

研磨装置および研磨方法

発明の背景

発明の技術分野

- 5 本発明は、膜が表面に形成されているウェハを研磨する研磨装置および研磨方法に関し、特に、ウェハからの反射光に含まれる光学情報を解析することによりウェハの膜厚を検出しながらウェハを研磨する研磨装置および研磨方法に関する。

関連技術の記載

- 10 半導体デバイスの製造プロセスには、 SiO_2 などの絶縁膜を研磨する工程や、銅、タングステンなどの金属膜を研磨する工程などの様々な工程が含まれる。裏面照射型CMOSセンサおよびシリコン貫通電極(TSV)の製造工程では、絶縁膜や金属膜の研磨工程の他にも、シリコン層(シリコンウェハ)を研磨する工程が含まれる。ウェハの研磨は、その表面を構成する膜(絶縁膜、金属膜、シリコン層など)の厚さが所定の目標値に達したときに終了される。

- 15 ウェハの研磨は研磨装置を使用して行われる。絶縁膜やシリコン層などの非金属膜の膜厚を測定するために、研磨装置は、一般に、光学式膜厚測定装置を備える。この光学式膜厚測定装置は、光源から発せられた光をウェハの表面に導き、ウェハからの反射光のスペクトルを解析することで、ウェハの膜厚を検出するように構成される。

- 20 【先行技術文献】

【特許文献】

【特許文献1】特開2009-302577号公報

【特許文献2】特開2017-5014号公報

- 25 光源の光量は、光源の使用時間とともに徐々に低下する。そこで、光源の光量がある程度低下した場合には、光学式膜厚測定装置の較正が必要となる。さらには、光源の寿命に達する前に、光源を新たなものに交換する必要がある。しかしながら、光学式膜厚測定装置の較正にはある程度の時間がかかり、かつ較正用の治具が必要となる。また、光源の光量の低下は、光源以外の要因によっても引き

起こされることがあり、光源の寿命を正確に判断することは難しい。

発明の要旨

そこで、本発明は、光源の寿命を正確に決定することができ、さらには、光学
5 式膜厚測定装置の較正をすることなくウェハなどの基板の膜厚を正確に測定する
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。

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、ウェハを前
記研磨パッドに押し付けるための研磨ヘッドと、光を発する光源と、前記研磨テ
ーブル内の所定の位置に配置された先端を有し、前記光源に接続された投光ファ
10 イバーと、ウェハからの反射光を波長に従って分解して各波長での反射光の強度
を測定する分光器と、前記研磨テーブル内の前記所定の位置に配置された先端を
有し、前記分光器に接続された受光ファイバーと、前記反射光の強度と波長との
関係を示す分光波形に基づいてウェハの膜厚を決定する処理部と、前記光源に接
続された内部光ファイバーと、前記受光ファイバーまたは前記内部光ファイバー
15 のいずれか一方を選択的に前記分光器に接続する光路選択機構を備えたことを特
徴とする研磨装置である。

前記処理部は、前記反射光の強度を補正するための補正式を内部に予め格納し
ており、前記補正式は、前記反射光の強度と、前記内部光ファイバーを通じて前
記分光器に導かれた光の強度を少なくとも変数として含む関数であることを特徴
20 とする。

前記反射光の波長 λ での強度を $E(\lambda)$ 、予め測定された光の波長 λ での基準
強度を $B(\lambda)$ 、前記基準強度 $B(\lambda)$ を測定する直前または直後に光を遮断し
た条件下で測定された波長 λ でのダークレベルを $D1(\lambda)$ 、前記基準強度 B
(λ)を測定する直前または直後に前記内部光ファイバーを通じて前記分光器に
25 導かれた光の波長 λ での強度を $F(\lambda)$ 、前記強度 $F(\lambda)$ を測定する直前また
は直後に光を遮断した条件下で測定された波長 λ でのダークレベルを $D2(\lambda)$ 、
前記強度 $E(\lambda)$ を測定する前に前記内部光ファイバーを通じて前記分光器に導
かれた光の波長 λ での強度を $G(\lambda)$ 、前記強度 $E(\lambda)$ を測定する前であって、

かつ前記強度 $G(\lambda)$ を測定する直前または直後に光を遮断した条件下で測定された波長 λ でのダークレベルを $D3(\lambda)$ とすると、前記補正式は、

$$\text{補正された強度} = [E(\lambda) - D3(\lambda)] / [[B(\lambda) - D1(\lambda)] \times [G(\lambda) - D3(\lambda)] / [F(\lambda) - D2(\lambda)]]$$

5 で表されることを特徴とする。

前記基準強度 $B(\lambda)$ は、膜が形成されていないシリコンウェハを研磨パッド上で水の存在下で水研磨しているとき、または膜が形成されていないシリコンウェハが研磨パッド上に置かれているときに前記分光器により測定されたシリコンウェハからの反射光の強度であることを特徴とする。

10 前記基準強度 $B(\lambda)$ は、同一条件下で測定された前記シリコンウェハからの反射光の強度の複数の値の平均であることを特徴とする。

前記処理部は、ウェハの研磨前に前記光路選択機構に指令を発して前記内部光ファイバーを前記分光器に接続させることを特徴とする。

15 前記処理部は、前記内部光ファイバーを通じて前記分光器に導かれた光の強度がしきい値よりも低いときにアラーム信号を生成することを特徴とする。

前記投光ファイバーは、前記研磨テーブル内の異なる位置に配置された複数の先端を有し、前記受光ファイバーは、前記研磨テーブル内の前記異なる位置に配置された複数の先端を有することを特徴とする。

