

研磨方法および研磨装置

発明の背景

発明の技術分野

- 5 [0001] 本発明は、ウェーハ、円形基板、四角基板などのワークピースを研磨する技術に関し、特にワークピースの研磨レートに基づいて研磨制御動作を変更する技術に関する。

関連技術の記載

- 10 [0002] 半導体デバイスの製造プロセスには、 SiO_2 などの絶縁膜を研磨する工程や、銅、タングステンなどの金属膜を研磨する工程などの様々な工程が含まれる。ウェーハの研磨は研磨装置を使用して行われる。研磨装置は、一般に、研磨パッドを支持する研磨テーブルと、ウェーハを研磨パッドに押し付ける研磨ヘッドと、スラリーを研磨パッド上に供給するスラリー供給ノズルを備えている。研磨テーブルを回転させながら、研磨テーブル上の研磨パッドにスラリーが供給され、研
15 磨ヘッドは、ウェーハを研磨パッドに押し付ける。ウェーハは、スラリーの存在下で研磨パッドと摺接される。ウェーハの表面は、スラリーの化学的作用と、スラリーに含まれる砥粒および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。

- 20 [0003] 研磨ヘッドは、ウェーハの複数の領域に対応する複数の圧力室を有している。ウェーハの研磨中は、これらの圧力室は圧縮気体（例えば、圧縮空気）で満たされ、圧力室の内部圧力がウェーハに加えられる。ウェーハの研磨中は、ウェーハの膜厚が膜厚センサにより測定され、ウェーハの現在の膜厚プロファイルが取得される。この現在の膜厚プロファイルが目標膜厚プロファイルに到達するように、研磨ヘッドの各圧力室内の圧力が制御される。

- 25 【先行技術文献】

【特許文献】

[0004]

【特許文献 1】 日本国特開 2005-11977 号公報

【特許文献 2】 日本国特開 2021-141282 号公報

【特許文献 3】 日本国特開 2 0 2 3 - 2 4 6 4 号公報

【特許文献 4】 日本国特開 2 0 1 5 - 1 6 8 0 1 5 号公報

[0005] ウェーハの研磨対象膜が銅などの金属膜である場合、ウェーハの研磨前に金属膜が空気中の酸素と反応し、時間経過とともに自然酸化膜が金属膜上に形成
5 されることがある。この自然酸化膜は、金属膜と平衡に共存し、熱的にも組織的にも安定性が高い。

[0006] 自然酸化膜で覆われた金属膜を上述した研磨装置で研磨するとき、自然酸化膜は金属膜に比べて研磨されにくい。すなわち、通常は、自然酸化膜の研磨レート（除去レートともいう）は、金属膜の研磨レートよりも低い。このような場
10 合、自然酸化膜の研磨レートを上げるために研磨ヘッドの圧力室内の圧力は高くなる。その後自然酸化膜が除去されると、金属膜が研磨され、研磨レートが大きく変化する。その結果、圧力室内の圧力は急激に低下し、圧力室内の圧力のハンチング（大きな変動）が起こり、圧力室内の圧力制御が不安定となる。同様の問題は、ウェーハの表面が異なる材料からなる積層構造から構成されている場合に
15 も起こり得る。

発明の要旨

[0007] そこで、本発明は、ウェーハなどのワークピースの研磨中に研磨レートが大きく変化するときに、研磨ヘッドの圧力制御を安定させることができる技術を提供する。
20

[0008] 一態様では、ワークピースの膜厚を測定しながら、研磨ヘッドの複数の圧力室により前記ワークピースの表面を研磨パッドに押し付けることで、前記ワークピースを研磨し、前記ワークピースの研磨中に、前記ワークピースの前記表面内の複数の領域の複数の研磨レートを算定し、前記複数の研磨レートの複数の変化点を検出し、前記複数の研磨レートの前記複数の変化点を検出する前は、前記
25 研磨ヘッドは前記ワークピースの前記複数の領域を同じ研磨量だけ研磨する研磨量制御動作を実行し、前記複数の研磨レートの前記複数の変化点を検出した後は、前記研磨ヘッドは前記ワークピースの膜厚プロファイルが目標膜厚プロファイルに到達するように前記ワークピースの前記複数の領域を研磨するプロファイル制

御動作を実行する、研磨方法が提供される。

[0009] 一態様では、前記研磨量制御動作は、前記ワークピースの研磨開始時の初期膜厚プロファイルに示される前記ワークピースの表面形状が維持されるように前記研磨ヘッドにより前記ワークピースの前記複数の領域を研磨することを含む。

5 一態様では、前記複数の研磨レートの前記複数の変化点は、第1検出条件および第2検出条件のうちの少なくとも一方が満たされたときに検出され、前記第1検出条件は、前記複数の研磨レートのそれぞれが基準レートに到達することであり、前記第2検出条件は、前記ワークピースの前記複数の領域のそれぞれの研磨量が基準研磨量に到達することである。

