

## 研磨方法および研磨装置

### 発明の背景

#### 発明の技術分野

- 5      本発明は、ウェーハなどの基板を研磨する方法および装置に関し、特に、基板の中心部およびエッジ部を含む基板の表面上の膜厚分布を基板の研磨中に取得し、得られた膜厚分布に基づいて基板に加える研磨圧力を制御し、および／または研磨終点を検出する方法および装置に関する。

#### 関連技術の記載

- 10      近年、半導体デバイスの微細化は配線幅が10nmを下回る段階まで進展し、それに伴い膜厚についてもナノメートルレベルの厳密な管理が必要になっている。一般的な研磨終点検出システムは、研磨テーブルに設置された1つの膜厚センサでウェーハの膜厚を測定し、膜厚の測定値に基づいて研磨終点を検出する。しかしながら、研磨終点検出の分解能は研磨テーブル一回転あたりの研磨量に相当し、
- 15      研磨終点を高精度に検出するには十分ではなかった。

- そこで、特許文献1に開示されているように、複数の膜厚センサを研磨テーブルに設置することで、研磨テーブル一回転あたりの研磨終点検出の分解能を向上させる技術がある。この技術によれば、研磨終点の精度向上のみならず、ウェーハ研磨中の膜厚コントロール精度を向上させることができる。すなわち、ウェーハの中心部およびエッジ部を含むウェーハの全面における膜厚分布をウェーハの研磨中に取得し、得られた膜厚分布に基づいてウェーハへの研磨圧力を制御することで、ウェーハ面内の膜厚均一性を向上させることができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

- 25      【特許文献1】日本国特開2012-138442号公報

最近では、ウェーハ研磨中の膜厚プロファイルをより精密に制御することが求められている。特に、ウェーハのエッジ部の膜厚は、ウェーハ中心からの半径方向の距離に従って比較的大きく変化し、エッジ部内のより細かい領域に対する研

磨圧力を制御することが求められている。このような要請に応えるためには、膜厚測定の間分解能を向上させることで膜厚分布を精密に測定することが重要である。膜厚測定の間分解能を向上させるための一つの解決策は、膜厚センサの測定周期を短くすることである。しかしながら、膜厚センサの測定周期を短くすると、研磨テーブル一回転あたりの測定データ量が増大し、データ通信量および計算負荷の増加を招いてしまう。

## 発明の要旨

そこで、本発明は、膜厚センサの測定周期を変えず、かつ測定データ量を増大させることなく、膜厚測定の間分解能を向上させることができる研磨方法および研磨装置を提供することを目的とする。

本発明の一態様は、研磨テーブルの中心から同じ距離に配置された第1膜厚センサおよび第2膜厚センサを前記研磨テーブルとともに回転させ、前記回転する研磨テーブル上の研磨パッドに研磨ヘッドで基板を押し付けて該基板の表面を研磨しながら、前記第1膜厚センサおよび前記第2膜厚センサは前記基板の表面上の、前記基板の中心からの距離が異なる測定点での膜厚を示す信号値を生成し、前記第1膜厚センサおよび前記第2膜厚センサが生成した信号値に基づいて、前記研磨ヘッドから前記基板に加えられる研磨圧力を制御することを特徴とする研磨方法である。

本発明の好ましい態様は、前記研磨テーブルのN回目の回転内の第1時点において前記第1膜厚センサが生成した信号値を取得し、前記研磨テーブルのN回目の回転中に前記第2膜厚センサが生成した最新の信号値と、前記研磨テーブルのN-1回目の回転中に前記第2膜厚センサが生成した前回の信号値を取得し、前記第1時点での前記第2膜厚センサの信号値に相当する補間信号値を、前記最新の信号値と前記前回の信号値から計算する工程をさらに含み、前記第1膜厚センサおよび前記第2膜厚センサが生成した信号値に基づいて、前記研磨ヘッドから前記基板に加えられる研磨圧力を制御する工程は、前記第1時点で前記第1膜厚センサが生成した信号値、および前記補間信号値に基づいて、前記研磨ヘッドか

ら前記基板に加えられる研磨圧力を制御する工程であることを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記補間信号値は、前記最新の信号値と前記前回の信号値の加重平均であることを特徴とする。

- 5 本発明の好ましい態様は、前記研磨テーブルの中心から前記第1膜厚センサおよび前記第2膜厚センサまで延びる2つの直線のなす角度を $\theta$ 、前記最新の信号値を $S2a$ 、前記前回の信号値を $S2b$ 、前記補間信号値を $WA$ とすると、前記補間信号値は、

$$WA = S2a \times ((360 - \theta) / 360) + S2b \times (\theta / 360)$$

で与えられることを特徴とする。

- 10 本発明の好ましい態様は、前記第1膜厚センサが生成した信号値、および前記補間信号値を用いて、膜厚プロファイルを作成することを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記第1膜厚センサが生成した信号値、および前記補間信号値に基づいて、前記基板の研磨終点を決定することを特徴とする。

- 15 本発明の好ましい態様は、前記第1膜厚センサの信号値および前記補間信号値のうちのいずれか1つが目標値に達したときに前記基板の研磨を停止させることを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記第1膜厚センサの信号値から換算された膜厚値および前記補間信号値から換算された膜厚値のうちのいずれか1つが目標値に達したときに前記基板の研磨を停止させることを特徴とする。