20 前記投光ファイバーは、複数の第1投光素線光ファイバーおよび複数の第2投光素線光ファイバーを有し、前記複数の第1投光素線光ファイバーの光源側端部および前記複数の第2投光素線光ファイバーの光源側端部は、前記光源の中心の周りに均等に分布していることを特徴とする。

25 前記光源の中心から前記複数の第1投光素線光ファイバーの光源側端部までの距離の平均は、前記光源の中心から前記複数の第2投光素線光ファイバーの光源側端部までの距離の平均に等しいことを特徴とする。

前記内部光ファイバーの光源側端部は、前記光源の中心に位置していることを特徴とする。

前記複数の第1投光素線光ファイバー、前記複数の第2投光素線光ファイバー、

および前記内部光ファイバーの一部は、結束具で束ねられた幹ファイバーを構成し、前記複数の第1投光素線光ファイバー、前記複数の第2投光素線光ファイバー、および前記内部光ファイバーの他の部分は、前記幹ファイバーから分岐した枝ファイバーを構成していることを特徴とする。

- 5 光源と分光器とを接続する内部光ファイバーを通じて前記光源からの光を前記分光器に導いて該光の強度を前記分光器で測定し、研磨テーブル上の研磨パッドにウェハを押し付けて該ウェハを研磨し、前記ウェハの研磨中に前記ウェハに光を導き、かつ前記ウェハからの反射光の強度を測定し、前記内部光ファイバーを通じて前記分光器に導かれた光の前記強度に基づいて、前記ウェハからの反射光
- 10 の前記強度を補正し、前記補正された強度と光の波長との関係を示す分光波形に基づいて前記ウェハの膜厚を決定することを特徴とする研磨方法である。

- 前記反射光の波長 λ での強度を $E(\lambda)$ 、予め測定された光の波長 λ での基準強度を $B(\lambda)$ 、前記基準強度 $B(\lambda)$ を測定する直前または直後に光を遮断した条件下で測定された波長 λ でのダークレベルを $D1(\lambda)$ 、前記基準強度 B
- 15 (λ) を測定する直前または直後に前記内部光ファイバーを通じて前記分光器に導かれた光の波長 λ での強度を $F(\lambda)$ 、前記強度 $F(\lambda)$ を測定する直前または直後に光を遮断した条件下で測定された波長 λ でのダークレベルを $D2(\lambda)$ 、前記強度 $E(\lambda)$ を測定する前に前記内部光ファイバーを通じて前記分光器に導かれた光の波長 λ での強度を $G(\lambda)$ 、前記強度 $E(\lambda)$ を測定する前であって、
- 20 かつ前記強度 $G(\lambda)$ を測定する直前または直後に光を遮断した条件下で測定された波長 λ でのダークレベルを $D3(\lambda)$ とすると、前記ウェハからの反射光の前記強度は、

$$\begin{aligned} \text{補正された強度} = & [E(\lambda) - D3(\lambda)] / [[B(\lambda) - D1(\lambda)] \\ & \times [G(\lambda) - D3(\lambda)] / [F(\lambda) - D2(\lambda)]] \end{aligned}$$

- 25 で表される補正式を用いて補正されることを特徴とする。

前記基準強度 $B(\lambda)$ は、膜が形成されていないシリコンウェハを研磨パッド上で水の存在下で水研磨しているとき、または膜が形成されていないシリコンウェハが研磨パッド上に置かれているときに前記分光器により測定されたシリコン

ウェハからの反射光の強度であることを特徴とする。

前記基準強度 $B(\lambda)$ は、同一条件下で測定された前記シリコンウェハからの反射光の強度の複数の値の平均であることを特徴とする。

- 5 前記内部光ファイバーを通じて前記光源からの光を前記分光器に導いて該光の強度を前記分光器で測定する工程は、前記ウェハの研磨前に行われることを特徴とする。

前記内部光ファイバーを通じて前記分光器に導かれた光の強度がしきい値よりも低いときにアラーム信号を生成する工程をさらに含むことを特徴とする。

- 10 前記光の強度が前記しきい値よりも低い場合は、前記ウェハを研磨せずに基板カセットに戻すことを特徴とする。

- 本発明によれば、光源から発せられた光は、内部光ファイバーを通じて分光器に導かれる。光は基板を経由せずに分光器に直接送られるので、分光器によって測定された光の強度に基づいて、処理部は光源の寿命を正確に決定することができる。さらに、処理部は、内部光ファイバーを通じて分光器に導かれた光の強度、
15 すなわち内部モニタリング強度を用いて、ウェハの研磨中にウェハからの反射光の強度を補正する。補正された反射光の強度は、基板の正しい光学情報を含んでいるので、処理部は基板の正しい膜厚を決定することができる。

図面の簡単な説明

- 20 図1は、本発明の一実施形態に係る研磨装置を示す図である。
図2は、研磨パッドおよび研磨テーブルを示す上面図である。
図3は、光学式膜厚測定器（膜厚測定装置）を示す拡大図である。
図4は、光学式膜厚測定器の原理を説明するための模式図である。
図5は、分光波形の一例を示すグラフである。
25 図6は、図5に示す分光波形にフーリエ変換処理を行って得られた周波数スペクトルを示すグラフである。
図7は、第1投光素線光ファイバーの光源側端部および第2投光素線光ファイバーの光源側端部の配列を示す模式図である。

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。図１は、本発明の一実施形態に係る研磨装置を示す図である。図１に示すように、研磨装置は、研磨パッド１を支持する研磨テーブル３と、ウェハＷを保持しウェハＷを研磨テーブル３上の研磨パッド１に押し付ける研磨ヘッド５と、研磨パッド１に研磨液（例えばスラリー）を供給するための研磨液供給ノズル１０と、ウェハＷの研磨を制御する研磨制御部１２とを備えている。

