研磨装置および研磨方法

発明の背景

発明の技術分野

本発明は、ウエハなどの基板の研磨装置および研磨方法に関し、特に、基板を研磨して所望の膜厚プロファイルを得るための研磨装置および研磨方法に関する。また、本発明は、そのような研磨装置を用いて基板を研磨する研磨方法に関する。

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化し、多層配線の層も増加している。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と、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（スラリー）を研磨パッドの研磨面上に供給しつつウエハなどの基板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ブルと、基板を保持するための研磨ヘッド（基板保持装置）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。

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。

【先行技術文献】

【特許文献】

日本国特開２０１５－１９３０６８号公報

近年、半導体デバイスやＣＭＰ工程に応じて変わりうる種々の初期膜厚プロファイルへの対応、および歩留まり向上などの理由から、基板の膜厚プロファイルをより精密に制御する（すなわち、基板の表面の平坦度を表す面内均一性を向上させる）ことへの要請が高まりつつある。

さらに、目標膜厚に対する許容範囲も狭くなってきており、研磨中に膜厚センサを用いて基板の膜厚指標値を取得し、該膜厚指標値に基づいて、基板の研磨を終了させる従来の研磨方法では、膜厚を要求される許容範囲内に収めることが困難になってきている。例えば、研磨テーブルが１周する間の研磨量が許容範囲よりも大きいことがある。この場合、研磨テーブルに配置された膜厚センサから得られる膜厚指標値に基づいて研磨の終点を決定すると、研磨終了後の膜厚が目標膜厚に対する許容範囲を超えてしまうことがある。

さらに、研磨対象である基板間で、研磨前の膜厚プロファイルが異なっていたり、研磨装置間で、研磨条件（例えば、研磨パッドの研磨面の状態）が異なっていたりする。これらの複合要因に起因しても、膜厚プロファイルを精密に制御して、要求される許容範囲に膜厚プロファイルを収めることが困難になってきている。

発明の要旨

そこで、本発明は、所望の膜厚プロファイルを得ることが可能な研磨装置を提供

することを目的とする。また、本発明は、そのような研磨装置を用いて基板を研磨する研磨方法を提供することを目的とする。

一態様では、研磨パッドを支持するための研磨テーブルと、基板を前記研磨パッドに押し付けるための基板保持装置と、を含む少なくとも１つの研磨ユニットと、前記基板の膜厚プロファイルを測定する膜厚測定器と、前記研磨ユニット、および前記膜厚測定器の動作を少なくとも制御する制御装置と、を備え、前記基板保持装置は、前記基板を押圧するための複数の圧力室を形成する弾性膜と、前記弾性膜が取り付けられるヘッド本体と、前記基板を囲むように配置されたリテーナリングと、を備えており、前記制御装置は、各圧力室内の圧力の変化に伴う、前記基板の複数のモニタ領域における相互間の研磨量の変化を考慮して作成された応答モデルを予め記憶しており、前記制御装置は、前記膜厚測定器を用いて、前記基板の研磨前の膜厚プロファイルを取得し、前記研磨前の基板の膜厚プロファイルと前記基板の目標膜厚との差分である目標研磨量と、前記応答モデルと、に基づいて作成された、少なくとも前記複数の圧力室に供給される圧縮流体の圧力と、研磨時間と、を含む最適研磨レシピで前記基板を研磨し、次の基板の目標研磨量と、前記最適研磨レシピおよび前記基板の研磨前後の膜厚プロファイルを用いて補正した応答モデルと、に基づいて作成した新たな最適研磨レシピで次の基板を研磨する、研磨装置が提供される。

一態様では、前記最適研磨レシピが、少なくとも前記目標研磨量と、前記応答モデルを用いて算出した予測研磨量の差分の項を含む目的関数を最小化する最適化計算を用いて作成される。

一態様では、前記目的関数が、さらに、前記最適研磨レシピの圧縮流体圧力と予め設定された基準圧縮流体圧力との差分の項、および／または前記最適研磨レシピの圧縮流体圧力と先に研磨されたウエハの最適研磨レシピの圧縮流体圧力との差分の項を含む。

一態様では、前記最適化計算が、二次計画法である。

一態様では、前記複数のモニタ領域が、前記複数の圧力室の数よりも多い。

一態様では、前記応答モデルが、さらに前記研磨パッドへの前記リテーナリング

の押圧力の変化に伴う前記基板の複数のモニタ領域における相互間の研磨量の変化を考慮して作成された応答モデルであり、前記最適研磨レシピが、更に前記リテーナリングの押圧力を含む。

一態様では、前記膜厚測定器は、前記複数のモニタ領域のそれぞれに設定された複数の測定点で膜厚を測定可能に構成されている。

一態様では、前記応答モデルは、前記複数のモニタ領域のそれぞれにおける単位研磨圧力あたりの研磨レートの増加量を表す応答係数を含む。

一態様では、前記リテーナリングの一部に局所荷重を加える複数の局所荷重付与装置をさらに備え、前記応答モデルは、前記局所荷重の変化に伴う、前記複数のモニタ領域の相互間における研磨量の変化をさらに考慮して作成される。

一態様では、研磨パッドを支持するための研磨テーブルと、基板を前記研磨パッドに押し付けるための基板保持装置と、を含む少なくとも１つの研磨ユニットと、前記基板の膜厚プロファイルを測定する膜厚測定器と、前記研磨ユニット、および前記膜厚測定器の動作を少なくとも制御する制御装置と、を備え、前記基板保持装置は、前記基板を押圧するための複数の圧力室を形成する弾性膜と、前記弾性膜が取り付けられるヘッド本体と、前記基板を囲むように配置されたリテーナリングと、を備えており、前記制御装置は、複数の基板の研磨前の膜厚プロファイルと、前記複数の基板のそれぞれを研磨した時の応答モデルであって、各圧力室内の圧力の変化に伴う、前記基板の複数のモニタ領域における相互間の研磨量の変化を考慮して作成された応答モデルと、を予め蓄積し、前記複数の基板の研磨前の膜厚プロファイルを、互いに似ている膜厚プロファイルが属する複数のグループに予め分類しており、前記制御装置は、前記膜厚測定器を用いて、研磨前の前記基板の膜厚プロファイルを取得し、前記研磨前の基板の膜厚プロファイルが属するグループを前記複数のグループから決定し、前記研磨前の基板の膜厚プロファイルと前記基板の目標膜厚との差分である目標研磨量と、前記決定されたグループに関連付けられた応答モデルと、に基づいて作成された、少なくとも前記複数の圧力室に供給される圧縮流体の圧力と、研磨時間と、を含む最適研磨レシピで前記基板を研磨し、次の基板の目標研磨量と、前記最適研磨レシピおよび前記基板の研磨前後の膜厚プロファイ

ルを用いて補正した応答モデルと、に基づいて作成した新たな最適研磨レシピで次の基板を研磨する、研磨装置が提供される。

一態様では、研磨パッドを支持するための研磨テーブルと、基板を前記研磨パッドに押し付けるための基板保持装置と、を含む複数の研磨ユニットと、前記研磨ユニットの動作を少なくとも制御する制御装置と、を備え、前記基板保持装置は、前記基板を押圧するための複数の圧力室を形成する弾性膜と、前記弾性膜が取り付けられるヘッド本体と、前記基板を囲むように配置されたリテーナリングと、を備えており、前記基板は、第１研磨、および前記第１研磨が行われた研磨ユニットとは別の研磨ユニットで行われる第２研磨を含む複数の研磨工程によって研磨される基板であり、前記第１研磨を行う研磨ユニットは、前記基板の膜厚プロファイルを測定可能な膜厚センサを有しており、前記制御装置は、各圧力室内の圧力の変化に伴う、前記基板の複数のモニタ領域における相互間の研磨量の変化を考慮して作成された第２研磨応答モデルを予め記憶しており、前記制御装置は、前記第１研磨を行った後で、前記膜厚センサを用いて、前記第２研磨前の前記基板の膜厚プロファイルを取得し、前記第２研磨前の前記基板の膜厚プロファイルと前記基板の目標膜厚との差分である目標研磨量と、前記第２研磨応答モデルと、に基づいて作成された、少なくとも前記複数の圧力室に供給される圧縮流体の圧力と、研磨時間と、を含む第２研磨最適レシピで前記基板を第２研磨し、次の基板の目標研磨量と、前記第２研磨最適レシピおよび前記基板の前記第２研磨前後の膜厚プロファイルを用いて補正した前記第２研磨応答モデルと、に基づいて作成した新たな第２研磨最適レシピで次の基板を第２研磨する、研磨装置が提供される。

一態様では、研磨パッドを支持するための研磨テーブルと、基板を前記研磨パッドに押し付けるための基板保持装置と、を含む複数の研磨ユニットと、前記基板の膜厚プロファイルを測定する膜厚測定器と、前記研磨ユニット、および前記膜厚測定器の動作を少なくとも制御する制御装置と、を備え、前記基板保持装置は、前記基板を押圧するための複数の圧力室を形成する弾性膜と、前記弾性膜が取り付けられるヘッド本体と、前記基板を囲むように配置されたリテーナリングと、を備えており、前記基板は、第１研磨、および前記第１研磨が行われた研磨ユニットとは別

の研磨ユニットで行われる第２研磨を含む複数の研磨工程によって研磨される基板であり、前記第２研磨を行う研磨ユニットは、前記基板の膜厚プロファイルを測定可能な膜厚センサを有しており、前記制御装置は、各圧力室内の圧力の変化に伴う、前記基板の複数のモニタ領域における相互間の研磨量の変化を考慮して作成された第１研磨応答モデルを予め記憶しており、前記制御装置は、前記膜厚測定器を用いて、前記基板の前記第１研磨前の膜厚プロファイルを取得し、前記第１研磨前の基板の膜厚プロファイルと前記基板の目標膜厚との差分である目標研磨量と、前記第１研磨応答モデルと、に基づいて作成された、少なくとも前記複数の圧力室に供給される圧縮流体の圧力と、研磨時間と、を含む第１研磨最適レシピで前記基板を第１研磨し、前記第１研磨を行った後で、前記膜厚センサを有する研磨ユニットに前記基板を搬送して、前記膜厚センサを用いて、前記第１研磨後の前記基板の膜厚プロファイルを取得し、次の基板の目標研磨量と、前記第１研磨最適レシピおよび前記基板の前記第１研磨前後の膜厚プロファイルを用いて補正した前記第１研磨応答モデルと、に基づいて作成した新たな第１研磨最適レシピで次の基板を第１研磨する、研磨装置が提供される。

一態様では、研磨パッドを支持するための研磨テーブルと、基板を前記研磨パッドに押し付けるための基板保持装置と、前記基板の膜厚プロファイルを測定可能な膜厚センサと、を含む複数の研磨ユニットと、前記研磨ユニットの動作を少なくとも制御する制御装置と、を備え、前記基板保持装置は、前記基板を押圧するための複数の圧力室を形成する弾性膜と、前記弾性膜が取り付けられるヘッド本体と、前記基板を囲むように配置されたリテーナリングと、を備えており、前記基板は、第１研磨、および前記第１研磨が行われた研磨ユニットとは別の研磨ユニットで行われる第２研磨を含む複数の研磨工程によって研磨される基板であり、前記制御装置は、各圧力室内の圧力の変化に伴う、前記基板の複数のモニタ領域における相互間の研磨量の変化を考慮して作成された第１研磨応答モデルおよび第２研磨応答モデルを予め記憶しており、前記制御装置は、前記複数の研磨ユニットのうちのいずれかに前記基板を搬送して、前記膜厚センサを用いて、前記基板の前記第１研磨前の膜厚プロファイルを取得し、前記第１研磨前の基板の膜厚プロファイルと前記基板

の目標膜厚との差分である目標研磨量と、前記第１研磨応答モデルと、に基づいて作成された、少なくとも前記複数の圧力室に供給される圧縮流体の圧力と、研磨時間と、を含む第１研磨最適レシピで前記基板を第１研磨し、前記膜厚センサを用いて、前記第２研磨前の前記基板の膜厚プロファイルを取得し、前記第２研磨前の前記基板の膜厚プロファイルと前記基板の目標膜厚との差分である目標研磨量と、前記第２研磨応答モデルと、に基づいて作成された、少なくとも前記複数の圧力室に供給される圧縮流体の圧力と、研磨時間と、を含む第２研磨最適レシピで前記基板を第２研磨し、前記膜厚センサを用いて、前記第２研磨後の前記基板の膜厚プロファイルを取得し、次の基板の目標研磨量と、前記第１研磨最適レシピおよび前記基板の前記第１研磨前後の膜厚プロファイルを用いて補正した前記第１研磨応答モデルと、に基づいて作成した新たな第１研磨最適レシピで次の基板を第１研磨し、次の基板の目標研磨量と、前記第２研磨最適レシピおよび前記基板の前記第２研磨前後の膜厚プロファイルを用いて補正した前記第２研磨応答モデルと、に基づいて作成した新たな第２研磨最適レシピで次の基板を第２研磨する、研磨装置が提供される。

一態様では、基板を押圧するための複数の圧力室を形成する弾性膜と、前記弾性膜が取り付けられるヘッド本体と、前記基板を囲むように配置されたリテーナリングと、を有する基板保持装置に保持された前記基板を、研磨テーブルに支持された研磨パッドに押し付けて研磨する研磨方法であって、膜厚測定器を用いて、前記基板の研磨前の膜厚プロファイルを取得し、前記研磨前の基板の膜厚プロファイルと前記基板の目標膜厚との差分である目標研磨量と、応答モデルと、に基づいて作成された、少なくとも前記複数の圧力室に供給される圧縮流体の圧力と、研磨時間と、を含む最適研磨レシピで前記基板を研磨し、次の基板の目標研磨量と、前記最適研磨レシピおよび前記基板の研磨前後の膜厚プロファイルを用いて補正した応答モデルと、に基づいて作成した新たな最適研磨レシピで次の基板を研磨し、前記応答モデルは、各圧力室の圧力の変化に伴う、前記基板の複数のモニタ領域における相互間の研磨量の変化を考慮して作成される、研磨方法が提供される。

一態様では、前記最適研磨レシピが、少なくとも前記目標研磨量と、前記応答モ

デルを用いて算出した予測研磨量の差分の項を含む目的関数を最小化する最適化計算を用いて作成される。

一態様では、前記目的関数が、さらに、前記最適研磨レシピの圧縮流体圧力と予め設定された基準圧縮流体圧力との差分の項、および／または前記最適研磨レシピの圧縮流体圧力と先に研磨されたウエハの最適研磨レシピの圧縮流体圧力との差分の項を含む。

一態様では、前記最適化計算が、二次計画法である。

一態様では、前記複数のモニタ領域が、前記複数の圧力室の数よりも多い。

一態様では、前記応答モデルが、さらに前記研磨パッドへの前記リテーナリングの押圧力の変化に伴う前記基板の複数のモニタ領域における相互間の研磨量の変化を考慮して作成された応答モデルであり、前記最適研磨レシピが、更に前記リテーナリングの押圧力を含む。

一態様では、前記膜厚測定器は、前記複数のモニタ領域のそれぞれに設定された複数の測定点で膜厚を測定する。

一態様では、前記応答モデルは、前記複数のモニタ領域のそれぞれにおける単位研磨圧力あたりの研磨レートの増加量を表す応答係数を含む。

一態様では、前記応答モデルは、複数の局所荷重付与装置によって前記リテーナリングの一部に加えられる局所荷重の変化に伴う、前記複数のモニタ領域の相互間における研磨量の変化をさらに考慮して作成される。

一態様では、基板を押圧するための複数の圧力室を形成する弾性膜と、前記弾性膜が取り付けられるヘッド本体と、前記基板を囲むように配置されたリテーナリングと、を有する基板保持装置に保持された前記基板を、研磨テーブルに支持された研磨パッドに押し付けて研磨する研磨方法であって、複数の基板の研磨前の膜厚プロファイルと、前記複数の基板のそれぞれを研磨した時の応答モデルであって、各圧力室内の圧力の変化に伴う、前記基板の複数のモニタ領域における相互間の研磨量の変化を考慮して作成された応答モデルと、を予め蓄積し、前記複数の基板の研磨前の膜厚プロファイルを、互いに似ている膜厚プロファイルが属する複数のグループに予め分類し、前記基板の研磨前の膜厚プロファイルを取得して、該膜厚プロ