- 20 本発明の一態様は、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て前記基板を研磨する研磨ヘッドと、前記研磨テーブルに設置され、前記研磨テーブルの中心から同じ距離に配置された第1膜厚センサおよび第2膜厚センサと、前記第1膜厚センサおよび前記第2膜厚センサにトリガー信号を送信して、前記第1膜厚センサおよび前記第2膜厚センサに、前記基板の表面上の、前記基板の中心からの距離が異なる測定点での膜厚を示す信号値を生成させるセンサ制御部と、前記第1膜厚センサおよび前記第2膜厚センサから前記信号値を受け取り、前記信号値に基づいて、前記研磨ヘッドから前記基板に加えられる研磨圧力の目標値を決定するデータ処理部を備えたことを特徴とする
- 25

研磨装置である。

本発明の好ましい態様は、前記研磨テーブルの回転位置を検出するテーブル回転位置検出器をさらに備え、前記センサ制御部は、前記テーブル回転位置検出器から送られた前記研磨テーブルの回転位置信号と前記研磨テーブルの回転速度に基づいて、トリガー信号を前記第1膜厚センサおよび前記第2膜厚センサに送信するタイミングを決定し、前記決定されたタイミングで前記第1膜厚センサおよび前記第2膜厚センサに前記トリガー信号を送信して、前記第1膜厚センサおよび前記第2膜厚センサに、前記基板の表面上の、前記基板の中心からの距離が異なる測定点での膜厚を示す信号値を生成させることを特徴とする。

- 10 本発明の好ましい態様は、前記研磨圧力の目標値に基づいて、前記研磨ヘッドから前記基板に加えられる研磨圧力を制御する動作制御部をさらに備えたことを特徴とする。

- 本発明の好ましい態様は、前記データ処理部は、前記研磨テーブルのN回目の回転内の第1時点において前記第1膜厚センサが生成した信号値を取得し、前記研磨テーブルのN回目の回転中に前記第2膜厚センサが生成した最新の信号値と、前記研磨テーブルのN-1回目の回転中に前記第2膜厚センサが生成した前回の信号値を取得し、前記第1時点での前記第2膜厚センサの信号値に相当する補間信号値を、前記最新の信号値と前記前回の信号値から計算し、前記第1時点で前記第1膜厚センサが生成した信号値、および前記補間信号値に基づいて、前記研磨ヘッドから前記基板に加えられる研磨圧力の目標値を決定するように構成されていることを特徴とする。

- 本発明の好ましい態様は、前記研磨テーブルの中心から前記第1膜厚センサおよび前記第2膜厚センサまで延びる2つの直線のなす角度を $\theta$ 、前記最新の信号値を $S2a$ 、前記前回の信号値を $S2b$ 、前記補間信号値を $WA$ とすると、前記データ処理部は、

$$WA = S2a \times ((360 - \theta) / 360) + S2b \times (\theta / 360)$$

で表される式をその内部に予め格納していることを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記データ処理部は、前記第1膜厚センサが生成し

た信号値、および前記補間信号値を用いて、膜厚プロファイルを作成するように構成されていることを特徴とする。

- 5 本発明の好ましい態様は、前記データ処理部は、前記第1膜厚センサが生成した信号値、および前記補間信号値に基づいて、前記基板の研磨終点を決定するように構成されていることを特徴とする。

- 本発明によれば、第1膜厚センサおよび第2膜厚センサの測定点の基板中心からの距離は異なるので、膜厚測定周期を変えることなく、かつ研磨テーブル一回転あたりに得られる信号値の数を増やすことなく、膜厚測定の空間分解能を向上することができる。さらに、本発明によれば、研磨テーブルのN回目の回転時に  
10 得られた最新の信号値と、研磨テーブルのN-1回目の回転時に得られた前回の信号値とから、第2膜厚センサの補間信号値が計算される。この補間信号値は、第1膜厚センサの信号値と同一時点で生成された第2膜厚センサの信号値に相当する。したがって、第1膜厚センサの信号値および補間信号値を用いて、正確かつ精密な膜厚プロファイルを作成することができる。結果として、膜厚プロ  
15 イルに基づいて、適切な研磨圧力を基板に与えることができるとともに、膜厚プロファイルに基づいて、研磨終点を正確に決定することができる。

#### 図面の簡単な説明

- 図1は、研磨装置の一実施形態を示す模式図である。
- 20 図2は、図1に示すデータ処理部、動作制御部、センサ制御部が1台のコンピュータから構成された一実施形態を示す模式図である。
- 図3は、研磨ヘッドの断面図である。
- 図4は、研磨テーブル内に設置された第1膜厚センサ、第2膜厚センサ、および第3膜厚センサの配置を示す平面図である。
- 25 図5は、第1膜厚センサ、第2膜厚センサ、および第3膜厚センサの軌跡および測定点を示す図である。
- 図6は、図5に示す3つの軌跡を重ね合わせて1つの軌跡を作成し、この1つの軌跡上に第1膜厚センサ、第2膜厚センサ、および第3膜厚センサの測定点を

