

リテーナリングに局所荷重を伝達するローラーの異常検出方法および研磨装置

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を研磨する研磨装置に使用されるリテーナリングに局所荷重を伝達するローラーの異常を検出する方法に関する。また、本発明は、そのようなローラーの異常を検出することができる研磨装置に関する。

関連技術の記載

- 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
10 化し、多層配線の層数も増加している。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、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
15 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。

- 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
20 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を研磨パッドの研磨面上に供給しつつウェーハを研磨面に摺接させて研磨を行うものである。

- 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
25 ブルと、基板を保持するための研磨ヘッドを備えている。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、研磨パッド上にスラリーを供給する。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。基板はスラリーの存在

下で研磨パッドに摺接されながら、基板の表面は、スラリーの化学的作用と、スラリーに含まれる砥粒の機械的作用との組み合わせにより平坦化される。

【先行技術文献】

【特許文献】

5 【特許文献1】 日本国特開2015-233131号公報

 【特許文献2】 日本国特開2014-4675号公報

 基板の研磨中、基板の表面は回転する研磨パッドに摺接されるため、基板には摩擦力が作用する。そこで、基板の研磨中に基板が研磨ヘッドから外れないようにするために、研磨ヘッドはリテーナリングを備えている。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ている。

 リテーナリングは、ウェーハの周囲で研磨パッドを押し付けるため、リテーナリングの荷重はウェーハのエッジ部のプロファイルに影響する。ウェーハのエッジ部のプロファイルを積極的に制御するために、リテーナリングの一部に局所荷重を与えることもある（特許文献1参照）。

 特許文献1では、リテーナリングの上方に複数のローラーが配置されている。複数のローラーは、リテーナリングと共に回転する。複数のローラー上には静止リングが配置されている。静止リングは、局所荷重付与装置に連結されており、その位置は固定されている。複数のローラーは、静止リングに転がり接触しながら回転するように構成されている。局所荷重付与装置は、静止リングの一部に下向きの局所荷重を与える。下向きの局所荷重は、静止リングおよび複数のローラーを通じてリテーナリングに伝達される。各ローラーは、荷重の作用点を通過するときのみ荷重を受ける。このようにして、リテーナリングの一部に局所荷重が与えられる。

 しかしながら、従来は、ローラーに回転不良や破損等の異常が発生していても、ローラーの異常を検出する手段がなく、動作不良のローラーを使用し続けることによって、研磨装置の正常動作が妨げられる可能性があった。

発明の要旨

そこで、本発明は、リテーナリングに局所荷重を伝達するローラーの異常を検出する方法を提供する。また、本発明は、そのようなローラーの異常を検出することができる研磨装置を提供する。

一態様では、基板を押圧する押圧面を有するヘッド本体と、前記押圧面を囲むように配置されたリテーナリングとを備えた研磨ヘッドを回転させ、前記リテーナリングに固定され、かつ複数のローラーを有する回転リングを前記研磨ヘッドと共に回転させながら、かつ前記回転リング上に配置された静止リングに局所荷重を加えながら、前記研磨ヘッドを回転させるためのトルクを測定し、前記トルクの測定値と、前記トルクの測定時間との関係を示すトルク波形を生成し、前記トルク波形にフーリエ変換処理を行って、前記トルク波形の周波数成分の強度を決定し、前記決定された周波数成分の強度が所定のしきい値よりも大きい場合に、前記複数のローラーのうちの少なくとも1つに異常があると判断する方法が提供される。

一態様では、前記フーリエ変換処理は、高速フーリエ変換処理である。

一態様では、前記トルクの測定は、前記研磨ヘッドが前記基板を保持していないとき、かつ前記研磨ヘッドが前記基板を研磨する研磨面を有する研磨パッドに接触していないときに行う。

一態様では、前記研磨ヘッドの回転速度に相当する周波数成分の強度が前記所定のしきい値よりも大きい場合に、前記複数のローラーのうちの少なくとも1つに異常があると判断する。

一態様では、基板を研磨面に押し付ける研磨ヘッドと、前記研磨ヘッドと共に回転可能な回転リングと、前記回転リング上に配置された静止リングと、前記静止リングに局所荷重を加える局所荷重付与装置と、前記研磨ヘッドを回転させるためのトルクを測定するトルク測定装置と、前記トルク測定装置に接続された異常検出装置とを備え、前記研磨ヘッドは、前記基板を押圧する押圧面を有するヘッド本体と、前記押圧面を囲むように配置されたリテーナリングとを備え、前記回転リングは、前記リテーナリングに固定され、かつ前記静止リングに接触する複数のローラーを有し、前記異常検出装置は、前記トルクの測定値と前記トルクの測定時間との関係を示すトルク波形を生成し、前記トルク波形にフーリエ変換処理を行って、前記ト