ファイルが属するグループを前記複数のグループから決定し、前記研磨前の基板の膜厚プロファイルと前記基板の目標膜厚との差分である目標研磨量と、前記決定されたグループに関連付けられた応答モデルと、に基づいて作成された、少なくとも前記複数の圧力室に供給される圧縮流体の圧力と、研磨時間と、を含む最適研磨レシピで前記基板を研磨し、次の基板の目標研磨量と、前記最適研磨レシピおよび前記基板の研磨前後の膜厚プロファイルを用いて補正した前記応答モデルと、に基づいて作成した新たな最適研磨レシピで次の基板を研磨する、研磨方法が提供される。

一態様では、研磨パッドを支持するための研磨テーブルと、基板を前記研磨パッドに押し付けるための基板保持装置と、を含む複数の研磨ユニットで行われる複数の研磨工程によって、前記基板を研磨する方法であって、前記基板保持装置は、前記基板を押圧するための複数の圧力室を形成する弾性膜と、前記弾性膜が取り付けられるヘッド本体と、前記基板を囲むように配置されたリテーナリングと、を備えており、前記複数の研磨工程は、第１研磨、および前記第１研磨が行われた研磨ユニットとは別の研磨ユニットで行われる第２研磨を含んでおり、前記第１研磨を行う研磨ユニットは、前記基板の膜厚プロファイルを測定可能な膜厚センサを有しており、各圧力室内の圧力の変化に伴う、前記基板の複数のモニタ領域における相互間の研磨量の変化を考慮して作成された第２研磨応答モデルを予め準備し、前記第１研磨を行った後で、前記膜厚センサを用いて、前記第２研磨前の前記基板の膜厚プロファイルを取得し、前記第２研磨前の前記基板の膜厚プロファイルと前記基板の目標膜厚との差分である目標研磨量と、前記第２研磨応答モデルと、に基づいて作成された、少なくとも前記複数の圧力室に供給される圧縮流体の圧力と、研磨時間と、を含む第２研磨最適レシピで前記基板を第２研磨し、次の基板の目標研磨量と、前記第２研磨最適レシピおよび前記基板の前記第２研磨前後の膜厚プロファイルを用いて補正した前記第２研磨応答モデルと、に基づいて作成した新たな第２研磨最適レシピで次の基板を第２研磨する、研磨方法が提供される。

一態様では、研磨パッドを支持するための研磨テーブルと、基板を前記研磨パッドに押し付けるための基板保持装置と、を含む複数の研磨ユニットで行われる複数の研磨工程によって、前記基板を研磨する方法であって、前記基板保持装置は、前

記基板を押圧するための複数の圧力室を形成する弾性膜と、前記弾性膜が取り付けられるヘッド本体と、前記基板を囲むように配置されたリテーナリングと、を備えており、前記複数の研磨工程は、第１研磨、および前記第１研磨が行われた研磨ユニットとは別の研磨ユニットで行われる第２研磨を含んでおり、前記第２研磨を行う研磨ユニットは、前記基板の膜厚プロファイルを測定可能な膜厚センサを有しており、各圧力室内の圧力の変化に伴う、前記基板の複数のモニタ領域における相互間の研磨量の変化を考慮して作成された第１研磨応答モデルを予め準備し、膜厚測定器を用いて、前記基板の前記第１研磨前の膜厚プロファイルを取得し、前記第１研磨前の基板の膜厚プロファイルと前記基板の目標膜厚との差分である目標研磨量と、前記第１研磨応答モデルと、に基づいて作成された、少なくとも前記複数の圧力室に供給される圧縮流体の圧力と、研磨時間と、を含む第１研磨最適レシピで前記基板を第１研磨し、前記第１研磨を行った後で、前記膜厚センサを有する研磨ユニットに前記基板を搬送し、前記膜厚センサを用いて、前記第１研磨後の前記基板の膜厚プロファイルを取得し、次の基板の目標研磨量と、前記第１研磨最適レシピおよび前記基板の前記第１研磨前後の膜厚プロファイルを用いて補正した前記第１研磨応答モデルと、に基づいて作成した新たな第１研磨最適レシピで次の基板を第１研磨する、研磨方法が提供される。

一態様では、研磨パッドを支持するための研磨テーブルと、基板を前記研磨パッドに押し付けるための基板保持装置と、を含む複数の研磨ユニットで行われる複数の研磨工程によって、前記基板を研磨する方法であって、前記基板保持装置は、前記基板を押圧するための複数の圧力室を形成する弾性膜と、前記弾性膜が取り付けられるヘッド本体と、前記基板を囲むように配置されたリテーナリングと、を備えており、前記複数の研磨工程は、第１研磨、および前記第１研磨が行われた研磨ユニットとは別の研磨ユニットで行われる第２研磨を含んでおり、前記第１研磨を行う研磨ユニットと前記第２研磨を行う研磨ユニットは、前記基板の膜厚プロファイルを測定可能な膜厚センサをそれぞれ有しており、各圧力室内の圧力の変化に伴う、前記基板の複数のモニタ領域における相互間の研磨量の変化を考慮して作成された第１研磨応答モデルおよび第２研磨応答モデルを予め準備し、前記第１研磨を行う

研磨ユニットに前記基板を搬送して、前記膜厚センサを用いて、前記基板の前記第１研磨前の膜厚プロファイルを取得し、前記第１研磨前の基板の膜厚プロファイルと前記基板の目標膜厚との差分である目標研磨量と、前記第１研磨応答モデルと、に基づいて作成された、少なくとも前記複数の圧力室に供給される圧縮流体の圧力と、研磨時間と、を含む第１研磨最適レシピで前記基板を第１研磨し、前記膜厚センサを用いて、前記第２研磨前の前記基板の膜厚プロファイルを取得し、前記第２研磨前の前記基板の膜厚プロファイルと前記基板の目標膜厚との差分である目標研磨量と、前記第２研磨応答モデルと、に基づいて作成された、少なくとも前記複数の圧力室に供給される圧縮流体の圧力と、研磨時間と、を含む第２研磨最適レシピで前記基板を第２研磨し、前記膜厚センサを用いて、前記第２研磨後の前記基板の膜厚プロファイルを取得し、次の基板の目標研磨量と、前記第１研磨最適レシピおよび前記基板の前記第１研磨前後の膜厚プロファイルを用いて補正した前記第１研磨応答モデルと、に基づいて作成した新たな第１研磨最適レシピで次の基板を第１研磨し、次の基板の目標研磨量と、前記第２研磨最適レシピおよび前記基板の前記第２研磨前後の膜厚プロファイルを用いて補正した前記第２研磨応答モデルと、に基づいて作成した新たな第２研磨最適レシピで次の基板を第２研磨する、研磨方法が提供される。

本発明によれば、応答モデルを用いて得られた最適研磨レシピは、各圧力室の圧力の変化に伴う基板の領域の相互間の研磨量の変化が考慮されている。したがって、基板の膜厚プロファイルをより精密に制御することができる。

図面の簡単な説明

図１は、一実施形態に係る基板処理装置の全体構成を示す平面図である。

図２は、図１に示す研磨ユニットの一例を模式的に示す斜視図である。

図３は、研磨ヘッドの一例を模式的に示す断面図である。

図４は、図３に示す圧力調整装置を示す模式図である。

図５は、一実施形態に係る研磨方法を示すフローチャートである。

図６Ａは、複数の圧力室の一例を示す模式図であり、図６Ｂは、ウエハのモニタ

領域の一例を示す模式図であり、図６Ｃは、ウエハのモニタ領域の他の例を示す模式図であり、図６Ｄは、ウエハのモニタ領域のさらに他の例を示す模式図であり、図６Ｅは、ウエハのモニタ領域のさらに他の例を示す模式図である。

図７は、多数のウエハの各測定ポイントにおける研磨レートをグラフ化した概念図である。

図８は、ウエハの各測定ポイントにおける応答係数をグラフ化した概念図である。

図９は、応答モデルの行列Ｃ，Ｄ，Ｒ，Ｘの一例を示した図である。

図１０は、応答モデルの行列Ｃ’，Ｘ’の一例を示した図である。

図１１は、他の実施形態に係る研磨ヘッドを模式的に示す斜視図である。

図１２は、リテーナリングが研磨面を押し付けているときの状態を模式的に示した縦断面図である。

図１３は、複数の実施形態に係る最適研磨レシピ作成方法を利用して、複数のウエハを連続して研磨した時の各実施形態における面内均一性の推移を示したグラフである。

図１４は、他の実施形態に係る研磨方法を示すフローチャートである。

図１５は、他の実施形態に係る研磨ユニットを示す模式図である。

図１６は、さらに他の実施形態に係る研磨方法を示したフローチャートである。

図１７は、さらに他の実施形態に係る研磨方法を示したフローチャートである。

図１８は、さらに他の実施形態に係る研磨方法を示したフローチャートの前半部分である。

図１９は、さらに他の実施形態に係る研磨方法を示したフローチャートの後半部分である。

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説明する。

図１は、一実施形態に係る研磨装置の全体構成を示す平面図である。図１に示す研磨装置は、基板の一例であるウエハの表面を研磨し、研磨後のウエハを洗浄し、洗浄後のウエハを乾燥させる一連の研磨プロセスを実行するＣＭＰ装置である。

図１に示すように、研磨装置は、略矩形状のハウジング１０と、多数のウエハ（基板）を収容する基板カセットが載置されるロードポート１２を備えている。ロードポート１２は、ハウジング１０に隣接して配置されている。ロードポート１２には、オープンカセット、ＳＭＩＦ（Standard Manufacturing Interface）ポッド、またはＦＯＵＰ（Front Opening Unified Pod）を搭載することができる。ＳＭＩＦ、ＦＯＵＰは、内部に基板カセットを収納し、隔壁で覆うことにより、外部空間とは独立した環境を保つことができる密閉容器である。

ハウジング１０の内部には、ウエハを研磨する複数（本実施形態では４つ）の研磨ユニット１４ａ～１４ｄと、研磨されたウエハを洗浄する第１洗浄ユニット１６及び第２洗浄ユニット１８と、洗浄されたウエハを乾燥させる乾燥ユニット２０が収容されている。研磨ユニット１４ａ～１４ｄは、基板処理装置の長手方向に沿って配列され、洗浄ユニット１６，１８及び乾燥ユニット２０も基板処理装置の長手方向に沿って配列されている。さらに、研磨装置は、ハウジング１０の内部に位置して、各ユニットの動作を制御する制御装置３０を有している。

ロードポート１２、研磨ユニット１４ａ、及び乾燥ユニット２０に囲まれた領域には、第１基板搬送ロボット２２が配置され、また研磨ユニット１４ａ～１４ｄと平行に、基板搬送装置２４が配置されている。第１基板搬送ロボット２２は、研磨前のウエハをロードポート１２から受け取って基板搬送装置２４に渡すとともに、乾燥されたウエハを乾燥ユニット２０から受け取ってロードポート１２に戻す。基板搬送装置２４は、第１基板搬送ロボット２２から受け取った基板を搬送して、各研磨ユニット１４ａ～１４ｄとの間で基板の受け渡しを行う。

第１洗浄ユニット１６と第２洗浄ユニット１８の間に位置して、これらの洗浄ユニット１６，１８および基板搬送装置２４の間でウエハを搬送する第２基板搬送ロボット２６が配置され、第２洗浄ユニット１８と乾燥ユニット２０との間に位置して、これらの各ユニット１８，２０の間でウエハを搬送する第３基板搬送ロボット２８が配置されている。これら第１基板搬送ロボット２２、基板搬送装置２４、第２基板搬送ロボット２６、および第３基板搬送ロボット２８は、ロードポート１２、研磨ユニット１４ａ～１４ｄ、洗浄ユニット１６，１８、および乾燥ユニット２０

の間でウエハの受け渡しを行うための基板搬送ユニットを構成する。

本実施形態では、第１洗浄ユニット１６として、薬液の存在下で、ウエハの表裏両面にロールスポンジを擦り付けて基板をスクラブ洗浄する基板洗浄装置が使用されており、第２洗浄ユニット１８として、ペン型スポンジ（ペンスポンジ）を用いた基板洗浄装置が使用されている。一実施形態では、第２洗浄ユニット１８として、薬液の存在下で、ウエハの表裏両面にロールスポンジを擦り付けてウエハをスクラブ洗浄する基板洗浄装置を使用してもよい。また、乾燥ユニット２０として、ウエハを保持し、移動するノズルからＩＰＡ蒸気を噴出してウエハを乾燥させ、更に高速で回転させることによってウエハを乾燥させるスピン乾燥装置が使用されている。

ウエハは、研磨ユニット１４ａ～１４ｄの少なくとも１つにより研磨される。研磨されたウエハは、第１洗浄ユニット１６と第２洗浄ユニット１８により洗浄され、さらに洗浄された基板は乾燥ユニット２０により乾燥される。一実施形態では、研磨された基板を、第１洗浄ユニット１６と第２洗浄ユニット１８のいずれか一方で洗浄してもよい。

図１に示すように、本実施形態に係る研磨装置は、ウエハの表面（被研磨面）の膜厚プロファイルを検出（測定）するための膜厚測定器（ＩＴＭ：Ｉｎ－ｌｉｎｅ Ｔｈｉｃｋｎｅｓｓ Ｍｏｎｉｔｏｒ）８を備えている。膜厚測定器８の種類は、ウエハの膜厚プロファイルを取得可能である限り任意である。例えば、膜厚測定器８は、渦電流式や光学式のような非接触式の検出方式を利用する測定機であってもよいし、ウエハの上方を非接触式に走査する検出ヘッドによって膜厚プロファイルを検出する測定器であってもよい。あるいは、膜厚測定器８は、ウエハの表面に接触させたプローブを走査して、該プローブの上下動をモニタリングすることでウエハの表面の凹凸の分布を検出する測定機であってもよい。接触式および非接触式のいずれの検出方式においても、検出される出力は膜厚もしくは膜厚に相当する信号である。ウエハの膜厚プロファイルの検出に際しては、ウエハのノッチの位置またはオリエンテーションフラットの位置を基準とすることで、膜厚プロファイルを半径方向の位置のみでなく、周方向の位置とも関連付けてもよい。

膜厚測定器８は、制御装置３０に接続されており、制御装置３０は、膜厚測定器

８の動作を制御可能に構成されている。さらに、膜厚測定器８は、その測定値を制御装置３０に送信し、制御装置３０は、膜厚測定器８から送信された測定値からウエハの膜厚プロファイルを取得することができる。

図２は、図１に示す研磨ユニット１４ａの一例を模式的に示す斜視図である。なお、図１に示す研磨装置の研磨ユニット１４ａ～１４ｄは、互いに同一の構成を有しているため、以下では、研磨ユニット１４ａについて説明する。

図２に示す研磨ユニット１４ａは、研磨面３３ａを有する研磨パッド３３が取り付けられた研磨テーブル３５と、ウエハWを保持しかつウエハWを研磨テーブル３５上の研磨パッド３３に押圧する研磨ヘッド３７と、研磨パッド３３に研磨液やドレッシング液（例えば、純水）を供給するための研磨液供給ノズル３８と、研磨パッド３３の研磨面３３ａのドレッシングを行うためのドレッサー４１を有するドレッシング装置４０と、を備えている。

研磨テーブル３５は、テーブル軸３５ａを介してその下方に配置されるテーブルモータ３１に連結されており、このテーブルモータ３１により研磨テーブル３５が矢印で示す方向に回転されるようになっている。この研磨テーブル３５の上面には研磨パッド３３が貼付されており、研磨パッド３３の上面がウエハWを研磨する研磨面３３ａを構成している。研磨ヘッド３７はヘッドシャフト３６の下端に連結されている。研磨ヘッド３７は、真空吸引によりその下面にウエハWを保持できるように構成されている。ヘッドシャフト３６は、上下動機構（図示せず）により上下動するようになっている。