10 一態様では、前記ワークピースの前記複数の領域にそれぞれ対応する前記複数の研磨レートの前記複数の変化点のすべてが検出された後に、前記研磨量制御動作を前記プロファイル制御動作に切り替える。

一態様では、前記ワークピースは、第1膜と、前記第1膜の下に形成された第2膜を含む表面構造を有し、前記複数の変化点は、前記第1膜が除去された時点
15 である。

一態様では、前記第1膜の研磨レートは、前記第2膜の研磨レートとは異なる。

[0010] 一態様では、研磨パッドを支持する研磨テーブルと、ワークピースの表面を前記研磨パッドに押し付ける複数の圧力室を有する研磨ヘッドと、前記ワークピースの膜厚を測定する膜厚センサと、前記複数の圧力室内の圧力を調節する圧
20 力調節装置と、前記圧力調節装置の動作を制御することで前記研磨ヘッドの圧力制御を行う研磨制御部を備え、前記研磨制御部は、前記ワークピースの前記表面内の複数の領域の複数の研磨レートを算定し、前記複数の研磨レートの変化点を検出し、前記複数の研磨レートの前記複数の変化点を検出する前は、前記圧力調節装置に指令を与えて、前記研磨ヘッドに前記ワークピースの前記複数の
25 領域を同じ研磨量だけ研磨させる研磨量制御動作を実行させ、前記複数の研磨レートの前記複数の変化点を検出した後は、前記圧力調節装置に指令を与えて、前記ワークピースの膜厚プロファイルが目標膜厚プロファイルに到達するように前記ワークピースの前記複数の領域を研磨するプロファイル制御動作を前記研磨ヘッドに実行させるように構成されている、研磨装置が提供される。

[0011] 一態様では、前記研磨制御部は、前記ワークピースの初期膜厚の複数の測定点から前記ワークピースの研磨開始時の初期膜厚プロファイルを作成し、前記研磨量制御動作中に、前記圧力調節装置に指令を与えて、前記初期膜厚プロファイルに示される前記ワークピースの表面形状が維持されるように前記研磨ヘッド
5 により前記ワークピースの前記複数の領域を研磨させるように構成されている。

一態様では、前記研磨制御部は、第1検出条件および第2検出条件のうちの少なくとも一方が満たされたときに前記複数の研磨レートの前記複数の変化点を検出するように構成され、前記第1検出条件は、前記複数の研磨レートのそれぞれが基準レートに到達することであり、前記第2検出条件は、前記ワークピースの
10 前記複数の領域のそれぞれの研磨量が基準研磨量に到達することである。

一態様では、前記研磨制御部は、前記ワークピースの前記複数の領域にそれぞれ対応する前記複数の研磨レートの前記複数の変化点のすべてが検出された後に、前記研磨ヘッドの圧力制御を前記研磨量制御動作から前記プロファイル制御動作に切り替えるように構成されている。

一態様では、前記ワークピースは、第1膜と、前記第1膜の下に形成された第2膜を含む表面構造を有し、前記複数の変化点は、前記第1膜が除去された時点である。

一態様では、前記第1膜の研磨レートは、前記第2膜の研磨レートとは異なる。
[0012] 研磨レートの変化点が検出される前は、プロファイル制御動作は行われず、
20 研磨量制御動作が行われる。この研磨量制御動作は、ワークピースの複数の領域を同じ研磨量だけ研磨する定量研磨動作である。研磨量制御動作中はワークピースの表面形状が維持されるので、研磨ヘッドの複数の圧力室内の圧力変化は小さい。研磨レートの変化点は、ワークピースの露出面を構成する第1膜が除去され、第1膜とは異なる材料からなる第2膜が露出したことを意味している。第2膜の
25 研磨は、ワークピースの目標膜厚に到達するまで、プロファイル制御動作に基づいて実行される。したがって、プロファイル制御動作中は、第2膜の同じ材料が除去されるので、研磨レートは大きく変化しない。結果として、プロファイル制御動作、すなわち研磨ヘッドの圧力制御を安定させることができる。

図面の簡単な説明

[0013] 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、研磨ヘッドの一実施形態を示す断面図である。

