

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2018-9861
(P2018-9861A)

(43) 公開日 平成30年1月18日 (2018.1.18)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 B 7/06 (2006.01)	GO 1 B 7/06 M	2 F 0 6 3
B 2 4 B 37/013 (2012.01)	B 2 4 B 37/04 K	3 C 1 5 8
HO 1 L 21/304 (2006.01)	HO 1 L 21/304 6 2 2 S	5 F 0 5 7

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2016-138434 (P2016-138434)	(71) 出願人	000000239
(22) 出願日	平成28年7月13日 (2016.7.13)		株式会社荏原製作所
			東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号
		(74) 代理人	100140109
			弁理士 小野 新次郎
		(74) 代理人	100106208
			弁理士 宮前 徹
		(74) 代理人	100146710
			弁理士 鐘ヶ江 幸男
		(74) 代理人	100117411
			弁理士 串田 幸一
		(74) 代理人	100186613
			弁理士 渡邊 誠

最終頁に続く

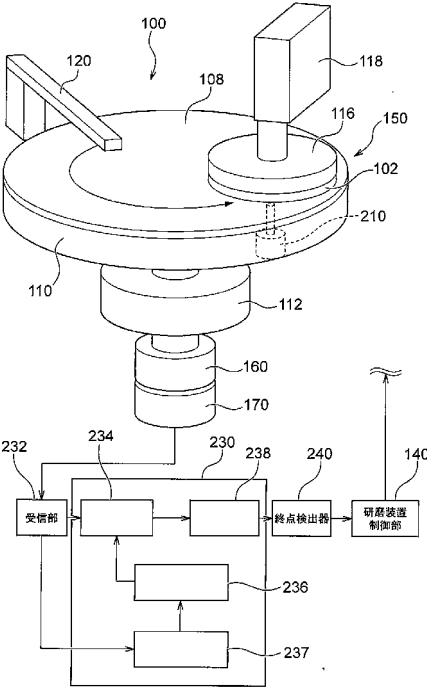
(54) 【発明の名称】 膜厚測定装置、研磨装置、膜厚測定方法、及び、研磨方法

(57) 【要約】

【課題】 事前に必要な膜厚の測定回数を従来よりも減らすことができる膜厚測定装置、研磨装置、膜厚測定方法、及び、研磨方法を提供する。

【解決手段】 渦電流センサ 2 1 0 により研磨対象物 1 0 8 に形成可能な渦電流をインピーダンスとして検出する。直交座標軸を有する座標系の各軸に、インピーダンスの抵抗成分とリアクタンス成分をそれぞれ対応させる。角算出部 2 3 4 は、膜厚がゼロであるときのインピーダンスに対応する第 1 の点と、膜厚がゼロでないときのインピーダンスに対応する第 2 の点とを結ぶ第 1 の直線と、第 1 の点を通る円の直径とのなす角の正接を算出する。膜厚算出部 2 3 8 は、正接から膜厚を求める。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

研磨対象物の膜厚を測定するために、渦電流センサにより前記研磨対象物に形成可能な渦電流をインピーダンスとして検出するときに、前記インピーダンスを入力されて、入力された前記インピーダンスから前記膜厚を求める、膜厚測定装置において、

2つの直交座標軸を有する座標系の各軸に、前記インピーダンスの抵抗成分とリアクタンス成分をそれぞれ対応させたときに、前記インピーダンスに対応する前記座標系上の点は、円の少なくとも一部を形成し、

前記膜厚測定装置は、

膜厚がゼロであるときの前記インピーダンスに対応する第1の点と、膜厚がゼロでないときの前記インピーダンスに対応する第2の点とを結ぶ第1の直線と、前記第1の点を通る前記円の直径とのなす角の正接又は角度を算出する角算出部と、

前記正接又は前記角度から前記膜厚を求める膜厚算出部とを有する膜厚測定装置。

【請求項 2】

前記膜厚測定装置は、前記円上の、前記渦電流センサにより得られる複数個の前記第2の点から算出可能な前記円の中心の位置を記憶可能な第1の記憶部を有し、

前記角算出部は、前記記憶されている前記円の中心の位置と、前記第1の点と、前記円の中心の位置を算出後に前記渦電流センサにより得られる前記第2の点から、前記正接又は前記角度を算出することを特徴とする請求項1記載の膜厚測定装置。

【請求項 3】

前記研磨対象物と前記渦電流センサとの間の距離が異なるときに得られたインピーダンスに対応する前記座標系上の点は、異なる前記円を形成し、異なる該円のそれぞれの中心は、第2の直線上にあり、

前記膜厚測定装置は、前記第2の直線の情報を記憶可能な第2の記憶部を有し、

前記角度算出部は、記憶されている前記第2の直線上の点であって、前記第1の点からの距離と、前記第2の点からの距離が同じ点を、該第2の点が属する前記円の中心と判断し、該円の中心の位置と、前記第1の点と、該第2の点から、前記正接又は前記角度を算出することを特徴とする請求項1記載の膜厚測定装置。

【請求項 4】

前記研磨対象物と前記渦電流センサとの間の距離が異なるときに得られたインピーダンスに対応する前記座標系上の点は、異なる前記円を形成し、異なる該円のそれぞれの中心は、第2の直線上にあり、前記第1の点は、前記第2の直線上にあり、

前記膜厚測定装置は、前記第2の直線の情報を記憶可能な第2の記憶部を有し、

前記角算出部は、記憶されている前記第2の直線と前記第1の直線とのなす角の角度を、前記第1の直線と、前記第1の点を通る前記円の直径とのなす前記角の前記角度として前記正接又は前記角度を算出することを特徴とする請求項1記載の膜厚測定装置。

【請求項 5】

前記膜厚測定装置は、前記第2の直線の情報を算出する直線算出部を有し、

前記直線算出部は、前記研磨対象物と前記渦電流センサとの間の異なる距離に対応する少なくとも2つの前記円のそれぞれに関して、該円上の少なくとも3点からそれぞれの該円の中心を算出し、算出された少なくとも2つの該円の中心を結ぶ直線の情報を、前記第2の直線の情報として、前記第2の記憶部に出力し、

前記第2の記憶部は、入力された該第2の直線の情報を記憶することを特徴とする請求項3または4記載の膜厚測定装置。

【請求項 6】

前記円は、前記研磨対象物と前記渦電流センサとの間の距離が異なるときに得られたインピーダンスに対応する前記座標系上の点は、異なる前記円を形成し、前記第1の点は、異なる該円に共通な点であり、

前記膜厚測定装置は、前記第2の直線の情報を算出する直線算出部を有し、

前記直線算出部は、1つの前記円に関して、該円上の少なくとも3点から該円の中心を

10

20

30

40

50

算出し、算出された該円の中心と前記第 1 の点とを結ぶ直線の情報を、前記第 2 の直線の情報として、前記第 2 の記憶部に出力し、

前記第 2 の記憶部は、入力された該第 2 の直線の情報を記憶することを特徴とする請求項 3 または 4 記載の膜厚測定装置。

【請求項 7】

研磨対象物を研磨する研磨装置において、

前記研磨対象物の研磨を行う研磨部と、

前記研磨対象物の膜厚を測定するために、前記研磨対象物に渦電流を形成するとともに、形成された前記渦電流を検出する渦電流センサと、

前記検出された渦電流をインピーダンスとして出力する受信部と、

前記インピーダンスを入力されて、入力された前記インピーダンスから前記膜厚を求める、請求項 1 ないし 6 のいずれか 1 項に記載の膜厚測定装置とを有することを特徴とする研磨装置。

【請求項 8】

研磨対象物の膜厚を測定するために、渦電流センサにより前記研磨対象物に形成可能な渦電流をインピーダンスとして検出するときに、前記インピーダンスを入力されて、入力された前記インピーダンスから前記膜厚を求める、膜厚測定方法において、

2 つの直交座標軸を有する座標系の各軸に、前記インピーダンスの抵抗成分とリアクタンス成分をそれぞれ対応させたときに、前記インピーダンスに対応する前記座標系上の点は、円の少なくとも一部を形成し、

前記膜厚測定方法は、

膜厚がゼロであるときの前記インピーダンスに対応する第 1 の点と、膜厚がゼロでないときの前記インピーダンスに対応する第 2 の点とを結ぶ第 1 の直線と、前記第 1 の点を通る前記円の直径とのなす角の正接又は角度を算出するステップと、