ヘッドシャフト３６は、ヘッドアーム４２に回転自在に支持されており、ヘッドアーム４２は、ヘッド旋回モータ５４に駆動されて、ヘッド旋回軸４３を中心として旋回するように構成されている。ヘッド旋回モータ５４を駆動することにより、研磨ヘッド３７は、研磨パッド３３の上方の研磨位置と、研磨パッド３３の側方の待機位置との間を移動する。

ドレッシング装置４０は、研磨パッド３３に摺接されるドレッサー４１と、ドレッサー４１が連結されるドレッサーシャフト４５と、ドレッサーシャフト４５の上端に設けられたエアシリンダ４７と、ドレッサーシャフト４５を回転自在に支持す

るドレッサーアーム４８とを備えている。ドレッサー４１の下面はドレッシング面４１ａを構成し、このドレッシング面４１ａは砥粒（例えば、ダイヤモンド粒子）から構成されている。エアシリンダ４７は、複数の支柱５１により支持された支持台５０上に配置されており、これら支柱５１はドレッサーアーム４８に固定されている。

ドレッサーアーム４８は、ドレッサー旋回モータ５５に駆動されて、ドレッサー旋回軸４９を中心として旋回するように構成されている。ドレッサーシャフト４５は、図示しないモータの駆動により回転し、このドレッサーシャフト４５の回転により、ドレッサー４１がドレッサーシャフト４５を中心に矢印で示す方向に回転するようになっている。エアシリンダ４７は、ドレッサーシャフト４５を介してドレッサー４１を上下動させ、ドレッサー４１を所定の押圧力で研磨パッド３３の研磨面（表面）３３ａに押圧するアクチュエータとして機能する。

次に、図３を参照して、研磨ユニット１４ａに備えられている研磨ヘッド３７の一例について説明する。図３は、研磨ヘッドの一例を模式的に示す断面図である。図３に示すように、研磨ヘッド３７は、ヘッドシャフト３６の下端に固定されたヘッド本体２と、研磨面３３ａ（図２参照）を直接押圧するリテーナリング３と、ウエハWを研磨面３３ａに対して押圧する弾性膜（メンブレン）５とから基本的に構成される。リテーナリング３はウエハWを囲むように配置されており、ヘッド本体２に連結されている。弾性膜５は、ヘッド本体２の下面を覆うようにヘッド本体２に取り付けられている。

弾性膜５は、同心状に配置された複数（図示した例では８つ）の環状の周壁５ａ，５ｂ，５ｃ，５ｄ，５ｅ，５ｆ，５ｇ，５ｈを有している。これら複数の周壁５ａ～５ｈによって、弾性膜５の上面とヘッド本体２の下面との間に、中央に位置する円形状の中央圧力室７ａ、最外周に位置する環状のエッジ圧力室７ｈ、および中央圧力室７ａとエッジ圧力室７ｈとの間に位置する、環状の６つの中間圧力室（第１～第６中間圧力室）７ｂ，７ｃ，７ｄ，７ｅ，７ｆ，７ｇが形成されている。本実施形態では、弾性膜５に形成される圧力室の数は８であるが、圧力室の数は本実施形態には限定されない。圧力室の数は弾性膜５の構造に応じて増減されてもよい。

ヘッド本体２内には、圧力室７ａ～７ｈにそれぞれ連通する流路４ａ，４ｂ，４ｃ，４ｄ，４ｅ，４ｆ，４ｇ，４ｈがそれぞれ形成されている。そして、流路４ａ，４ｂ，４ｃ，４ｄ，４ｅ，４ｆ，４ｇ，４ｈは、それぞれ流体ライン６ａ，６ｂ，６ｃ，６ｄ，６ｅ，６ｆ，６ｇ，６ｈを介して圧力調整装置６５に接続されている。圧力調整装置６５は制御装置３０に接続されており、制御装置３０は圧力調整装置６５の動作を制御可能に構成されている。

リテーナリング３の直上にはリテーナ室３４が形成されており、リテーナ室３４は、ヘッド本体２内に形成された流路４ｉおよび流体ライン６ｉを介して圧力調整装置６５に接続されている。

図３に示すように構成された研磨ヘッド３７によれば、ウエハWを研磨ヘッド３７で保持した状態で、各圧力室７ａ～７ｈに供給される圧縮流体の圧力をそれぞれ制御することで、ウエハWの半径方向に沿った弾性膜５上の複数の領域（エリア）毎に異なった圧力でウエハWを押圧することができる。このように、研磨ヘッド３７においては、ヘッド本体２と弾性膜５との間に形成される各圧力室７ａ～７ｈに供給する圧縮流体の圧力を調整することにより、ウエハWに加えられる押圧力をウエハWの領域毎に調整できる。同時に、リテーナ室３４に供給される圧縮流体の圧力を制御することで、リテーナリング３が研磨パッド３３（図２参照）を押圧する押圧力を調整できる。

リテーナリング３が研磨パッド３３を押圧すると、その押圧力に応じて研磨パッド３３の形状が変化する。そのため、研磨パッド３３へのリテーナリング３の押圧力も、研磨後のウエハWの膜厚プロファイルに影響を与える要因となる。

リテーナリング３は、例えばエンジニアリングプラスティック（例えば、ＰＥＥＫ）などの樹脂により形成され、弾性膜５は、例えばエチレンプロピレンゴム（ＥＰＤＭ）、ポリウレタンゴム、シリコンゴム等の強度および耐久性に優れたゴム材によって形成されている。

次に、図４を参照して、図３に示す圧力調整装置６５の構成について説明する。図４は、図３に示す圧力調整装置６５を示す模式図である。図４に示すように、流体ライン６ａ～６ｉには、開閉バルブＶ１，Ｖ２，Ｖ３，Ｖ４，Ｖ５，Ｖ６，Ｖ７，

Ｖ８，Ｖ９と圧力レギュレータＲ１，Ｒ２，Ｒ３，Ｒ４，Ｒ５，Ｒ６，Ｒ７，Ｒ８，Ｒ９がそれぞれ接続されている。流路４ａ～４ｉは、それぞれ流体ライン６ａ～６ｉを介して流体供給源３２に接続されている。

さらに、流体ライン６ａ～６ｉには、大気開放ライン１５１～１５９が接続されている。これら大気開放ライン１５１～１５９には、大気開放バルブＬ１～Ｌ９がそれぞれ取り付けられている。

圧力レギュレータＲ１～Ｒ９は、それぞれ流体供給源３２から圧力室７ａ～７ｈおよびリテーナ室３４に供給する圧縮流体の圧力を調整する圧力調整機能を有している。圧力レギュレータＲ１～Ｒ９、開閉バルブＶ１～Ｖ９、および大気開放バルブＬ１～Ｌ９は、制御装置３０に接続されていて、それらの動作が制御装置３０で制御されるようになっている。大気開放バルブＬ１～Ｌ９が作動されると、各室７ａ～７ｈ，３４は、大気開放され、大気圧状態になる。

図示しないが、流体ライン６ａ～６ｉには、複数の真空ラインがそれぞれ接続されており、これら複数の真空ラインを通じて各室７ａ～７ｈ，３４には負圧を形成することができる。このように、各圧力室７ａ～７ｈ，３４は、圧力調整装置６５によって加圧状態、負圧状態、大気圧状態のいずれかの圧力状態に調整される。

弾性膜５の下面にウエハWが接触した状態で中間圧力室７ｂ～７ｇのいずれか（例えば、中間圧力室７ｄ）に真空が形成されると、ウエハWが研磨ヘッド３７に真空吸引により保持される。さらに、ウエハWが研磨パッド３３から離れた状態で、中間圧力室７ｂ～７ｇのいずれか（例えば、中間圧力室７ｄ）に圧縮流体を供給すると、ウエハWが研磨ヘッド３７からリリースされる。

次に、この研磨装置を用いて、ウエハWを研磨する研磨方法について説明する。図５は、一実施形態に係る研磨方法を示すフローチャートである。図５に示すように、研磨装置の制御装置３０は、ロードポート１２（図１参照）に載置された基板カセットからウエハWを取り出して、膜厚測定器８に搬送し、研磨前のウエハWの膜厚プロファイルを取得する（図５のステップ１参照）。

次いで、制御装置３０は、研磨前のウエハWの膜厚プロファイルと応答モデルに基づいて、最適研磨レシピを作成する（図５のステップ２参照）。応答モデルは、

予め制御装置３０に記憶されている。この応答モデルの作成方法については後述する。

以下では、一実施形態に係る最適研磨レシピの作成方法が説明される。

最初に、制御装置３０は、膜厚測定器８によって取得された、研磨前のウエハWの膜厚プロファイルから、弾性膜５の各圧力室７ａ～７ｈに対応するウエハWのモニタ領域ごとの初期膜厚を算出する。以下では、説明の便宜上、圧力室７ａに対応するウエハWのモニタ領域をＤａと表し、モニタ領域Ｄａの初期膜厚をＴａと表す。同様に、圧力室７ｂに対応するウエハWのモニタ領域をＤｂと表し、モニタ領域Ｄｂの初期膜厚をＴｂと表し、圧力室７ｃに対応するウエハWのモニタ領域をＤｃと表し、モニタ領域Ｄｃの初期膜厚をＴｃと表し、圧力室７ｄに対応するウエハWのモニタ領域をＤｄと表し、モニタ領域Ｄｄの初期膜厚をＴｄと表し、圧力室７ｅに対応するウエハWのモニタ領域をＤｅと表し、モニタ領域Ｄｅの初期膜厚をＴｅと表し、圧力室７ｆに対応するウエハWのモニタ領域をＤｆと表し、モニタ領域Ｄｆの初期膜厚をＴｆと表し、圧力室７ｇに対応するウエハWのモニタ領域をＤｇと表し、モニタ領域Ｄｇの初期膜厚をＴｇと表し、圧力室７ｈに対応するウエハWのモニタ領域をＤｈと表し、モニタ領域Ｄｈの初期膜厚をＴｈと表す。

膜厚測定器８は、モニタ領域Ｄａ～Ｄｈのそれぞれにおいて、複数の測定ポイントで膜厚を測定し、それら測定値を制御装置３０に送信する。制御装置３０は、各モニタ領域Ｄａ～Ｄｈにおける複数の膜厚測定値の代表値を初期膜厚Ｔａ～Ｔｈとして決定する。代表値は、例えば、複数の膜厚測定値の平均値である。次いで、制御装置３０は、初期膜厚Ｔａ～Ｔｈと目標膜厚Ｔｔとの差分をそれぞれ算出して、各モニタ領域Ｄａ～Ｄｈの目標研磨量Ｒａ’～Ｒｈ’を算出する。

次いで、制御装置３０は、予め制御装置３０に記憶された応答モデルを用いて、各モニタ領域Ｄａ～Ｄｈにおける予測研磨量Ｒａ～Ｒｈを算出する。さらに、制御装置３０は、予測研磨量Ｒａ～Ｒｈが算出された目標研磨量Ｒａ’～Ｒｈ’に近い値となるように、少なくとも各圧力室７ａ～７ｈに供給される圧縮流体の圧力と研磨時間とを最適化計算により算出する。

この最適化計算では、例えば、以下の式（１）に示す目的関数が用いられる。具

体的には、最適化計算では、予測研磨量Ｒａ～Ｒｈと目標研磨量Ｒａ’～Ｒｈ’との差分を含む目的関数が最小となる各圧力室７ａ～７ｈ、およびリテーナ室３４に供給される圧縮流体の圧力と、研磨時間とが算出される。

目的関数＝Σ｜予測研磨量－目標研磨量｜^{2}・・・（１）

式（１）に示す目的関数では、研磨量のみを考慮しているが、本実施形態はこの例に限定されない。例えば、以下の式（２）に示すように、目的関数が、算出された最適圧縮流体圧力と事前に設定された基準圧縮流体圧力との差分、および算出された最適圧縮流体圧力と先のウエハの研磨時における最適圧縮流体圧力との差分の項を含んでいることも好ましい。

目的関数＝Σ｜予測研磨量－目標研磨量｜^{2}

＋λΣ｜算出する最適圧縮流体圧力－基準圧縮流体圧力｜^{2}

＋γΣ｜算出する最適圧縮流体圧力－前ウエハの最適圧縮流体圧力｜^{2}・・・（２）

ここで、λとγは各項の重みを決定する重み係数であり、任意の０以上の実数を設定することができる。これらの項を追加することで、算出される最適圧縮流体圧力が処理するウエハ毎に大きく変化するのを抑制し、安定した最適研磨条件を得ることができる。

各圧力室７ａ～７ｈに供給される圧縮流体の圧力は、各モニタ領域Ｄａ～Ｄｈにおける研磨圧力に相当する。また、研磨パッド３３へのリテーナリング３の押圧力は、リテーナ室３４に供給される圧縮流体の圧力に相当する。

本実施形態では、ウエハWの膜厚のモニタ領域を、弾性膜５の各圧力室７ａ～７ｈに対応させて、弾性膜５の圧力室の総数に等しい数の領域に分割した（図６Ａおよび図６Ｂ参照）が、ウエハWの膜厚のモニタ領域をさらに細かく分割してもよい。上述したように、膜厚測定器８は、モニタ領域Ｄａ～Ｄｈのそれぞれにおいて、複数の測定ポイントで膜厚を測定することができる。そのため、例えば、ウエハWの膜厚のモニタ領域を、膜厚測定器８による膜厚の各測定ポイントＭＰに対応するモニタ領域Ｄ１～Ｄｍに分割することができる（図６Ａおよび図６Ｃ参照）。ここで、添え字「ｍ」は、測定ポイントの数に対応する。

さらに他のモニタ領域を細分割する方法では、ウエハ全面、または各モニタ領域Ｄａ～Ｄｈを等間隔（例えば、１ｍｍ間隔に）に分割して、それぞれの分割領域を新たなモニタ領域Ｄ１～Ｄｎとしてもよい（図６Ｄ参照）。ここで、「ｎ」は、細分割したモニタ領域の総数である。このようにモニタ領域を細分割すると、各モニタ領域内に膜厚測定器８による膜厚の測定ポイントが存在しない場合が生じうる。そこで、各測定ポイントにおける測定膜厚値から、各モニタ領域の代表点（例えば各モニタ領域の中心位置）における膜厚値を補間処理により算出することで、細分割された各モニタ領域の代表膜厚値（推定膜厚値）を算出することができる。このように、ウエハWの膜厚のモニタ領域を、弾性膜５の圧力室の総数よりも多くの領域に分割することにより、ウエハWの膜厚プロファイルをより精密に制御することができる。

ウエハWの膜厚のモニタ領域を決定する際に、上記モニタ領域の設定方法のうちいずれか１つの方法だけを選ぶ必要はなく、複数の設定方法を組み合わせてもよい。例えば、ウエハWの内側の領域（例えば圧力室７ａ～７ｆに対応する領域）では、ウエハWの膜厚のモニタ領域を、圧力室７ａ～７ｆに対応するモニタ領域Ｄａ～Ｄｆに設定し、ウエハWの外側の領域（例えば圧力室７ｇ～７ｈに対応する領域）では、ウエハWの膜厚のモニタ領域を、膜厚測定器８による膜厚の各測定ポイントＭＰに対応するモニタ領域に設定してもよい（図６Ａおよび図６Ｅ参照）。

次に、応答モデルの作成方法について説明する。応答モデルは、例えば、実験により作成される。実験では、最初に、膜厚測定器８で膜厚プロファイルを取得済みのウエハを、基準となる研磨レシピ（すなわち、所定の研磨圧力および所定の研磨時間）で研磨し、研磨後のウエハの膜厚プロファイルを膜厚測定器８によって取得する。次いで、基準研磨レシピで研磨されたウエハWとは別の多数のウエハを、弾性膜５の各圧力室７ａ～７ｈ、およびリテーナ室３４に供給される圧縮流体の圧力を基準研磨レシピの圧力から変化させて研磨する。この際、多数のウエハは、研磨前後の膜厚プロファイルを膜厚測定器８によって取得される。