5 図 3 は、研磨される前のワークピースの表面構造の一例を示す断面図である。

図 4 は、ワークピースの研磨方法の一実施形態を示すフローチャートである。

図 5 は、図 4 に示す実施形態に従って実行された研磨方法により研磨されたワークピースの膜厚プロファイルの変化を示すグラフである。

図 6 は、図 5 の実施形態に対応する研磨レートの変化を示すグラフである。

10 図 7 は、プロファイル制御動作のみを実行する研磨方法により研磨されたワークピースの膜厚プロファイルの変化を示すグラフである。

図 8 は、図 7 の比較例に対応する研磨レートの変化を示すグラフである。

図 9 は、複数の研磨レートの複数の変化点を検出する一実施形態を示すフローチャートである。

15

実施形態の説明

[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。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、研磨装置は、研磨パッド 2 を支持する研磨テーブル 3 と、ワークピース W を研磨パッド 2 に押し付ける研磨ヘッド 1 と、研磨テーブル 3 を回転させるテーブルモータ 6 と、研磨パッド 2 上にスラリーなどの研磨液を供給するための研磨液供給ノズル 5 と、研磨装置の動作を制御するための研磨制御部 9 を備えている。研磨パッド 2 の上面は、ワークピース W を研磨する研磨面 2 a を構成する。

20

[0015] 研磨ヘッド 1 はヘッドシャフト 10 に連結されており、ヘッドシャフト 10 は研磨ヘッド回転装置 15 に連結されている。研磨ヘッド回転装置 15 は、研磨ヘッド 1 をヘッドシャフト 10 とともに矢印で示す方向に回転させるように構成されている。研磨ヘッド回転装置 15 の構成は特に限定されないが、一例では、研磨ヘッド回転装置 15 は、電動機、ベルト、プーリなどを備えている。研磨テーブル 3 はテーブルモータ 6 に連結されており、テーブルモータ 6 は研磨テーブ

25

ル 3 および研磨パッド 2 を矢印で示す方向に回転させるように構成されている。
研磨ヘッド 1、研磨ヘッド回転装置 15、およびテーブルモータ 6 は研磨制御部
9 に接続されており、研磨ヘッド 1、研磨ヘッド回転装置 15、およびテーブル
モータ 6 の動作は、研磨制御部 9 によって制御される。

- 5 [0016] ワークピース W は次のようにして研磨される。テーブルモータ 6 および研
磨ヘッド回転装置 15 は、研磨テーブル 3 および研磨ヘッド 1 を図 1 の矢印で示
す方向に回転させながら、研磨液が研磨液供給ノズル 5 から研磨テーブル 3 上の
研磨パッド 2 の研磨面 2 a に供給される。ワークピース W は研磨ヘッド 1 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ワークピース W は
10 研磨ヘッド 1 によって研磨パッド 2 の研磨面 2 a に押し付けられる。ワークピー
ス 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。

- [0017] 研磨制御部 9 は、プログラムが格納された記憶装置 9 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 9 b を備えている。研磨制御部 9
15 は、少なくとも 1 台のコンピュータから構成される。記憶装置 9 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 (HD
D)、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 9 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、研磨制御部 9 の具体的構成はこ
20 れらの例に限定されない。

- [0018] 研磨装置は、研磨パッド 2 上のワークピース W の膜厚を測定する膜厚セン
サ 21 をさらに備えている。膜厚センサ 21 は、研磨テーブル 3 に固定されてお
り、研磨テーブル 3 とともに回転する。膜厚センサ 21 の位置は、研磨テーブル
3 および研磨パッド 2 が一回転するたびに研磨パッド 2 上のワークピース W の表
25 面を横切る位置である。膜厚センサ 21 は、ワークピース W の表面を横切るたび
に、ワークピース W の表面上の複数の測定点での膜厚を測定するように構成され
ている。膜厚センサ 21 の具体例としては、光学式膜厚センサ、渦電流式膜厚セ
ンサが挙げられるが、ワークピース W の膜厚を測定することができる限りにおい
て、膜厚センサ 21 のタイプは特に限定されない。膜厚センサ 21 は研磨制御部

9に電氣的に接続されており、膜厚の測定値は、膜厚センサ21から研磨制御部9に送信される。膜厚の測定値は、膜厚を直接に示す数値であってもよく、あるいは膜厚を間接的に示す指標または物理量であってもよい。

[0019]図2は、研磨ヘッド1の一実施形態を示す断面図である。研磨ヘッド1は、ヘッドシャフト10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、キャリア31の下方に配置されたリテーナリング32とを備えている。リテーナリング32は、弾性膜34の周囲に配置されている。

[0020]弾性膜34は、ワークピースWの上面に接触可能な接触面35aを有する接触部35と、接触部35に接続された内壁部36a、36b、36cおよび外壁部36dを備えている。接触部35は、ワークピース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。内壁部36a、36b、36cおよび外壁部36dは、同心状に配列された無端状の壁である。外壁部36dは内壁部36a、36b、36cの外側に位置しており、内壁部36a、36b、36cを囲むように配置されている。

[0021]弾性膜34とキャリア31との間には、複数の（本実施形態では、4つの）圧力室C1、C2、C3、C4が設けられている。圧力室C1、C2、C3、C4は、弾性膜34の接触部35、内壁部36a、36b、36c、および外壁部36dによって形成されている。本実施形態では、弾性膜34は、4つの圧力室C1～C4を形成するが、一実施形態では、弾性膜34は3つの圧力室を形成してもよく、あるいは5つ以上の圧力室を形成してもよい。