ルク波形の周波数成分の強度を決定し、前記決定された周波数成分の強度が所定のしきい値よりも大きい場合に、前記複数のローラーのうちの少なくとも1つに異常があると判断するように構成されている研磨装置が提供される。

一態様では、前記フーリエ変換処理は、高速フーリエ変換処理である。

- 5 一態様では、前記異常検出装置は、前記研磨ヘッドの回転速度に相当する周波数成分の強度が前記所定のしきい値よりも大きい場合に、前記複数のローラーのうちの少なくとも1つに異常があると判断するように構成されている。

- 異常なローラーが荷重の作用点を通過するとき、研磨ヘッドを回転させるためのトルクは変化する。本発明によれば、研磨ヘッドのトルク波形にフーリエ変換処理
10 を行うことによって研磨ヘッドを回転させるためのトルクの変化を検出することができる。結果として、ローラーの異常を検出することができる。

図面の簡単な説明

- 図1は、研磨装置の一実施形態を示す模式図である。
- 15 図2は、局所荷重付与装置を示す斜視図である。
- 図3は、研磨ヘッドの断面図である。
- 図4は、回転リングおよび静止リングの断面図である。
- 図5は、ローラーと円環レールとを示す斜視図である。
- 図6は、図5に示すローラーと円環レールを下から見た図である。
- 20 図7は、ローラーの異常を検出する方法の一実施形態を示すフローチャートである。
- 図8は、トルク波形の一例を示す図である。
- 図9は、図8のトルク波形にFFT処理を行ったときの研磨ヘッドのトルク波形の周波数成分の強度を示す図である。

25

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詳細に説明する。図1は、研磨装置の一実施形態を示す模式図である。図1に示すように、研磨装置1は、基板の

一例であるウェーハを保持し回転させる研磨ヘッド10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（スラリー）を供給する研磨液供給ノズル5と、研磨装置1の各構成要素の動作を制御する動作制御部7とを備えている。研磨パッド2の上面は、ウェーハを研磨する研磨面2aを構成する。研磨パッド2は、研磨テーブル3と一体に回転するように構成されている。

動作制御部7は、少なくとも1台のコンピュータから構成される。動作制御部7は、プログラムが格納された記憶装置7aと、プログラムに含まれる命令に従って演算を実行する演算装置7bを備えている。演算装置7bは、記憶装置7aに格納されているプログラムに含まれている命令に従って演算を行うCPU（中央処理装置）またはGPU（グラフィックプロセッシングユニット）などを含む。記憶装置7aは、演算装置7bがアクセス可能な主記憶装置（例えばランダムアクセスメモリ）と、データおよびプログラムを格納する補助記憶装置（例えば、ハードディスクドライブまたはソリッドステートドライブ）を備えている。

研磨装置1は、研磨ヘッドシャフト12と、ヘッドアーム16と、研磨ヘッド10を回転させるためのトルクを測定するトルク測定装置18とをさらに備えている。研磨ヘッド10は研磨ヘッドシャフト12の下端に連結されている。この研磨ヘッドシャフト12はヘッドアーム16により回転自在に保持されている。ヘッドアーム16内には、研磨ヘッドシャフト12を回転させる回転装置17と、研磨ヘッドシャフト12を上昇および下降させる昇降装置（図示せず）と、トルク測定装置18が配置されている。研磨ヘッド10は回転装置17により研磨ヘッドシャフト12を介して回転し、昇降装置により研磨ヘッド10が研磨ヘッドシャフト12を介して上昇および下降されるようになっている。研磨ヘッド10の回転速度は、回転装置17によって制御される。

回転装置17の一例として、サーボモータとモータドライバの組み合わせが挙げられる。研磨ヘッド10は、一定の速度で回転するように回転装置17によって制御される。したがって、研磨ヘッド10を一定の速度で回転させるために必要なトルクが変化すると、回転装置17のサーボモータの駆動電流が変化する。以下、本明細書では、研磨ヘッド10を回転させるためのトルクを、研磨ヘッド10をその

軸心周りに回転させる力の大きさを直接的または間接的に表す物理量と定義する。

研磨ヘッド10を回転させるためのトルクは、研磨ヘッド10をその軸心周りに回転させるトルクそのものであってもよく、回転装置17のサーボモータの駆動電流であってもよい。トルク測定装置18の一例として、回転装置17のサーボモータ