配列した図である。

図 7 は、研磨テーブルの回転に伴う各測定点での信号値の変化を示すグラフである。

図 8 は、従来の研磨方法に従った研磨テーブルの回転に伴う各測定点での信号値の変化を示すグラフである。

図 9 は、図 7 に示すグラフの一部を示す拡大図である。

### 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。

10 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、基板の一例であるウェーハ W を研磨パッド 2 に押し付ける研磨ヘッド 1 と、研磨テーブル 3 を回転させるテーブルモータ 6 と、研磨パッド 2 上に研磨液（スラリー）を供給するための研磨液供給ノズル 5 とを備えている。研磨パッド 2 の表面は、ウェーハ W を研磨する  
15 研磨面 2 a を構成する。研磨テーブル 3 はテーブルモータ 6 に連結されており、研磨テーブル 3 および研磨パッド 2 を一体に回転させるように構成されている。研磨ヘッド 1 は、研磨ヘッドシャフト 1 1 の端部に固定されており、研磨ヘッドシャフト 1 1 は、ヘッドアーム 1 5 に回転可能に支持されている。

ウェーハ 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  
20 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 2 a に供給される。ウェーハ W は研磨ヘッド 1 によって回転されながら、研磨パッド 2 とウェーハ W との間に研磨液が存在した状態で研磨パッド 2 の研磨面 2 a に押し付けられる。ウェーハ 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による機械的作用により研磨され  
25 る。

研磨テーブル 3 内には 3 つの膜厚センサ 7 a, 7 b, 7 c が配置されている。膜厚センサ 7 a, 7 b, 7 c は、ウェーハ W の表面上の所定の測定点での膜厚を示す信号値を生成するセンサである。膜厚センサ 7 a, 7 b, 7 c は研磨テーブ

ル3および研磨パッド2とともに一体に回転する。膜厚センサ7a, 7b, 7c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上のウェーハWの表面（すなわち被研磨面である下面）を横切る位置である。膜厚センサ7a, 7b, 7cは、ウェーハWの表面を横切りながら、信号値を生成する。膜厚センサ7a, 7b, 7cは、データ処理部9Aに接続されており、膜厚センサ7a, 7b, 7cから出力された信号値はデータ処理部9Aに送られるようになっている。

研磨装置は、研磨ヘッド1、研磨テーブル3、および研磨液供給ノズル5の動作を制御する動作制御部9Bをさらに備えている。さらに、研磨装置は、膜厚センサ7a, 7b, 7cの動作を制御するセンサ制御部9Cを備えている。膜厚センサ7a, 7b, 7cはセンサ制御部9Cに接続されている。動作制御部9Bはデータ処理部9Aに接続され、センサ制御部9Cは動作制御部9Bに接続されている。データ処理部9A、動作制御部9B、センサ制御部9Cは、それぞれ汎用または専用のコンピュータから構成することができる。あるいは、図2に示す一実施形態のように、データ処理部9A、動作制御部9B、センサ制御部9Cは、1台の汎用または専用のコンピュータ9から構成されてもよい。

動作制御部9Bは、測定開始信号および測定条件情報をセンサ制御部9Cに送信する。測定開始信号を受け取ると、センサ制御部9Cは、研磨テーブル3が一回転するたびに、膜厚センサ7a, 7b, 7cにそれぞれトリガー信号を送る。膜厚センサ7a, 7b, 7cは、トリガー信号を受け取ったときに、上記信号値を生成する。各膜厚センサへのトリガー信号の送信周期は、測定条件情報に含まれる測定周期に相当する。すなわち、センサ制御部9Cは、測定条件情報に含まれる測定周期でトリガー信号を生成し、トリガー信号を連続的に各膜厚センサに送る。

センサ制御部9Cは、テーブル回転位置検出器19から送られてくる研磨テーブル3の回転位置信号と研磨テーブル3の回転速度に基づいて、トリガー信号を膜厚センサ7a, 7b, 7cに送信するタイミングを決定する。センサ制御部9Cは、決定したタイミングでトリガー信号を膜厚センサ7a, 7b, 7cに送信

する。より具体的には、センサ制御部 9 C は、膜厚センサ 7 a, 7 b, 7 c に異なるタイミングでトリガー信号を送信する。したがって、研磨テーブル 3 が一回転するたびに、膜厚センサ 7 a, 7 b, 7 c は、ウェーハ W の表面を横切りながら、異なるタイミングで上記信号値を生成する。

- 5      テーブル回転位置検出器 1 9 は、研磨テーブル 3 に固定されたセンサターゲット 2 0 と、研磨テーブル 3 の側方に配置された近接センサ 2 1 との組み合わせから構成される。センサターゲット 2 0 は研磨テーブル 3 とともに回転し、その一方近接センサ 2 1 の位置は固定されている。近接センサ 2 1 はセンサターゲット 2 0 を感知すると、センサ制御部 9 C に研磨テーブル 3 の回転位置信号を送信
- 10    する。センサ制御部 9 C は、研磨テーブル 3 の回転位置信号と研磨テーブル 3 の回転速度に基づいて、研磨テーブル 3 の現在の回転位置を計算することができる。一実施形態では、テーブル回転位置検出器 1 9 は、テーブルモータ 6 のモータドライバ 2 3 から構成してもよい。

- 本実施形態では、3つの膜厚センサ 7 a, 7 b, 7 c が研磨テーブル 3 の中心
- 15    O の周りに等間隔で配置されている。膜厚センサ 7 a, 7 b, 7 c の研磨テーブル 3 の中心 O からの距離は同じである。したがって、研磨テーブル 3 の回転に伴い、膜厚センサ 7 a, 7 b, 7 c は同じ軌道 P 上を移動しながら、ウェーハ W の表面を横切る。ウェーハ W の研磨中は、研磨ヘッド 1 および研磨テーブル 3 はそれぞれ回転しているが、研磨テーブル 3 に対する研磨ヘッド 1 の相対的な位置は
- 20    固定されている。

