

明 細 書

発明の名称： 研磨装置および研磨装置における研磨終点検出方法

技術分野

[0001] 本発明は、研磨装置および研磨装置における研磨終点検出方法に関する。

背景技術

[0002] 半導体デバイスの製造装置のひとつに、CMP（Chemical Mechanical Polishing、化学機械研磨）装置がある。代表的なCMP装置は、研磨パッドが取り付けられた研磨テーブルと、研磨対象である基板が取り付けられた研磨ヘッドとを備える。代表的なCMP装置においては、研磨液を研磨パッドに供給し、研磨パッドと基板とを接触させた状態で研磨テーブルおよび研磨ヘッドの少なくとも一方を回転させることで基板が研磨される。

[0003] CMP装置等の研磨装置における研磨工程では、研磨により除去すべき膜が除去された研磨終点を精度良く検出することが重要である。研磨終点を検出する方法として、研磨対象物の表面の材質が研磨により異材質の物質へ移行した際の研磨摩擦力の変化を検出する方法が知られている（例えば特許文献1参照）。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2019-098475号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 研磨対象物の表面の材質が研磨により異材質の物質へ移行した際の研磨摩擦力の変化が小さい場合、ノイズの影響により研磨終点の誤検出を引き起こす可能性がある。したがって、研磨摩擦力の変化が小さくても高精度に研磨終点を検出することが求められる。

課題を解決するための手段

[0006] [形態1] 形態1によれば、研磨パッドを保持するための研磨テーブルと

、前記研磨パッドに対向するように研磨対象物を保持するための保持部と、前記研磨パッドによる前記研磨対象物の研磨の状態を示す信号に基づいて、前記研磨の終了を示す研磨終点を検出する終点検出部と、を備える研磨装置であって、前記終点検出部は、前記信号のノイズを除去し、前記ノイズ除去された信号を、1より大きい指数でべき乗し、前記べき乗された信号に基づいて、前記研磨終点を検出する、ように構成される、研磨装置が提供される。

- [0007] 〔形態2〕形態2によれば、形態1の研磨装置において、前記終点検出部は、前記信号のノイズを除去するために、前記信号を移動平均し、前記移動平均により得られた信号を微分し、前記微分により得られた信号をさらに移動平均する、ように構成される、研磨装置が提供される。
- [0008] 〔形態3〕形態3によれば、形態1または2の研磨装置において、前記終点検出部は、前記ノイズ除去された信号のべき乗計算において、前記ノイズ除去された信号の絶対値を、1より大きい指数でべき乗するように構成される、研磨装置が提供される。
- [0009] 〔形態4〕形態4によれば、形態1から3のいずれか1つの研磨装置において、前記研磨テーブルを回転駆動するためのモータを備え、前記信号は、前記モータの駆動電流に基づく信号である、研磨装置が提供される。
- [0010] 〔形態5〕形態5によれば、形態1から3のいずれか1つの研磨装置において、前記研磨対象物を回転するためのモータを備え、前記信号は、前記モータの駆動電流に基づく信号である、研磨装置が提供される。
- [0011] 〔形態6〕形態6によれば、形態1から3のいずれか1つの研磨装置において、前記研磨テーブルまたは前記研磨対象物の近傍に配置された音響または超音波センサを備え、前記信号は、前記音響または超音波センサによって感知された信号である、研磨装置が提供される。
- [0012] 〔形態7〕形態7によれば、研磨装置において研磨の終了を示す研磨終点を検出する方法であって、前記研磨装置は、研磨パッドを保持するための研磨テーブルと、前記研磨パッドに対向するように研磨対象物を保持するため

の保持部と、を備え、前記方法は、前記研磨パッドによる前記研磨対象物の研磨の状態を示す信号を取得するステップと、前記信号のノイズを除去するステップと、前記ノイズ除去された信号を、1より大きい指数でべき乗するステップと、前記べき乗された信号に基づいて、前記研磨終点を検出するステップと、を含む、方法が提供される。