5 の駆動電流を測定する電流測定器が挙げられる。電流測定器は、ヘッドアーム16の外側に配置されてもよい。別の例では、トルク測定装置18は、サーボモータを駆動するモータドライバの少なくとも一部から構成されてもよい。この場合、モータドライバは、研磨ヘッド10を一定の速度で回転させるために必要な電流値を決定し、この決定された電流値を出力する。決定された電流値は、研磨ヘッド10を

10 回転させるためのトルクに相当する。一実施形態では、トルク測定装置18は、研磨ヘッド10をその軸心周りに回転させるトルクを直接測定するトルク測定装置であってもよい。

ヘッドアーム16は旋回軸15に固定されており、旋回軸15の回転により研磨ヘッド10を研磨テーブル3の外側に移動させることが可能となっている。研磨ヘッド10は、その下面に真空吸引によりウェーハを保持できるように構成されている。研磨ヘッド10および研磨テーブル3（研磨パッド2）は、図1の矢印で示すように同じ方向に回転し、この状態で研磨ヘッド10は、ウェーハを研磨パッド2

15 の研磨面2aに押し付ける。研磨液供給ノズル5からは研磨液が研磨パッド2の研磨面2a上に供給され、ウェーハは、研磨液の存在下で研磨面2aとの摺接により

20 研磨される。

研磨ヘッド10は、ウェーハを研磨パッド2に押し付けるヘッド本体11と、ウェーハを囲むように配置されたリテーナリング20とを備えている。ヘッド本体11およびリテーナリング20は、研磨ヘッドシャフト12と一体に回転するように構成されている。リテーナリング20は、ヘッド本体11とは独立して上下動可能

25 に構成されている。リテーナリング20は、ヘッド本体11から半径方向外側に張り出している。ウェーハの研磨中、リテーナリング20は研磨パッド2の研磨面2aに接触し、回転しながらウェーハの外側で研磨パッド2を押し付ける。

研磨装置1は、内部に複数のローラー（後述する）が配置された回転リング51

と、静止リング 9 1 と、回転リング 5 1 のローラーの異常を検出する異常検出装置 1 1 0 とをさらに備えている。回転リング 5 1 は、リテーナリング 2 0 の上面に固定されており、リテーナリング 2 0 と共に回転可能に構成されている。静止リング 9 1 は、回転リング 5 1 上に配置されている。回転リング 5 1 は、研磨ヘッド 1 0 と共に回転するが、静止リング 9 1 は回転せず、静止している。異常検出装置 1 1 0 は、トルク測定装置 1 8 に接続されている。

研磨装置 1 は、静止リング 9 1 の一部に局所荷重を加える局所荷重付与装置 3 0 をさらに備えている。局所荷重付与装置 3 0 は、リテーナリング 2 0 の上方に配置されており、ヘッドアーム 1 6 に固定されている。研磨中のリテーナリング 2 0 は
10 その軸心周りに回転するが、局所荷重付与装置 3 0 はリテーナリング 2 0 とは一体に回転せず、静止している。静止リング 9 1 は、局所荷重付与装置 3 0 に連結されている。

図 2 は局所荷重付与装置 3 0 を示す斜視図である。図 2 に示すように、局所荷重付与装置 3 0 は、静止リング 9 1 に下向きの局所荷重を与える 2 つの押圧ロッド 3
15 1 と、ブリッジ 3 2 と、エアシリンダ（荷重発生装置） 3 3 と、リニアガイド 3 8 と、ガイドロッド 3 9 と、ユニットベース 4 0 とを備えている。

ユニットベース 4 0 はヘッドアーム 1 6（図 1 参照）に固定されている。ユニットベース 4 0 にはエアシリンダ 3 3 およびリニアガイド 3 8 が取り付けられている。エアシリンダ 3 3 のピストンロッド 3 3 a およびガイドロッド 3 9 は、ブリッジ 3
20 2 に接続されている。ガイドロッド 3 9 はリニアガイド 3 8 により低摩擦で上下動自在に支持されている。

エアシリンダ 3 3 は圧力調整装置（図示せず）および大気開放機構（図示せず）に接続されており、荷重を発生できるように構成されている。エアシリンダ 3 3 が発生した荷重はブリッジ 3 2 に伝えられる。ブリッジ 3 2 は 2 つの押圧ロッド（押
25 圧部材） 3 1 により静止リング 9 1 に接続されており、押圧ロッド 3 1 はブリッジ 3 2 に加えられたエアシリンダ 3 3 の荷重を静止リング 9 1 に伝達する。このようにして、押圧ロッド 3 1 は静止リング 9 1 の一部に局所荷重を加える。

