

明 細 書

発明の名称：研磨装置および研磨方法

技術分野

[0001] 本発明は、研磨装置および研磨方法に関する。

背景技術

[0002] 半導体デバイスの製造工程における技術として、化学機械研磨（CMP：Chemical Mechanical Polishing）が知られている。CMPを行うための研磨装置は、研磨パッドを支持する研磨テーブルと、ウェハを保持するための研磨ヘッドと、を備えている。

[0003] このような研磨装置を用いてウェハの研磨を行う場合には、研磨ヘッドによりウェハを保持しつつ、このウェハを研磨パッドの研磨面に対して所定の圧力で押圧する。このとき、研磨テーブルと研磨ヘッドとを相対運動させることによりウェハが研磨面に摺接し、ウェハの表面が研磨される。

[0004] さらに、ウェハの膜厚に応じた信号を膜厚センサによって検出し、ウェハの膜厚分布を取得することが行われている。ウェハの膜厚分布に基づいて、研磨の終点を決定したり、研磨ヘッドに同心円状に設けた複数のエアバッグの圧力を制御することが行われている。膜厚センサは、研磨テーブルとともに回転し、ウェハを保持する研磨ヘッドも回転する。

[0005] したがって、ウェハの表面上を横切る膜厚センサの移動経路は、研磨テーブルが1回転するたびに異なる。各エアバッグの圧力を制御するための指標値として、通常、同心円状の各エアバッグの異なる測定点において測定された膜厚を平均化し、各エアバッグ内の膜厚を代表する数値を計算している。ウェハの膜厚分布は、円周上の異なる測定点から得られた信号を基に、円周方向においては平均化された値として計算されている。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：国際公開第2015/163164号

特許文献2：特開2005-11977号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 近年は、必要とされる膜厚の均一性の度合いが高まっている。同心円状に配置されたエアバッグの1つに対応するウェハの領域内において、ウェハの半径方向における膜厚のばらつきが大きくなり、その領域に対応するエアバッグの圧力を調整しても、一定以上の膜厚の均一性の向上が実現できないという課題がある。

[0008] 近年では、必要とされる膜厚の均一性の度合いが高まっている。そのため、成膜装置の特性などによるウェハの初期膜厚の円周方向のばらつきや研磨によって生じる円周方向の研磨量のばらつきをより考慮した研磨工程の管理や制御が必要になってきている（例えば、ウェハの膜が厚い箇所を積極的に研磨して、またはウェハの膜が薄い箇所以外の箇所を積極的に研磨して、ウェハの膜厚の均一性を高めることが有効である）。また、従来の方法では、ウェハ面内の最大膜厚と最小膜厚との差分を許容範囲内に収めることが難しい場合がある。

[0009] そこで、本発明は、ウェハの膜厚の均一性を向上させることができる研磨装置および研磨方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0010] 一態様では、研磨パッドを支持する研磨テーブルと、基板を前記研磨パッドの研磨面に押し付けるための、同心円状に分割された複数の圧力室を有する研磨ヘッドと、前記複数の圧力室に連結された複数の圧力レギュレータと、前記研磨テーブルに埋め込まれた、前記基板の膜厚に応じた信号を出力する膜厚センサと、前記複数の圧力レギュレータを通じて、前記複数の圧力室のそれぞれの圧力を個別に制御する動作制御部と、を備える研磨装置が提供される。前記動作制御部は、前記基板の円周上の一部である特定位置に関する情報を取得し、かつ前記特定位置を含む制御対象領域における制御対象膜厚値と、前記基板の全体の平均膜厚値と、を算出し、前記制御対象膜厚値と

前記基板の全体の平均膜厚値との差分が低減されるように、前記特定位置に対応する前記研磨ヘッドの圧力室内の圧力を制御する。

[0011] 一態様では、前記動作制御部は、研磨前に測定された前記基板の膜厚に基づいて、前記特定位置を特定する。

一態様では、前記動作制御部は、研磨前に測定された前記基板の膜厚に基づいて、最大の膜厚値が得られた最大膜厚位置と、最小の膜厚値が得られた最小膜厚位置と、を決定し、前記最大膜厚位置および前記最小膜厚位置のうちの少なくとも1つを前記特定位置に決定する。

一態様では、前記動作制御部は、研磨前に測定された前記基板の膜厚に基づいて、最大膜厚値と、最小膜厚値と、を決定し、前記基板の全体の平均膜厚値と前記最大膜厚値との差分、および前記基板の全体の平均膜厚値と前記最小膜厚値との差分を算出し、差分の最も大きな膜厚値が得られた前記基板上の位置を前記特定位置に決定する。

[0012] 一態様では、前記制御対象膜厚値は、研磨前に測定された前記基板の膜厚に基づいて決定された最大膜厚値および最小膜厚値のうちの少なくとも1つに相当する。

一態様では、前記制御対象膜厚値は、前記制御対象領域内における複数の膜厚値の平均値である。

一態様では、前記動作制御部は、前記膜厚センサから出力された信号に基づいて、研磨中における前記特定位置を含む前記制御対象領域の膜厚を測定し、前記測定された膜厚に基づいて、前記特定位置に対応する前記研磨ヘッドの圧力室内の圧力を制御する。

[0013] 一態様では、前記動作制御部は、前記複数の圧力室に応じて分割された前記基板上の複数の押圧領域を、前記制御対象領域を含む特定押圧領域と、前記特定押圧領域を除く他の押圧領域と、に分割し、前記基板の膜厚に基づいて、前記他の押圧領域における平均膜厚値を算出し、前記他の押圧領域の平均膜厚値と前記基板の全体の平均膜厚値との差分が低減されるように、前記他の押圧領域に対応する圧力室内の圧力を制御する。

一態様では、前記動作制御部は、前記基板とは異なる参照基板の円周上の一部である参照位置に関する情報を取得し、前記参照基板の研磨中において、前記膜厚センサによって、前記参照位置を含む前記基板上の領域の膜厚に応じた物理量を検出し、前記膜厚センサから送られた複数の信号に基づいて、前記参照基板の膜厚に応じた複数のデータを取得し、前記複数のデータのそれぞれと、前記複数のデータのそれぞれを取得したときの前記参照基板の膜厚とを関連付ける。

一態様では、前記動作制御部は、研磨前に測定された前記参照基板の膜厚に基づいて、前記参照位置を決定する。

[0014] 一態様では、前記動作制御部は、前記膜厚センサが前記制御対象領域を横切るように、前記研磨ヘッドの回転速度および前記研磨テーブルの回転速度の少なくとも一方を制御する。

一態様では、前記動作制御部は、前記基板の周方向の角度の基準位置と、前記研磨ヘッドの回転角度と、の関係に基づいて、前記基準位置および前記研磨ヘッドの相対角度を決定し、前記決定された相対角度に基づいて、前記研磨ヘッドの回転速度および前記研磨テーブルの回転速度の少なくとも一方を制御する。

[0015] 一態様では、同心円状に分割された複数の圧力室を有する研磨ヘッドによって、基板を研磨パッドの研磨面に押し付ける研磨方法が提供される。研磨方法は、前記基板の円周上の一部である特定位置に関する情報を取得し、かつ前記特定位置を含む制御対象領域における制御対象膜厚値と、前記基板の全体の平均膜厚値と、を算出し、前記制御対象膜厚値と前記基板の全体の平均膜厚値との差分が低減されるように、前記特定位置に対応する前記研磨ヘッドの圧力室内の圧力を制御する。

[0016] 一態様では、研磨前に測定された前記基板の膜厚に基づいて、前記特定位置を特定する。

一態様では、研磨前に測定された前記基板の膜厚に基づいて、最大の膜厚値が得られた最大膜厚位置と、最小の膜厚値が得られた最小膜厚位置と、を

決定し、前記最大膜厚位置および前記最小膜厚位置のうちの少なくとも1つを前記特定位置に決定する。

一態様では、研磨前に測定された前記基板の膜厚に基づいて、最大膜厚値と、最小膜厚値と、を決定し、前記基板の全体の平均膜厚値と前記最大膜厚値との差分、および前記基板の全体の平均膜厚値と前記最小膜厚値との差分を算出し、差分の最も大きな膜厚値が得られた前記基板上の位置を前記特定位置に決定する。

[0017] 一態様では、前記制御対象膜厚値は、研磨前に測定された基板の膜厚に基づいて決定された最大膜厚値および最小膜厚値のうちの少なくとも1つに相当する。

一態様では、前記制御対象膜厚値は、前記制御対象領域内における複数の膜厚値の平均値である。

一態様では、前記膜厚センサの出力信号に基づいて、研磨中における前記特定位置を含む前記制御対象領域の膜厚を測定し、前記測定された膜厚に基づいて、前記特定位置に対応する前記研磨ヘッドの圧力室内の圧力を制御する。

[0018] 一態様では、前記複数の圧力室に応じて分割された前記基板上の複数の押圧領域を、前記制御対象領域を含む特定押圧領域と、前記特定押圧領域を除く他の押圧領域と、に分割し、前記基板の膜厚に基づいて、前記他の押圧領域における平均膜厚値を算出し、前記他の押圧領域の平均膜厚値と前記基板の全体の平均膜厚値との差分が低減されるように、前記他の押圧領域に対応する圧力室内の圧力を制御する。

一態様では、前記基板とは異なる参照基板の円周上の一部である参照位置に関する情報を取得し、前記参照基板の研磨中において、前記膜厚センサによって、前記参照位置を含む前記基板上の領域の膜厚に応じた物理量を検出し、前記膜厚センサから送られた複数の信号に基づいて、前記参照基板の膜厚に応じた複数のデータを取得し、前記複数のデータのそれぞれと、前記複数のデータのそれぞれを取得したときの前記参照基板の膜厚とを関連付ける

。

一態様では、研磨前に測定された前記参照基板の膜厚に基づいて、前記参照位置を決定する。

[0019] 一態様では、前記研磨パッドを支持する研磨テーブルの回転によって、前記膜厚センサが前記制御対象領域を横切るように、前記研磨ヘッドの回転速度および前記研磨テーブルの回転速度の少なくとも一方を制御する。

一態様では、前記基板の周方向の角度の基準位置と、前記研磨ヘッドの回転角度と、の関係に基づいて、前記基準位置および前記研磨ヘッドの相対角度を決定し、前記決定された相対角度に基づいて、前記研磨ヘッドの回転速度および前記研磨テーブルの回転速度の少なくとも一方を制御する。

[0020] 一態様では、研磨パッドを支持する研磨テーブルと、基板を前記研磨パッドの研磨面に押し付けるための、同心円状に分割された複数の圧力室を有する研磨ヘッドと、前記複数の圧力室に連結された複数の圧力レギュレータと、前記研磨テーブルに埋め込まれた、前記基板の膜厚に応じた信号を出力する膜厚センサと、前記複数の圧力レギュレータを通じて、前記複数の圧力室のそれぞれの圧力を個別に制御する動作制御部と、を備える研磨装置が提供される。前記動作制御部は、前記膜厚センサによって、前記基板の研磨中に得られた前記基板の膜厚から、最大膜厚値および最小膜厚値を特定し、前記最大膜厚値を検出した前記基板の位置に対応する圧力室と、前記最小膜厚値を検出した前記基板の位置に対応する圧力室と、の少なくとも1つを特定し、前記最大膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御する場合、前記最大膜厚値に関連する圧力室に対応する前記基板の平均膜厚値が前記基板の全体の平均膜厚値よりも下回るように、前記最大膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御し、前記最小膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御する場合、前記最小膜厚値に関連する圧力室に対応する前記基板の平均膜厚値が前記基板の全体の平均膜厚値よりも上回るように、前記最小膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御する。

[0021] 一態様では、前記動作制御部は、前記基板の研磨中において、一定の時間

間隔で得られた前記基板の膜厚に基づいて、前記最大膜厚値および前記最小膜厚値を特定する。

一態様では、前記動作制御部は、前記膜厚センサによって取得した前記基板の膜厚から研磨中における研磨速度を算出し、前記研磨速度に基づいて、前記基板の各測定点において前記膜厚センサで前記基板の膜厚を取得した取得時間と基準時間との間の前記基板の膜厚の変化量を算出し、前記変化量を補正值として、前記時間間隔において前記基板の研磨中に得られた前記基板の膜厚を補正し、補正された前記基板の膜厚に基づいて、前記最大膜厚値および前記最小膜厚値を特定する。

[0022] 一態様では、前記動作制御部は、前記最大膜厚値に関連する圧力室と前記最小膜厚値に関連する圧力室とが同一の圧力室である場合、前記最大膜厚値に関連する圧力室に対応する前記基板の平均膜厚値が前記基板の全体の平均膜厚値よりも下回るように、前記最大膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御するか、前記最小膜厚値に関連する圧力室に対応する前記基板の平均膜厚値が前記基板の全体の平均膜厚値よりも上回るように、前記最小膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御するか、を予めレシピ設定によって決定する。

一態様では、前記動作制御部は、前記最大膜厚値に関連する圧力室と前記最小膜厚値に関連する圧力室とが同一の圧力室である場合、前記最大膜厚値と前記基板の全体の平均膜厚値との第1差分と、前記最小膜厚値と前記基板の全体の平均膜厚値との第2差分と、を比較し、前記第1差分が前記第2差分よりも大きい場合には、前記最大膜厚値に関連する圧力室に対応する前記基板の平均膜厚値が前記基板の全体の平均膜厚値よりも下回るように、前記最大膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御し、前記第2差分が前記第1差分よりも大きい場合には、前記最小膜厚値に関連する圧力室に対応する前記基板の平均膜厚値が前記基板の全体の平均膜厚値よりも上回るように、前記最小膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御する。

一態様では、前記動作制御部は、前記最大膜厚値に関連する圧力室と前記最小膜厚値に関連する圧力室とが同一の圧力室である場合、前記最大膜厚値

と前記最大膜厚値に対応する押圧領域内の平均膜厚値との第1差分と、前記最小膜厚値と前記最小膜厚値に対応する押圧領域内の平均膜厚値との第2差分と、を比較し、前記第1差分が前記第2差分よりも大きい場合には、前記最大膜厚値に関連する圧力室に対応する前記基板の平均膜厚値が前記基板の全体の平均膜厚値よりも下回るように、前記最大膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御し、前記第2差分が前記第1差分よりも大きい場合には、前記最小膜厚値に関連する圧力室に対応する前記基板の平均膜厚値が前記基板の全体の平均膜厚値よりも上回るように、前記最小膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御する。

