R 内にあるとき、0 dB 以下である（図 13 に示す例では 0 dB）。第 2 のバルブ制御部 25 B の応答倍率は、圧力値 P_{act} の振動周波数が上記所定の周波数範囲 R 内にあるとき、0 dB よりも大きい。

切替器 26 は、所定のタイミングで動作して、第 1 のバルブ制御部 25 A と第 2 のバルブ制御部 25 B のうちのいずれか一方を圧力制御バルブ 16 に接続する。例えば、圧力のオーバーシュートを防ぐために、切替器 26 は目標値 P_c が入力される前に第 2 のバルブ制御部 25 B を圧力制御バルブ 16 に接続し、圧力室 10 内の圧力の発散的な振動を防止するために、切替器 26 はウェハの研磨中は第 1 のバルブ制御部 25 A を圧力制御バルブ 16 に接続する。このように周波数応答特性の異なる 2 つのバルブ制御部 25 A, 25 B を備えることで、圧力のオーバーシュートを防止しつつ、研磨中での圧力を安定させることができる。

図 14 は、圧力レギュレータ 15 のさらに他の実施形態を示す模式図である。この実施形態では、1 つのバルブ制御部 25 が設けられている点で図 10 に示す実施形態と同じであるが、バルブ制御部 25 は帯域除去フィルタ 31（例えば、バンドエリミネーションフィルタ）を備えている点で異なっている。この帯域除去フィルタ 31 は、測定された圧力値 P_{act} の振動周波数が所定の周波数範囲 R

内にあるときのバルブ制御部 25 の応答倍率を、0 dB またはそれよりも低くするフィルタである。

図 15 は、図 14 に示すバルブ制御部 25 の周波数応答特性を示すグラフである。図 15 に示すように、帯域除去フィルタ 31 により所定の周波数範囲 R 内では、応答倍率が 0 dB 以下（図 15 に示す例では 0 dB）となっている。この帯域除去フィルタ 31 は、バルブ制御部 25 の上流側または下流側に配置されてもよい。

研磨テーブル 2 とトップリング 5 の回転速度が同じである条件下で圧力 P_{act} が発散的に振動しないようにするための対応策として、研磨テーブル 2 およびトップリング 5 の回転速度に対応する周波数を持つ成分を、フィードバック値である圧力値 P_{act} からフィルタで除去してもよい。このようなフィルタを用いることで、研磨テーブル 2 およびトップリング 5 の回転に起因する圧力 P_{act} の微小な振動を除去することができる。

図 16 は、バルブ制御部 25 の応答倍率を計測する応答倍率計測器 33 を備えた研磨装置の実施形態を示す模式図である。この応答倍率計測器 33 は、上記所定の周波数範囲 R 内にある周波数でテスト目標値を振動させながら該テスト目標値を圧力レギュレータ 15 に入力するように構成される。テスト目標値は、予め定められた値であり、上述した目標値 P_c であってもよい。圧力計 17 は、この振動するテスト目標値を圧力レギュレータ 15 に入力しているときの圧力制御バルブ 16 の下流側の気体の圧力（すなわち圧力制御バルブ 16 の二次側圧力）を測定し、その間、応答倍率計測器 33 は、圧力計 17 の出力値を取得する。

さらに、応答倍率計測器 33 は、テスト目標値および圧力計 17 の出力値からバルブ制御部 25 の応答倍率を算出する。より具体的には、応答倍率計測器 33 は、テスト目標値に対する出力値の比率からバルブ制御部 25 の応答倍率を算出する。上述したように、応答倍率は単位としてデシベル [dB] を用いて表されているので、テスト目標値に対する出力値の比率は、対数（底が 10 である対数）として表される。

応答倍率計測器 33 は、バルブ制御部 25 の動作を調整するチューニング器 3

5に接続されている。このチューニング器35は、応答倍率計測器33によって測定された応答倍率が0dBよりも大きい場合に、応答倍率が0dB以下となるようにバルブ制御部25の制御動作を調整する。チューニング器35は、上述した比例パラメータ、積分パラメータ、および微分パラメータを変更することによってバルブ制御部25の動作を調整するように構成されている。

所定の周波数範囲R内にある周波数でテスト目標値を振動させる目的は、研磨テーブル2およびトップリング5の回転に起因するトップリング5の圧力室10内の圧力変動を模擬することである。したがって、応答倍率の測定は、研磨テーブル2およびトップリング5が回転していないときに実行される。このようにバルブ制御部25の動作が応答倍率の測定値に基づいて調整されるので、圧力レギュレータ15は、研磨テーブル2およびトップリング5の回転の影響を排除し、圧力室10内の圧力を安定して制御することができる。

図17は、ガスタンク（バッファタンク）40を備えた研磨装置の実施形態を示す模式図である。ガスタンク40は、トップリング5の圧力室10と圧力レギュレータ15との間に配置されている。図17に示すように、複数の圧力室10および複数の圧力レギュレータ15のそれぞれに対応して複数のガスタンク40が設けられている。各ガスタンク40は、圧力室10と圧力レギュレータ15とを連結する気体流路（気体移送ライン）28に接続されており、圧力室10に連通している。したがって、上述した気体格納空間（トップリング5の圧力室10および気体流路28を含む）の容積Qがガスタンク40の容積だけ増加し、研磨テーブル2およびトップリング5の回転に起因して生じる変動幅 ΔQ は容積Qに対して相対的に小さくなる。結果として、研磨テーブル2およびトップリング5の回転に起因する気体圧力の変動を低下させることができる。ガスタンク40は、気体圧力の変動を低下させるバッファタンクとして機能する。