図面の簡単な説明

- [0013] [図1]本発明の一実施形態に係る研磨装置の全体構成を示す概略図である。
- [図2]本発明の一実施形態に係る研磨装置の全体構成を示す概略図である。
- [図3]本発明の一実施形態に係る終点検出部が行う一連の処理を示すフローチャートである。
- [図4]電流検知部から取得された例示的な研磨信号を示す。
- [図5]図4の研磨信号を移動平均することにより得られた例示的な信号を示す。
- [図6]図5の信号を微分しさらに移動平均することにより得られた例示的な信号を示す。
- [図7]図6のノイズ除去された信号をべき乗することにより得られた例示的な信号を示す。

発明を実施するための形態

- [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。以下で説明する図面において、同一の又は相当する構成要素には、同一の符号を付して重複した説明を省略する。
- [0015] 図1および図2は、本発明の一実施形態に係る研磨装置10の全体構成を示す概略図である。図示されるように、研磨装置10は、研磨パッド31を保持するための研磨テーブル30と、研磨対象物（例えば図2に示される半導体ウェハ等の基板100）を研磨パッド31に対向するよう保持して研磨パッド31の研磨面に押圧するトップリング50（保持部）と、研磨テーブル30を回転させるためのテーブル駆動モータ32と、トップリング50を回転させるためのトップリング駆動モータ52と、テーブル駆動モータ32

に駆動電力３３を供給する電源回路３４と、トップリング駆動モータ５２に駆動電力５３を供給する電源回路５４を備える。なお、テーブル駆動モータ３２および電源回路３４、５４は図２では省略されている。

[0016] 研磨テーブル３０は、テーブルシャフト４２を介してその下方に配置されるテーブル駆動モータ３２に連結されている。テーブル駆動モータ３２が回転駆動することにより、研磨テーブル３０は、テーブルシャフト４２の軸周りに回転することが可能となっている。研磨テーブル３０の上面には、研磨パッド３１が貼付されている。研磨パッド３１の表面３１１は、基板１００を研磨する研磨面を構成する。研磨テーブル３０の上方には不図示の研磨液供給ノズルが設置され、研磨テーブル３０上の研磨パッド３１に、研磨液供給ノズルから研磨液が供給される。

[0017] トップリング５０は、トップリングシャフト６２を介してアーム６４に支持されている。トップリングシャフト６２は、図示しない上下動機構によりアーム６４に対して上下動することが可能である。トップリングシャフト６２の上下動により、アーム６４に対してトップリング５０を昇降させ位置決めすることができる。トップリング５０は、その下面に半導体ウェハ等の基板１００を保持できるように構成される。具体的に、トップリング５０は、図２に示されるように、基板１００の外周縁を保持して基板１００がトップリング５０から飛び出さないようにするリテーナリング５１Ａと、基板１００を研磨面３１１に対して押圧するトップリング本体５１Ｂとを備えている。

[0018] トップリング５０を支持するアーム６４には、トップリング駆動モータ５２が固定されている。また図２に示されるように、トップリングシャフト６２は回転筒６５に連結されており、この回転筒６５の外周部に設けられたタイミングプーリ６６は、タイミングベルト６７を介して、トップリング駆動モータ５２に設けられたタイミングプーリ６８に接続されている。これにより、トップリング駆動モータ５２が回転すると、タイミングプーリ６８、タイミングベルト６７、およびタイミングプーリ６６を介して回転筒６５およ

びトップリングシャフト62が一体に回転し、トップリング50が、トップリングシャフト62の軸周りに回転する。

[0019] アーム64は、アームシャフト74に固定されたアーム駆動モータ72に連結されている。アーム駆動モータ72の駆動により、アーム64およびアーム64に支持されたトップリング50は、アームシャフト74の軸周りに旋回することが可能である。