[0023] 一態様では、同心円状に分割された複数の圧力室を有する研磨ヘッドによって、基板を研磨パッドの研磨面に押し付ける研磨方法が提供される。前記基板の研磨中に得られた前記基板の膜厚から、最大膜厚値および最小膜厚値を特定し、前記最大膜厚値を検出した前記基板の位置に対応する圧力室と、前記最小膜厚値を検出した前記基板の位置に対応する圧力室と、の少なくとも1つを特定し、前記最大膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御する場合、前記最大膜厚値に関連する圧力室に対応する前記基板の平均膜厚値が前記基板の全体の平均膜厚値よりも下回るように、前記最大膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御し、前記最小膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御する場合、前記最小膜厚値に関連する圧力室に対応する前記基板の平均膜厚値が前記基板の全体の平均膜厚値よりも上回るように、前記最小膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御する。

[0024] 一態様では、前記基板の研磨中において、一定の時間間隔で得られた前記基板の膜厚に基づいて、前記最大膜厚値および前記最小膜厚値を特定する。

一態様では、前記基板の膜厚から研磨中における研磨速度を算出し、前記研磨速度に基づいて、前記基板の各測定点において前記基板の膜厚を取得した取得時間と基準時間との間の前記基板の膜厚の変化量を算出し、前記変化量を補正值として、前記時間間隔において前記基板の研磨中に得られた前記基板の膜厚を補正し、補正された前記基板の膜厚に基づいて、前記最大膜厚

値および前記最小膜厚値を特定する。

[0025] 一態様では、前記最大膜厚値に関連する圧力室と前記最小膜厚値に関連する圧力室とが同一の圧力室である場合、前記最大膜厚値に関連する圧力室に対応する前記基板の平均膜厚値が前記基板の全体の平均膜厚値よりも下回るように、前記最大膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御するか、前記最小膜厚値に関連する圧力室に対応する前記基板の平均膜厚値が前記基板の全体の平均膜厚値よりも上回るように、前記最小膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御するか、を予めレシピ設定によって決定する。

一態様では、前記最大膜厚値に関連する圧力室と前記最小膜厚値に関連する圧力室とが同一の圧力室である場合、前記最大膜厚値と前記基板の全体の平均膜厚値との第1差分と、前記最小膜厚値と前記基板の全体の平均膜厚値との第2差分と、を比較し、前記第1差分が前記第2差分よりも大きい場合には、前記最大膜厚値に関連する圧力室に対応する前記基板の平均膜厚値が前記基板の全体の平均膜厚値よりも上回るように、前記最大膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御し、前記第2差分が前記第1差分よりも大きい場合には、前記最小膜厚値に関連する圧力室に対応する前記基板の平均膜厚値が前記基板の全体の平均膜厚値よりも上回るように、前記最小膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御する。

一態様では、前記最大膜厚値に関連する圧力室と前記最小膜厚値に関連する圧力室とが同一の圧力室である場合、前記最大膜厚値と前記最大膜厚値に対応する押圧領域内の平均膜厚値との第1差分と、前記最小膜厚値と前記最小膜厚値に対応する押圧領域内の平均膜厚値との第2差分と、を比較し、前記第1差分が前記第2差分よりも大きい場合には、前記最大膜厚値に関連する圧力室に対応する前記基板の平均膜厚値が前記基板の全体の平均膜厚値よりも下回るように、前記最大膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御し、前記第2差分が前記第1差分よりも大きい場合には、前記最小膜厚値に関連する圧力室に対応する前記基板の平均膜厚値が前記基板の全体の平均膜厚値よりも上回るように、前記最小膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御する。

- [0026] 一態様では、特定の圧力室を含む複数の圧力室を有する研磨ヘッドによって、基板を研磨パッドの研磨面に押し付ける研磨方法が提供される。前記研磨方法は、前記基板を第1研磨条件で研磨する第1研磨工程と、前記基板とは異なる基板を予め前記第1研磨条件で研磨することによって得られる、前記特定の圧力室に対応する前記基板の特定領域の半径方向に沿った第1研磨プロファイルに基づいて決定された第2研磨条件で、前記基板を研磨する第2研磨工程と、を含み、前記第2研磨条件は、前記第1研磨プロファイルの分布とは逆の分布を有する第2研磨プロファイルが形成されるように予め決定された研磨条件を含み、前記第1研磨工程の後に、前記第2研磨工程を行う。
- [0027] 一態様では、前記特定の圧力室は、前記基板の最外周を押圧するエッジ圧力室を含む。
- 一態様では、前記第2研磨条件は、前記特定の圧力室以外の圧力室の圧力を調整して決定される研磨条件を含む。
- 一態様では、前記第2研磨条件は、前記基板の最外周を押圧するエッジ圧力室に隣接する隣接圧力室の圧力を調整して決定される研磨条件を含む。
- [0028] 一態様では、前記第2研磨条件は、前記基板の最外周を囲むように配置されたリテーナリングの、前記研磨面に対する押圧力を調整して決定される研磨条件を含む。
- 一態様では、前記第1研磨条件は、研磨中に、膜厚センサを用いて測定された、前記複数の圧力室のそれぞれに対応する前記基板の膜厚に基づいて、前記複数の圧力室のそれぞれの圧力をフィードバック制御しながら、前記基板を研磨する研磨条件を含む。
- 一態様では、前記第1研磨条件で前記基板を研磨し、所定の切り替え条件を満たした後に、前記第2研磨条件で前記基板を研磨する。
- [0029] 一態様では、前記切り替え条件として、前記特定領域の膜厚の最大値と最小値との差が所定のしきい値を超えて大きくなった場合に、前記第1研磨条件から前記第2研磨条件に切り替える。

一態様では、前記切り替え条件として、前記特定領域の膜厚の最大値と最小値との差を前記第2研磨条件で研磨することにより解消するために必要な時間と、最終目標膜厚までの残りの研磨時間に基づいて、前記第1研磨条件から前記第2研磨条件に切り替える。

一態様では、前記特定の圧力室は、前記基板の最外周を押圧するエッジ圧力室を含み、前記第2研磨条件に基づいて、前記エッジ圧力室の圧力を制御しつつ、前記第1研磨条件に基づいて、前記エッジ圧力室を除く他の圧力室の圧力を制御する。

発明の効果

[0030] ウェハの膜厚を平坦化するための特定位置を含む制御対象領域に対応する研磨ヘッドの圧力室内の圧力を制御することにより、ウェハの膜厚の均一性を向上させることができる。

[0031] 研磨方法は、第2研磨条件で基板を研磨する第2研磨工程を含む。第2研磨工程で基板を研磨することにより、ウェハの特定領域の膜厚の均一性を向上させることができる。

図面の簡単な説明

[0032] [図1]研磨装置の一実施形態を示す模式図である。

[図2]研磨ヘッドの断面図である。

[図3]動作制御部によって生成されたスペクトルの一例を示す図である。

[図4]複数の参照スペクトルを取得する工程の一例を示す図である。

[図5]複数の圧力室に応じて分割されたウェハの複数の押圧領域を示す図である。

[図6]第1研磨条件でウェハを研磨したときにおけるウェハの研磨プロファイルを示す図である。

[図7]第2研磨条件を示す図である。

[図8]第1研磨条件および第2研磨条件で研磨されたウェハの研磨レートを示す図である。

[図9]研磨対象のウェハを研磨する工程の一例を示す図である。

[図10]参照スペクトルを、対応する膜厚に関連付ける工程の一例を示す図である。

[図11]研磨対象のウェハを研磨する工程の一例を示す図である。

[図12]複数の押圧領域に区分されたウェハを示す図である。

[図13]ノッチ検出装置を示す図である。

[図14A]図14Aは、ウェハの表面上を横切る膜厚センサの移動経路を示す図である。

[図14B]図14Bは、ウェハの表面上を横切る膜厚センサの移動経路を示す図である。

[図15A]図15Aは、本実施形態に係る研磨工程の効果を説明するための図である。

[図15B]図15Bは、本実施形態に係る研磨工程の効果を説明するための図である。

[図16]動作制御部による、圧力室内の圧力制御フローを示す図である。

[図17]他の実施形態に係る研磨工程の効果を説明するための図である。

[図18]動作制御部による、膜厚値を補正するフローを示す図である。

発明を実施するための形態

[0033] 以下、本発明の実施形態について図面を参照して詳細に説明する。

図1は、研磨装置の一実施形態を示す模式図である。図1に示すように、研磨装置は、研磨パッド2を支持する研磨テーブル3と、膜を有するウェハW（基板など）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、ウェハWの膜厚を測定する膜厚センサ40（本実施形態では、光学式膜厚センサ40）と、研磨装置の動作を制御するための動作制御部9と、を備えている。研磨パッド2の上面は、ウェハWを研磨する研磨面2aを構成する。

[0034] 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、ベルト等の連結手段を介して図示しない研磨ヘッドモータに連結され

ている。研磨ヘッドモータは、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。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。

[0035] ウェハWは次のようにして研磨される。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、研磨液供給ノズル5から研磨液が研磨テーブル3上の研磨パッド2の研磨面2aに供給される。ウェハWは研磨ヘッド1によって、ヘッドシャフト10を中心に回転されながら、研磨パッド2上に研磨液が存在した状態でウェハWは研磨ヘッド1によって研磨パッド2の研磨面2aに押し付けられる。研磨テーブル3は、その中心CPを中心に回転する。ウェハ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または研磨パッド2の機械的作用により研磨される。

[0036] 動作制御部9は、少なくとも1台のコンピュータから構成される。動作制御部9は、プログラムが格納された記憶装置9a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9bと、を備えている。演算装置9bは、記憶装置9aに格納されているプログラムに含まれている命令に従って演算を行うCPU（中央処理装置）またはGPU（グラフィックプロセッシングユニット）などを含む。記憶装置9aは、演算装置9bがアクセス可能な主記憶装置（例えばランダムアクセスメモリ）と、データおよびプログラムを格納する補助記憶装置（例えば、ハードディスクドライブまたはソリッドステートドライブ）を備えている。

[0037] 動作制御部9は、膜厚センサ40に電氣的に接続されている。本実施形態では、膜厚センサ40は、ウェハWの表面に光を導き、ウェハWからの反射光を検出し、ウェハWの膜厚に応じた信号を動作制御部9に出力する。動作制御部9は、膜厚センサ40から送られる信号（より具体的には、ウェハWからの反射光の強度測定データ）に基づいて、ウェハWの膜厚を測定する。

[0038] 本実施形態では、膜厚センサ40は、光学式の膜厚センサであるが、動作制御部9によってウェハWの膜厚を測定することができれば、他の膜厚セン

サであってもよい。言い換えれば、膜厚センサ40は、ウェハWの膜厚に関する物理量を検出するセンサである。一例として、膜厚センサ40は、渦電流センサであってもよい。渦電流センサは、そのセンサコイルがウェハWの導電性膜内に磁束を通過させて渦電流を発生させることにより、ウェハWの膜厚に応じた渦電流を検出し、渦電流信号を出力する。動作制御部9は、この渦電流信号に基づいて、ウェハWの膜厚を測定する。

[0039] 本実施形態では、膜厚センサ40は、光を発する光源44と、分光器47と、光源44および分光器47に連結された光学センサヘッド7と、を備えている。光学センサヘッド7、光源44、および分光器47は、研磨テーブル3に取り付けられており、研磨テーブル3および研磨パッド2とともに一体に回転する。光学センサヘッド7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上のウェハWの表面を横切る位置である。

[0040] 記憶装置9aは、その内部に、後述するスペクトルの生成およびウェハWの膜厚検出を実行するためのプログラムを格納している。光源44から発せられた光は、光学センサヘッド7に伝送され、光学センサヘッド7からウェハWの表面に導かれる。光はウェハWの表面で反射し、ウェハWの表面からの反射光は光学センサヘッド7によって受けられ、分光器47に送られる。分光器47は反射光を波長に従って分解する。このようにして、膜厚センサ40は、各波長での反射光の強度を検出して、反射光の強度測定データを動作制御部9に送る。

[0041] 図2は、研磨ヘッドの断面図である。図2に示すように、研磨ヘッド1は、ウェハWを研磨パッド2の研磨面2aに対して押し付けるための弾性膜65と、弾性膜65を保持するヘッド本体21と、ヘッド本体21の下方に配置された環状のドライブリング62と、ドライブリング62の下面に固定された環状のリテーナリング60と、を備えている。

[0042] 弾性膜65は、ヘッド本体21の下部に取り付けられている。ヘッド本体21は、ヘッドシャフト10の端部に固定されており、ヘッド本体21、弾

性膜65、ドライブリング62、およびリテーナリング60は、ヘッドシャフト10の回転により一体に回転するように構成されている。リテーナリング60およびドライブリング62は、ヘッド本体21に対して相対的に上下動可能に構成されている。ヘッド本体21は、エンジニアリングプラスチック（例えば、PEEK）などの樹脂により形成されている。

[0043] 弾性膜65の下面は、ウェハWを研磨パッド2の研磨面2aに対して押し付ける基板押圧面65aを構成する。リテーナリング60は、基板押圧面65aを囲むように配置され、ウェハWはリテーナリング60によって囲まれている。弾性膜65とヘッド本体21との間には、4つの圧力室70, 71, 72, 73が設けられている。

[0044] 圧力室70は、中央に位置する円形状の中央圧力室であり、圧力室73は、最外周に位置する環状のエッジ圧力室であり、圧力室71, 72のそれぞれは、圧力室70と圧力室73との間に位置する中間圧力室である。