図18に示すように、研磨テーブル2およびトップリング5がそれらの回転軸心から傾いていると、研磨テーブル2およびトップリング5の回転に伴ってトップリング5の圧力室10の容積は周期的に変化する。そこで、このようなウェハ研磨中の圧力室10の容積変化を最小にするために、トップリング5の傾きが最

大となる位相角が、研磨テーブル2の傾きが最大となる位相角に一致した状態で、研磨テーブル2およびトップリング5を同じ回転速度で回転させることが好ましい。この場合、研磨テーブル2およびトップリング5の位相角を測定するためのロータリエンコーダ（図示せず）を設けることが好ましい。

- 5 図19A乃至図19Cは、研磨テーブル2およびトップリング5の位相角が同期した状態で回転している様子を示す図である。トップリング5は、その傾きが最大となる位相角が、研磨テーブル2の傾きが最大となる位相角に一致した状態で回転しながら、研磨テーブル2の回転に同期して上下動する。つまり、トップリング5と研磨テーブル2との上下方向の相対位置および相対的な角度が一定となるように、トップリング5および研磨テーブル2が回転し、かつトップリング5が上下動する。この実施形態では、研磨テーブル2およびトップリング5の位相角を同期させるために、研磨テーブル2およびトップリング5は同じ回転速度で回転する。このような動作により、気体格納空間（圧力室10および気体流路28を含む）の容積 Q の変動幅 ΔQ は最小となり、結果として、ウェハ研磨中の
- 10 圧力室10内の圧力を安定させることができる。

今まで述べた各実施形態の研磨装置は、複数の圧力室10、および対応する複数の圧力レギュレータ15を備えているが、1つの圧力室10および1つの圧力レギュレータ15を備えていてもよい。

- 次に、研磨装置の他の実施形態について図面を参照して説明する。図20は、
- 20 研磨装置の他の実施形態を示す図である。図20に示すように、研磨装置は、研磨パッド1を支持する研磨テーブル2と、研磨対象物であるウェハ等の基板を保持して研磨テーブル2上の研磨パッド1に押圧するトップリング（基板保持部）5とを備えている。

- 研磨テーブル2は、テーブル軸2aを介してその下方に配置されるテーブルモータ3に連結されており、そのテーブル軸2a周りに回転可能になっている。研磨パッド1は研磨テーブル2の上面に貼付されており、研磨パッド1の表面1aがウェハWを研磨する研磨面を構成している。研磨テーブル2の上方には研磨液供給ノズル7が設置されており、この研磨液供給ノズル7によって研磨テーブル
- 25

2 上の研磨パッド1上に研磨液Qが供給されるようになっている。

- トップリング5は、ウェハWを研磨面1aに対して押圧するトップリング本体41と、ウェハWを保持してウェハWがトップリング5から飛び出さないようにするリテーナリング42とを備えている。トップリング5は、トップリングシャフト6に接続されており、このトップリングシャフト6は、上下動機構81によりトップリングヘッド64に対して上下動するようになっている。このトップリングシャフト6の上下動により、トップリングヘッド64に対してトップリング5の全体を昇降させ位置決めするようになっている。トップリングシャフト6の上端にはロータリージョイント14が取り付けられている。
- 10 トップリングシャフト6およびトップリング5を上下動させる上下動機構81は、軸受83を介してトップリングシャフト6を回転可能に支持するブリッジ84と、ブリッジ84に取り付けられたボールねじ88と、支柱86により支持された支持台85と、支持台85上に設けられたサーボモータ90とを備えている。サーボモータ90を支持する支持台85は、支柱86を介してトップリングヘッド64に固定されている。
- 15 ボールねじ88は、サーボモータ90に連結されたねじ軸88aと、このねじ軸88aが螺合するナット88bとを備えている。トップリングシャフト6は、ブリッジ84と一体となって上下動するようになっている。したがって、サーボモータ90を駆動すると、ボールねじ88を介してブリッジ84が上下動し、これによりトップリングシャフト6およびトップリング5が上下動する。
- 20 トップリングシャフト6はキー（図示せず）を介して回転筒66に連結されている。この回転筒66はその外周部にタイミングプーリ67を備えている。トップリングヘッド64にはトップリングモータ68が固定されており、上記タイミングプーリ67は、タイミングベルト69を介してトップリングモータ68に設けられたタイミングプーリ70に接続されている。したがって、トップリングモータ68を回転駆動することによってタイミングプーリ70、タイミングベルト69、およびタイミングプーリ67を介して回転筒66およびトップリングシャフト6が一体に回転し、トップリング5が回転する。トップリングヘッド64は、

フレーム（図示せず）に回転可能に支持されたトップリングヘッドシャフト80によって支持されている。研磨装置は、トップリングモータ68、サーボモータ90をはじめとする装置内の各機器を制御する研磨制御部50を備えている。

