

研磨装置および研磨方法

発明の背景

発明の技術分野

- 5 [0001] 本発明は、ウェーハ、基板、パネルなどの被研磨物を研磨パッドの研磨面に押し付けて該被研磨物を研磨する研磨装置および研磨方法に関し、特にスラリーなどの研磨液が研磨パッドの研磨面上に存在した状態で被研磨物を研磨パッドに摺接させる研磨装置および研磨方法に関する。

関連技術の記載

- 10 [0002] 半導体デバイスの製造では、ウェーハ上に様々な種類の膜が形成される。配線・コンタクトの形成工程では、成膜工程の後には、膜の不要な部分や表面凹凸を除去するために、ウェーハが研磨される。化学機械研磨（CMP）は、ウェーハ研磨の代表的な技術である。このCMPは、研磨パッドの研磨面上に研磨液を供給しながら、ウェーハを研磨面に押圧かつ摺接させることにより行われる。ウェーハ
- 15 に形成された膜は、研磨面上に供給された研磨液の化学成分による化学的作用と、研磨液に含まれる砥粒および／または研磨パッドによる機械的作用との複合により研磨される。

[0003] CMPプロセスを行う研磨装置は、研磨パッドを支持する研磨テーブルと、被研磨物であるウェーハを研磨パッドに押し付けるための研磨ヘッドを備えている。

- 20 この研磨装置は、研磨液を液体供給装置から研磨パッドの研磨面上に供給しながら、ウェーハを研磨パッドの研磨面に対して押圧する。このとき、研磨テーブルと研磨ヘッドとを回転させることによりウェーハが研磨面に摺接し、ウェーハの表面が平坦かつ鏡面に研磨される。

- [0004] 昨今の半導体デバイスの製造における各工程への要求精度は既に数nmのオーダーに達しており、CMPもその例外ではない。また、半導体集積回路の形成の高集積化に伴い、微細化、多層化がますます加速されている。よって、これらの微細化や多層化を実現するには、CMPにおいても、ウェーハの全面において、CMP後の残膜厚ばらつきを数nmオーダー内に収めることが求められている。
- 25

- [0005] 残膜厚ばらつきを低減するためには、研磨中における研磨パッドの表面温度、研磨液供給量、および研磨パッド上の研磨液分布など、研磨レートに影響を与える様々な因子の制御が必要になる。なお、CMPプロセスでは、研磨後において、ウェーハ表面の洗浄を目的として、研磨液の代わりに薬液や純水（D I W）などの
- 5 洗浄液が液体供給装置を通して研磨パッド上に供給される場合もある。洗浄液の供給量分布はウェーハ表面の洗浄性能の均一性にも影響する。
- [0006] また、半導体デバイスの製造の各工程に対しては、各工程のコストの低減が求められている。CMPプロセスにおいて、特にコスト削減の対象となるのは研磨液である。CMPにて使用される研磨液は、高価であり、使用済みの研磨液の処
- 10 分にもコストを要する。したがって、CMP装置の運転コストおよび半導体デバイスの製造コスト削減のためには、研磨液の使用量の削減が求められる。
- [0007] 液体供給装置は、通常は単一の供給口を持つノズルから研磨液を供給しており、研磨プロセスによっては本ノズルを研磨パッドと平行に揺動させる等の操作を行っている。また、特許文献1には、研磨パッドの研磨面に効率的に研磨液を供
- 15 給する装置が記載されている。この特許文献1には、研磨液の供給口を複数持つノズル、またスリット状の供給口を有するノズルの開示があり、研磨パッド上に研磨液を広げることで、効率の良い研磨ができるとしている。
- 【先行技術文献】
- 【特許文献】
- 20 [0008] 【特許文献1】日本国特開2006-147773号公報
- [0009] このように、研磨中における研磨液供給量および研磨パッド上での研磨液量の分布は、研磨性能（研磨レートのばらつき）や研磨効率に大きく影響を与える。よって、研磨パッド上での研磨液量の分布を監視することは、研磨性能および研磨効率の維持において必要である。
- 25 [0010] 研磨パッド上の研磨液量の分布が変化する要因としては、機器の故障や、研磨パッドの温度上昇に起因した研磨液の物性（粘性等）や、研磨パッドの表面状態の変化が挙げられる。機器の故障が原因である場合においては、その多くは流量センサ等で研磨液の流量異常として検知される。例えば、液体供給装置が単一の供

給口を有するノズルの場合は、各ノズルに流量センサが設けられている。また、液体供給装置が複数の供給口を有するノズルの場合はノズルに連通する主流路に流量センサが設けられる。

[0011] しかしながら、上記の複数の供給口を有する液体供給装置においては、複数の供給口のうちのいずれかに詰まりが生じた場合、その流量変化は供給口数で分配されるため、主流路の流量の変化は小さくなる。これにより、流量異常とは判定されないことがあり、結果として供給口の詰まりが検出できないことがある。これに対しては、複数の流量センサを複数の供給口にそれぞれ配置する案もあるが、供給口の増加に従って流量センサ数も増加させる必要があるため、センサ設置スペースの増加およびセンサコストの増加を必ず伴う。

[0012] また、研磨パッドは研磨により摩耗が生じ、その摩耗量の研磨パッド面内でのばらつきにより、研磨パッド面上の研磨液量の分布が変化する。例えば、研磨パッド面内に形成された溝の寸法（特に溝深さ）が摩耗により減少した場合、たとえば研磨液の供給流量が正常であっても、研磨パッド面上の研磨液量の分布が変化する
15 ることとなり、研磨レート分布の変化やばらつきに繋がる。なお、これら問題は研磨面に供給される液体が薬液や純水の場合でも同様である。

発明の要旨

[0013] そこで、本発明は、研磨パッドの研磨面上の研磨液、薬液等の液体量の分布そのものをモニタリングし、本モニタリングで得られた液体量の分布を元にウェーハなどの被研磨物を適切な研磨条件で研磨することができる研磨装置および研磨方法を提供する。

[0014] 一態様では、被研磨物を研磨する研磨装置であって、研磨パッドを支持する研磨テーブルと、被研磨物を研磨パッドの研磨面に対して押し付ける研磨ヘッド
25 と、前記研磨面上に液体を供給する液体供給装置と、前記研磨テーブルを回転させる研磨テーブル回転装置と、前記研磨ヘッドを回転させる研磨ヘッド回転装置と、前記研磨面上の複数点からの光に含まれる光学情報を取得する液体モニタリング装置と、前記光学情報から前記研磨面上の前記液体量の分布を決定する光学情報解析

部と、前記研磨装置の動作を制御する動作制御部を備えている、研磨装置が提供される。

[0015] 一態様では、前記動作制御部は、前記液体の供給前に前記液体モニタリング装置に指令を発して、前記研磨面上の複数点の第1光学情報を取得させ、さらに
5 前記液体の供給時に前記液体モニタリング装置に指令を発して、前記研磨面上の複数点の第2光学情報を取得させるように構成され、前記光学情報解析部は、前記第1光学情報から第1分布を決定し、前記第2光学情報から第2分布を決定し、前記第2分布から前記第1分布を減算することで、前記液体量の分布を決定するように構成されている。

10 一態様では、前記動作制御部は、前記液体モニタリング装置に指令を発して、前記被研磨物の研磨中における複数の時点において、前記研磨面上の複数点の前記光学情報を取得させるように構成され、前記光学情報解析部は、前記複数の時点で取得された前記研磨面の複数点の前記光学情報から、前記研磨面上の前記液体量の分布の時間的推移を取得するように構成されている。

15 [0016] 一態様では、前記動作制御部は、前記被研磨物の研磨前または研磨後のインターバル時間において、前記液体モニタリング装置に指令を発して、前記光学情報を取得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、前記液体モニタリング装置に指令を発して、研磨未使用状態の前記研磨パッドの前記研磨面上の複数点からの初期光学情報と、研
20 磨に使用中の前記研磨パッドの前記研磨面上の複数点からの現在の光学情報を取得させるように構成され、前記光学情報解析部は、前記初期光学情報から前記液体量の初期分布を決定し、前記現在の光学情報から前記研磨面上の前記液体量の現在の分布を決定し、前記動作制御部は、前記初期分布と前記現在の分布との差を算定するように構成されている。

25 一態様では、前記動作制御部は、前記液体供給装置に指令を発して、前記液体モニタリング装置が前記光学情報を取得している間は、前記被研磨物の研磨に使用される研磨液とは異なる種類の前記液体を前記研磨パッドの前記研磨面上に供給させるように構成されている。