[0045] 圧力室70, 71, 72, 73は弾性膜65とヘッド本体21によって形成されている。中央の圧力室70は円形であり、他の圧力室71, 72, 73は環状である。これらの圧力室70, 71, 72, 73は、同心円状に配列（分割）されている。本実施形態では、弾性膜65は、4つの圧力室70～73を形成するが、上述の圧力室の数は例示であり、適宜変更してもよい。

[0046] 圧力室70, 71, 72, 73にはそれぞれ気体移送ラインF1, F2, F3, F4が接続されている。気体移送ラインF1, F2, F3, F4の一端は、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としての圧縮気体供給源（図示せず）に接続されている。圧縮空気等の圧縮気体は、気体移送ラインF1, F2, F3, F4を通じて圧力室70, 71, 72, 73にそれぞれ供給されるようになっている。圧力室70～73に圧縮気体が供給されることで、弾性膜65が膨らみ、圧力室70～73内の圧縮気体は、弾性膜65を介してウェハWを研磨パッド2の研磨面2aに押し付ける。圧力室70～73は、ウェハWを研磨パッド2の研磨面2aに押し付ける

ためのアクチュエータとして機能する。

- [0047] リテーナリング60は、弾性膜65の周囲に配置されており、研磨パッド2の研磨面2aに接触する環状の部材である。リテーナリング60は、ウェハWの最外周（周縁部）を囲むように配置されており、ウェハWの研磨中にウェハWが研磨ヘッド1から飛び出してしまうことを防止するとともに、研磨パッド2の弾力的なふるまい（リバウンド）を調整してウェハWの最外周の膜厚分布を調整することができる。
- [0048] ドライブリング62の上部は、環状のリテーナリング押圧装置80に連結されている。リテーナリング押圧装置80は、ドライブリング62を介してリテーナリング60の上面60bの全体に下向きの荷重を与え、これによりリテーナリング60の下面60aを研磨パッド2の研磨面2aに押し付ける。
- [0049] リテーナリング押圧装置80は、ドライブリング62の上部に固定された環状のピストン81と、ピストン81の上面に接続された環状のローリングダイヤフラム82と、を備えている。ローリングダイヤフラム82の内部にはリテーナリング圧力室83が形成されている。このリテーナリング圧力室83は、気体移送ラインF5を介して上記圧縮気体供給源に連結されている。圧縮気体は、気体移送ラインF5を通じてリテーナリング圧力室83内に供給される。
- [0050] 上記圧縮気体供給源からリテーナリング圧力室83に圧縮気体を供給すると、ローリングダイヤフラム82がピストン81を下方に押し下げ、ピストン81はドライブリング62を押し下げ、さらにドライブリング62はリテーナリング60の全体を下方に押し下げる。このようにして、リテーナリング押圧装置80は、リテーナリング60の下面60aを研磨パッド2の研磨面2aに押し付ける。ドライブリング62は、リテーナリング押圧装置80に着脱可能に連結されている。一実施形態では、リテーナリング押圧装置80は、研磨ヘッド1の下降力をリテーナリング60に作用させることによって、リテーナリング60の下面60aを研磨パッド2の研磨面2aに押し付

ける構造を有してもよい。

[0051] 気体移送ラインF 1, F 2, F 3, F 4, F 5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25を経由して延びている。研磨装置は、圧力レギュレータR 1, R 2, R 3, R 4, R 5をさらに備えており、圧力レギュレータR 1, R 2, R 3, R 4, R 5は、気体移送ラインF 1, F 2, F 3, F 4, F 5にそれぞれ設けられている。圧縮気体供給源からの圧縮気体は、圧力レギュレータR 1～R 5を通して圧力室70～73、およびリテーナリング圧力室83内にそれぞれ独立に供給される。圧力レギュレータR 1～R 5は、圧力室70～73、およびリテーナリング圧力室83内の圧縮気体の圧力を調節するように構成されている。圧力レギュレータR 1～R 5は、動作制御部9に接続されている。

[0052] 圧力レギュレータR 1～R 5は、圧力室70～73、およびリテーナリング圧力室83の内部圧力を互いに独立して変化させることが可能であり、これにより、ウェハ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、およびエッジ部におけるウェハWの研磨面2aに対する押し付け力、およびリテーナリング60の研磨パッド2への押し付け力を独立に調整することができる。気体移送ラインF 1, F 2, F 3, F 4, F 5は大気開放弁（図示せず）にもそれぞれ接続されており、圧力室70～73、およびリテーナリング圧力室83を大気開放することも可能である。本実施形態では、弾性膜65は、4つの圧力室70～73を形成するが、一実施形態では、弾性膜65は4つよりも少ない、または4つよりも多い圧力室を形成してもよい。

[0053] 図3は、動作制御部によって生成されたスペクトルの一例を示す図である。図3において、横軸はウェハから反射した光の波長を表わし、縦軸は反射した光の強度から導かれる相対反射率を表わす。相対反射率とは、反射光の強度を示す指標値であり、光の強度と所定の基準強度との比である。各波長において光の強度（実測強度）を所定の基準強度で割ることにより、装置の光学系や光源固有の強度のばらつきなどの不要なノイズを実測強度から除去

することができる。

[0054] 基準強度は、各波長について予め測定された光の強度であり、相対反射率は各波長において算出される。具体的には、各波長での光の強度（実測強度）を、対応する基準強度で割り算することにより相対反射率が求められる。

[0055] 動作制御部 9 は、反射光の強度測定データから反射光のスペクトルを生成するように構成されている。反射光のスペクトルは、反射光の波長と強度との関係を示す線グラフ（すなわち分光波形）として表される。反射光の強度は、反射率または相対反射率などの相対値として表わすこともできる。

[0056] 実際の研磨では、実測強度からダークレベル（光を遮断した条件下で得られた背景強度）を引き算して補正実測強度を求め、さらに基準強度から上記ダークレベルを引き算して補正基準強度を求め、そして、補正実測強度を補正基準強度で割り算することにより、相対反射率が求められる。具体的には、相対反射率 $R(\lambda)$ は、次の式（１）を用いて求めることができる。

[数1]

$$R(\lambda) = \frac{E(\lambda) - D(\lambda)}{B(\lambda) - D(\lambda)} \quad (1)$$

ここで、 λ は基板から反射した光の波長であり、 $E(\lambda)$ は波長 λ での強度であり、 $B(\lambda)$ は波長 λ での基準強度であり、 $D(\lambda)$ は光を遮断した条件下で測定された波長 λ での背景強度（ダークレベル）である。

[0057] 動作制御部 9 は、反射光の強度測定データから図 3 に示すようなスペクトルを生成する。さらに、動作制御部 9 は、反射光のスペクトルからウェハ W の膜厚を決定する。反射光のスペクトルは、ウェハ W の膜厚に従って変化する。したがって、動作制御部 9 は、反射光のスペクトルからウェハ W の膜厚を決定することができる。以下、本明細書において、研磨されるウェハ W からの反射光から生成されたスペクトルを、測定スペクトルという。

[0058] 動作制御部 9 は、測定スペクトル（すなわち、測定データ）と複数の参照スペクトル（すなわち、参照データ）との比較から膜厚を決定するように構成されている。動作制御部 9 は、研磨中に生成された測定スペクトルと複数

の参照スペクトルとを比較することで、測定スペクトルに最も形状の近い参照スペクトルを決定し、この決定された参照スペクトルに関連付けられた膜厚を取得する。測定スペクトルに最も形状の近い参照スペクトルは、参照スペクトルと測定スペクトルとの間の相対反射率の差が最も小さいスペクトルである。

[0059] 複数の参照スペクトルは、研磨対象のウェハ（以下、本明細書において、ウェハWは研磨対象のウェハに相当する）と同じ、または、同等の初期膜厚を有する参照ウェハを研磨することによって予め取得されたものである。研磨対象のウェハは、参照ウェハとは異なるウェハであり、膜厚の平坦化工程が実行されるウェハである。参照ウェハは、参照スペクトルを、対応する膜厚に関連付ける工程が実行されるウェハである。

[0060] 各参照スペクトルにはその参照スペクトルが取得されたときの膜厚に関連付けることができる。すなわち、各参照スペクトルは、異なる膜厚のときに取得されたものであり、複数の参照スペクトルは複数の異なる膜厚に対応する。したがって、測定スペクトルに最も形状の近い参照スペクトルを決定することにより、現在の膜厚を推定することができる。

[0061] 図4は、複数の参照スペクトルを取得する工程の一例を示す図である。まず、ウェハWと同じ、または、同等の膜厚を有する参照ウェハが用意される。参照ウェハは、膜厚測定器170（図1参照）に搬送され、参照ウェハの初期膜厚が膜厚測定器170によって測定される（ステップS101参照）。膜厚測定器170は、動作制御部9に電氣的に接続されている。

[0062] 次に研磨液としてのスラリーが研磨パッド1に供給されながら参照ウェハが研磨される（ステップS102参照）。参照ウェハの研磨中、参照ウェハの表面に光が照射され、参照ウェハからの反射光のスペクトル（すなわち参照スペクトル）が取得される（ステップS103参照）。

[0063] 参照スペクトルは、研磨テーブル3が一回転するたびに取得される。したがって、参照ウェハの研磨中に、複数の参照スペクトルが取得される。参照ウェハの研磨が終了した後、参照ウェハは膜厚測定器170に再び搬送され

、研磨された参照ウェハの膜厚（すなわち最終膜厚）が測定される（ステップS 1 0 4 参照）。

[0064] 参照ウェハの研磨レートが一定である場合、膜厚は研磨時間とともに直線的に減少する。研磨レートは、初期膜厚と最終膜厚との差を、最終膜厚に到達した研磨時間で割り算することにより算出することができる。参照スペクトルは、上述したように、研磨テーブル3が一回転するたびに周期的に取得されるので、それぞれの参照スペクトルが取得されたときの研磨時間は、研磨テーブル3の回転速度から算出することができる。このようにして、動作制御部9は、各参照スペクトルに対応する膜厚を決定する（ステップS 1 0 5 参照）。

[0065] 各参照スペクトルは、対応する膜厚に関連付けることができる（結び付けることができる）。したがって、動作制御部9は、ウェハWの研磨中に測定スペクトルに最も形状に近い参照スペクトルを決定することにより、その参照スペクトルに関連付けられた膜厚から、ウェハWの現在の膜厚を決定することができる。

[0066] 以下、研磨対象のウェハWを研磨する工程について、説明する。まず、研磨対象のウェハWの膜厚の均一性が所定の許容範囲内に収まる第1研磨条件（言い換えれば、最終目標膜厚フラット条件）を決定する必要がある。

[0067] 第1研磨条件は、最終目標膜厚がフラットになるように予め決定された研磨条件（複数の圧力室7 0, 7 1, 7 2, 7 3, 8 3のそれぞれの圧力の制御）であってもよい。動作制御部9は、第1研磨条件に基づいて、複数の圧力室7 0, 7 1, 7 2, 7 3, 8 3のそれぞれの圧力を制御しながら、ウェハWを研磨するように構成されている。

[0068] 図5は、複数の圧力室に応じて分割されたウェハの複数の押圧領域を示す図である。図5に示すように、動作制御部9は、複数の圧力室7 0, 7 1, 7 2, 7 3に応じてウェハW上の複数の押圧領域A 1～A 4に分割する。これら押圧領域A 1～A 4は、ウェハWの中心C P Wと同心円状に配置されている。ウェハWの外縁には、ノッチN tが形成されている。

- [0069] 一実施形態では、第1研磨条件は、ウェハWの研磨中に膜厚センサ40によって測定された膜厚に基づいて、ウェハWの各領域A1～A4の膜厚（平均膜厚）がウェハWの全体の平均膜厚になるように、各圧力室70～73の圧力をリアルタイムでフィードバック制御する研磨条件（CLC：クローズドループコントロール）であってもよい。より具体的には、動作制御部9は、膜厚センサ40から出力された信号に基づいて測定されたウェハWの膜厚に基づいて、押圧領域A1～A4のそれぞれにおける平均膜厚値を算出する。その後、動作制御部9は、押圧領域A1～A4のそれぞれの平均膜厚値とウェハWの全体の平均膜厚値との差分が低減されるように、圧力レギュレータR1～R4のそれぞれを制御することにより、押圧領域A1～A4に対応する圧力室70～73内の圧力を制御する。
- [0070] 動作制御部9は、上述した方法と同様の方法に基づいて、圧力レギュレータR5を制御することにより、リテーナリング圧力室83内の圧力を制御してもよい。
- [0071] 図6は、第1研磨条件でウェハを研磨したときにおけるウェハの研磨プロファイルを示す図である。図6では、横軸はウェハWの半径方向の距離を表しており、縦軸はウェハWの膜厚分布を表している。図6における太線は、ウェハWの最外周に位置する、圧力室73に対応する押圧領域A4と、押圧領域A4の内側の押圧領域と、の境界線を示している。図6に示す実施形態では、ウェハWの研磨プロファイルとして、ウェハWを所定時間、研磨した際の研磨後のウェハWの半径方向における膜厚分布について説明するが、ウェハWの研磨プロファイルは、ウェハWの半径方向における研磨レート分布を含んでもよい。
- [0072] 第1研磨条件でウェハWを研磨した場合、ウェハWの中央部を含む他の領域（すなわち、最外周を除く領域）では、ウェハWの膜厚の均一性は所定の許容範囲内に収まる一方で、ウェハWの最外周を含む特定領域では、ウェハWの残膜（研磨後の膜厚）の半径方向のばらつきが大きい場合がある。すなわち、ウェハWの最外周を含む特定領域内で、膜厚の大きい部分と小さい部

分の膜厚差が大きくなっている。ウェハWの最外周は、研磨パッド2のリバウンドによる影響などで、研磨プロファイルが急峻で非対称になりやすく、ウェハWの最外周を含む特定領域の圧力室の圧力を調整するだけでは、フラットな膜厚分布を得ることは難しい。ウェハWの最外周を含む特定領域内における研磨後の膜厚のばらつき（いわゆる、残膜レンジ）は、第1研磨条件での研磨時間が長くなるほど大きくなる傾向がある。