上述したように、膜厚測定器８は、ウエハW上の複数の測定ポイントで膜厚を測定することができる。したがって、制御装置３０は、基準研磨レシピで研磨された

ウエハと多数のウエハの研磨前後の膜厚プロファイルから、各測定ポイントにおける研磨レートを算出することができる。図７は、多数のウエハの各測定ポイントにおける研磨レートをグラフ化した概念図である。図７において、縦軸は研磨レートを表し、横軸はウエハの半径方向の位置を表す。

次に、制御装置３０は、多数のウエハの各測定ポイントにおける研磨レートから単位研磨圧力（例えば、１ｈＰａ）あたりの研磨レートの増加量を算出する。本明細書では、単位研磨圧力あたりの研磨レートの増加量を、「応答係数」と称する。また、算出した応答係数を後述の式（３）に代入して求めた予測研磨量Ｒが、前述の基準となる研磨レシピで研磨して得られた実際の研磨量と等しくなるようにオフセット量Ｄを算出する。

さらに、算出した各測定ポイントにおける応答係数とオフセット量から、前述の各モニタ領域における応答係数とオフセット量を補間処理により算出することで、各モニタ領域の応答係数とオフセット量を決定する。図８は、ウエハの各測定ポイントにおける応答係数をグラフ化した概念図である。図８において、縦軸は応答係数を表し、横軸はウエハの半径方向の位置を表す。

このように算出された応答係数とオフセット量とは、応答モデルに含まれる。制御装置３０は、応答モデルを利用して最適研磨レシピを作成する。具体的には、制御装置３０は、以下の式（３）により、各圧力室７ａ～７ｈ、およびリテーナ室３４に供給される圧縮流体の圧力と、研磨時間とから予測研磨量Ｒを算出する。

$$R = Tp \cdot (C \cdot X + D) \quad \cdots (3)$$

さらに算出された予測研磨量Ｒを式（１）もしくは式（２）に代入することにより、目的関数値を算出する。制御装置３０は目的関数値が最小になる、各圧力室７ａ～７ｈに供給される圧縮流体の圧力と、研磨時間とを最適化計算により求めることで、最適研磨レシピを作成する。ここで、上記式（１）または（２）はＸの二次式の形で表すことができるため、最適化計算に二次計画法を用いることで、最適研磨レシピを一意的に決定することができる。その他にも、最急降下法等の勾配法、もしくはモンテカルロ法等の最適化計算手法を用いることができる。

式（３）において、ＲはウエハＷの各モニタ領域Ｄ１～Ｄｍの予測研磨量Ｒ１～

Ｒｍからなる行列であり、Ｔｐは、研磨時間であり、Ｃは、ウエハＷの各モニタ領域における応答係数からなる行列であり、Ｘは、各圧力室７ａ～７ｈに供給される圧縮流体の圧力からなる行列であり、Ｄは、ウエハＷの各モニタ領域Ｄ１～Ｄｍのオフセットからなる行列である。ここで、添え字「ｍ」は、ウエハＷのモニタ領域の数に対応する。

Ｒ，Ｃ，Ｄ，Ｘは、図９に示すような行列として表される。行列Ｒ，Ｃ，Ｄにおいて、各行は、ウエハＷの各モニタ領域Ｄ１～Ｄｍに対応する。行列Ｃに掛け合わされる行列Ｘは、弾性膜５の各圧力室７ａ～７ｈに供給されるべき圧縮流体の圧力に対応する。したがって、行列Ｘにおいて、「Ｐａ」は、弾性膜５の圧力室７ａに供給されるべき圧縮流体の圧力であり、「Ｐｃ」は、弾性膜５の圧力室７ｃに供給されるべき圧縮流体の圧力である。

行列Ｃにおける応答係数の２つの添え字のうち前の添え字は、ウエハＷの各モニタ領域Ｄ１～Ｄｍに対応し、後ろの添え字は、各圧力室７ａ～７ｈに供給されるべき圧縮流体の圧力に対応する。例えば、応答係数Ｃ２ｂは、ウエハＷのモニタ領域Ｄ２における圧力室７ｂに供給される圧縮流体の圧力に対する応答係数であり、応答係数Ｃ３ｃは、ウエハＷのモニタ領域Ｄ３における圧力室７ｃに供給される圧縮流体の圧力に対する応答係数である。

制御装置３０は、上述の最適化計算により、弾性膜５の各圧力室７ａ～７ｈに供給されるべき圧縮流体の圧力Ｐａ～Ｐｈと、研磨時間Ｔｐを算出し、これら圧縮流体の圧力Ｐａ～Ｐｈと、研磨時間Ｔｐを最適研磨レシピとして用いる。このように算出された最適研磨レシピは、ウエハＷの各モニタ領域Ｄ１～Ｄｍにおける複数の膜厚測定値を利用して、各圧力室７ａ～７ｈの研磨圧力を決定するため、精密にウエハＷの膜厚プロファイルを制御することが可能となる。

一実施形態では、弾性膜５の各圧力室７ａ～７ｈに供給されるべき圧縮流体の圧力Ｐａ～Ｐｈと研磨時間Ｔｐに、リテーナ室３４に供給されるべき圧縮流体の圧力Ｐｉを加えた最適研磨レシピを算出してもよい。この場合、上述の応答行列Ｃの代わりに、図１０に示すような各圧力室７ａ～７ｈに供給される圧縮流体の圧力に対応する応答係数Ｃ１ａ～Ｃｍｈと、リテーナ室３４に供給される圧縮流体の圧力に

対応する応答係数Ｃ１ｉ～Ｃｍｉからなる行列Ｃ’を用いる。また、行列Ｘの代わりに、弾性膜５の各圧力室７ａ～７ｈに供給されるべき圧縮流体の圧力Ｐａ～Ｐｈと、リテーナ室３４に供給される圧縮流体の圧力Ｐｉからなる行列Ｘ’を用いる。

応答係数Ｃ１ａ～Ｃｍｈおよび応答係数Ｃ１ｉ～Ｃｍｉは、以下のように決定することができる。最初に、応答係数Ｃ１ａ～Ｃｍｈを決定する実験において、リテーナ室３４に供給される圧縮流体の圧力を所定の値に固定した状態で、各圧力室７ａ～７ｈに供給される圧縮流体の圧力を変化させて応答係数Ｃ１ａ～Ｃｍｈを算出する。次いで、各圧力室７ａ～７ｈに供給される圧縮流体の圧力を所定の値に固定した状態で、リテーナ室３４に供給される圧縮流体の圧力を変化させて、応答係数Ｃ１ｉ～Ｃｍｉを取得する。

上述の応答モデルの行列Ｃ’を用いて得られた最適研磨レシピは、各圧力室７ａ～７ｈに供給される圧縮流体の圧力の変化に伴う、モニタ領域Ｄ１～Ｄｍの相互間における研磨量の変化だけでなく、研磨パッド３３へのリテーナリング３の押圧力の変化に伴う、モニタ領域Ｄ１～Ｄｍの相互間における研磨量の変化も考慮されている。したがって、ウエハWの膜厚プロファイルをより精密に制御することができる。

一実施形態では、応答モデル、すなわち、応答係数Ｃ１ａ～Ｃｍｈからなる行列Ｃ（または、応答係数Ｃ１ｉ～Ｃｍｉからなる行列Ｃ’）および行列Ｄ（または、行列Ｄ’）をシミュレーションによって決定してもよい。この場合も、シミュレーションによって得られた行列Ｃ（または、行列Ｃ’）および行列Ｄ（または、行列Ｄ’）は、予め制御装置３０に記憶される。

図５に戻り、制御装置３０は、ウエハWを研磨ユニット１４ａ～１４ｄのいずれかに搬送し、ウエハWを上述した最適研磨レシピで研磨する（図５のステップ３参照）。ウエハWの研磨は次のようにして行われる。図２に示すように、研磨ヘッド３７および研磨テーブル３５をそれぞれ矢印で示す方向に回転させ、研磨液供給ノズル３８から研磨パッド３３上に研磨液（スラリー）を供給する。この状態で、研磨ヘッド３７は、最適研磨レシピに応じた研磨時間だけ、ウエハWを研磨パッド３３の研磨面３３ａに押し付ける。ウエハWを研磨パッド３３に押しつける際には、

弾性膜５の各圧力室７ａ～７ｈ、およびリテーナ室３４に供給される圧縮流体の圧力は、最適研磨レシピに応じた圧力に調整される。ウエハ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。研磨終了後は、ドレッシング装置４０による研磨面３３ａのドレッシング（コンディショニング）が行われる。

研磨パッド３３のドレッシングは次のようにして行われる。ドレッサー４１がドレッサーシャフト４５を中心として回転しつつ、研磨液供給ノズル３８から純水が研磨パッド３３上に供給される。この状態で、ドレッサー４１はエアシリンダ４７により研磨パッド３３に押圧され、そのドレッシング面４１ａが研磨パッド３３の研磨面３３ａに摺接される。さらに、ドレッサーアーム４８をドレッサー旋回軸４９を中心として旋回させてドレッサー４１を研磨パッド３３の半径方向に揺動させる。このようにして、ドレッサー４１により研磨パッド３３が僅かに削り取られ、その表面３３ａがドレッシング（再生）される。

次いで、制御装置３０は、研磨後のウエハWを第１洗浄ユニット１６および／または第２洗浄ユニット１８に搬送して洗浄し、さらに洗浄されたウエハWを乾燥ユニット２０に搬送して乾燥させる。さらに、制御装置３０は、研磨後のウエハWを膜厚測定器８に搬送して、研磨後のウエハWの膜厚プロファイルを取得する（図５のステップ４参照）。制御装置３０は、研磨前後のウエハWの膜厚プロファイルと、このウエハWを研磨した最適研磨レシピとを記憶する。

次に、制御装置３０は、次のウエハWを研磨するための最適研磨レシピを作成するために、記憶された応答モデルを補正する（図５のステップ５参照）。応答モデルの補正は次のように行われる。

制御装置３０は、既に研磨されたウエハWの研磨前後の膜厚プロファイルからウエハWの各モニタ領域Ｄ１～Ｄｍにおける実際の研磨量Racを算出する。実際の研磨量Ｒａｃを算出する際には、制御装置３０は、各モニタ領域Ｄ１～Ｄｍにおける上記初期膜厚値Ｔ１～Ｔｍから、研磨後のウエハWの各モニタ領域Ｄ１～Ｄｍに対応する複数の膜厚測定値の代表値である研磨後膜厚値Ｔ１’～Ｔｍ’をそれぞれ減算する。研磨後膜厚値Ｔ１’～Ｔｍ’は、例えば、各モニタ領域Ｄ１～Ｄｍにおけ

る複数の膜厚測定値の平均値、または研磨後膜厚測定値から補間により算出した各モニタ領域の代表点における膜厚値である。制御装置３０は、初期膜厚Ｔ１～Ｔｍから研磨後膜厚値Ｔ１’～Ｔｍ’を減算することで、各モニタ領域Ｄ１～Ｄｍの実際の研磨量Ｒａｃ１～Ｒａｃｍを算出する。

次に、制御装置３０は、上記式（３）における予測研磨量Ｒと実際の研磨量Ｒａｃとが以下の式（４）を満たすように、補正係数Ｋを算出する。

Ｒａｃ ＝ Ｋ・Ｒ　　・・・（４）

ここで、Ｒａｃは、各モニタ領域Ｄ１～Ｄｍの実際の研磨量Ｒａｃ１～Ｒａｃｍからなる行列であり、Ｋは、各モニタ領域Ｄ１～Ｄｍに対応する補正係数からなる行列である。

次に、以下の式（５）および（６）に示すように、制御装置３０は、上述した行列Ｃと行列Ｄに、式（４）から得られたＫを乗算し、補正された応答係数行列Ｃａｄｊおよび補正されたオフセット量行列Ｄａｄｊを算出し記憶する。

Ｃａｄｊ＝Ｋ・Ｃ　・・・（５）

Ｄａｄｊ＝Ｋ・Ｄ　・・・（６）

次に、制御装置３０は、次のウエハＷを膜厚測定器８に搬送して、研磨前の次のウエハＷの膜厚プロファイルを取得する（図５のステップ６参照）。

次に、制御装置３０は、次の式（７）から求めた補正予測研磨量Ｒａｄｊを用いて、各圧力室７ａ～７ｈ、およびリテーナ室３４に供給される圧縮流体の圧力と、研磨時間と、を上述の最適化計算により算出する。

Ｒａｄｊ ＝ Ｔｐ・（Ｃａｄｊ・Ｘ＋Ｄａｄｊ）　　・・・（７）

式（７）において、Ｒａｄｊは次のウエハＷの各モニタ領域Ｄ１～Ｄｍの予測研磨量からなる行列であり、Ｔｐは、次のウエハＷの研磨時間である。

本実施形態では、先のウエハＷの研磨前後の膜厚プロファイルに基づいて補正された応答モデルを用いて、次のウエハＷの研磨に用いられる最適研磨レシピの作成が行われる。先のウエハＷの研磨前後の膜厚プロファイルは、実際にウエハＷの研磨を行った研磨ユニットの状態（例えば、研磨パッド３３の表面性状）が反映されたデータである。したがって、先のウエハＷの研磨前後の膜厚プロファイルに基づ

いて補正された応答モデルを用いて、次のウエハWの研磨に用いる最適研磨レシピを作成することで、次のウエハWの膜厚プロファイルをより精密に制御できるようになる。

次いで、制御装置３０は、作成された最適研磨レシピで次のウエハWを研磨する（図５のステップ８参照）。次いで、制御装置３０は、研磨後の次のウエハWを第１洗浄ユニット１６および／または第２洗浄ユニット１８に搬送して洗浄し、さらに洗浄された次のウエハWを乾燥ユニット２０に搬送して乾燥させる。さらに、制御装置３０は、研磨後の次のウエハWを膜厚測定器８に搬送して、研磨後のウエハWの膜厚プロファイルを取得する（図５のステップ９参照）。

さらに、制御装置３０は、図５のステップ５～ステップ９を繰り返す。すなわち、制御装置３０は、さらに次のウエハWを研磨する前に、次のウエハWの研磨前後の膜厚プロファイルと最適研磨レシピを用いて、応答モデルを補正する。次に、膜厚測定器８で、研磨前のさらに次のウエハWの膜厚プロファイルを取得する。次に、補正された応答モデルに基づいて、さらに次のウエハWの研磨に用いる最適研磨レシピを作成する。次いで、制御装置３０は、作成された最適研磨レシピでさらに次のウエハWを研磨し、研磨後のさらに次のウエハWの膜厚プロファイルを取得する。このように、ウエハWを研磨するたびに応答モデルを補正していくことで、より精密に次のウエハWの膜厚プロファイルを制御できる。

一実施形態では、制御装置３０は、研磨装置の外部に設けられた演算装置７０（図１の点線参照）とデータを送受信可能に接続されていてもよい。この場合、応答モデルは、演算装置７０に予め記憶されており、制御装置３０は、研磨前の膜厚プロファイルと目標膜厚とを演算装置７０に送信する。演算装置７０は、送信された膜厚プロファイルと目標膜厚との差分である研磨量と、応答モデルとに基づいて最適研磨レシピを作成する。次いで、演算装置７０は、最適研磨レシピを研磨装置の制御装置３０に送信し、制御装置３０は、受信した最適研磨レシピにしたがってウエハWを研磨する。さらに、制御装置３０は、研磨後のウエハWの膜厚プロファイルを演算装置７０に送り、演算装置７０は、ウエハWの研磨前後の膜厚プロファイルと、このウエハWの研磨に用いられた最適研磨レシピを記憶する。さらに、制御

装置３０は、ウエハWの研磨前後の膜厚プロファイルと、このウエハWの研磨に用いられた最適研磨レシピを用いて応答モデルを補正する。

次のウエハWを研磨するときは、制御装置３０は、研磨前の次のウエハWの膜厚プロファイルを演算装置７０に送る。演算装置７０は、研磨前の次のウエハWの膜厚プロファイルと目標膜厚との差分である目標研磨量と、補正された応答モデルとに基づいて、次のウエハWの研磨に用いられる最適研磨レシピを作成して、制御装置３０に送信する。制御装置３０は、送信された最適研磨レシピで次のウエハWを研磨する。さらに、制御装置３０は、研磨後の次のウエハWの膜厚プロファイルを演算装置７０に送信し、演算装置７０は、次のウエハWの研磨前後の膜厚プロファイルと、次のウエハWの研磨に用いられた最適研磨レシピを記憶する。演算装置７０は、次のウエハWの研磨前後の膜厚プロファイルと、次のウエハWの研磨に用いられた最適研磨レシピを、さらに次のウエハWを研磨する際に使用する応答モデルの補正に利用する。