前記正接又は前記角度から 前記膜厚を求めるステップとを有することを特徴とする膜厚測定方法。

【請求項 9】

研磨対象物を研磨する研磨方法において、

前記研磨対象物の研磨を行うステップと、

研磨対象物の膜厚を測定するために、前記研磨対象物に渦電流を形成するとともに、形成された前記渦電流を検出するステップと、

前記検出された渦電流をインピーダンスとして出力するステップと、

前記インピーダンスを入力されて、入力された前記インピーダンスから前記膜厚を求める、膜厚測定ステップとを有し、

2 つの直交座標軸を有する座標系の各軸に、前記インピーダンスの抵抗成分とリアクタンス成分をそれぞれ対応させたときに、前記インピーダンスに対応する前記座標系上の点は、円の少なくとも一部を形成し、

前記膜厚測定ステップは、

膜厚がゼロであるときの前記インピーダンスに対応する第 1 の点と、膜厚がゼロでないときの前記インピーダンスに対応する第 2 の点とを結ぶ第 1 の直線と、前記第 1 の点を通る前記円の直径とのなす角の正接又は角度を算出するステップと、

前記正接又は前記角度から前記膜厚を求めるステップとを有することを特徴とする研磨方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、膜厚測定装置、研磨装置、膜厚測定方法、及び、研磨方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

10

20

30

40

50

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、多層配線の層数も増加している。回路の微細化を図りながら多層配線を実現するためには、半導体デバイス表面を精度よく平坦化処理する必要がある。

【0003】

半導体デバイス表面の平坦化技術として、化学的機械研磨（CMP（Chemical Mechanical Polishing））が知られている。CMPを行うための研磨装置は、研磨パッドが貼り付けられた研磨テーブルと、研磨対象物（例えば半導体ウェハなどの基板、又は基板の表面に形成された各種の膜）を保持するためのトップリングとを備えている。研磨装置は、研磨テーブルを回転させながら、トップリングに保持された研磨対象物を研磨パッドに押圧することによって研磨対象物を研磨する。

10

【0004】

研磨装置は、研磨対象物の膜厚に基づいて研磨工程の終点検知を行うために膜厚測定装置を備えている。膜厚測定装置は、研磨対象物の膜厚を検出する膜厚センサを備えている。膜厚センサは代表的には、渦電流センサが挙げられる。

【0005】

渦電流センサは、研磨テーブルに形成された穴に配置され、研磨テーブルの回転とともに回転しながら、研磨対象物と対向している時に膜厚を検出する。渦電流センサは、導電膜などの研磨対象物に渦電流を誘起させ、研磨対象物に誘起された渦電流によって発生する磁界の変化から研磨対象物の厚さの変化を検出する。

【0006】

20

特開2005-121616号公報は、渦電流センサに関する技術を開示する。この渦電流センサは、導電性膜の近傍に配置されるセンサコイルと、センサコイルに交流信号を供給して導電性膜に渦電流を形成する信号源と、導電性膜に形成された渦電流をセンサコイルから見たインピーダンスとして検出する検出回路とを備える。そして、インピーダンスの抵抗成分とリアクタンス成分とを直交座標軸上に表示する。インピーダンスの座標と、指定された中心点の座標とを結ぶ直線の成す角度から導電性膜の膜厚を検出する。

【0007】

角度から膜厚を求める方法は、公報の図13に示すような角度と膜厚の関係を事前に測定しておき、この関係を利用して、角度を膜厚に直接変換する。具体的には、導電性膜の膜質に応じた中心点（基準点）P、およびその導電性膜の多数の膜厚に関する多数の仰角を求めて、メモリ内に記憶する。仰角ごとに1本の予備測定直線が得られる。多数の仰角に応じて、多数の予備測定直線が得られる。この後に、基板研磨装置の稼動時には、その測定毎のインピーダンスの抵抗成分とリアクタンス成分の出力値とメモリ内の中心点Pとを結んだ本番測定直線 r_n の仰角と、予備測定直線に基づいて導電性膜の膜厚を演算する。

30

【0008】

特開2005-121616号公報では、仰角に基づいて導電性膜の膜厚を演算するために必要な基準点P及び多数の予備測定直線を事前に多数の測定により求めている。すなわち種々の膜厚、および複数種類の研磨対象物と渦電流センサとの間の距離についてインピーダンスを事前に測定している。事前の測定回数が多いという問題がある。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】特開2005-121616号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

本発明は、このような問題点を解消すべくなされたもので、その目的は、事前に必要な膜厚の測定回数を従来よりも減らすことができる膜厚測定装置、研磨装置、膜厚測定方法、及び、研磨方法を提供することである。

50

【課題を解決するための手段】

【0011】

上記課題を解決するために、第1の形態では、研磨対象物の膜厚を測定するために、渦電流センサにより前記研磨対象物に形成可能な渦電流をインピーダンスとして検出するときに、前記インピーダンスを入力されて、入力された前記インピーダンスから前記膜厚を求める、膜厚測定装置において、2つの直交座標軸を有する座標系の各軸に、前記インピーダンスの抵抗成分とリアクタンス成分をそれぞれ対応させたときに、前記インピーダンスに対応する前記座標系上の点は、円の少なくとも一部を形成し、前記膜厚測定装置は、膜厚がゼロであるときの前記インピーダンスに対応する第1の点と、膜厚がゼロでないときの前記インピーダンスに対応する第2の点とを結ぶ第1の直線と、前記第1の点を通る前記円の直径とのなす角の正接又は角度を算出する角算出部と、前記正接又は前記角度から前記膜厚を求める膜厚算出部とを有する膜厚測定装置という構成を採っている。

10

【0012】

本実施形態では、角の正接又は角度を算出し、正接又は角度から前記膜厚を求めている。本実施形態では、従来技術のような多数の測定を事前に行う必要がない。1種類の研磨パッドの厚さについて、膜厚がゼロであるときの第1の点のみを事前に求めておくだけで、研磨パッドの厚さの変化による測定値の変化を考量できるという利点がある。

【0013】

その理由は以下のとおりである。膜厚の測定中に第2の点は求めることができる。複数の第2の点に関する情報（座標値）から当該第2の点が属する円の中心が求まる。円の中心に関する情報（座標値）と、第1の点（又は第2の点）に関する情報（座標値）から円の直径に関する情報（直径（直線）の方程式、又は直径の長さ）を求めることができる。すなわち、事前に必要な情報は第1の点に関する情報のみであり、第2の点と円の直径に関する情報は、膜厚の測定中に求めることができるからである。円の中心又は円の直径を求める種々の方法の詳細については後述する。

20

【0014】

第2の形態では、前記膜厚測定装置は、前記円上の、前記渦電流センサにより得られる複数個の前記第2の点から算出可能な前記円の中心の位置を記憶可能な第1の記憶部を有し、前記角算出部は、前記記憶されている前記円の中心の位置と、前記第1の点と、前記円の中心の位置を算出後に前記渦電流センサにより得られる前記第2の点から、前記正接又は前記角度を算出する膜厚測定装置という構成を採っている。

30

【0015】

第3の形態では、前記研磨対象物と前記渦電流センサとの間の距離が異なるときに得られたインピーダンスに対応する前記座標系上の点は、異なる前記円を形成し、異なる該円のそれぞれの中心は、第2の直線上にあり、前記膜厚測定装置は、前記第2の直線の情報を記憶可能な第2の記憶部を有し、前記角算出部は、記憶されている前記第2の直線上の点であって、前記第1の点からの距離と、前記第2の点からの距離が同じ点を、該第2の点が属する前記円の中心と判断し、該円の中心の位置と、前記第1の点と、該第2の点から、前記正接又は前記角度を算出する膜厚測定装置という構成を採っている。

40

【0016】

第4の形態では、前記研磨対象物と前記渦電流センサとの間の距離が異なるときに得られたインピーダンスに対応する前記座標系上の点は、異なる前記円を形成し、異なる該円のそれぞれの中心は、第2の直線上にあり、前記第1の点は、前記第2の直線上にあり、前記膜厚測定装置は、前記第2の直線の情報を記憶可能な第2の記憶部を有し、前記角算出部は、記憶されている前記第2の直線と前記第1の直線とのなす角の角度を、前記第1の直線と、前記第1の点を通る前記円の直径とのなす前記角の前記角度として前記正接又は前記角度を算出する膜厚測定装置という構成を採っている。