トップリング5は、その下面にウェハWを保持できるように構成されている。

- 5 トップリングヘッド64はトップリングヘッドシャフト80を中心として旋回可能に構成されており、下面にウェハWを保持したトップリング5は、トップリングヘッド64の旋回によりウェハWの受取位置から研磨テーブル2の上方位置に移動される。ウェハWの研磨は次のようにして行われる。トップリング5および研磨テーブル2をそれぞれ回転させ、研磨テーブル2の上方に設けられた研磨液
- 10 供給ノズル7から研磨パッド1上に研磨液Qを供給する。この状態で、トップリング5を所定の位置（所定の高さ）まで下降させ、この所定の位置でウェハWを研磨パッド1の研磨面1aに押圧する。ウェハWは研磨パッド1の研磨面1aに摺接され、これによりウェハWの表面が研磨される。

- 次に、トップリング5について説明する。図21は、トップリング5を示す断面
- 15 面図である。トップリング5は、トップリングシャフト6に自由継手49を介して連結されるトップリング本体41と、トップリング本体41の下方に配置されたリテーナリング42とを備えている。

- トップリング本体41の下方には、ウェハWに当接する柔軟なメンブレン（弾性膜）11と、メンブレン11を保持するチャッキングプレート45とが配置さ
- 20 れている。メンブレン11とチャッキングプレート45との間には、4つの圧力室（エアバッグ）C1、C2、C3、C4が設けられている。圧力室C1、C2、C3、C4はメンブレン11とチャッキングプレート45とによって形成されている。中央の圧力室C1は円形であり、他の圧力室C2、C3、C4は環状である。これらの圧力室C1、C2、C3、C4は、同心上に配列されている。

- 25 圧力室C1、C2、C3、C4にはそれぞれ気体移送ラインF1、F2、F3、F4を介して気体供給源（流体供給源）55により加圧空気等の加圧気体（加圧流体）が供給されるようになっている。また、気体移送ラインF1、F2、F3、F4には真空ラインV1、V2、V3、V4が接続されており、真空ラインV1、

V 2, V 3, V 4によって圧力室C 1, C 2, C 3, C 4に負圧が形成されるようになっている。圧力室C 1, C 2, C 3, C 4の内部圧力は互いに独立して変化させることが可能であり、これにより、ウェハWの対応する4つの領域、すなわち、中央部、内側中間部、外側中間部、および周縁部に対する研磨圧力を独立

5 に調整することができる。また、トップリング5の全体を昇降させることにより、リテーナリング4 2を所定の圧力で研磨パッド1に押圧できるようになっている。

チャッキングプレート4 5とトップリング本体4 1との間には圧力室C 5が形成され、この圧力室C 5には気体移送ラインF 5を介して上記気体供給源5 5により加圧気体が供給されるようになっている。また、気体移送ラインF 5には真

10 空ラインV 5が接続されており、真空ラインV 5によって圧力室C 5に負圧が形成されるようになっている。これにより、チャッキングプレート4 5およびメンブレン1 1全体が上下方向に動くことができる。

ウェハWの周端部はリテーナリング4 2に囲まれており、研磨中にウェハWがトップリング5から飛び出さないようになっている。圧力室C 3を構成する、メ

15 ンブレン1 1の部位には開口が形成されており、圧力室C 3に真空を形成することによりウェハWがトップリング5に吸着保持されるようになっている。また、この圧力室C 3に窒素ガスやクリーンエアなどを供給することにより、ウェハWがトップリング5からリリースされるようになっている。

トップリング本体4 1とリテーナリング4 2との間には、環状のローリングダイヤフラム4 6が配置されおり、このローリングダイヤフラム4 6の内部には圧

20 力室C 6が形成されている。圧力室C 6は、気体移送ラインF 6を介して上記気体供給源5 5に連結されている。気体供給源5 5は加圧気体を圧力室C 6内に供給し、これによりリテーナリング4 2を研磨パッド1に対して押圧する。また、気体移送ラインF 6には真空ラインV 6が接続されており、真空ラインV 6によ

25 って圧力室C 6に負圧が形成されるようになっている。圧力室C 6内に真空が形成されると、リテーナリング4 2の全体が上昇する。

圧力室C 1, C 2, C 3, C 4, C 5, C 6に連通する気体移送ライン（気体流路）F 1, F 2, F 3, F 4, F 5, F 6には、それぞれ電空レギュレータ

(圧力レギュレータ) R 1, R 2, R 3, R 4, R 5, R 6 が設けられている。
気体供給源 5 5 からの加圧気体は、電空レギュレータ R 1 ~ R 6 を通って圧力室
C 1 ~ C 6 内に供給される。電空レギュレータ R 1 ~ R 6 は、気体供給源 5 5 か
ら供給される加圧気体の圧力を調整することによって、圧力室 C 1 ~ C 6 内の圧
5 力を制御する。電空レギュレータ R 1 ~ R 6 は研磨制御部 5 0 に接続されている。
圧力室 C 1 ~ C 6 は大気開放弁 (図示せず) にも接続されており、圧力室 C 1 ~
C 6 を大気開放することも可能である。研磨制御部 5 0 は、圧力室 C 1 ~ C 6 そ
れぞれの目標圧力値を電空レギュレータ R 1 ~ R 6 に送り、電空レギュレータ R
1 ~ R 6 は、圧力室 C 1 ~ C 6 内の圧力が対応する目標圧力値に維持されるよう
10 に動作する。