図１１は、他の実施形態に係る研磨ヘッドを模式的に示す斜視図である。特に説明しない本実施形態の構成は、上述した実施形態と同様であるため、その重複する説明を省略する。なお、以下では、図１１を参照して説明される研磨ヘッド３７が図１に示す研磨ユニット１４ａに搭載される例を説明するが、この研磨ヘッド３７を研磨ユニット１４ｂ～１４ｄに搭載してもよい。

図１１に示す研磨ヘッド３７は、ウエハWを研磨パッド３３に対して押圧するヘッド本体２と、ウエハWを囲むように配置されたリテーナリング３とを備えている。リテーナリング３は、ヘッド本体２とは独立して上下動可能に構成されている。リテーナリング３は、ヘッド本体２から半径方向外側に張り出している。ウエハWの研磨中、リテーナリング３は、研磨パッド３３の研磨面３３ａに接触し、回転しながらウエハWの外側で研磨パッド３３を押し付ける。

研磨ヘッド３７は、内部に複数のローラが配置された回転リング７１と、静止リング８１とをさらに備えている。回転リング７１は、リテーナリング３の上面に固定されており、リテーナリング３と共に回転可能に構成されている。静止リング８１は、回転リング７１上に配置されている。回転リング７１はリテーナリング３と

共に回転するが、静止リング８１は回転せず、静止している。

研磨ユニット１４ａは、リテーナリング３の一部に局所荷重を加える複数の局所荷重付与装置を備えている。図示した例では、研磨ユニット１４ａは、２つの局所荷重付与装置、すなわち、第１局所荷重付与装置８３Ａと、第２局所荷重付与装置８３Ｂとを備えている。局所荷重付与装置８３Ａ，８３Ｂは、リテーナリング３の上方に配置されている。局所荷重付与装置８３Ａ，８３Ｂは、ヘッドアーム４２（図２参照）に固定されている。研磨中のリテーナリング３はその軸心周りに回転するが、局所荷重付与装置８３Ａ，８３Ｂはリテーナリング３とは一体に回転せず、静止している。静止リング８１は、局所荷重付与装置８３Ａ，８３Ｂに連結されている。第１局所荷重付与装置８３Ａは、研磨パッド３３の研磨面３３ａの進行方向においてリテーナリング３の上流側（研磨面３３ａが流入するリテーナリング３の一方側）に配置されており、第２局所荷重付与装置８３Ｂは、研磨パッド３３の研磨面３３ａの進行方向においてリテーナリング３の下流側（研磨面３３ａが流出するリテーナリング３の反対側）に配置されている。

複数の局所荷重付与装置８３Ａ，８３Ｂは、静止リング８１に下向きの局所荷重を与える複数の押圧部材８４Ａ，８４Ｂと、複数のブリッジ８５Ａ，８５Ｂと、下向きの力を発生する複数のエアシリンダ８６Ａ，８６Ｂと、エアシリンダ８６Ａ，８６Ｂ内の圧縮流体の圧力を調節する複数の圧力レギュレータＲ１０，Ｒ１１と、複数のリニアガイド８７Ａ，８７Ｂと、複数のガイドロッド８８Ａ，８８Ｂと、複数のユニットベース８９Ａ，８９Ｂと、を備えている。

具体的には、第１局所荷重付与装置８３Ａは、第１押圧部材８４Ａと、第１ブリッジ８５Ａと、第１エアシリンダ８６Ａと、第１圧力レギュレータＲ１０と、第１リニアガイド８７Ａと、第１ガイドロッド８８Ａと、第１ユニットベース８９Ａとを備えている。第２局所荷重付与装置８３Ｂは、第２押圧部材８４Ｂと、第２ブリッジ８５Ｂと、第２エアシリンダ８６Ｂと、第２圧力レギュレータＲ１１と、第２リニアガイド８７Ｂと、第２ガイドロッド８８Ｂと、第２ユニットベース８９Ｂとを備えている。

第１エアシリンダ８６Ａのピストンロッド１０１ａは、第１ブリッジ８５Ａを介

して第１押圧部材８４Ａに連結され、第１押圧部材８４Ａの端部は静止リング８１に連結されている。したがって、第１エアシリンダ８６Ａによって発生した力は第１押圧部材８４Ａに伝えられ、第１押圧部材８４Ａは静止リング８１の一部に局所荷重を加える。同様に、第２エアシリンダ８６Ｂのピストンロッド１０１ｂは、第２ブリッジ８５Ｂを介して第２押圧部材８４Ｂに連結され、第２押圧部材８４Ｂの端部は静止リング８１に連結されている。したがって、第２エアシリンダ８６Ｂによって発生した力は第２押圧部材８４Ｂに伝えられ、第２押圧部材８４Ｂは静止リング８１の一部に局所荷重を加える。

本実施形態では、第１エアシリンダ８６Ａと第１圧力レギュレータＲ１０との組み合わせは、第１押圧部材８４Ａから静止リング８１に加えられる局所荷重を調節する第１アクチュエータ９０Ａを構成し、第２エアシリンダ８６Ｂと第２圧力レギュレータＲ１１との組み合わせは、第２押圧部材８４Ｂから静止リング８１に加えられる局所荷重を調節する第２アクチュエータ９０Ｂを構成する。一実施形態では、第１アクチュエータ９０Ａおよび第２アクチュエータ９０Ｂのそれぞれは、サーボモータと、ボールねじ機構と、モータドライバとの組み合わせから構成されてもよい。

第１押圧部材８４Ａは２つの押圧ロッド１０３ａを含んでおり、第２押圧部材８４Ｂは２つの押圧ロッド１０３ｂを含んでいる。押圧ロッド１０３ａおよび押圧ロッド１０３ｂは静止リング８１に連結されている。第１押圧部材８４Ａは、研磨パッド３３の研磨面３３ａの進行方向において静止リング８１の上流側の部分に局所荷重を加えるように構成されており、第２押圧部材８４Ｂは、研磨パッド３３の研磨面３３ａの進行方向において静止リング８１の下流側の部分に局所荷重を加えるように構成されている。

局所荷重付与装置８３Ａ，８３Ｂは、ユニットベース８９Ａ，８９Ｂを介してヘッドアーム４２（図２参照）に固定されている。したがって、ウエハWの研磨中、研磨ヘッド３７およびウエハWは回転している一方、局所荷重付与装置８３Ａ，８３Ｂは静止している。同様に、ウエハWの研磨中、回転リング７１は研磨ヘッド３７と共に回転している一方で、静止リング８１は静止している。

局所荷重付与装置８３Ａ，８３Ｂは同一の構成を有する。以下の説明は第１局所荷重付与装置８３Ａに関するものであるが、第２局所荷重付与装置８３Ｂにも同様に適用される。第１ユニットベース８９Ａには、第１エアシリンダ８６Ａおよび第１リニアガイド８７Ａが取り付けられている。第１エアシリンダ８６Ａのピストンロッド１０１ａおよび第１ガイドロッド８８Ａは、第１ブリッジ８５Ａに接続されている。第１ガイドロッド８８Ａは第１リニアガイド８７Ａにより低摩擦で上下動自在に支持されている。第１リニアガイド８７Ａにより、第１ブリッジ８５Ａは傾くことなく滑らかに上下動可能となっている。

エアシリンダ８６Ａ，８６Ｂは、気体移送ラインＦ１，Ｆ２を通じて圧縮流体供給源３２（図４参照）に接続されている。圧力レギュレータＲ１０，Ｒ１１は、気体移送ラインＦ１，Ｆ２にそれぞれ設けられており、図４に示す圧力調整装置６５に配置される。圧縮流体供給源からの圧縮流体は、圧力レギュレータＲ１０，Ｒ１１を通ってエアシリンダ８６Ａ，８６Ｂにそれぞれ独立に供給される。

圧力レギュレータＲ１０，Ｒ１１は、エアシリンダ８６Ａ，８６Ｂ内の圧縮流体の圧力を互いに独立して調整させることが可能であり、これにより、エアシリンダ８６Ａ，８６Ｂは、互いに独立して力を発生させることが可能となる。

圧力レギュレータＲ１０，Ｒ１１は、図１に示す制御装置３０に電気的に接続されている。ウエハWの研磨中、制御装置３０は、圧力レギュレータＲ１０，Ｒ１１のうちのいずれか１つに指令を出して、エアシリンダ８６Ａまたはエアシリンダ８６Ｂ内の圧縮流体の圧力を調節させる。

エアシリンダ８６Ａ，８６Ｂが発生させた力は、ブリッジ８５Ａ，８５Ｂにそれぞれ伝えられる。ブリッジ８５Ａ，８５Ｂは、押圧部材８４Ａ，８４Ｂを介して静止リング８１に接続されており、押圧部材８４Ａ，８４Ｂはブリッジ８５Ａ，８５Ｂに加えられたエアシリンダ８６Ａ，８６Ｂの力を静止リング８１に伝達する。すなわち、第１押圧部材８４Ａは、第１エアシリンダ８６Ａが発生させた力に相当する局所荷重で、静止リング８１の一部を押圧し、第２押圧部材８４Ｂは、第２エアシリンダ８６Ｂが発生させた力に相当する局所荷重で静止リング８１の一部を押圧する。

局所荷重付与装置８３Ａ，８３Ｂのそれぞれは、静止リング８１および回転リング７１を介してリテーナリング３の一部に下向きの局所荷重を与える。すなわち、下向きの局所荷重は、静止リング８１および回転リング７１を通じてリテーナリング３に伝達される。

研磨装置は、リテーナリング３に固定された回転リング７１をリテーナリング３と共に回転させながら、かつ第１押圧部材８４Ａまたは第２押圧部材８４Ｂから静止リング８１に局所荷重を加えながらウエハWを研磨する。ウエハWの研磨中、リテーナリング３は研磨パッド３３の研磨面３３ａに接触し、回転しながらウエハWの外側で研磨パッド３３を押し付け、かつ研磨面３３ａの一部に下向きの局所荷重を与える。

図１２は、リテーナリングが研磨面を押し付けているときの状態を模式的に示した縦断面図である。図１２に示すように、リテーナリング３が研磨面３３ａの一部に下向きの局所荷重を与えると、研磨面３３ａの一部が上方に盛り上がる。上方に盛り上がった研磨面３３ａはウエハWに局所的な上向きの力を加える。本明細書では、この局所的な上向きの力を局所反発力と称する。図１２では、説明のために、研磨面３３ａの盛り上がった部分のみがウエハWに接触しているが、実際の研磨中では、ウエハWの下面（被研磨面）の全体が研磨面３３ａに接触している。局所反発力を受けた部分のウエハWの研磨レートは大きくなる。局所反発力の大きさはリテーナリング３が研磨パッド３３を押し付ける力の大きさに依存し、局所反発力の大きさに依存して研磨レートは変化する。すなわち、局所反発力が大きくなるほど、研磨レートは大きくなる。局所反発力が発生する位置は、リテーナリング３が研磨面３３ａに与える局所荷重位置に依存する。

したがって、第１押圧部材８４Ａまたは第２押圧部材８４Ｂから静止リング８１に局所荷重を加えながらウエハWを研磨することによって、それぞれの局所荷重に対応した局所反発力を発生させ、局所反発力を受ける部分のウエハWの研磨レートを変化させることができる。例えば、制御装置３０は、第１押圧部材８４Ａが与える局所荷重を上げたいときは、圧力レギュレータＲ１０に指令を出して、エアシリンダ８６Ａ内の圧縮流体の圧力を上昇させる。第２押圧部材８４Ｂが与える局所荷

重を上げたいときは、圧力レギュレータＲ１１に指令を出して、エアシリンダ８６Ｂ内の圧縮流体の圧力を上昇させる。

このように、局所荷重付与装置８３Ａ，８３Ｂがリテーナリング３に与える局所荷重（本実施形態では、エアシリンダ８６Ａ，８６Ｂに供給される圧縮流体の圧力に対応する）も、研磨後のウエハWの膜厚プロファイルに影響を与える要因となる。

そこで、本実施形態では、制御装置３０（図１参照）は、各圧力室７ａ～７ｈおよびリテーナ室３４に供給される圧縮流体の圧力に加えて、局所荷重も考慮して、上述した応答モデル（すなわち、応答係数Ｃ１ａ～Ｃｍｈからなる上記行列Ｃと、オフセット値からなる行列D）を算出する。さらに、制御装置３０は、局所荷重も加味された応答モデルを用いて、最適研磨レシピを作成する（図５のステップ３参照）。

このようにして得られた最適研磨レシピは、各圧力室７ａ～７ｈに供給される圧縮流体の圧力の変化に伴う、モニタ領域Ｄ１～Ｄｍの相互間における研磨量の変化、研磨パッド３３へのリテーナリング３の押圧力の変化に伴う、モニタ領域Ｄ１～Ｄｍの相互間における研磨量の変化、および局所荷重の変化に伴う、モニタ領域Ｄ１～Ｄｍの相互間における研磨量の変化も考慮されている。したがって、ウエハWの膜厚プロファイルをより精密に制御することができる。

さらに、次のウエハWを研磨する際の最適研磨レシピの算出に用いられる補正応答モデルも、各圧力室７ａ～７ｈに供給される圧縮流体の圧力の変化に伴う、モニタ領域Ｄ１～Ｄｍの相互間における研磨量の変化、研磨パッド３３へのリテーナリング３の押圧力の変化に伴う、モニタ領域Ｄ１～Ｄｍの相互間における研磨量の変化、および局所荷重の変化に伴う、モニタ領域Ｄ１～Ｄｍの相互間における研磨量の変化が考慮される。したがって、補正応答モデルに基づいて作成された最適研磨レシピで研磨される次のウエハWの膜厚プロファイルもより精密に制御することができる。

図１３は、複数の実施形態に係る最適研磨レシピを利用して、複数のウエハを連続して研磨した時の各実施形態における面内均一性の推移を示したグラフである。図１３において、縦軸は面内均一性を表し、横軸は連続して研磨されたウエハの順

番を表す。図１３に示す面内均一性は、研磨後のウエハWの膜厚測定値の最大値と最小値の差分によって表されている。

図１３において、点線は、各圧力室７ａ～７ｈに供給される圧縮流体の圧力の変化のみを考慮して作成した応答モデルを用いて、最適研磨レシピの作成と、応答モデルの補正を行った場合（以下、実施例１と称する）の面内均一性の推移を示している。太い実線は、各圧力室７ａ～７ｈに供給される圧縮流体の圧力の変化、およびリテーナ室３４に供給される圧縮流体の圧力の変化を考慮して作成した応答モデルを用いて、最適研磨レシピの作成と、応答モデルの補正を行った場合（以下、実施例２と称する）の面内均一性の推移を示している。細い実線は、各圧力室７ａ～７ｈに供給される圧縮流体の圧力の変化、リテーナ室３４に供給される圧縮流体の圧力の変化、および局所荷重の変化を考慮して作成した応答モデルを用いて、最適研磨レシピの作成と、応答モデルの補正を行った場合（以下、実施例３と称する）の面内均一性の推移を示している。

なお、図１３における二点鎖線のグラフは、参考例を示すグラフであり、従来の研磨圧力調整方法を利用して複数のウエハWを連続して研磨した時の面内均一性の推移を表すグラフである。従来の研磨圧力調整方法では、研磨後のウエハWの各圧力室７ａ～７ｈに対応するモニタ領域Ｄａ～Ｄｈにおける膜厚と目標膜厚との差分を演算し、各モニタ領域Ｄａ～Ｄｈにおける差分が０となるように、各圧力室７ａ～７ｈに供給される圧縮流体の圧力を変化させて次のウエハWを研磨する。また、従来の研磨圧力調整方法では、モニタ領域Ｄａ～Ｄｈの相互間の研磨量の変化を考慮した上述の応答モデルは作成せず、各圧力室７ａ～７ｈに供給される圧縮流体の圧力と各モニタ領域Ｄａ～Ｄｈの研磨量が１対１で対応するとしている。そのため、各圧力室７ａ～７ｈに供給される圧縮流体の圧力の変化に伴うモニタ領域Ｄａ～Ｄｈの相互間の研磨量の変化を考慮しない研磨レシピで、次のウエハWが研磨される。