【0017】

第5の形態では、前記膜厚測定装置は、前記第2の直線の情報を算出する直線算出部を有し、前記直線算出部は、前記研磨対象物と前記渦電流センサとの間の異なる距離に対応

50

する少なくとも2つの前記円のそれぞれに関して、該円上の少なくとも3点からそれぞれの該円の中心を算出し、算出された少なくとも2つの該円の中心を結ぶ直線の情報を、前記第2の直線の情報として、前記第2の記憶部に出力し、前記第2の記憶部は、入力された該第2の直線の情報を記憶する膜厚測定装置という構成を採っている。

【0018】

第6の形態では、前記円は、前記研磨対象物と前記渦電流センサとの間の距離が異なるときに得られたインピーダンスに対応する前記座標系上の点は、異なる前記円を形成し、前記第1の点は、異なる該円に共通な点であり、前記膜厚測定装置は、前記第2の直線の情報を算出する直線算出部を有し、前記直線算出部は、1つの前記円に関して、該円上の少なくとも3点から該円の中心を算出し、算出された該円の中心と前記第1の点とを結ぶ直線の情報を、前記第2の直線の情報として、前記第2の記憶部に出力し、前記第2の記憶部は、入力された該第2の直線の情報を記憶する膜厚測定装置という構成を採っている。

10

【0019】

第7の形態では、研磨対象物を研磨する研磨装置において、前記研磨対象物の研磨を行う研磨部と、前記研磨対象物の膜厚を測定するために、前記研磨対象物に渦電流を形成するとともに、形成された前記渦電流を検出する渦電流センサと、前記検出された渦電流をインピーダンスとして出力する受信部と、前記インピーダンスを入力されて、入力された前記インピーダンスから前記膜厚を求める、形態1ないし6のいずれか1項に記載の膜厚測定装置とを有する研磨装置という構成を採っている。

20

【0020】

第8の形態では、研磨対象物の膜厚を測定するために、渦電流センサにより前記研磨対象物に形成可能な渦電流をインピーダンスとして検出するときに、前記インピーダンスを入力されて、入力された前記インピーダンスから前記膜厚を求める、膜厚測定方法において、2つの直交座標軸を有する座標系の各軸に、前記インピーダンスの抵抗成分とリアクタンス成分をそれぞれ対応させたときに、前記インピーダンスに対応する前記座標系上の点は、円の少なくとも一部を形成し、前記膜厚測定方法は、膜厚がゼロであるときの前記インピーダンスに対応する第1の点と、膜厚がゼロでないときの前記インピーダンスに対応する第2の点とを結ぶ第1の直線と、前記第1の点を通る前記円の直径とのなす角の正接又は角度を算出するステップと、前記正接又は前記角度から前記膜厚を求めるステップとを有する膜厚測定方法という構成を採っている。

30

【0021】

第9の形態では、研磨対象物を研磨する研磨方法において、前記研磨対象物の研磨を行うステップと、研磨対象物の膜厚を測定するために、前記研磨対象物に渦電流を形成するとともに、形成された前記渦電流を検出するステップと、前記検出された渦電流をインピーダンスとして出力するステップと、前記インピーダンスを入力されて、入力された前記インピーダンスから前記膜厚を求める、膜厚測定ステップとを有し、2つの直交座標軸を有する座標系の各軸に、前記インピーダンスの抵抗成分とリアクタンス成分をそれぞれ対応させたときに、前記インピーダンスに対応する前記座標系上の点は、円の少なくとも一部を形成し、前記膜厚測定ステップは、膜厚がゼロであるときの前記インピーダンスに対応する第1の点と、膜厚がゼロでないときの前記インピーダンスに対応する第2の点とを結ぶ第1の直線と、前記第1の点を通る前記円の直径とのなす角の正接又は角度を算出するステップと、前記正接又は前記角度から前記膜厚を求めるステップとを有することを特徴とする研磨方法という構成を採っている。

40

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】図1は、研磨装置の全体構成を模式的に示す図である。

【図2】図2は、インピーダンスを測定するための渦電流センサの構成例を示すブロック図である。

【図3】図3は、図2のブロック図の等価回路図である。

50

【図４】渦電流センサのセンサコイルの構成例を示す斜視図である。

【図５】図４のセンサコイルの接続例を示す回路図である。

【図６】センサコイル出力の同期検波回路を示すブロック図である。

【図７】導電性膜の厚さ変化に伴う、インピーダンス座標面における抵抗成分（ X ）とリアクタンス成分（ Y ）の円軌跡を示すグラフである。

【図８】図７のグラフ図形を反時計回りに９０度回転させ、さらに平行移動させたグラフである。

【図９】使用する研磨パッドの厚さに相当する距離に応じて、座標 X 、 Y の円弧軌跡が変化する様子を示したグラフである。

【図１０】研磨パッド１０８の厚さの違いにかかわらず、角度は同じであることを説明する図である。

10

【図１１】円弧中心の求め方を示すフローチャートである。

【図１２】角度の求め方を示す説明図である。

【図１３】角度の別の求め方を示す説明図である。

【図１４】第２の直線１４の求め方を示す説明図である。

【図１５】円弧中心を用いなくて、角度を算出する方法を示す説明図である。

【図１６】膜厚の算出方法の全体を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【００２３】

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。なお、以下の各実施形態において、同一または相当する部材には同一符号を付して重複した説明を省略する。

20

【００２４】

図１は、本発明の一実施形態の研磨装置の全体構成を模式的に示す図である。図１に示すように、研磨装置１００は、研磨対象物（例えば、半導体ウェハなどの基板、又は基板の表面に形成された各種の膜）１０２を研磨するための研磨部１５０を有する。研磨部１５０は、研磨対象物１０２を研磨するための研磨パッド１０８を上面に取付け可能な研磨テーブル１１０と、研磨テーブル１１０を回転駆動する第１の電動モータ１１２と、研磨対象物１０２を保持可能なトップリング１１６と、トップリング１１６を回転駆動する第２の電動モータ１１８とを備える。

【００２５】

30

また、研磨部１５０は、研磨パッド１０８の上面に研磨材を含む研磨砥液を供給するスラリーライン１２０を備える。研磨装置１００は、研磨部１５０に関する各種制御信号を出力する研磨装置制御部１４０を備える。

【００２６】

研磨装置１００は、研磨テーブル１１０に形成された穴に配置され、研磨テーブル１１０の回転に伴い研磨対象物１０２の膜厚を研磨面に沿って検出する渦電流センサ２１０を備える。

【００２７】

研磨装置１００は、研磨対象物１０２を研磨するときは、研磨砥粒を含む研磨スラリーをスラリーライン１２０から研磨パッド１０８の上面に供給し、第１の電動モータ１１２によって研磨テーブル１１０を回転駆動する。そして、研磨装置１００は、トップリング１１６を、研磨テーブル１１０の回転軸とは偏心した回転軸回りで回転させた状態で、トップリング１１６に保持された研磨対象物１０２を研磨パッド１０８に押圧する。これにより、研磨対象物１０２は研磨スラリーを保持した研磨パッド１０８によって研磨され、平坦化される。

40

【００２８】

受信部２３２は、ロータリージョイント・コネクタ１６０、１７０を介して渦電流センサ２１０と接続されている。受信部２３２は、渦電流センサ２１０から出力された信号を受信して、インピーダンスとして出力する。

【００２９】

50

図 1 に示すように、膜厚測定装置 230 は、受信部 232 から出力されたインピーダンスに所定の信号処理を行って終点検出器 240 へ出力する。

【0030】

終点検出器 240 は、膜厚測定装置 230 から出力される信号に基づいて研磨対象物 102 の膜厚の変化を監視する。終点検出器 240 は、研磨装置 100 に関する各種制御を行う研磨装置制御部 140 と接続されている。終点検出器 240 は、研磨対象物 102 の研磨終点を検出すると、その旨を示す信号を研磨装置制御部 140 へ出力する。研磨装置制御部 140 は、終点検出器 240 から研磨終点を示す信号を受信すると、研磨装置 100 による研磨を終了させる。研磨装置制御部 140 は、研磨中は、補正された膜厚データに基づいて、研磨対象物 102 の押圧力を制御する。