一実施形態では、2つの膜厚センサのみを研磨テーブル 3 の中心 O の周りに設けてもよく、または4つ以上の膜厚センサを研磨テーブル 3 の中心 O の周りに設けてもよい。複数の膜厚センサは、研磨テーブル 3 の中心 O の周りに等間隔で配置することが好ましいが、等間隔でなくてもよい。

- 25    次に、研磨ヘッド 1 について説明する。図 3 は、研磨ヘッド 1 を示す断面図である。研磨ヘッド 1 は、研磨ヘッドシャフト 1 1 の端部に固定されたヘッド本体 3 1 と、ヘッド本体 3 1 の下部に取り付けられたメンブレン（弾性膜） 3 4 と、ヘッド本体 3 1 の下方に配置されたリテーナリング 3 2 とを備えている。リテー

ナリング 3 2 は、メンブレン 3 4 の周囲に配置されており、ウェーハ W の研磨中にウェーハ W が研磨ヘッド 1 から飛び出さないようにするためにウェーハ W を保持する環状の構造体である。

メンブレン 3 4 とヘッド本体 3 1 との間には、4 つの圧力室 C 1, C 2, C 3, C 4 が設けられている。圧力室 C 1, C 2, C 3, C 4 はメンブレン 3 4 とヘッド本体 3 1 によって形成されている。中央の圧力室 C 1 は円形であり、他の圧力室 C 2, C 3, C 4 は環状である。これらの圧力室 C 1, C 2, C 3, C 4 は、同心上に配列されている。

圧力室 C 1, C 2, C 3, C 4 にはそれぞれ気体移送ライン F 1, F 2, F 3, F 4 が接続されている。気体移送ライン F 1, F 2, F 3, F 4 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 F 1, F 2, F 3, F 4 を通じて圧力室 C 1, C 2, C 3, C 4 にそれぞれ供給されるようになっている。

圧力室 C 3 に連通する気体移送ライン F 3 は、図示しない真空ラインに接続されており、圧力室 C 3 内に真空を形成することが可能となっている。圧力室 C 3 を構成する、メンブレン 3 4 の部位には開口が形成されており、圧力室 C 3 に真空を形成することによりウェーハ W が研磨ヘッド 1 に吸着保持される。また、この圧力室 C 3 に圧縮気体を供給することにより、ウェーハ W が研磨ヘッド 1 からリリースされる。

ヘッド本体 3 1 とリテーナリング 3 2 との間には、環状のメンブレン（ローリングダイヤフラム）3 6 が配置されおり、このメンブレン 3 6 の内部には圧力室 C 5 が形成されている。圧力室 C 5 は、気体移送ライン F 5 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 F 5 を通じて圧力室 C 5 内に供給され、圧力室 C 5 はリテーナリング 3 2 を研磨パッド 2 に対して押圧する。

気体移送ライン F 1, F 2, F 3, F 4, F 5 は、研磨ヘッドシャフト 1 1 に取り付けられたロータリージョイント 4 0 を経由して延びている。圧力室 C 1,

C 2, C 3, C 4, C 5に連通する気体移送ラインF 1, F 2, F 3, F 4, F 5には、それぞれ圧力レギュレータR 1, R 2, R 3, R 4, R 5が設けられている。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C 1～C 5内にそれぞれ独立に供給される。圧力レギュレータR 1～R 5は、圧力室C 1～C 5内の圧縮気体の圧力を調節するように構成されている。

圧力レギュレータR 1～R 5は、圧力室C 1～C 5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、ウェーハWの対応する4つの領域、すなわち、中央部、内側中間部、外側中間部、およびエッジ部に対する研磨圧力、およびリテーナリング3 2の研磨パッド2への押圧力を独立に調節することができる。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C 1～C 5を大気開放することも可能である。本実施形態では、メンブレン3 4は、4つの圧力室C 1～C 4を形成するが、一実施形態では、メンブレン3 4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。

データ処理部9 A（図1および図2参照）は、ウェーハWの膜厚を示す信号値を膜厚センサ7 a, 7 b, 7 cから受け取り、信号値に基づいて、目標膜厚プロファイルを達成するための圧力室C 1～C 5の目標圧力値を決定し、目標圧力値を動作制御部9 Bに送信する。圧力室C 1～C 4の目標圧力値は、研磨ヘッド1からウェーハWに加えられる研磨圧力の目標値に相当する。また、圧力室C 5の目標圧力値は、リテーナリング3 2から研磨パッド2に加えられる押圧力の目標値に相当する。圧力レギュレータR 1～R 5は動作制御部9 Bに接続されている。動作制御部9 Bは、圧力室C 1～C 5のそれぞれの目標圧力値を指令値として圧力レギュレータR 1～R 5に送り、圧力レギュレータR 1～R 5は、圧力室C 1～C 5内の圧力が対応する目標圧力値に維持されるように動作する。