[0020] 研磨装置10が動作を行う際、初めに、不図示の搬送機構（トランスポータ）によって搬送された基板100を、所定の受取位置においてトップリング50が受け取り、保持する。受取位置において基板100を受け取ったトップリング50は、アーム64の旋回により、受取位置から研磨テーブル30の上方に移動される。次いで、トップリングシャフト62およびトップリング50が下降し、基板100が研磨パッド31の研磨面311に押し付けられる。そして、テーブル駆動モータ32およびトップリング駆動モータ52が回転駆動することによって研磨テーブル30およびトップリング50がそれぞれ回転し、それと同時に、研磨テーブル30の上方に設けられた研磨液供給ノズルから研磨パッド31上に研磨液が供給される。これにより、基板100が研磨パッド31の研磨面311に摺接して、基板100の表面が研磨される。

[0021] なお、基板100の研磨中に、アーム駆動モータ72がアーム64を周期的に左右に旋回させることで、トップリング50を研磨パッド31に対して揺動させながら（すなわち研磨パッド31上の所定範囲を往復運動させながら）研磨を行ってもよい。

[0022] 本実施形態の研磨装置10は、さらに、電源回路34からテーブル駆動モータ32へ供給される駆動電流33を検知するように構成された電流検知部36と、電源回路54からトップリング駆動モータ52へ供給される駆動電流53を検知するように構成された電流検知部56と、駆動電流33、53または研磨の状態を示す他の信号に基づいて、研磨の終了を示す研磨終点を検出するように構成された終点検出部20を備える。電流検知部36、56

は、そのどちらか一方が省略されてもよい。

[0023] ここで、研磨対象物である基板１００（例えば半導体ウェハ）は、半導体、導体、絶縁体などの複数の異なる材質からなる積層構造を有しており、異材質層間で摩擦係数が異なる。このため、研磨が積層構造のある層から別の異材質層へ移行することによって、研磨対象物を研磨する際の研磨摩擦力に変化が生じる。研磨摩擦力は、研磨テーブル３０またはトップリング５０を回転駆動する各モータ３２、５２の駆動負荷として現れる。したがって、各モータ３２、５２に流れる電流３３、５３は、研磨摩擦力に応じて、すなわち研磨が行われている被研磨面の材質に応じて変化し、このことを用いて、研磨の終点を検出することができる。研磨終点の検出は、駆動電流３３、５３のどちらか一方のみに基づいて行うこともできるし、その両方に基づいて行うこともできる。

[0024] 終点検出部２０は、例えば、プロセッサおよびメモリを備えたコンピュータとして構成されてよい。メモリには１または複数のコンピュータ実行可能命令を含むプログラム（ソフトウェア）が格納され、プロセッサがこのプログラムをメモリから読み出して実行することにより、研磨終点を検出する処理が行われるのであってよい。例えば、終点検出部２０は、電流検知部（３６、５６）から駆動電流（３３、５３）に対応した電気信号またはデータ（３５、５５）を取得し、この電気信号またはデータ（３５、５５）を演算（データ処理）して研磨摩擦力の変化を識別し、識別結果に基づいて研磨終点を検出するように動作することができる。

[0025] 上記のように各モータの駆動電流３３および５３は研磨対象物に対する研磨の状態（摩擦力）を表すが、駆動電流３３、５３以外の信号を用いて研磨の終点を検出することも可能である。そのような実施形態において、研磨装置１０は、研磨の状態を反映した物理量を検知するセンサ８０を備えてよく、終点検出部２０は、センサ８０の出力信号８５に基づいて、研磨終点を検出するのであってよい。例えば、センサ８０は、研磨音を検知するために研磨テーブル３０もしくはトップリング５０の近傍に設置された音響センサ

または超音波センサであってよい。上述したように研磨の進行によって被研磨面の材質が変化すると研磨摩擦力に変化が生じ、このとき、研磨音にも変化が生じる。よって、音響センサまたは超音波センサからの出力信号を用いることでも、研磨終点を検出することができる。他の例として、センサ80は、研磨テーブル30とトップリング50の間の研磨摩擦力を研磨テーブル30の回転トルクまたはトップリング50の回転トルクとして直接検知する力センサであってもよいし、あるいは渦電流センサを振動検出センサとして用いてもよい。なお、図2ではセンサ80が研磨テーブル30内に埋設されているように描かれているが、センサ80の配置位置はこれに限られず、センサ80は、センサ80の種類に応じた適切な位置に設置されればよい。