研磨ヘッド 1 0 は自身の軸心を中心として回転するが、局所荷重付与装置 3 0 は

ヘッドアーム 16 に固定されるため研磨ヘッド 10 と共に回転しない。すなわち、ウェーハの研磨中、研磨ヘッド 10 およびウェーハは回転している一方、局所荷重付与装置 30 は所定の位置に静止している。同様に、ウェーハの研磨中、回転リング 51 は研磨ヘッド 10 と共に回転している一方、静止リング 91 は所定の位置に静止している。

局所荷重付与装置 30 は、静止リング 91 の一部に下向きの局所荷重を与える。下向きの局所荷重は、静止リング 91 および回転リング 51 を通じてリテーナリング 20 に伝達される。このようにして、局所荷重付与装置 30 は、静止リング 91 および回転リング 51 を介してリテーナリング 20 の一部に下向きの局所荷重を与える。

研磨装置 1 は、回転リング 51 を研磨ヘッド 10 と共に回転させながら、かつ局所荷重付与装置 30 の押圧ロッド 31 から静止リング 91 に局所荷重を加えながらウェーハを研磨する。ウェーハの研磨中、リテーナリング 20 は研磨パッド 2 の研磨面 2a に接触し、回転しながらウェーハの外側で研磨パッド 2 を押し付け、かつ研磨面 2a の一部に下向きの局所荷重を与える。ウェーハの研磨中にリテーナリング 20 の一部に下向きの局所荷重を与える理由は、ウェーハの周縁部（エッジ部）のプロファイルを積極的に制御するためである。一実施形態では、研磨装置 1 は、複数の局所荷重付与装置 30 を備えていてもよい。リテーナリング 20 の複数の箇所のいずれか 1 つに選択的に局所荷重を加えることにより、ウェーハの周縁部のプロファイルをさらに精密に制御することができる。

次に、研磨ヘッド 10 の詳細について説明する。図 3 は、研磨ヘッド 10 の断面図である。研磨ヘッド 10 は、ヘッド本体 11 とリテーナリング 20 とを備えている。ヘッド本体 11 は、研磨ヘッドシャフト 12（図 1 参照）に連結されたキャリア 43 と、キャリア 43 の下面に取り付けられた弾性膜（メンブレン） 45 と、キャリア 43 に対するリテーナリング 20 の傾動および上下移動を許容しつつリテーナリング 20 を支持する球面軸受 47 とを備えている。リテーナリング 20 は連結部材 75 を介して球面軸受 47 に連結され、支持されている。連結部材 75 はキャリア 43 内で上下動可能に配置されている。

弾性膜４５の下面は押圧面４５ａを構成しており、この押圧面４５ａはウェーハＷの上面（被研磨面とは反対側の面）に接触している。弾性膜４５には複数の通孔（図示せず）が形成されている。キャリア４３と弾性膜４５との間には圧力室４６が形成されている。この圧力室４６は圧力調整装置（図示せず）に接続されている。

５ 圧力室４６に加圧流体（例えば、加圧空気）が供給されると、圧力室４６内の流体圧力を受けた弾性膜４５の押圧面４５ａは、ウェーハＷを研磨パッド２の研磨面２ａに対して押圧する。圧力室４６内に負圧が形成されると、ウェーハＷは弾性膜４５の押圧面４５ａに真空吸引により保持される。一実施形態では、複数の圧力室がキャリア４３と弾性膜４５との間に設けられてもよい。

１０ リテーナリング２０は、ウェーハＷおよび弾性膜４５の押圧面４５ａを囲むように配置されている。このリテーナリング２０は、研磨パッド２に接触するリング部材２０ａと、このリング部材２０ａの上部に固定されたドライブリング２０ｂとを有している。リング部材２０ａは、図示しない複数のボルトによってドライブリング２０ｂに結合されている。リング部材２０ａは、ウェーハＷの外周縁および弾性
１５ 膜４５の押圧面４５ａを囲むように配置されている。

連結部材７５は、ヘッド本体１１の中心部に配置された軸部７６と、この軸部７６から放射状に延びる複数のスポーク７８とを備えている。軸部７６はヘッド本体１１の中央部に配置された球面軸受４７内を縦方向に延びている。軸部７６は、球面軸受４７に縦方向に移動自在に支持されている。ドライブリング２０ｂはスポーク
２０ ク７８に接続されている。このような構成により、連結部材７５およびこれに接続されたリテーナリング２０は、ヘッド本体１１に対して縦方向に移動可能となっている。

球面軸受４７は、内輪４８と、内輪４８の外周面を摺動自在に支持する外輪４９とを備えている。内輪４８は、連結部材７５を介してリテーナリング２０に連結さ
２５ れている。外輪４９はキャリア４３に固定されている。連結部材７５の軸部７６は、内輪４８に上下動自在に支持されている。リテーナリング２０は、連結部材７５を介して球面軸受４７により傾動可能に支持されている。