10

【0031】

図 2 は、研磨装置 100 が備える渦電流センサ 210 を示す。渦電流センサは、センサコイルから導電性膜側を見たインピーダンスが変化し、このインピーダンス変化から膜厚を検出する。渦電流センサ 210 は、検出対象の研磨対象物 102 の近傍にセンサコイルを配置し、そのコイルに交流信号源 124 が接続されている。ここで、検出対象の研磨対象物 102 は、例えば半導体ウェハ W 上に形成された厚さが $0 \sim 2 \mu\text{m}$ 程度の銅めっき膜 (Au, Cr, W などの金属材料の蒸着膜でもよい) である。センサコイルは、検出対象の導電性膜に対して例えば $0.5 \sim 5 \text{ mm}$ 程度の近傍に配置される。同期検波回路 126 は、センサコイル側から見た検出対象の研磨対象物 102 を含むインピーダンス Z を検出する (詳細は後述する)。

20

【0032】

図 3 に示す等価回路において、交流信号源 124 の発振周波数は一定であり、研磨対象物 102 の膜厚が変化すると、交流信号源 124 からセンサコイル側を見たインピーダンス Z が変化する。すなわち、図 3 に示す等価回路において、研磨対象物 102 に流れる渦電流 I_2 は、研磨対象物 102 の等価的な抵抗 R_2 および自己インダクタンス L_2 によって決まる。膜厚が変化すると渦電流 I_2 が変化し、センサコイル側との相互インダクタンス M を介して、交流信号源 124 側から見たインピーダンス Z の変化として捉えられる。ここで、 L_1 はセンサコイルの自己インダクタンス分であり、 R_1 はセンサコイルの抵抗分である。

30

【0033】

以下に、渦電流センサについて具体的に説明する。交流信号源 124 は、 $1 \sim 50 \text{ MHz}$ 程度の固定周波数の発振器であり、例えば水晶発振器が用いられる。そして、交流信号源 124 により供給される交流電圧により、センサコイルに電流 I_1 が流れる。研磨対象物 102 の近傍に配置されたコイルに電流が流れることで、この磁束が研磨対象物 102 と鎖交することで、その間に相互インダクタンス M が形成され、研磨対象物 102 中に渦電流 I_2 が流れる。ここで R_1 はセンサコイルを含む一次側の等価抵抗であり、 L_1 は同様にセンサコイルを含む一次側の自己インダクタンスである。研磨対象物 102 側では、 R_2 は渦電流損に相当する等価抵抗であり、 L_2 はその自己インダクタンスである。交流信号源 124 の端子 128, 130 からセンサコイル側を見たインピーダンス Z は、研磨対象物 102 中に形成される渦電流損の大きさによって変化する。

40

【0034】

図 4 は、本実施形態の渦電流センサにおけるセンサコイルの構成例を示す。センサコイルは、導電性膜に渦電流を形成するためのコイルと、導電性膜の渦電流を検出するためのコイルとを分離したもので、ボビン 311 に巻回された 3 層のコイルにより構成されている。ここで中央の励磁コイル 312 は、交流信号源 124 に接続される励磁コイルである。この励磁コイル 312 は、交流信号源 124 より供給される電圧の形成する磁界により、近傍に配置される半導体ウェハ W 上の研磨対象物 102 に渦電流を形成する。ボビン 311 の上側 (導電性膜側) には、検出コイル 313 が配置され、導電性膜に形成される渦電流により発生する磁界を検出する。そして、励磁コイル 312 の検出コイル 313 と反対側にはバランスコイル 314 が配置されている。

50

【 0 0 3 5 】

図 5 は、各コイルの接続例を示す。検出コイル 3 1 3 とバランスコイル 3 1 4 とは、上述したように逆相の直列回路を構成し、その両端は可変抵抗 3 1 6 を含む抵抗ブリッジ回路 3 1 7 に接続されている。コイル 3 1 2 は交流信号源 2 0 3 に接続され、交番磁束を生成することで、近傍に配置される導電性膜 2 0 1 ' に渦電流を形成する。可変抵抗 VR_1, VR_2 の抵抗値を調整することで、コイル 3 1 3 , 3 1 4 からなる直列回路の出力電圧が、導電性膜が存在しないときにはゼロとなるように調整可能としている。

【 0 0 3 6 】

図 6 は、交流信号源 2 0 3 側からセンサコイル 2 0 2 側を見たインピーダンス Z の計測回路例を示す。この図 6 に示すインピーダンス Z の計測回路においては、膜厚の変化に伴うインピーダンス平面座標値 (X, Y)、(すなわち、リアクタンス成分 (X)、抵抗成分 (Y))、インピーダンス ($Z = X + iY$)、および位相出力 ($\theta = \tan^{-1} R/X$) を取り出すことができる。従って、これらの信号出力を用いることで、例えばインピーダンスの各種成分の大きさにより膜厚を計測するなど、より多面的な処理の進行状況の検出が可能となる。

【 0 0 3 7 】

上述したように、検出対象の研磨対象物 1 0 2 が成膜された半導体ウェハ W 近傍に配置されたセンサコイルに、交流信号を供給する信号源 2 0 3 は、水晶発振器からなる固定周波数の発振器である。交流信号源 2 0 3 は、例えば、1 ~ 50 MHz の固定周波数の電圧を供給する。信号源 2 0 3 で形成される交流電圧は、バンドパスフィルタ 3 0 2 を介して励磁コイル 3 1 2 に供給される。センサコイルの端子 1 2 8 , 1 3 0 で検出された信号は、高周波アンプ 3 0 3 および位相シフト回路 3 0 4 を経て、 \cos 同期検波回路 3 0 5 および \sin 同期検波回路 3 0 6 からなる同期検波部に入力される。同期検波部により検出信号の \cos 成分 (X 成分) と \sin 成分 (Y 成分) とが取り出される。ここで、信号源 2 0 3 で形成される発振信号から、位相シフト回路 3 0 4 により、信号源 2 0 3 の同相成分 (0°) と直交成分 (90°) の 2 つの信号が形成される。これらの信号は、それぞれ \cos 同期検波回路 3 0 5 と \sin 同期検波回路 3 0 6 とに導入され、上述の同期検波が行われる。

【 0 0 3 8 】

同期検波された信号は、ローパスフィルタ 3 0 7 , 3 0 8 により、信号成分以上の不要な例えば 5 KHz 以上の高周波成分が除去される。同期検波された信号は、 \cos 同期検波出力である X 成分出力と、 \sin 同期検波出力である Y 成分出力である。また、ベクトル演算回路 3 0 9 により、 X 成分出力と Y 成分出力とから、インピーダンス Z の大きさ、 $(X^2 + Y^2)^{1/2}$ 、が得られる。また、ベクトル演算回路 (処理回路) 3 1 0 により、同様に X 成分出力と Y 成分出力とから、位相出力 ($\theta = \tan^{-1} Y/X$)、が得られる。ここで、これらフィルタは、センサ信号の雑音成分を除去するために設けられ、各種フィルタに応じたカットオフ周波数が設定されている。

【 0 0 3 9 】

次に、研磨対象物 1 0 2 と渦電流センサ 2 1 0 との間の距離が異なるときに得られたインピーダンスに対応するインピーダンス平面座標系上の点 (座標値 (X, Y)) は、異なる円を形成する。異なる円のそれぞれの中心は、同一の直線 (第 2 の直線) 上にある。第 1 の点は、異なる円に対して共通な 1 つの点である。これらについて説明する。

【 0 0 4 0 】

図 3 に示すセンサ側回路と導電性膜側回路には、それぞれ次の式が成り立つ。

$$R_1 I_1 + L_1 dI_1/dt + M dI_2/dt = E \quad (1)$$

$$R_2 I_2 + L_2 dI_2/dt + M dI_1/dt = 0 \quad (2)$$

ここで、 M は相互インダクタンスであり、 R_1 は、センサ側回路の等価抵抗であり、 L_1 は、センサ側回路の自己インダクタンスである。 R_2 は渦電流が誘起される導電性膜の等価抵抗であり、 L_2 は渦電流が流れる導電性膜の自己インダクタンスである。

【0041】

ここで、 $I_n = A_n e^{j\omega t}$ (正弦波)とみると、上記式(1)、(2)は次のように表される。

$$(R_1 + j\omega L_1) I_1 + j\omega M I_2 = E \quad (3)$$

$$(R_2 + j\omega L_2) I_2 + j\omega M I_1 = 0 \quad (4)$$

これら式(3)、(4)から、次の式(5)が導かれる。

$$I_1 = E(R_2 + j\omega L_2) / \{(R_1 + j\omega L_1)(R_2 + j\omega L_2) + \omega^2 M^2\}$$

$$= E / \{(R_1 + j\omega L_1) + \omega^2 M^2 / (R_2 + j\omega L_2)\}$$

(5)