[0073] そこで、本実施形態では、動作制御部9は、ウェハWの最外周におけるウェハWの半径方向の膜厚のばらつきを低減させる第2研磨条件に基づいて、ウェハWを研磨するように構成されている。以下に示す実施形態では、ウェハWの特定領域の一例として、ウェハWの膜厚の最外周におけるウェハWの膜厚のばらつきを低減させる実施形態について説明するが、ウェハWの特定領域は、ウェハWの最外周には限定されない。ウェハWの最外周を除く他の領域においても、ウェハWの膜厚のばらつきは発生するおそれがある。

[0074] 図7は、第2研磨条件を示す図である。図7では、横軸はウェハWの半径方向の距離を表しており、縦軸はウェハWの膜厚分布を表している。図7に示す実施形態では、ウェハWの研磨プロファイルとして、ウェハWを所定時間、研磨した際の研磨後のウェハWの半径方向における膜厚分布について説明するが、ウェハWの研磨プロファイルは、ウェハWの半径方向における研磨レート分布を含んでもよい。

[0075] 動作制御部9は、第1研磨条件に基づいて、研磨対象のウェハWと同じ、または、同等の初期膜厚を有するウェハを研磨する。その後、動作制御部9は、第1研磨条件で研磨することによって得られる第1研磨プロファイル（研磨後のウェハWの膜厚分布または研磨レート分布）に基づいて、第2研磨条件を決定する。第2研磨条件は、第1研磨プロファイルの分布（より具体的には、特定の圧力室に対応するウェハW上の押圧領域の分布）とは逆の分布を有する第2研磨プロファイルが形成されるように、予め決定（調整）された研磨条件である。

[0076] 言い換えれば、第2研磨条件は、第1研磨条件で研磨された研磨後のウェ

ハWの最外周における膜厚の厚い部分がより積極的に研磨され、研磨後のウェハWの最外周における膜厚の薄い部分の研磨が抑制されるような研磨条件である。第2研磨プロファイルは、第1研磨プロファイルの分布に対して、ウェハWの膜厚の厚さまたは研磨レートを示す数値の正負符号が反転した分布を有している。第2研磨プロファイルの分布を示す曲線および第1研磨プロファイルの分布を示す曲線は、理想的には、互いに線対称である。

[0077] 図7に示す実施形態では、ウェハWの半径方向の距離と、距離に対応するウェハWの膜厚と、から特定される座標系上の膜厚分布において、ウェハWの最外周の膜厚分布を示す曲線（第2研磨プロファイルの分布を示す曲線）は、基準線を中心として、第1研磨条件で研磨されたウェハWの最外周の膜厚分布を示す曲線（図7の一点鎖線参照）に対して、線対称である。なお、図7に示す実施形態では、第2研磨プロファイルの分布を示す曲線は、理想的な曲線として描かれている。

[0078] 第2研磨条件は、研磨対象のウェハWと同じ、または、同等の初期膜厚を有するウェハを研磨することにより、決定される。まず、予め、第1研磨条件でウェハWを研磨し、第1研磨プロファイルを確認する。その後、さらに別のウェハを研磨して、研磨終了後の研磨プロファイルが第1研磨プロファイルの分布とは逆の分布を有するように、実験的に第2研磨条件を決定する。あるいは、一実施形態では、まず、第1研磨条件でウェハWを研磨し、その後、続いて第1研磨条件から研磨条件を切り替えて、ウェハWを研磨する。研磨終了後の研磨プロファイルが平坦な分布を有するように、第1研磨条件からの切り替え条件である第2研磨条件を実験的に決定する。一実施形態では、第2研磨条件は、予め記憶装置9a内に格納された研磨条件と研磨プロファイルからなるデータベースから最適なものを選択してもよく、および／または、研磨シミュレーションにより決定されてもよい。

[0079] 動作制御部9は、その記憶装置9a内に第2研磨条件を格納しており、第2研磨条件に基づいて、ウェハWを研磨するように構成されている。より具体的には、動作制御部9は、第2研磨条件に基づいて、複数の圧力室70、

7 1, 7 2, 7 3, 8 3のうち、特定の圧力室の圧力を予め決定した固定値で制御しながら、ウェハWを研磨する。第2研磨条件は、第2研磨プロファイルに基づいて、特定の圧力室の圧力を予め決定した固定値で制御しながら、ウェハWを研磨する研磨条件を含む。

[0080] 本実施形態では、特定の圧力室は、ウェハWの最外周を押圧するエッジ圧力室7 3と、エッジ圧力室7 3に隣接する隣接圧力室と、を含む。隣接圧力室は、中間圧力室7 2およびリテーナリング圧力室8 3の少なくとも1つの圧力室を含む。本実施形態では、隣接圧力室は、中間圧力室7 2およびリテーナリング圧力室8 3の両方である。一実施形態では、特定の圧力室は、エッジ圧力室7 3のみであってもよい。

[0081] 第2研磨条件は、特定の圧力室の圧力を調整して決定される研磨条件を含む。一実施形態では、第2研磨条件は、特定の圧力室以外の圧力室の圧力を調整して決定される研磨条件を含んでもよい。例えば、特定の圧力室がエッジ圧力室7 3である場合、第2研磨条件は、エッジ圧力室7 3に隣接する隣接圧力室の圧力を調整して決定される研磨条件を含む。

[0082] 一実施形態では、第2研磨条件は、ウェハWの最外周を囲むように配置されたりテーナリング6 0の、研磨面2 aに対する押圧力を調整して決定される研磨条件を含んでもよい。この場合、動作制御部9は、第2研磨条件に基づいて、研磨ヘッド1の下降力をリテーナリング6 0に作用させるリテーナリング押圧装置8 0を制御する。

[0083] 本実施形態では、動作制御部9は、エッジ圧力室7 3および隣接圧力室7 2, 8 3のそれぞれの圧力を、第2研磨条件に基づいて、制御しつつ、これらエッジ圧力室7 3および隣接圧力室7 2, 8 3を除く他の圧力室7 0, 7 1のそれぞれの圧力を、第1研磨条件に基づいて、フィードバック制御する。

[0084] 第1研磨条件は、研磨中に、膜厚センサ4 0から出力された信号に基づいて他の圧力室7 0, 7 1のそれぞれに対応する領域の平均膜厚値とウェハWの全体の平均膜厚値との差分が低減されるように、圧力室7 0, 7 1のそれ

それぞれの圧力をフィードバック制御する研磨条件である。

[0085] 図8は、第1研磨条件および第2研磨条件で研磨されたウェハWの研磨レートを示す図である。図8では、横軸はウェハWの半径方向の距離を表しており、縦軸はウェハWの研磨レートを表している。図8は、ウェハWの外側部分の研磨レートを拡大して示している。図8に示すように、第1研磨条件におけるウェハW上の押圧領域A4での研磨レートと第2研磨条件におけるウェハW上の押圧領域A4での研磨レートは、互いに反転している。したがって、動作制御部9は、第1研磨条件および第2研磨条件を組み合わせることでウェハWを研磨することにより、ウェハWの最外周の膜厚の均一性を向上させることができる。

[0086] 図9は、研磨対象のウェハを研磨する工程の一例を示す図である。図9のステップS201に示すように、動作制御部9は、第1研磨条件でウェハWを研磨する（第1研磨工程）。その後、動作制御部9は、所定の切り替え条件を満たしたか否かを判断し（ステップS202参照）、切り替え条件を満たしていない場合（ステップS202の「No」参照）、ステップS201を継続する。切り替え条件を満たした場合（ステップS202の「Yes」参照）、動作制御部9は、研磨条件を第1研磨条件から第2研磨条件に切り替えて（ステップS203参照）、第2研磨条件でウェハWを研磨する（第2研磨工程）。

[0087] ウェハWの最外周（すなわち、特定領域）の残りの膜厚のばらつき（より具体的には、膜厚の最大値と最小値との差）があまりにも大きい状態で、研磨条件を第1研磨条件から第2研磨条件に切り替えても、ウェハWの最外周の膜厚のばらつきが解消されないおそれがある。そこで、動作制御部9は、上記切り替え条件として、第1研磨条件下でのウェハWの研磨中におけるウェハWの最外周の膜厚の最大値と最小値との差（いわゆる、残膜レンジ）が所定のしきい値を超えて大きくなった場合に、研磨条件を第1研磨条件から第2研磨条件に切り替えてもよい（第1切り替え条件）。

[0088] 特定の圧力室に対応するウェハWの特定領域内における膜厚のばらつきが

大きい場合、特定の圧力室の圧力を調整しても、膜厚のばらつきを解消することができないおそれがある。そこで、上述した実施形態では、動作制御部 9 は、第 1 研磨条件下でのウェハ W の残膜レンジが所定のしきい値を超えて大きくなった場合に、研磨条件を第 1 研磨条件から第 2 研磨条件に切り替える。

[0089] 残りの研磨時間があまりにも短い状態で、研磨条件を第 1 研磨条件から第 2 研磨条件に切り替えても、ウェハ W の特定領域の膜厚のばらつきが解消されないおそれがある。そこで、動作制御部 9 は、上記切り替え条件として、ウェハ W の最外周の膜厚の最大値と最小値との差を、第 2 研磨条件で研磨することにより解消するために必要な時間と、最終目標膜厚までの残りの研磨時間に基づいて、研磨条件を第 1 研磨条件から第 2 研磨条件に切り替えてもよい（第 2 切り替え条件）。

[0090] 第 2 研磨条件下でウェハ W を研磨した場合における研磨レートは、第 2 研磨条件を決定する過程により予め分かっている。したがって、動作制御部 9 は、第 2 研磨条件下でウェハ W を研磨した場合、第 1 研磨条件下でのウェハ W の研磨中におけるウェハ W の残膜レンジを低減（解消）するために必要な時間を算出することができる。そこで、一実施形態では、動作制御部 9 は、第 2 研磨条件下での必要研磨時間が所定の残り時間に到達し、あるいは近づいた場合に、研磨条件を第 1 研磨条件から第 2 研磨条件に切り替えてもよい。所定の残り時間は、例えば、切り替えタイミング以降に第 2 研磨条件下でウェハ W を研磨した場合にウェハ W の膜厚が最終目標膜厚になるまでに必要な時間と同一である。

[0091] より具体的には、動作制御部 9 は、第 1 研磨条件下でのウェハ W の研磨中において、ウェハ W の残膜レンジを第 2 研磨条件で低減するために必要な時間（すなわち、上記必要研磨時間）と、残りの研磨時間（すなわち、上記残り時間）と、を算出する。残りの研磨時間は、次の計算式に基づいて算出される。残りの研磨時間＝（ウェハ W の現在の膜厚－ウェハ W の目標膜厚）／第 2 研磨条件による想定研磨レート

- [0092] 必要研磨時間が残り時間よりも小さい場合（必要研磨時間＜残り時間）、第2研磨条件での研磨時間が長くなり、ウェハWの残膜プロファイルが悪くなってしまう。必要研磨時間と残り時間が同一である場合（必要研磨時間＝残り時間）、ウェハWの残膜レンジが解消され、ウェハWの膜厚が目標膜厚に到達する（理想的な状態）。必要研磨時間が残り時間よりも大きい場合（必要研磨時間＞残り時間）、残膜レンジが解消される前に、ウェハWの膜厚が目標膜厚になってしまい、残膜レンジが解消しきれない。このまま研磨を継続することにより、過研磨になってしまう。そこで、動作制御部9は、必要研磨時間と残り時間とが同一である場合に、研磨条件を第1研磨条件から第2研磨条件に切り替えることが望ましい。
- [0093] 第2切り替え条件によれば、トータルの研磨量に違いがあったときに、第1研磨条件による研磨で許容できる残膜レンジを変更することができるので、例えば、ウェハWの初期膜厚に違いがあったときに、それに応じた最適化が可能になる。なお、「最終目標膜厚になるまでに必要な時間」とは、ウェハW上の膜を除去する研磨の場合には、最終目標膜厚がゼロ、すなわち、余分な膜をクリアするために必要な時間を意味する。
- [0094] 一実施形態では、動作制御部9は、第1切り替え条件および第2切り替え条件に基づいて、研磨条件を第1研磨条件から第2研磨条件に切り替えてもよい。一実施形態では、動作制御部9は、ウェハWの全体の平均膜厚が所定の膜厚になった場合に、研磨条件を第1研磨条件から第2研磨条件に切り替えてもよい。一実施形態では、動作制御部9は、ウェハWの研磨時間が所定の研磨時間に到達した場合に研磨条件を第1研磨条件から第2研磨条件に切り替えてもよい。
- [0095] 動作制御部9は、図9のステップS203を実行した後、ウェハWの全体の平均膜厚が目標膜厚に到達するか、またはウェハW上に形成された材料が異材料との界面に到達したことを示す終点検出信号を膜厚センサ40から受けることにより（ステップS204の「Yes」参照）、ウェハWの研磨を終了する（ステップS205参照）。終点検出信号を受けていない場合（ス

テップS204の「No」参照)、動作制御部9は、第2研磨条件でのウェハWの研磨を継続する。動作制御部9は、終点検出信号を受信した際に、特定領域内における残膜レンジが所定値以下になっていない場合、第2研磨条件下でのウェハWの研磨を継続してもよい。また、動作制御部9は、終点検出信号を受信した際に、特定領域内における残膜レンジが所定値以下になっていない場合、アラームを発してもよい。

[0096] 上述した実施形態において、研磨ヘッド1は複数の圧力室(エアバッグ)を有するが、ウェハWを押圧するための押圧要素はこれに限らない。ウェハWに同一の圧力を付与する押圧要素がウェハWの半径方向に複数配列されている場合、本発明の技術的思想は適用可能である。押圧要素としては、例えば圧電素子が挙げられる。

[0097] 図10は、参照スペクトルを、対応する膜厚に関連付ける工程の一例を示す図である。まず、ウェハWと同じ、または、同等の膜厚を有する参照ウェハが用意される。参照ウェハは、膜厚測定器170(図1参照)に搬送され、参照ウェハの初期膜厚が膜厚測定器170によって測定される(ステップS301参照)。膜厚測定器170は、動作制御部9に電氣的に接続されている。動作制御部9は、膜厚測定器170によって測定された参照ウェハの膜厚(分布)に基づいて、幅広い膜厚範囲における参照スペクトルを取得するための参照位置を決定する(ステップS302参照)。