研磨ヘッド1はウェーハWの複数の領域に対して、独立した研磨圧力をそれぞれ加えることができる。例えば、研磨ヘッド1は、ウェーハWの表面の異なる領域を異なる研磨圧力で研磨パッド2の研磨面2 aに対して押し付けることができる。したがって、研磨ヘッド1は、ウェーハWの膜厚プロファイルを制御して、

目標とする膜厚プロファイルを達成することができる。

- 膜厚センサ 7 a, 7 b, 7 c は、ウェーハ W の膜厚に従って変化する信号値を出力するセンサである。信号値は、膜厚を直接または間接に示す数値またはデータ（数値群）である。膜厚センサ 7 a, 7 b, 7 c は、例えば、光学式膜厚センサまたは渦電流センサから構成される。光学式膜厚センサは、ウェーハ W の表面に光を照射し、ウェーハ W からの反射光の強度を波長ごとに測定し、波長に関連付けられた反射光の強度を出力するように構成される。波長に関連付けられた反射光の強度は、ウェーハ W の膜厚に従って変化する信号値である。渦電流センサは、ウェーハ W に形成されている導電膜に渦電流を誘起させ、導電膜と渦電流センサのコイルとを含む電気回路のインピーダンスに従って変化する信号値を出力する。本実施形態に使用される光学式膜厚センサおよび渦電流センサは、公知の装置を使用することができる。

- 図 4 は、研磨テーブル 3 内に設置された第 1 膜厚センサ 7 a、第 2 膜厚センサ 7 b、および第 3 膜厚センサ 7 c の配置を示す平面図である。図 4 では、研磨ヘッド 2 の図示は省略されている。記号  $\theta$  は研磨テーブル 3 の中心 O から第 1 膜厚センサ 7 a および第 2 膜厚センサ 7 b まで延びる 2 つの直線のなす角度を表す。本実施形態では、第 1 膜厚センサ 7 a、第 2 膜厚センサ 7 b、および第 3 膜厚センサ 7 c は、研磨テーブル 3 の中心 O の周りに等間隔で配置されているので、角度  $\theta$  は  $120^\circ$  である。

- 図 4 に示すように、第 1 膜厚センサ 7 a、第 2 膜厚センサ 7 b、および第 3 膜厚センサ 7 c は、研磨テーブル 3 の中心 O から同じ距離に配置されており、かつ研磨テーブル 3 の周方向において互いに離間している。したがって、研磨テーブル 3 が回転しているとき、第 1 膜厚センサ 7 a、第 2 膜厚センサ 7 b、および第 3 膜厚センサ 7 c は、同じ軌道 P 上を移動しながら、異なるタイミングでウェーハ W の表面を走査する。

図 5 は、第 1 膜厚センサ 7 a、第 2 膜厚センサ 7 b、および第 3 膜厚センサ 7 c の測定点を示す図である。研磨ヘッド 1 と研磨テーブル 3 は異なる回転速度で回転している。したがって、第 1 膜厚センサ 7 a、第 2 膜厚センサ 7 b、および

- 第3膜厚センサ7cはウェーハW上に異なる軌跡を描いて予め定められた複数の測定点M1, M2, M3での膜厚を示す信号値を生成する。すなわち、研磨テーブル3が一回転するたびに、第1膜厚センサ7aはウェーハWの表面上の予め定められた複数の測定点M1での膜厚を示す信号値を生成する。同様に、研磨テーブル3が一回転するたびに、第2膜厚センサ7bはウェーハWの表面上の予め定められた複数の測定点M2での膜厚を示す信号値を生成し、第3膜厚センサ7cはウェーハWの表面上の予め定められた複数の測定点M3での膜厚を示す信号値を生成する。測定点M1, M2, M3は、ウェーハWの表面上の、ウェーハWの中心からの距離が異なる測定点である。
- 10 ウェーハWの研磨中は、研磨テーブル3に対する研磨ヘッド1の相対的な位置は固定されているので、研磨テーブル3が一回転するたびに、第1膜厚センサ7a、第2膜厚センサ7b、および第3膜厚センサ7cは、ウェーハWの表面を横切る。より具体的には、研磨テーブル3が一回転するたびに、第1膜厚センサ7a、第2膜厚センサ7b、および第3膜厚センサ7cは、ウェーハWの表面を横
- 15 切りながら、ウェーハWの中心からの距離が異なる測定点M1, M2, M3での膜厚を示す信号値を生成する。データ処理部9Aは、信号値を膜厚センサ7a, 7b, 7cから受け取り、これら信号値を処理する。
- データ処理部9Aは、図5に示す膜厚センサ7a, 7b, 7cのウェーハW上の3つの軌跡を重ね合わせて1つの軌跡を形成し、図6に示すように、この1つ
- 20 の軌跡上に測定点M1, M2, M3を配列する。ウェーハWの中心から複数の測定点M1までの各距離は、ウェーハWの中心から複数の測定点M2までの各距離とは異なり、さらにウェーハWの中心から複数の測定点M3までの各距離とも異なる。したがって、図6に示すように、第1膜厚センサ7aの複数の測定点M1、第2膜厚センサ7bの複数の測定点M2、および第3膜厚センサ7cの複数の測定点M3は順番に並んでおり、重複しない。
- 25

図7は、研磨テーブル3の回転に伴う各測定点M1, M2, M3での信号値の変化を示すグラフである。第1膜厚センサ7aの信号値は黒い四角で表され、第2膜厚センサ7bの信号値は黒い丸で表され、および第3膜厚センサ7cの信号