10

【0042】

したがって、センサ側回路のインピーダンスZは、次の式(6)で表される。

$$Z = E / I_1 = \{R_1 + \omega^2 M^2 R_2 / (R_2^2 + \omega^2 L_2^2)\} + j\omega \{L_1 - \omega^2 L_2 M^2 / (R_2^2 + \omega^2 L_2^2)\} \quad (6)$$

6)

ここで、Zの実部(抵抗成分)、虚部(誘導リアクタンス成分)をそれぞれX、Yとみると、上記式(6)は、次のようになる。

$$Z = X + jY \quad (7)$$

ここで、 $R_x = \omega^2 L_2 M^2 / (R_2^2 + \omega^2 L_2^2)$ とすると、(7)式は、

$$X + jY = [R_1 + R_2 R_x] + j[L_1 - L_2 R_x] \quad (8)$$

20

従って、 $X = R_1 + R_2 R_x$ 、 $Y = [L_1 - L_2 R_x]$ となる。

これを R_2 、 L_2 について解くと、

$$R_2 = \omega^2 (X - R_1) M^2 / ((L_1 - Y)^2 + (X - R_1)^2) \quad (8)$$

(8)

$$L_2 = (L_1 - Y) M^2 / ((L_1 - Y)^2 + (X - R_1)^2) \quad (9)$$

(9)

図7に示す記号kは結合係数であり、次の関係式(10)が成り立つ。

$$M = k(L_1 L_2)^{1/2} \quad (10)$$

これを(9)に適用すると、

$$(X - R_1)^2 + (Y - (1 - (k^2/2))L_1)^2 = (L_1 k^2/2)^2 \quad (11)$$

30

これは、円の方程式であり、X、Yが円を形成すること、すなわち、インピーダンスZは円を形成することを示す。

【0043】

渦電流センサ210は、渦電流センサ210のコイルを含む電気回路のインピーダンスの抵抗成分Xおよび誘導リアクタンス成分Yを出力する。これらの抵抗成分Xおよび誘導リアクタンス成分Yは、膜厚を反映した膜厚信号であり、基板上的導電性膜の厚さによって変化する。

【0044】

図7は、導電性膜の厚さとともに変化するX、Yを、XY座標系上にプロットすることで描かれるグラフを示す図である。点Tの座標は、膜厚が無限大であるとき、すなわち、 R_2 が0のときのX、Yである。点T0(第1の点)の座標は、基板の導電率が無視できるものとすれば、膜厚が0であるとき、すなわち、 R_2 が無限大のときのX、Yである。X、Yの値から位置決めされる点Tn(第2の点)は、導電性膜の厚さが減少するに従って、円弧状の軌跡を描きながら点T0に向かって進む。

40

【0045】

図8は、図7のグラフ図形を反時計回りに90度回転させ、さらに平行移動させたグラフを示す図である。図8に示すように、膜厚が減少するに従って、X、Yの値から位置決めされる点Tnは円弧状の軌跡を描きながら点T0に向かって進む。

結合係数kは、片方のコイルにより発生した磁場が、もう片方のコイルに伝達する割合

50

である。k = 1 が最大であり、コイル間の距離が離れると、すなわち研磨パッド 108 が厚くなると、k は小さくなる。

【0046】

渦電流センサ 210 のコイルと基板 W との間の距離 G は、これらの間に介在する研磨パッド 108 の厚さに応じて変化する。この結果、図 9 に示すように、使用する研磨パッド 108 の厚さに相当する距離 G (G1 ~ G3) に応じて、座標 X, Y の円弧軌跡が変化する。図 9 から分かるように、コイルと研磨対象物 102 との間の距離 G にかかわらず、同じ膜厚である座標 X, Y を直線 (以下、等膜厚直線 (第 1 の直線)) というで結び、その等膜厚直線が交点 P で交差する。点 P が、第 1 の点 T0 である。この等膜厚直線 r_n (n: 1, 2, 3...) は、図 9 において、第 1 の点を通る円の直径 (第 2 の直線) H に 10

【0047】

角度 θ は、膜厚がゼロであるときのインピーダンスに対応する第 1 の点 (T0) と、膜厚がゼロでないときのインピーダンスに対応する第 2 の点 (Tn) とを結ぶ第 1 の直線と、第 1 の点 (T0) を通る円の直径とのなす角の角度である。導電性膜の厚さが同じであるとき、研磨パッド 108 の厚さの違いにかかわらず、角度 θ は同じである。この点について、図 10 により説明する。

点 Tn の座標 (X, Y) を図 10 に示す角度 θ を使って表す。図 10 より、

$$X = R_1 + (k^2 / 2) L_1 \sin \theta \quad (12)$$

$$Y = (1 - (k^2 / 2) L_1) - (k^2 / 2) L_1 \cos \theta \quad (13)$$

既述の (8)、(9) から、

$$R_2 / L_2 = (X - R_1) / (L_1 - Y)$$

この式に (12)、(13) を代入すると、

$$R_2 / L_2 = \sin 2\theta / (1 + \cos 2\theta) = \tan \theta \quad (14)$$

R_2 / L_2 は、膜厚のみに依存し、また、結合係数 k に依存しないため、渦電流センサ 210 と研磨対象物 102 との間の距離、すなわち研磨パッド 108 の厚さに依存しない。 R_2 / L_2 は、膜厚のみに依存し、従って、角度 θ も膜厚のみに依存する。膜厚算出部は、角度 θ の正接を算出し、(14) の関係を利用して、正接から膜厚を求める。

【0048】

角度 θ の算出方法及び膜厚の算出方法について説明する。図 1 の膜厚測定装置 230 は、研磨対象物の膜厚を測定するために、渦電流センサ 210 により研磨対象物 102 に形成可能な渦電流をインピーダンスとして検出するときに、インピーダンスを受信部 232 から入力される。入力されたインピーダンスから膜厚を求める。膜厚測定装置 230 は、角算出部 234、及び膜厚算出部 238 を備える。

【0049】

角算出部 234 は、膜厚がゼロであるときのインピーダンスに対応する第 1 の点 T0 と、膜厚がゼロでないときのインピーダンスに対応する第 2 の点 Tn とを結ぶ第 1 の直線 10 と、第 1 の点 T0 を通る円の直径 12 とのなす角の角度 θ を算出する。膜厚算出部 238 は、角度 θ の正接を算出し、正接から膜厚を求める。

【0050】

膜厚測定装置 230 は、1 つの円の、渦電流センサ 210 により得られる複数個の第 2 の点 Tn から算出可能な円の中心の位置を記憶可能な第 1 の記憶部 236 を有する。第 1 の記憶部 236 は、事前に測定して得られた第 1 の点 T0 に関する情報 (座標値) も記憶している。ウェハ等の研磨対象物 102 を研磨すると、インピーダンスは、半円の一部を描くので、半円上の複数個の第 2 の点 Tn から円弧中心を算出する。角度 θ を算出するときに、円弧中心点を使用する場合、既述のように、円弧の半径は、渦電流センサ 210 と研磨パッド 108 の距離に反比例して変化する。そのため研磨処理を続けていると、研磨パッド 108 が減耗して、円弧半径が大きくなっていく。それに伴い円弧中心も移動させる必要がある。具体的な円弧中心の求め方を図 11 に示す。研磨を開始すると (ステップ 40

S 1 0)、第 1 の記憶部 2 3 6 に記憶済みの現在の円弧中心を使って、後述のように角算出部 2 3 4 及び膜厚算出部 2 3 8 により膜厚を測定する(ステップ S 1 2)。

【0051】

研磨が終了すると(ステップ S 1 4)、測定中に受信部 2 3 2 から中心算出部 2 3 7 に入力されたインピーダンスに基づいて、中心算出部 2 3 7 は、今回の研磨時のデータから円弧中心を算出する(ステップ S 1 6)。詳細は後述する。このようにして得られた直近数枚の研磨対象物 1 0 2 の円弧中心平均値を中心算出部 2 3 7 は算出する(ステップ S 1 8)。算出された円弧中心平均値を第 1 の記憶部 2 3 6 に記憶する(ステップ S 2 0)。ステップ S 1 0 に戻り、次の研磨対象物 1 0 2 の研磨を開始する。1 枚目の研磨パッド 1 0 8 を研磨するときは、第 1 の記憶部 2 3 6 に、研磨によるデータがない。その時は、事前にテストウェハを研磨して、データを作成する。