[0098] このようにして、動作制御部9は、参照ウェハの円周上の一部である特定の位置に関する情報を膜厚測定器170から取得する。膜厚測定器170は研磨装置の内部に配置されてもよい。この場合、膜厚測定器170は研磨装置の構成要素の一部を構成する。一実施形態では、膜厚測定器170は研磨装置の外部に配置されてもよい。

[0099] 参照ウェハは、様々な膜厚に対応する参照スペクトルを得るために研磨される。動作制御部9は、測定された参照ウェハの膜厚に基づいて、最大の膜厚値が得られた最大膜厚位置(すなわち、参照ウェハの膜厚が厚い箇所)と、最小の膜厚値が得られた最小膜厚位置(すなわち、参照ウェハの膜厚が薄

い箇所）と、を決定し、最大膜厚位置および最小膜厚位置のうちのいずれかを参照位置に決定する。一実施形態では、動作制御部 9 は、最大膜厚位置および最小膜厚位置の両方を参照位置に決定してもよい。

[0100] 一実施形態では、動作制御部 9 は、測定された参照ウェハの膜厚に基づいて、最大膜厚値と、最小膜厚値と、を決定し、参照ウェハの全体の平均膜厚値と最大膜厚値との差分、および参照ウェハの全体の平均膜厚値と最小膜厚値との差分を算出し、差分の最も大きな膜厚値が得られた参照ウェハ上の位置を参照位置に決定してもよい。

[0101] 次に研磨液としてのスラリーが研磨パッド 1 に供給されながら参照ウェハが研磨される（ステップ S 3 0 3 参照）。参照ウェハの研磨中、参照ウェハの表面に光が照射され、参照ウェハからの反射光のスペクトル（すなわち参照スペクトル）が取得される（ステップ S 3 0 4 参照）。

[0102] 動作制御部 9 は、研磨テーブル 3 が一回転するたびに、参照ウェハ上の各測定点における参照スペクトルを取得する。動作制御部 9 は、研磨中に膜厚センサ 4 0 が参照ウェハ上の参照位置を横切るように、研磨ヘッド 1 の回転速度および研磨テーブル 3 の回転速度の少なくとも一方を制御する。このような制御により、膜厚センサ 4 0 は参照位置の反射光を検出し、動作制御部 9 は、参照位置を含む参照スペクトルを取得する。

[0103] 動作制御部 9 は、参照位置を含む参照スペクトルを取得することにより、膜厚値の、幅広い範囲における参照スペクトルを取得することができる。したがって、動作制御部 9 は、研磨中に生成された測定スペクトルに最も形状の近い参照スペクトルを、より確実に決定することができ、結果として、あらゆる膜厚を有するウェハ W の膜厚を測定（取得）することができる。

[0104] 参照スペクトルは、研磨テーブル 3 が一回転するたびに取得される。したがって、参照ウェハの研磨中に、複数の参照スペクトルが取得される。参照ウェハの研磨が終了した後、参照ウェハは膜厚測定器 1 7 0 に再び搬送され、研磨された参照ウェハの膜厚（すなわち最終膜厚）が測定される（ステップ S 3 0 5 参照）。

- [0105] 参照ウェハの研磨レートが一定である場合、膜厚は研磨時間とともに直線的に減少する。研磨レートは、初期膜厚と最終膜厚との差を、最終膜厚に到達した研磨時間で割り算することにより算出することができる。参照スペクトルは、上述したように、研磨テーブル3が一回転するたびに周期的に取得されるので、それぞれの参照スペクトルが取得されたときの研磨時間は、研磨テーブル3の回転速度から算出することができる。このようにして、動作制御部9は、各参照スペクトルに対応する膜厚を決定する（ステップS306参照）。
- [0106] 各参照スペクトルは、対応する膜厚に関連付けることができる（結び付けることができる）。したがって、動作制御部9は、ウェハWの研磨中に測定スペクトルに最も形状が近い参照スペクトルを決定することにより、その参照スペクトルに関連付けられた膜厚から、ウェハWの現在の膜厚を決定することができる。
- [0107] 図11は、研磨対象のウェハを研磨する工程の一例を示す図である。研磨対象のウェハWの膜厚の均一性を高めるために、ウェハWの円周上の一部である特定位置を決定する必要がある。そこで、図11のステップS401に示すように、ウェハWは、膜厚測定器170に搬送され、ウェハWの初期膜厚が膜厚測定器170によって測定される。
- [0108] その後、図10のステップS302と同様に、動作制御部9は、膜厚測定器170によって測定されたウェハWの膜厚に基づいて、ウェハWの特定位置を決定する（ステップS402参照）。
- [0109] 特定位置の決定方法は、参照位置の決定方法と同様である。動作制御部9は、研磨前に測定されたウェハWの膜厚に基づいて、最大の膜厚値が得られた最大膜厚位置（すなわち、ウェハWの膜厚が厚い箇所）と、最小の膜厚値が得られた最小膜厚位置（すなわち、ウェハWの膜厚が薄い箇所）と、を決定し、最大膜厚位置および最小膜厚位置のうちの少なくとも1つを特定位置に決定する。
- [0110] 一実施形態では、動作制御部9は、研磨前に測定された測定されたウェハ

Wの膜厚に基づいて、最大膜厚値と、最小膜厚値と、を決定し、ウェハWの全体の平均膜厚値と最大膜厚値との差分、およびウェハWの全体の平均膜厚値と最小膜厚値との差分を算出し、差分の最も大きな膜厚値が得られたウェハW上の位置を特定位置に決定してもよい。

[0111] 動作制御部9は、膜厚測定器170によって測定されたウェハWの膜厚分布情報を取得し、ウェハWの特定位置を決定する。一実施形態として、膜厚測定器170が研磨装置の外部に配置されていた場合、動作制御部9は、ウェハWの膜厚分布から定められた特定位置の位置情報のみを取得してもよい。

[0112] 動作制御部9は、ウェハWの特定位置を決定した後、ウェハWの研磨を開始する（ステップS403参照）。この研磨中、ウェハWの表面に光が照射され、動作制御部9は、ウェハWからの反射光のスペクトル（すなわち、測定スペクトル）を取得する。動作制御部9は、取得した測定スペクトルに最も形状に近い参照スペクトルを決定し、決定された参照スペクトルに関連付けられた膜厚を取得する（ステップS404参照）。

[0113] 動作制御部9は、圧力レギュレータR1, R2, R3, R4を制御することにより、ウェハWの膜厚に基づいてウェハWの研磨面2aに対する押し付け力を調整させる。本実施形態では、動作制御部9は、ウェハW上の領域を、複数の圧力室70, 71, 72, 73に応じた複数の押圧領域A1, A2, A3, A4に区分する（図12参照）。

[0114] 図12は、複数の押圧領域に区分されたウェハを示す図である。図12では、ウェハW上の領域は、圧力室70に対応する押圧領域A1と、圧力室71に対応する押圧領域A2と、圧力室72に対応する押圧領域A3と、圧力室73に対応する押圧領域A4と、に区分される。押圧領域A1は円形状を有しており、押圧領域A2～A4のそれぞれは、環状形状を有している。これら押圧領域A1～A4は、ウェハWの中心CPWと同心状に配置されている。動作制御部9は、複数の押圧領域ごとにウェハWの押し付け力を独立して調整するように構成されている。

- [0115] 図12に示すように、ウェハWの押圧領域A4には、特定位置I Pが存在する。図12に示す実施形態では、特定位置I Pは、ウェハW上の一点であるが、特定位置I Pは、ウェハW上の狭い領域に存在する複数の点である場合もあれば、ウェハW上の広い領域に存在する複数の点である場合もある。そこで、動作制御部9は、特定位置I Pを含む制御対象領域C Aを決定する。また、特定位置I Pを含むある程度の大きさの領域を制御対象領域とすれば、以下に説明する膜厚の均一性の調整を安定して行うことができる。本実施形態では、制御対象領域C Aは、周方向における範囲（すなわち、領域A1～A4のいずれかに属する範囲）内で決定される。一実施形態では、特定位置I PがウェハW上の一点である場合に、制御対象領域C AもウェハW上の一点であってもよい。
- [0116] 動作制御部9は、制御対象領域C Aにおける制御対象膜厚値を決定し、かつ膜厚センサ40によって測定されたウェハWの膜厚に基づいて、ウェハWの全体の平均膜厚値を算出する。制御対象膜厚値は、膜厚センサ40によって測定されたウェハWの膜厚に基づいて決定された最大膜厚値または最小膜厚値に相当してもよく、最大膜厚値および最小膜厚値の両方であってもよい。一実施形態では、制御対象膜厚値は、制御対象領域C Aにおける複数の膜厚値の平均値であってもよい。
- [0117] 動作制御部9は、膜厚センサ40がウェハW上の制御対象領域C Aを横切るように、研磨ヘッド1の回転速度および研磨テーブル3の回転速度の少なくとも一方を制御する。この制御のためには、動作制御部9は、ウェハWの研磨中に制御対象領域C Aの位置を決定する必要がある。
- [0118] 制御対象領域C Aの位置を決定する方法の一例として、動作制御部9は、ウェハWの研磨中において、ウェハWの周方向の角度（すなわち、ウェハ角度）の基準位置（例えば、図12のノッチ位置N t）を特定し、制御対象領域C Aの位置をウェハ角度として決定する。
- [0119] ウェハWが研磨ヘッド1に対して円周方向にずれないと仮定すると、研磨開始時点の研磨ヘッド1に対するウェハWの取付角度を常に一定しておき、

ロータリエンコーダ152（図13参照）による研磨ヘッド1の回転角度を把握することにより、動作制御部9は、ノッチ位置Ntを特定し、制御対象領域CAの位置を決定する。ノッチ位置Ntの位置を特定しなくても、ノッチ位置Ntと制御対象領域CAとの位置関係は予め決定されているため、研磨ヘッド1の回転角度から制御対象領域CAの位置を決定することは可能である。

[0120] その一方で、ウェハWは、ウェハWと研磨パッド1との間に作用する摩擦力によって、研磨ヘッド1に対して円周方向にずれる場合がある。この場合、ノッチ位置Ntと研磨ヘッド1との相対角度もずれてしまうため、動作制御部9は、ウェハWの研磨中に、リアルタイムでウェハWのノッチ位置Ntを特定し、ノッチ位置Ntに基づいて、制御対象領域CAの位置を決定する。

[0121] 図13は、ノッチ検出装置を示す図である。図13に示すように、研磨装置は、ウェハWのノッチ位置Ntを検出するノッチ検出装置151を備えてもよい。ノッチ検出装置151は、渦電流センサ、光学式センサ、または画像センサなどのセンサから構成されてもよい。図13に示す実施形態では、ノッチ検出装置151は、研磨テーブル3の側方に配置されている。研磨ヘッド1は、研磨ヘッド1に保持されたウェハWの周縁部（より具体的には、ノッチ位置Nt）が研磨パッド2からはみ出す位置まで移動し、ウェハWを回転させる。

[0122] ノッチ検出装置151は、研磨パッド2からはみ出した状態で回転するウェハWのノッチ位置Ntを検出し、検出信号を動作制御部9に出力する。ロータリエンコーダ152は、研磨ヘッド1の回転角度に応じた信号を検出し、検出信号を動作制御部9に出力する。このようにして、動作制御部9は、ノッチ位置Ntと研磨ヘッド1の回転角度との関係を取得し、ノッチ位置Ntと研磨ヘッド1との相対角度をリアルタイムで決定することができる。一実施形態では、動作制御部9は、膜厚センサ40から出力された信号に基づいて、ノッチ位置Ntを特定してもよい。この場合、膜厚センサ40は、ノ

ッチ検出装置に相当する。

[0123] 図14Aおよび図14Bは、ウェハの表面上を横切る膜厚センサの移動経路を示す図である。図14Aおよび図14Bでは、膜厚センサ40の移動経路は、5つの点線で示されている。図14Aおよび図14Bに示す実施形態では、膜厚センサ40は、研磨テーブル3の1回転目で特定位置IPを横切っている。

[0124] 図14Aおよび図14Bに示すように、動作制御部9は、研磨ヘッド1の回転速度および研磨テーブル3の回転速度の少なくとも一方を制御することにより、膜厚センサ40の移動経路を制御することができる。したがって、動作制御部9は、膜厚センサ40がウェハWの表面上の特定位置IPを横切るように、決定された相対角度に基づいて、研磨ヘッド1の回転速度および研磨テーブル3の回転速度の少なくとも一方を制御する。

[0125] 例えば、動作制御部9は、研磨ヘッド1の回転速度と研磨テーブル3の回転速度との間の回転速度比を決定することにより、膜厚センサ40の移動経路を決定することができる。図14Aに示す実施形態における回転速度比と、図14Bに示す実施形態における回転速度比と、は互いに異なる。したがって、ノッチ位置Ntと研磨ヘッド1との相対角度が変更された場合、動作制御部9は、膜厚センサ40がウェハWの表面上の特定位置IPを横切るように、研磨ヘッド1の回転速度と研磨テーブル3の回転速度との間の回転速度比を決定する。

[0126] このようにして、動作制御部9は、膜厚センサ40から出力された信号に基づいて、研磨中における特定位置IPを含む制御対象領域CAの膜厚を測定し、測定された膜厚に基づいて、圧力レギュレータR1～R4を制御することにより、制御対象領域CAに対応する研磨ヘッド1の圧力室70～73内の圧力を制御する。

[0127] より具体的には、図11のステップS405に示すように、動作制御部9は、制御対象膜厚値とウェハWの全体の平均膜厚値との差分が低減されるように、特定位置IP（または制御対象領域CA）に対応する研磨ヘッド1の

圧力室 70～73 内の圧力を制御する。図 12 に示す実施形態では、制御対象領域 C A は、ウェハ W の、押圧領域 A 4 に対応する位置に存在しており、領域 A 4 は圧力室 73 に対応している。したがって、動作制御部 9 は、圧力レギュレータ R 4 を制御して、圧力室 73 内の圧力を制御する。