[0017] 一態様では、前記研磨装置は、200nm～1100nmの範囲内の1つ以上の波長を持つ光を前記研磨面に照射する光源をさらに備えている。

一態様では、前記液体モニタリング装置は、200nm～1100nmの範囲内の1つ以上の波長を持つ光の光量を測定する光検出センサを有している。

- 5 一態様では、前記光学情報解析部は、前記光量の測定データに基づいて、前記研磨面上の前記液体量の分布を決定するように構成されている。

一態様では、前記液体モニタリング装置は、カラー画像を生成するイメージセンサを有している。

- 一態様では、前記光学情報解析部は、前記カラー画像上に現れる前記光学情報としての色分布を解析することにより、前記研磨面上の前記液体量の分布を決定するように構成されている。
- 10

一態様では、前記液体モニタリング装置は、前記研磨テーブルの回転方向において前記研磨ヘッドの上流に位置するモニタリング領域内の前記複数点の光学情報を取得するように配置されている。

- 15 [0018] 一態様では、前記動作制御部は、前記被研磨物の研磨中の前記複数の時点で決定された前記研磨面上の前記液体量の複数の分布の差を算定し、前記分布差が許容値よりも大きい場合は、前記分布差が小さくなる方向に前記被研磨物に対する研磨条件を変更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、前記研磨条件を変更した後に、前記被研磨物の研磨中に決定された前記液体量の複数の分布の差を再度算定し、前記分布差が許容値よりも大きい場合は、次の被研磨物を研磨する前に前記研磨装置の動作を停止させるように構成されている。
- 20

- 一態様では、前記動作制御部は、前記被研磨物の研磨中の前記複数の時点で決定された前記液体量の複数の分布の差を算定し、前記分布差が許容値よりも大きい場合は、次の被研磨物を研磨する前に前記研磨装置の動作を停止させるように構成されている。
- 25

一態様では、前記動作制御部は、前記被研磨物の研磨中の前記複数の時点で決定された前記液体量の複数の分布の差を算定し、前記分布差が許容値よりも大きい場

合は、前記研磨ヘッドの前記被研磨物に対する押付力を変化させるように構成されている。

[0019] 一態様では、前記動作制御部は、前記研磨面上の前記液体量の前記初期分布と前記現在の分布との差がしきい値よりも大きい場合は、前記分布差が小さくなる方向に前記被研磨物に対する研磨条件を変更するように構成されている。

一態様では、前記研磨条件を変更した後に、前記液体量の前記初期分布と、新たに決定された現在の液体量の分布との差を再度算定し、前記分布差が前記しきい値よりも大きい場合は、次の被研磨物を研磨する前に前記研磨装置の研磨動作を停止させるように構成されている。

10 一態様では、前記動作制御部は、前記研磨面上の前記液体量の前記初期分布と前記現在の分布との差がしきい値よりも大きい場合は、次の被研磨物を研磨する前に前記研磨装置の研磨動作を停止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、前記研磨面上の前記液体量の分布が予め設定された液体量のしきい分布を下回った場合は、前記研磨装置に異常が発生したことを決定するように構成されている。

15 一態様では、前記液体は、研磨液、純水、薬液、および着色水のうちの1つである。

[0020] 一態様では、被研磨物を研磨する研磨方法であって、研磨パッドを支持する研磨テーブルと、研磨ヘッドを回転させながら、前記研磨ヘッドにより被研磨物を前記研磨パッドの研磨面に対して押し付けて該被研磨物を研磨し、前記被研磨物の研磨前、研磨中、または研磨後に、前記研磨面上に液体を供給しながら、前記研磨面上の複数点からの光に含まれる光学情報を取得し、前記光学情報から前記研磨面上の前記液体量の分布を決定する、研磨方法が提供される。

20 [0021] 一態様では、前記液体量の分布は、前記液体の供給前に取得された前記研磨面上の複数点の第1光学情報から決定された第1分布を、前記液体の供給時に取得された前記研磨面上の複数点の第2光学情報から決定された第2分布から減算することで決定される。

一態様では、前記光学情報を取得する工程は、前記研磨面上に液体を供給しながら

ら、前記被研磨物の研磨中における複数の時点において、前記研磨面上の複数点の前記光学情報を取得する工程であり、前記液体量の分布を決定する工程は、前記複数の時点で取得された前記研磨面上の複数点の前記光学情報から、前記研磨面上の前記液体量の分布の時間的推移を取得する工程である。

- 5 [0022] 一態様では、前記光学情報を取得する工程は、前記被研磨物の研磨前または研磨後のインターバル時間において、前記研磨面上に液体を供給しながら、前記光学情報を取得する工程である。

- 一態様では、前記研磨方法は、研磨未使用状態の前記研磨パッドの前記研磨面上に液体を供給しながら、前記研磨面上の複数点の初期光学情報を取得し、研磨に使用中の前記研磨パッドの前記研磨面上に液体を供給しながら、前記研磨面上の複数点の現在の光学情報を取得し、前記初期光学情報から前記研磨面上の前記液体量の初期分布を決定し、前記現在の光学情報から前記研磨面上の前記液体量の現在の分布を決定し、前記初期分布と前記現在の分布との差を算定する工程をさらに含む。
- 10

- [0023] 一態様では、前記光学情報を取得している間に前記研磨パッドの前記研磨面上に供給される前記液体は、前記被研磨物の研磨に使用される研磨液とは異なる種類の液体である。
- 15

一態様では、前記光学情報は、前記研磨面からの光量である。

一態様では、前記光学情報は、前記研磨面の色分布である。

- 一態様では、前記光学情報を取得する工程は、前記研磨テーブルの回転方向において前記研磨ヘッドの上流に位置するモニタリング領域内の前記複数点の光学情報を取得する工程である。
- 20

- [0024] 一態様では、前記研磨方法は、前記被研磨物の研磨中の複数の時点で決定された前記液体量の複数の分布の差を算定し、前記分布差が許容値よりも大きい場合は、前記分布差が小さくなる方向に前記被研磨物に対する研磨条件を変更する工程をさらに含む。
- 25

一態様では、前記研磨方法は、前記研磨条件を変更した後に、前記被研磨物の研磨中の複数の時点で決定された前記液体量の複数の分布の差を再度算定し、前記分布差が許容値よりも大きい場合は、次の被研磨物を研磨する前に研磨装置の動作を

停止する工程をさらに含む。

一態様では、前記研磨方法は、前記被研磨物の研磨中の複数の時点で決定された前記液体量の複数の分布の差を算定し、前記分布差が許容値よりも大きい場合は、次の被研磨物を研磨する前に研磨装置の動作を停止する工程をさらに含む。

- 5 一態様では、前記研磨方法は、前記被研磨物の研磨中の複数の時点で決定された前記液体量の複数の分布の差を算定し、前記分布差が許容値よりも大きい場合は、前記研磨ヘッドの前記被研磨物に対する押付力を変化させる工程をさらに含む。

[0025] 一態様では、前記研磨方法は、前記研磨面上の前記液体量の前記初期分布と前記現在の分布との差がしきい値よりも大きい場合は、前記分布差が小さくなる

- 10 方向に前記被研磨物に対する研磨条件を変更する工程をさらに含む。

一態様では、前記研磨方法は、前記研磨条件を変更した後に、前記研磨面上の前記液体量の前記初期分布と、新たに決定された液体量の現在の分布との差を再度算定し、前記分布差が前記しきい値よりも大きい場合は、次の被研磨物を研磨する前に研磨装置の動作を停止する工程をさらに含む。

- 15 一態様では、前記研磨方法は、前記研磨面上の前記液体量の前記初期分布と前記現在の分布との差がしきい値よりも大きい場合は、次の被研磨物を研磨する前に研磨装置の動作を停止する工程をさらに含む。

一態様では、前記研磨方法は、前記液体量の分布が予め設定された液体量のしきい分布を下回った場合は、研磨装置に異常が発生したことを決定する工程をさらに

- 20 含む。

一態様では、前記液体は、研磨液、純水、薬液、および着色水のうちの1つである。

[0026] 本発明によれば、研磨パッド上の研磨液、薬液等の液体量の分布そのものをモニタリングすることが可能である。また、そのモニタリング結果を研磨装置の

- 25 動作にフィードバックすることで、ウェーハなどの被研磨物を適切な研磨条件で研磨することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0027] 図 1 は、研磨装置の一実施形態を模式的に示す斜視図である。