電空レギュレータ R 1 ~ R 6 は、気体移送ライン F 1 ~ F 6 によって圧力室 C
1 ~ C 6 に接続されている。気体移送ライン F 1 ~ F 6 には、その内部を流れる
気体の流量を測定するための流量計 G 1, G 2, G 3, G 4, G 5, G 6 がそれ
ぞれ設けられている。これら流量計 G 1 ~ G 6 は、対応する圧力室 C 1 ~ C 6 の
15 気体漏洩の検出に使用される。圧力室 C 1 ~ C 6 の気体漏洩の検出が必要でない
場合は、流量計 G 1 ~ G 6 は省略してもよい。気体移送ライン F 1 ~ F 6 は、圧
力室 C 1 ~ C 6 からロータリージョイント 1 4 を経由して電空レギュレータ R 1
~ R 6 まで延びている。真空ライン V 1 ~ V 6 は、圧力室 C 1 ~ C 6 と流量計 G
1 ~ G 6 との間の位置において、気体移送ライン F 1 ~ F 6 にそれぞれ接続され
20 ている。

電空レギュレータ R 1, R 2, R 3, R 4, R 5, R 6 と、加圧気体のユース
ポイントであるトップリング 5 との間には、バッファタンク (ガスタンク) T 1,
T 2, T 3, T 4, T 5, T 6 が設けられている。これらバッファタンク T 1,
T 2, T 3, T 4, T 5, T 6 は、分岐ライン B 1, B 2, B 3, B 4, B 5,
25 B 6 を通じて気体移送ライン (気体流路) F 1, F 2, F 3, F 4, F 5, F 6
にそれぞれ接続されている。バッファタンク T 1 ~ T 6 は、電空レギュレータ R
1 ~ R 6 と、流量計 G 1 ~ G 6 との間に配置されている。言い換えれば、分岐ラ
イン B 1 ~ B 6 は、電空レギュレータ R 1 ~ R 6 と流量計 G 1 ~ G 6 との間の位

置において気体移送ラインF 1～F 6に接続されている。バッファタンクT 1, T 2, T 3, T 4, T 5, T 6は、上述したガスタンク4 0と同じ機能を有している。

5 研磨制御部5 0には、研磨パッド1に対するトップリング5の相対的な高さの最適値である目標高さが予め記憶されている。ウェハWの研磨中、研磨パッド1に対するトップリング5の相対的な高さは、この所定の目標高さに維持される。この目標高さは、圧力室C 1～C 4に負圧を形成してウェハWをメンブレン1 1上に引き付けているときに、ウェハWと研磨パッド1の研磨面1 aとの間に僅かな隙間が形成される高さである。この隙間は、圧力室C 1～C 4内に気体を供給
10 することで0となる。研磨パッド1に対するトップリング5の相対的な高さは、サーボモータ9 0によって調整され、サーボモータ9 0の動作は研磨制御部5 0によって制御される。

トップリング5の相対的な高さを上記目標高さに維持するためには、研磨パッド1の研磨面1 aの高さを検出する必要がある。研磨パッド1の研磨面1 aの高さは、次のようにして検出することができる。トップリング5を所定の初期位置
15 から下降させてトップリング5の下面（すなわち、リテーナリング4 2の下面）を研磨パッド1の研磨面1 aに接触させる。トップリング5の下面が研磨パッド1の研磨面1 aに接触すると、サーボモータ9 0に対する負荷が増加し、サーボモータ9 0に流れる電流が増加する。したがって、研磨制御部5 0は、サーボモータ9 0に流れる電流の変化から、トップリング5の下面が研磨パッド1の研磨
20 面1 aに接触した時点を検出することができる。研磨制御部5 0は、トップリング5の下面が研磨パッド1の研磨面1 aに接触したときにサーボモータ9 0の動作を停止させ、トップリング5の下降を停止させる。研磨制御部5 0は、トップリング5の初期位置と、トップリング5の下降距離とから、研磨パッド1の研磨
25 面1 aの高さを算出する。

ウェハWの研磨中、研磨パッド1に対するトップリング5の相対的な高さが一定に維持された条件下で、研磨テーブル2とトップリング5は回転される。しかしながら、研磨テーブル2およびトップリング5の回転軸受には軸方向の振れが

僅かにあるため、これら研磨テーブル2およびトップリング5の回転に伴って、研磨テーブル2とトップリング5の上下方向の相対位置は僅かに変化する。この相対位置の変化によって圧力室C1～C6の内部容積が変動するので、圧力室C1～C6の内部圧力も変動してしまう。そこで、このような圧力室C1～C6の内部圧力の変動を小さくするために、圧力室C1～C6にはバッファタンクT1～T6がそれぞれ連通している。