値は黒い三角で表されている。図 7 から分かるように、研磨テーブル 3 の回転に伴ってウェーハ W の研磨が進行し、結果として、膜厚を示す信号値は変化する。

第 1 膜厚センサ 7 a、第 2 膜厚センサ 7 b、および第 3 膜厚センサ 7 c は、重複しない測定点、すなわちウェーハ W の中心からの距離が異なる測定点 M 1、M 2、

5 M 3（図 5 参照）での膜厚を示す信号値を生成する。

図 8 は、従来の研磨方法に従った研磨テーブル 3 の回転に伴う各測定点での信号値の変化を示すグラフである。この従来例では、第 1 膜厚センサ 7 a、第 2 膜厚センサ 7 b、および第 3 膜厚センサ 7 c は、重複する測定点、すなわち同じ複数の測定点での膜厚を示す信号値を生成する。研磨テーブル 3 の一回転あたりに  
10 得られる信号値の数は図 7 に示す実施形態と同じであるが、研磨テーブル 3 の一回転あたりの膜厚の測定点の数は、図 7 に示す本実施形態よりも少ない。

図 7 に示す本実施形態によれば、複数の（本実施形態では 3 つの）膜厚センサ 7 a、7 b、7 c は、研磨テーブル 3 が一回転するたびに、ウェーハ W の中心からの距離が異なる測定点での膜厚を示す信号値を順番に生成する。したがって、  
15 膜厚測定周期を変えずに、かつ研磨テーブル 3 の一回転あたりに得られる信号値の数を増やすことなく、膜厚測定の空間分解能を向上することができる。

さらに、本実施形態では、以下に説明するように、第 2 膜厚センサ 7 b の信号値および第 3 膜厚センサ 7 c の信号値をそれぞれ補間して、第 1 膜厚センサ 7 a の信号値と同一時点で生成された信号値に相当する補間信号値を生成する。

20 図 9 は、図 7 に示すグラフの一部を示す拡大図である。ウェーハ W の研磨中、すなわち、研磨テーブル 3 が回転しているとき、データ処理部 9 A は、研磨テーブル 3 の N 回目の回転内の第 1 時点  $t_1$  において第 1 膜厚センサ 7 a が生成した信号値  $S_1$  を取得し、さらに、研磨テーブル 3 の N 回目の回転中に第 2 膜厚センサ 7 b が生成した最新の信号値  $S_{2a}$  と、研磨テーブル 3 の  $N-1$  回目の回転中  
25 に第 2 膜厚センサ 7 b が生成した前回の信号値  $S_{2b}$  を取得する。N は自然数である（ $N \geq 1$ ）。データ処理部 9 A は、第 1 時点  $t_1$  での第 2 膜厚センサ 7 b の信号値に相当する補間信号値  $W_A$  を、最新の信号値  $S_{2a}$  と前回の信号値  $S_{2b}$  から計算する。

補間信号値は、最新の信号値と前回の信号値の加重平均である。より具体的には、補間信号値WAは、次の式（１）で与えられる。

【数１】

$$WA = S2a \times ((360 - \theta) / 360) + S2b \times (\theta / 360) \quad (1)$$

- 5     ただし、 $\theta$  は研磨テーブル 3 の中心 O から第 1 膜厚センサ 7 a および第 2 膜厚センサ 7 b まで延びる 2 つの直線のなす角度を表す。本実施形態では、第 1 膜厚センサ 7 a、第 2 膜厚センサ 7 b、および第 3 膜厚センサ 7 c は、研磨テーブル 3 の中心 O の周りに等間隔で配置されているので、角度  $\theta$  は  $120^\circ$  である。角度  $\theta$  が小さくなるほど、第 2 膜厚センサ 7 b は第 1 膜厚センサ 7 a に近づき、加重平均の重みは増加する。

データ処理部 9 A は、その内部に上記式（１）を予め格納している。データ処理部 9 A は、他の測定点での膜厚を示す第 2 膜厚センサ 7 b の最新の信号値と前回の信号値から、同様に式（１）を用いて補間信号値（図 9 では白丸で表す）を算出する。

- 15     同様に、ウェーハ W の研磨中、データ処理部 9 A は、研磨テーブル 3 の N 回目の回転中に第 3 膜厚センサ 7 c が生成した最新の信号値  $S3a$  と、研磨テーブル 3 の  $N-1$  回目の回転中に第 3 膜厚センサ 7 c が生成した前回の信号値  $S3b$  を取得する。さらに、データ処理部 9 A は、第 1 時点  $t1$  での第 3 膜厚センサ 7 c の信号値に相当する補間信号値  $WA'$ （図 9 では白い三角で表す）を、最新の信号値  $S3a$  と前回の信号値  $S3b$  から計算する。補間信号値  $WA'$  は、上記式（１）の  $S2a$  を  $S3a$  に、 $S2b$  を  $S3b$  に置き換えた上で、上記式（１）を用いて算出することができる。本実施形態では、研磨テーブル 3 の中心 O から第 1 膜厚センサ 7 a および第 3 膜厚センサ 7 c まで延びる 2 つの直線のなす角度  $\theta$  は、 $240^\circ$  である。