図 2 は、図 1 に示す研磨ヘッドの断面図である。

図 3 は、研磨パッド、液体供給装置、研磨ヘッドの平面図である。

図 4 は、研磨液量分布グラフの一例を示す図である。

5 図 5 は、研磨液量分布グラフの一例を示す図である。

図 6 A および図 6 B は、1 枚のウェーハの研磨中に変化した研磨液量の分布を示すグラフである。

図 7 は、研磨装置の異常に起因して研磨液量の分布全体が低下する様子を示すグラフである。

10 図 8 は、複数の供給口のうちの 1 つが詰まったときの、液体量の分布の変化を説明するグラフである。

図 9 は、液体量の初期分布と現在の分布を示すグラフである。

図 10 は、液体量の分布間の差が所定の範囲内にあるか否かを判定する実施形態を説明するグラフである。

15 図 11 は、複数の供給口のうちの 1 つが詰まったときの、液体量の分布の変化を説明するグラフである。

図 12 A は、液体の供給前に取得された第 1 光学情報から得られた第 1 分布を示すグラフであり、図 12 B は、液体の供給時に取得された第 2 光学情報から得られた第 2 分布を示すグラフであり、図 12 C は、第 2 分布から第 1 分布を減算すること

20 とで得られた液体量の分布を示すグラフである。

実施形態の説明

[0028] 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模式的に示す斜視図である。図 1 に示すように、
25 研磨装置は、研磨面 2 a を有する研磨パッド 2 を支持する研磨テーブル 5 と、被研磨物であるウェーハ W を研磨面 2 a に対して押し付ける研磨ヘッド 7 と、研磨液などの液体を研磨面 2 a に供給する液体供給装置 8 と、研磨面 2 a からの光に含まれる光学情報を取得する液体モニタリング装置 12 と、液体モニタリング装置 12 に

よって取得された光学情報から研磨面 2 a 上の液体量の分布を決定する光学情報解析部 1 3 と、研磨装置の動作を制御する動作制御部 4 7 を備えている。

[0029] 研磨ヘッド 7 は、その下面に真空吸着などによりウェーハ W を保持できるように構成されている。本実施形態では、ウェーハ W は円形である。被研磨物は、
5 半導体デバイスの製造に使用されるワークピースであれば、ウェーハに限られない。被研磨物の他の例としては、角型ウェーハ、基板、パネルなどが挙げられる。

[0030] 研磨装置は、支軸 1 4 と、支軸 1 4 の上端に連結され、研磨ヘッド 7 を揺動させる研磨ヘッド揺動アーム 1 6 と、研磨ヘッド揺動アーム 1 6 の自由端に回転可能に支持された研磨ヘッドシャフト 1 8 と、研磨ヘッド 7 をその軸心を中心に回
10 転させる研磨ヘッド回転装置 2 0 をさらに備えている。研磨ヘッド回転装置 2 0 は、研磨ヘッド揺動アーム 1 6 に固定されており、ベルトおよびプーリ等から構成されるトルク伝達機構（図示せず）を介して研磨ヘッドシャフト 1 8 に連結されている。研磨ヘッド 7 は、研磨ヘッドシャフト 1 8 の下端に連結されている。研磨ヘッド回転装置 2 0 は、上記トルク伝達機構を介して研磨ヘッドシャフト 1 8 を回転させ、
15 研磨ヘッド 7 は研磨ヘッドシャフト 1 8 とともに回転する。このようにして、研磨ヘッド 7 は、その軸心を中心として矢印で示す方向に研磨ヘッド回転装置 2 0 により回転される。研磨ヘッド回転装置 2 0 の具体例としては、電動機が挙げられる。

[0031] 研磨ヘッドシャフト 1 8 は、昇降機構（図示せず）により研磨ヘッド揺動アーム 1 6 に対して相対的に上下動可能であり、この研磨ヘッドシャフト 1 8 の上
20 下動により研磨ヘッド 7 が研磨ヘッド揺動アーム 1 6 に対して相対的に上下動可能となっている。

[0032] 研磨装置は、研磨パッド 2 および研磨テーブル 5 をそれらの軸心を中心に回転させる研磨テーブル回転装置 2 1 をさらに備えている。研磨テーブル 5 は、テーブル軸 5 a を介して研磨テーブル回転装置 2 1 に連結されている。研磨テーブル
25 5 および研磨パッド 2 は、研磨テーブル回転装置 2 1 によりテーブル軸 5 a を中心に矢印で示す方向に回転されるようになっている。研磨パッド 2 は、研磨テーブル 5 の上面に貼り付けられている。研磨パッド 2 の上面はウェーハ W を研磨する研磨面 2 a を構成している。研磨テーブル回転装置 2 1 の具体例としては、電動機が挙

げられる。

[0033] 液体供給装置 8 は、先端に供給口 9 a を有する液体ノズル 9 と、液体ノズル 9 の供給口 9 a を研磨パッド 2 の半径方向に揺動させるノズル揺動機構 10 と、液体ノズル 9 に連結された第 1 液体供給ライン 25 および第 2 液体供給ライン 27 と、第 1 液体供給ライン 25 および第 2 液体供給ライン 27 にそれぞれ取り付けられた第 1 流量制御弁 31 および第 2 流量制御弁 32 を備えている。第 1 液体供給ライン 25 は、第 1 液体としての研磨液（典型的にはスラリー）を液体ノズル 9 に供給するためのラインであり、第 2 液体供給ライン 27 は、第 1 液体とは異なる種類の液体（例えば、純水、薬液、または着色水）を液体ノズル 9 に供給するためのラインである。

[0034] 第 1 流量制御弁 31 および第 2 流量制御弁 32 は、動作制御部 47 に接続されており、第 1 流量制御弁 31 および第 2 流量制御弁 32 の動作は動作制御部 47 によって制御される。第 2 流量制御弁 32 が閉じられた状態で、動作制御部 47 が第 1 流量制御弁 31 を開くと、第 1 液体としての研磨液が研磨パッド 2 の研磨面 2 a 上に供給される。第 1 流量制御弁 31 が閉じられた状態で、動作制御部 47 が第 2 流量制御弁 32 を開くと、研磨液とは異なる第 2 液体が研磨パッド 2 の研磨面 2 a 上に供給される。

[0035] ウェーハ W の研磨は次のようにして行われる。研磨ヘッド 7 および研磨テーブル 5 をそれぞれ回転させながら、液体供給装置 8 の液体ノズル 9 から研磨液を研磨パッド 2 の研磨面 2 a 上に供給する。研磨パッド 2 に供給される研磨液の例としては、砥粒を含むスラリーが挙げられる。研磨パッド 2 はその軸心を中心に研磨テーブル 5 と一体に回転する。研磨ヘッド 7 は昇降機構（図示せず）により所定の研磨位置まで下降される。さらに、研磨ヘッド 7 は上記研磨位置でウェーハ W を研磨パッド 2 の研磨面 2 a に所定圧力で押し付ける。研磨液が研磨パッド 2 の研磨面 2 a 上に存在した状態で、ウェーハ W は研磨パッド 2 の研磨面 2 a に摺接される。ウェーハ W の表面は、研磨面 2 a 上に供給された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 の機械的作用との組み合わせにより、研磨される。

- [0036] 光学情報解析部 1 3 は、プログラムが格納された記憶装置 1 3 a 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 1 3 b を備えている。記憶装置 1 3 a 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。演算装置 1 3 b 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、光学情報解析部 1 3 の具体的構成は本実施形態に限定されない。
- [0037] 動作制御部 4 7 は、プログラムが格納された記憶装置 4 7 a 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 4 7 b を備えている。記憶装置 4 7 a 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。演算装置 4 7 b 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 4 7 の具体的構成は本実施形態に限定されない。
- [0038] 光学情報解析部 1 3 と動作制御部 4 7 のそれぞれは、1 台のコンピュータまたは複数のコンピュータから構成されてもよい。あるいは、光学情報解析部 1 3 と動作制御部 4 7 は、1 台のコンピュータから構成されてもよい。光学情報解析部 1 3 と動作制御部 4 7 は、物理的に独立していなくてもよく、少なくとも 1 台のコンピュータによって仮想的に構築されてよい。
- [0039] 液体モニタリング装置 1 2 は、研磨パッド 2 の上方に配置されており、研磨面 2 a を向いている。より具体的には、液体モニタリング装置 1 2 は、研磨テーブル 5 および研磨パッド 2 の回転方向において研磨ヘッド 7 の上流のモニタリング領域 M を少なくとも向いており、モニタリング領域 M からの光に含まれる光学情報を取得するように構成されている。モニタリング領域 M は、研磨パッド 2 の半径方向に延びている。一実施形態では、複数のモニタリング領域が設定されてもよい。これらモニタリング領域は、研磨パッド 2 の半径方向に延びており、研磨パッド 2 の周方向に沿って配列されている。複数のモニタリング領域のうちの 1 つは、図 1 の記号 M で示すように、研磨ヘッド 7 の上流に位置している。