図１３から見て取れるように、実施例１乃至３の面内均一性は、参考例の面内均一性よりも大幅に向上している。したがって、上述した応答モデルを用いて、最適研磨レシピの作成と、応答モデルの補正を行いながらウエハWの連続研磨を行うことで、膜厚プロファイルを精密に制御できることが分かる。

さらに、実施例２および実施例３の面内均一性は、実施例１の面内均一性よりも優れていることが分かる。したがって、少なくとも、各圧力室７ａ～７ｈに供給される圧縮流体の圧力の変化、およびリテーナ室３４に供給される圧縮流体の圧力の変化を考慮して作成した応答モデルを用いることで、膜厚プロファイルを精密に制御できることが分かる。

図１４は、他の実施形態に係る研磨方法を示すフローチャートである。特に説明しない本実施形態のステップは、図５に示すフローチャートのステップと同様であるため、その重複する説明を省略する。図１４に示す研磨方法は、大量のデータ処理が必要になるおそれがあるため、演算装置７０（図１の点線参照）に接続された制御装置３０を有する研磨装置で行われるのが好ましい。そのため、以下の説明では、演算装置７０と制御装置３０を用いてウエハWを研磨する方法が説明される。しかしながら、制御装置３０が十分なデータ処理能力を有している場合は、演算装置７０を介さずに制御装置３０のみで図１４に示す研磨方法を実行してもよい。この場合は、以下の説明における「演算装置７０」を「制御装置３０」と適宜読み替えればよい。

図１４に示すように、本実施形態では、最初に、複数のウエハWの研磨前の膜厚プロファイルと、応答モデルとを収集し、演算装置７０に設けられたストレージ（図示せず）に蓄積する（図１４のステップ１参照）。さらに、演算装置７０は、複数の研磨前の膜厚プロファイルを、互いに似ている膜厚プロファイルが属する複数のグループに分類する（図１４のステップ２参照）。ウエハWの研磨前の膜厚プロファイルおよび応答モデルは、該ウエハWが属するグループに関連付けられる。

制御装置３０は、ウエハWの研磨を実行するたびに、該ウエハWの研磨前後の膜厚プロファイルと、このウエハWの研磨に用いられた最適研磨レシピと、を演算装置７０に送信する。演算装置７０は、制御装置３０からウエハWの研磨前後の膜厚プロファイルと、最適研磨レシピとの組み合わせが送られてくるたびに、研磨前後の膜厚プロファイルと、最適研磨レシピとを用いて、応答モデルを補正する。さらに、演算装置７０は、ウエハWの研磨前の膜厚プロファイルと補正された応答モデルとの組み合わせを複数のグループのうちのいずれかに分類して蓄積していく。

研磨前の膜厚プロファイルによる分類には、例えば、演算により得られる形状一致指数を用いることができる。形状一致指数の例としては、絶対平均、二乗平均、平均膜厚差、相関係数、ＧＯＦ（Ｇｏｏｄ　ｏｆ　Ｆｉｔｔｉｎｇ）値が挙げられる。形状一致指数は２つの膜厚プロファイルの形状一致度（類似度）を求める指標であり、第１の膜厚プロファイルをＴ１～Ｔｍ、Ｔ１～Ｔｍの平均値をＴａｖｅ、第２の膜厚プロファイルをＴ’１～Ｔ’ｍ、Ｔ’１～Ｔ’ｍの平均値をＴ’ａｖｅ、としたときに、次式（８）～（１１）のいずれかによってそれぞれ算出することができる。

$$絶対平均 = \sum_{k=1}^{m} |Tk - T'k| / m \quad \cdots (8)$$

$$二乗平均 = \sum_{k=1}^{m} |Tk - T'k|^2 / m \quad \cdots (9)$$

平均膜厚差＝｜Ｔａｖｅ－Ｔ’ａｖｅ｜　・・・（１０）

$$相関係数 = \frac{\sum_{k=1}^{m}(Tk - Tave)(T'k - T'ave)}{\sqrt{\sum_{k=1}^{m}(Tk - Tave)^2}\sqrt{\sum_{k=1}^{m}(T'k - T'ave)^2}} \quad \cdots (11)$$

また、ＧＯＦは二つのプロファイルの一致度を示す一般的に使用されている指標である。絶対平均、二乗平均、および平均膜厚差は値が小さいほど形状一致度が高く(形状が類似している)、相関係数、およびＧＯＦは値が大きいほど形状一致度が高くなる。

演算装置７０は、これら形状一致指数の少なくとも１つを用いて膜厚プロファイルを分類する。具体的には、演算装置７０は、各グループを代表する膜厚プロファイル予め求めておき、研磨前の膜厚プロファイルと、各グループを代表する膜厚プロファイルとの形状一致指数を算出して、形状一致度が予め設定した閾値を超えて、かつ最も高いグループに、上記研磨前の膜厚プロファイルを分類する。各グループを代表する膜厚プロファイルは、例えば、各グループに分類された膜厚プロファイルの各測定点における膜厚値を平均した平均膜厚プロファイルを用いることができる。

形状一致度が閾値を超えるグループがない場合、すなわち、形状一致指数に基づ

いて分類されるべきグループがない場合は、演算装置７０は新しいグループを作成する。この作業により、互いに似ている膜厚プロファイルが集められた複数のグループが作成される。

一実施形態では、演算装置７０に機械学習器（図示せず）を設け、該機械学習器を用いて、研磨前のウエハWの膜厚プロファイルを分類してもよい。この場合、機械学習器には、研磨前のウエハWの膜厚プロファイルが入力される。機械学習器は、入力された膜厚プロファイルが属するべきグループを出力する。機械学習器が、入力された膜厚プロファイルが属するべきグループがないと判断した場合は、機械学習器は、演算装置７０に新しいグループを作成させるための指令を出力する。

次いで、制御装置３０は、ロードポート１２（図１参照）に載置された基板カセットからウエハWを取り出して、膜厚測定器８に搬送し、研磨前のウエハWの膜厚プロファイルを取得する（図１４のステップ３参照）。このステップ３は、図５のステップ１に対応する。次いで、制御装置３０は、研磨前のウエハWの膜厚プロファイルを演算装置７０に送信し、演算装置７０は、受信した膜厚プロファイル（すなわち、研磨されるウエハ）が属するべきグループを選択する（図１４のステップ４参照）。

グループを選択する際は、演算装置７０は、上述した形状一致指数を用いる。具体的には、演算装置７０は、受信した膜厚プロファイルと、各グループの代表膜厚プロファイルを用いて、各グループに対する形状一致指数を算出し、形状一致度が閾値を超えて、かつ最も高いグループを膜厚プロファイルが属すべきグループとして選択する。

次いで、演算装置７０は、膜厚プロファイルが属するグループの応答モデルを利用して、最適研磨レシピを作成する（図１４のステップ５参照）。このステップ５は、図５のステップ２に対応するため、最適研磨レシピの作成方法に関する説明は省略する。

ステップ４で、形状一致度が閾値を超えるグループがない場合は、演算装置７０は、形状一致指数が最も高い閾値を有するグループを選択し、このグループの応答モデルを利用して、最適研磨レシピを作成する。さらに、演算装置７０は、この膜

厚プロファイルが属する新しいグループを作成する。

次いで、演算装置７０は、作成された最適研磨レシピを制御装置３０に送信し、制御装置３０は、受信した研磨レシピに基づいてウエハWの研磨を実行する（図１４のステップ６参照）。

次いで、制御装置３０は、研磨後のウエハWを第１洗浄ユニット１６および／または第２洗浄ユニット１８に搬送して洗浄し、さらに洗浄されたウエハWを乾燥ユニット２０に搬送して乾燥させる。さらに、制御装置３０は、研磨後のウエハWを膜厚測定器８に搬送して、研磨後のウエハWの膜厚プロファイルを取得する（図１４のステップ７参照）。制御装置３０は、研磨前後のウエハWの膜厚プロファイルと、最適研磨レシピと、を用いて応答モデルを補正し、さらに、膜厚プロファイルが属するグループと関連付けて記録する（図１２のステップ８参照）。

図１２のステップ９からステップ１２までの工程は、図５のステップ６からステップ９の工程と同一であるため、重複する説明を省略する。

本実施形態によれば、１枚目のウエハの最適研磨モデルを、該１枚目のウエハWの膜厚プロファイルと似た膜厚プロファイルを有するグループに属する最適研磨レシピおよび応答モデルを利用して作成する。そのため、１枚目のウエハWの膜厚プロファイルを精密に制御することができる。

図１５は、他の実施形態に係る研磨ユニットを示す模式図である。特に説明しない本実施形態の構成は、図２を参照して説明した実施形態と同様であるため、その重複する説明を省略する。図１５では、ドレッシング装置４０（図２参照）の図示を省略している。以下では、図１に示す研磨ユニット１４ｂが、図１３を参照して説明される研磨ユニットである例が説明される。しかしながら、図１５に示す研磨ユニットを、研磨装置の研磨ユニット１４ａ，１４ｃ，１４ｄの少なくともいずれかに配置してもよい。

図１５に示す研磨ユニット１４ｂの構成は、ウエハWの膜厚に従って変化する膜厚信号を取得する膜厚センサ５２を備えている点で、図２に示す研磨ユニット１４ａの構成と異なっている。膜厚センサ５２は、研磨テーブル３５内に設置されており、研磨テーブル３５が１回転するたびに、ウエハWの複数のモニタ領域Ｄ１～Ｄ

mのそれぞれにおける複数の測定点で膜厚信号を取得する。膜厚センサ５２の例としては、光学式センサや渦電流センサが挙げられる。

ウエハWの研磨中、膜厚センサ５２は研磨テーブル３５と共に回転し、記号Aに示すようにウエハWの表面を横切りながら膜厚信号を取得する。この膜厚信号は、膜厚を直接または間接に示す指標値であり、ウエハWの膜厚の減少に従って変化する。膜厚センサ５２は制御装置３０に接続されており、膜厚信号は制御装置３０に送られるようになっている。制御装置３０は、膜厚センサ５２から送られる膜厚信号からウエハWの膜厚プロファイルを取得することができる。

半導体デバイスの高集積化・高密度化に伴い、ウエハW上に多層構造からなる配線が形成される。そのため、所望の膜が露出するまで１つの研磨ユニットでウエハWの研磨を実行すると、研磨時間が長くなり、その結果、研磨温度の上昇や副生成物の研磨パッド上の堆積などに起因してウエハのディフェクトを引き起こし、またはウエハ表面の平坦度が低下してしまう。ウエハW上に形成された多層構造の膜種次第では、複数の研磨ユニットにわたって、複数の研磨工程を実行することもある。例えば、ウエハWの最上層の金属膜を第１研磨ユニットで研磨した後で、金属膜の下に形成された誘電体膜層を第２研磨ユニットで研磨することもある。

このように複数の研磨工程を連続して行う場合、１つの研磨工程が終了するたびに、図２に示すような膜厚測定器８で、研磨後の膜厚プロファイルを取得すると、スループットが低下してしまう。そこで、本実施形態では、膜厚センサ５２を利用して、研磨前のウエハWの膜厚プロファイルおよび／または研磨後のウエハWの膜厚プロファイルを取得する。

図１６は、さらに他の実施形態に係る研磨方法を示したフローチャートである。特に説明しない本実施形態のステップは、図５に示すフローチャートのステップと同様であるため、その重複する説明を省略する。

図１６に示すように、制御装置３０は、最初に、ロードポート１２（図１参照）に載置された基板カセットからウエハWを取り出して、膜厚センサ５２を有する第１研磨ユニット（例えば、研磨ユニット１４ｂ）に搬送し、第１研磨ユニットで所定の研磨レシピにしたがってウエハWを第１研磨する（図１６のステップ１参照）。

ウエハWの第１研磨中、制御装置３０は、膜厚センサ５２の測定値から得られるウエハWの膜厚を監視し、膜厚が所定のしきい値に達したとき（すなわちウエハWの最上層の膜の厚さが所定の目標値に達したとき）に第１研磨を停止させる。

ウエハWの第１研磨が終了すると、制御装置３０は、研磨テーブル３５上の研磨パッド３３に純水を供給しながらウエハWを研磨する水研磨を行い、この水研磨を行っているときに、第１研磨後のウエハWの膜厚プロファイルを膜厚センサ５２により取得する（図１６のステップ２参照）。水研磨中は、ウエハWの研磨は実質的に進行しない。水研磨することで、研磨パッド３３上の研磨液、研磨屑、副生成物などを除去することができるので、ウエハWの第１研磨後であっても、正確な膜厚プロファイルを取得することができる。膜厚センサ５２は、ウエハWの第２研磨の最適研磨レシピを作成するのに必要とされるウエハWの第２研磨前の膜厚プロファイルを取得する膜厚測定器として機能する。

次いで、制御装置３０は、ウエハWの第２研磨を行うために、第１研磨後のウエハWを第１研磨ユニット以外の第２研磨ユニット（例えば、研磨ユニット１４ａ）に搬送する（図１６のステップ３参照）。この際、制御装置３０は、第２研磨前のウエハWの膜厚プロファイル（すなわち、第１研磨後に膜厚センサ５２によって取得された膜厚プロファイル）と上述した応答モデルに基づいて、ウエハWの第２研磨最適レシピを作成する（図１６のステップ４参照）。この第２研磨最適レシピの作成方法は、上述した図５のステップ２と同様の方法で行われる。

次いで、制御装置３０は、ステップ３でウエハWが搬送された第２研磨ユニットで、第２研磨最適レシピにしたがってウエハWの第２研磨を行う（図１６のステップ５参照）。次いで、制御装置３０は、第２研磨後のウエハWを第１洗浄ユニット１６および／または第２洗浄ユニット１８に搬送して洗浄し、さらに洗浄されたウエハWを乾燥ユニット２０に搬送して乾燥させる。さらに、制御装置３０は、第２研磨後のウエハWを膜厚測定器８（図１参照）に搬送して、第２研磨後のウエハWの膜厚プロファイルを取得する（図１６のステップ６参照）。

次いで、制御装置３０は、次のウエハWを第１研磨ユニットに搬送し、次のウエハWの第１研磨を実行する（図１６のステップ７参照）。次のウエハWの第１研磨

の終了後、制御装置３０は、次のウエハWの水研磨を行いつつ、第１研磨後の次のウエハWの膜厚プロファイルを膜厚センサ５２により取得する（図１６のステップ８参照）。

次いで、制御装置３０は、次のウエハWの第２研磨を行うために、第１研磨後の次のウエハWを第２研磨ユニットに搬送する（図１６のステップ９参照）。この際、制御装置３０は、次のウエハWを第２研磨するための第２研磨最適レシピを作成するために、第２研磨応答モデルを補正する（図１６のステップ９参照）。次のウエハWの第２研磨応答モデルの補正は、図５のステップ５で説明したように、先のウエハWの第２研磨最適レシピ、および第２研磨前後の膜厚プロファイルに基づいて行われる。

具体的には、制御装置３０は、既に第１研磨および第２研磨されたウエハWの第２研磨前後の膜厚プロファイルからウエハWの各モニタ領域Ｄ１～Ｄｍにおける第２研磨の実際の研磨量Ｒａｃを算出し、上記式（３）における予測研磨量Ｒと実際の研磨量Ｒａｃとが上記式（４）を満たすように、補正係数Ｋを算出する。次に、制御装置３０は、上述した行列Ｃと行列Ｄに、式（４）から得られたＫを乗算し、上記式（５）および（６）により補正された応答係数行列Ｃａｄｊおよび補正されたオフセット量行列Ｄａｄｊを算出して記憶する。