研磨テーブル 3 は、テーブル軸 3 a を介してその下方に配置されるテーブルモータ 19 に連結されており、このテーブルモータ 19 により研磨テーブル 3 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 3 の上面には研磨パッド 1 が貼付されており、研磨パッド 1 の上面がウェハ W を研磨する研磨面 1 a を構成している。研磨ヘッド 5 は研磨ヘッドシャフト 16 の下端に連結されている。研磨ヘッド 5 は、真空吸引によりその下面にウェハ W を保持できるように構成されている。研磨ヘッドシャフト 16 は、図示しない上下動機構により上下動できるようになっている。

ウェハWの研磨は次のようにして行われる。研磨ヘッド5および研磨テーブル3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10から研磨パッド1上に研磨液（スラリー）を供給する。この状態で、研磨ヘッド5は、ウェハWを研磨パッド1の研磨面1aに押し付ける。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の機械的作用により研磨される。

研磨装置は、ウェハWの膜厚を測定する光学式膜厚測定器（膜厚測定装置）25を備えている。この光学式膜厚測定器25は、光を発する光源30と、研磨テーブル3内の異なる位置に配置された複数の先端34a、34bを有する投光ファイバー34と、研磨テーブル3内の前記異なる位置に配置された複数の先端50a、50bを有する受光ファイバー50と、ウェハWからの反射光を波長に従って分解して各波長での反射光の強度を測定する分光器26と、反射光の強度と波長との関係を示す分光波形を生成する処理部27とを備えている。処理部27

は研磨制御部 12 に接続されている。

5 投光ファイバー 34 は光源 30 に接続されており、光源 30 から発せられた光をウェハ W の表面に導くように配置されている。受光ファイバー 50 は、光路選択機構 70 に接続されている。光源 30 には、内部光ファイバー 72 の一端が接続されており、内部光ファイバー 72 の他端は光路選択機構 70 に接続されている。さらに、光路選択機構 70 は、接続光ファイバー 74 を介して分光器 26 に接続されている。

10 光路選択機構 70 は、受光ファイバー 50 または内部光ファイバー 72 のいずれか一方を、接続光ファイバー 74 を介して分光器 26 に光学的に接続するように構成される。より具体的には、光路選択機構 70 が作動して受光ファイバー 50 を分光器 26 に光学的に接続すると、ウェハ W からの反射光は受光ファイバー 50、光路選択機構 70、および接続光ファイバー 74 を通って分光器 26 に導かれる。光路選択機構 70 が作動して内部光ファイバー 72 を分光器 26 に光学的に接続すると、光源 30 から発せられた光は、内部光ファイバー 72、光路選択機構 70、および接続光ファイバー 74 を通って分光器 26 に導かれる。光路選択機構 70 の動作は処理部 27 によって制御される。

20 光路選択機構 70 の一例としては、光スイッチが挙げられる。光スイッチは、第 1 光路をアクチュエータにより駆動して複数の第 2 光路のうちの少なくとも 1 つに選択的に接続するタイプでもよく、または複数の第 1 光路にそれぞれ接続された第 2 光路のうちの少なくとも 1 つをシャッターで遮るタイプでもよい。

25 投光ファイバー 34 の一方の先端 34 a と、受光ファイバー 50 の一方の先端 50 a は、互いに隣接しており、これらの先端 34 a、50 a は第 1 光センサ 61 を構成する。投光ファイバー 34 の他方の先端 34 b と、受光ファイバー 50 の他方の先端 50 b は、互いに隣接しており、これらの先端 34 b、50 b は第 2 光センサ 62 を構成する。研磨パッド 1 は、第 1 光センサ 61 および第 2 光センサ 62 の上方に位置する通孔 1 b、1 c を有しており、第 1 光センサ 61 および第 2 光センサ 62 は、これらの通孔 1 b、1 c を通じて研磨パッド 1 上のウェハ W に光を導き、ウェハ W からの反射光を受けることができるようになっている。

一実施形態では、投光ファイバー 3 4 は研磨テーブル 3 内の所定の位置に配置された 1 つの先端のみを有してもよく、同様に受光ファイバー 5 0 は研磨テーブル 3 内の前記所定の位置に配置された 1 つの先端のみを有してもよい。この場合も、投光ファイバー 3 4 の先端と受光ファイバー 5 0 の先端は互いに隣接して配置され、投光ファイバー 3 4 の先端と受光ファイバー 5 0 の先端は、研磨パッド 1 上のウェハ W に光を導き、ウェハ W からの反射光を受ける光センサを構成する。

図 2 は、研磨パッド 1 および研磨テーブル 3 を示す上面図である。第 1 光センサ 6 1 および第 2 光センサ 6 2 は、研磨テーブル 3 の中心から異なる距離に位置しており、かつ研磨テーブル 3 の周方向において互いに離れて配置されている。

- 10 図 2 に示す実施形態では、第 2 光センサ 6 2 は、研磨テーブル 3 の中心に関して第 1 光センサ 6 1 の反対側に配置されている。第 1 光センサ 6 1 および第 2 光センサ 6 2 は、研磨テーブル 3 が一回転するたびに異なる軌跡を描いてウェハ W を交互に横切る。具体的には、第 1 光センサ 6 1 はウェハ W の中心を横切り、第 2 光センサ 6 2 はウェハ W のエッジ部のみを横切る。第 1 光センサ 6 1 および第 2 光センサ 6 2 は、交互にウェハ W に光を導き、ウェハ W からの反射光を受ける。