[0040] 研磨装置は、200 nm～1100 nmの範囲内の1つ以上の波長を持つ光を研磨パッド2の研磨面2aに照射する光源40をさらに備えている。光源40は、少なくとも可視光を放出するように構成されており、例えば、発光ダイオードを備えている。光源40は、研磨パッド2の研磨面2aを均一に照明することが望ましい。例えば、光源40は、複数の発光ダイオードを有してもよく、あるいは、光分散板を有してもよい。光源40は、少なくともモニタリング領域Mに向けて均一な光を照射するように配置されている。

[0041] 図2は、図1に示す研磨ヘッド7の断面図である。研磨ヘッド7は、研磨ヘッドシャフト18に固定されたキャリア71と、キャリア71の下方に配置されたりテーナリング72とを備えている。キャリア71の下部には、ウェーハWに当接する柔軟なメンブレン（弾性膜）74が保持されている。メンブレン74とキャリア71との間には、4つの圧力室G1、G2、G3、G4が形成されている。圧力室G1、G2、G3、G4はメンブレン74とキャリア71とによって形成されている。中央の圧力室G1は円形であり、他の圧力室G2、G3、G4は環状である。これらの圧力室G1、G2、G3、G4は、同心上に配列されている。一実施形態では、5つ以上の圧力室が設けられてもよく、あるいは、3つ以下の圧力室が設けられてもよい。

[0042] 圧力室G1、G2、G3、G4にはそれぞれ流体路F1、F2、F3、F4を介して気体供給源77から圧縮空気等の圧縮気体が供給されるようになっている。ウェーハWは、メンブレン74によって研磨パッド2の研磨面2aに押し付けられる。より具体的には、圧力室G1、G2、G3、G4内の圧縮気体の圧力は、メンブレン74を介してウェーハWに作用し、ウェーハWを研磨面2aに対して押し付ける。圧力室G1、G2、G3、G4の内部圧力は独立して変化させることが可能であり、これにより、ウェーハ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に調整することができる。

[0043] キャリア71とリテーナリング72との間には、環状のローリングダイヤフラム76が配置されおり、このローリングダイヤフラム76の内部には圧力室G

5が形成されている。圧力室G 5は、流体路F 5を介して上記気体供給源7 7に連通している。気体供給源7 7は圧縮気体を圧力室G 5内に供給し、圧力室G 5内の圧縮気体はローリングダイヤフラム7 6を介してリテーナリング7 2を研磨パッド2の研磨面2 aに対して押圧する。

- 5 [0044] ウェーハWの周端部およびメンブレン7 4の下面（すなわちウェーハ押圧面）はリテーナリング7 2に囲まれている。ウェーハWの研磨中、リテーナリング7 2は、ウェーハWの外側で研磨パッド2の研磨面2 aを押し付け、研磨中にウェーハWが研磨ヘッド7から飛び出すことを防止している。

- [0045]流体路F 1, F 2, F 3, F 4, F 5は、圧力室G 1, G 2, G 3, G 4, G 5から気体供給源7 7に延びている。流体路F 1, F 2, F 3, F 4, F 5には、
10 圧力レギュレータR 1, R 2, R 3, R 4, R 5がそれぞれ取り付けられている。圧縮気体は、気体供給源7 7から圧力レギュレータR 1～R 5および流体路F 1～F 5を通して圧力室G 1～G 5内に供給される。

- [0046] 圧力レギュレータR 1, R 2, R 3, R 4, R 5は、圧力室G 1, G 2, G 3, G 4, G 5内の圧力を制御するように構成されている。圧力レギュレータR 1, R 2, R 3, R 4, R 5は動作制御部4 7に接続されている。動作制御部4 7は、各圧力室G 1～G 5の目標圧力値を生成するように構成されている。動作制御部4 7は目標圧力値を上記圧力レギュレータR 1～R 5に送り、圧力室G 1～G 5内の圧力が対応する目標圧力値に一致するように圧力レギュレータR 1～R 5が作
20 動する。

- [0047] 図3は、研磨パッド2、液体供給装置8、研磨ヘッド7の平面図である。図3に示すように、研磨液は、液体供給装置8の液体ノズル9から研磨パッド2の研磨面2 aの中央付近の領域に供給される。回転する研磨パッド2上の研磨液は、遠心力により半径方向外側に広がりながら、研磨ヘッド7に保持されたウェーハW
25 に接触する。研磨液の供給開始直後は、研磨液はまだ十分に研磨面2 a上に広がっていない。したがって、通常は、研磨液の供給が開始されてから、予め設定された時間が経過した後に、研磨ヘッド7はウェーハWを研磨面2 aに対して押し付ける。

[0048] 液体モニタリング装置1 2は、研磨パッド2の研磨面2 aからの光、およ

び研磨面 2 a 上に存在する液体（例えば研磨液）からの光に含まれる光学情報を取得するように構成されている。光学情報の具体例としては、研磨面 2 a および液体の色（すなわち研磨面 2 a 上の色分布）、研磨面 2 a および液体からの光の光量などが挙げられる。本実施形態では、液体モニタリング装置 1 2 は、カラー画像を生成するイメージセンサを備えている。イメージセンサの例としては、CCD センサ、COMS センサなどが挙げられる。液体モニタリング装置 1 2 は、研磨面 2 a 内のモニタリング領域 M のカラー画像を生成し、カラー画像上に現れた光学情報としての色分布を取得するように構成されている。

[0049] 通常、研磨液と研磨パッド 2 は異なる色を有している。したがって、研磨パッド 2 の研磨面 2 a 上に存在する研磨液は、研磨面 2 a から視覚的に識別することができる。光学情報解析部 1 3 は、液体モニタリング装置 1 2 に接続されており、カラー画像を液体モニタリング装置 1 2 から取得する。さらに、光学情報解析部 1 3 は、カラー画像に対して画像処理を実行して、研磨面 2 a 上に存在する研磨液量の分布を決定する。より具体的には、光学情報解析部 1 3 は、モニタリング領域 M 内の研磨液の色の濃さを表す液体色指標値をカラー画像から決定し、モニタリング領域 M 内の各位置での液体色指標値で表現された研磨液の量を表す研磨液量分布グラフを作成する。

[0050] 図 4 は、研磨液量分布グラフの一例を示す図である。図 4 において、縦軸は液体色指標値に相当する液体の量を表し、横軸はモニタリング領域 M 内の位置を表す。図 4 に示す例では、横軸で表される位置は、研磨パッド 2 の半径方向の位置である。液体色指標値は、研磨面 2 a 上に存在する研磨液の量に依存して変わるので、液体色指標値は研磨液の量に相当する。図 4 の縦軸は、液体色指標値を用いて表現された研磨液の量を表している。

[0051] 液体色指標値は、カラー画像内の色を定義するカラーモデル（あるいは色空間）によって変わりうる。色を定量的に表現するのに使用されるカラーモデルの例としては、RGB, CMY, CMYK, HSL, HSV などが挙げられる。

[0052] 液体色指標値は、各カラーモデルを定義する複数の成分のうちの 1 つのみの数値であってもよい。例えば、RGB カラーモデルは、R（赤）、G（緑）、B

(青) の 3 つの成分を原色として用いるが、これら 3 つの成分のうちのいずれかの 1 つのみの数値によって液体色指標値を表してもよい。一例では、R (赤)、G (緑)、B (青) の各成分は、0 ~ 2 5 5 の範囲内の数値で表される。1 つの成分のみを使用することで、研磨面 2 a 上の研磨液を精度よく検出することができる。
5 ことがある。

[0053] 一実施形態では、光学情報解析部 1 3 は、上記カラーモデル (あるいは色空間) の各成分に加えて、明度や輝度といった合成値を用いて液体色指標値を決定してもよい。明度は、R G B の各成分の最大値と最小値の平均であり、輝度は、人間の目が感じる明るさであり、赤成分 (R) $\times 0.21$ + 緑成分 (G) $\times 0.72$ + 青成分 (B) $\times 0.07$ で計算される。このように、光学情報解析部 1 3 は、研磨液の研磨パッド 2 上での濃淡を反映したカラー画像を解析することで、研磨パッド 2 上の研磨液の相対的な分布を求めることが可能である。また、光学情報解析部 1 3 は、研磨液の膜の厚さと色との関係を示すデータを予め取得し、研磨面 2 a 上に存在する研磨液の膜厚分布をカラー画像から決定するように構成されてもよい。
10