[0128] 動作制御部 9 は、複数の圧力室 70～73 に応じて分割されたウェハ W 上の複数の押圧領域 A 1～A 4 を、特定位置 I P を含む特定押圧領域と、特定押圧領域を除く他の押圧領域と、に分割する。本実施形態では、特定押圧領域は押圧領域 A 4 に相当し、他の押圧領域は押圧領域 A 1～A 3 に相当する。

[0129] 動作制御部 9 は、膜厚センサ 40 によって測定されたウェハ W の膜厚に基づいて、他の押圧領域 A 1～A 3 のそれぞれにおける平均膜厚値を算出する。その後、動作制御部 9 は、他の押圧領域 A 1～A 3 のそれぞれの平均膜厚値とウェハ W の全体の平均膜厚値との差分が低減されるように、圧力レギュレータ R 1～R 3 のそれぞれを制御することにより、他の押圧領域 A 1～A 3 に対応する圧力室 70～72 内の圧力を制御する。

[0130] 図 15 A および図 15 B は、本実施形態に係る研磨工程の効果を説明するための図である。図 15 A では、比較例としての研磨工程による、研磨前後におけるウェハ W の平均膜厚のプロファイルが示されており、図 15 B では、本実施形態に係る研磨工程による、研磨前後におけるウェハ W の平均膜厚のプロファイルが示されている。図 15 A および図 15 B のそれぞれにおいて、横軸は、ウェハ W の中心 C P W からの距離を表しており、縦軸は、ウェハ W の膜厚を示している。図 15 A および図 15 B では、ウェハ W の膜厚は、押圧領域 A 1～A 4 内の各測定点の膜厚として、箱ひげ図として表されている。

[0131] 図 15 A に示すように、研磨前のウェハ W の膜厚において、押圧領域 A 3 の最小膜厚値は、他の押圧領域 A 1, A 2, A 4 の膜厚よりも特に小さい（または薄い）。また、押圧領域 A 4 の最大膜厚値は、他の押圧領域 A 1, A 2, A 3 の膜厚よりも特に大きい（または厚い）。比較例としての研磨工程

では、動作制御部 9 は、膜厚センサ 40 によって検出された信号に基づいて、押圧領域 A 1 ～ A 4 のそれぞれにおける平均膜厚値と、ウェハ W の全体の平均膜厚値と、を算出する。したがって、動作制御部 9 は、押圧領域 A 3, A 4 のそれぞれの平均膜厚値を算出するため、押圧領域 A 1, A 2 のそれぞれの平均膜厚値と押圧領域 A 3, A 4 のそれぞれの平均膜厚値との間の差分が小さい場合がある。

[0132] このような場合であっても、動作制御部 9 は、押圧領域 A 1 ～ A 4 のそれぞれの平均膜厚値とウェハ W の全体の平均膜厚値との差分が低減されるように、圧力室 70 ～ 73 のそれぞれの圧力を制御して、ウェハ W を研磨する。したがって、研磨後のウェハ W では、ウェハ W の全体における膜厚の厚さが所定（所望）の許容範囲内に収まらない場合がある。

[0133] 本実施形態によれば、動作制御部 9 は、特定押圧領域の圧力を、他の押圧領域とは異なる圧力で個別に制御する。より具体的には、動作制御部 9 は、特定押圧領域 A 3, A 4 のそれぞれにおける制御対象膜厚値とウェハ W の全体の平均膜厚値との差分が低減されるように、圧力室 72, 73 内の圧力を制御し、他の押圧領域 A 1, A 2 のそれぞれの平均膜厚値とウェハ W の全体の平均膜厚値との差分が低減されるように、圧力室 70, 71 のそれぞれの圧力を制御する。図 15 B に示すように、動作制御部 9 は、複数の特定押圧領域を決定し、決定された複数の特定押圧領域の圧力を個別に制御してもよい。

[0134] 図 15 B に示す実施形態では、押圧領域 A 3 における制御対象膜厚値は平均膜厚値よりも小さいため、圧力室 72 の圧力は比較例における圧力よりも低減される。結果として、押圧領域 A 3 の研磨量は、比較例における研磨量と比較して全体的に小さい。押圧領域 A 4 における制御対象膜厚値は平均膜厚値よりも大きいため、圧力室 73 の圧力は比較例における圧力よりも増加される。結果として、押圧領域 A 4 の研磨量は、比較例における研磨量と比較して全体的に大きい。このような構成により、研磨ヘッド 1 は、ウェハ W の全体における最も厚い箇所の膜厚の厚さおよび最も薄い箇所の膜厚の厚さ

を所望の許容範囲内に収めることができる（図15B参照）。結果として、ウェハWの全体の膜厚の均一性を向上させることができる。

[0135] 上述した実施形態において、研磨ヘッドは複数の圧力室（エアバック）を有するが、同心円状に配置された押圧要素を有する研磨ヘッドであれば本発明の技術的思想は適用可能である。同心円状に配置された押圧要素が基板に与える押圧力を、特定位置を含む制御対象領域における制御対象膜厚値に基づいて制御する。押圧要素としては、例えば圧電素子が挙げられる。

[0136] 上述した実施形態においては、測定スペクトルに最も形状に近い参照スペクトルを決定することで膜厚を推定する方法を用いているが、他のアルゴリズムを用いて膜厚を推定してもよい。

[0137] 上述した実施形態では、動作制御部9は、膜厚測定器170によって測定されたウェハWの膜厚に基づいて、ウェハWの特定位置を決定し、特定位置に対応する研磨ヘッド1の圧力室内の圧力を制御するように構成されている。一実施形態では、動作制御部9は、ウェハWの膜厚を事前に測定することなく、研磨ヘッド1の圧力室内の圧力を制御するように構成されてもよい。以下、このような動作制御部9の構成について、図面を参照して説明する。

[0138] 図16は、動作制御部による、圧力室内の圧力制御フローを示す図である。図16のステップS501に示すように、動作制御部9は、膜厚センサ40によって、ウェハWの研磨中に得られたウェハWの全体の膜厚の中から、最大膜厚値および最小膜厚値を特定する。より具体的には、動作制御部9は、膜厚センサ40から出力された信号からウェハWの全体における最大膜厚値および最小膜厚値を特定する。

[0139] 動作制御部9は、ウェハW上の領域を、複数の圧力室70、71、72、73に応じた複数の押圧領域A1、A2、A3、A4に区分している。言い換えれば、動作制御部9は、膜厚センサ40がウェハWの表面を横切る際の軌跡を元にして、膜厚センサ40が取得する各測定データを各押圧領域A1、A2、A3、A4ごとに区分している。動作制御部9は、最大膜厚値および最小膜厚値のほか、複数の押圧領域A1、A2、A3、A4ごとの平均膜

厚値を特定する。さらに動作制御部 9 は、ウェハ W の全体における平均膜厚値も特定する。

[0140] 図 16 のステップ S 5 0 2 に示すように、動作制御部 9 は、ウェハ W の全体における最大膜厚値と最小膜厚値との差分（すなわち、膜厚レンジ）が所望（所定）の許容範囲内であるか否かを判定する。膜厚レンジが許容範囲内にある場合（ステップ S 5 0 2 の「YES」参照）、動作制御部 9 は、各押圧領域の平均膜厚値とウェハ W の全体の平均膜厚値との差分が低減されるように、圧力レギュレータのそれぞれを制御することにより、各圧力室内の圧力を制御する（ステップ S 5 0 3 参照）。

[0141] 膜厚レンジが許容範囲外である場合（ステップ S 5 0 2 の「NO」参照）、動作制御部 9 は、最大膜厚値を検出したウェハ W の位置に対応する圧力室と、最小膜厚値を検出したウェハ W の位置に対応する圧力室と、の少なくとも 1 つを特定する（ステップ S 5 0 4 参照）。

[0142] 最大膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御する場合、動作制御部 9 は、対象となる圧力室に対応するウェハ W の平均膜厚値がウェハ W の全体の平均膜厚値よりも下回るように、圧力室の圧力を制御する（ステップ S 5 0 5 A 参照）。最小膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御する場合、動作制御部 9 は、対象となる圧力室に対応するウェハ W の平均膜厚値がウェハ W の全体の平均膜厚値よりも上回るように、圧力室の圧力を制御する（ステップ S 5 0 5 B 参照）。

[0143] 具体的には、最大膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御する場合、動作制御部 9 は、ウェハ W の全体の平均膜厚値に対して所定量あるいは所定割合、減少させた目標膜厚値を計算し、最大膜厚値の測定点が属する押圧領域の平均膜厚値が目標膜厚値に近づくように、対象となる圧力室の圧力を調整する。より具体的には、最大膜厚値の測定点が属する押圧領域の平均膜厚値が目標膜厚値を上回っていた場合、動作制御部 9 は、最大膜厚値の測定点が属する押圧領域に関連する圧力室の圧力を増加させる。

[0144] 膜厚レンジを小さくするために、動作制御部 9 は、最大膜厚値に関連する

圧力室の圧力のみを上記のように制御してもよく、最小膜厚値に関連する圧力室の圧力のみを上記のように制御してもよく、あるいは最大膜厚値に関連する圧力室の圧力と最小膜厚値に関連する圧力室の圧力の両方を上記のように制御してもよい。なお、他の圧力室については、動作制御部 9 は、対応する押圧領域の平均膜厚値とウェハ W の全体の平均膜厚値との差分が低減されるように、他の圧力室を制御する。

[0145] このような構成により、膜厚レンジが許容範囲外にある場合、最大膜厚値に対応する押圧領域の研磨量あるいは一定期間内の研磨速度は、本発明を適用しない場合に比べて大きくなり、最小膜厚値に対応する押圧領域の研磨量あるいは一定期間内の研磨速度は、本発明を適用しない場合に比べて小さくなる。結果として、研磨ヘッド 1 は、ウェハ W の全体における最も厚い箇所の膜厚の厚さと最も薄い箇所の膜厚の厚さとの差分を所望の許容範囲内に収めることができる。

[0146] 図 17 は、他の実施形態に係る研磨工程の効果を説明するための図である。図 17 に示す実施形態では、ウェハ W の研磨中において、押圧領域 A1, A2 における最大膜厚値および最小膜厚値は許容範囲内にある。したがって、動作制御部 9 は、押圧領域 A1, A2 のそれぞれの平均膜厚値とウェハ W の全体の平均膜厚値との差分が低減されるように、押圧領域 A1, A2 のそれぞれに対応する圧力室 70, 71 のそれぞれの圧力を制御する。

[0147] 押圧領域 A3 における最小膜厚値は許容範囲外にあるため、動作制御部 9 は、押圧領域 A3 の平均膜厚値がウェハ W の全体の平均膜厚値よりも上回るように、圧力室 72 の圧力を制御する。結果として、押圧領域 A3 の研磨量は小さくなり、研磨ヘッド 1 は、押圧領域 A3 の膜厚の厚さを許容範囲内に収めることができる。

[0148] 押圧領域 A4 における最大膜厚値は許容範囲外にあるため、動作制御部 9 は、押圧領域 A4 の平均膜厚値がウェハ W の全体の平均膜厚値よりも下回るように、圧力室 73 の圧力を制御する。結果として、押圧領域 A4 の研磨量は大きくなり、研磨ヘッド 1 は、押圧領域 A4 の膜厚の厚さを許容範囲内に

収めることができる。

[0149] 本実施形態によれば、動作制御部 9 は、ウェハ W の膜厚を事前に測定することなく、ウェハ W の研磨中における膜厚センサ 40 によって測定されたウェハ W の膜厚に基づいて、ウェハ W 面内における膜厚の差分を許容範囲内に収めることができる。

[0150] なお、最大膜厚値に対応するウェハ W 上の押圧領域と最小膜厚値に対応するウェハ W 上の押圧領域を除くウェハ W 上の押圧領域においてもなお膜厚レンジが許容範囲内から外れている場合、動作制御部 9 は、当該押圧領域の圧力制御を上記と同様に行ってもよい。

[0151] 一実施形態では、動作制御部 9 は、ウェハ W の研磨中において、一定の時間間隔で得られたウェハ W の膜厚に基づいて、ウェハ W における最大膜厚値および最小膜厚値を特定してもよい。例えば、研磨テーブル 3 と研磨ヘッド 1 との間の回転速度比（研磨テーブル 3 の回転速度／研磨ヘッド 1 の回転速度）が $100/90 \text{ min}^{-1}$ である場合、60 秒間で研磨テーブル 3 が研磨ヘッド 1 に対して 10 回転、多く回転する。

[0152] 上記回転速度比である場合、研磨テーブル 3 は 6 秒間で 10 回転し、研磨ヘッド 1 は 6 秒間で 9 回転するため、研磨テーブル 3 および研磨ヘッド 1 の相対位置は、6 秒間で 1 回、元の位置に戻る。膜厚センサ 40 は研磨テーブル 3 に埋め込まれているため、膜厚センサ 40 がウェハ W の表面上を横切る回数は研磨テーブル 3 の回転に依存する。したがって、膜厚センサ 40 の移動経路は、6 秒間に 1 度の頻度で元の位置に戻る。このように、動作制御部 9 は、膜厚センサ 40 の移動経路が元の位置に戻るまでの時間間隔で得られたウェハ W の膜厚に基づいて最大膜厚値および最小膜厚値を特定してもよい。

[0153] 一実施形態では、動作制御部 9 は、研磨テーブル 3 が 1 回転するごと（すなわち、膜厚センサ 40 が 1 つの移動経路を通過するごと）に複数の押圧領域 A1, A2, A3, A4 のそれぞれにおける最大膜厚値および最小膜厚値を特定し、圧力室 70, 71, 72, 73 のそれぞれの圧力を制御してもよ

い。

[0154] 膜厚センサ40が1つの移動経路を通過するごとに、圧力室70, 71, 72, 73のそれぞれの圧力を制御すると、制御（調整）された圧力による研磨が進行してウェハWの膜厚変化に反映される前に、動作制御部9は、次の圧力調整を開始してしまうおそれがある。