[0022]キャリア31とリテーナリング32との間には、環状のメンブレン（ローリングダイヤフラム）37が配置されており、このメンブレン37の内部には圧力室C5が形成されている。圧力室C1、C2、C3、C4、C5にはそれぞれ気体移送ラインF1、F2、F3、F4、F5が連結されている。気体移送ラインF1、F2、F3、F4、F5は、ヘッドシャフト10に取り付けられたロータリージョイント40を経由して延びている。

[0023]気体移送ラインF1、F2、F3、F4、F5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気体供給源（図示せず）

に連結されている。圧縮空気等の圧縮気体は、気体移送ラインF 1, F 2, F 3, F 4, F 5を通じて圧力室C 1, C 2, C 3, C 4, C 5にそれぞれ供給されるように構成されている。

[0024] 気体移送ラインF 1, F 2, F 3, F 4, F 5には、圧力調節装置である圧力レギュレータR a 1, R a 2, R a 3, R a 4, R a 5がそれぞれ取り付けられている。圧縮気体供給源からの圧縮気体は、圧力レギュレータR a 1～R a 5および気体移送ラインF 1～F 5を通して圧力室C 1～C 5内にそれぞれ独立に供給される。圧力レギュレータR a 1～R a 5は、圧力室C 1～C 5内の圧縮気体の圧力を調節するように構成されている。

[0025] 圧力調節装置である圧力レギュレータR a 1～R a 5は、研磨制御部9に接続されている。圧力レギュレータR a 1～R a 5の動作は、研磨制御部9によって制御される。研磨制御部9は、圧力室C 1～C 5の圧力指令値を圧力レギュレータR a 1～R a 5に送り、圧力レギュレータR a 1～R a 5は、圧力室C 1～C 5内の圧力が対応する圧力指令値に維持されるように動作する。

[0026] 圧力レギュレータR a 1～R a 5は、圧力室C 1～C 5内の圧力を互いに独立して変化させることが可能である。したがって、研磨ヘッド1は、ワークピース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、およびエッジ部に対する研磨圧力、およびリテーナリング32の研磨パッド2の研磨面2aに対する押圧力を独立に調節することができる。例えば、研磨ヘッド1は、ワークピースWの表面の異なる領域を異なる研磨圧力で研磨パッド2の研磨面2aに対して押し付けることができる。したがって、研磨ヘッド1は、ワークピースWの膜厚プロファイルを制御して、目標膜厚プロファイルを達成することができる。

[0027] 図3は、研磨される前のワークピースWの表面構造の一例を示す断面図である。図3に示すように、研磨される前のワークピースWは、第1膜101と、第1膜101の下に形成された第2膜102を含む表面構造を有している。ワークピースWの例としては、半導体デバイスの製造に使用されるウェーハ、基板、配線基板、角基板などが挙げられる。本実施形態では、第2膜102は金属膜であり、第1膜101は第2膜102を覆う自然酸化膜である。自然酸化膜は、金

属膜（例えば銅膜）が空気中の酸素と反応することで形成される。第1膜101は、ワークピースWの表面全体に亘って均一な厚さを有している。

[0028] ただし、第2膜102は金属膜に限られない。他の例では、第2膜102は絶縁膜であってもよい。特に第1膜101が低誘電率膜(low-k膜)の場合、第2膜102の絶縁膜(例えば SiO_2)に比べ、第1膜101の研磨レートが低い場合がある。

さらに他の例では、第1膜101は第1金属からなる金属膜であり、第2膜102は第1金属とは異なる第2金属からなる金属膜である。

さらに他の例では、第1膜101の研磨レートが第2膜102の研磨レートよりも高い場合もある。

上述したいずれの例でも、第1膜101の研磨レート（除去レートともいう）は、第2膜102の研磨レートとは異なる。ここで、研磨レートは、単位時間あたりに研磨によって減少される膜厚である。

[0029] 図1に示す膜厚センサ21は、ワークピースWの研磨中に、ワークピースWの表面上の複数の測定点での膜厚を測定し、得られた膜厚の複数の測定値を研磨制御部9に送る。研磨制御部9は、膜厚の複数の測定値から、ワークピースWの現在の膜厚プロファイルを作成するように構成されている。膜厚プロファイルは、ワークピースWの半径方向における膜厚の分布である。

[0030] 次に、上述した研磨装置を用いたワークピースWの研磨方法の一実施形態について説明する。図4は、ワークピースWの研磨方法の一実施形態を示すフローチャートである。

ステップ101では、研磨ヘッド1の複数の圧力室C1, C2, C3, C4によりワークピースWの表面を研磨パッド2に押し付けることで、ワークピースWの研磨を開始する。ワークピースWの研磨中、ワークピースWの膜厚は膜厚センサ21により測定され、ワークピースWの膜厚の測定値は、研磨制御部9に送られる。