[0054] 研磨液の色が研磨パッド 2 の色に近い場合、あるいは研磨液が透明である場合、研磨パッド 2 上の研磨液量の分布をカラー画像の処理により求めることが難しいことがある。そこで、一実施形態では、液体モニタリング装置 1 2 は、カラー画像を生成するイメージセンサに代えて、光学情報の他の例である光の光量を測定する光検出センサを有している。一例では、光検出センサは、2 0 0 n m ~ 1 1 0 0 n m の範囲内の 1 つ以上の波長を持つ光の光量を測定するように構成されている。光検出センサの例としては、フォトダイオードが挙げられる。
15
20

[0055] 光検出センサを備えた液体モニタリング装置 1 2 は、モニタリング領域 M 内の研磨液から反射した光の光量を測定し、その測定データを光学情報解析部 1 3 に送信する。光学情報解析部 1 3 は、光量の測定データに基づいて、研磨面 2 a 上の研磨液量の分布を決定するように構成されている。研磨パッド 2 の研磨面 2 a 上に研磨液が存在する領域では、光は研磨液で反射しやすく、結果として、光の光量は大きくなる。したがって、光学情報解析部 1 3 は、液体モニタリング装置 1 2 によって得られた光量の測定データに基づいて、研磨面 2 a 上の研磨液量の分布を決
25

定することができる。

[0056] 図5は、研磨液量分布グラフの一例を示す図である。図5において、縦軸は研磨液から反射した光の光量に相当する液体の量を表し、横軸はモニタリング領域M内の位置を表す。図5に示す例では、横軸で表される位置は、研磨パッド2の半径方向の位置である。研磨液から反射した光の光量は、研磨面2a上の研磨液の有無に依存して変わるので、光量は研磨面2a上に存在する研磨液の量に相当する。図5の縦軸は、光量を用いて表現された研磨液の量を表している。

[0057] 一実施形態では、液体モニタリング装置12の光検出センサは、赤外線センサであってもよい。研磨面2aおよび研磨液は、それらの温度に依存した赤外線を放出する。ウェーハWの研磨中は、研磨パッド2の研磨面2aの温度は、ウェーハWとの摺接により上昇する。これに対し、研磨液の温度は概ね室温である。したがって、研磨面2aと研磨液との間には温度差が存在する。研磨面2aおよび研磨液から放出される赤外線の強さは、これらの温度に依存して変わる。赤外線センサを備えた液体モニタリング装置12は、モニタリング領域M内の赤外線の強度を測定し、その測定データを光学情報解析部13に送信する。光学情報解析部13は、赤外線の強度の測定データに基づいて、研磨面2a上の研磨液量の分布を決定する。赤外線の強度は、研磨面2a上に存在する研磨液の量に相当する。赤外線センサを用いる場合は、図1に示す光源40を省略してもよい。

[0058] 研磨液の色が研磨パッド2の色に近い場合、あるいは研磨液が透明である場合は、研磨装置のアイドリング時などの、ウェーハWの研磨前または研磨後のインターバル時間において、着色水を用いて研磨面2a上の着色水量の分布を解析してもよい。より具体的には、ウェーハWの研磨前または研磨後のインターバル時間において、動作制御部47は、図1に示す第1流量制御弁31を閉じ、第2流量制御弁32を開いて、第2液体としての着色水を液体供給装置8から研磨パッド2の研磨面2a上に供給する。着色水の例としては、炭素などを含有させた黒色水が挙げられる。動作制御部47は、液体モニタリング装置12に指令を発して、研磨面2aおよび着色水からの光に含まれる光学情報を取得させる。より具体的には、液体モニタリング装置12は、研磨面2a上の着色水のカラー画像を生成し、そのカ

ラー画像を光学情報解析部 1 3 に送る。光学情報解析部 1 3 は、カラー画像を解析することで、研磨面 2 a 上の着色水量の分布を決定することができる。なお、着色水と研磨パッド 2 の研磨面 2 a の色によっては、得られる光学情報（例えば輝度値）の分布と実際の液体量の分布が逆転する関係にある場合がある。その場合は、輝度
5 値を逆転するなどのデータ処理をおこなったものを用いて液体量分布を求めてもよい。

[0059] インターバル時間中に供給される液体として、着色水に代えて、純水を用いてもよい。動作制御部 4 7 は、ウェーハ W の研磨前または研磨後のインターバル時間において、図 1 に示す第 1 流量制御弁 3 1 を閉じ、第 2 流量制御弁 3 2 を開い
10 て、第 2 液体としての純水を液体供給装置 8 から研磨パッド 2 の研磨面 2 a 上に供給する。この場合は、上述した別の実施形態に従い、液体モニタリング装置 1 2 は、モニタリング領域 M 内の純水から反射する光の光量を測定し、その測定データを光学情報解析部 1 3 に送信し、光学情報解析部 1 3 は、光量の測定データに基づいて、研磨面 2 a 上の純水量の分布を決定する。

15 [0060] さらに、インターバル時間中に供給される液体として、着色水に代えて、薬液を用いてもよい。この場合も、上述した実施形態と同様にして研磨面 2 a 上の薬液量の分布が求められる。

[0061] ウェーハの研磨に使用される研磨液は、一般に、高価である。研磨液に代えて、着色水、純水、または薬液を用いる上記実施形態によれば、研磨面 2 a 上の
20 液体量の分布を求める際にかかるコストを低減することができる。

[0062] 研磨プロセスによっては、研磨生成物が研磨パッド 2 の研磨面 2 a を着色することがある。例えば銅研磨においては、研磨生成物中の銅イオンが研磨液と混合することで、研磨パッド 2 の研磨面 2 a が着色され、液体供給装置 8 より供給される研磨液等の液体とで色コントラストを形成する場合がある。液体モニタリング
25 装置 1 2 は、着色された研磨面 2 a のカラー画像を生成し、光学情報解析部 1 3 は、カラー画像から研磨面 2 a の色分布を決定し、この色分布を研磨パッド 2 上の液体量の分布とすることも可能である。

[0063] ウェーハ W の研磨中は、研磨液は研磨面 2 a 上に一様に分布することが望

ましい。これは、ウェーハWの膜の研磨レートは、研磨面2a上に存在する研磨液の量に依存して変わりうるからである。そこで、動作制御部47は、液体モニタリング装置12に指令を発して、ウェーハWの研磨中における複数の時点において、研磨面2aの光学情報を取得させる（例えば複数のカラー画像を生成させる）ように構成されている。光学情報解析部13は、上記複数の時点で取得された光学情報を解析することにより、研磨液量の分布の時間的推移を取得するように構成されている。

[0064] もし、ウェーハWの研磨中に、研磨面2a上の研磨液量の分布が変化した場合には、動作制御部47は研磨液量の分布を元に戻すようにウェーハWに対する研磨条件を変更するようにしてもよい。より具体的には、動作制御部47は、ウェーハWの研磨中の複数の時点で決定された研磨液量の複数の分布の差を算定し、分布差が許容値よりも大きい場合は、研磨液量分布の異常と判定し、分布差が小さくなる方向に研磨条件を変更する。例えば、動作制御部47は、研磨ヘッド7の回転速度、研磨テーブル5の回転速度、液体供給装置8から供給される研磨液の流量、液体ノズル9の揺動のうちの少なくとも1つを変更することで、上記分布差を小さくする。このような動作により、ウェーハWの研磨レートや研磨レート分布の意図しない変化を防止することができる。

[0065] 図6Aおよび図6Bは、1枚のウェーハWの研磨中に変化した研磨液量の分布を示すグラフである。図6Aに示すように、ウェーハWの研磨中、ウェーハWの研磨開始時の研磨液量の分布から、現在の研磨液量の分布が低下することがある。動作制御部47は、研磨液のこれらの分布の差を算定し、分布差が許容値よりも大きい場合は、動作制御部47は、図6Bに示すように、差が小さくなる方向にウェーハWに対する研磨条件を変更する。例えば、動作制御部47は、第1流量制御弁31の開度を増加させて研磨面2aに供給される研磨液の流量を増加させる。研磨液量の分布が研磨パッド2の内周側または外周側に偏っている場合は、動作制御部47は、研磨テーブル回転装置21に指令を発して、研磨テーブル5の回転速度を増加または低下させてもよい。