球面軸受４７は、リテーナリング２０の上下移動および傾動を許容する一方で、

リテーナリング 20 の横方向の移動（水平方向の移動）を制限する。ウェーハ W の研磨中は、リテーナリング 20 はウェーハ W と研磨パッド 2 との摩擦に起因した横方向の力（ウェーハ W の半径方向外側に向かう力）をウェーハ W から受ける。この横方向の力は球面軸受 47 によって受けられる。このように、球面軸受 47 は、ウェーハ W の研磨中に、ウェーハ W と研磨パッド 2 との摩擦に起因してリテーナリング 20 がウェーハ W から受ける横方向の力（ウェーハ W の半径方向外側に向かう力）を受けつつ、リテーナリング 20 の横方向の移動を制限する（すなわちリテーナリング 20 の水平方向の位置を固定する）支持機構として機能する。

キャリア 43 には、複数対の駆動カラー 80 が固定されている。各対の駆動カラー 80 は各スポーク 78 の両側に配置されており、キャリア 43 の回転は、駆動カラー 80 を介してリテーナリング 20 に伝達され、これによりヘッド本体 11 とリテーナリング 20 とは一体に回転する。駆動カラー 80 はスポーク 78 に接触しているだけであり、連結部材 75 およびリテーナリング 20 の上下動および傾動を妨げない。

リテーナリング 20 の上部は、環状のリテーナリング押圧機構 60 に連結されている。このリテーナリング押圧機構 60 は、リテーナリング 20 の上面（より具体的には、ドライブリング 20 b の上面）の全体に均一な下向きの荷重を与え、リテーナリング 20 の下面（すなわち、リング部材 20 a の下面）を研磨パッド 2 の研磨面 2 a に対して押圧する。

リテーナリング押圧機構 60 は、ドライブリング 20 b の上部に固定された環状のピストン 61 と、ピストン 61 の上面に接続された環状のローリングダイヤフラム 62 とを備えている。ローリングダイヤフラム 62 の内部には圧力室 63 が形成されている。この圧力室 63 は圧力調整装置（図示せず）に接続されている。圧力室 63 に加圧流体（例えば、加圧空気）が供給されると、ローリングダイヤフラム 62 がピストン 61 を下方に押し下げ、さらに、ピストン 61 はリテーナリング 20 の全体を下方に押し下げる。このようにして、リテーナリング押圧機構 60 は、リテーナリング 20 の下面を研磨パッド 2 の研磨面 2 a に対して押圧する。

図 4 は、回転リング 51 および静止リング 91 の断面図である。回転リング 51

は、複数のローラー５２と、これらローラー５２をそれぞれ支持するローラーシャフト５４と、ローラーシャフト５４が固定されるローラーハウジング５５とを備えている。図４では、１つのローラー５２および１つのローラーシャフト５４のみが描かれている。ローラーハウジング５５は環状の形状を有しており、リテーナリング２０の上面に固定されている。ローラー５２は、ローラーシャフト５４に取り付けられた軸受５７を有しており、ローラー５２はローラーシャフト５４を中心として回転自在となっている。

静止リング９１は、ローラー５２の頂部に接触する円環レール９２と、円環レール９２が固定される環状のレールベース９４とを備えている。円環レール９２の下面には、環状溝９５が形成されており、各ローラー５２の頂部は環状溝９５に接触している。ローラー５２は、円環レール９２に転がり接触しながら回転するように構成されている。レールベース９４の上部には押圧ロッド３１が連結されている。

ローラー５２の軸受５７の内輪を貫通するローラーシャフト５４は、ローラーハウジング５５の内側の壁と外側の壁に支持され、内側の壁に挿入されたねじ５８で固定される。そのためローラーシャフト５４には雌ねじが形成されており、雌ねじの反対側はねじ５８の締結時に空回りしないようにマイナスドライバが嵌る溝５４aが形成されている。回転リング５１はリテーナリング２０のドライブリング２０bの上面に乗せられる。ドライブリング２０bと回転リング５１とは位置決めピン（図示せず）で位置決めされ、リテーナリング２０に対して回転リング５１が滑らない構造となっている。

ローラー５２は、ローラーシャフト５４に取り付けられた軸受５７と、軸受５７の外輪に固定されたホイール５９とから構成されている。ホイール５９は、耐磨耗性の高い樹脂、例えばポリアセタール、PET（ポリエチレンテレフタレート）、PPS（ポリエチレンサルファイド）、MCナイロン（登録商標）などの材料から構成される。円環レール９２の材料はステンレス鋼（SUS304）などの耐食性の高い金属が好ましい。軸受５７には単列深溝玉軸受が使用され、軸受５７の外輪に樹脂製のホイール５９を圧入することで、ホイール５９が軸受５７に取り付けられる。