次に、制御装置３０は、求めたＣａｄｊ、Ｄａｄｊ、および次のウエハWの第２研磨の目標研磨量Ｒ’から、少なくとも、各圧力室７ａ～７ｈ、およびリテーナ室３４に供給される圧縮流体の圧力と、研磨時間とを含む次のウエハWの第２研磨最適レシピを上述の最適化計算により算出する。

次いで、制御装置３０は、算出された第２研磨最適レシピで次のウエハWを第２研磨する（図１６のステップ１２参照）。次いで、制御装置３０は、第２研磨後の次のウエハWを第１洗浄ユニット１６および／または第２洗浄ユニット１８に搬送して洗浄し、さらに洗浄された次のウエハWを乾燥ユニット２０に搬送して乾燥させる。さらに、制御装置３０は、第２研磨後の次のウエハWを膜厚測定器８に搬送して、第２研磨後のウエハWの膜厚プロファイルを取得する（図１６のステップ１３参照）。

さらに、制御装置３０は、図１６のステップ７～ステップ１３を繰り返す。すなわち、制御装置３０は、さらに次のウエハWを第２研磨ユニットで第２研磨する前に、第１研磨ユニットの膜厚センサ５２を用いてさらに次のウエハWの第２研磨前の膜厚プロファイルを取得する。さらに、制御装置３０は、次のウエハWの第２研磨前後の膜厚プロファイルに基づいて、次のウエハWの研磨に用いた第２研磨応答モデルを補正する。次いで、制御装置３０は、補正された応答モデルに基づいて、さらに次のウエハWの第２研磨最適レシピを作成する。次いで、制御装置３０は、補正された応答モデルに基づいて算出された第２研磨最適レシピでさらに次のウエハWを第２研磨し、第２研磨後のさらに次のウエハWの膜厚プロファイルを取得する。このように、ウエハWを研磨するたびに第２研磨応答モデルを補正していき、それに基づいて算出された第２研磨最適レシピで研磨することで、より精密に次のウエハWの膜厚プロファイルを制御できる。

本実施形態によれば、複数の研磨工程を行う必要がある場合であっても、スループットの低下を抑えつつ、精密にウエハWの膜厚プロファイルを制御することができる。

図１７は、さらに他の実施形態に係る研磨方法を示したフローチャートである。特に説明しない本実施形態のステップは、図１６に示すフローチャートのステップと同様であるため、その重複する説明を省略する。

図１７のフローチャートに示す研磨方法では、制御装置３０は、最初に、ロードポート１２（図１参照）に載置された基板カセットからウエハWを取り出して、膜厚測定器８に搬送し、第１研磨前のウエハWの膜厚プロファイルを取得する（図１７のステップ１参照）。

次いで、制御装置３０は、第１研磨前のウエハWの膜厚プロファイルと上述した応答モデルに基づいて、ウエハWの第１研磨最適レシピを作成する（図１７のステップ２参照）。この第１研磨最適レシピの作成方法は、上述した図５のステップ２と同様の方法で行われる。次いで、制御装置３０は、ウエハWを第１研磨最適レシピで第１研磨し（図１７のステップ３参照）、ウエハWを膜厚センサ５２を有する第２研磨ユニット（例えば、研磨ユニット１４ｂ）に搬送する（図１７のステップ

４参照）。

次いで、制御装置３０は、第２研磨を行う前に、上述した水研磨を行いつつ、第１研磨後のウエハWの膜厚プロファイルを膜厚センサ５２により取得する（図１７のステップ５参照）。次いで、制御装置３０は、第２研磨ユニットで所定の研磨レシピにしたがってウエハWの第２研磨を行う（図１７のステップ６参照）。次いで、制御装置３０は。第２研磨後のウエハWを第１洗浄ユニット１６および／または第２洗浄ユニット１８に搬送して洗浄し、さらに洗浄された次のウエハWを乾燥ユニット２０に搬送して乾燥させる。

次いで、制御装置３０は、次のウエハWを膜厚測定器８に搬送し、第１研磨前の次のウエハWの膜厚プロファイルを取得する（図１５のステップ７参照）。次いで、制御装置３０は、ウエハWの第１研磨最適レシピと第１研磨前後の膜厚プロファイルに基づいて、第１研磨応答モデルの補正をおこなう（図１７のステップ８参照）。次いで、制御装置３０は、補正された第１研磨応答モデルを用いて、次のウエハWを第１研磨するための最適研磨レシピを作成する（図１７のステップ９参照）。

次いで、制御装置３０は、次のウエハWを作成した最適研磨レシピで第１研磨し（図１７のステップ１０参照）、第１研磨後の次のウエハWを第２研磨ユニットに搬送する（図１７のステップ１１参照）。第２研磨ユニットでは、膜厚センサ５２によって、水研磨中に、第１研磨後の次のウエハWの膜厚プロファイルが取得され（図１７のステップ１２参照）、次いで、次のウエハWの第２研磨が行われる（図１７のステップ１３参照）。

さらに、制御装置３０は、図１７のステップ７～ステップ１３を繰り返す。すなわち、制御装置３０は、次のウエハWの第１研磨最適レシピと、第１研磨前後の膜厚プロファイルと、を用いて、第１研磨応答モデルを補正する。さらに次のウエハWを第１研磨ユニットで第１研磨する前に、膜厚測定器８を用いてさらに次のウエハWの第１研磨前の膜厚プロファイルが取得される。さらに、制御装置３０は、補正された第１研磨応答モデルと、さらに次のウエハWの第１研磨前の膜厚プロファイルに基づいて、さらに次のウエハWの研磨に用いる第１研磨最適レシピを作成する。次いで、制御装置３０は、作成された第１研磨最適レシピでさらに次のウエハ

Wを第１研磨し、第１研磨後のさらに次のウエハWの膜厚プロファイルを取得する。このように、ウエハWを研磨するたびに第１研磨応答モデルを補正していき、それに基づいて算出された第１研磨最適レシピで研磨することで、より精密に次のウエハWの膜厚プロファイルを制御できる。

本実施形態でも、複数の研磨工程を行う必要がある場合でスループットの低下を抑えつつ、精密にウエハWの膜厚プロファイルを制御することができる。

図１８は、さらに他の実施形態に係る研磨方法を示したフローチャートの前半部分であり、図１９は、さらに他の実施形態に係る研磨方法を示したフローチャートの後半部分である。特に説明しない本実施形態のステップは、図１６および図１７に示すフローチャートのステップと同様であるため、その重複する説明を省略する。図１８および図１９のフローチャートに示す研磨方法では、第１研磨と第２研磨とが、膜厚センサ５２を有する１つの研磨ユニットで行われる。したがって、研磨装置は、膜厚測定器８（図１参照）を省略することができる。

図１８に示すように、制御装置３０は、最初に、ロードポート１２（図１参照）に載置された基板カセットからウエハWを取り出して、膜厚センサ５２を有する第１研磨ユニットに搬送し、該第１研磨ユニットで水研磨を行いつつ、膜厚センサ５２によって、第１研磨前のウエハWの膜厚プロファイルが取得される（図１８のステップ１参照）。

次いで、制御装置３０は、第１研磨前のウエハWの膜厚プロファイルと上述した第１研磨応答モデルに基づいて、ウエハWの第１研磨最適レシピを作成する（図１８のステップ２参照）。この第１研磨最適レシピの作成方法は、上述した図５のステップ２と同様の方法で行われる。制御装置３０は、水研磨を終了させた後で、第１研磨最適レシピにしたがってウエハWを第１研磨する（図１８のステップ３参照）。

次いで、制御装置３０は、第１研磨が終了した後で、水研磨を再度開始し、水研磨中に、第１研磨後のウエハWの膜厚プロファイルを取得する（図１８のステップ４参照）。この第１研磨後に取得された膜厚プロファイルは、第２研磨前の膜厚プロファイルに相当する。したがって、制御装置３０は、ステップ４で取得した膜厚

プロファイルと、上述した第２研磨応答モデルに基づいて、ウエハWの第２研磨最適レシピを作成し（図１８のステップ５参照）、第２研磨最適レシピでウエハWを第２研磨する（図１８のステップ６参照）。

第２研磨が終了すると、制御装置３０は、水研磨を開始して、該水研磨中に、第２研磨後のウエハWの膜厚プロファイルを取得する（図１８のステップ７参照）。次いで、制御装置３０は、第２研磨後の次のウエハWを第１洗浄ユニット１６および／または第２洗浄ユニット１８に搬送して洗浄し、さらに洗浄された次のウエハWを乾燥ユニット２０に搬送して乾燥させる。

次いで、制御装置３０は、次のウエハWを研磨ユニットに搬送し、第１研磨前の次のウエハWの膜厚プロファイルを膜厚センサ５２を用いて取得する（図１９のステップ８参照）。さらに、制御装置３０は、ウエハWの第１研磨最適レシピと第１研磨前後の膜厚プロファイルを用いて、第１研磨応答モデルを補正し（図１９のステップ９参照）、次のウエハWを第１研磨するための第１研磨最適レシピを作成する（図１９のステップ１０参照）。次のウエハWの第１研磨最適レシピの作成は、先の補正された第１研磨用の応答モデルと、ウエハWの第１研磨の目標研磨量とに基づいて行われる。

次いで、制御装置３０は、次のウエハWを補正後の第１研磨最適レシピで第１研磨する（図１９のステップ１１参照）。さらに、制御装置３０は、水研磨を開始し、水研磨中に、第１研磨後の次のウエハWの膜厚プロファイルを取得する（図１９のステップ１２参照）。

次いで、制御装置３０は、ウエハWの第２研磨最適レシピと第２研磨前後の膜厚プロファイルを用いて、第２研磨応答モデルを補正し（図１９のステップ１３参照）、次のウエハWを第２研磨するための第２研磨最適レシピを作成する（図１９のステップ１４参照）。次のウエハWの最適研磨レシピの作成は、先の補正された第２研磨用の応答モデルと、ウエハWの第２研磨の目標研磨量とに基づいて行われる。次いで、制御装置３０は、次のウエハWを補正後の第２研磨最適レシピで第２研磨する（図１９のステップ１５参照）。第２研磨の終了後に、制御装置３０は、水研磨を開始し、該水研磨中に、第２研磨後の次のウエハWの膜厚プロファイルを膜厚

センサ５２を用いて取得する（図１９のステップ１６参照）。さらに、制御装置３０は、図１９のステップ８～ステップ１６を繰り返す。

本実施形態によれば、複数の研磨処理を１つの研磨ユニットで行うことができるので、膜厚プロファイルを精密に制御しながら、スループットの低下を極力抑えることができる。さらに、一般に高額な膜厚測定器８（図１参照）を省略することができるので、膜厚プロファイルを精密に制御可能な研磨装置を安価に提供できる。

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．　研磨パッドを支持するための研磨テーブルと、基板を前記研磨パッドに押し付けるための基板保持装置と、を含む少なくとも１つの研磨ユニットと、

前記基板の膜厚プロファイルを測定する膜厚測定器と、

前記研磨ユニット、および前記膜厚測定器の動作を少なくとも制御する制御装置と、を備え、

前記基板保持装置は、

前記基板を押圧するための複数の圧力室を形成する弾性膜と、

前記弾性膜が取り付けられるヘッド本体と、

前記基板を囲むように配置されたリテーナリングと、を備えており、

前記制御装置は、各圧力室内の圧力の変化に伴う、前記基板の複数のモニタ領域における相互間の研磨量の変化を考慮して作成された応答モデルを予め記憶しており、

前記制御装置は、

前記膜厚測定器を用いて、前記基板の研磨前の膜厚プロファイルを取得し、

前記研磨前の基板の膜厚プロファイルと前記基板の目標膜厚との差分である目標研磨量と、前記応答モデルと、に基づいて作成された、少なくとも前記複数の圧力室に供給される圧縮流体の圧力と、研磨時間と、を含む最適研磨レシピで前記基板を研磨し、

次の基板の目標研磨量と、前記最適研磨レシピおよび前記基板の研磨前後の膜厚プロファイルを用いて補正した応答モデルと、に基づいて作成した新たな最適研磨レシピで次の基板を研磨する、研磨装置。

２．　前記最適研磨レシピが、少なくとも前記目標研磨量と、前記応答モデルを用いて算出した予測研磨量の差分の項を含む目的関数を最小化する最適化計算を用いて作成される、請求項１に記載の研磨装置。

３．　前記目的関数が、さらに、前記最適研磨レシピの圧縮流体圧力と予め設定された基準圧縮流体圧力との差分の項、および／または前記最適研磨レシピの圧縮流体圧力と先に研磨されたウエハの最適研磨レシピの圧縮流体圧力との差分の項を含む、請求項２に記載の研磨装置。

４．　前記最適化計算が、二次計画法である、請求項２または３に記載の研磨装置。

５．　前記複数のモニタ領域が、前記複数の圧力室の数よりも多い、請求項１乃至４のいずれか一項に記載の研磨装置。

６．　前記応答モデルが、さらに前記研磨パッドへの前記リテーナリングの押圧力の変化に伴う前記基板の複数のモニタ領域における相互間の研磨量の変化を考慮して作成された応答モデルであり、

前記最適研磨レシピが、更に前記リテーナリングの押圧力を含む、請求項１に記載の研磨装置。

７．　前記膜厚測定器は、前記複数のモニタ領域のそれぞれに設定された複数の測定点で膜厚を測定可能に構成されている、請求項１乃至６のいずれか一項に記載の研磨装置。

８．　前記応答モデルは、前記複数のモニタ領域のそれぞれにおける単位研磨圧力あたりの研磨レートの増加量を表す応答係数を含む、請求項１乃至７のいずれか一項に記載の研磨装置。

９．　前記リテーナリングの一部に局所荷重を加える複数の局所荷重付与装置をさらに備え、

前記応答モデルは、前記局所荷重の変化に伴う、前記複数のモニタ領域の相互間における研磨量の変化をさらに考慮して作成される、請求項１乃至８のいずれか一

項に記載の研磨装置。

１０．　研磨パッドを支持するための研磨テーブルと、基板を前記研磨パッドに押し付けるための基板保持装置と、を含む少なくとも１つの研磨ユニットと、

前記基板の膜厚プロファイルを測定する膜厚測定器と、

前記研磨ユニット、および前記膜厚測定器の動作を少なくとも制御する制御装置と、を備え、

前記基板保持装置は、

前記基板を押圧するための複数の圧力室を形成する弾性膜と、

前記弾性膜が取り付けられるヘッド本体と、

前記基板を囲むように配置されたリテーナリングと、を備えており、

前記制御装置は、

複数の基板の研磨前の膜厚プロファイルと、前記複数の基板のそれぞれを研磨した時の応答モデルであって、各圧力室内の圧力の変化に伴う、前記基板の複数のモニタ領域における相互間の研磨量の変化を考慮して作成された応答モデルと、を予め蓄積し、

前記複数の基板の研磨前の膜厚プロファイルを、互いに似ている膜厚プロファイルが属する複数のグループに予め分類しており、

前記制御装置は、

前記膜厚測定器を用いて、研磨前の前記基板の膜厚プロファイルを取得し、

前記研磨前の基板の膜厚プロファイルが属するグループを前記複数のグループから決定し、

前記研磨前の基板の膜厚プロファイルと前記基板の目標膜厚との差分である目標研磨量と、前記決定されたグループに関連付けられた応答モデルと、に基づいて作成された、少なくとも前記複数の圧力室に供給される圧縮流体の圧力と、研磨時間と、を含む最適研磨レシピで前記基板を研磨し、