それぞれのバッファタンクT1～T6の構成および配置は、互いに同じである。したがって、以下、バッファタンクT1について図22を参照して説明する。図22は、バッファタンクT1、電空レギュレータ（圧力レギュレータ）R1、流量計G1、圧力室C1の配置を説明するための模式図である。バッファタンクT1は、金属または硬質の樹脂などの硬質の材料から形成された密閉容器である。バッファタンクT1は、剛性の高い構造を有しており、その内部容積は実質的に変化しない。一例として、バッファタンクT1はPVC（ポリ塩化ビニル）から形成されている。

15 バッファタンクT1は気体移送ラインF1に接続されている。したがって、バッファタンクT1は、気体移送ラインF1を通じて圧力室C1に連通している。このバッファタンクT1の容積は、圧力室C1の容積と同じか、またはそれよりも大きい。このようなバッファタンクT1は、電空レギュレータR1から圧力室C1までの気体通路の体積を大きくすることで、圧力室C1の圧力の変動を相対的に小さくすることができる。

20 バッファタンクT1は、電空レギュレータR1と流量計G1との間に位置している。これは、電空レギュレータR1の応答性を向上させるためである。電空レギュレータR1の応答性は、目標圧力値が変化した時点と、電空レギュレータR1の下流側の圧力（すなわち、電空レギュレータR1の二次側圧力）がその目標圧力値に到達した時点との差の示す応答時間で表される。流量計G1は、絞り孔を有しており、絞り孔の上流側での圧力と下流側での圧力の差に基づいて流量を測定するように構成されている。このような構成を持つ流量計G1の上流側にバッファタンクT1が接続されているので、電空レギュレータR1から供給される

気体は、その流量が流量計G 1によって低下される前にバッファタンクT 1に供給され、速やかにバッファタンクT 1を満たす。よって、電空レギュレータR 1は、目標圧力値の変化に応じて圧力室C 1内の圧力を速やかに変化させることができる。流量計G 1は、バッファタンクT 1と圧力室C 1との間に位置している。

- 5 図2 2から分かるように、バッファタンクT 1は、電空レギュレータR 1と真空ラインV 1との間に配置されている。このような配置とすることにより、真空ラインV 1によって圧力室C 1内に真空を形成するときに、バッファタンクT 1は真空形成にほとんど影響を与えない。したがって、真空ラインV 1は、速やかに圧力室C 1内に真空を形成することができる。

- 10 図2 3は、図2 2の比較例を示す図である。図2 3に示す例では、バッファタンクT 1は、流量計G 1と圧力室C 1との間に配置されている。このような配置では、電空レギュレータR 1から供給される気体は、その流量が流量計G 1によって低下された後にバッファタンクT 1に供給される。結果として、気体がバッファタンクT 1を満たすのにより長い時間がかかり、応答性が低下してしまう。
- 15 しかも、真空ラインV 1によって圧力室C 1内に真空を形成するときに、バッファタンクT 1内の気体が真空ラインV 1によって吸い込まれるために、圧力室C 1内に真空を形成するのにより長い時間がかかる。

- 図2 4は、図2 2に示す配置、図2 3に示す配置、およびバッファタンクT 1がない配置において、目標圧力値を変化させたときの電空レギュレータR 1の応答時間の実験結果を示すグラフである。この実験結果から分かるように、図2 2に示す配置は、図2 3に示す配置よりも短い応答時間を示している。しかも、図2 2に示す配置は、バッファタンクT 1がない配置とほぼ同じ応答時間を示している。これは、図2 2に示すようにバッファタンクT 1を電空レギュレータR 1と流量計G 1との間に配置することにより、バッファタンクを設けない場合と同等の良好な応答性が得られることを意味している。
- 20
- 25

図2 5は、バッファタンクT 1を電空レギュレータR 1と流量計G 1との間に設けた場合およびバッファタンクT 1を設けなかった場合における電空レギュレータR 1の下流側での圧力の変動の大きさを示すグラフであり、図2 6は、バッ

ファタンク T 1 を電空レギュレータ R 1 と流量計 G 1 との間に設けた場合および
バッファタンク T 1 を設けなかった場合における電空レギュレータ R 1 の下流側
での流量の変動の大きさを示すグラフである。図 2 5 および図 2 6 において、圧
力の変動の大きさは、圧力の最大値と最小値との差を表し、流量の変動の大き
さは、流量の最大値と最小値との差を表している。図 2 5 および図 2 6 に示す実験
結果から、バッファタンク T 1 を設けることによって圧力変動および流量変動が
低下することが分かる。

図 2 4 乃至図 2 6 に示す実験結果から分かるように、バッファタンク T 1 を電
空レギュレータ R 1 と流量計 G 1 との間に設けることによって、圧力変動および
流量変動を低下させつつ、バッファタンクを設けない場合と同等の良好な応答性
を得ることができる。上述したように、圧力室 C 1 ～ C 6 の気体漏洩の検出が必要
でない場合は、流量計 G 1 ～ G 6 は省略してもよい。この場合でも、バッファ
タンク T 1 ～ T 6 は、圧力室 C 1 ～ C 6 の圧力の変動を相対的に小さくすること
ができる。

次に、バッファタンク T 1 の他の構成例について説明する。以下に説明するバ
ッファタンク T 1 の配置は、図 2 2 に示すバッファタンク T 1 の上記配置と同じ
である。図 2 7 は、バッファタンク T 1 の他の例を示す断面図である。他のバ
ッファタンク T 2 ～ T 6 も図 2 7 に示すバッファタンク T 1 と同じ構成および配置
を有している。