ローラーハウジング 5 5 の内部には環状凹部 5 5 a が形成されており、この環状凹部 5 5 a 内に複数のローラー 5 2 が収容されている。各ローラー 5 2 の下面、両側面は、環状凹部 5 5 a によって囲まれている。回転リング 5 1 のローラーハウジング 5 5 と静止リング 9 1 のレールベース 9 4 との間にはシール 1 0 0 A, 1 0 0 B が配置されている。より具体的には、円環レール 9 2 の外側には外側シール 1 0 0 A が配置され、円環レール 9 2 の内側には内側シール 1 0 0 B が配置されている。環状凹部 5 5 a を構成する両側面および底面には開口は存在せず、静止リング 9 1 と回転リング 5 1 との間にはシール 1 0 0 A, 1 0 0 B が配置されている。したがって、ローラー 5 2 および円環レール 9 2 から発生する摩耗粉は環状凹部 5 5 a 内に閉じ込められ、研磨パッド 2 上には落下しない。

図 4 に示す実施形態では、外側シール 1 0 0 A および内側シール 1 0 0 B はラビリンスシールである。外側シール 1 0 0 A は、円環レール 9 2 の外側に配置された第 1 の周壁 1 0 1 と、第 1 の周壁 1 0 1 の外側に配置された第 2 の周壁 1 0 2 とを備えている。第 1 の周壁 1 0 1 はローラーハウジング 5 5 から上方に延びており、ローラーハウジング 5 5 と一体に形成されている。第 2 の周壁 1 0 2 はレールベース 9 4 から下方に延びており、レールベース 9 4 と一体に形成されている。第 1 の周壁 1 0 1 と第 2 の周壁 1 0 2 との間には極めて微小な隙間が形成されている。内側シール 1 0 0 B も同様に、円環レール 9 2 の内側に配置された第 1 の周壁 1 0 1 と、第 1 の周壁 1 0 1 の内側に配置された第 2 の周壁 1 0 2 とを備えている。

図 5 は、ローラー 5 2 と円環レール 9 2 とを示す斜視図であり、図 6 は、図 5 に示すローラー 5 2 と円環レール 9 2 を下から見た図である。本実施形態では、2 4 個のローラー 5 2 が設けられている。ウェーハの研磨中、これらのローラー 5 2 はリテーナリング 2 0 と一体に回転する一方で、円環レール 9 2 は静止している。したがって、各ローラー 5 2 は、円環レール 9 2 に転がり接触する。図 4 を参照して説明したローラー 5 2 の構成により、ローラー 5 2 は滑らかに回転することができ、かつ円環レール 9 2 を損傷させずに荷重を伝達できる。ローラー 5 2 は、荷重の作用点（押圧ロッド 3 1 の直下）を通過する際にのみ荷重を受ける。局所荷重付与装置 3 0 の下向きの局所荷重は円環レール 9 2 からローラー 5 2 に伝達され、ローラ

ー５２を通じてリテーナリング２０に伝達される。

ローラー５２の数は、ローラー５２の外径と円環レール９２の直径に基づいて決定される。荷重のスムーズな伝達のためには、ローラー５２の数をできるだけ多くしてローラー５２間の間隔が小さくなるようにした方がよい。ローラー５２は滑らかな外周面を有しており、より大きな荷重を伝達できるようにするために、広い接触面積で円環レール９２に接触している。円環レール９２はローラー５２上に置かれる。ローラー５２は円環レール９２に転がり接触する。円環レール９２の横方向位置はローラー５２の湾曲断面形状の角部と円環レール９２の湾曲断面形状の隅との接触でガイドされる。この場合、局所荷重付与装置３０の荷重は主に円環レール
10 ９２からローラー５２の外周面に伝達される。

上述のように、研磨装置１は、ローラー５２の異常を検出する異常検出装置１１０をさらに備えている（図１参照）。図１に示すように異常検出装置１１０は、研磨ヘッド１０を回転させるためのトルクの測定値と研磨ヘッド１０を回転させるためのトルクの測定時間との関係を示すトルク波形（以下、研磨ヘッド１０のトルク
15 波形と呼ぶことがある。）を生成し、研磨ヘッド１０のトルク波形の周波数成分の強度を決定し、決定された周波数成分の強度に基づいてローラー５２の異常の有無を判断するように構成されている。