- 15 図 3 は、光学式膜厚測定器（膜厚測定装置） 2 5 を示す拡大図である。投光ファイバー 3 4 は、複数の第 1 投光素線光ファイバー 3 6 および複数の第 2 投光素線光ファイバー 3 7 を有している。第 1 投光素線光ファイバー 3 6 の先端および第 2 投光素線光ファイバー 3 7 の先端は、結束具 3 2, 3 3 でそれぞれ束ねられており、これらの先端は投光ファイバー 3 4 の先端 3 4 a, 3 4 b を構成する。

- 25 第 1 投光素線光ファイバー 3 6 の光源側端部、第 2 投光素線光ファイバー 3 7 の光源側端部、および内部光ファイバー 7 2 の光源側端部は、光源 3 0 に接続されている。第 1 投光素線光ファイバー 3 6、第 2 投光素線光ファイバー 3 7、および内部光ファイバー 7 2 の一部は、結束具 3 1 で束ねられた幹ファイバー 3 5 を構成している。幹ファイバー 3 5 は、光源 3 0 に接続されている。第 1 投光素線光ファイバー 3 6、第 2 投光素線光ファイバー 3 7、および内部光ファイバー 7 2 の他の部分は、幹ファイバー 3 5 から分岐した枝ファイバーを構成している。

図 3 に示す実施形態では、1 本の幹ファイバー 3 5 が 3 本の枝ファイバーに分

岐しているが、素線光ファイバーを追加することにより、4本以上の枝ファイバーに分岐することも可能である。さらに、素線光ファイバーを追加することにより、ファイバーの径を簡単に大きくすることができる。このような多数の素線光ファイバーから構成されるファイバーは、曲げやすく、かつ折れにくいという利点を備えている。

- 5 受光ファイバー50は、結束具51で結束された複数の第1受光素線光ファイバー56、および結束具52で結束された複数の第2受光素線光ファイバー57を備えている。受光ファイバー50の先端50a、50bは、第1受光素線光ファイバー56および第2受光素線光ファイバー57の先端から構成されている。
- 10 第1投光素線光ファイバー36の先端34aと第1受光素線光ファイバー56の先端50aは第1光センサ61を構成し、第2投光素線光ファイバー37の先端34bと第2受光素線光ファイバー57の先端50bは第2光センサ62を構成している。第1受光素線光ファイバー56および第2受光素線光ファイバー57の反対側の端部は光路選択機構70に接続されている。
- 15 光路選択機構70および分光器26は処理部27に電氣的に接続されている。光路選択機構70は処理部27によって操作される。ウェハWを研磨するときは、処理部27は光路選択機構70を操作して、受光ファイバー50を分光器26に光学的に接続する。より具体的には、研磨テーブル3が一回転するたびに、処理部27は光路選択機構70を操作して、第1受光素線光ファイバー56および第2受光素線光ファイバー57を交互に分光器26に接続する。第1受光分岐ファイバー56の先端50aがウェハWの下にある間は、第1受光素線光ファイバー56は分光器26に接続され、第2受光分岐ファイバー57の先端50bがウェハWの下にある間は、第2受光素線光ファイバー57は分光器26に接続される。
- 20 本実施形態では、光路選択機構70は、第1受光素線光ファイバー56、第2受光素線光ファイバー57、および内部光ファイバー72のうちのいずれか1つを光学的に分光器26に接続するように構成されている。このような構成によれば、ウェハWからの反射光のみを分光器26に伝達することができるので、膜厚測定精度が向上する。一実施形態では、光路選択機構70は、受光素線光ファ

イバー 5 6, 5 7 または内部光ファイバー 7 2 のいずれかを光学的に分光器 2 6 に接続するように構成されてもよい。この場合は、ウェハ W の研磨中は受光素線光ファイバー 5 6, 5 7 の両方を通じて光が分光器 2 6 に伝達されるが、ウェハ W からの反射光以外の光の強度は極めて低いので、あるしきい値以上の強度を持つ光のみを膜厚測定に使用することで、正確な膜厚測定は可能である。

ウェハ W の研磨中は、投光ファイバー 3 4 から光がウェハ W に照射され、受光ファイバー 5 0 によってウェハ W からの反射光が受光される。ウェハ W からの反射光は分光器 2 6 に導かれる。分光器 2 6 は、反射光を波長に従って分解して各波長での反射光の強度を所定の波長範囲に亘って測定し、得られた光強度データを処理部 2 7 に送る。この光強度データは、ウェハ W の膜厚を反映した光学信号であり、反射光の強度及び対応する波長から構成される。処理部 2 7 は、光強度データから波長ごとの光の強度を表わす分光波形を生成する。

図 4 は、光学式膜厚測定器 2 5 の原理を説明するための模式図である。図 4 に示す例では、ウェハ W は、下層膜と、その上に形成された上層膜とを有している。上層膜は、例えばシリコン層または絶縁膜などの、光の透過を許容する膜である。ウェハ W に照射された光は、媒質（図 4 の例では水）と上層膜との界面、および上層膜と下層膜との界面で反射し、これらの界面で反射した光の波が互いに干渉する。この光の波の干渉の仕方は、上層膜の厚さ（すなわち光路長）に応じて変化する。このため、ウェハ W からの反射光から生成される分光波形は、上層膜の厚さに従って変化する。