[0031] ステップ102では、研磨制御部9は、ワークピースWの研磨開始時にワークピースWの初期膜厚プロファイルを作成する。より具体的には、研磨制御部9は、ワークピースWの研磨開始時の初期膜厚の複数の測定点からワークピース

Wの初期膜厚プロファイルを作成する。ワークピースWの初期膜厚は、ワークピースWの研磨開始時点での膜厚である。したがって、初期膜厚プロファイルは、ワークピースWの研磨開始時点での膜厚プロファイルである。ワークピースWの研磨開始後は、研磨制御部9は、同様にして、ワークピースWの膜厚の複数の測定点から膜厚プロファイルを周期的に作成する。

[0032] ステップ103では、研磨ヘッド1は研磨量制御動作を実行する。この研磨量制御動作は、ワークピースWの複数の領域を同じ研磨量だけ研磨する定量研磨動作である。すなわち、研磨制御部9は、圧力調節装置である圧力レギュレータRa1～Ra4（図2参照）に指令を与えて、研磨ヘッド1にワークピースWの複数の領域を同じ研磨量だけ研磨させる。ワークピースWの複数の領域は、研磨ヘッド1の複数の圧力室C1，C2，C3，C4（図2参照）に対応する領域である。すなわち、研磨ヘッド1は、複数の圧力室C1，C2，C3，C4内の圧力をワークピースWの複数の領域に加えて、ワークピースWの表面を研磨する。

[0033] 研磨量制御動作は、初期膜厚プロファイルに示されるワークピースWの表面形状が維持されるように研磨ヘッド1によりワークピースWの複数の領域を研磨することを含む。すなわち、研磨量制御動作では、研磨制御部9は、圧力調節装置である圧力レギュレータRa1～Ra4（図2参照）に指令を与えて、初期膜厚プロファイルに示されるワークピースWの表面形状が維持されるように研磨ヘッド1によりワークピースWの複数の領域を研磨させる。具体的には、圧力レギュレータRa1～Ra4は、初期膜厚プロファイルに示されるワークピースWの表面形状が維持されるように、研磨ヘッド1の複数の圧力室C1，C2，C3，C4内の圧力を調節する。したがって、研磨量制御動作中は、ワークピースWの膜厚の全体は減少しながら、ワークピースWの表面形状は一定に維持される。研磨量制御動作中はワークピースWの表面形状が維持されるので、研磨ヘッド1の複数の圧力室C1，C2，C3，C4内の圧力変化は小さい。

[0034] 研磨量制御動作が開始されると同時に、研磨制御部9は、ワークピースWの表面内の上記複数の領域の複数の研磨レートを算定する。研磨量制御動作中は、ワークピースWの上記複数の領域は同じ研磨量だけ研磨されるので、ワークピースWの複数の領域の複数の研磨レートは一定である。

[0035] ステップ 104 では、研磨制御部 9 は、複数の研磨レートの複数の変化点を検出する。各研磨レートの変化点を検出する方法については後述するが、一実施形態では、ワークピース W の各領域の研磨レートが基準レートに到達した時点がその研磨レートの変化点である。研磨レートは、ワークピース W の表面構造が
5 変化したときに大きく変化する。図 3 に示す例では、研磨レートの変化点は、ワークピース W の露出面を構成する第 1 膜 101 が除去され、第 1 膜 101 とは異なる材料からなる第 2 膜 102 が露出した点である。

[0036] ステップ 105 では、複数の研磨レートの複数の変化点を検出した後は、プロファイル制御動作を実行する。プロファイル制御動作は、ワークピース W の
10 膜厚プロファイルが目標膜厚プロファイルに到達するようにワークピース W の複数の領域を研磨ヘッド 1 により研磨するフィードバック研磨動作である。研磨制御部 9 は、プロファイル制御動作中、膜厚センサ 21 から送られる膜厚の複数の測定値から膜厚プロファイル（すなわち、現在の膜厚プロファイル）を作成する。

[0037] 研磨制御部 9 は、現在の膜厚プロファイルと目標膜厚プロファイルとの差
15 を最小とするための複数の圧力室 C1, C2, C3, C4 内の圧力を決定し、決定された圧力の指令値を圧力レギュレータ Ra1 ~ Ra4 に送信することで、圧力レギュレータ Ra1 ~ Ra4 は圧力の指令値に従って研磨ヘッド 1 の複数の圧力室 C1, C2, C3, C4 内の圧力を調節する。このような研磨ヘッド 1 の圧力制御により、ワークピース W の膜厚プロファイルは、目標膜厚プロファイルに
20 近づいていく。目標膜厚プロファイルは、研磨制御部 9 の記憶装置 9a 内に予め格納されている。プロファイル制御動作の一実施形態には、公知の技術、例えば日本国特開 2015-168015 号公報に開示されている技術が適用できる。