[0155] また、一定の期間内で行われた膜厚の測定結果を元に最大膜厚値と最小膜厚値の差分を計算し、それに応じて関連する圧力室の圧力調整をあまり頻繁に行うと、弾性膜の圧力応答性なども関連して正常に制御されない可能性がある。そこで、動作制御部9は、圧力室の圧力調整の効果が出てくるような期間を空けて、ある間隔で次の膜厚レンジの確認を行うことが望ましい。また、動作制御部9は、圧力調整を行った後でもう一度同じ測定点での膜厚測定を行い、圧力調整の結果を確認するようにしてもよい。

[0156] 動作制御部9が最大膜厚値および最小膜厚値を特定するとき、研磨テーブル3および研磨ヘッド1は常に回転しており、ウェハWの研磨は常に進行している。したがって、例えば、時間間隔を6秒間に決定した場合、1秒目に取得したウェハWの膜厚と、5秒目に取得したウェハWの膜厚と、の関係において、動作制御部9は、5秒目に取得した膜厚を、1秒目に取得した膜厚よりも薄く求めてしまい、実際の膜厚の均一性を精度よく評価することができない。そこで、動作制御部9は、ウェハWの研磨速度に基づいて、各取得タイミングにおけるウェハWの膜厚値を補正するように構成されている。

[0157] 図18は、動作制御部による、膜厚値を補正するフローを示す図である。図18のステップS601に示すように、動作制御部9は、膜厚センサ40によって取得したウェハWの膜厚から研磨中におけるウェハWの研磨速度を算出する。その後、動作制御部9は、ウェハWの研磨速度に基づいて、ウェハWの各測定点において膜厚センサ40でウェハWの膜厚を取得した取得時間と所定の基準時間との間のウェハWの膜厚の変化量を算出する（ステップS602参照）。

[0158] 動作制御部9は、膜厚の変化量を補正值として、一定の時間間隔において

ウェハWの研磨中に得られたウェハWの膜厚を補正する（ステップS 6 0 3 参照）。例えば、所定の基準時間を上記時間間隔の開始時刻、すなわち、0 秒とした場合には、ウェハWの膜厚は基準時間から徐々に減少するため、動作制御部 9 は、補正值としての膜厚の減少量を、研磨中に得られたウェハWの膜厚に加算して、ウェハWの膜厚を補正する。

[0159] 逆に、所定の基準時間を上記時間間隔の終了時刻（上述した実施形態では、6 秒）とした場合には、ウェハWの膜厚は基準時間における膜厚よりも厚めに測定されるため、動作制御部 9 は、補正值としての膜厚の変化量を、研磨中に得られたウェハWの膜厚から減算して、ウェハWの膜厚を補正する。基準時間を上記時間間隔の開始時刻とするか、あるいはその中間の時刻とするか、は任意に決定される。

[0160] ステップS 6 0 3の後、動作制御部 9 は、補正されたウェハWの膜厚に基づいて、最大膜厚値および最小膜厚値を特定する（ステップS 6 0 4 参照）。ステップS 6 0 4の後、動作制御部 9 は、圧力室 7 0, 7 1, 7 2, 7 3 の圧力を図 1 6 に示す圧力制御フローと同様に制御する。

[0161] 上述した実施形態では、最大膜厚値に関連する圧力室と、最小膜厚値に関連する圧力室と、が別個（または異なる）の圧力室である場合について説明したが、最大膜厚値に関連する圧力室と、最小膜厚値に関連する圧力室と、が同一の圧力室である場合もある。この場合、動作制御部 9 は、当該圧力室に対応するウェハWの平均膜厚値がウェハWの全体の平均膜厚値よりも下回るように、対象となる圧力室の圧力を制御するか、当該圧力室に対応するウェハWの平均膜厚値がウェハWの全体の平均膜厚値よりも上回るように、対象となる圧力室の圧力を制御するか、を予め研磨レシピ設定によって決定してもよい。

[0162] 一実施形態では、最大膜厚値に関連する圧力室と、最小膜厚値に関連する圧力室と、が同一の圧力室である場合、動作制御部 9 は、最大膜厚値とウェハWの全体の平均膜厚値との第 1 差分と、最小膜厚値とウェハWの全体の平均膜厚値との第 2 差分と、を算出してもよい。

- [0163] 動作制御部 9 は、第 1 差分と第 2 差分とを比較し、第 1 差分が第 2 差分よりも大きい場合には、最大膜厚値に関連する圧力室に対応するウェハ W の平均膜厚値がウェハ W の全体の平均膜厚値よりも下回るように、対象となる圧力室の圧力を制御してもよい。第 2 差分が第 1 差分よりも大きい場合には、動作制御部 9 は、最小膜厚値に関連する圧力室に対応するウェハ W の平均膜厚値がウェハ W の全体の平均膜厚値よりも上回るように、対象となる圧力室の圧力を制御してもよい。
- [0164] 上述した実施形態では、最大膜厚値とウェハ W の全体の平均膜厚値との差を第 1 差分とし、最小膜厚値とウェハ W の全体の平均膜厚値との差を第 2 差分としたが、最大膜厚値と最大膜厚値に対応する押圧領域内の平均膜厚との差を第 1 差分とし、最小膜厚値と最小膜厚値に対応する押圧領域内の平均膜厚との差を第 2 差分としてもよい。
- [0165] 上述した実施形態では、動作制御部 9 は、最大膜厚値と最小膜厚値との差分（膜厚レンジ）が所望（所定）の許容範囲内であるか否かを判定し、許容範囲から外れていた場合に最大膜厚値に関連する圧力室およびまたは最小膜厚値に関連する圧力室の圧力を調整する。一実施形態では、動作制御部 9 は、最大膜厚値と最小膜厚値との差分と許容範囲との比較を行うことなく、最大膜厚値に関連する圧力室およびまたは最小膜厚値に関連する圧力室の圧力を調整してもよい。それによっても、最大膜厚値に関連する押圧領域の平均膜厚値がウェハ W の全体の平均膜厚値を下回るように圧力室の圧力が制御され、また、最小膜厚値に関連する押圧領域の平均膜厚値がウェハ W の全体の平均膜厚値を上回るように圧力室の圧力が制御されるので、結果として、最大膜厚値と最小膜厚値との差分が低減され、ウェハ W の膜厚の均一性を向上させることができる。
- [0166] 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。

産業上の利用可能性

[0167] 本発明は、研磨装置および研磨方法に利用可能である。

符号の説明

- [0168]
- | | |
|------|------------|
| 1 | 研磨ヘッド |
| 2 | 研磨パッド |
| 2 a | 研磨面 |
| 3 | 研磨テーブル |
| 5 | 研磨液供給ノズル |
| 6 | テーブルモータ |
| 7 | 光学センサヘッド |
| 9 | 動作制御部 |
| 9 a | 記憶装置 |
| 9 b | 演算装置 |
| 10 | ヘッドシャフト |
| 21 | ヘッド本体 |
| 25 | ロータリージョイント |
| 40 | 膜厚センサ |
| 44 | 光源 |
| 47 | 分光器 |
| 60 | リテーナリング |
| 60 a | 下面 |
| 60 b | 上面 |
| 62 | ドライブリング |
| 65 | 弾性膜 |
| 65 a | 基板押圧面 |
| 70 | 中央圧力室 |

7 1	中間圧力室
7 2	中間圧力室
7 3	エッジ圧力室
8 0	リテーナリング押圧装置
8 1	ピストン
8 2	ローリングダイヤフラム
8 3	リテーナリング圧力室
1 5 1	ノッチ検出装置
1 5 2	ロータリエンコーダ
1 7 0	膜厚測定器

請求の範囲

- [請求項1] 研磨パッドを支持する研磨テーブルと、
基板を前記研磨パッドの研磨面に押し付けるための、同心円状に分割された複数の圧力室を有する研磨ヘッドと、
前記複数の圧力室に連結された複数の圧力レギュレータと、
前記研磨テーブルに埋め込まれた、前記基板の膜厚に応じた信号を出力する膜厚センサと、
前記複数の圧力レギュレータを通じて、前記複数の圧力室のそれぞれの圧力を個別に制御する動作制御部と、を備え、
前記動作制御部は、
前記基板の円周上の一部である特定位置に関する情報を取得し、
かつ前記特定位置を含む制御対象領域における制御対象膜厚値と、前記基板の全体の平均膜厚値と、を算出し、
前記制御対象膜厚値と前記基板の全体の平均膜厚値との差分が低減されるように、前記特定位置に対応する前記研磨ヘッドの圧力室内の圧力を制御する、研磨装置。
- [請求項2] 前記動作制御部は、研磨前に測定された前記基板の膜厚に基づいて、前記特定位置を特定する、請求項1に記載の研磨装置。
- [請求項3] 前記動作制御部は、
研磨前に測定された前記基板の膜厚に基づいて、最大の膜厚値が得られた最大膜厚位置と、最小の膜厚値が得られた最小膜厚位置と、を決定し、
前記最大膜厚位置および前記最小膜厚位置のうちの少なくとも1つを前記特定位置に決定する、請求項1または請求項2に記載の研磨装置。
- [請求項4] 前記動作制御部は、
研磨前に測定された前記基板の膜厚に基づいて、最大膜厚値と、最小膜厚値と、を決定し、

前記基板の全体の平均膜厚値と前記最大膜厚値との差分、および前記基板の全体の平均膜厚値と前記最小膜厚値との差分を算出し、

差分の最も大きな膜厚値が得られた前記基板上の位置を前記特定位置に決定する、請求項 1 または請求項 2 に記載の研磨装置。

[請求項5] 前記制御対象膜厚値は、研磨前に測定された前記基板の膜厚に基づいて決定された最大膜厚値および最小膜厚値のうちの少なくとも 1 つに相当する、請求項 1 ～請求項 4 のいずれか一項に記載の研磨装置。

[請求項6] 前記制御対象膜厚値は、前記制御対象領域内における複数の膜厚値の平均値である、請求項 1 ～請求項 4 のいずれか一項に記載の研磨装置。

[請求項7] 前記動作制御部は、
前記膜厚センサから出力された信号に基づいて、研磨中における前記特定位置を含む前記制御対象領域の膜厚を測定し、
前記測定された膜厚に基づいて、前記特定位置に対応する前記研磨ヘッドの圧力室内の圧力を制御する、請求項 1 ～請求項 6 のいずれか一項に記載の研磨装置。

[請求項8] 前記動作制御部は、
前記複数の圧力室に応じて分割された前記基板上の複数の押圧領域を、前記制御対象領域を含む特定押圧領域と、前記特定押圧領域を除く他の押圧領域と、に分割し、

前記基板の膜厚に基づいて、前記他の押圧領域における平均膜厚値を算出し、

前記他の押圧領域の平均膜厚値と前記基板の全体の平均膜厚値との差分が低減されるように、前記他の押圧領域に対応する圧力室内の圧力を制御する、請求項 1 ～請求項 7 のいずれか一項に記載の研磨装置。

[請求項9] 前記動作制御部は、
前記基板とは異なる参照基板の円周上の一部である参照位置に関

する情報を取得し、

前記参照基板の研磨中において、前記膜厚センサによって、前記参照位置を含む前記基板上の領域の膜厚に応じた物理量を検出し、

前記膜厚センサから送られた複数の信号に基づいて、前記参照基板の膜厚に応じた複数のデータを取得し、

前記複数のデータのそれぞれと、前記複数のデータのそれぞれを取得したときの前記参照基板の膜厚とを関連付ける、請求項 1 ～請求項 8 のいずれか一項に記載の研磨装置。

[請求項10] 前記動作制御部は、研磨前に測定された前記参照基板の膜厚に基づいて、前記参照位置を決定する、請求項 9 に記載の研磨装置。

[請求項11] 前記動作制御部は、前記膜厚センサが前記制御対象領域を横切るように、前記研磨ヘッドの回転速度および前記研磨テーブルの回転速度の少なくとも一方を制御する、請求項 1 ～請求項 10 のいずれか一項に記載の研磨装置。

[請求項12] 前記動作制御部は、
前記基板の周方向の角度の基準位置と、前記研磨ヘッドの回転角度と、の関係に基づいて、前記基準位置および前記研磨ヘッドの相対角度を決定し、

前記決定された相対角度に基づいて、前記研磨ヘッドの回転速度および前記研磨テーブルの回転速度の少なくとも一方を制御する、請求項 11 に記載の研磨装置。

[請求項13] 同心円状に分割された複数の圧力室を有する研磨ヘッドによって、基板を研磨パッドの研磨面に押し付ける研磨方法であって、

前記基板の円周上の一部である特定位置に関する情報を取得し、かつ前記特定位置を含む制御対象領域における制御対象膜厚値と、前記基板の全体の平均膜厚値と、を算出し、

前記制御対象膜厚値と前記基板の全体の平均膜厚値との差分が低減されるように、前記特定位置に対応する前記研磨ヘッドの圧力室内の

圧力を制御する、研磨方法。

[請求項14] 研磨前に測定された前記基板の膜厚に基づいて、前記特定位置を特定する、請求項13に記載の研磨方法。

[請求項15] 研磨前に測定された前記基板の膜厚に基づいて、最大の膜厚値が得られた最大膜厚位置と、最小の膜厚値が得られた最小膜厚位置と、を決定し、

前記最大膜厚位置および前記最小膜厚位置のうちの少なくとも1つを前記特定位置に決定する、請求項13または請求項14に記載の研磨方法。

[請求項16] 研磨前に測定された前記基板の膜厚に基づいて、最大膜厚値と、最小膜厚値と、を決定し、

前記基板の全体の平均膜厚値と前記最大膜厚値との差分、および前記基板の全体の平均膜厚値と前記最小膜厚値との差分を算出し、

差分の最も大きな膜厚値が得られた前記基板上の位置を前記特定位置に決定する、請求項13または請求項14に記載の研磨方法。

[請求項17] 前記制御対象膜厚値は、研磨前に測定された基板の膜厚に基づいて決定された最大膜厚値および最小膜厚値のうちの少なくとも1つに相当する、請求項13～請求項16のいずれか一項に記載の研磨方法。