より具体的には、異常検出装置１１０は、研磨ヘッド１０のトルク波形を生成し、研磨ヘッド１０のトルク波形の周波数成分の強度を決定し、決定された周波数成分
20 の強度に基づいてローラー５２の異常の有無を判断するためのプログラムが格納された記憶装置１１０ａと、プログラムに含まれる命令に従って演算を実行するための演算装置１１０ｂを備えている。演算装置１１０ｂは、記憶装置１１０ａに格納されているプログラムに含まれている命令に従って演算を行うＣＰＵ（中央処理装置）またはＧＰＵ（グラフィックプロセッシングユニット）などを含む。記憶装置
25 １１０ａは、演算装置１１０ｂがアクセス可能な主記憶装置（例えばランダムアクセスメモリ）と、データおよびプログラムを格納する補助記憶装置（例えば、ハードディスクドライブまたはソリッドステートドライブ）を備えている。

上記プログラムは、研磨ヘッド１０のトルク波形にフーリエ変換処理を行って、

5 研磨ヘッド10のトルク波形の周波数成分の強度を決定するためのプログラムと、
上記決定された周波数成分の強度が所定のしきい値よりも大きい場合に、複数のローラー52のうちの少なくとも1つに異常があると判断するためのプログラムを含んでいる。フーリエ変換処理の一例として、高速フーリエ変換（FFT）処理が挙げられる。

次に、ローラー52の異常を検出する方法について説明する。図7は、ローラー52の異常を検出する方法の一実施形態を示すフローチャートである。図7を参照して説明するローラー52の異常検出、特に研磨ヘッド10を回転させるためのトルクの測定は、研磨ヘッド10がウェーハを保持していないとき、かつ研磨ヘッド10が研磨パッド2に接触していないときに行われる。一例として、ローラー52の異常検出は、ウェーハの研磨後に研磨ヘッド10に付着した研磨液等を洗い流す目的で行われる研磨ヘッド10の洗浄時に行われる。ローラー52の異常検出は、所定の枚数のウェーハを研磨した後の研磨ヘッド10の洗浄時に行ってもよく、毎回の研磨ヘッド10の洗浄時に行ってもよい。

15 ステップ1では、動作制御部7は、回転装置17に指令を発して研磨ヘッド10を回転リング51と共に予め設定された回転速度で回転させる。ステップ2では、動作制御部7は、局所荷重付与装置30に指令を発して、局所荷重付与装置30から静止リング91に予め設定された大きさの局所荷重を加える。

20 ステップ3では、研磨ヘッド10を回転させるためのトルクを測定する。より具体的には、研磨ヘッド10を回転リング51と共に回転させながら、かつ局所荷重付与装置30から静止リング91に局所荷重を加えながら、トルク測定装置18によって研磨ヘッド10を回転させるためのトルクを測定する。

25 ステップ4では、異常検出装置110は、トルク測定装置18から研磨ヘッド10を回転させるためのトルクの測定値を取得し、研磨ヘッド10を回転させるためのトルクの測定値と研磨ヘッド10を回転させるためのトルクの測定時間との関係を示すトルク波形（研磨ヘッド10のトルク波形）を生成する。

図8に研磨ヘッド10のトルク波形の一例を示す。図8は、24個中隣り合う10個のローラー52に異常（回転不良）が発生しているときの研磨ヘッド10のト

ルク波形であり、研磨ヘッド10を 80 min^{-1} で回転させながら 300 N の局所荷重を静止リング91に60秒間加えたときの研磨ヘッド10のトルク波形である。

ローラー52が正常な場合、ローラー52は円環レール92に転がり接触するため、ローラー52は滑らかに回転しながら荷重の作用点（押圧ロッド31の直下）を通過する。しかしながら、いくつかのローラー52に回転不良等の異常が発生している場合、異常なローラー52は滑らかに回転することができず、異常なローラー52が荷重の作用点を通過するとき、研磨ヘッド10を回転させるためのトルクは変化する。したがって、異常検出装置110は、研磨ヘッド10を回転させるためのトルクの変化から、ローラー52の異常を検出することができる。

上述のように、異常なローラー52が荷重の作用点を通過するとき、研磨ヘッド10を回転させるためのトルクは変化するため、複数のローラー52のうちの少なくとも1つに異常なローラー52が存在する場合、研磨ヘッド10を回転させるためのトルクは周期的に変化する。

図7のステップ5では、研磨ヘッド10を回転させるためのトルクの周期的な変化を検出するため、異常検出装置110は、研磨ヘッド10のトルク波形にフーリエ変換処理を行って、研磨ヘッド10のトルク波形の周波数成分の強度を決定する。より具体的には、異常検出装置110は、研磨ヘッド10のトルク波形に高速フーリエ変換（FFT）処理を行って、研磨ヘッド10のトルク波形の周波数成分の強度を決定する。