次の基板の目標研磨量と、前記最適研磨レシピおよび前記基板の研磨前後の膜厚プロファイルを用いて補正した応答モデルと、に基づいて作成した新たな最適研

磨レシピで次の基板を研磨する、研磨装置。

１１．　研磨パッドを支持するための研磨テーブルと、基板を前記研磨パッドに押し付けるための基板保持装置と、を含む複数の研磨ユニットと、

前記研磨ユニットの動作を少なくとも制御する制御装置と、を備え、

前記基板保持装置は、

前記基板を押圧するための複数の圧力室を形成する弾性膜と、

前記弾性膜が取り付けられるヘッド本体と、

前記基板を囲むように配置されたリテーナリングと、を備えており、

前記基板は、第１研磨、および前記第１研磨が行われた研磨ユニットとは別の研磨ユニットで行われる第２研磨を含む複数の研磨工程によって研磨される基板であり、

前記第１研磨を行う研磨ユニットは、前記基板の膜厚プロファイルを測定可能な膜厚センサを有しており、

前記制御装置は、各圧力室内の圧力の変化に伴う、前記基板の複数のモニタ領域における相互間の研磨量の変化を考慮して作成された第２研磨応答モデルを予め記憶しており、

前記制御装置は、

前記第１研磨を行った後で、前記膜厚センサを用いて、前記第２研磨前の前記基板の膜厚プロファイルを取得し、

前記第２研磨前の前記基板の膜厚プロファイルと前記基板の目標膜厚との差分である目標研磨量と、前記第２研磨応答モデルと、に基づいて作成された、少なくとも前記複数の圧力室に供給される圧縮流体の圧力と、研磨時間と、を含む第２研磨最適レシピで前記基板を第２研磨し、

次の基板の目標研磨量と、前記第２研磨最適レシピおよび前記基板の前記第２研磨前後の膜厚プロファイルを用いて補正した前記第２研磨応答モデルと、に基づいて作成した新たな第２研磨最適レシピで次の基板を第２研磨する、研磨装置。

１２．　研磨パッドを支持するための研磨テーブルと、基板を前記研磨パッドに押し付けるための基板保持装置と、を含む複数の研磨ユニットと、

前記基板の膜厚プロファイルを測定する膜厚測定器と、

前記研磨ユニット、および前記膜厚測定器の動作を少なくとも制御する制御装置と、を備え、

前記基板保持装置は、

前記基板を押圧するための複数の圧力室を形成する弾性膜と、

前記弾性膜が取り付けられるヘッド本体と、

前記基板を囲むように配置されたリテーナリングと、を備えており、

前記基板は、第１研磨、および前記第１研磨が行われた研磨ユニットとは別の研磨ユニットで行われる第２研磨を含む複数の研磨工程によって研磨される基板であり、

前記第２研磨を行う研磨ユニットは、前記基板の膜厚プロファイルを測定可能な膜厚センサを有しており、

前記制御装置は、各圧力室内の圧力の変化に伴う、前記基板の複数のモニタ領域における相互間の研磨量の変化を考慮して作成された第１研磨応答モデルを予め記憶しており、

前記制御装置は、

前記膜厚測定器を用いて、前記基板の前記第１研磨前の膜厚プロファイルを取得し、

前記第１研磨前の基板の膜厚プロファイルと前記基板の目標膜厚との差分である目標研磨量と、前記第１研磨応答モデルと、に基づいて作成された、少なくとも前記複数の圧力室に供給される圧縮流体の圧力と、研磨時間と、を含む第１研磨最適レシピで前記基板を第１研磨し、

前記第１研磨を行った後で、前記膜厚センサを有する研磨ユニットに前記基板を搬送して、前記膜厚センサを用いて、前記第１研磨後の前記基板の膜厚プロファイルを取得し、

次の基板の目標研磨量と、前記第１研磨最適レシピおよび前記基板の前記第１

研磨前後の膜厚プロファイルを用いて補正した前記第１研磨応答モデルと、に基づいて作成した新たな第１研磨最適レシピで次の基板を第１研磨する、研磨装置。

１３．　研磨パッドを支持するための研磨テーブルと、基板を前記研磨パッドに押し付けるための基板保持装置と、前記基板の膜厚プロファイルを測定可能な膜厚センサと、を含む複数の研磨ユニットと、

前記研磨ユニットの動作を少なくとも制御する制御装置と、を備え、

前記基板保持装置は、

前記基板を押圧するための複数の圧力室を形成する弾性膜と、

前記弾性膜が取り付けられるヘッド本体と、

前記基板を囲むように配置されたリテーナリングと、を備えており、

前記基板は、第１研磨、および前記第１研磨が行われた研磨ユニットとは別の研磨ユニットで行われる第２研磨を含む複数の研磨工程によって研磨される基板であり、

前記制御装置は、各圧力室内の圧力の変化に伴う、前記基板の複数のモニタ領域における相互間の研磨量の変化を考慮して作成された第１研磨応答モデルおよび第２研磨応答モデルを予め記憶しており、

前記制御装置は、

前記複数の研磨ユニットのうちのいずれかに前記基板を搬送して、前記膜厚センサを用いて、前記基板の前記第１研磨前の膜厚プロファイルを取得し、

前記第１研磨前の基板の膜厚プロファイルと前記基板の目標膜厚との差分である目標研磨量と、前記第１研磨応答モデルと、に基づいて作成された、少なくとも前記複数の圧力室に供給される圧縮流体の圧力と、研磨時間と、を含む第１研磨最適レシピで前記基板を第１研磨し、

前記膜厚センサを用いて、前記第２研磨前の前記基板の膜厚プロファイルを取得し、

前記第２研磨前の前記基板の膜厚プロファイルと前記基板の目標膜厚との差分である目標研磨量と、前記第２研磨応答モデルと、に基づいて作成された、少なく

とも前記複数の圧力室に供給される圧縮流体の圧力と、研磨時間と、を含む第２研磨最適レシピで前記基板を第２研磨し、

前記膜厚センサを用いて、前記第２研磨後の前記基板の膜厚プロファイルを取得し、

次の基板の目標研磨量と、前記第１研磨最適レシピおよび前記基板の前記第１研磨前後の膜厚プロファイルを用いて補正した前記第１研磨応答モデルと、に基づいて作成した新たな第１研磨最適レシピで次の基板を第１研磨し、

次の基板の目標研磨量と、前記第２研磨最適レシピおよび前記基板の前記第２研磨前後の膜厚プロファイルを用いて補正した前記第２研磨応答モデルと、に基づいて作成した新たな第２研磨最適レシピで次の基板を第２研磨する、研磨装置。

１４．　基板を押圧するための複数の圧力室を形成する弾性膜と、前記弾性膜が取り付けられるヘッド本体と、前記基板を囲むように配置されたリテーナリングと、を有する基板保持装置に保持された前記基板を、研磨テーブルに支持された研磨パッドに押し付けて研磨する研磨方法であって、

膜厚測定器を用いて、前記基板の研磨前の膜厚プロファイルを取得し、

前記研磨前の基板の膜厚プロファイルと前記基板の目標膜厚との差分である目標研磨量と、応答モデルと、に基づいて作成された、少なくとも前記複数の圧力室に供給される圧縮流体の圧力と、研磨時間と、を含む最適研磨レシピで前記基板を研磨し、

次の基板の目標研磨量と、前記最適研磨レシピおよび前記基板の研磨前後の膜厚プロファイルを用いて補正した応答モデルと、に基づいて作成した新たな最適研磨レシピで次の基板を研磨し、

前記応答モデルは、各圧力室の圧力の変化に伴う、前記基板の複数のモニタ領域における相互間の研磨量の変化を考慮して作成される、研磨方法。

１５．　前記最適研磨レシピが、少なくとも前記目標研磨量と、前記応答モデルを用いて算出した予測研磨量の差分の項を含む目的関数を最小化する最適化計算を用

いて作成される、請求項１４に記載の研磨方法。

１６．　前記目的関数が、さらに、前記最適研磨レシピの圧縮流体圧力と予め設定された基準圧縮流体圧力との差分の項、および／または前記最適研磨レシピの圧縮流体圧力と先に研磨されたウエハの最適研磨レシピの圧縮流体圧力との差分の項を含む、請求項１５に記載の研磨方法。

１７．　前記最適化計算が、二次計画法である、請求項１５または１６に記載の研磨方法。

１８．　前記複数のモニタ領域が、前記複数の圧力室の数よりも多い、請求項１４乃至１７のいずれか一項に記載の研磨方法。

１９．　前記応答モデルが、さらに前記研磨パッドへの前記リテーナリングの押圧力の変化に伴う前記基板の複数のモニタ領域における相互間の研磨量の変化を考慮して作成された応答モデルであり、

前記最適研磨レシピが、更に前記リテーナリングの押圧力を含む、請求項１４に記載の研磨方法。

２０．　前記膜厚測定器は、前記複数のモニタ領域のそれぞれに設定された複数の測定点で膜厚を測定する、請求項１４乃至１９のいずれか一項に記載の研磨方法。

２１．　前記応答モデルは、前記複数のモニタ領域のそれぞれにおける単位研磨圧力あたりの研磨レートの増加量を表す応答係数を含む、請求項１４乃至２０のいずれか一項に記載の研磨方法。

２２．　前記応答モデルは、複数の局所荷重付与装置によって前記リテーナリングの一部に加えられる局所荷重の変化に伴う、前記複数のモニタ領域の相互間におけ

る研磨量の変化をさらに考慮して作成される、請求項１４乃至２１のいずれか一項に記載の研磨方法。

２３．　基板を押圧するための複数の圧力室を形成する弾性膜と、前記弾性膜が取り付けられるヘッド本体と、前記基板を囲むように配置されたリテーナリングと、を有する基板保持装置に保持された前記基板を、研磨テーブルに支持された研磨パッドに押し付けて研磨する研磨方法であって、

複数の基板の研磨前の膜厚プロファイルと、前記複数の基板のそれぞれを研磨した時の応答モデルであって、各圧力室内の圧力の変化に伴う、前記基板の複数のモニタ領域における相互間の研磨量の変化を考慮して作成された応答モデルと、を予め蓄積し、

前記複数の基板の研磨前の膜厚プロファイルを、互いに似ている膜厚プロファイルが属する複数のグループに予め分類し、

前記基板の研磨前の膜厚プロファイルを取得して、該膜厚プロファイルが属するグループを前記複数のグループから決定し、

前記研磨前の基板の膜厚プロファイルと前記基板の目標膜厚との差分である目標研磨量と、前記決定されたグループに関連付けられた応答モデルと、に基づいて作成された、少なくとも前記複数の圧力室に供給される圧縮流体の圧力と、研磨時間と、を含む最適研磨レシピで前記基板を研磨し、

次の基板の目標研磨量と、前記最適研磨レシピおよび前記基板の研磨前後の膜厚プロファイルを用いて補正した前記応答モデルと、に基づいて作成した新たな最適研磨レシピで次の基板を研磨する、研磨方法。

２４．　研磨パッドを支持するための研磨テーブルと、基板を前記研磨パッドに押し付けるための基板保持装置と、を含む複数の研磨ユニットで行われる複数の研磨工程によって、前記基板を研磨する方法であって、

前記基板保持装置は、

前記基板を押圧するための複数の圧力室を形成する弾性膜と、

前記弾性膜が取り付けられるヘッド本体と、

前記基板を囲むように配置されたリテーナリングと、を備えており、

前記複数の研磨工程は、第１研磨、および前記第１研磨が行われた研磨ユニットとは別の研磨ユニットで行われる第２研磨を含んでおり、

前記第１研磨を行う研磨ユニットは、前記基板の膜厚プロファイルを測定可能な膜厚センサを有しており、

各圧力室内の圧力の変化に伴う、前記基板の複数のモニタ領域における相互間の研磨量の変化を考慮して作成された第２研磨応答モデルを予め準備し、

前記第１研磨を行った後で、前記膜厚センサを用いて、前記第２研磨前の前記基板の膜厚プロファイルを取得し、

前記第２研磨前の前記基板の膜厚プロファイルと前記基板の目標膜厚との差分である目標研磨量と、前記第２研磨応答モデルと、に基づいて作成された、少なくとも前記複数の圧力室に供給される圧縮流体の圧力と、研磨時間と、を含む第２研磨最適レシピで前記基板を第２研磨し、

次の基板の目標研磨量と、前記第２研磨最適レシピおよび前記基板の前記第２研磨前後の膜厚プロファイルを用いて補正した前記第２研磨応答モデルと、に基づいて作成した新たな第２研磨最適レシピで次の基板を第２研磨する、研磨方法。

２５．　研磨パッドを支持するための研磨テーブルと、基板を前記研磨パッドに押し付けるための基板保持装置と、を含む複数の研磨ユニットで行われる複数の研磨工程によって、前記基板を研磨する方法であって、

前記基板保持装置は、

前記基板を押圧するための複数の圧力室を形成する弾性膜と、

前記弾性膜が取り付けられるヘッド本体と、

前記基板を囲むように配置されたリテーナリングと、を備えており、

前記複数の研磨工程は、第１研磨、および前記第１研磨が行われた研磨ユニットとは別の研磨ユニットで行われる第２研磨を含んでおり、

前記第２研磨を行う研磨ユニットは、前記基板の膜厚プロファイルを測定可能な

膜厚センサを有しており、

各圧力室内の圧力の変化に伴う、前記基板の複数のモニタ領域における相互間の研磨量の変化を考慮して作成された第１研磨応答モデルを予め準備し、

膜厚測定器を用いて、前記基板の前記第１研磨前の膜厚プロファイルを取得し、

前記第１研磨前の基板の膜厚プロファイルと前記基板の目標膜厚との差分である目標研磨量と、前記第１研磨応答モデルと、に基づいて作成された、少なくとも前記複数の圧力室に供給される圧縮流体の圧力と、研磨時間と、を含む第１研磨最適レシピで前記基板を第１研磨し、

前記第１研磨を行った後で、前記膜厚センサを有する研磨ユニットに前記基板を搬送し、

前記膜厚センサを用いて、前記第１研磨後の前記基板の膜厚プロファイルを取得し、

次の基板の目標研磨量と、前記第１研磨最適レシピおよび前記基板の前記第１研磨前後の膜厚プロファイルを用いて補正した前記第１研磨応答モデルと、に基づいて作成した新たな第１研磨最適レシピで次の基板を第１研磨する、研磨方法。

２６．　研磨パッドを支持するための研磨テーブルと、基板を前記研磨パッドに押し付けるための基板保持装置と、を含む複数の研磨ユニットで行われる複数の研磨工程によって、前記基板を研磨する方法であって、

前記基板保持装置は、

前記基板を押圧するための複数の圧力室を形成する弾性膜と、

前記弾性膜が取り付けられるヘッド本体と、

前記基板を囲むように配置されたリテーナリングと、を備えており、

前記複数の研磨工程は、第１研磨、および前記第１研磨が行われた研磨ユニットとは別の研磨ユニットで行われる第２研磨を含んでおり、

前記第１研磨を行う研磨ユニットと前記第２研磨を行う研磨ユニットは、前記基板の膜厚プロファイルを測定可能な膜厚センサをそれぞれ有しており、

各圧力室内の圧力の変化に伴う、前記基板の複数のモニタ領域における相互間の

研磨量の変化を考慮して作成された第１研磨応答モデルおよび第２研磨応答モデルを予め準備し、

前記第１研磨を行う研磨ユニットに前記基板を搬送して、前記膜厚センサを用いて、前記基板の前記第１研磨前の膜厚プロファイルを取得し、

前記第１研磨前の基板の膜厚プロファイルと前記基板の目標膜厚との差分である目標研磨量と、前記第１研磨応答モデルと、に基づいて作成された、少なくとも前記複数の圧力室に供給される圧縮流体の圧力と、研磨時間と、を含む第１研磨最適レシピで前記基板を第１研磨し、

前記膜厚センサを用いて、前記第２研磨前の前記基板の膜厚プロファイルを取得し、

前記第２研磨前の前記基板の膜厚プロファイルと前記基板の目標膜厚との差分である目標研磨量と、前記第２研磨応答モデルと、に基づいて作成された、少なくとも前記複数の圧力室に供給される圧縮流体の圧力と、研磨時間と、を含む第２研磨最適レシピで前記基板を第２研磨し、

前記膜厚センサを用いて、前記第２研磨後の前記基板の膜厚プロファイルを取得し、

次の基板の目標研磨量と、前記第１研磨最適レシピおよび前記基板の前記第１研磨前後の膜厚プロファイルを用いて補正した前記第１研磨応答モデルと、に基づいて作成した新たな第１研磨最適レシピで次の基板を第１研磨し、

次の基板の目標研磨量と、前記第２研磨最適レシピおよび前記基板の前記第２研磨前後の膜厚プロファイルを用いて補正した前記第２研磨応答モデルと、に基づいて作成した新たな第２研磨最適レシピで次の基板を第２研磨する、研磨方法。