[0066] 一実施形態では、動作制御部47が研磨装置の研磨条件を変更してから所

定の時間が経過した後に、光学情報解析部 1 3 は、ウェーハ W の研磨中に、現在の研磨液量の分布を再度決定し、動作制御部 4 7 は、ウェーハ W の研磨開始時の研磨液量の分布と、再度決定された現在の研磨液量の分布との差を算定し、この分布差が上記許容値よりも大きい場合は、次のウェーハを研磨する前に、研磨装置の動作を停止させてもよい。

[0067] さらに、一実施形態では、動作制御部 4 7 は、ウェーハ W の研磨中の複数の時点で決定された研磨液量の複数の分布の差を算定し、分布差が許容値よりも大きい場合は、ウェーハ W の研磨条件を変更することなく、次のウェーハを研磨する前に、研磨装置の動作を停止させてもよい。

- 10 [0068] さらに、一実施形態では、動作制御部 4 7 は、ウェーハ W の研磨中の複数の時点で決定された研磨液量の複数の分布の差を算定し、分布差が許容値よりも大きい場合は、研磨ヘッド 7 のウェーハ W に対する押付力を変化させてもよい。図 6 A に示すように、ウェーハ W の研磨中に研磨液量の分布が低下している場合は、研磨液の量の低下に起因してウェーハ W の研磨レートの低下が予想される。そこで、
- 15 動作制御部 4 7 は、研磨レートの低下を補うために、研磨ヘッド 7 のウェーハ W に対する押付力を増加させる。具体的には、動作制御部 4 7 は、図 2 に示す圧力レギュレータ R 1 ~ R 4 のうちの少なくとも 1 つに指令を発して、研磨ヘッド 7 の圧力室 G 1 ~ G 4 内の少なくとも 1 つの圧力を増加させる。結果として、研磨ヘッド 7 は、より高い押付力でウェーハ W を研磨パッド 2 に対して押し付けることができ、
- 20 意図した研磨レートを維持することができる。

[0069] 研磨中において、研磨パッド 2 の研磨面 2 a 上の研磨液量の分布が変化する要因としては、機器の故障や、研磨パッド 2 の温度上昇に起因した研磨液の物性（粘性等）や研磨パッド 2 の表面状態の変化が挙げられる。機器の故障が原因である場合においては、研磨パッド 2 上の研磨液量の分布をモニタリングすることで、

25 機器の故障の検出が可能となる。

[0070] 一実施形態では、動作制御部 4 7 は、液体（例えば、研磨液、純水、薬液、または着色水）の分布が予め設定されたしきい分布を下回った場合は、研磨装置に異常が発生したことを決定するように構成されてもよい。例えば、図 7 に示すよう

に、液体量の分布の全体が、予め設定されたしきい分布（あるいは基準分布）を下回った場合は、液体ノズル 9 または第 1 液体供給ライン 2 5（図 1 参照）の詰まりなどが原因と考えられる。動作制御部 4 7 は、液体量の分布が予め設定されたしきい分布を下回ったときに、警報信号を生成してもよい。

- 5 [0071] 図 1 に示す液体ノズル 9 は、その先端に 1 つの供給口 9 a を有しているが、別の実施形態では、液体ノズル 9 は研磨パッド 2 の半径方向に沿って並ぶ複数の供給口を有してもよい。この場合は、液体ノズル 9 は研磨パッド 2 の研磨面 2 a 上に液体の均一な膜を形成しやすい。しかしながら、複数の供給口のいずれか 1 つが詰まると、液体量の分布は局所的に低下する。その一方で、このような 1 つの供給口
- 10 の詰まりに起因する液体の流量は全体としてはほとんど変化しない。このため、流量の変化に基づいて、1 つの供給口の詰まりを検出することは難しい。液体量の分布を監視する上記実施形態によれば、図 8 に示すように、液体量の分布がしきい分布を下回ったときに、動作制御部 4 7 は異常の発生を判断するので、液体ノズル 9 の部分的な詰まりを検出することができる。
- 15 [0072] 通常、研磨パッド 2 の研磨面 2 a には、研磨液の流れを制御するための複数の溝が形成されている。研磨パッド 2 は、多くのウェーハが研磨されるにつれて徐々に摩耗し、研磨面 2 a の溝の深さは徐々に浅くなる。その結果、液体供給装置 8 から供給される研磨液の流量は変化していなくても、研磨面 2 a 上の研磨液量の分布が変化することがある。
- 20 [0073] そこで、研磨液量の分布の経時的な変化を調べるために、以下に説明する実施形態では、研磨パッド 2 の未使用時の液体量分布と、研磨パッド 2 の使用時の液体量分布が比較される。より具体的には、動作制御部 4 7 は、液体モニタリング装置 1 2 に指令を発して、研磨未使用状態の研磨パッド 2 の研磨面 2 a の初期光学情報と、研磨使用後の研磨パッド 2 の研磨面 2 a の現在の光学情報を取得させるよ
- 25 うに構成される。研磨未使用状態の研磨パッド 2 は、ウェーハの研磨に使用されていない新品の研磨パッドである。

[0074] 使用される液体は、研磨液、純水、薬液、着色水のいずれかであるが、研磨液は一般に高価であるので、使用される液体は、純水、薬液、着色水のいずれか

- であることが好ましい。研磨面 2 a の光学情報の具体例としては、研磨面 2 a 上の色分布、研磨面 2 a および液体からの光の光量などが挙げられる。液体モニタリング装置 1 2 は、上述したように、イメージセンサ、光検出センサ、赤外線センサなどを備えている。例えば、液体モニタリング装置 1 2 は、研磨未使用状態の研磨パッド 2 の研磨面 2 a 上の液体の初期カラー画像を生成し、研磨使用中の研磨パッド 2 の研磨面 2 a 上の液体の直近のカラー画像を生成する。あるいは、液体モニタリング装置 1 2 は、研磨未使用状態の研磨パッド 2 の研磨面 2 a 上の液体からの光の初期光量を測定し、研磨使用中の研磨パッド 2 の研磨面 2 a 上の液体からの光の直近の光量を測定する。
- 10 [0075] 光学情報解析部 1 3 は、初期光学情報（例えば初期カラー画像または光の初期光量の測定データ）から研磨面 2 a 上の液体量の初期分布を決定し、現在の光学情報（例えば直近のカラー画像または光の直近光量の測定データ）から研磨面 2 a 上の液体量の現在の分布を決定する。図 9 は、研磨面 2 a 上の液体量の初期分布と、研磨面 2 a 上の液体量の現在の分布を示すグラフである。図 9 に示すように、
- 15 研磨パッド 2 の減耗に起因して、研磨面 2 a 上の液体量の分布は、経時的に変化している。
- [0076] 動作制御部 4 7 は、研磨面 2 a 上の液体量の初期分布と現在の分布のデータを光学情報解析部 1 3 から受け取り、記憶装置 4 7 a 内に格納する。動作制御部 4 7 は、研磨面 2 a 上の液体量の初期分布と現在の分布との差から研磨パッド 2 の
- 20 状態を判定するように構成されている。より具体的には、動作制御部 4 7 は、研磨面 2 a 上の液体量の初期分布と現在の分布との差を算定し、この分布差がしきい値よりも大きい場合は、研磨パッド 2 の減耗を知らせる警報信号を生成するように構成される。
- [0077] 動作制御部 4 7 は、研磨面 2 a 上の液体量の初期分布と現在の分布との差
- 25 がしきい値よりも大きい場合は、分布差が小さくなる方向にウェーハに対する研磨条件を変更するように構成されてもよい。より具体的には、動作制御部 4 7 は、研磨ヘッド 7 の回転速度、研磨テーブル 5 の回転速度、液体供給装置 8 から供給される液体の流量、液体ノズル 9 の揺動のうちの少なくとも 1 つを変更することで、上

記分布差を小さくする。このような動作により、ウェーハの研磨レートや研磨レート分布の意図しない変化を防止することができる。

[0078] 一実施形態では、動作制御部 47 が研磨条件を変更してから所定の時間が経過した後に、光学情報解析部 13 は、研磨面 2a 上の液体量の現在の分布を再度
5 決定し、動作制御部 47 は、液体量の初期分布と、再度決定された液体量の現在の分布の差を算定し、この分布差が上記しきい値よりも大きい場合は、次のウェーハを研磨する前に、研磨装置の動作を停止させてもよい。

[0079] さらに、一実施形態では、動作制御部 47 は、研磨面 2a 上の液体量の初期分布と現在の分布との差がしきい値よりも大きい場合は、ウェーハの研磨条件を
10 変更することなく、次のウェーハを研磨する前に、研磨装置の動作を停止させてもよい。