[0026] 図3は、終点検出部20が行う一連の処理を示すフローチャートである。まず、終点検出部20は、研磨対象物に対する研磨の状態を表す信号（以下、研磨信号という）S1を取得する（ステップ302）。例えば、研磨信号S1は、i）電流検知部36から取得可能な信号35、ii）電流検知部56から取得可能な信号55、iii）センサ80から取得可能な信号85、のうちの1つまたは複数であってよい。前述したように、電流検知部36からの信号35は、テーブル駆動モータ32の駆動電流33を表す信号であり、電流検知部56からの信号55は、トップリング駆動モータ52の駆動電流53を表す信号である。これらの信号35、55は、各モータ32、52の駆動負荷、つまり研磨対象物に対する研磨の摩擦力を反映している。また、センサ80からの信号85は例えば研磨音を表す信号であり、これも研磨摩擦力を反映している。

[0027] 一例として、図4は、電流検知部56から取得された例示的な研磨信号S1（すなわち信号55）を示す。図4の横軸は時間、縦軸は信号強度をそれぞれ示す。この信号は、トップリング駆動モータ52の駆動電流53を表している。なお、この例は、トップリング50を研磨パッド31に対して揺動させながら研磨を行った場合のものであり、グラフ中における短い時間周期での信号の変動は、トップリング50の揺動によるものである。すなわち、

この例の研磨信号 S 1 には、ノイズのほか、トップリング 5 0 の揺動に起因する短い時間周期の変動も含まれている。

[0028] 次に、終点検出部 2 0 は、研磨信号 S 1 に対してノイズ除去を行う。ノイズ除去処理は、複数の処理ステップを含んでもよい。例えば、終点検出部 2 0 は、研磨信号 S 1 を移動平均して信号 S 2 を生成するステップ（ステップ 3 0 4）と、信号 S 2 を微分して信号 S 3 を生成するステップ（ステップ 3 0 6）と、さらに信号 S 3 を移動平均して信号 S 4 を生成するステップ（ステップ 3 0 8）を、順に実行するように動作するのであってよい。

[0029] 図 5 は、終点検出部 2 0 が図 4 の研磨信号 S 1 を移動平均することにより得られた例示的な信号 S 2（すなわちステップ 3 0 4 の後の信号）を示す。図 5 では、移動平均処理によって、揺動に起因する信号の周期的変動が取り除かれるとともに、信号に混入しているノイズがある程度除去されている。なお、移動平均する期間の幅（すなわち平均をとるデータの個数）は、揺動の周期や想定されるノイズの特性等を考慮して、適宜設定すればよい。また、図 5 の移動平均された信号 S 2 には、信号の値が比較的小さい時間領域 T 1 の後に、信号の値が比較的大きい時間領域 T 2 が続いていることが見てとれる。前述したように、これは研磨対象物に対する研磨摩擦力の変化によるものである。つまり、前者の時間領域 T 1 と後者の時間領域 T 2 の間に、研磨対象物の被研磨面はある材質から別の材質へと遷移している。この遷移の瞬間が、研磨の終点に対応する。

[0030] 図 6 は、終点検出部 2 0 が図 5 の信号 S 2 を微分しさらに移動平均することにより得られた例示的な信号 S 4（すなわちステップ 3 0 8 の後の信号）を示す。図 6 では、微分処理によって急峻なピークを持つ信号が得られている。上述の説明から理解されるように、この信号ピークが研磨終点に対応する。また図 6 では、微分後の移動平均処理によって信号のノイズがある程度除去されているが、急峻なピーク以外の裾野の部分には、ノイズが取り切れずに残存している。この残存したノイズの大きさによっては、信号のピーク部分とノイズとの正確な判別が難しくなることがある。したがって、ノイズ