10

【0052】

この様に円弧中心のデータを最新にすることで、研磨パッド 1 0 8 が減耗することによる円弧中心の変動に追従することが可能となる。また、研磨パッド 1 0 8 を交換した場合や、研磨パッド 1 0 8 のブレイクイン処理(研磨パッド 1 0 8 の目詰まり等を除去するドレッサ処理)により、急激に研磨パッド 1 0 8 が摩耗した場合には、その動作を研磨装置制御部 1 4 0 が検知する。そして、テストウェハを研磨することで円弧中心を再取得して記憶する。この時は直近数枚の平均を行わない。

【0053】

角算出部 2 3 4 は、図 1 2 に示すように、第 1 の記憶部 2 3 6 に記憶されている円の中心 C 0 の位置の座標値と、第 1 の記憶部 2 3 6 に記憶されている第 1 の点 T 0 の座標値と、円の中心の位置を算出後に渦電流センサ 2 1 0 により得られる第 2 の点 T n の座標値から、正接を算出する。算出式は、例えば以下のとおりである。

20

【0054】

中心 C 0 と第 1 の点 T 0 を通る直線の方程式 $ax + by = e$ を、中心 C 0 の座標値と、第 1 の点 T 0 の座標値から求める。第 2 の点 T n と第 1 の点 T 0 を通る直線の方程式 $cx + dy = f$ を、第 2 の点 T n の座標値と、第 1 の点 T 0 の座標値から求める。このとき、2 直線のなす角度 θ は、 $\cos \theta = ((ac + bd)^2) / ((a^2 + b^2)(c^2 + d^2))$ を満たす。 $\cos \theta$ が求まると、次式により正接が求まる。

30

$$\tan \theta = (1 - (\cos \theta)^2) / \cos \theta$$

【0055】

本実施形態では、角度 θ を求めることなく、直接、正接を求めているが、角度 θ を求めたのちに、正接を求めてもよい。角度 θ を求める方法としては、例えば次のような方法がある。上記のようにして、 $\cos \theta$ を求めて、 $\cos \theta$ の \arccos を求めれば、角度 θ が得られる。

【0056】

なお、本実施形態では直接、正接を求め、次に膜厚を求めているが、角度 θ から膜厚を直接求めてもよい。1 0 8 の厚さが異なるときの角度 θ と膜厚の関係が本実施形態によれば判明しているため、従来技術よりも少ない測定を事前に行うだけで、角度 θ と膜厚の関係を得ることができる。すなわち、渦電流センサ 2 1 0 と研磨対象物 1 0 2 の 1 つの距離(すなわち、研磨パッド 1 0 8 の 1 つの厚さ)に関して、研磨対象物 1 0 2 の 3 個程度の膜厚について、測定を事前に行うだけで、角度 θ と膜厚の関係を得ることができる。そのような角度 θ と膜厚の関係を利用して、角度 θ から膜厚を直接求めることができる。この場合、従来よりも少ない回数の事前測定で済むという利点がある。

40

【0057】

図 1 2 とは別の実施形態について図 1 3 により説明する。既述のように、円弧の中心点は、渦電流センサ 2 1 0 と研磨対象物 1 0 2 の距離が変化すると、一定の近似直線に乗る。そこで、あらかじめ渦電流センサ 2 1 0 出力のキャリブレーションを実施し、渦電流センサ 2 1 0 と研磨対象物 1 0 2 の距離の異なる状態でインピーダンスのデータを取得し、

50

事前に円弧中心近似直線を取得しておく。円弧中心近似直線を求めておくと、第2の点 T_n と第1の点 T_0 からの距離が等しい近似直線上の点が円弧の中心であるので、測定した時に即座に中心点が求まる。この方法について、図13により説明する。

【0058】

この方法では、研磨対象物102と渦電流センサ210との間の距離が異なるときに得られたインピーダンスに対応する座標系上の点は、異なる円を形成し、異なる円のそれぞれの中心は、第2の直線14上にある。第2の直線14は、既述の直径12である。膜厚測定装置230は、第2の直線14の情報を記憶可能な第2の記憶部（図示しない）を有する。角算出部は、第2の記憶部に記憶されている第2の直線上の点であって、第1の点 T_0 からの距離 R_4 と、第2の点 T_n からの距離 R_3 が同じ点を、第2の点 T_n が属する円の中心 C_0 と判断する。円の中心 C_0 の位置と、第1の点 T_0 と、第2の点 T_n から、図12で説明した方法で角度を算出する。 $R_3 = R_4$ となる第2の直線14上の点が現在の円弧中心 C_0 である。

10

【0059】

第2の直線14の求め方について、図14により説明する。膜厚測定装置230は、第2の直線の情報を算出する直線算出部（図示しない）を有する。直線算出部は、研磨対象物102と渦電流センサ210との間の異なる距離に対応する少なくとも2つの円のそれぞれに関して、円上の少なくとも3点からそれぞれの円の中心 C_0 、 C_1 を算出する。算出された少なくとも2つの円の中心 C_0 、 C_1 を結ぶ直線の情報を、第2の直線の情報として、第2の記憶部に出力する。第2の直線の情報としては、直線の傾き、直線上の少なくとも1つの点の座標値、直線の方程式の係数等がある。第2の記憶部は、入力された第2の直線14の情報を記憶する。

20

【0060】

具体的には、渦電流センサ210により、2種類以上の膜厚の違う校正用ウェハを用いて、円18、円20上のデータを取得する。円18上のデータを点 T_{n1} 、点 T_{n2} とする。円18に関して、第1の点 T_0 を含めて3点以上のデータが得られるので、それぞれの点を結ぶ線22、24の2等分線22a、24aの交わる点 C_0 が円弧中心となる。同様のことを円20についても行う。すなわち、円20上のデータを点 T_{n1a} 、点 T_{n2a} とする。円20に関して、第1の点 T_0 を含めて3点以上のデータが得られるので、それぞれの点を結ぶ線26、28の2等分線26a、28aの交わる点 C_1 が円弧中心となる。2種類以上の研磨対象物102と渦電流センサ210との間の異なる距離により、この操作を実施すれば、2点以上の円弧中心 C_0 、 C_1 が求まるので、それらを結ぶ近似直線を求めればよい。

30

【0061】

なお、直線算出部は、別の第2の直線の情報の求め方を採用してもよい。すなわち、1種類の研磨対象物102と渦電流センサ210との間の距離から、第2の直線14を求めることも可能である。すなわち、1つの円に関して、円上の少なくとも3点から円の中心を算出し、算出された円の中心と第1の点 T_0 とを結ぶ直線の情報を、第2の直線の情報として、前記第2の記憶部に出力してもよい。第2の記憶部は、入力された第2の直線の情報を記憶する。

40

【0062】

この方法は、直線は、2点により決定されるということを利用している。1種類の研磨対象物102と渦電流センサ210との間の距離の円弧中心 C_0 と第1の点 T_0 を結ぶ線を円弧中心の近似直線としてもよい。

【0063】

ここまでの角度の算出方法は円弧中心を用いる方法であった。円弧中心を用いない方法も可能である。円弧中心を用いない場合について、図15により説明する。図15では、円弧中心を求めずに、第1の点 T_0 と第2の点 T_n を結んだ直線10と、円弧中心近似直線である第2の直線14のなす角度を求める。この方法では、角算出部は、記憶されている第2の直線14と第1の直線10とのなす角の角度を、第1の直線10と、第1の

50

点 T 0 を通る円 3 2 の直径とのなす角の角度 として算出する。

【 0 0 6 4 】

なお、第 2 の直線 1 4 (円の直径) は、図 9 、 1 2 等から明らかなように、X 軸や Y 軸と平行でも垂直でもよく、また、X 軸や Y 軸と平行でなく、かつ垂直でなくてもよい。第 2 の直線 1 4 (円の直径) の位置や方向は、測定システムや処理システムの設定に依存し、また、装置の使用者の要望に合わせてもよい。