図 2 7 に示すバッファタンク T 1 は、その内部の圧力に応じてバッファタンク
T 1 の容積が変化するように構成されている点で、上述したバッファタンクと異
なっている。この例のバッファタンク T 1 は、その全体がゴムなどの弾性材料か
ら構成されており、バッファタンク T 1 内の圧力に応じてバッファタンク T 1 の
全体が変形（すなわち、膨張および収縮）する。すなわち、バッファタンク T 1
の全体は、その内部の圧力に応じて変形可能な部材から構成されている。例えば、
バッファタンク T 1 は、ゴム製のエアバッグから構成されている。バッファタン
ク T 1 の一部のみがゴムなどの弾性材料から構成されていてもよい。

図 2 8 は、内部の圧力が低いときのバッファタンク T 1、および内部の圧力が

高いときのバッファタンク T 1 を示す図である。図 2 8 に示すように、バッファタンク T 1 内の圧力が高くなると、バッファタンク T 1 全体が膨張してバッファタンク T 1 の容積が増加する。このように、バッファタンク T 1 内の圧力に応じてバッファタンク T 1 の容積が変化するので、バッファタンク T 1 はウェハの研磨時に発生する圧力室 C 1 内での圧力変動を吸収することができる。

図 2 9 は、バッファタンク T 1 のさらに他の例を示す断面図である。他のバッファタンク T 2 ~ T 6 も図 2 9 に示すバッファタンク T 1 と同じ構成および配置を有している。この例のバッファタンク T 1 自体は図 2 7 に示すバッファタンク T 1 と同じであるが、バッファタンク T 1 の外側に制限カバー 1 0 0 が設けられている点で異なっている。この制限カバー 1 0 0 は、バッファタンク T 1 の上面および側面全体を覆う形状を有している。制限カバー 1 0 0 は、バッファタンク T 1 全体の体積よりも大きな内部空間を有している。この制限カバー 1 0 0 は、バッファタンク T 1 内の圧力上昇に応じて膨張したバッファタンク T 1 の破裂を防ぐために設けられている。

図 3 0 は、バッファタンク T 1 の変形（膨張）が制限カバー 1 0 0 によって制限される様子を示す図である。図 3 0 に示すように、バッファタンク T 1 内の圧力が低いときは、バッファタンク T 1 の外面は制限カバー 1 0 0 の内面に接触していないが、バッファタンク T 1 内の圧力がある程度上昇すると、バッファタンク T 1 の外面は制限カバー 1 0 0 の内面に接触する。図 3 0 から分かるように、バッファタンク T 1 の膨張は制限カバー 1 0 0 によって制限されるので、バッファタンク T 1 の破裂を防止することができる。

バッファタンク T 1 の壁を薄くするほど、バッファタンク T 1 は圧力変動をより吸収しやすくなる。その一方で、バッファタンク T 1 の壁を薄くすると、ウェハ研磨中にバッファタンク T 1 が大きく膨らみ、バッファタンク T 1 が破裂するおそれがある。制限カバー 1 0 0 は、このようなバッファタンク T 1 の破裂のリスクを大きく低減させることが可能である。さらに、バッファタンク T 1 の形状および厚みと、制限カバー 1 0 0 の形状および大きさとの組み合わせにより、バッファタンク T 1 によって吸収される圧力範囲および圧力変動の大きさを調整す

ることが可能である。

図3 1は、バッファタンクT 1のさらに他の例を示す断面図である。他のバッファタンクT 2～T 6も図3 1に示すバッファタンクT 1と同じ構成および配置を有している。この例のバッファタンクT 1の周壁部は、樹脂や金属（例えばステンレス）からなるベローズ管1 0 2で構成されている。ベローズ管1 0 2は、
5 バッファタンクT 1内の圧力に応じて変形（すなわち、膨張および収縮）することが可能に構成される。ベローズ管1 0 2は膨張しても、その肉厚が変わらず、機械的強度が低下しないという利点がある。

図3 2は、内部の圧力が低いときのバッファタンクT 1、および内部の圧力が高いときのバッファタンクT 1を示す図である。図3 2に示すように、バッファタンクT 1内の圧力が高くなると、ベローズ管1 0 2が伸びてバッファタンクT 1の容積が増加する。このように、バッファタンクT 1内の圧力に応じてバッファタンクT 1の容積が変化するので、バッファタンクT 1はウェハの研磨時に発生する圧力室C 1内での圧力変動を吸収することができる。

図3 3は、バッファタンクT 1のさらに他の例を示す断面図である。他のバッファタンクT 2～T 6も図3 3に示すバッファタンクT 1と同じ構成および配置を有している。この例では、バッファタンクT 1の一部は、樹脂またはゴムなどの弾性材料からなるダイヤフラム1 0 5から構成されている。より具体的は、バッファタンクT 1は、開口部を有する容器1 0 6と、この開口部を塞ぐダイヤフラム1 0 5とを備えている。ダイヤフラム1 0 5は、
20 屈曲部のない平坦な形状を有している。容器1 0 6は硬質の部材（例えば、金属または硬質の樹脂）から形成されている。ダイヤフラム1 0 5は容器1 0 6の開口部を塞いでおり、これによってバッファタンクT 1内には密閉空間が形成される。この密閉空間は分岐ラインB 1に連通している。