[0038] ステップ 106 では、ワークピース W の目標膜厚に到達したときに、プロファイル制御動作が終了される。ワークピース W の研磨は、目標膜厚に到達するか、あるいは第 2 膜 102 が完全に除去されたときに終了される。
25

[0039] 研磨レートの変化点の検出は、ワークピース W の露出面を構成する第 1 膜 101 が除去され、第 1 膜 101 とは異なる材料からなる第 2 膜 102 の研磨が開始されたことを意味している。第 2 膜 102 の研磨は、ワークピース W の目標膜厚に到達するまで、プロファイル制御動作に基づいて実行される。プロファイ

ル制御動作中は、第2膜102の同じ材料が除去されるので、研磨レートは大きく変化しない。結果として、プロファイル制御動作、すなわち研磨ヘッド1の圧力制御を安定させることができる。

5 [0040] 第1膜101の一部がワークピースWに残っている状態で、研磨ヘッド1の圧力制御が研磨量制御動作からプロファイル制御動作に切り替わると、第1膜101の残部が除去されて第2膜102が露出したときに、プロファイル制御動作は不安定となりやすい。そこで、一実施形態では、ワークピースWの複数の領域にそれぞれ対応する複数の研磨レートの複数の変化点のすべてが検出された後に、研磨制御部9は、研磨ヘッド1の圧力制御を研磨量制御動作からプロファイル制御動作に切り替えるように構成されている。このような動作により、第1膜101の全体がワークピースWから除去された後に、プロファイル制御動作が開始されるので、プロファイル制御動作の安定が保障される。

15 [0041] 図5は、図4に示す実施形態に従って実行された研磨方法により研磨されたワークピースWの膜厚プロファイルの変化を示すグラフである。図5において、縦軸はワークピースWの膜厚を表し、横軸はワークピースWの半径方向における位置を表している。図5に示す複数の曲線は、研磨時間とともに変化する膜厚プロファイルである。図5に示すように、ワークピースWが研磨されるにつれて、膜厚プロファイルは初期膜厚プロファイルから目標膜厚プロファイルまで変化する。

20 [0042] ワークピースWの研磨が開始されてから研磨レートの変化点を検出されるまでは、研磨量制御動作が実行される。図5から分かるように、研磨量制御動作中は、ワークピースWの膜厚は減少しているが、膜厚プロファイルの形状、すなわちワークピースWの表面形状は変わらない。

25 [0043] ワークピースWの複数の領域の複数の研磨レートがその変化点に達すると、研磨ヘッド1の圧力制御は、研磨量制御動作からプロファイル制御動作に切り替えられる。そして、目標膜厚に到達するまで、プロファイル制御動作が継続される。

[0044] 図6は、図5の実施形態に対応する研磨レートの変化を示すグラフである。図6において、縦軸はワークピースWの膜厚を表し、横軸はワークピースWの研

磨時間を表している。図 6 に示す記号 R L は、圧力室 C 1 ～ C 4 に対応するワークピース W の複数の領域の研磨レートの変化点が検出された時点の範囲を表している。すなわち、複数の研磨レートの変化点は、範囲 R L 内に収まっている。本実施形態では、ワークピース W の複数の領域の複数の研磨レートの複数の変化点
5 のすべてが検出された後に、研磨ヘッド 1 の圧力制御は研磨量制御動作からプロファイル制御動作に切り替えられる。図 6 に示すように、プロファイル制御動作中の複数の研磨レートは、ハンチングすることなく、ほぼ一定に維持される。

[0045] 複数の研磨レートの複数の変化点が検出される前の研磨レートは、図 3 に示す第 1 膜 1 0 1 の研磨レートであり、複数の研磨レートの複数の変化点が検出
10 された後の研磨レートは、図 3 に示す第 2 膜 1 0 2 の研磨レートである。図 6 に示す実施形態では、第 1 膜 1 0 1 の研磨レートは、第 2 膜 1 0 2 の研磨レートよりも低い（すなわち、第 1 膜 1 0 1 の研磨レートの傾き角度は、第 2 膜 1 0 2 の研磨レートの傾き角度よりも小さい）。

[0046] 図 7 は、比較例を示すグラフであり、より具体的には、プロファイル制御
15 動作のみを実行する研磨方法により研磨されたワークピース W の膜厚プロファイルの変化を示すグラフである。この比較例では、ワークピース W の研磨開始から研磨終点まで、プロファイル制御動作が行われ、研磨量制御動作は行われない。図 7 に示すように、ワークピース W の研磨が開始されてから研磨レートの変化点が検出されるまで、ワークピース W の複数の領域は不均一に研磨される。これは、
20 初期膜厚プロファイルを目標膜厚プロファイルに近づけるために、ある圧力室内の圧力が大きく変化するためである。