[0080] さらに、一実施形態では、動作制御部 47 は、研磨面 2a 上の液体量の初期分布と現在の分布との差がしきい値よりも大きい場合は、研磨ヘッド 7 のウェーハに対する押付力を変化させてもよい。図 9 に示すように、研磨パッド 2 の減耗が
15 進行すると、研磨パッド 2 の研磨面 2a 上の研磨液の量が低下し、研磨液の量の低下に起因してウェーハの研磨レートの低下が予想される。そこで、動作制御部 47 は、研磨レートの低下を補うために、研磨ヘッド 7 のウェーハに対する押付力を増加させる。具体的には、動作制御部 47 は、図 2 に示す圧力レギュレータ R1～R4 のうちの少なくとも 1 つに指令を発して、研磨ヘッド 7 の圧力室 G1～G4 内の
20 少なくとも 1 つの圧力を増加させる。結果として、研磨ヘッド 7 は、より高い押付力でウェーハを研磨パッド 2 に対して押し付けることができ、意図した研磨レートを維持することができる。

[0081] 研磨面 2a 上の液体量の分布間の差と比較される上記許容値および上記しきい値は、正常時の液体量の分布と、正常時の液体量の分布から予め定められた割合、例えば 10% 変化したときの分布との差から決定されてもよい。正常時の液体量の分布としては、例えばウェーハの研磨レートプロファイルが正常であるときの液体量の分布とすることができる。

[0082] 研磨パッド 2 の製造ばらつきにより、正常時の液体量の分布もばらつく場

合がある。その場合は、過去の正常時の複数の液体量分布のデータを動作制御部 47 の記憶装置 47 a 内に蓄積しておき、図 10 に示すように、そのデータから定められた範囲内に上記差があるか否かを動作制御部 47 が判定するようにしてもよい。

[0083] 研磨面 2 a 上の液体量の分布間の差と比較される上記許容値および上記し

- 5 きい値は、人工知能（A I）により自動的に決定されてもよい。例えば研磨パッドや液体等の消耗材の情報や研磨異常の発生情報とともに液体量分布データと組み合わせて動作制御部 47 の記憶装置 47 a 内に蓄積しても良い。そして、人工知能（A I）等により研磨パッドと液体の各組合せに対する液体量の分布の推移を機械学習させ、消耗材情報を動作制御部 47 に入力すれば、上記許容値および上記し
- 10 きい値が自動的に設定されることが可能となる。

- [0084] また、図 11 に示すように、例えば液体量分布の異常が局所的かつ小さい場合、そのような異常は正しく検出できない場合がある。その場合は、許容値またはしきい値ではなく、液体量分布の形状から正常／異常を判定することで、精度よく判定が可能となる。具体的には、異常発生時の液体量分布を異常データとして機
- 15 械学習にて動作制御部 47 に認識させておくことで、類似の液体量分布が検出された際は異常と判定させる。

- [0085] 今まで説明してきた実施形態では、光学情報解析部 13 は、液体モニタリング装置 12 から取得した光学情報（例えば、カラー画像上の色、光量の測定データなど）から、研磨パッド 2 の研磨面 2 a 上の液体量の分布を決定する。しかしな
- 20 がら、研磨パッド 2 の上方には、図示しないが、研磨パッド 2 の研磨面 2 a をドレッシング（再生）するためのドレッサや、研磨面 2 a を洗浄するアトマイザーなどの遮光物が存在する。さらに、光源 40 の位置によっては、研磨パッド 2 上の液体で反射する光の光量にばらつきが生じることもある。また、研磨パッド 2 自身の色及びそのばらつきがある。このような遮光物の存在や光源 40、研磨パッド 2 の色
- 25 及びばらつきの影響は、光学情報解析部 13 が、研磨面 2 a 上の液体の正確な分布を決定することを妨げてしまう。

[0086] そこで、以下に説明する実施形態では、動作制御部 47 は、液体の供給前に液体モニタリング装置 12 に指令を発して、研磨パッド 2 の研磨面 2 a からの光

に含まれる第1光学情報を取得させ、さらに液体の供給時に液体モニタリング装置12に指令を発して、研磨面2aからの光に含まれる第2光学情報を取得させるように構成される。さらに、光学情報解析部13は、第1光学情報から第1分布を決定し、第2光学情報から第2分布を決定し、第2分布から第1分布を減算すること
5 で、液体量の分布を決定するように構成されている。

[0087] 図12Aは、液体の供給前に液体モニタリング装置12によって取得された研磨面2aの第1光学情報から得られた第1分布を示すグラフであり、図12Bは、液体の供給時に液体モニタリング装置12によって取得された研磨面2aの第2光学情報から得られた第2分布を示すグラフであり、図12Cは、第2分布から
10 第1分布を減算することで得られた液体量の分布を示すグラフである。図12Aおよび図12Bに示すように、第1分布および第2分布には、ドレスサなどの遮光物に起因するノイズが現れている。したがって、第2分布から第1分布を減算することにより、図12Cに示すように、ノイズが除去された液体量の分布が得られる。

[0088] 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
15 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. 被研磨物を研磨する研磨装置であって、
研磨パッドを支持する研磨テーブルと、
5 被研磨物を研磨パッドの研磨面に対して押し付ける研磨ヘッドと、
前記研磨面上に液体を供給する液体供給装置と、
前記研磨テーブルを回転させる研磨テーブル回転装置と、
前記研磨ヘッドを回転させる研磨ヘッド回転装置と、
前記研磨面上の複数点からの光に含まれる光学情報を取得する液体モニタリング
10 装置と、
前記光学情報から前記研磨面上の前記液体量の分布を決定する光学情報解析部と、
前記研磨装置の動作を制御する動作制御部を備えている、研磨装置。
2. 前記動作制御部は、前記液体の供給前に前記液体モニタリング装置に指令を
15 発して、前記研磨面上の複数点の第1光学情報を取得させ、さらに前記液体の供給
時に前記液体モニタリング装置に指令を発して、前記研磨面上の複数点の第2光学
情報を取得させるように構成され、
前記光学情報解析部は、前記第1光学情報から第1分布を決定し、前記第2光学
情報から第2分布を決定し、前記第2分布から前記第1分布を減算することで、前
20 記液体量の分布を決定するように構成されている、請求項1に記載の研磨装置。
3. 前記動作制御部は、前記液体モニタリング装置に指令を発して、前記被研磨
物の研磨中における複数の時点において、前記研磨面上の複数点の前記光学情報を
取得させるように構成され、
25 前記光学情報解析部は、前記複数の時点で取得された前記研磨面の複数点の前記
光学情報から、前記研磨面上の前記液体量の分布の時間的推移を取得するように構
成されている、請求項1または2に記載の研磨装置。

4. 前記動作制御部は、前記被研磨物の研磨前または研磨後のインターバル時間において、前記液体モニタリング装置に指令を発して、前記光学情報を取得させるように構成されている、請求項 1 または 2 に記載の研磨装置。
- 5 5. 前記動作制御部は、前記液体モニタリング装置に指令を発して、研磨未使用状態の前記研磨パッドの前記研磨面上の複数点からの初期光学情報と、研磨に使用中の前記研磨パッドの前記研磨面上の複数点からの現在の光学情報を取得させるように構成され、
- 前記光学情報解析部は、前記初期光学情報から前記液体量の初期分布を決定し、
- 10 前記現在の光学情報から前記研磨面上の前記液体量の現在の分布を決定し、
- 前記動作制御部は、前記初期分布と前記現在の分布との差を算定するように構成されている、請求項 1 乃至 4 のいずれか一項に記載の研磨装置。
6. 前記動作制御部は、前記液体供給装置に指令を発して、前記液体モニタリ
- 15 グ装置が前記光学情報を取得している間は、前記被研磨物の研磨に使用される研磨液とは異なる種類の前記液体を前記研磨パッドの前記研磨面上に供給させるように構成されている、請求項 4 または 5 に記載の研磨装置。
7. 200 nm～1100 nmの範囲内の 1 つ以上の波長を持つ光を前記研磨面
- 20 に照射する光源をさらに備えている、請求項 1 乃至 6 のいずれか一項に記載の研磨装置。
8. 前記液体モニタリング装置は、200 nm～1100 nmの範囲内の 1 つ以上の波長を持つ光の光量を測定する光検出センサを有している、請求項 1 乃至 7 の
- 25 いずれか一項に記載の研磨装置。
9. 前記光学情報解析部は、前記光量の測定データに基づいて、前記研磨面上の前記液体量の分布を決定するように構成されている、請求項 8 に記載の研磨装置。