- 25     補間信号値 WA,  $WA'$  は、第 1 膜厚センサ 7 a の信号値  $S1$  と同一時点  $t1$  で生成された信号値に相当する。したがって、データ処理部 9 A は、第 1 膜厚センサ 7 a の信号値  $S1$  および補間信号値 WA,  $WA'$  を用いて、正確かつ精密な膜厚プロファイルを作成することができる。データ処理部 9 A は、第 1 膜厚セン

サ 7 a の信号値 S 1 および補間信号値 WA, WA' に基づいて、目標膜厚プロファイルを作成するための圧力室 C 1 ~ C 5 (図 3 参照) の目標圧力値を決定し、目標圧力値を動作制御部 9 B に送信する。圧力室 C 1 ~ C 4 の目標圧力値は、研磨ヘッド 1 からウェーハ W に加えられる研磨圧力の目標値に相当する。また、圧力室 C 5 の目標圧力値は、リテーナリング 3 2 から研磨パッド 2 に加えられる押圧力の目標値に相当する。動作制御部 9 B は、圧力室 C 1 ~ C 5 の目標圧力値をデータ処理部 9 A から受け取り、圧力室 C 1 ~ C 5 の目標圧力値に基づいて、研磨ヘッド 1 からウェーハ W に加えられる研磨圧力、およびリテーナリング 3 2 から研磨パッド 2 に加えられる押圧力を制御する。信号値 S 1、補間信号値 WA, WA' がウェーハ W の膜厚を間接的に表している場合は、データ処理部 9 A は、第 1 膜厚センサ 7 a の信号値 S 1 および補間信号値 WA, WA' をそれぞれ膜厚値に換算し、膜厚値から膜厚プロファイルを作成し、研磨ヘッド 1 からウェーハ W に加えられる研磨圧力の目標値およびリテーナリング 3 2 から研磨パッド 2 に加えられる押圧力の目標値、すなわち圧力室 C 1 ~ C 5 の目標圧力値を、膜厚値 (または膜厚プロファイル) に基づいて決定してもよい。

さらに、データ処理部 9 A は、第 1 膜厚センサ 7 a の信号値 S 1 および補間信号値 WA, WA' に基づいて、ウェーハ W の研磨終点を決定することができる。例えば、データ処理部 9 A は、第 1 膜厚センサ 7 a の信号値 S 1 および補間信号値 WA, WA' のいずれかが所定の目標値に達した時点である研磨終点を決定する。信号値 S 1、補間信号値 WA, WA' が膜厚を間接的に表している場合は、データ処理部 9 A は、第 1 膜厚センサ 7 a の信号値 S 1 および補間信号値 WA, WA' をそれぞれ膜厚値に換算し、いずれかの膜厚値が所定の目標値に達した時点である研磨終点を決定する。データ処理部 9 A は、研磨終点を決定したとき、研磨終点検出信号を生成する。データ処理部 9 A は、この研磨終点検出信号を動作制御部 9 B に送る。動作制御部 9 B は、研磨終点検出信号を受け取ったとき、研磨ヘッド 1 に指令を発してウェーハ W の研磨動作を停止させる。

ウェーハ W の過研磨を防止するために、第 1 膜厚センサ 7 a の信号値 S 1 (または信号値 S 1 から換算された膜厚値) および補間信号値 WA, WA' (または

補間信号値WA, WA' から換算された膜厚値)のうちのいずれか1つが目標値に達したときに速やかにウェーハWの研磨を停止させることが好ましい。例えば、データ処理部9Aは、第1膜厚センサ7aの信号値S1(または信号値S1から換算された膜厚値)が目標値に達したときに研磨終点検出信号を生成し、補間信号値WA, WA'を計算する前に、研磨終点検出信号を動作制御部9Bに送る。動作制御部9Bは、研磨終点検出信号を受け取ったとき、研磨ヘッド1に指令を発してウェーハWの研磨動作を停止させる。別の例では、データ処理部9Aは、補間信号値WA(または補間信号値WAから換算された膜厚値)が目標値に達したときに研磨終点検出信号を生成し、補間信号値WA'を計算する前に、研磨終点検出信号を動作制御部9Bに送る。動作制御部9Bは、研磨終点検出信号を受け取ったとき、研磨ヘッド1に指令を発してウェーハWの研磨動作を停止させる。このような動作によれば、ウェーハWの過研磨を防止することができる。

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. 研磨テーブルの中心から同じ距離に配置された第1膜厚センサおよび第2膜厚センサを前記研磨テーブルとともに回転させ、

前記回転する研磨テーブル上の研磨パッドに研磨ヘッドで基板を押し付けて該基板の表面を研磨しながら、前記第1膜厚センサおよび前記第2膜厚センサは前記基板の表面上の、前記基板の中心からの距離が異なる測定点での膜厚を示す信号値を生成し、

前記第1膜厚センサおよび前記第2膜厚センサが生成した信号値に基づいて、前記研磨ヘッドから前記基板に加えられる研磨圧力を制御することを特徴とする研磨方法。

2. 前記研磨テーブルのN回目の回転内の第1時点において前記第1膜厚センサが生成した信号値を取得し、

前記研磨テーブルのN回目の回転中に前記第2膜厚センサが生成した最新の信号値と、前記研磨テーブルのN-1回目の回転中に前記第2膜厚センサが生成した前回の信号値を取得し、