分光器 2 6 は、反射光を波長に従って分解し、反射光の強度を波長ごとに測定する。処理部 2 7 は、分光器 2 6 から得られた反射光の強度データ（光学信号）から分光波形を生成する。この分光波形は、光の波長と強度との関係を示す線グラフとして表される。光の強度は、後述する相対反射率などの相対値として表わすこともできる。

図 5 は、分光波形の一例を示すグラフである。図 5 において、縦軸はウェハ W からの反射光の強度を示す相対反射率を表し、横軸は反射光の波長を表す。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が実測強度から除去される。

- 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。基準強度は、例えば、第1光センサ61または第2光センサ62から発せられた光の強度を直接測定するか、または第1光センサ61または第2光センサ62から鏡に光を照射し、鏡からの反射光の強度を測定することによって得られる。あるいは、基準強度は、膜が形成されていないシリコンウェハ（ベアウェハ）を研磨パッド1上で水の存在下で水研磨しているとき、または上記シリコンウェハ（ベアウェハ）が研磨パッド1上に置かれているときに分光器26により測定されたシリコンウェハからの反射光の強度としてもよい。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 は波長であり、 $E(\lambda)$ はウェハから反射した光の波長 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。

- 処理部27は、分光波形にフーリエ変換処理（例えば、高速フーリエ変換処理）を行って周波数スペクトルを生成し、周波数スペクトルからウェハWの膜厚を決定する。図6は、図5に示す分光波形にフーリエ変換処理を行って得られた周波数スペクトルを示すグラフである。図6において、縦軸は分光波形に含まれる周波数成分の強度を表し、横軸は膜厚を表す。周波数成分の強度は、正弦波と

して表される周波数成分の振幅に相当する。分光波形に含まれる周波数成分は、所定の関係式を用いて膜厚に変換され、図6に示すような膜厚と周波数成分の強度との関係を示す周波数スペクトルが生成される。上述した所定の関係式は、周波数成分を変数とした、膜厚を表す一次関数であり、膜厚の実測結果または光学的膜厚測定シミュレーションなどから求めることができる。

図6に示すグラフにおいて、周波数成分の強度のピークは膜厚 t_1 で現れる。言い換えれば、膜厚 t_1 において、周波数成分の強度が最も大きくなる。つまり、この周波数スペクトルは、膜厚が t_1 であることを示している。このようにして、処理部27は、周波数成分の強度のピークに対応する膜厚を決定する。

- 10 処理部27は、膜厚測定値として膜厚 t_1 を研磨制御部12に出力する。研磨制御部12は、処理部27から送られた膜厚 t_1 に基づいて研磨動作（例えば、研磨終了動作）を制御する。例えば、研磨制御部12は、膜厚 t_1 が予め設定された目標値に達したときに、ウェハWの研磨を終了する。

- 15 上述したように、光学式膜厚測定器25は、光源30の光をウェハWに導き、ウェハWからの反射光を解析することによってウェハWの膜厚を決定する。しかしながら、光源30の光量は、光源30の使用時間とともに徐々に低下する。結果として、真の膜厚と、測定された膜厚との間の誤差が大きくなってしまう。そこで、本実施形態では、光学式膜厚測定器25は、内部光ファイバー72を通じて分光器26に導かれた光の強度に基づいて、ウェハWからの反射光の強度を補正し、光源30の光量の低下を補償するように構成されている。

20 処理部27は、上記式(1)に代えて、次の補正式(2)を用いて反射光の補正された強度を算出する。

【数2】

$$R'(\lambda) = [E(\lambda) - D3(\lambda)] / \left[[B(\lambda) - D1(\lambda)] \times \frac{G(\lambda) - D3(\lambda)}{F(\lambda) - D2(\lambda)} \right] \quad (2)$$

- 25 ここで、 $R'(\lambda)$ は補正された反射光の強度、すなわち補正された相対反射率を表し、 $E(\lambda)$ は研磨されるウェハWからの反射光の波長 λ での強度を表し、 $B(\lambda)$ は波長 λ での基準強度を表し、 $D1(\lambda)$ は基準強度 $B(\lambda)$ を測定する直前または直後に光を遮断した条件下で測定された波長 λ でのダークレベルを

- 表し、 $F(\lambda)$ は基準強度 $B(\lambda)$ を測定する直前または直後に内部光ファイバー 72 を通じて分光器 26 に導かれた光の波長 λ での強度を表し、 $D2(\lambda)$ は強度 $F(\lambda)$ を測定する直前または直後に光を遮断した条件下で測定された波長 λ でのダークレベルを表し、 $G(\lambda)$ は強度 $E(\lambda)$ を測定する前に内部光ファイバー 72 を通じて分光器 26 に導かれた光の波長 λ での強度を表し、 $D3(\lambda)$ は強度 $E(\lambda)$ を測定する前であって、かつ強度 $G(\lambda)$ を測定する直前または直後に光を遮断した条件下で測定された波長 λ でのダークレベルを表す。
- $E(\lambda)$ 、 $B(\lambda)$ 、 $D1(\lambda)$ 、 $F(\lambda)$ 、 $D2(\lambda)$ 、 $G(\lambda)$ 、 $D3(\lambda)$ は、所定の波長範囲内で波長ごとに測定される。ダークレベル $D1(\lambda)$ 、 $D2(\lambda)$ 、 $D3(\lambda)$ を測定するための光が遮断された環境は、分光器 26 に内蔵されたシャッター（図示せず）で光を遮ることにより作り出すことができる。
- 処理部 27 は、ウェハ W からの反射光の強度を補正するための上記補正式を内部に予め格納している。この補正式は、ウェハ W からの反射光の強度と、内部光ファイバー 72 を通じて分光器 26 に導かれた光の強度を少なくとも変数として含む関数である。基準強度 $B(\lambda)$ は、各波長について予め測定された光の強度である。例えば、基準強度 $B(\lambda)$ は、第 1 光センサ 61 または第 2 光センサ 62 から発せられた光の強度を直接測定するか、または第 1 光センサ 61 または第 2 光センサ 62 から鏡に光を照射し、鏡からの反射光の強度を測定することによって得られる。あるいは、基準強度 $B(\lambda)$ は、膜が形成されていないシリコンウェハ（ベアウェハ）を研磨パッド 1 上で水の存在下で水研磨しているとき、または上記シリコンウェハ（ベアウェハ）が研磨パッド 1 上に置かれているときに分光器 26 により測定されたシリコンウェハからの反射光の強度としてもよい。基準強度 $B(\lambda)$ の正しい値を得るために、基準強度 $B(\lambda)$ は、同一条件下で測定された光の強度の複数の値の平均であってもよい。
- 基準強度 $B(\lambda)$ 、ダークレベル $D1(\lambda)$ 、強度 $F(\lambda)$ 、ダークレベル $D2(\lambda)$ は、予め測定され、定数として上記補正式に予め入力される。強度 $E(\lambda)$ はウェハ W の研磨中に測定される。強度 $G(\lambda)$ およびダークレベル $D3(\lambda)$ はウェハ W の研磨前（好ましくはウェハ W の研磨直前）に測定される。例