【 0 0 6 5 】

なお、角度 の算出方法は、以上の方法以外の方法でも、角度 の値を求めることができれば、どのような方法でもよい。

【 0 0 6 6 】

次に、正接から膜厚を求める膜厚算出部 2 3 8 について説明する。本実施形態では、正接の逆数と膜厚の関係を利用する。最初に、正接の逆数と膜厚の関係を説明する。

正接と、金属膜の抵抗値との間には、既述の (1 4) の関係、すなわち、

$$R_2 / L_2 = \tan \quad (14)$$

がある。ここで R_2 は、金属膜の抵抗値である。従って、 R_2 と \tan は比例する。さらに、 R_2 は膜厚と以下の関係がある。

$$R_2 = L / tW \quad (15)$$

ここで、 R_2 : 抵抗率 L, W : 金属膜の長さおよび幅 t : 膜厚

(1 4)、(1 5) から、膜厚 t と角度 は以下の関係にあることがわかる。

$$R_2 (1 / t) = \tan$$

すなわち、 $1 / \tan = t$

これより、 $1 / \tan$ と膜厚 t は比例する。ただし、(1 5) は、膜厚が薄くなったときは、金属の種類によっては、成立しない場合がある。一方、(1 4) は、常に成立する。そこで、本実施形態では、 $1 / \tan$ からシート抵抗値である R_2 を算出する方法については、事前のキャリブレーションにより得られた $1 / \tan$ とシート抵抗値の関係を表す近似曲線を用いて決定する。次に、シート抵抗値から金属膜厚への換算についても、事前のキャリブレーションにより得られたシート抵抗値と金属膜厚の関係を表す近似曲線を用いて決定する。このようにして行われる膜厚の算出方法を図 1 6 に示す。

【 0 0 6 7 】

最初に、渦電流センサ 2 1 0 及び受信部 2 3 2 により、インピーダンス座標面における抵抗成分 (X) とリアクタンス成分 (Y) を得る (ステップ S 3 0)。次に、角算出部 2 3 4 において、既述の 2 つの方法、現在の円弧中心を用いた方法、又は円弧中心近似直線を用いた方法により、 \tan を算出する (ステップ S 3 2)。膜厚算出部 2 3 8 において、 $1 / \tan$ からシート抵抗値を算出する (ステップ S 3 4)。この際には、 $1 / \tan$ とシート抵抗値の関係を表す理論式、又は $1 / \tan$ をシート抵抗値に換算する事前のキャリブレーションにより得られた曲線を用いる。得られたシート抵抗値からウェハ膜厚を算出する (ステップ S 3 6)。このときに、シート抵抗値とウェハ膜厚の関係を表す理論式又はシート抵抗値をウェハ膜厚に換算する事前のキャリブレーションにより得られた曲線を用いる。

【 0 0 6 8 】

本実施形態の $1 / \tan$ から膜厚を求める方法には、以下の利点がある。

- ・特開 2005-121616 号公報では、事前に基準点 (本実施形態の第 1 の点 T 0) を多数の測定により求めている。すなわち種々の膜厚、および複数種類の研磨対象物 1 0 2 と渦電流センサ 2 1 0 との間の距離についてインピーダンスを事前に測定している。本実施形態では、そのような多数の測定を行う必要がない。測定回数を最小にしたい場合は、1 種類の研磨パッド 1 0 8 の厚さについて、第 1 の点 T 0 を求めておくだけで、研磨パッド 1 0 8 の厚さによる測定値の変化を考慮できる。

- ・ $1 / \tan$ と $1 / R_2$ は線形特性があるので、シート抵抗値と膜厚の測定ができる。

- ・図 1 0 等 to 示す第 1 の直線 1 0 の長さは、インピーダンスの大きさであるが、インピーダンスの大きさは、渦電流のエネルギーと考えることができる。第 1 の直線 1 0 の長さを

10

20

30

40

50

求めることが本実施形態では可能である。研磨対象物 102 のエッジにおける渦電流センサ 210 の測定値の低下をエネルギーの低下と考えると、エネルギーの低下を補正することができる。これにより、エッジでの膜厚測定が可能な範囲を、端部に向かって広げることができる。本実施形態は、このようなエッジ補正を使うことができる。

【0069】

以上、本発明の実施形態の例について説明してきたが、上記した発明の実施形態は、本発明の理解を容易にするためのものであり、本発明を限定するものではない。本発明は、その趣旨を逸脱することなく、変更、改良され得るとともに、本発明には、その均等物が含まれることはもちろんである。また、上述した課題の少なくとも一部を解決できる範囲、または、効果の少なくとも一部を奏する範囲において、特許請求の範囲および明細書に記載された各構成要素の任意の組み合わせ、または、省略が可能である。

10

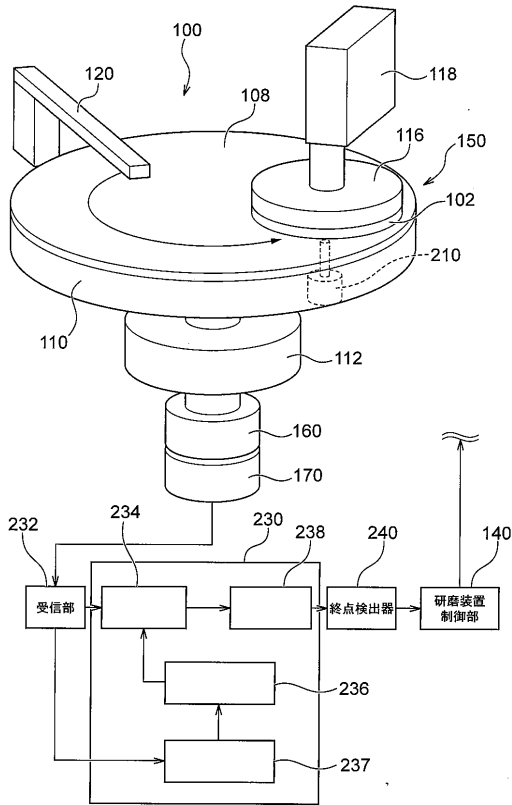
【符号の説明】

【0070】

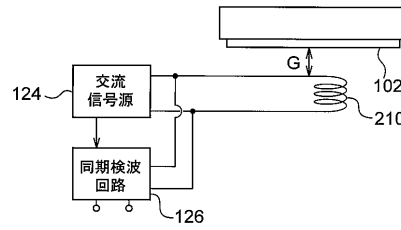
T 0 ... 第 1 の点
r n ... 等膜厚直線
R 1 ... 距離
R 2 ... 距離
1 0 ... 第 1 の直線
1 4 ... 第 2 の直線
1 0 0 ... 研磨装置
1 0 2 ... 研磨対象物
1 0 8 ... 研磨パッド
2 1 0 ... 渦電流センサ
2 3 0 ... 膜厚測定装置
2 3 2 ... 受信部
2 3 4 ... 角算出部
2 3 6 ... 第 1 の記憶部
2 3 8 ... 膜厚算出部