図3 4は、内部の圧力が低いときのバッファタンクT 1、および内部の圧力が高いときのバッファタンクT 1を示す図である。図3 4に示すように、バッファタンクT 1内の圧力が高くなると、ダイヤフラム1 0 5が外側に膨らんでバッファタンクT 1の容積が増加する。このように、バッファタンクT 1内の圧力に応

じてバッファタンクT1の容積が変化するので、バッファタンクT1はウェハの研磨時に発生する圧力室C1内での圧力変動を吸収することができる。ダイヤフラム105は、バッファタンクT1内の圧力に応じて変形する部材である。ダイヤフラム105は、その形状が単純で変形量も比較的小さいので長期間に亘って安定した動作が期待できる。

図35は、バッファタンクT1のさらに他の例を示す断面図である。他のバッファタンクT2～T6も図35に示すバッファタンクT1と同じ構成および配置を有している。この例のバッファタンクT1は、分岐ラインB1に接続されたシリンダ111と、このシリンダ111内に収容されたピストン112と、シリンダ111とピストン112との間の隙間を封じるローリングダイヤフラム114と、ピストン112を支持するスプリング116とを有している。ローリングダイヤフラム114は、ゴムなどの弾性部材から構成されている。

ローリングダイヤフラム114は、ピストン112を囲むように配置された逆U字型の断面を有する屈曲部を有しており、この屈曲部がシリンダ111とピストン112との間の隙間をシールしている。バッファタンクT1内の密閉空間は、ローリングダイヤフラム114とシリンダ111の内面とによって形成されている。この密閉空間は分岐ラインB1に連通している。ローリングダイヤフラム114は、バッファタンクT1内の圧力に応じて変形する部材である。

図36は、内部の圧力が低いときのバッファタンクT1、および内部の圧力が高いときのバッファタンクT1を示す図である。図36に示すように、バッファタンクT1内の圧力が高くなると、ピストン112がスプリング116の反発力に抗って外側に移動してバッファタンクT1の容積が増加するとともに、ローリングダイヤフラム114が変形する。このように、バッファタンクT1内の圧力に応じてバッファタンクT1の容積が変化するので、バッファタンクT1はウェハの研磨時に発生する圧力室C1内での圧力変動を吸収することができる。

ローリングダイヤフラム114の屈曲部は、ピストン112の動作にあわせて回転するのみであり、ローリングダイヤフラム114はピストン112およびシリンダ111に摺接しない。したがって、ローリングダイヤフラム114が変形

するときローリングダイヤフラム114に作用する摩擦抵抗はほぼ0である。
したがって、ピストン112はバッファタンクT1内の圧力変化に応じて速やか
かつ滑らかに移動することができる。更に、スプリング116の反発力はピスト
ン112の移動量に従って変化するので、ピストン112のストロークを長くす
5 ることで広い範囲での圧力振動を吸収することが可能である。

上述した図27乃至図36に示す構成は、適宜組み合わせることも可能である。
例えば、図27に示すエアバックタイプのバッファタンクT1の一部に、図33
に示すダイヤフラム105を組み込むことで、バッファタンクT1はより広い範
囲での圧力変動を吸収することが可能となる。

10 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
15 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ための回転可能な研磨テーブルと、
基板を前記研磨パッドに押し付けるための圧力室を有する回転可能なトップリ
5 ングと、
前記圧力室内の気体の圧力を制御する圧力レギュレータと、
前記圧力室と前記圧力レギュレータとの間に設けられたバッファタンクとを備
えたことを特徴とする研磨装置。
- 10 2. 前記圧力レギュレータは、圧力制御バルブと、該圧力制御バルブの下流側
の気体の圧力を測定する圧力計と、前記圧力室内の圧力の目標値と該圧力計によ
って測定された圧力値との差を最小にするように前記圧力制御バルブの動作を制
御するバルブ制御部とを備えたことを特徴とする請求項1に記載の研磨装置。
- 15 3. 前記圧力レギュレータと前記圧力室とを接続する気体移送ラインと、
前記気体移送ラインを流れる気体の流量を計測する流量計とをさらに備え、
前記バッファタンクは前記気体移送ラインに連通しており、
前記バッファタンクは、前記圧力レギュレータと前記流量計との間に配置され
ることを特徴とする請求項1に記載の研磨装置。
- 20 4. 前記バッファタンクは、その内部の圧力にかかわらず内部容積が変化しな
い構成を有していることを特徴とする請求項3に記載の研磨装置。
5. 前記バッファタンクは、その内部の圧力に応じて該バッファタンクの容積
25 が変化するように構成されていることを特徴とする請求項3に記載の研磨装置。
6. 前記バッファタンクの少なくとも一部は、前記バッファタンクの内部の圧
力に応じて変形する部材から構成されていることを特徴とする請求項5に記載の