えば、ウェハWが研磨ヘッド5に保持される前に、処理部27は、光路選択機構70を操作して、内部光ファイバー72を分光器26に接続し、光源30の光を内部光ファイバー72を通じて分光器26に導く。分光器26は、強度 $G(\lambda)$ およびダークレベル $D3(\lambda)$ を測定し、それらの測定値を処理部27に送る。

- 5 処理部27は、強度 $G(\lambda)$ およびダークレベル $D3(\lambda)$ の測定値を上記補正式に入力する。強度 $G(\lambda)$ およびダークレベル $D3(\lambda)$ の測定が完了すると、処理部27は、光路選択機構70を操作して受光ファイバー50を分光器26に接続する。その後、ウェハWが研磨され、ウェハWの研磨中に強度 $E(\lambda)$ が分光器26によって測定される。
- 10 処理部27は、ウェハWの研磨中に、強度 $E(\lambda)$ の測定値を上記補正式に入力し、補正された相対反射率 $R'(\lambda)$ を各波長において算出する。より具体的には、処理部27は、補正された相対反射率 $R'(\lambda)$ を所定の波長範囲において算出する。したがって、処理部27は、補正された相対反射率（すなわち補正された光の強度）と光の波長との関係を示す分光波形を作成することができる。
- 15 処理部27は、図5および図6を参照して説明した方法でウェハWの膜厚を分光波形に基づいて決定する。分光波形は、補正された光の強度に基づいて作成されるので、処理部27は、ウェハWの正確な膜厚を決定することができる。

本実施形態によれば、較正用の治具を用いて光学式膜厚測定器25を較正するのではなく、ウェハWの研磨前に内部光ファイバー72を通じて分光器26に導かれた光の強度 $G(\lambda)$ 、すなわち内部モニタリグ強度に基づいて、ウェハWからの反射光が補正される。よって、光学式膜厚測定器25の較正は不要である。

強度 $G(\lambda)$ およびダークレベル $D3(\lambda)$ は、ウェハが研磨されるたびに測定されてもよいし、または所定枚数のウェハ（例えば25枚のウェハ）が研磨されるたびに測定されてもよい。

- 25 光源30の光量は、光源30の使用時間とともに徐々に低下する。光源30の光量がある程度低下すると、光源30を新たなものに交換しなければならない。そこで、処理部27は、ウェハWの研磨前に内部光ファイバー72を通じて分光器26に導かれた光の強度 $G(\lambda)$ に基づいて、光源30の寿命を判断するよう

に構成されている。より具体的には、ウェハWの研磨前に、処理部27は、光路選択機構70を操作して、内部光ファイバー72を分光器26に光学的に接続し、光源30の光を内部光ファイバー72を通じて分光器26に導く。分光器26は、内部光ファイバー72を通じて送られた光の強度 $G(\lambda)$ を測定する。処理部27は、光の強度 $G(\lambda)$ を、予め設定されたしきい値と比較し、強度 $G(\lambda)$ がしきい値よりも低い場合には、警報信号を生成する。

処理部27は、予め定められた波長 λ での強度 $G(\lambda)$ をしきい値と比較してもよいし、または予め定められた波長範囲($\lambda_1 \sim \lambda_2$)での強度 $G(\lambda)$ [$\lambda = \lambda_1 \sim \lambda_2$]の平均をしきい値と比較してもよいし、または予め定められた波長範囲($\lambda_1 \sim \lambda_2$)での強度 $G(\lambda)$ [$\lambda = \lambda_1 \sim \lambda_2$]の最大値または最小値をしきい値と比較してもよい。

強度 $G(\lambda)$ は、内部光ファイバー72を通じて分光器26に直接導かれた光の強度、すなわち内部モニタリング強度である。言い換えれば、強度 $G(\lambda)$ は、ウェハWの状態や他の光路の影響を受けない光の強度である。したがって、処理部27は、光源30の寿命を正確に判断することができる。