20

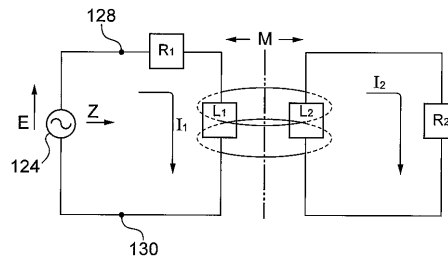
【圖 1】



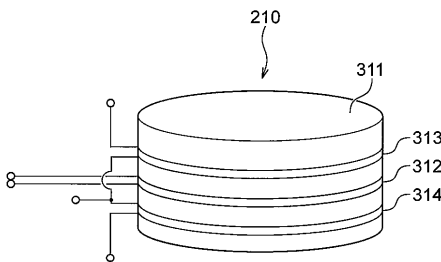
【 図 2 】



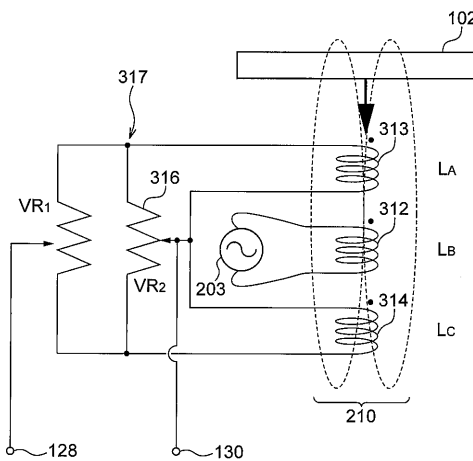
【 図 3 】



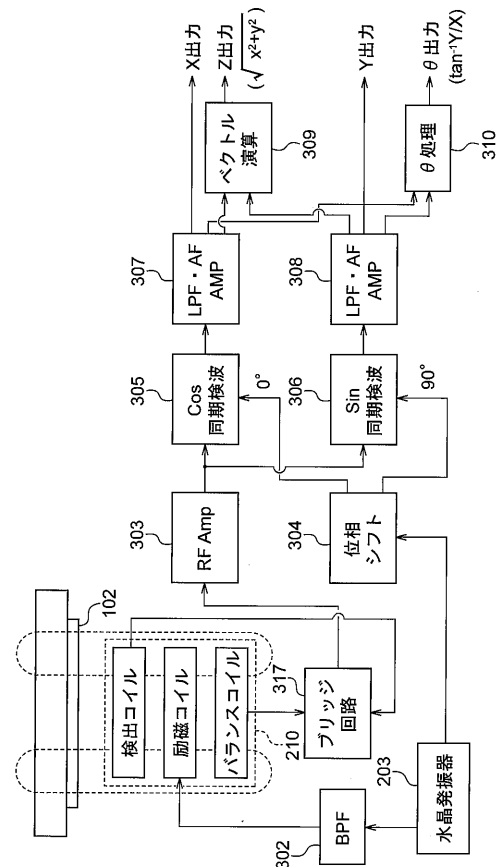
【 図 4 】



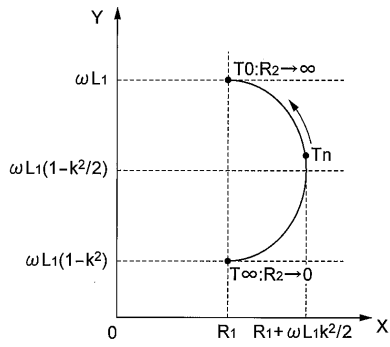
【 図 5 】



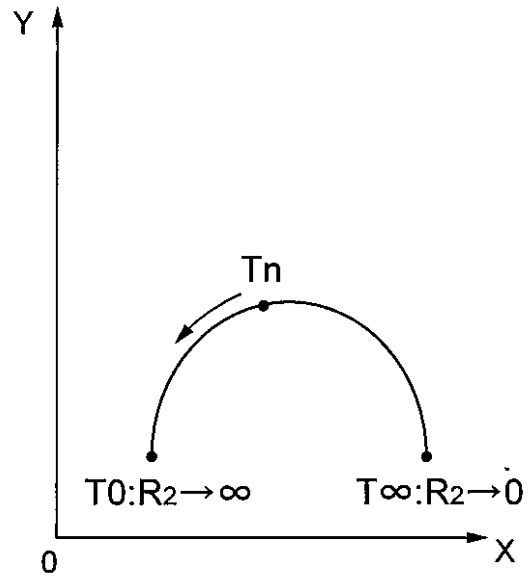
【 図 6 】



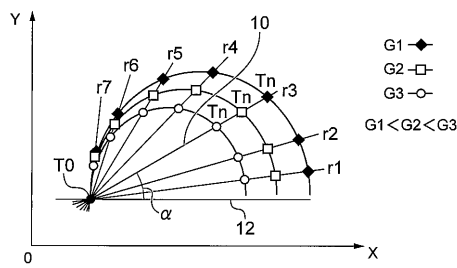
【図 7】



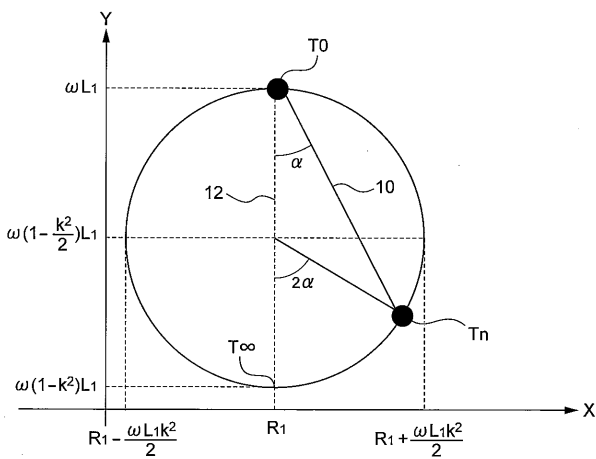
【図 8】



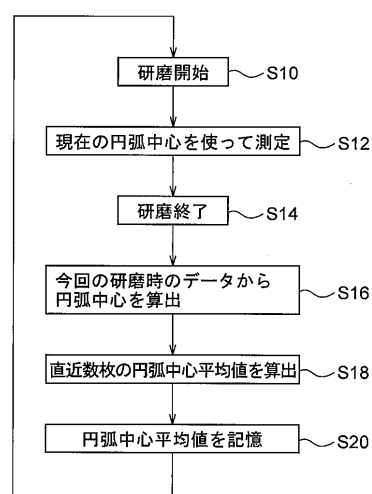
【図 9】



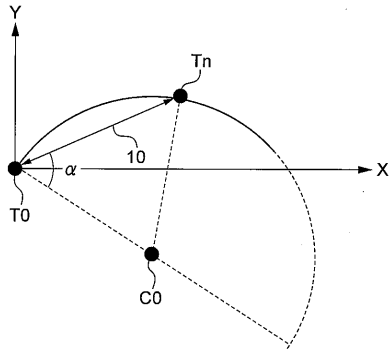
【図 10】



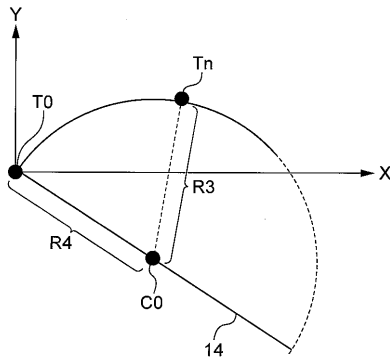
【図 11】



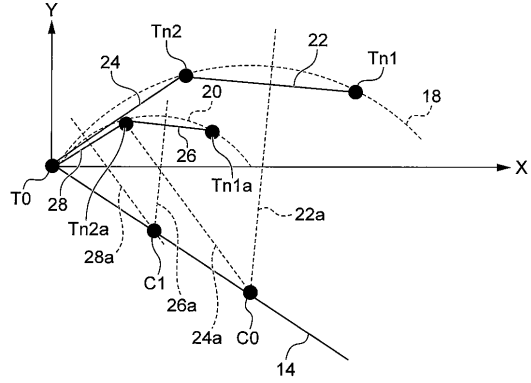
【図 1 2】



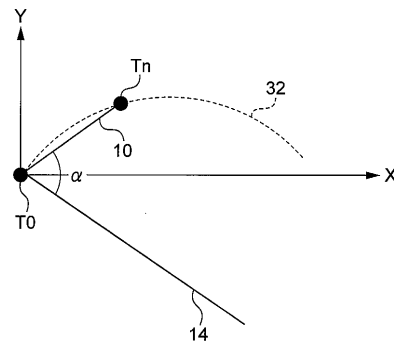
【図 1 3】



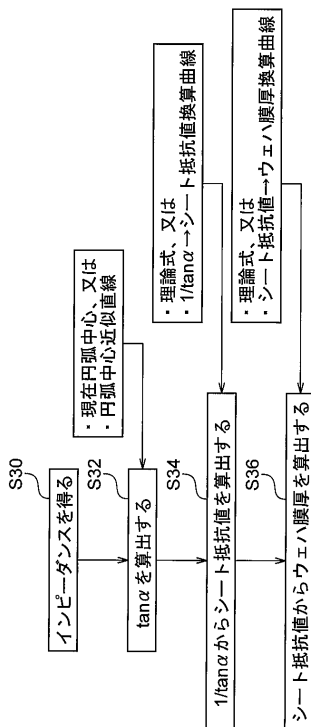
【図 1 4】



【図 1 5】



【図 1 6】



フロントページの続き

(72)発明者 中村 顕

東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社荏原製作所内

F ターム(参考) 2F063 AA16 BA26 BB02 BB05 BB06 BC06 DA01 DA08 GA08 LA16
LA29
3C158 AA07 BA01 BA02 BA07 BB02 BC01 CA01 CB01 DA12 DA17
EA11 EB01
5F057 AA14 AA20 BA15 BB23 CA12 DA03 GA02 GA12 GA16 GB03
GB13 GB28