[0047] 図 8 は、図 7 の比較例に対応する研磨レートの変化を示すグラフである。図 8 に示すように、圧力室 C 1 ～ C 4 に対応するワークピース W の複数の領域の研磨レートの変化点が検出された時点は、範囲 R L 内に収まっているが、図 6 に
25 示す範囲 R L に比べて図 8 に示す範囲 R L が大きいことが分かる。これは複数の研磨レートが収束するのにより長い時間がかかることを示している。さらに、ある領域の研磨レートは、その変化点後にハンチング（変動）している。結果として、目標膜厚に到達するまで、研磨ヘッド 1 の圧力制御が安定しない。

[0048] 図 6 と図 8 との対比から分かるように、研磨レートの変化点の前に研磨量

制御動作を実行する本実施形態は、研磨レートの変化点の後のプロファイル制御動作を安定させることができる。

[0049] 図 9 は、複数の研磨レートの複数の変化点を検出する図 4 のステップ 1 0 4 の一実施形態を示すフローチャートである。

5 ステップ 2 0 1 では、研磨制御部 9 は、ワークピース W の研磨開始直後に、ワークピース W の初期研磨レートを算定する。研磨レートは、単位時間あたりのワークピース W の膜厚の減少量であるので、研磨制御部 9 は、膜厚センサ 2 1 によって測定されたワークピース W の膜厚から初期研磨レートを算定することができる。

10 [0050] ステップ 2 0 2 では、研磨制御部 9 は、ワークピース W の上記複数の領域のそれぞれの現在の研磨レートおよび現在の研磨量を算定することで、上記複数の領域に対応する複数の現在の研磨レートおよび複数の現在の研磨量を取得する。ワークピース W の各領域の研磨量は、ワークピース W の研磨開始時点での膜厚と、現時点での膜厚との差である。

15 ステップ 2 0 3 では、研磨制御部 9 は、上記複数の領域のそれぞれの現在の研磨レートが基準レートに到達したか否かを判定する。

[0051] 一実施形態では、基準レートは、ステップ 2 0 1 で算定された初期研磨レートに基づいて決定された研磨レートである。例えば、基準レートは、初期研磨レートに基準比率 (reference ratio) を乗算することで得られる。基準比率は、
20 変化点前の研磨レートに対する変化点後の研磨レートの比率の基準値である。

[0052] 他の実施形態では、基準レートは、同じ表面構造を有する参照ワークピースの研磨結果から得られた研磨レートであってもよい。より具体的には、基準レートは、参照ワークピースの研磨レートの変化点が検出された後の参照ワークピースの研磨レートである。

25 [0053] 現在の研磨レートが基準レートに到達していないとき (ステップ 2 0 3 の NO)、処理フローはステップ 2 0 2 に戻る。

現在の研磨レートが基準レートに到達したとき (ステップ 2 0 3 の YES)、研磨制御部 9 は、ステップ 2 0 4 にて、ワークピース W の上記複数の領域のそれぞれの現在の研磨量が基準研磨量に到達したか否かを判定する。一実施形態では、

基準研磨量は、上記参照ワークピースの研磨開始から研磨レートの変化点までの膜厚の減少量（すなわち研磨量）である。

[0054] 現在の研磨量が基準研磨量に到達していないとき（ステップ204のN O）、処理フローはステップ202に戻る。

- 5 現在の研磨量が基準研磨量に到達したとき（ステップ204のY E S）、研磨制御部9は、ステップ205にて、ワークピースWの複数の領域の複数の研磨レートがそれらの変化点に到達したと判定する。このようにして、研磨制御部9は、複数の研磨レートの変化点を検出することができる。

- 10 [0055] 上述したステップ203は、複数の研磨レートの複数の変化点を検出するための第1検出条件であり、上述したステップ204は、複数の研磨レートの複数の変化点を検出するための第2検出条件である。図9に示す実施形態では、複数の研磨レートの複数の変化点は、第1検出条件および第2検出条件の両方が満たされたときに検出される。

- 15 [0056] 他の実施形態では、上述したステップ203およびステップ204のうちのいずれか一方を省略してもよい。さらに他の実施形態では、上述したステップ203はステップ204の後に実行されてもよい。

- 20 すなわち、複数の研磨レートの複数の変化点は、第1検出条件および第2検出条件のうちの少なくとも一方が満たされたときに検出される。第1検出条件は、複数の研磨レートのそれぞれが基準レートに到達することであり、第2検出条件は、ワークピースWの複数の領域のそれぞれの研磨量が基準研磨量に到達することである。

- 25 [0057] 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. ワークピースの膜厚を測定しながら、研磨ヘッドの複数の圧力室により前記ワークピースの表面を研磨パッドに押し付けることで、前記ワークピースを研
5 磨し、