処理部27は、ウェハWの研磨前に光路選択機構70を操作して、内部光ファイバー72を分光器26に接続し、内部光ファイバー72を通じて分光器26に導かれた光の強度 $G(\lambda)$ に基づいて光源30の寿命を判断する。強度 $G(\lambda)$ がしきい値よりも低い場合は、処理部27は警報信号を生成し、かつ研磨ヘッド5をインターロックして研磨ヘッド5がウェハWの研磨を開始することを防止する。このようなインターロック操作により、不正確な膜厚を測定しながらのウェハWの研磨を回避することができる。この場合は、ウェハWは研磨されずに図示しない基板カセットに戻される。

図1に示すように、第1光センサ61および第2光センサ62は研磨テーブル3内に配置されている。研磨テーブル3の中心から第1光センサ61までの距離は、研磨テーブル3の中心から第2光センサ62までの距離とは異なっている。したがって、第1光センサ61および第2光センサ62は、研磨テーブル3が一回転するたびに、ウェハWの表面の異なる領域を走査する。ウェハWの異なる領

域で測定された膜厚を正しく評価するためには、第1光センサ61および第2光センサ62は、同じ光学的条件下にあることが望ましい。すなわち、第1光センサ61および第2光センサ62は、同じ強度の光をウェハWの表面に照射することが望ましい。

- 5 そこで、一実施形態では、第1光センサ61および第2光センサ62を構成する第1投光素線光ファイバー36の光源側端部および第2投光素線光ファイバー37の光源側端部は、図7に示すように、光源30の中心Cの周りに均等に分布している。第1投光素線光ファイバー36の光源側端部の数は、第2投光素線光ファイバー37の光源側端部の数と等しい。さらに、光源30の中心Cから複数の
- 10 の第1投光素線光ファイバー36の光源側端部までの距離の平均は、光源30の中心Cから複数の第2投光素線光ファイバー37の光源側端部までの距離の平均に等しい。

- このような配列により、光源30が発した光は、均等に第1投光素線光ファイバー36および第2投光素線光ファイバー37を通して第1光センサ61および
- 15 第2光センサ62に到達する。したがって、第1光センサ61および第2光センサ62は、同じ強度の光をウェハWの表面の異なる領域に照射することができる。

- 本実施形態では、内部光ファイバー72は、1本の素線光ファイバーから構成されており、内部光ファイバー72の光源側端部は光源30の中心Cに位置している。内部光ファイバー72は、上述したように、ウェハWを照らすためのもの
- 20 ではなく、ウェハWからの反射光の強度の補正に使用されるものである。したがって、内部光ファイバー72を通して分光器26に導かれる光の強度は比較的低くてもよい。このような観点から、内部光ファイバー72は、1本の素線光ファイバーから構成されている。光源30の中心Cでの光の強度は、光源30の縁部での光の強度に比べて安定しているので、図7に示すように、内部光ファイバー
- 25 72の光源側端部は光源30の中心Cに位置していることが好ましい。

 図7に示す光ファイバー36、37の配列および数は一例であり、光が第1投光素線光ファイバー36および第2投光素線光ファイバー37を通して第1光センサ61および第2光センサ62に均等に導かれる限り、光ファイバー36、3

7の配列および数は特に限定されない。

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。

5

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、
ウェハを前記研磨パッドに押し付けるための研磨ヘッドと、
光を発する光源と、
前記研磨テーブル内の所定の位置に配置された先端を有し、前記光源に接続された投光ファイバーと、
ウェハからの反射光を波長に従って分解して各波長での反射光の強度を測定する分光器と、
前記研磨テーブル内の前記所定の位置に配置された先端を有し、前記分光器に接続された受光ファイバーと、
前記反射光の強度と波長との関係を示す分光波形に基づいてウェハの膜厚を決定する処理部と、
前記光源に接続された内部光ファイバーと、
前記受光ファイバーまたは前記内部光ファイバーのいずれか一方を選択的に前記分光器に接続する光路選択機構を備えたことを特徴とする研磨装置。
2. 前記処理部は、前記反射光の強度を補正するための補正式を内部に予め格納しており、前記補正式は、前記反射光の強度と、前記内部光ファイバーを通じて前記分光器に導かれた光の強度を少なくとも変数として含む関数であることを特徴とする請求項 1 に記載の研磨装置。
3. 前記反射光の波長 λ での強度を $E(\lambda)$ 、予め測定された光の波長 λ での基準強度を $B(\lambda)$ 、前記基準強度 $B(\lambda)$ を測定する直前または直後に光を遮断した条件下で測定された波長 λ でのダークレベルを $D1(\lambda)$ 、前記基準強度 $B(\lambda)$ を測定する直前または直後に前記内部光ファイバーを通じて前記分光器に導かれた光の波長 λ での強度を $F(\lambda)$ 、前記強度 $F(\lambda)$ を測定する直前または直後に光を遮断した条件下で測定された波長 λ でのダークレベルを $D2$

(λ)、前記強度 $E(\lambda)$ を測定する前に前記内部光ファイバーを通じて前記分光器に導かれた光の波長 λ での強度を $G(\lambda)$ 、前記強度 $E(\lambda)$ を測定する前であって、かつ前記強度 $G(\lambda)$ を測定する直前または直後に光を遮断した条件下で測定された波長 λ でのダークレベルを $D3(\lambda)$ とすると、前記補正式は、

$$\text{補正された強度} = [E(\lambda) - D3(\lambda)] / [[B(\lambda) - D1(\lambda)] \\ \times [G(\lambda) - D3(\lambda)] / [F(\lambda) - D2(\lambda)]]$$

で表されることを特徴とする請求項 2 に記載の研磨装置。

4. 前記基準強度 $B(\lambda)$ は、膜が形成されていないシリコンウェハを研磨パッド上で水の存在下で水研磨しているとき、または膜が形成されていないシリコンウェハが研磨パッド上に置かれているときに前記分光器により測定されたシリコンウェハからの反射光の強度であることを特徴とする請求項 3 に記載の研磨装置。