をさらに効果的に低減し、以って研磨終点をより高い精度で検出することが求められる。

[0031] なお、ノイズ除去処理はステップ304～308に示したものに限定されず、終点検出部20は、他の手法を用いて研磨信号S1のノイズ除去を行ってもよい。

[0032] 図3に戻り、次に終点検出部20は、上述のようにノイズ除去された信号（例えば信号S4）を、1より大きい指数でべき乗する（ステップ310）。べき乗の指数は、例えば2または3（すなわち2乗または3乗）としてよい。図7は、図6のノイズ除去された信号S4を3乗することにより得られた例示的な信号S5を示す。図7では、信号の値が大きいピークおよびその近傍部分は、べき乗（3乗）によって信号の値がより大きくなり、その一方、信号の値が小さい裾野の部分、すなわちノイズが主である部分は、べき乗（3乗）によって信号の値が前記ピークおよびその近傍部分に比べてより小さくなっている。つまり、ピークおよびその近傍部分におけるべき乗による信号の値の増加分は、ノイズが主である部分におけるべき乗による信号の値の増加分と比較して、はるかに大きい。その結果、べき乗処理後の信号S5は、信号S4と比べてノイズがより一層低減し、ピーク部分がより際立った波形となっている。このような信号S5を用いることにより、研磨終点を高精度に検出することが可能となる。

[0033] なお、ステップ310においてべき乗を計算するのに先立ち、信号の絶対値をとることとしてもよい。すなわち、終点検出部20は、信号（例えば信号S4）の値Xの正負に応じて、そのべき乗Yを次のように計算してもよい。

$$X \geq 0 \text{ のとき、 } Y = \{ \text{abs}(X) \}^N$$

$$X < 0 \text{ のとき、 } Y = - \{ \text{abs}(X) \}^N$$

このようにすることで、指数Nとして偶数または小数の値を用いる場合であっても、負数Xに対して、べき乗Yの正負が反転したり、べき乗Yの値が虚数になったりすることを避け、ステップ310において、べき乗された適

切な信号（例えば信号S5）を算出することができる。

[0034] 次に、終点検出部20は、べき乗された信号（例えば信号S5）に基づき、研磨終点に達したかどうかを判定する（ステップ312）。例えば、図7を参照すると、終点検出部20は、信号S5の値が所定の閾値を超えたか否かを判定するのであってよい。なお、研磨対象物を構成している各層の材質の摩擦係数によっては、図5の信号S2における前半の時間T1の信号値と後半の時間T2の信号値との大小関係が、図5に示す例とは反対となる（すなわち、時間T2における信号値が時間T1における信号値よりも小さい）場合があり得る。そのような場合、図7の信号S5は下に凸のピークを有することになり、終点検出部20は、信号S5の値が所定の閾値を下回ったか否かを判定すればよい。

[0035] ステップ312の判定において研磨終点に達すると、終点検出部20は、研磨中の研磨対象物の研磨を終了することを決定する（ステップ314）。研磨終了の決定を受け、研磨テーブル30およびトップリング50が回転を停止し、トップリング50が研磨テーブル30から上昇し、基板100がトップリング50から取り外されて次工程（例えば洗浄工程）へ渡される。一方、まだ研磨終点に達していなければ、終点検出部20は、研磨終点の検出を続けるためにステップ302へ戻り、新しい時刻の信号を用いて再びステップ302以降のステップを繰り返す。

[0036] なお、上記説明では、研磨信号S1として電流検知部56からの信号55を例にとって図4～図7の各信号波形を示したが、他の信号（例えば、電流検知部36からの信号35またはセンサ80からの信号85）の場合についても、ステップ302～314を同様に適用して研磨終点を検出することが可能である。また、図4の研磨信号S1はトップリング50を揺動させながら研磨を行った場合のものであったが、トップリング50の揺動は行わなくてもよい。