研磨装置。

7. 前記バッファタンクの変形を制限する制限カバーを前記バッファタンクの
外側に配置したことを特徴とする請求項6に記載の研磨装置。

5

8. 前記バッファタンクの内部の圧力に応じて変形する前記部材は、ダイヤフ
ラムであることを特徴とする請求項6に記載の研磨装置。

9. 前記バッファタンクの内部の圧力に応じて変形する前記部材は、ベローズ
10 管であることを特徴とする請求項6に記載の研磨装置。

10. 前記バッファタンクは、
シリンダと、
前記シリンダ内に収容されたピストンと、
15 前記シリンダと前記ピストンとの間の隙間を封じるローリングダイヤフラム
と、
前記ピストンを支持するスプリングとを有し、
前記ローリングダイヤフラムは、前記ピストンを囲む屈曲部を有しており、前
記屈曲部は逆U字型の断面を有することを特徴とする請求項5に記載の研磨装置。

20

11. 前記基板を前記研磨パッドに押し付けているときの前記トップリングの
前記研磨パッドに対する相対的な高さは一定であることを特徴とする請求項3に
記載の研磨装置。

25 12. 前記圧力レギュレータと前記圧力室とを接続する気体移送ラインをさら
に備え、
前記バッファタンクは前記気体移送ラインに連通しており、
前記バッファタンクは、その内部の圧力に応じて該バッファタンクの容積が変

化するように構成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の研磨装置。

13. 前記バッファタンクの少なくとも一部は、前記バッファタンクの内部の圧力に応じて変形する部材から構成されていることを特徴とする請求項 12 に記載の研磨装置。

14. 前記バッファタンクの変形を制限する制限カバーを前記バッファタンクの外側に配置したことを特徴とする請求項 13 に記載の研磨装置。

15 15. 前記バッファタンクの内部の圧力に応じて変形する前記部材は、ダイヤフラムであることを特徴とする請求項 13 に記載の研磨装置。

16. 前記バッファタンクの内部の圧力に応じて変形する前記部材は、ベローズ管であることを特徴とする請求項 13 に記載の研磨装置。

15

17. 前記バッファタンクは、

シリンダと、

前記シリンダ内に収容されたピストンと、

前記シリンダと前記ピストンとの間の隙間を封じるローリングダイヤフラム

20 と、

前記ピストンを支持するスプリングとを有し、

前記ローリングダイヤフラムは、前記ピストンを囲む屈曲部を有しており、前記屈曲部は逆U字型の断面を有することを特徴とする請求項 12 に記載の研磨装置。

25

18. 前記基板を前記研磨パッドに押し付けているときの前記トップリングの前記研磨パッドに対する相対的な高さは一定であることを特徴とする請求項 12 に記載の研磨装置。

19. 研磨パッドを支持するための回転可能な研磨テーブルと、

前記研磨パッドに基板を押し付けるための圧力室を有する回転可能なトップリングと、

5 前記圧力室内の気体の圧力を制御する圧力レギュレータとを備え、

前記圧力レギュレータは、圧力制御バルブと、該圧力制御バルブの下流側の気体の圧力を測定する圧力計と、前記圧力室内の圧力の目標値と該圧力計によって測定された圧力値との差分を最小にするように前記圧力制御バルブの動作を制御するバルブ制御部とを備え、

10 前記測定された圧力値の振動周波数が所定の周波数範囲内にあるとき、前記バルブ制御部の、前記目標値に対する前記測定された圧力値の比率を示す応答倍率は0 dB以下であり、

前記研磨テーブルの回転速度に対応する周波数は、前記所定の周波数範囲内にあることを特徴とする研磨装置。

15

20. 前記バルブ制御部は、第1のバルブ制御部と第2のバルブ制御部から構成され、

前記圧力レギュレータは、前記第1のバルブ制御部と前記第2のバルブ制御部とを切り替える切替器を有しており、

20 前記測定された圧力値の振動周波数が前記所定の周波数範囲内にあるとき、前記第1のバルブ制御部の前記応答倍率は0 dB以下であり、

前記測定された圧力値の振動周波数が前記所定の周波数範囲内にあるとき、前記第2のバルブ制御部の前記応答倍率は0 dBよりも大きいことを特徴とする請求項19に記載の研磨装置。

25

21. 前記圧力レギュレータは、前記測定された圧力値の振動周波数が前記所定の周波数範囲内にあるときの前記バルブ制御部の前記応答倍率を0 dB以下に下げる帯域除去フィルタを備えることを特徴とする請求項19に記載の研磨装置。

22. 前記研磨テーブルと前記トップリングは同じ回転速度で回転することを特徴とする請求項19に記載の研磨装置。
- 5 23. 前記バルブ制御部の前記応答倍率を計測する応答倍率計測器をさらに備え、
前記応答倍率計測器は、
前記所定の周波数範囲内にある周波数でテスト目標値を振動させながら該テスト目標値を前記圧力レギュレータに入力し、
- 10 前記振動するテスト目標値を前記圧力レギュレータに入力しているときの前記圧力計の出力値を取得し、
前記出力値および前記テスト目標値から前記バルブ制御部の前記応答倍率を算出することを特徴とする請求項19に記載の研磨装置。
- 15 24. 前記算出された応答倍率が0 dBよりも大きい場合に、該応答倍率が0 dB以下となるように前記バルブ制御部の動作を調整するチューニング器をさらに備えたことを特徴とする請求項23に記載の研磨装置。