5. 前記基準強度 $B(\lambda)$ は、同一条件下で測定された前記シリコンウェハからの反射光の強度の複数の値の平均であることを特徴とする請求項 4 に記載の研磨装置。

6. 前記処理部は、ウェハの研磨前に前記光路選択機構に指令を発して前記内部光ファイバーを前記分光器に接続させることを特徴とする請求項 1 に記載の研磨装置。

7. 前記処理部は、前記内部光ファイバーを通じて前記分光器に導かれた光の強度がしきい値よりも低いときにアラーム信号を生成することを特徴とする請求項 6 に記載の研磨装置。

8. 前記投光ファイバーは、前記研磨テーブル内の異なる位置に配置された複数の先端を有し、

前記受光ファイバーは、前記研磨テーブル内の前記異なる位置に配置された複数の先端を有することを特徴とする請求項 1 に記載の研磨装置。

9. 前記投光ファイバーは、複数の第 1 投光素線光ファイバーおよび複数の第 2 投光素線光ファイバーを有し、

前記複数の第 1 投光素線光ファイバーの光源側端部および前記複数の第 2 投光素線光ファイバーの光源側端部は、前記光源の中心の周りに均等に分布していることを特徴とする請求項 8 に記載の研磨装置。

10. 前記光源の中心から前記複数の第 1 投光素線光ファイバーの光源側端部までの距離の平均は、前記光源の中心から前記複数の第 2 投光素線光ファイバーの光源側端部までの距離の平均に等しいことを特徴とする請求項 9 に記載の研磨装置。

11. 前記内部光ファイバーの光源側端部は、前記光源の中心に位置していることを特徴とする請求項 9 に記載の研磨装置。

12. 前記複数の第 1 投光素線光ファイバー、前記複数の第 2 投光素線光ファイバー、および前記内部光ファイバーの一部は、結束具で束ねられた幹ファイバーを構成し、前記複数の第 1 投光素線光ファイバー、前記複数の第 2 投光素線光ファイバー、および前記内部光ファイバーの他の部分は、前記幹ファイバーから分岐した枝ファイバーを構成していることを特徴とする請求項 9 に記載の研磨装置。

13. 光源と分光器とを接続する内部光ファイバーを通じて前記光源からの光を前記分光器に導いて該光の強度を前記分光器で測定し、

研磨テーブル上の研磨パッドにウェハを押し付けて該ウェハを研磨し、

前記ウェハの研磨中に前記ウェハに光を導き、かつ前記ウェハからの反射光の

強度を測定し、

前記内部光ファイバーを通じて前記分光器に導かれた光の前記強度に基づいて、前記ウェハからの反射光の前記強度を補正し、

前記補正された強度と光の波長との関係を示す分光波形に基づいて前記ウェハの膜厚を決定することを特徴とする研磨方法。

14. 前記反射光の波長 λ での強度を $E(\lambda)$ 、予め測定された光の波長 λ での基準強度を $B(\lambda)$ 、前記基準強度 $B(\lambda)$ を測定する直前または直後に光を遮断した条件下で測定された波長 λ でのダークレベルを $D1(\lambda)$ 、前記基準強度 $B(\lambda)$ を測定する直前または直後に前記内部光ファイバーを通じて前記分光器に導かれた光の波長 λ での強度を $F(\lambda)$ 、前記強度 $F(\lambda)$ を測定する直前または直後に光を遮断した条件下で測定された波長 λ でのダークレベルを $D2(\lambda)$ 、前記強度 $E(\lambda)$ を測定する前に前記内部光ファイバーを通じて前記分光器に導かれた光の波長 λ での強度を $G(\lambda)$ 、前記強度 $E(\lambda)$ を測定する前であって、かつ前記強度 $G(\lambda)$ を測定する直前または直後に光を遮断した条件下で測定された波長 λ でのダークレベルを $D3(\lambda)$ とすると、前記ウェハからの反射光の前記強度は、

$$\begin{aligned} \text{補正された強度} = & [E(\lambda) - D3(\lambda)] / [[B(\lambda) - D1(\lambda)] \\ & \times [G(\lambda) - D3(\lambda)] / [F(\lambda) - D2(\lambda)]] \end{aligned}$$

で表される補正式を用いて補正されることを特徴とする請求項13に記載の研磨方法。

15. 前記基準強度 $B(\lambda)$ は、膜が形成されていないシリコンウェハを研磨パッド上で水の存在下で水研磨しているとき、または膜が形成されていないシリコンウェハが研磨パッド上に置かれているときに前記分光器により測定されたシリコンウェハからの反射光の強度であることを特徴とする請求項14に記載の研磨方法。

16. 前記基準強度 $B(\lambda)$ は、同一条件下で測定された前記シリコンウェハからの反射光の強度の複数の値の平均であることを特徴とする請求項15に記載の研磨方法。

17. 前記内部光ファイバーを通じて前記光源からの光を前記分光器に導いて該光の強度を前記分光器で測定する工程は、前記ウェハの研磨前に行われることを特徴とする請求項13に記載の研磨方法。

18. 前記内部光ファイバーを通じて前記分光器に導かれた光の強度がしきい値よりも低いときにアラーム信号を生成する工程をさらに含むことを特徴とする請求項13に記載の研磨方法。

19. 前記光の強度が前記しきい値よりも低い場合は、前記ウェハを研磨せずに基板カセットに戻すことを特徴とする請求項13に記載の研磨方法。