前記第1時点での前記第2膜厚センサの信号値に相当する補間信号値を、前記最新の信号値と前記前回の信号値から計算する工程をさらに含み、

前記第1膜厚センサおよび前記第2膜厚センサが生成した信号値に基づいて、前記研磨ヘッドから前記基板に加えられる研磨圧力を制御する工程は、前記第1時点で前記第1膜厚センサが生成した信号値、および前記補間信号値に基づいて、前記研磨ヘッドから前記基板に加えられる研磨圧力を制御する工程であることを特徴とする請求項1に記載の研磨方法。

3. 前記補間信号値は、前記最新の信号値と前記前回の信号値の加重平均であることを特徴とする請求項2に記載の研磨方法。

4. 前記研磨テーブルの中心から前記第1膜厚センサおよび前記第2膜厚センサまで延びる2つの直線のなす角度を $\theta$ 、前記最新の信号値を $S_{2a}$ 、前記前回の信号値を $S_{2b}$ 、前記補間信号値を $WA$ とすると、前記補間信号値は、

$$WA = S_{2a} \times ((360 - \theta) / 360) + S_{2b} \times (\theta / 360)$$

で与えられることを特徴とする請求項3に記載の研磨方法。

5. 前記第1膜厚センサが生成した信号値、および前記補間信号値を用いて、膜厚プロファイルを作成することを特徴とする請求項2に記載の研磨方法。

6. 前記第1膜厚センサが生成した信号値、および前記補間信号値に基づいて、前記基板の研磨終点を決定することを特徴とする請求項2に記載の研磨方法。

7. 前記第1膜厚センサの信号値および前記補間信号値のうちのいずれか1つが目標値に達したときに前記基板の研磨を停止させることを特徴とする請求項6に記載の研磨方法。

8. 前記第1膜厚センサの信号値から換算された膜厚値および前記補間信号値から換算された膜厚値のうちのいずれか1つが目標値に達したときに前記基板の研磨を停止させることを特徴とする請求項6に記載の研磨方法。

9. 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て前記基板を研磨する研磨ヘッドと、

前記研磨テーブルに設置され、前記研磨テーブルの中心から同じ距離に配置された第1膜厚センサおよび第2膜厚センサと、

前記第1膜厚センサおよび前記第2膜厚センサにトリガー信号を送信して、前記第1膜厚センサおよび前記第2膜厚センサに、前記基板の表面上の、前記基板の中心からの距離が異なる測定点での膜厚を示す信号値を生成させるセンサ制御部と、

前記第 1 膜厚センサおよび前記第 2 膜厚センサから前記信号値を受け取り、前記信号値に基づいて、前記研磨ヘッドから前記基板に加えられる研磨圧力の目標値を決定するデータ処理部を備えたことを特徴とする研磨装置。

10. 前記研磨テーブルの回転位置を検出するテーブル回転位置検出器をさらに備え、

前記センサ制御部は、前記テーブル回転位置検出器から送られた前記研磨テーブルの回転位置信号と前記研磨テーブルの回転速度に基づいて、トリガー信号を前記第 1 膜厚センサおよび前記第 2 膜厚センサに送信するタイミングを決定し、前記決定されたタイミングで前記第 1 膜厚センサおよび前記第 2 膜厚センサに前記トリガー信号を送信して、前記第 1 膜厚センサおよび前記第 2 膜厚センサに、前記基板の表面上の、前記基板の中心からの距離が異なる測定点での膜厚を示す信号値を生成させることを特徴とする請求項 9 に記載の研磨装置。

11. 前記研磨圧力の目標値に基づいて、前記研磨ヘッドから前記基板に加えられる研磨圧力を制御する動作制御部をさらに備えたことを特徴とする請求項 9 に記載の研磨装置。

12. 前記データ処理部は、

前記研磨テーブルの N 回目の回転内の第 1 時点において前記第 1 膜厚センサが生成した信号値を取得し、

前記研磨テーブルの N 回目の回転中に前記第 2 膜厚センサが生成した最新の信号値と、前記研磨テーブルの N - 1 回目の回転中に前記第 2 膜厚センサが生成した前回の信号値を取得し、

前記第 1 時点での前記第 2 膜厚センサの信号値に相当する補間信号値を、前記最新の信号値と前記前回の信号値から計算し、

前記第 1 時点で前記第 1 膜厚センサが生成した信号値、および前記補間信号値に基づいて、前記研磨ヘッドから前記基板に加えられる研磨圧力の目標値を決

定するように構成されていることを特徴とする請求項 9 に記載の研磨装置。

13. 前記研磨テーブルの中心から前記第 1 膜厚センサおよび前記第 2 膜厚センサまで延びる 2 つの直線のなす角度を  $\theta$ 、前記最新の信号値を  $S_{2a}$ 、前記前回の信号値を  $S_{2b}$ 、前記補間信号値を  $WA$  とすると、前記データ処理部は、

$$WA = S_{2a} \times ((360 - \theta) / 360) + S_{2b} \times (\theta / 360)$$

で表される式をその内部に予め格納していることを特徴とする請求項 12 に記載の研磨装置。

14. 前記データ処理部は、前記第 1 膜厚センサが生成した信号値、および前記補間信号値を用いて、膜厚プロファイルを作成するように構成されていることを特徴とする請求項 12 に記載の研磨装置。

15. 前記データ処理部は、前記第 1 膜厚センサが生成した信号値、および前記補間信号値に基づいて、前記基板の研磨終点を決定するように構成されていることを特徴とする請求項 12 に記載の研磨装置。