前記ワークピースの研磨中に、前記ワークピースの前記表面内の複数の領域の複数の研磨レートを算定し、

前記複数の研磨レートの複数の変化点を検出し、

前記複数の研磨レートの前記複数の変化点を検出する前は、前記研磨ヘッドは
10 前記ワークピースの前記複数の領域を同じ研磨量だけ研磨する研磨量制御動作を実行し、

前記複数の研磨レートの前記複数の変化点を検出した後は、前記研磨ヘッドは前記ワークピースの膜厚プロファイルが目標膜厚プロファイルに到達するように前記ワークピースの前記複数の領域を研磨するプロファイル制御動作を実行する、
15 研磨方法。

2. 前記研磨量制御動作は、前記ワークピースの研磨開始時の初期膜厚プロファイルに示される前記ワークピースの表面形状が維持されるように前記研磨ヘッドにより前記ワークピースの前記複数の領域を研磨することを含む、請求項 1 に
20 記載の研磨方法。

3. 前記複数の研磨レートの前記複数の変化点は、第 1 検出条件および第 2 検出条件のうちの少なくとも一方が満たされたときに検出され、

前記第 1 検出条件は、前記複数の研磨レートのそれぞれが基準レートに到達す
25 ることであり、

前記第 2 検出条件は、前記ワークピースの前記複数の領域のそれぞれの研磨量が基準研磨量に到達することである、請求項 1 に記載の研磨方法。

4. 前記ワークピースの前記複数の領域にそれぞれ対応する前記複数の研磨レ

ートの前記複数の変化点のすべてが検出された後に、前記研磨量制御動作を前記プロファイル制御動作に切り替える、請求項 1 に記載の研磨方法。

5. 前記ワークピースは、第 1 膜と、前記第 1 膜の下に形成された第 2 膜を含む表面構造を有し、

前記複数の変化点は、前記第 1 膜が除去された時点である、請求項 1 に記載の研磨方法。

6. 前記第 1 膜の研磨レートは、前記第 2 膜の研磨レートとは異なる、請求項 10 5 に記載の研磨方法。

7. 研磨パッドを支持する研磨テーブルと、

ワークピースの表面を前記研磨パッドに押し付ける複数の圧力室を有する研磨ヘッドと、

15 前記ワークピースの膜厚を測定する膜厚センサと、

前記複数の圧力室内の圧力を調節する圧力調節装置と、

前記圧力調節装置の動作を制御することで前記研磨ヘッドの圧力制御を行う研磨制御部を備え、

前記研磨制御部は、

20 前記ワークピースの前記表面内の複数の領域の複数の研磨レートを算定し、

前記複数の研磨レートの複数の変化点を検出し、

前記複数の研磨レートの前記複数の変化点を検出する前は、前記圧力調節装置に指令を与えて、前記研磨ヘッドに前記ワークピースの前記複数の領域を同じ研磨量だけ研磨させる研磨量制御動作を実行させ、

25 前記複数の研磨レートの前記複数の変化点を検出した後は、前記圧力調節装置に指令を与えて、前記ワークピースの膜厚プロファイルが目標膜厚プロファイルに到達するように前記ワークピースの前記複数の領域を研磨するプロファイル制御動作を前記研磨ヘッドに実行させるように構成されている、研磨装置。

8. 前記研磨制御部は、

前記ワークピースの初期膜厚の複数の測定点から前記ワークピースの研磨開始時の初期膜厚プロファイルを作成し、

5 前記研磨量制御動作中に、前記圧力調節装置に指令を与えて、前記初期膜厚プロファイルに示される前記ワークピースの表面形状が維持されるように前記研磨ヘッドにより前記ワークピースの前記複数の領域を研磨させるように構成されている、請求項7に記載の研磨装置。

9. 前記研磨制御部は、第1検出条件および第2検出条件のうちの少なくとも一方が満たされたときに前記複数の研磨レートの前記複数の変化点を検出するように構成され、

前記第1検出条件は、前記複数の研磨レートのそれぞれが基準レートに到達することであり、

15 前記第2検出条件は、前記ワークピースの前記複数の領域のそれぞれの研磨量が基準研磨量に到達することである、請求項7に記載の研磨装置。

10. 前記研磨制御部は、前記ワークピースの前記複数の領域にそれぞれ対応する前記複数の研磨レートの前記複数の変化点のすべてが検出された後に、前記研磨ヘッドの圧力制御を前記研磨量制御動作から前記プロファイル制御動作に切り替えるように構成されている、請求項7に記載の研磨装置。

11. 前記ワークピースは、第1膜と、前記第1膜の下に形成された第2膜を含む表面構造を有し、

25 前記複数の変化点は、前記第1膜が除去された時点である、請求項7に記載の研磨装置。

12. 前記第1膜の研磨レートは、前記第2膜の研磨レートとは異なる、請求項11に記載の研磨装置。