10. 前記液体モニタリング装置は、カラー画像を生成するイメージセンサを有している、請求項1乃至7のいずれか一項に記載の研磨装置。
- 5 11. 前記光学情報解析部は、前記カラー画像上に現れる前記光学情報としての色分布を解析することにより、前記研磨面上の前記液体量の分布を決定するように構成されている、請求項10に記載の研磨装置。
- 10 12. 前記液体モニタリング装置は、前記研磨テーブルの回転方向において前記研磨ヘッドの上流に位置するモニタリング領域内の前記複数点の光学情報を取得するように配置されている、請求項1乃至11のいずれか一項に記載の研磨装置。
- 15 13. 前記動作制御部は、前記被研磨物の研磨中の前記複数の時点で決定された前記研磨面上の前記液体量の複数の分布の差を算定し、前記分布差が許容値よりも大きい場合は、前記分布差が小さくなる方向に前記被研磨物に対する研磨条件を変更するように構成されている、請求項3に記載の研磨装置。
- 20 14. 前記動作制御部は、前記研磨条件を変更した後に、前記被研磨物の研磨中に決定された前記液体量の複数の分布の差を再度算定し、前記分布差が許容値よりも大きい場合は、次の被研磨物を研磨する前に前記研磨装置の動作を停止させるように構成されている、請求項13に記載の研磨装置。
- 25 15. 前記動作制御部は、前記被研磨物の研磨中の前記複数の時点で決定された前記液体量の複数の分布の差を算定し、前記分布差が許容値よりも大きい場合は、次の被研磨物を研磨する前に前記研磨装置の動作を停止させるように構成されている、請求項3に記載の研磨装置。
16. 前記動作制御部は、前記被研磨物の研磨中の前記複数の時点で決定された

前記液体量の複数の分布の差を算定し、前記分布差が許容値よりも大きい場合は、前記研磨ヘッドの前記被研磨物に対する押付力を変化させるように構成されている、請求項 3 に記載の研磨装置。

5 1 7. 前記動作制御部は、前記研磨面上の前記液体量の前記初期分布と前記現在の分布との差がしきい値よりも大きい場合は、前記分布差が小さくなる方向に前記被研磨物に対する研磨条件を変更するように構成されている、請求項 5 に記載の研磨装置。

10 1 8. 前記研磨条件を変更した後に、前記液体量の前記初期分布と、新たに決定された現在の液体量の分布との差を再度算定し、前記分布差が前記しきい値よりも大きい場合は、次の被研磨物を研磨する前に前記研磨装置の研磨動作を停止させるように構成されている、請求項 1 7 に記載の研磨装置。

15 1 9. 前記動作制御部は、前記研磨面上の前記液体量の前記初期分布と前記現在の分布との差がしきい値よりも大きい場合は、次の被研磨物を研磨する前に前記研磨装置の研磨動作を停止させ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。

20 2 0. 前記動作制御部は、前記研磨面上の前記液体量の分布が予め設定された液体量のしきい分布を下回った場合は、前記研磨装置に異常が発生したことを決定するように構成されている、請求項 1 乃至 1 9 のいずれか一項に記載の研磨装置。

25 2 1. 前記液体は、研磨液、純水、薬液、および着色水のうちの 1 つである、請求項 1 乃至 2 0 のいずれか一項に記載の研磨装置。

2 2. 被研磨物を研磨する研磨方法であって、
研磨パッドを支持する研磨テーブルと、研磨ヘッドを回転させながら、前記研磨

ヘッドにより被研磨物を前記研磨パッドの研磨面に対して押し付けて該被研磨物を研磨し、

前記被研磨物の研磨前、研磨中、または研磨後に、前記研磨面上に液体を供給しながら、前記研磨面上の複数点からの光に含まれる光学情報を取得し、

5 前記光学情報から前記研磨面上の前記液体量の分布を決定する、研磨方法。

23. 前記液体量の分布は、前記液体の供給前に取得された前記研磨面上の複数点の第1光学情報から決定された第1分布を、前記液体の供給時に取得された前記研磨面上の複数点の第2光学情報から決定された第2分布から減算することで決定

10 される、請求項22に記載の研磨方法。

24. 前記光学情報を取得する工程は、前記研磨面上に液体を供給しながら、前記被研磨物の研磨中における複数の時点において、前記研磨面上の複数点の前記光学情報を取得する工程であり、

15 前記液体量の分布を決定する工程は、前記複数の時点で取得された前記研磨面上の複数点の前記光学情報から、前記研磨面上の前記液体量の分布の時間的推移を取得する工程である、請求項22または23に記載の研磨方法。

20 25. 前記光学情報を取得する工程は、前記被研磨物の研磨前または研磨後のインターバル時間において、前記研磨面上に液体を供給しながら、前記光学情報を取得する工程である、請求項22または23に記載の研磨方法。

26. 研磨未使用状態の前記研磨パッドの前記研磨面上に液体を供給しながら、前記研磨面上の複数点の初期光学情報を取得し、

25 研磨に使用中の前記研磨パッドの前記研磨面上に液体を供給しながら、前記研磨面上の複数点の現在の光学情報を取得し、

前記初期光学情報から前記研磨面上の前記液体量の初期分布を決定し、

前記現在の光学情報から前記研磨面上の前記液体量の現在の分布を決定し、

前記初期分布と前記現在の分布との差を算定する工程をさらに含む、請求項 2 2 乃至 2 5 のいずれか一項に記載の研磨方法。

2 7. 前記光学情報を取得している間に前記研磨パッドの前記研磨面上に供給される前記液体は、前記被研磨物の研磨に使用される研磨液とは異なる種類の液体である、請求項 2 5 または 2 6 に記載の研磨方法。

2 8. 前記光学情報は、前記研磨面からの光量である、請求項 2 2 乃至 2 7 のいずれか一項に記載の研磨方法。

10

2 9. 前記光学情報は、前記研磨面の色分布である、請求項 2 2 乃至 2 7 のいずれか一項に記載の研磨方法。

3 0. 前記光学情報を取得する工程は、前記研磨テーブルの回転方向において前記研磨ヘッドの上流に位置するモニタリング領域内の前記複数点の光学情報を取得する工程である、請求項 2 2 乃至 2 9 のいずれか一項に記載の研磨方法。

3 1. 前記被研磨物の研磨中の複数の時点で決定された前記液体量の複数の分布の差を算定し、

20 前記分布差が許容値よりも大きい場合は、前記分布差が小さくなる方向に前記被研磨物に対する研磨条件を変更する工程をさらに含む、請求項 2 4 に記載の研磨方法。

3 2. 前記研磨条件を変更した後に、前記被研磨物の研磨中の複数の時点で決定された前記液体量の複数の分布の差を再度算定し、

25 前記分布差が許容値よりも大きい場合は、次の被研磨物を研磨する前に研磨装置の動作を停止する工程をさらに含む、請求項 3 1 に記載の研磨方法。

33. 前記被研磨物の研磨中の複数の時点で決定された前記液体量の複数の分布の差を算定し、

前記分布差が許容値よりも大きい場合は、次の被研磨物を研磨する前に研磨装置の動作を停止する工程をさらに含む、請求項24に記載の研磨方法。

5

34. 前記被研磨物の研磨中の複数の時点で決定された前記液体量の複数の分布の差を算定し、

前記分布差が許容値よりも大きい場合は、前記研磨ヘッドの前記被研磨物に対する押付力を変化させる工程をさらに含む、請求項24に記載の研磨方法。

10

35. 前記研磨面上の前記液体量の前記初期分布と前記現在の分布との差がしきい値よりも大きい場合は、前記分布差が小さくなる方向に前記被研磨物に対する研磨条件を変更する工程をさらに含む、請求項26に記載の研磨方法。

15 36. 前記研磨条件を変更した後に、前記研磨面上の前記液体量の前記初期分布と、新たに決定された液体量の現在の分布との差を再度算定し、

前記分布差が前記しきい値よりも大きい場合は、次の被研磨物を研磨する前に研磨装置の動作を停止する工程をさらに含む、請求項35に記載の研磨方法。

20 37. 前記研磨面上の前記液体量の前記初期分布と前記現在の分布との差がしきい値よりも大きい場合は、次の被研磨物を研磨する前に研磨装置の動作を停止する工程をさらに含む、請求項26に記載の研磨方法。

38. 前記液体量の分布が予め設定された液体量のしきい分布を下回った場合は、
25 研磨装置に異常が発生したことを決定する工程をさらに含む、請求項22乃至37のいずれか一項に記載の研磨方法。

39. 前記液体は、研磨液、純水、薬液、および着色水のうちの1つである、請

求項 2.2 乃至 3.8 のいずれか一項に記載の研磨方法。