図9は、図8のトルク波形にFFT処理を行ったときの研磨ヘッド10のトルク波形の周波数成分の強度を示す図である。図9では、 80 min^{-1} に相当する 1.3 Hz 付近の周波数成分の強度が比較的大きくなっている。この結果は、研磨ヘッド10を回転させるためのトルクが研磨ヘッド10の回転速度に対応する周期で変化していること、すなわち異常なローラー52が荷重の作用点を通過するとき、研磨ヘッド10を回転させるためのトルクが変化していることを示している。

図7のステップ6では、異常検出装置110は、ステップ5で決定された周波数成分の強度を所定のしきい値と比較する。異常検出装置110は、決定された周波

数成分の強度が所定のしきい値よりも大きい場合に、複数のローラー 5 2 のうちの少なくとも 1 つに異常があると判断する。

一実施形態では、研磨ヘッド 1 0 の回転速度に相当する周波数成分の強度が所定のしきい値よりも大きい場合に、複数のローラー 5 2 のうちの少なくとも 1 つに異常があると判断してもよい。さらに一実施形態では、異常検出装置 1 1 0 は、ローラー 5 2 に異常があると判断した場合、作業者にローラー 5 2 の点検を促す警報信号を生成してもよい（ステップ 7）。

上述のように、異常なローラー 5 2 が荷重の作用点を通過するとき、研磨ヘッド 1 0 を回転させるためのトルクは変化する。上述した実施形態によれば、異常検出装置 1 1 0 は、研磨ヘッド 1 0 のトルク波形にフーリエ変換処理を行うことによって研磨ヘッド 1 0 を回転させるためのトルクの変化を検出することができる。結果として、異常検出装置 1 1 0 は、ローラー 5 2 の異常を検出することができる。

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。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. 基板を押圧する押圧面を有するヘッド本体と、前記押圧面を囲むように配置されたりテーナリングとを備えた研磨ヘッドを回転させ、
- 5 前記リテーナリングに固定され、かつ複数のローラーを有する回転リングを前記研磨ヘッドと共に回転させながら、かつ前記回転リング上に配置された静止リングに局所荷重を加えながら、前記研磨ヘッドを回転させるためのトルクを測定し、
前記トルクの測定値と、前記トルクの測定時間との関係を示すトルク波形を生成し、
- 10 前記トルク波形にフーリエ変換処理を行って、前記トルク波形の周波数成分の強度を決定し、
前記決定された周波数成分の強度が所定のしきい値よりも大きい場合に、前記複数のローラーのうちの少なくとも1つに異常があると判断する、方法。
- 15 2. 前記フーリエ変換処理は、高速フーリエ変換処理である、請求項1に記載の方法。
3. 前記トルクの測定は、前記研磨ヘッドが前記基板を保持していないとき、かつ前記研磨ヘッドが前記基板を研磨する研磨面を有する研磨パッドに接触していないときに行う、請求項1または2に記載の方法。
- 20 4. 前記研磨ヘッドの回転速度に相当する周波数成分の強度が前記所定のしきい値よりも大きい場合に、前記複数のローラーのうちの少なくとも1つに異常があると判断する、請求項1乃至3のいずれか一項に記載の方法。
- 25 5. 基板を研磨面に押し付ける研磨ヘッドと、
前記研磨ヘッドと共に回転可能な回転リングと、
前記回転リング上に配置された静止リングと、

前記静止リングに局所荷重を加える局所荷重付与装置と、
前記研磨ヘッドを回転させるためのトルクを測定するトルク測定装置と、
前記トルク測定装置に接続された異常検出装置とを備え、
前記研磨ヘッドは、

5 前記基板を押圧する押圧面を有するヘッド本体と、

前記押圧面を囲むように配置されたりテーナリングとを備え、

前記回転リングは、前記リテーナリングに固定され、かつ前記静止リングに接触
する複数のローラーを有し、

前記異常検出装置は、

10 前記トルクの測定値と前記トルクの測定時間との関係を示すトルク波形を生成
し、

前記トルク波形にフーリエ変換処理を行って、前記トルク波形の周波数成分の
強度を決定し、

前記決定された周波数成分の強度が所定のしきい値よりも大きい場合に、前記
15 複数のローラーのうちの少なくとも1つに異常があると判断するように構成されて
いる、研磨装置。

6. 前記フーリエ変換処理は、高速フーリエ変換処理である、請求項5に記載の
研磨装置。

20

7. 前記異常検出装置は、前記研磨ヘッドの回転速度に相当する周波数成分の強
度が前記所定のしきい値よりも大きい場合に、前記複数のローラーのうちの少なく
とも1つに異常があると判断するように構成されている、請求項5または6に記載
の研磨装置。

25