[請求項18] 前記制御対象膜厚値は、前記制御対象領域内における複数の膜厚値の平均値である、請求項13～請求項16のいずれか一項に記載の研磨方法。

[請求項19] 前記膜厚センサの出力信号に基づいて、研磨中における前記特定位置を含む前記制御対象領域の膜厚を測定し、

前記測定された膜厚に基づいて、前記特定位置に対応する前記研磨ヘッドの圧力室内の圧力を制御する、請求項13～請求項18のいずれか一項に記載の研磨方法。

[請求項20] 前記複数の圧力室に応じて分割された前記基板上の複数の押圧領域を、前記制御対象領域を含む特定押圧領域と、前記特定押圧領域を除

く他の押圧領域と、に分割し、

前記基板の膜厚に基づいて、前記他の押圧領域における平均膜厚値を算出し、

前記他の押圧領域の平均膜厚値と前記基板の全体の平均膜厚値との差分が低減されるように、前記他の押圧領域に対応する圧力室内の圧力を制御する、請求項 13～請求項 19 のいずれか一項に記載の研磨方法。

[請求項21] 前記基板とは異なる参照基板の円周上の一部である参照位置に関する情報を取得し、

前記参照基板の研磨中において、前記膜厚センサによって、前記参照位置を含む前記基板上の領域の膜厚に応じた物理量を検出し、

前記膜厚センサから送られた複数の信号に基づいて、前記参照基板の膜厚に応じた複数のデータを取得し、

前記複数のデータのそれぞれと、前記複数のデータのそれぞれを取得したときの前記参照基板の膜厚とを関連付ける、請求項 13～請求項 20 のいずれか一項に記載の研磨方法。

[請求項22] 研磨前に測定された前記参照基板の膜厚に基づいて、前記参照位置を決定する、請求項 21 に記載の研磨方法。

[請求項23] 前記研磨パッドを支持する研磨テーブルの回転によって、前記膜厚センサが前記制御対象領域を横切るように、前記研磨ヘッドの回転速度および前記研磨テーブルの回転速度の少なくとも一方を制御する、請求項 13～請求項 22 のいずれか一項に記載の研磨方法。

[請求項24] 前記基板の周方向の角度の基準位置と、前記研磨ヘッドの回転角度と、の関係に基づいて、前記基準位置および前記研磨ヘッドの相対角度を決定し、

前記決定された相対角度に基づいて、前記研磨ヘッドの回転速度および前記研磨テーブルの回転速度の少なくとも一方を制御する、請求項 23 に記載の研磨方法。

- [請求項25] 研磨パッドを支持する研磨テーブルと、
 基板を前記研磨パッドの研磨面に押し付けるための、同心円状に分割された複数の圧力室を有する研磨ヘッドと、
 前記複数の圧力室に連結された複数の圧力レギュレータと、
 前記研磨テーブルに埋め込まれた、前記基板の膜厚に応じた信号を出力する膜厚センサと、
 前記複数の圧力レギュレータを通じて、前記複数の圧力室のそれぞれの圧力を個別に制御する動作制御部と、を備え、
 前記動作制御部は、
 前記膜厚センサによって、前記基板の研磨中に得られた前記基板の膜厚から、最大膜厚値および最小膜厚値を特定し、
 前記最大膜厚値を検出した前記基板の位置に対応する圧力室と、
 前記最小膜厚値を検出した前記基板の位置に対応する圧力室と、の少なくとも1つを特定し、
 前記最大膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御する場合、前記最大膜厚値に関連する圧力室に対応する前記基板の平均膜厚値が前記基板の全体の平均膜厚値よりも下回るように、前記最大膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御し、
 前記最小膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御する場合、前記最小膜厚値に関連する圧力室に対応する前記基板の平均膜厚値が前記基板の全体の平均膜厚値よりも上回るように、前記最小膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御する、研磨装置。
- [請求項26] 前記動作制御部は、前記基板の研磨中において、一定の時間間隔で得られた前記基板の膜厚に基づいて、前記最大膜厚値および前記最小膜厚値を特定する、請求項25に記載の研磨装置。
- [請求項27] 前記動作制御部は、
 前記膜厚センサによって取得した前記基板の膜厚から研磨中における研磨速度を算出し、

前記研磨速度に基づいて、前記基板の各測定点において前記膜厚センサで前記基板の膜厚を取得した取得時間と基準時間との間の前記基板の膜厚の変化量を算出し、

前記変化量を補正值として、前記時間間隔において前記基板の研磨中に得られた前記基板の膜厚を補正し、

補正された前記基板の膜厚に基づいて、前記最大膜厚値および前記最小膜厚値を特定する、請求項 26 に記載の研磨装置。

[請求項28]

前記動作制御部は、前記最大膜厚値に関連する圧力室と前記最小膜厚値に関連する圧力室とが同一の圧力室である場合、前記最大膜厚値に関連する圧力室に対応する前記基板の平均膜厚値が前記基板の全体の平均膜厚値よりも下回るように、前記最大膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御するか、前記最小膜厚値に関連する圧力室に対応する前記基板の平均膜厚値が前記基板の全体の平均膜厚値よりも上回るように、前記最小膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御するか、を予めレシピ設定によって決定する、請求項 25 ～請求項 27 のいずれか一項に記載の研磨装置。

[請求項29]

前記動作制御部は、

前記最大膜厚値に関連する圧力室と前記最小膜厚値に関連する圧力室とが同一の圧力室である場合、前記最大膜厚値と前記基板の全体の平均膜厚値との第 1 差分と、前記最小膜厚値と前記基板の全体の平均膜厚値との第 2 差分と、を比較し、

前記第 1 差分が前記第 2 差分よりも大きい場合には、前記最大膜厚値に関連する圧力室に対応する前記基板の平均膜厚値が前記基板の全体の平均膜厚値よりも下回るように、前記最大膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御し、

前記第 2 差分が前記第 1 差分よりも大きい場合には、前記最小膜厚値に関連する圧力室に対応する前記基板の平均膜厚値が前記基板の全体の平均膜厚値よりも上回るように、前記最小膜厚値に関連する圧

力室の圧力を制御する、請求項 25～請求項 27 のいずれか一項に記載の研磨装置。

[請求項30]

前記動作制御部は、

前記最大膜厚値に関連する圧力室と前記最小膜厚値に関連する圧力室とが同一の圧力室である場合、前記最大膜厚値と前記最大膜厚値に対応する押圧領域内の平均膜厚値との第 1 差分と、前記最小膜厚値と前記最小膜厚値に対応する押圧領域内の平均膜厚値との第 2 差分と、を比較し、

前記第 1 差分が前記第 2 差分よりも大きい場合には、前記最大膜厚値に関連する圧力室に対応する前記基板の平均膜厚値が前記基板の全体の平均膜厚値よりも下回るように、前記最大膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御し、

前記第 2 差分が前記第 1 差分よりも大きい場合には、前記最小膜厚値に関連する圧力室に対応する前記基板の平均膜厚値が前記基板の全体の平均膜厚値よりも上回るように、前記最小膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御する、請求項 25～請求項 27 のいずれか一項に記載の研磨装置。

[請求項31]

同心円状に分割された複数の圧力室を有する研磨ヘッドによって、基板を研磨パッドの研磨面に押し付ける研磨方法であって、

前記基板の研磨中に得られた前記基板の膜厚から、最大膜厚値および最小膜厚値を特定し、

前記最大膜厚値を検出した前記基板の位置に対応する圧力室と、前記最小膜厚値を検出した前記基板の位置に対応する圧力室と、の少なくとも 1 つを特定し、

前記最大膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御する場合、前記最大膜厚値に関連する圧力室に対応する前記基板の平均膜厚値が前記基板の全体の平均膜厚値よりも下回るように、前記最大膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御し、

前記最小膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御する場合、前記最小膜厚値に関連する圧力室に対応する前記基板の平均膜厚値が前記基板の全体の平均膜厚値よりも上回るように、前記最小膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御する、研磨方法。

[請求項32] 前記基板の研磨中において、一定の時間間隔で得られた前記基板の膜厚に基づいて、前記最大膜厚値および前記最小膜厚値を特定する、請求項31に記載の研磨方法。

[請求項33] 前記基板の膜厚から研磨中における研磨速度を算出し、
前記研磨速度に基づいて、前記基板の各測定点において前記基板の膜厚を取得した取得時間と基準時間との間の前記基板の膜厚の変化量を算出し、

前記変化量を補正值として、前記時間間隔において前記基板の研磨中に得られた前記基板の膜厚を補正し、

補正された前記基板の膜厚に基づいて、前記最大膜厚値および前記最小膜厚値を特定する、請求項32に記載の研磨方法。

[請求項34] 前記最大膜厚値に関連する圧力室と前記最小膜厚値に関連する圧力室とが同一の圧力室である場合、前記最大膜厚値に関連する圧力室に対応する前記基板の平均膜厚値が前記基板の全体の平均膜厚値よりも下回るように、前記最大膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御するか、前記最小膜厚値に関連する圧力室に対応する前記基板の平均膜厚値が前記基板の全体の平均膜厚値よりも上回るように、前記最小膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御するか、を予めレシピ設定によって決定する、請求項31～請求項33のいずれか一項に記載の研磨方法。

[請求項35] 前記最大膜厚値に関連する圧力室と前記最小膜厚値に関連する圧力室とが同一の圧力室である場合、前記最大膜厚値と前記基板の全体の平均膜厚値との第1差分と、前記最小膜厚値と前記基板の全体の平均膜厚値との第2差分と、を比較し、

前記第1差分が前記第2差分よりも大きい場合には、前記最大膜厚

値に関連する圧力室に対応する前記基板の平均膜厚値が前記基板の全体の平均膜厚値よりも上回るように、前記最大膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御し、

前記第2差分が前記第1差分よりも大きい場合には、前記最小膜厚値に関連する圧力室に対応する前記基板の平均膜厚値が前記基板の全体の平均膜厚値よりも上回るように、前記最小膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御する、請求項31～請求項33のいずれか一項に記載の研磨方法。

[請求項36] 前記最大膜厚値に関連する圧力室と前記最小膜厚値に関連する圧力室とが同一の圧力室である場合、前記最大膜厚値と前記最大膜厚値に対応する押圧領域内の平均膜厚値との第1差分と、前記最小膜厚値と前記最小膜厚値に対応する押圧領域内の平均膜厚値との第2差分と、を比較し、

前記第1差分が前記第2差分よりも大きい場合には、前記最大膜厚値に関連する圧力室に対応する前記基板の平均膜厚値が前記基板の全体の平均膜厚値よりも下回るように、前記最大膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御し、

前記第2差分が前記第1差分よりも大きい場合には、前記最小膜厚値に関連する圧力室に対応する前記基板の平均膜厚値が前記基板の全体の平均膜厚値よりも上回るように、前記最小膜厚値に関連する圧力室の圧力を制御する、請求項31～請求項33のいずれか一項に記載の研磨方法。

[請求項37] 特定の圧力室を含む複数の圧力室を有する研磨ヘッドによって、基板を研磨パッドの研磨面に押し付ける研磨方法であって、

前記研磨方法は、

前記基板を第1研磨条件で研磨する第1研磨工程と、

前記基板とは異なる基板を予め前記第1研磨条件で研磨することによって得られる、前記特定の圧力室に対応する前記基板の特定領域

の半径方向に沿った第1研磨プロファイルに基づいて決定された第2研磨条件で、前記基板を研磨する第2研磨工程と、を含み、

前記第2研磨条件は、前記第1研磨プロファイルの分布とは逆の分布を有する第2研磨プロファイルが形成されるように予め決定された研磨条件を含み、

前記第1研磨工程の後に、前記第2研磨工程を行う、研磨方法。

[請求項38] 前記特定の圧力室は、前記基板の最外周を押圧するエッジ圧力室を含む、請求項37に記載の研磨方法。

[請求項39] 前記第2研磨条件は、前記特定の圧力室以外の圧力室の圧力を調整して決定される研磨条件を含む、請求項37または請求項38に記載の研磨方法。

[請求項40] 前記第2研磨条件は、前記基板の最外周を押圧するエッジ圧力室に隣接する隣接圧力室の圧力を調整して決定される研磨条件を含む、請求項37～請求項39のいずれか一項に記載の研磨方法。

[請求項41] 前記第2研磨条件は、前記基板の最外周を囲むように配置されたリテーナリングの、前記研磨面に対する押圧力を調整して決定される研磨条件を含む、請求項37～請求項40のいずれか一項に記載の研磨方法。

[請求項42] 前記第1研磨条件は、研磨中に、膜厚センサを用いて測定された、前記複数の圧力室のそれぞれに対応する前記基板の膜厚に基づいて、前記複数の圧力室のそれぞれの圧力をフィードバック制御しながら、前記基板を研磨する研磨条件を含む、請求項37～請求項41のいずれか一項に記載の研磨方法。

[請求項43] 前記第1研磨条件で前記基板を研磨し、所定の切り替え条件を満たした後に、前記第2研磨条件で前記基板を研磨する、請求項37～請求項42のいずれか一項に記載の研磨方法。

[請求項44] 前記切り替え条件として、前記特定領域の膜厚の最大値と最小値との差が所定のしきい値を超えて大きくなった場合に、前記第1研磨条

件から前記第2研磨条件に切り替える、請求項43に記載の研磨方法。

[請求項45] 前記切り替え条件として、前記特定領域の膜厚の最大値と最小値との差を前記第2研磨条件で研磨することにより解消するために必要な時間と、最終目標膜厚までの残りの研磨時間に基づいて、前記第1研磨条件から前記第2研磨条件に切り替える、請求項43に記載の研磨方法。

[請求項46] 前記特定の圧力室は、前記基板の最外周を押圧するエッジ圧力室を含み、

前記第2研磨条件に基づいて、前記エッジ圧力室の圧力を制御しつつ、前記第1研磨条件に基づいて、前記エッジ圧力室を除く他の圧力室の圧力を制御する、請求項37～請求項45のいずれか一項に記載の研磨方法。