[0037] 以上説明したように、本実施形態によれば、研磨信号をノイズ除去し、さらに、1より大きい指数でべき乗することで、信号の非ノイズ部分をノイズ

部分から際立たせることができ、それにより、研磨終点を高精度に検出することができる。また、べき乗によって信号のノイズ成分が小さくなるので、ノイズ除去処理のうちの移動平均処理において、移動区間を短くする（データ個数を少なくする）こともできる。つまり、移動区間を短くしても、べき乗によって信号のノイズを小さくすることができる。これにより、研磨終点を迅速に検出することができ、研磨対象物の過研磨を防止することが可能である。

[0038] 以上、いくつかの例に基づいて本発明の実施形態について説明してきたが、上記した発明の実施形態は、本発明の理解を容易にするためのものであり、本発明を限定するものではない。本発明は、その趣旨を逸脱することなく、変更、改良され得るとともに、本発明には、その均等物が含まれることはもちろんである。また、上述した課題の少なくとも一部を解決できる範囲、または、効果の少なくとも一部を奏する範囲において、特許請求の範囲および明細書に記載された各構成要素の任意の組み合わせ、または、省略が可能である。

符号の説明

- [0039] 10 研磨装置
20 終点検出部
30 研磨テーブル
31 研磨パッド
32 テーブル駆動モータ
34 電源回路
36 電流検知部
42 テーブルシャフト
50 トップリング
51A リテーナリング
51B トップリング本体
52 トップリング駆動モータ

- 5 4 電源回路
- 5 6 電流検知部
- 6 2 トップリングシャフト
- 6 4 アーム
- 6 5 回転筒
- 6 6 タイミングプーリ
- 6 7 タイミングベルト
- 6 8 タイミングプーリ
- 7 2 アーム駆動モータ
- 7 4 アームシャフト
- 8 0 センサ
- 1 0 0 基板

請求の範囲

- [請求項1] 研磨パッドを保持するための研磨テーブルと、
前記研磨パッドに対向するように研磨対象物を保持するための保持部と、
前記研磨パッドによる前記研磨対象物の研磨の状態を示す信号に基づいて、前記研磨の終了を示す研磨終点を検出する終点検出部と、
を備える研磨装置であって、
前記終点検出部は、
前記信号のノイズを除去し、
前記ノイズ除去された信号を、1より大きい指数でべき乗し、
前記べき乗された信号に基づいて、前記研磨終点を検出する、
ように構成される、研磨装置。
- [請求項2] 前記終点検出部は、前記信号のノイズを除去するために、
前記信号を移動平均し、
前記移動平均により得られた信号を微分し、
前記微分により得られた信号をさらに移動平均する、
ように構成される、請求項1に記載の研磨装置。
- [請求項3] 前記終点検出部は、前記ノイズ除去された信号のべき乗計算において、前記ノイズ除去された信号の絶対値を、1より大きい指数でべき乗するように構成される、請求項1または2に記載の研磨装置。
- [請求項4] 前記研磨テーブルを回転駆動するためのモータを備え、
前記信号は、前記モータの駆動電流に基づく信号である、
請求項1から3のいずれか1項に記載の研磨装置。
- [請求項5] 前記研磨対象物を回転するためのモータを備え、
前記信号は、前記モータの駆動電流に基づく信号である、
請求項1から3のいずれか1項に記載の研磨装置。
- [請求項6] 前記研磨テーブルまたは前記研磨対象物の近傍に配置された音響または超音波センサを備え、

前記信号は、前記音響または超音波センサによって感知された信号である、

請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の研磨装置。

[請求項 7]

研磨装置において研磨の終了を示す研磨終点を検出する方法であって、

前記研磨装置は、

研磨パッドを保持するための研磨テーブルと、

前記研磨パッドに対向するように研磨対象物を保持するための保持部と、

を備え、

前記方法は、

前記研磨パッドによる前記研磨対象物の研磨の状態を示す信号を取得するステップと、

前記信号のノイズを除去するステップと、

前記ノイズ除去された信号を、1 より大きい指数でべき乗するステップと、

前記べき乗された信号に基づいて、前記研磨終点を検出するステップと、

を含む、方法。